

Une nouvelle formulation de la “force de l’inversion” dans le modèle IFS

*... pour l’entraînement en sommet de la couche limite et
pour le contrôle des régimes strato-cumulus versus cumulus.*

Par : **Pascal Marquet** (Météo-France / DESR / CNRM / GMAP)
et **Peter Bechtold** (ECMWF / Research Department / Convection)

AMA Toulouse / ~~9 mars 2020~~ : 8 mars 2021



EUROPEAN CENTRE FOR MEDIUM-RANGE WEATHER FORECASTS

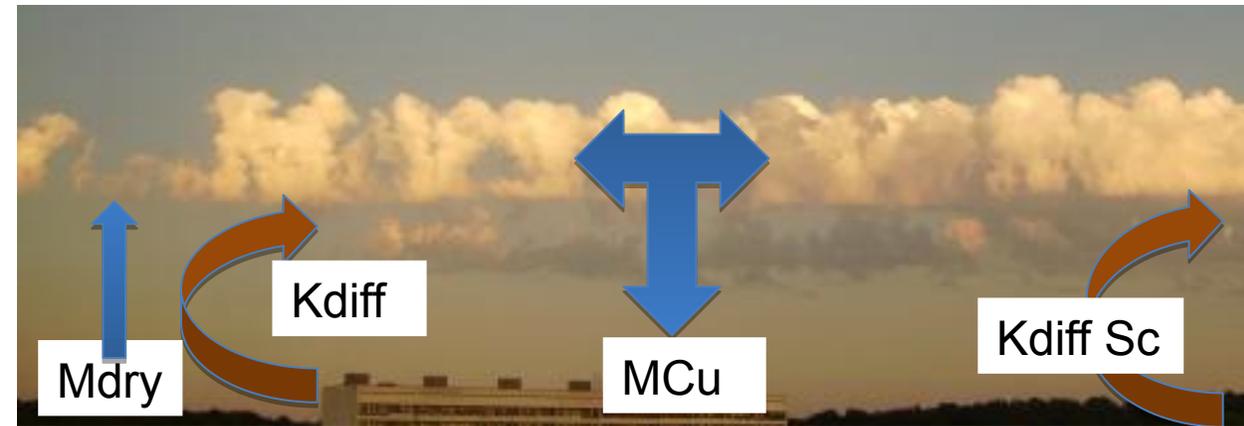


Introduction / Plan de l'exposé

- 1) C'est quoi l'EIS ? Pourquoi vouloir la modifier dans le modèle IFS du CEPMMT ?
- 2) Un nouvel EIS basé sur l'entropie de l'air humide
- 3) Conclusions / perspectives

Révision de la couche limite convective dans l'IFS: pourquoi a-t-on besoin de distinguer entre Cu et Sc ?

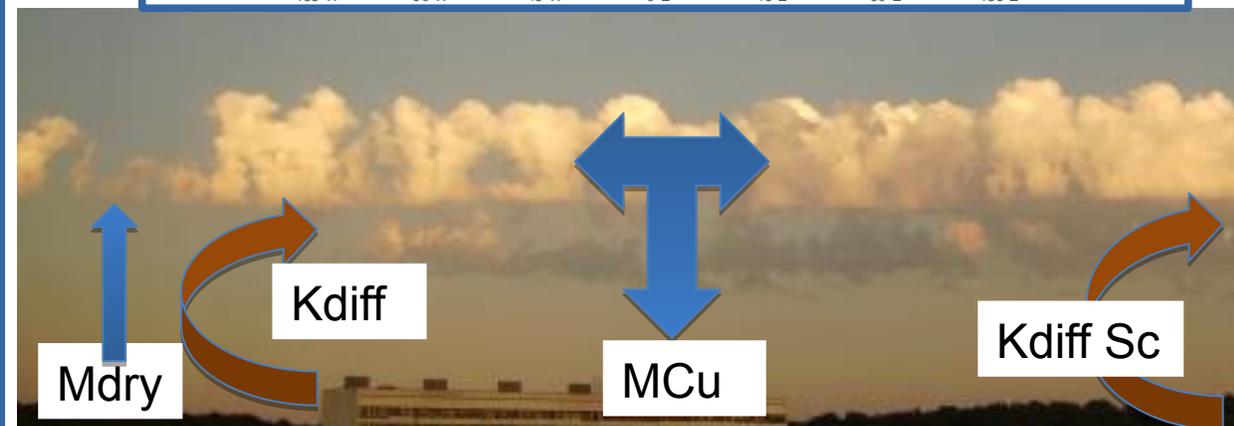
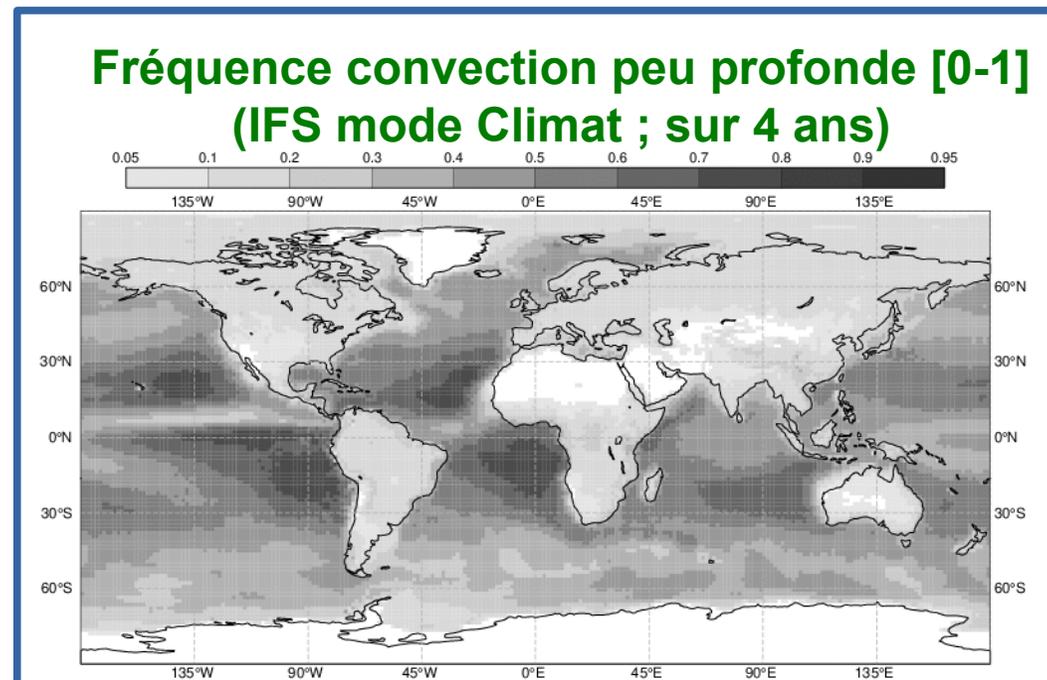
- Le nouveau schéma était prévu pour être opérationnel dans le cycle 48r1 (Bologne en 2021)
- Présence à la fois de la **convection peu profonde** (flux de masse) et du **schéma de turbulence** pour les transports verticaux du type « diffusifs » dans la couche limite



Révision de la couche limite convective dans l'IFS: pourquoi a-t-on besoin de distinguer entre Cu et Sc ?

- Le nouveau schéma était prévu pour être opérationnel dans le cycle 48r1 (Bologne en 2021)
- Présence à la fois de la **convection peu profonde** (flux de masse) et du **schéma de turbulence** pour les transports verticaux du type « diffusifs » dans la couche limite

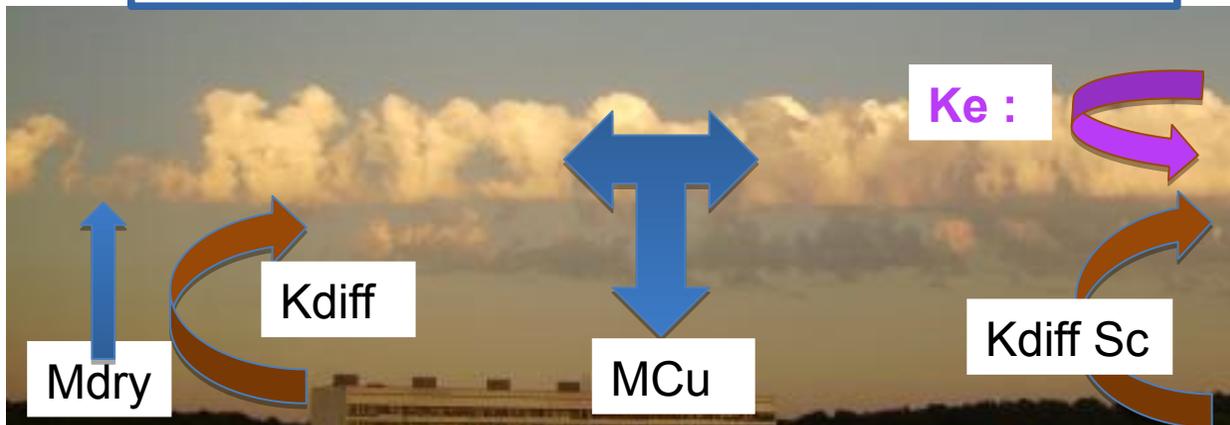
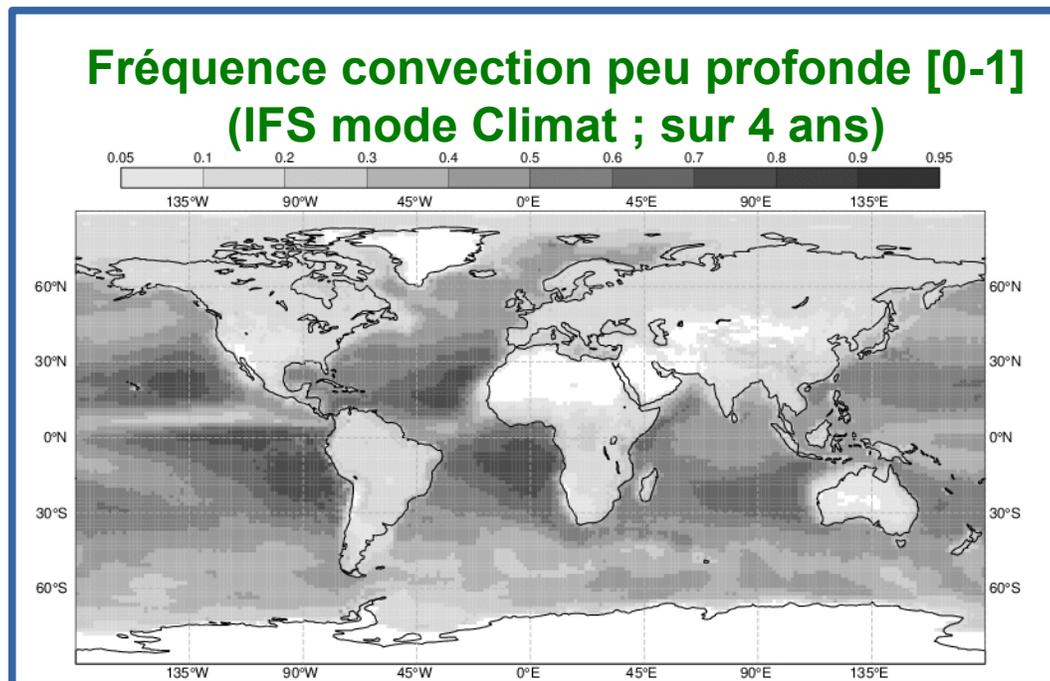
• **Ceci marche assez bien dans IFS**



Révision de la couche limite convective dans l'IFS: pourquoi a-t-on besoin de distinguer entre Cu et Sc ?

