

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

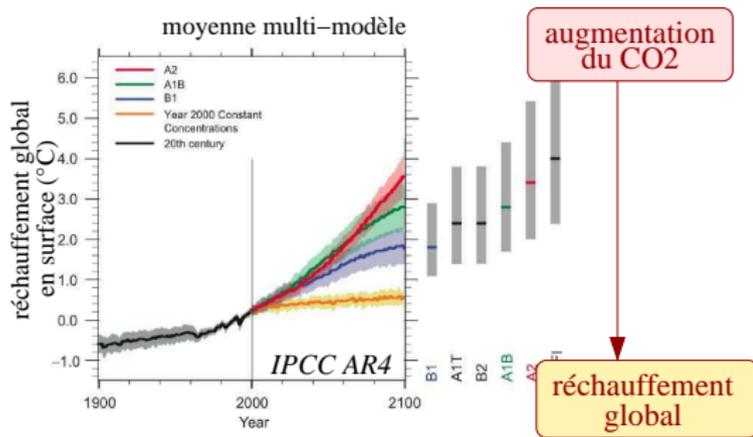
Camille Risi

CIRES, Boulder

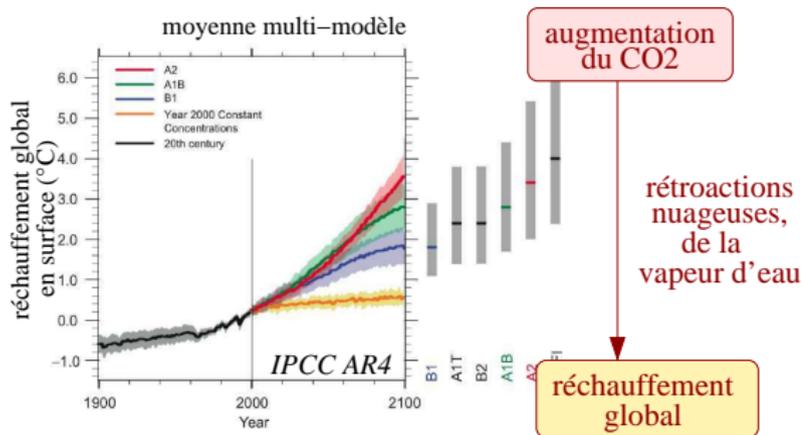
avec la contribution de: D Noone, S Bony,
TES: J Worden, J Lee, D Brown,
SCIAMACHY: C Frankenberg,
MIPAS: G Stiller, M Kiefer, B Funke
ACE-FTS: K Walker, P Bernath,
FTIR-sol: M Schneider, D Wunch, P Wennberg,
V Sherlock, N Deutscher, D Griffith
in-situ: R Uemura, D. Yakir
SWING2: C Sturm
MIBA: J. Ogée,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

Séminaire au LTHE, 6 janvier 2010

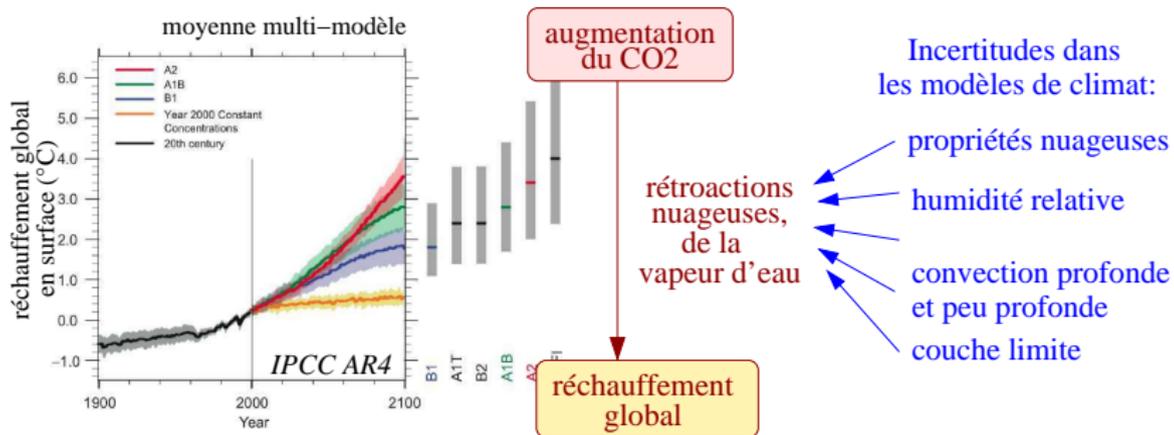
Incertitudes dans les projections climatiques



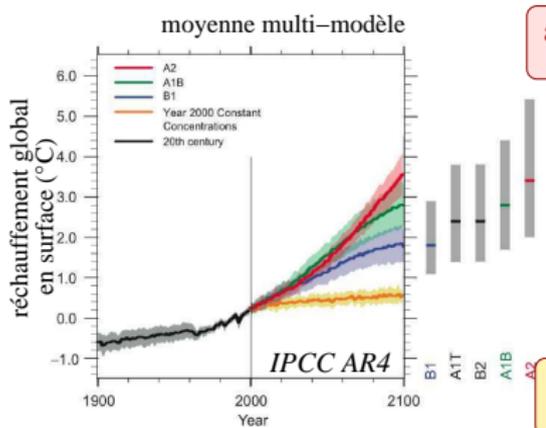
Incertitudes dans les projections climatiques



Incertitudes dans les projections climatiques



Incertitudes dans les projections climatiques



augmentation du CO₂

rétroactions nuageuses, de la vapeur d'eau

réchauffement global

changements régionaux de précipitation

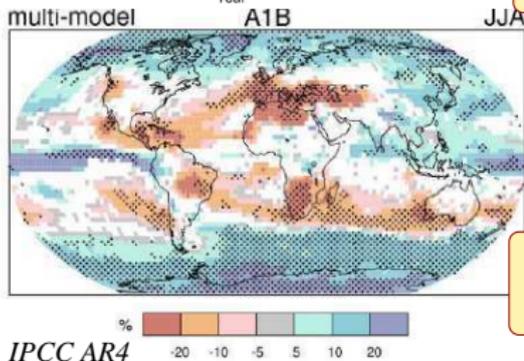
Incertitudes dans les modèles de climat:

propriétés nuageuses

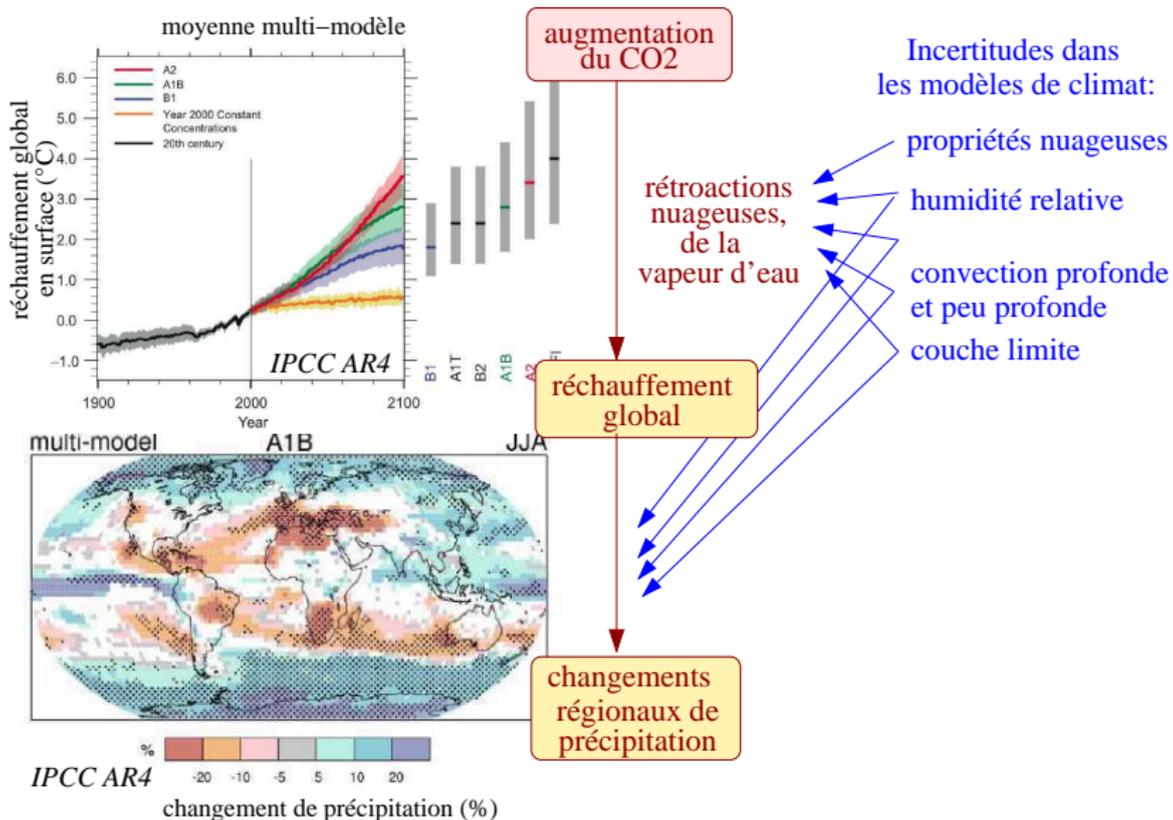
humidité relative

convection profonde et peu profonde

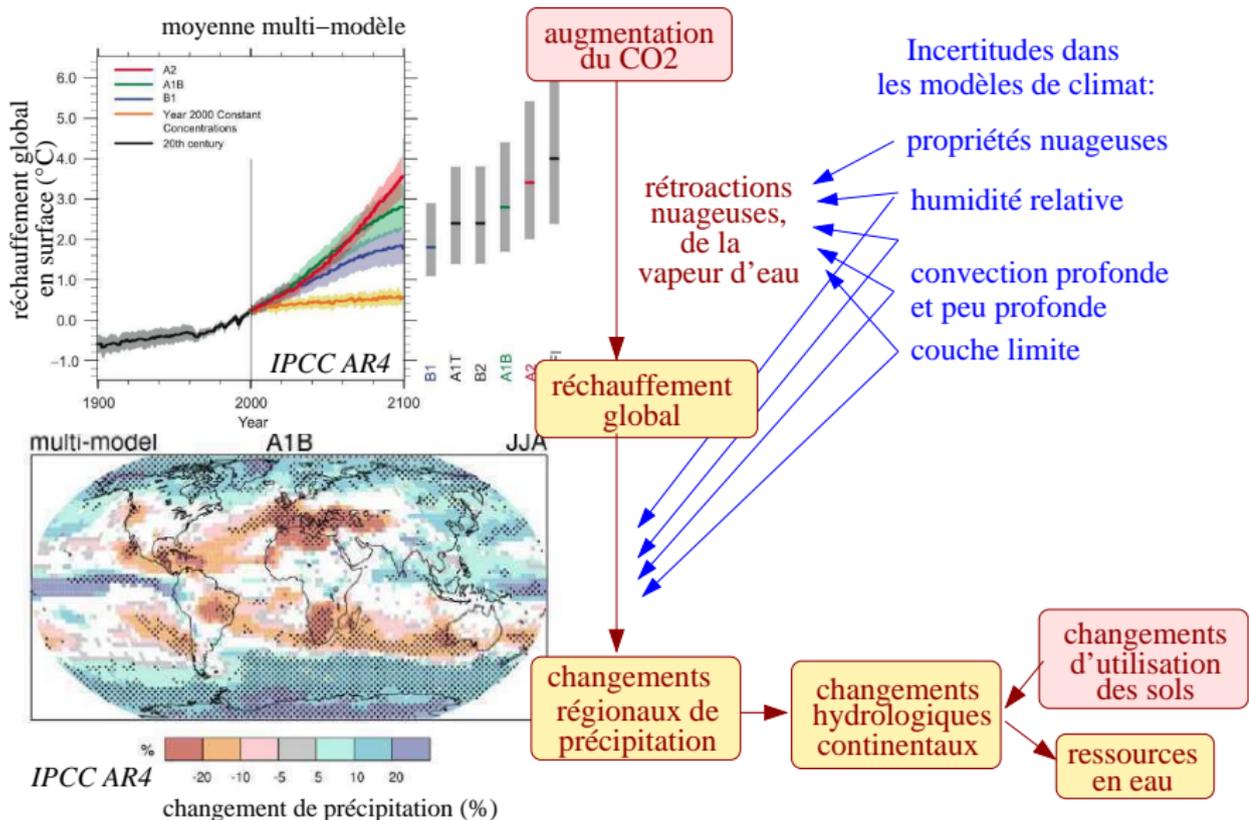
couche limite



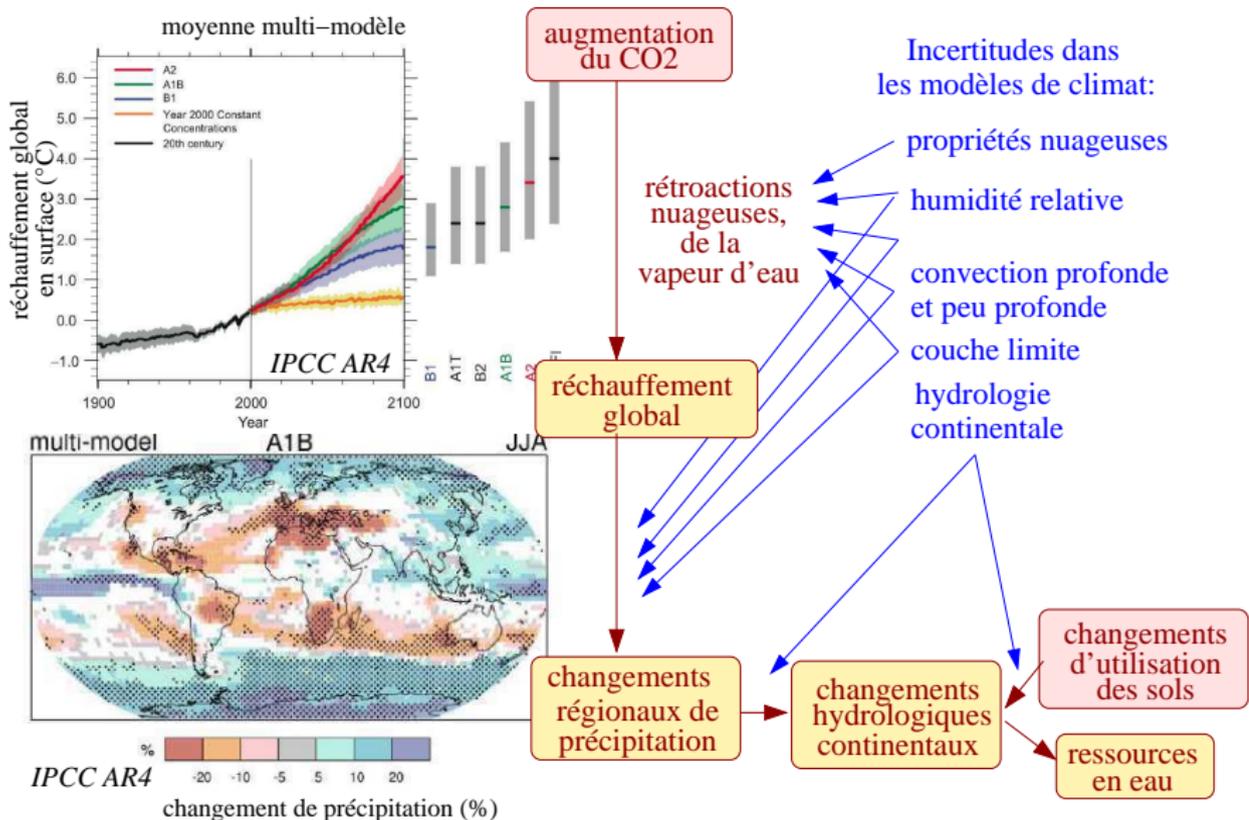
Incertitudes dans les projections climatiques



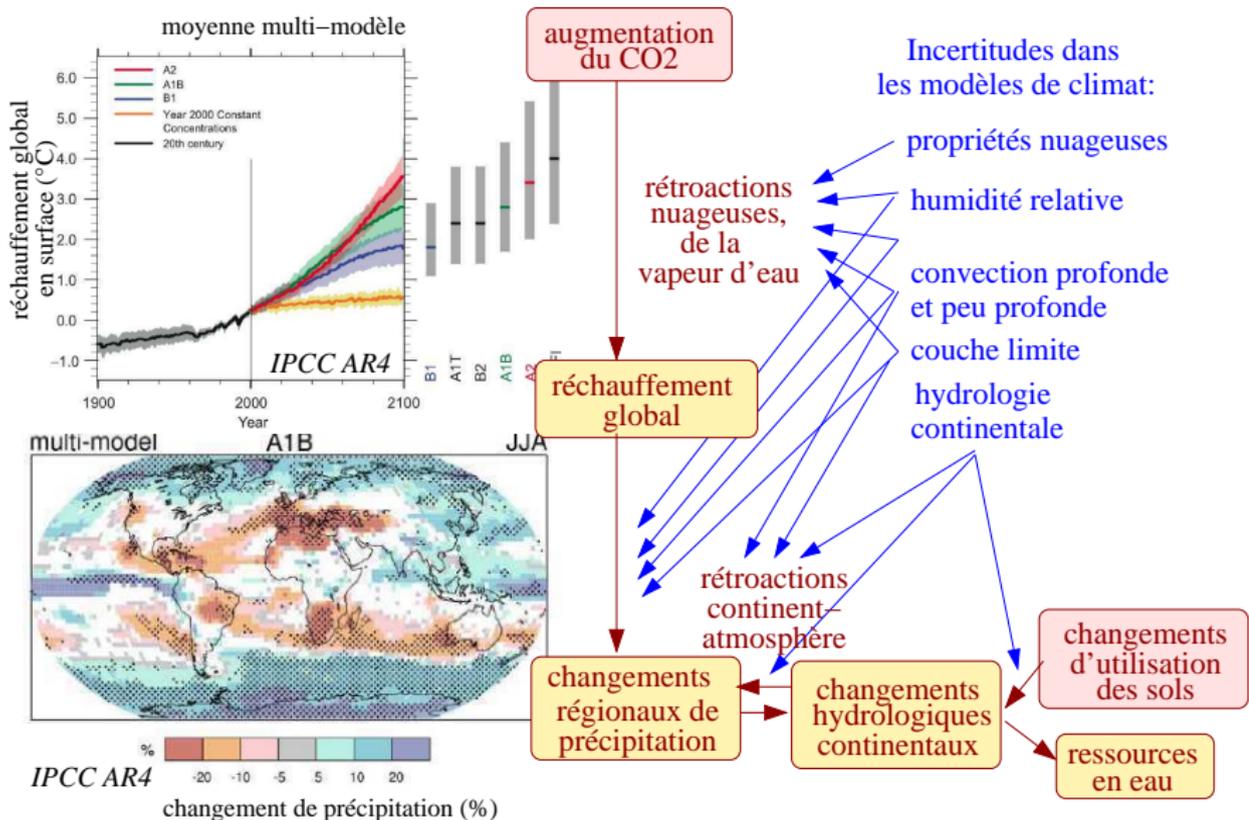
Incertitudes dans les projections climatiques



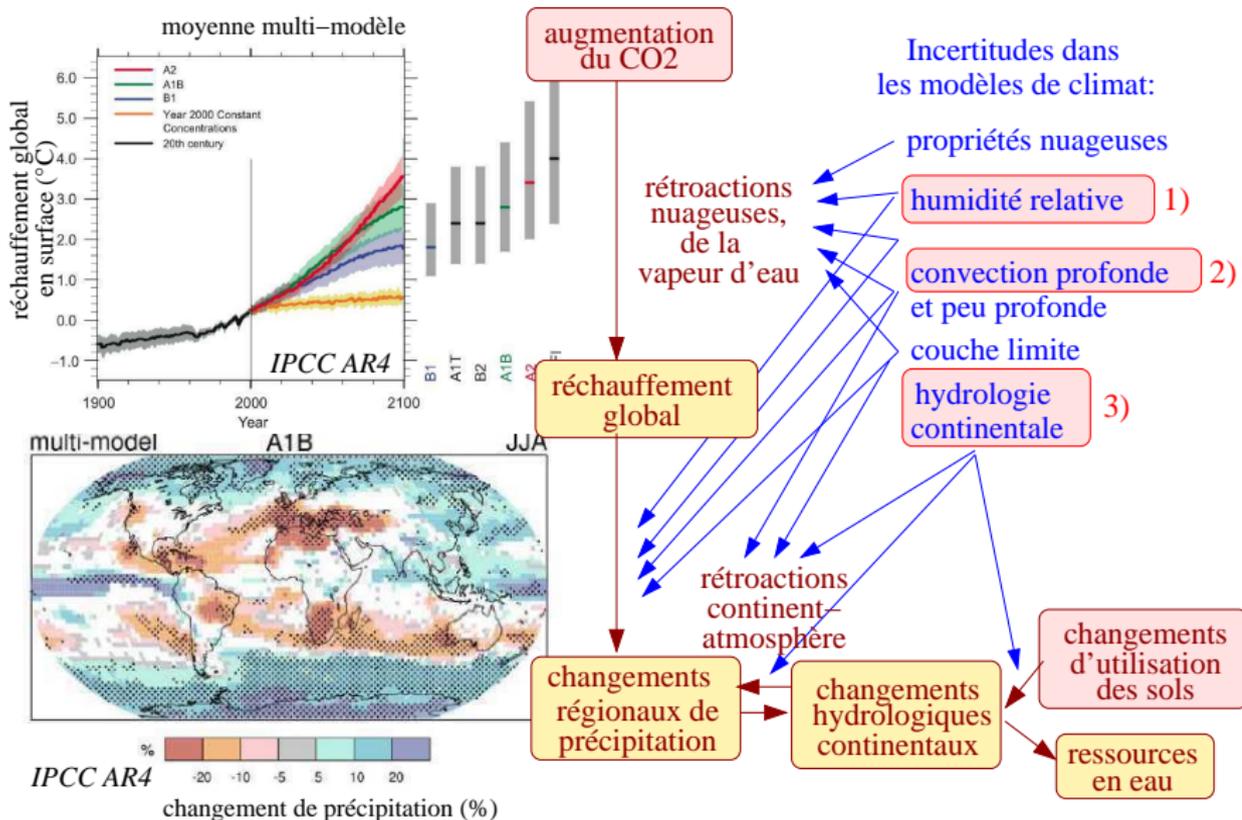
Incertitudes dans les projections climatiques



