



Développements récents de la physique pronostique dans ARPEGE-Climat:

**Turbulence en présence de convection,
discrétisation vitesse verticale convective,
tensions de vent en surface dues à l'orographie**

Jean-François Guérémy
jean-francois.gueremy@meteo.fr

Plan

- **1.) Turbulence en présence de convection**
 - Contexte, formulations
 - Résultats 1D
 - Résultats 3D

- **2.) Discrétisation vitesse verticale convective**
 - Formulations
 - Résultats 1D
 - Résultats 3D

- **3.) Tensions de vent en surface dues à l'orographie**
 - Formulations
 - Résultats 3D

1.) Contexte

Nébulosité haute trop élevée en présence de convection.

$N_{tot} = \max(N_s, N_c)$; N_s surtout car N_c faible en haut (max 50 % à la base et décroissant avec l'altitude) et N_s dépend de la turbulence (Sommeria and Deardorff (1977) et Bougeault (1981)) :

s distance locale à saturation de l'état thermodynamique moyen $s = \frac{a}{2}(q'_w - \alpha_1 \theta'_l)$
 et Q_1 écart à saturation à l'échelle de la maille $Q_1 = \frac{a\Delta\bar{q}}{2\sigma_s}$
 avec $\Delta\bar{q} = \bar{q}_w - q_s(\bar{T}_l)$. Il y a condensation locale si $t = \frac{s}{\sigma_s} > -Q_1$.
 Pour la maille, $C_d = F_0(Q_1) = \int_{-Q_1}^{+\infty} G(t) dt$ et $\frac{\bar{q}_l}{2\sigma_s} = F_1(Q_1) = \int_{-Q_1}^{+\infty} (Q_1 + t) G(t) dt$
 la distribution $G(t)$ est exponentielle pour Q_1 faible (Cu) et gaussienne pour Q_1 élevé (Sc). σ_s est fonction des gradients verticaux de q_t et θ_l et de l'ECT e_t .

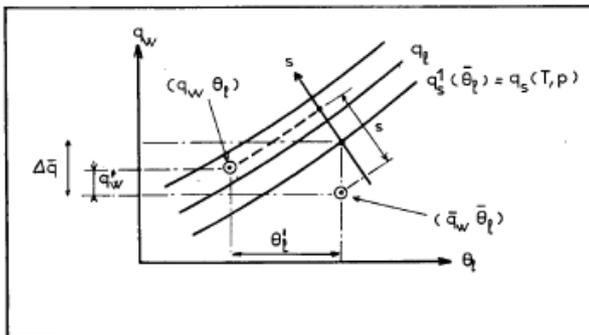


FIG. 1. Saturation curve and the isolines $q_t = \text{Constant}$ plotted on a (θ, q_w) diagram. They are parallel, almost straight lines, and q_t depends only on the variable s , which is measured on a perpendicular axis.

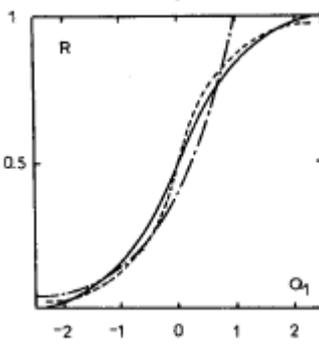
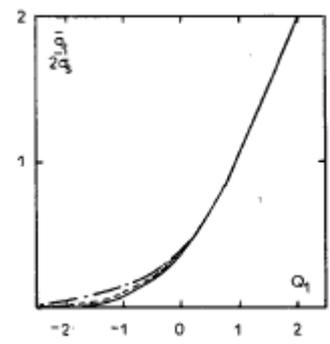


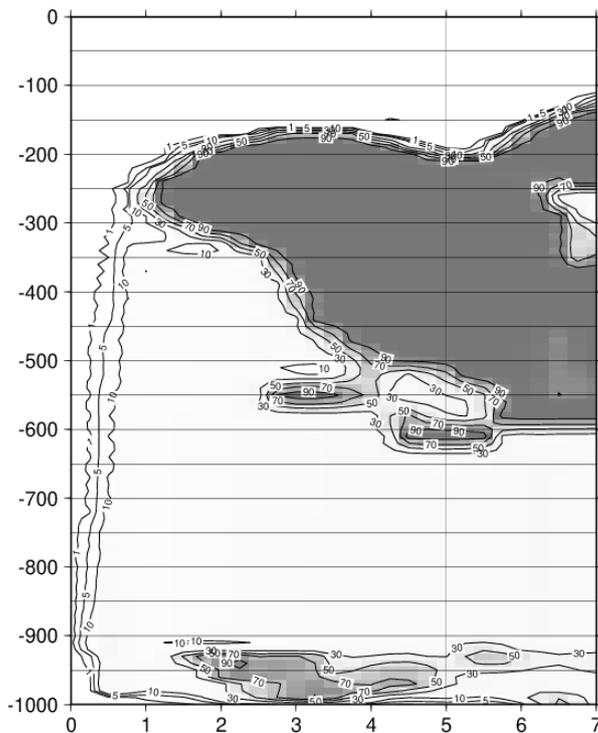
FIG. 3. Parameterized cloud fraction. (a) Q_1 ranges from -2 to +2, (b) Q_1 ranges from -5 to -1. Solid line: Gaussian model (15); dashed line: exponential model (16); dash-dotted line: skewed model (17).



1.) Formulations

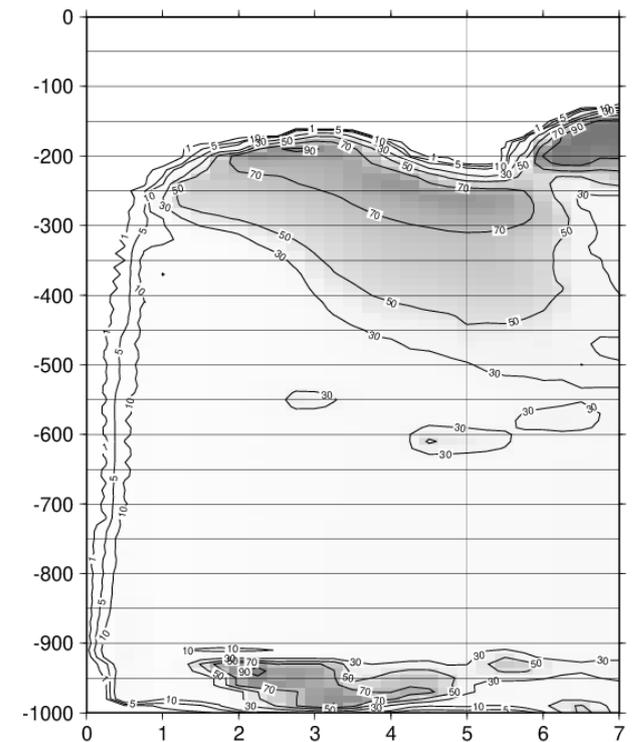
σ_s est fonction des gradients verticaux de q_t et θ_l et de l'ECT e_t : $\sigma_s = \frac{a}{2} \sqrt{C(L_m)^2 \phi_3} \left| \frac{\partial q_t}{\partial z} - \alpha_1 \frac{\partial \theta_l}{\partial z} \right|$
 avec $\sqrt{C(L_m)^2 \phi_3} = \frac{1}{\sqrt{C_{e\theta}}} \sqrt{\frac{L_m K_T}{\sqrt{\epsilon}}}$ et $K_T = C_\theta L_m \sqrt{\epsilon} \phi_3$