- Le nouveau schéma était prévu pour être opérationnel dans le cycle 48r1 (Bologne en 2021)
- Présence à la fois de la **convection peu profonde** (flux de masse) et du **schéma de turbulence** pour les transports verticaux du type « diffusifs » dans la couche limite

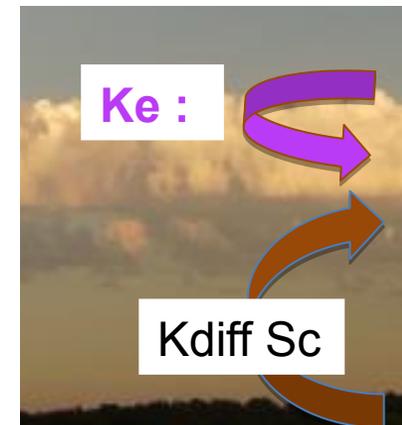
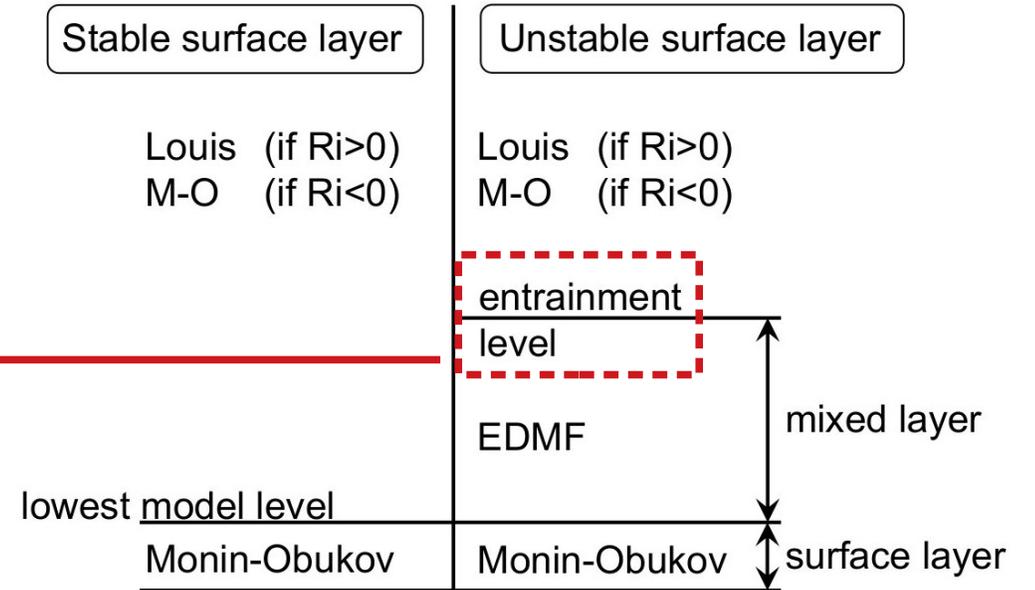
- **Ceci marche assez bien dans IFS**, sauf pour les Sc où il faut étendre le mélange turbulent jusqu'au sommet du nuage (**entraînement**) + réduire empiriquement l'érosion dans le schéma pronostique de nuage : **besoin de distinguer les régions avec Sc ou Cu à l'aide de la « force de l'inversion » = EIS (Estimated Inversion Strength)**



Révision de la couche limite convective dans l'IFS: pourquoi a-t-on besoin de distinguer entre Cu et Sc ?

EIS = "Estimated Inversion Strength"

EIS > 7 ⇒ CL bien mélangée avec Sc au sommet et avec "Shallow" désactivée + une **cascade d'actions spéciales** (Lock, 1998, 2000)

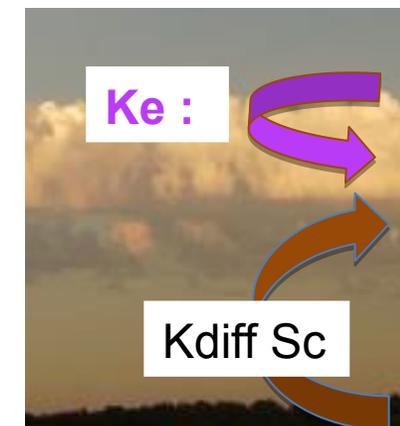
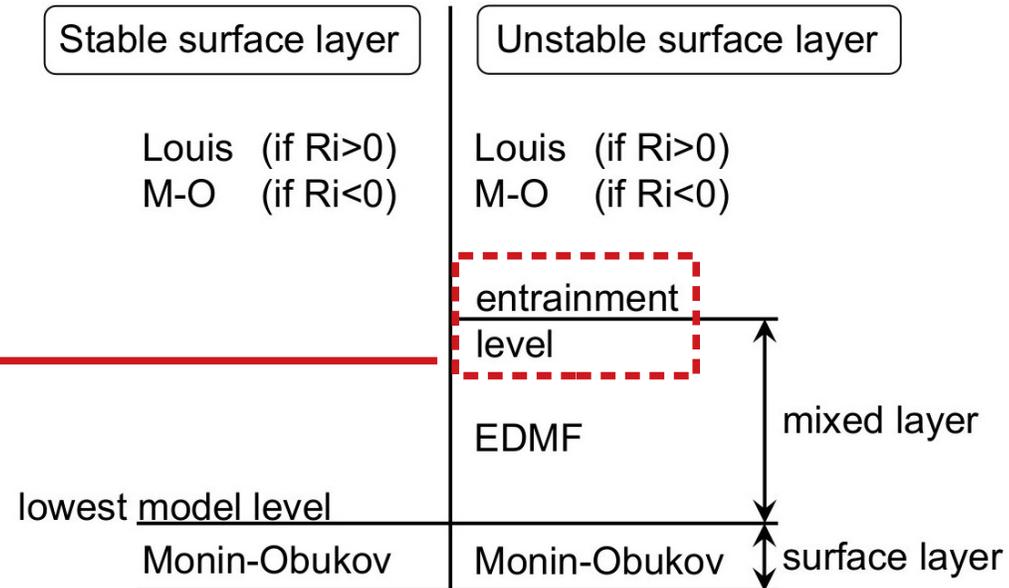


Révision de la couche limite convective dans l'IFS: pourquoi a-t-on besoin de distinguer entre Cu et Sc ?

EIS = "Estimated Inversion Strength"

EIS > 7 ⇒ CL bien mélangée avec Sc au sommet et avec "Shallow" désactivée + une **cascade d'actions spéciales** (Lock, 1998, 2000)

$$\text{sommet CL: } K_H = \max(K_H^{\text{sfc}} + K_H^{\text{top}}, K_H^{\text{e}})$$



Révision de la couche limite convective dans l'IFS: pourquoi a-t-on besoin de distinguer entre Cu et Sc ?

EIS = "Estimated Inversion Strength"

EIS > 7 ⇒ CL bien mélangée avec Sc au sommet et avec "Shallow" désactivée + une **cascade d'actions spéciales** (Lock, 1998, 2000)

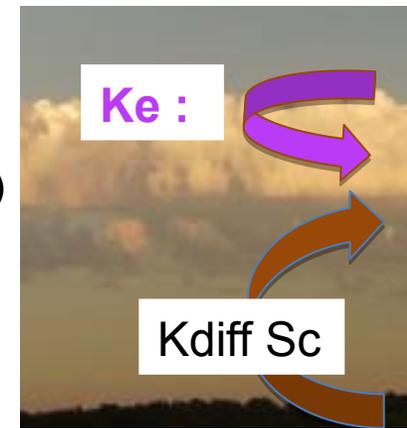
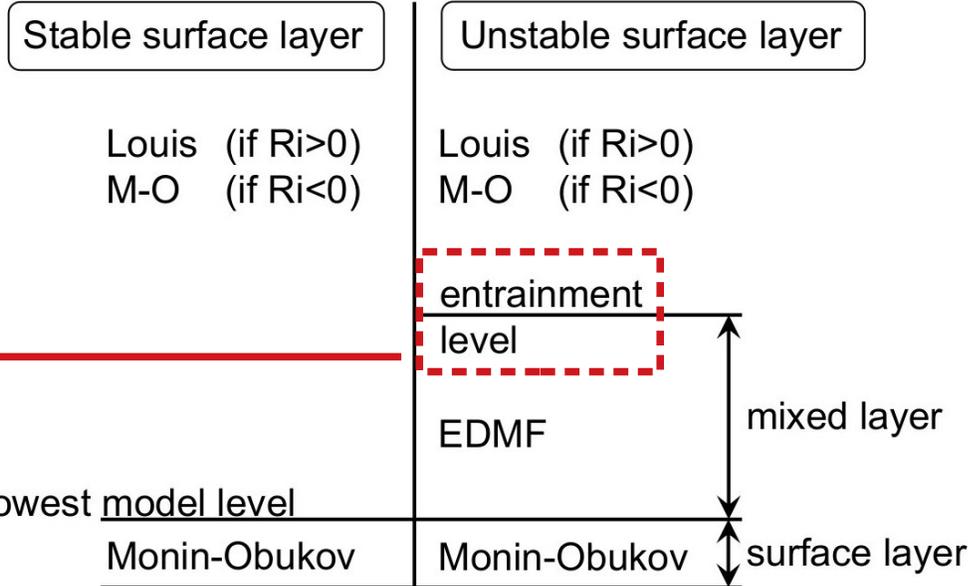
(Troen Mahrt, Holtslag, Monin-Obukhov)

sommet CL : $K_H = \max(K_H^{sfc} + K_H^{top}, K_H^e)$

$$K_H^{top} = 0.85 \kappa v_{cld} \frac{(z - z_{mb})^2}{z_i - z_{mb}} \left(1 - \frac{z - z_{mb}}{z_i - z_{mb}} \right)^{1/2}$$

$$v_{cld}^3 = v_{rad}^3 + v_{br}^3 \text{ (buoyancy reversal)}$$

$$v_{rad}^3 = \frac{g}{\theta_0} z_i \Delta R / (\rho c_p)$$



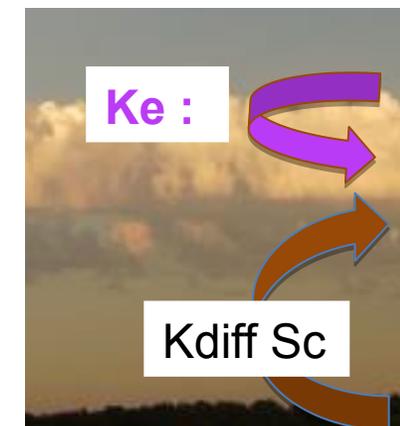
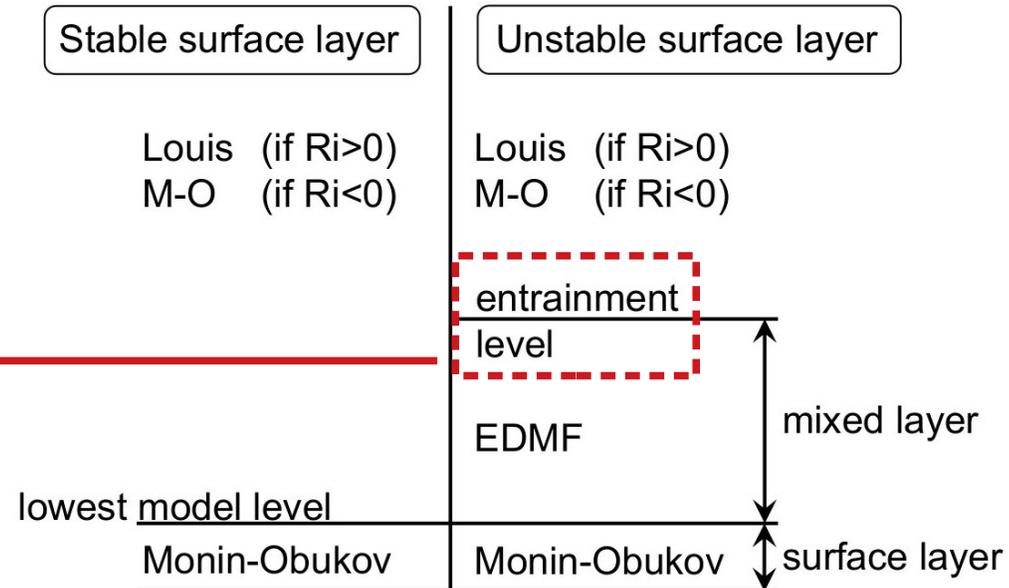
Révision de la couche limite convective dans l'IFS: pourquoi a-t-on besoin de distinguer entre Cu et Sc ?

