

# Utilisation des isotopes de l'eau pour évaluer les processus atmosphériques et hydrologiques dans les modèles de climat

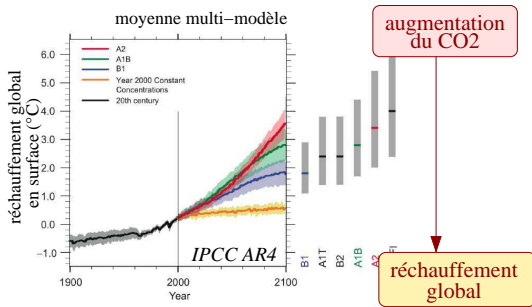
Camille Risi

CIRES, Boulder

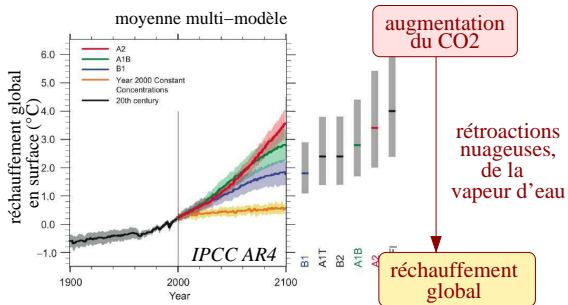
avec la contribution de: D Noone, S Bony,  
TES data: J Worden, J Lee, D Brown,  
SCIAMACHY data: C Frankenberg,  
MIPAS data: G Stiller, M Kiefer, B Funke  
ACE-FTS data: K Walker, P Bernath,  
ground-based FTIR: M Schneider, D Wunch, P Wennberg,  
V Sherlock, N Deutscher, D Griffith  
in-situ data: R Uemura  
SWING2: C Sturm

Séminaire au LMD, 7 janvier 2010

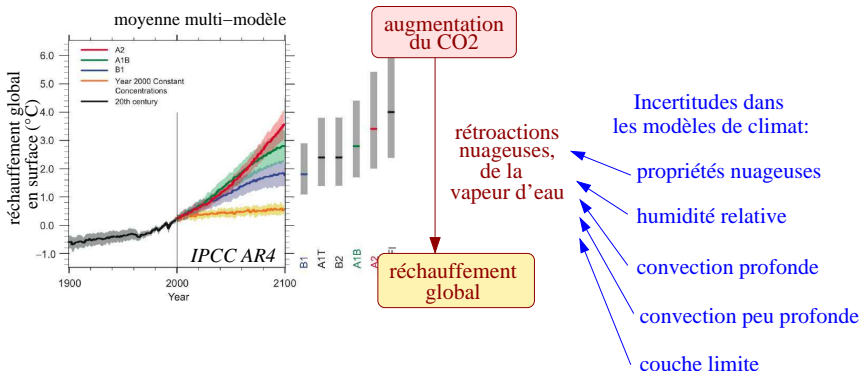
# Incertitudes dans les projections climatiques



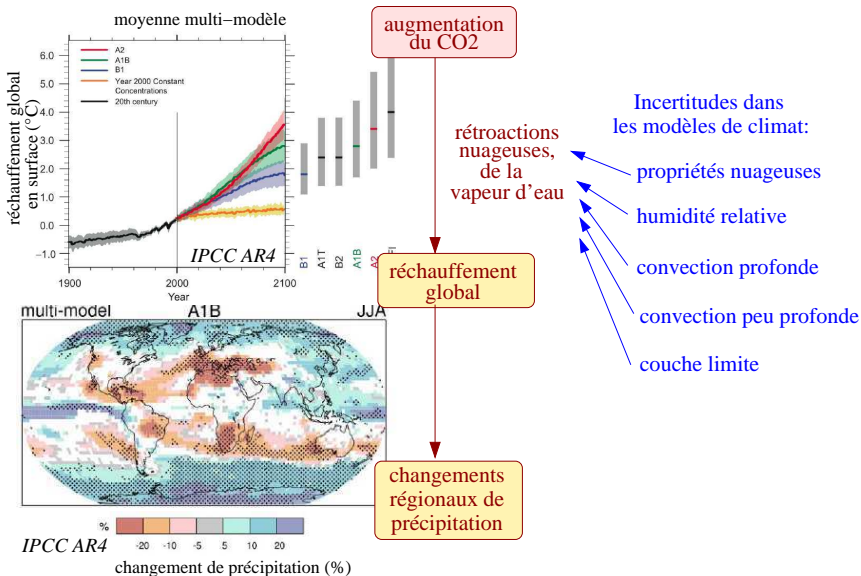
# Incertitudes dans les projections climatiques



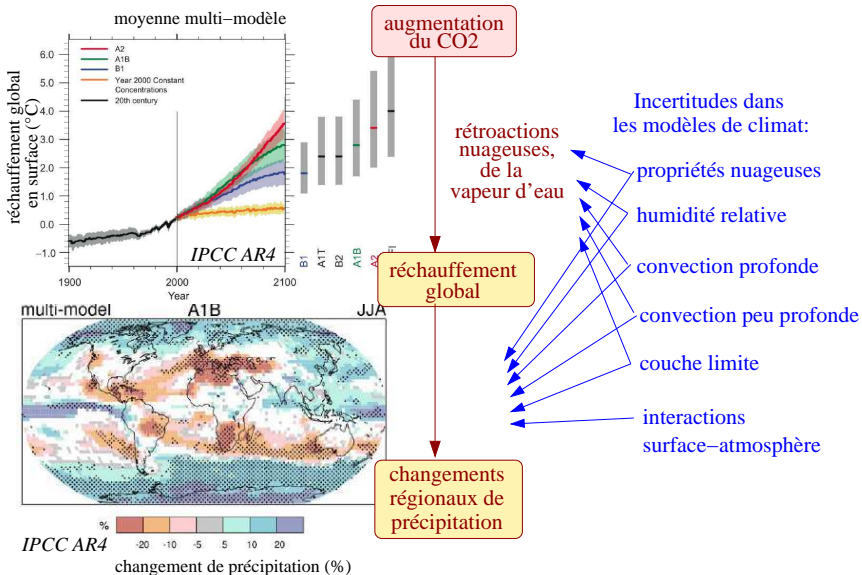
# Incertitudes dans les projections climatiques



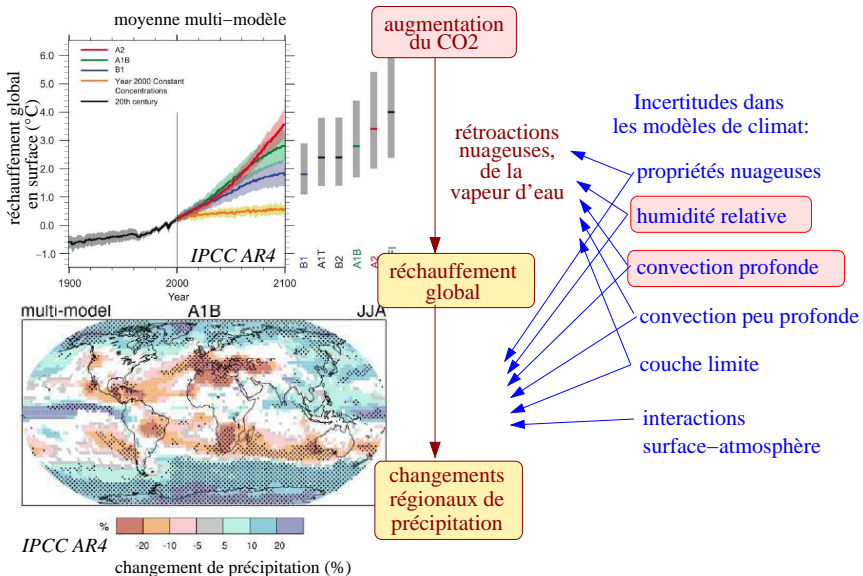
# Incertitudes dans les projections climatiques



# Incertitudes dans les projections climatiques



# Incertitudes dans les projections climatiques



# Incertitudes dans les projections d'humidité

- ▶ rôle de l'humidité relative de la troposphère libre sur
  - ▶ la rétroaction vapeur d'eau (*Soden et al 2008*)
  - ▶ les rétroactions nuageuses (*Sherwood et al 2010*)
  - ▶ la convection profonde (*Derbyshire 2004*)



# Incertitudes dans les projections d'humidité

- ▶ rôle de l'humidité relative de la troposphère libre sur
  - ▶ la rétroaction vapeur d'eau (*Soden et al 2008*)
  - ▶ les rétroactions nuageuses (*Sherwood et al 2010*)
  - ▶ la convection profonde (*Derbyshire 2004*)
- ▶ mais humidité relative variable selon les modèles de climat
  - ▶ pour le climat actuel, avec biais humide dans la moyenne et haute tropo (*John and Soden 2005*)
  - ▶ pour les projections de changement climatique (*Sherwood et al 2010*)

# Incertitudes dans les projections d'humidité

- ▶ rôle de l'humidité relative de la troposphère libre sur
  - ▶ la rétroaction vapeur d'eau (*Soden et al 2008*)
  - ▶ les rétroactions nuageuses (*Sherwood et al 2010*)
  - ▶ la convection profonde (*Derbyshire 2004*)
- ▶ mais humidité relative variable selon les modèles de climat
  - ▶ pour le climat actuel, avec biais humide dans la moyenne et haute tropo (*John and Soden 2005*)
  - ▶ pour les projections de changement climatique (*Sherwood et al 2010*)

⇒ crédibilité des modèles pour leur simulation des processus contrôlant l'humidité?

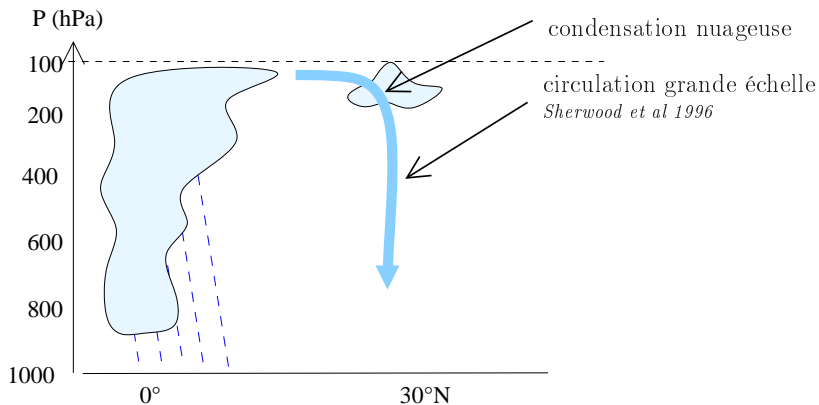
# Incertitudes dans les projections d'humidité

- ▶ rôle de l'humidité relative de la troposphère libre sur
  - ▶ la rétroaction vapeur d'eau (*Soden et al 2008*)
  - ▶ les rétroactions nuageuses (*Sherwood et al 2010*)
  - ▶ la convection profonde (*Derbyshire 2004*)
- ▶ mais humidité relative variable selon les modèles de climat
  - ▶ pour le climat actuel, avec biais humide dans la moyenne et haute tropo (*John and Soden 2005*)
  - ▶ pour les projections de changement climatique (*Sherwood et al 2010*)

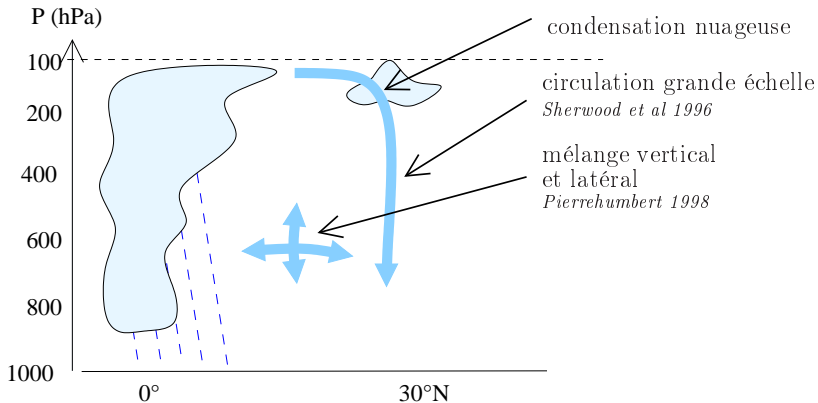
⇒ crédibilité des modèles pour leur simulation des processus contrôlant l'humidité?

