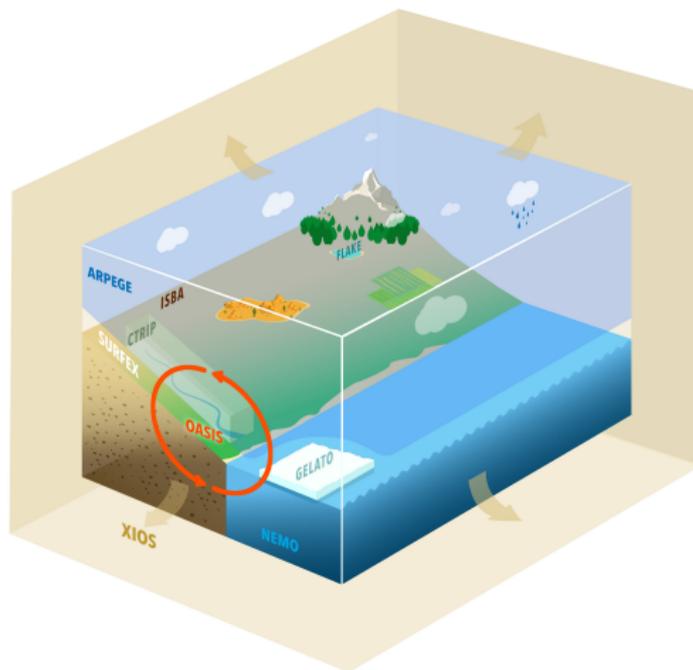


# Stratégie de calibration du modèle de climat CNRM-CM6

D. Saint-Martin et al\*

Ateliers de Modélisation de l'Atmosphère - 11 mars 2019

# \*CNRM-CM6



## CNRM-CM

Voltaire, A., D. Saint-Martin, S. S n si, B. Decharme, A. Alias, M. Chevallier, J. Colin, J-F. Gu r my, M. Michou, M-P. Moine, P. Nabat, R. Roebrig, D. Salas y M lia, R. S f rian, S. Valcke, I. Beau, S. Belamari, S. Berthet, C. Cassou, J. Cattiaux, J. Deshayes, H. Douville, L. Franchisteguy, C. Eth , O. Geoffroy, C. L vy, G. Madec, Y. Meurdesoif, R. Msadek, A. Ribes, E. Sanchez, L. Terray (2019) Evaluation of CMIP6 DECK experiments with CNRM-CM6-1, *submitted to JAMES*.

# Contexte

- Le 'tuning' reconnu comme une activité importante
- Plusieurs publications récentes sur ce sujet
  - Hourdin et al. (2015), BAMS, The art and science of climate model tuning
  - Schmidt et al. (2017), GMD, Practice and philosophy of climate model tuning across six US modeling centers
  - Dommenget and Rezny (2017), JAMES, A caveat note on tuning in the development of coupled climate models
- ▷ Définition du tuning (Hourdin et al. 2015)

*The processes of estimating uncertain parameters in order to reduce the mismatch between specific observations and model results is usually referred to as tuning in the climate modelling community."*

# Quelle stratégie pour CNRM-CM6 ?

- Nécessité d'une stratégie de calibration
  - ▷ Modèle atmosphérique amplement remanié (Roehrig et al, 2019) : nouvelle discrétisation verticale, nouveaux schémas de convection/turbulence/microphysique, param. ondes de gravité non orog., maj schéma de flux air/mer, etc
  - ▷ Nouvelle physique de surface (Decharme et al, 2019)
  - ▷ Volonté de cohérence entre les modèles CM (Voldoire et al, 2019) et ESM (cycle carbone, aérosols, chimie atm., biogéochimie ; Seferian et al, 2019)
  - ▷ Utilisation du modèle dans une vaste gamme d'expériences (CMIP6/\*MIP)
- Stratégie 'classique' en 3 étapes ... avec porosité entre les étapes
  - ① Formulation du modèle (et calibration des paramétrisations)
  - ② Calibration des composantes
  - ③ Calibration du modèle complet (couplé)

