

Quelles tendances nuageuses et quelles signatures de rétroactions nuageuses pourrions-nous détecter avec une longue série de lidars spatiaux?

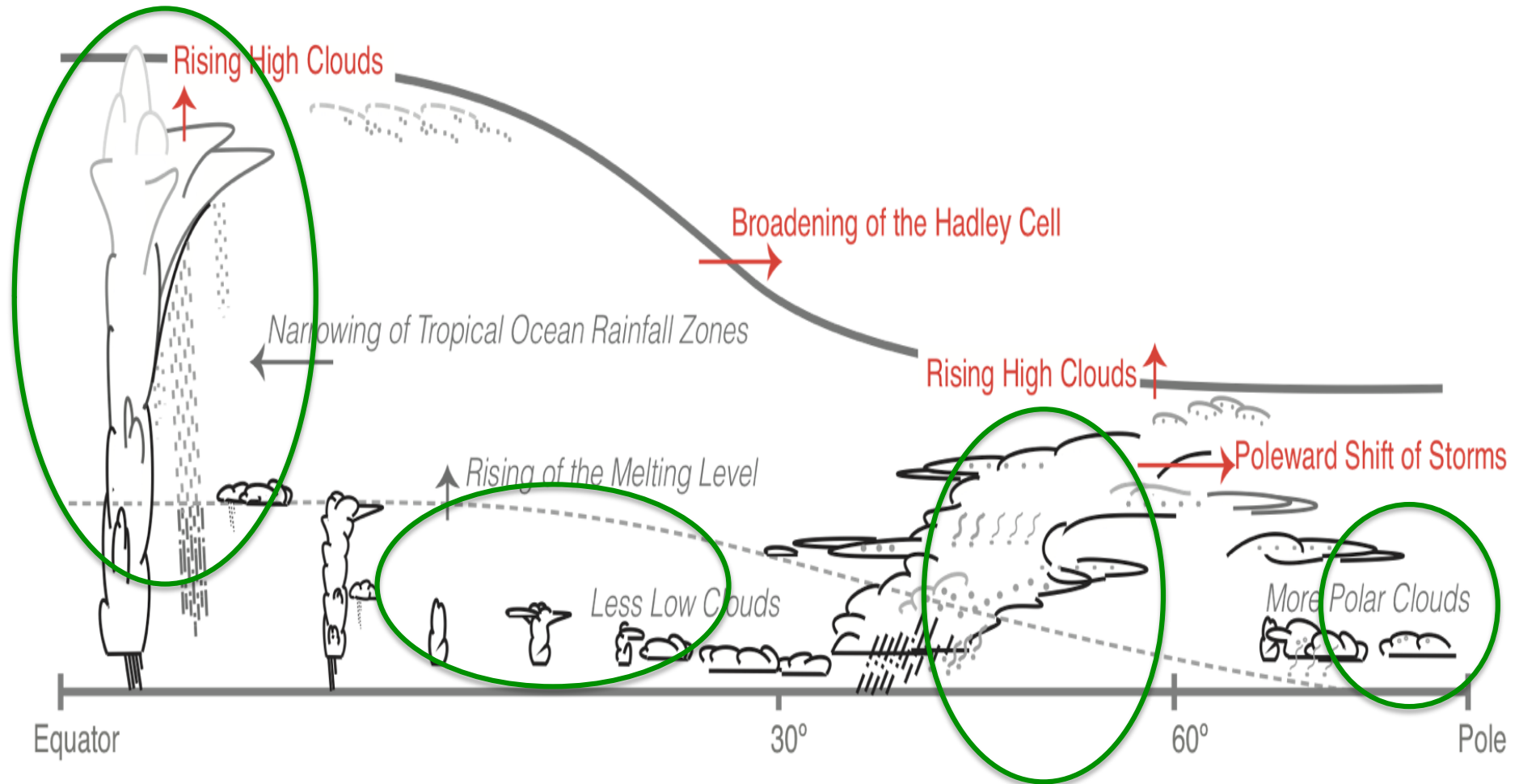
*Préparation projet de mission spatiale
MESCAL*

H. Chepfer⁽¹⁾, M. Chiriaco⁽²⁾, V. Noël⁽³⁾

M. Reverdy⁽¹⁾, D. Winker⁽⁴⁾, B. Wielicki⁽⁴⁾, T. Vaillant de Guélis⁽¹⁾, R. Guzman⁽¹⁾, P. Raberanto⁽¹⁾, S. Klein⁽⁵⁾, N. Loeb⁽⁴⁾

- (1) LMD
- (2) LATMOS
- (3) LA
- (4) NASA Langley
- (5) LLNL

Contexte : quels changements attendus pour les nuages, quand le climat se réchauffe? AR5

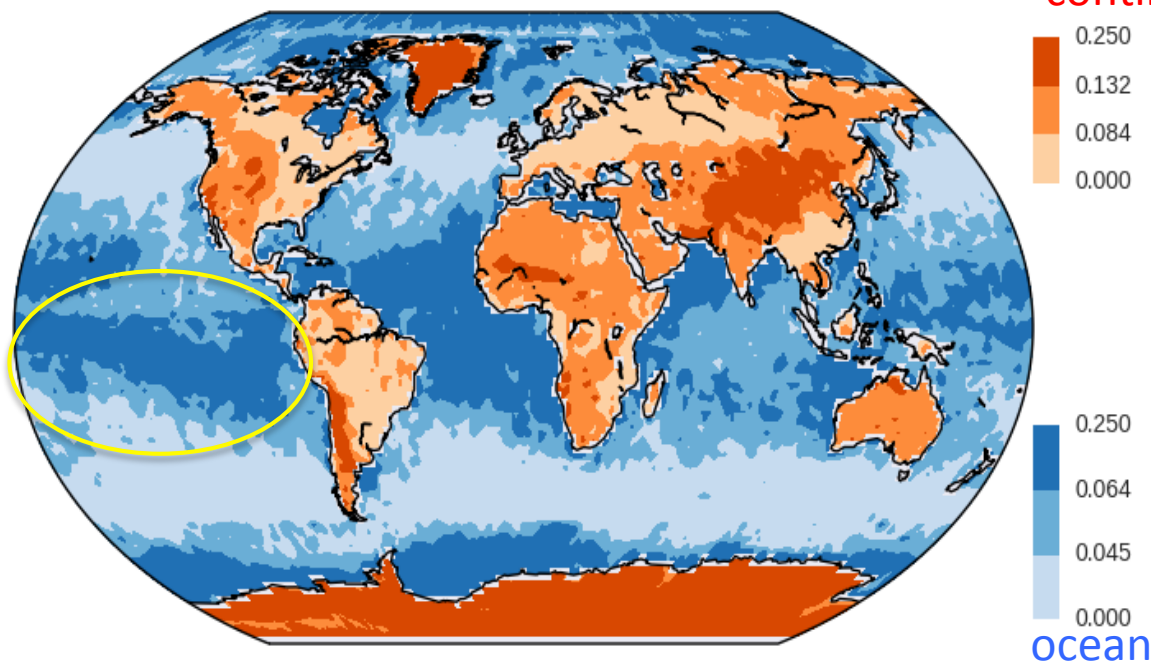


A ce jour, les rétroactions nuageuses ne sont pas contraintes par les observations (AR5)

=> Changements attendus pour les nuages << à la variabilité naturelle (eg. Zelinka et al. 2012) et << à la précision des observations long-terme passives de grandeurs clés comme l'altitude des nuages (eg. GEWEX CA, Stubenrauch et al. 2012)

Contexte : comment les nuages sont-ils vus par les satellites?

Dispersion inter-satellites passifs du Cloud Amount



0.00 0.05 0.10 0.15 0.20

Cloud Fraction CALIPSO

Pacific

Altitude

12

8

4

0

J F M A M J J A S O N D

Month

Noël *al.* in revision (JGR) : à partir d'une dizaine de climatologies nuages du GEWEX CA database (cohérent Mace et al. 2014, Stubenrauch et al. 2012, Holz et al. 2008, Di Michele et al. 2013, Mace and Wrenn 2013, ...)

