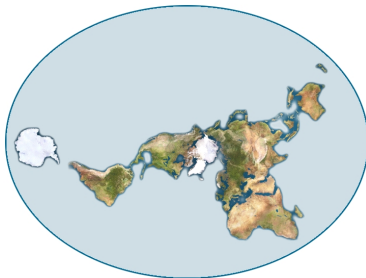


# Rôle des océans dans la variabilité climatique de la mousson africaine

Mathieu Joly



Thèse dirigée par Serge Janicot,  
Jean-François Royer, et Aurore Voldoire.

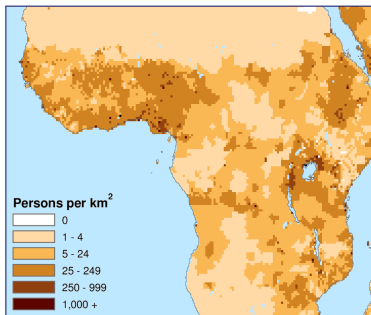


UNIVERSITÉ  
— PARIS-EST

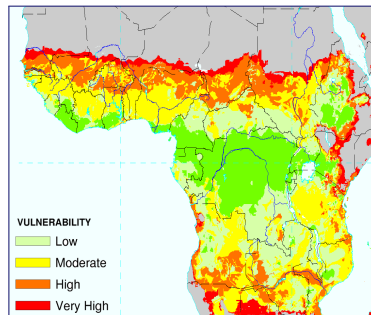


## L'Afrique de l'ouest : une région fragile

Densité de population



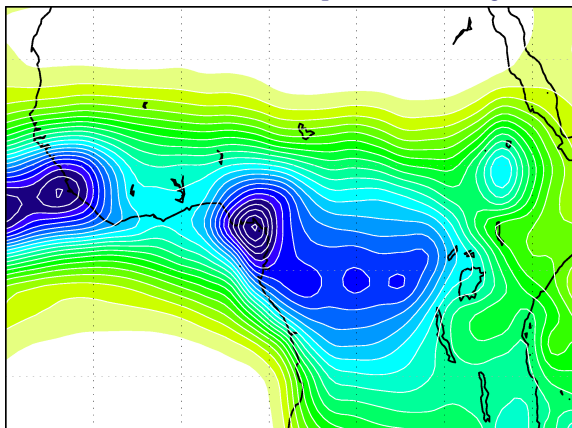
Vulnérabilité des sols



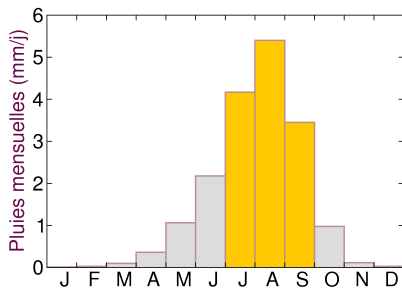
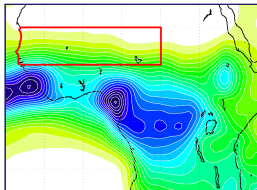
- Forte densité de population
- Rôle vital des ressources en eau
- Région sensible à la désertification

## L'Afrique de l'ouest : une région contrastée

Cumul annuel des pluies (mm/j)

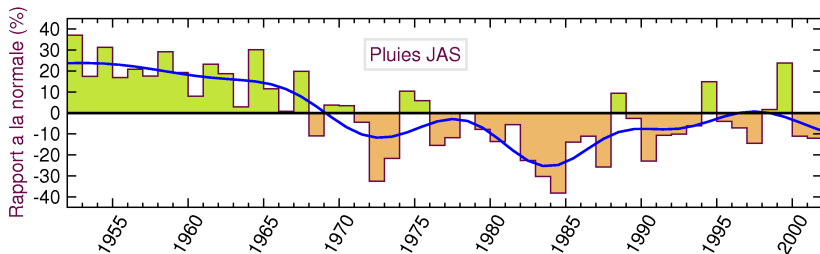
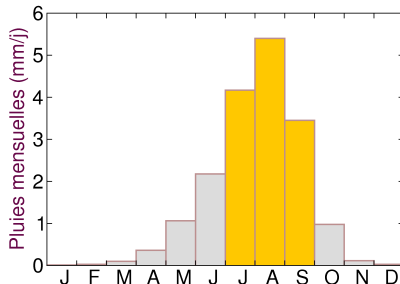
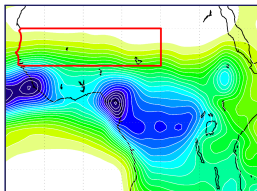


## Variabilité des pluies au Sahel





## Variabilité des pluies au Sahel



## Quelles sont les sources de variabilité de la mousson ?

**Surface océanique** À toutes les échelles temporelles, l'océan influence et interagit avec la mousson africaine.

**Surf. continentale** Désertification et déforestation ont pu jouer un rôle dans l'évolution décennale des pluies sahéliennes.

**Aérosols** D'origine naturelle ou anthropique, les aérosols sont susceptibles d'influencer la mousson, *via* le bilan radiatif, la physique nuageuse, ou les SST.

**Effet de serre** Les conséquences et les mécanismes de l'impact du réchauffement climatique sur les pluies de mousson sont encore incertains.

**Variabilité interne** La convection sur d'autres continents, et les interactions avec les plus petites échelles expliquent aussi une partie de la variabilité.

## Quelles sont les sources de variabilité de la mousson ?

**Surface océanique** À toutes les échelles temporelles, l'océan influence et interagit avec la mousson africaine.

**Surf. continentale** **Désertification** et **déforestation** ont pu jouer un rôle dans l'**évolution décennale** des pluies sahéliennes.

**Aérosols** D'origine naturelle ou anthropique, les aérosols sont susceptibles d'influencer la mousson, *via* le bilan radiatif, la physique nuageuse, ou les SST.

**Effet de serre** Les conséquences et les mécanismes de l'impact du réchauffement climatique sur les pluies de mousson sont encore incertains.

**Variabilité interne** La convection sur d'autres continents, et les interactions avec les plus petites échelles expliquent aussi une partie de la variabilité.

## Quelles sont les sources de variabilité de la mousson ?

**Surface océanique** À toutes les échelles temporelles, l'océan influence et interagit avec la mousson africaine.

**Surf. continentale** Désertification et déforestation ont pu jouer un rôle dans l'évolution décennale des pluies sahéliennes.

**Aérosols** D'origine **naturelle** ou **anthropique**, les aérosols sont susceptibles d'influencer la mousson, *via* le **bilan radiatif**, la **physique nuageuse**, ou les **SST**.

**Effet de serre** Les conséquences et les mécanismes de l'impact du réchauffement climatique sur les pluies de mousson sont encore incertains.

**Variabilité interne** La convection sur d'autres continents, et les interactions avec les plus petites échelles expliquent aussi une partie de la variabilité.

## Quelles sont les sources de variabilité de la mousson ?

- Surface océanique** À toutes les échelles temporelles, l'océan influence et interagit avec la mousson africaine.
- Surf. continentale** Désertification et déforestation ont pu jouer un rôle dans l'évolution décennale des pluies sahéliennes.
  - Aérosols** D'origine naturelle ou anthropique, les aérosols sont susceptibles d'influencer la mousson, *via* le bilan radiatif, la physique nuageuse, ou les SST.
- Effet de serre** Les **conséquences** et les **mécanismes** de l'impact du réchauffement climatique sur les pluies de mousson sont **encore incertains**.
- Variabilité interne** La convection sur d'autres continents, et les interactions avec les plus petites échelles expliquent aussi une partie de la variabilité.

## Quelles sont les sources de variabilité de la mousson ?

**Surface océanique** À toutes les échelles temporelles, l'océan influence et interagit avec la mousson africaine.

**Surf. continentale** Désertification et déforestation ont pu jouer un rôle dans l'évolution décennale des pluies sahéliennes.

**Aérosols** D'origine naturelle ou anthropique, les aérosols sont susceptibles d'influencer la mousson, *via* le bilan radiatif, la physique nuageuse, ou les SST.

**Effet de serre** Les conséquences et les mécanismes de l'impact du réchauffement climatique sur les pluies de mousson sont encore incertains.

**Variabilité interne** La **convection** sur d'autres continents, et les **interactions** avec les **plus petites échelles** expliquent aussi une partie de la variabilité.

## Contexte scientifique et axes d'étude

Étudier la **variabilité** de la mousson africaine à **toutes les échelles** spatio-temporelles est l'un des objectifs du projet AMMA (**Analyses Multi-disciplinaires de la Mousson Africaine**).



## Contexte scientifique et axes d'étude

Étudier la variabilité de la mousson africaine à toutes les échelles spatio-temporelles est l'un des objectifs du projet AMMA (Analyses Multi-disciplinaires de la Mousson Africaine).



À l'échelle climatique, on peut distinguer deux axes d'étude :

- 1 Variabilité intrasaisonnière à interannuelle  
⇒ prévision saisonnière
- 2 Variabilité décennale et changement climatique  
⇒ scénarios climatiques



## Contexte scientifique et axes d'étude

Étudier la variabilité de la mousson africaine à toutes les échelles spatio-temporelles est l'un des objectifs du projet AMMA (Analyses Multi-disciplinaires de la Mousson Africaine).



À l'échelle climatique, on peut distinguer deux axes d'étude :

- 1 Variabilité intrasaisonnière à interannuelle
  - ⇒ prévision saisonnière
- 2 Variabilité décennale et changement climatique
  - ⇒ scénarios climatiques

## Contexte scientifique et axes d'étude

Étudier la variabilité de la mousson africaine à toutes les échelles spatio-temporelles est l'un des objectifs du projet AMMA (Analyses Multi-disciplinaires de la Mousson Africaine).



À l'échelle climatique, on peut distinguer deux axes d'étude :

- 1 Variabilité intrasaisonnière à interannuelle  
⇒ prévision saisonnière
- 2 Variabilité décennale et changement climatique  
⇒ scénarios climatiques

## Contexte scientifique et axes d'étude

Étudier la variabilité de la mousson africaine à toutes les échelles spatio-temporelles est l'un des objectifs du projet AMMA (Analyses Multi-disciplinaires de la Mousson Africaine).



À l'échelle climatique, on peut distinguer deux axes d'étude :

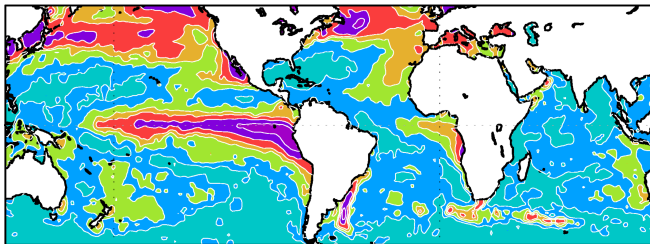
- 1 Variabilité intrasaisonnière à interannuelle
    - ⇒ prévision saisonnière
  - 2 Variabilité décennale et changement climatique
    - ⇒ scénarios climatiques
- ☞ Dans ces deux cas, les modèles couplés océan-atmosphère sont très utiles.

## Rôle des océans à l'échelle interannuelle

Trois bassins jouent un rôle dans la variabilité de la mousson :

- Le golfe de Guinée (Lamb 1978, Fontaine & Janicot 1996, Fontaine et al. 1998, Janicot et al. 1998)
- Le Pacifique équatorial (Janicot et al. 2001, Rowell 2001)
- La Méditerranée (Ward 1998, Rowell 2003, Fontaine et al. 2008)

Écarts-type des températures de surface JJAS

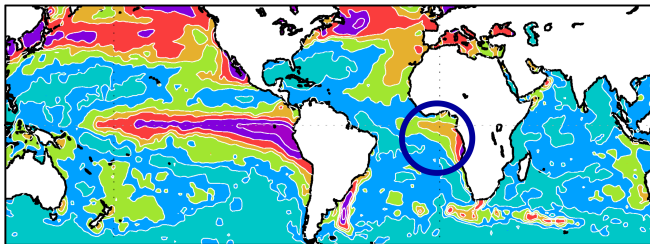


## Rôle des océans à l'échelle interannuelle

Trois bassins jouent un rôle dans la variabilité de la mousson :

- Le golfe de Guinée (Lamb 1978, Fontaine & Janicot 1996, Fontaine et al. 1998, Janicot et al. 1998)
- Le Pacifique équatorial (Janicot et al. 2001, Rowell 2001)
- La Méditerranée (Ward 1998, Rowell 2003, Fontaine et al. 2008)

Écarts-type des températures de surface JJAS

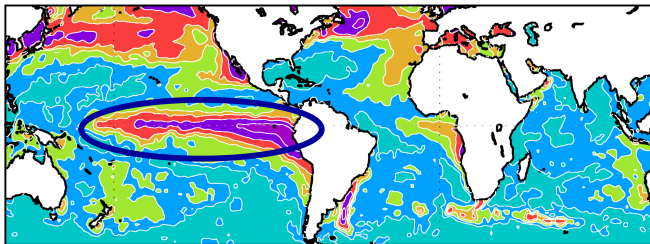


## Rôle des océans à l'échelle interannuelle

Trois bassins jouent un rôle dans la variabilité de la mousson :

- Le golfe de Guinée (Lamb 1978, Fontaine & Janicot 1996, Fontaine et al. 1998, Janicot et al. 1998)
- Le Pacifique équatorial (Janicot et al. 2001, Rowell 2001)
- La Méditerranée (Ward 1998, Rowell 2003, Fontaine et al. 2008)

Écarts-type des températures de surface JJAS

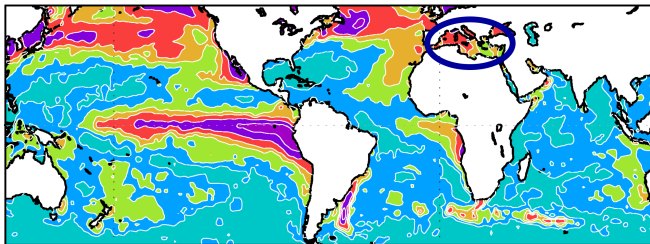


## Rôle des océans à l'échelle interannuelle

Trois bassins jouent un rôle dans la variabilité de la mousson :

- Le golfe de Guinée (Lamb 1978, Fontaine & Janicot 1996, Fontaine et al. 1998, Janicot et al. 1998)
- Le Pacifique équatorial (Janicot et al. 2001, Rowell 2001)
- La Méditerranée (Ward 1998, Rowell 2003, Fontaine et al. 2008)

Écarts-type des températures de surface JJAS



## Variabilité interannuelle : problématique

### Questions abordées :

- Existe-t-il des liens avec d'autres bassins océaniques ?
- Quels sont les mécanismes physiques de ces interactions ?
- Ces phénomènes sont-ils reproduits par les modèles de climat ?



## Variabilité interannuelle : problématique

Questions abordées :

- Existe-t-il des liens avec d'autres bassins océaniques ?
- Quels sont les mécanismes physiques de ces interactions ?
- Ces phénomènes sont-ils reproduits par les modèles de climat ?