EIS = "Estimated Inversion Strength"

EIS > 7 ⇒ CL bien mélangée avec Sc au sommet et avec "Shallow" désactivée + une **cascade d'actions spéciales** (Lock, 1998, 2000)

sommet CL : $K_H = \max(K_H^{sfc} + K_H^{top}, K_H^e)$

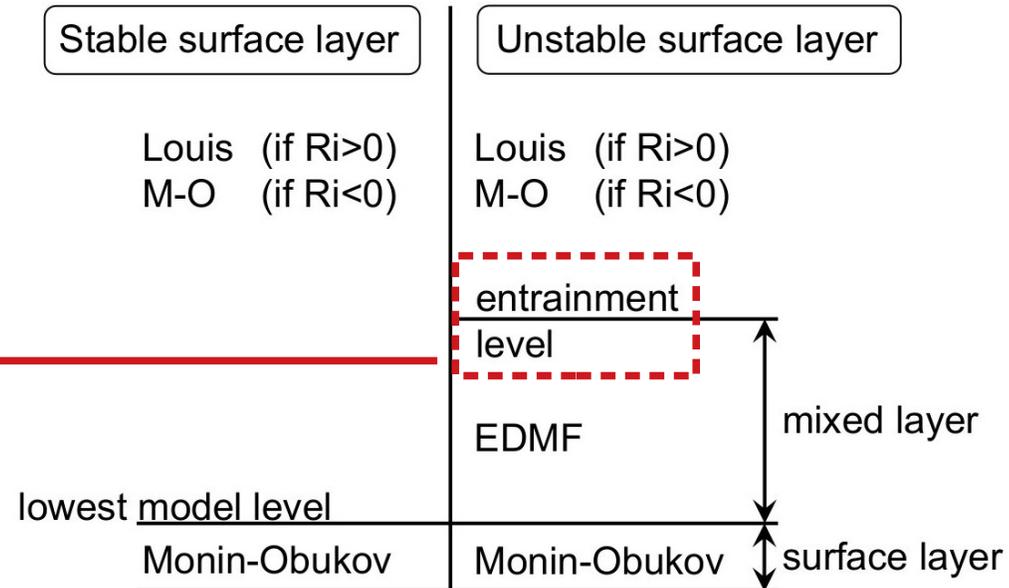
$$\overline{w'\theta'_v}^{entr} = -0.2\overline{w'\theta'_v}^s - 0.2\Delta R/(\rho c_p) = -K_H^e \frac{\partial\theta_v}{\partial z}$$



Révision de la couche limite convective dans l'IFS: pourquoi a-t-on besoin de distinguer entre Cu et Sc ?

EIS = "Estimated Inversion Strength"

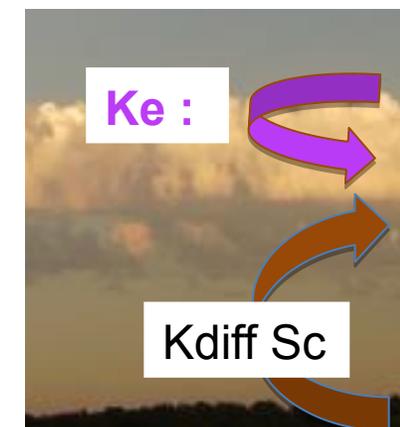
EIS > 7 ⇒ CL bien mélangée avec Sc au sommet et avec "Shallow" désactivée + une **cascade d'actions spéciales** (Lock, 1998, 2000)



sommet CL: $K_H = \max(K_H^{\text{sfc}} + K_H^{\text{top}}, K_H^e)$

$$\overline{w'\theta'_v}^{\text{entr}} = -0.2\overline{w'\theta'_v}^{\text{s}} - 0.2\Delta R/(\rho c_p) = -K_H^e \frac{\partial\theta_v}{\partial z}$$

EIS > 7 ⇒ mais c'est quoi au juste l'EIS ?



En quoi le paramètre EIS est-il « compliqué » ?

Klein and Hartmann (1993)

$$LTS = \theta_{700} - \theta_0$$

→ LTS = Lower Tropospheric Stability

→ une simple différence de θ entre le sol et 700 hPa !

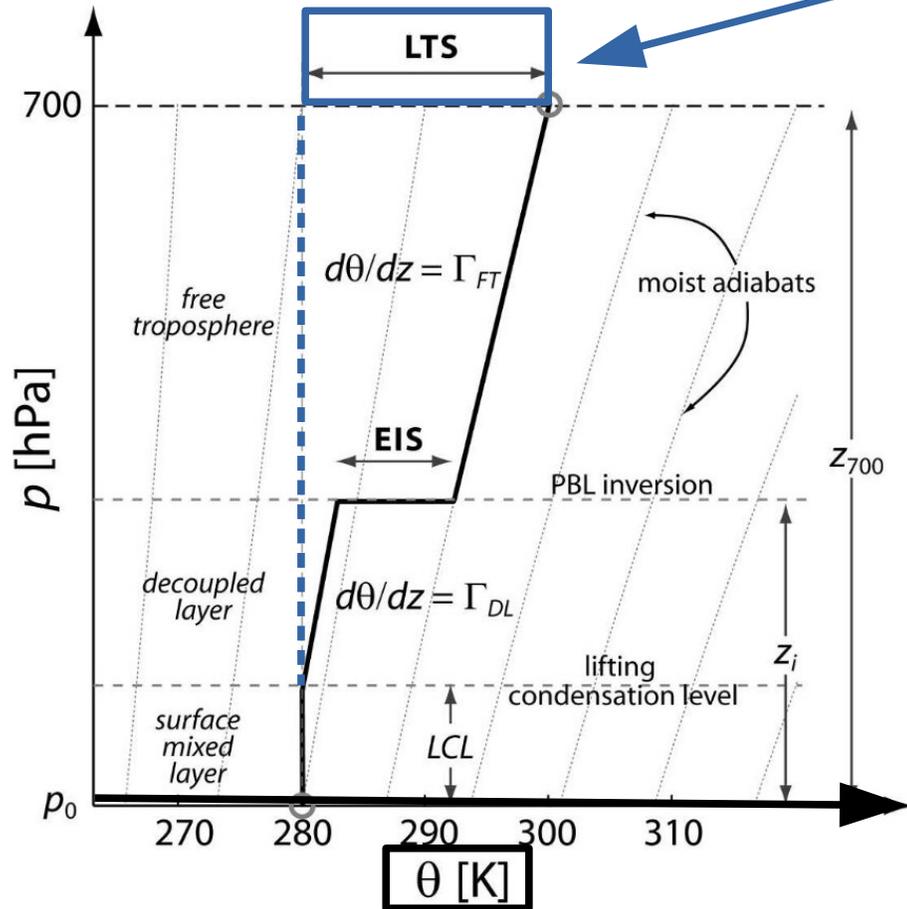


FIG. 1. Idealized profile (thick solid line) of lower-tropospheric structure during periods of undisturbed flow. Moist adiabats are shown as light dotted lines.

En quoi le paramètre EIS est-il « compliqué » ?

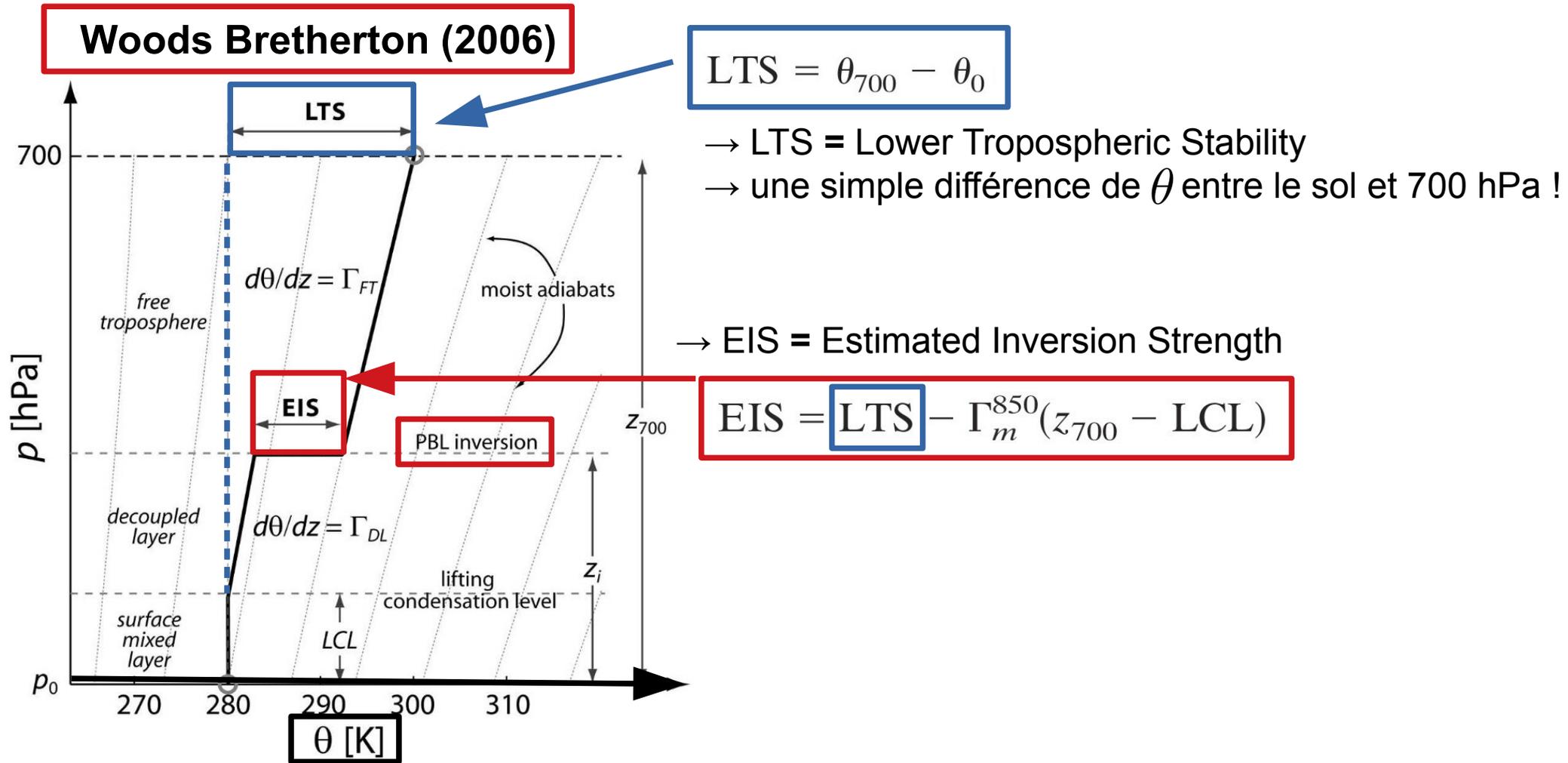


FIG. 1. Idealized profile (thick solid line) of lower-tropospheric structure during periods of undisturbed flow. Moist adiabats are shown as light dotted lines.

En quoi le paramètre EIS est-il « compliqué » ?

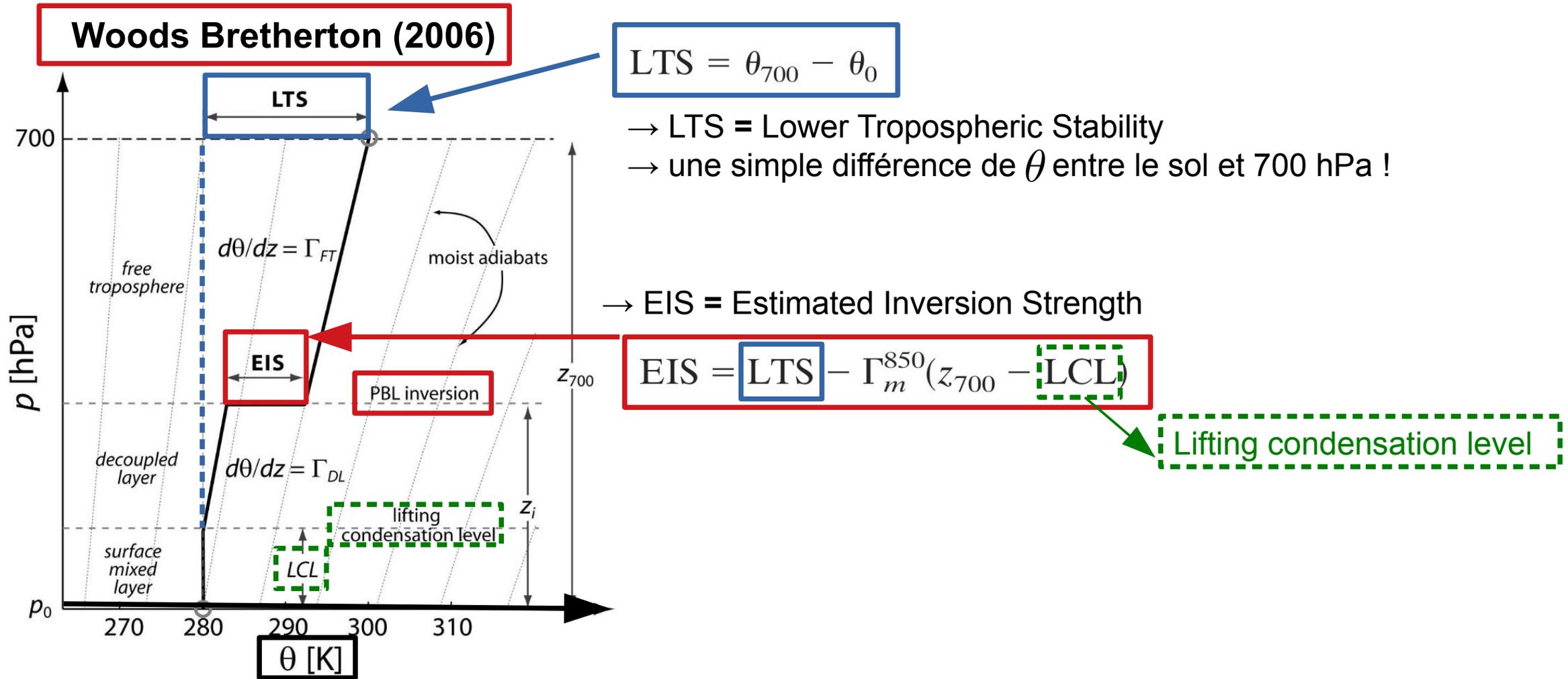


FIG. 1. Idealized profile (thick solid line) of lower-tropospheric structure during periods of undisturbed flow. Moist adiabats are shown as light dotted lines.