# Calibration des paramétrisations

- Choix structurants de paramétrisations (ou au sein de paramétrisations) via considérations 'physiques'...
- Dans chaque param., des paramètres relativement bien connus et d'autres plus incertains (non directement observables)
- Calibration via cas d'études : simulations 1D & comparaison à des simulations haute résolution et des observations locales
- Aller-retour avec l'étape #2 de tuning par composante
- Difficultés : sous-représentativité des cas d'étude (interdépendance des paramétrisations + rôle de la grande échelle) : peut conduire à du surapprentissage (overfitting)
- ▷ **Finalité étape #1** : définition de paramètres 'réglables', avec valeurs 'a priori' & plage de valeurs 'acceptables'

# Calibration des composantes : méthode et cibles

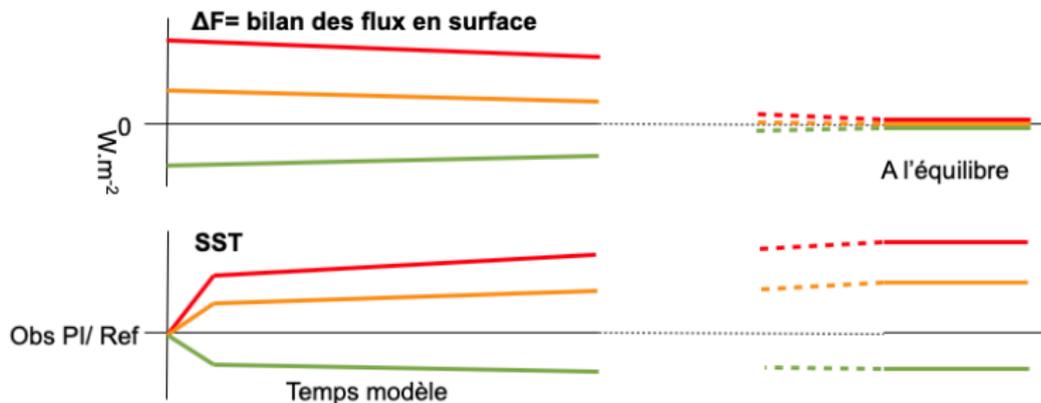
- Simulations composante par composante (de type AMIP/OMIP/LS3MIP)
- Efforts particuliers sur
  - ▷ stabilité (et efficacité) numérique
  - ▷ conservation de l'énergie et de l'eau
- Pour la composante atmosphérique
  - Cible principale : équilibre énergétique au sommet de l'atm./en surface
  - Métriques d'ordre 1 : climatologie, cycle saisonnier, variabilité des principaux champs (température, précipitation, pression de surface, effet radiatif des nuages)
  - Aspects régionaux (biais sur continents HN, moussons, circulation hivernale HN)
  - Pas de tuning de la sensibilité
- Pour la composante surfaces continentales
  - Neige, température/eau du sol, pergélisols, évaporation
  - Aquifères
  - Débit des fleuves
- Pour la composante océanique
  - Limiter les dérives (verticalement et régionalement)
  - Métriques d'ordre 1 : climatologie (dont banquise) et variabilité (AMOC, ...)

# Calibration des composantes : paramètres CNRM-CM6

- Principaux paramètres modifiés pour ARPEGE-Climat v6
  - paramètres nuages (entraînement/détraiement convection, taux/seuil auto-conversion, vitesse de chute hydrométéores, etc)
  - paramètres rayonnement (coefficient d'inhomogénéité LW/SW, ...)
  - autres (GW orographiques et non orographiques, ...)
- Principaux paramètres testés pour NEMO/GELATO (configuration mise au point via shaconemo, mais réévaluation en couplé)
  - paramètres du schéma TKE
  - paramètres contrôlant la pénétration du rayonnement solaire
  - albedo de la glace en phase de fonte
  - drag sous la banquise
- ▷ **Finalité étape #2** : conserver un jeu très (très) restreint de paramètres pour ajustement bilan TOA/surface ; pour CNRM-CM6, coefficient d'inhomogénéité nuageuse dans le SW.

