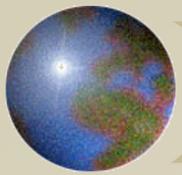


Variabilité Océan-Atmosphère du secteur Indo-Pacifique tropical

***Habilitation à diriger des recherches
Jérôme Vialard (IRD, LOCEAN)
26 juin 2009***

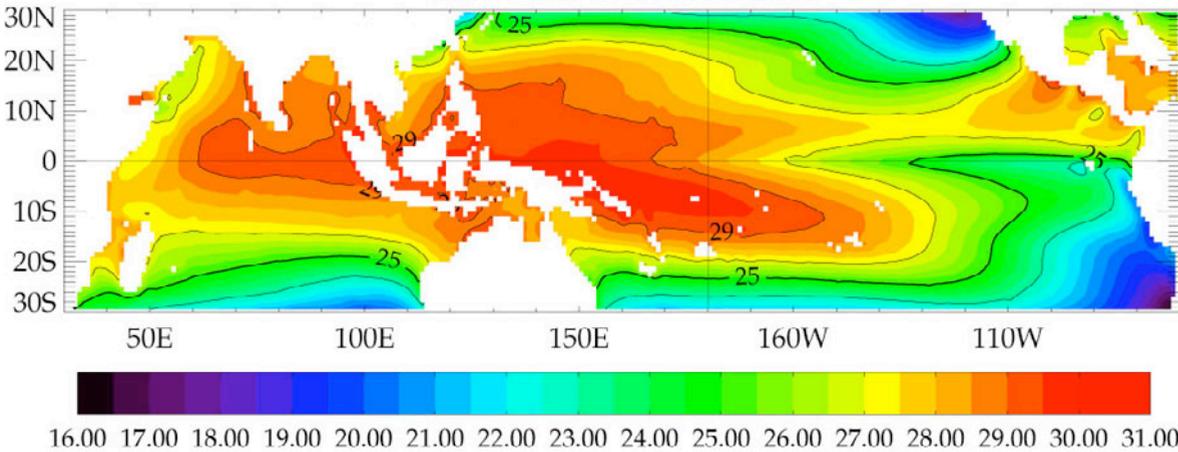
<http://www.locean-ipsl.upmc.fr/~jv/hdr.html>



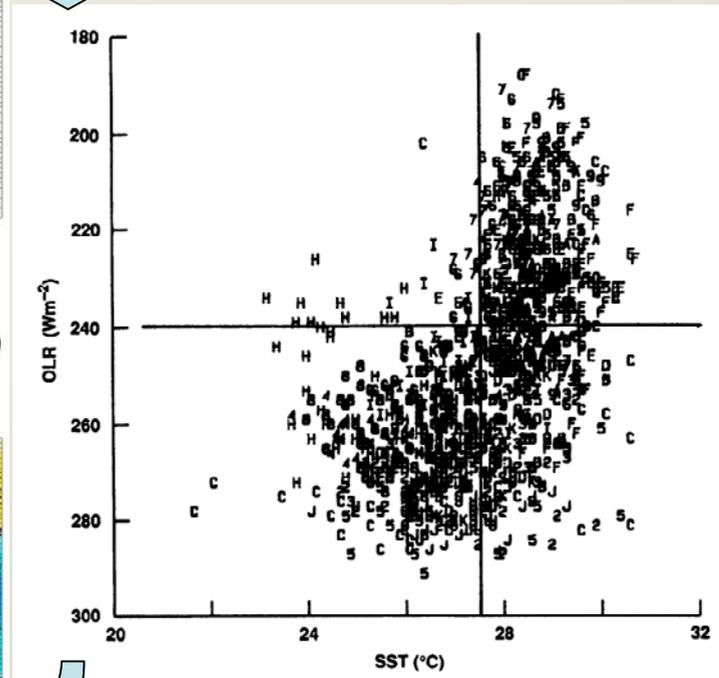
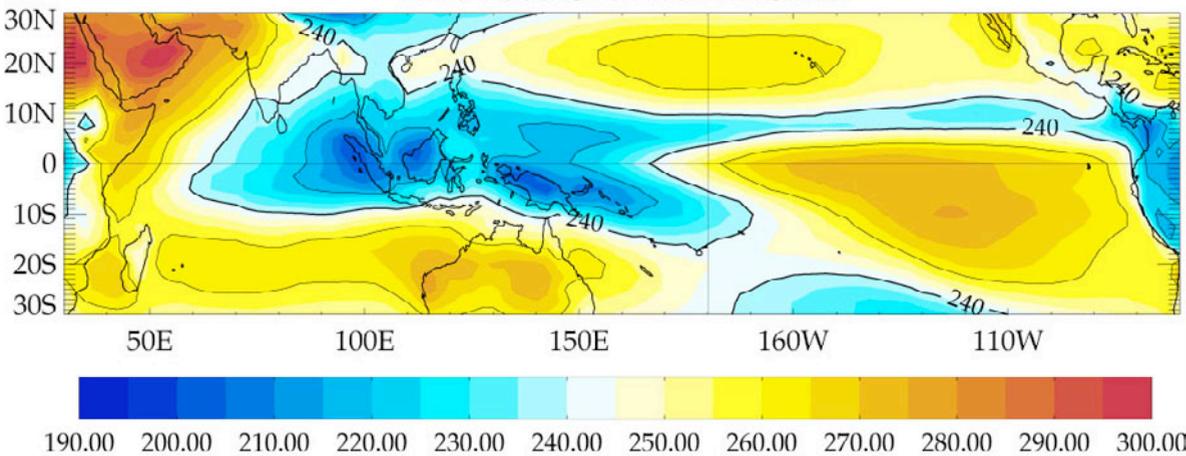
Introduction

Réservoir d'eau chaude Indo-Pacifique et circulation de Walker

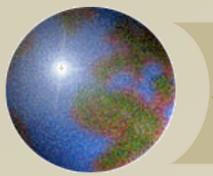
1998-2008 SST from TMI



1998-2008 OLR from NOAA

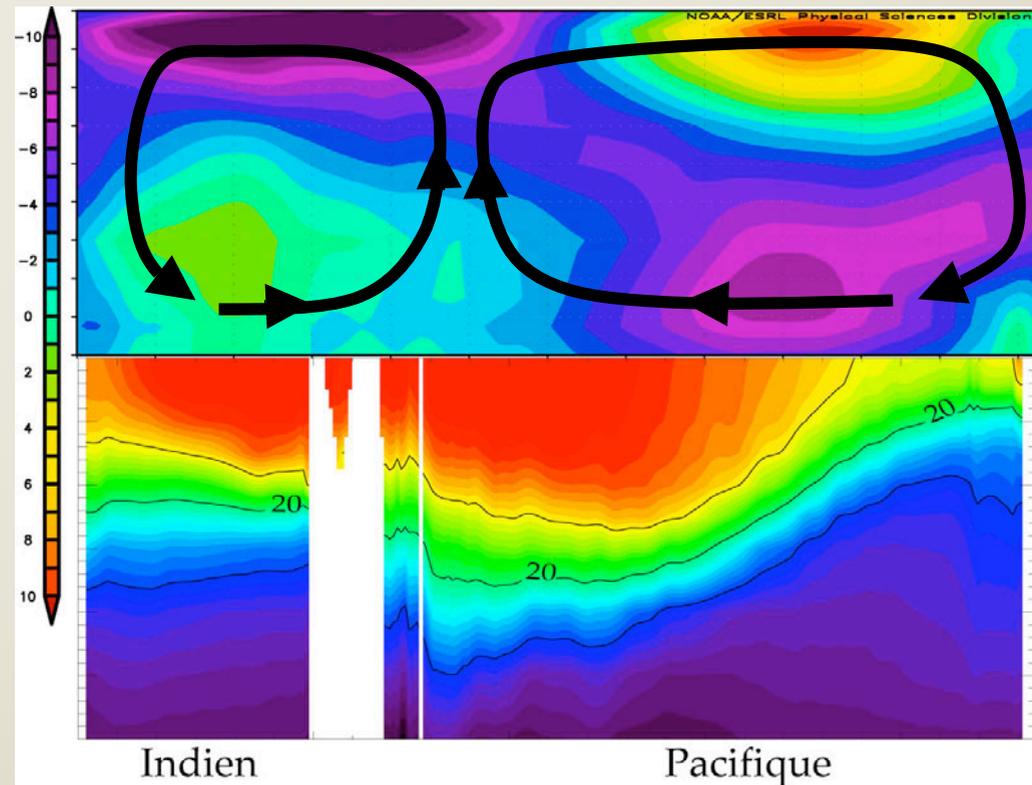
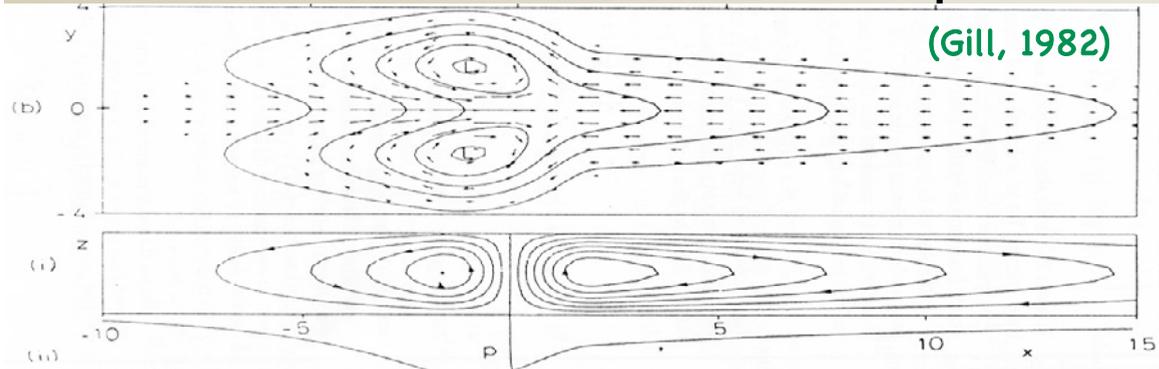


Graham and Barnett (1987)
SST > 27.5°C nécessaire
pour convection



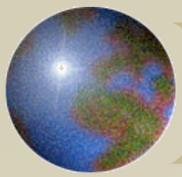
Introduction

Réservoir d'eau chaude Indo-Pacifique et circulation de Walker



Le modèle de Gill (réponse idéalisée à une source de chaleur troposphérique) représente correctement la circulation de Walker.

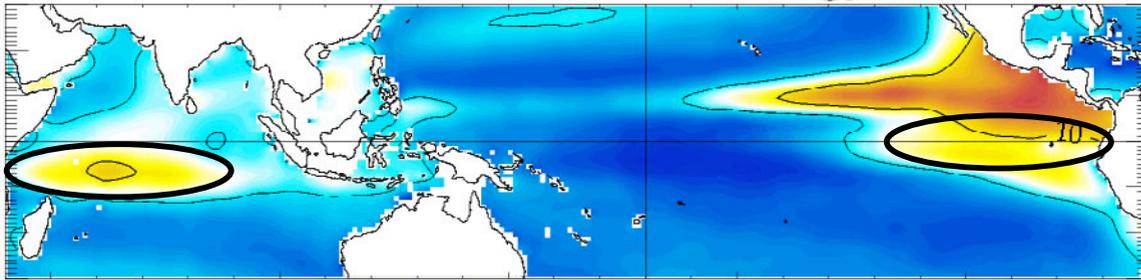
L'océan s'ajuste par le développement d'un upwelling dans le Pacifique est.



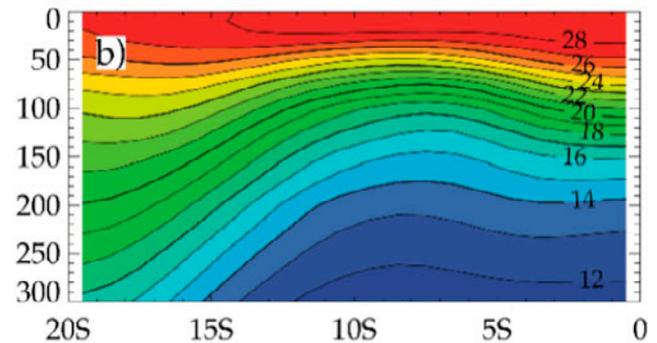
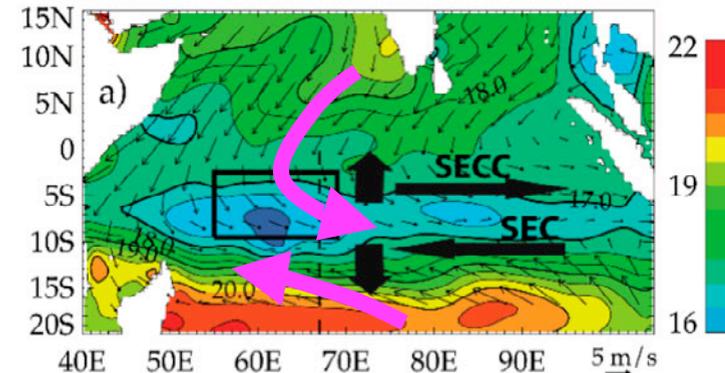
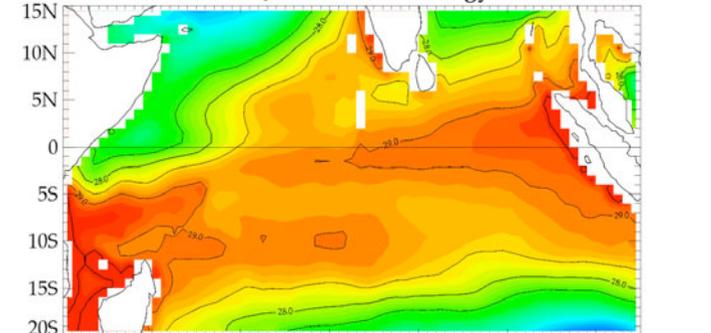
Introduction

Etat moyen Indo-Pacifique: les régions d'upwelling

T(0m)-T(100m) climatology

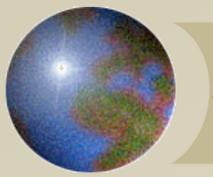


TMI JFM SST climatology



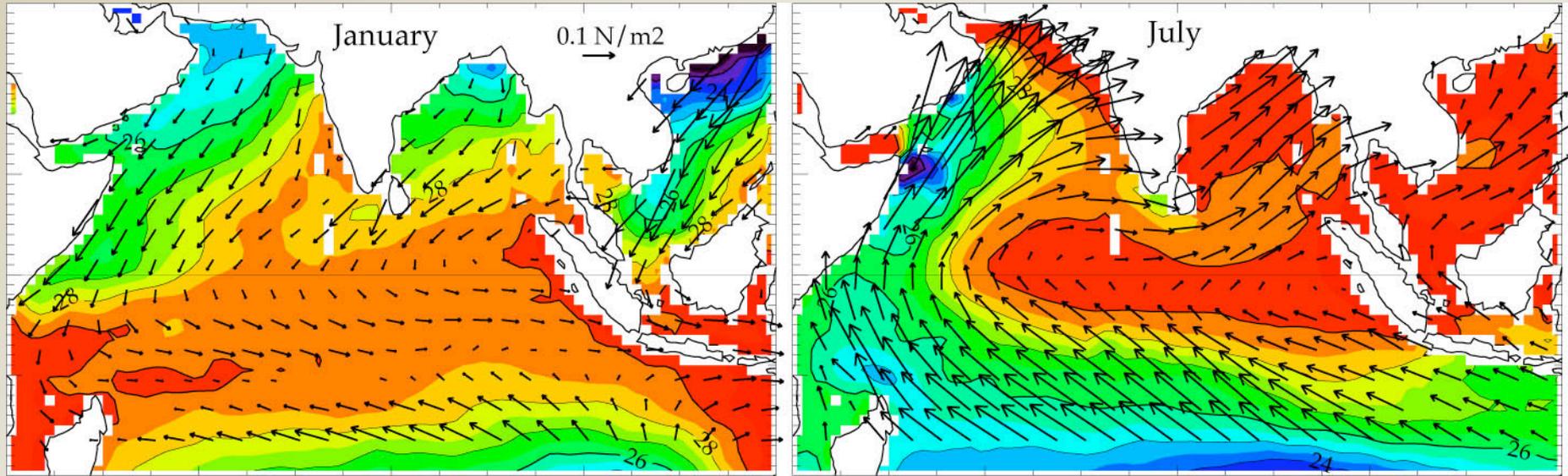
Upwellings:
- equatorial (equilibre vent / thermocline)
- dôme lié au rotationnel du vent: e.g. « SCTR »

Cycle saisonnier dans le Pacifique et l'Indien sud: variation en intensité des vents et de l'upwelling



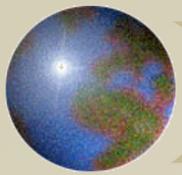
Introduction

La mousson Indienne



Nord de l'océan Indien:
upwellings Oman et Somalie
renversement saisonnier de la circulation

Equateur
Jets de Wyrтки

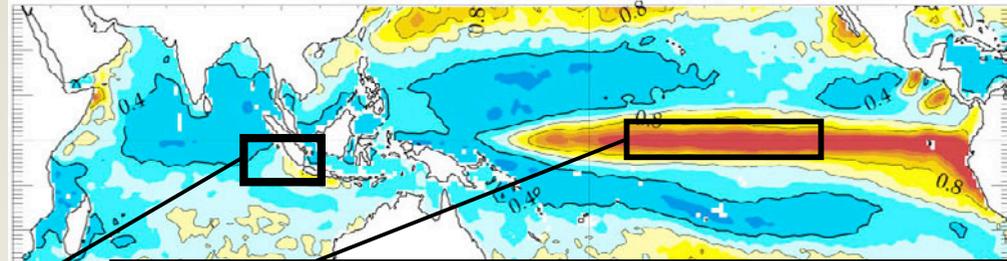


Introduction

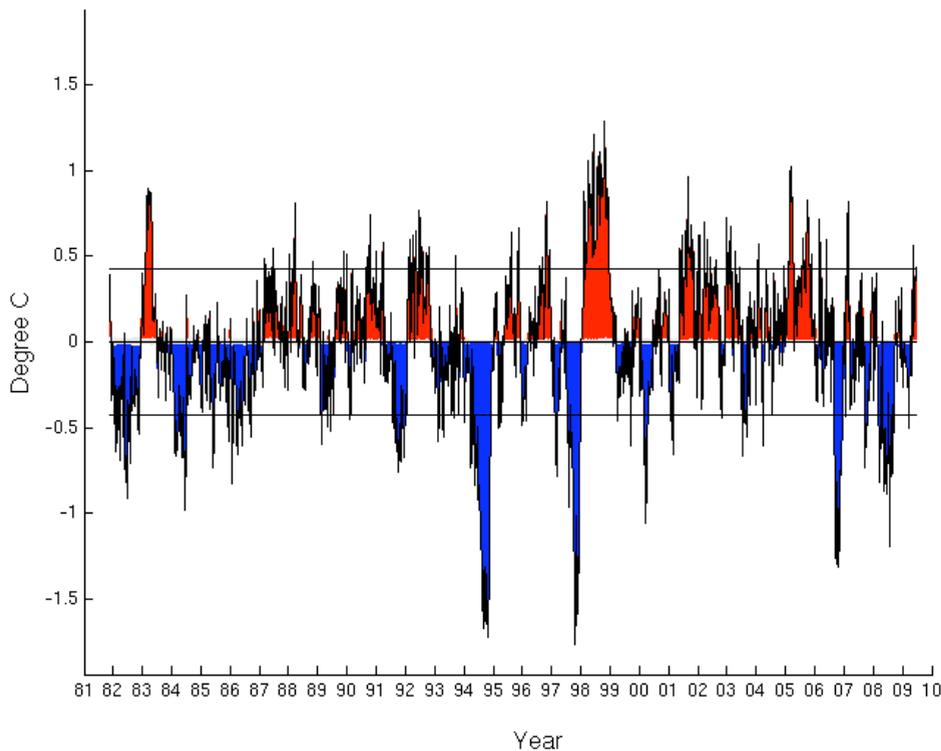
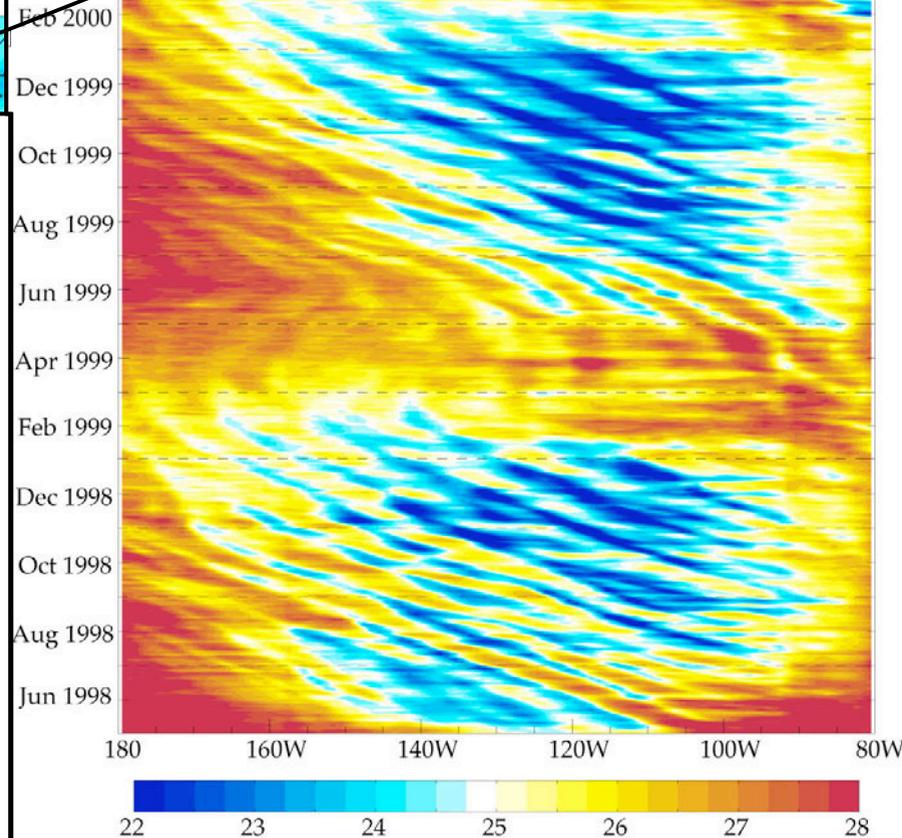
Les principaux modes de variabilité non saisonnière