Première formulation approximative : Valeur seuil minimale pour σ_s , présence de condensat convectif et $p < 650 \text{ hPa}$ et $\Delta q > 0$



CAS 1D TOGA

Évolution temporelle de la Nébulosité ; à gauche sans la correction, à droite avec



1.) Formulations

Seconde formulation : Ajout de termes de production thermique et dynamique provenant de la convection PCMT dans l'équation d'évolution de e_t .

$$\frac{\partial \bar{e}}{\partial t} = [\text{Advect.}] + \text{Diff}_{\text{vert}} + P_{\text{dyn.}} + P_{\text{ther.}} - \text{Diss} \quad \text{avec} \quad P_{\text{dyn.}} = - \left[\overline{u'w'} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} + \overline{v'w'} \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} \right] \quad \text{et} \quad P_{\text{ther.}} = \beta \overline{w'\theta'_{vt}}, \quad \bar{\theta}_{vt} = \bar{\theta} (1 + 0.608 \bar{q}_v - \bar{q}_e), \quad \beta = \frac{g}{\bar{\theta}}$$

Dans le schéma de convection sont calculés les flux de transport pour le vent et les variables thermodynamiques :

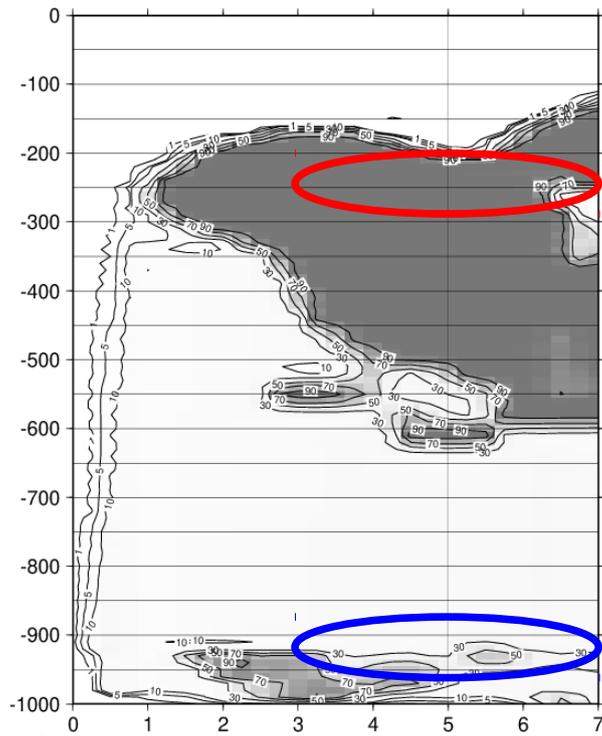
$$\overline{w'\chi} = -M(\chi_c - \bar{\chi}) \quad \text{avec} \quad M = -\alpha\sigma\omega_c, \quad \text{soit} \quad \overline{w'\chi} = \frac{1}{\rho g} M(\chi_c - \bar{\chi}) \quad \text{pour } X=u, v \text{ et } \theta_{vl} \text{ ici.}$$

---> Ainsi, il est possible d'ajouter aux termes turbulents de production thermique et dynamique, les termes convectifs de production calculés à l'aide de ces flux convectifs de transport. [Déjà codé pour la CVPP KFB et PMMC en prod. thermique].

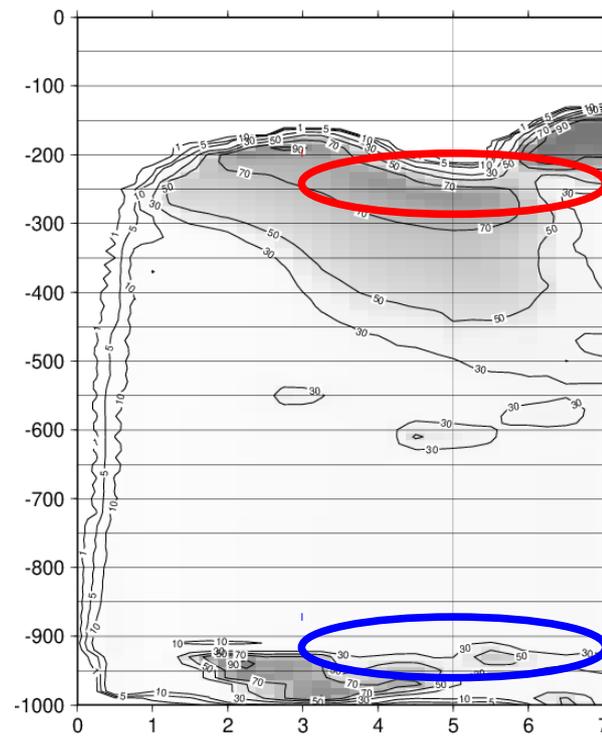
---> Productions thermique et dynamique convectives calculées dans PCMT.

1.) Résultats cas 1D TOGA (Bechtold et al., 2000)

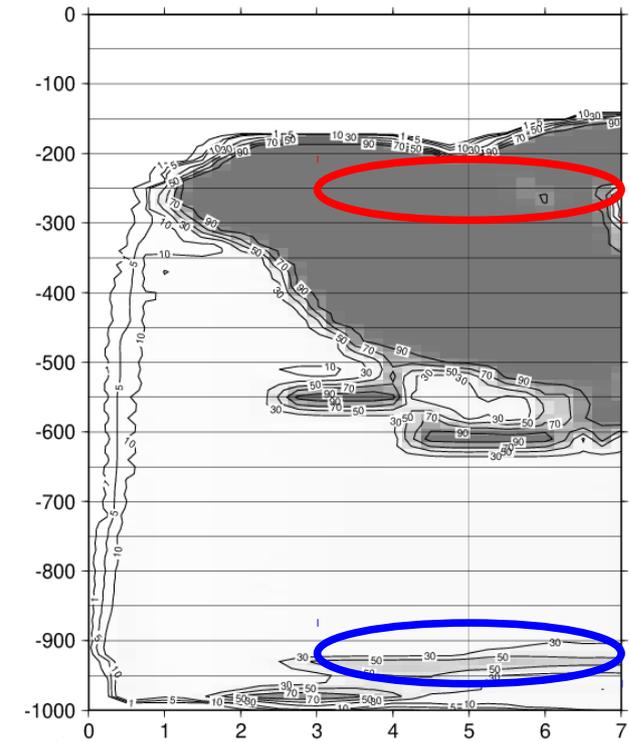
Évolution temporelle de la nébulosité



Brut (1)



Seuil $\sigma_s(2)=5.e-5$



PTD conv (3)