## Variabilité interannuelle : problématique

Questions abordées :

- Existe-t-il des liens avec d'autres bassins océaniques ?
- Quels sont les **mécanismes physiques** de ces interactions ?
- Ces phénomènes sont-ils reproduits par les modèles de climat ?

## Variabilité interannuelle : problématique

Questions abordées :

- Existe-t-il des liens avec d'autres bassins océaniques ?
- Quels sont les mécanismes physiques de ces interactions ?
- Ces phénomènes sont-ils reproduits par les **modèles de climat** ?

## Variabilité interannuelle : problématique

Questions abordées :

- Existe-t-il des liens avec d'autres bassins océaniques ?
- Quels sont les mécanismes physiques de ces interactions ?
- Ces phénomènes sont-ils reproduits par les modèles de climat ?

Plan de cet exposé :

- 1 Interactions observées au 20<sup>e</sup> siècle
- 2 Interactions simulées par les modèles CMIP3
- 3 Étude des mécanismes dans le modèle du CNRM

## Variabilité interannuelle : problématique

Questions abordées :

- Existe-t-il des liens avec d'autres bassins océaniques ?
- Quels sont les mécanismes physiques de ces interactions ?
- Ces phénomènes sont-ils reproduits par les modèles de climat ?

Plan de cet exposé :

- 1 Interactions observées au 20<sup>e</sup> siècle
- 2 Interactions simulées par les modèles CMIP3
- 3 Étude des mécanismes dans le modèle du CNRM

## Variabilité interannuelle : problématique

Questions abordées :

- Existe-t-il des liens avec d'autres bassins océaniques ?
- Quels sont les mécanismes physiques de ces interactions ?
- Ces phénomènes sont-ils reproduits par les modèles de climat ?

Plan de cet exposé :

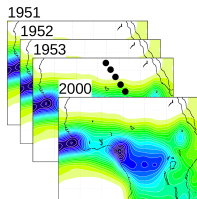
- 1 Interactions observées au 20<sup>e</sup> siècle
- 2 Interactions simulées par les modèles CMIP3
- 3 Étude des mécanismes dans le modèle du CNRM

# Première partie

- 1 Interactions observées au 20<sup>e</sup> siècle
  - Données, méthode, et résultats
  - Rôle du Pacifique tropical
  - Rôle du golfe de Guinée
  - Rôle de la Méditerranée
- 2 Interactions simulées par les modèles CMIP3
- 3 Étude des mécanismes dans le modèle du CNRM

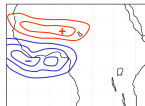
## Outils statistiques utilisés

- Analyse en composantes principales (ACP, PCA, ou EOF)



Mode 1

Composante Spatiale



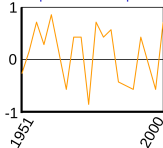
Mode 2

...

...

...

Composante Temporelle



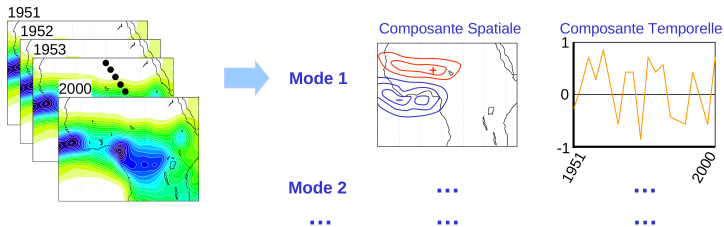
...

...

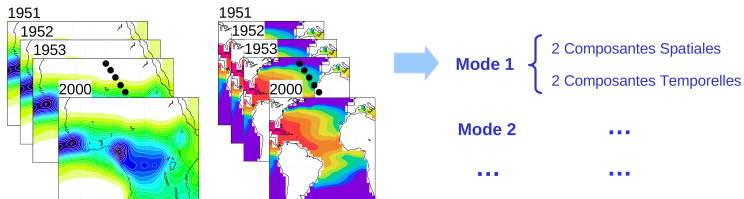


## Outils statistiques utilisés

- Analyse en composantes principales (ACP, PCA, ou EOF)



- Analyse en maximum de covariance (MCA ou SVD)



## Données et méthode

- 1 Filtrage des données  $\Rightarrow$  Variabilité interannuelle (< 9 ans)
- 2 MCA entre les pluies de mousson et les SST de chaque bassin

## Données et méthode

- 1 Filtrage des données → Variabilité interannuelle (< 9 ans)
- 2 MCA entre les pluies de mousson et les SST de chaque bassin

	Précip.	SST
Données	CRUTS2.1 (CRU) 1901-2002	
	CRUTS2.1 (CRU) 1951-2002	HadISST1 (HadC)
	GPCC 1951-2000	

## Données et méthode

- 1 Filtrage des données → Variabilité interannuelle (< 9 ans)
- 2 MCA entre les pluies de mousson et les SST de chaque bassin

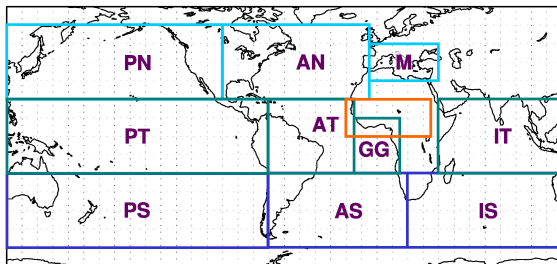
	Précip.	SST
Données	CRUTS2.1 (CRU) 1901-2002	
	CRUTS2.1 (CRU) 1951-2002	HadISST1 (HadC)
	GPCC 1951-2000	
Saisons	JAS, JJAS, MJJASO, MJJ, ASO	JFM, AMJ, JAS, OND

## Données et méthode

- 1 Filtrage des données → Variabilité interannuelle (< 9 ans)
- 2 MCA entre les pluies de mousson et les SST de chaque bassin

	Précip.	SST
Données	CRUTS2.1 (CRU) 1901-2002	HadISST1 (HadC)
	CRUTS2.1 (CRU) 1951-2002	
	GPCC 1951-2000	
Saisons	JAS, JJAS, MJJASO, MJJ, ASO	JFM, AMJ, JAS, OND

Secteurs



## Tri des résultats. . .

- À l'issue des 600 MCA, seuls les modes **significatifs à 95%** sont conservés ;
- Pour chaque bassin, on retient le mode qui explique le plus de covariance ;
- Les séries temporelles de SST obtenues pour chaque bassin sont corrélées entre elles, pour détecter les modes dominants.

## Tri des résultats. . .

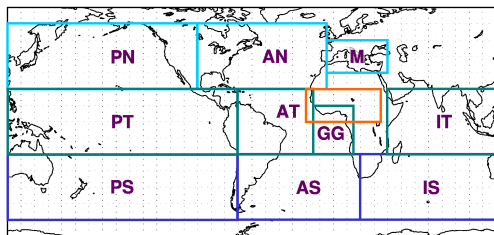
- À l'issue des 600 MCA, seuls les modes significatifs à 95% sont conservés ;
- Pour chaque bassin, on retient le mode qui explique le plus de covariance ;
- Les séries temporelles de SST obtenues pour chaque bassin sont corrélées entre elles, pour détecter les modes dominants.

## Tri des résultats. . .

- À l'issue des 600 MCA, seuls les modes significatifs à 95% sont conservés ;
- Pour chaque bassin, on retient le mode qui explique le plus de covariance ;
- Les séries temporelles de SST obtenues pour chaque bassin sont corrélées entre elles, pour détecter les modes dominants.

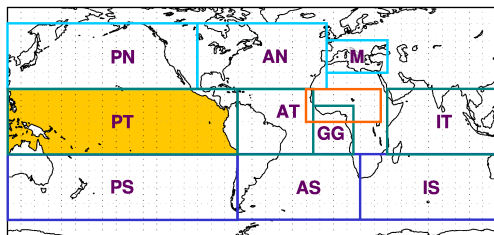


## Liens statistiques mis en évidence



Les pluies de mousson en Afrique de l'ouest sont **statistiquement liées** à la variabilité interannuelle des SST :

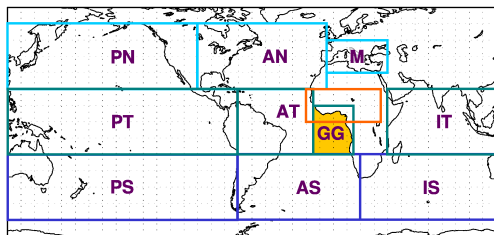
## Liens statistiques mis en évidence



Les pluies de mousson en Afrique de l'ouest sont statistiquement liées à la variabilité interannuelle des SST :

- Du Pacifique tropical (corrélation $\approx$ 0.7)
- Du golfe de Guinée (corrélation $\approx$ 0.7)
- De la Méditerranée (corrélation $\approx$ 0.6)

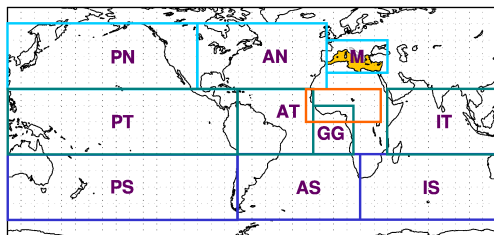
## Liens statistiques mis en évidence



Les pluies de mousson en Afrique de l'ouest sont statistiquement liées à la variabilité interannuelle des SST :

- Du Pacifique tropical (corrélation $\approx$ 0.7)
- Du golfe de Guinée (corrélation $\approx$ 0.7)
- De la Méditerranée (corrélation $\approx$ 0.6)

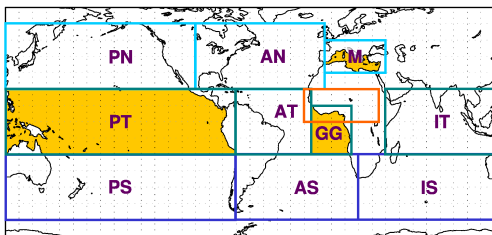
## Liens statistiques mis en évidence



Les pluies de mousson en Afrique de l'ouest sont statistiquement liées à la variabilité interannuelle des SST :

- Du Pacifique tropical (corrélations  $\approx 0.7$ )
- Du golfe de Guinée (corrélations  $\approx 0.7$ )
- De la Méditerranée (corrélations  $\approx 0.6$ )

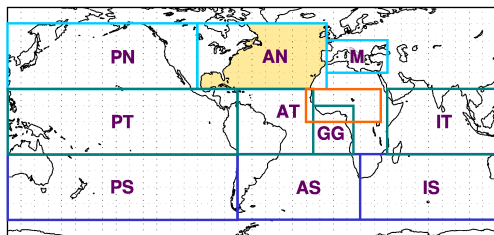
## Liens statistiques mis en évidence



Les pluies de mousson en Afrique de l'ouest sont statistiquement liées à la variabilité interannuelle des SST :

- Du **Pacifique tropical** (corrélation $\approx$ 0.7)
- Du **golfe de Guinée** (corrélation $\approx$ 0.7)
- De la **Méditerranée** (corrélation $\approx$ 0.6)

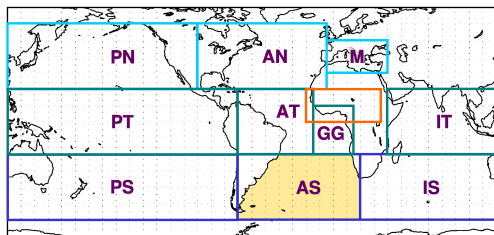
## Liens statistiques mis en évidence



Les pluies de mousson en Afrique de l'ouest sont statistiquement liées à la variabilité interannuelle des SST :

- Du Pacifique tropical (corrélation $\approx$ 0.7)
- Du golfe de Guinée (corrélation $\approx$ 0.7)
- De la Méditerranée (corrélation $\approx$ 0.6)
- De l'Atlantique nord (corrélation=0.54)

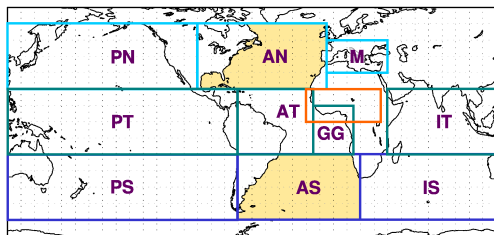
## Liens statistiques mis en évidence



Les pluies de mousson en Afrique de l'ouest sont statistiquement liées à la variabilité interannuelle des SST :

- Du Pacifique tropical (corrélation $\approx$ 0.7)
- Du golfe de Guinée (corrélation $\approx$ 0.7)
- De la Méditerranée (corrélation $\approx$ 0.6)
- De l'Atlantique nord (corrélation=0.54)
- De l'Atlantique sud (corrélation=0.59)

## Liens statistiques mis en évidence



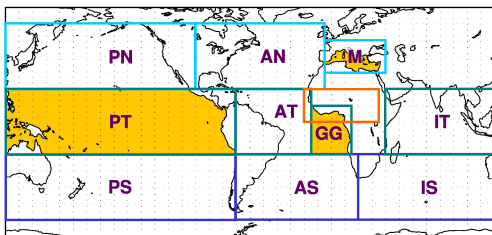
Les pluies de mousson en Afrique de l'ouest sont statistiquement liées à la variabilité interannuelle des SST :

- Du Pacifique tropical (corrélation $\approx$ 0.7)
- Du golfe de Guinée (corrélation $\approx$ 0.7)
- De la Méditerranée (corrélation $\approx$ 0.6)
- De l'Atlantique nord (corrélation=0.54)
- De l'Atlantique sud (corrélation=0.59)

CRU 1901–2002



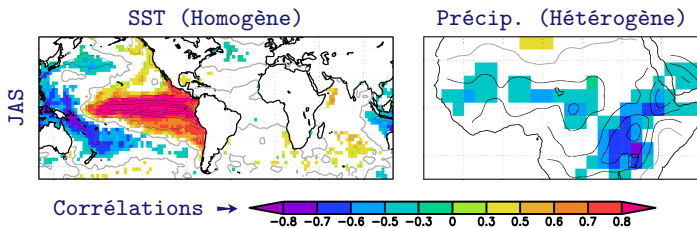
## Liens statistiques mis en évidence



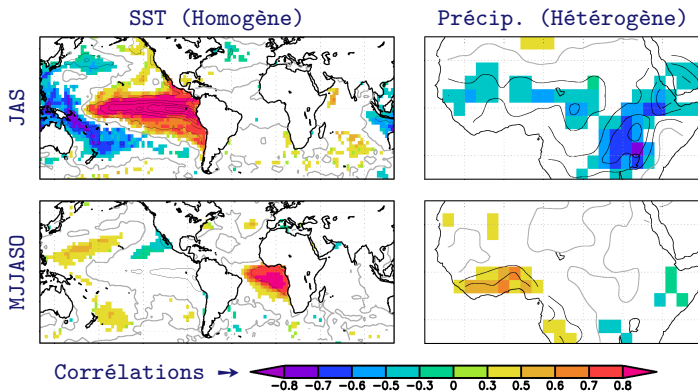
Les pluies de mousson en Afrique de l'ouest sont statistiquement liées à la variabilité interannuelle des SST :

