

# La composition isotopique de la vapeur d'eau dans les tropiques, marqueur des processus convectifs et nuageux présents et passés

Camille Risi

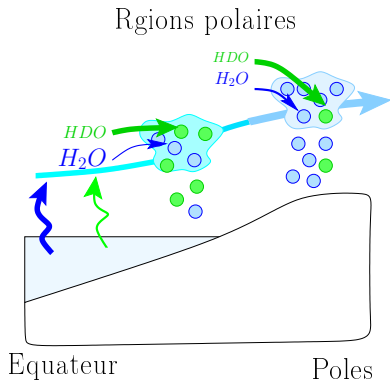
with thanks to Sandrine Bony, David Noone, John Worden, Françoise Vimeux, Valérie Masson-Delmotte, You He...

LMD/IPSL/CNRS

Exposé SFIS au Muséum d'Histoire Naturelle, 14 mai 2013

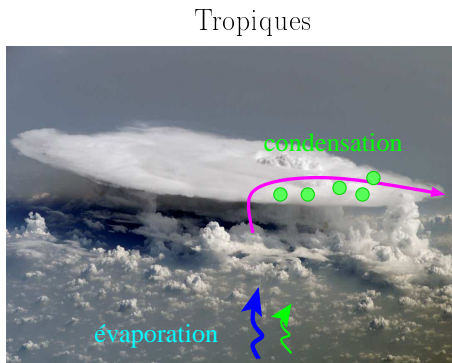
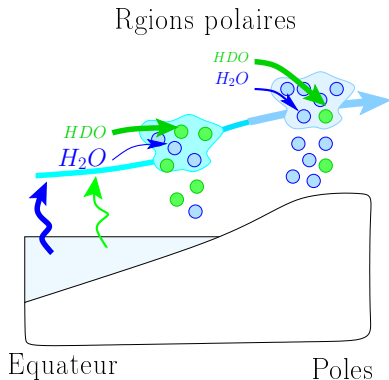
# Les isotopes de l'eau: des poles aux tropiques

- ▶ isotopes de l'eau utilisés depuis longtemps pour reconstruire paléo-températures aux pôles



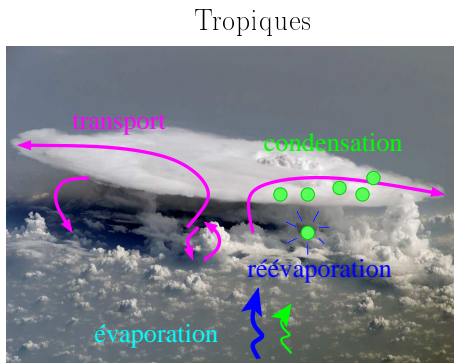
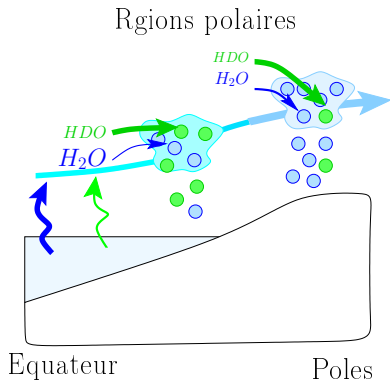
# Les isotopes de l'eau: des poles aux tropiques

- ▶ isotopes de l'eau utilisés depuis longtemps pour reconstruire paléo-températures aux pôles
- ▶ tropiques: contrôles différents

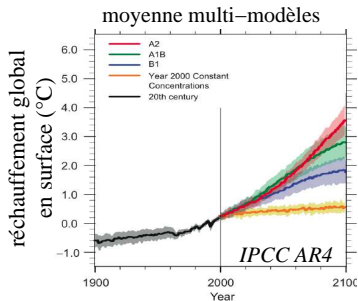


# Les isotopes de l'eau: des poles aux tropiques

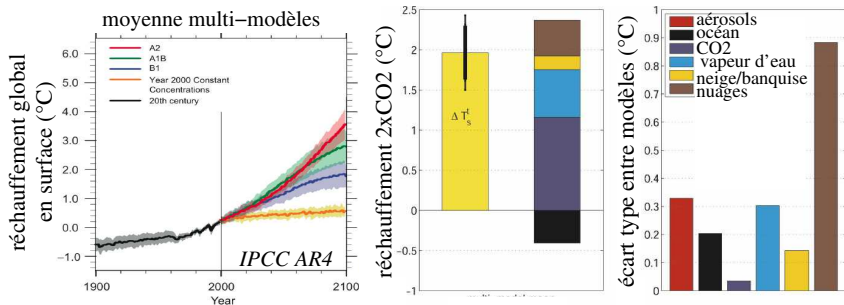
- ▶ isotopes de l'eau utilisés depuis longtemps pour reconstruire paléo-températures aux pôles
- ▶ tropiques: contrôles différents



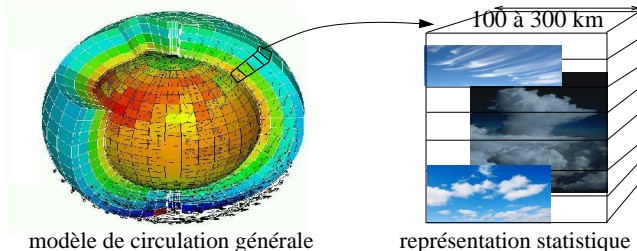
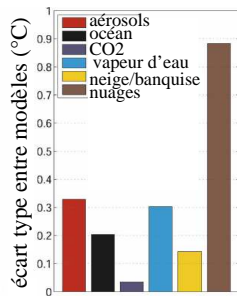
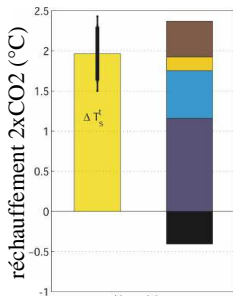
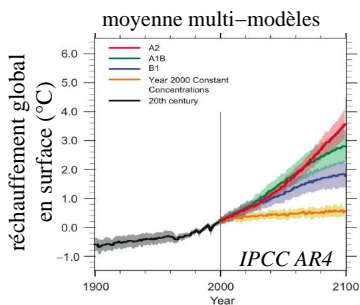
# Dispersion des projections de température



# Dispersion des projections de température

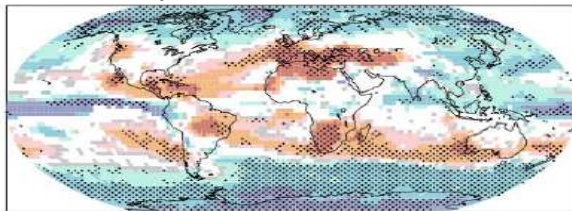


# Dispersion des projections de température



# Dispersion des projections de précipitation

moyenne multi-modèle



% IPCC AR4

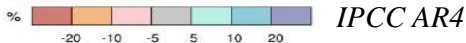
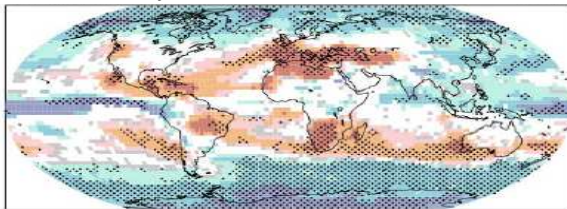
changement de précipitation en été d'ici 2100 (%)

<math>< 2/3</math> d'accord sur le signe



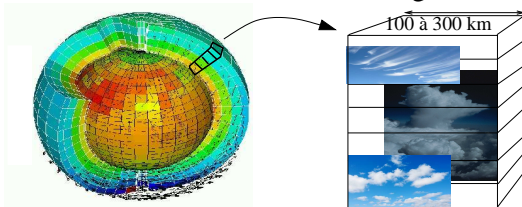
# Dispersion des projections de précipitation

moyenne multi-modèle



changement de précipitation en été d'ici 2100 (%)

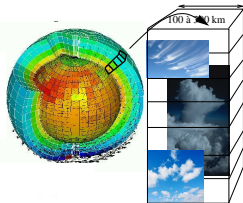
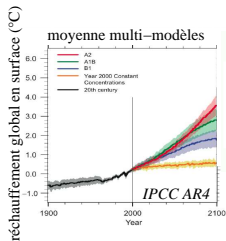
<2/3 d'accord sur le signe



# Les isotopes de l'eau pour mieux évaluer les processus nuageux?

évaluer la  
crédibilité  
des projections  
climatiques

évaluer la  
représentation  
des processus  
nuageux dans  
les tropiques



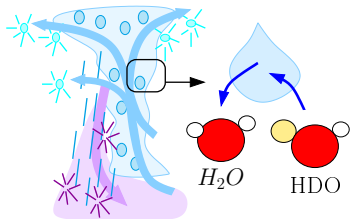
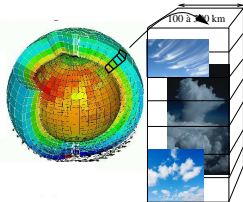
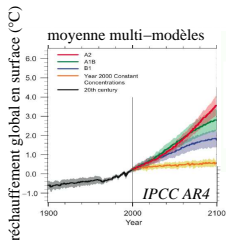
# Les isotopes de l'eau pour mieux évaluer les processus nuageux?

évaluer la  
crédibilité  
des projections  
climatiques

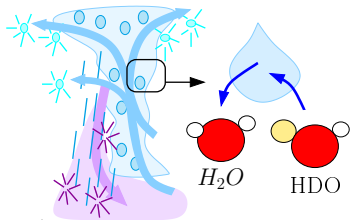
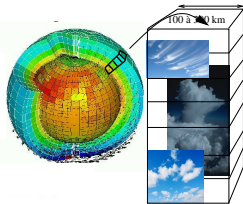
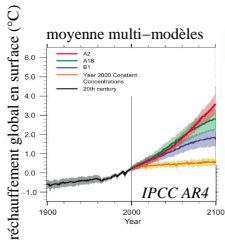
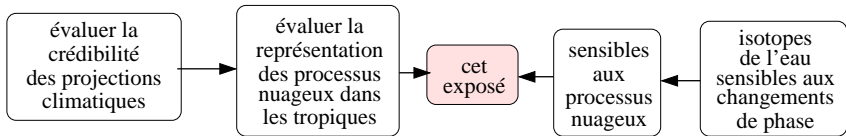
évaluer la  
représentation  
des processus  
nuageux dans  
les tropiques

sensibles  
aux  
processus  
nuageux

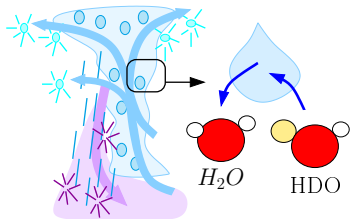
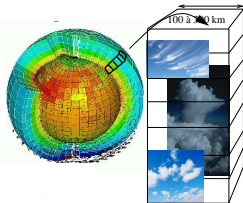
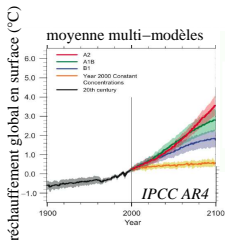
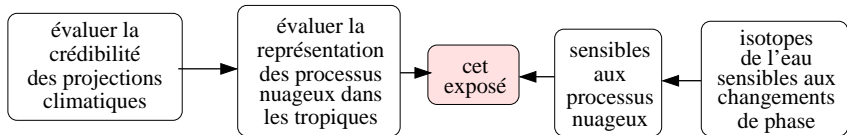
isotopes  
de l'eau  
sensibles aux  
changements  
de phase