⇒ But: développer des diagnostics observationnels pour évaluer processus contrôlant l'humidité relative, détecter les biais et en comprendre les causes?

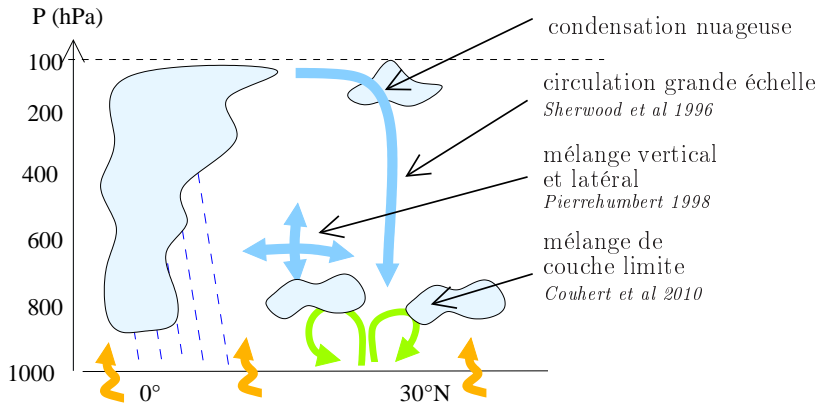
# Processus contrôlant l'humidité relative



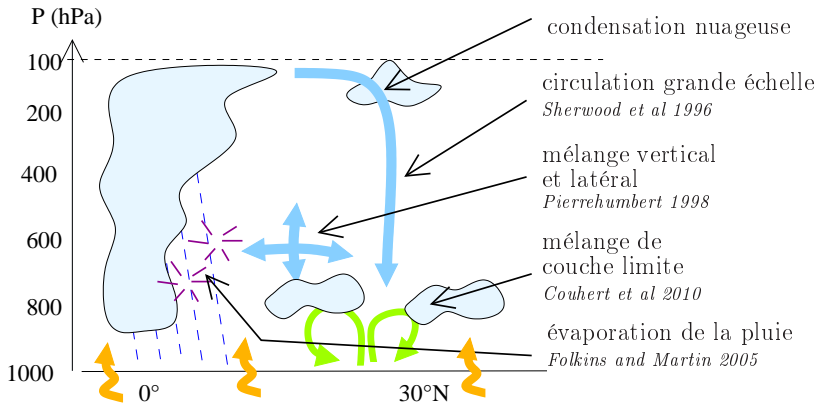
# Processus contrôlant l'humidité relative



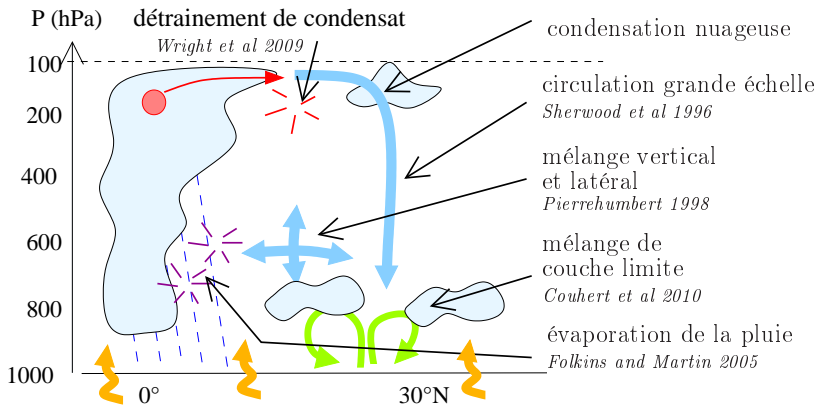
# Processus contrôllant l'humidité relative



# Processus contrôlant l'humidité relative

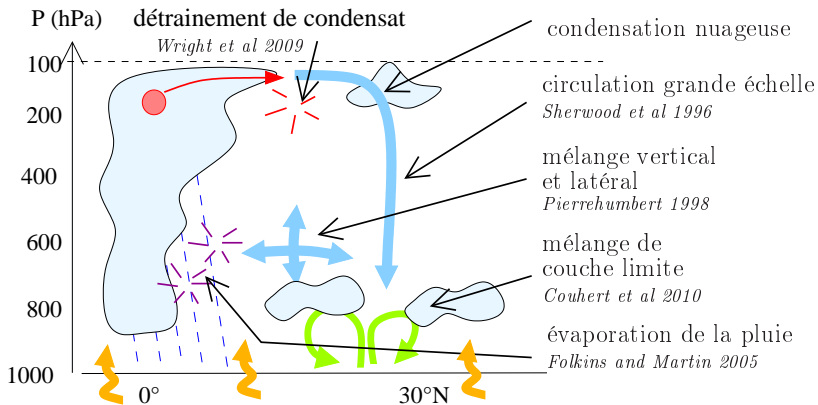


# Processus contrôlant l'humidité relative





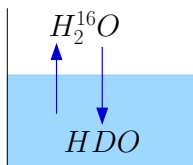
# Processus contrôllant l'humidité relative



► besoin d'observations complémentaires

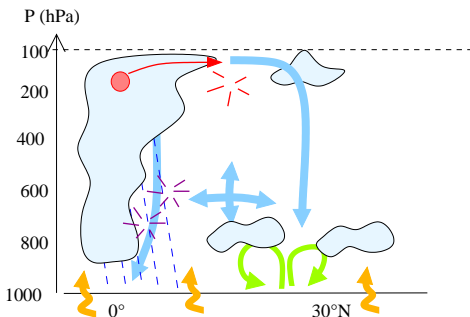
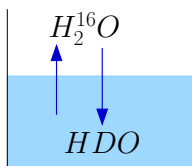
# Processus contrôlant la composition isotopique de la vapeur

- ▶ isotopes de l'eau:  $H_2^{16}O$ ,  $H_2^{18}O$ ,  $HDO$
- ▶ fractionnement  $\Rightarrow$  enregistre les changements de phase



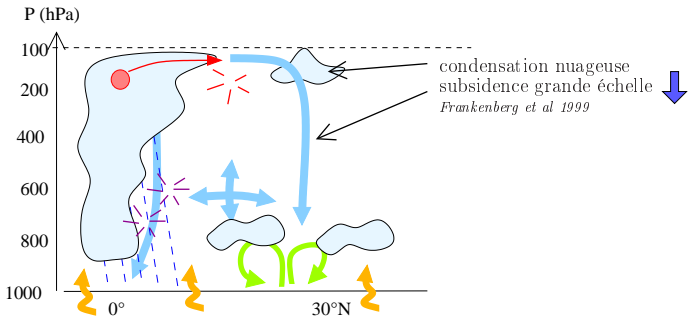
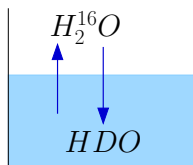
# Processus contrôllant la composition isotopique de la vapeur

- ▶ isotopes de l'eau:  $H_2^{16}O$ ,  $H_2^{18}O$ ,  $HDO$
- ▶ fractionnement  $\Rightarrow$  enregistre les changements de phase



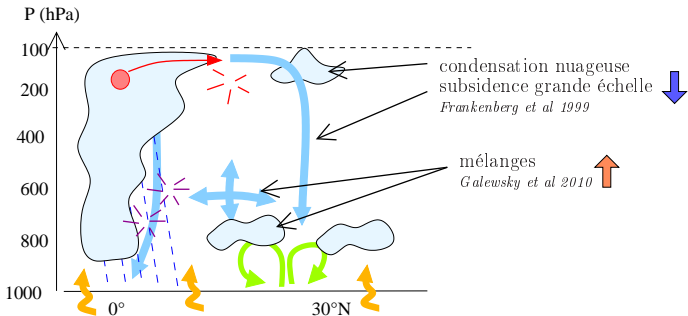
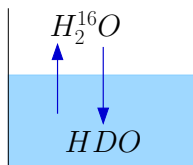
# Processus contrôllant la composition isotopique de la vapeur

- ▶ isotopes de l'eau:  $H_2^{16}O$ ,  $H_2^{18}O$ ,  $HDO$
- ▶ fractionnement  $\Rightarrow$  enregistre les changements de phase



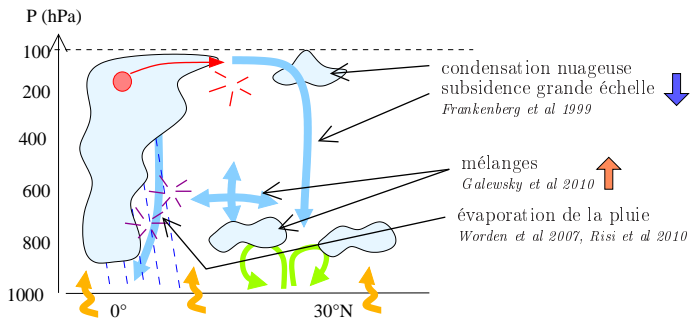
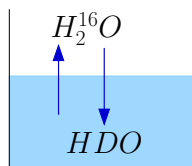
# Processus contrôllant la composition isotopique de la vapeur

- ▶ isotopes de l'eau:  $H_2^{16}O$ ,  $H_2^{18}O$ ,  $HDO$
- ▶ fractionnement  $\Rightarrow$  enregistre les changements de phase



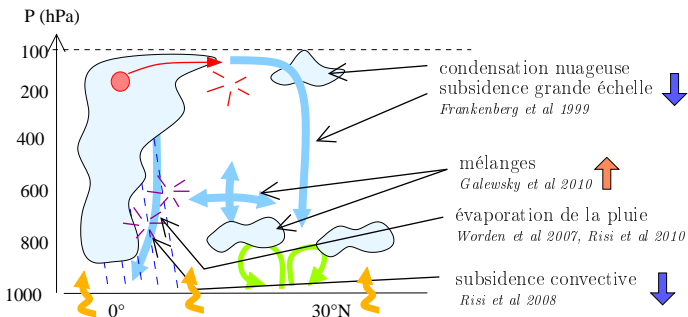
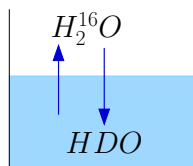
# Processus contrôllant la composition isotopique de la vapeur

- ▶ isotopes de l'eau:  $H_2^{16}O$ ,  $H_2^{18}O$ ,  $HDO$
- ▶ fractionnement  $\Rightarrow$  enregistre les changements de phase



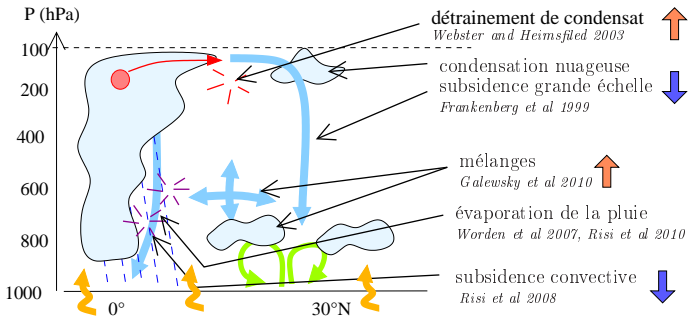
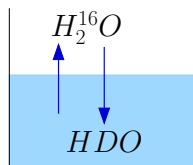
# Processus contrôllant la composition isotopique de la vapeur

- ▶ isotopes de l'eau:  $H_2^{16}O$ ,  $H_2^{18}O$ ,  $HDO$
- ▶ fractionnement  $\Rightarrow$  enregistre les changements de phase



# Processus contrôllant la composition isotopique de la vapeur

- ▶ isotopes de l'eau:  $H_2^{16}O$ ,  $H_2^{18}O$ ,  $HDO$
- ▶ fractionnement  $\Rightarrow$  enregistre les changements de phase