- Du **Pacifique tropical** (corrélation $\approx$ 0.7)
- Du **golfe de Guinée** (corrélation $\approx$ 0.7)
- De la **Méditerranée** (corrélation $\approx$ 0.6)

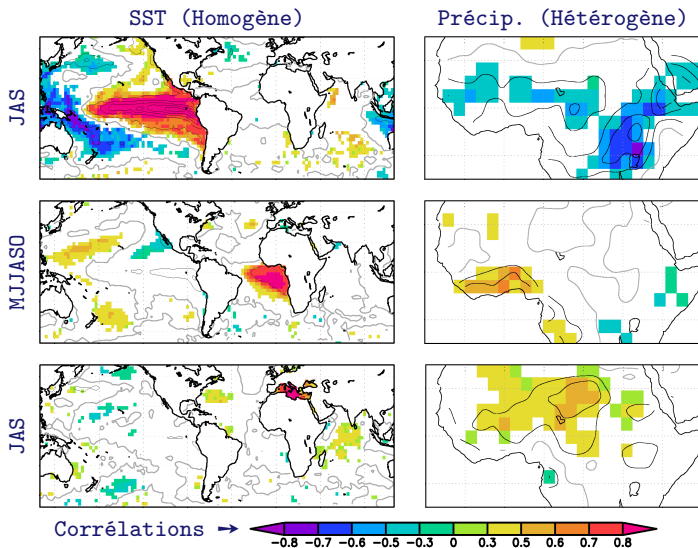
## Composantes spatiales (Obtenues avec GPCP 1951–2000)



## Composantes spatiales (Obtenues avec GPCP 1951–2000)

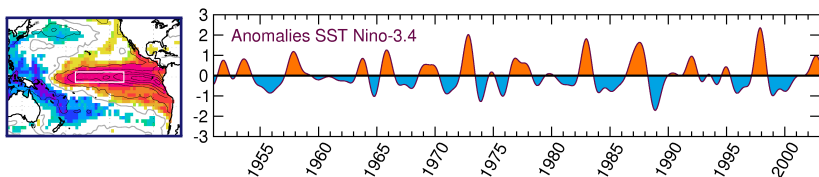


## Composantes spatiales (Obtenues avec GPCP 1951–2000)



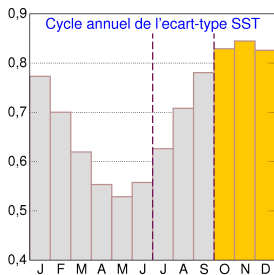
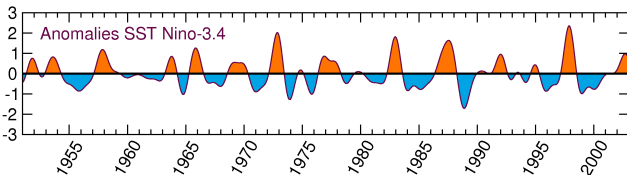
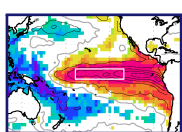
## ① Rôle du Pacifique tropical

À l'échelle interannuelle, l'El Niño–Southern Oscillation (ENSO) est le principal mode de variabilité des SST sous les tropiques.



## ① Rôle du Pacifique tropical

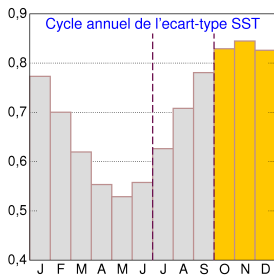
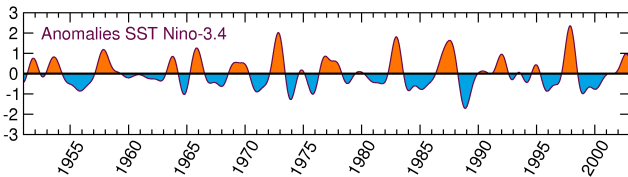
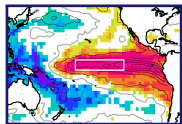
À l'échelle interannuelle, l'El Niño–Southern Oscillation (ENSO) est le principal mode de variabilité des SST sous les tropiques.



Les anomalies de SST liées à l'ENSO sont maximales entre octobre et décembre.

## ① Rôle du Pacifique tropical

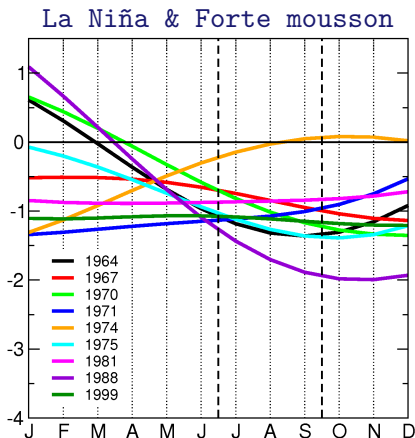
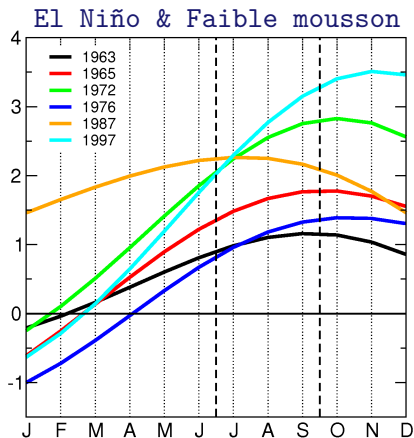
À l'échelle interannuelle, l'El Niño–Southern Oscillation (ENSO) est le principal mode de variabilité des SST sous les tropiques.



Les anomalies de SST liées à l'ENSO sont maximales entre octobre et décembre.

👉 Quels événements ENSO influencent la mousson africaine ?

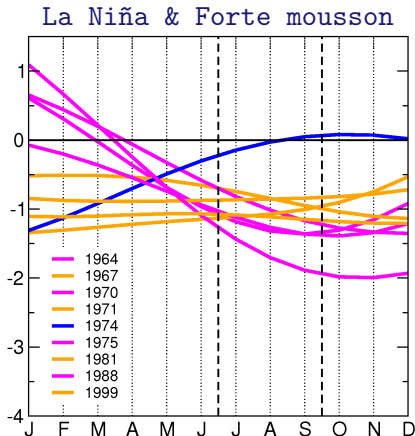
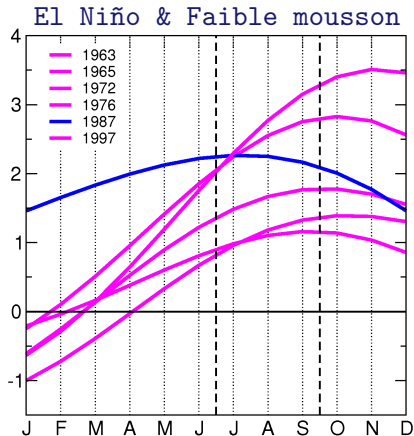
## Quels événements ENSO influencent la mousson ?



➔ Évolution de l'indice ENSO pour les années sélectionnées

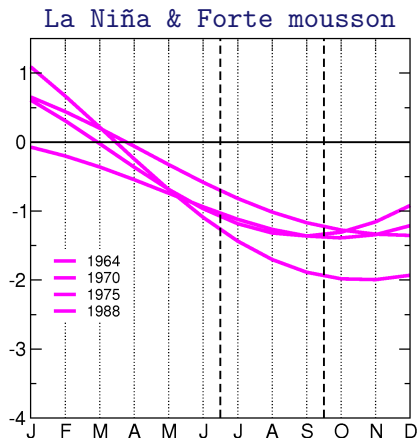
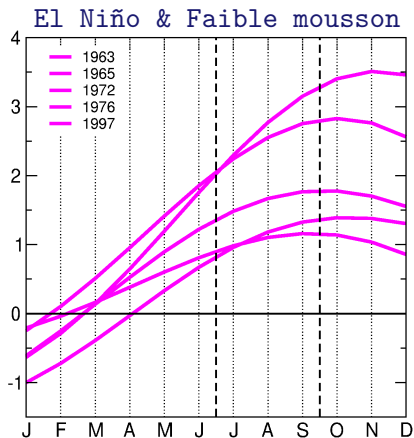


## Quels événements ENSO influencent la mousson ?



➔ Évolution de l'indice ENSO pour les années sélectionnées

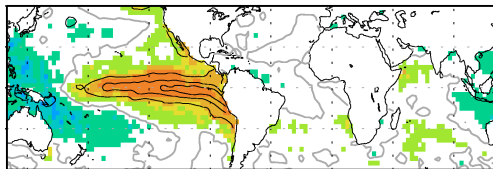
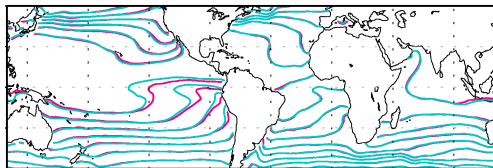
## Quels événements ENSO influencent la mousson ?



➔ Évolution de l'indice ENSO pour les années sélectionnées

## Débuts d'événements ENSO (Composites Niño–Niña JAS)

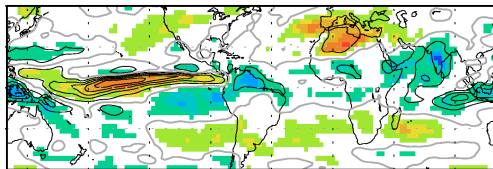
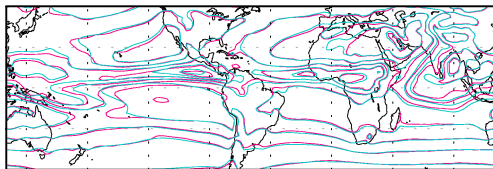
SST HadC (°C)



➡ Fractions d'écart-type

## Débuts d'événements ENSO (Composites Niño–Niña JAS)

OLR ERA40 ( $\text{W/m}^2$ )



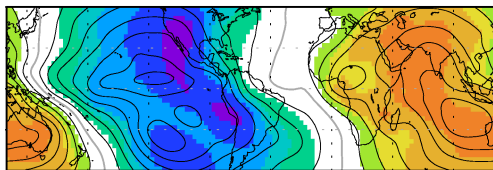
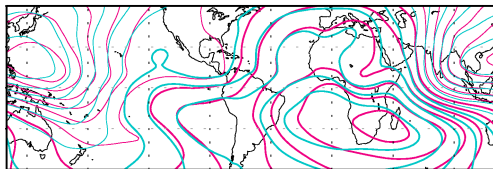
↳ Fractions d'écart-type

Lors d'un événement chaud :

- Renforcement de la convection

## Débuts d'événements ENSO (Composites Niño–Niña JAS)

KHI ERA40 à 200hPa ( $m^2/s$ )



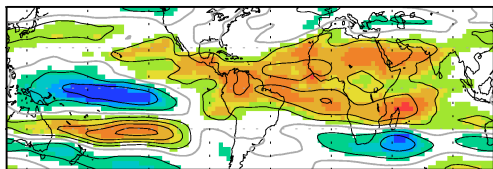
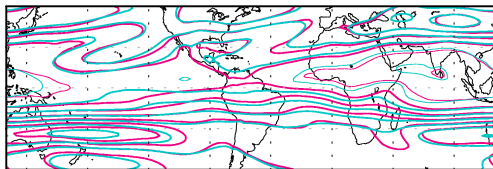
➔ Fractions d'écart-type

Lors d'un événement chaud :

- Renforcement de la convection
- Subsidence compensatoire sur l'Indien et l'Afrique

## Débuts d'événements ENSO (Composites Niño–Niña JAS)

U ERA40 à 200hPa (m/s)



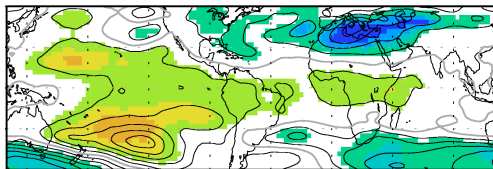
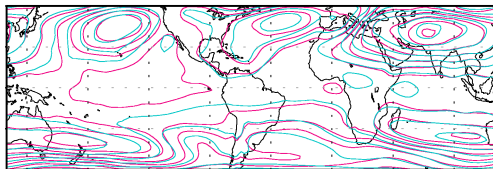
➡ Fractions d'écart-type

Lors d'un événement chaud :

- Renforcement de la convection
- Subsidence compensatoire sur l'Indien et l'Afrique
- Affaiblissement du TEJ

## Débuts d'événements ENSO (Composites Niño–Niña JAS)

T ERA40 à 200hPa (°C)



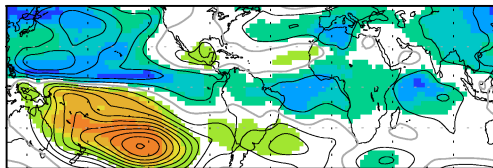
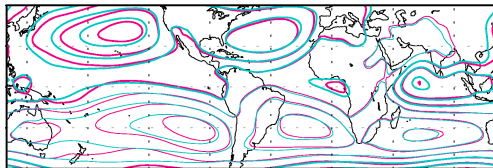
➔ Fractions d'écart-type

Lors d'un événement chaud :

- Renforcement de la convection
- Subsidence compensatoire sur l'Indien et l'Afrique
- Affaiblissement du TEJ
- Anomalie de température

## Débuts d'événements ENSO (Composites Niño–Niña JAS)

PSI ERA40 à 925hPa ( $\text{m}^2/\text{s}$ )



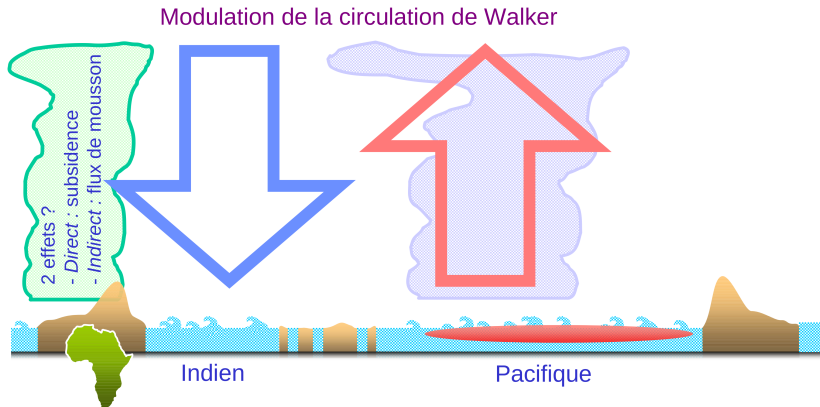
➔ Fractions d'écart-type

Lors d'un événement chaud :

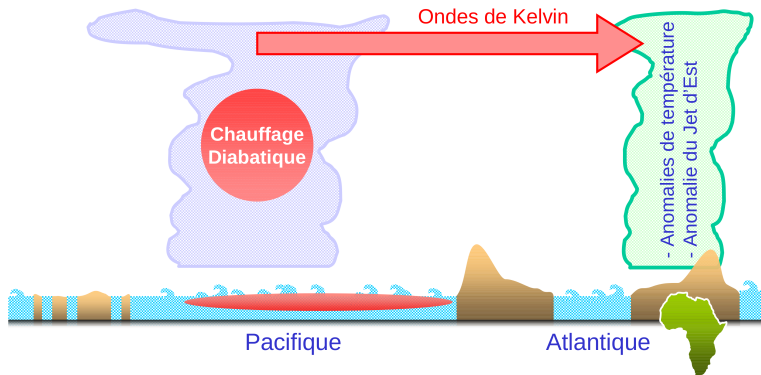
- Renforcement de la convection
- Subsidence compensatoire sur l'Indien et l'Afrique
- Affaiblissement du TEJ
- Anomalie de température
- Circulation de mousson plus faible



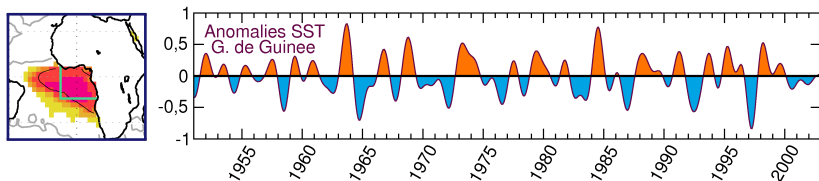
## Mécanismes de la téléconnexion ENSO



## Mécanismes de la téléconnexion ENSO

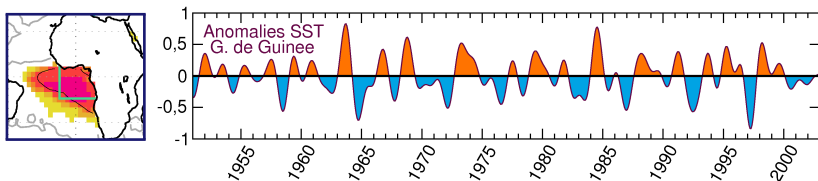


## ② Rôle du golfe de Guinée

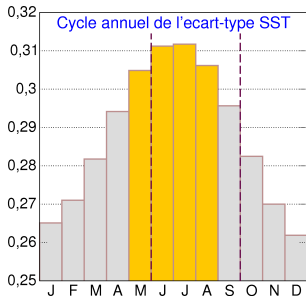


Les anomalies de SST sont deux fois plus faibles que pour l'ENSO.