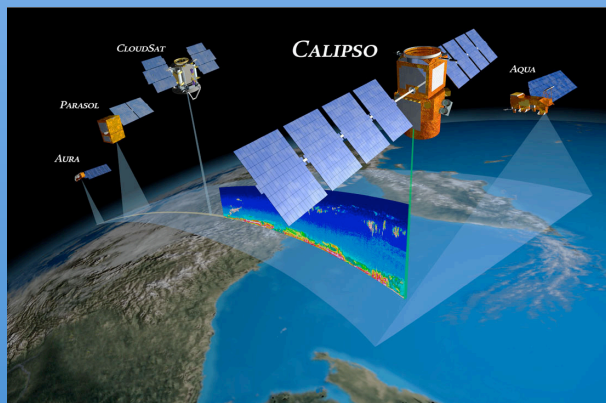
Rétroactions nuageuses liées aux mécanismes **nuages bas** et aux mécanismes **nuages hauts**

➔ Besoin de détecteurs **actifs** pour surveiller l'évolution des propriétés des nuages hauts et des nuages bas

Contexte : lidars spatiaux nuages/aérosols

CALIPSO

- Depuis 2006 – déjà 10 ans de données
- Mission CNES-NASA
- Lidar 532/1064nm (+dépolarisation) + imageur IR
- Vole dans une constellation de satellites héliosynchrones
- fin de mission prochaine (2017-2018)



Earth-CARE

- Lancement prévu en 2019 pour une durée prévue de 3 ans
- Mission ESA-JAXA
- Lidar 355-nm (+HSRL) + Radar

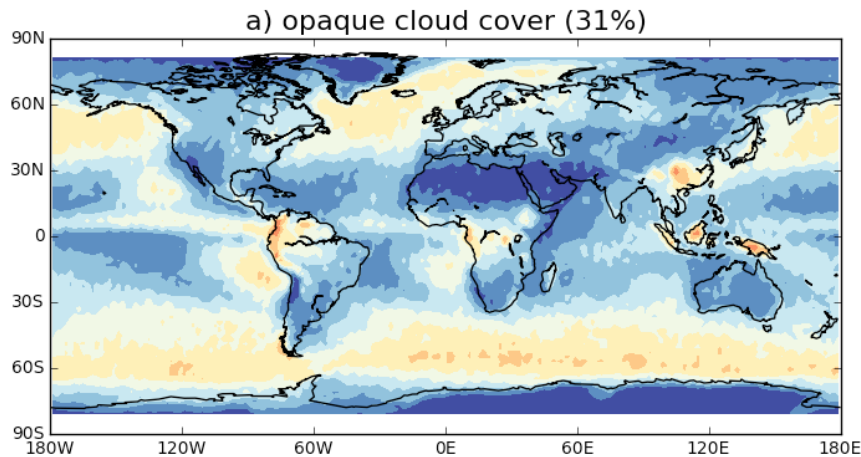


MESCAL – Monitoring the Evolving State of Clouds and Aerosols with Lidar

- Projet CNES-NASA Phase 0
- Objectifs scientifiques : nuages, aérosols, couleur de l'océan
- Objectif : voler dans une constellation
- Technologies à l'étude (en plus de CALIPSO) : HSRL, multi- λ , détecteurs ++...

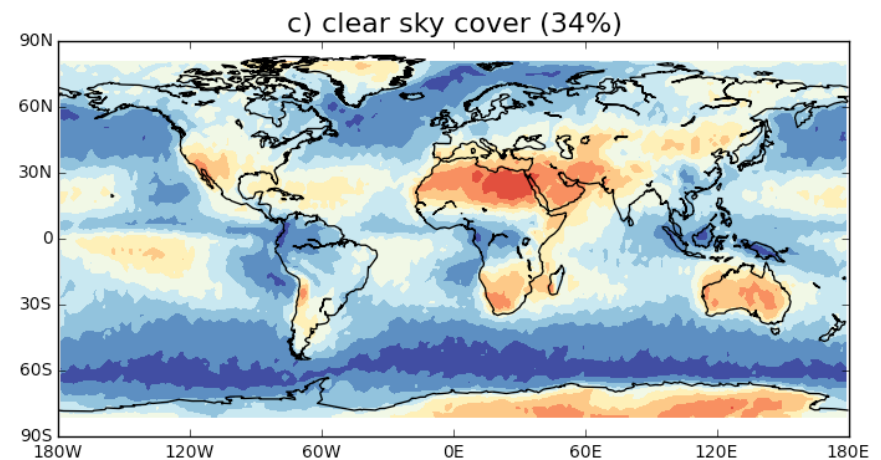
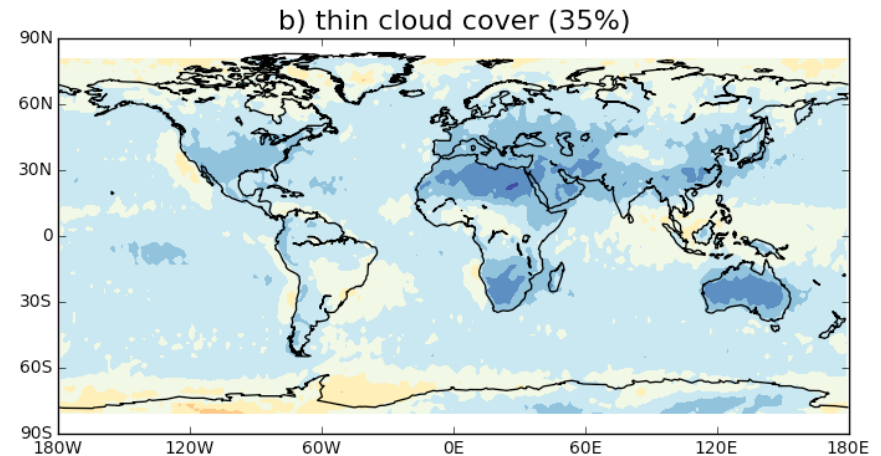


Contexte : CALIPSO observe entièrement l'atmosphère jusqu'à la surface dans 69% des profiles, depuis 2006...



...Tandis que 31% des profiles sont bloqués par des nuages opaques. La majorité de ces nuages sont en-dessous de 4 km et composés d'eau liquide.

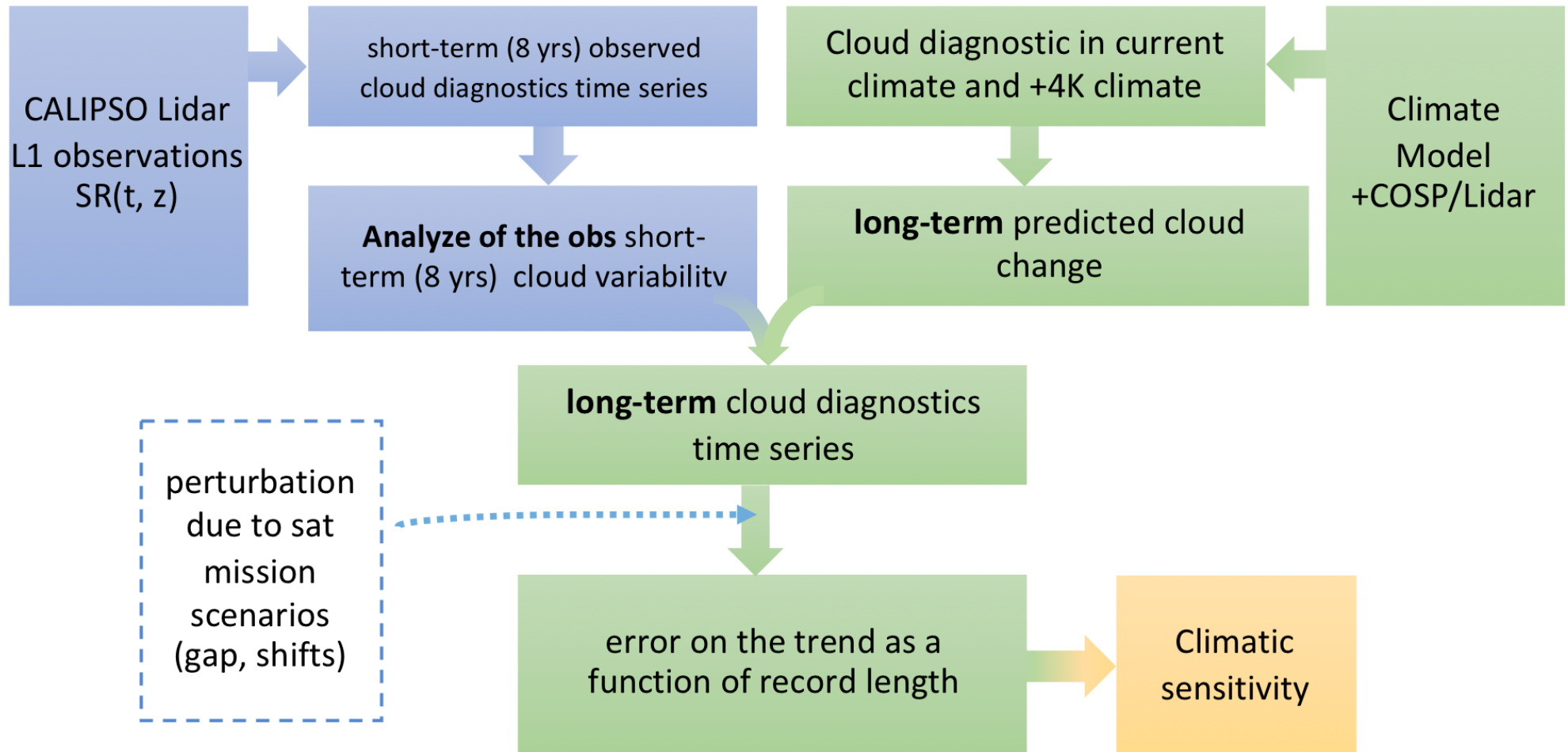
Guzman et al., in revision (JGR)



Questions scientifiques

- Quel **diagnostic nuageux** verticalement résolu est pertinent pour contraindre chaque mécanisme de rétroaction?
- Quelle **longueur de la série** est requise pour détecter une signature de ces rétroactions? = quand la tendance nuageuse sort-elle de la variabilité naturelle?
- Comment un **gap** ou un **shift en calibration** entre missions successives impacte la longueur de série requise?