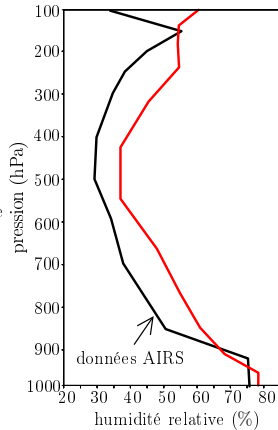
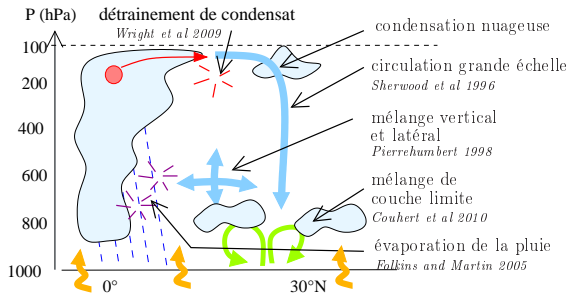




# Simulations

LMDZ-iso (Risi et al 2010):

— controle: version AR4 (19 niveaux)

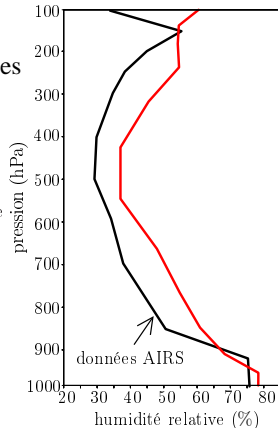
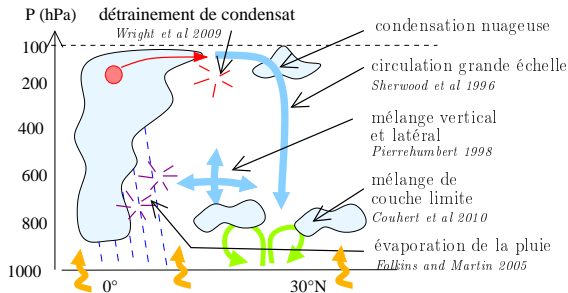


# Simulations

LMDZ-iso (Risi et al 2010):

— controle: version AR4 (19 niveaux)

} 3 raisons possibles  
pour un  
biais humide



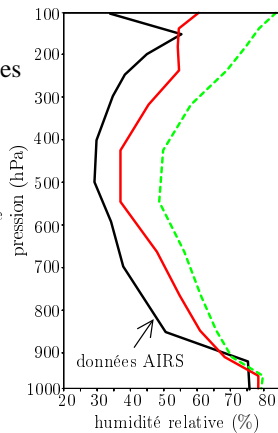
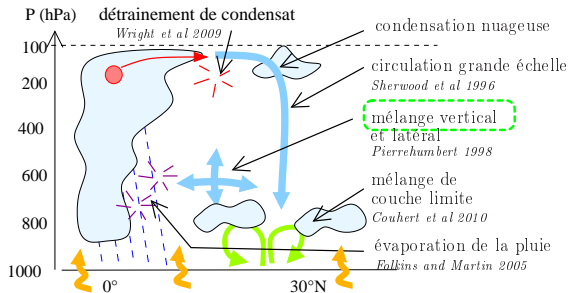
# Simulations

LMDZ-iso (Risi et al 2010):

— controle: version AR4 (19 niveaux)

- - - advection verticale diffusive

} 3 raisons possibles  
pour un  
biais humide

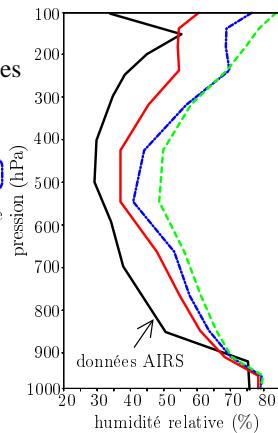
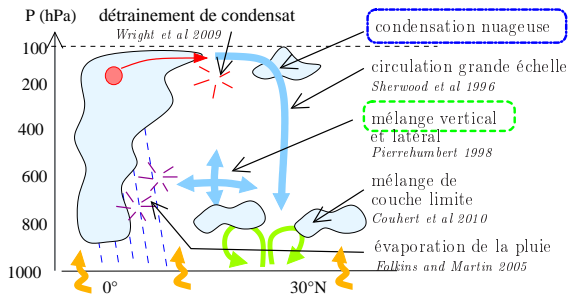


# Simulations

LMDZ-iso (Risi et al 2010):

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

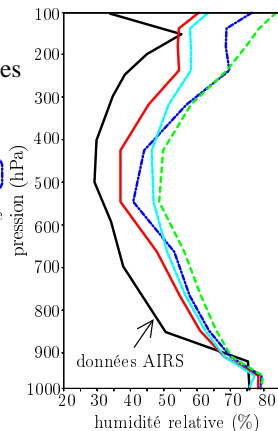
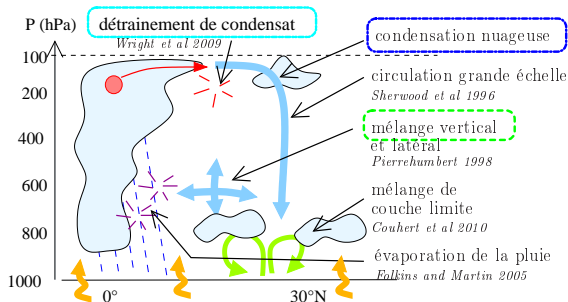
3 raisons possibles  
pour un  
biais humide



# Simulations

LMDZ-iso (Risi et al 2010):

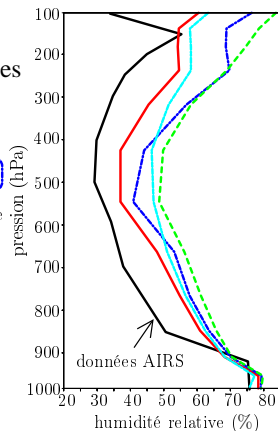
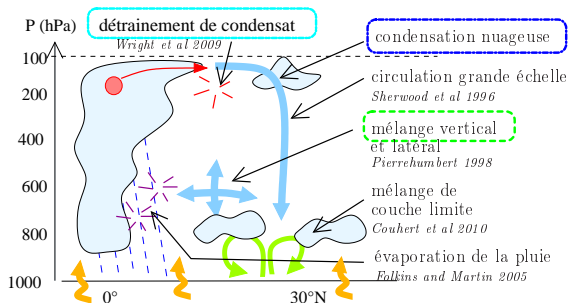
- controle: version AR4 (19 niveaux)
  - - - advection verticale diffusive
  - $\sigma_q/10$
  - $\epsilon_p/2$
- } 3 raisons possibles pour un biais humide



# Simulations

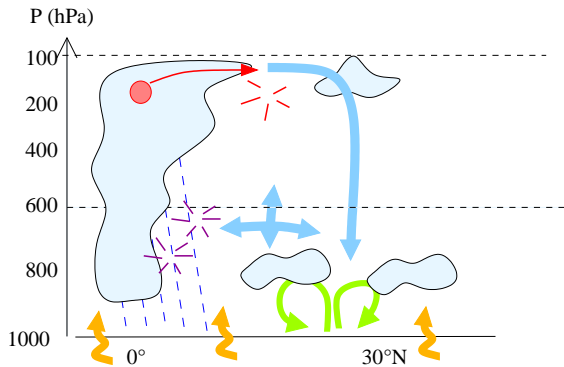
LMDZ-iso (Risi et al 2010):

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

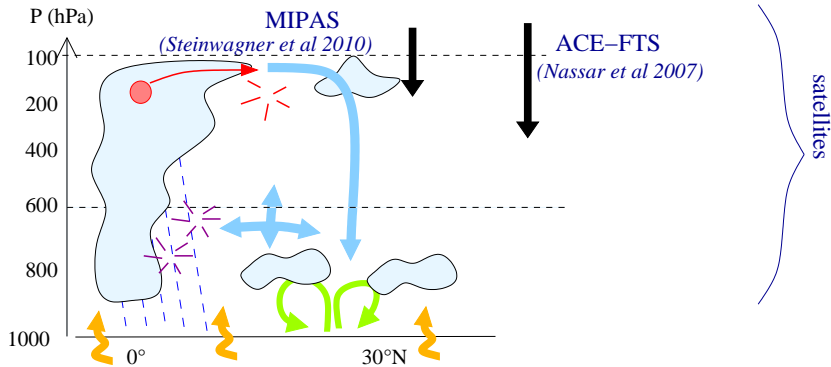


⇒ les mesures isotopiques permettent-elles de détecter ces biais?