Incertitudes dans les projections climatiques



Incertitudes dans les projections climatiques



Incertitudes dans les projections d'humidité

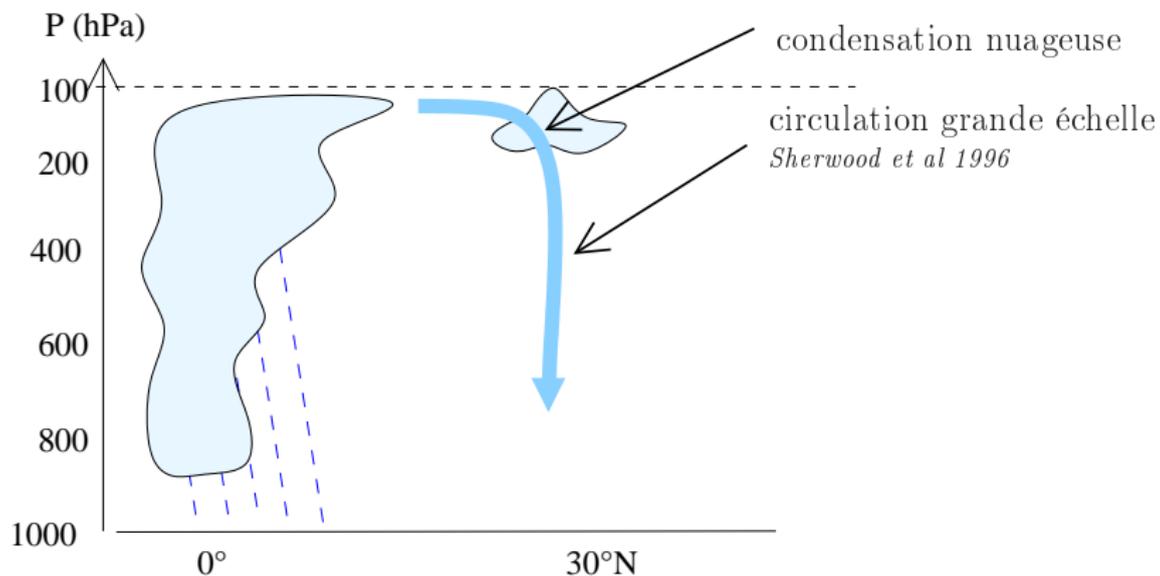
- ▶ rôle de l'humidité relative de la troposphère libre sur
 - ▶ la rétroaction vapeur d'eau (*Soden et al 2008*)
 - ▶ les rétroactions nuageuses (*Sherwood et al 2010*)
 - ▶ la convection profonde (*Derbyshire 2004*)

Incertitudes dans les projections d'humidité

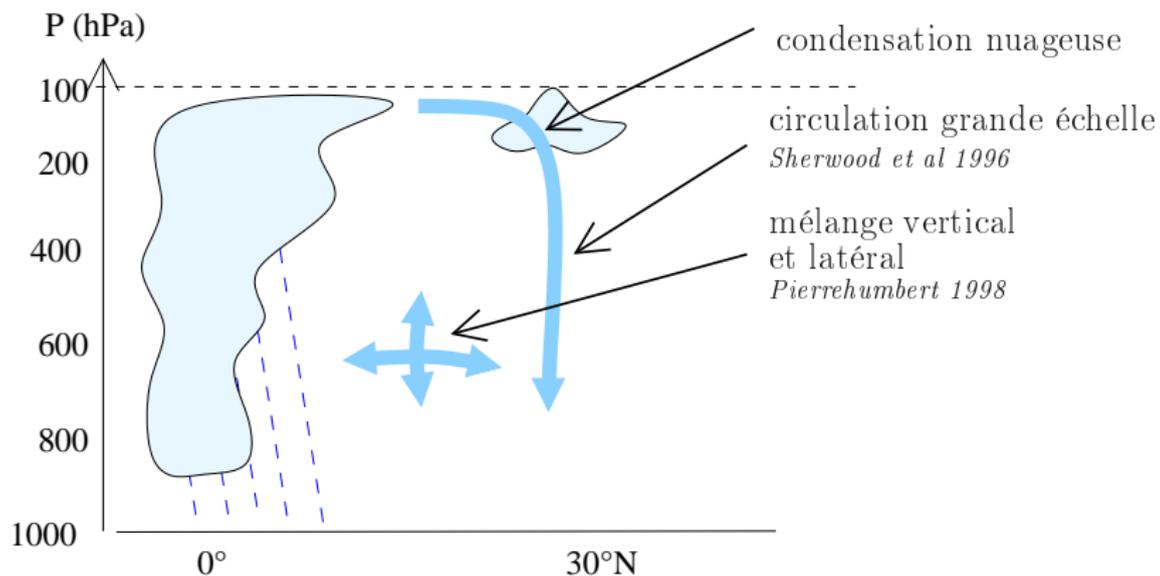
- ▶ rôle de l'humidité relative de la troposphère libre sur
 - ▶ la rétroaction vapeur d'eau (*Soden et al 2008*)
 - ▶ les rétroactions nuageuses (*Sherwood et al 2010*)
 - ▶ la convection profonde (*Derbyshire 2004*)
- ▶ mais humidité relative variable selon les modèles de climat
 - ▶ pour le climat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

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

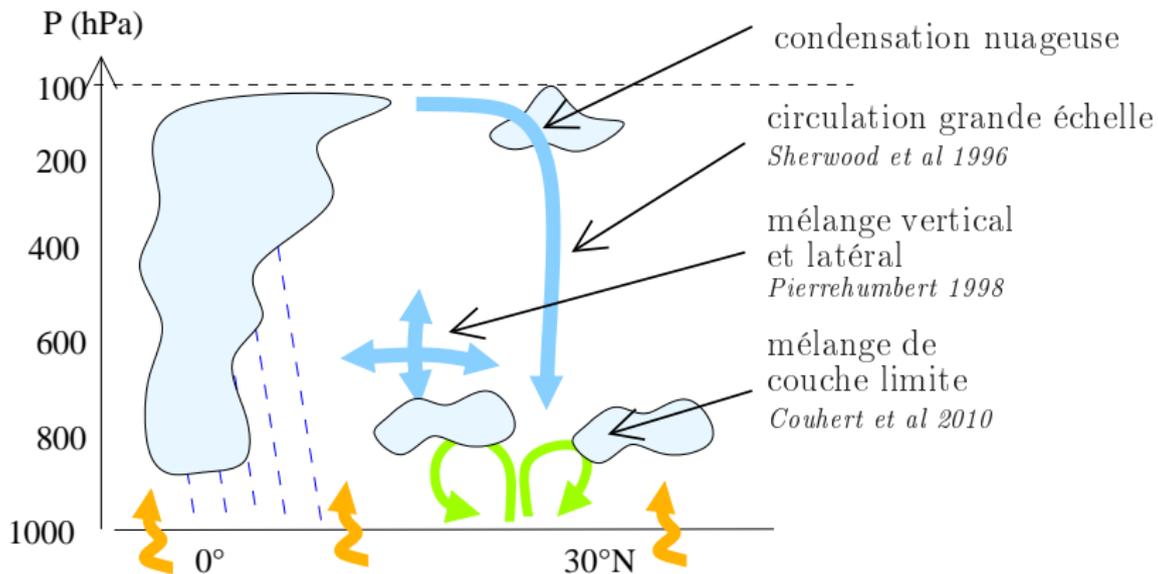
Processus contrôllant l'humidité relative



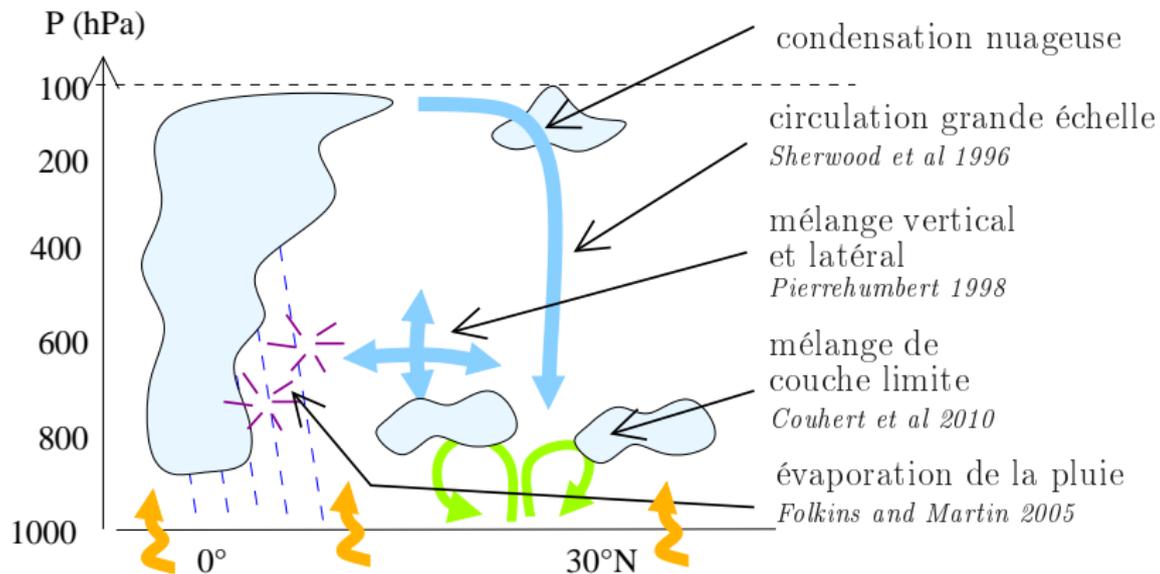
Processus contrôllant l'humidité relative



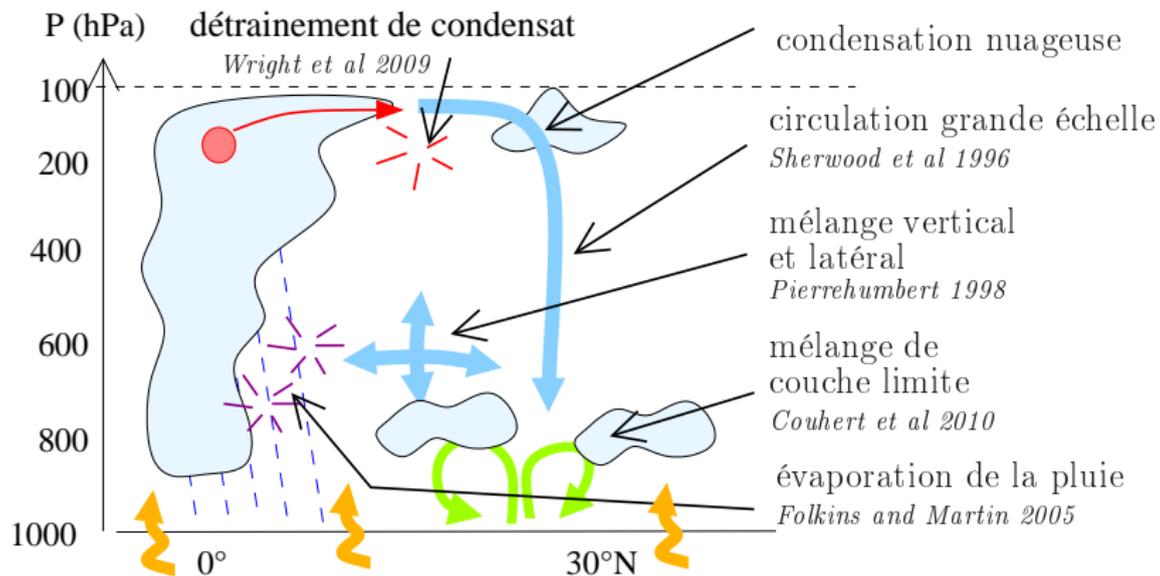
Processus contrôllant l'humidité relative



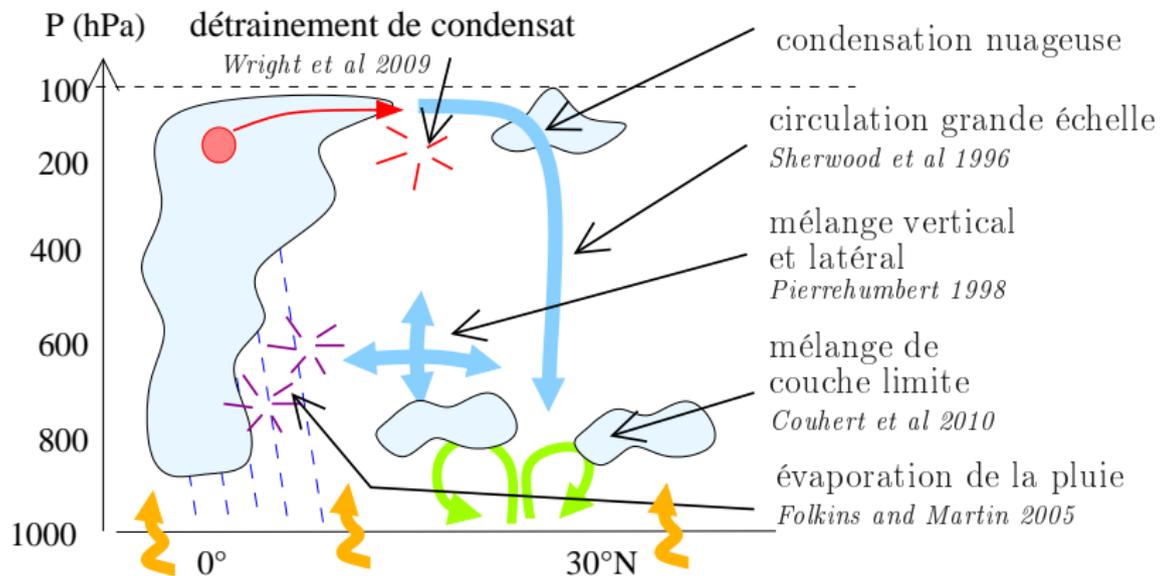
Processus contrôllant l'humidité relative



Processus contrôllant l'humidité relative



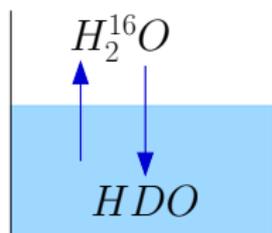
Processus contrôllant l'humidité relative



► besoin d'observations complémentaires

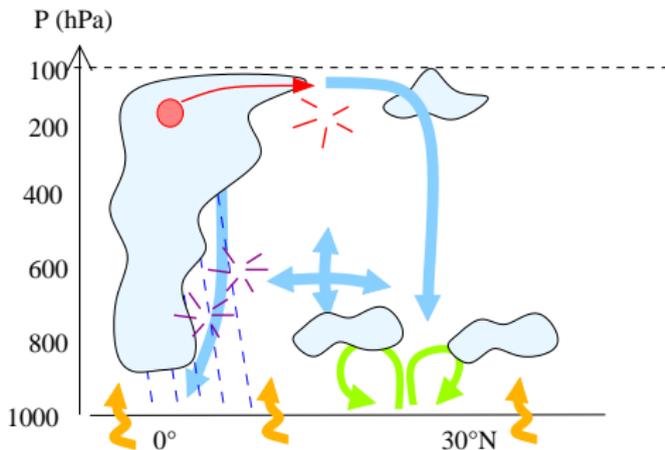
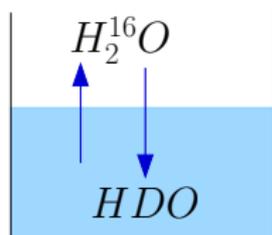
Processus contrôlant la composition isotopique de la vapeur

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



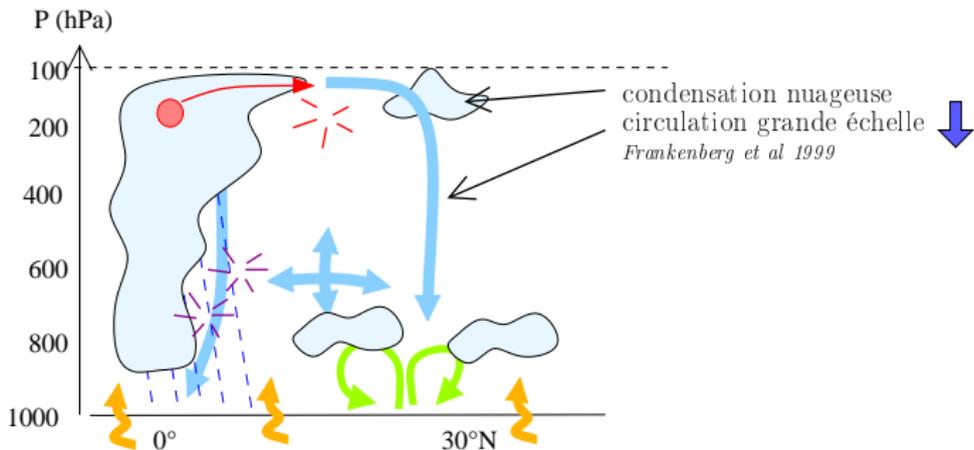
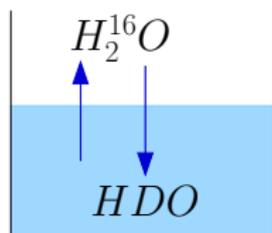
Processus contrôllant la composition isotopique de la vapeur

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



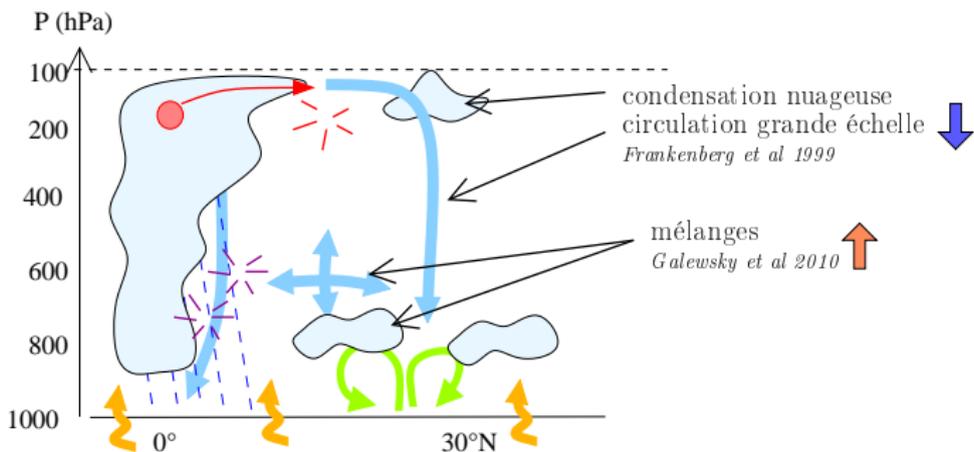
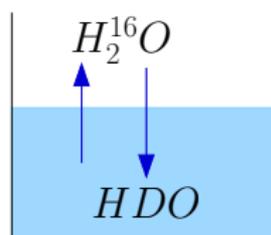
Processus contrôllant la composition isotopique de la vapeur

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



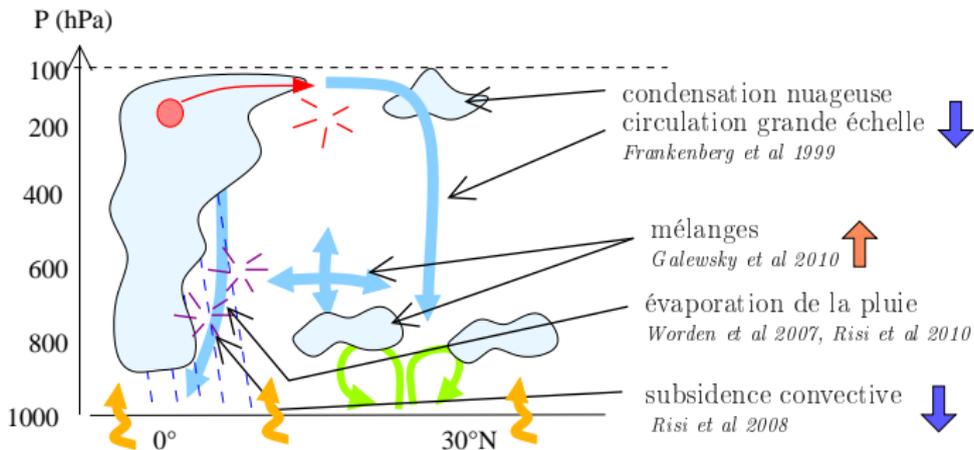
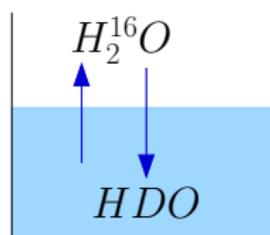
Processus contrôllant la composition isotopique de la vapeur