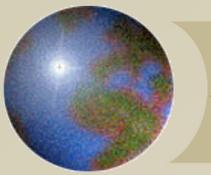
MJO, TIWs,
El Niño, IOD

1998-2008 SST interannual std from TMI



SST in 1N-3N





Introduction

Intrasaisonnier

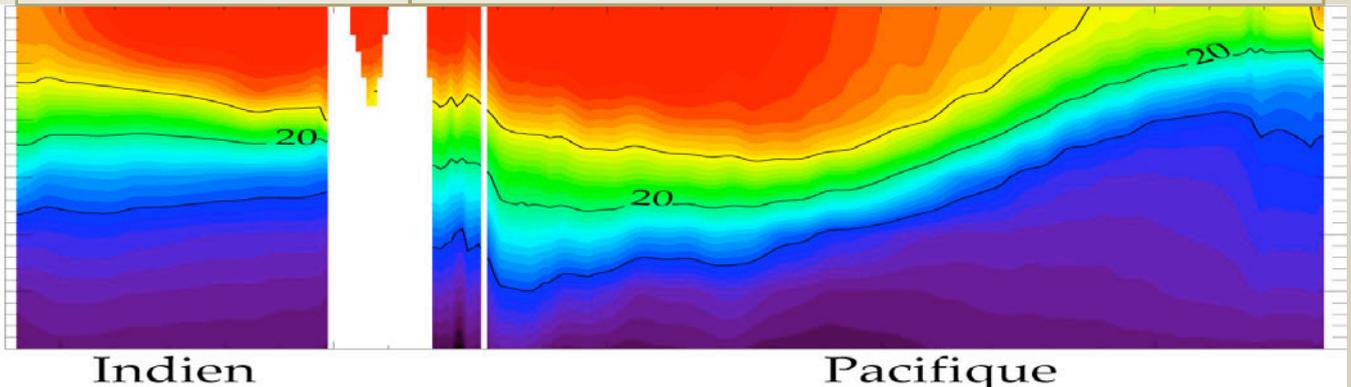
MJO

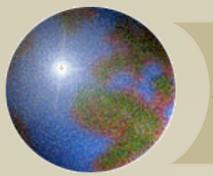
TIWs

Interannuel

Dipôle

El Niño





Introduction

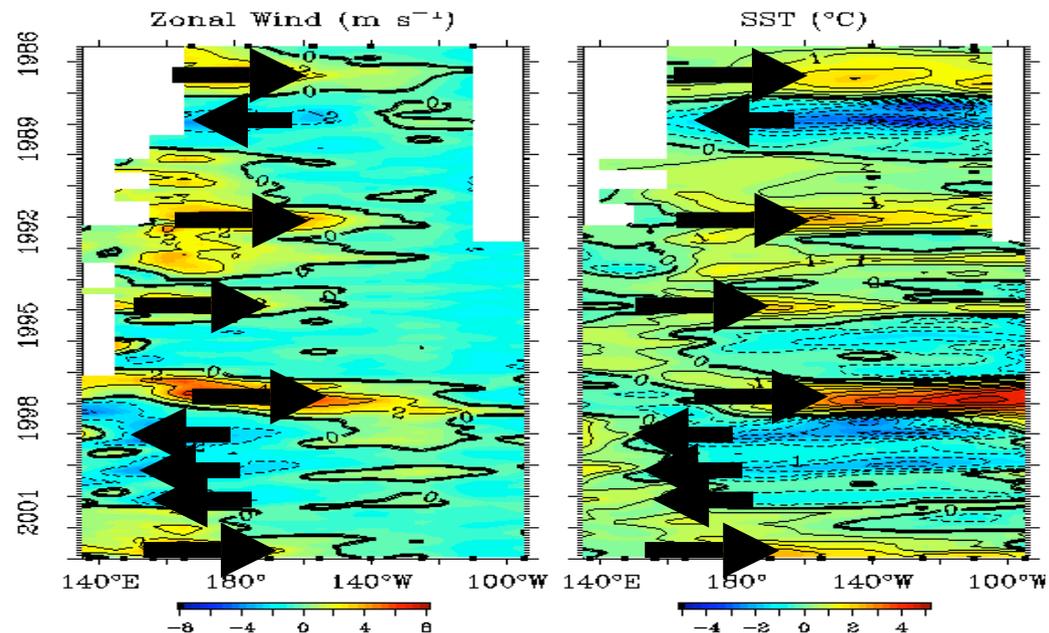
Les motivations

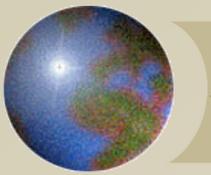
Forte sensibilité de la circulation atmosphérique aux eaux chaudes

Plus de pr
déterminis

Vulnérabil
climatique

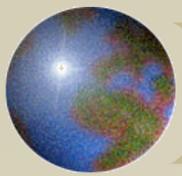
L'atmosphère répons de manière déterministe aux variations de température de surface dans les tropiques (cf modèle de Gill)





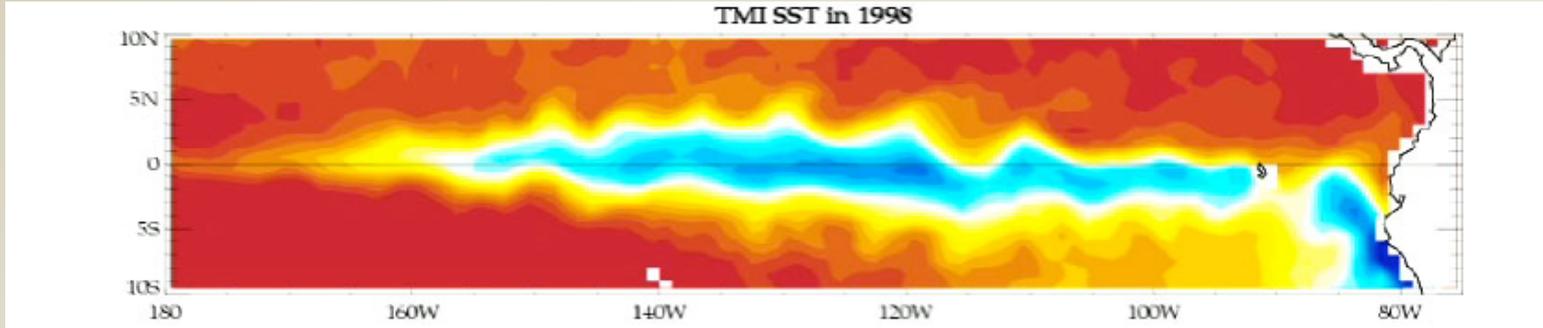
Plan de l'exposé

- ⊕ Introduction générale
- ⊕ Variabilité intrasaisonnière
 - ⊕ Ondes tropicales d'instabilité
 - ⊕ Oscillation de Madden-Julian
- ⊕ Variabilité interannuelle
 - ⊕ El Niño
 - ⊕ Dipôle de l'océan Indien
- ⊕ Interaction d'échelles et de bassins
- ⊕ Et ensuite?



Ondes tropicales d'instabilité

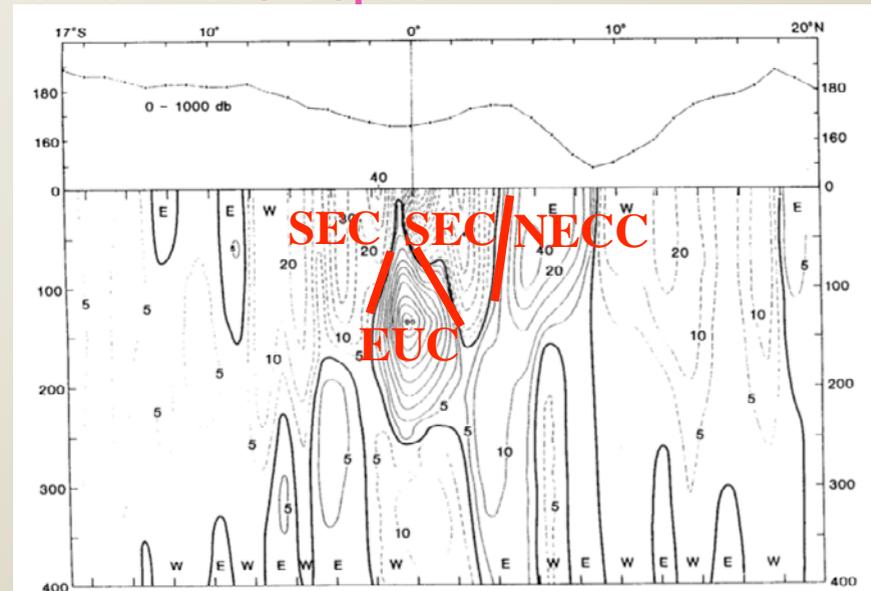
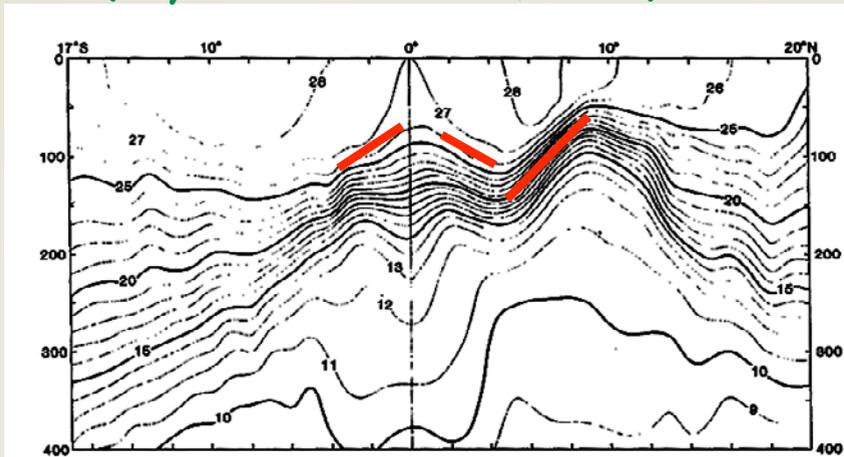
Introduction: propriétés et mécanismes

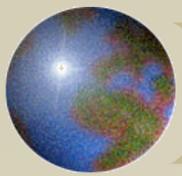


longueur d'onde $\sim 1000\text{--}2000$ km, période $\sim 20\text{--}40$ jours, propagation vers l'ouest à ~ 0.5 ms⁻¹

Sources d'énergie: instabilités baroclines et barotropes

(Wyrтки et Kilonski, 1984)

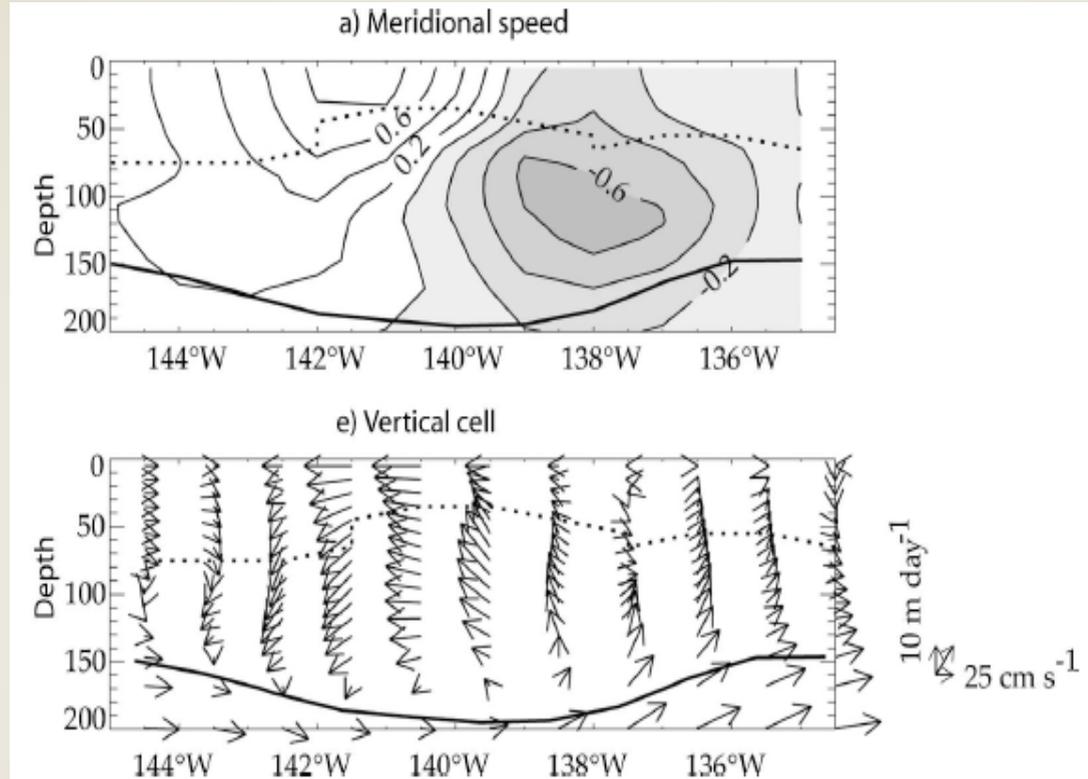
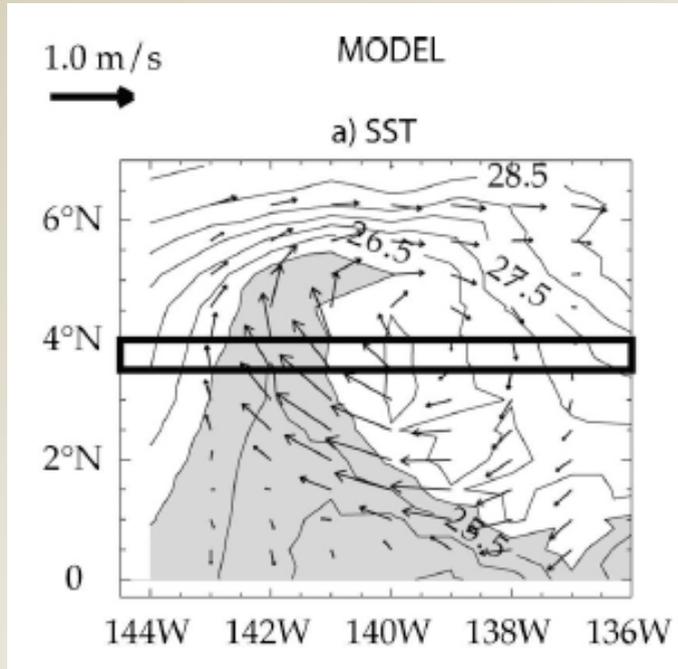




Ondes tropicales d'instabilité

Résultats: structure spatiale

(Menkes et al. 2006)



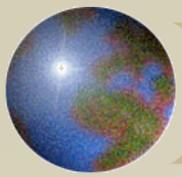
Structure inclinée du tourbillon

Fort flot à travers les isothermes

Circulation verticale: downwelling à l'avant
upwelling à l'arrière



Transports de chaleur et de sel associés ?

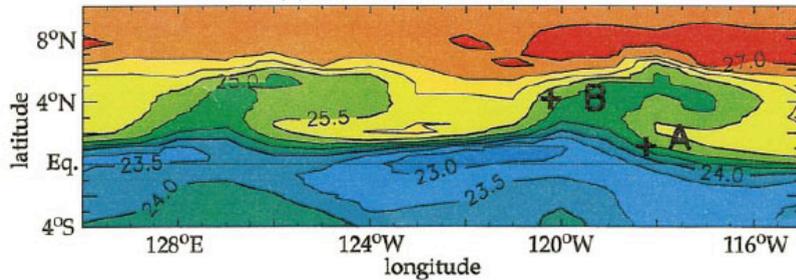


Ondes tropicales d'instabilité

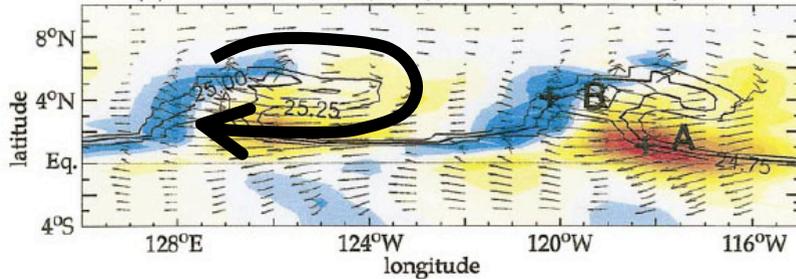
Résultats: transport de chaleur et de sel

(Vialard et al., 2001, 2002)

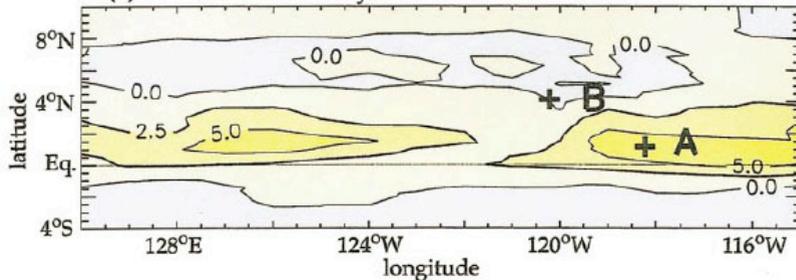
(a) SST for Dec. 15, 1996



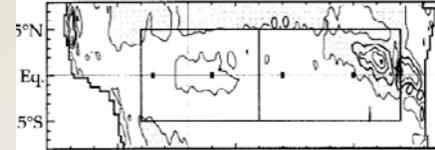
(b) Total horiz. adv., SST, currents for Dec. 15, 1996



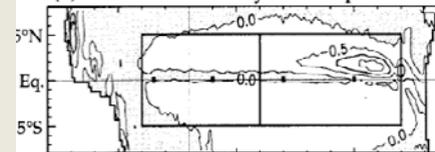
(c) Dec. 1996 monthly mean total horizontal advection



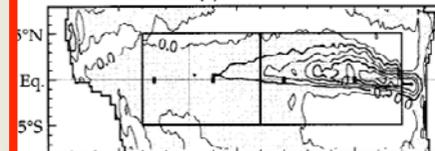
(a) Zonal adv. by low-freq. currents



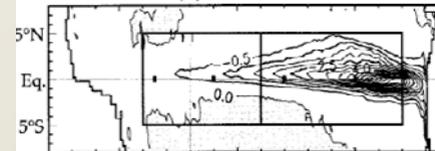
(b) Meridional adv. by low-freq. currents



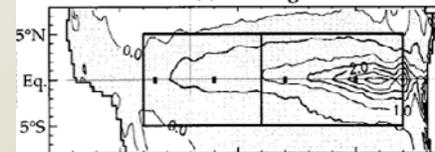
(c) Eddies



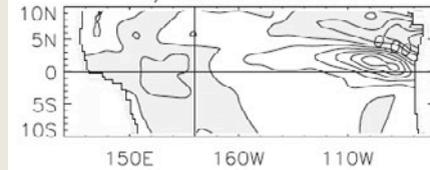
(d) Subsurface



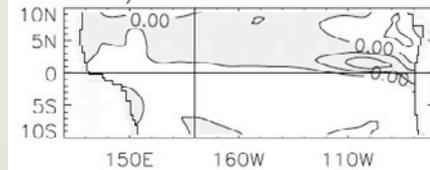
(e) Forcing



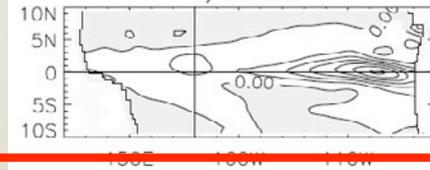
a) Zonal advection



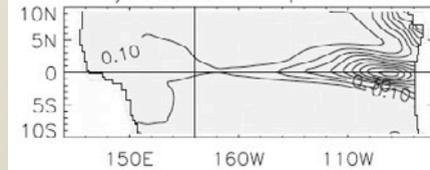
b) Meridional advection



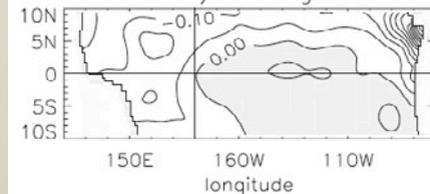
c) Eddies

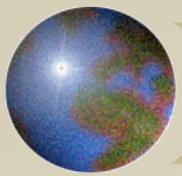


d) Subsurface processes



e) Forcing

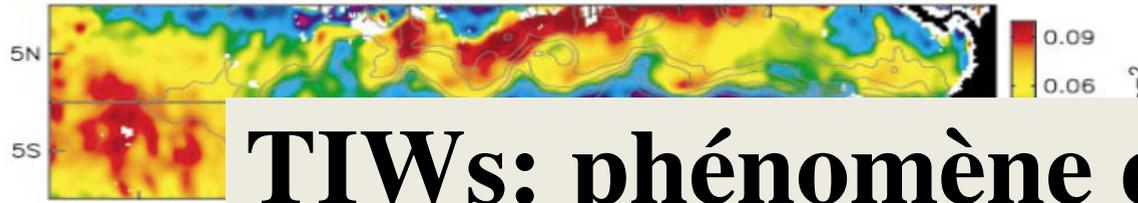




Ondes tropicales d'instabilité

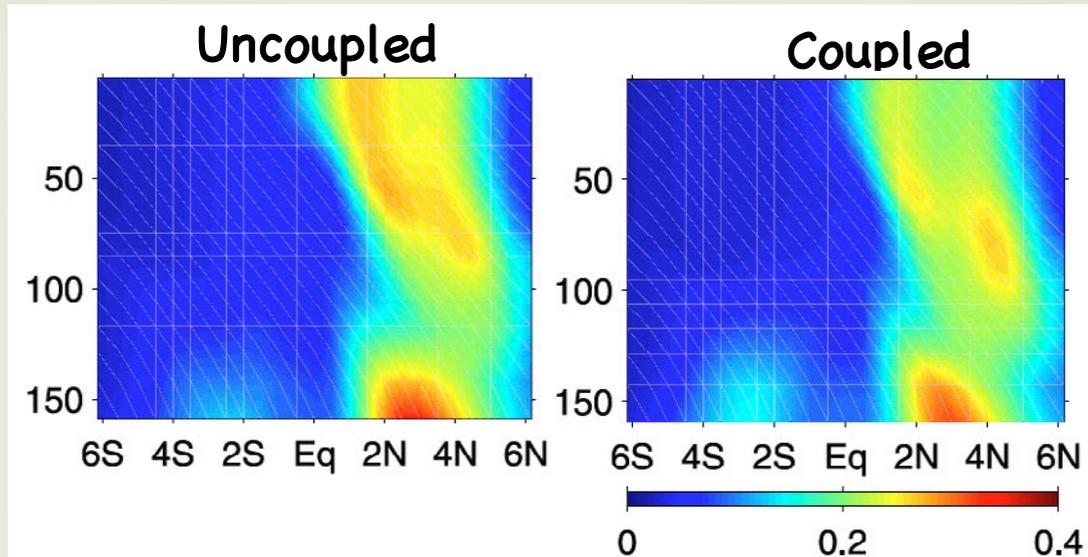
Résultats: couplage air-mer

b) QuikSCAT Wind Stress Magnitude with SST Overlaid (Chelton et al. 2001)



Les anomalies de SST des TIWs influencent la tension de vent de surface

TIWs: phénomène d'origine océanique légèrement affecté par le couplage.