# Les isotopes de l'eau pour mieux évaluer les processus nuageux?

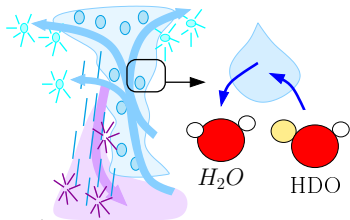
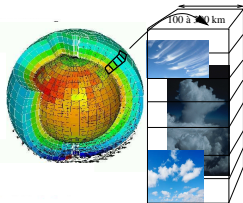
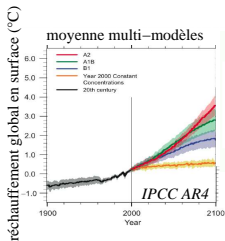
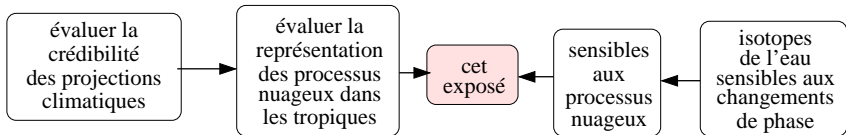


# Les isotopes de l'eau pour mieux évaluer les processus nuageux?



## 1. données+modèles pour comprendre contrôles isotopiques

# Les isotopes de l'eau pour mieux évaluer les processus nuageux?



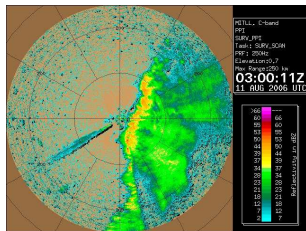
1. données+modèles pour comprendre contrôles isotopiques
2. utilisation des données pour contraindre les modèles

# Plan de l'exposé

1. données et modèles pour mieux comprendre contrôles isotopiques
2. application pour évaluation représentation processus nuageux dans les modèles: 3 exemples
3. application pour interpréter enregistrements paléo de  $\delta^{18}O_p$ , utilisation pour évaluer la capacité des modèles à simuler les changements climatiques

# Observations de terrain

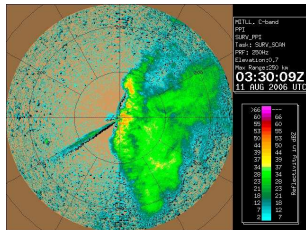
échantillonnage de la pluie  
toutes les 5 minutes à Niamey  
(Niger) le long des lignes de  
grain:  
ex du 11 aout 2006





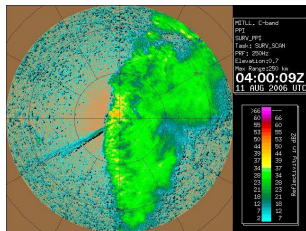
# Observations de terrain

échantillonnage de la pluie  
toutes les 5 minutes à Niamey  
(Niger) le long des lignes de  
grain:  
ex du 11 aout 2006



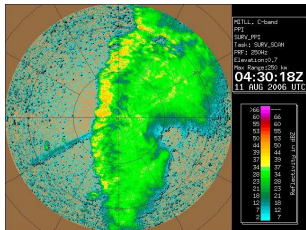
# Observations de terrain

échantillonnage de la pluie  
toutes les 5 minutes à Niamey  
(Niger) le long des lignes de  
grain:  
ex du 11 aout 2006



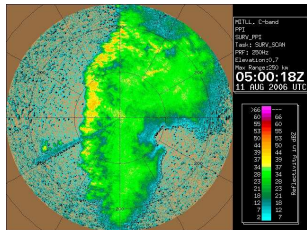
# Observations de terrain

échantillonnage de la pluie  
toutes les 5 minutes à Niamey  
(Niger) le long des lignes de  
grain:  
ex du 11 aout 2006



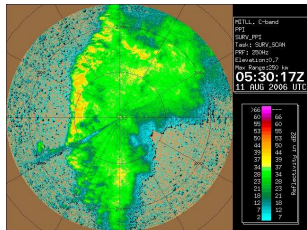
# Observations de terrain

échantillonnage de la pluie  
toutes les 5 minutes à Niamey  
(Niger) le long des lignes de  
grain:  
ex du 11 aout 2006



# Observations de terrain

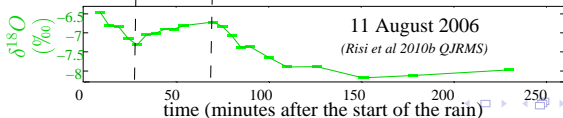
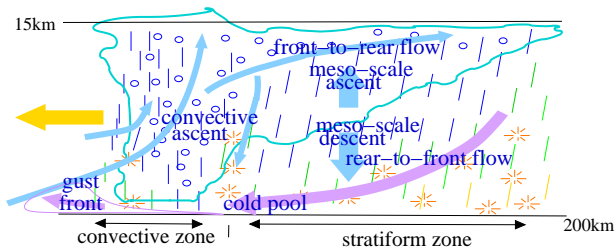
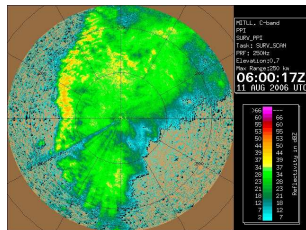
échantillonnage de la pluie  
toutes les 5 minutes à Niamey  
(Niger) le long des lignes de  
grain:  
ex du 11 aout 2006





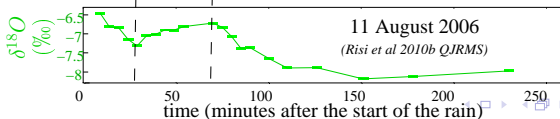
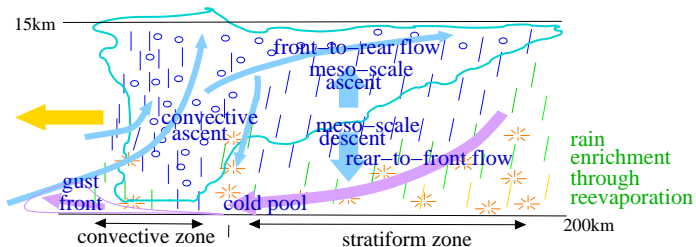
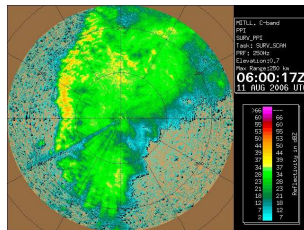
# Observations de terrain

échantillonnage de la pluie  
toutes les 5 minutes à Niamey  
(Niger) le long des lignes de  
grain:  
ex du 11 aout 2006



# Observations de terrain

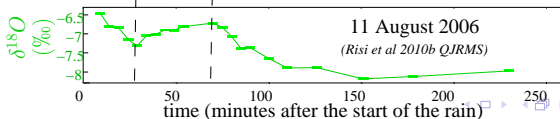
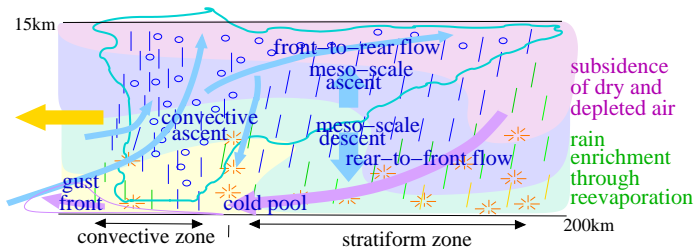
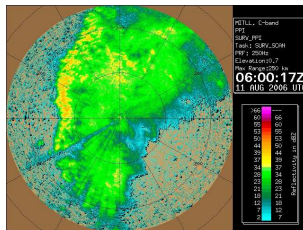
échantillonnage de la pluie  
toutes les 5 minutes à Niamey  
(Niger) le long des lignes de  
grain:  
ex du 11 aout 2006



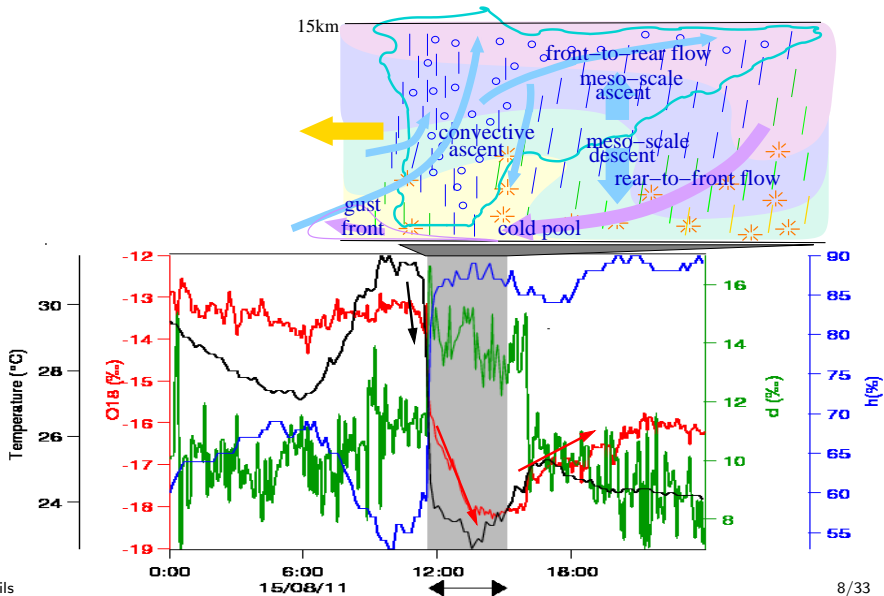


# Observations de terrain

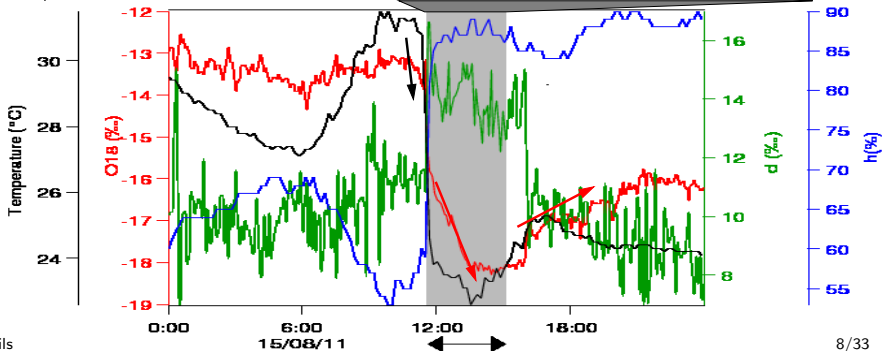
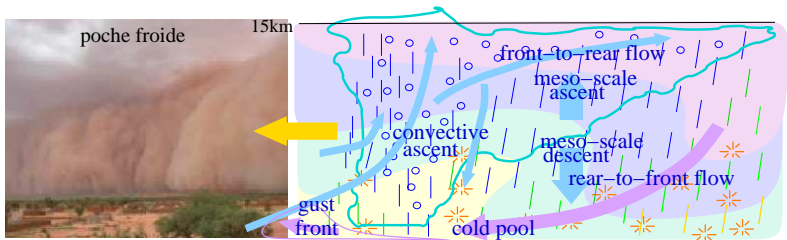
échantillonnage de la pluie  
toutes les 5 minutes à Niamey  
(Niger) le long des lignes de  
grain:  
ex du 11 aout 2006