## ② Rôle du golfe de Guinée

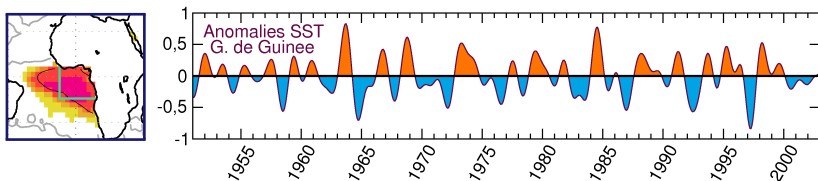


Les anomalies de SST sont deux fois plus faibles que pour l'ENSO.

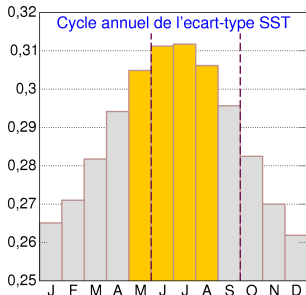


La variabilité est maximale entre mai et août (MJJA).

## ② Rôle du golfe de Guinée



Les anomalies de SST sont deux fois plus faibles que pour l'ENSO.

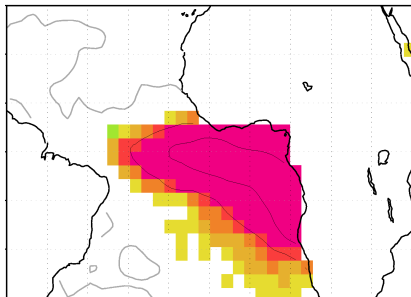


La variabilité est maximale entre mai et août (MJJA).

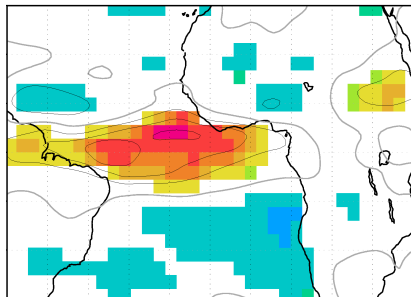
☞ Le 1<sup>er</sup> mode d'une ACP des anomalies MJJA explique 79% de la variance des SST filtrées : il s'agit de l'Atlantic Niño.

## Rôle du golfe de Guinée (Corrélations et régressions MJJA)

SST HadC (°C)



OLR ERA40 (W/m<sup>2</sup>)



Corrélations →

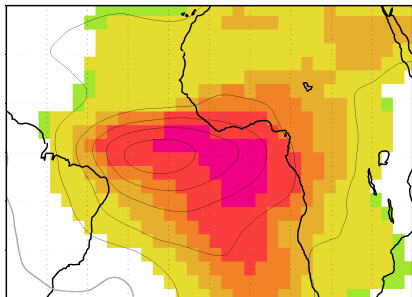


Lors d'un événement chaud :

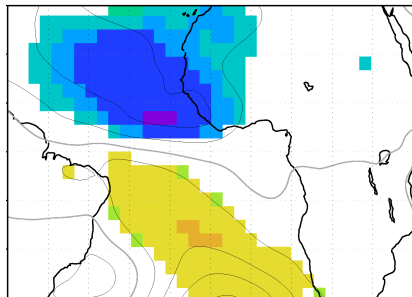
- Renforcement de la convection dans la ZCIT océanique

## Rôle du golfe de Guinée (Corrélations et régressions MJJA)

KHI ERA40 à 1000hPa ( $m^2/s$ )



PSI ERA40 à 1000hPa ( $m^2/s$ )



Corrélations →

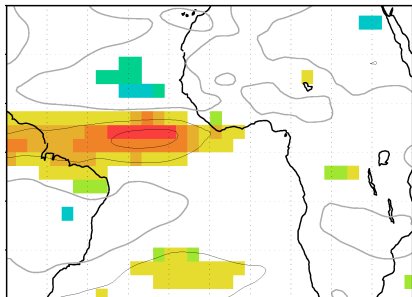


Lors d'un événement chaud :

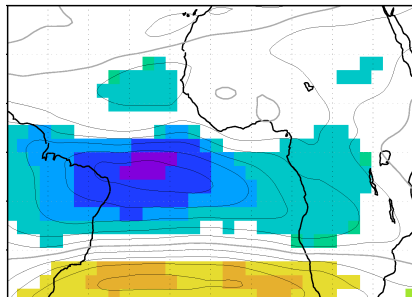
- Renforcement de la convection dans la ZCIT océanique
- Forte modification de la circulation en surface

## Rôle du golfe de Guinée (Corrélations et régressions MJJA)

U ERA40 à 600hPa (m/s)



U ERA40 à 200hPa (m/s)



Corrélations →



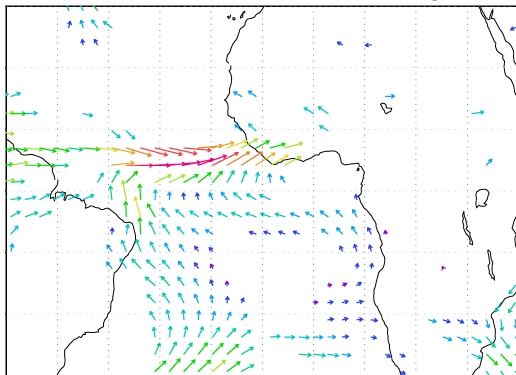
Lors d'un événement chaud :

- Renforcement de la convection dans la ZCIT océanique
- Forte modification de la circulation en surface
- Aucune anomalie du vent en altitude au dessus du continent



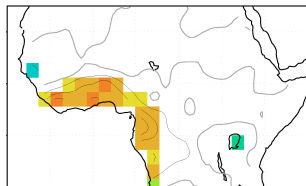
## Rôle du golfe de Guinée : mécanismes

Advect. d'humidité ERA40 (régress.)



20

Pluies GPCP

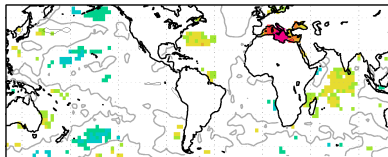


➡ Corrélations

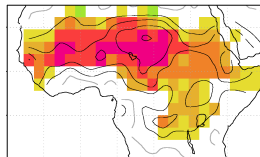
Les anomalies en basses-couches (température, humidité, et vent) expliquent manifestement l'anomalie des pluies observées.

### ③ Rôle de la Méditerranée

SST JAS (HadC)

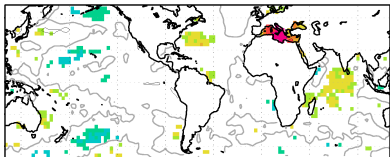


Précip. JAS (GPCC)



### ③ Rôle de la Méditerranée

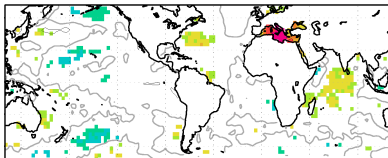
SST JAS (HadC)



☞ Quelles sont les anomalies atmosphériques associées ?

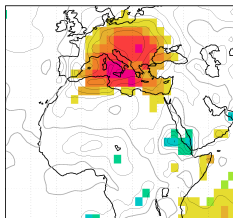
### ③ Rôle de la Méditerranée

SST JAS (HadC)

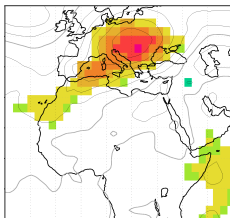


🗨️ Quelles sont les anomalies atmosphériques associées ?

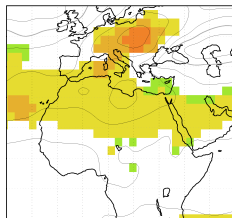
T ERA40 à 1000hPa



T ERA40 à 700hPa



T ERA40 à 300hPa

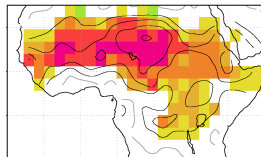


Corrélations →



### ③ Rôle de la Méditerranée

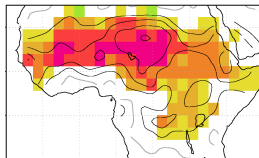
Précip. JAS (GPCC)



☞ Quelles sont les anomalies atmosphériques associées ?

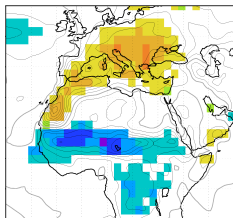
### ③ Rôle de la Méditerranée

Précip. JAS (GPCC)

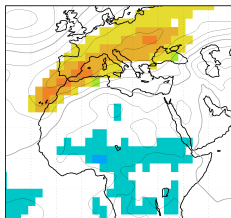


👉 Quelles sont les anomalies atmosphériques associées ?

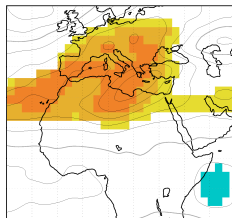
T ERA40 à 1000hPa



T ERA40 à 700hPa



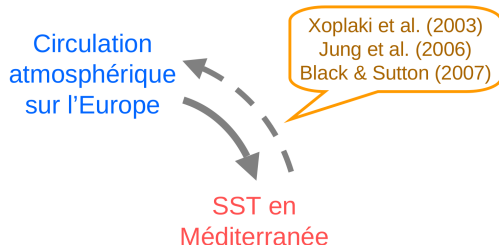
T ERA40 à 300hPa



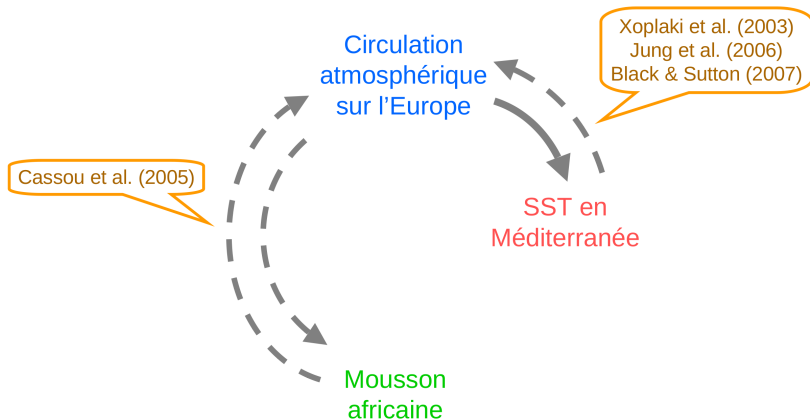
Corrélations →



## À quel jeu joue la Méditerranée ?

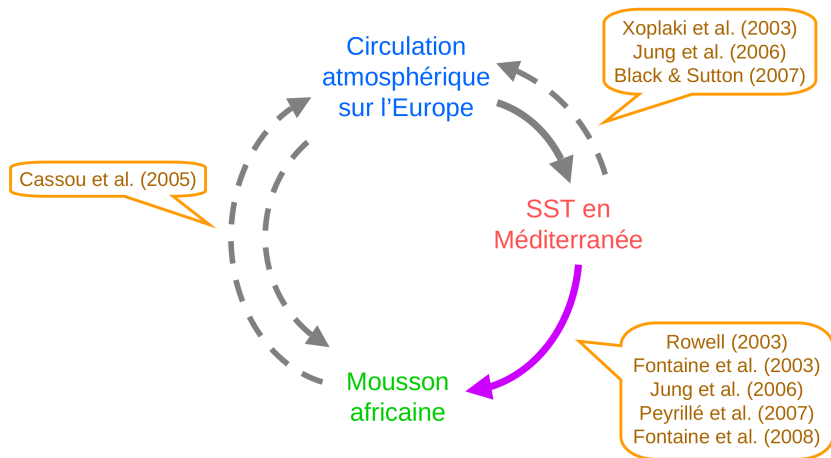


## À quel jeu joue la Méditerranée ?



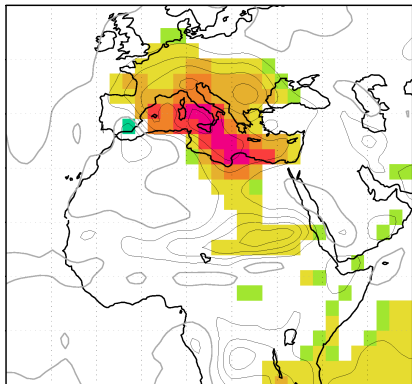


## À quel jeu joue la Méditerranée ?

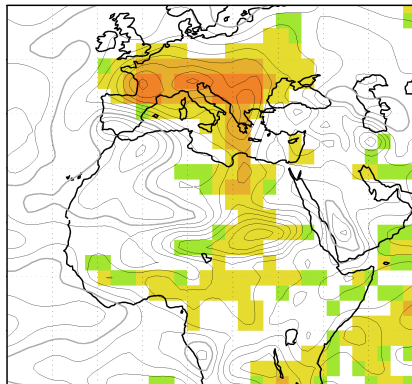


## Influence directe des SST ? (Corrélations et régressions JAS)

Humidité NCEP à 1000hPa



Humidité NCEP à 850hPa



Corrélations →



Une anomalie d'humidité est bien présente en basses-couches.