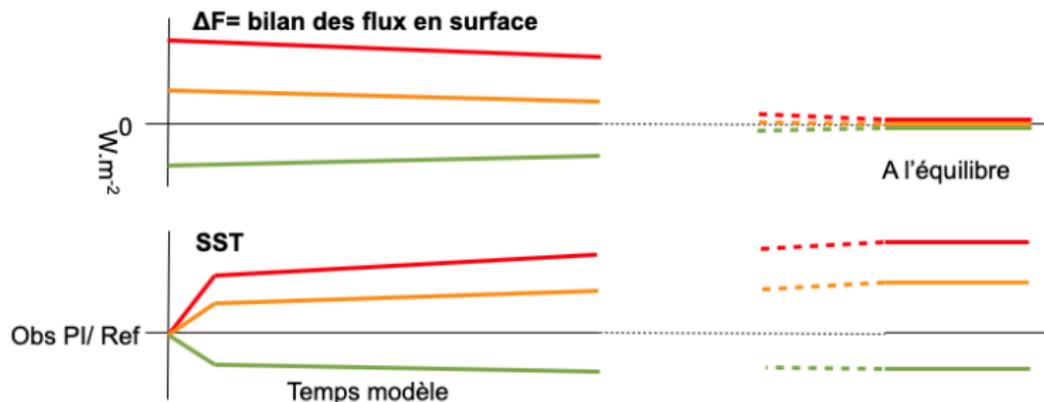
# Calibration du système complet : méthode

- ▷ **Finalité étape #3** : limiter la dérive du système en SST moyenne globale (SST à l'équilibre proche des observations)



# Calibration du système complet : méthode

- ▷ **Finalité étape #3** : limiter la dérive du système en SST moyenne globale (SST à l'équilibre proche des observations)



## ▷ Remarques

- Étape pas toujours effectuée : dans CMIP5, température moyenne dans les simulations piControl dans la plage [12-14.8 K].
- Pas de rapport entre température moyenne en préindustriel et sensibilité du modèle à l'équilibre (IPCC).
- Le tuning peut avoir un impact sur la sensibilité climatique (Zhao, 2016).

# Calibration du système complet : méthode

- ▶ **Finalité étape #3** : limiter la dérive du système en SST moyenne globale (SST à l'équilibre proche des observations)
- Dans un formalisme très simple, évolution de la température de l'océan superficiel  $T$

$$T(0) = T_{obs} \text{ et } c \frac{dT}{dt} = H(T)$$

# Calibration du système complet : méthode

- ▶ **Finalité étape #3** : limiter la dérive du système en SST moyenne globale (SST à l'équilibre proche des observations)

$$T(0) = T_{obs} \text{ et } c \frac{dT}{dt} = H(T)$$

- ▶ Le flux net en surface (ocean heat uptake)  $H$  peut s'écrire comme

$$H(T) = H_{amip}(T_{obs}; \Theta) + \beta(\Theta)(T - T_{obs}) + H_{cpt}$$

- ▶  $\Theta$  : paramètre-s du modèle
- ▶  $H_{amip}(T_{obs}; \Theta) = SW_n + LW_n - LH - SH$  : flux net en surface avec SST fixées à  $T_{obs}$
- ▶  $H_{cpt}$  : flux additionnels en couplé (flux chaleur banquise + flux enthalpie)
- ▶ ...et un éventuel ajustement instantané,  $T(0_+) = T_{start} \neq T_{obs}$

# Calibration du système complet : méthode

- ▶ **Finalité étape #3** : limiter la dérive du système en SST moyenne globale (SST à l'équilibre proche des observations)

$$T(0) = T_{obs} \text{ et } c \frac{dT}{dt} = H(T)$$

$$H(T) = H_{amip}(T_{obs}; \Theta) + \beta(\Theta)(T - T_{obs}) + H_{cpl}$$

- ▶ si on veut  $T(t) \approx T_{obs}$  il faut trouver un paramètre  $\Theta$  tel que

$$H_{amip}(T_{obs}; \Theta) + H_{cpl} = 0$$

- ▶ et dans l'idéal, ce paramètre  $\Theta$  conserve les caractéristiques climatiques (e.g.  $\beta(\Theta) \approx 0$ )