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



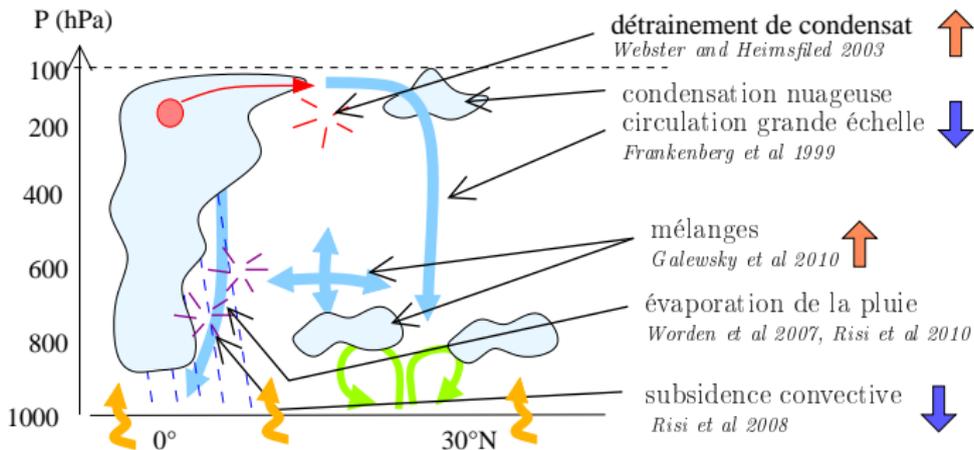
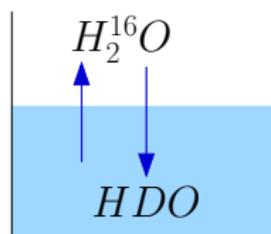
Processus contrôllant la composition isotopique de la vapeur

- ▶ 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

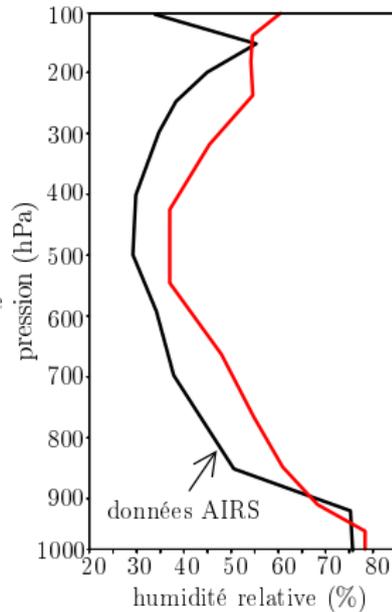
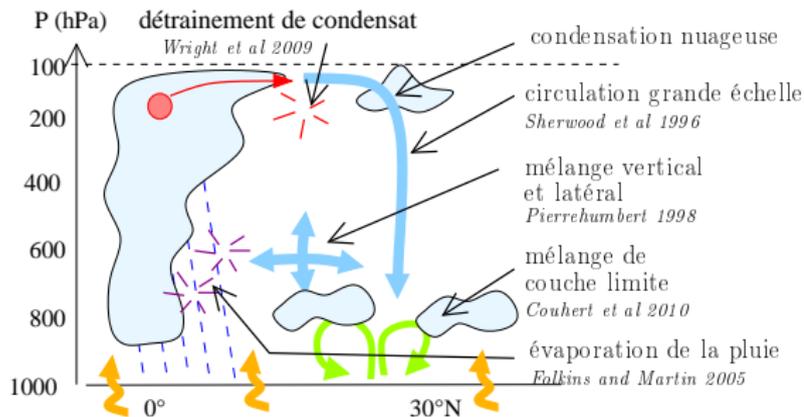
- ▶ isotopes de l'eau: $H_2^{16}O$, $H_2^{18}O$, HDO
- ▶ fractionnement \Rightarrow enregistre les changements de phase



Simulations

LMDZ-iso (Risi et al 2010):

— controle: version AR4 (19 niveaux)

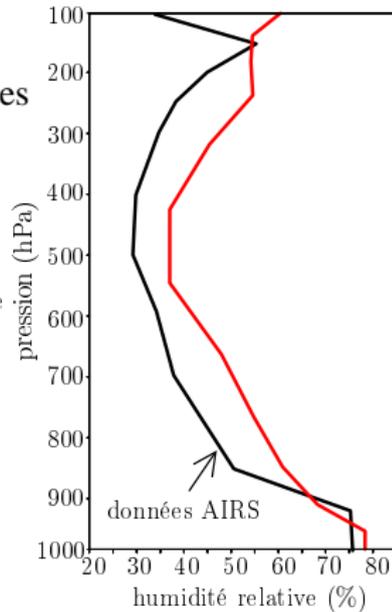
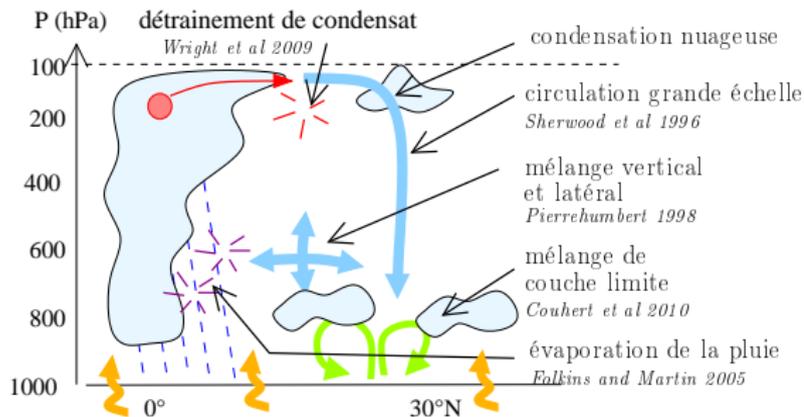


Simulations

LMDZ-iso (Risi et al 2010):

— controle: version AR4 (19 niveaux)

3 raisons possibles
pour un
biais humide



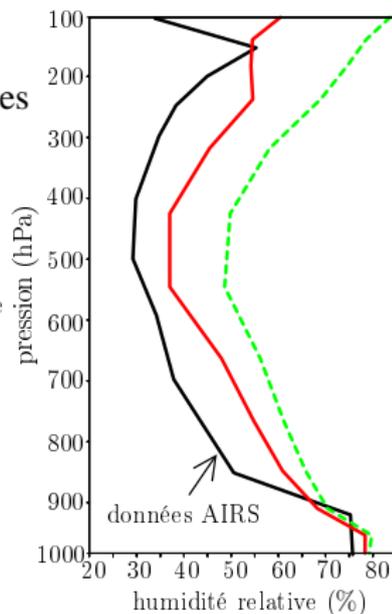
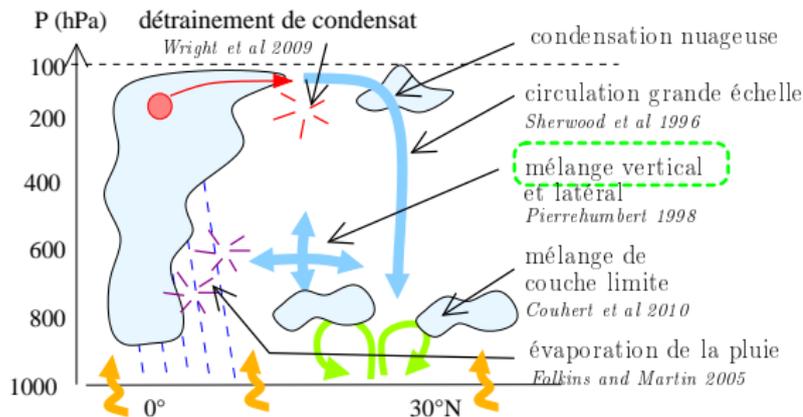
Simulations

LMDZ-iso (Risi et al 2010):

— controle: version AR4 (19 niveaux)

- - - advection verticale diffusive

} 3 raisons possibles
pour un
biais humide

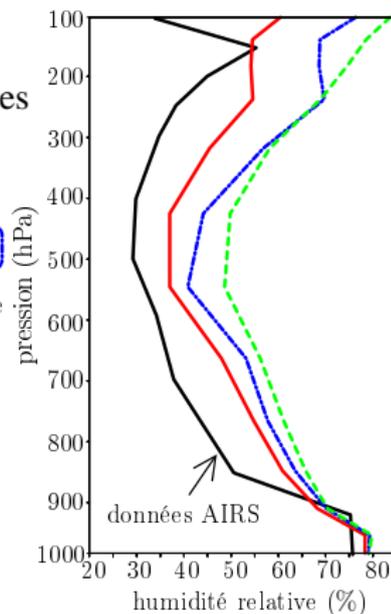
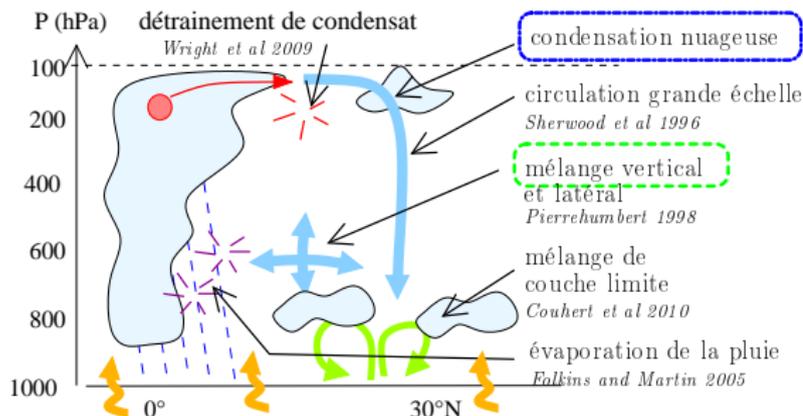


Simulations

LMDZ-iso (Risi et al 2010):

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

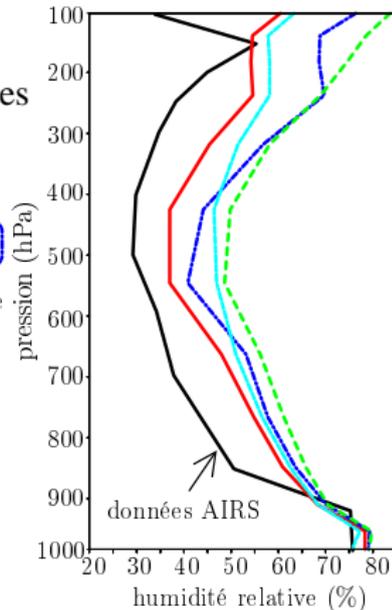
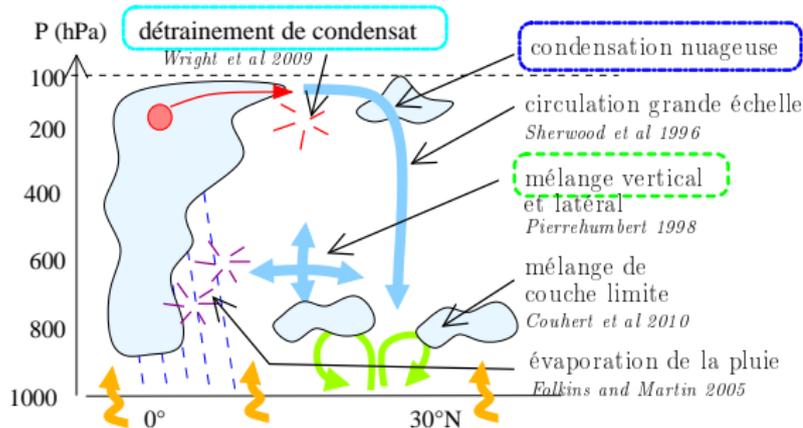
3 raisons possibles
pour un
biais humide



Simulations

LMDZ-iso (Risi et al 2010):

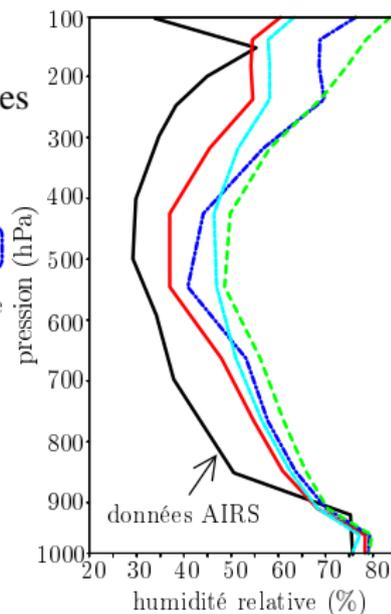
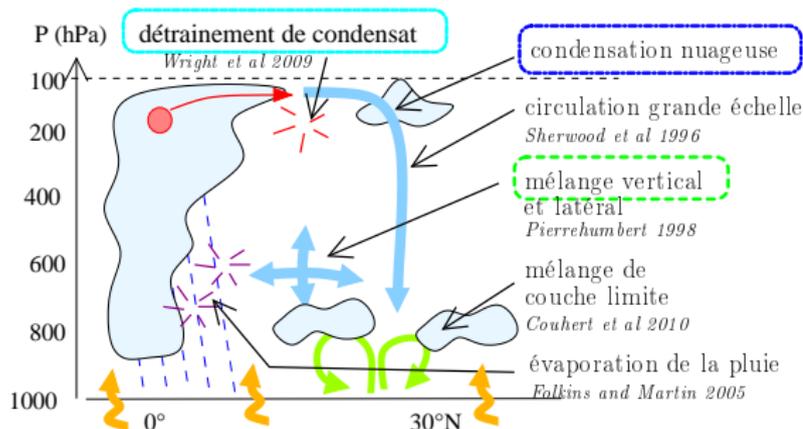
- controle: version AR4 (19 niveaux)
 - - - advection verticale diffusive
 - $\sigma_q/10$
 - $\epsilon_p/2$
- } 3 raisons possibles pour un biais humide



Simulations

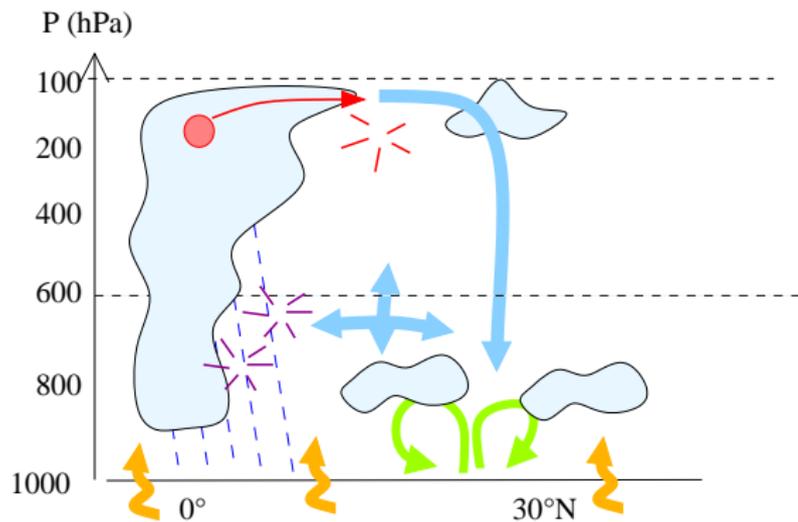
LMDZ-iso (Risi et al 2010):

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

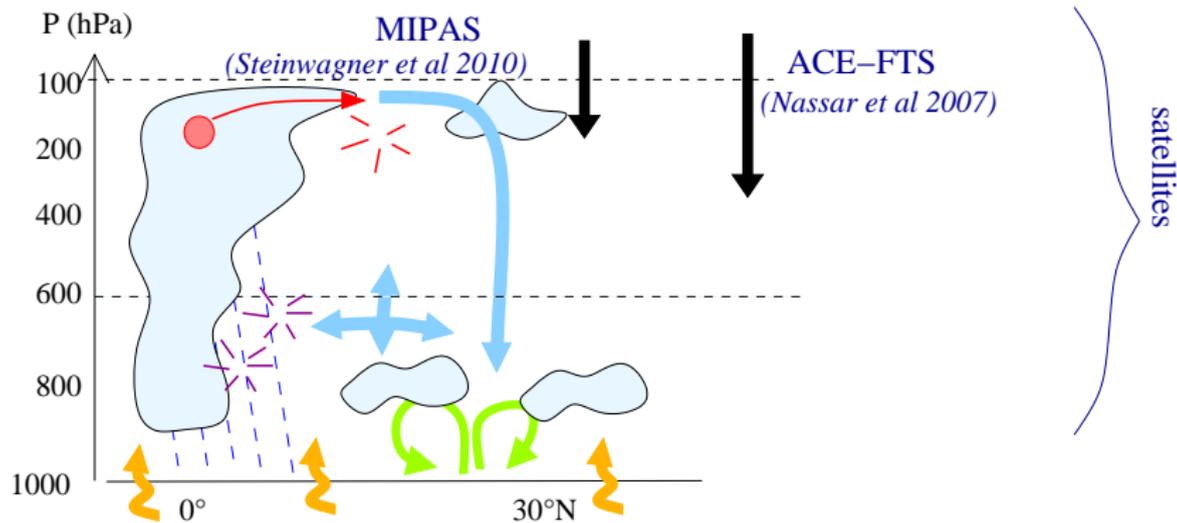


⇒ les mesures isotopiques permettent-elles de détecter ces biais?