## Bilan de la 1<sup>re</sup> partie

### Rôle du Pacifique tropical

- L'influence de l'ENSO a lieu **soit au début** d'événements précoces, **soit au cours** d'événements La Niña persistants.
- Au début des événements ENSO, la circulation sous les tropiques est modifiée en altitude, et dans les basses-couches.

### Rôle du golfe de Guinée

- La variabilité Atlantic Niño est maximale en juin–juillet.
- Les pluies de la côte guinéenne sont en marge d'anomalies de basses-couches qui modulent l'advection d'humidité.

### Rôle de la Méditerranée

- Il y a manifestation interaction entre les tropiques et les moyennes latitudes à l'échelle interannuelle.
- L'influence des SST méditerranéennes sur la mousson est difficile à séparer du contexte de grande-échelle.

## Bilan de la 1<sup>re</sup> partie

### Rôle du Pacifique tropical

- L'influence de l'ENSO a lieu soit au début d'événements précoces, soit au cours d'événements La Niña persistants.
- Au début des événements ENSO, la circulation sous les tropiques est modifiée en altitude, et dans les basses-couches.

### Rôle du golfe de Guinée

- La variabilité Atlantic Niño est maximale en juin–juillet.
- Les pluies de la côte guinéenne sont en marge d'anomalies de basses-couches qui modulent l'advection d'humidité.

### Rôle de la Méditerranée

- Il y a manifestation interaction entre les tropiques et les moyennes latitudes à l'échelle interannuelle.
- L'influence des SST méditerranéennes sur la mousson est difficile à séparer du contexte de grande-échelle.

## Bilan de la 1<sup>re</sup> partie

### Rôle du Pacifique tropical

- L'influence de l'ENSO a lieu soit au début d'événements précoces, soit au cours d'événements La Niña persistants.
- Au début des événements ENSO, la circulation sous les tropiques est modifiée en altitude, et dans les basses-couches.

### Rôle du golfe de Guinée

- La variabilité **Atlantic Niño** est maximale en **juin–juillet**.
- Les pluies de la côte guinéenne sont en marge d'anomalies de basses-couches qui modulent l'advection d'humidité.

### Rôle de la Méditerranée

- Il y a manifestation interaction entre les tropiques et les moyennes latitudes à l'échelle interannuelle.
- L'influence des SST méditerranéennes sur la mousson est difficile à séparer du contexte de grande-échelle.

## Bilan de la 1<sup>re</sup> partie

### Rôle du Pacifique tropical

- L'influence de l'ENSO a lieu soit au début d'événements précoces, soit au cours d'événements La Niña persistants.
- Au début des événements ENSO, la circulation sous les tropiques est modifiée en altitude, et dans les basses-couches.

### Rôle du golfe de Guinée

- La variabilité Atlantic Niño est maximale en juin–juillet.
- Les pluies de la côte guinéenne sont **en marge** d'anomalies de **basses-couches** qui modulent l'advection d'humidité.

### Rôle de la Méditerranée

- Il y a manifestation interaction entre les tropiques et les moyennes latitudes à l'échelle interannuelle.
- L'influence des SST méditerranéennes sur la mousson est difficile à séparer du contexte de grande-échelle.

## Bilan de la 1<sup>re</sup> partie

### Rôle du Pacifique tropical

- L'influence de l'ENSO a lieu soit au début d'événements précoces, soit au cours d'événements La Niña persistants.
- Au début des événements ENSO, la circulation sous les tropiques est modifiée en altitude, et dans les basses-couches.

### Rôle du golfe de Guinée

- La variabilité Atlantic Niño est maximale en juin–juillet.
- Les pluies de la côte guinéenne sont en marge d'anomalies de basses-couches qui modulent l'advection d'humidité.

### Rôle de la Méditerranée

- Il y a manifestation **interaction** entre les **tropiques** et les **moyennes latitudes** à l'échelle interannuelle.
- L'influence des SST méditerranéennes sur la mousson est difficile à séparer du contexte de grande-échelle.

## Bilan de la 1<sup>re</sup> partie

### Rôle du Pacifique tropical

- L'influence de l'ENSO a lieu soit au début d'événements précoces, soit au cours d'événements La Niña persistants.
- Au début des événements ENSO, la circulation sous les tropiques est modifiée en altitude, et dans les basses-couches.

### Rôle du golfe de Guinée

- La variabilité Atlantic Niño est maximale en juin–juillet.
- Les pluies de la côte guinéenne sont en marge d'anomalies de basses-couches qui modulent l'advection d'humidité.

### Rôle de la Méditerranée

- Il y a manifestation interaction entre les tropiques et les moyennes latitudes à l'échelle interannuelle.
- L'influence des SST méditerranéennes sur la mousson est difficile à séparer du contexte de grande-échelle.

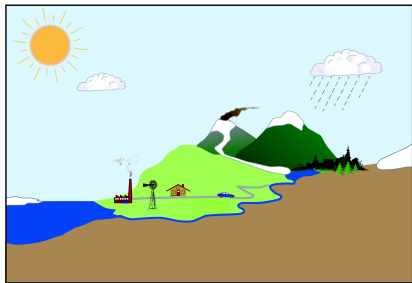


## Deuxième partie

- 1 Interactions observées au 20<sup>e</sup> siècle
- 2 Interactions simulées par les modèles CMIP3
  - Questions et méthode
  - Rôle du Pacifique tropical
  - Rôle du golfe de Guinée
  - Rôle de la Méditerranée
- 3 Étude des mécanismes dans le modèle du CNRM

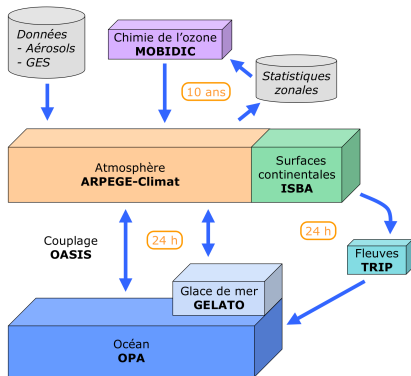
## Qu'est-ce qu'un modèle de climat ?

### Système climatique



Le climat est le fruit d'interactions entre l'atmosphère, l'hydrosphère, la cryosphère, les surfaces continentales, et la biosphère.

### Modèle CNRM-CM3



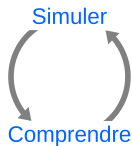
## À quoi sert un modèle de climat ?

Les observations et réanalyses racontent une **même** histoire, qui présente des **lacunes**. Un modèle est donc très utile pour :

## À quoi sert un modèle de climat ?

Les observations et réanalyses racontent une même histoire, qui présente des lacunes. Un modèle est donc très utile pour :

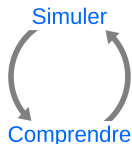
**Comprendre** Faire des expériences pour tester des hypothèses



## À quoi sert un modèle de climat ?

Les observations et réanalyses racontent une même histoire, qui présente des lacunes. Un modèle est donc très utile pour :

**Comprendre** Faire des expériences pour tester des hypothèses



**Prévoir** Prévision saisonnière et scénarios climatiques

## Problématique et méthode

L'océan est une **source de variabilité** et de **prévisibilité** pour les pluies de mousson en Afrique de l'ouest.

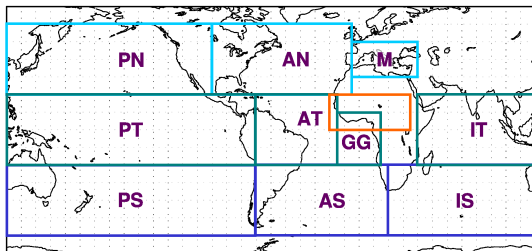
☞ Les modèles couplés simulent-ils les interactions observées ?

## Problématique et méthode

L'océan est une source de variabilité et de prévisibilité pour les pluies de mousson en Afrique de l'ouest.

🗨️ Les modèles couplés simulent-ils les interactions observées ?

➡ À l'aide de l'analyse en maximum de covariance (MCA), détectons les liens synchrones JJAS dans 15 simulations CMIP3.



## Quels liens, dans quels modèles ?

	PT	AT	GG	IT	PN	AN	M	PS	AS	IS
Obs.										
BCCR										
CCCMA_t63										
CNRM										
CSIRO										
GFDL										
HADCM3										
HADGEM1										
INGV										
INM										
IPSL										
MIROC_h										
MIROC_med										
MPI										
MRI										
NCAR										

 Mode de covariabilité significatif



## Quels liens, dans quels modèles ?

	PT	AT	GG	IT	PN	AN	M	PS	AS	IS
Obs.	■		■				■			
BCCR										
CCCMA_t63	■			■						■
CNRM	■	■	■	■	■	■	■	■		
CSIRO	■				■			■		
GFDL			■					■		
HADCM3	■				■			■		
HADGEM1			■			■				
INGV	■	■	■	■		■		■		■
INM	■			■						
IPSL	■				■		■			■
MIROC_h										
MIROC_med	■									
MPI	■	■	■	■	■			■		■
MRI		■	■	■	■			■		
NCAR	■	■	■		■	■	■			

■ Mode corrélé à l'ENSO

■ Mode indépendant de l'ENSO

## Quels liens, dans quels modèles ?

	PT	GG	M
Obs.	■	■	■
BCCR			
CCCMA_t63	■		
CNRM	■	■	■
CSIRO	■		
GFDL		■	
HADCM3	■		
HADGEM1		■	
INGV	■	■	
INM	■		
IPSL	■		■
MIROChi			
MIROCmed	■		
MPI	■	■	
MRI	■	■	
NCAR	■	■	■

■ Mode corrélé à l'ENSO

■ Mode indépendant

- L'influence de l'ENSO est présente dans la plupart des simulations.
- Des liens avec le golfe de Guinée et la Méditerranée sont présents dans quelques modèles seulement.

## ① Rôle du Pacifique tropical

**Constat** Des téléconnexions ENSO très variées dans CMIP3

## ① Rôle du Pacifique tropical

**Constat** Des téléconnexions ENSO très variées dans CMIP3

**Causes** On peut distinguer **trois** symptômes :

- ① Les biais du déroulement temporel de l'ENSO
- ② Une réponse de l'atmosphère souvent trop lente
- ③ Une réponse des pluies très dépendante du modèle

## ① Rôle du Pacifique tropical

**Constat** Des téléconnexions ENSO très variées dans CMIP3

**Causes** On peut distinguer trois symptômes :

- ① Les biais du déroulement temporel de l'ENSO
- ② Une réponse de l'atmosphère souvent trop lente
- ③ Une réponse des pluies très dépendante du modèle

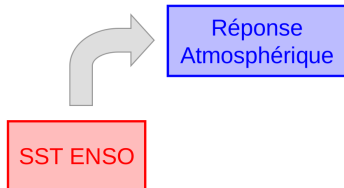
SST ENSO

## ① Rôle du Pacifique tropical

**Constat** Des téléconnexions ENSO très variées dans CMIP3

**Causes** On peut distinguer trois symptômes :

- ① Les biais du déroulement temporel de l'ENSO
- ② Une réponse de l'atmosphère souvent trop lente
- ③ Une réponse des pluies très dépendante du modèle



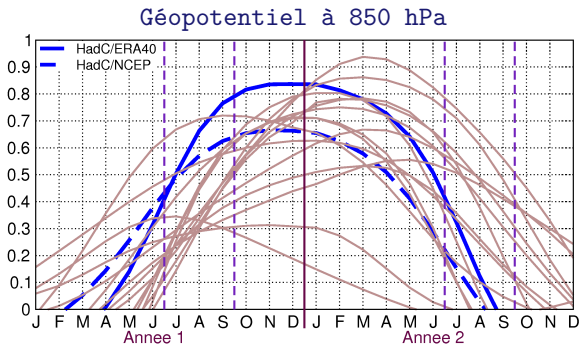
## ① Rôle du Pacifique tropical

**Constat** Des téléconnexions ENSO très variées dans CMIP3

**Causes** On peut distinguer trois symptômes :

- ① Les biais du déroulement temporel de l'ENSO
- ② Une réponse de l'atmosphère souvent trop lente
- ③ Une réponse des pluies très dépendante du modèle

Corrélations d'un indice ENSO (ACP SST OND) avec un indice mensuel sur l'Afrique →



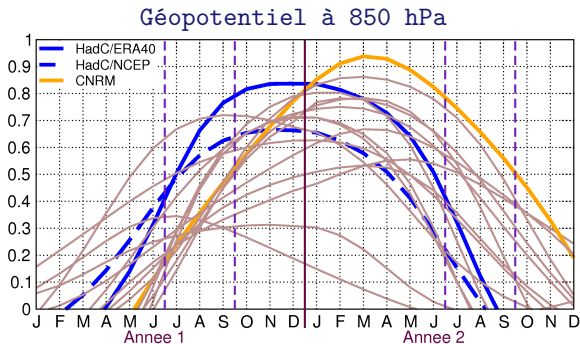
## ① Rôle du Pacifique tropical

**Constat** Des téléconnexions ENSO très variées dans CMIP3

**Causes** On peut distinguer trois symptômes :

- ① Les biais du déroulement temporel de l'ENSO
- ② Une réponse de l'atmosphère souvent trop lente
- ③ Une réponse des pluies très dépendante du modèle

Corrélations d'un indice ENSO (ACP SST OND) avec un indice mensuel sur l'Afrique →



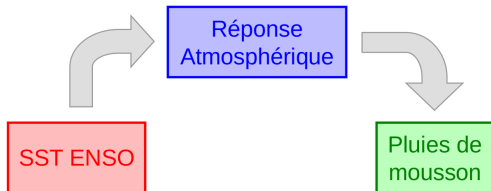


## ① Rôle du Pacifique tropical

**Constat** Des téléconnexions ENSO très variées dans CMIP3

**Causes** On peut distinguer trois symptômes :

- ① Les biais du déroulement temporel de l'ENSO
- ② Une réponse de l'atmosphère souvent trop lente
- ③ Une réponse des pluies très dépendante du modèle



## ① Rôle du Pacifique tropical

**Constat** Des téléconnexions ENSO très variées dans CMIP3

**Causes** On peut distinguer trois symptômes :

- ① Les biais du déroulement temporel de l'ENSO
- ② Une réponse de l'atmosphère souvent trop lente
- ③ Une réponse des pluies très dépendante du modèle

On peut classer les simulations selon des **critères temporels** :

- Dans 4 modèles, la téléconnexion a lieu **au début** des événements ENSO, comme dans les observations.
- Dans 6 modèles (dont CNRM-CM3), la téléconnexion a lieu **à la fin** des événements ENSO.

## ① Rôle du Pacifique tropical

**Constat** Des téléconnexions ENSO très variées dans CMIP3

**Causes** On peut distinguer trois symptômes :

- ① Les biais du déroulement temporel de l'ENSO
- ② Une réponse de l'atmosphère souvent trop lente
- ③ Une réponse des pluies très dépendante du modèle

On peut classer les simulations selon des critères temporels :

- Dans 4 modèles, la téléconnexion a lieu **au début** des événements ENSO, comme dans les observations.
- Dans 6 modèles (dont CNRM-CM3), la téléconnexion a lieu **à la fin** des événements ENSO.