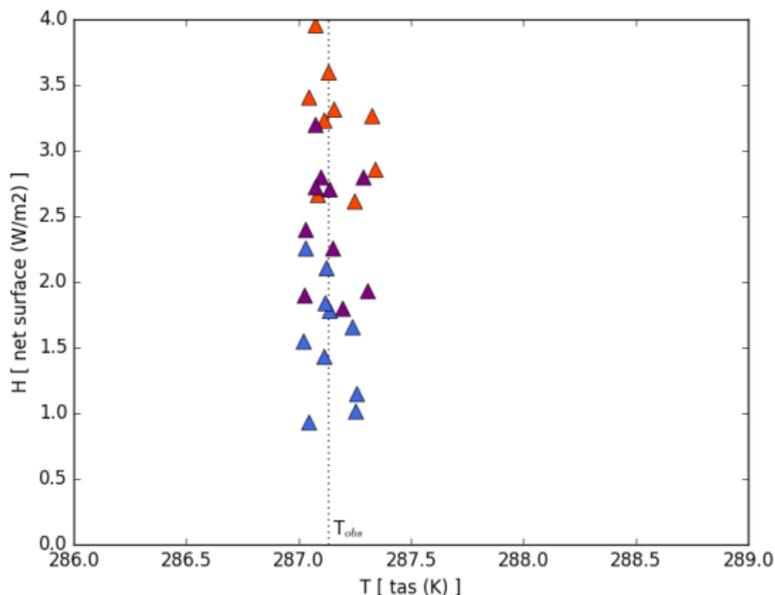
## Du forcé au couplé : illustration dans CNRM-CM6- $\beta$

- Dans une version préliminaire de CNRM-CM6-1...
- ... réalisation de 3 expériences jumelles : 10 ans d'atmosphère forcée & 50 ans couplée avec océan,
- ... qui ne diffèrent que par un seul paramètre  $\Theta$  (coefficient d'inhomogénéité nuageuse SW).

<b>exp</b>	-	$\Theta$
SW1	bleu	0.72
SW2	violet	0.69
SW3	rouge	0.66

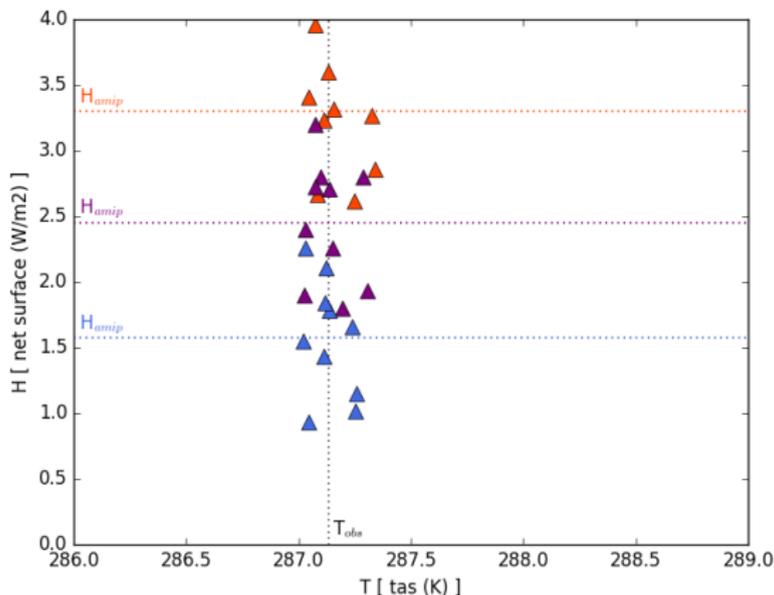
# Du forcé au couplé : illustration dans CNRM-CM6- $\beta$

Scatterplot de  $(T \approx T_{obs}, H)$  dans les 3 exp. AMIP (1 pt par an)



