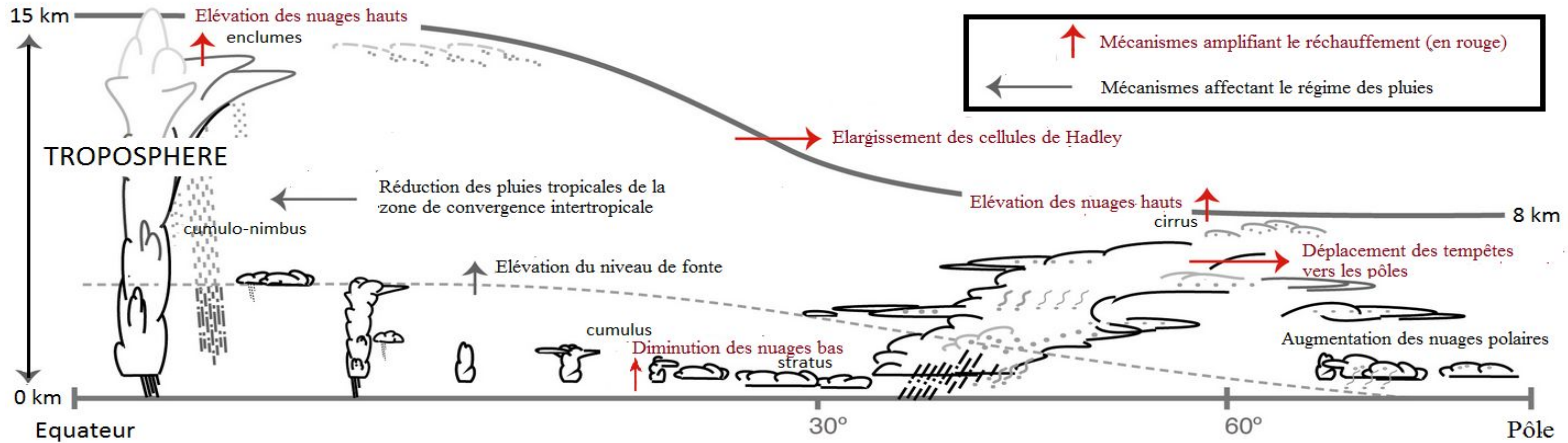


Nuages opaques et dynamique atmosphérique
dans les tropiques
Observations lidar et simulations climatiques
Impact sur les prédictions futures

Miguel PERPINA,
Toulouse, FRANCE



Contexte scientifique : l'impact des nuages sur le changement climatique



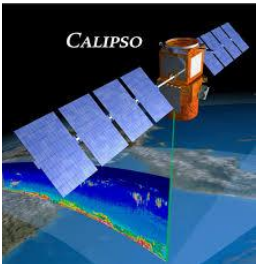
Coupe latitudinale des réponses des nuages au réchauffement

Source : GIEC, 5^e rapport, 2013, figure 7-11 [B3]

- Rétroactions nuageuses = principale incertitude sur les prédictions climatiques (e.g Cess *et al.*, 1990; Colman, 2003; Ceppi *et al.* 2017; Zelinka *et al.*, 2020)
- La distribution verticale des nuages sensible au changement climatique (Chepfer *et al.* 2014)
- Détection possible rapidement par capteurs actifs : lidar (Winker *et al.* 2017)
- Prédictions tropicales : affaiblissement de la circulation tropicale atmosphérique (Kjelsson, 2015), ralentissement circulation de Walker et de Hadley (e.g Vecchi and Soden, 2006; Lu *et al.*, 2007)

Plan de la présentation

1. **observations et réanalyses** : Quel est le lien entre la circulation atmosphérique et les propriétés des nuages opaques (altitude et couverture) ?
2. **simulations climat actuel** : Comment les modèles représentent la relation entre circulation atmosphérique et nuages opaques ? Comment les biais modèles des propriétés nuageuses influencent l'impact radiatif nuages simulé des modèles ?
3. **prédictions climat futur** : Comment les biais nuages des modèles dans le climat présent vont évoluer dans le climat futur ? Qu'est-ce qui pilote l'évolution de ces biais ?