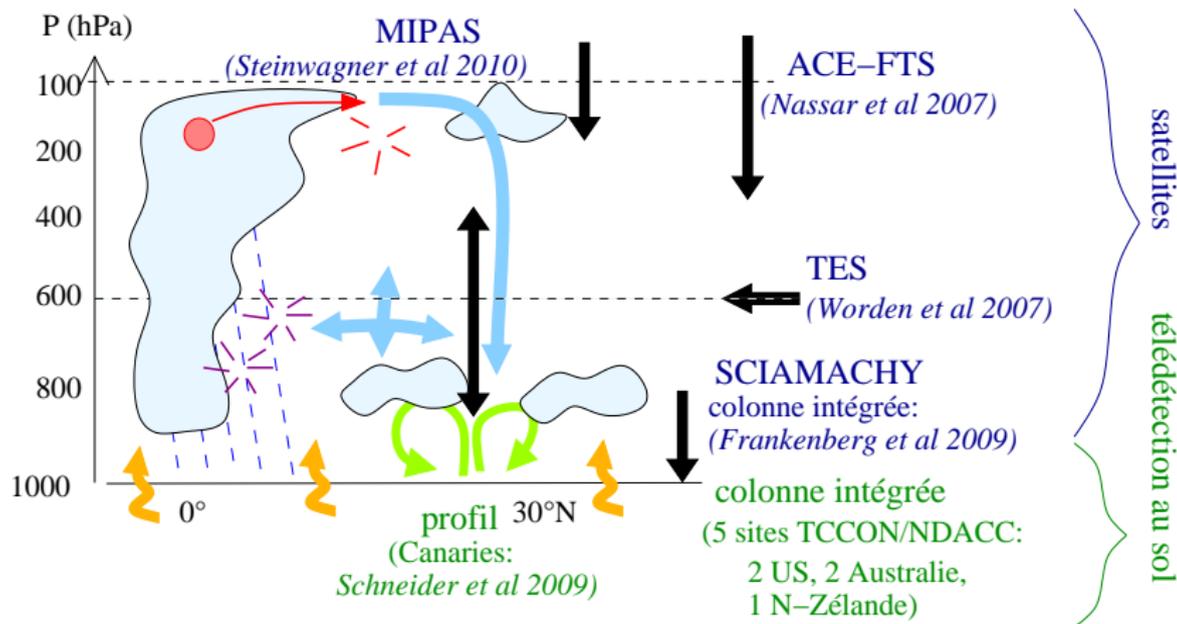
Les mesures isotopiques



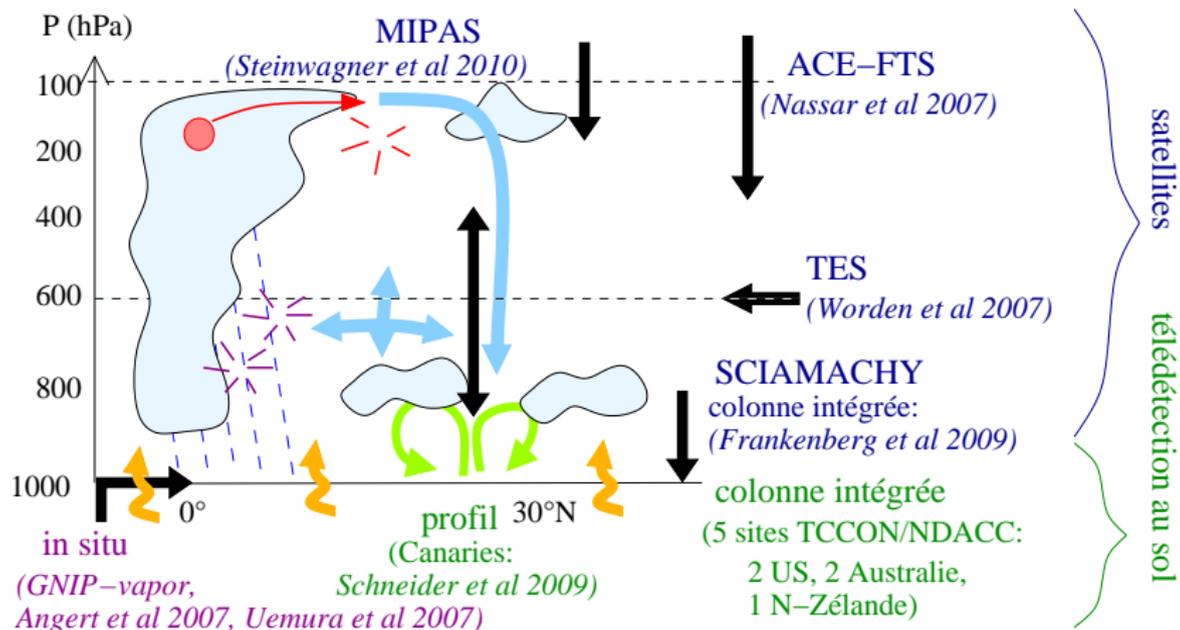
Les mesures isotopiques



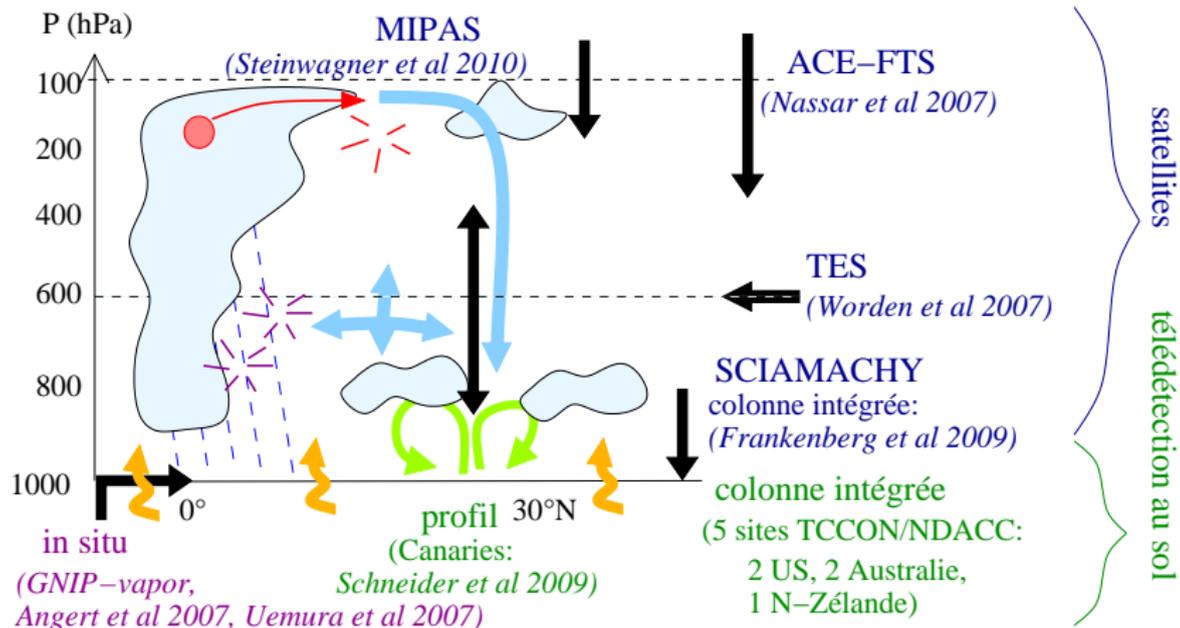
Les mesures isotopiques



Les mesures isotopiques

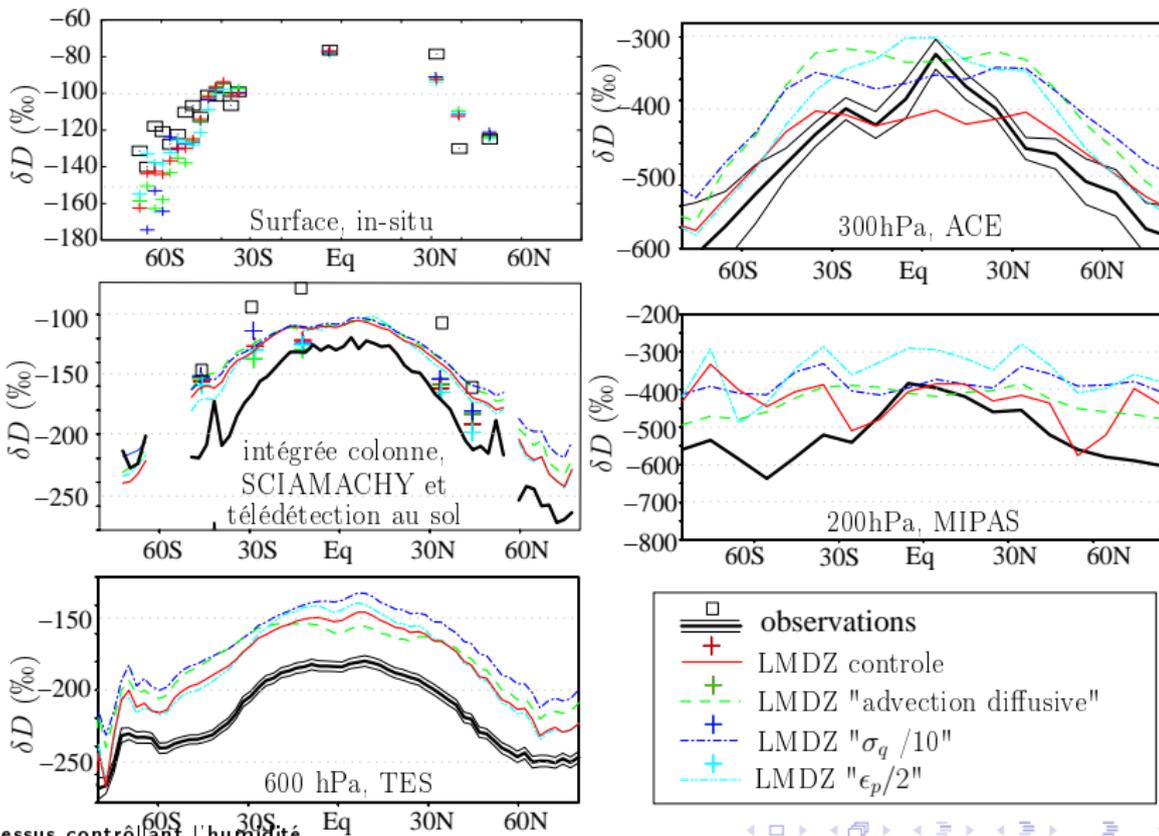


Les mesures isotopiques

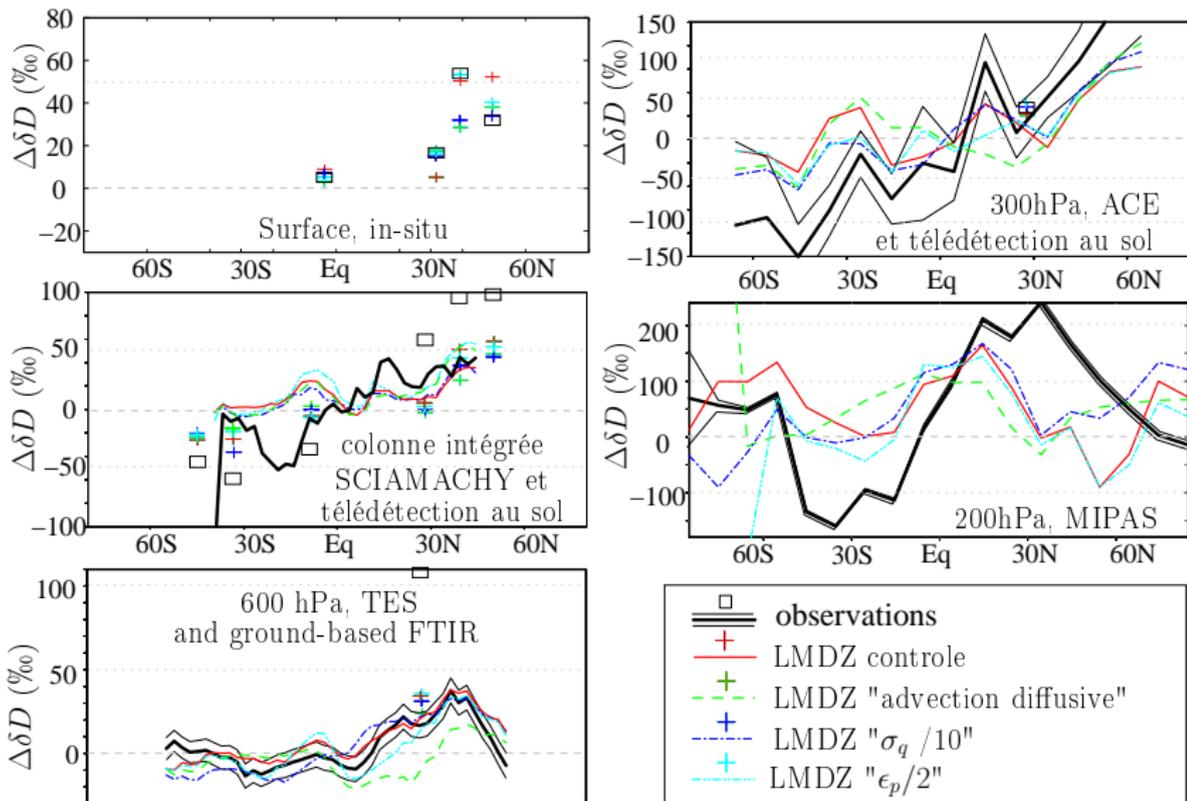


- comparaison modèle-données: collocalisation, simulations guidées, kernels; focalisation sur les variations

Moyennes zonales annuelles

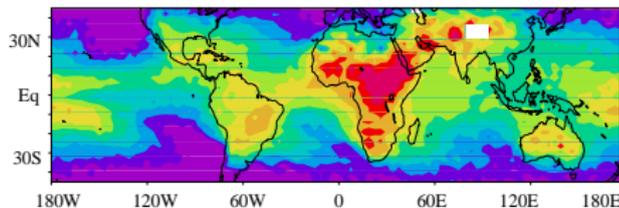


Variations saisonnières (JJA-DJF)

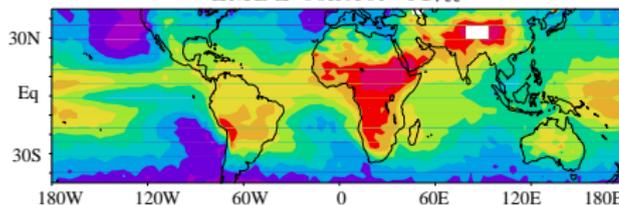


Variations spatiales

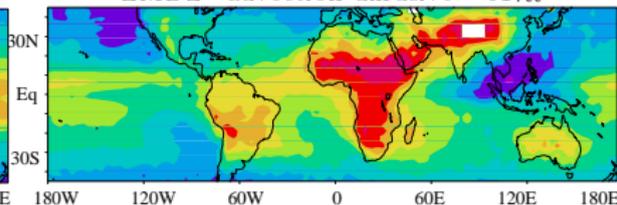
données TES



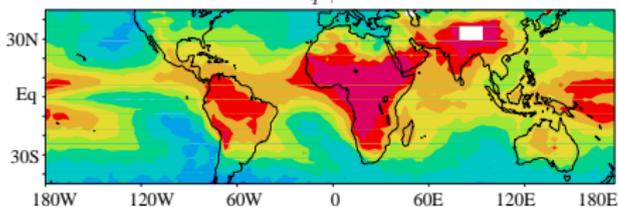
LMDZ control -31‰



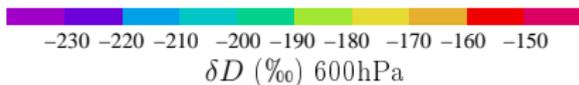
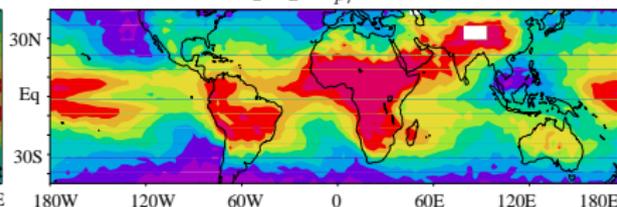
LMDZ "advection diffusive" -31‰



LMDZ " $\sigma_q/10$ " -31‰



LMDZ " $\epsilon_p/2$ " -31‰



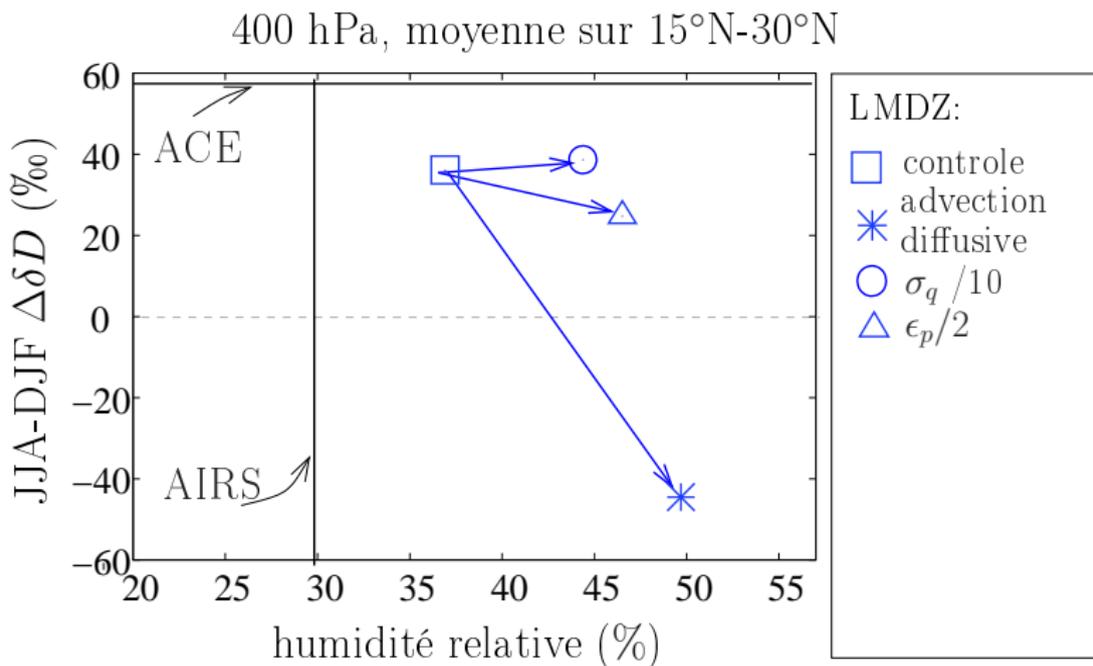
Résumé: les diagnostics isotopiques d'un biais humide

Diagnostic observationnel	Raison du biais humide

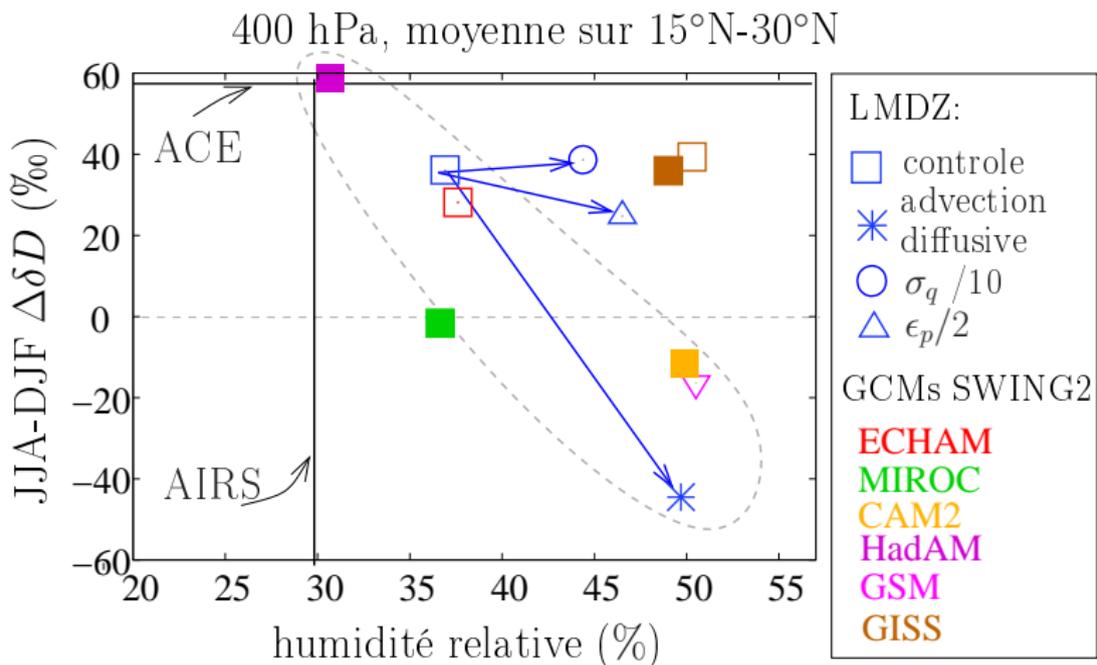
Résumé: les diagnostics isotopiques d'un biais humide

Diagnostic observationnel	Raison du biais humide
<ul style="list-style-type: none">● Saisonalité du δD sous-estimée ou inversée dans la troposphère libre● Régions convectives trop pauvres	advection verticale trop diffusive

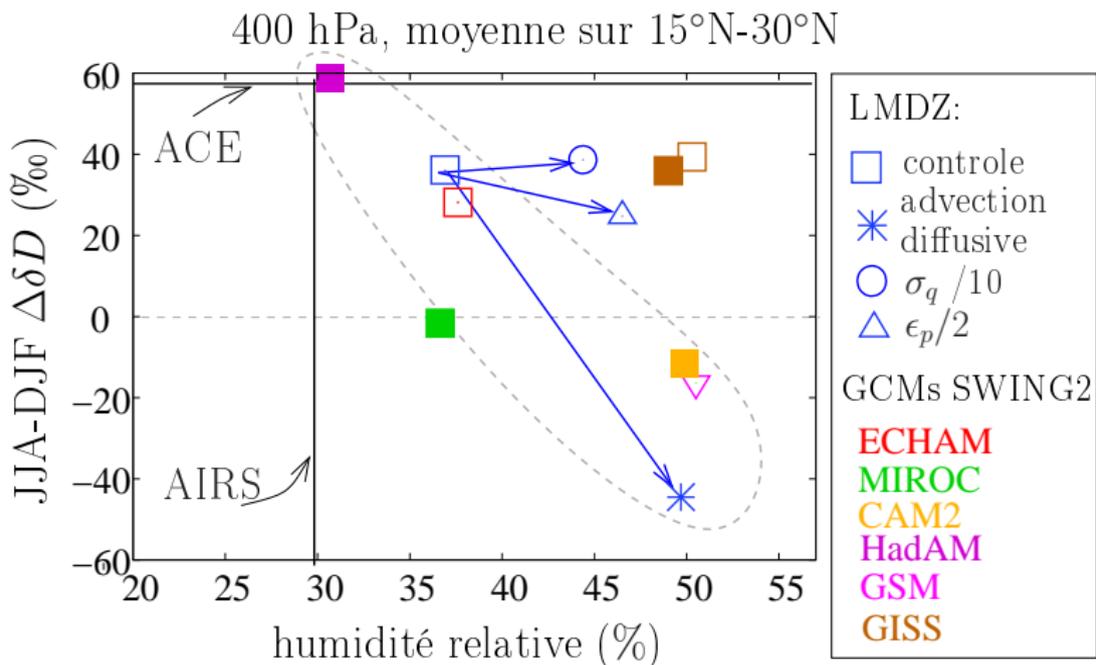
Cause des biais humides dans les modèles?



Cause des biais humides dans les modèles?

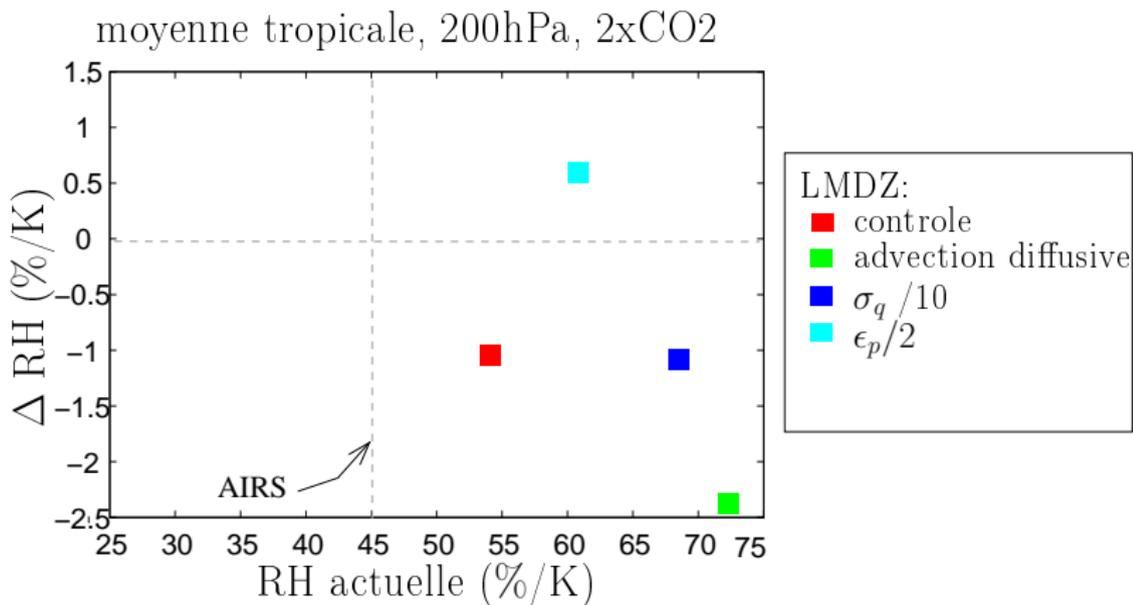


Cause des biais humides dans les modèles?