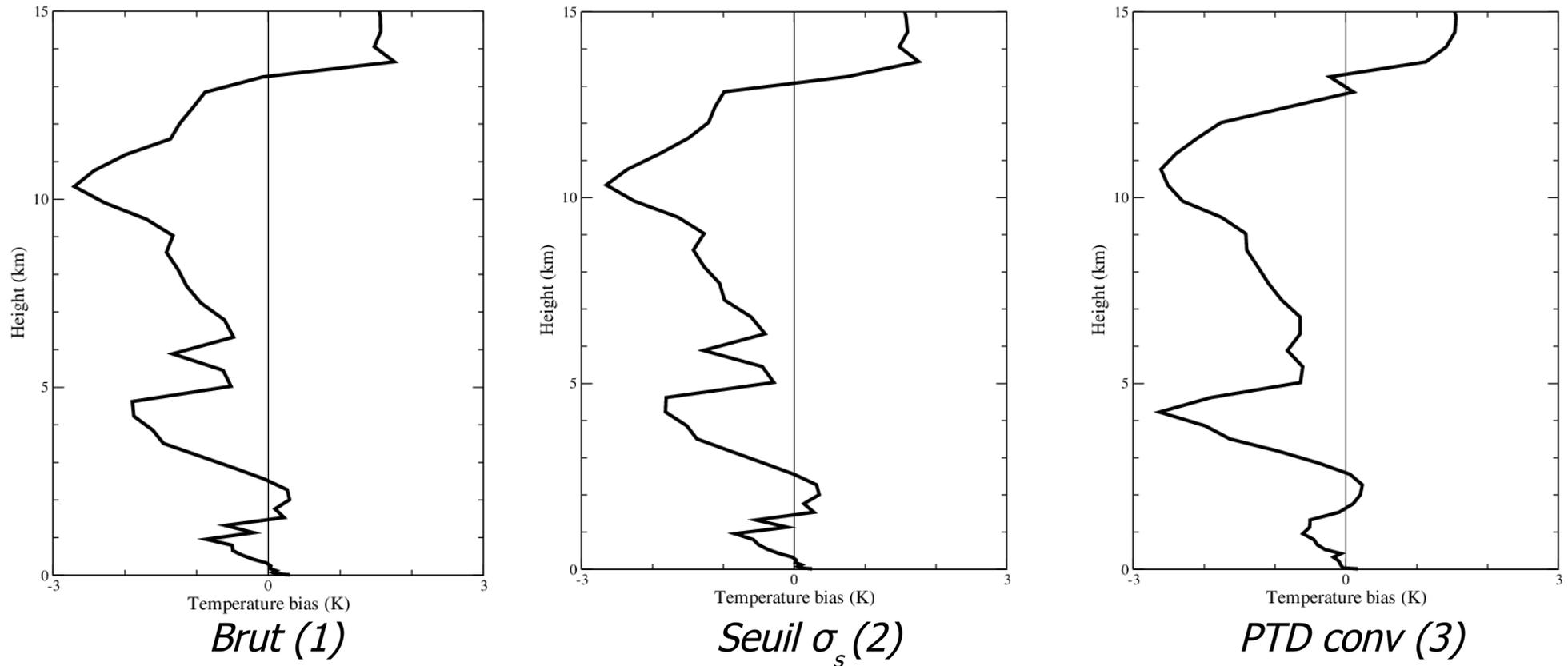
En fin de simulation (durant heure 6):

A 250 hPa (sat), $PTt(1;3) = -2.e-7; -5.e-4 \text{ m}^2\text{s}^{-3}$, $PTc(3) = 2.3e-3 \text{ m}^2\text{s}^{-3}$, $\sigma_s(1;3) = 5.e-7; 2.e-5$

A 930 hPa (ins), $PTt(1;3) = 4.e-4; 5.e-4 \text{ m}^2\text{s}^{-3}$, $PTc(3) = 1.5e-3 \text{ m}^2\text{s}^{-3}$, $\sigma_s(1;3) = 5.e-5; 6.5e-5$

1.) Résultats cas 1D TOGA (Bechtold et al., 2000)

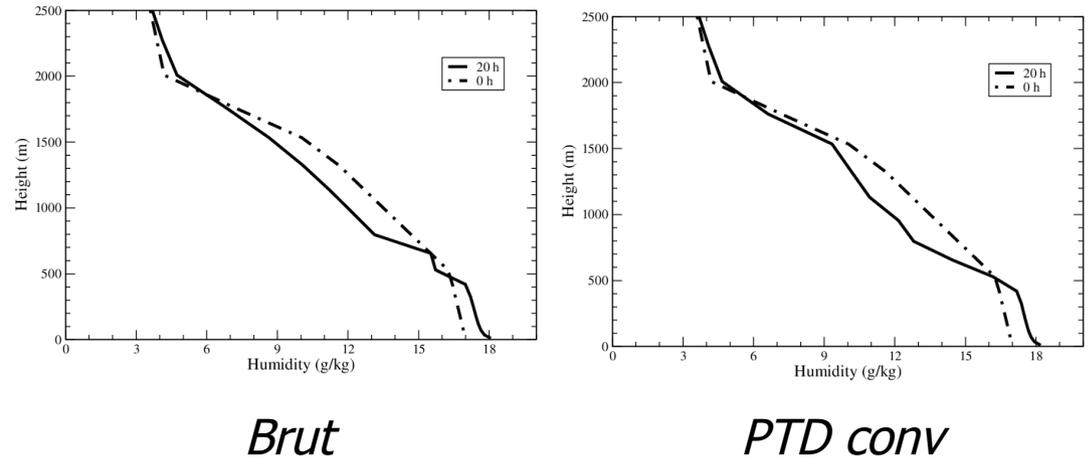
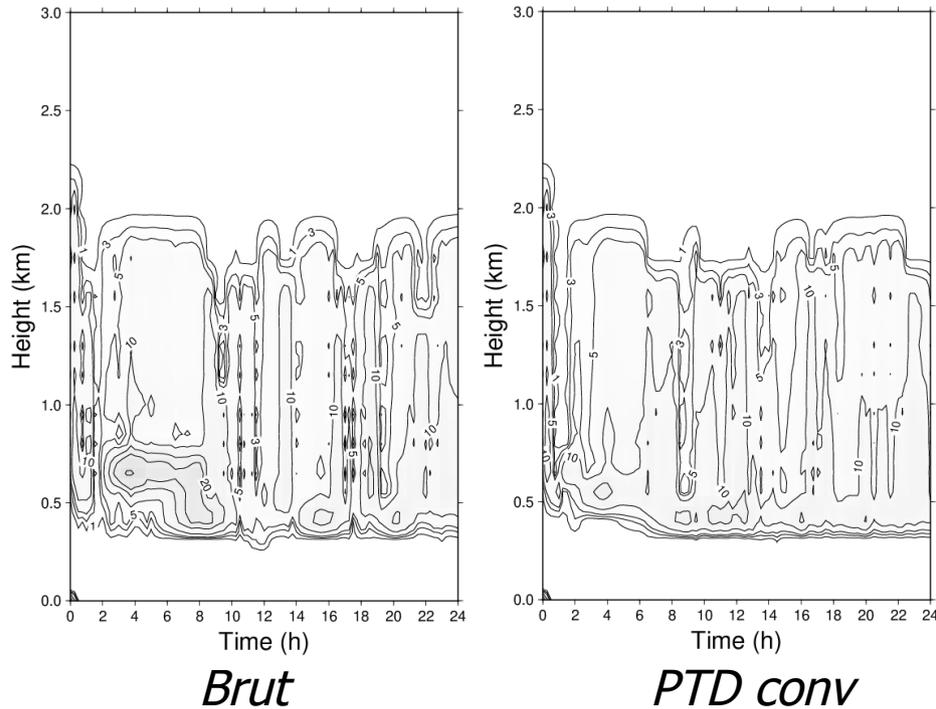
Biais de température en fin de simulation (heure 7) par rapport au CRM de référence



