

# LES CONSÉQUENCES DES ÉVÉNEMENTS EL NIÑO / LA NIÑA DANS LE BASSIN VERSANT DU SINÚ.

**Rigaud SANABRIA** : UMR 6012 ESPACE, Maison de la Géographie, 17 rue Abbé de l'Épée, 34090 Montpellier.

Email : sanabria@mgm.fr

*RÉSUMÉ.* Le régime hydrique et climatique du Sinú (Colombie) étant perturbé par des événements ENSO / LNSO, nous avons tenté de déterminer l'interaction spatio-temporelle de ces phénomènes sur les précipitations et les débits. Nous sommes partis de deux questions : Quelle est la distribution spatiale des conséquences de ces événements? Et, par ailleurs, peut-on prévoir la saison, la durée et les bilans hydriques des prochains événements ?

*Dans le Sinú, on constate un déficit pluviométrique et de fortes sécheresses pendant El Niño, et des pluies abondantes durant La Niña. Des inondations aux conséquences catastrophiques ont lieu pendant La Niña, comme en août 1988, où près de 69.000 hectares ont été affectés. Pendant El Niño de 1997 – 1998, les précipitations ont diminué de 50 % et les débits des rivières de 40 %.*

*ABSTRACT:* As hydrological and climatic regimes of the Sinú (Colombia) are influenced by ENSO/LNSO phenomenon, our aim is to determine their spatial and temporal interactions on the amount of rainfall and on water flow volumes. We started from two questions: What is the spatial distribution of consequences of those events? Finally, in case of future events, is it possible to forecast the weather trends and the hydrous balance?

*To Sinú with rainfall deficit and drought during El Niño. Should the La Niña event occur, the area suffer from the sheer volume of rainfall resulting in terrible floods. In august 1988 the La Niña flooded 69.000 hectares of land. On the contrary, during the 1997–1998 El Niño event, the rainfall was 50% lower and the water volume drop 40%.*

*MOTS CLEFS :* Oscillation Australe, Hydrologie, Sinú (Colombie), Modèle de prévision.

*KEY WORDS:* Southern Oscillation, Hydrology, Sinú (Colombia), forecast model.

El Niño et La Niña, sont des événements physiques qui modifient la dynamique de la relation océan – atmosphère dans le bassin du Pacifique tropical. On les appelle aussi événements extrêmes de l'oscillation Australe ou encore événements ENSO (contraction de l'anglais El Niño – Southern Oscillation) et LNSO (contraction de l'anglais La Niña – Southern Oscillation).

Si l'oscillation australe est bien un mécanisme déterminant des variations océaniques et climatiques à l'échelle globale, elle présente des conséquences régionales et des variations d'intensité à l'échelle locale ; c'est le cas pour le régime hydrique du Sinú. Ces conséquences, liées principalement aux anomalies des précipitations locales, proviennent des altérations des vents planétaires et de la température de la mer.

Notre étude précise les conséquences locales des événements El Niño et La Niña et aboutit à un modèle de prévision des variations des débits à partir des indicateurs de ces événements. Le Sinú draine un bassin de 13.600 km<sup>2</sup> au nord-ouest de la Colombie, marqué par de nombreux marécages, lagunes et chenaux.

Pour l'analyse de l'interaction entre la dynamique océan – atmosphère, dans le Pacifique tropical, nous avons étudié les séries moyennes mensuelles des Indices de l'Oscillation Australe (SHEA, D., 2000), la pression atmosphérique à Darwin et à Tahiti (Bureau of Meteorology of Australia, 2000), et la température de la surface de la mer (TSM) dans la région Niño 1 + 2 (NOAA, 2000) ; ce que nous appelons « Variables El Niño » (Figure 1). Nous avons utilisé les séries de précipitations et de débits pour la période 1966 - 1999 (IDEAM, 1999) dans le bassin du Sinú.

Nous commencerons par décrire rapidement l'oscillation australe et le Sinú, puis les anomalies et les conséquences des événements extrêmes de cette oscillation sur le Sinú, pour aboutir à une tentative d'établir un modèle de prévision de ces anomalies.