# Les mesures isotopiques

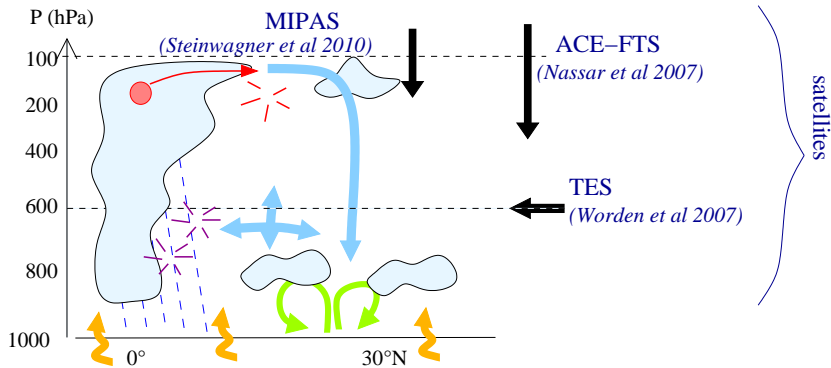


# Les mesures isotopiques

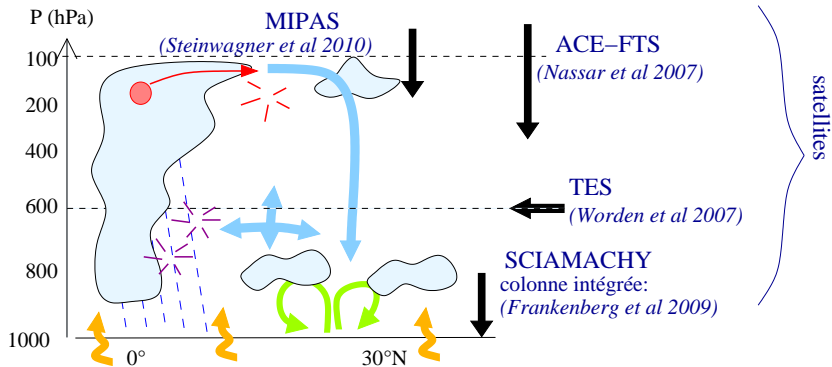




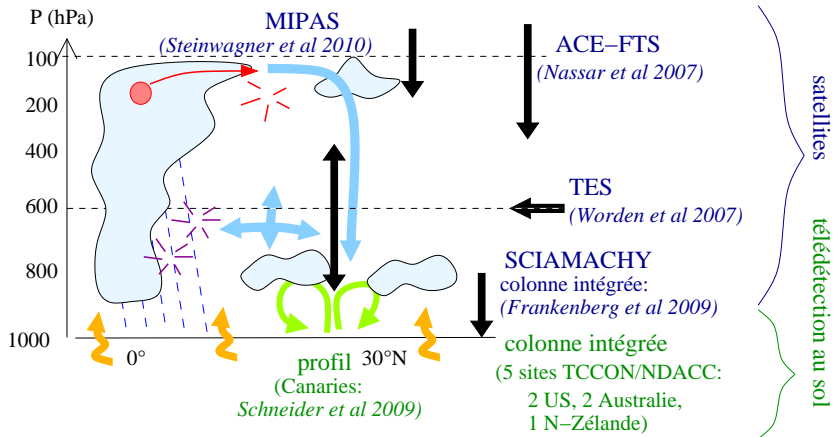
# Les mesures isotopiques



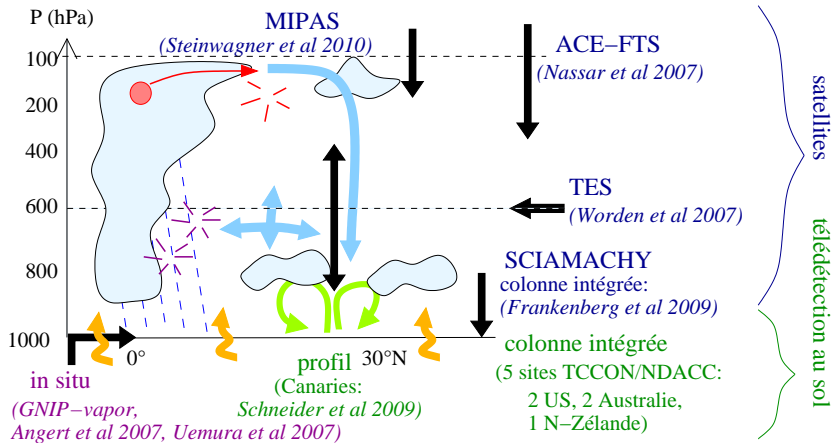
# Les mesures isotopiques



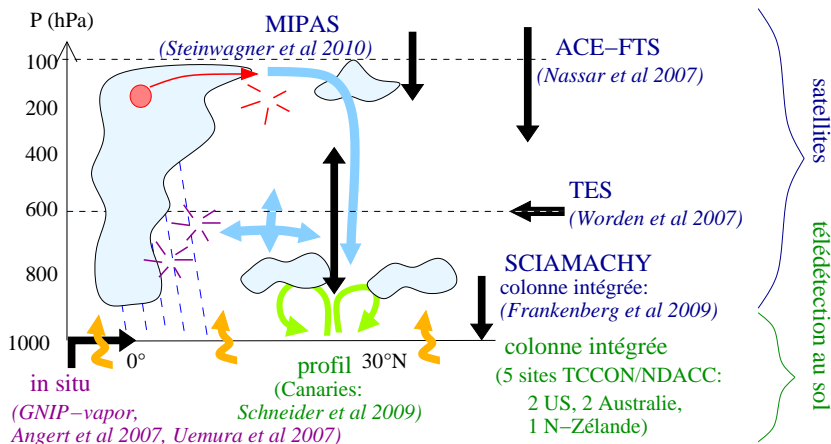
# Les mesures isotopiques



# Les mesures isotopiques

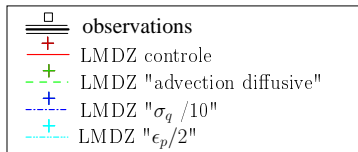
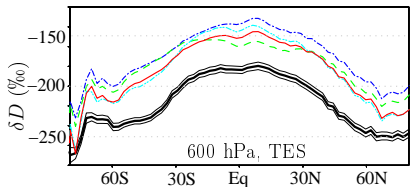
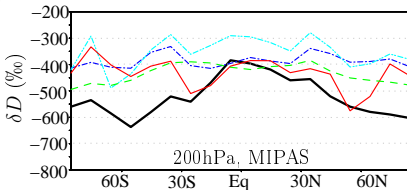
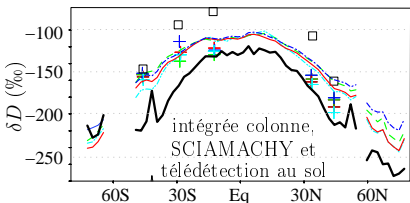
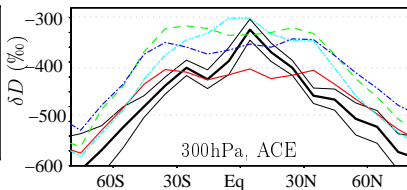
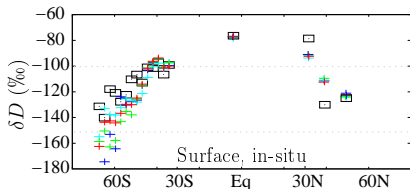


# Les mesures isotopiques

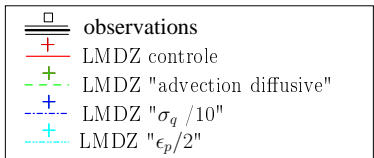
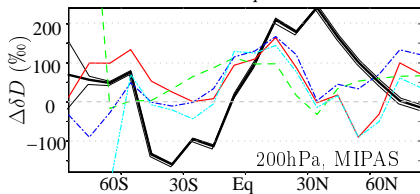
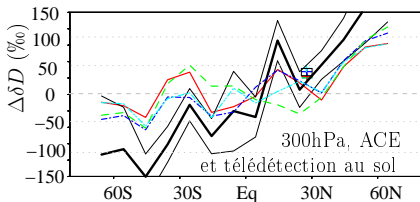
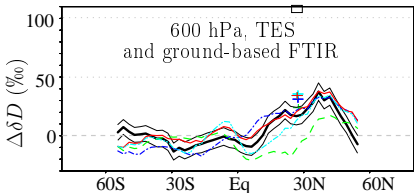
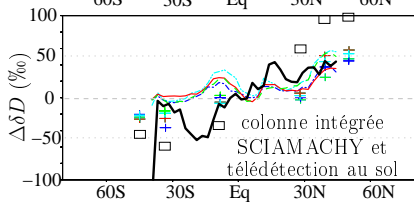
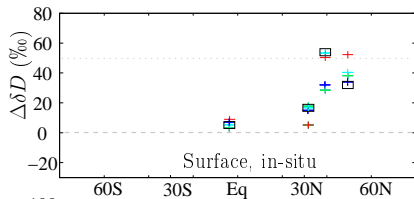


- ▶ comparaison modèle-données: collocalisation, simulations guidées, kernels; focalisation sur les variations

# Moyennes zonales annuelles

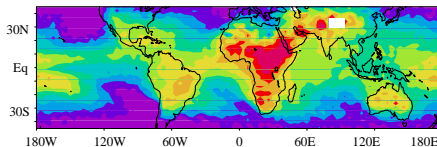


# Variations saisonnières (JJA-DJF)

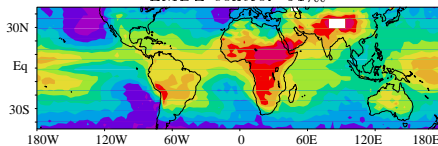


# Variations spatiales

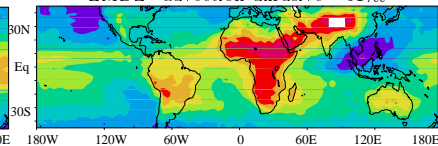
données TES



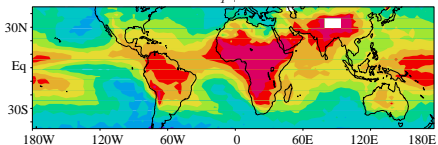
LMDZ control -31‰



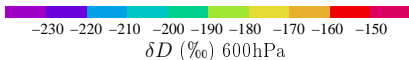
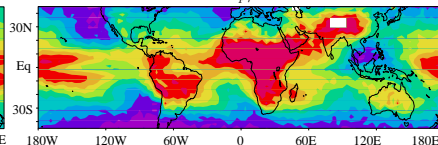
LMDZ "advection diffusive" -31‰



LMDZ " $\sigma_q / 10$ " -31‰



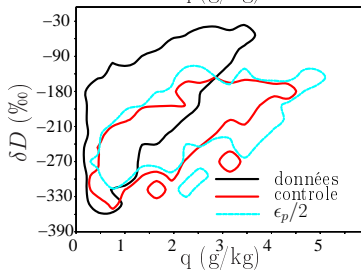
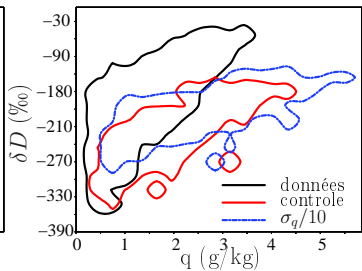
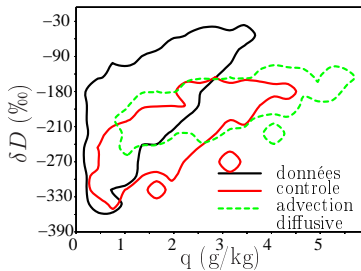
LMDZ " $\epsilon_p / 2$ " -31‰





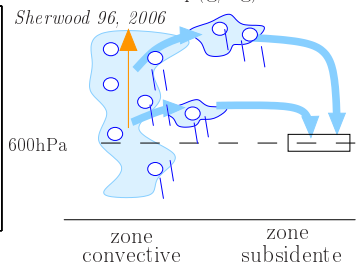
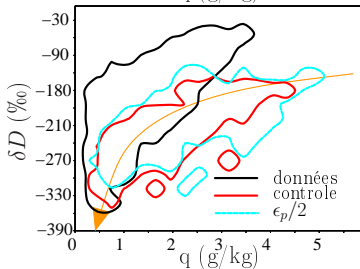
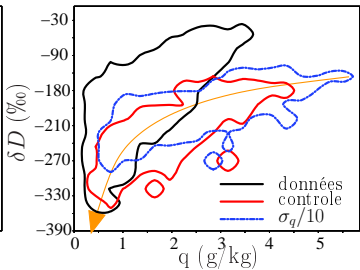
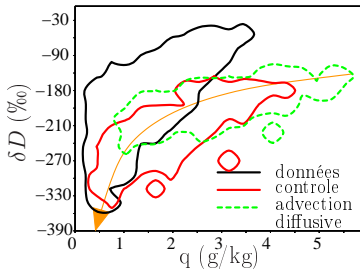
# Variations intra-saisonnères

Canaries, 600hPa, PDFs journalières



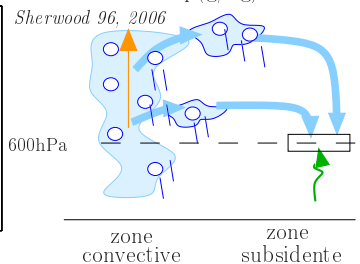
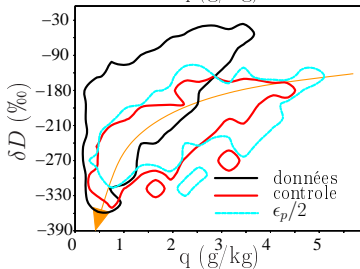
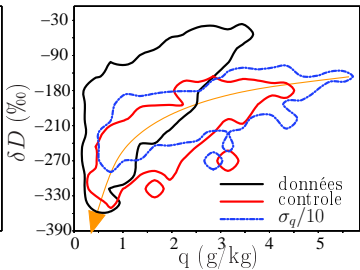
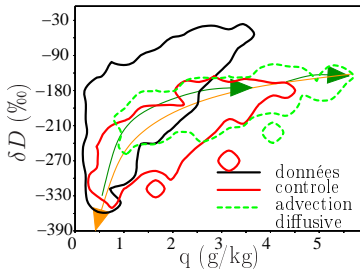
# Variations intra-saisonnères

Canaries, 600hPa, PDFs journalières



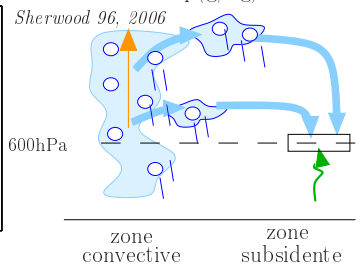
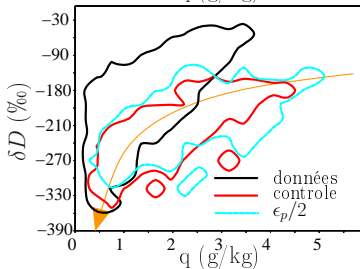
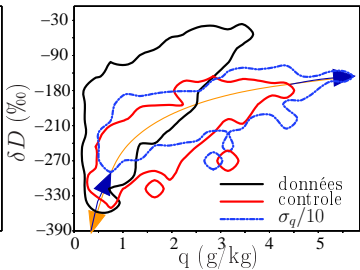
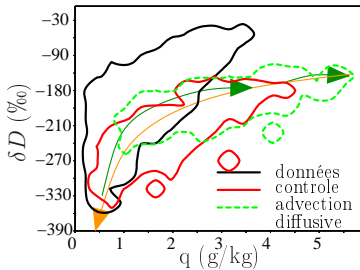
# Variations intra-saisonnères