En quoi le paramètre EIS est-il « compliqué » ?

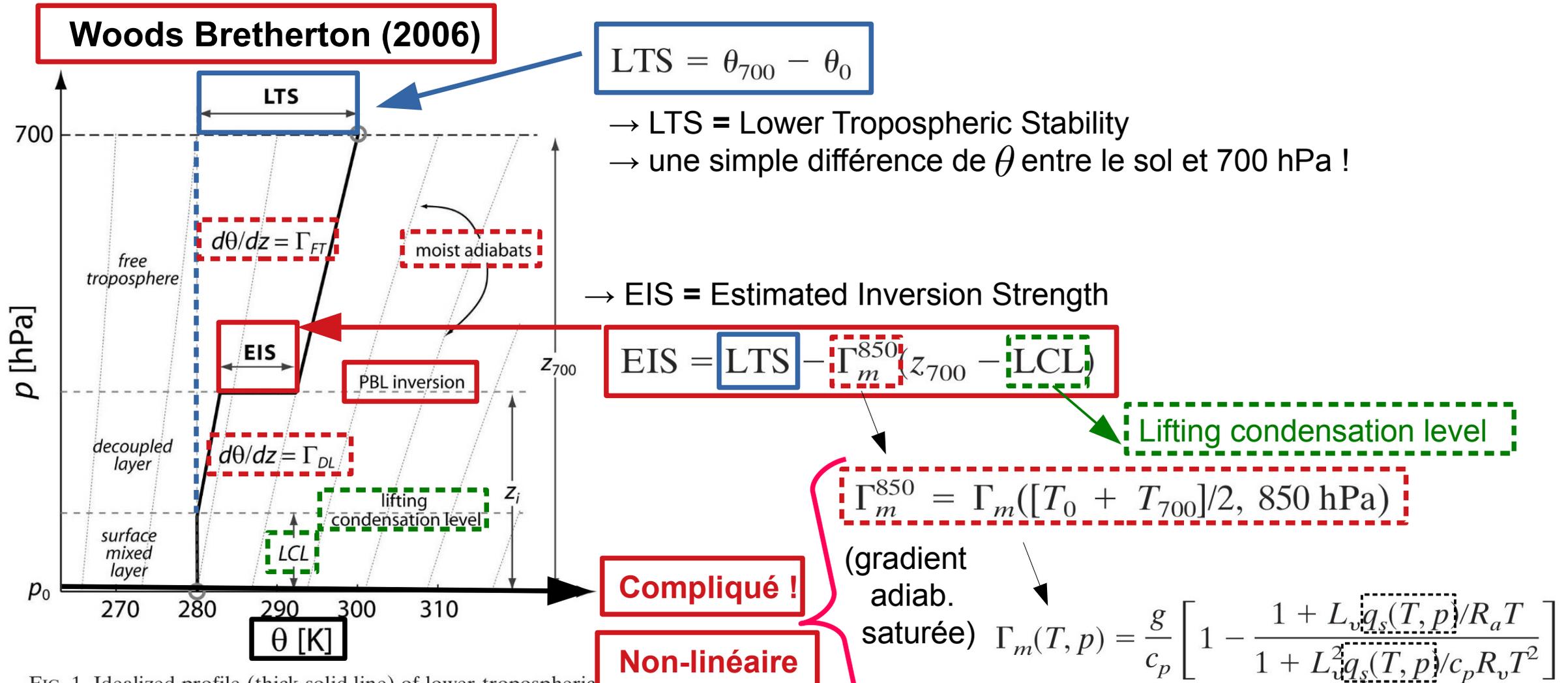
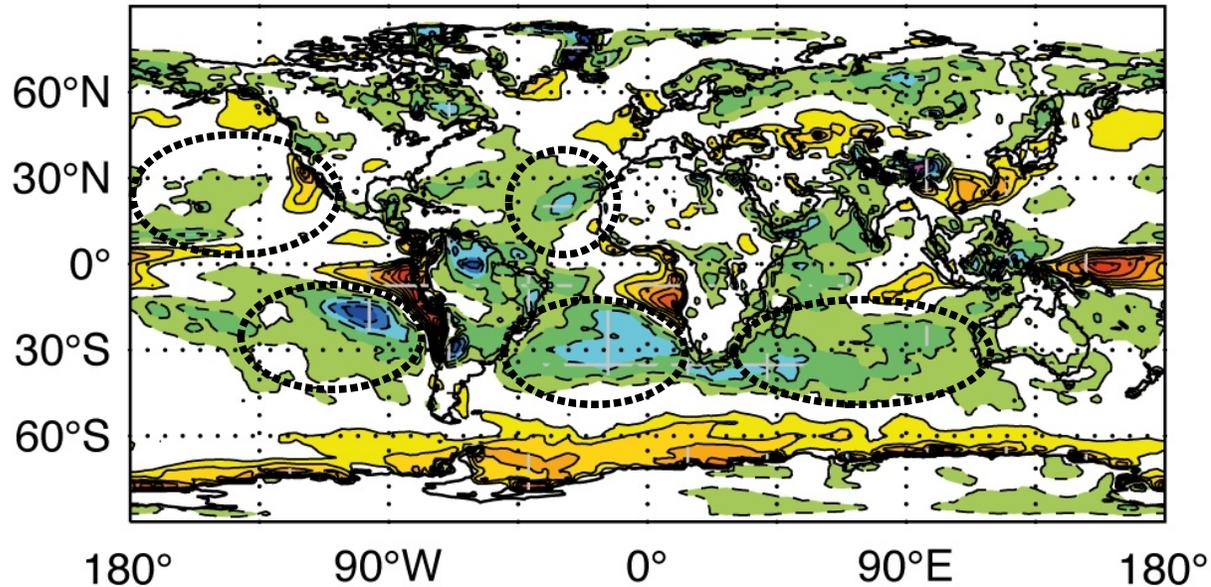


FIG. 1. Idealized profile (thick solid line) of lower-tropospheric structure during periods of undisturbed flow. Moist adiabats are shown as light dotted lines.

Exemple de la sensibilité du schéma à la variation du paramètre EIS

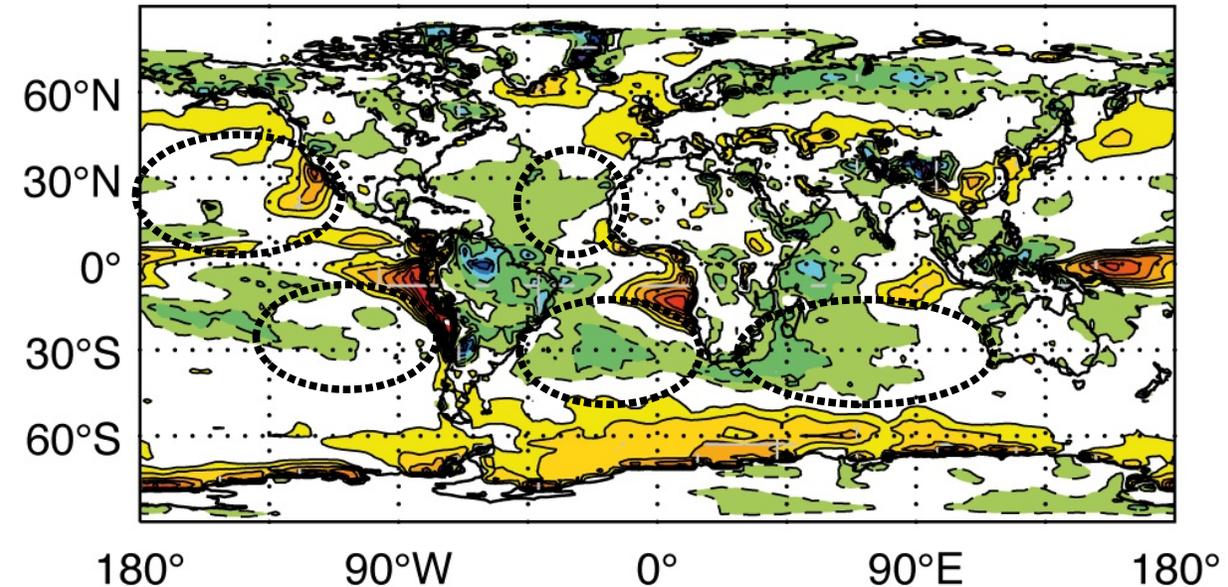
Différence du rayonnement SWnet au sommet de l'atmosphère pour le modèle IFS en mode climat (4 ans) et les observations CERES-EBAF

c SWnet physics update-1 - CERES-EBAF rms 9.08



EIS > 8

d SWnet physics update-2 - CERES-EBAF rms 8.54



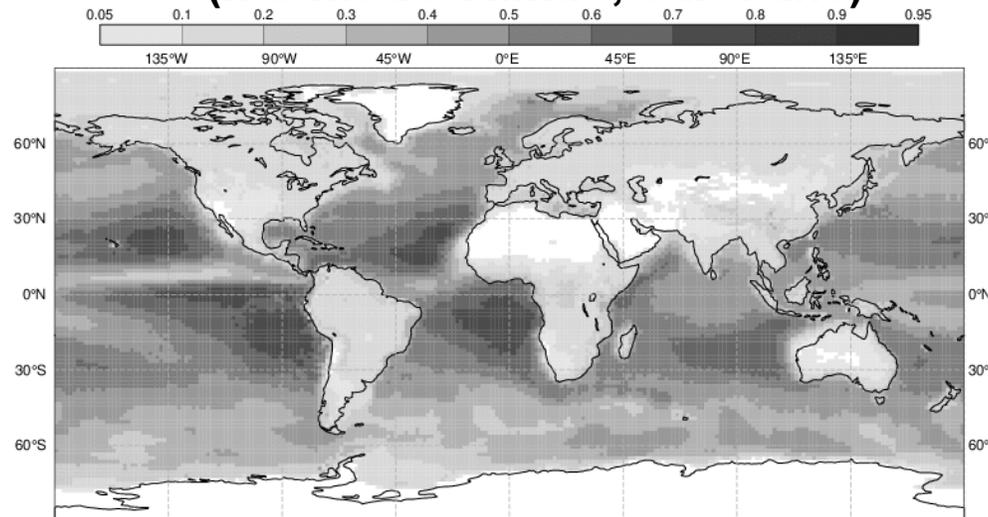
EIS > 10

→ pas de réglages « universel » pour le seuil de l'EIS...

Révision de la couche limite convective dans l'IFS: pourquoi a-t-on besoin de distinguer entre Cu et Sc ?