## ① Rôle du Pacifique tropical

**Constat** Des téléconnexions ENSO très variées dans CMIP3

**Causes** On peut distinguer trois symptômes :

- ① Les biais du déroulement temporel de l'ENSO
- ② Une réponse de l'atmosphère souvent trop lente
- ③ Une réponse des pluies très dépendante du modèle

On peut classer les simulations selon des critères temporels :

- Dans 4 modèles, la téléconnexion a lieu **au début** des événements ENSO, comme dans les observations.
- Dans 6 modèles (dont CNRM-CM3), la téléconnexion a lieu **à la fin** des événements ENSO.

## ② Rôle du golfe de Guinée

	GG
Obs.	
BCCR	
CCCMA_t63	
CNRM	
CSIRO	
GFDL	
HADCM3	
HADGEM1	
INGV	
INM	
IPSL	
MIROChi	
MIROCmed	
MPI	
MRI	
NCAR	

**Constat** Trois simulations proposent un lien indépendant de l'ENSO.

 Mode lié à l'ENSO

 Mode indépendant

## ② Rôle du golfe de Guinée

	GG
Obs.	
BCCR	
CCCMA_t63	
CNRM	
CSIRO	
GFDL	
HADCM3	
HADGEM1	
INGV	
INM	
IPSL	
MIROChi	
MIROCmed	
MPI	
MRI	
NCAR	

**Constat** Trois simulations proposent un lien indépendant de l'ENSO.

**Causes** On peut distinguer deux symptômes :

 Mode lié à l'ENSO

 Mode indépendant

## ② Rôle du golfe de Guinée

	GG
Obs.	
BCCR	
CCCMA+63	
CNRM	
CSIRO	
GFDL	
HADCM3	
HADGEM1	
INGV	
INM	
IPSL	
MIROChi	
MIROCmed	
MPI	
MRI	
NCAR	

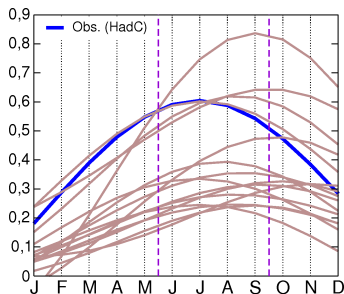
Mode lié à l'ENSO

Mode indépendant

**Constat** Trois simulations proposent un lien indépendant de l'ENSO.

**Causes** On peut distinguer deux symptômes :

- 1 Une variabilité des SST souvent trop faible



Régressions d'un indice Atlantic Niño (ACP SST JJAS) avec un indice mensuel des SST du golfe de Guinée

## ② Rôle du golfe de Guinée

	GG
Obs.	
BCCR	
CCCMA+63	
CNRM	
CSIRO	
GFDL	
HADCM3	
HADGEM1	
INGV	
INM	
IPSL	
MIROChi	
MIROCmed	
MPI	
MRI	
NCAR	

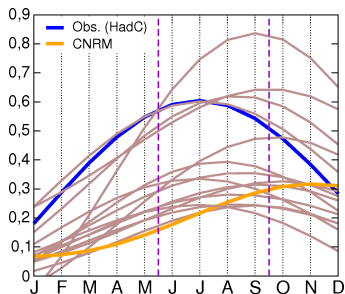
Mode lié à l'ENSO

Mode indépendant

**Constat** Trois simulations proposent un lien indépendant de l'ENSO.

**Causes** On peut distinguer deux symptômes :

- 1 Une variabilité des SST souvent trop faible



Régressions d'un indice Atlantic Niño (ACP SST JJAS) avec un indice mensuel des SST du golfe de Guinée



## ② Rôle du golfe de Guinée

	GG
Obs.	
BCCR	
CCCMA+63	
CNRM	
CSIRO	
GFDL	
HADCM3	
HADGEM1	
INGV	
INM	
IPSL	
MIROChi	
MIROCmed	
MPI	
MRI	
NCAR	

 Mode lié à l'ENSO

 Mode indépendant

**Constat** Trois simulations proposent un lien indépendant de l'ENSO.

**Causes** On peut distinguer deux symptômes :

- ① Une variabilité des SST souvent trop faible
- ② Une réponse des pluies parfois peu réaliste

### ③ Rôle de la Méditerranée

	M
Obs.	
BCCR	
CCCMA_t63	
CNRM	
CSIRO	
GFDL	
HADCM3	
HADGEM1	
INGV	
INM	
IPSL	
MIROChi	
MIROCmed	
MPI	
MRI	
NCAR	

 Mode lié à l'ENSO

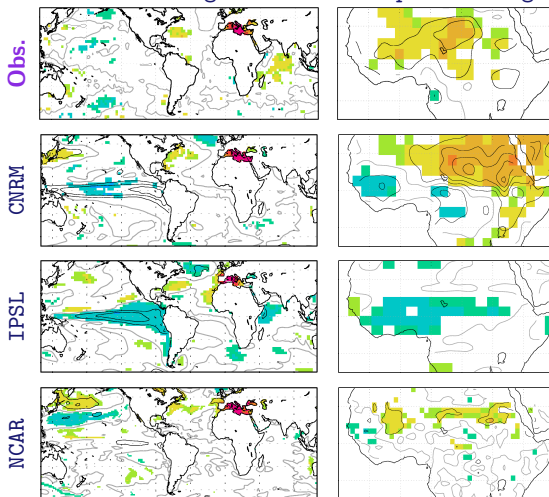
 Mode indépendant

### ③ Rôle de la Méditerranée

	M
Obs.	
BCCR	
CCCMA_t63	
CNRM	
CSIRO	
GFDL	
HADCM3	
HADGEM1	
INGV	
INM	
IPSL	
MIROC_hi	
MIROC_med	
MPI	
MRI	
NCAR	

SST (Homogène)

Précip. (Hétérog.)



Corrélations →

Mode lié à l'ENSO

Mode indépendant

## Bilan de la 2<sup>e</sup> partie

Dans les simulations CMIP3 du 4<sup>e</sup> rapport du GIEC :

### Rôle du Pacifique tropical

La plupart des modèles simulent une influence de l'ENSO.

Les anomalies peuvent être très variées, en partie en raison des biais temporels de l'ENSO et de la réponse atmosphérique.

### Rôle du golfe de Guinée

4 modèles sur 15 simulent un Atlantic Niño d'amplitude comparable aux observations, mais la réponse des précipitations sur le pourtour guinéen semble délicate à reproduire.

### Rôle de la Méditerranée

Un lien avec la Méditerranée, pas toujours réaliste, est présent dans 3 simulations seulement.

## Bilan de la 2<sup>e</sup> partie

Dans les simulations CMIP3 du 4<sup>e</sup> rapport du GIEC :

### Rôle du Pacifique tropical

La **plupart** des modèles simulent une influence de l'ENSO.

Les anomalies peuvent être **très variées**, en partie en raison des **biais temporels** de l'ENSO et de la réponse atmosphérique.

### Rôle du golfe de Guinée

4 modèles sur 15 simulent un Atlantic Niño d'amplitude comparable aux observations, mais la réponse des précipitations sur le pourtour guinéen semble délicate à reproduire.

### Rôle de la Méditerranée

Un lien avec la Méditerranée, pas toujours réaliste, est présent dans 3 simulations seulement.

## Bilan de la 2<sup>e</sup> partie

Dans les simulations CMIP3 du 4<sup>e</sup> rapport du GIEC :

### Rôle du Pacifique tropical

La plupart des modèles simulent une influence de l'ENSO.

Les anomalies peuvent être très variées, en partie en raison des biais temporels de l'ENSO et de la réponse atmosphérique.

### Rôle du golfe de Guinée

4 modèles sur 15 simulent un Atlantic Niño d'amplitude comparable aux observations, mais la réponse des précipitations sur le pourtour guinéen semble délicate à reproduire.

### Rôle de la Méditerranée

Un lien avec la Méditerranée, pas toujours réaliste, est présent dans 3 simulations seulement.

## Bilan de la 2<sup>e</sup> partie

Dans les simulations CMIP3 du 4<sup>e</sup> rapport du GIEC :

### Rôle du Pacifique tropical

La plupart des modèles simulent une influence de l'ENSO.

Les anomalies peuvent être très variées, en partie en raison des biais temporels de l'ENSO et de la réponse atmosphérique.

### Rôle du golfe de Guinée

4 modèles sur 15 simulent un Atlantic Niño d'amplitude comparable aux observations, mais la réponse des précipitations sur le pourtour guinéen semble délicate à reproduire.

### Rôle de la Méditerranée

Un lien avec la Méditerranée, pas toujours réaliste, est présent dans **3 simulations seulement**.

## Troisième partie

- 1 Interactions observées au 20<sup>e</sup> siècle
- 2 Interactions simulées par les modèles CMIP3
- 3 Étude des mécanismes dans le modèle du CNRM
  - Protocole expérimental
  - Expérience PACIF
  - Expérience No-ENSO
  - Expérience GLOBE



## Quelles interactions océan–mousson dans CNRM-CM3 ?

	PT	AT	GG	IT	PN	AN	M	PS	AS	IS
Obs.										
CNRM										

 Mode corrélé à l'ENSO

 Mode indépendant de l'ENSO

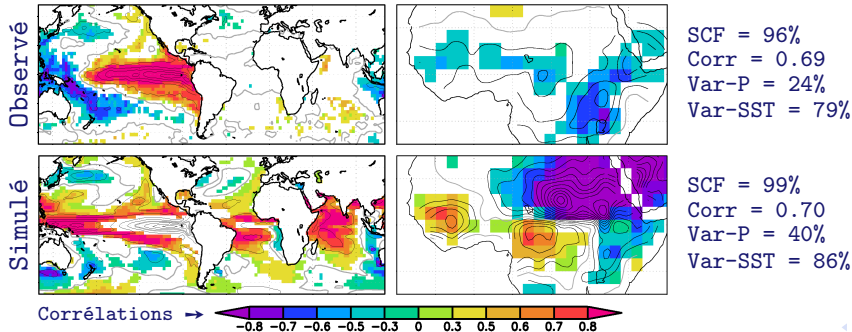
## Quelles interactions océan–mousson dans CNRM-CM3 ?

	PT	AT	GG	IT	PN	AN	M	PS	AS	IS
Obs .										
CNRM										

Mode corrélé à l'ENSO

Mode indépendant de l'ENSO

### Pacifique tropical



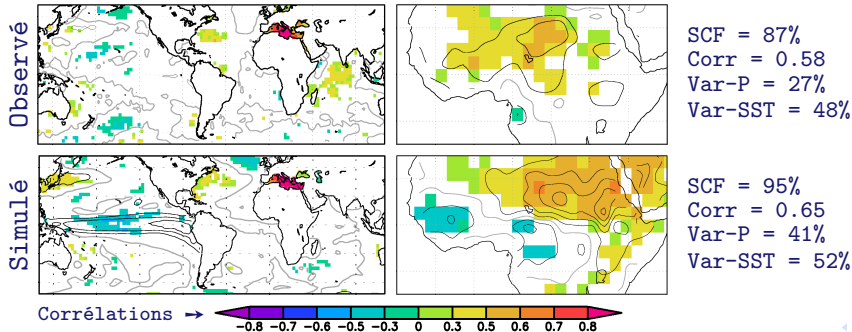
## Quelles interactions océan–mousson dans CNRM-CM3 ?

	PT	AT	GG	IT	PN	AN	M	PS	AS	IS
Obs .										
CNRM										

Mode corrélé à l'ENSO

Mode indépendant de l'ENSO

### Méditerranée



## Protocole expérimental

**Constat** La **variabilité océanique**, qui résulte du **couplage** avec l'atmosphère, est le **point de départ** des téléconnexions.

## Protocole expérimental

**Constat** La variabilité océanique, qui résulte du couplage avec l'atmosphère, est le point de départ des téléconnexions.

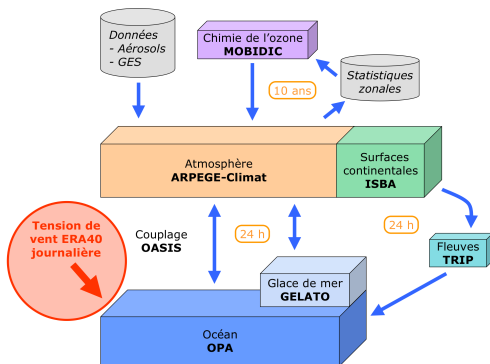
**Idée** Agir sur un paramètre du couplage océan-atmosphère, pour tester la réponse de l'océan, et de la mousson.

## Protocole expérimental

**Constat** La variabilité océanique, qui résulte du couplage avec l'atmosphère, est le point de départ des téléconnexions.

**Idée** Agir sur un paramètre du couplage océan-atmosphère, pour tester la réponse de l'océan, et de la mousson.

### Protocole



## ① Expérience PACIF 1960–2001

**Constat** L'ENSO simulée par les modèles CMIP3 est perfectible

**Objectif** Améliorer l'ENSO pour corriger la téléconnexion ENSO

**Protocole** Imposer la tension de vent ERA40 sur le Pacifique

## ① Expérience PACIF 1960–2001

**Constat** L'ENSO simulée par les modèles CMIP3 est perfectible

**Objectif** Améliorer l'ENSO pour corriger la téléconnexion ENSO

**Protocole** Imposer la tension de vent ERA40 sur le Pacifique

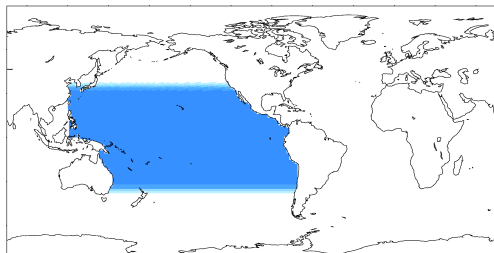


## ① Expérience PACIF 1960–2001

**Constat** L'ENSO simulée par les modèles CMIP3 est perfectible

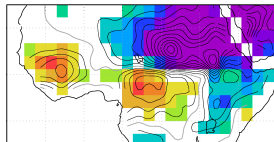
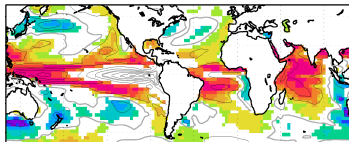
**Objectif** Améliorer l'ENSO pour corriger la téléconnexion ENSO

**Protocole** Imposer la tension de vent ERA40 sur le Pacifique



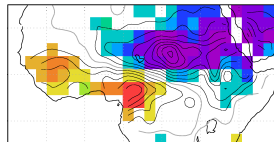
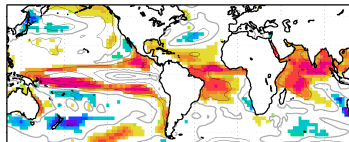
## La téléconnexion ENSO est-elle modifiée ?