Profil plus lisse avec la prise en compte de la PTD convective

1.) Résultats cas 1D BOMEX (Siebesma et al., 1995)

Évolution temporelle de la nébulosité ----- Profil d'humidité spécifique au bout de 20h



Un peu plus nébulosité à la base (nébulosité stratiforme) et profil de q_v plus lisse avec la prise en compte de la PTD convective

1.) Résultats 3D

Simulation 10 ans couplée (TI159(125km)I91-NEMO1°I75); CI a ERA-I 01/1979, o clim

variable	mod	obs
Température 2m	14.30	14.64
Précipitations	3.07	2.68
Pression mer	1011.26	1011.33
Eau précipitable	25.39	17.22
Rayt solaire sommet	237.44	240.90
Rayt thermique sommet	-237.11	-235.32
CRF solaire sommet	-49.71	-47.04
CRF thermique sommet	23.80	29.48
Chaleur latente	-88.81	
Chaleur sensible	-20.11	
Évaporation	-3.07	
Rayt solaire surface	162.72	166.62
Rayt thermique surface	-53.03	-49.53
Rayt solaire surface ↓	187.42	189.87
Rayt thermique surface ↓	345.18	344.07
Nébulosité totale	67.39	66.44
Nébulosité haute	44.47	13.01
Nébulosité moyenne	25.27	20.30
Nébulosité basse	42.03	27.68
Bilan surface	0.77	

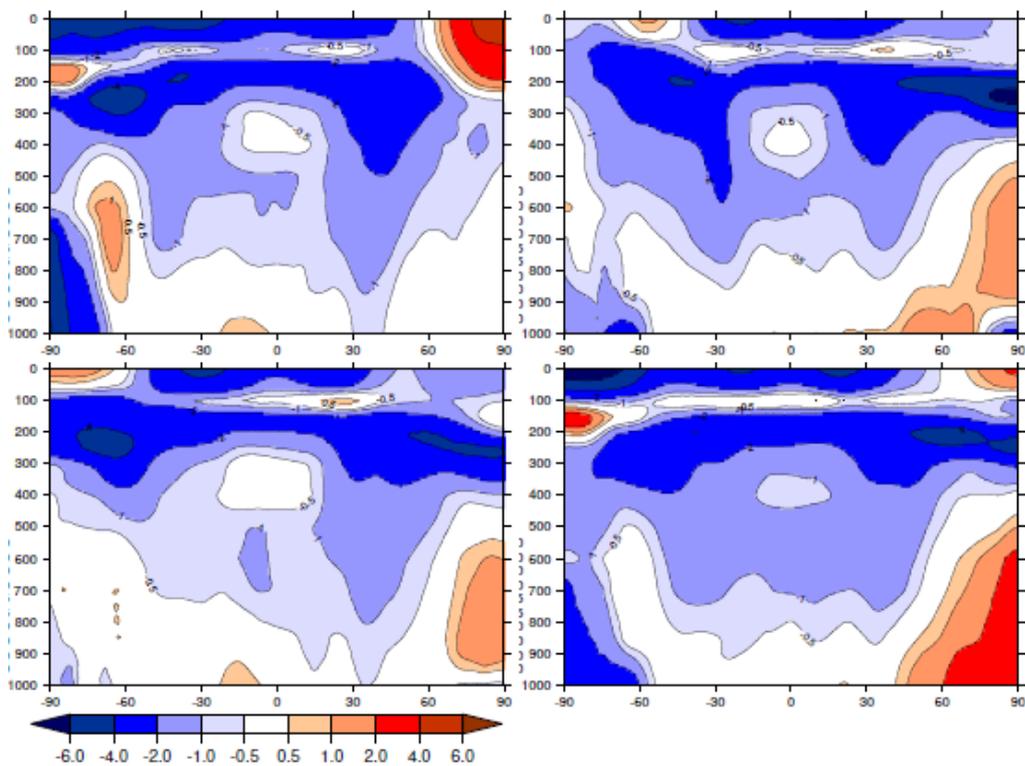
Sans production convective

variable	mod	obs
Température 2m	14.31	14.64
Précipitations	3.08	2.68
Pression mer	1011.23	1011.33
Eau précipitable	25.31	17.22
Rayt solaire sommet	236.45	240.90
Rayt thermique sommet	-236.01	-235.32
CRF solaire sommet	-50.76	-47.04
CRF thermique sommet	25.10	29.48
Chaleur latente	-89.17	
Chaleur sensible	-20.01	
Évaporation	-3.08	
Rayt solaire surface	161.68	166.62
Rayt thermique surface	-51.64	-49.53
Rayt solaire surface ↓	186.25	189.87
Rayt thermique surface ↓	346.53	344.07
Nébulosité totale	70.25	66.44
Nébulosité haute	46.83	13.01
Nébulosité moyenne	26.40	20.30
Nébulosité basse	44.49	27.68
Bilan surface	0.86	

Avec Production convective

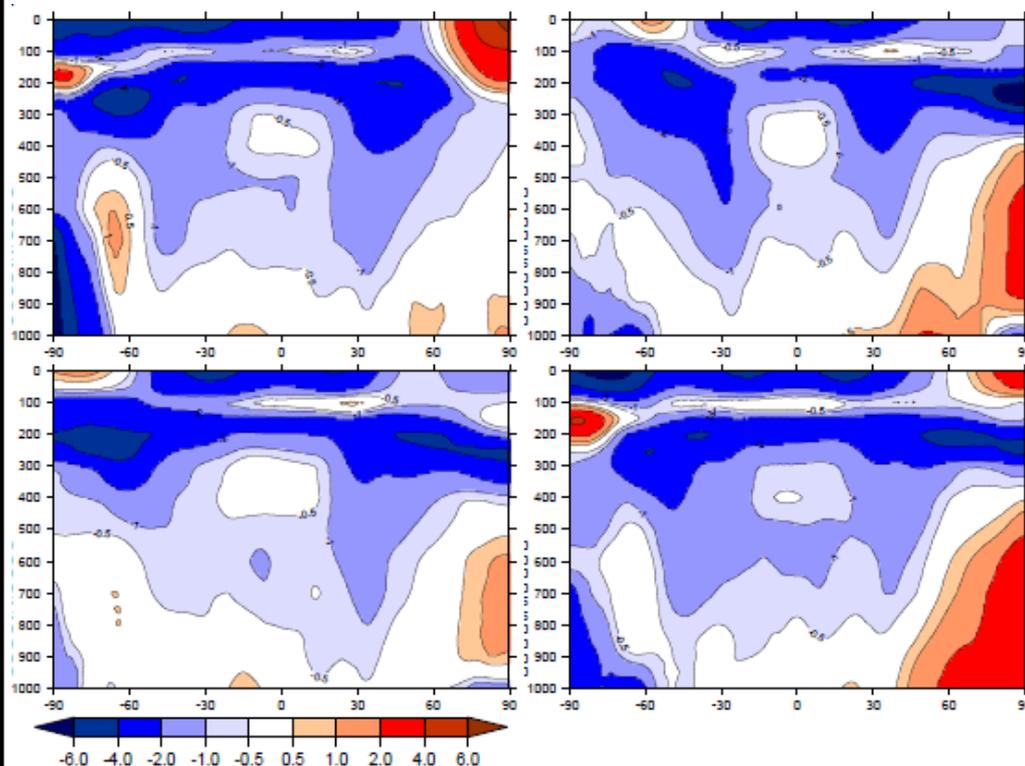
1.) Résultats 3D

Simulation 10 ans couplée (TI159(125km)I91-NEMO1°I75); CI a ERA-I 01/1979, o clim



Erreur systématique; température (degré C); coupes zonales DJF et MAM (gauche), JJA et SON (droite).