Méthode





Nuages dans les zones de convection profonde tropicale ($w_{500} < 0$)

Mécanisme de rétroaction nuageuse attendu :

- On s'attend à ce que ces nuages se soulèvent plus quand la température à la surface augmente → rétroaction positive dans le LW, ... de combien?

Hartmann et al. 2002

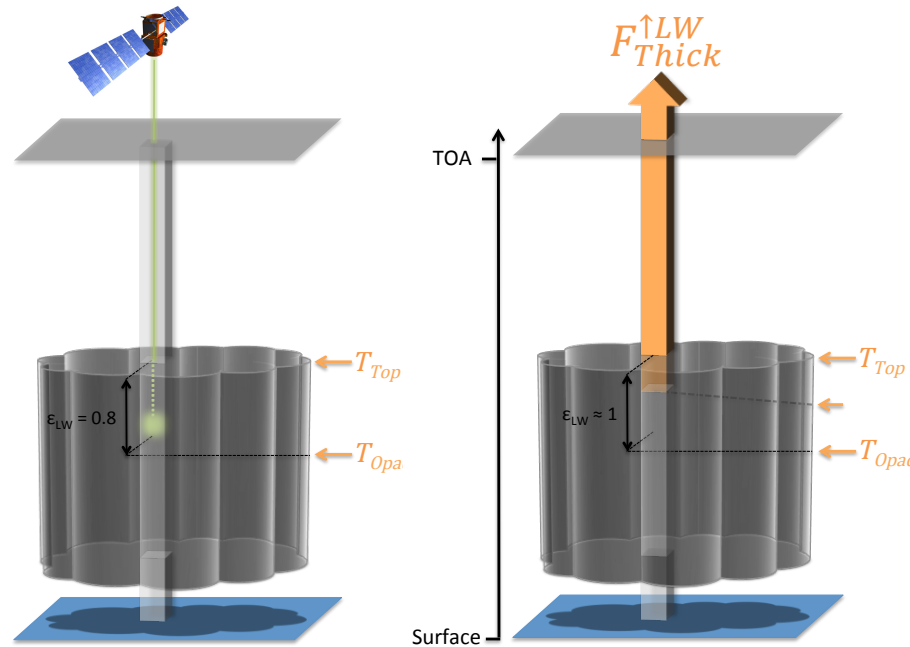
Zelinka et al. 2012

Wang et al. 2002

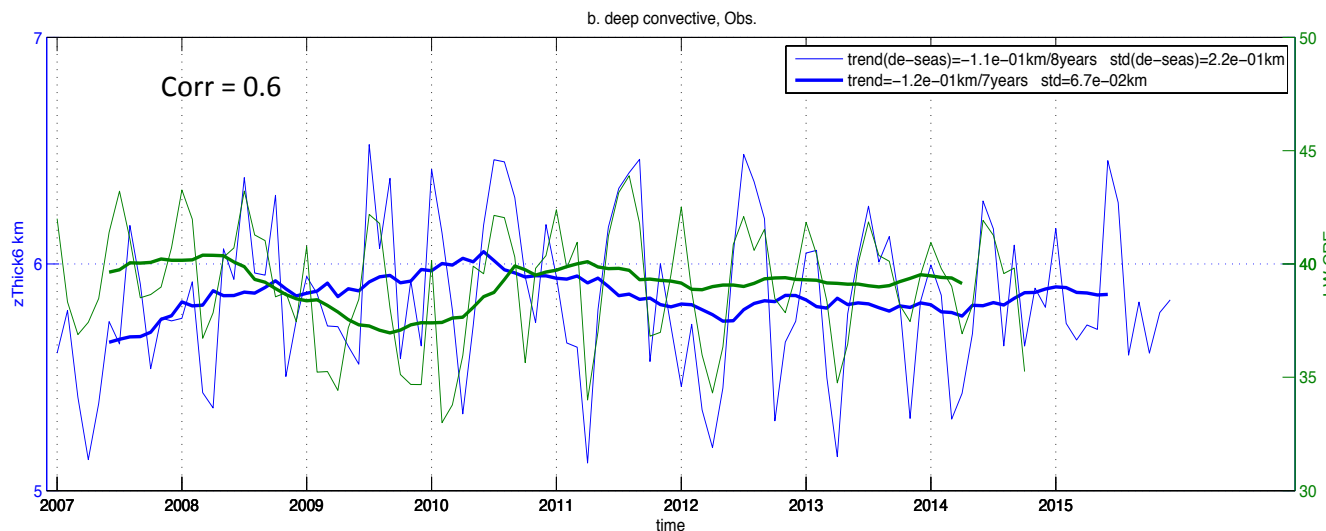
O'Gorman et al. 2013

Chepfer et al. 2014

Diagnostic : z_{opaque} = altitude à laquelle le signal lidar est atténué

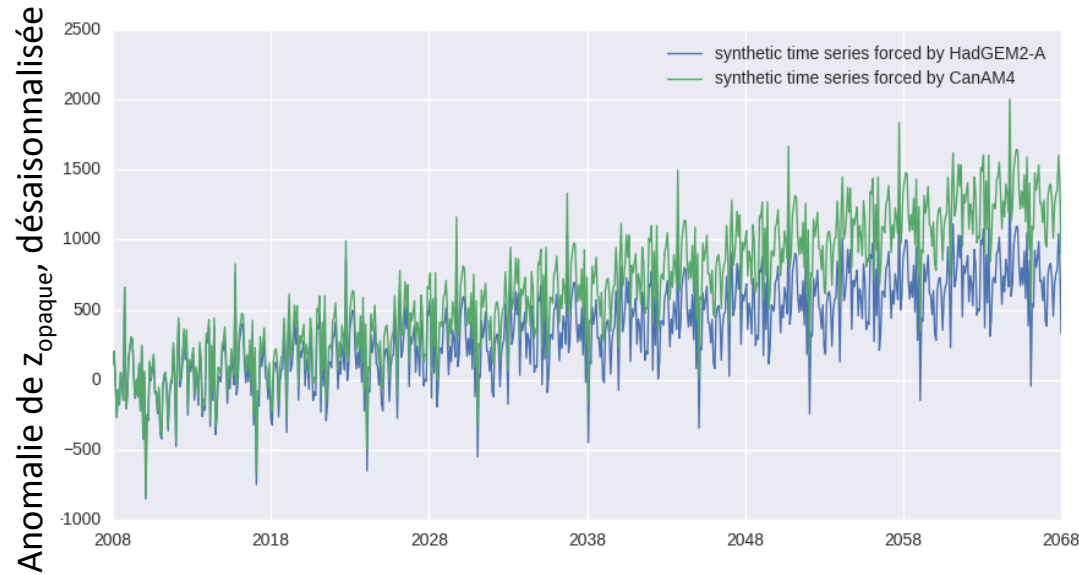


LW \uparrow diminue quand z_{opaque} augmente, de $2\text{W}\cdot\text{m}^{-2}/\text{K}$ (thèse T. Vaillant de Guélis, CERES + CALIPSO) – *cohérent avec Wang et al. 2002, Sherwood et al. 2004, Garnier et al. 2015*



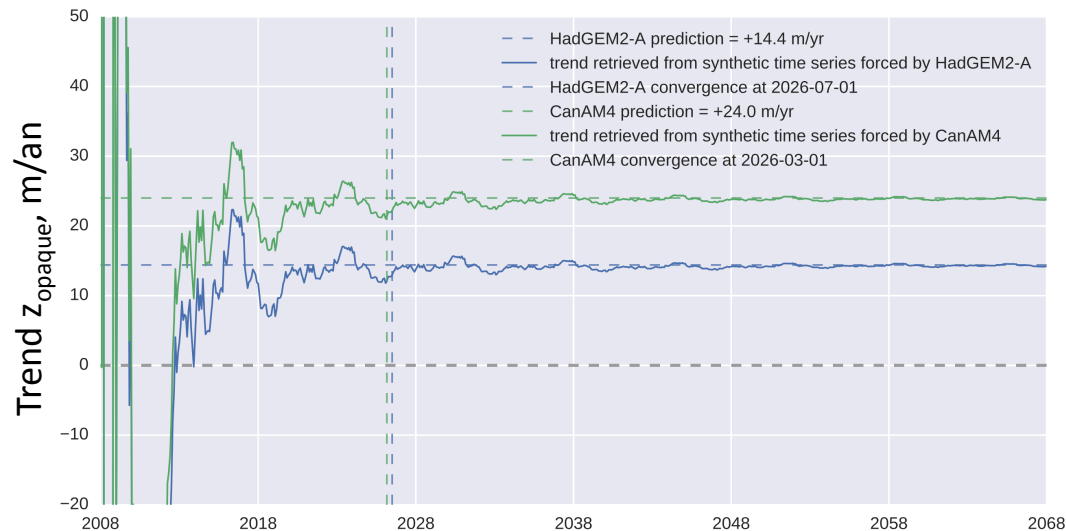
z_{opaque} dirige le CRE LW

Quelle durée est requise pour la série?