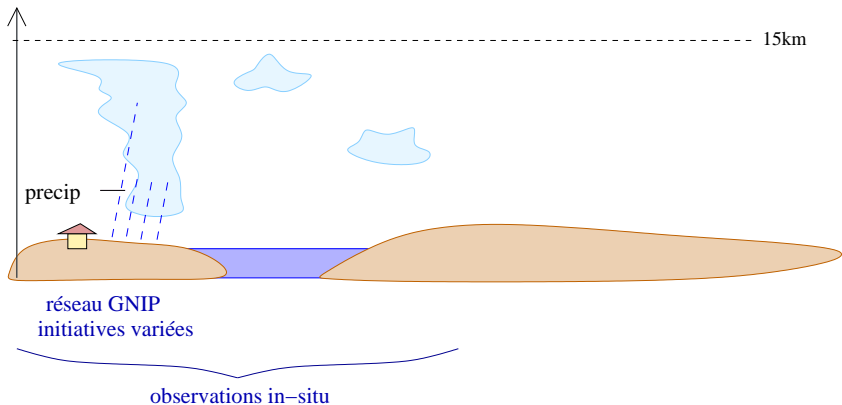
# Observation de terrain: vapeur



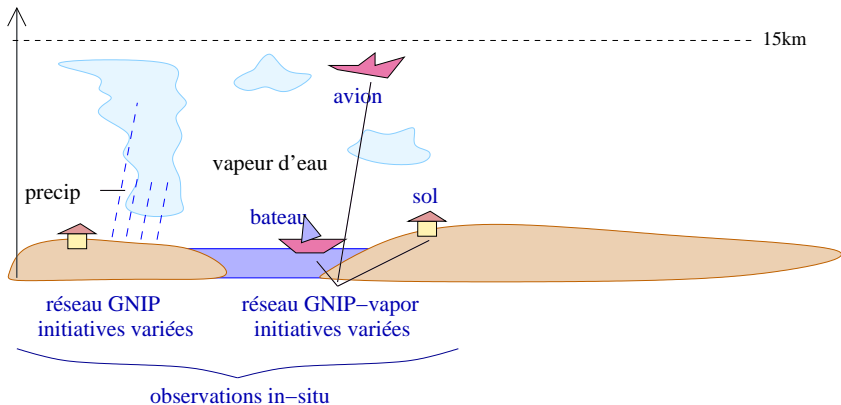
# Observation de terrain: vapeur



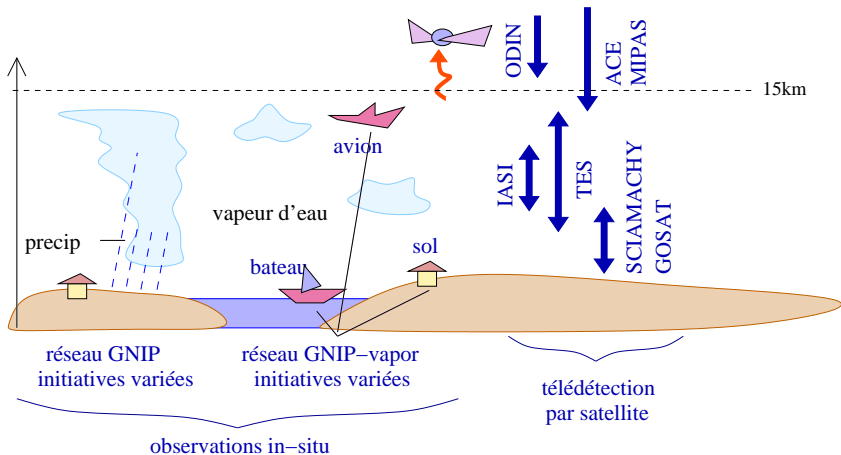
# Observations situ et satellites



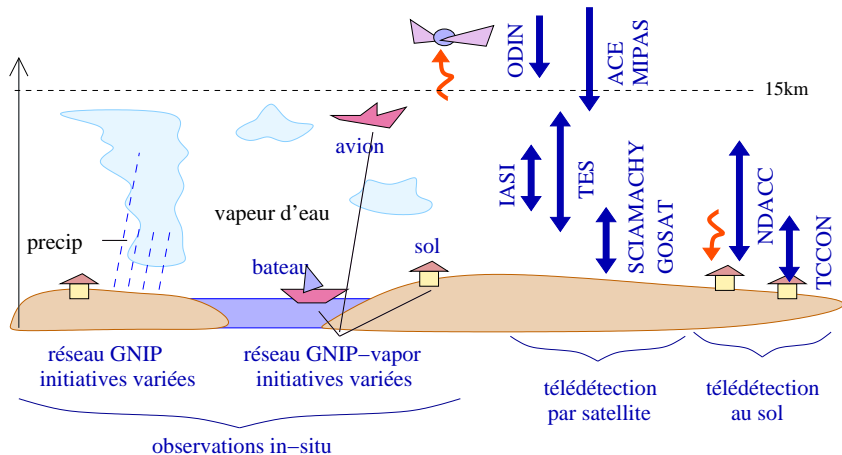
# Observations situ et satellites



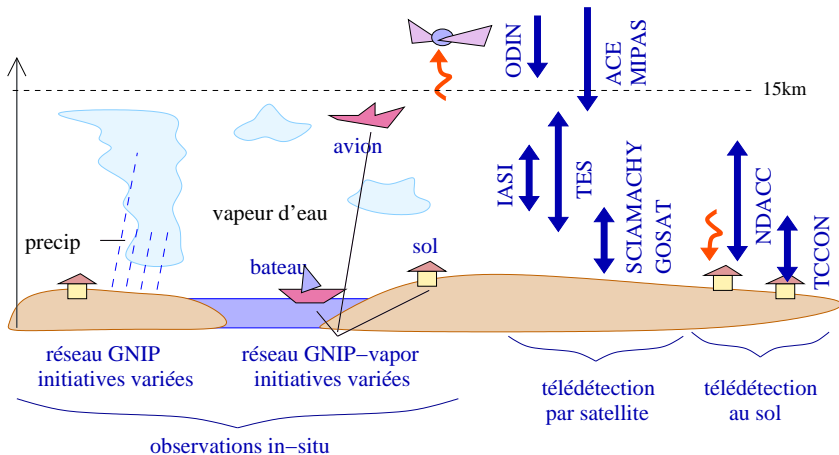
# Observations situ et satellites



# Observations situ et satellites



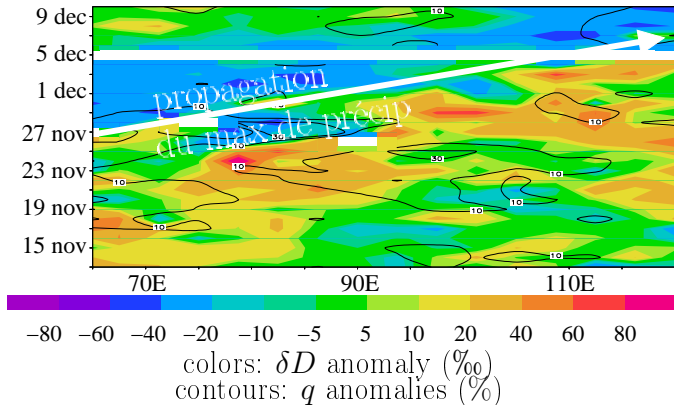
# Observations situ et satellites



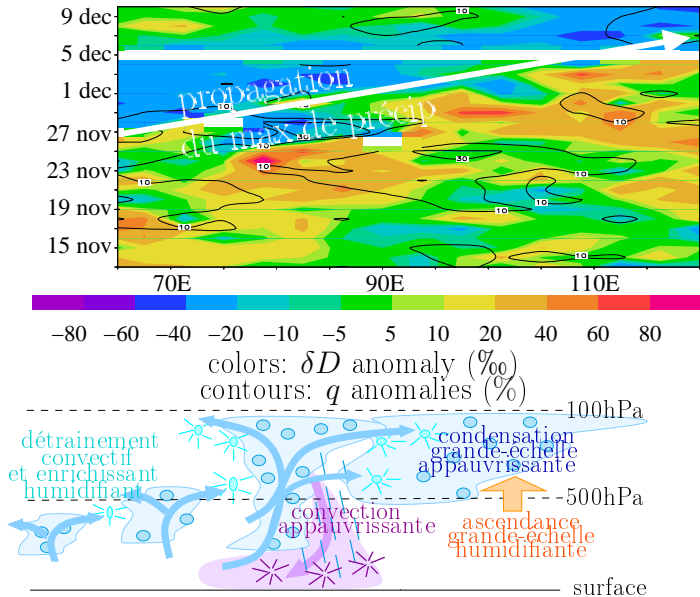
- ▶ prendre en compte échantillonnage et sensibilité instrument
- ▶ télédétection: pas de calibration -> exploitation variations spatio-temporelles



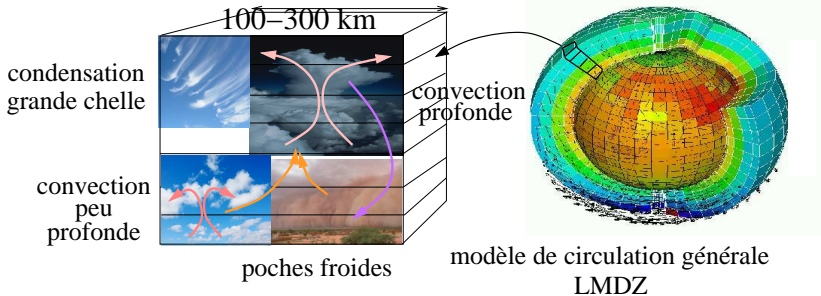
# Données IASI: ex lors d'un évènement MJO



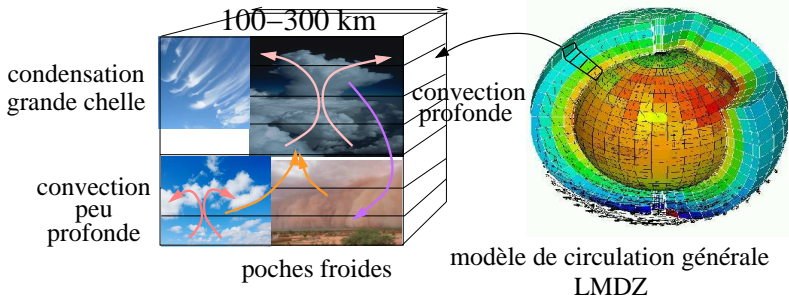
# Données IASI: ex lors d'un évènement MJO