Canaries, 600hPa, PDFs journalières



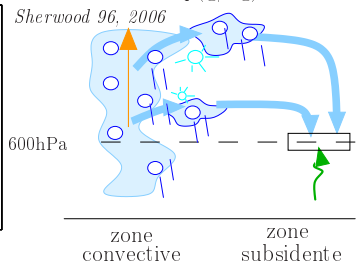
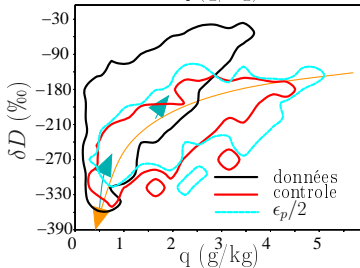
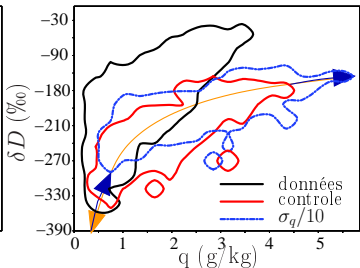
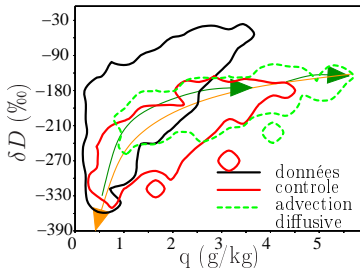
# Variations intra-saisonnères

Canaries, 600hPa, PDFs journalières



# Variations intra-saisonnères

Canaries, 600hPa, PDFs journalières



# Résumé: les diagnostics isotopiques d'un biais humide

Diagnostic observationel	Raison du biais humide

# Résumé: les diagnostics isotopiques d'un biais humide

Diagnostic observationel	Raison du biais humide
<ul style="list-style-type: none"><li>• Saisonalité du <math>\delta D</math> sous-estimée ou inversée dans la troposphère libre</li><li>• Régions convectives trop pauvres</li></ul>	

# Résumé: les diagnostics isotopiques d'un biais humide

Diagnostic observationel	Raison du biais humide
<ul style="list-style-type: none"><li>● Saisonalité du <math>\delta D</math> sous-estimée ou inversée dans la troposphère libre</li><li>● Régions convectives trop pauvres</li></ul>	advection verticale trop diffuse



# Résumé: les diagnostics isotopiques d'un biais humide

Diagnostic observationel	Raison du biais humide
<ul style="list-style-type: none"><li>• Saisonalité du <math>\delta D</math> sous-estimée ou inversée dans la troposphère libre</li><li>• Régions convectives trop pauvres</li><li>• Variabilité intra-saisonnière de RH et <math>\delta D</math> sous-estimée dans les subtropiques</li></ul>	advection verticale trop diffusive

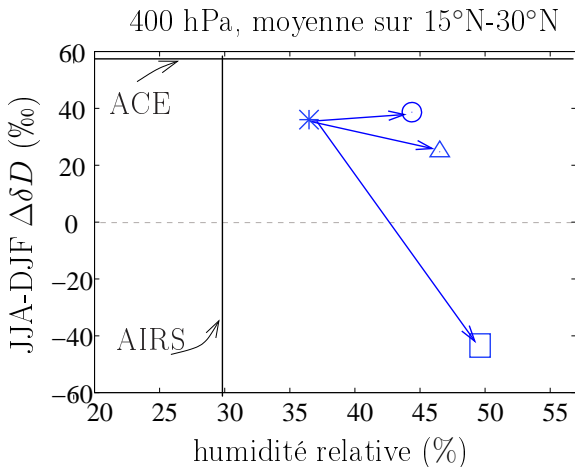
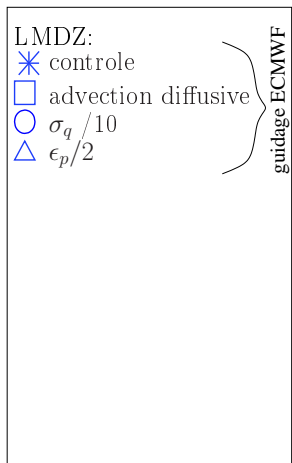
# Résumé: les diagnostics isotopiques d'un biais humide

Diagnostic observationnel	Raison du biais humide
<ul style="list-style-type: none"><li>● Saisonalité du <math>\delta D</math> sous-estimée ou inversée dans la troposphère libre</li><li>● Régions convectives trop pauvres</li><li>● Variabilité intra-saisonnière de RH et <math>\delta D</math> sous-estimée dans les subtropiques</li></ul>	advection verticale trop diffusive
Variabilité intra-saisonnière dans les subtropiques trop faible pour $\delta D$ , trop forte pour la RH	condensation in-situ trop faible

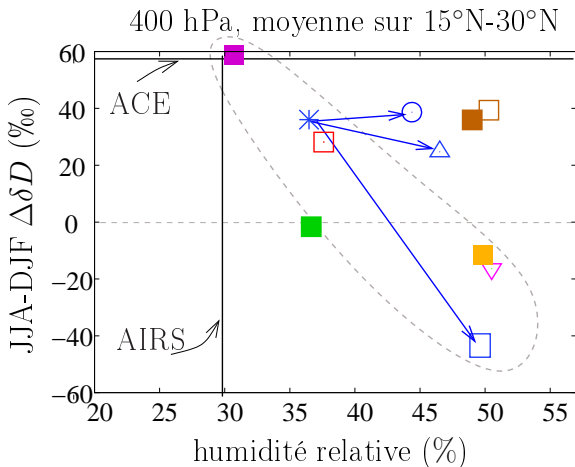
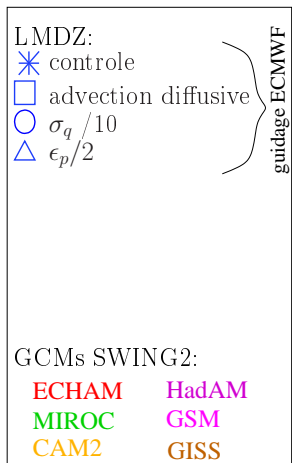
## Résumé: les diagnostics isotopiques d'un biais humide

Diagnostic observationel	Raison du biais humide
<ul style="list-style-type: none"><li>● Saisonalité du <math>\delta D</math> sous-estimée ou inversée dans la troposhère libre</li><li>● Régions convectives trop pauvres</li><li>● Variabilité intra-saisonnière de RH et <math>\delta D</math> sous-estimée dans les subtropiques</li></ul>	advection verticale trop diffusive
Variabilité intra-saisonnière dans les subtropiques trop faible pour $\delta D$ , trop forte pour la RH	condensation in-situ trop faible
$\delta D$ trop fort dans la haute troposphère	trop de condensat détrainé par la convection

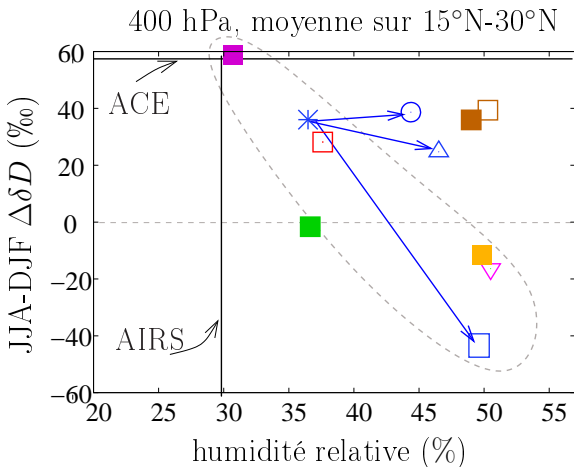
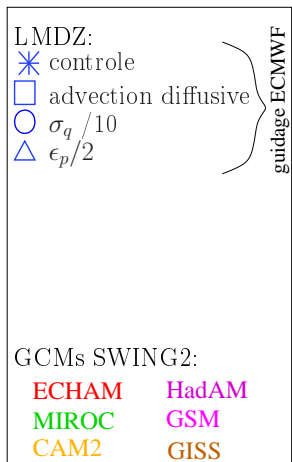
# Cause des biais humides dans les modèles?



# Cause des biais humides dans les modèles?

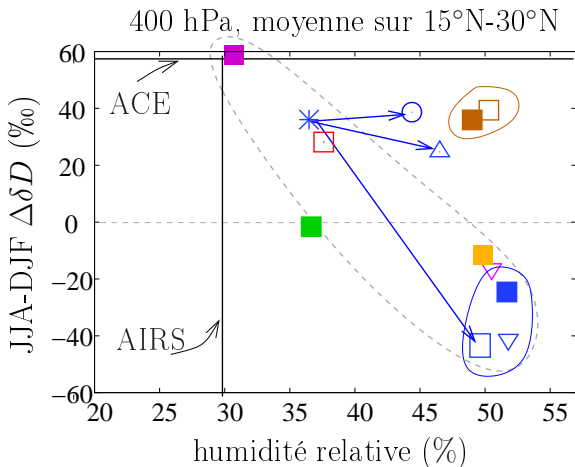
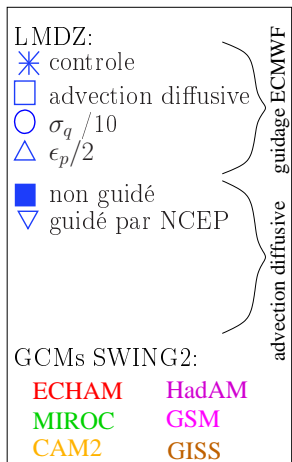


# Cause des biais humides dans les modèles?



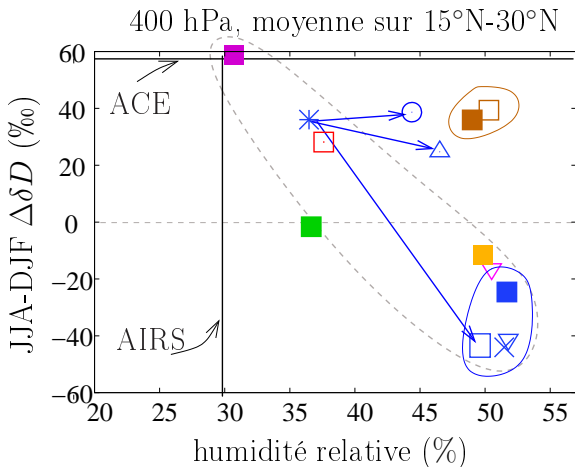
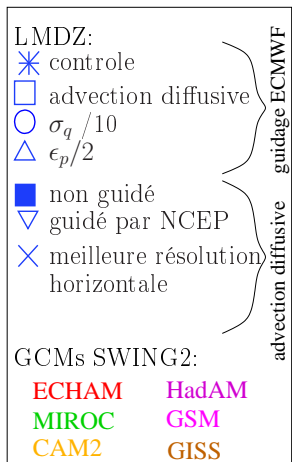
► Advection verticale trop diffusives

# Cause des biais humides dans les modèles?



► Advection verticale trop diffusive

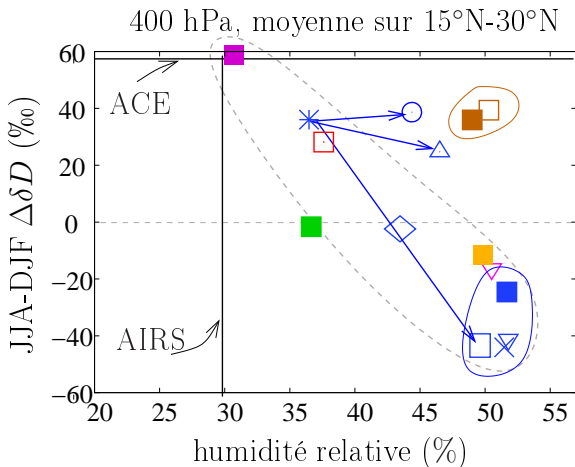
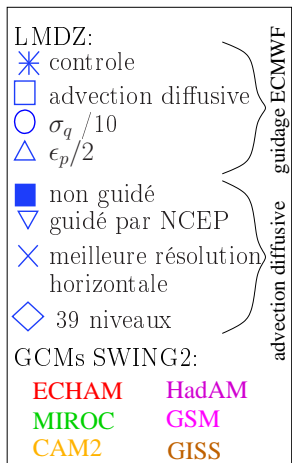
# Cause des biais humides dans les modèles?