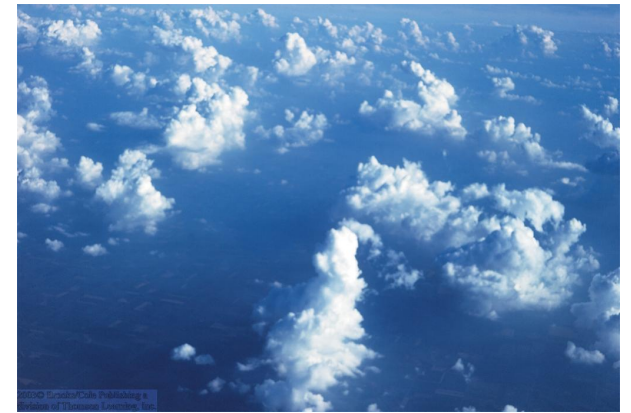


GCM CanAM4

GCM HadGEM2-A



Pour une série de données « parfaite », environ **18 années** de mesures sont nécessaires pour que la tendance converge vers celle attendue +/-10%



Nuages bas (0 – 4 km) dans les zones de subsidence tropicale ($w_{500} > 0$)

Mécanisme de rétroaction nuageuse attendu :

- On s'attend à ce que la présence de ces nuages diminue quand la température à la surface augmente → rétroaction positive dans le SW?

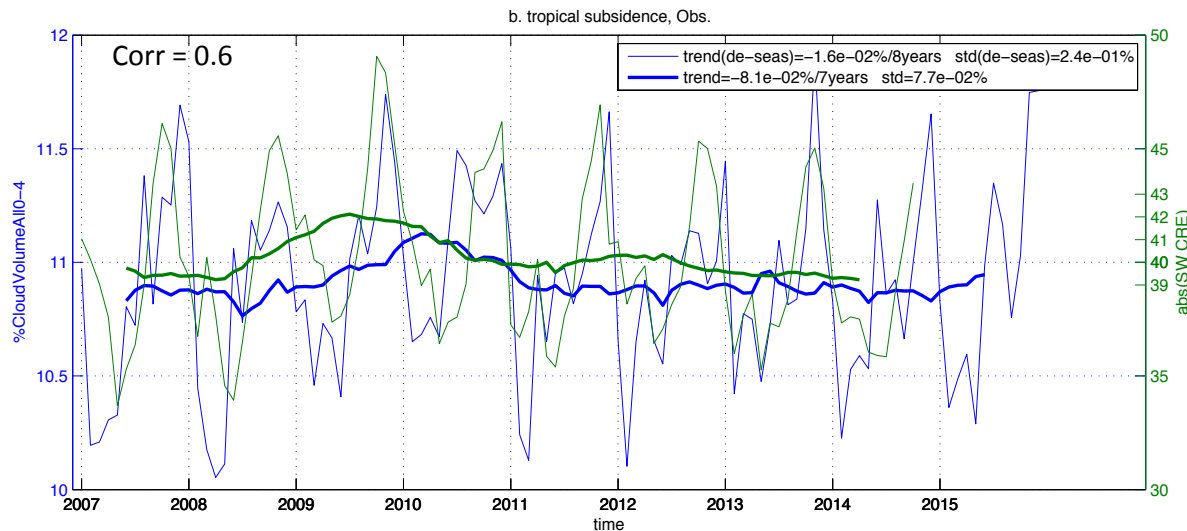
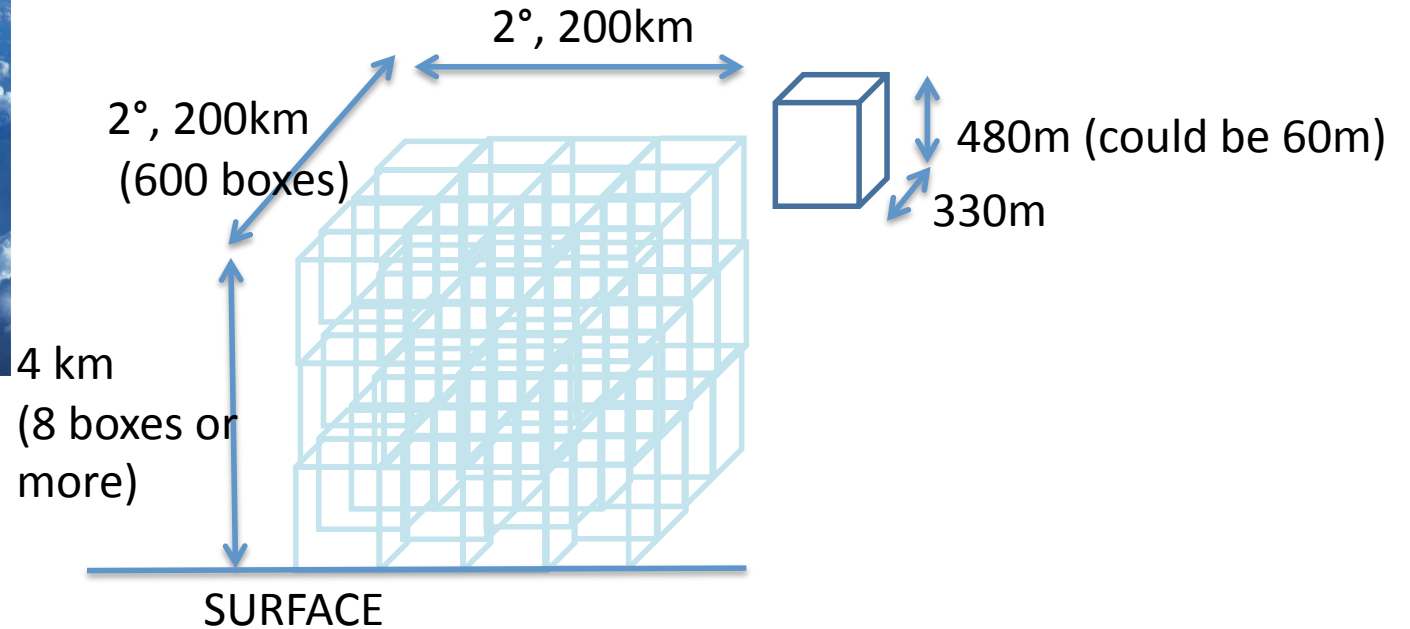
Qu et al. 2014

Klein & Hall 2015

Bretherton 2015

...

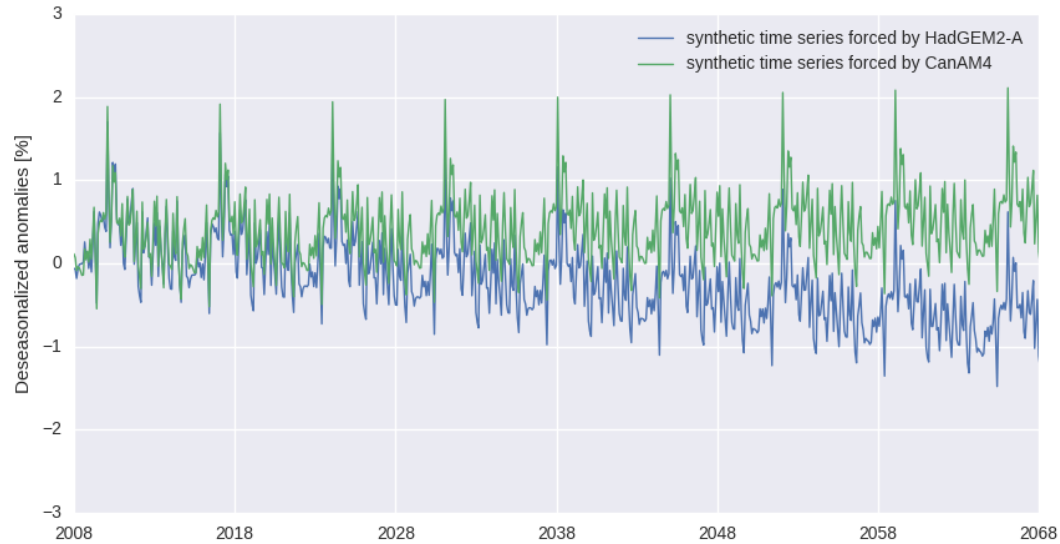
Diagnostic : « CloudVolume_{thin} » = volume de la couche 0-4 km rempli par des nuages fins