# Modélisation isotopique avec LMDZ

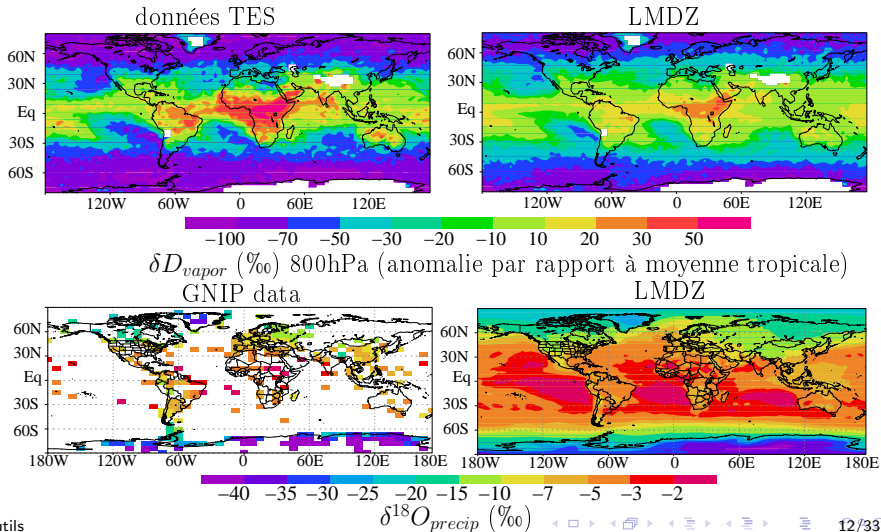


# Modélisation isotopique avec LMDZ

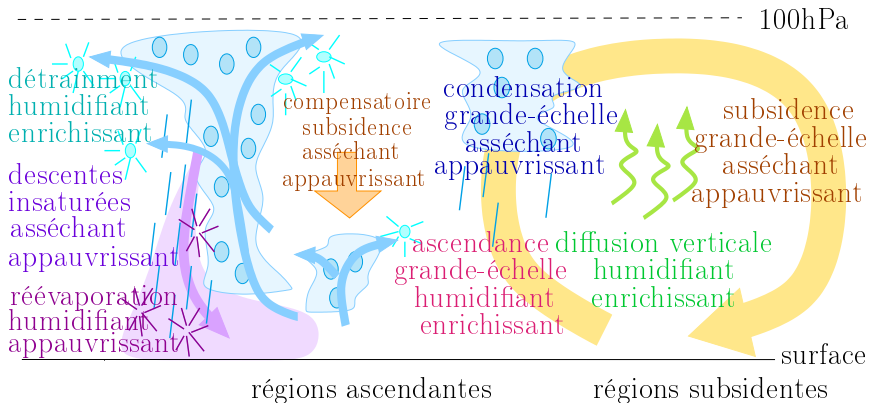


- ▶ isotopes de l'eau (*Risi et al 2010a*) + traçage de l'eau
- ▶ guidage  $\implies$  contexte dynamique réaliste au quotidien
- ▶ zoom: jusqu'à 50km
- ▶ nombreux paramètres ajustables

# Evaluation de la vapeur d'eau et de la précipitation simulée par LMDZ



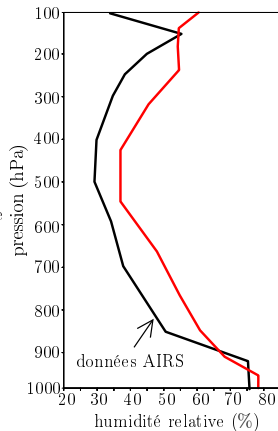
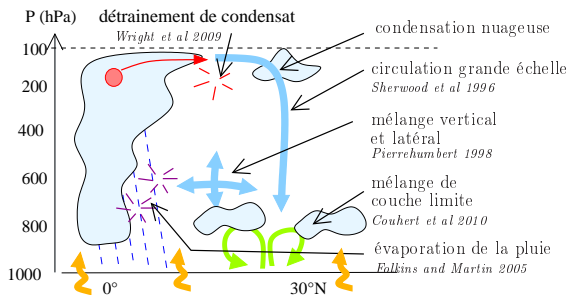
# Synthèse des processus contrôlant la composition dans les tropiques



# 1) Processus contrôlant l'humidité

LMDZ-iso (Risi et al 2010):

— controle: version AR4 (19 niveaux)

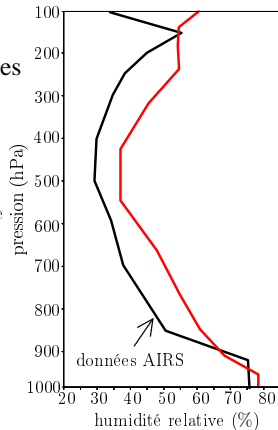
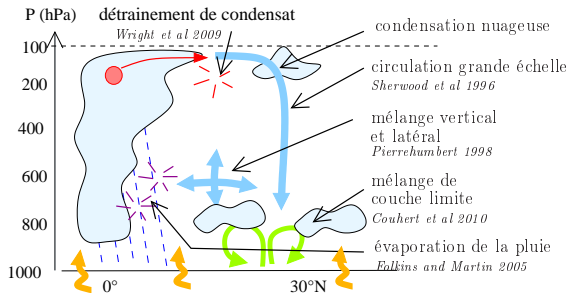


# 1) Processus contrôlant l'humidité

LMDZ-iso (Risi et al 2010):

— controle: version AR4 (19 niveaux)

3 raisons possibles  
pour un  
biais humide





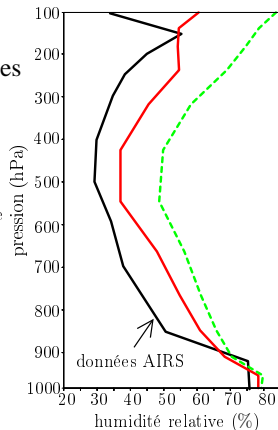
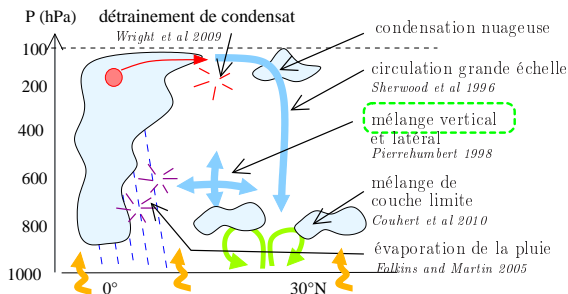
# 1) Processus contrôlant l'humidité

LMDZ-iso (Risi et al 2010):

— controle: version AR4 (19 niveaux)

- - - advection verticale diffusive

3 raisons possibles  
pour un  
biais humide

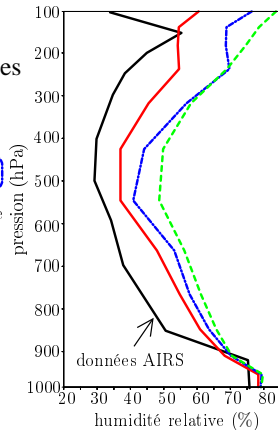
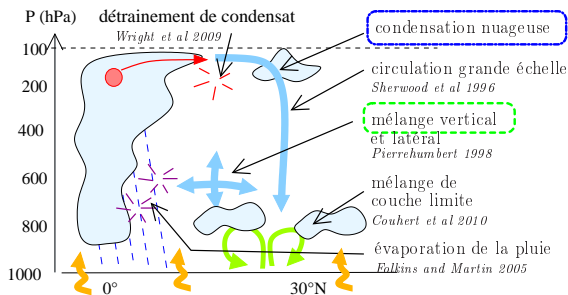


# 1) Processus contrôlant l'humidité

LMDZ-iso (Risi et al 2010):

- controle: version AR4 (19 niveaux)
- - - advection verticale diffusive
- $\sigma_q/10$

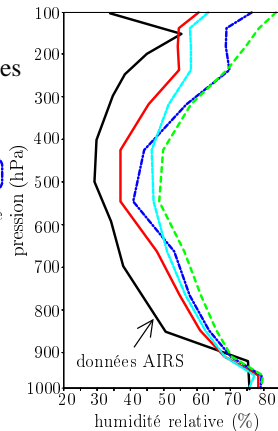
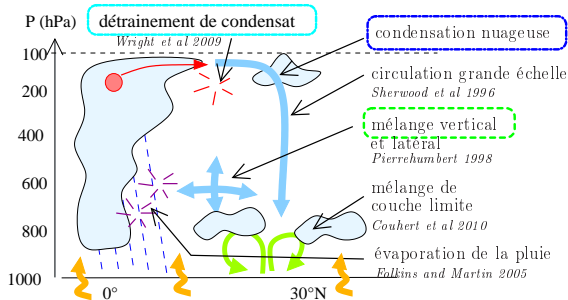
3 raisons possibles  
pour un  
biais humide



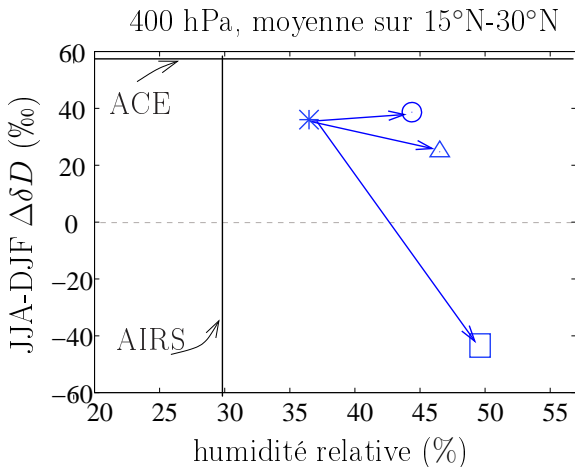
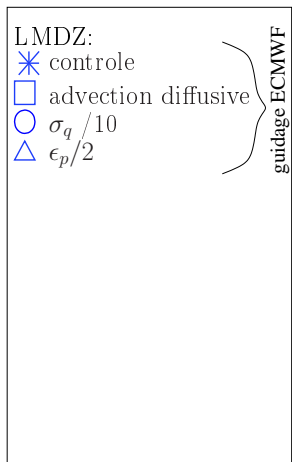
# 1) Processus contrôlant l'humidité

LMDZ-iso (Risi et al 2010):

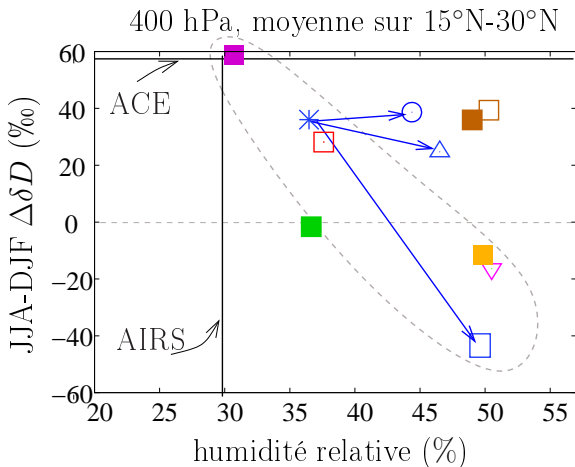
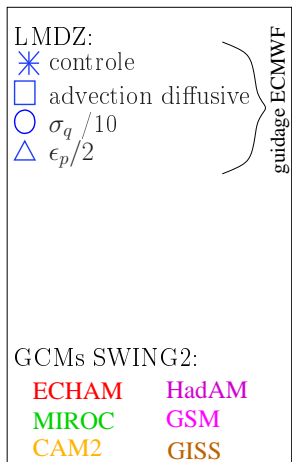
- controle: version AR4 (19 niveaux)
  - - - advection verticale diffusive
  - $\sigma_q/10$
  - $\epsilon_p/2$
- } 3 raisons possibles pour un biais humide



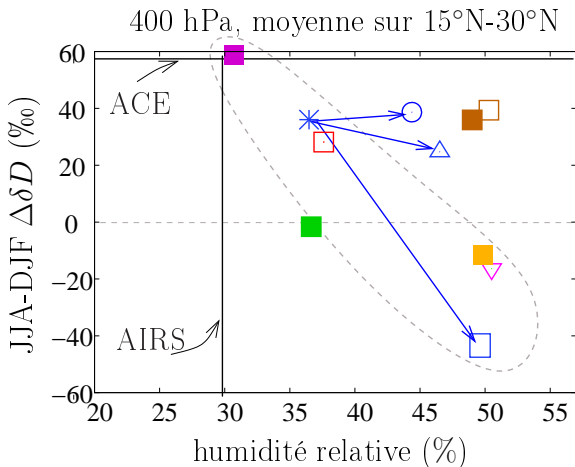
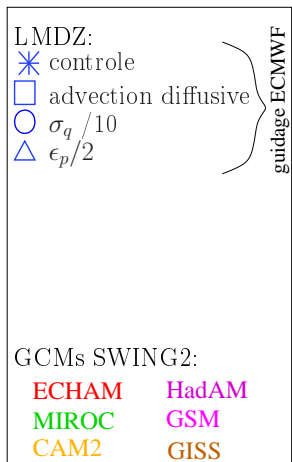
# Cause des biais humides dans les modèles?