- Le nouveau schéma était prévu pour être opérationnel dans le cycle 48r1 (Bologne en 2021)

Fréquence convection peu profonde [0-1] (IFS mode Climat ; sur 4 ans)



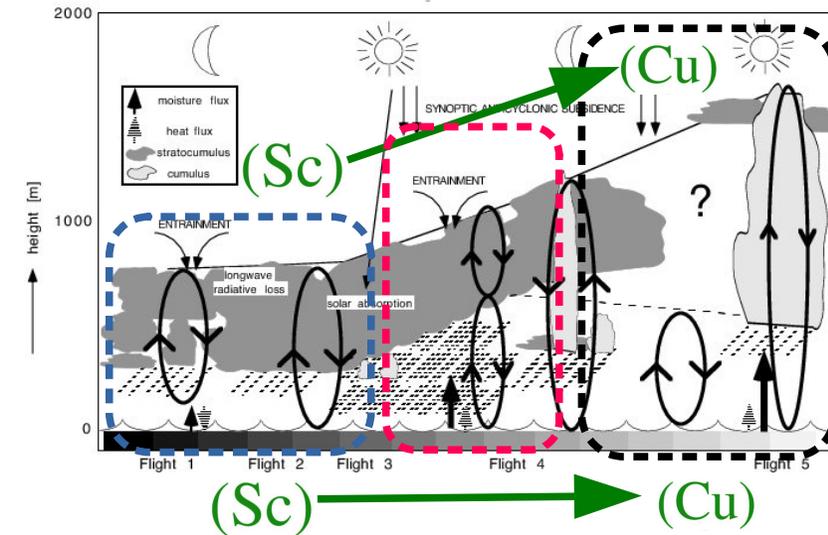
→ donc, pour mieux identifier les Sc et pour avoir une formulation numérique plus simple que l'EIS pour la physique linéarisée : **une envie de Peter d'utiliser l'entropie humide** (Marquet, 2011)



Plan de l'exposé

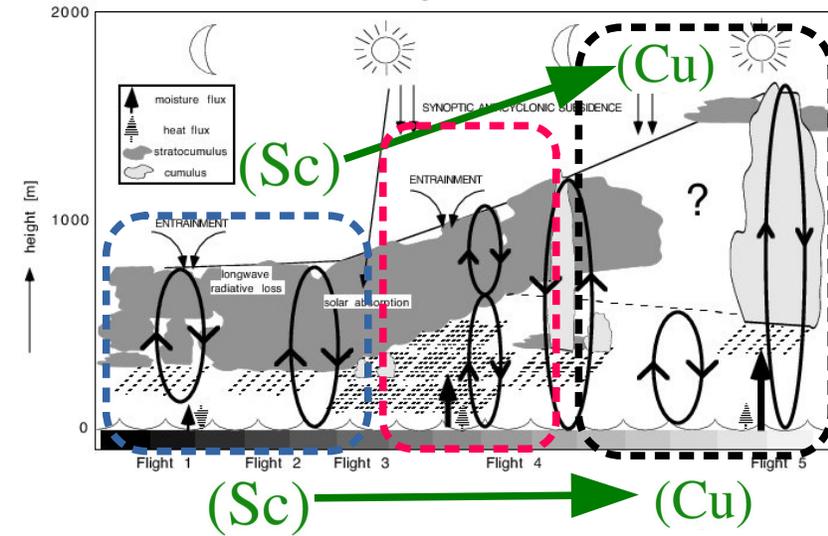
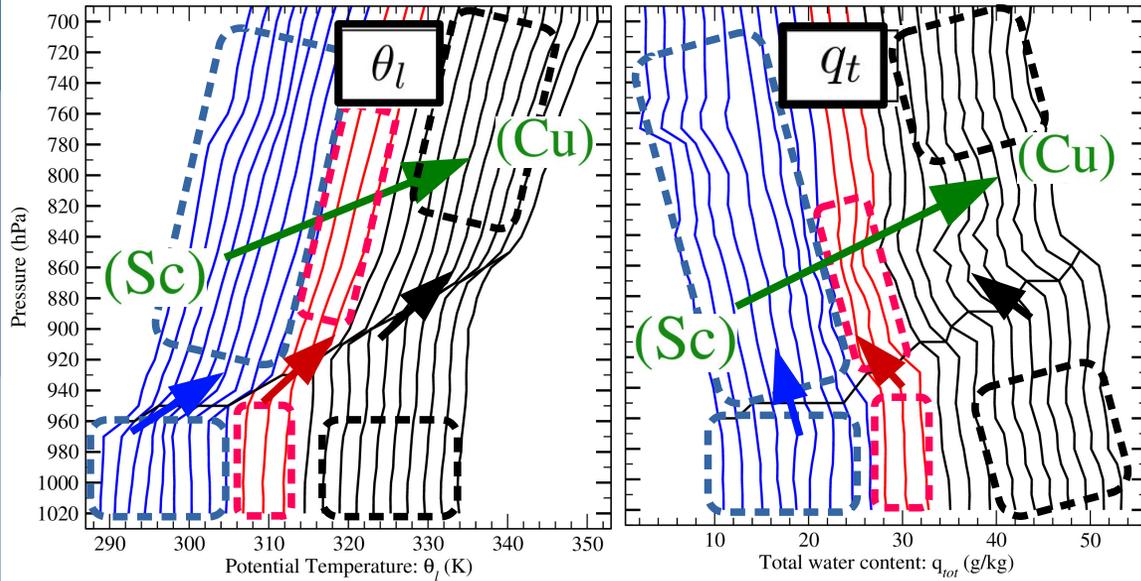
- 1) C'est quoi l'EIS ? Pourquoi vouloir la modifier dans le modèle IFS du CEPMMT ?
- 2) **Un nouvel EIS basé sur l'entropie de l'air humide**
- 3) Conclusions / perspectives

Un nouvel "EIS" : aussi simple que le "LTS", mais davantage pertinent ?



RS de ASTEX-Lag1 (Bretherton-Pincus)

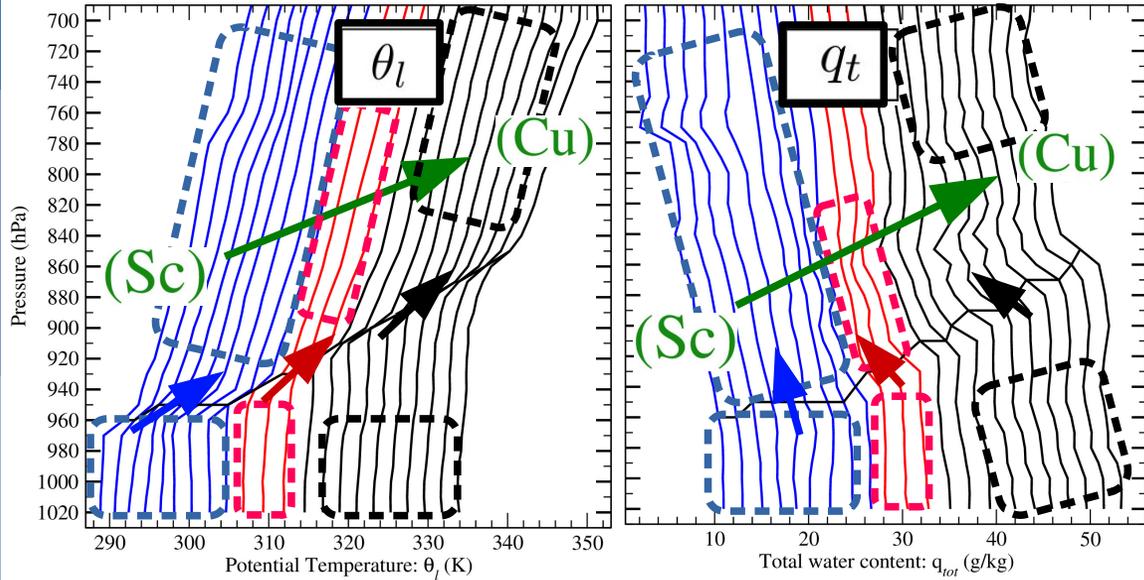
Un nouvel "EIS" : aussi simple que le "LTS", mais davantage pertinent ?



RS de ASTEX-Lag1 (Bretherton-Pincus)

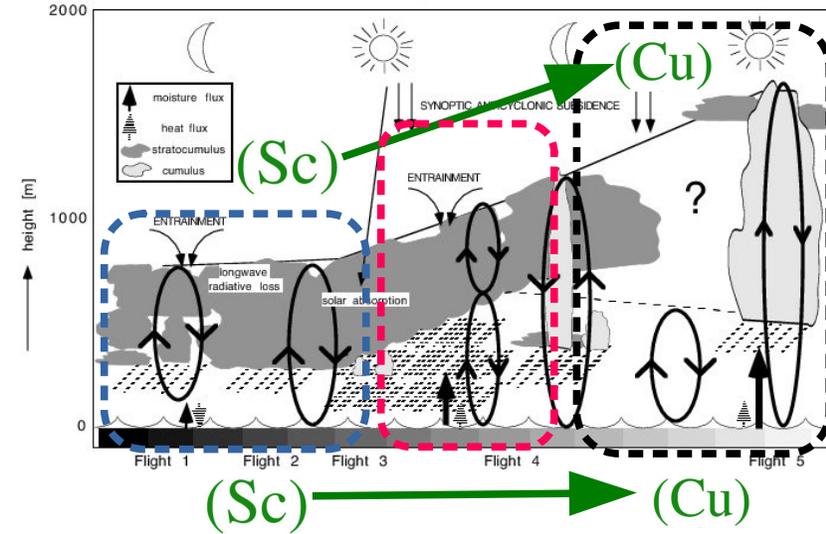
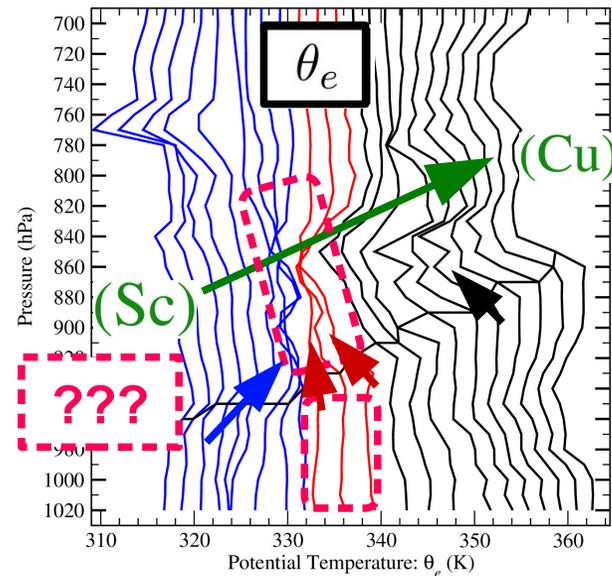
- Utilisation des 2 variables θ_l et/ou q_t pour étudier les **transitions**
- Stratocumulus** → **Cumulus ?**

Un nouvel "EIS" : aussi simple que le "LTS", mais davantage pertinent ?

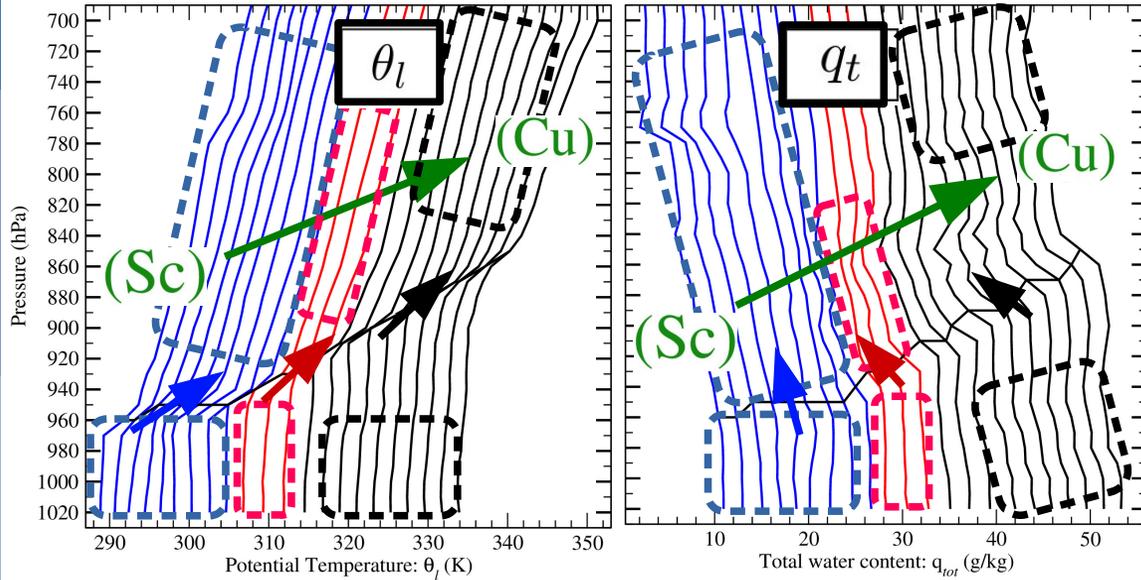


RS de ASTEX-Lag1 (Bretherton-Pincus)

→ ... utilisation malaisée des 2 variables θ_l ou θ_e pour étudier les **transitions Stratocumulus → Cumulus** ...



Un nouvel "EIS" : aussi simple que le "LTS", mais davantage pertinent ?