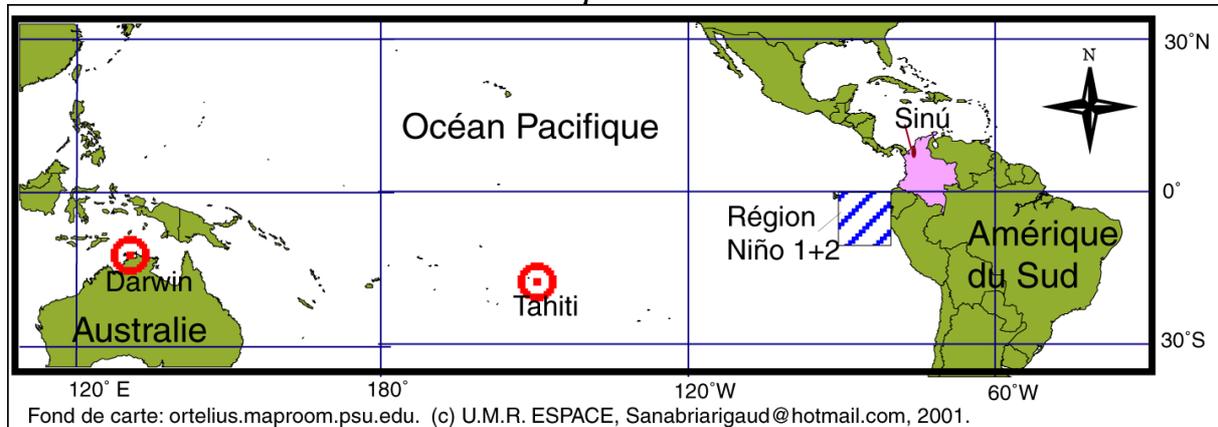
## **1 Les événements extrêmes de l'oscillation australe**

Sir Gilbert Walker, puis J. Bjerknes ont défini l'Indice d'Oscillation Australe – SOI (en anglais : Southern Oscillation Index) comme la différence de pression entre Tahiti (Polynésie Française) et Darwin (Nord-ouest de l'Australie) ; il indique la force des alizés : “plus l'indice est élevé, plus la différence entre les pressions est importante et plus les vents sont forts” (PENHOAT et GERARD, 1998).

El Niño est caractérisé par un déplacement d'eaux chaudes du Pacifique occidental vers les côtes de l'Amérique du Sud et par une diminution de la force des alizés. Ces modifications sont à l'origine, sur le continent, de variations des précipitations et donc de la disponibilité en eau. On observe effectivement des anomalies dans la couverture nuageuse, le rayonnement solaire et la température. Ces changements ont des conséquences sévères sur de nombreuses régions de la planète, mais plus encore dans le Pacifique tropical.

La Niña s'oppose à El Niño aussi bien par ses conséquences sur l'océan Pacifique tropical que par ses effets en diverses régions du monde. Elle est caractérisée par la présence à l'Est d'une grande quantité d'eaux de surface plus froides que la normale.

**Figure 1 : Océan Pacifique et bassin du Sinú. Localisation des stations de mesure de pression et de température.**



Distances approximatives : De Darwin au Sinú : 17.000 Km. De Tahiti au Sinú : 8.600 Km.

De la région Niño 1 + 2 au Sinú : 1.900 Km. De Darwin à Tahiti : 8.800 Km.

## 2 Le bassin versant du Sinú

On peut diviser le bassin du Sinú en deux sous-régions géographiquement différentes. D'une part, la région Nord (2/3 de la surface totale), au relief plat avec des altitudes inférieures à 150 m, avec une température moyenne de 27 °C et des précipitations moyennes annuelles entre 1200 et 2000 mm. C'est la région la plus peuplée, où se concentre la plus grande partie de la production agricole et de l'élevage du bassin. D'autre part, la région Sud assez montagneuse (1/3 de tiers de la surface totale), avec des altitudes passant de 150 à 3960 m, des températures moyennes entre 9 et 26 °C, des précipitations moyennes annuelles entre 1500 et 3000 mm ; on y trouve encore de grandes zones de forêt humide tropicale.

Dans le Sinú, la ressource hydrique est vitale, non seulement pour la consommation domestique, mais aussi pour le développement de l'agriculture, de l'élevage, de la pêche, de la production hydroélectrique et pour l'équilibre des écosystèmes. En outre, elle alimente un réseau complexe de communication fluviale, qui articule toute la région, tout en assurant la distribution et le stockage de l'eau.

## 3 Anomalies hydro – climatiques

Il y a en général une augmentation des précipitations pendant des événements de La Niña. En moyenne, l'altération est forte avec des augmentations entre 20 et 40 % dans la région sud et très forte (augmentation entre 40 et 100 %) au centre de la région nord (Figure 2). Les débits augmentent de 30 % par rapport à la moyenne multiannuelle en période 'normale' de 384 m<sup>3</sup>/s.