# Cause des biais humides dans les modèles?

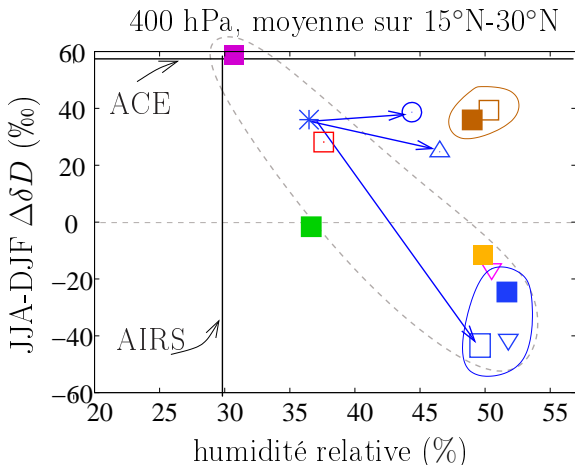
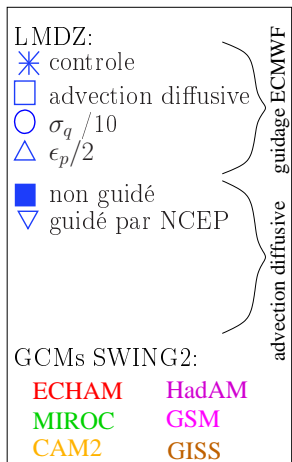


# Cause des biais humides dans les modèles?



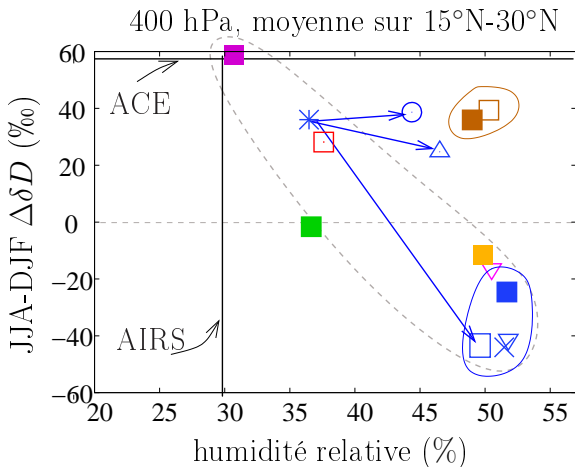
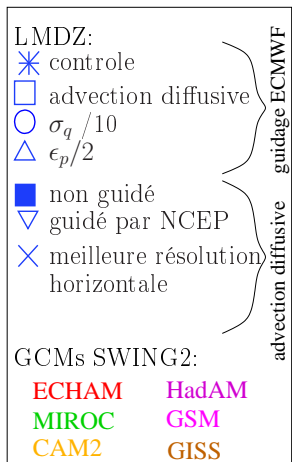
► Advection verticale trop diffusive

# Cause des biais humides dans les modèles?



## ► Advection verticale trop diffusive

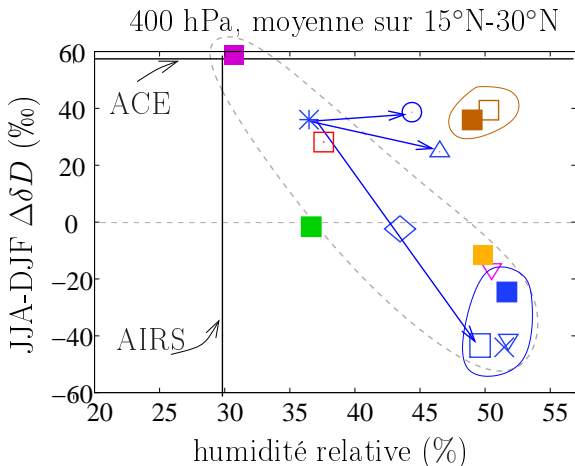
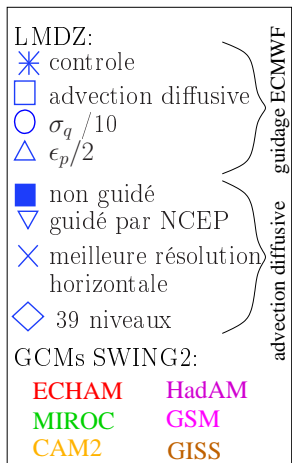
# Cause des biais humides dans les modèles?



## ► Advection verticale trop diffusive

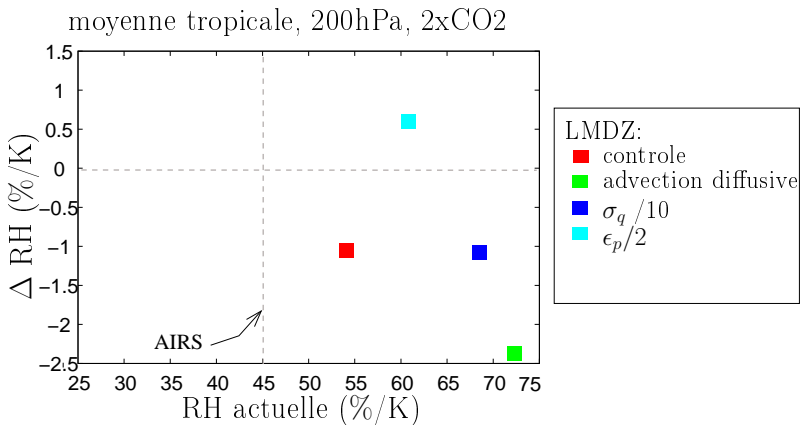


# Cause des biais humides dans les modèles?

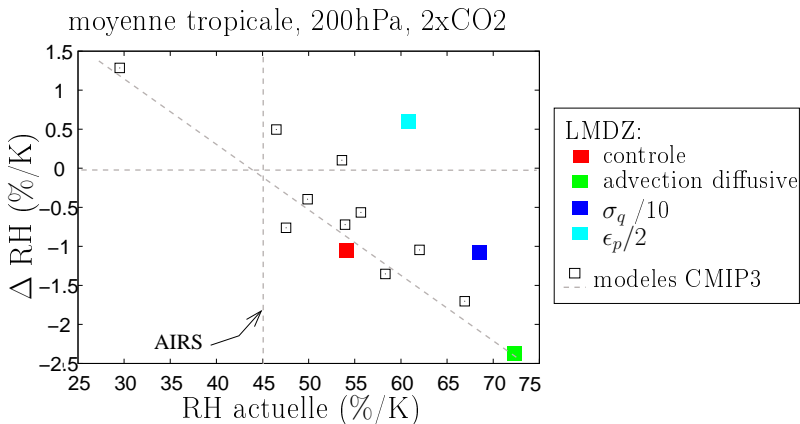


## ► Advection verticale trop diffusive

# Quel impact sur les projections d'humidité?



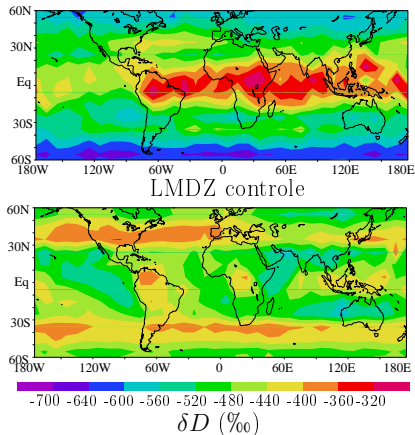
# Quel impact sur les projections d'humidité?



- ▶ La façon dont un biais humide impacte les projections dépend de la raison de ce biais

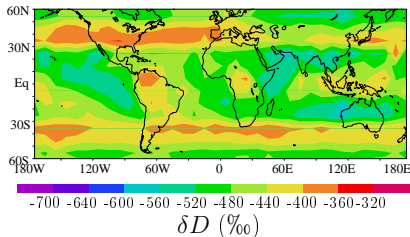
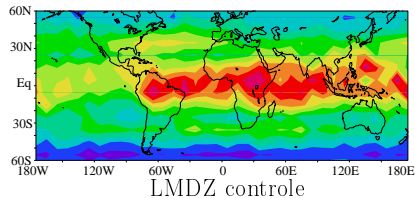
## 2) Humidification de la haute tropo

données MIPAS à 200hPa, moy annuelle

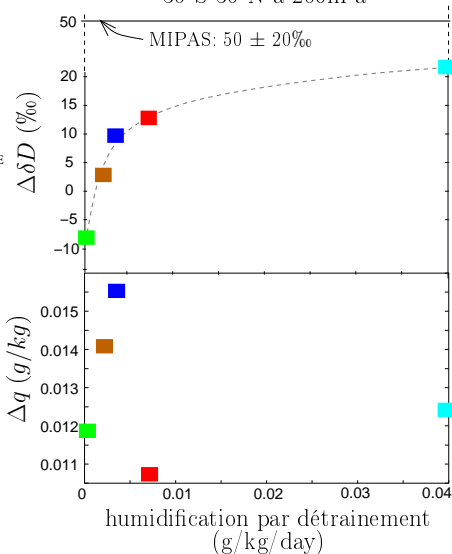


## 2) Humidification de la haute tropo

données MIPAS à 200hPa, moy annuelle

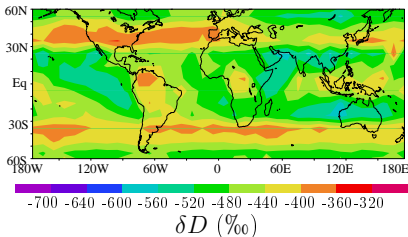
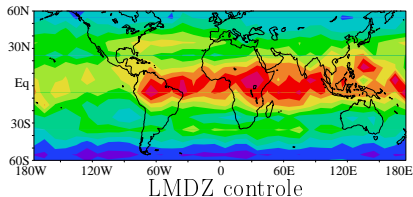