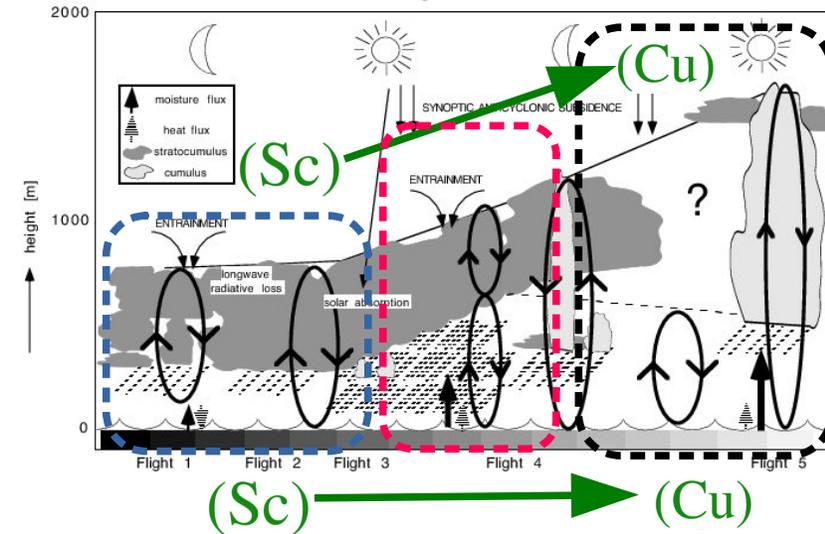
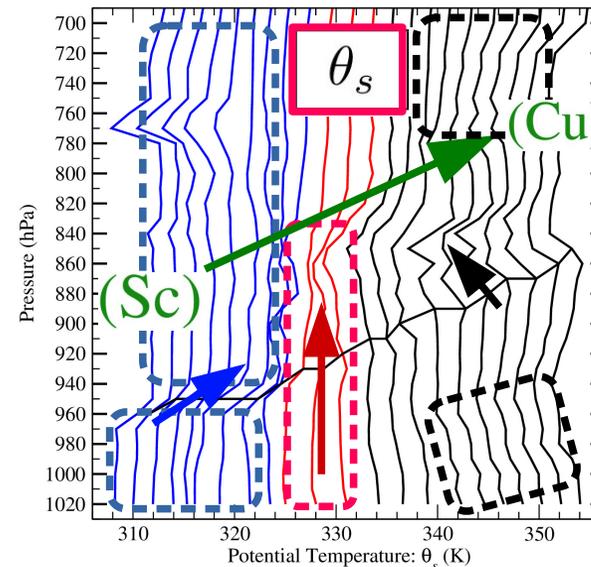
RS de ASTEX-Lag1 (Bretherton-Pincus)

$$\theta_s \approx \theta_l \exp(5.87 q_t)$$

→ Entropie θ_s intéressante car constante sur la verticale à la **transition**

Stratocumulus → **Cumulus**

→ différenciation aisée des régimes via les sauts en θ_s : **>0** ou **=0** ou **<0**



Un nouvel "EIS" : aussi simple que le "LTS", mais davantage pertinent ?

La nouvelle variable "entropic MSE" de Peter :

$$S(K) = \frac{S_m}{c_{pd}} \approx (1 + 5.87 q_t) T - \frac{L_v q_l + L_s q_i}{c_{pd}} + \frac{\phi}{c_{pd}}$$

→ similaire à Marquet (2011) : $\theta_s \approx \theta_l \exp(5.87 q_t)$
(sous sa forme « MSE »)

Un nouvel "EIS" : aussi simple que le "LTS", mais davantage pertinent ?

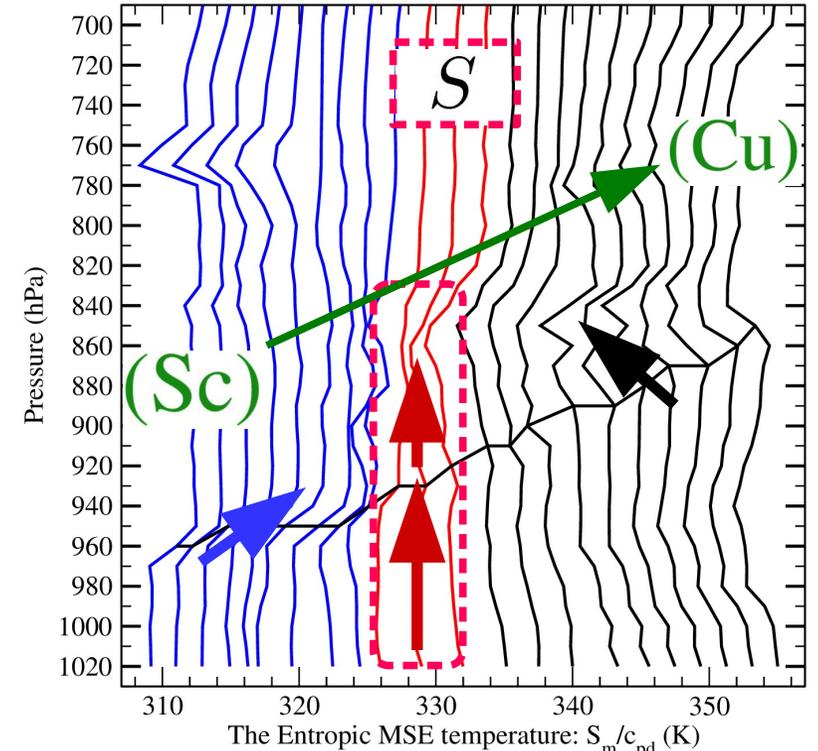
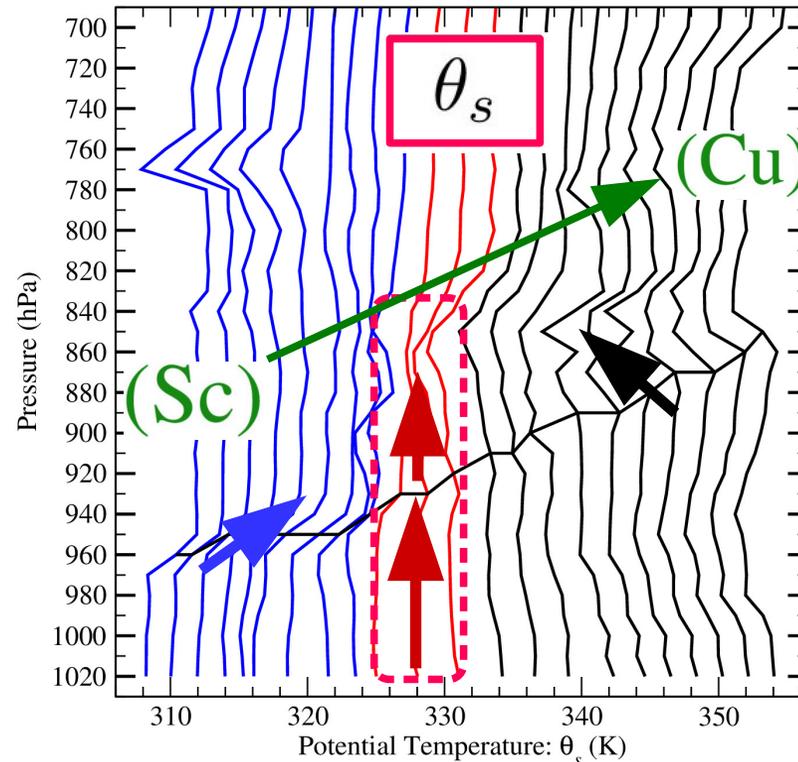
La nouvelle variable "entropic MSE" de Peter :

$$S(K) = \frac{S_m}{c_{pd}} \approx (1 + 5.87 q_t) T - \frac{L_v q_l + L_s q_i}{c_{pd}} + \frac{\phi}{c_{pd}}$$

→ similaire à Marquet (2011) : $\theta_s \approx \theta_l \exp(5.87 q_t)$
 (sous sa forme « MSE »)

RS de ASTEX-Lag1 (Bretherton-Pincus)

→ l'entropie θ_s et S sont effectivement très similaires, et **constante sur la verticale** à la **transition** Stratocumulus → Cumulus



Un nouvel "EIS" : aussi simple que le "LTS", mais davantage pertinent ?

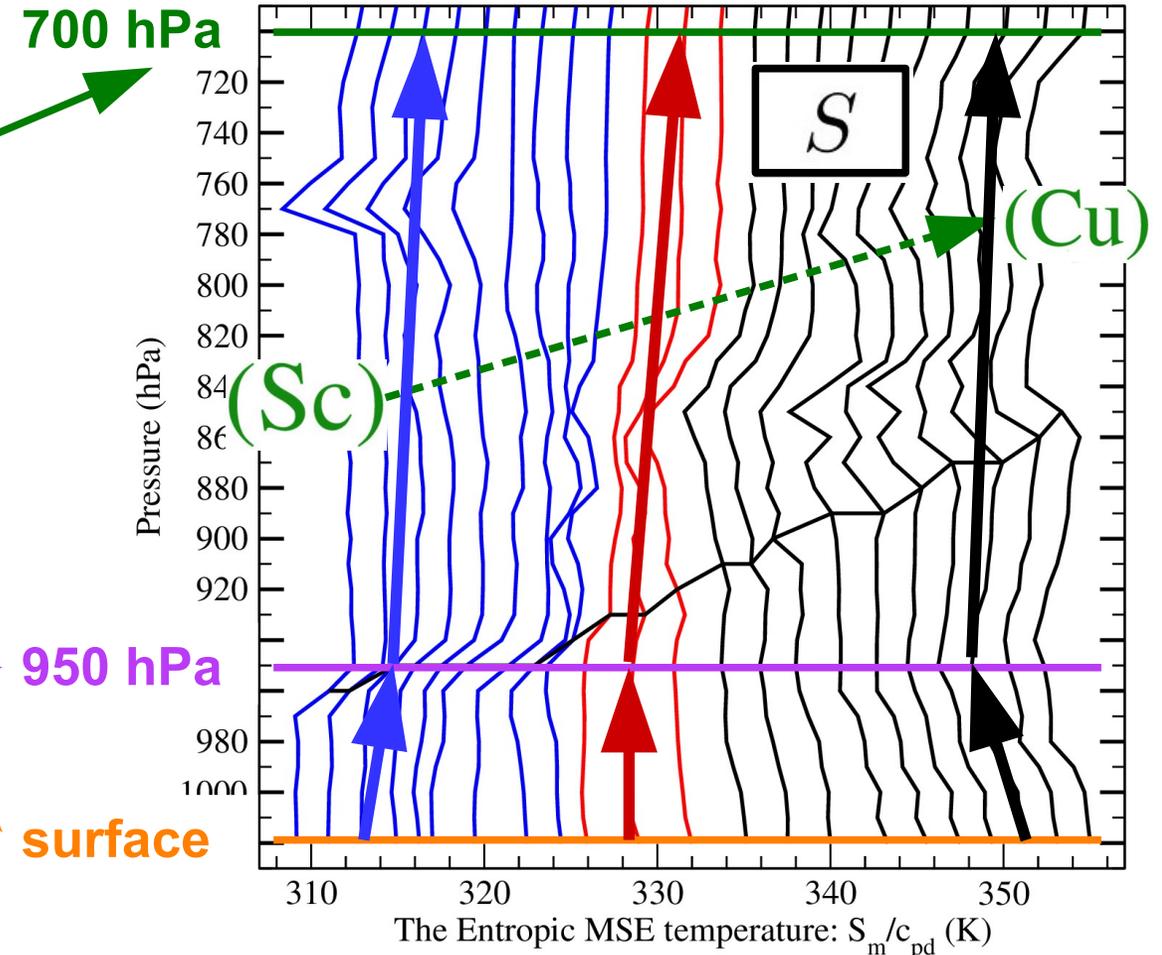
La nouvelle variable "entropic MSE" de Peter :

$$S(K) = \frac{S_m}{c_{pd}} \approx (1 + 5.87 q_t) T - \frac{L_v q_l + L_s q_i}{c_{pd}} + \frac{\phi}{c_{pd}}$$

Le nouvel indice :

$$\text{EIS} = \text{Max}(S_{700} - S_{950} ; S_{950} - S_{\text{surf}})$$

RS de ASTEX-Lag1 (Bretherton-Pincus)



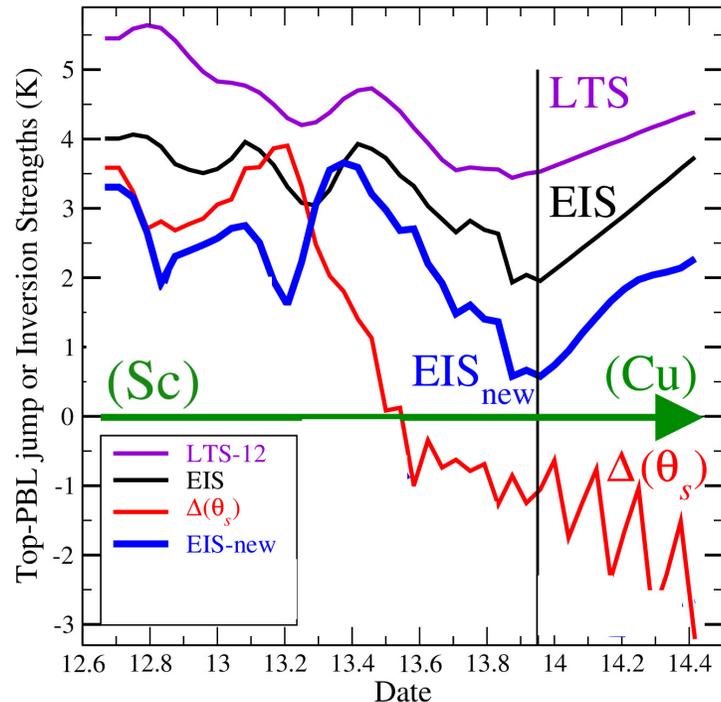
Un nouvel "EIS" : aussi simple que le "LTS", mais davantage pertinent ?