# Du forcé au couplé : illustration dans CNRM-CM6- $\beta$

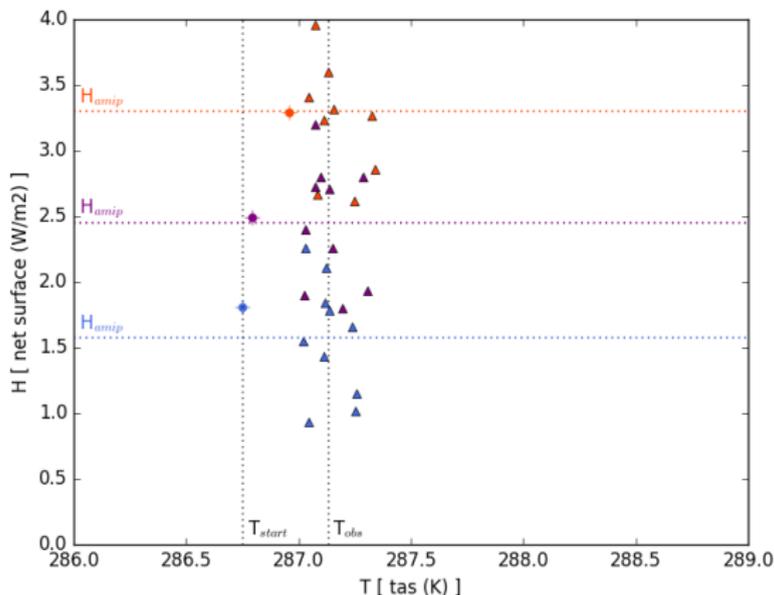
Scatterplot de  $(T \approx T_{obs}, H)$  dans les 3 exp. AMIP (1 pt par an)



$$\Delta H_{amip} / \Delta \Theta \approx -30 \text{ W.m}^{-2}$$

# Du forcé au couplé : illustration dans CNRM-CM6- $\beta$

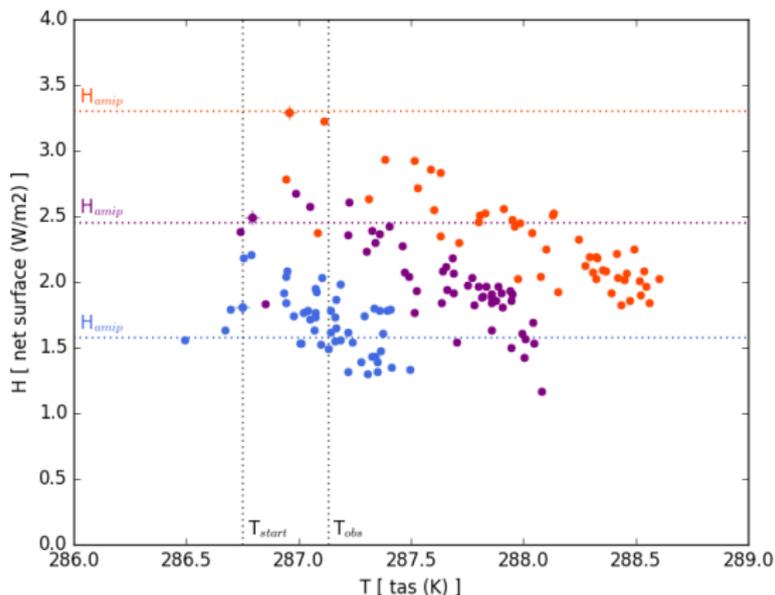
Scatterplot de  $(T \approx T_{obs}, H)$  dans les 3 exp. AMIP (1 pt par an)



+ 1ere année dans les 3 exp. couplées corresp. :  $T_{start} < T_{obs}$

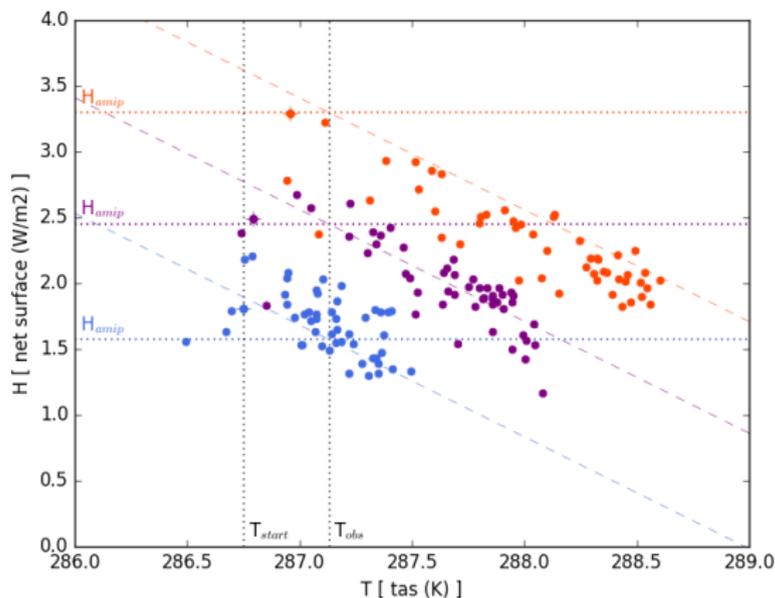
# Du forcé au couplé : illustration dans CNRM-CM6- $\beta$