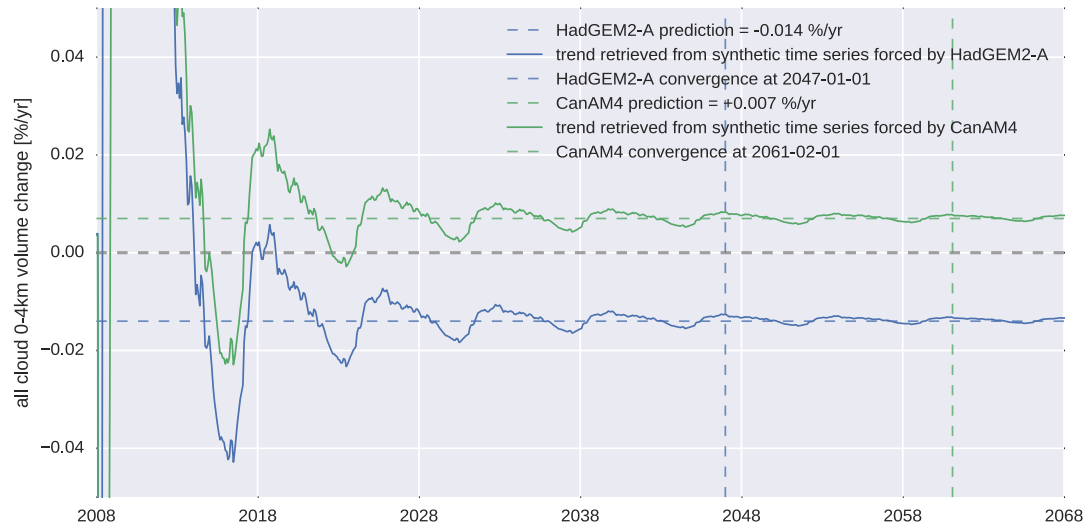
CloudVolume_{thin} dirige le CRE SW

Le CRE SW devient plus important quand CloudVolume_{thin} augmente

Quelle durée est requise pour la série?



GCM CanAM4
GCM HadGEM2-A



Pour une série de données « parfaite », environ **39 à 53 années (selon le modèle)** de mesures sont nécessaires pour que la tendance converge vers celle attendue +/-10%



Nuages dans la bande océan sud mid-latitudes ($35^{\circ}\text{S} - 65^{\circ}\text{S}$)

Mécanisme de rétroaction nuageuse attendu :

- Zone où la rétroaction négative SW est la plus importante, et où la sensibilité de l'épaisseur optique des nuages à la température est la « most promising emergent constrain » des rétroactions nuageuses

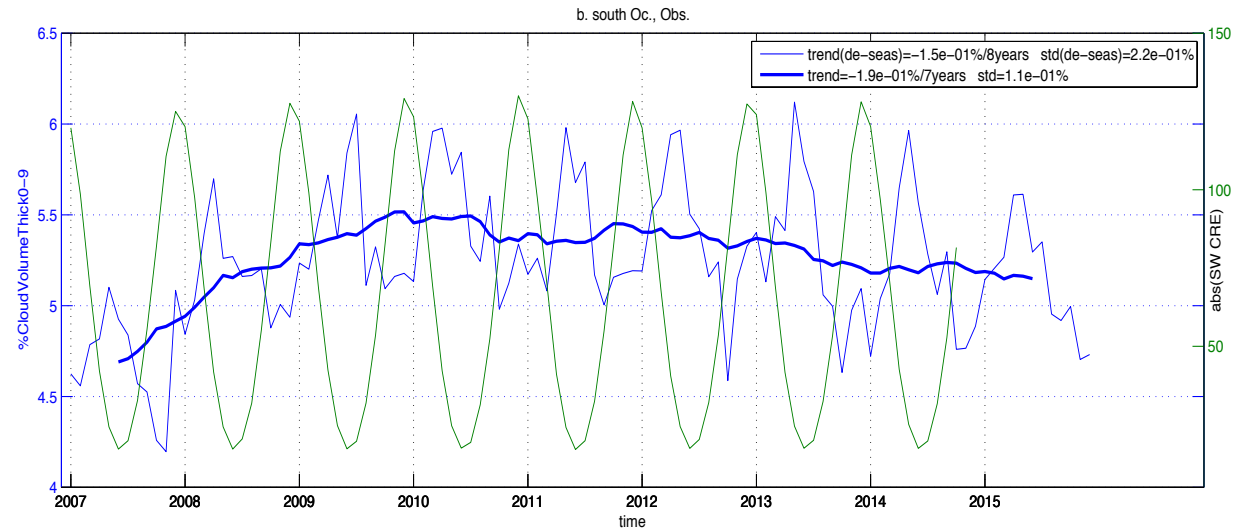
Gordon & Klein 2014

Klein & Hall 2015

Zelinka et al. 2012

...

Diagnostic : « $\text{CloudVolume}_{\text{opaque}}$ » = volume de la colonne remplie par des nuages opaques

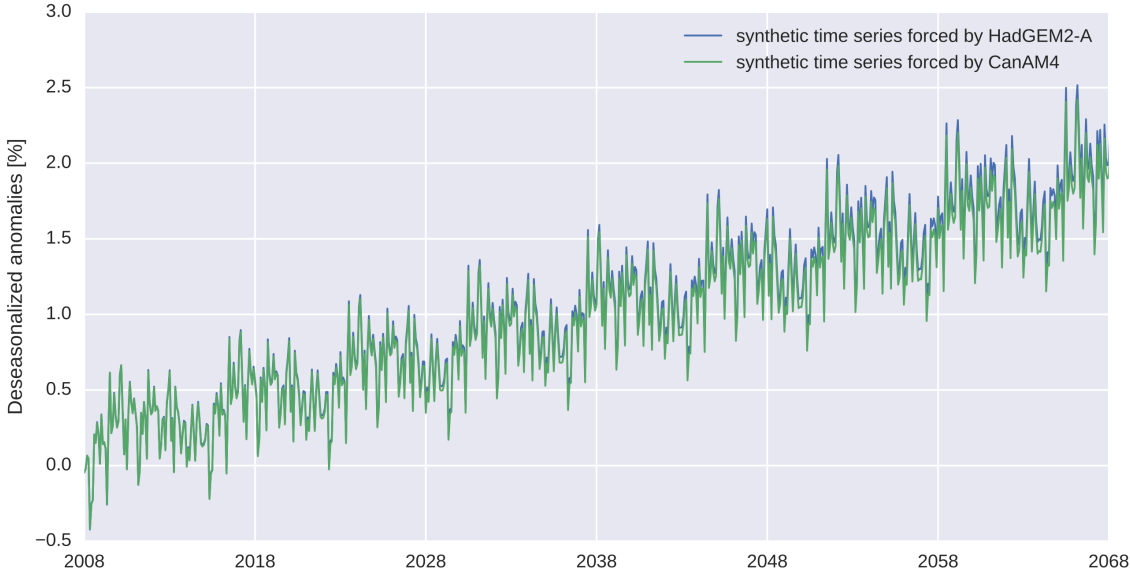


$\text{CloudVolume}_{\text{opaque}}$ pas directement corrélé à CRE SW car contrôlé par le cycle solaire

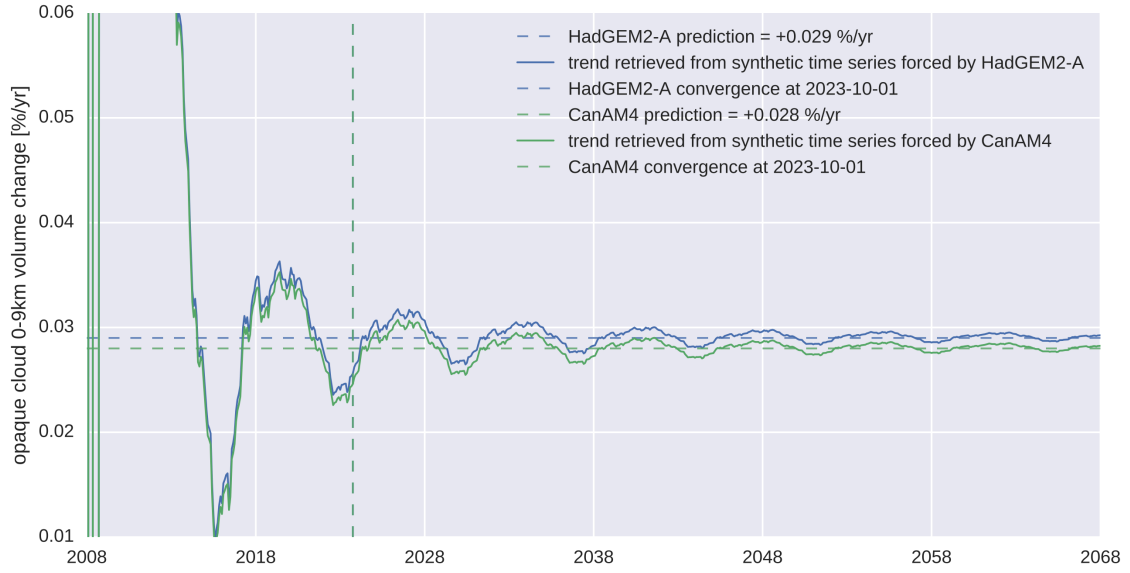
Mais

$\text{CloudVolume}_{\text{opaque}}$ corrélé à la SST (0.7) : augmente de 2% par K

Quelle durée est requise pour la série?