► Advection verticale trop diffusive

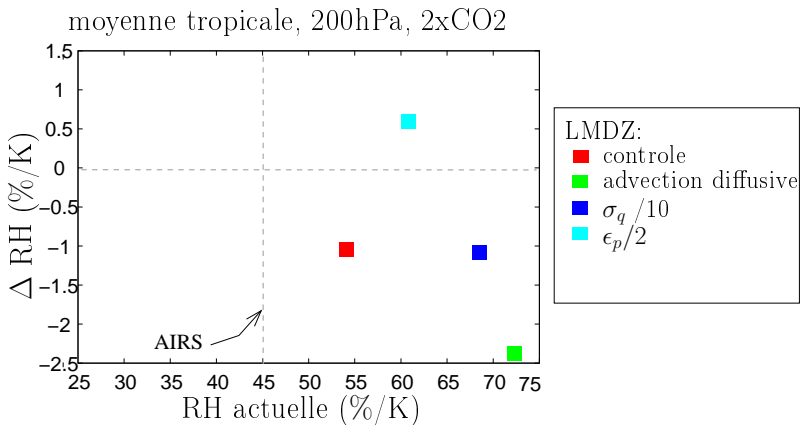


# Cause des biais humides dans les modèles?

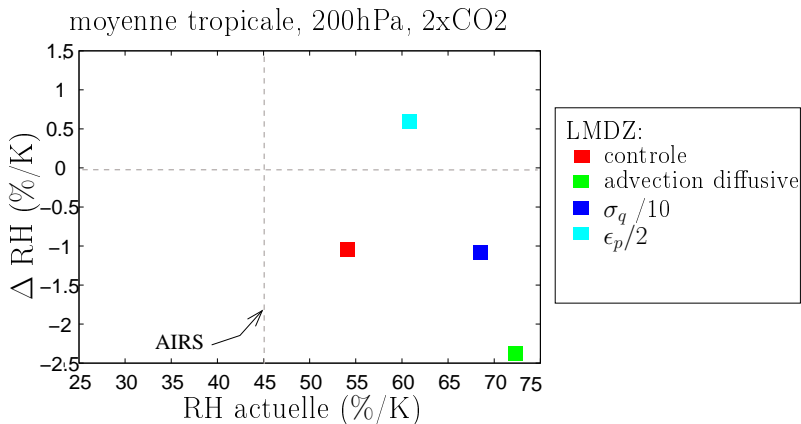


► Advection verticale trop diffusive

# Quel impact sur les projections d'humidité?

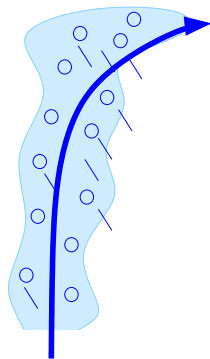
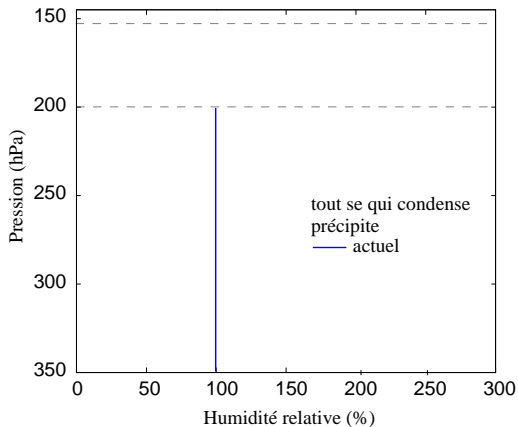


# Quel impact sur les projections d'humidité?

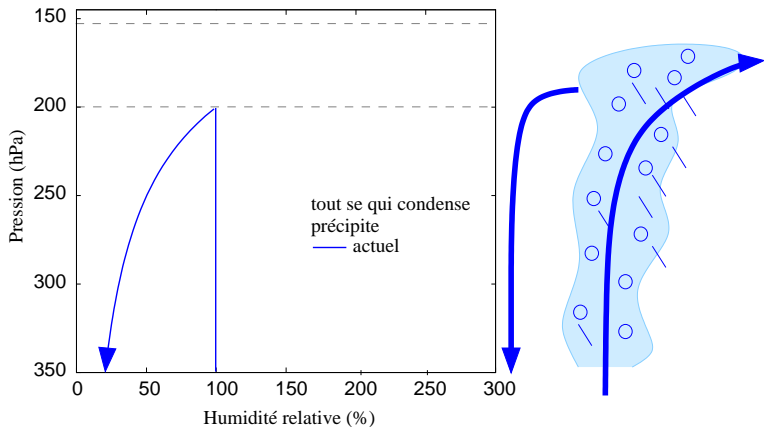


- La façon dont un biais humide impact les projections dépend de la raison de ce biais

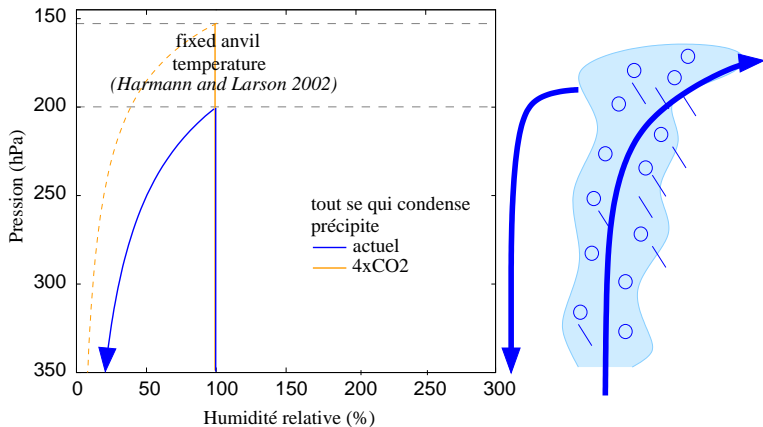
# Quel impact sur les projections d'humidité?



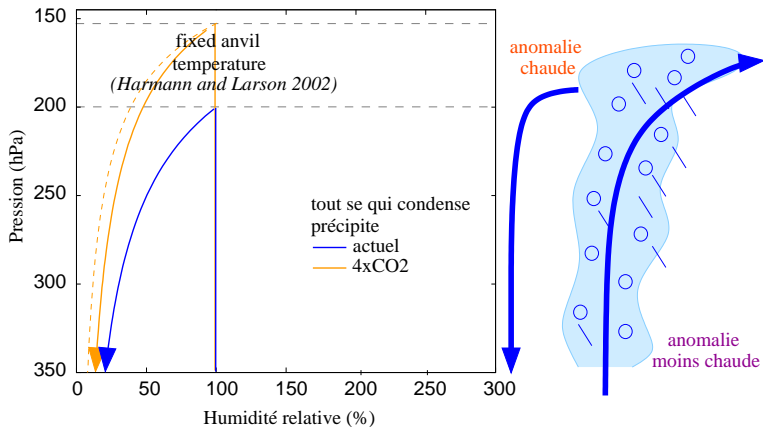
# Quel impact sur les projections d'humidité?



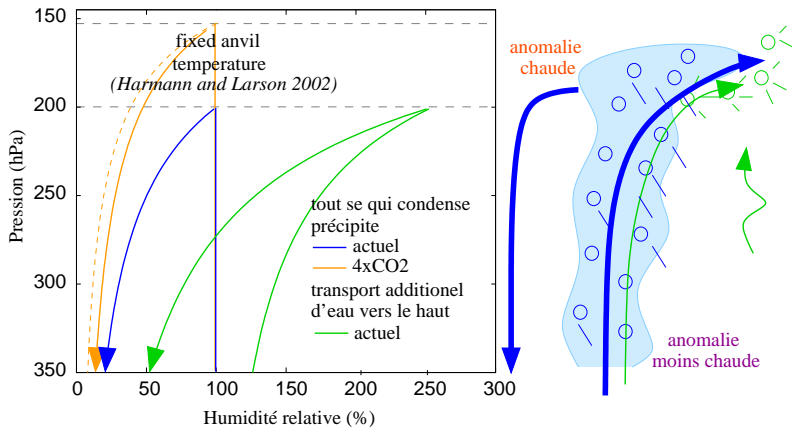
# Quel impact sur les projections d'humidité?



# Quel impact sur les projections d'humidité?

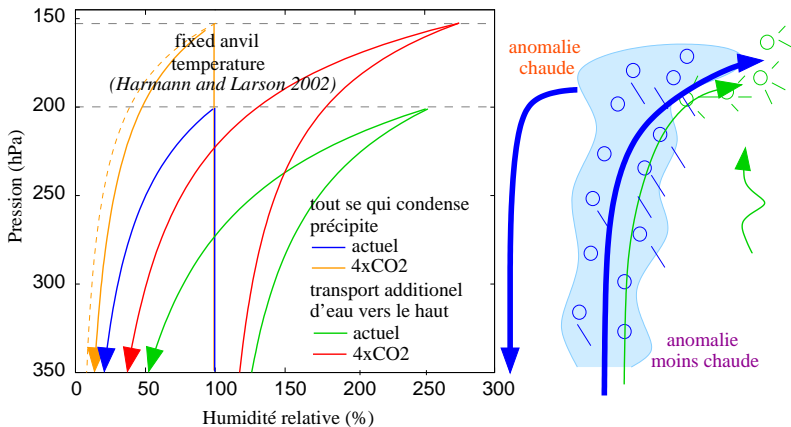


# Quel impact sur les projections d'humidité?

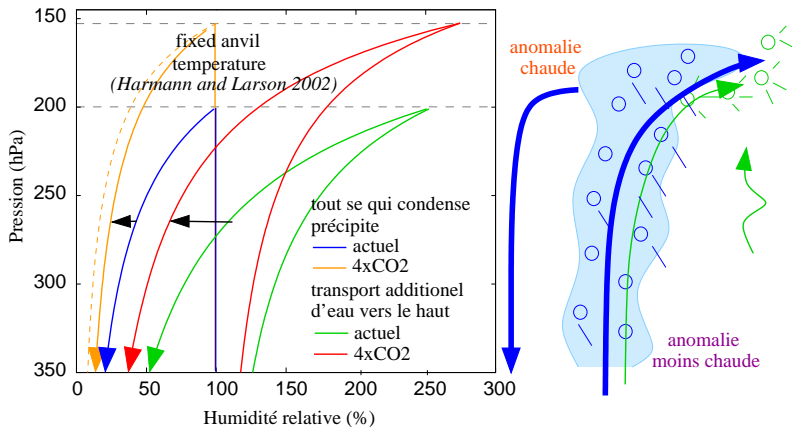




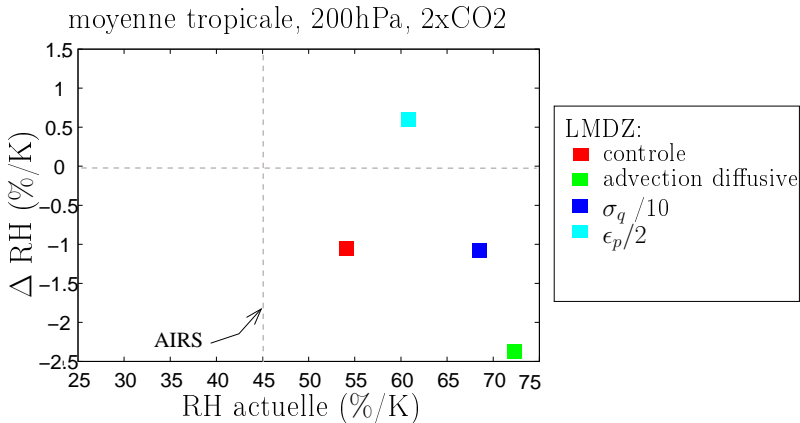
# Quel impact sur les projections d'humidité?