La nouvelle variable "entropic MSE" de Peter :

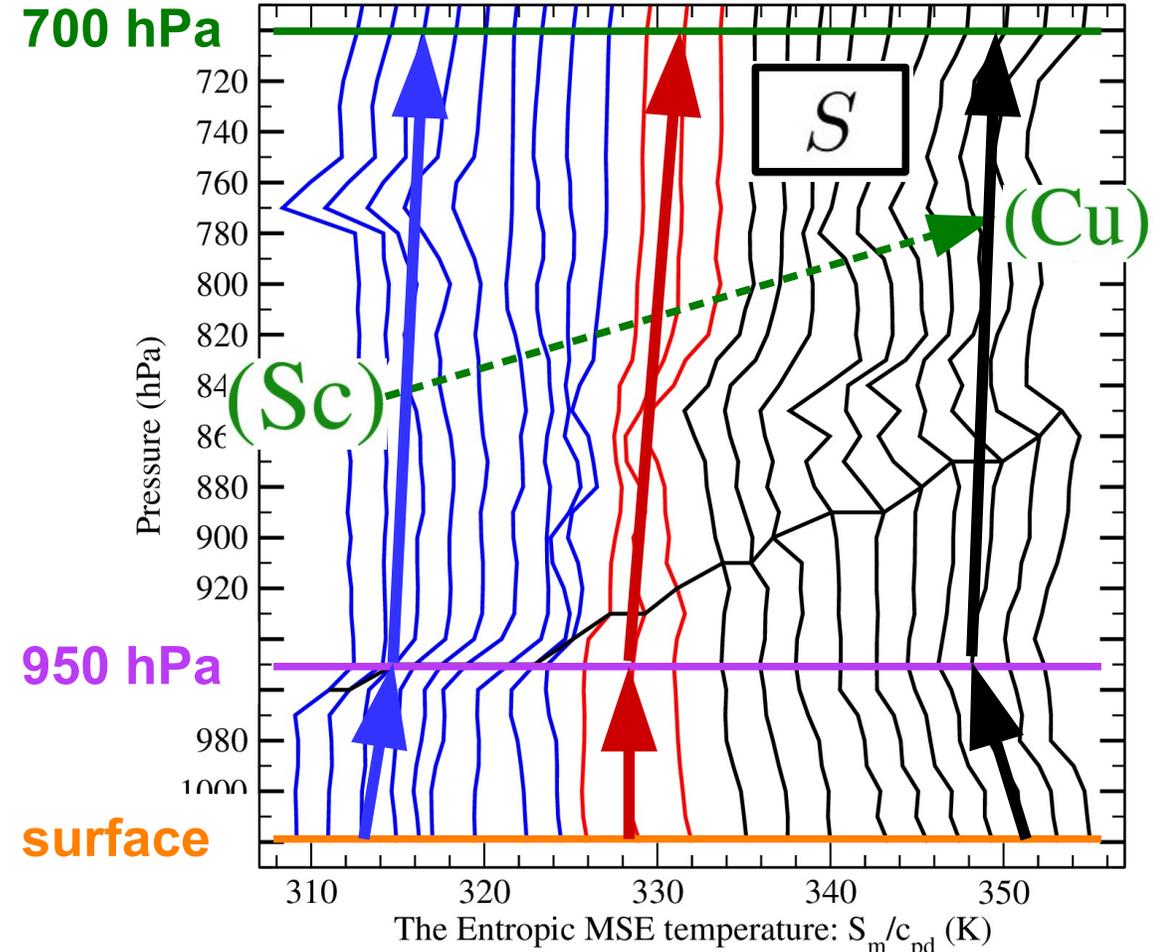
$$S(K) = \frac{S_m}{c_{pd}} \approx (1 + 5.87 q_t) T - \frac{L_v q_l + L_s q_i}{c_{pd}} + \frac{\phi}{c_{pd}}$$

Le nouvel indice :

$$\text{EIS} = \text{Max}(S_{700} - S_{950} ; S_{950} - S_{\text{surf}})$$

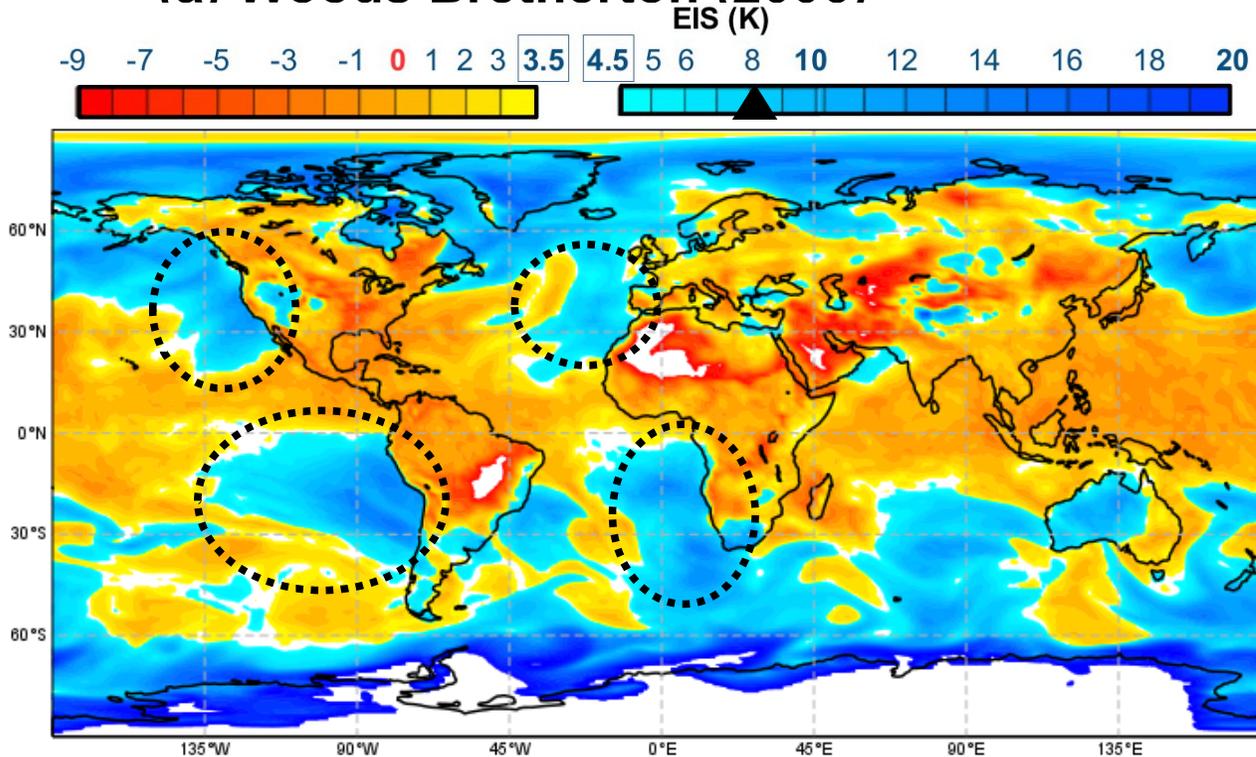


RS de ASTEX-Lag1 (Bretherton-Pincus)



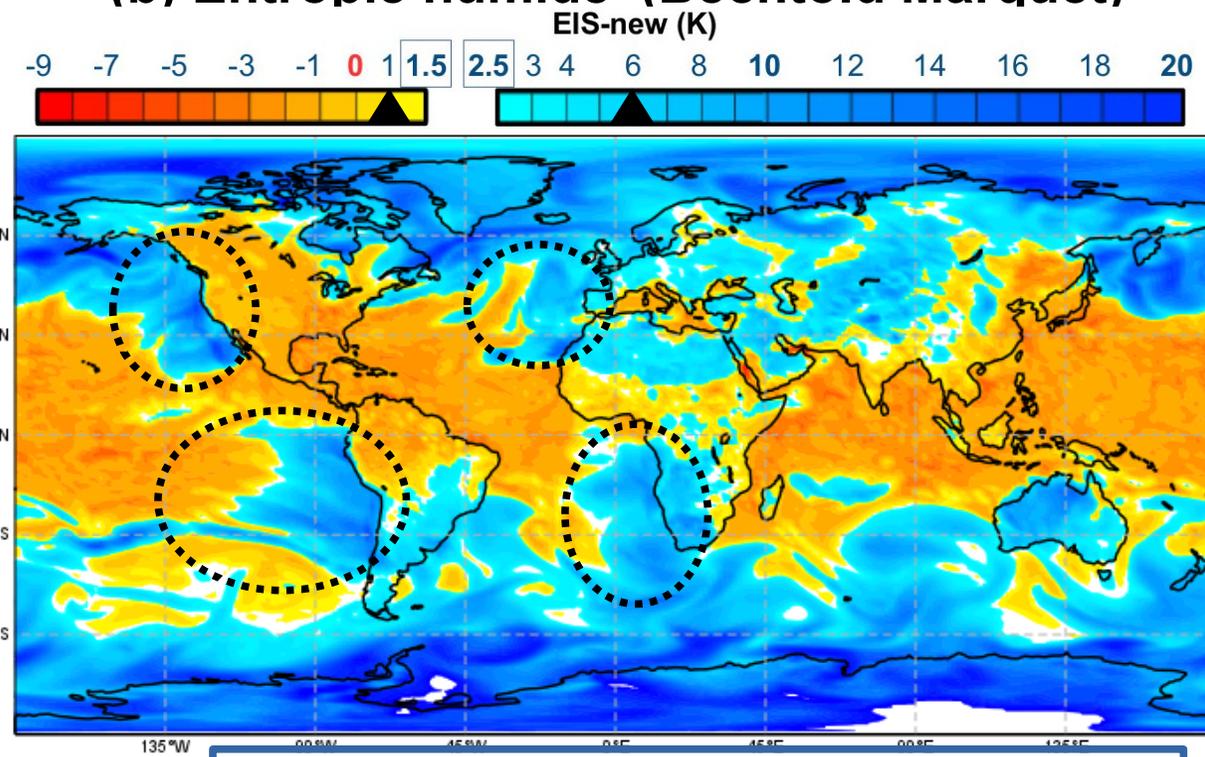
Comparaison de l'intensité de l'inversion (en K, moyenne sur 12 h) ↓ selon Wood et Bretherton (2006) et avec l'entropie humide ↓

(a) Woods Bretherton (2006)



- Algorithme plus compliqué impliquant plusieurs niveaux et les calculs complexes des gradients humides
- $Sc \sim$ pour $EIS > 8$