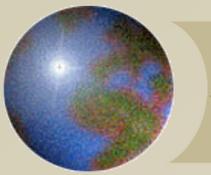


(Pezzi et al., 2004)



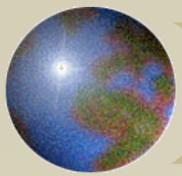
Le couplage réduit l'intensité des TIWs

Confirmé par (Small et al. 2009)



Plan de l'exposé

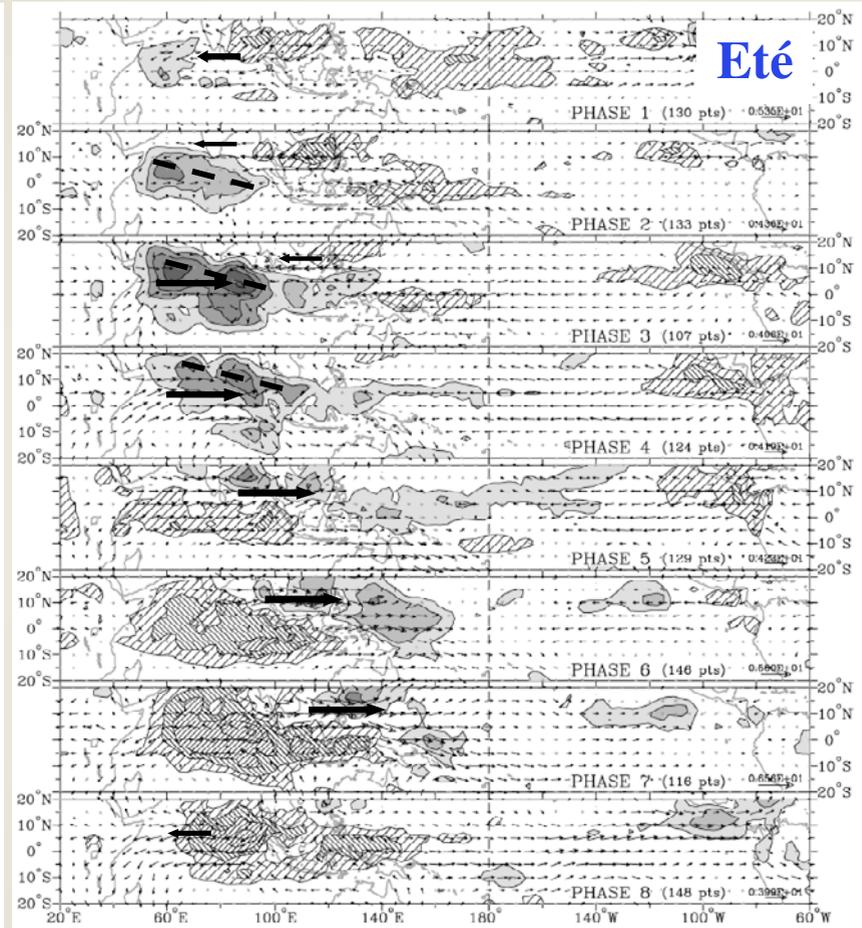
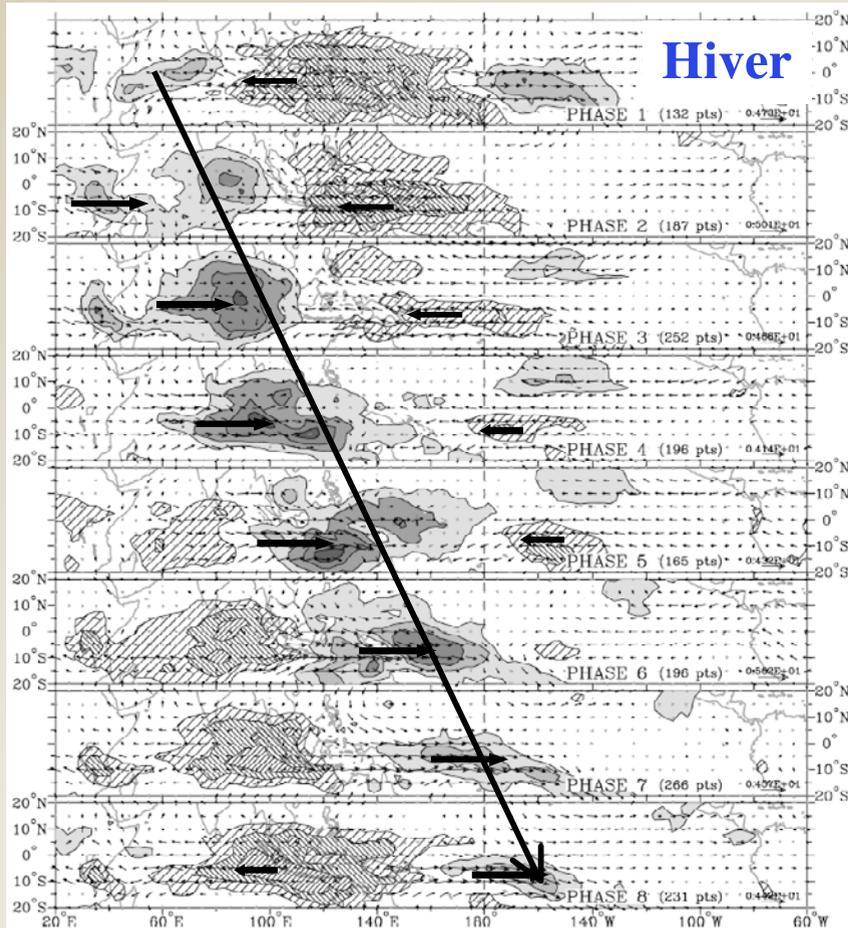
- ⊕ Introduction générale
- ⊕ **Variabilité intrasaisonnière**
 - ⊕ Ondes tropicales d'instabilité
 - ⊕ **Oscillation de Madden-Julian**
- ⊕ Variabilité interannuelle
 - ⊕ El Niño
 - ⊕ Dipôle de l'océan Indien
- ⊕ Interaction d'échelles et de bassins
- ⊕ Et ensuite?



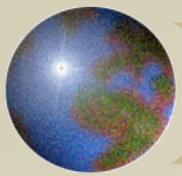
Oscillation de Madden-Julian

Introduction

(Wheeler et Hendon 2004)

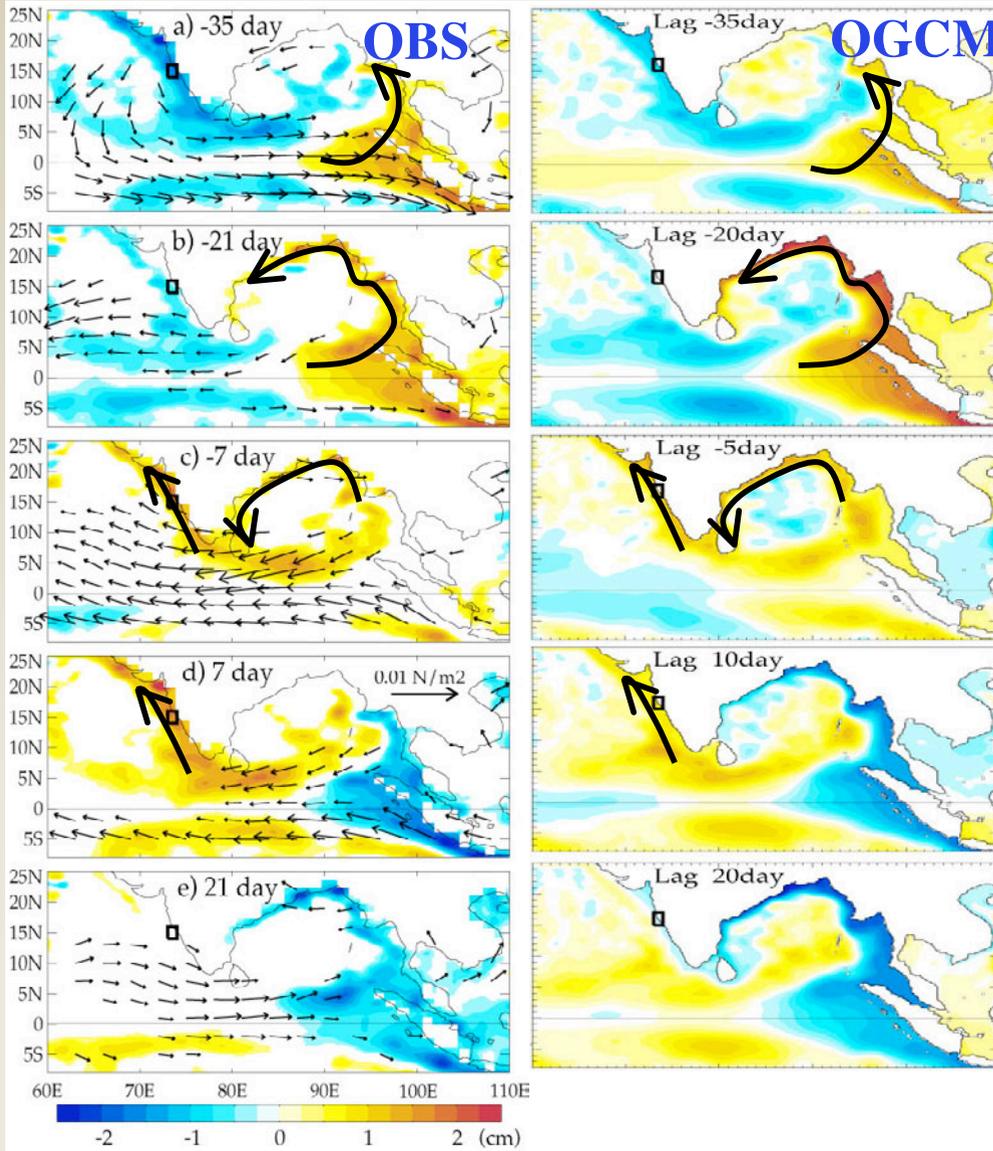


Fort couplage dynamique-convection.
Propagation vers l'est $\sim 5 \text{ m s}^{-1}$
Forte saisonnalité.



Oscillation de Madden-Julian

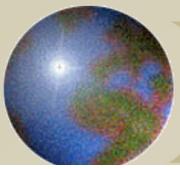
Réponse dynamique de l'océan: guide d'onde côtier du nord de l'océan Indien



(Vialard et al. 2009b)

Que deviennent les signaux intrasaisonniers?

Ils se propagent du guide d'onde équatorial vers le guide d'onde côtier du Nord de l'Océan Indien

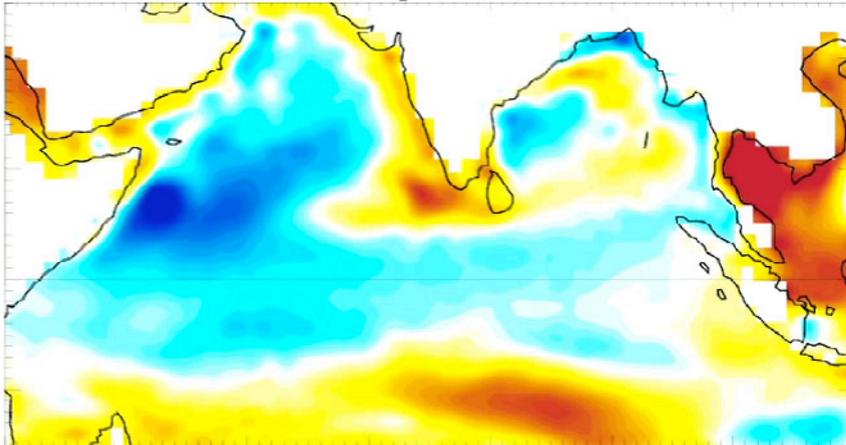


Oscillation de Madden-Julian

(Vialard et al. 2009b)

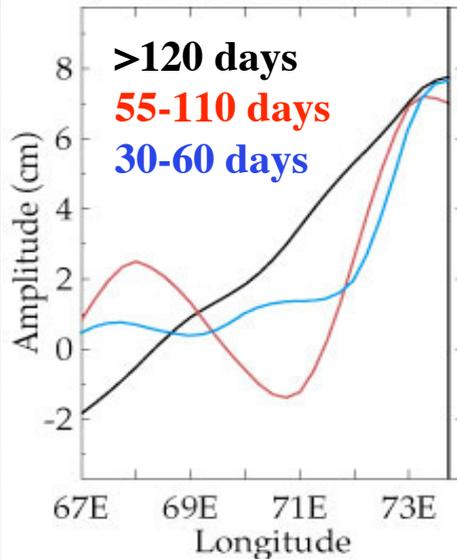
A la différence du signal saisonnier, le signal intrasaisonnier est piégé à la côte, et est donc associé à de plus forts gradients de pression...

Climatological SL (cm) Jan



-20.00 -18.00 -16.00 -14.00 -12.00 -10.00 -8.00 -6.00 -4.00 -2.00 0.00 2.00 4.00 6.00 8.00 10.00 12.00 14.00 16.00 18.00

b) Off-shore structure

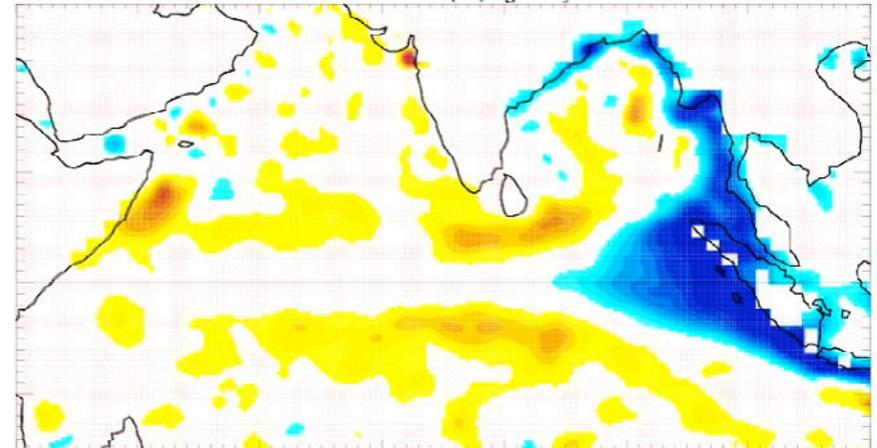


>120 days

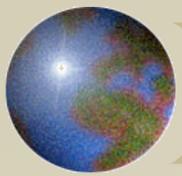
55-110 days

30-60 days

Intraseasonal SL (cm) lag -40day



-2.50 -2.00 -1.50 -1.00 -0.50 0.00 0.50 1.00 1.50 2.00 2.50

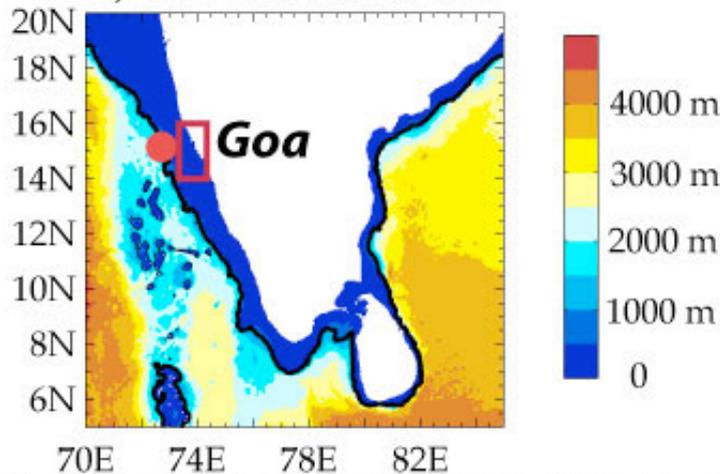


Oscillation de Madden-Julian

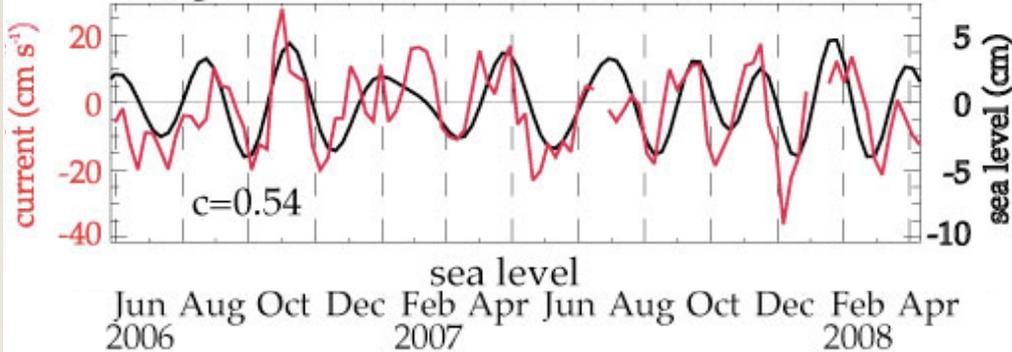
Réponse dynamique de l'océan: guide d'onde côtier du nord de l'océan Indien

(Vialard et al. 2009b)

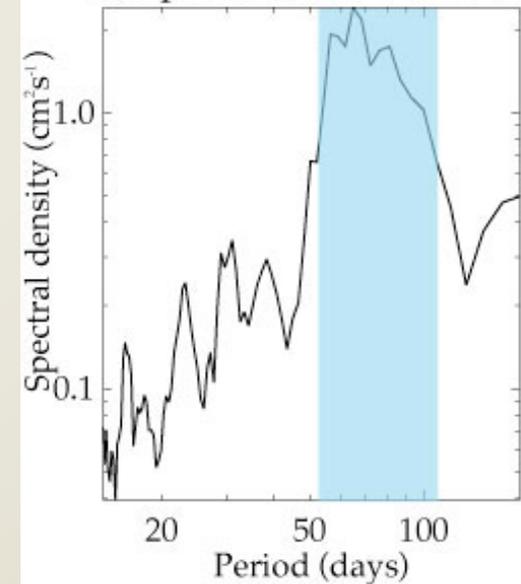
a) Location of ADCP



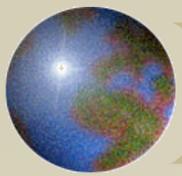
alongshore current and intraseasonal sea level



a) Spectrum of V ADCP



=> Le courant côtier est dominé par l'échelle intrasaisonnière le long de la côte ouest de l'Inde