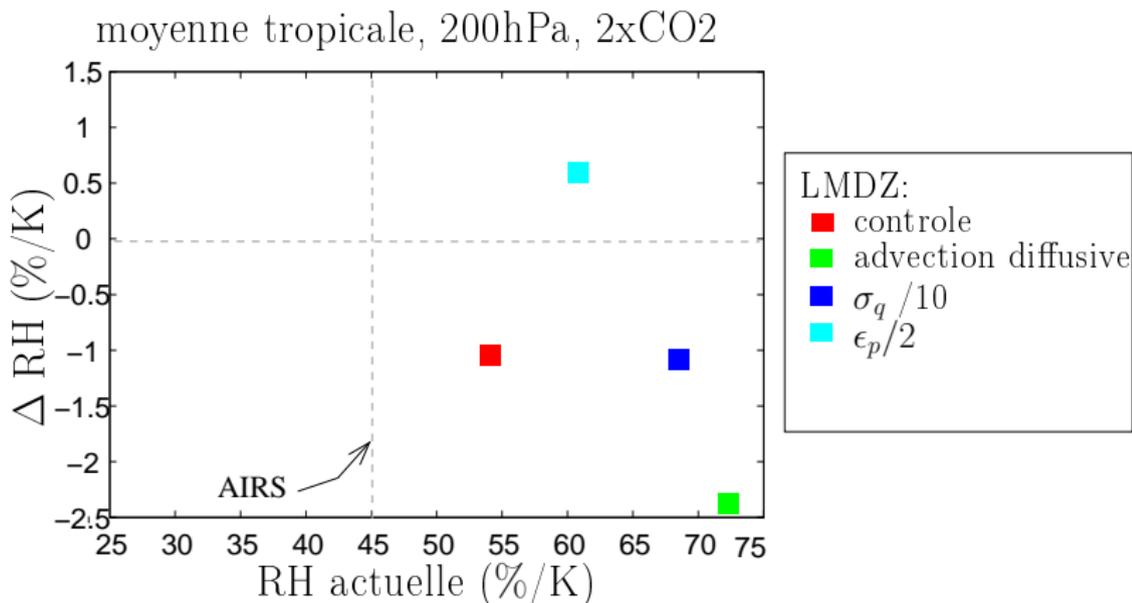


► Advection verticale excessive trop diffusives

Quel impact sur les projections d'humidité?

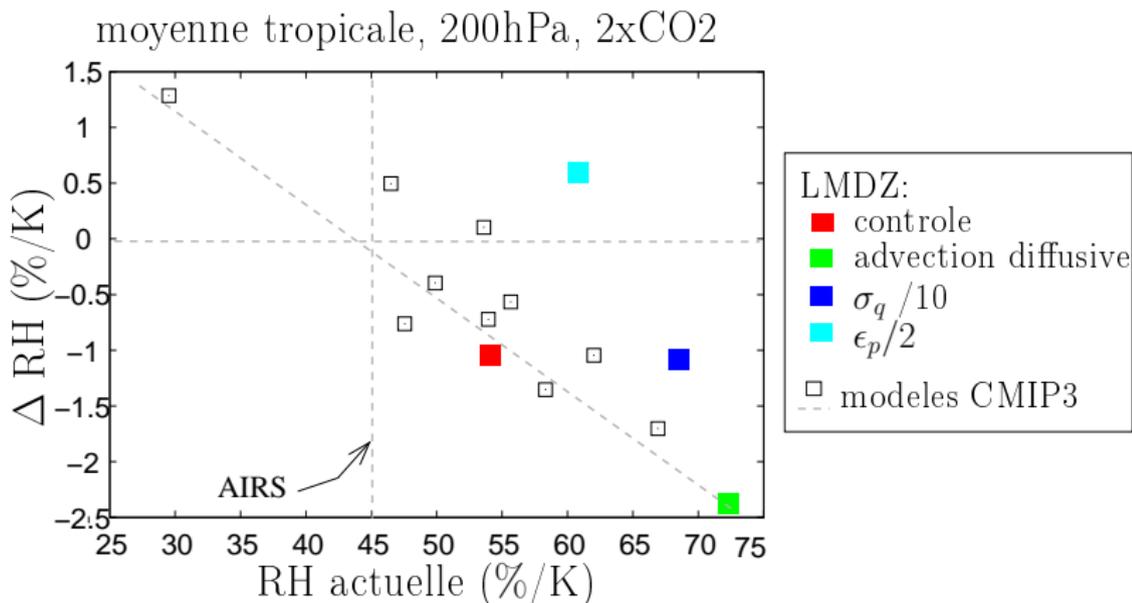


Quel impact sur les projections d'humidité?



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

Quel impact sur les projections d'humidité?



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

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 = diagnostic 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