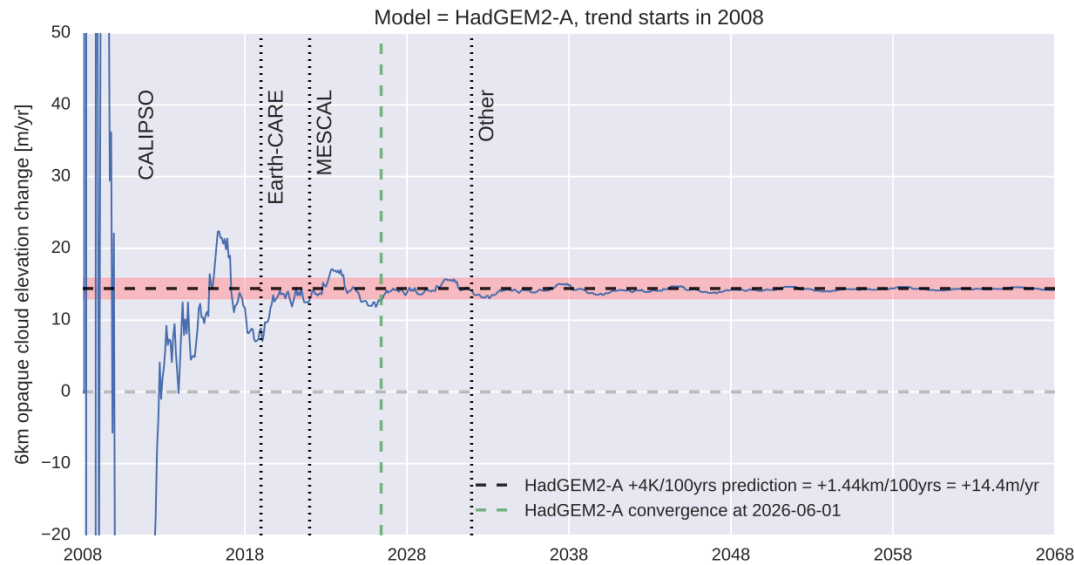
GCM CanAM4
GCM HadGEM2-A



Pour une série de données « parfaite », environ **15 années** de mesures sont nécessaires pour que la tendance converge vers celle attendue +/-10%

Impact de gaps et shifts de calibration entre missions successives

Impact de gaps et/ou shit de calibration entre missions successives?

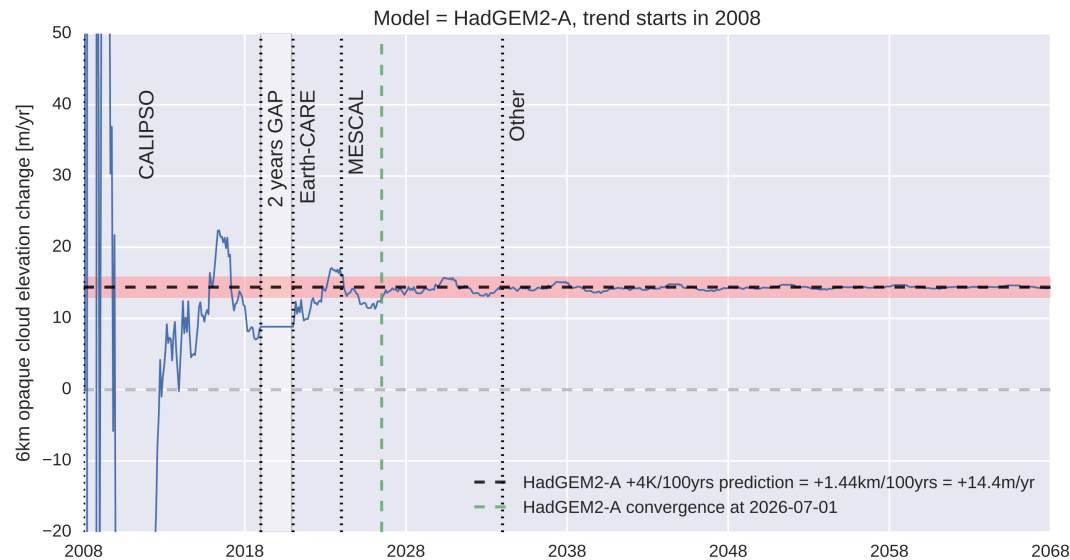


Cas considéré :

- Z_{opaque}
- zone de convection profonde tropicale ($w_{500} < 0$)
- GCM CanAM4

Scénario « idéal » : **18 ans** pour que la tendance converge vers celle attendue +/-10%

Impact de gaps et/ou shit de calibration entre missions successives?



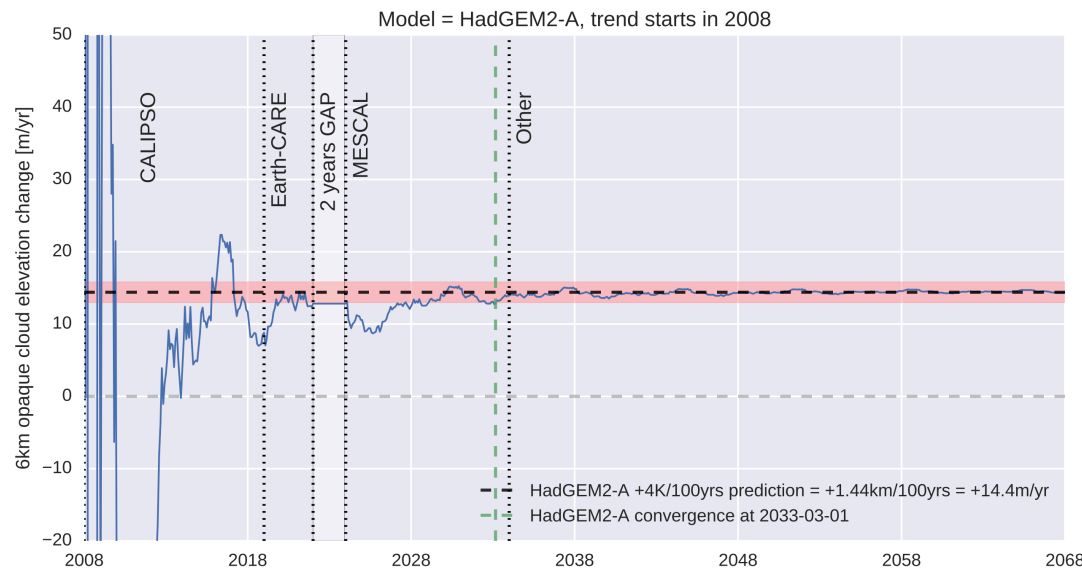
Cas considéré :

- Z_{opaque}
- zone de convection profonde tropicale ($w_{500} < 0$)
- modèle à faible rétroaction positive

Scénario « idéal » : **18 ans** pour que la tendance converge vers celle attendue +/-10%

Scénario « gap de deux ans entre CALIPSO et EARTH-CARE » : **1 mois de plus** pour que la tendance converge vers celle attendue +/-10%

Impact de gaps et/ou shit de calibration entre missions successives?



Cas considéré :

- Z_{opaque}
- zone de convection profonde tropicale ($w_{500} < 0$)
- modèle à faible rétroaction positive

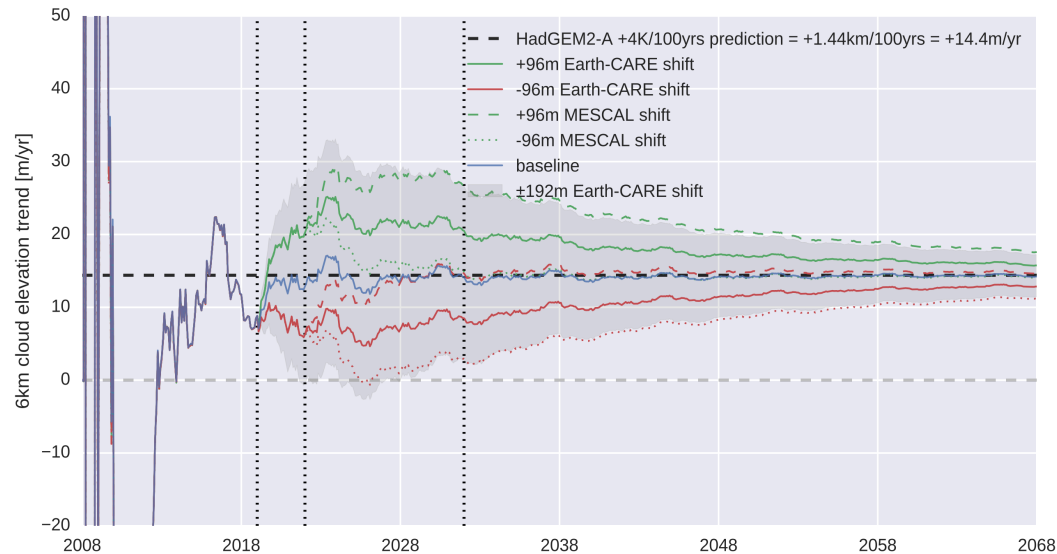
Paramètre important :
position du gap!