Oscillation de Madden-Julian

Réponse thermodynamique de l'océan

Signal SST de la MJO longtemps sous-estimée

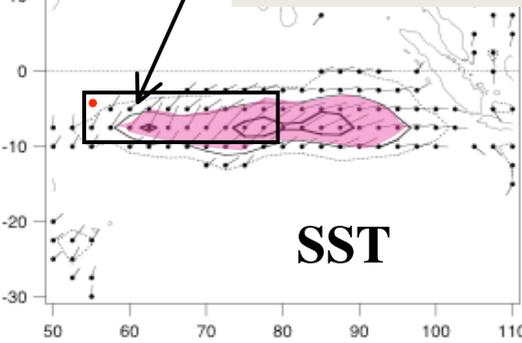
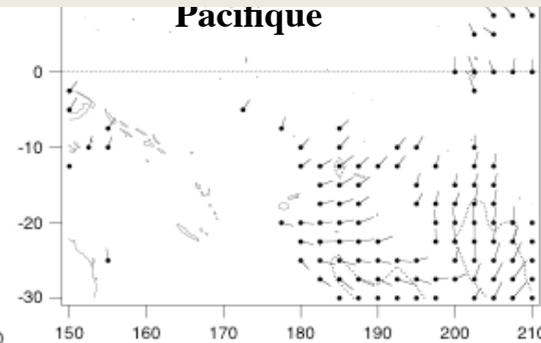
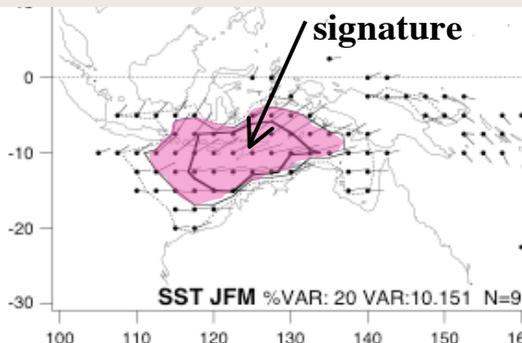
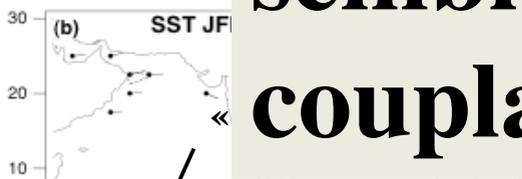
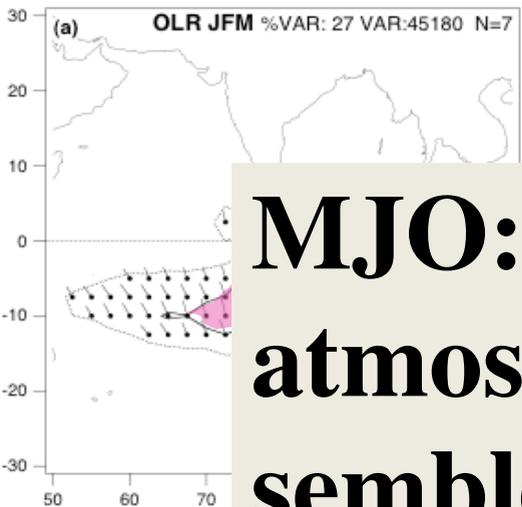
an en on ce et e onse

Couplage important (e.g. Innes et al. 2003, Woolnough et al. 2007)

Signature de la MJO en SST et OLR

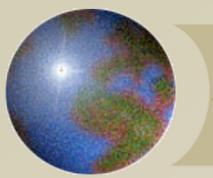
(Duvel et Vialard 2007)

MJO: phénomène d'origine atmosphérique, mais qui semble influencé par le couplage.



SST

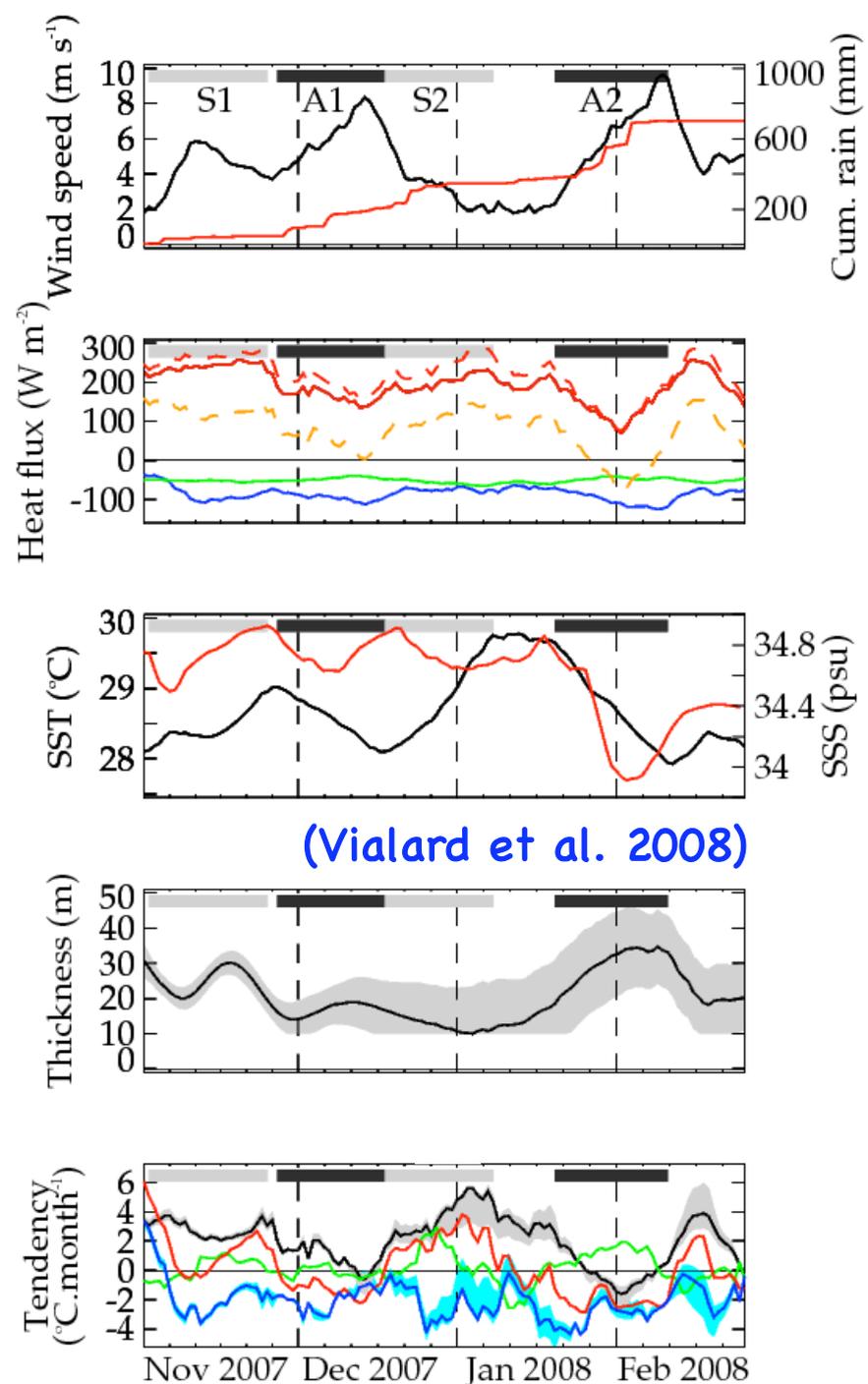
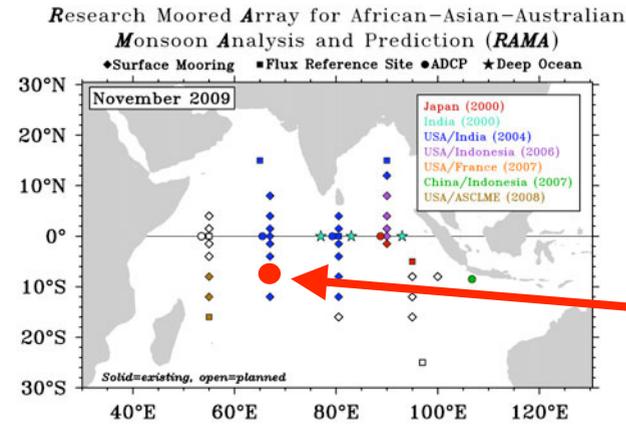
Pacifique

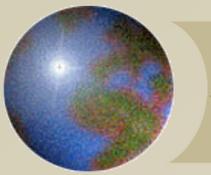


Oscillation de Madden-Julian

Réponse thermodynamique de l'océan
 Signal en vent: évap., mélange...
 Signal en convection: flux solaire

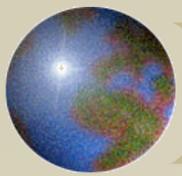
Obs => effet des flux domine





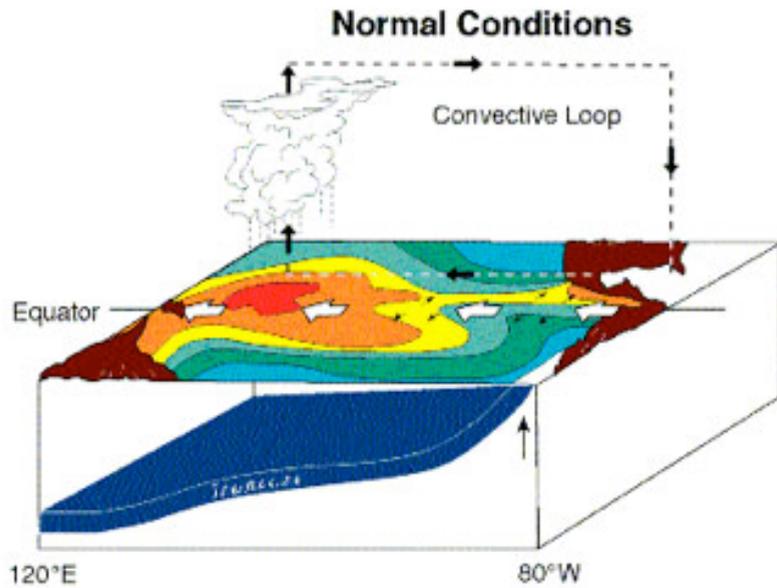
Plan de l'exposé

- ⊕ Introduction générale
- ⊕ Variabilité intrasaisonnière
 - ⊞ Ondes tropicales d'instabilité
 - ⊞ Oscillation de Madden-Julian
- ⊕ **Variabilité interannuelle**
 - ⊞ **El Niño**
 - ⊞ Dipôle de l'océan Indien
- ⊕ Interaction d'échelles et de bassins
- ⊕ Et ensuite?



El Niño

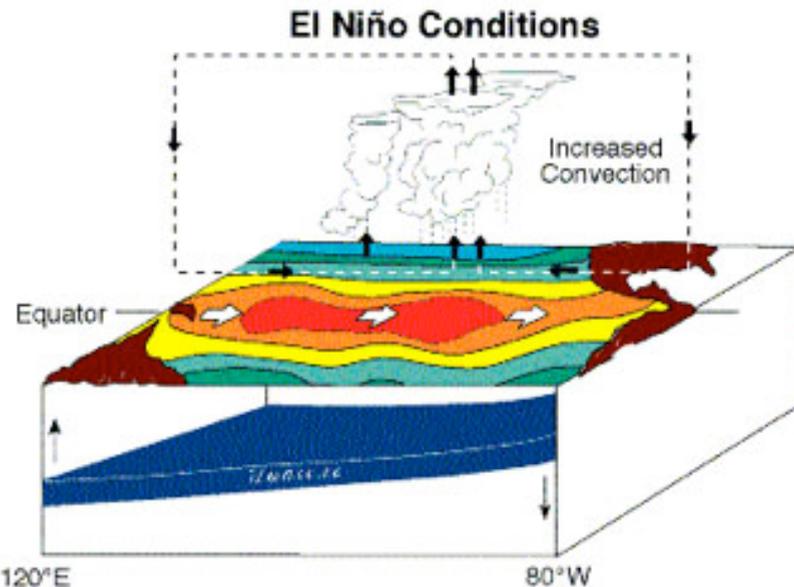
Introduction: role du couplage air-mer

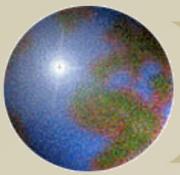


Rétroaction positive océan-atmosphère:
« feedback de Bjerknes »: **couplage essentiel!**

El Niño: anomalie chaude dans le Pacifique est et alizés faibles

Pic d'El Niño en fin d'année (d'où le nom)

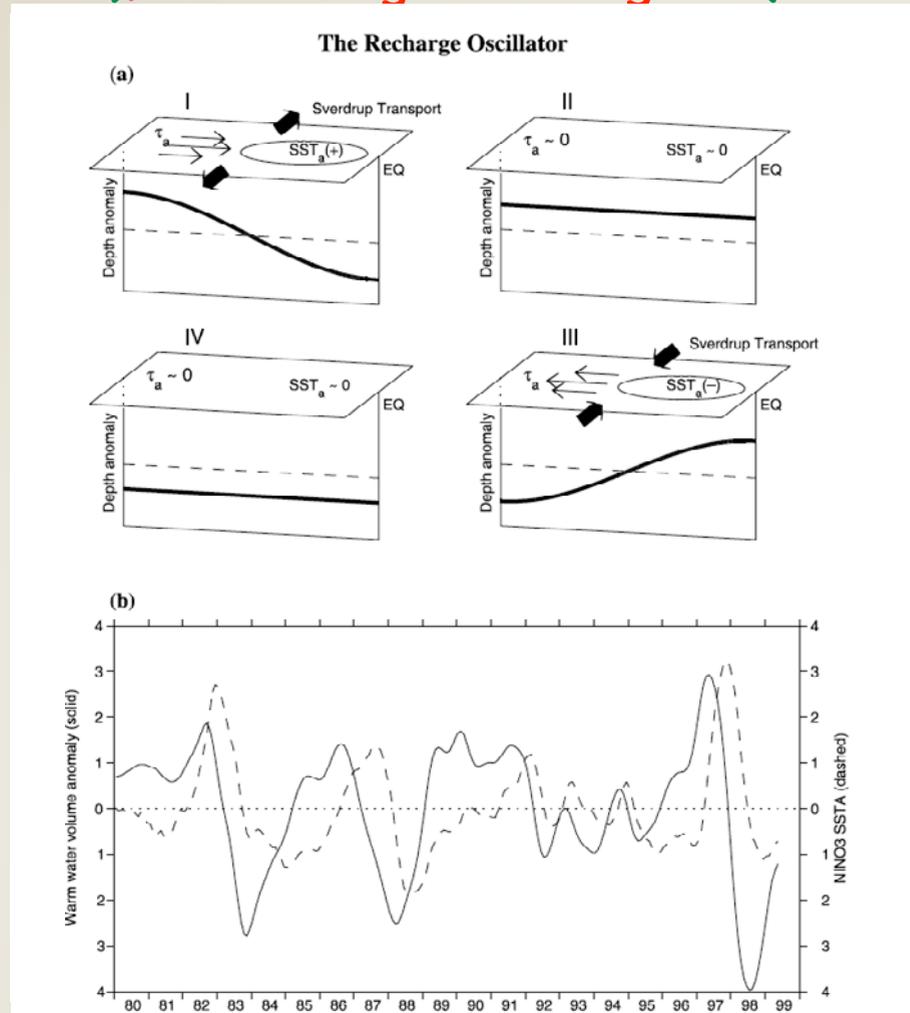


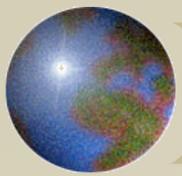


El Niño

Mécanismes: quelle rétroaction négative pour terminer El Niño?

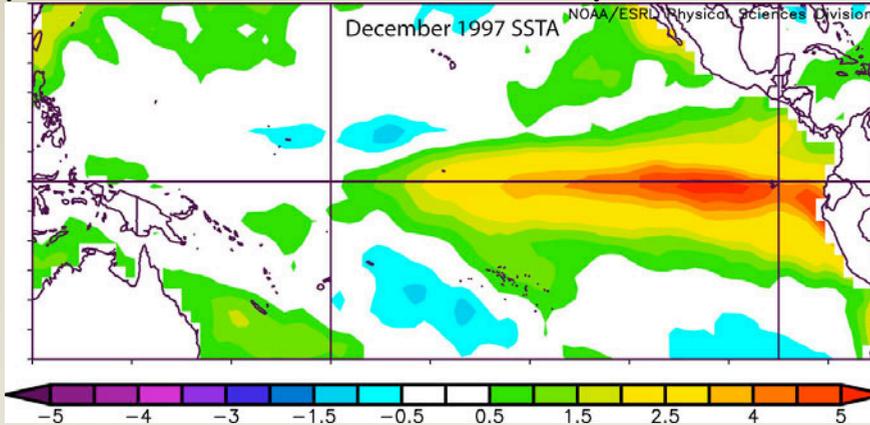
Oscillateur « retardé » (Schopf et Suarez 1988), « advectif-reflectif » (Picaut et al. 1997), « recharge-décharge » (Jin 1997)...





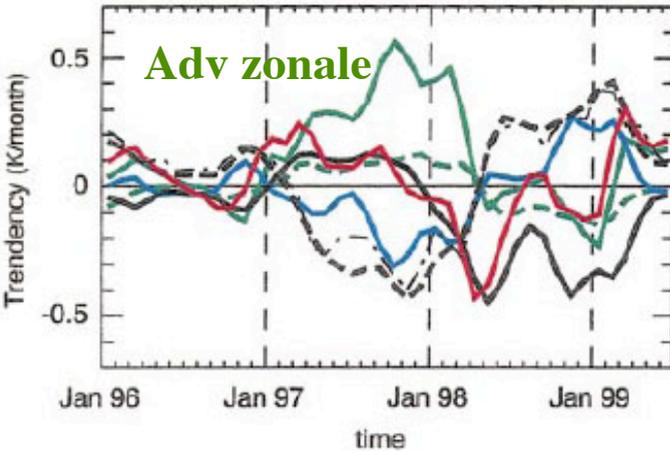
El Niño

Résultats: processus dans le Pacifique central et est



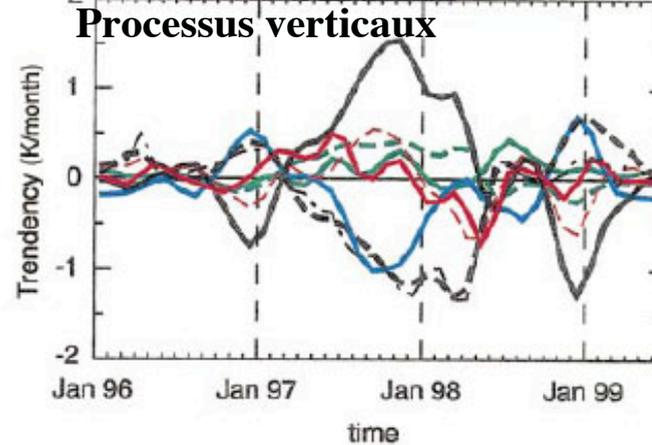
(Vialard et al. 2001)

(c) Niño 4



- zonal adv. by low-freq. currents
- - meridional adv. by low-freq. currents
- eddies
- subsurface

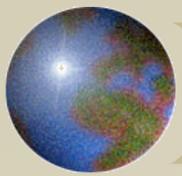
(d) Niño 3



- - forcing
- - forcing (no ML variation)
- total tendency
- - sub.-forc. (Niño3)

Pacif central: adv. Zonale (i.e. advection zonale essentielle pour le développement d'El Niño)

Pacif est: processus verticaux

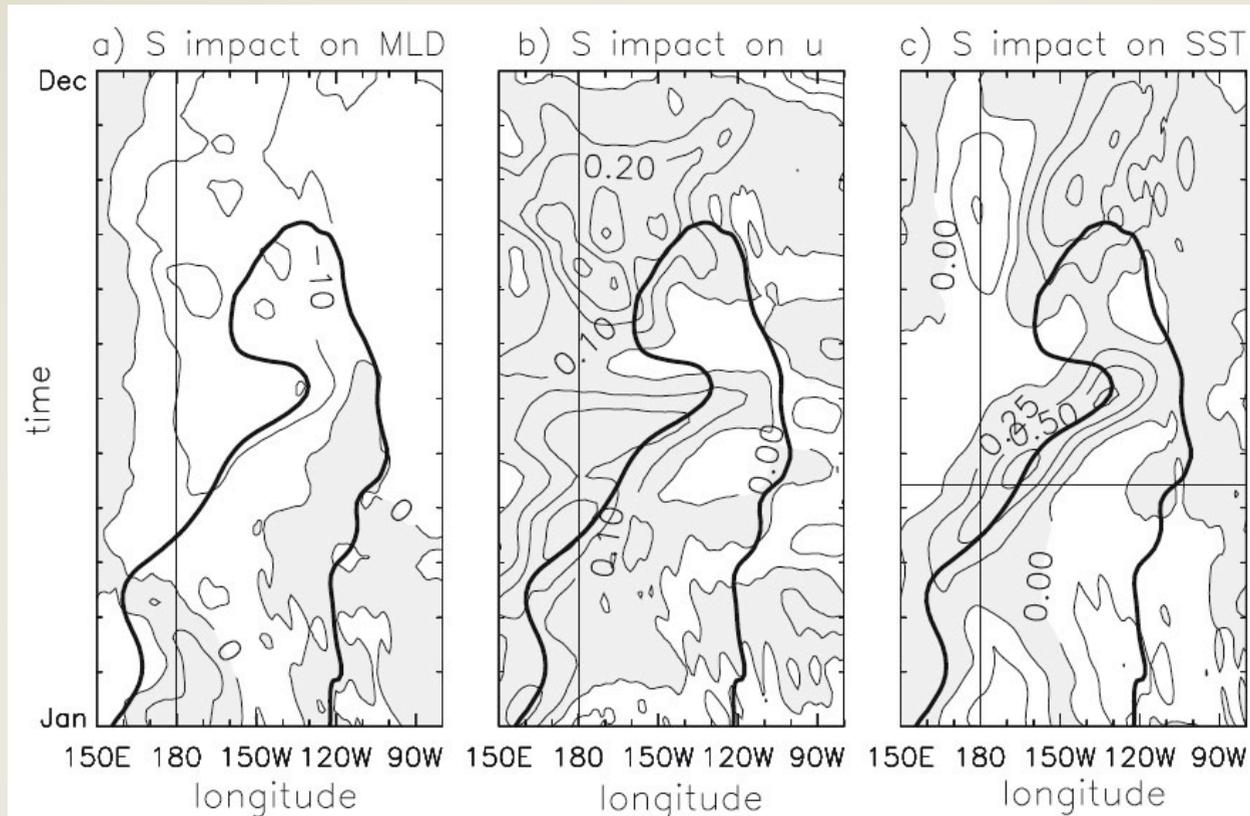


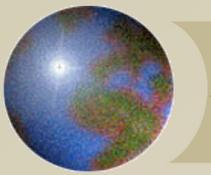
El Niño

Résultats: rôle de la salinité

Les effets de salinité peuvent contribuer à El Niño en limitant la profondeur de la couche mélangée dans le Pacifique ouest et en piégeant la quantité de mouvement dans les couches de surface.