### Simulation libre



SCF = 99%  
Corr = 0.70  
Var-P = 40%  
Var-SST = 86%

### Expérience PACIF

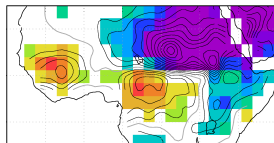
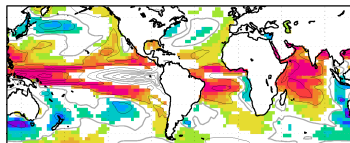


SCF = 95%  
Corr = 0.70  
Var-P = 29%  
Var-SST = 76%



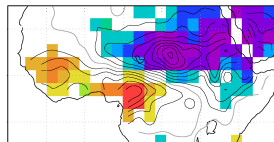
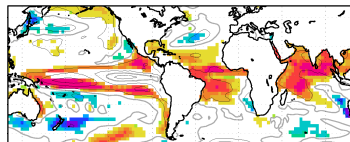
## La téléconnexion ENSO est-elle modifiée ?

### Simulation libre



SCF = 99%  
Corr = 0.70  
Var-P = 40%  
Var-SST = 86%

### Expérience PACIF



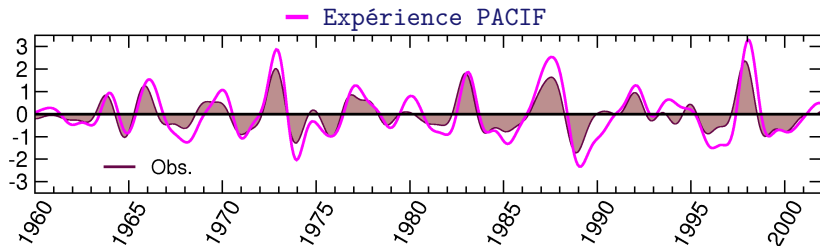
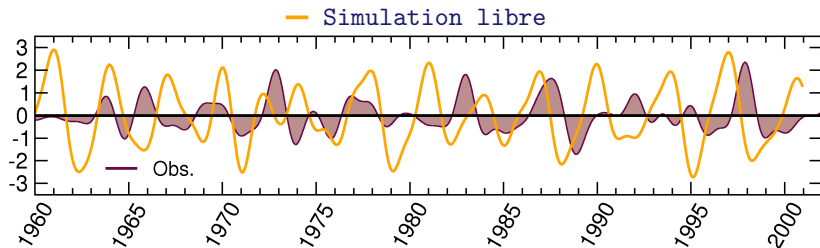
SCF = 95%  
Corr = 0.70  
Var-P = 29%  
Var-SST = 76%



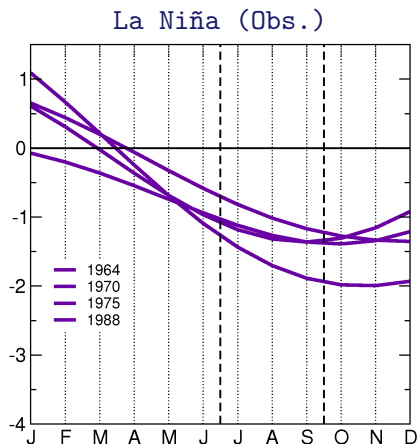
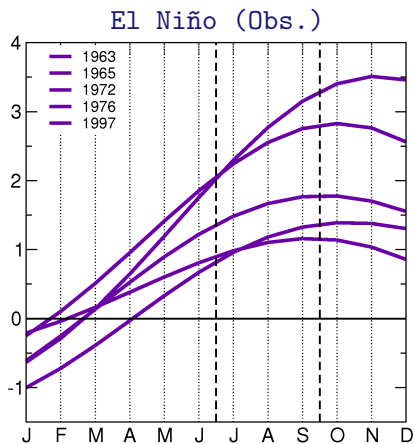
- 1 Quel est l'impact du forçage en tension de vent ?
- 2 Pourquoi la téléconnexion ENSO n'est-elle pas modifiée ?

## Expérience PACIF : impact du forçage ?

Variabilité des SST Niño-3.4 :

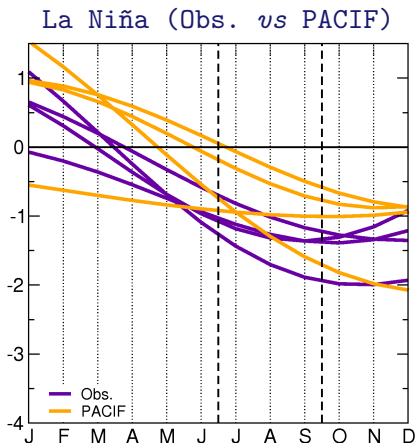
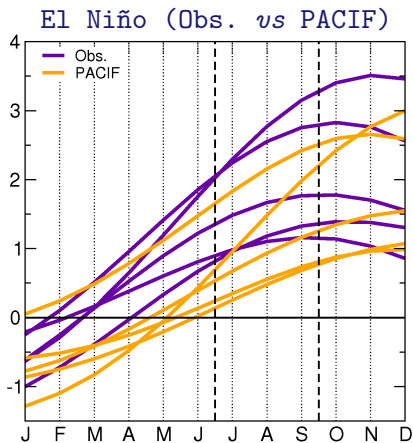


## Mise en place des événements ENSO



➔ Évolution de l'indice ENSO pour les années sélectionnées

## Mise en place des événements ENSO



Malgré le forçage, les événements ENSO démarrent en retard

## Bilan : la téléconnexion ENSO dans CNRM-CM3

Forcer la tension de vent stimule des événements **caractéristiques de CNRM-CM3** (structure spatiale & déroulement temporel).

## Bilan : la téléconnexion ENSO dans CNRM-CM3

Forcer la tension de vent stimule des événements caractéristiques de CNRM-CM3 (structure spatiale & déroulement temporel).

On peut comparer **année par année** avec les réanalyses :



## Bilan : la téléconnexion ENSO dans CNRM-CM3

Forcer la tension de vent stimule des événements caractéristiques de CNRM-CM3 (structure spatiale & déroulement temporel).

On peut comparer année par année avec les réanalyses :

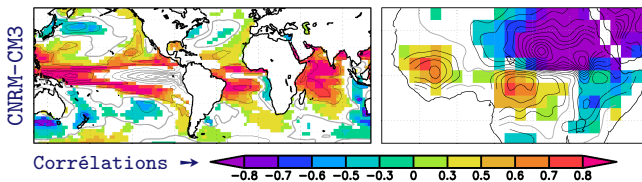
- En raison des **retards cumulés** de l'ENSO et de la réponse atmosphérique, la téléconnexion **ne peut pas** avoir lieu **au début** des événements ENSO comme dans les observations.
- En raison de la persistance des anomalies de SST et des anomalies atmosphériques, la téléconnexion a lieu à la fin des événements ENSO.

## Bilan : la téléconnexion ENSO dans CNRM-CM3

Forcer la tension de vent stimule des événements caractéristiques de CNRM-CM3 (structure spatiale & déroulement temporel).

On peut comparer année par année avec les réanalyses :

- En raison des retards cumulés de l'ENSO et de la réponse atmosphérique, la téléconnexion ne peut pas avoir lieu au début des événements ENSO comme dans les observations.
- En raison de la **persistance des anomalies** de SST et des anomalies atmosphériques, la téléconnexion a lieu **à la fin** des événements ENSO.



## ② Expérience No-ENSO 1960–2001

**Constat** Dans certains modèles CMIP3, la téléconnexion ENSO fait intervenir tous les bassins.

**Objectif** Supprimer l'ENSO pour que d'autres modes s'expriment.

**Protocole** Imposer un vent ERA40 climatologique sur le Pacifique.

## ② Expérience No-ENSO 1960–2001

**Constat** Dans certains modèles CMIP3, la téléconnexion ENSO fait intervenir tous les bassins.

**Objectif** Supprimer l'ENSO pour que d'autres modes s'expriment.

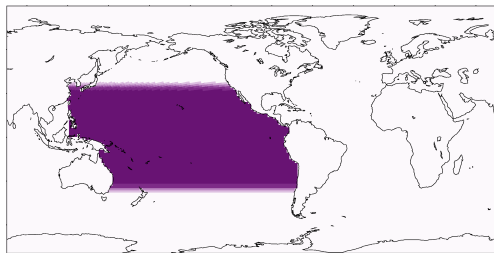
**Protocole** Imposer un vent ERA40 climatologique sur le Pacifique.

## ② Expérience No-ENSO 1960–2001

**Constat** Dans certains modèles CMIP3, la téléconnexion ENSO fait intervenir tous les bassins.

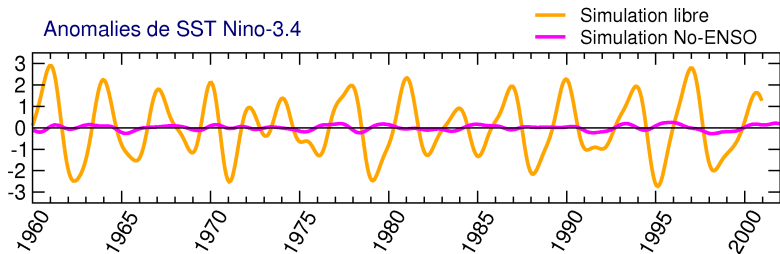
**Objectif** Supprimer l'ENSO pour que d'autres modes s'expriment.

**Protocole** Imposer un vent ERA40 climatologique sur le Pacifique.



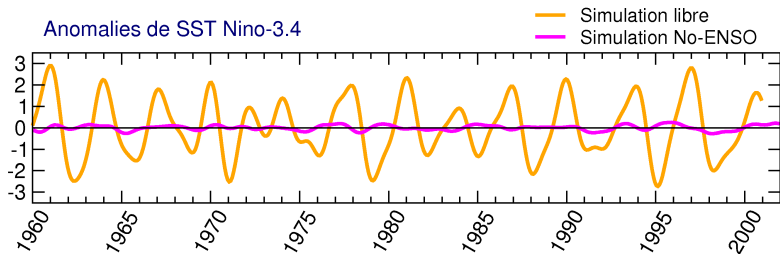
## Expérience No-ENSO : impact du forçage ?

### ① Pacifique tropical :



## Expérience No-ENSO : impact du forçage ?

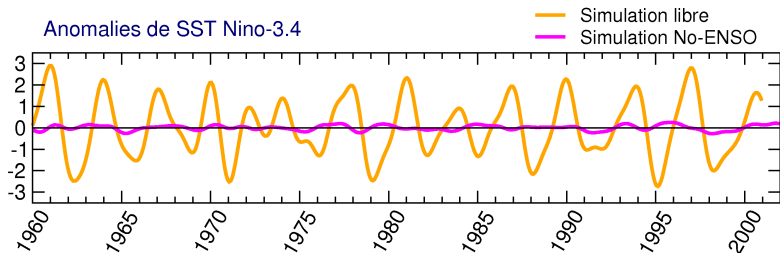
### ① Pacifique tropical :



### ② Golfe de Guinée : pas d'Atlantic Niño

## Expérience No-ENSO : impact du forçage ?

### ① Pacifique tropical :



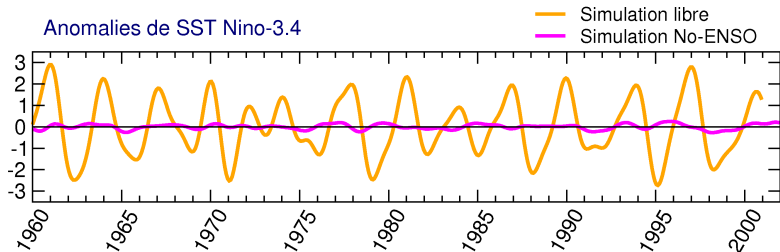
### ② Golfe de Guinée : pas d'Atlantic Niño

### ③ Méditerranée : permet d'isoler le lien Méditerranée–mousson



## Expérience No-ENSO : impact du forçage ?

### ① Pacifique tropical :



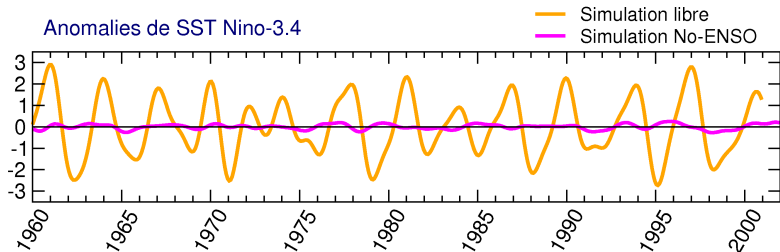
### ② Golfe de Guinée : pas d'Atlantic Niño

### ③ Méditerranée : permet d'isoler le lien Méditerranée–mousson

- Les anomalies atmosphériques simulées présentent **certaines similitudes** avec les réanalyses.
- Les SST ne semblent pas jouer un rôle moteur.

## Expérience No-ENSO : impact du forçage ?

### ① Pacifique tropical :



### ② Golfe de Guinée : pas d'Atlantic Niño

### ③ Méditerranée : permet d'isoler le lien Méditerranée–mousson

- Les anomalies atmosphériques simulées présentent certaines similitudes avec les réanalyses.
- Les SST ne semblent pas jouer un rôle moteur.