MODÈLES ET OBSERVATIONS	obs/réanalyses 2008-2014 (mensuel)	modèles 2008-2095 (mensuel)
ω_{500} : Vitesse du vent vertical à 500hPa (Bony et al., 2004)	ERA5 2°x2° (Olausson, 2018)	<ul style="list-style-type: none"> ● CESM1 (Community Earth System Model, <i>Kay et al. 2015</i>) développé par le NCAR (National Center for Atmospheric Research), 1.25° x 0.94° ● IPSL-CM6 développé par le LMD (Laboratoire Météorologie Dynamique, Paris), (<i>Hourdin et al., 2019</i>), 1.27° x 2.5°
CRE LW TOA : Cloud Radiative Effect LongWave au sommet de l'atmosphère CRE SW TOA CRE net TOA	CERES 1°x1° (Loeb et al., 2018; Kato et al., 2018)	
Z_opaque : Altitude d'opacité de la colonne nuageuse vu par un lidar spatial (Guzman et al., 2017; Chepfer et al. 2018) C_opaque : Couverture nuageuse des nuages opaques (Guzman et al., 2017; Chepfer et al., 2018; De Guélis et al., 2018, 2019)	GOCCP 2°x2° (Chepfer et al., 2010, 2013) 	

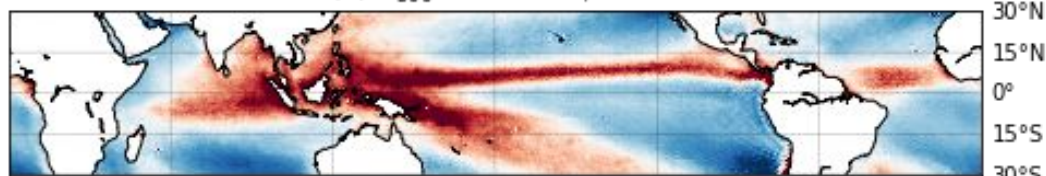
+ simulateur lidar COSP1.4, Bodas-Salcedo et al., 2011

CLIMAT PRÉSENT

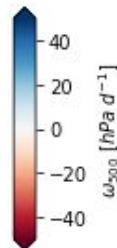
2008-2014

ω_{500} réanalyses ERA5 + Zopaque et Copaque observations CALIPSO-GOCCP 2008/2014

(a) ω_{500} ERA5 2008/2014



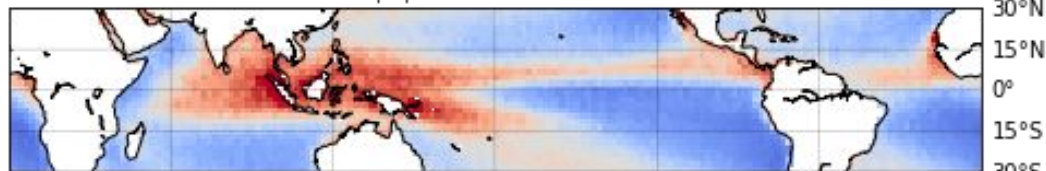
30°N
15°N
0°
15°S
30°S



($\omega_{500} > 0$) subsidence

($\omega_{500} < 0$) ascendance

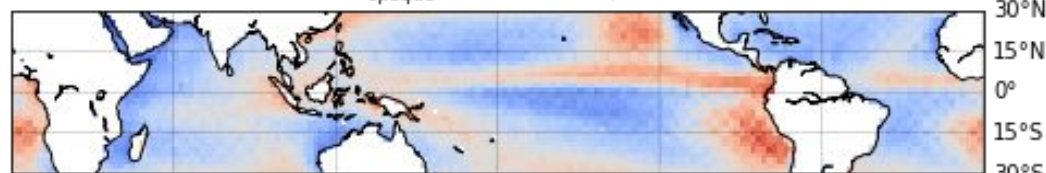
(b) Z_{opaque} GOCCP 2008/2014



30°N
15°N
0°
15°S
30°S

6
5
4
3
2
1
0
 Z_{opaque} [km]