Sans production convective

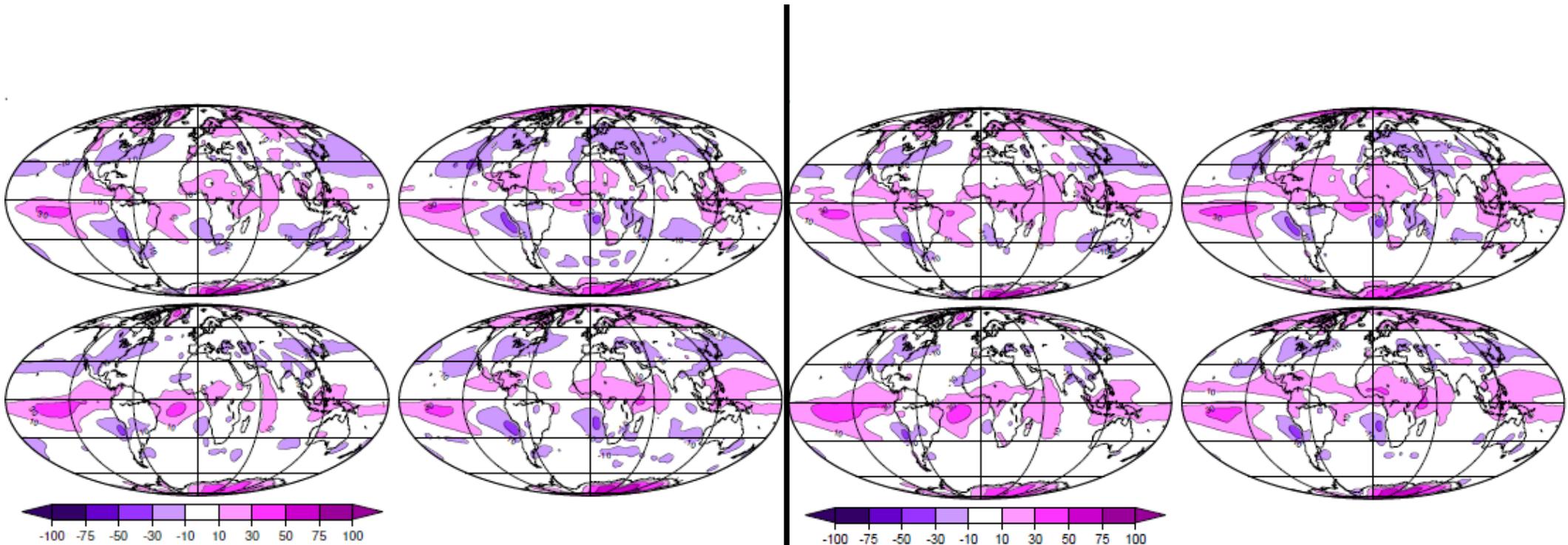


Erreur systématique; température (degré C); coupes zonales DJF et MAM (gauche), JJA et SON (droite).

Avec Production convective

1.) Résultats 3D

Simulation 10 ans couplée (TI159(125km)|91-NEMO1°|75); CI a ERA-I 01/1979, o clim



Erreur systématique; nébulosité totale (%); moyennes DJF et MAM (gauche) JJA et SON (droite).
Erreur systématique; nébulosité totale (%); moyennes DJF et MAM (gauche), JJA et SON (droite).

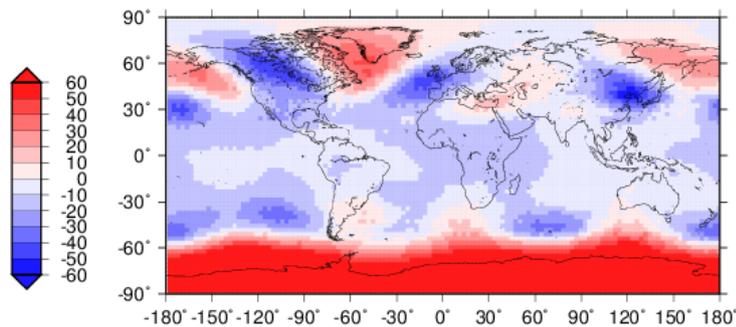
Sans production convective

Avec Production convective

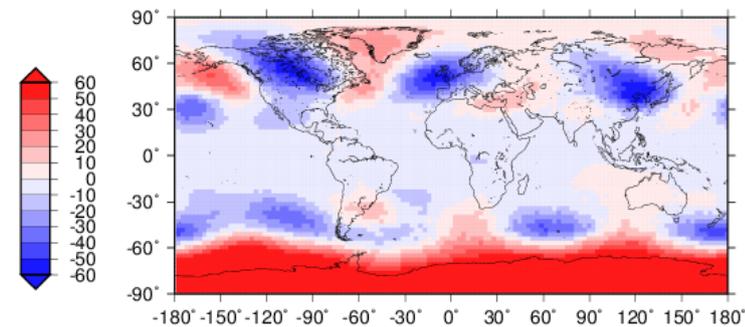
1.) Résultats 3D

Biais DJF calculé à partir d'ensembles (15 membres) de prévision saisonnière démarrant le 01/11 des années 1993 à 2015 (23 ans);
modèle couplé T1359(55km)|91-NEMO1°|75