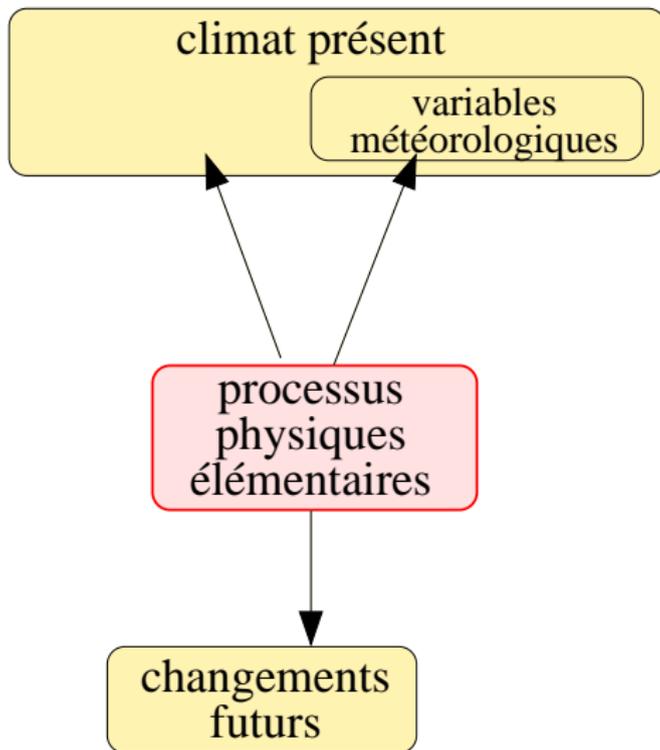
Résumé sur l'humidité troposphérique

- ▶ 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

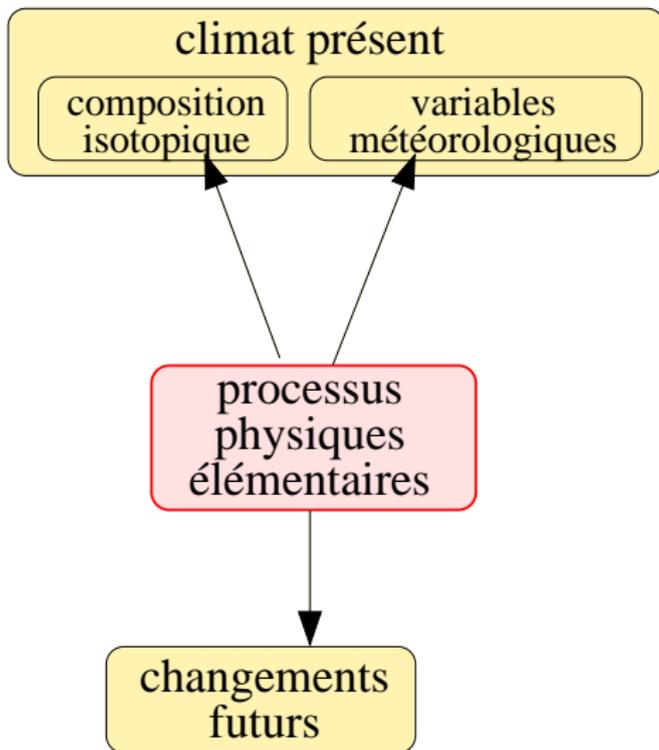
Résumé sur l'humidité troposphérique

- ▶ 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

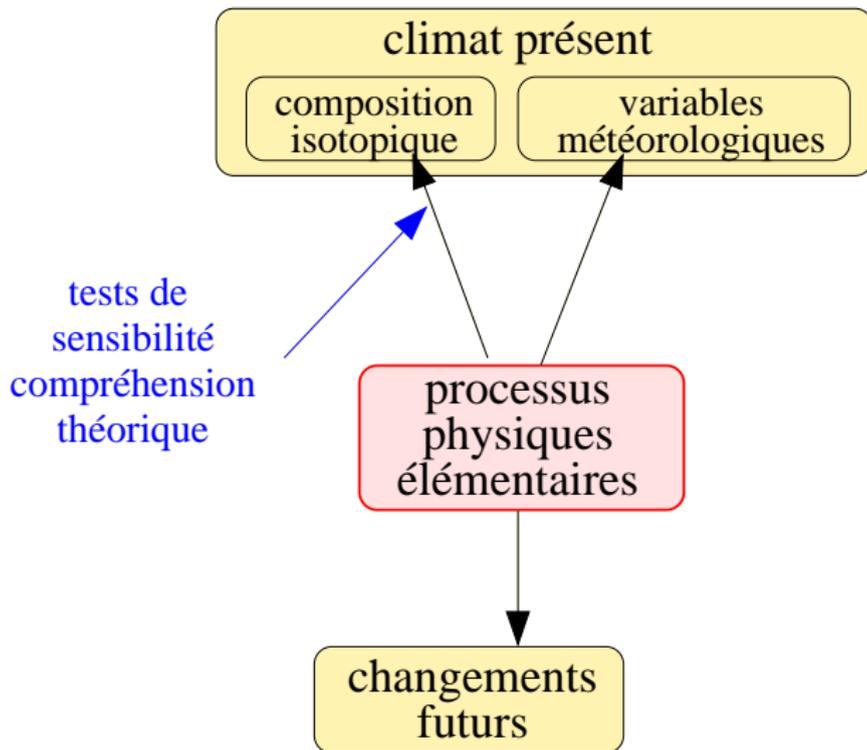
Résumé méthodologique



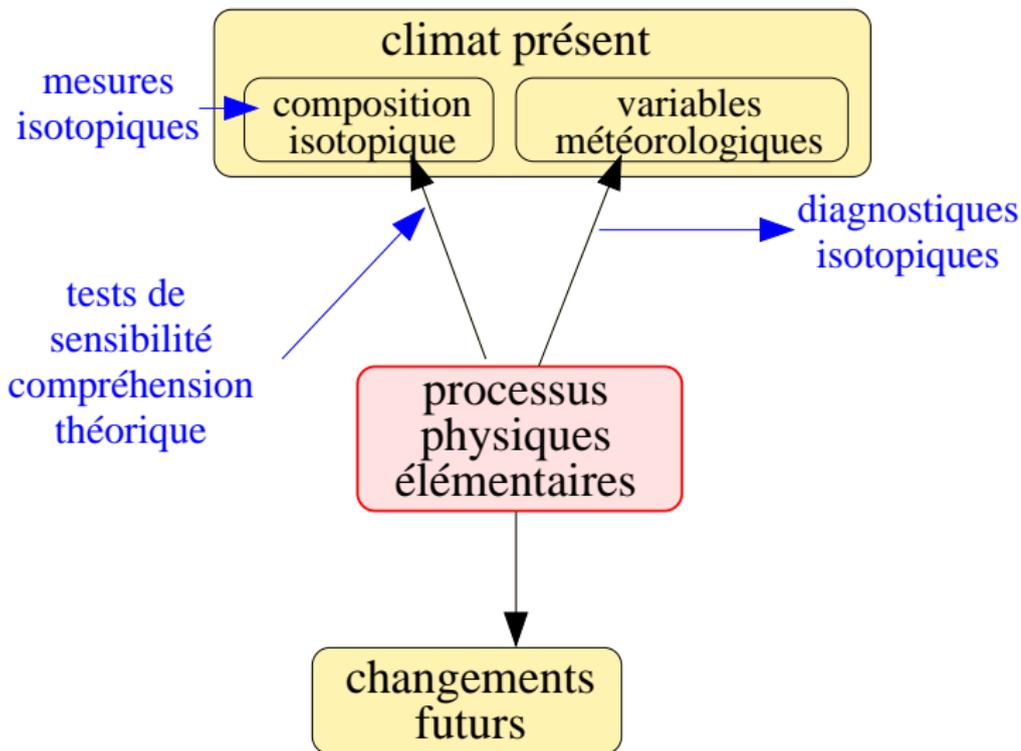
Résumé méthodologique



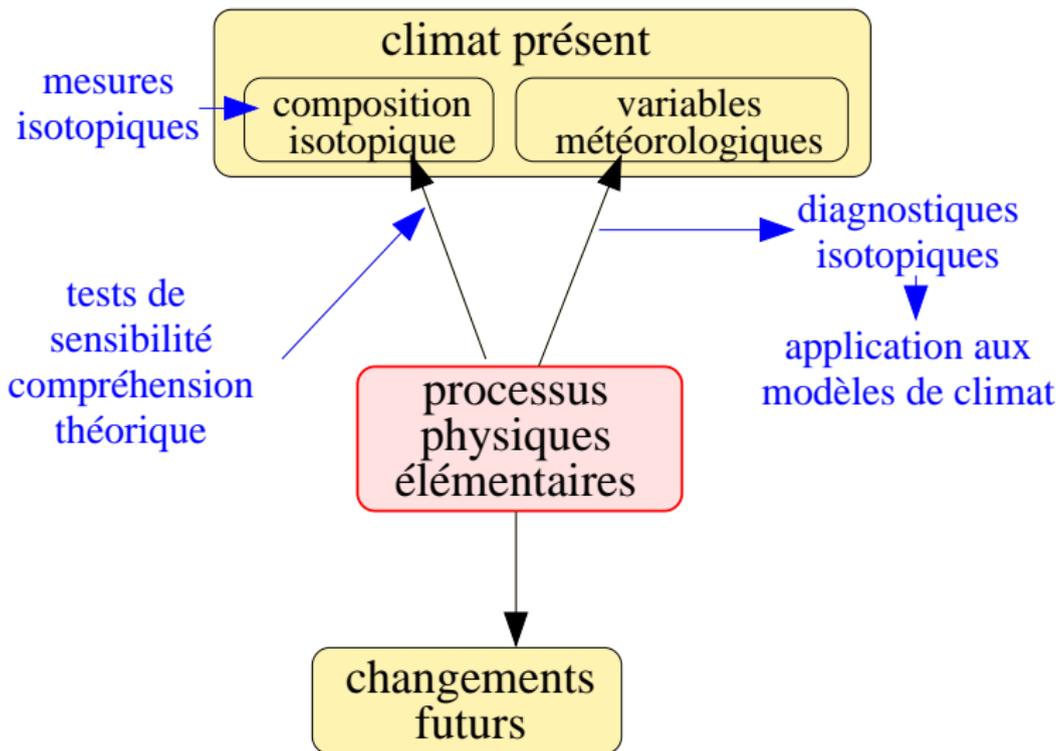
Résumé méthodologique



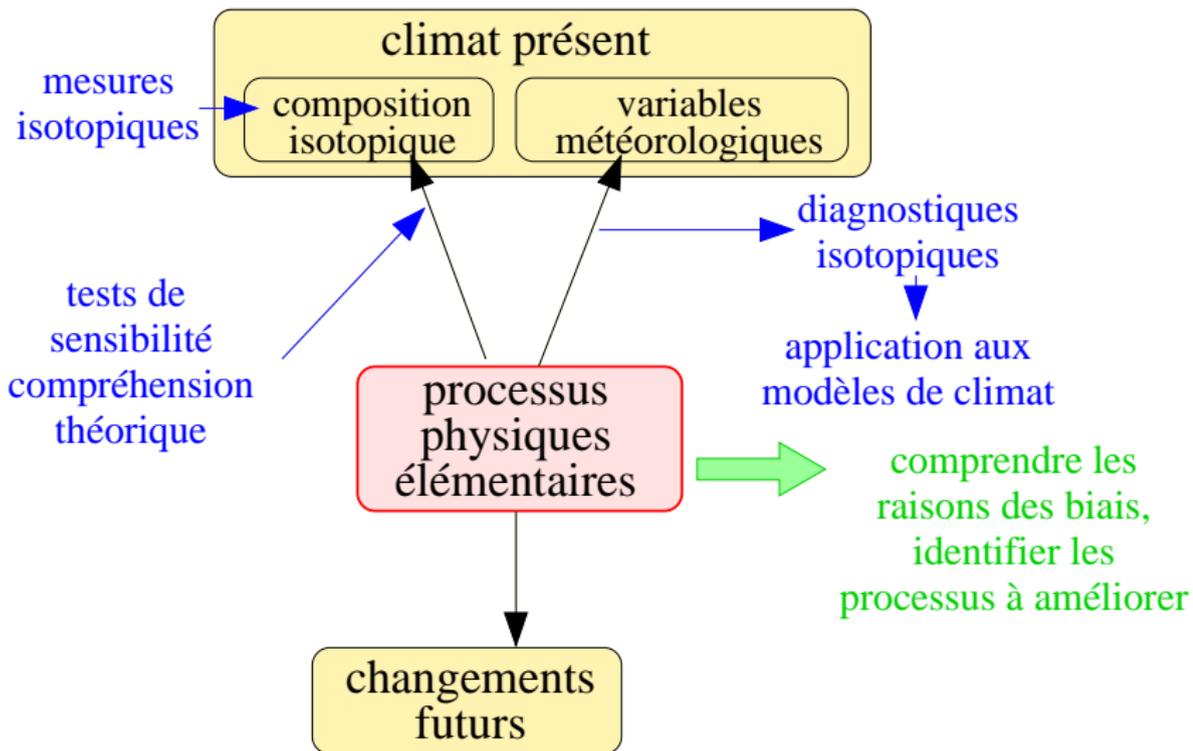
Résumé méthodologique



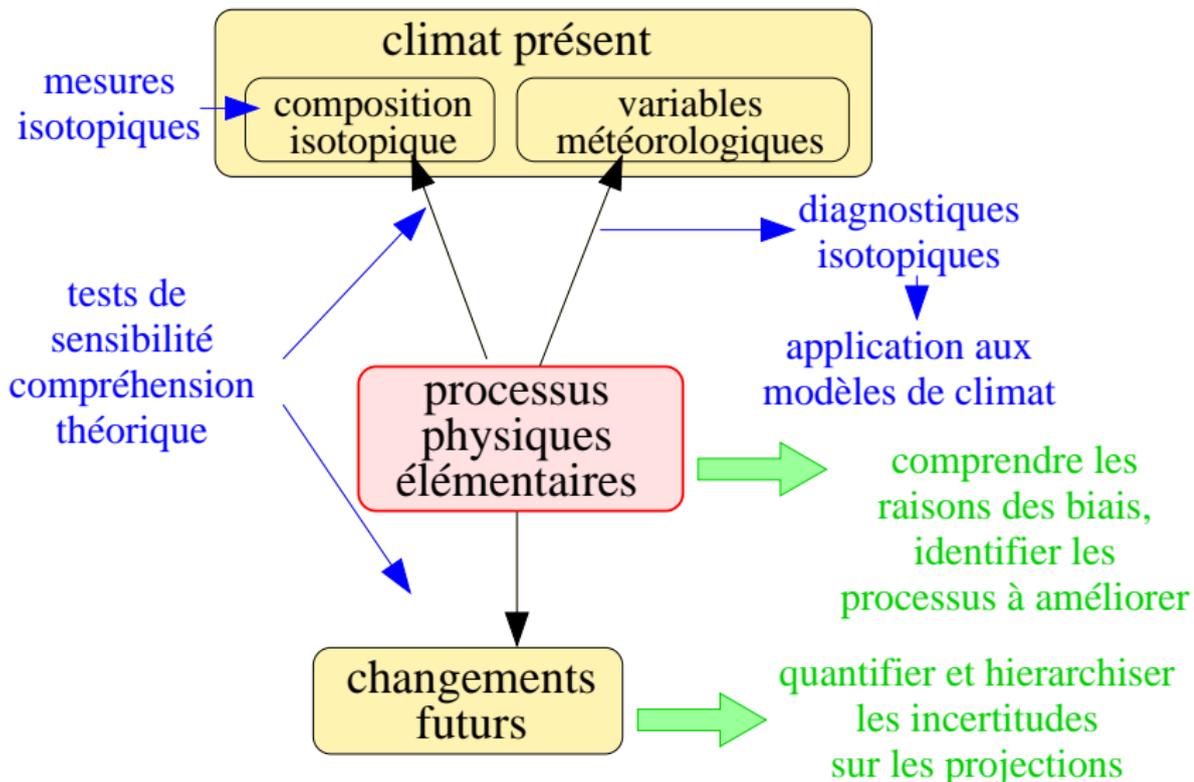
Résumé méthodologique



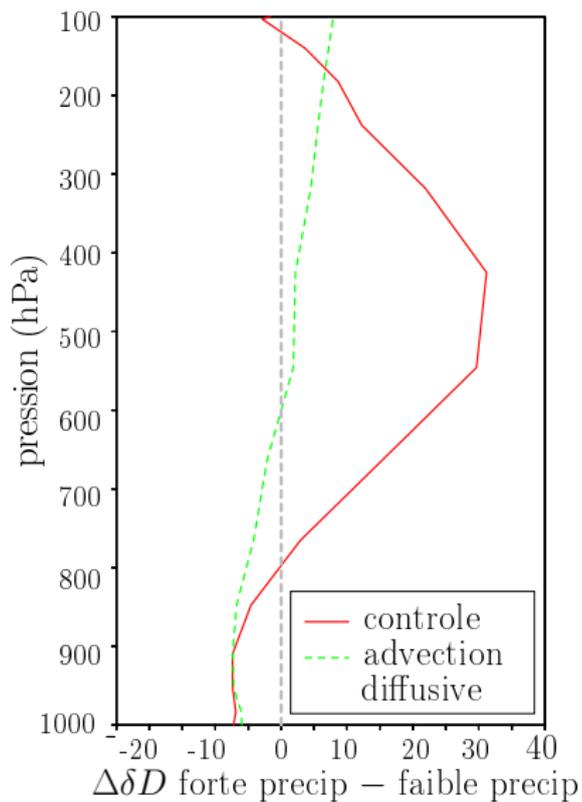
Résumé méthodologique



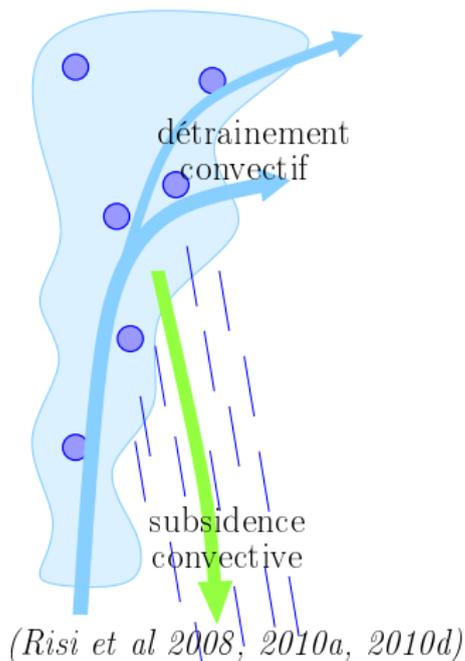
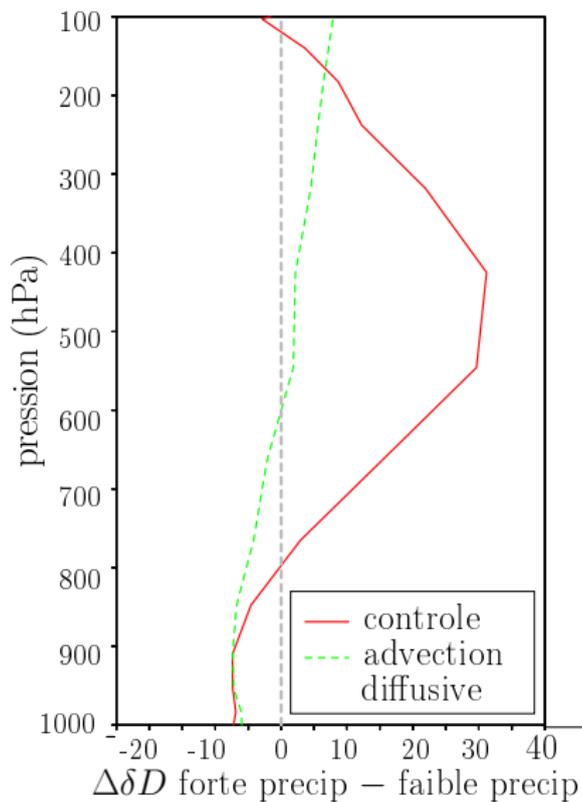
Résumé méthodologique



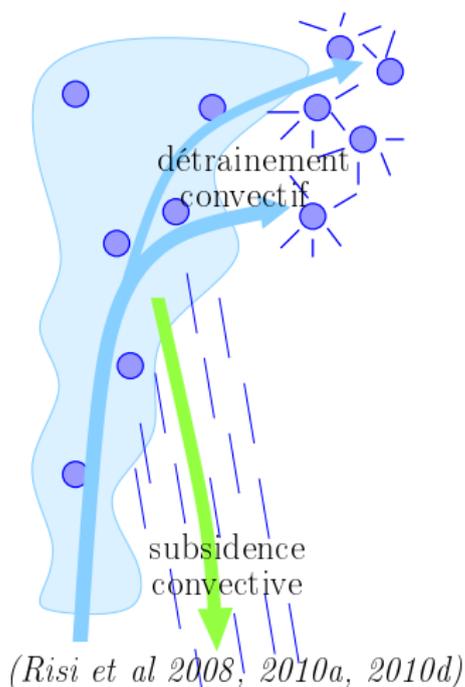
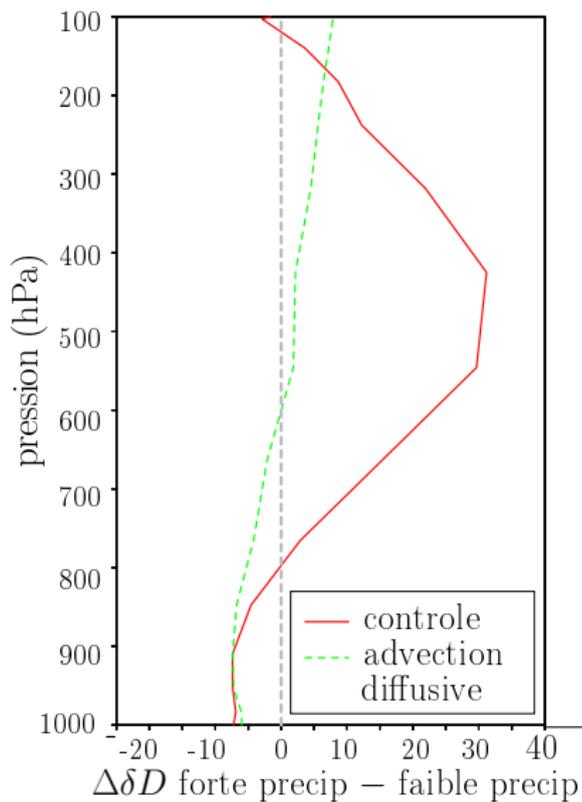
2. Signature isotopique de la convection



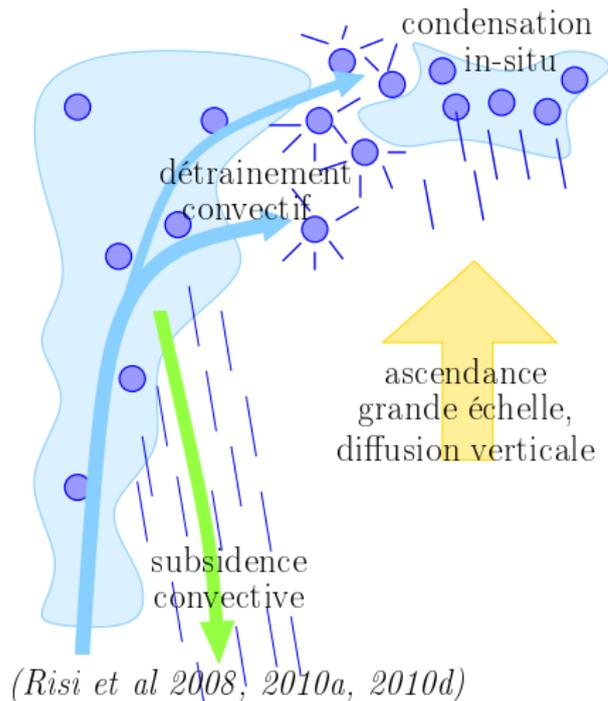
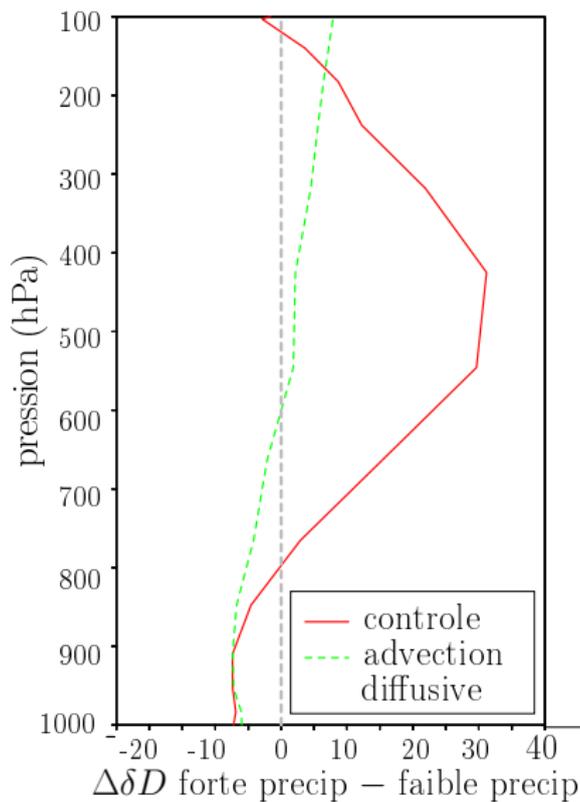
2. Signature isotopique de la convection



2. Signature isotopique de la convection

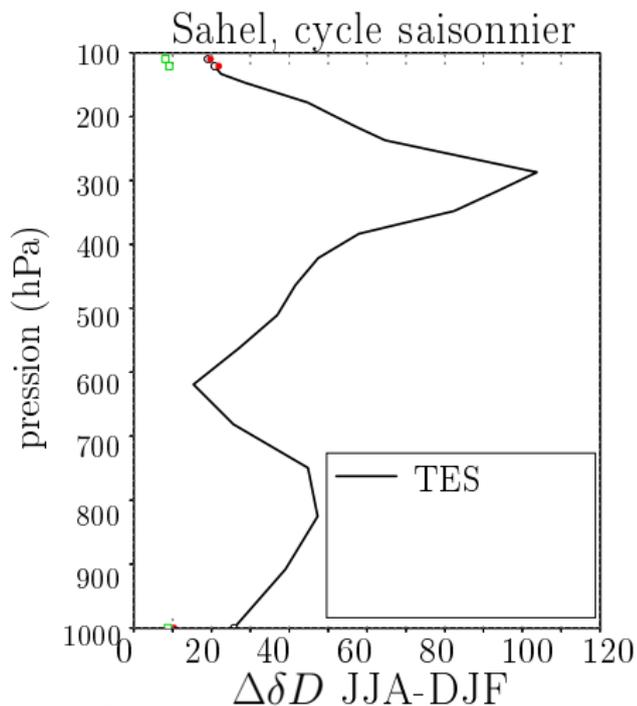


2. Signature isotopique de la convection



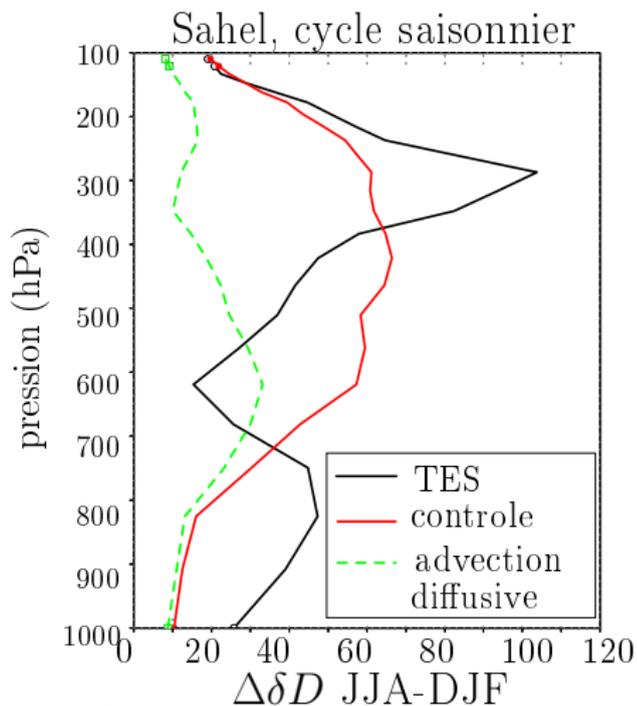
Nouveaux profils TES

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



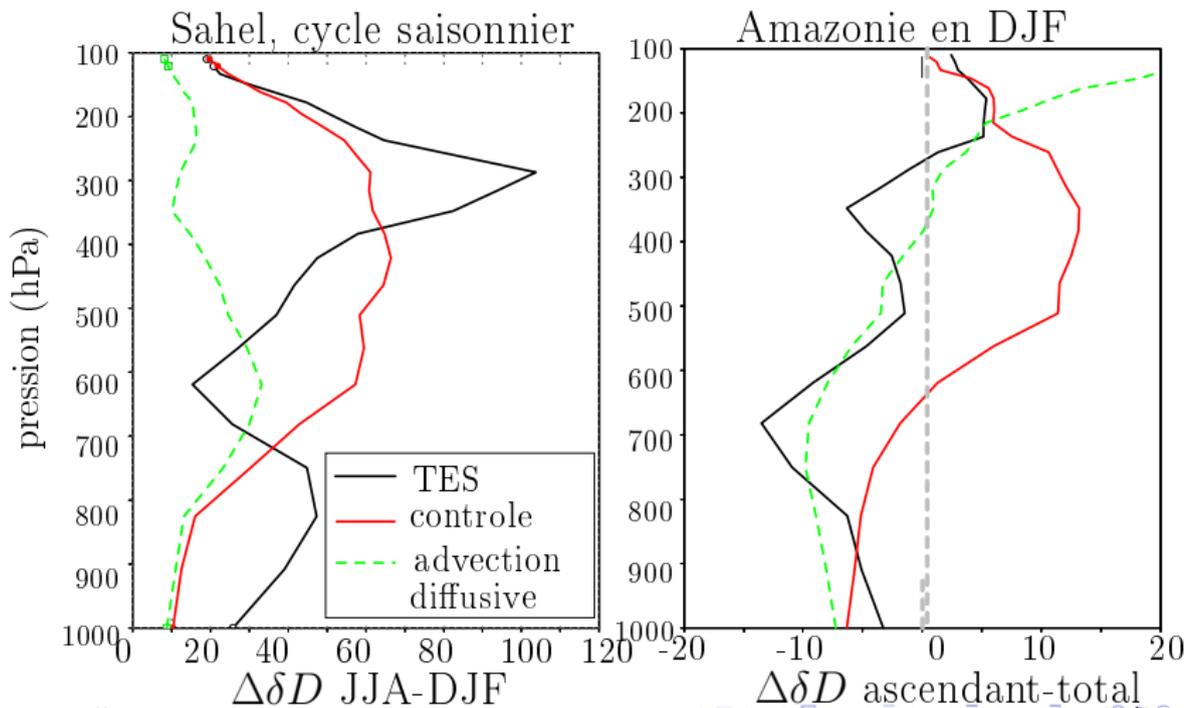
Nouveaux profils TES

- ▶ 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*)



Résumé et perspectives sur la convection

- ▶ composition isotopique:
 - ▶ basse troposphère: subsidences convectives, réévaporation
 - ▶ moyenne et haute troposphère: détrainement de condensat, mode de transport vertical de l'eau

Résumé et perspectives sur la convection

- ▶ composition isotopique:
 - ▶ basse troposphère: subsidences convectives, réévaporation
 - ▶ moyenne et haute troposphère: détrainement de condensat, mode de transport vertical de l'eau
- ▶ Nouvelles données
 - ▶ nouveaux profils TES

Résumé et perspectives sur la convection

- ▶ composition isotopique:
 - ▶ basse troposphère: subsidences convectives, réévaporation
 - ▶ moyenne et haute troposphère: détrainement de condensat, mode de transport vertical de l'eau
- ▶ Nouvelles données
 - ▶ nouveaux profils TES
 - ▶ données haute fréquence de télédétection au sol (Darwin)
-> variabilité synoptique, intra-saisonnière

Résumé et perspectives sur la convection

- ▶ composition isotopique:
 - ▶ basse troposphère: subsidences convectives, réévaporation
 - ▶ moyenne et haute troposphère: détrainement de condensat, mode de transport vertical de l'eau
- ▶ Nouvelles données
 - ▶ nouveaux profils TES
 - ▶ données haute fréquence de télédétection au sol (Darwin)
-> variabilité synoptique, intra-saisonnière
- ▶ Nouvelle méthodologie de comparaison modèle/données

observations

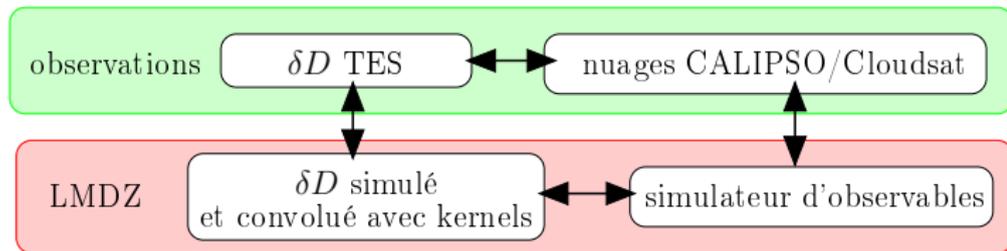
δD TES



nuages CALIPSO/Cloudsat

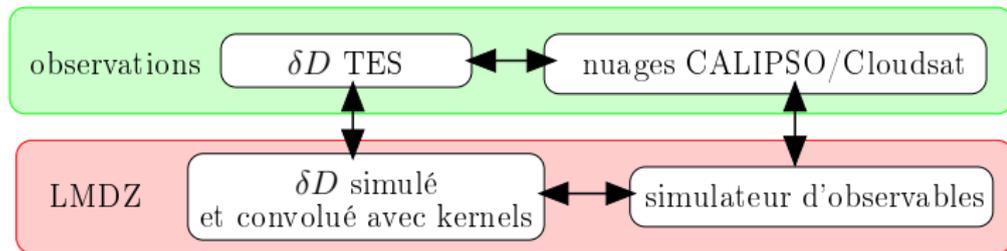
Résumé et perspectives sur la convection

- ▶ composition isotopique:
 - ▶ basse troposphère: subsidences convectives, réévaporation
 - ▶ moyenne et haute troposphère: détrainement de condensat, mode de transport vertical de l'eau
- ▶ Nouvelles données
 - ▶ nouveaux profils TES
 - ▶ données haute fréquence de télédétection au sol (Darwin)
-> variabilité synoptique, intra-saisonnière
- ▶ Nouvelle méthodologie de comparaison modèle/données



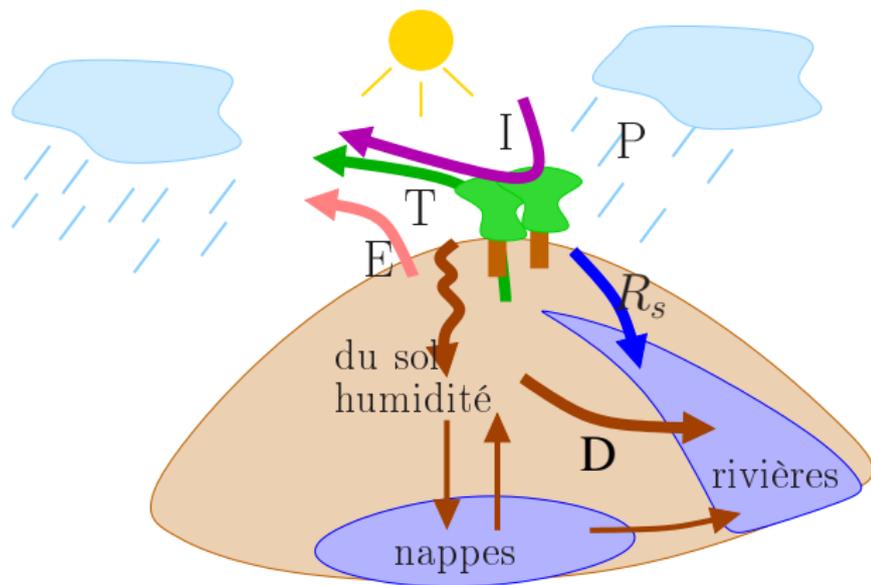
Résumé et perspectives sur la convection

- ▶ composition isotopique:
 - ▶ basse troposphère: subsidences convectives, réévaporation
 - ▶ moyenne et haute troposphère: détrainement de condensat, mode de transport vertical de l'eau
- ▶ Nouvelles données
 - ▶ nouveaux profils TES
 - ▶ données haute fréquence de télédétection au sol (Darwin)
-> variabilité synoptique, intra-saisonnière
- ▶ Nouvelle méthodologie de comparaison modèle/données