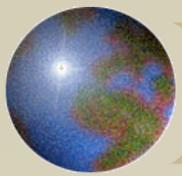
Augmentation de 2000km du déplacement du bord est des eaux chaudes en 1998. (Vialard et al. 2002)





Plan de l'exposé

- ⊕ Introduction générale
- ⊕ Variabilité intrasaisonnière
 - ⊞ Ondes tropicales d'instabilité
 - ⊞ Oscillation de Madden-Julian
- ⊕ **Variabilité interannuelle**
 - ⊞ El Niño
 - ⊞ **Dipôle de l'océan Indien**
- ⊕ Interaction d'échelles et de bassins
- ⊕ Et ensuite?

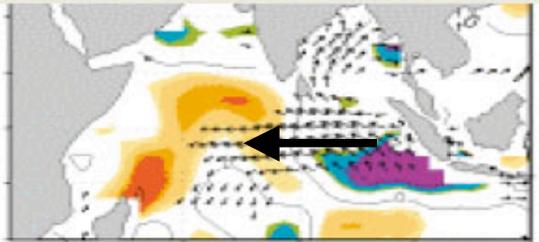


Dipôle de l'océan Indien

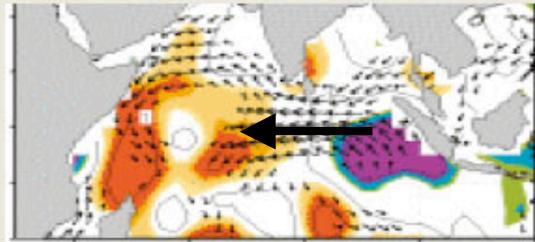
Description

(Saji et al. 1999)

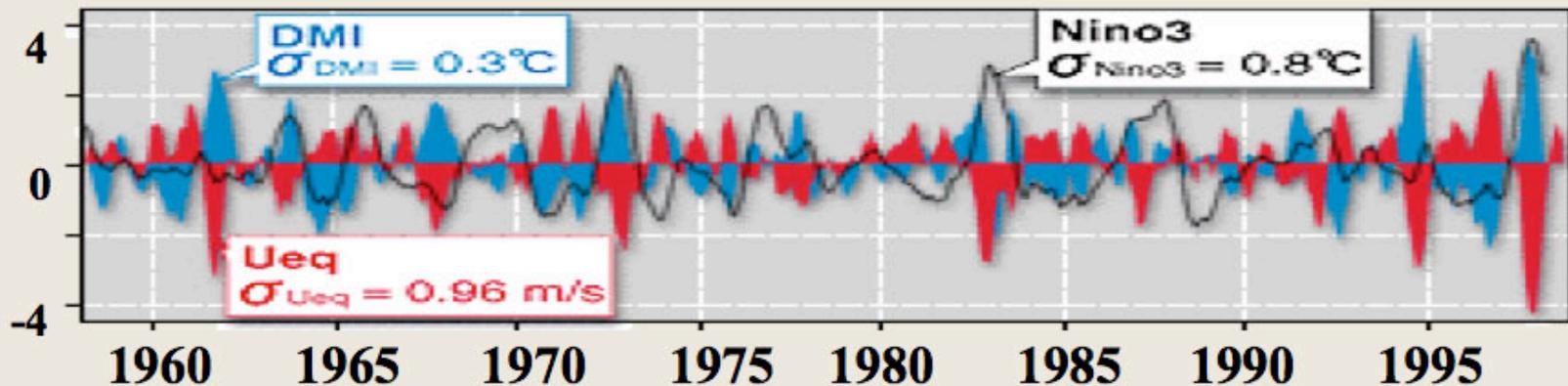
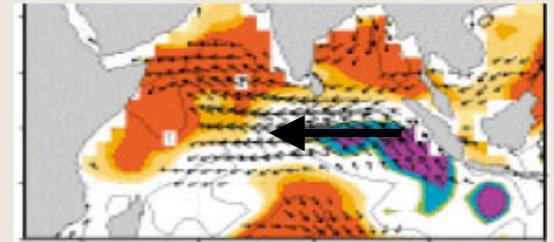
October 1961



October 1994

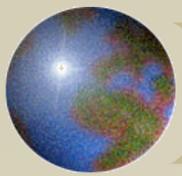


October 1997



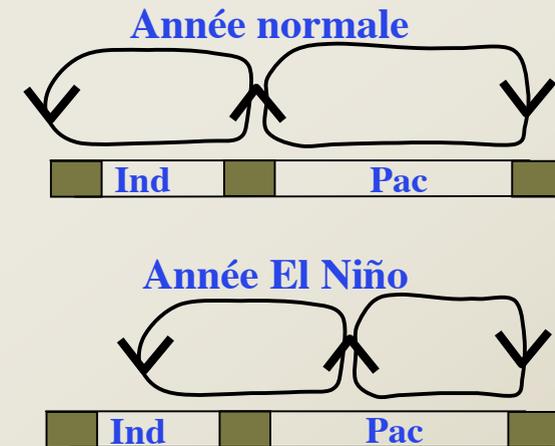
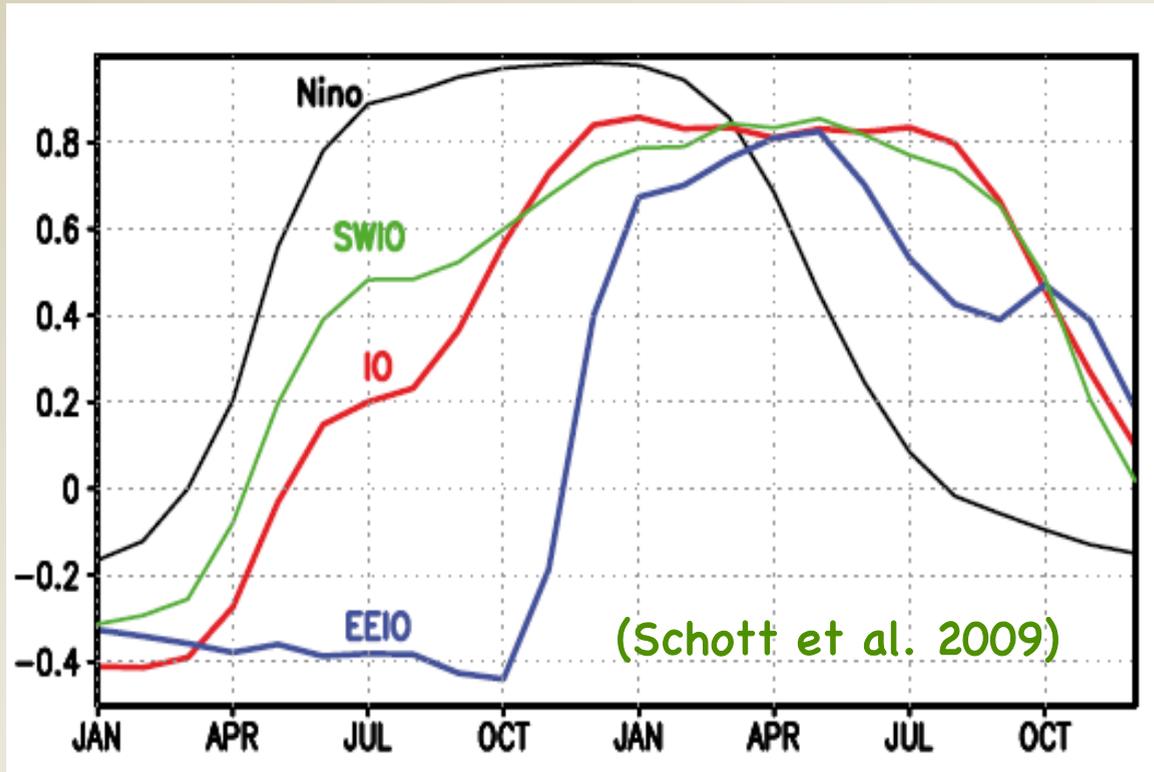
Dipôle

Rétroaction de Bjerknes (couplage essentiel)

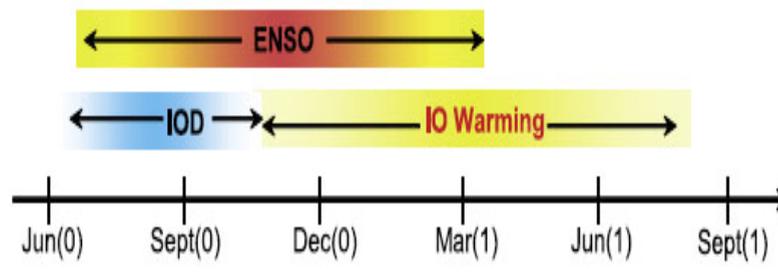


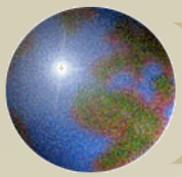
Dipôle de l'océan Indien

Description: signature d'El Niño dans l'Océan Indien



El Niño
Subsidence sur OI
Vents d'est

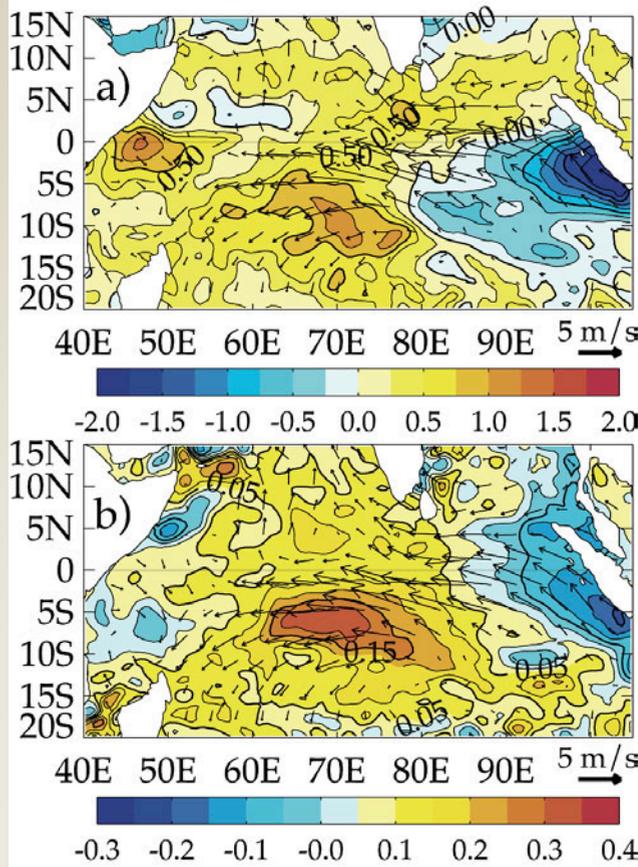




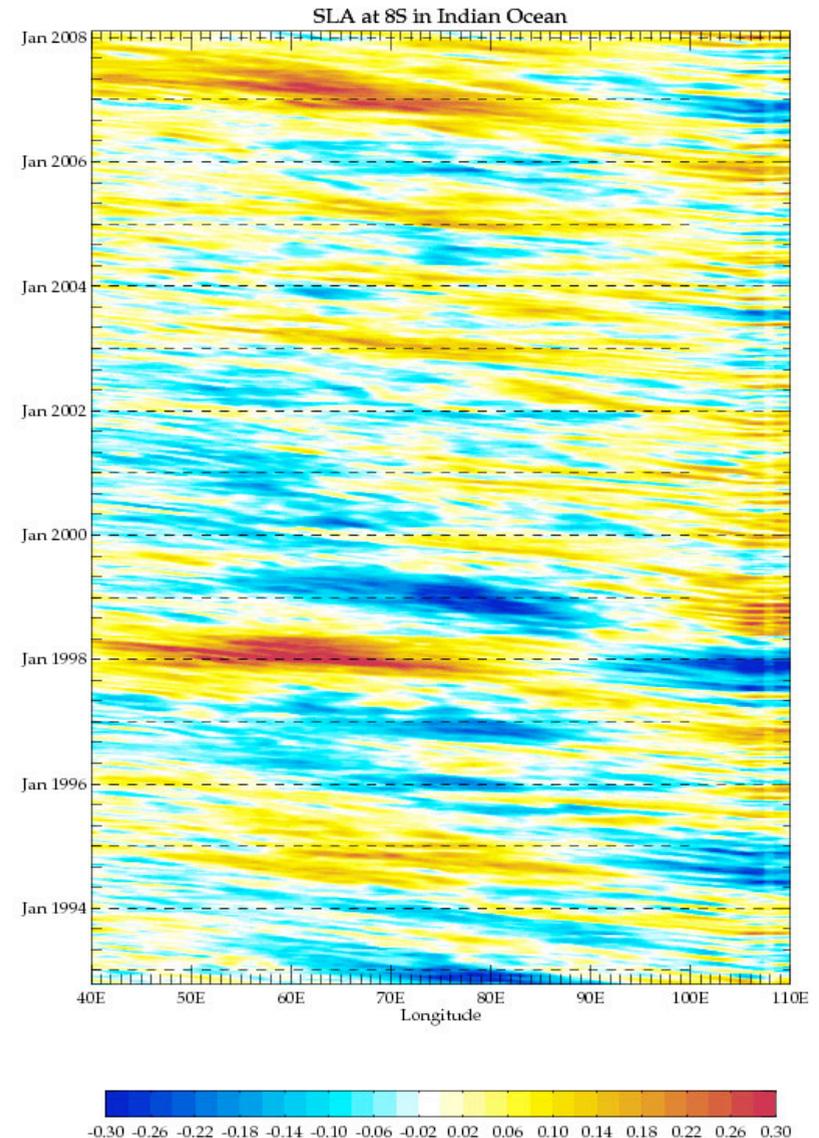
Dipôle de l'océan Indien

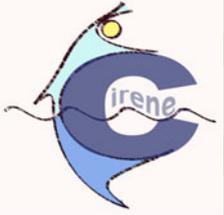
Résultats: signature dans la « SCTR »

Oct
2006



Anomalies de niveau de la mer générées par le pompage d'Ekman, persistent jusqu'en mars => Anoms de SST et impacts (Xie et al. 2002)

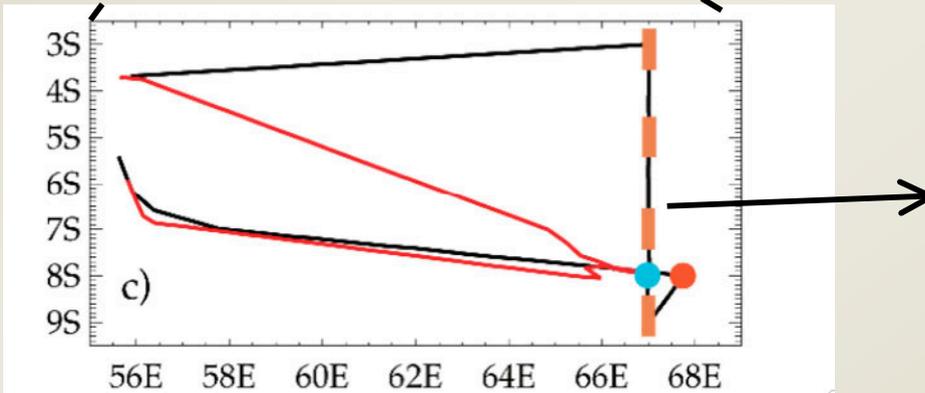
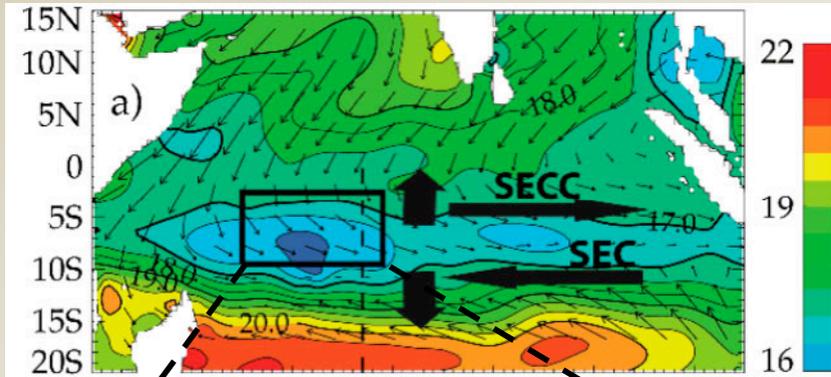




Dipôle de l'océan Indien

Campagne Cirene (présentation)

(Vialard et al. 2009a)



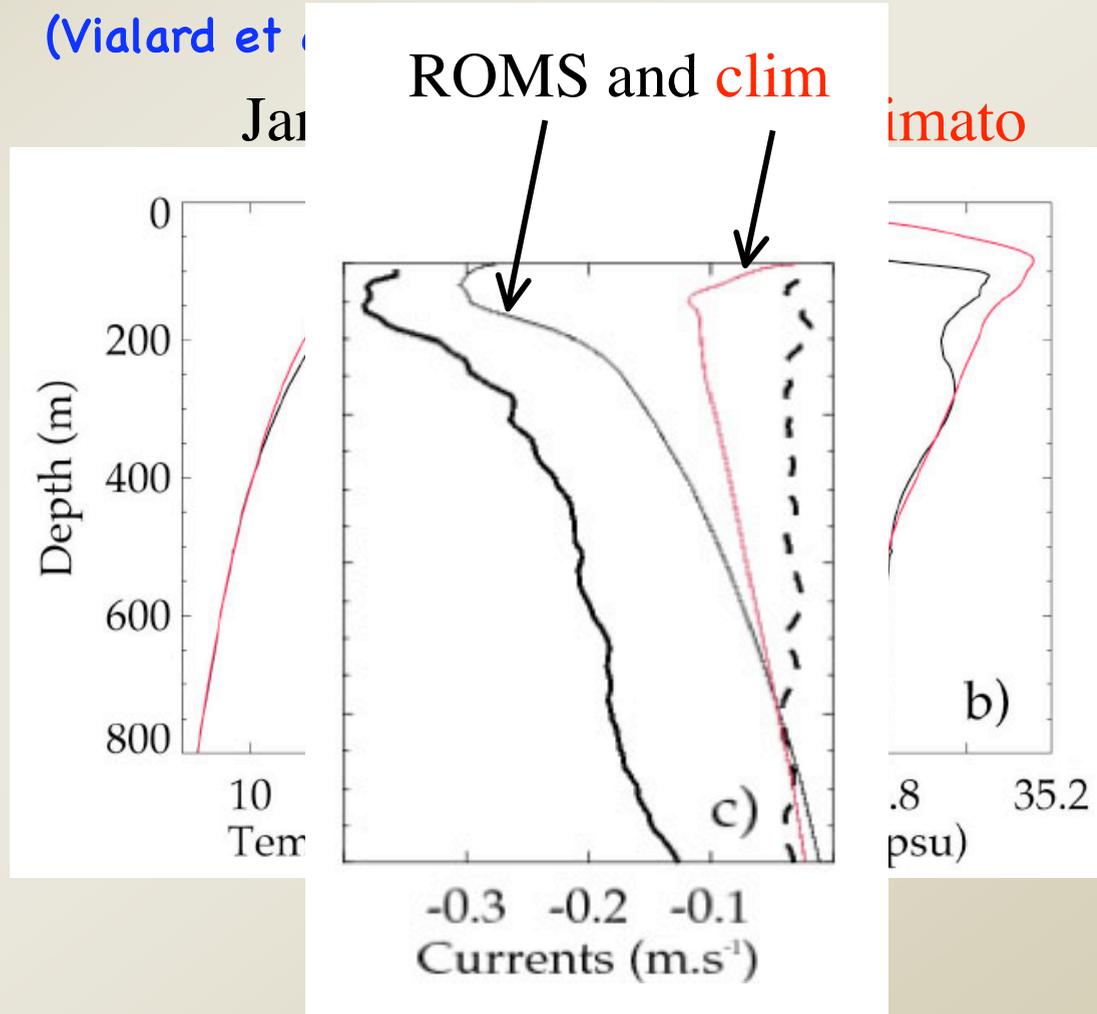
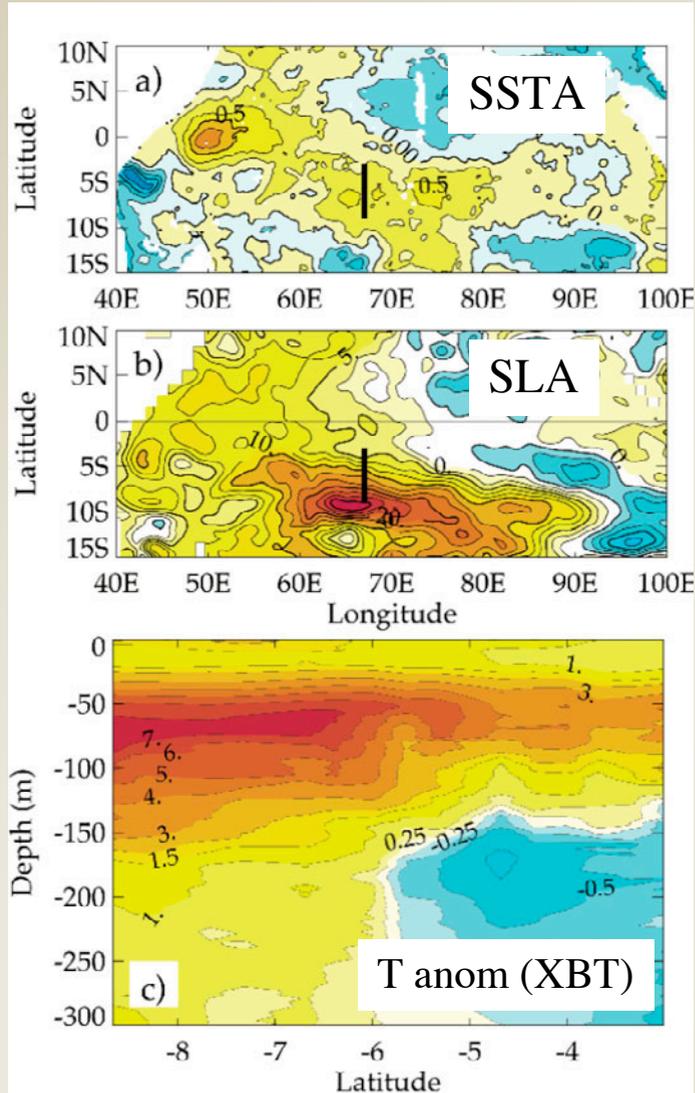
Cirene



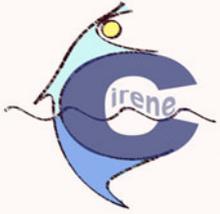
Dipôle de l'océan Indien

Campagne Cirene (résultats)

(Vialard et al.)