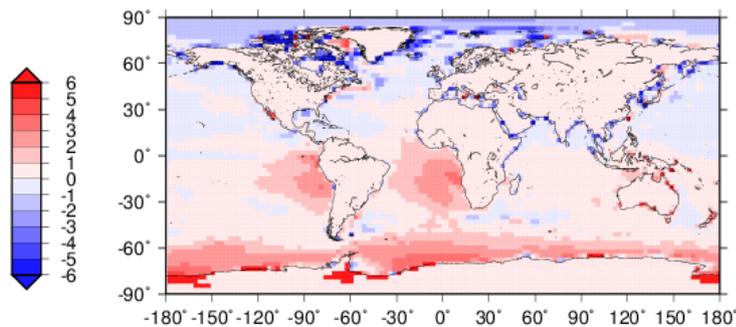
Bias Z500



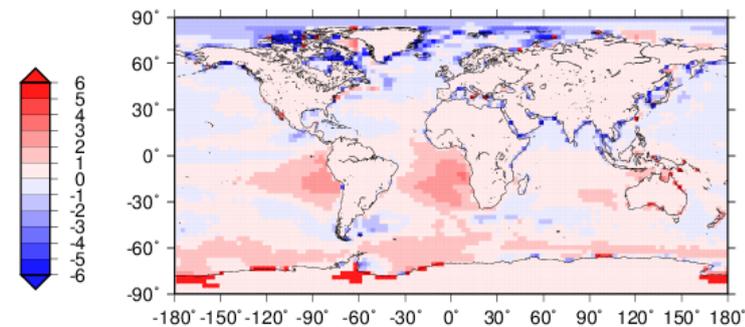
Bias Z500



Bias TSUR



Bias TSUR

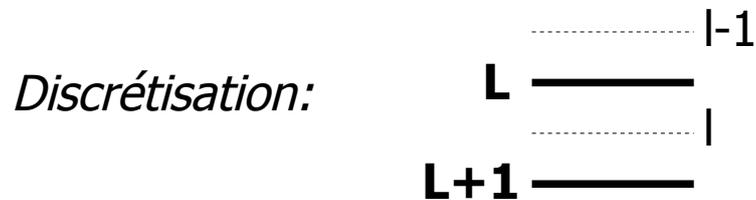


2.) Formulations

Équation d'évolution de la vitesse verticale convective ω_c :

$$\partial\omega_c/\partial t = -\omega_c \partial\omega_c/\partial p + F + (\varepsilon_o + \varepsilon_t + K)\omega_c^2 \quad (\text{Eq1})$$

avec F la flottabilité, ε_o (resp ε_t) l'entraînement organisé (resp turbulent) et K un paramètre de traînée aérodynamique (proportionnel à ε_t).



Eq1 est résolue en implicite au niveau de variable supérieur de la couche (L) pour déterminer ω_c au niveau de flux supérieur (l-1), avec $\omega_c[L] = 0.5(\omega_c[l] + \omega_c[l-1])$.

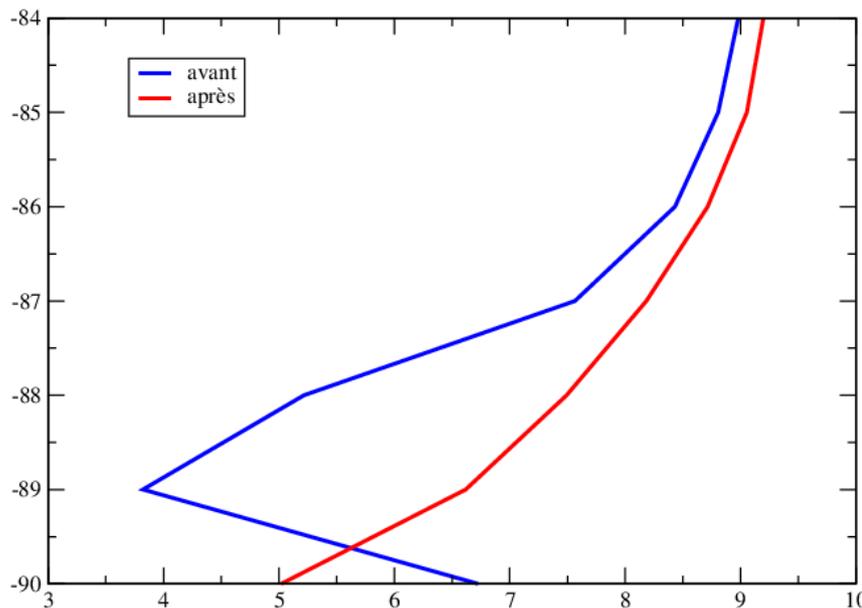
ε_o , ε_t et K sont des fonctions de ω_c , notamment ε_o est proportionnel à $1/\omega_c \cdot \partial\omega_c/\partial p$ en vertu de la conservation de la masse. Pour la résolution de Eq1, ε_t et K sont discrétisés en L+1

Anciennement, ε_o était également discrétisé en L+1 ;

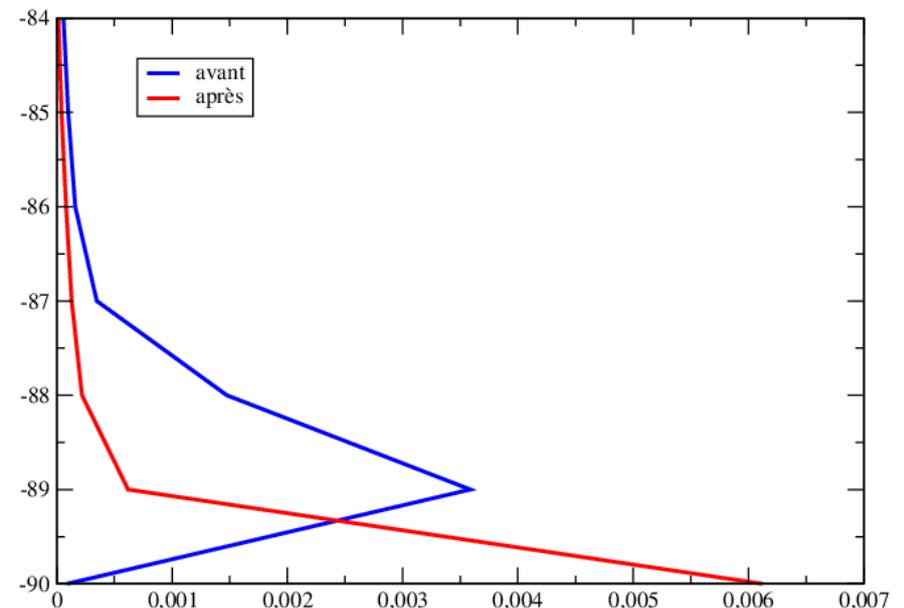
Nouvellement, ε_o est discrétisé en L, suivant la formulation $1/\omega_c \cdot \partial\omega_c/\partial p$ (si >0)

2.) Résultats cas 1D ARM (F. Guichard et al., 2004)

Phase convection sèche sur les 7 premiers niveaux atmosphériques (au dessus du premier niveau $L=91 \sim 10\text{m}$) de 34m à 400m. Simulation réalisée avec la nouvelle formulation: « avant »= ancienne formulation et « après »=nouvelle formulation



Vitesse verticale convective ($|\omega|$ en Pa/s)