Scénario « idéal » : **18 ans** pour que la tendance converge vers celle attendue +/-10%

Scénario « gap de deux ans entre CALIPSO et EARTH-CARE » : **1 mois de plus** pour que la tendance converge vers celle attendue +/-10%

Scénario « gap de deux ans entre EARTH-CARE et MESCAL » : **6 ans et 8 mois de plus** pour que la tendance converge vers celle attendue +/-10%

Impact de gaps et/ou shift de calibration entre missions successives?



Cas considéré :

- Z_{opaque}
- zone de convection profonde tropicale ($w_{500} < 0$)
- modèle à faible rétroaction positive

Scénario « idéal » : **18 ans** pour que la tendance converge vers celle attendue +/-10%

Différents scénarii de shifts de calibration entre missions successives : **très fort impact sur le nombre d'année requises pour que la tendance converge vers celle attendue**

Conclusions

- Mise au point d'une **méthode** pour tester les mécanismes de rétroaction nuageuses prévus par les modèles, à partir **d'observations de télédétection active**
- Focus sur **trois zones clés** : nuages convectifs dans les zones d'ascendances tropicales, nuages bas dans les zones de subsidences tropicales, overcast nuageux dans la bande océan HS
- Une série de plus de **25 ans d'observations lidar** peut permettre de quantifier la réponse des nuages au changement climatique → **nécessité d'un 3^e lidar spatial après CALIPSO et Earth-CARE**
- Des **gaps** entre missions successives, a fortiori avec des soucis **d'inter-calibration**, **retarde** notre capacité à détecter la réponse des nuages au changement climatique

Tous les chiffres montrés ici soumis à deux conditions :

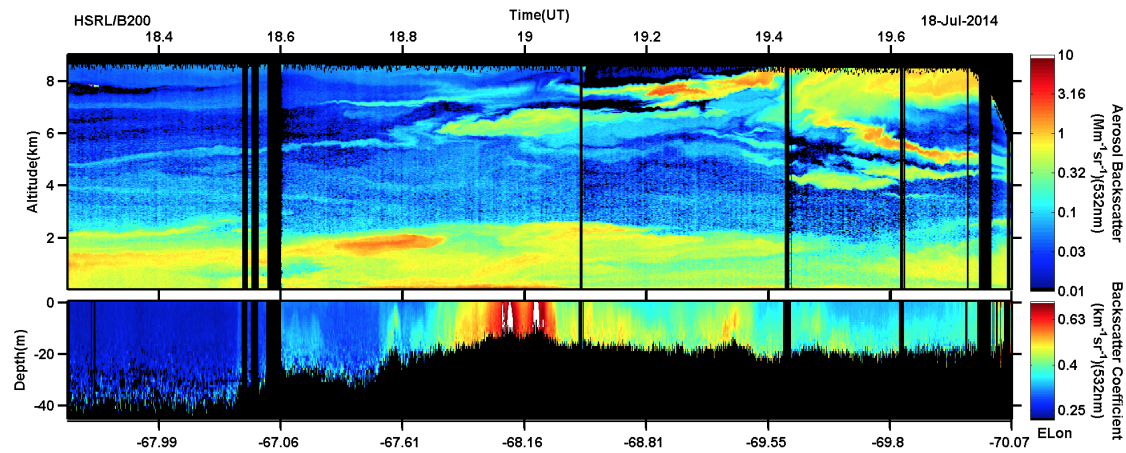
- *que la tendance prédite par les modèles soit vraie*
- *que 8 années de mesures CALIPSO soient suffisantes pour couvrir la variabilité naturelle*

Perspectives : MESCAL

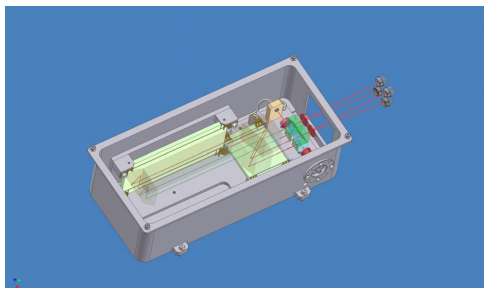
- Mission lidar co-proposée : groupe français EECLAT et groupe américain ACE
 - Groupe mission France : PI – H. Chepfer (LMD) + M. Chiriaco (LATMOS), V. Noël (LA), C. Flamant (LATMOS), M. Chami (Obs. Villefranche), C. Jamet (Univ. Littoral), J.-F. Mariscal (LATMOS).
- A l'étude pré-phase A NASA & CNES et Etude industrielle Airbus Defense&Space
- Nécessité de voler en formation avec radar et radiomètres
 - Objectifs scientifiques : nuages, aérosols, couleur de l'océan
 - Objectif : voler dans une constellation
 - Technologies à l'étude (en plus de CALIPSO) : HSRL, multi- λ , détecteurs ++...

Perspectives : MESCAL

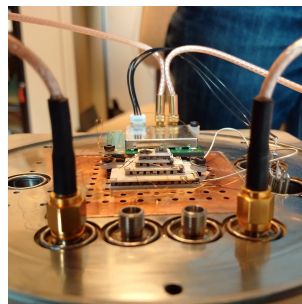
Pour quantifier comment les nuages évoluent et pourquoi, nous avons aussi besoin de
+ comprendre le rôle des aérosols et des premières couches de l'océan