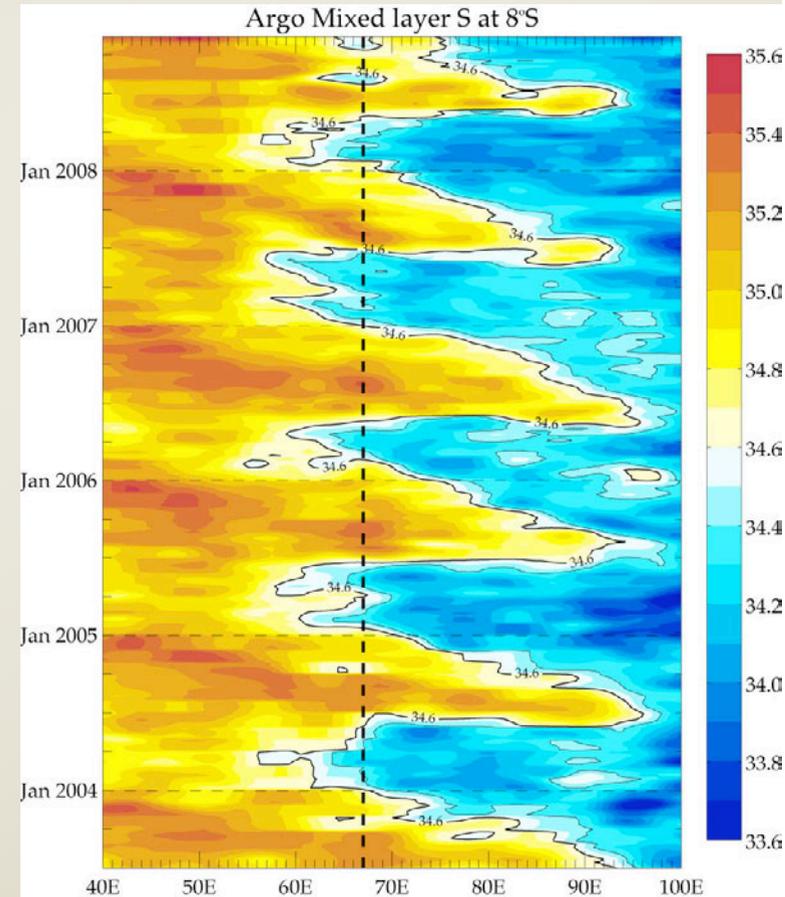
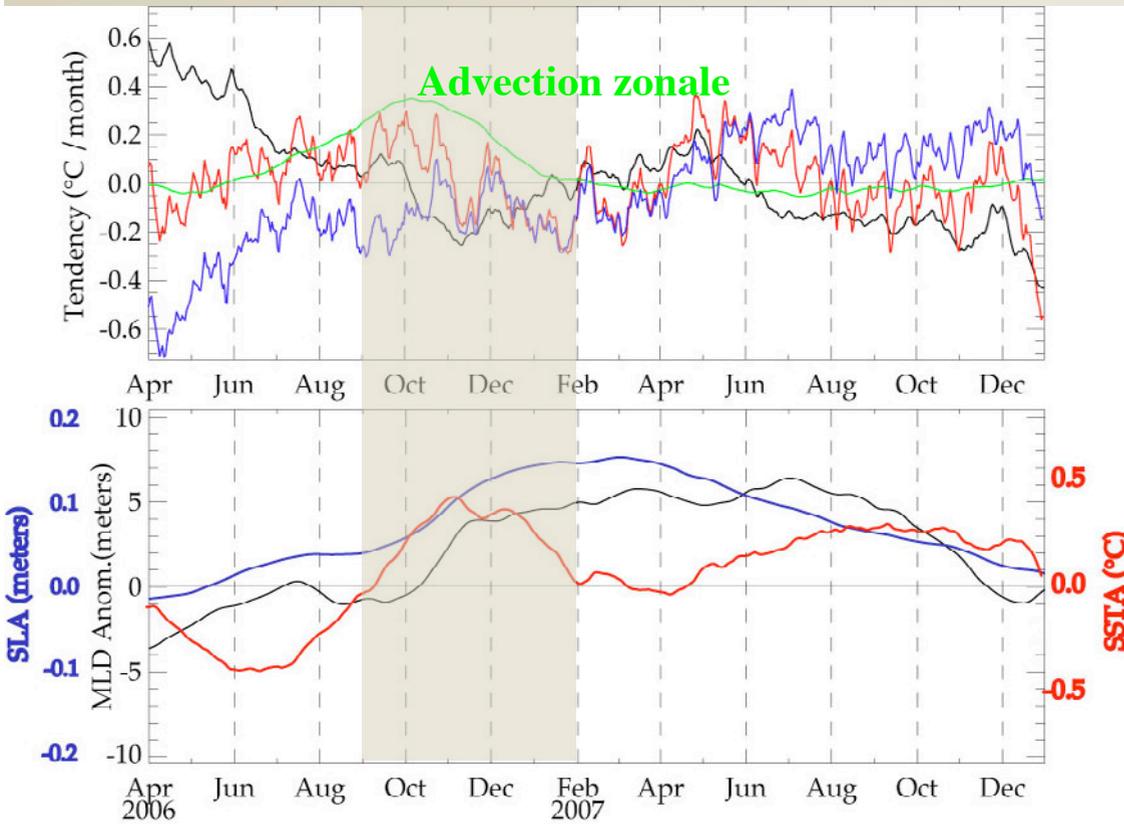


Océan superficiel plus chaud et moins salé.
Pourquoi?

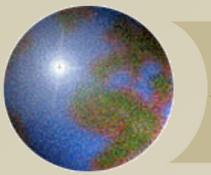


Dipôle de l'océan Indien

Campagne Cirene (résultats)

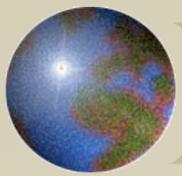


Les anomalies de salinité et de température dans la couche de mélange semblent en grande partie dues à l'advection zonale



Plan de l'exposé

- ⊕ Introduction générale
- ⊕ Variabilité intrasaisonnière
 - ⊞ Ondes tropicales d'instabilité
 - ⊞ Oscillation de Madden-Julian
- ⊕ Variabilité interannuelle
 - ⊞ El Niño
 - ⊞ Dipôle de l'océan Indien
- ⊕ Interaction d'échelles et de bassins
- ⊕ Et ensuite?

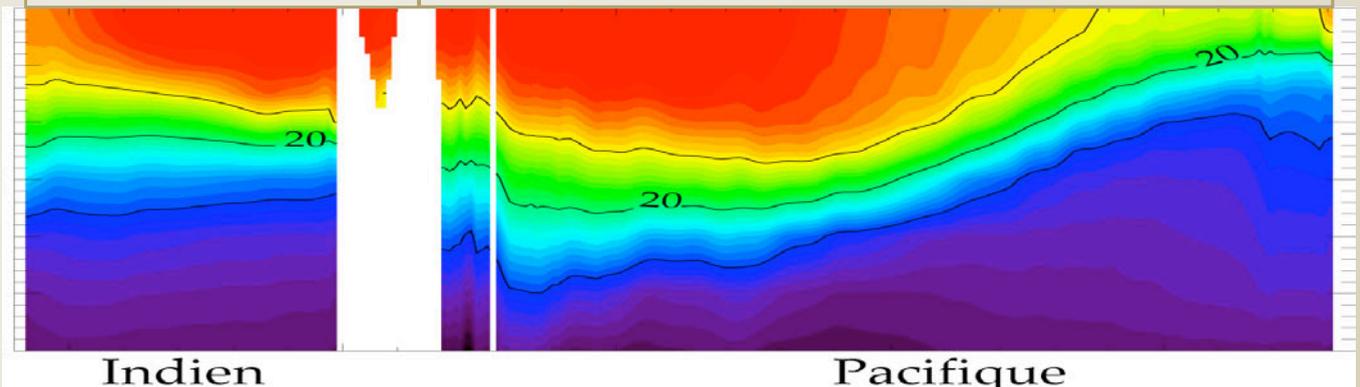
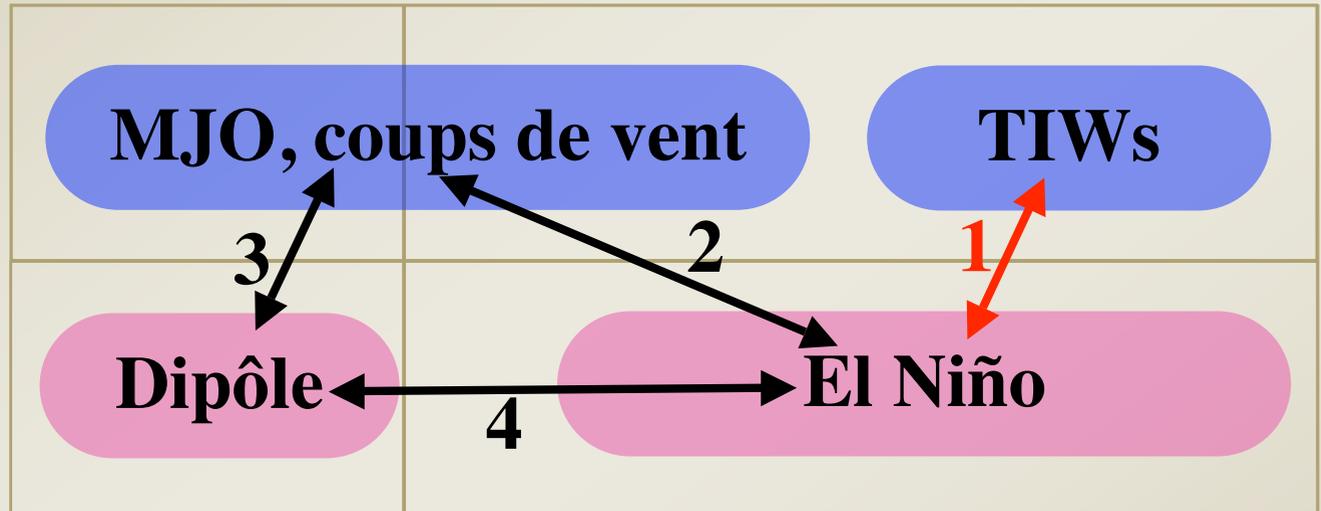


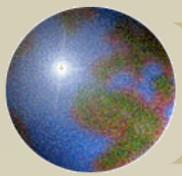
Interaction d'échelles et de bassins

Vue d'ensemble

Intrasaisonnier

Interannuel





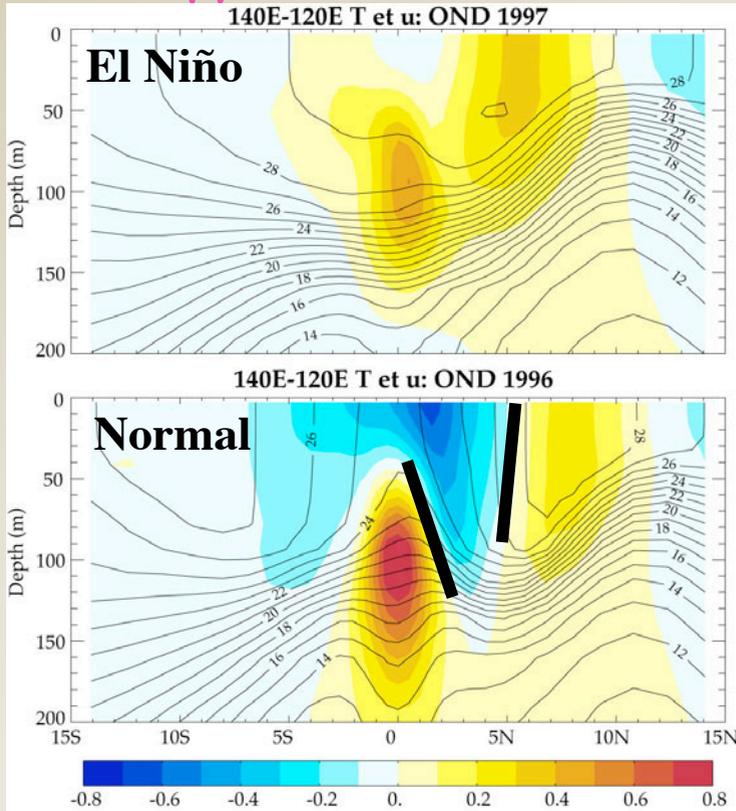
Interaction d'échelles et de bassins

Interactions El Niño \leftrightarrow Ondes d'instabilité

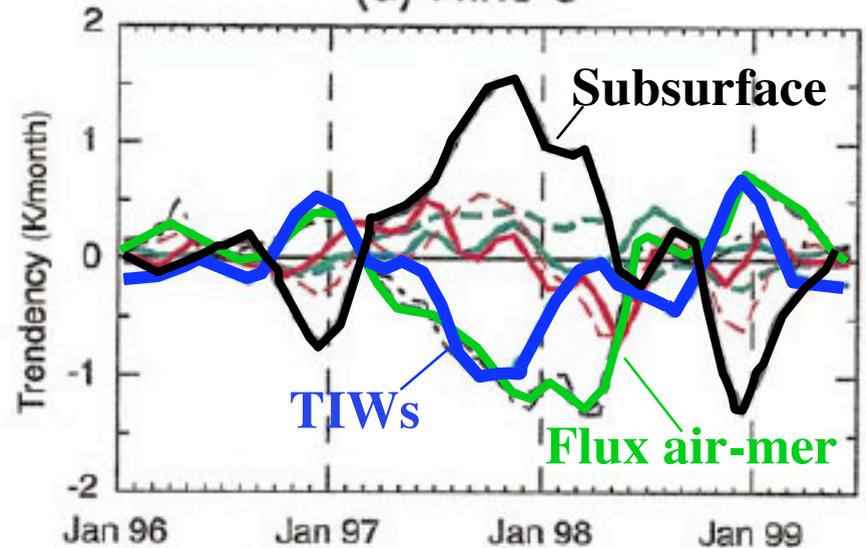
(Vialard et al. 2001)

El Niño supprime les causes des TIWs

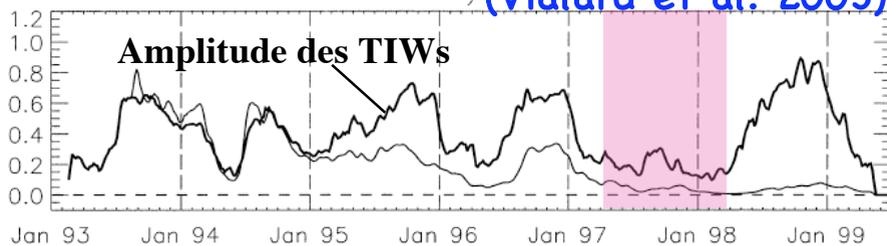
La suppression des TIWs agit comme une rétroaction négative sur El Niño



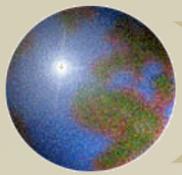
Vialard et al., 2001 (d) Niño 3



a) (Vialard et al. 2003)



⇒ Possible facteur d'asymétrie El Niño / La Niña (e.g. An 2008)

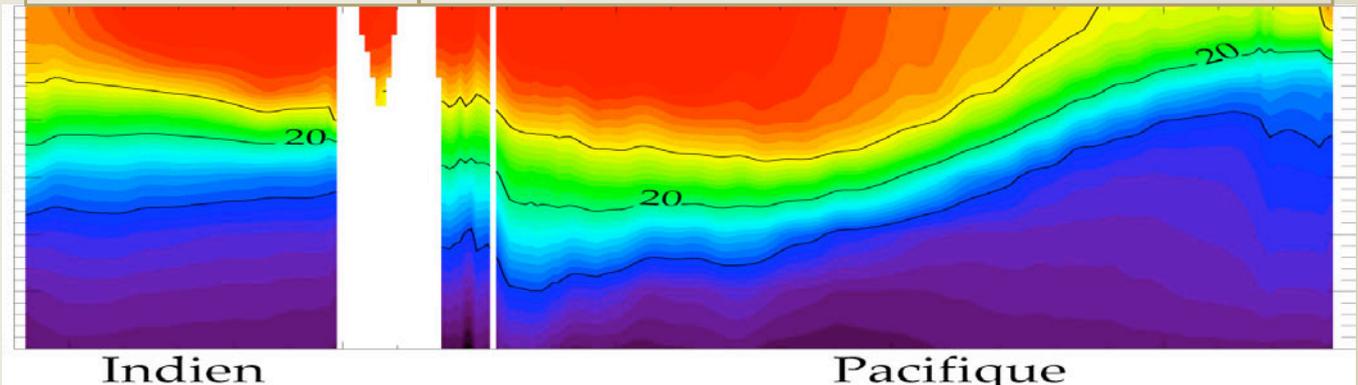
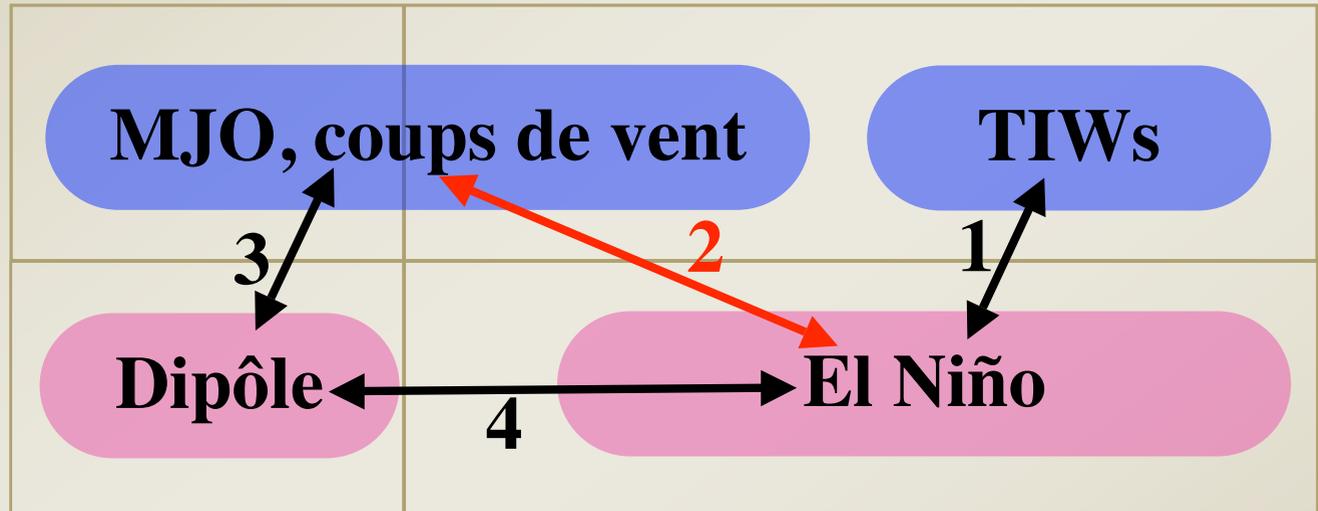