Au contraire, se produit durant El Niño une diminution des précipitations et des débits dans tout le bassin versant. Celle-ci est plus forte dans le Nord où les précipitations diminuent de 20 à 30 %, et les débits de 12 %.

**Figure 2. Altération annuelle de l'hydrologie du Sinú pendant El Niño / La Niña.**

La distribution spatiale des anomalies mensuelles de débits est assez homogène tout le long du fleuve Sinú, avec une diminution moyenne de  $-0.7 \sigma$  (écart - type) pendant El Niño et une augmentation de  $+1.3 \sigma$  pendant La Niña.

Les conséquences d'El Niño sont plus importantes au cours du premier trimestre de l'année, car les débits diminuent de 11 à 26 %, baissant jusqu'à  $104 \text{ m}^3/\text{s}$  à Angostura de Urrá (station au sud) et à  $116 \text{ m}^3/\text{s}$  à Cotoca Abajo (station au nord, près de l'embouchure).

Les conséquences de La Niña sont les plus fortes au cours du troisième trimestre de l'année, période des hautes eaux, avec une augmentation moyenne des débits de près de 30 %. À Montería l'augmentation moyenne du débit est de  $160 \text{ m}^3/\text{s}$  sur la moyenne multiannuelle de ce trimestre, qui est de  $530 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### **3.1 El Niño de 1997 – 1998**

La distribution spatio-temporelle des effets des précipitations a été irrégulière pendant El Niño entre le 2<sup>ème</sup> trimestre 1997 et le 1<sup>er</sup> trimestre 1998, particulièrement durant le quatrième trimestre 1997 et le premier trimestre 1998, avec une diminution de près de 25 % dans la région sud et de 70 % dans la région nord.

Les débits ont été affectés de manière homogène, tout au long du fleuve Sinú, avec une réduction d'à peu près 25% entre mars 1997 et janvier 1998. Les conséquences de la diminution de l'offre hydrique ont été très fortes puisqu'elles ont coïncidé avec la période la plus sèche de l'année.

### 3.2 *La Niña de 1988 – 1989*

Pendant La Niña 1988 - 1989, se sont produites de très fortes anomalies trimestrielles de l'Indice d'Oscillation Australe (SOI), avec des valeurs moyennes de 1.9 et 3.7 au cours des 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> trimestres. Ces anomalies coïncident très bien avec les anomalies moyennes de précipitations ( $1.8 \sigma$ ) et de débits ( $1.4 \sigma$ ) du Sinú, et ont eu des conséquences catastrophiques par leur concomitance avec le trimestre le plus pluvieux de l'année.

À Angostura de Urrá, on a relevé en août 1988 le maximum absolu des débits : 2.249 m<sup>3</sup>/s, ce qui dépasse largement le débit de référence des inondations à Montería (capitale départementale, à l'aval) et d'une grande partie de la vallée alluviale (de 818 m<sup>3</sup>/s à Angostura de Urrá).

### 3.3 *Conséquences pour le Sinú*

Le Sinú est une région particulièrement sensible aux événements El Niño et La Niña, surtout dans la vallée alluviale où se sont développés les principaux établissements humains. Les risques de pertes en vies humaines et de destructions des infrastructures par les inondations augmentent pendant La Niña. Les pertes dans la principale activité économique, qui est l'agriculture, se produisent avec la diminution de l'offre hydrique pendant El Niño.

Les principaux impacts d'événements ENSO dans le Sinú sont la sécheresse, les incendies de forêts, les pertes de cultures, la diminution de l'élevage, le rationnement d'énergie et la diminution de la pêche. Pendant les événements LNSO se produisent des pluies torrentielles, des inondations, une érosion fluviale forte, la destruction d'infrastructures et l'augmentation des maladies endémiques.

## 4 **Modèle de prévision des anomalies de l'hydrologie du Sinú dues aux phénomènes El Niño / La Niña.**

Pour établir un modèle de prévision, nous avons tenté de déterminer les variables El Niño qui ont une influence sur l'hydro-climatologie du Sinú, en considérant la distance qui existe entre les stations de mesures océano – atmosphériques du Pacifique tropical et les stations de mesure des pluies et des débits dans le Sinú (Figure 1).

### 4.1 *Corrélations*

Nous avons calculé mensuellement les corrélations entre les séries du Sinú et les variables El Niño, contemporaines des séries du Sinú, ou décalées dans le temps, d'un, de deux ou de trois mois. Ces corrélations nous ont permis de montrer un effet retard des variations des précipitations et des débits du Sinú par rapport aux variations El Niño.