+ Lidar innovant avec des technologies nouvelles



QMZ
IPSL/LATMOS

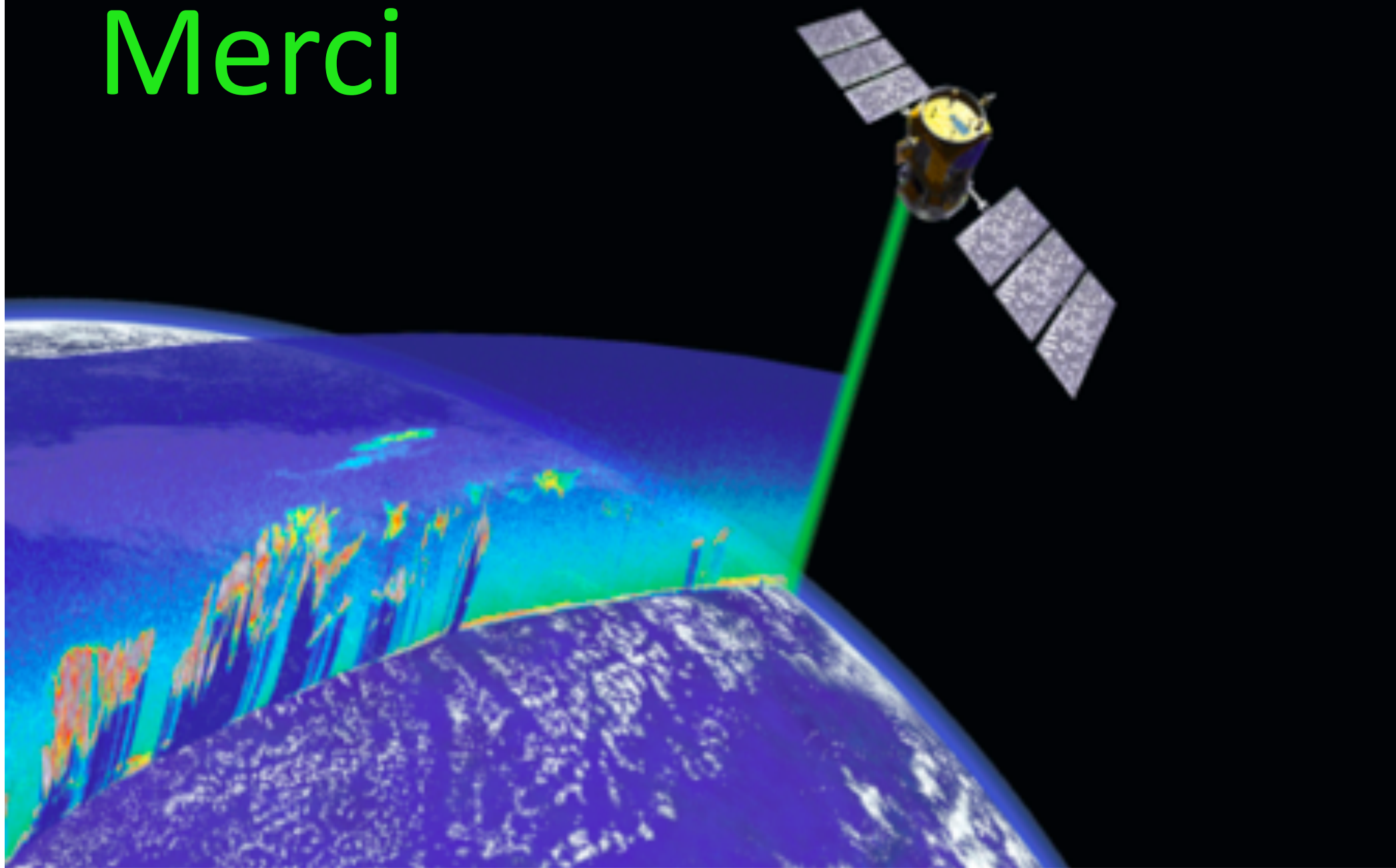


Détecteurs
CEA/LETI



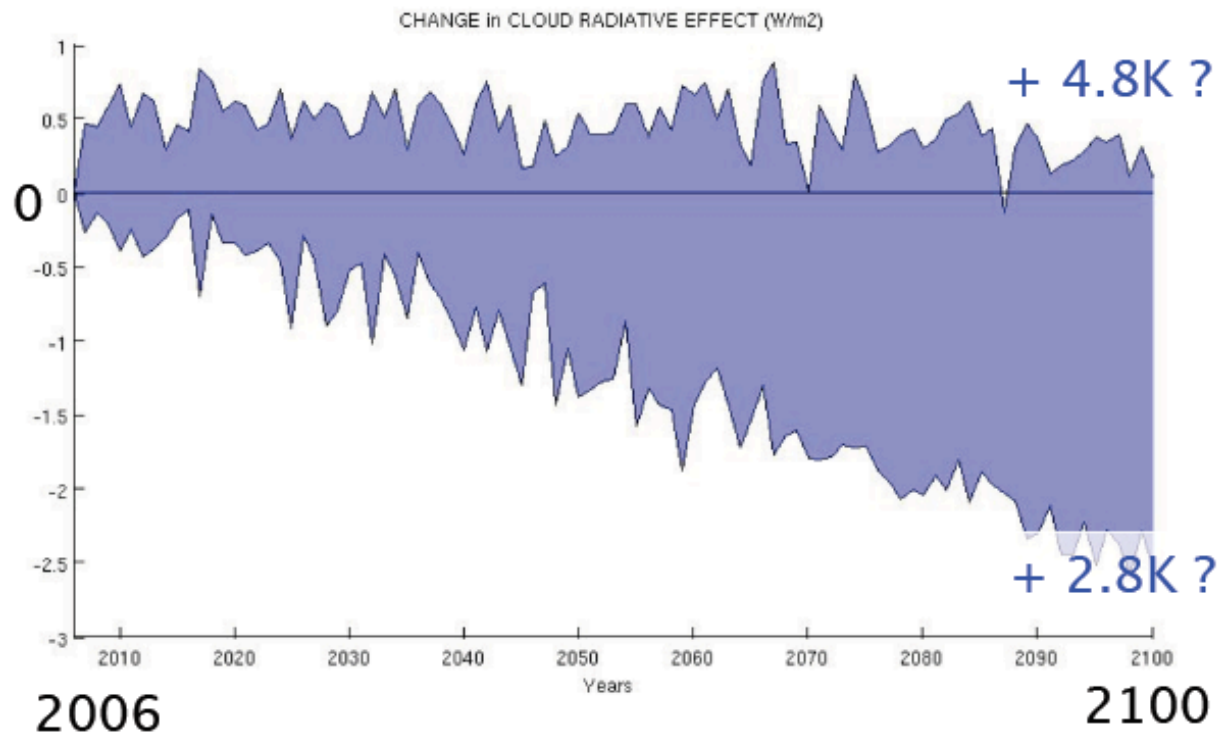
Airbus Defense&Space

Merci



Backup

Effect of the clouds on the global Earth Temperature



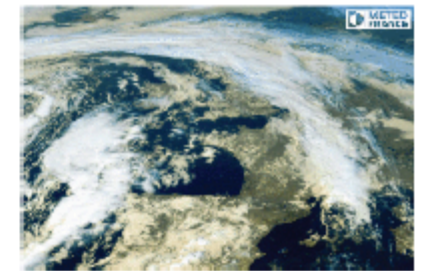
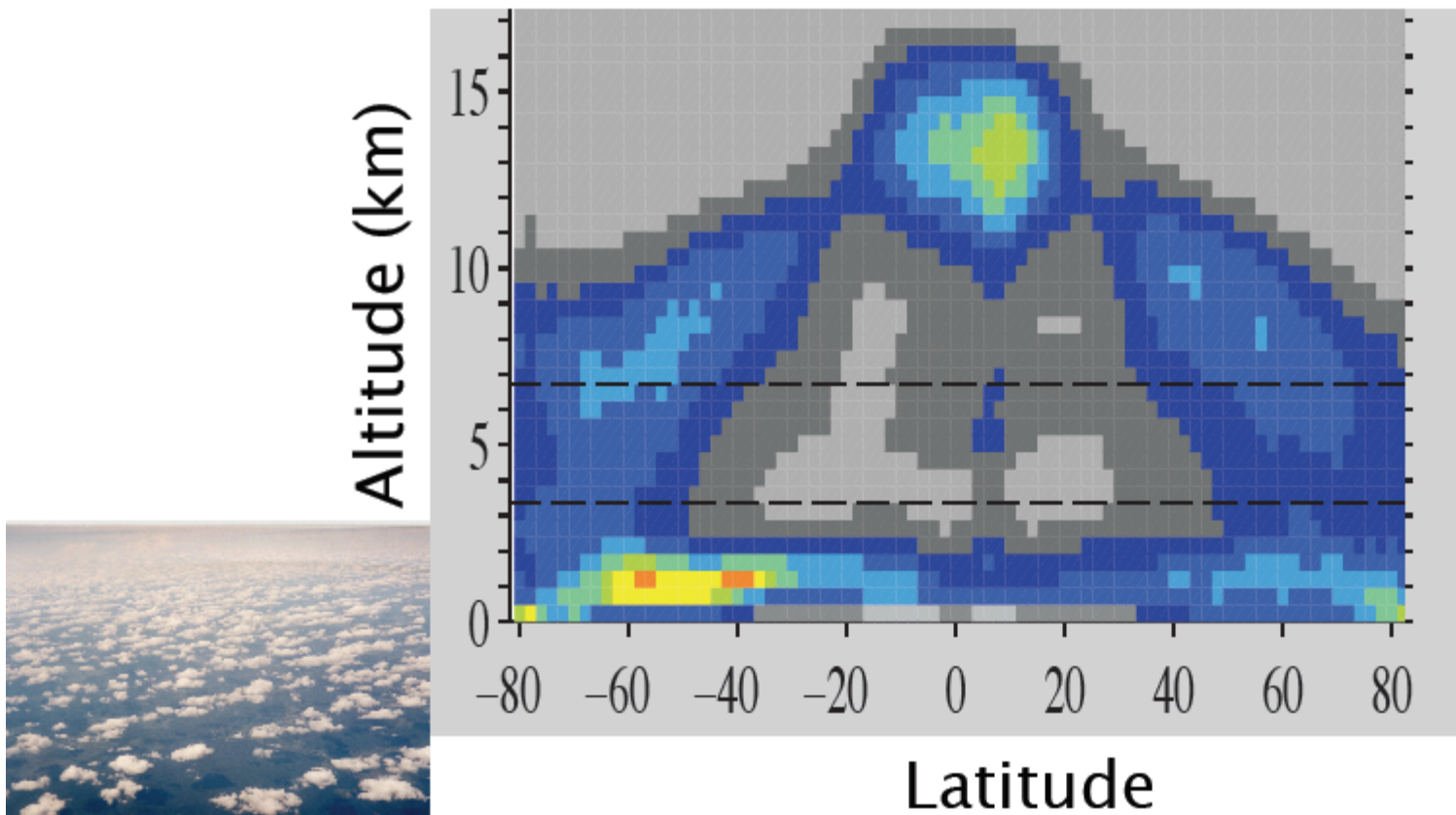
Models predict that cloud changes enhance the greenhouse warming

Models predict that cloud changes weaken the greenhouse warming

Illingworth et al. 2015, BAMS

Thank's to Calipso and the A-train, we know where the clouds are

Detailed **vertical** distribution of clouds



Chepfer et al. 20
Cesana et al. 201