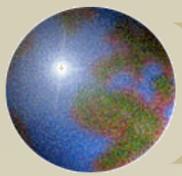
Interaction d'échelles et de bassins

Vue d'ensemble

Intrasaisonnier

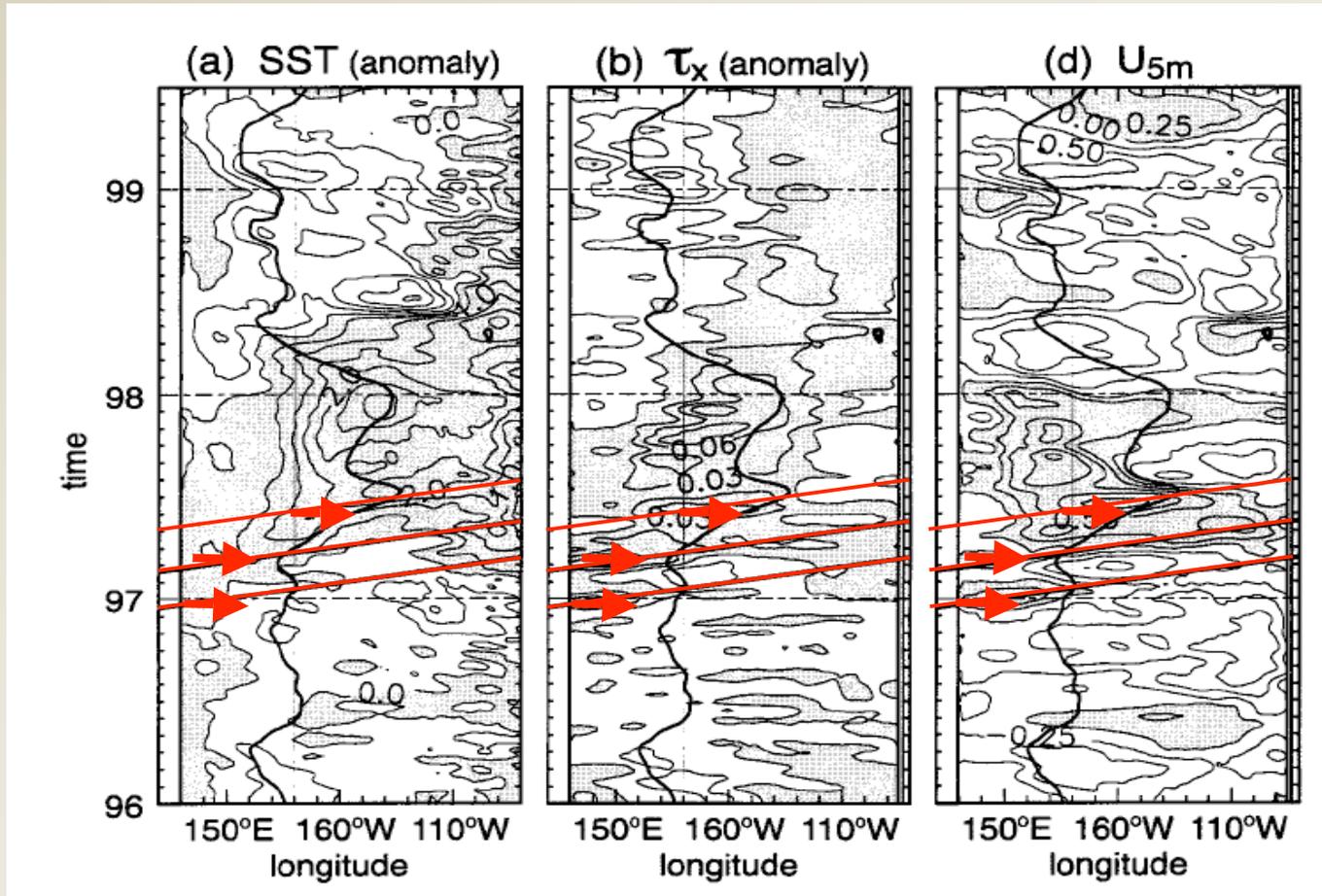
Interannuel





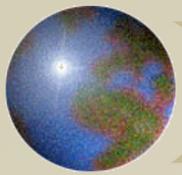
Interaction d'échelles et de bassins

Interactions variabilité intrasaisonnnière du vent \leftrightarrow El Niño



Les trois coup de vent de décembre 1996, mars 1997 et mai 1997 ont entraîné un déplacement vers l'est des eaux chaudes lié à l'advection zonale.

(Vialard et al. 2001)

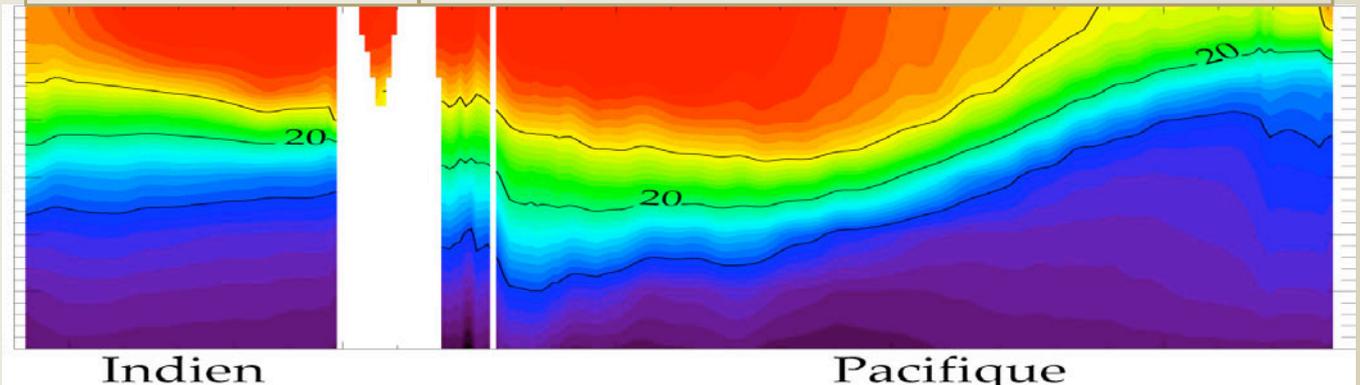
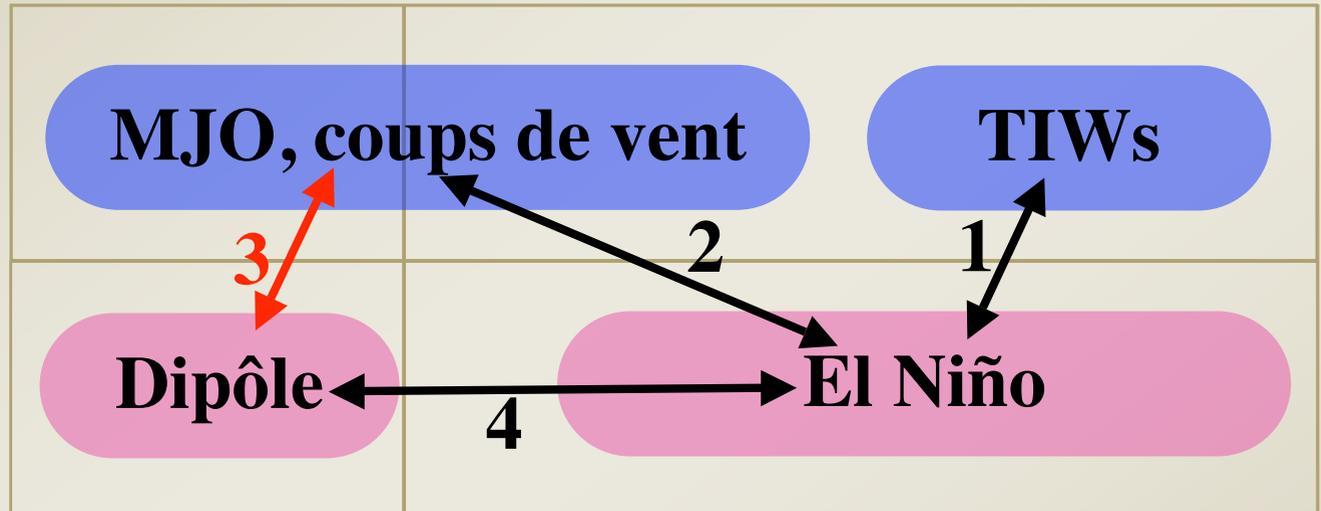


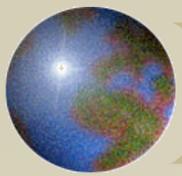
Interaction d'échelles et de bassins

Vue d'ensemble

Intrasaisonnier

Interannuel

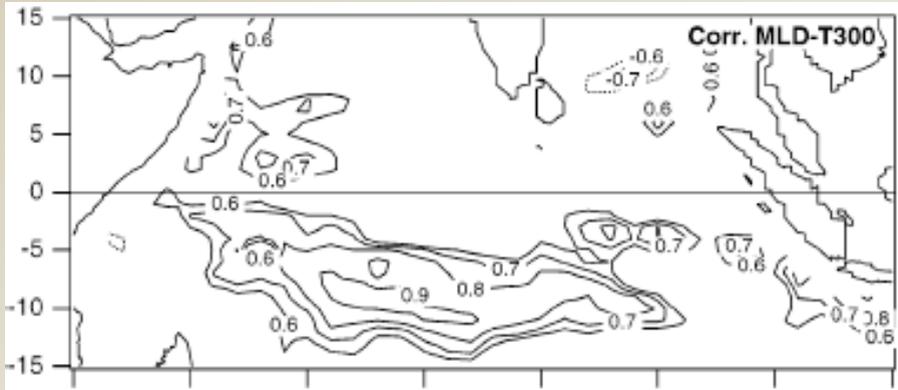




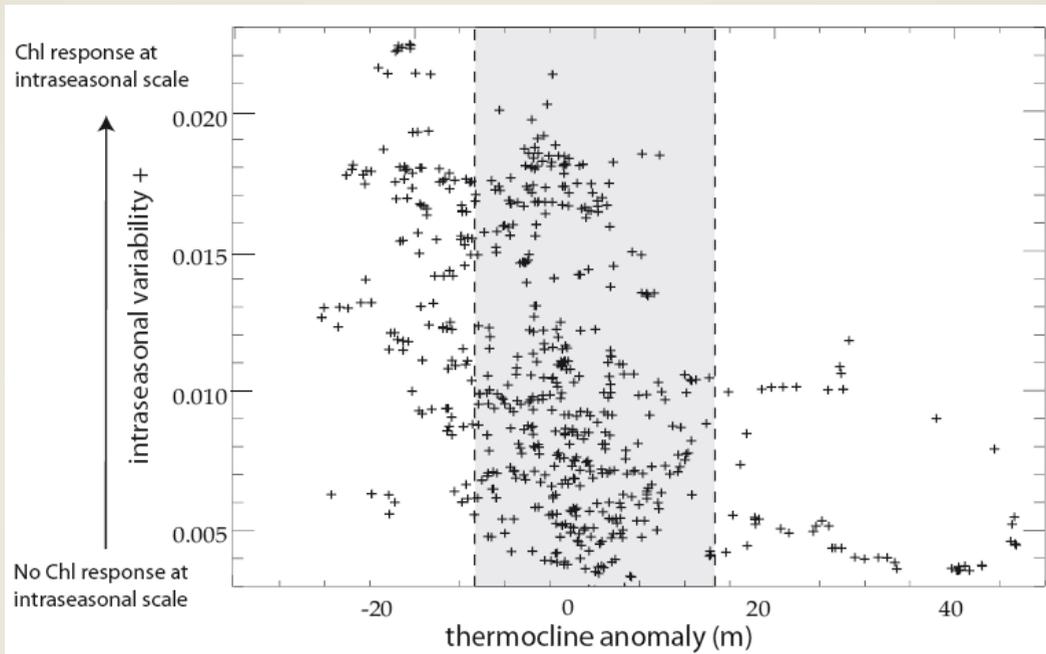
Interaction d'échelles et de bassins

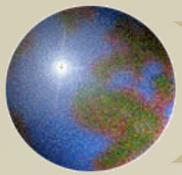
Interactions dipôle \leftrightarrow MJO (1)

(Duvel et al. 2004, Duvel et al. 2007, Vialard et al. 2009a, Resplandy et al. 2009)



La variabilité interannuelle de la thermocline module la signature océanique de la MJO dans la « SCTR »

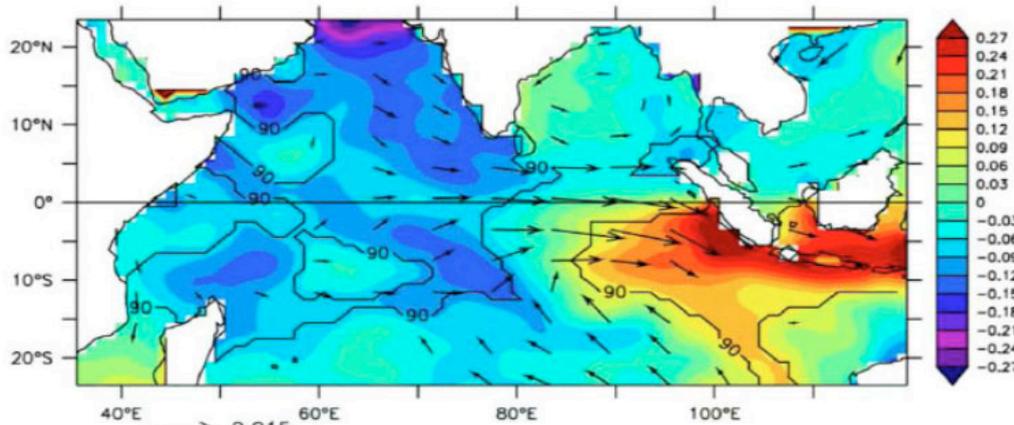




Interaction d'échelles et de bassins

Interactions dipôle \leftrightarrow MJO (2)

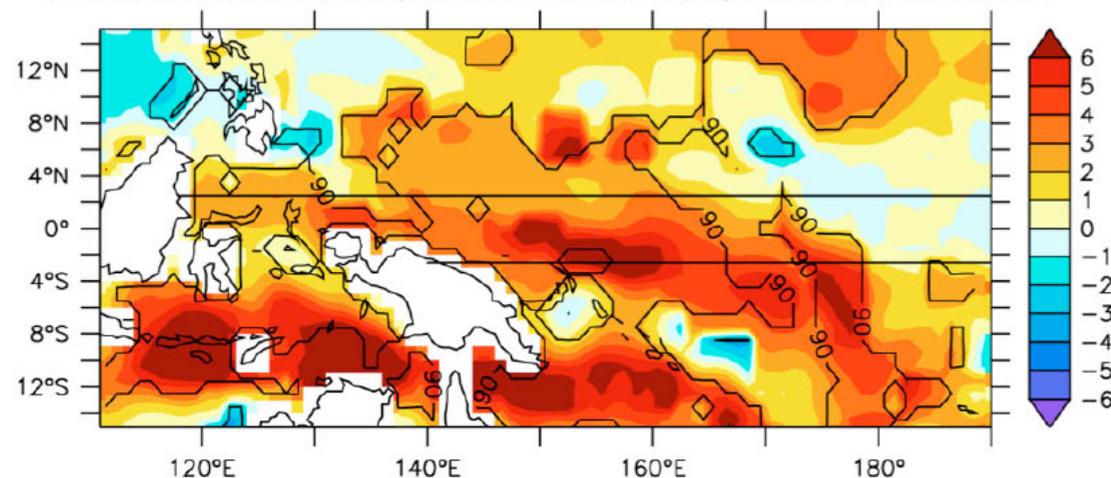
(Izumo et al. 2009)

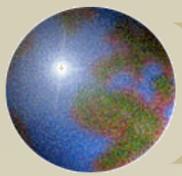


Le dipôle module l'intensité de la MJO dans l'océan Indien et le Pacifique Ouest

From *Izumo et al. (2009)*. Regression between SST (colour, $^{\circ}\text{C}$), wind stress (vector, N m^{-2}) interannual anomalies in September-November and an index of the MJO activity in December-March. The 90% confidence interval is indicated. Positive IOD years are followed by a decrease in MJO activity over the Indian Ocean and western Pacific.

b) intraseas. wind stress (30-120 days) std. dev. in DJFM partially regressed on -IOD in previous SON



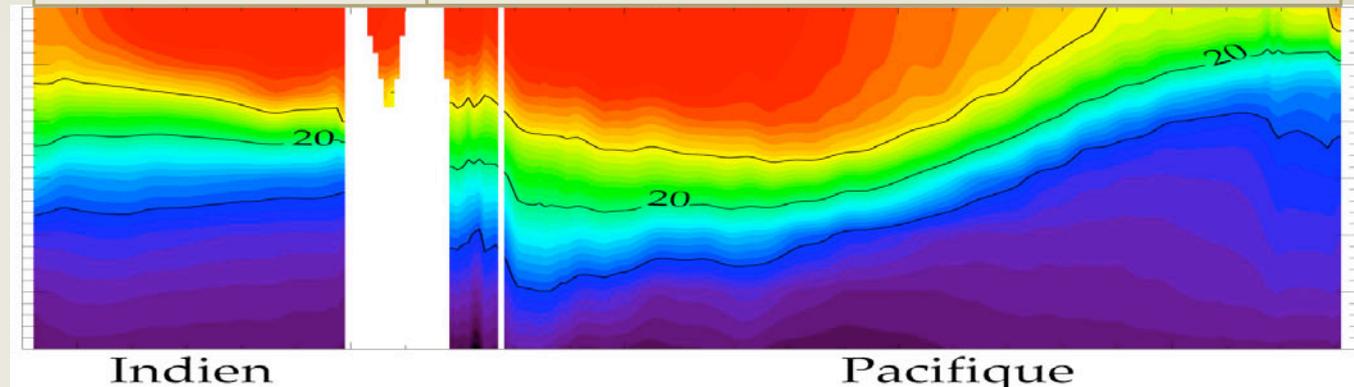
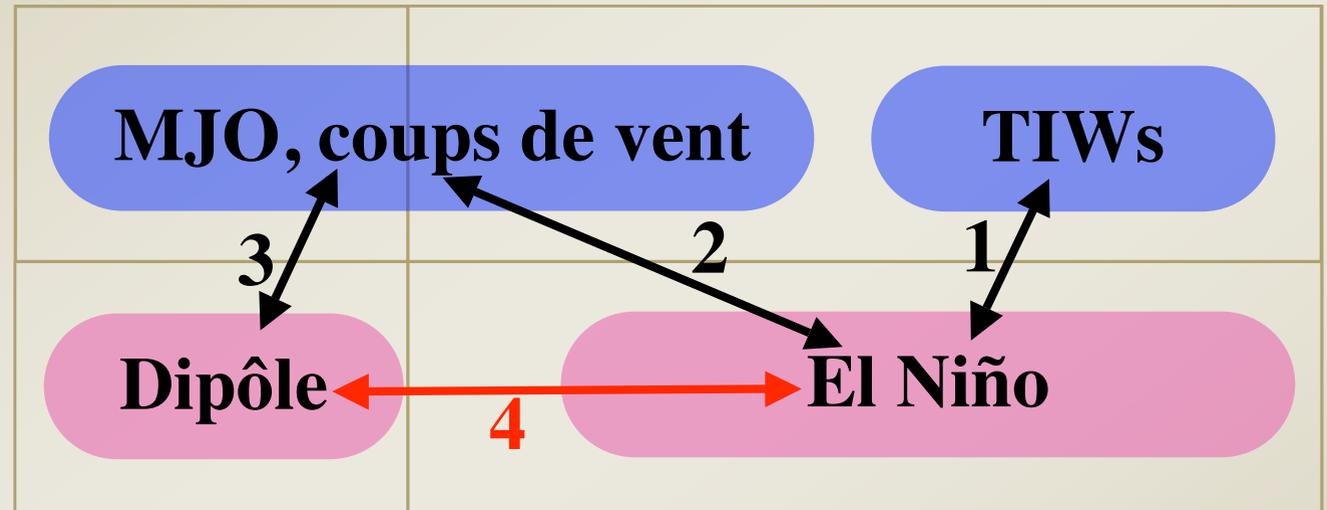


Interaction d'échelles et de bassins

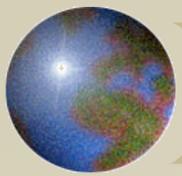
Vue d'ensemble

Intrasaisonnier

Interannuel



1. Le dipôle tends à être déclenché par El Niño (Annamalai et al. 2003)
2. Le dipôle tends à influencer la fin d'un El Niño synchrone (e.g. Annamalai 2005, Behera 2006, Kug et Kang 2006)