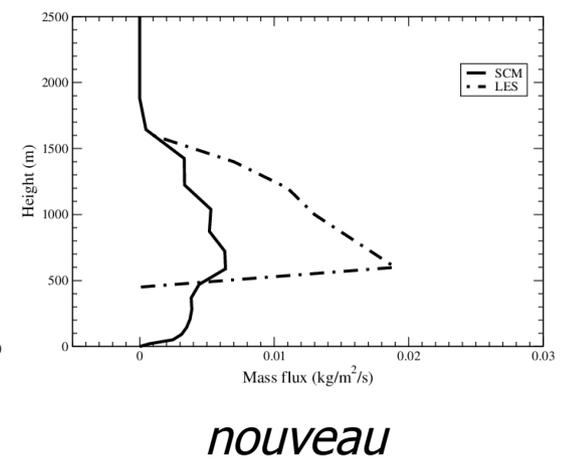
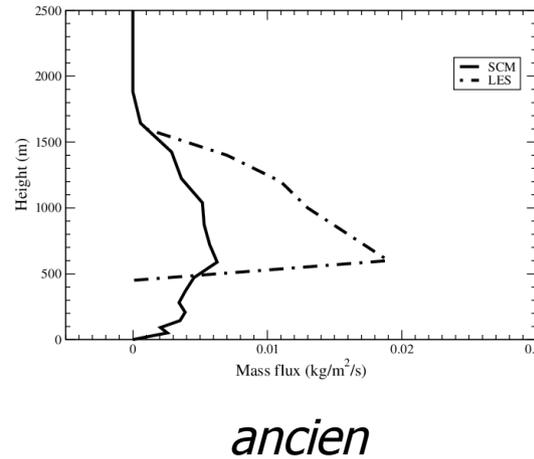
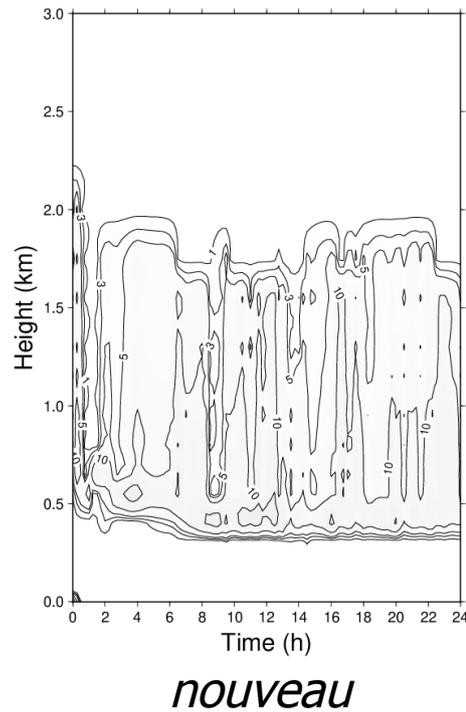
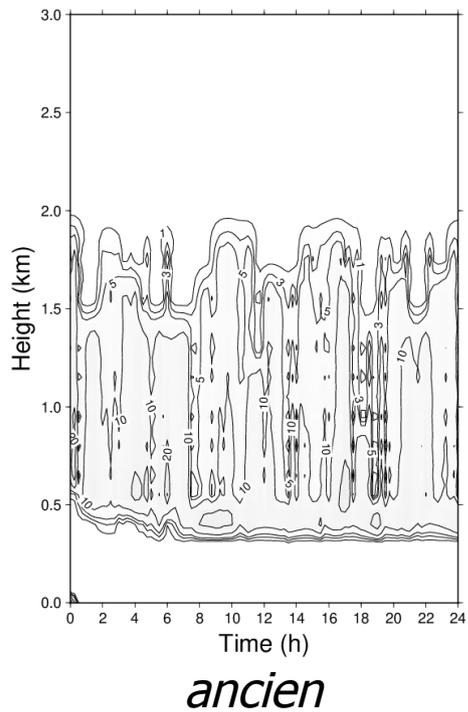


Entraînement organisé (en $1/\text{Pa}$)

avec l'ancienne formulation, l'entraînement organisé est calculé au niveau $L+1$, avec au premier niveau ($L+1=91$) une valeur égale à 2 fois l'entraînement turbulent maximum, valeur inférieure à ce que donne la nouvelle formulation. Le profil vertical de la vitesse verticale est donc également meilleur avec la nouvelle formulation.

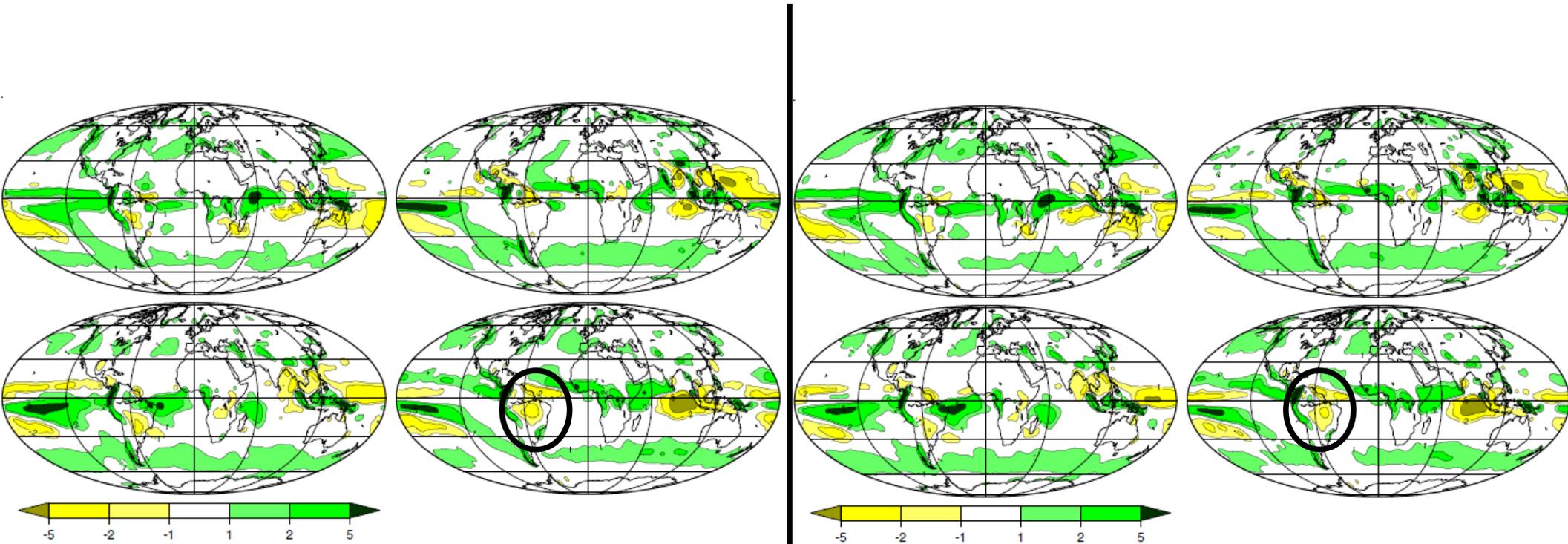
2.) Résultats cas 1D BOMEX (Siebesma et al., 1995)

Évolution temporelle de la nébulosité ----- Profil de flux de masse au bout de 20h



2.) Résultats 3D

Simulation 10 ans couplée (TI359(55km)I91-NEMO1/4°I75); CI a ERA-I 01/1979, o clim



Erreur systématique; précipitations (mm/jour); moyennes DJF et MAM (gauche), JJA et SON (droite).

Erreur systématique; précipitations (mm/jour); moyennes DJF et MAM (gauche), JJA et SON (droite).