Scatterplot de  $(T(t), H(t))$  dans les 3 exp. couplées corresp. (1 pt par an)



# Du forcé au couplé : illustration dans CNRM-CM6- $\beta$

Scatterplot de  $(T(t), H(t))$  dans les 3 exp. couplées corresp. (1 pt par an)



- modèle très simple pas trop faux...
- $\beta$  de l'ordre de  $-0.8 / -0.9 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$
- reste à connaître  $H_{cpl}$

# Calibration du système complet : CNRM-CM6-1

- ▶ **Finalité étape #3** : limiter la dérive du système en SST moyenne globale (SST à l'équilibre proche des observations)

$$T(0) = T_{obs} \text{ et } c \frac{dT}{dt} = H(T)$$

$$H(T) = H_{amip}(T_{obs}; \Theta) + \beta(\Theta)(T - T_{obs}) + H_{cpl}$$

- ▶ si on veut  $T(t) \approx T_{obs}$  il faut trouver un paramètre  $\Theta$  tel que

$$H_{amip}(T_{obs}; \Theta) + H_{cpl} = 0$$

- $H_{cpl} = -0.8 \text{ W.m}^{-2}$  (runoff des rivières : terme principal à l'équilibre)
- On cherche donc  $\Theta$  pour que  $H_{amip} = 0.8 \text{ W.m}^{-2}$
- Pour la petite histoire, dans CNRM-CM6-1 :  $\Theta = 0.71$  (coefficient d'inhomogénéité nuageuse SW).

# Dans CNRM-CM6-1...

- ▷ la SST de la simulation **piControl** assez proche des valeurs observées...

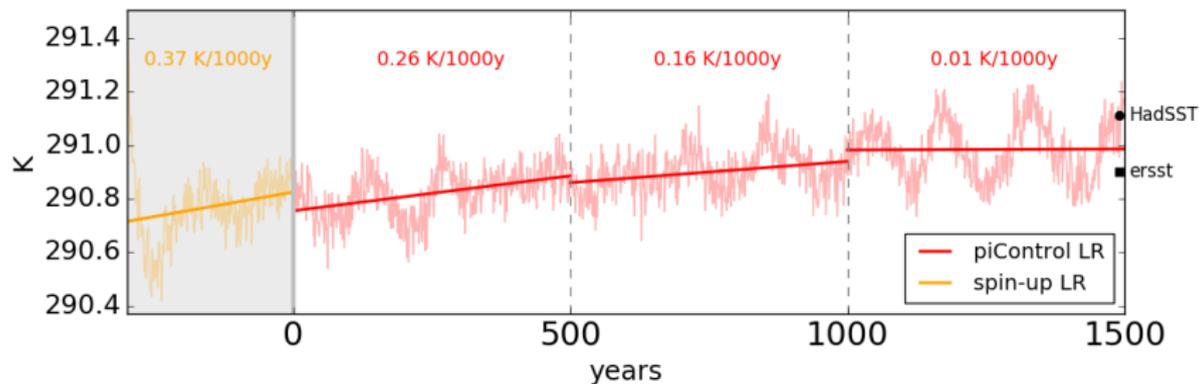


Fig. : Évolution de la SST dans les 1500 ans de la simulation **piControl** du DECK/CMIP6, précédés des 300 ans de 'spin-up'

## Dans CNRM-CM6-1...

- ▷ un bilan net en surface ( $H_{cpl} + H_{ami p}$ ) assez vite proche de 0...