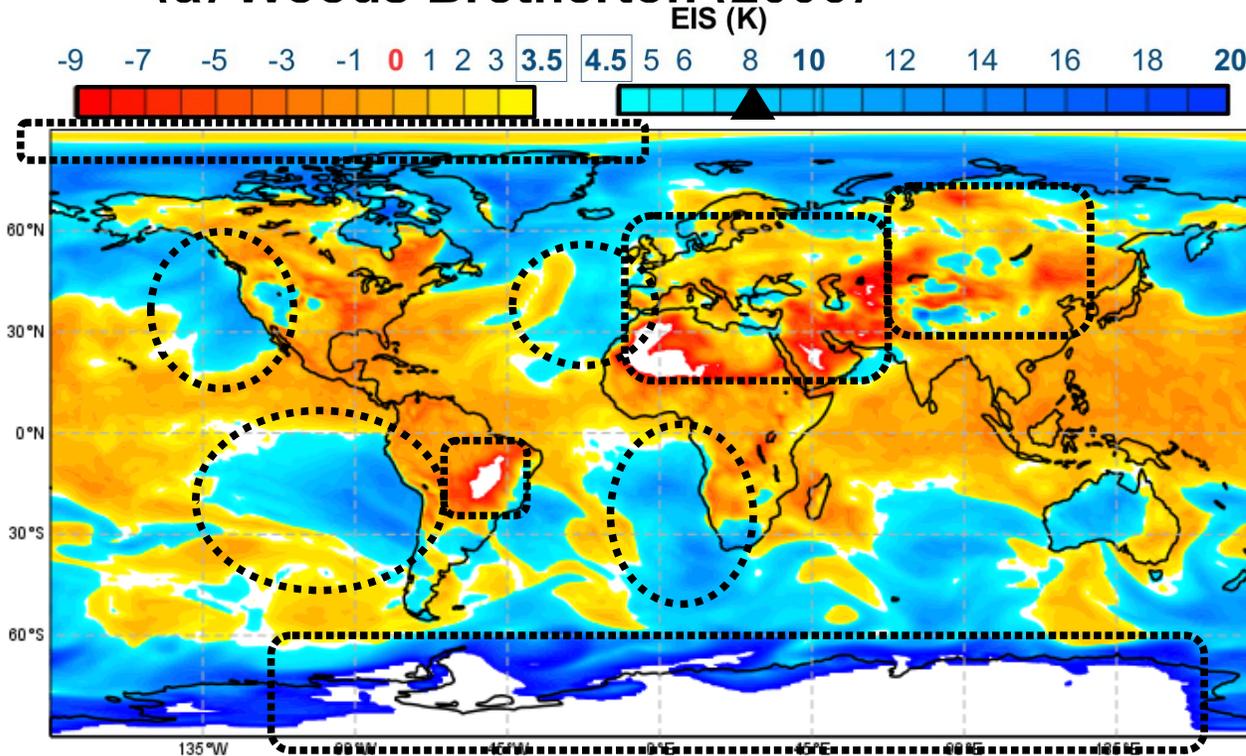
(b) Entropie humide (Bechtold Marquet)



- Simple: $EIS = \text{Max}(S_{700} - S_{950}, S_{950} - S_{surf})$
- Hypothèse $Sc \sim$ pour $EIS > 6$
- **On distingue bien les Cu pour $EIS < 1$**
Les structures/filaments sont plus marquées

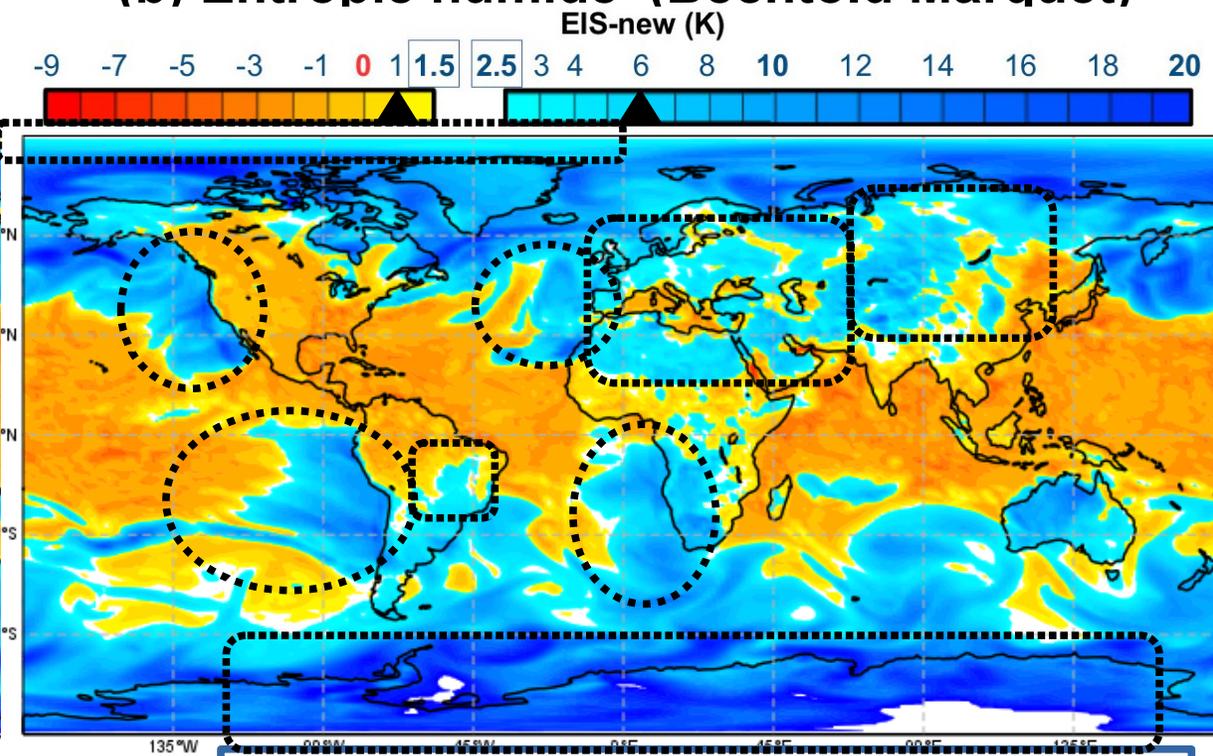
Comparaison de l'intensité de l'inversion (en K, moyenne sur 12 h) ↓ selon Wood et Bretherton (2006) et avec l'entropie humide ↓

(a) Woods Bretherton (2006)



- Algorithme plus compliqué impliquant plusieurs niveaux et les calculs complexes des gradients humides
- $Sc \sim$ pour $EIS > 8$

(b) Entropie humide (Bechtold Marquet)



- Simple: $EIS = \text{Max}(S_{700} - S_{950}, S_{950} - S_{\text{surf}})$
- Hypothèse $Sc \sim$ pour $EIS > 6$
- **On distingue bien les Cu pour $EIS < 1$**
- **Les structures/filaments sont plus marquées**

Plan de l'exposé

- 1) C'est quoi l'EIS ? Pourquoi vouloir la modifier dans le modèle IFS du CEPMMT ?
- 2) Un nouvel EIS basé sur l'entropie de l'air humide
- 3) **Conclusions / Perspectives**

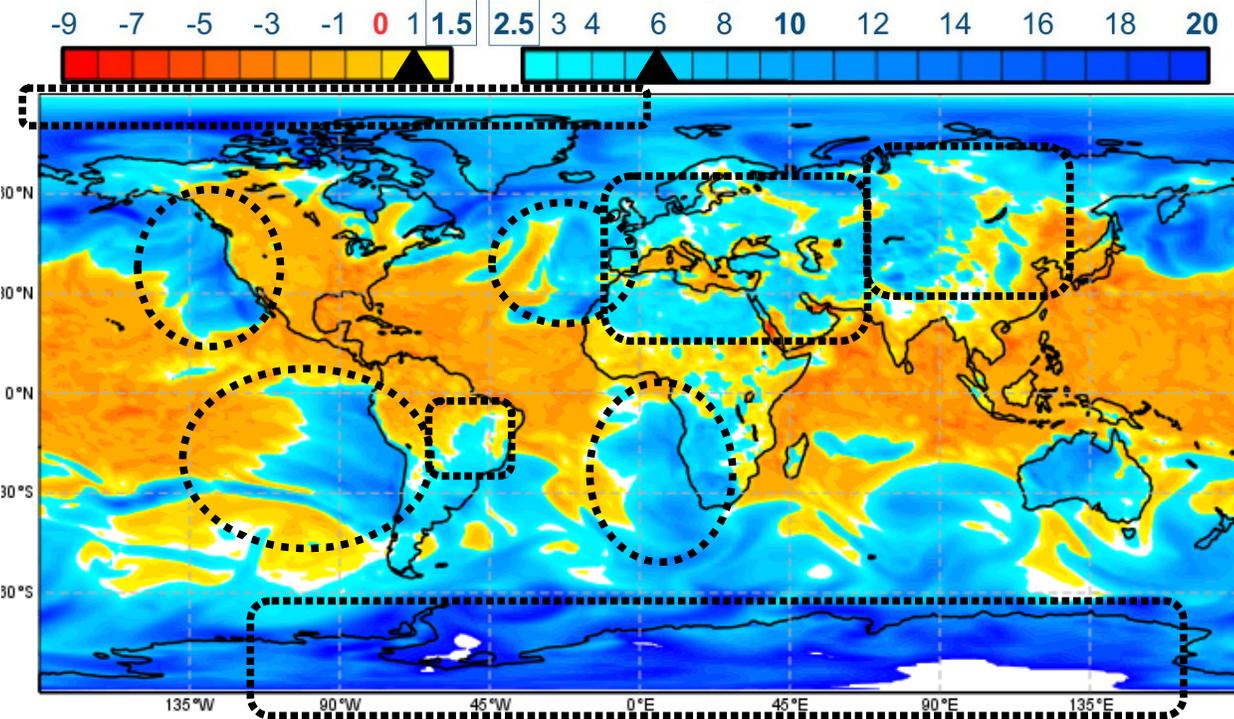
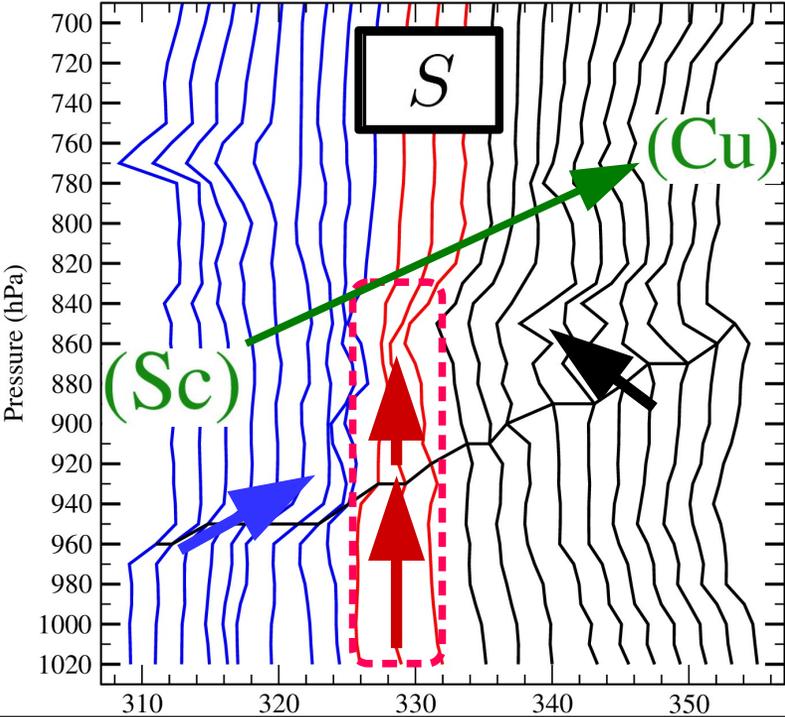
Conclusions / Perspectives

- 1) Un **nouveau EIS** basé sur l'**entropie de l'air humide** ; une formule plus simple
- 2) et mieux linéarisable + meilleure discrimination Sc/Cu + Shallow **activée partout**
- 3) Les résultats tiennent la route (pour future bascule si « pack-physique » OK ?)

Conclusions / Perspectives

- 1) Un **nouveau EIS** basé sur l'**entropie de l'air humide** ; une formule plus simple
- 2) et mieux linéarisable + meilleure discrimination Sc/Cu + Shallow **activée partout**
- 3) Les résultats tiennent la route (pour future bascule si « pack-physique » OK ?)
- 4) **Ce nouvel « EIS-entropique »** :
 - est utilisable au moins comme un diagnostic « Sc versus Cu » ?
 - pourrait aussi être testé dans la turbulence de ARPEGE P-Sais. ?
 - mais n'est pas utilisable au LMD (top-PBL-entr. explicite / Arnaud Jam)
 - ni dans ARPEGE-PNT (modif de « L » sous clef LECSHAL)
 - ni dans ARPEGE-Climat (PCMT sans LECSHAL + voir exposé suivant ?)
 - ni dans AROME ou Meso-NH (pas de top-PBL-entr. / Modifs Tomasini « turb » ?)

Merci ! Questions ?



$$S(K) = \frac{S_m}{c_{pd}} \approx (1 + 5.87 q_t) T - \frac{L_v q_l + L_s q_i}{c_{pd}} + \frac{\phi}{c_{pd}}$$

$$EIS = \text{Max}(S_{700} - S_{950}, S_{950} - S_{surf})$$