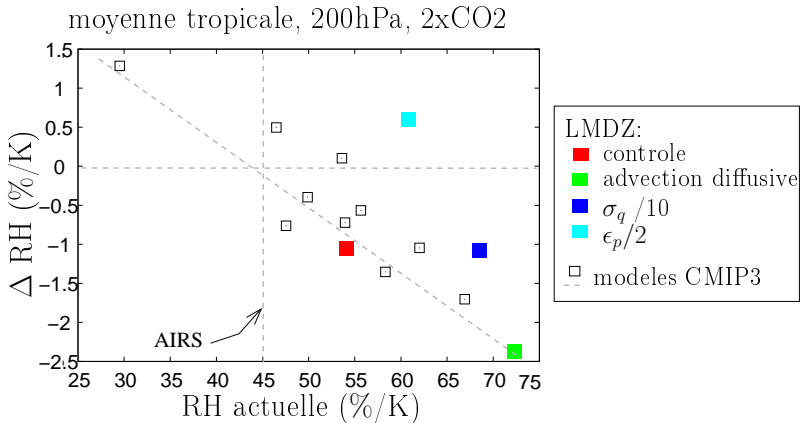
# Quel impact sur les projections d'humidité?



# Quel impact sur les projections d'humidité?



# Quel impact sur les projections d'humidité?



# Résumé sur l'humidité troposphérique

- ▶ Les mesures isotopiques dans la vapeur d'eau = diagnostic observationnel pour évaluer les processus contrôlant l'humidité dans les modèles

# Résumé sur l'humidité troposphérique

- ▶ Les mesures isotopiques dans la vapeur d'eau = diagnostique observationnel pour évaluer les processus contrôlant l'humidité dans les modèles
- ▶ La diffusivité verticale trop forte est une cause fréquente du biais humide dans la moyenne et haute troposphère dans les modèles de climat

# Résumé sur l'humidité troposphérique

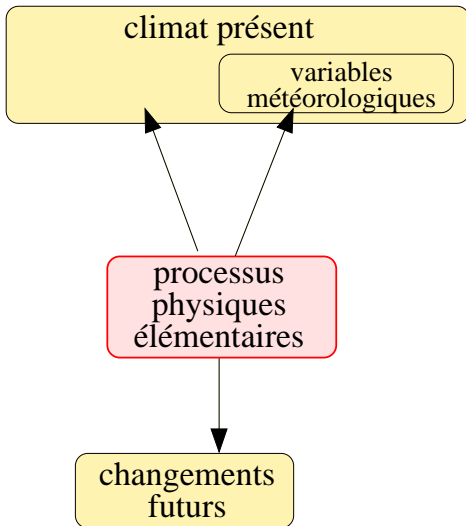
- ▶ Les mesures isotopiques dans la vapeur d'eau = diagnostique observationnel pour évaluer les processus contrôlant l'humidité dans les modèles
- ▶ La diffusivité verticale trop forte est une cause fréquente du biais humide dans la moyenne et haute troposphère dans les modèles de climat
- ▶ Comprendre les raisons des biais est important car les processus contrôlant l'humidité pour le climat actuel impactent les projections futures

# Résumé sur l'humidité troposphérique

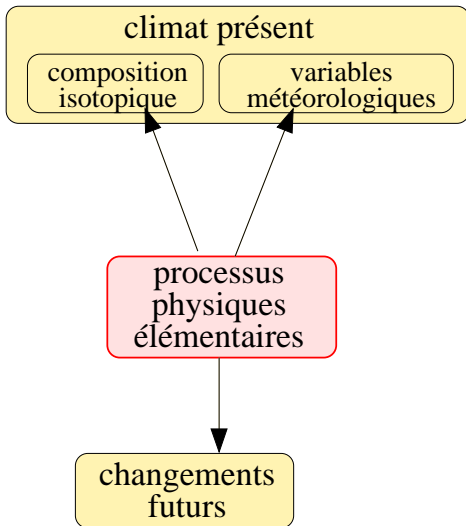
- ▶ Les mesures isotopiques dans la vapeur d'eau = diagnostique observationnel pour évaluer les processus contrôlant l'humidité dans les modèles
- ▶ La diffusivité verticale trop forte est une cause fréquente du biais humide dans la moyenne et haute troposphère dans les modèles de climat
- ▶ Comprendre les raisons des biais est important car les processus contrôlant l'humidité pour le climat actuel impactent les projections futures
- ▶ Quelles conséquences sur la sensibilité climatique?  
-> étude avec des rétroactions avec la méthode des kernels radiatifs



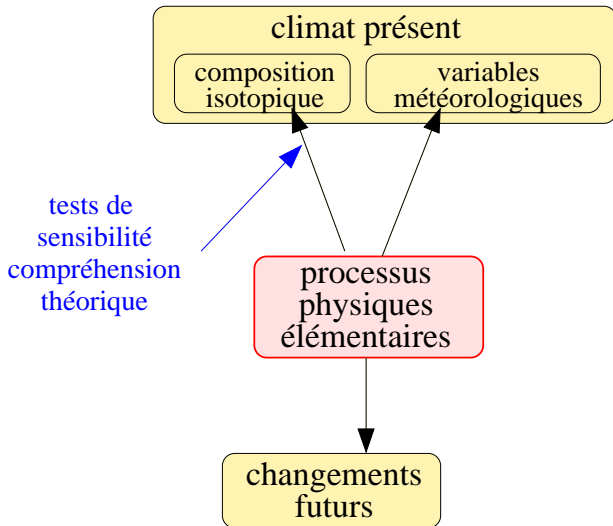
# Résumé méthodologique



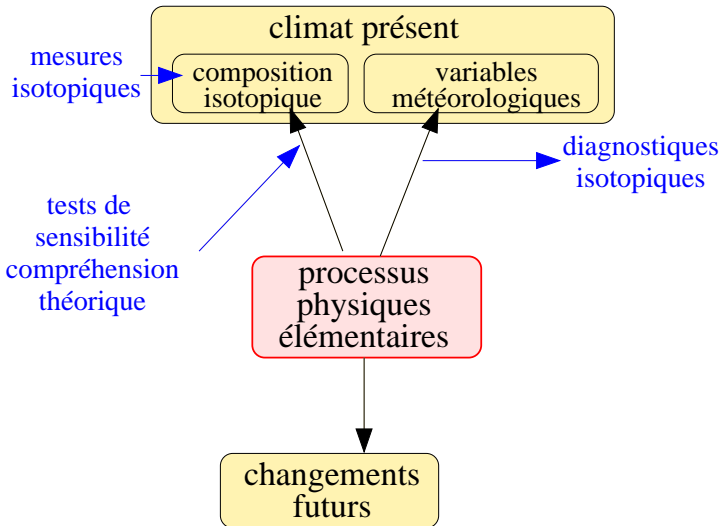
# Résumé méthodologique



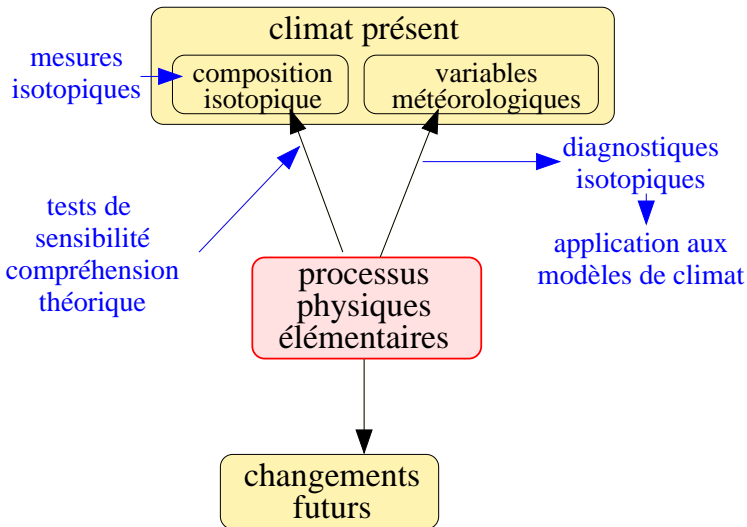
# Résumé méthodologique



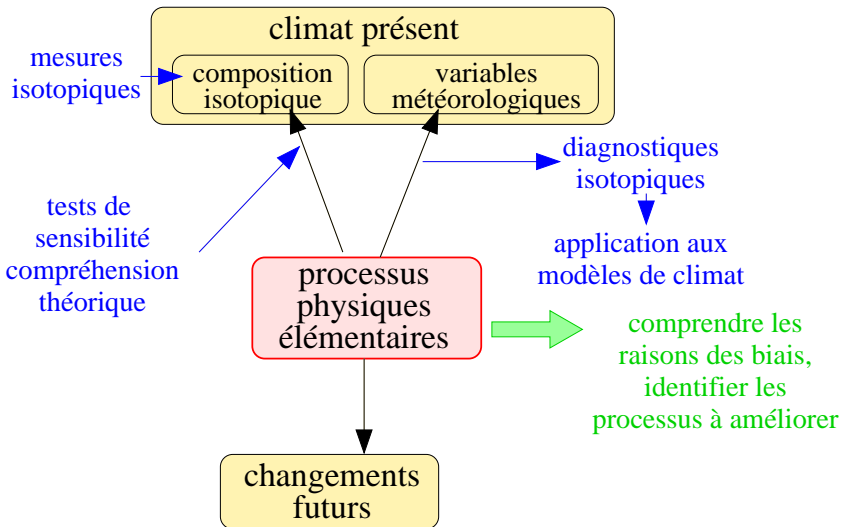
# Résumé méthodologique



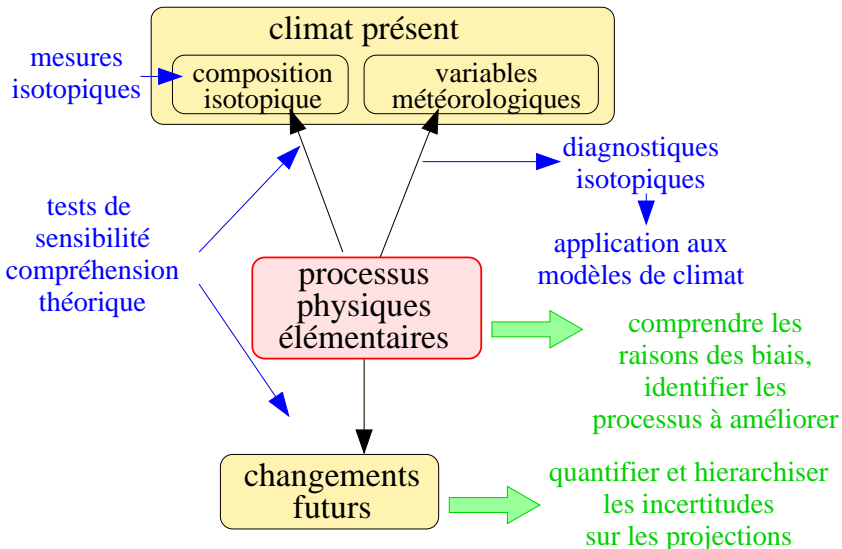
# Résumé méthodologique



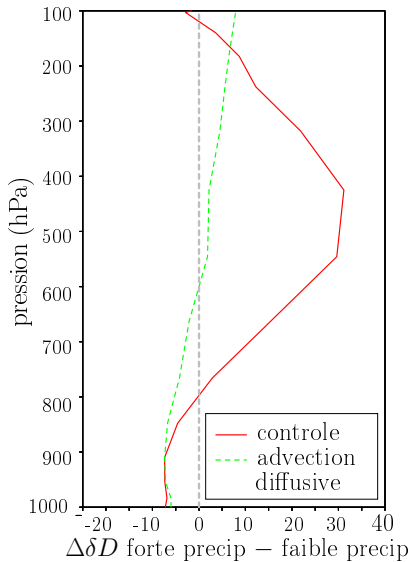
# Résumé méthodologique



# Résumé méthodologique

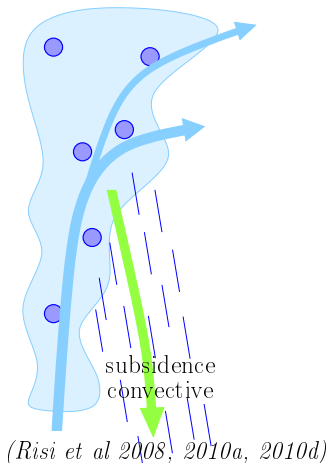
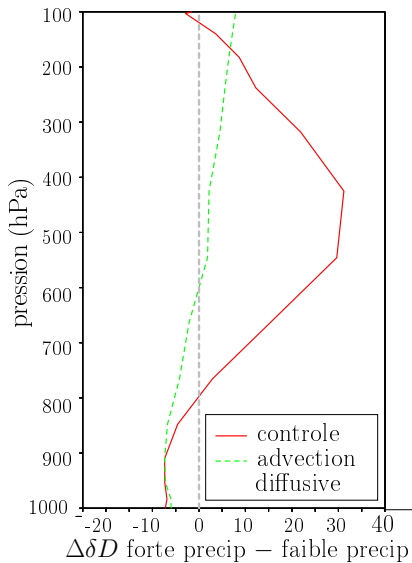