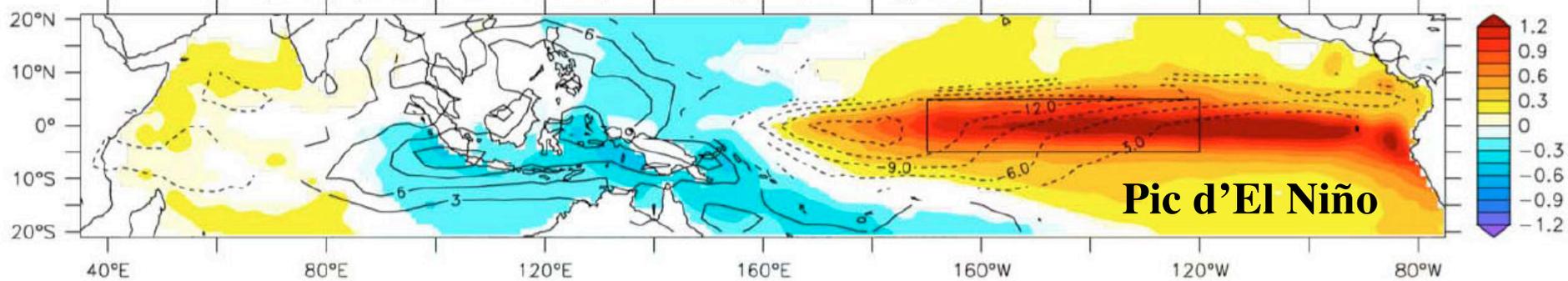


Interaction d'échelles et de bassins

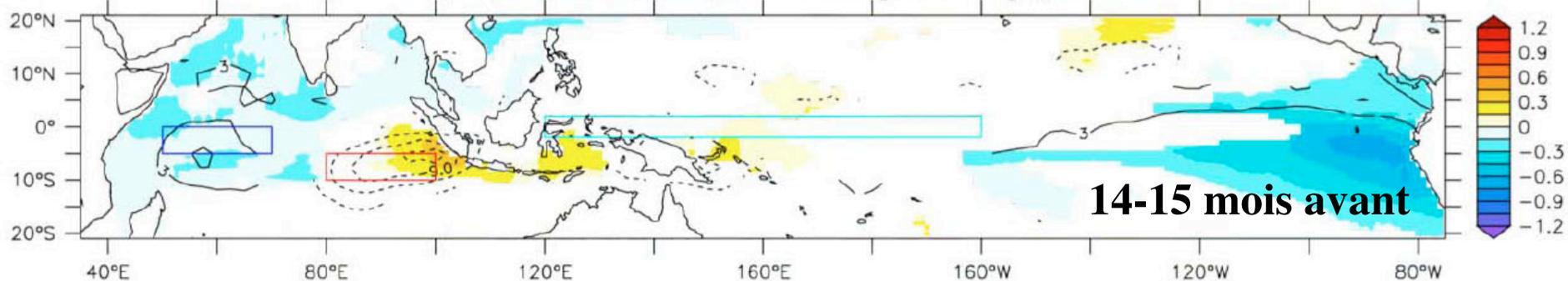
Interactions dipôle \leftrightarrow El Niño (1)

(Izumo et al. soumis)

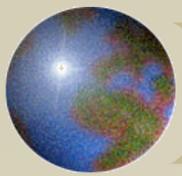
a) SST (color) and OLR (contours) in SON regressed on Niño3.4 in DJF



b) SST and OLR in SON of the preceding year



Tendance à l'occurrence d'un IOD négatif 14 mois avant El Niño (signif 95%)

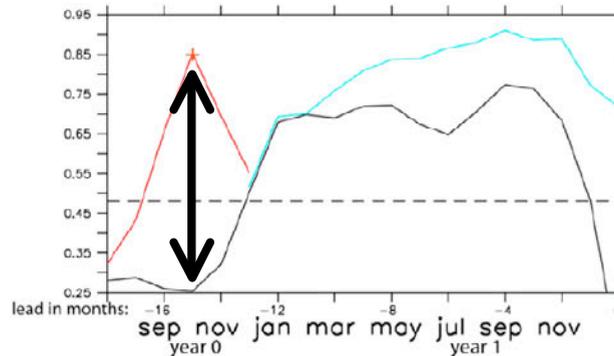


Interaction d'échelles et de bassins

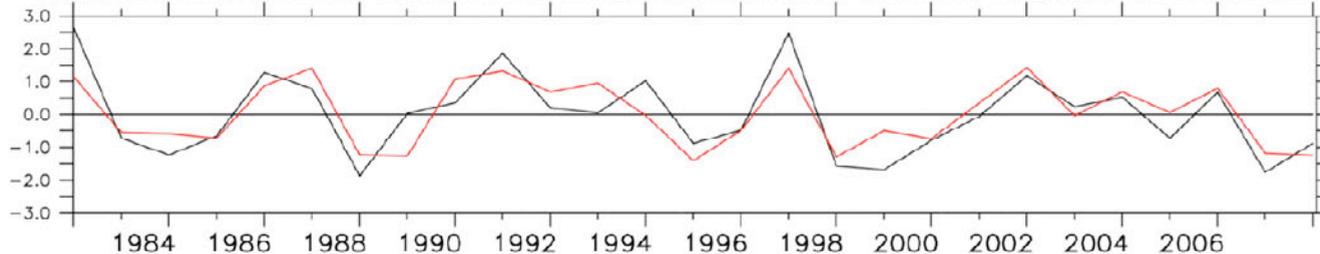
Interactions dipôle \leftrightarrow El Niño (2)

(Izumo et al. soumis)

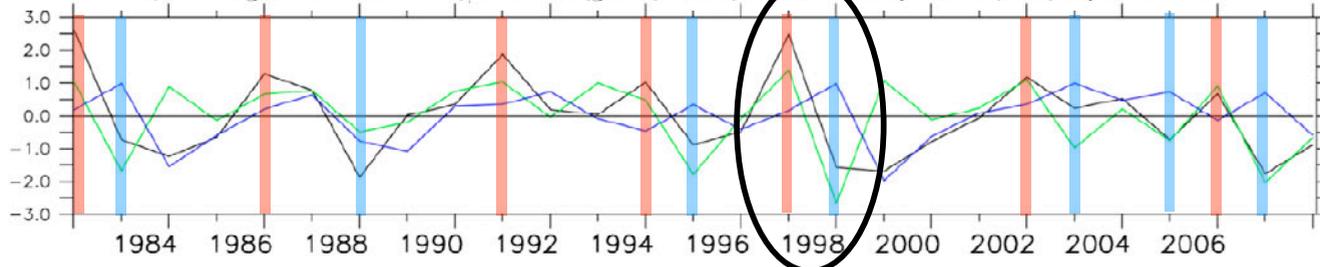
a) reg. bilin. correl. with Nino3.4 in DJF, using U_WPac (blue) or OLR IOD (red) with WWV as the 2nd variable, compared to raw correl. with WWV (black)



b) observed Nino3.4 SST in DJF (black) and its bilin. reg. hindcasts (red, cross-correl. 0.82) using Oct. value one year before

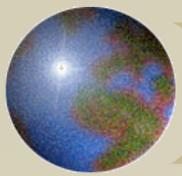


c) bilin. reg. contributions of 1) -OLR IOD (green) and 2) WWV of the eq. Pacific (blue) in previous Oct.



Ajouter l'IOD à un prédicteur classique (WWV) induit une augmentation nette et significative des scores de prévision d'El Niño 14-15 mois à l'avance

Amélioration nette pour, e.g., El Niño de 1997 et La Niña de 1998

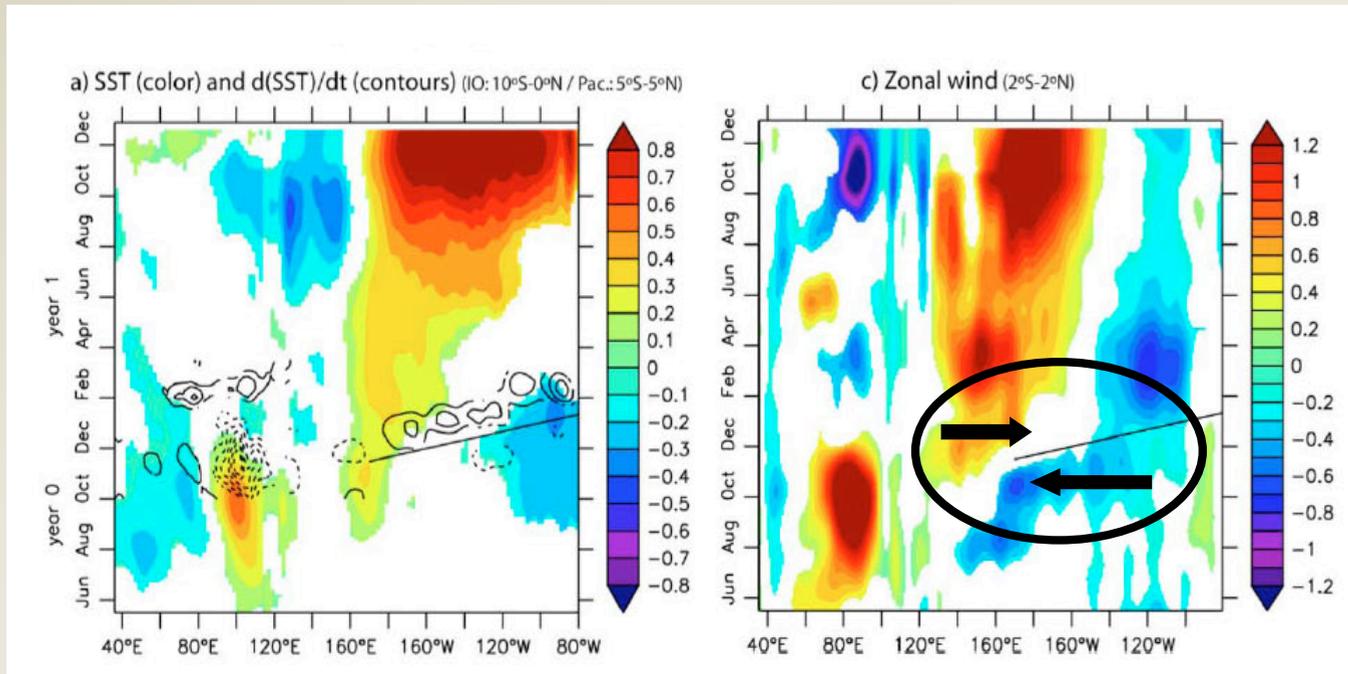


Interaction d'échelles et de bassins

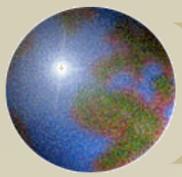
Interactions dipôle \leftrightarrow El Niño (3)

Mécanisme ?

(Izumo et al. soumis)



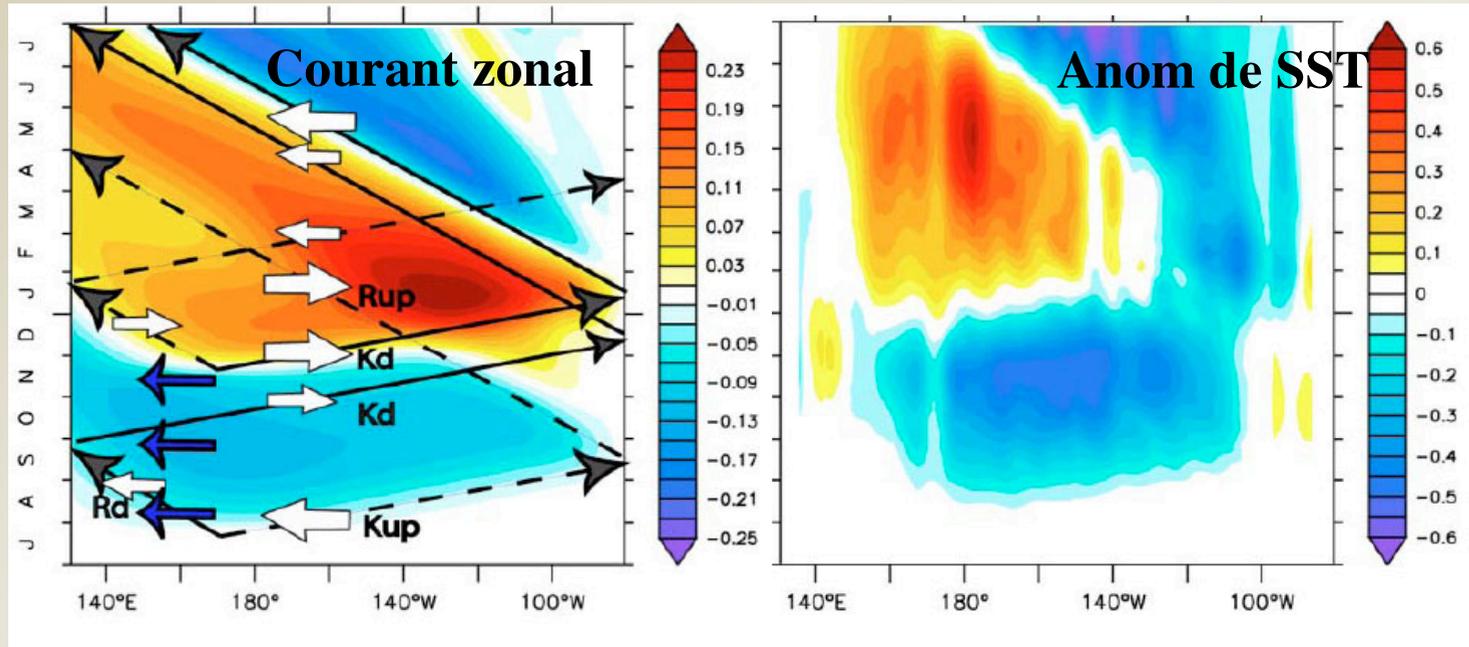
L'analyse statistique suggère que la disparition brutale des anomalies de vent d'Est associées au dipôle en Novembre-Décembre est essentielle dans le déclenchement éventuel d'un El Niño



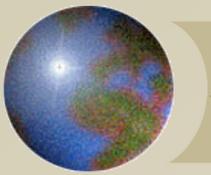
Interaction d'échelles et de bassins

Interactions dipôle \leftrightarrow El Niño (4)

(Izumo et al. soumis)

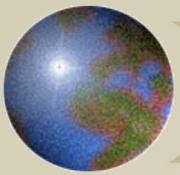


Des expériences avec un « shallow water » suggèrent des mécanismes similaires à l'oscillateur retardé et à l'oscillateur advectif-reflectif mais en relation avec le forçage externe lié au dipôle



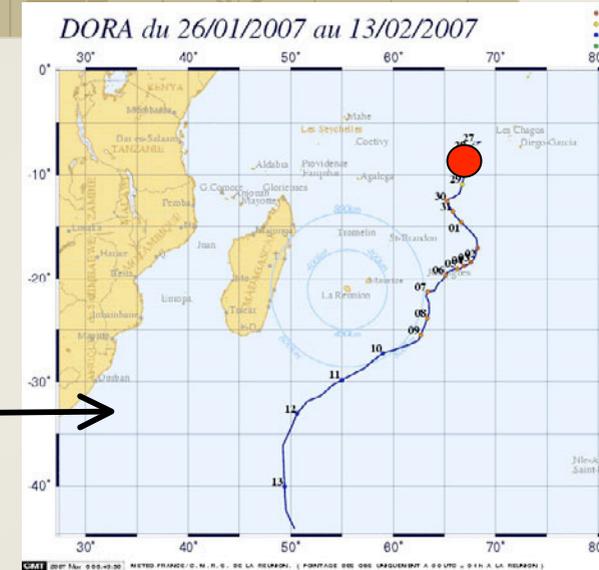
Plan de l'exposé

- ⊕ Introduction générale
- ⊕ Variabilité intrasaisonnière
 - ⊞ Ondes tropicales d'instabilité
 - ⊞ Oscillation de Madden-Julian
- ⊕ Variabilité interannuelle
 - ⊞ El Niño
 - ⊞ Dipôle de l'océan Indien
- ⊕ Interaction d'échelles et de bassins
- ⊕ **Et ensuite?**



Et ensuite...

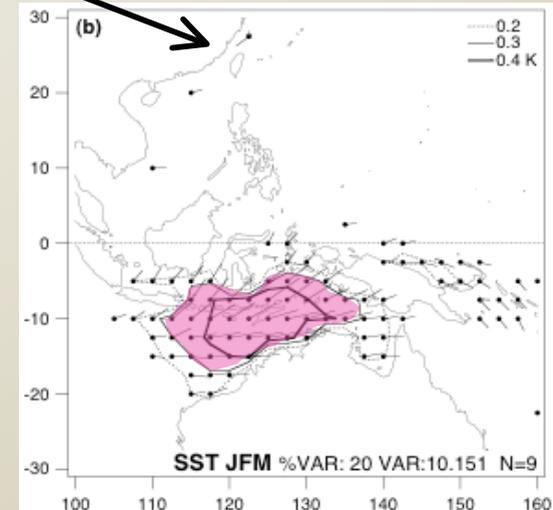
Finalisation des études du projet Cirene
...en particulier sur les cyclones.

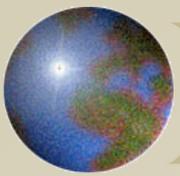


MJO

...signature dans le bassin Nord-Ouest Australien
...mécanismes de la variabilité interannuelle?
...comme phénomène non-equatorial

Mécanismes de l'interaction dipôle-El Niño

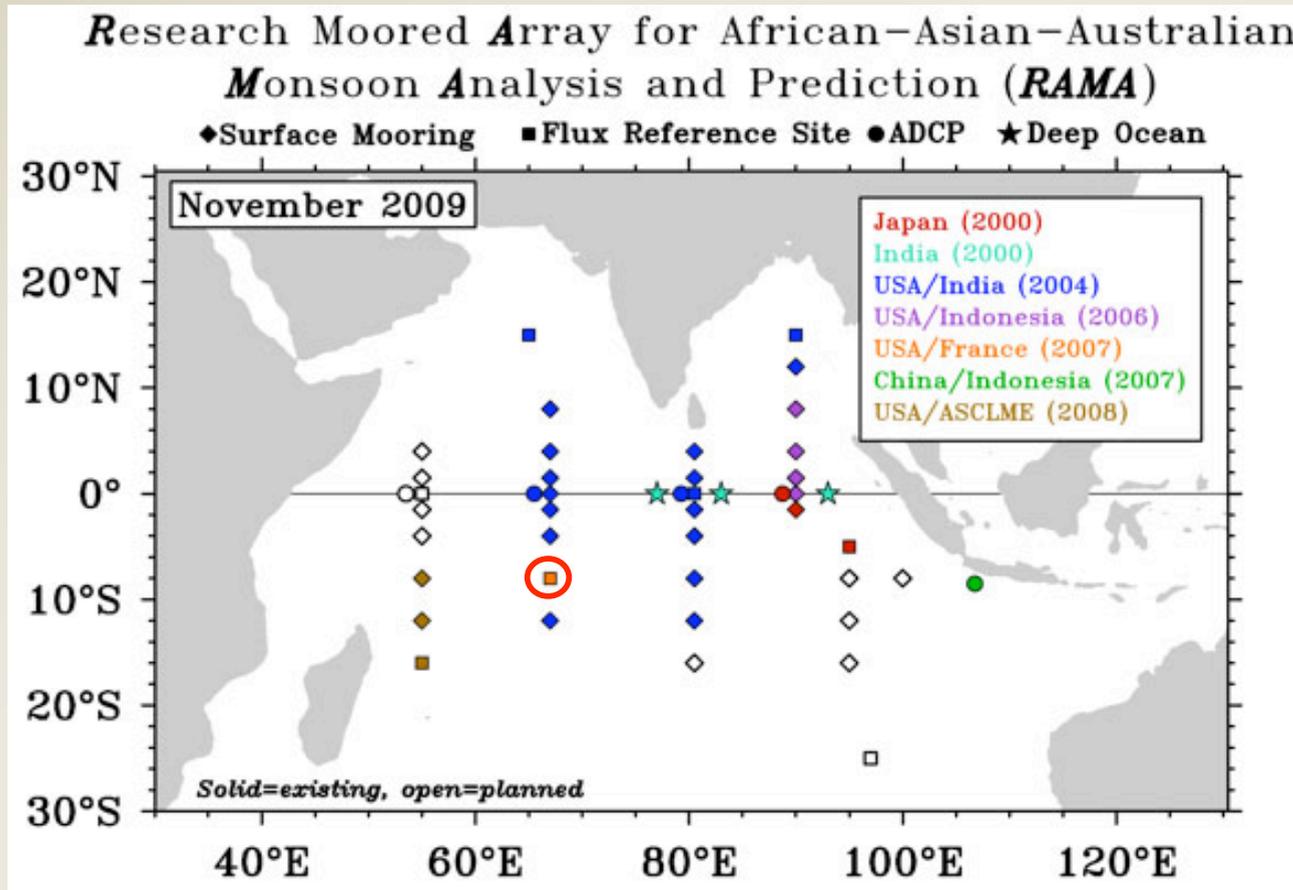




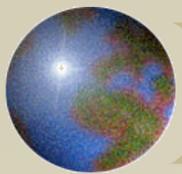
Et ensuite...

Observations.

Le réseau RAMA



Une participation Française à RAMA via le Marion Dufresne?



Et ensuite...

TRIO: une campagne dans la continuité de Cirene?

Cyclones - MJO - Dipôle

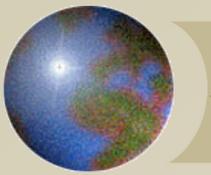
Front de sel



Cyclones/MJO

Ondes de Rossby intrasaisonniers

Un mouillage dans la région de plus forte signature de la MJO

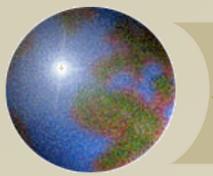


Et ensuite...

**TRIO (fin 2011-début 2012) doit être redéfini
compte tenu du contexte**

**Participation à l'effort international (Japonais,
Australien, US...) début 2012?**

SWICE?



Pour finir, la plus
belle réalisation de
2008, co-signée par
Marie:

Capucine, née à Goa
le 6 décembre 2008