Les corrélations des débits du Sinú avec la pression atmosphérique à Darwin et à Tahiti sont meilleures pour le décalage d'un mois (Tableau 1), s'élevant à 0.71 et 0.69 respectivement. Ce décalage s'explique par la distance entre le Sinú et Darwin (17.000 Km) et Tahiti (8.600 Km). Viennent ensuite les corrélations pour le décalage de deux mois à Darwin ( $r = 0.62$ ) et la valeur simultanée à Tahiti (0.64). Ce qui montre que l'influence de la variabilité des valeurs à Darwin est meilleure pour un peu plus d'un mois de décalage, alors que celles de Tahiti le sont pour un peu moins d'un mois.

Les corrélations des débits et précipitations du Sinú avec la TSM 1 + 2 sont meilleures sans décalage et s'élèvent en moyenne à  $-0.72$  (Tableau 1). La distance entre les points de mesure est de 1.900 Km.

**Tableau 1 : Corrélations des débits mensuels du Sinú avec les variables El Niño.**

| Variable Y | Variable X | C-0          | C-1         | C-2   | C-3  |
|------------|------------|--------------|-------------|-------|------|
| Débits     | hPa_Darwin | 0.60         | <b>0.71</b> | 0.62  | 0.32 |
| Débits     | SOI        | 0.18         | 0.17        | 0.09  | 0.07 |
| Débits     | TSM 1 + 2  | <b>-0.72</b> | -0.52       | -0.18 | 0.19 |
| Débits     | hPa_Tahiti | 0.64         | <b>0.69</b> | 0.55  | 0.27 |

Corrélations simultanées (C 0), décalées de un (C 1), deux (C 2) et trois (C 3) mois.

Débits<sup>1</sup>: Débits moyens mensuels.

hPa\_Darwin, hPa\_Tahiti<sup>2</sup>: Pression atmosphérique à Darwin et à Tahiti.

SOI<sup>3</sup>: Indice de l'oscillation australe.

TSM 1 + 2<sup>4</sup>: Température de la surface de la mer région El Niño 1 + 2.

Sources : <sup>1</sup>IDEAM. <sup>2</sup>Bureau of Meteorology, Australia. <sup>3</sup>Dennis Shea. <sup>4</sup>NOAA.

## 4.2 Les régressions

Le fait que les meilleures corrélations s'observent avec un mois de décalage permet de déterminer des modèles de prévision des débits du Sinú à partir des variables El Niño. Ce modèle consiste en équations multiples permettant d'évaluer les débits à partir de la pression atmosphérique à Darwin et à Tahiti avec un mois d'avance. Nous nous sommes intéressés à l'estimation des débits plutôt que des précipitations en considérant que les débits sont bien corrélés avec les précipitations, et que les mesures ponctuelles de débits représentent mieux le comportement hydrique d'une grande région, car elles totalisent l'ensemble de l'écoulement du bassin amont.

Le modèle général correspond à l'équation suivante, dont les paramètres sont calculés à partir des débits moyens mensuels enregistrés dans 5 stations (Tableau 2).

$$QLaaaaa_i = a_i * hPa\_Darwin_{i-1} + a_2 * hPa\_Tahiti_{i-1} + b$$

Où,  $i = 1..n$ , mois.

$QLaaaaa_i$ : Débit de la station à évaluer (aaaaa = code de la station).

$hPa\_Darwin_{i-1}$ : Pression atmosphérique à Darwin.

$hPa\_Tahiti_{i-1}$ : Pression atmosphérique à Tahiti.

$a_1$ : Facteur constant (pente) pour la pression à Darwin décalée d'un mois.

$a_2$ : Facteur constant (pente) pour la pression à Tahiti décalée d'un mois.

$b$ : Intersection avec l'axe des ordonnées.

$r^2$ : Coefficient de détermination.

**Tableau 2. Paramètres pour l'estimation des débits moyens mensuels par la régression.**

| STATION           |         | a <sub>1</sub> | a <sub>2</sub> | b      | r <sup>2</sup> |
|-------------------|---------|----------------|----------------|--------|----------------|
| Nom               | Code    |                |                |        |                |
| El Limón          | QL11702 | 18.52          | 29.39          | -48225 | 0.58           |
| Angostura de Urrá | QL13701 | 25.85          | 39.38          | -65650 | 0.59           |
| Tres Piedras      | QL16701 | 3.26           | 4.48           | -7811  | <b>0.71</b>    |
| Montería          | QL16702 | 32.28          | 51.25          | -84126 | 0.65           |
| Sabana Nueva      | QL17701 | 26.80          | 43.63          | -70913 | 0.65           |

Les résultats statistiques de la régression permettent de valider le modèle en prenant en compte le comportement normal des séries. Les coefficients de corrélation de Pearson sont satisfaisants. Le test de Fisher (F) nous indique avec une probabilité de 99.99 % que la moyenne du modèle est différente de zéro. A partir du test T-Student, qui accepte un intervalle de confiance de 95 %, les paramètres calculés pour le modèle (a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub> et b) sont significativement différents de zéro.