### ③ Expérience GLOBE 1960–2001

**Constat** La variabilité du golfe de Guinée est faible dans CMIP3

**Objectif** Stimuler d'autres modes de variabilité océanique

**Protocole** Imposer la tension de vent ERA40 sur tout le globe

### ③ Expérience GLOBE 1960–2001

**Constat** La variabilité du golfe de Guinée est faible dans CMIP3

**Objectif** Stimuler d'autres modes de variabilité océanique

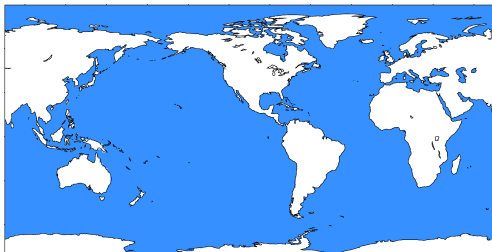
**Protocole** Imposer la tension de vent ERA40 sur tout le globe

### ③ Expérience GLOBE 1960–2001

**Constat** La variabilité du golfe de Guinée est faible dans CMIP3

**Objectif** Stimuler d'autres modes de variabilité océanique

**Protocole** Imposer la tension de vent ERA40 sur **tout le globe**



## Expérience GLOBE : impact du forçage ?

Forcer la tension de vent sur tout le globe a deux effets :

- 1 Module la réponse à l'ENSO sur l'Atlantique
- 2 Stimule un mode de variabilité dans le golfe de Guinée

## Expérience GLOBE : impact du forçage ?

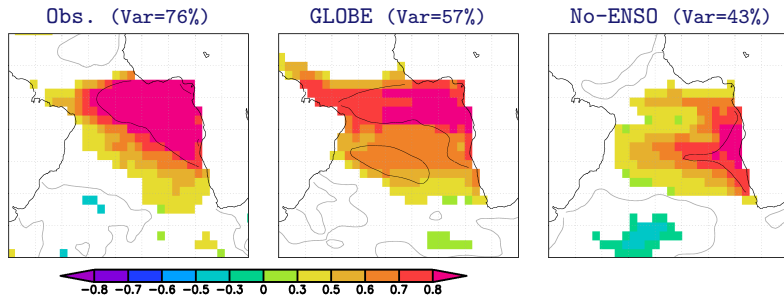
Forcer la tension de vent sur tout le globe a deux effets :

- 1 Module la réponse à l'ENSO sur l'Atlantique
- 2 Stimule un mode de variabilité dans le golfe de Guinée

## Expérience GLOBE : impact du forçage ?

Forcer la tension de vent sur tout le globe a deux effets :

- 1 Module la réponse à l'ENSO sur l'Atlantique
- 2 Stimule un mode de variabilité dans le golfe de Guinée



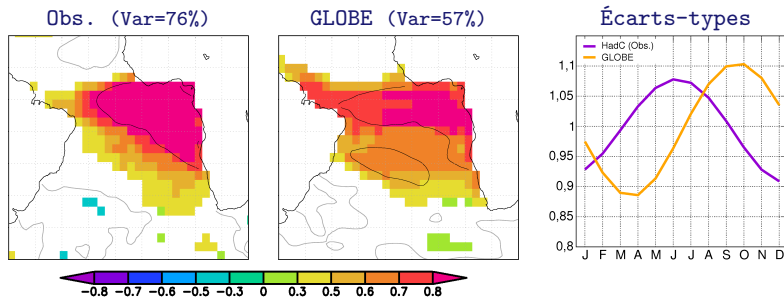
➔ ACP des anomalies mensuelles de SST



## Expérience GLOBE : impact du forçage ?

Forcer la tension de vent sur tout le globe a deux effets :

- 1 Module la réponse à l'ENSO sur l'Atlantique
- 2 Stimule un mode de variabilité dans le golfe de Guinée

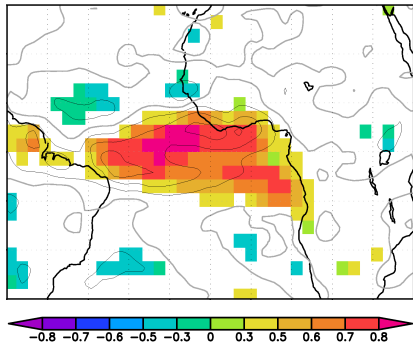


➔ ACP des anomalies mensuelles de SST

☞ Phasage cohérent avec l'Atlantic Niño II (Okumura & Xie 2006)

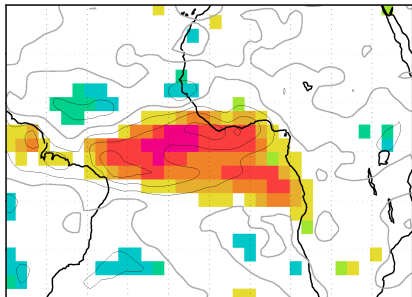
## Quelle est la réponse des précipitations ?

Précip. NCEP (MJJA)

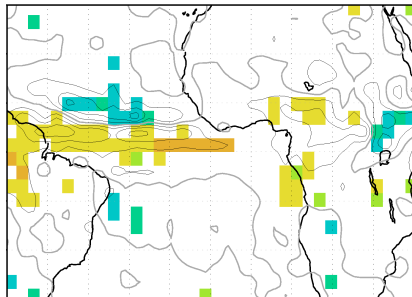


## Quelle est la réponse des précipitations ?

Précip. NCEP (MJJA)



Précip. GLOBE (ASO)



Le mode de SST simulé dans l'expérience GLOBE  
n'a pas d'influence sur les pluies de la côte guinéenne.

## Bilan de la 3<sup>e</sup> partie

Ces **trois expériences** nous ont permis de **mieux comprendre** le comportement de notre modèle couplé :

### Rôle du Pacifique tropical

Dans CNRM-CM3, l'influence du Pacifique a lieu à la fin des événements ENSO. C'est dû à un retard des anomalies de SST, auquel s'ajoute un retard dans la réponse atmosphérique.

### Rôle du golfe de Guinée

CNRM-CM3 ne simule pas d'Atlantic Niño. Prescrire la tension de vent stimule un mode de variabilité tardif, qui n'a pas d'influence sur les pluies de mousson.

### Rôle de la Méditerranée

Il existe dans CNRM-CM3 un lien robuste entre la mousson et les moyennes latitudes, qui présente certains aspects réalistes.

## Bilan de la 3<sup>e</sup> partie

Ces trois expériences nous ont permis de mieux comprendre le comportement de notre modèle couplé :

### Rôle du Pacifique tropical

Dans CNRM-CM3, l'influence du Pacifique a lieu **à la fin** des événements ENSO. C'est dû à un **retard** des anomalies de SST, auquel s'ajoute un **retard** dans la réponse atmosphérique.

### Rôle du golfe de Guinée

CNRM-CM3 ne simule pas d'Atlantic Niño. Prescrire la tension de vent stimule un mode de variabilité tardif, qui n'a pas d'influence sur les pluies de mousson.

### Rôle de la Méditerranée

Il existe dans CNRM-CM3 un lien robuste entre la mousson et les moyennes latitudes, qui présente certains aspects réalistes.

## Bilan de la 3<sup>e</sup> partie

Ces trois expériences nous ont permis de mieux comprendre le comportement de notre modèle couplé :

### Rôle du Pacifique tropical

Dans CNRM-CM3, l'influence du Pacifique a lieu à la fin des événements ENSO. C'est dû à un retard des anomalies de SST, auquel s'ajoute un retard dans la réponse atmosphérique.

### Rôle du golfe de Guinée

CNRM-CM3 ne simule **pas d'Atlantic Niño**. Prescrire la tension de vent stimule un mode de variabilité **tardif**, qui n'a pas d'influence sur les pluies de mousson.

### Rôle de la Méditerranée

Il existe dans CNRM-CM3 un lien robuste entre la mousson et les moyennes latitudes, qui présente certains aspects réalistes.

## Bilan de la 3<sup>e</sup> partie

Ces trois expériences nous ont permis de mieux comprendre le comportement de notre modèle couplé :

### Rôle du Pacifique tropical

Dans CNRM-CM3, l'influence du Pacifique a lieu à la fin des événements ENSO. C'est dû à un retard des anomalies de SST, auquel s'ajoute un retard dans la réponse atmosphérique.

### Rôle du golfe de Guinée

CNRM-CM3 ne simule pas d'Atlantic Niño. Prescrire la tension de vent stimule un mode de variabilité tardif, qui n'a pas d'influence sur les pluies de mousson.

### Rôle de la Méditerranée

Il existe dans CNRM-CM3 un **lien robuste** entre la mousson et les moyennes latitudes, qui présente certains aspects réalistes.

## Conclusions

### Données observées et réanalyses

- L'ENSO et l'Atlantic Niño sont deux modes de variabilité interannuelle qui influencent les pluies d'Afrique de l'ouest.
- Le déroulement temporel de ces modes océaniques joue un rôle important dans leur influence sur la mousson.
- Il existe aussi des interactions avec les moyennes latitudes (SST méditerranéennes & circulation atmosphérique).

### Simulations couplées CMIP3

- Il est utile de distinguer les modèles selon le déroulement temporel de leur téléconnexion ENSO.
- Peu de modèles ont une variabilité suffisante dans le golfe de Guinée, et très peu reproduisent le lien avec la Méditerranée.



## Conclusions

### Données observées et réanalyses

- L'ENSO et l'Atlantic Niño sont deux modes de variabilité interannuelle qui influencent les pluies d'Afrique de l'ouest.
- Le **déroulement temporel** de ces modes océaniques joue un **rôle important** dans leur influence sur la mousson.
- Il existe aussi des interactions avec les moyennes latitudes (SST méditerranéennes & circulation atmosphérique).

### Simulations couplées CMIP3

- Il est utile de distinguer les modèles selon le déroulement temporel de leur téléconnexion ENSO.
- Peu de modèles ont une variabilité suffisante dans le golfe de Guinée, et très peu reproduisent le lien avec la Méditerranée.

## Conclusions

### Données observées et réanalyses

- L'ENSO et l'Atlantic Niño sont deux modes de variabilité interannuelle qui influencent les pluies d'Afrique de l'ouest.
- Le déroulement temporel de ces modes océaniques joue un rôle important dans leur influence sur la mousson.
- Il existe aussi des **interactions avec les moyennes latitudes** (SST méditerranéennes & circulation atmosphérique).

### Simulations couplées CMIP3

- Il est utile de distinguer les modèles selon le déroulement temporel de leur téléconnexion ENSO.
- Peu de modèles ont une variabilité suffisante dans le golfe de Guinée, et très peu reproduisent le lien avec la Méditerranée.

## Conclusions

### Données observées et réanalyses

- L'ENSO et l'Atlantic Niño sont deux modes de variabilité interannuelle qui influencent les pluies d'Afrique de l'ouest.
- Le déroulement temporel de ces modes océaniques joue un rôle important dans leur influence sur la mousson.
- Il existe aussi des interactions avec les moyennes latitudes (SST méditerranéennes & circulation atmosphérique).

### Simulations couplées CMIP3

- Il est utile de distinguer les modèles selon le déroulement temporel de leur téléconnexion ENSO.
- Peu de modèles ont une variabilité suffisante dans le golfe de Guinée, et très peu reproduisent le lien avec la Méditerranée.

## Conclusions

### Données observées et réanalyses

- L'ENSO et l'Atlantic Niño sont deux modes de variabilité interannuelle qui influencent les pluies d'Afrique de l'ouest.
- Le déroulement temporel de ces modes océaniques joue un rôle important dans leur influence sur la mousson.
- Il existe aussi des interactions avec les moyennes latitudes (SST méditerranéennes & circulation atmosphérique).

### Simulations couplées CMIP3

- Il est utile de distinguer les modèles selon le déroulement temporel de leur téléconnexion ENSO.
- Peu de modèles ont une **variabilité suffisante** dans le golfe de Guinée, et **très peu reproduisent** le lien avec la Méditerranée.

## Conclusions

### Modèle de climat du CNRM

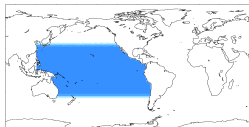
- Les **biais de l'ENSO**, et l'**absence d'Atlantic Niño** handicapent fortement le **réalisme** des interactions simulées.
- Il est intéressant d'agir sur la tension de vent pour tester la sensibilité du système couplé.

## Conclusions

### Modèle de climat du CNRM

- Les biais de l'ENSO, et l'absence d'Atlantic Niño handicapent fortement le réalisme des interactions simulées.
- Il est intéressant d'agir sur la tension de vent pour tester la sensibilité du système couplé.

PACIF



No-ENSO



GLOBE



## Perspectives

### Compréhension des phénomènes

- Approfondir l'étude des interactions avec les extra-tropiques.
- Étudier les interactions entre les anomalies de grande-échelle et les plus petites échelles spatiales et temporelles.
- Les océans ne sont pas la seule source de variabilité de la mousson. Le projet AMMA permettra de dresser un tableau complet de la variabilité du système de mousson.

### Amélioration des modèles couplés

- Examiner et tenter d'améliorer les causes physiques des biais, en particulier la réponse à l'ENSO, en s'intéressant à chaque maillon de la chaîne de mécanismes.
- Utiliser d'autres protocoles expérimentaux : *pacemaker*, *nudging*, couplage régional, ou correction de flux.

## Perspectives

### Compréhension des phénomènes

- Approfondir l'étude des interactions avec les extra-tropiques.
- Étudier les **interactions** entre les anomalies de **grande-échelle** et les **plus petites échelles** spatiales et temporelles.
- Les océans ne sont pas la seule source de variabilité de la mousson. Le projet AMMA permettra de dresser un tableau complet de la variabilité du système de mousson.

### Amélioration des modèles couplés

- Examiner et tenter d'améliorer les causes physiques des biais, en particulier la réponse à l'ENSO, en s'intéressant à chaque maillon de la chaîne de mécanismes.
- Utiliser d'autres protocoles expérimentaux : *pacemaker*, *nudging*, couplage régional, ou correction de flux.



## Perspectives

### Compréhension des phénomènes

- Approfondir l'étude des interactions avec les extra-tropiques.
- Étudier les interactions entre les anomalies de grande-échelle et les plus petites échelles spatiales et temporelles.
- Les océans ne sont pas la seule **source de variabilité** de la mousson. Le **projet AMMA** permettra de dresser un tableau **complet** de la variabilité du système de mousson.

### Amélioration des modèles couplés

- Examiner et tenter d'améliorer les causes physiques des biais, en particulier la réponse à l'ENSO, en s'intéressant à chaque maillon de la chaîne de mécanismes.
- Utiliser d'autres protocoles expérimentaux : *pacemaker*, *nudging*, couplage régional, ou correction de flux.

## Perspectives

### Compréhension des phénomènes

- Approfondir l'étude des interactions avec les extra-tropiques.
- Étudier les interactions entre les anomalies de grande-échelle et les plus petites échelles spatiales et temporelles.
- Les océans ne sont pas la seule source de variabilité de la mousson. Le projet AMMA permettra de dresser un tableau complet de la variabilité du système de mousson.

### Amélioration des modèles couplés

- Examiner et tenter d'améliorer les **causes physiques** des biais, en particulier la **réponse à l'ENSO**, en s'intéressant à **chaque maillon** de la chaîne de mécanismes.
- Utiliser d'autres protocoles expérimentaux : *pacemaker*, *nudging*, couplage régional, ou correction de flux.

## Perspectives

### Compréhension des phénomènes

- Approfondir l'étude des interactions avec les extra-tropiques.
- Étudier les interactions entre les anomalies de grande-échelle et les plus petites échelles spatiales et temporelles.
- Les océans ne sont pas la seule source de variabilité de la mousson. Le projet AMMA permettra de dresser un tableau complet de la variabilité du système de mousson.

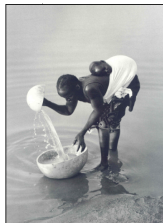
### Amélioration des modèles couplés

- Examiner et tenter d'améliorer les causes physiques des biais, en particulier la réponse à l'ENSO, en s'intéressant à chaque maillon de la chaîne de mécanismes.
- Utiliser d'autres protocoles expérimentaux : *pacemaker*, *nudging*, couplage régional, ou correction de flux.

## Perspectives

### Prévision saisonnière

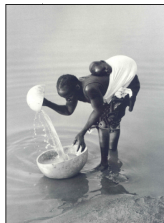
- Les défauts des téléconnexions simulées sont un diagnostic à prendre en compte pour améliorer les prévisions saisonnières en Afrique de l'ouest.
- En attendant l'amélioration des modèles, les corrections de flux, et les approches dynamico-statistiques sont aussi à perfectionner.



## Perspectives

### Prévision saisonnière

- Les défauts des téléconnexions simulées sont un diagnostic à prendre en compte pour améliorer les prévisions saisonnières en Afrique de l'ouest.
- En attendant l'amélioration des modèles, les **corrections de flux**, et les approches **dynamico-statistiques** sont aussi à perfectionner.



# Merci !