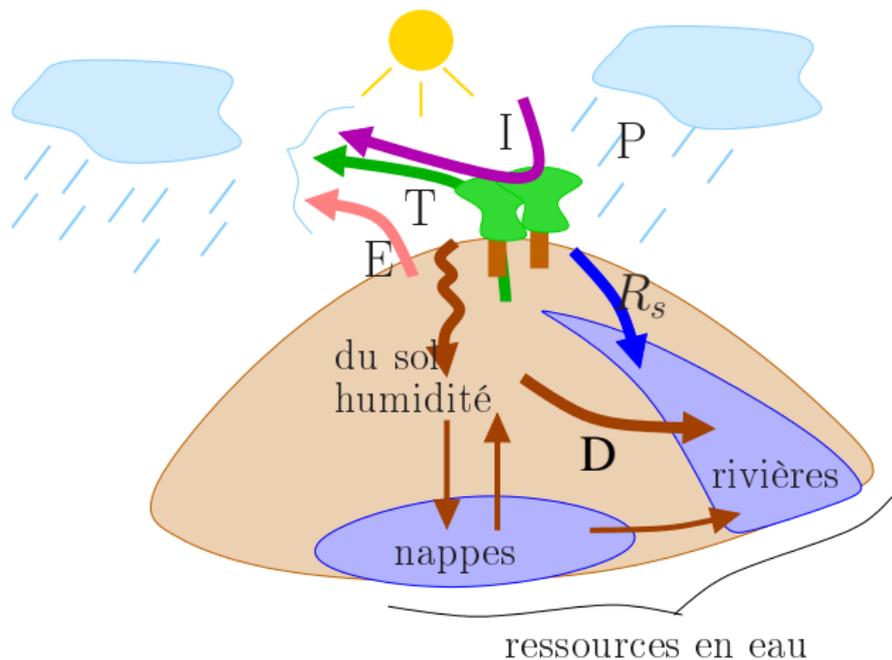


- ▶ Nouvelle physique d'LMDZ

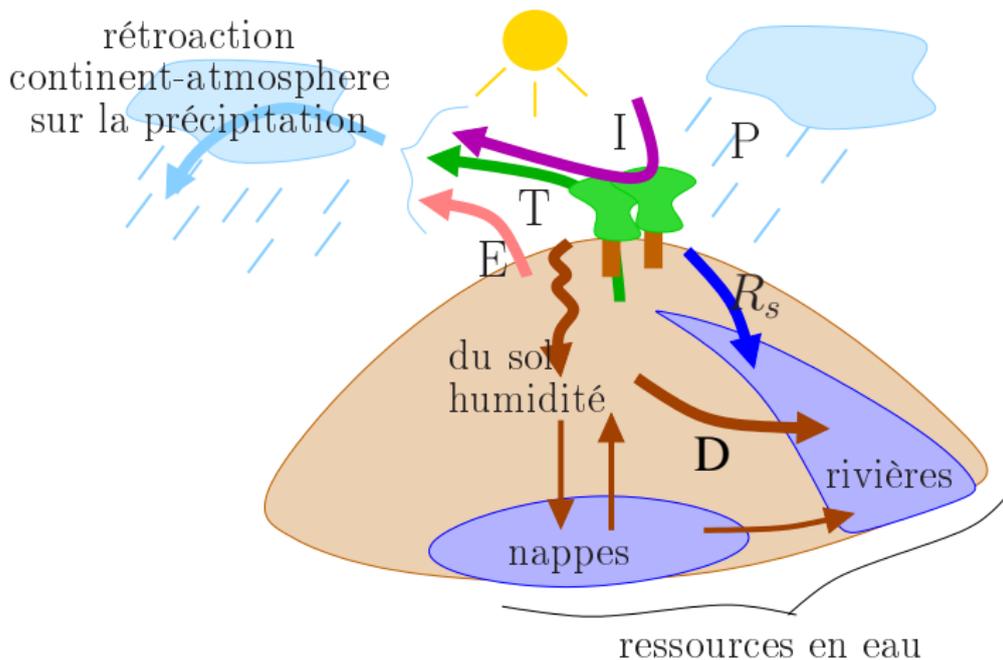
3. Bilan hydrologique continental



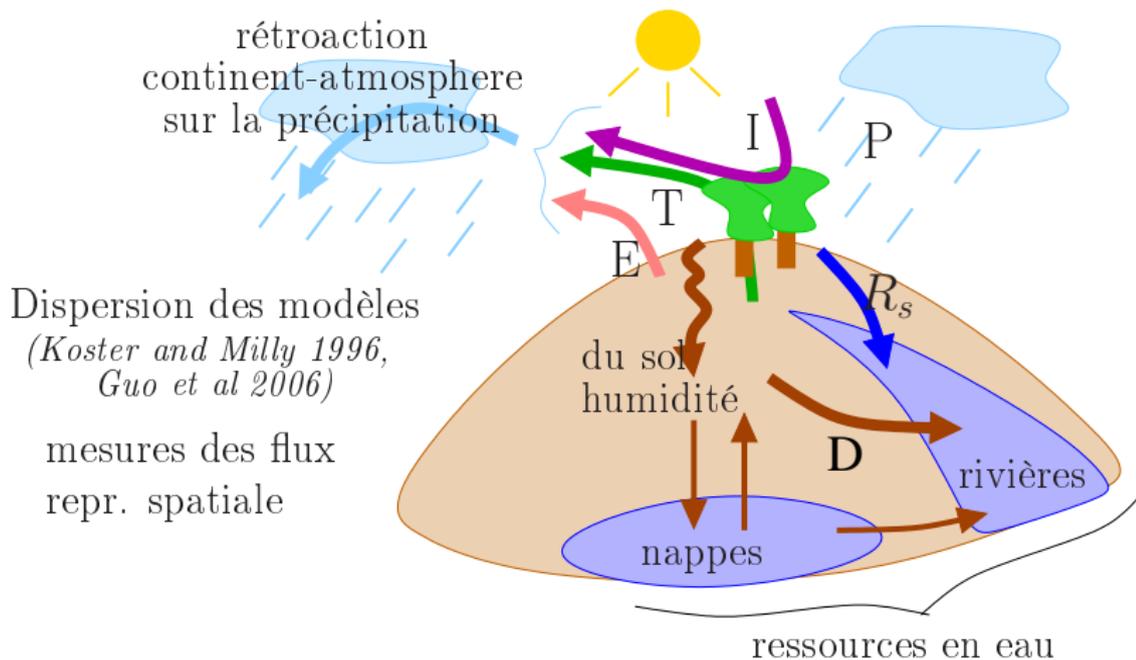
3. Bilan hydrologique continental



3. Bilan hydrologique continental



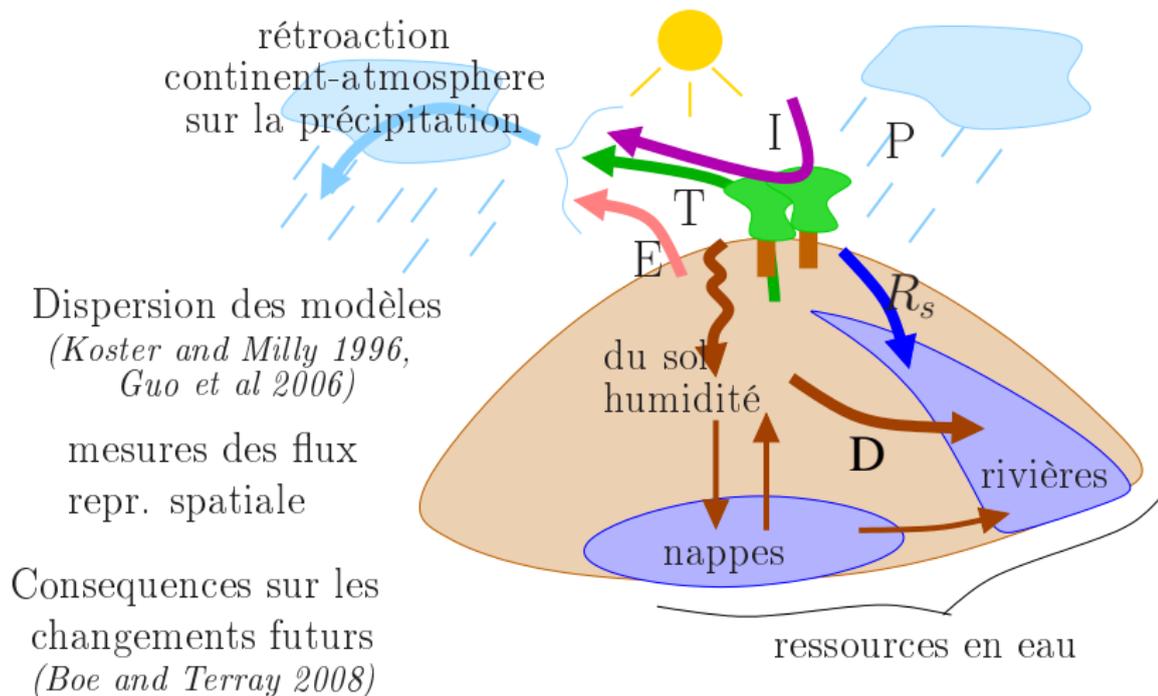
3. Bilan hydrologique continental



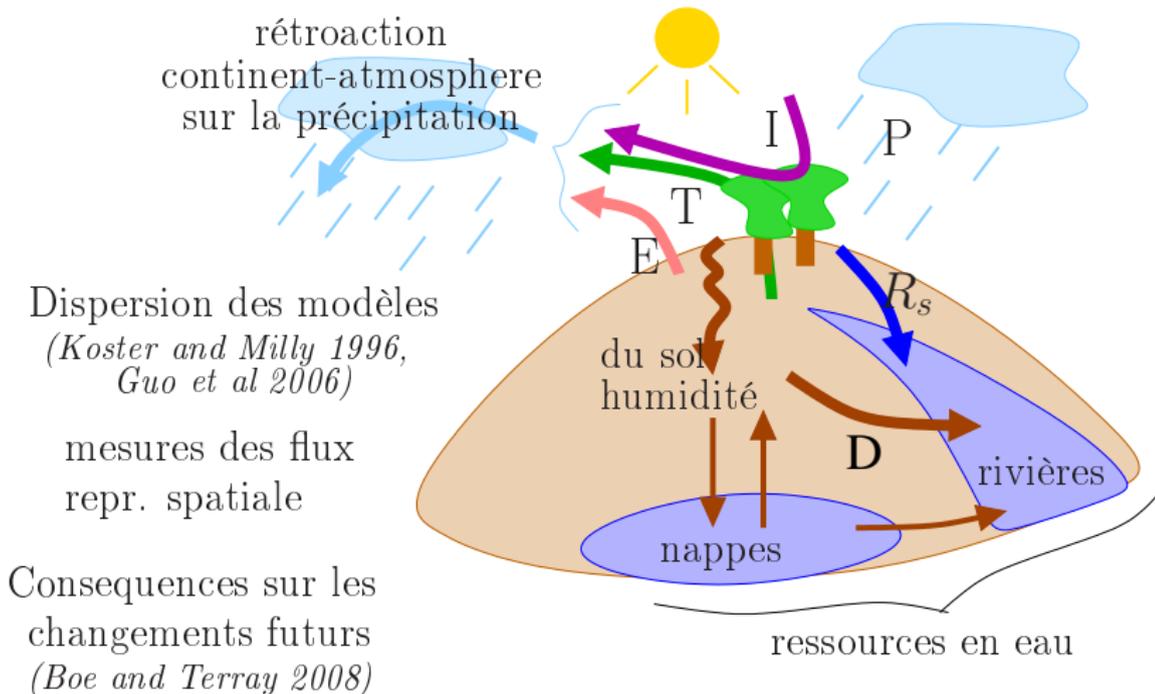
Dispersion des modèles
(Koster and Milly 1996,
Guo et al 2006)

mesures des flux
repr. spatiale

3. Bilan hydrologique continental



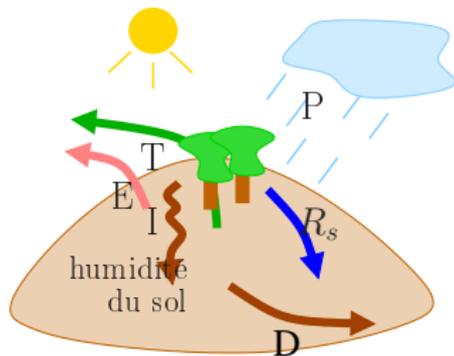
3. Bilan hydrologique continental



- ▶ la composition isotopique pour évaluer le bilan hydrologique dans les modèles?

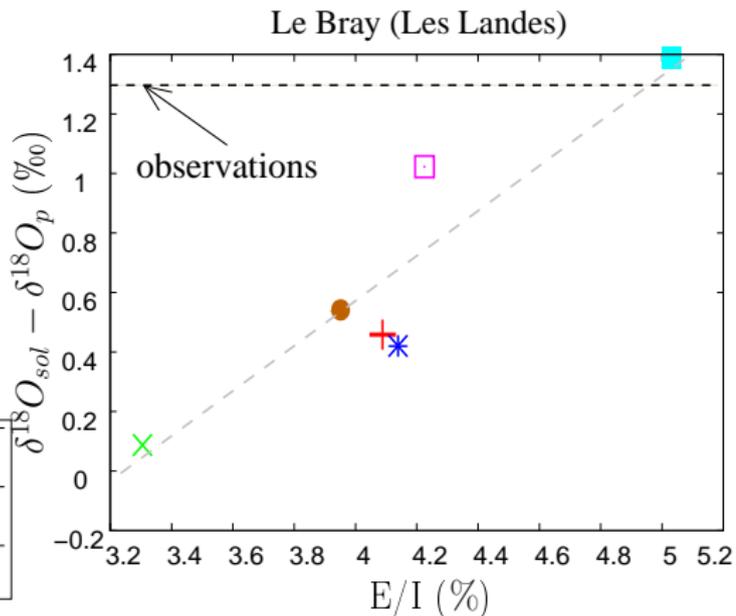
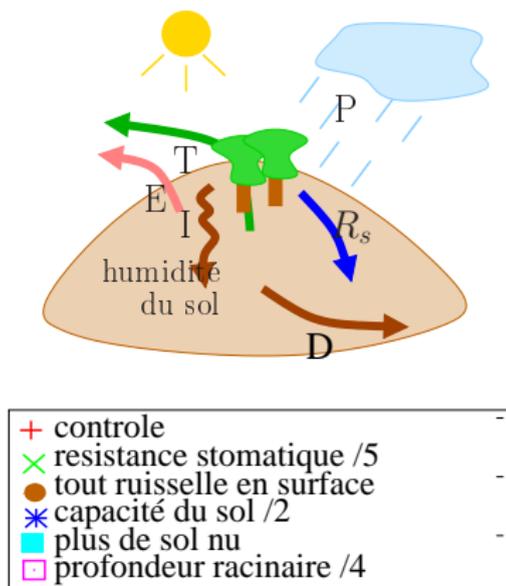
Bilan hydrologique du sol

- ▶ ORCHIDEE-iso (*Risi et al* soumis)



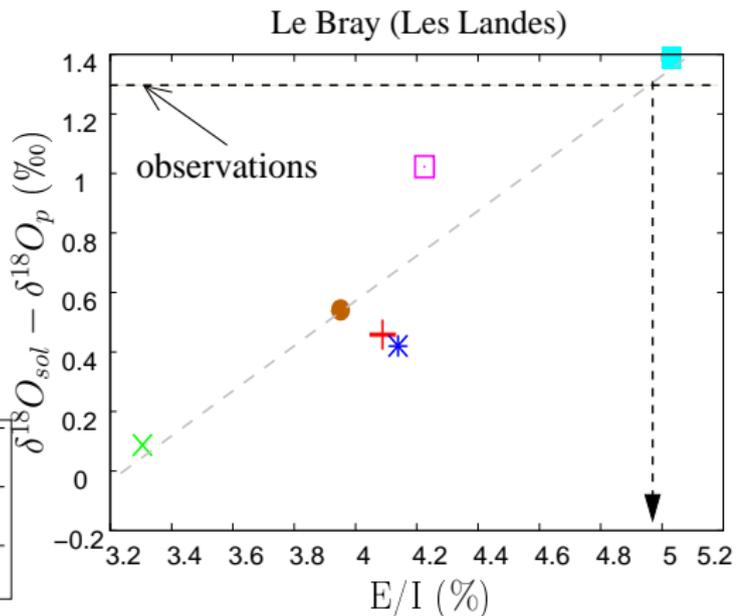
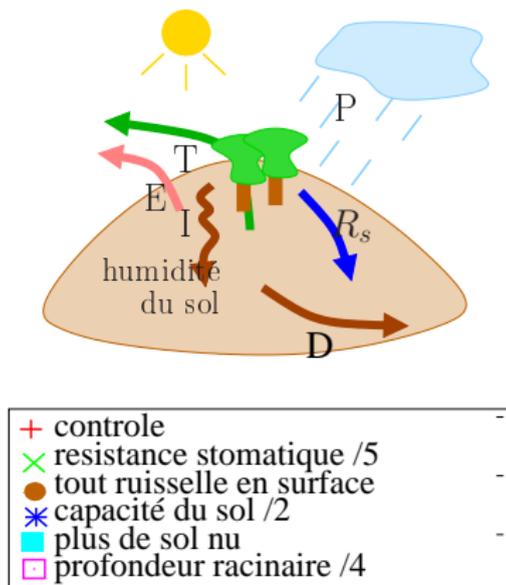
Bilan hydrologique du sol

► ORCHIDEE-iso (*Risi et al* soumis)

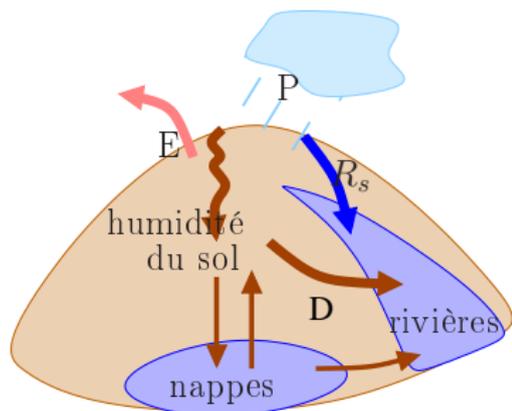


Bilan hydrologique du sol

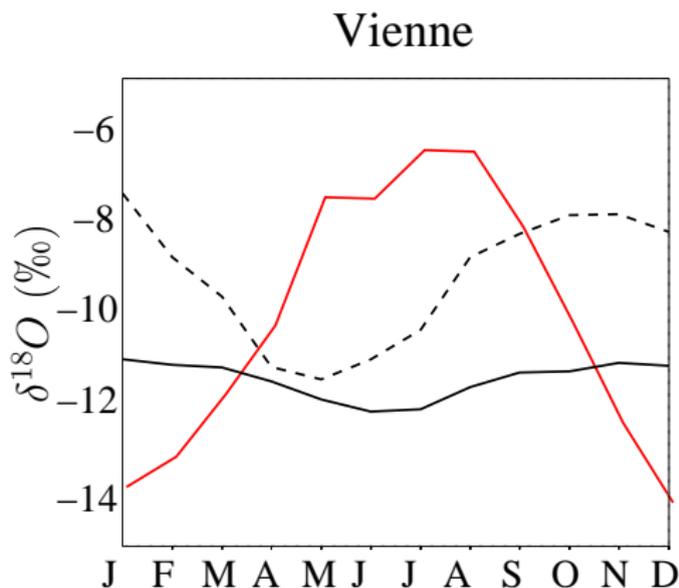
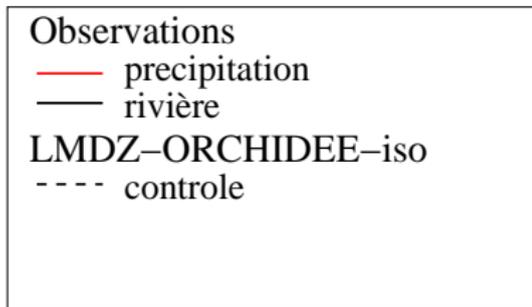
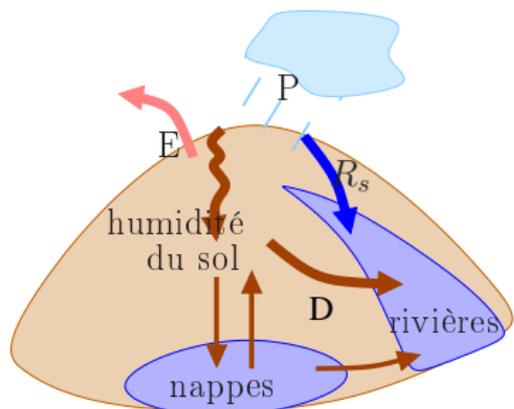
► ORCHIDEE-iso (*Risi et al* soumis)