# Signature isotopique de la convection

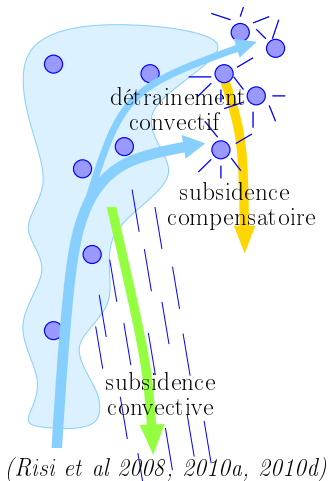
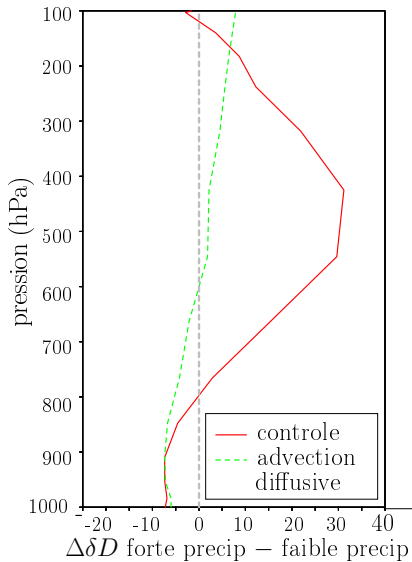




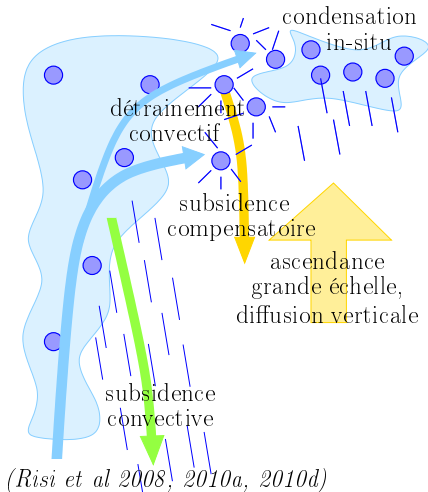
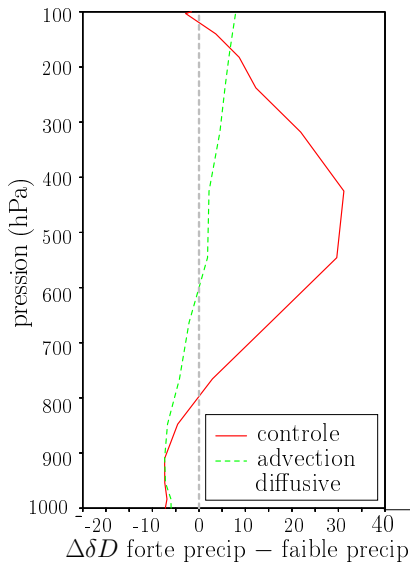
# Signature isotopique de la convection



# Signature isotopique de la convection



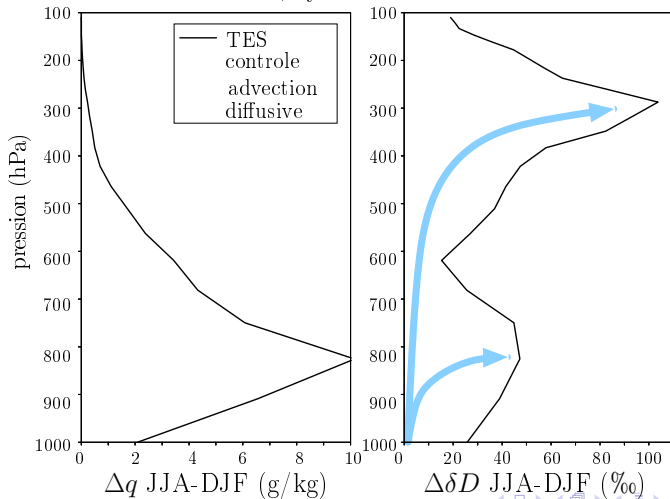
# Signature isotopique de la convection



# Nouveaux profils TES

- ▶ restitution conjointe de  $H_2O$ ,  $HDO$  et  $CH_4$  permettant d'obtenir des profils dans la troposphère (*John Worden, JPL*)

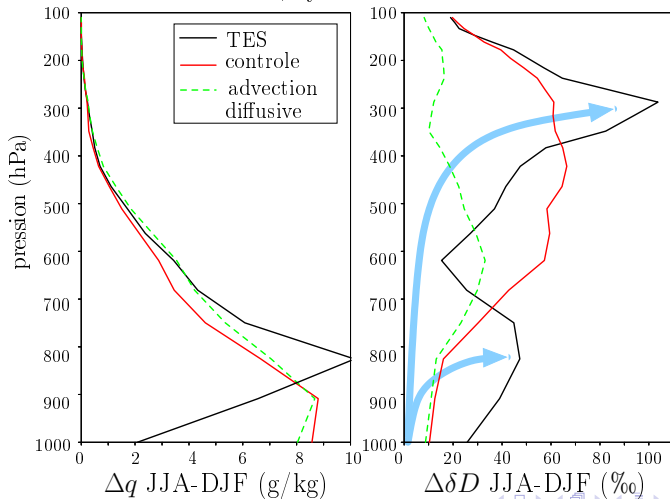
Sahel, cycle saisonnier



# Nouveaux profils TES

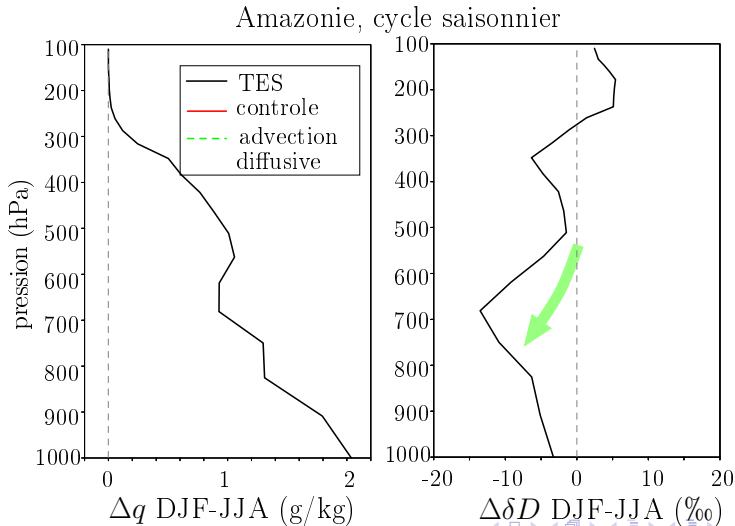
- ▶ restitution conjointe de  $H_2O$ ,  $HDO$  et  $CH_4$  permettant d'obtenir des profils dans la troposphère (*John Worden, JPL*)

Sahel, cycle saisonnier



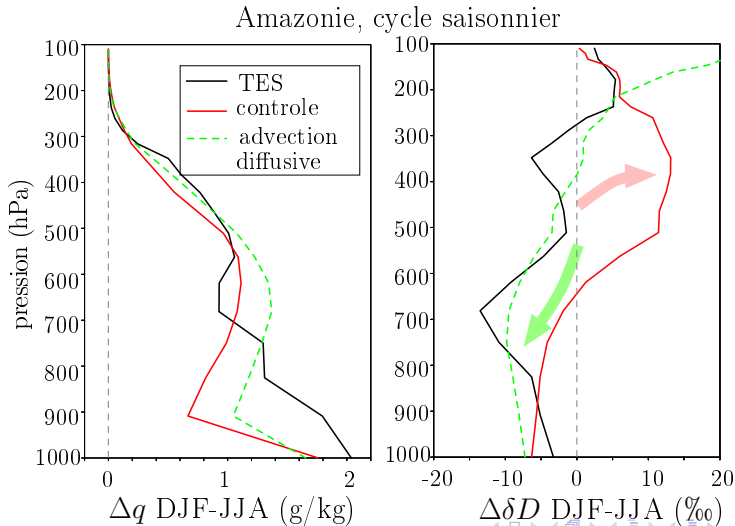
# Nouveaux profils TES

- ▶ restitution conjointe de  $H_2O$ ,  $HDO$  et  $CH_4$  permettant d'obtenir des profils dans la troposphère (*John Worden, JPL*)



# Nouveaux profils TES

- ▶ restitution conjointe de  $H_2O$ ,  $HDO$  et  $CH_4$  permettant d'obtenir des profils dans la troposphère (*John Worden, JPL*)



# Perspectives

- ▶ Nouvelles données
  - ▶ nouveaux profils TES



# Perspectives

- ▶ Nouvelles données
  - ▶ nouveaux profils TES
  - ▶ données haute fréquence de télédétection au sol (ex: Darwin)
    - ▶ -> variabilité synoptique, intra-saisonnière

# Perspectives

- ▶ Nouvelles données
  - ▶ nouveaux profils TES
  - ▶ données haute fréquence de télédétection au sol (ex: Darwin)
    - ▶ -> variabilité synoptique, intra-saisonnière
    - ▶ -> étude en 1D, utilisation des données/forçages TWP-ice

# Perspectives

- ▶ Nouvelles données
  - ▶ nouveaux profils TES
  - ▶ données haute fréquence de télédétection au sol (ex: Darwin)
    - ▶ -> variabilité synoptique, intra-saisonnière
    - ▶ -> étude en 1D, utilisation des données/forçages TWP-ice
- ▶ Nouvelle méthodologie de comparaison modèle/données

observations

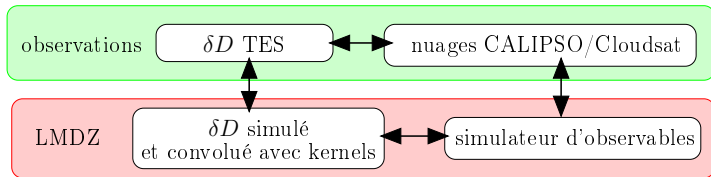
$\delta D$  TES



nuages CALIPSO/Cloudsat

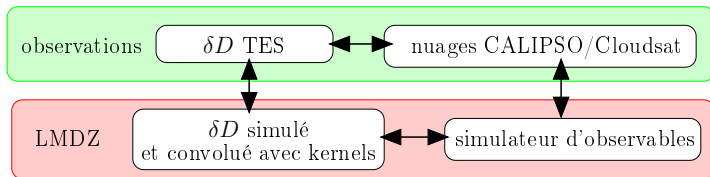
# Perspectives

- ▶ Nouvelles données
  - ▶ nouveaux profils TES
  - ▶ données haute fréquence de télédétection au sol (ex: Darwin)
    - ▶ -> variabilité synoptique, intra-saisonnaire
    - ▶ -> étude en 1D, utilisation des données/forçages TWP-ice
- ▶ Nouvelle méthodologie de comparaison modèle/données



# Perspectives

- ▶ Nouvelles données
  - ▶ nouveaux profils TES
  - ▶ données haute fréquence de télédétection au sol (ex: Darwin)
    - ▶ -> variabilité synoptique, intra-saisonnier
    - ▶ -> étude en 1D, utilisation des données/forçages TWP-ice
- ▶ Nouvelle méthodologie de comparaison modèle/données



- ▶ Nouvelle physique d'LMDZ
  - > tests de sensibilité à la convection et à la couche limite