Différence 15°S-15°N moins  
30°S-30°N à 200hPa

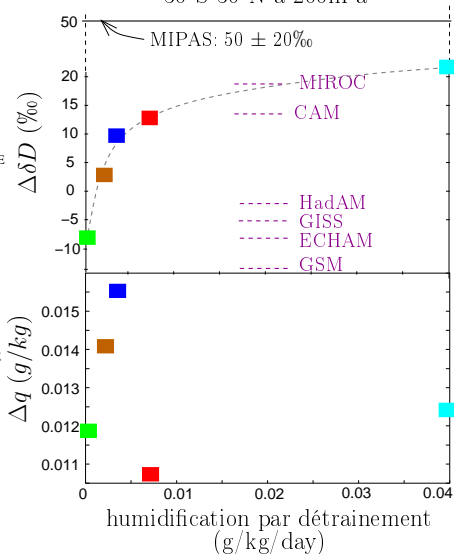


## 2) Humidification de la haute tropo

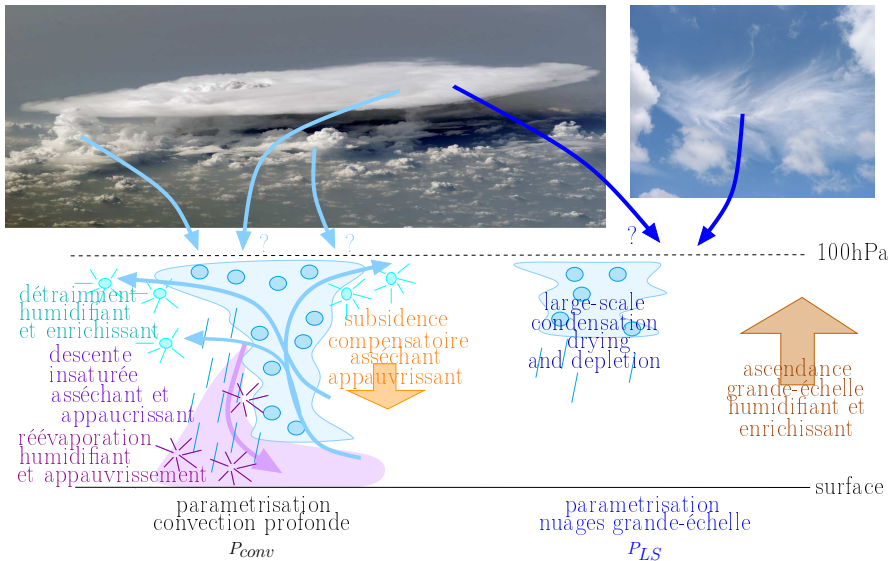
données MIPAS à 200hPa, moy annuelle



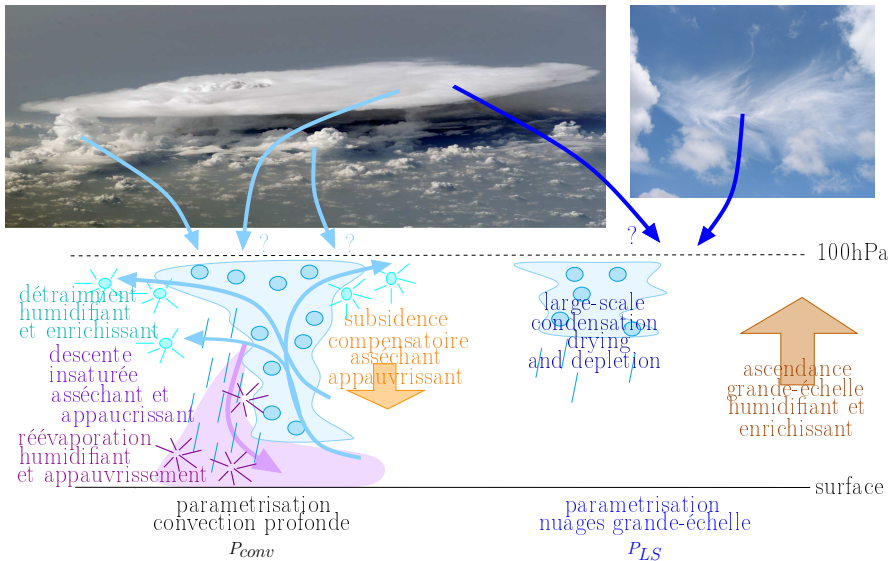
Différence 15°S-15°N moins  
30°S-30°N à 200hPa



# Convection vs precip grande-échelle



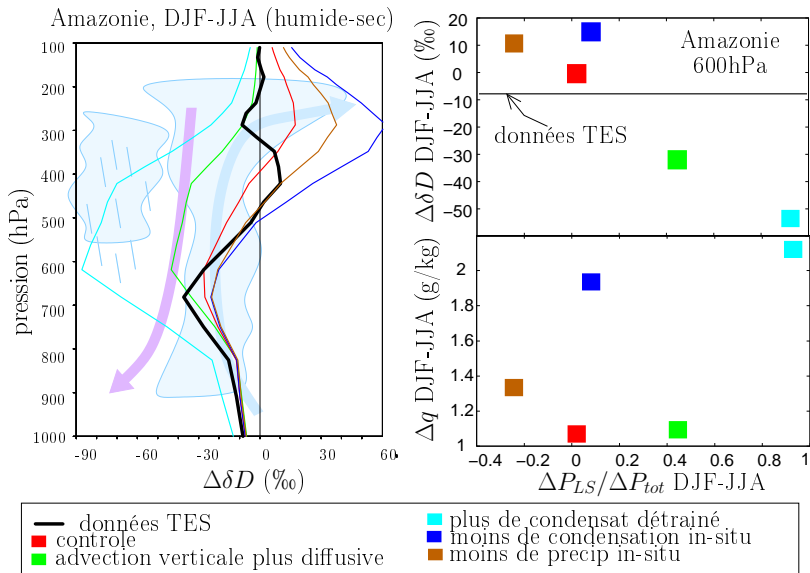
# Convection vs precip grande-échelle



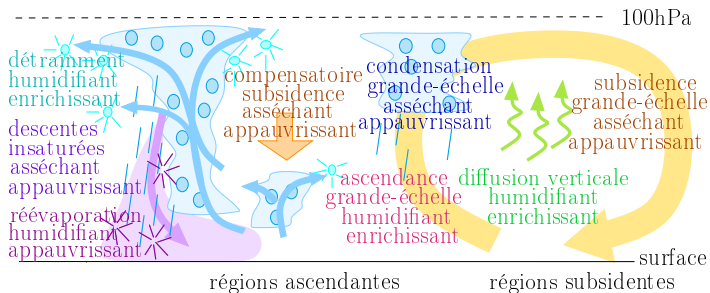
- $P_{LS}/P_{tot}$  arbitraire, mais influence nuages, variabilité intra-saison, transport traceurs



# Tests de sensibilité dans LMDZ

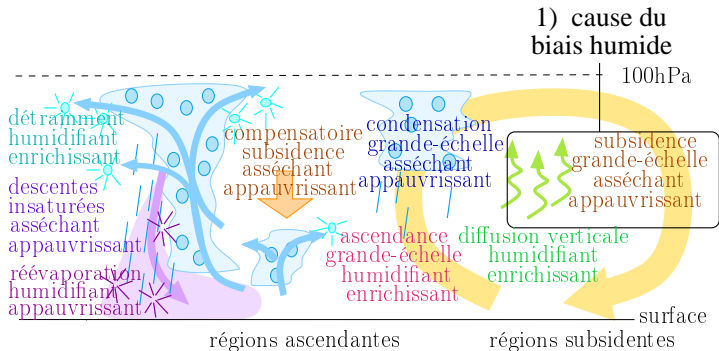


# Résumé sur l'évaluation au présent



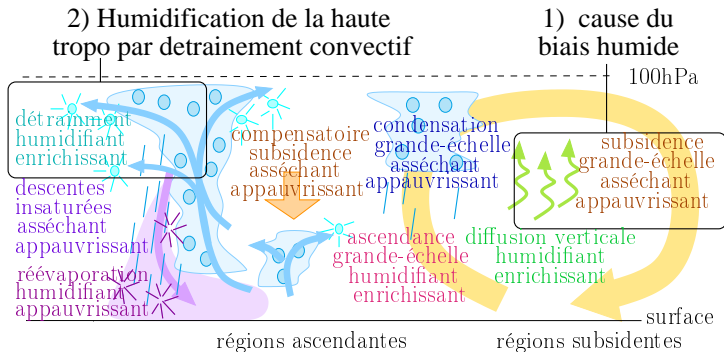
- ▶ meilleure compréhension processus contrôlant la composition isotopique vapeur et précipitation
- ▶ en retour, évaluation représentation des processus nuageux

# Résumé sur l'évaluation au présent



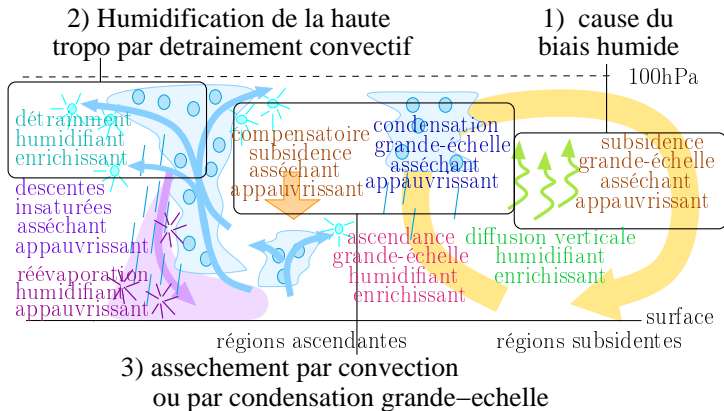
- ▶ meilleure compréhension processus contrôlant la composition isotopique vapeur et précipitation
- ▶ en retour, évaluation représentation des processus nuageux

# Résumé sur l'évaluation au présent



- ▶ meilleure compréhension processus contrôlant la composition isotopique vapeur et précipitation
- ▶ en retour, évaluation représentation des processus nuageux

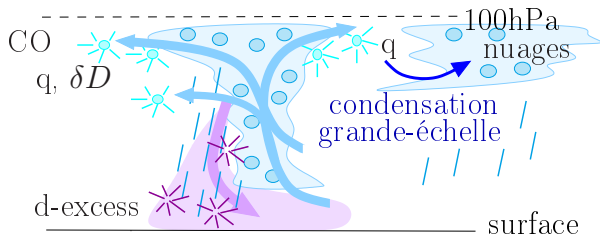
# Résumé sur l'évaluation au présent



- ▶ meilleure compréhension processus contrôlant la composition isotopique vapeur et précipitation
- ▶ en retour, évaluation représentation des processus nuageux

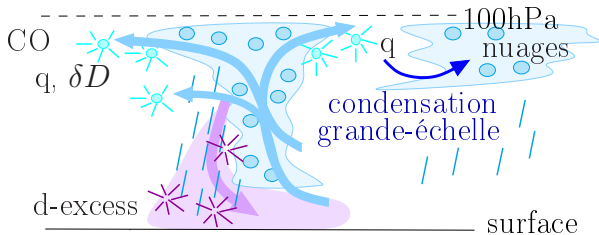
# Perspectives sur la convection

- Combiner  $q$ ,  $\delta D$  + nuages  $\Rightarrow$  contrainte precip grande-échelle