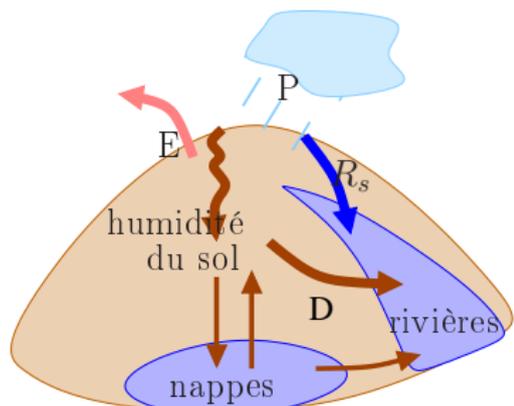
De la précipitation aux rivières



De la précipitation aux rivières



De la précipitation aux rivières



Observations

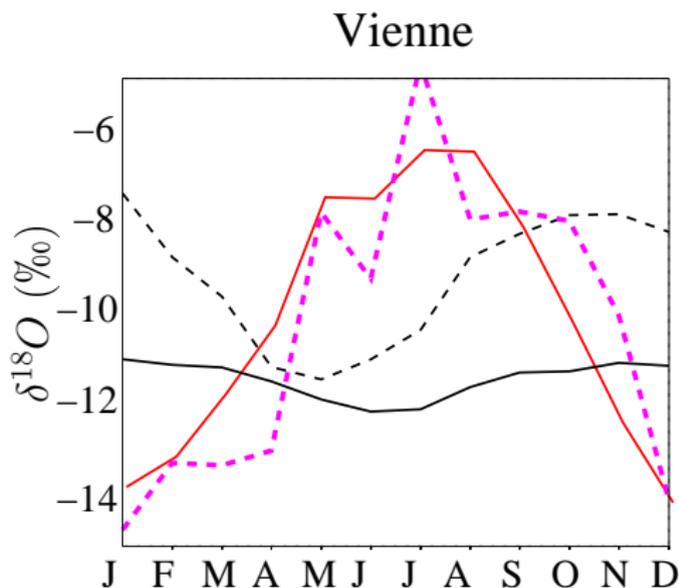
— precipitation

— rivière

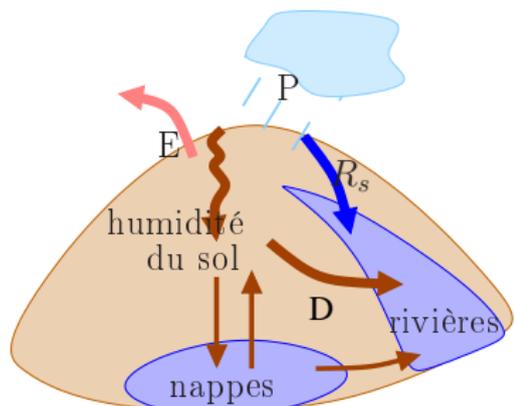
LMDZ-ORCHIDEE-iso

--- controle

- - - tout ruisselle en surface



De la précipitation aux rivières

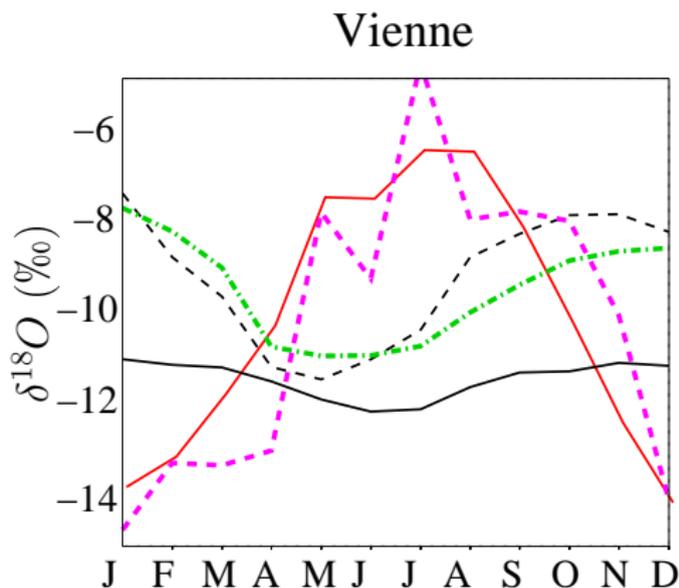


Observations

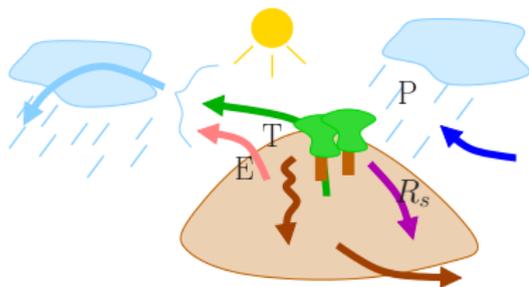
- precipitation
- rivière

LMDZ-ORCHIDEE-iso

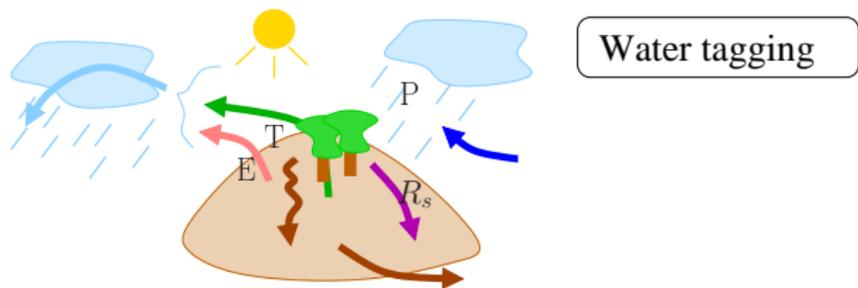
- - - controle
- · - · tout ruisselle en surface
- · · - · réservoirs souterrains plus lents



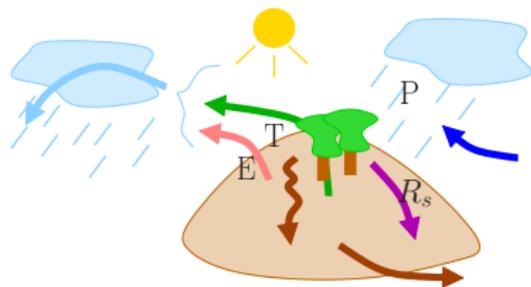
Intéractions surface-atmosphère



Intéractions surface-atmosphère



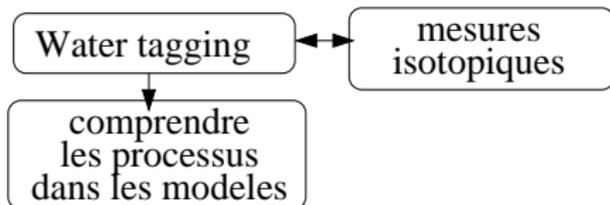
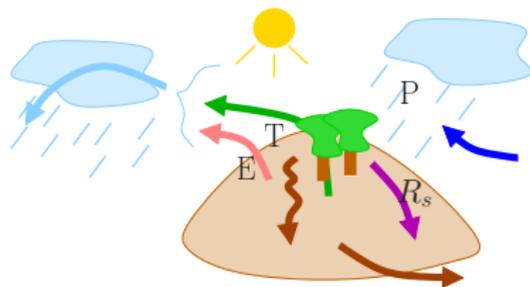
Intéractions surface-atmosphère



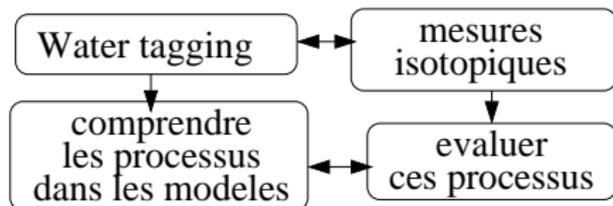
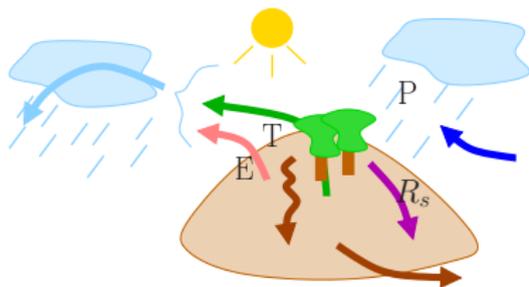
Water tagging

comprendre
les processus
dans les modèles

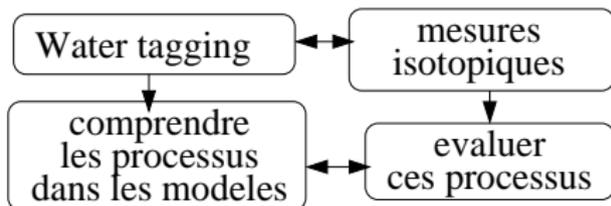
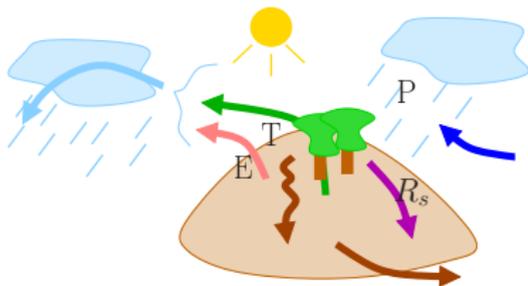
Intéractions surface-atmosphère



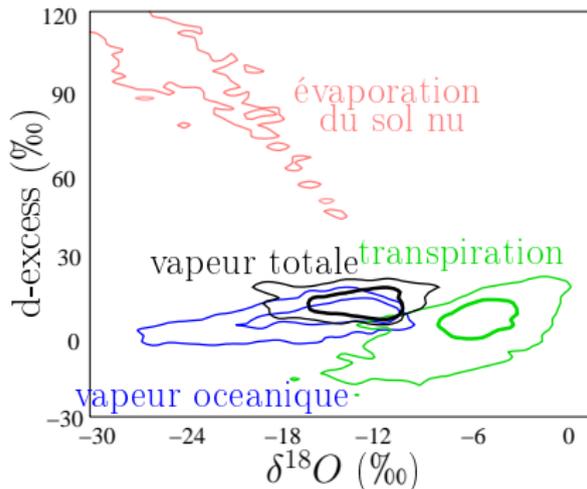
Intéractions surface-atmosphère



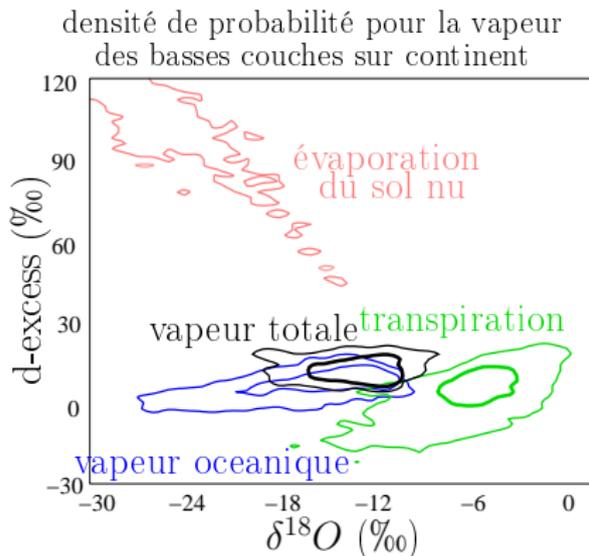
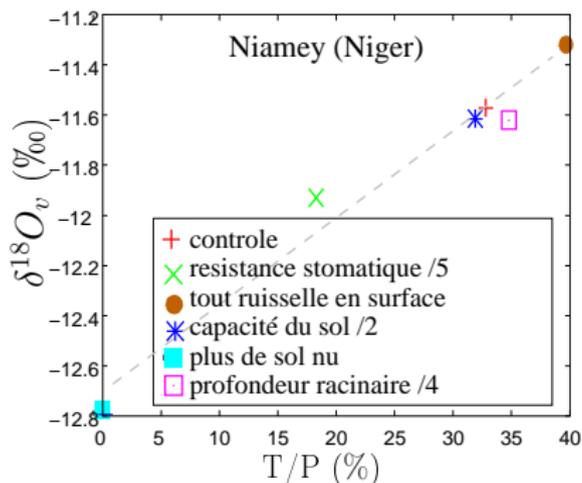
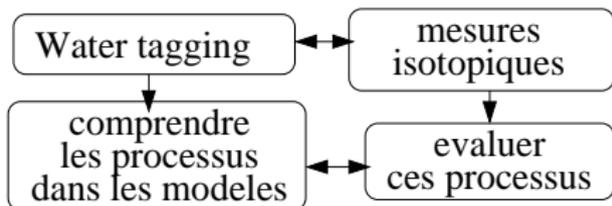
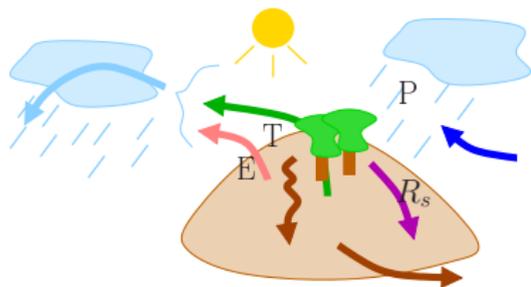
Intéractions surface-atmosphère



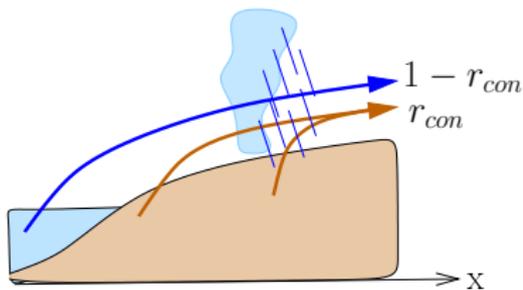
densité de probabilité pour la vapeur des basses couches sur continent



Intéractions surface-atmosphère

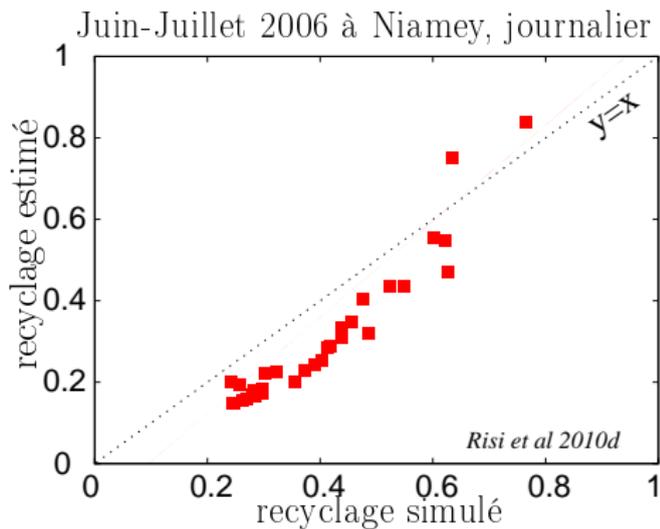
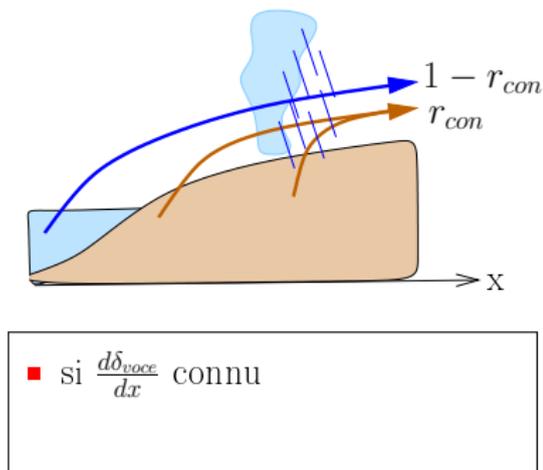


Estimation du recyclage continental?



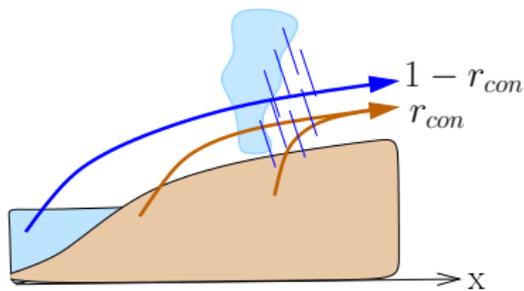
$$d \left(\frac{r_{con}}{1 - r_{con}} \right) / dx = \frac{d\delta_v/dx - d\delta_{voce}/dx}{\delta_p - \delta_v}$$

Estimation du recyclage continental?

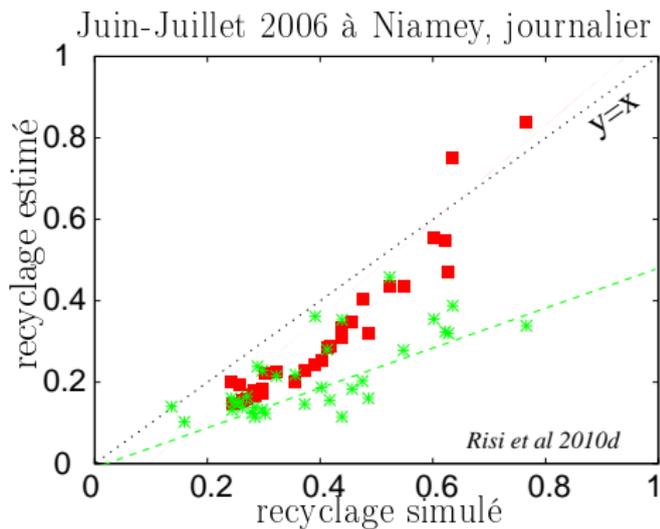


$$d \left(\frac{r_{con}}{1 - r_{con}} \right) / dx = \frac{d\delta_v/dx - d\delta_{voce}/dx}{\delta_p - \delta_v}$$

Estimation du recyclage continental?

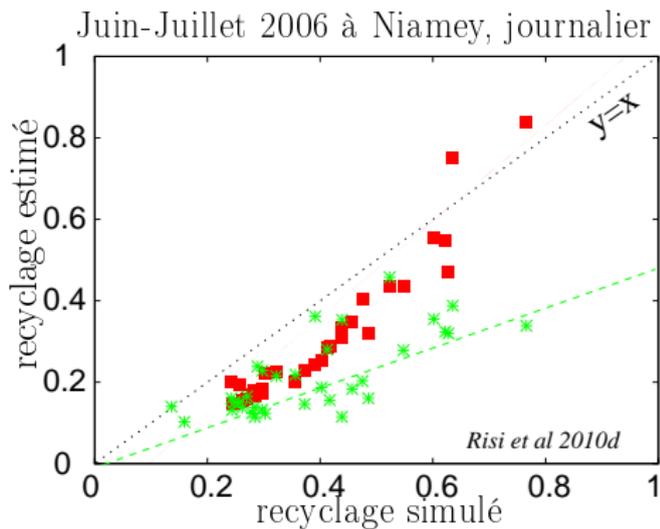
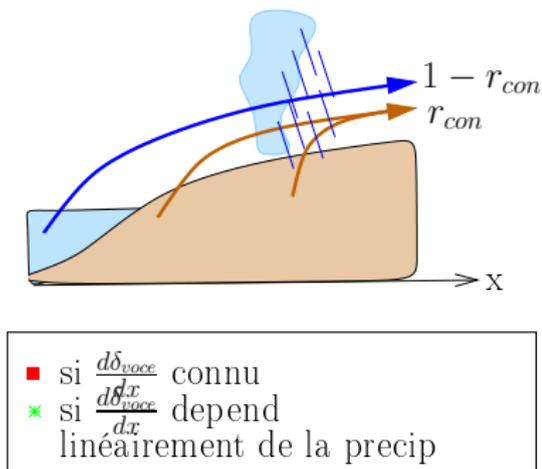


- si $\frac{d\delta_{voce}}{dx}$ connu
- * si $\frac{d\delta_v}{dx}$ depend linéairement de la precip



$$d \left(\frac{r_{con}}{1 - r_{con}} \right) / dx = \frac{d\delta_v/dx - d\delta_{voce}/dx}{\delta_p - \delta_v}$$

Estimation du recyclage continental?



$$d\left(\frac{r_{con}}{1-r_{con}}\right)/dx = \frac{d\delta_v/dx - d\delta_{voce}/dx}{\delta_p - \delta_v}$$

- Limitation pour utiliser des isotopes de l'eau pour interactions continents-atmosphère: compréhension des contrôles isotopiques atmosphériques

Résumé et perspectives sur l'hydrologie continentale

- ▶ Potentiel de la composition isotopique de l'eau
 1. eau du sol -> évaporation du sol nu dans le bilan de surface
 2. rivières -> processus de ruissellement et drainage
 3. vapeur -> recyclage continental

Résumé et perspectives sur l'hydrologie continentale

- ▶ Potentiel de la composition isotopique de l'eau
 1. eau du sol -> évaporation du sol nu dans le bilan de surface
 2. rivières -> processus de ruissellement et drainage
 3. vapeur -> recyclage continental
- ▶ Perspectives: exploiter ce potentiel
 - ▶ nouvelles données (extension des réseaux isotopiques, mesures vapeur)
 - ▶ tests avec ORCHIDEE, comparaison avec 2 autres modèles de surface continentale (LSM, CLM)

Résumé et perspectives sur l'hydrologie continentale

- ▶ Potentiel de la composition isotopique de l'eau
 1. eau du sol -> évaporation du sol nu dans le bilan de surface
 2. rivières -> processus de ruissellement et drainage
 3. vapeur -> recyclage continental
- ▶ Perspectives: exploiter ce potentiel
 - ▶ nouvelles données (extension des réseaux isotopiques, mesures vapeur)
 - ▶ tests avec ORCHIDEE, comparaison avec 2 autres modèles de surface continentale (LSM, CLM)
- ▶ Conséquences sur les changements hydrologiques futures?
 - ▶ en changement climatique?
 - ▶ réponse aux changements d'utilisation des sols, à l'irrigation?

Résumé et perspectives sur l'hydrologie continentale

- ▶ Potentiel de la composition isotopique de l'eau
 1. eau du sol -> évaporation du sol nu dans le bilan de surface
 2. rivières -> processus de ruissellement et drainage
 3. vapeur -> recyclage continental
- ▶ Perspectives: exploiter ce potentiel
 - ▶ nouvelles données (extension des réseaux isotopiques, mesures vapeur)
 - ▶ tests avec ORCHIDEE, comparaison avec 2 autres modèles de surface continentale (LSM, CLM)
- ▶ Conséquences sur les changements hydrologiques futures?
 - ▶ en changement climatique?
 - ▶ réponse aux changements d'utilisation des sols, à l'irrigation?
- ▶ compréhension globale des contrôles isotopiques atmosphériques et continentaux nécessaire