Ancienne formulation ω_c

Nouvelle formulation ω_c

3.) Formulations

Paramétrisation du flux de quantité de mouvement en surface continentale du à l'orographie :

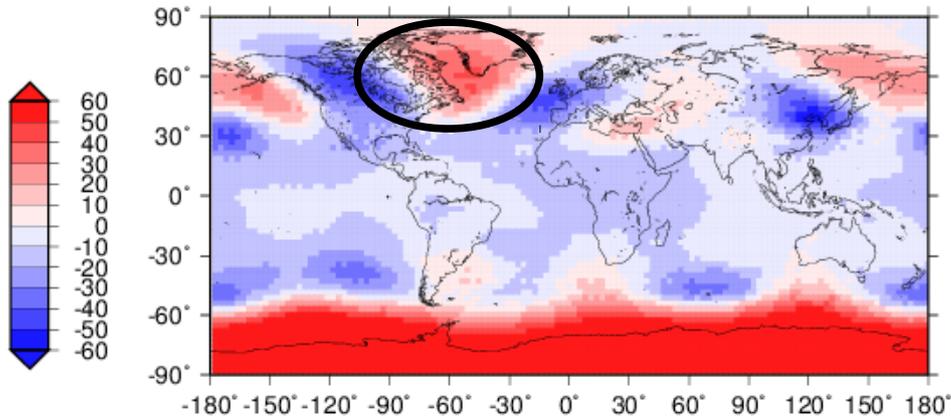
Formulation actuelle avec schéma de Louis (1979) faisant appel à une longueur de rugosité spécifique du relief (fonction de sa variabilité sous-maille)

Nouvelle formulation dite TOFD (Turbulent Orographic Form Drag) de Beljaars et al. (2004), faisant appel à une représentation simplifiée du relief en sinusoides donnant une formulation fonction de l'écart-type du relief d'échelle inférieure à 20km environ.

3 .) Résultats 3D

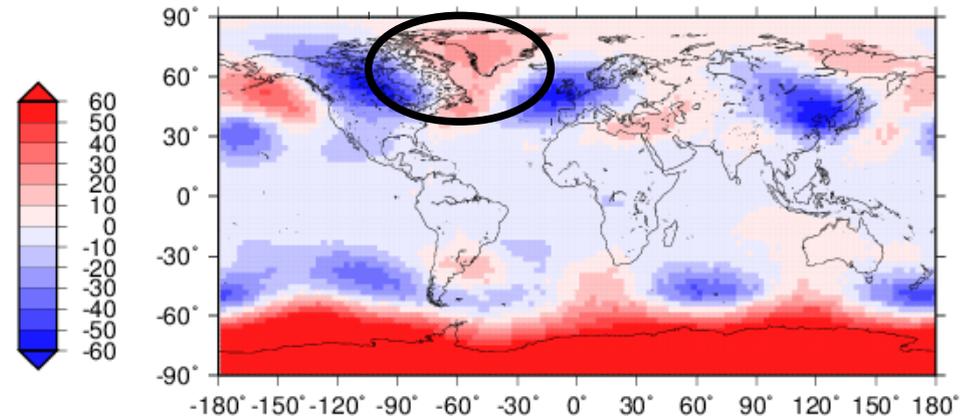
Biais DJF calculé à partir d'ensembles (15 membres) de prévision saisonnière démarrant le 01/11 des années 1993 à 2015 (23 ans);
modèle couplé TI359(55km)|91-NEMO1°|75

Bias Z500



Sans production convective et z_0 relief

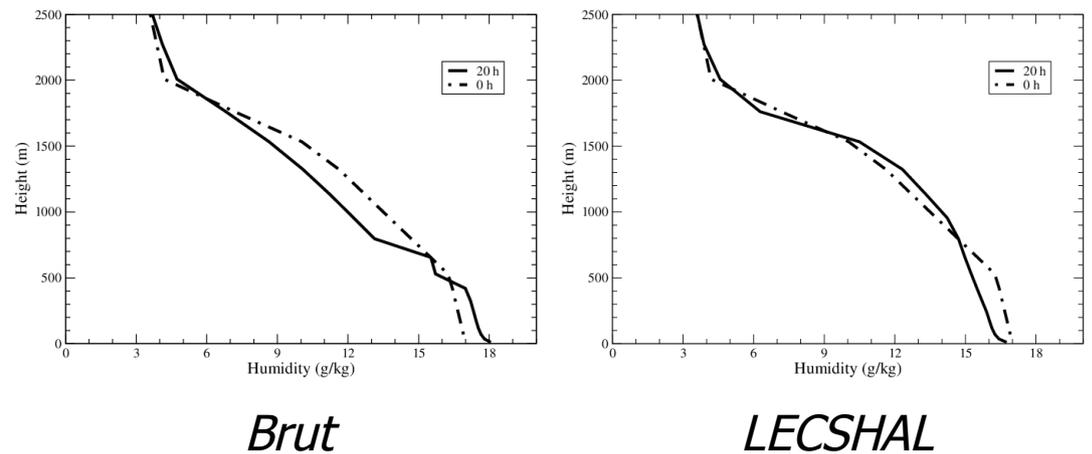
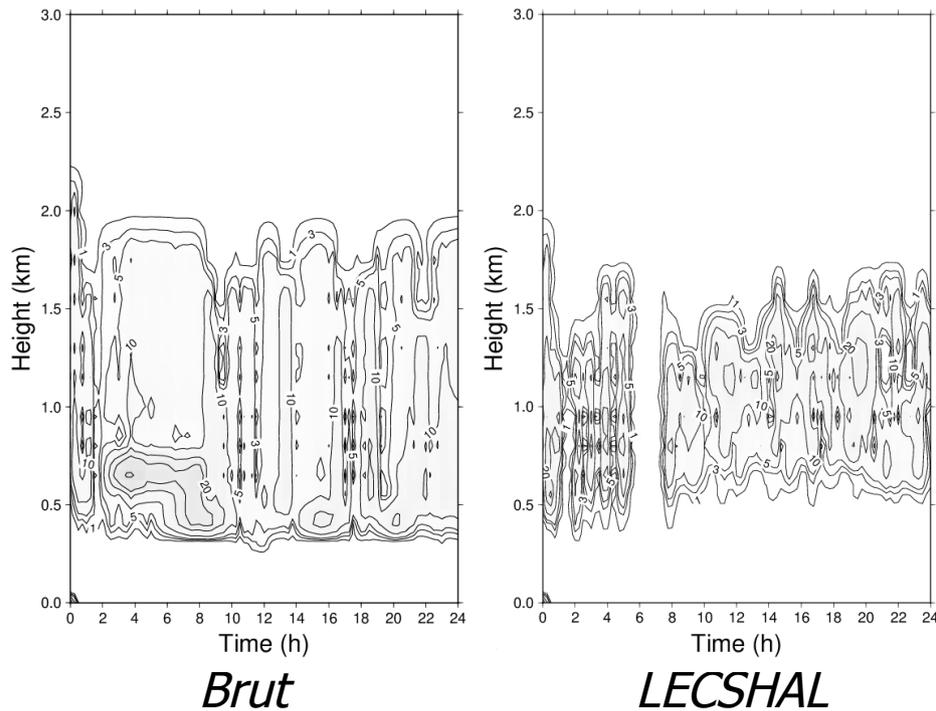
Bias Z500



Avec Production convective et TOFD

1.) Résultats

Évolution temporelle de la nébulosité ----- Profil d'humidité spécifique au bout de 20h



LECSHAL : longueur de mélange = épaisseur de la convection

Résultats similaires avec LECDEEP : longueur de mélange = épaisseur de la convection limitée à 1km (par défaut)