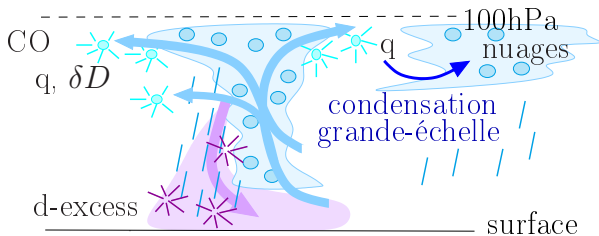
# Perspectives sur la convection

- ▶ Combiner  $q$ ,  $\delta D$  + nuages  $\Rightarrow$  contrainte precip grande-échelle
- ▶ Combiner  $q$ ,  $\delta D$  + traceurs chimiques:  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_3$ ,  $^{10}\text{Be}$   $\Rightarrow$  contrainte flux d'air
  - ▶ collocalisation données satellites



# Perspectives sur la convection

- ▶ Combiner  $q$ ,  $\delta D$  + nuages  $\Rightarrow$  contrainte precip grande-échelle
- ▶ Combiner  $q$ ,  $\delta D$  + traceurs chimiques:  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_3$ ,  $^{10}\text{Be}$   $\Rightarrow$  contrainte flux d'air
  - ▶ collocalisation données satellites
- ▶ d-excess  $\Rightarrow$  réévaporation
  - ▶ progrès instrumentation laser



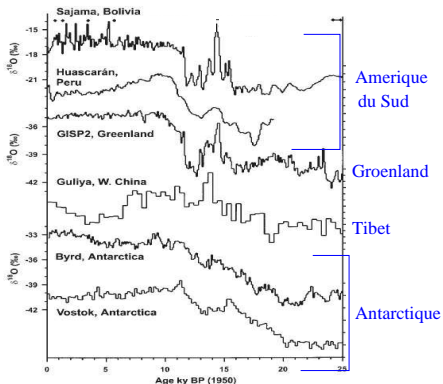


## Qu'enregistre $\delta^{18}O_p$ dans le passé?

- ▶ nouvelle compréhension processus  $\implies$  interpréter  $\delta^{18}O_p$ ?
- ▶ évaluer capacité modèles à simuler changements climatiques?

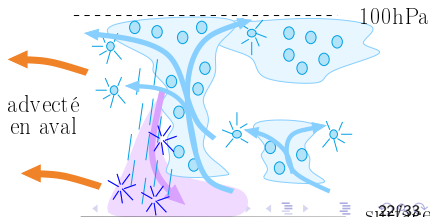
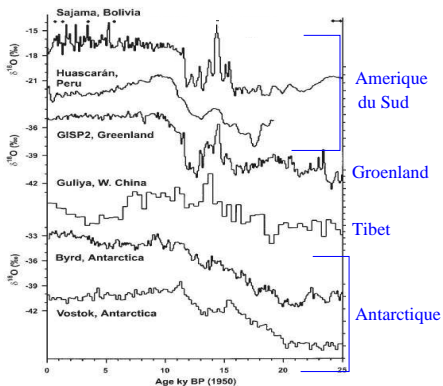
# Qu'enregistre $\delta^{18}O_p$ dans le passé?

- ▶ nouvelle compréhension processus  $\implies$  interpréter  $\delta^{18}O_p$ ?
- ▶ évaluer capacité modèles à simuler changements climatiques?
- ▶ Interpretations dans la littérature:
  - ▶ Thompson et al 2000  $\rightarrow$  proxy de temperature
  - ▶ Vuille et al 2005, Pausata et al 2011  $\rightarrow$  proxy de precipitation



# Qu'enregistre $\delta^{18}O_p$ dans le passé?

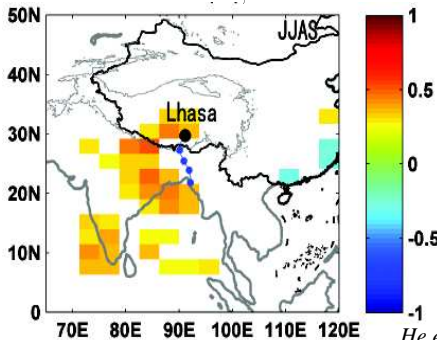
- ▶ nouvelle compréhension processus  $\implies$  interpréter  $\delta^{18}O_p$ ?
- ▶ évaluer capacité modèles à simuler changements climatiques?
- ▶ Interpretations dans la littérature:
  - ▶ Thompson et al 2000  $\rightarrow$  proxy de température
  - ▶ Vuille et al 2005, Pausata et al 2011  $\rightarrow$  proxy de precipitation



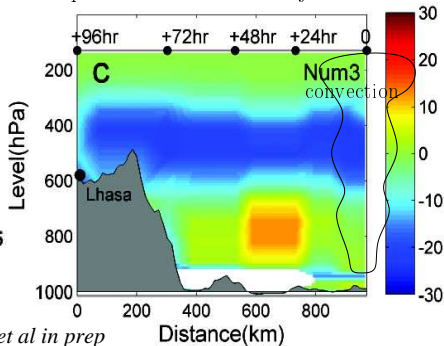
# Etude de processus avec obs satellites

- ▶ utilisation des données TES

correlation journalière entre  $\delta D$  à 400hPa à Lhasa et OLR autour, en JJAS



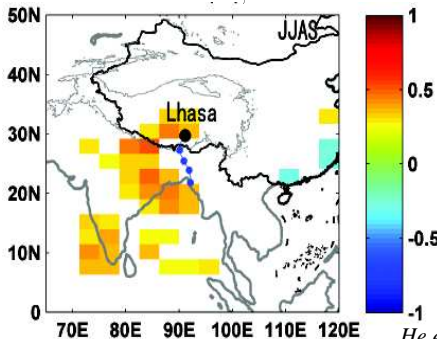
anomalies composites de  $\delta D$  (‰) le long trajectoires vers Lhasa quand OLR est bas 4 jours avant



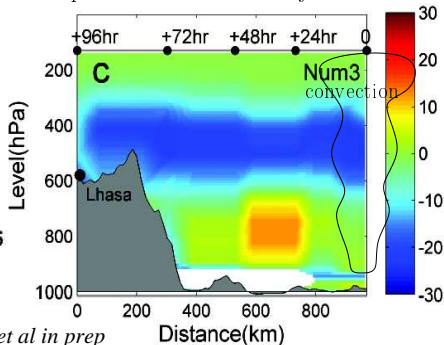
# Etude de processus avec obs satellites

- ▶ utilisation des données TES

correlation journalière entre  $\delta D$  à 400hPa à Lhasa et OLR autour, en JJAS



anomalies composites de  $\delta D$  (‰) le long trajectoires vers Lhasa quand OLR est bas 4 jours avant



- ▶ convection en Inde appauvrit vapeur moyenne tropo
- ▶ anomalie pauvre transportée jusqu'à Lhasa

# Cela s'applique-t-il à l'échelle paléo?

Peut-on utiliser obs présente pour comprendre contrôles  $\delta^{18}O$  paleo, et les évaluer dans les modèles?

⇒ analyse avec LMDZ

# Cela s'applique-t-il à l'échelle paléo?

Peut-on utiliser obs présente pour comprendre contrôles  $\delta^{18}O$  paleo, et les évaluer dans les modèles?

⇒ analyse avec LMDZ

- ▶ simulations de 11 climats différents: LGM avec différentes SSTs, MH, 2x and 4x CO<sub>2</sub> avec différentes SSTs, dernier interglaciaire
  - ▶ relations paleo entre  $\delta^{18}O$  et climat?

# Cela s'applique-t-il à l'échelle paléo?

Peut-on utiliser obs présente pour comprendre contrôles  $\delta^{18}O$  paleo, et les évaluer dans les modèles?

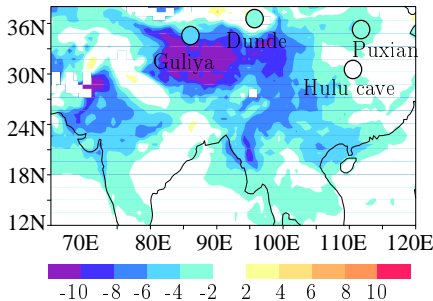
⇒ analyse avec LMDZ

- ▶ simulations de 11 climats différents: LGM avec différentes SSTs, MH, 2x and 4x CO<sub>2</sub> avec différentes SSTs, dernier interglaciaire
  - ▶ relations paleo entre  $\delta^{18}O$  et climat?
- ▶ tests de sensibilité à la physique du modèle et à la résolution (dont zoom à 50km)
  - ▶ robustesse des relations simulées?



# Evaluation au LGM et MH

Dernier Maximum Glaciaire

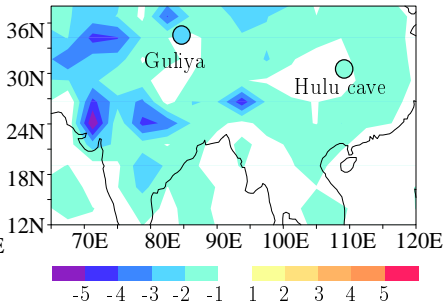


$\Delta\delta^{18}O$  (‰)

(corrige de l'eau de mer)

LMDZ 50km résolution

Moyen Holocene

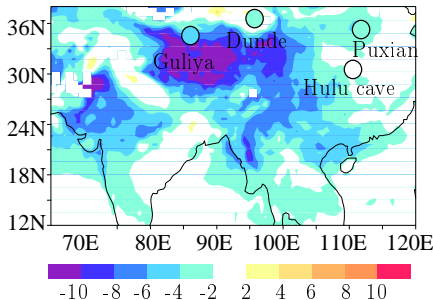


$\Delta\delta^{18}O$  (‰)

LMDZ controle

# Evaluation au LGM et MH

Dernier Maximum Glaciaire

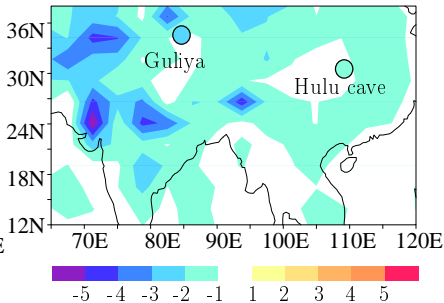


$\Delta\delta^{18}O$  (‰)

(corrige de l'eau de mer)

LMDZ 50km résolution

Moyen Holocene



$\Delta\delta^{18}O$  (‰)

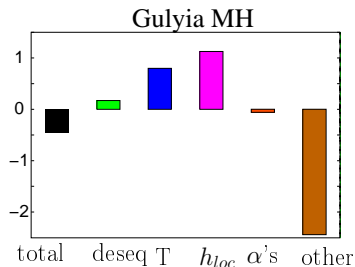
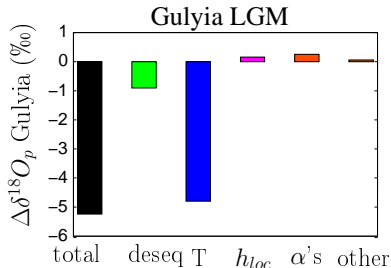
LMDZ controle