Les régressions linéaires multiples trouvées pour la prévision des débits du Sinú expliquent de 58 à 71 % les débits moyens mensuels. Cette prévision doit être complétée par l'analyse fine du comportement des variables El Niño et leur comparaison avec les événements ENSO / LNSO présents pendant le mois en question.

Il reste que le comportement des anomalies hydro-climatiques du Sinú n'est pas complètement déterminé par sa relation avec les anomalies des variables El Niño. Toutefois, cette relation permet de prévoir en grande partie le type et l'intensité des anomalies qui vont se présenter sur le Sinú après le déclenchement d'un événement ENSO / LNSO.

### 4.3 Utilité des prévisions

La prévision des événements El Niño ou La Niña se traduit selon les régions et le type d'affectation principalement par la prévision de sécheresses ou de pluies extrêmes. Les effets sont majorés ou minorés selon les particularités climatiques et hydrologiques de chaque région. Une zone semi-aride comme le nord du Sinú est plus affectée par une forte diminution de précipitations qu'une zone humide comme le sud du Sinú. Surtout ces effets dépendent des écosystèmes, du régime des précipitations et des débits, de l'humidité et de la saison de l'année.

Il est évident que dans la vallée alluviale du Sinú, les effets néfastes des événements ENSO ou LNSO seraient diminués par un contrôle approprié du volume d'eau retenu par le barrage d'Urrá I et les marécages (ciénagas), augmentation en prévision ENSO ou diminution de ce volume en prévision LNSO. C'est ainsi que cette étude peut être utile pour une meilleure gestion des ressources hydriques et une meilleure information de la population, ce qui permettrait de diminuer les dégâts et de tirer profit des anomalies hydro-climatiques extrêmes.

## Conclusion

L'analyse de l'interaction spatio-temporelle entre la dynamique océano-atmosphérique du Pacifique tropical et l'hydrologie du Sinú nous a permis de déterminer une partie importante de l'origine des principales anomalies hydriques du Sinú, périodes de forte sécheresse pendant la phase ENSO, périodes de fortes pluies et d'inondations pendant la phase LNSO. En outre, les bonnes corrélations des variables indicatrices de l'oscillation australe du Pacifique tropical avec les précipitations et débits décalés d'un mois, nous ont conduit à

calculer les régressions qui permettent de 'prédire' à l'avance le type et l'intensité des anomalies hydrique et climatique dans le Sinú lors des événements ENSO ou LNSO.

Les précipitations et les débits du Sinú sont inversement proportionnels à la température de la surface de la mer de la région Niño 1 + 2 et directement proportionnels à la pression atmosphérique à Tahiti et à Darwin. Les corrélations avec ces dernières variables décalées d'un mois en avance sont les meilleures.

## **BIBLIOGRAPHIE**

BUREAU OF METEOROLOGY OF AUSTRALIA (2000). Séries mensuelles de pression atmosphérique à Darwin et à Tahiti. <http://www.bom.gov.au>.

IDEAM (1999) Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. *Séries des données hydriques et climatiques du Sinú*. Santafé de Bogotá.

NOAA (2000) National Oceanic and Atmospheric Administration. Température de la surface de la mer dans la région Niño 1 +2. [www.noaa.gov](http://www.noaa.gov).

PENHOAT Y. et GERARD, E. (1998). El Niño et l'oscillation australe. Pour la science (édition française). Les humeurs de l'océan. p. 86-91.

SHEA D. (2000). Série mensuelle de l'Index de l'Oscillation Australe (SOI). <http://www.cgd.ucar.edu>

## **REMERCIEMENTS.**

J'aimerais remercier Pierre Usselman, directeur de recherche CNRS, pour sa contribution à ce travail et le suivi de ma thèse.

Je tiens à remercier mes parents, le Gouvernement Français, l'UMR ESPACE et la Maison de la Géographie de Montpellier, *l'Asociación de Productores Para el Desarrollo Comunitario de la Ciénaga Grande de Loricá (ASPROCIG)*, et *l'Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)*.