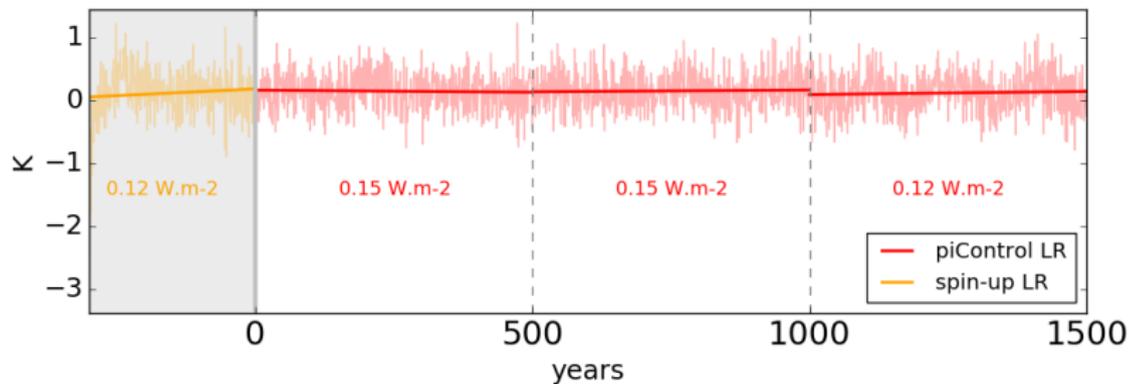


Fig. : Évolution du flux net dans l'océan (hfds) dans les 1500 ans de la simulation **piControl** du DECK/CMIP6, précédés des 300 ans de 'spin-up'

## Dans CNRM-CM6-1...

- ... mais des temps de réponse dans l'océan profond très (très) longs...

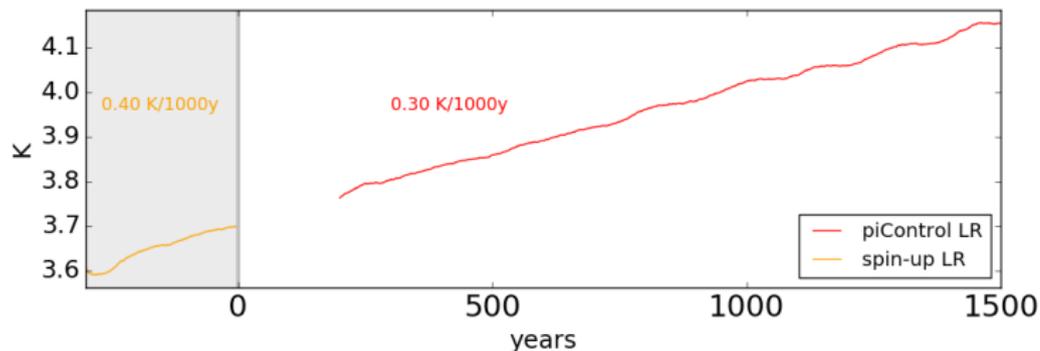


Fig. : Évolution du contenu intégré de chaleur dans l'océan (bigthetaoga) dans les 1500 ans de la simulation **piControl** du DECK/CMIP6, précédés des 300 ans de 'spin-up'

# Discussion : limites et pistes d'amélioration

- Nécessité de documenter le tuning des modèles
- Le tuning peut ralentir le travail de développement à long terme
  - ▷ Besoin d'adopter des méthodes de calibration 'automatiques'
  - ▷ Utilisation de modèles d'apprentissage statistique ?
- Le tuning peut induire des compensations d'erreur par surapprentissage (et des difficultés à proposer des améliorations contre un modèle ancien très bien calibré)
  - ▷ Limiter le tuning du système intégral
  - ▷ Méthodes de calibration basées sur des métriques orientées processus
  - ▷ Utilisation de jeux d'observations plus précis
- Le tuning peut induire des sensibilités climatiques différentes
  - ▷ Effort sur la documentation associée + proposer plusieurs versions avec différentes sensibilités ?
- Le tuning ne résout pas les problèmes structurels (par ex. double ITCZ)
  - ▷ Travail de long terme sur la représentation physique des processus

# Contact

- ▶ Pour plus de détails sur CNRM-CM6-1 et CNRM-ESM2-1 et la participation du CNRM-CERFACS à CMIP6  
**[http ://www.umr-cnrm.fr/cmip6](http://www.umr-cnrm.fr/cmip6)**