- LMDZ reproduit l'appauvrissement observé au LGM et MH

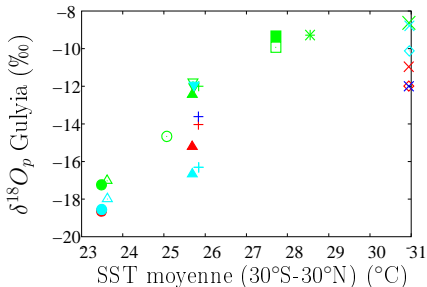
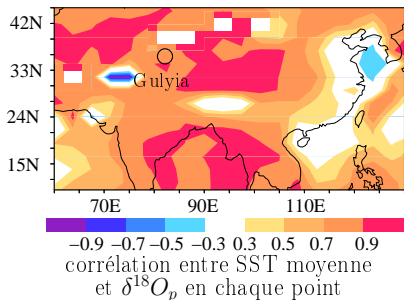
# Causes des variations de $\delta^{18}O$ ?

$$R_p = R_v + \underbrace{(R_p - \alpha_{loc} \cdot R_v)}_{\text{deseq vap-cond}} + (\alpha_{loc} \cdot R_v - R_v)$$

$$R_v = \underbrace{\frac{R_{oce}/\alpha_i}{\alpha_K \cdot (1-h_i) + h_i}}_{\text{vapeur initiale}} \cdot \underbrace{\left( \frac{h_{loc} \cdot q_s(T_{loc})}{q_s(T_i)} \right)^{\alpha_{loc}-1}}_{\text{distillation}} + \underbrace{\text{residuel}}_{\text{ex convection amount}}$$



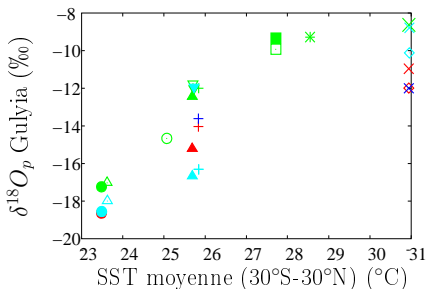
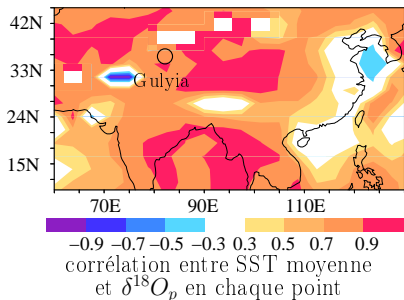
# $\delta^{18}O$ comme proxy de température?



<b>Climates:</b>	○ LGM climap
+ présent	● LGM IPSL
× 4xCO2 IPSL	△ LGM IPSL THCOff
* 2xCO2 IPSL	▲ MH IPSL
□ 2xCO2 ECHAM	▽ Eémien IPSL
■ 2xCO2 MIROChi	▼ Eémien IPSL THC+

<b>Versions de modèle</b>
● contrôle
● moins de diffusion
● plus de déentraînement
● moins de condensation
● 50 km résolution

# $\delta^{18}O$ comme proxy de température?

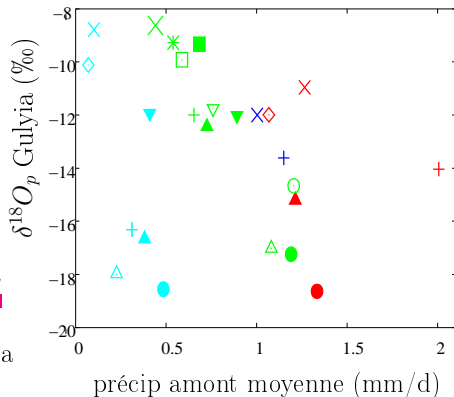
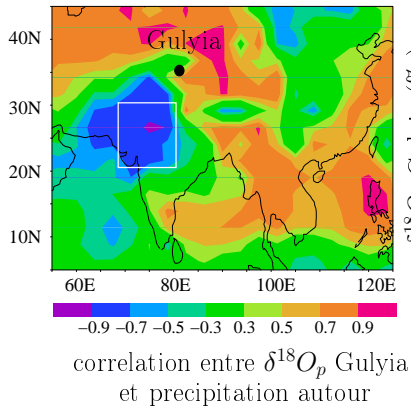


<b>Climates:</b>	○ LGM climap
+ présent	● LGM IPSL
× 4xCO2 IPSL	△ LGM IPSL THCOff
* 2xCO2 IPSL	▲ MH IPSL
□ 2xCO2 ECHAM	▽ Eémien IPSL
■ 2xCO2 MIROChi	▼ Eémien IPSL THC+

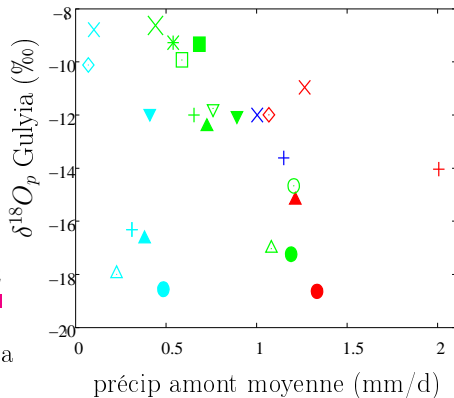
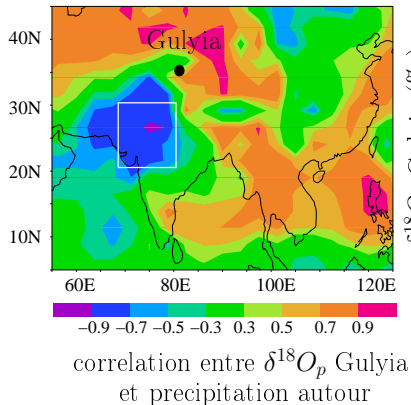
<b>Versions de modèle</b>
● contrôle
● moins de diffusion
● plus de déentraînement
● moins de condensation
● 50 km résolution

- ▶ température = contrôle important aux échelles
- ▶ robuste par rapport à la physique du modèle

# $\delta^{18}O$ comme proxy de précipitation?



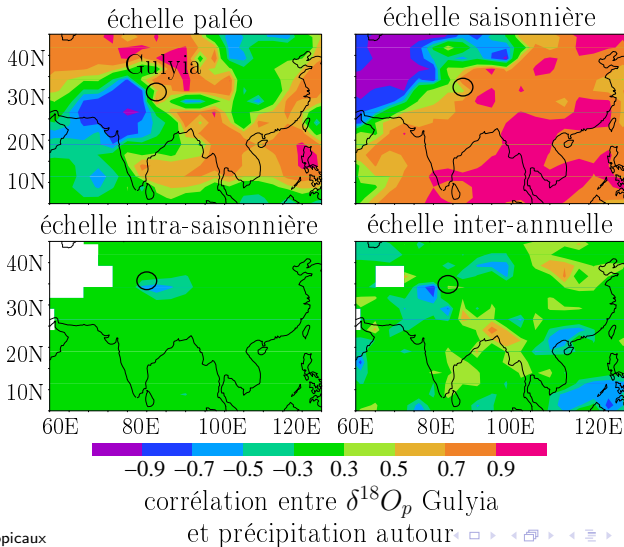
# $\delta^{18}O$ comme proxy de précipitation?



- ▶ Rôle significatif de la précip aux échelles de temps paléo
- ▶ Sensible à la physique du modèle

# Robustesse selon échelles de temps?

- Comprendre contrôles présent suffisant pour comprendre paléo?





# Résumé sur la paleo

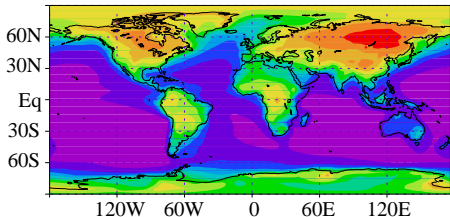
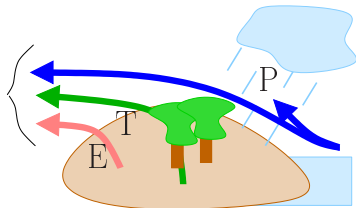
- ▶ LMDZ reproduit plusieurs aspects des variations passées de  $\delta^{18}O$
- ▶ température contrôle majeur, surtout au LGM
- ▶ Précipitation contrôle important surtout au MH, mais sensible à la physique du modèle
- ▶ Données de surface et satellite aident à comprendre contrôles  $\delta^{18}O$  journalier  $\Rightarrow$  rôle de la convection
- ▶ Mais le lien entre  $\delta^{18}O$  et precip dépend de l'échelle de temps

# Perspectives sur la paleo (1/2)

- ▶ Mieux évaluer les relations climat- $\delta^{18}O$ :
  - ▶ besoin synthèse de données de  $\delta^{18}O$  paleo pour évaluer modèles
  - ▶ comparaison LMDZ-TES en journalier: certains tests marchent-ils mieux
  - ▶ Si oui, plus de confiance en simul contrôles paléos
  - ▶ robustesse au modèle utilisé?

# Perspectives sur la paleo (1/2)

- ▶ Mieux évaluer les relations climat- $\delta^{18}O$ :
  - ▶ besoin synthèse de données de  $\delta^{18}O$  paleo pour évaluer modèles
  - ▶ comparaison LMDZ-TES en journalier: certains tests marchent-ils mieux
  - ▶ Si oui, plus de confiance en simul contrôles paléos
  - ▶ robustesse au modèle utilisé?
- ▶ origine des masses d'air?  $\Rightarrow$  water tagging



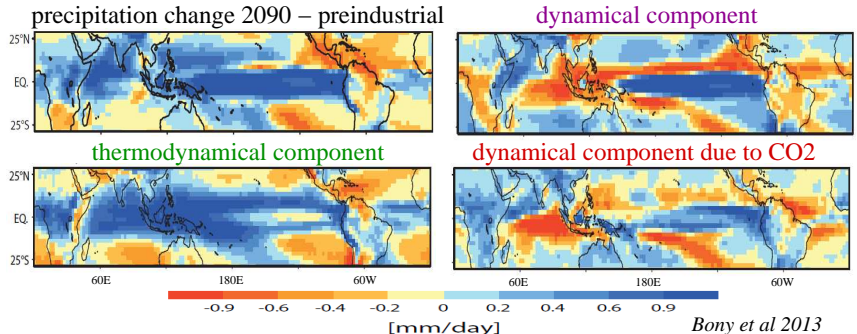
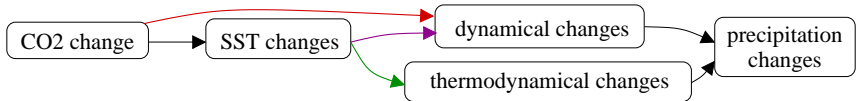
5 10 15 20 25 30 40 50 60 70 80 90  
% vapeur d'origine continentale

## Perspectives sur la paleo (2/2)

- ▶ utilisation  $\delta^{18}O$  passé pour mieux contraindre projections?
    - ▶ mécanismes communs passé/futur?
- ⇒ décomposition changements de précip dans CMIP5.

# Perspectives sur la paleo (2/2)

- ▶ utilisation  $\delta^{18}O$  passé pour mieux contraindre projections?
    - ▶ mécanismes communs passé/futur?
- ⇒ décomposition changements de précip dans CMIP5.



# Conclusion générale

- ▶ meilleure compréhension processus contrôlant composition isotopique de la vapeur, surtout processus convectifs
- ▶ exploitation mesures isotopiques pour mieux évaluer représentation processus nuageux
- ▶ application pour interpréter  $\delta^{18}O$  paléo
- ▶ encore travail pour mieux comprendre contrôles isos, notamment d-excess
- ▶ lien avec confiance des projections?