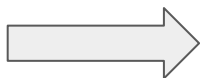
(c) C_{opaque} GOCCP 2008/2014



30°N
15°N
0°
15°S
30°S

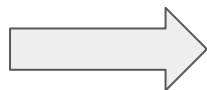
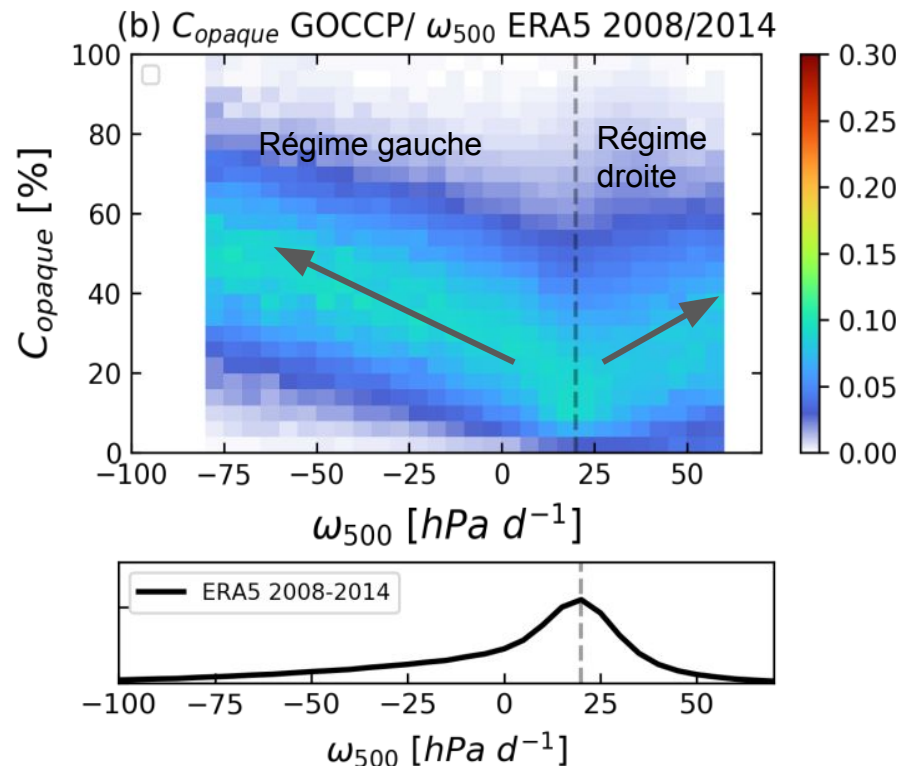
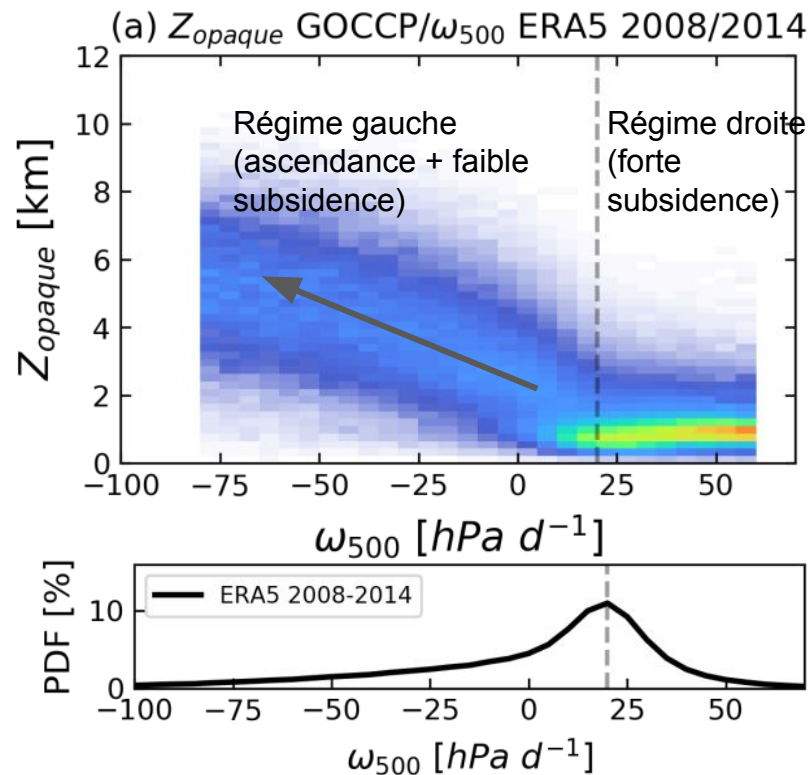
80
60
40
20
0
 C_{opaque} [%]

0° 60°E 120°E 180° 120°W 60°W



- ascendance (rouge) = Zopaque haut (>3km) et Copaque fort (>40%)
- subsidence (bleu) = Zopaque bas (<3km) et Copaque faible (<40%)

ω_{500} réanalyses ERA5 vs Zopaque/Copaque observations CALIPSO-GOCCP 2008/2014

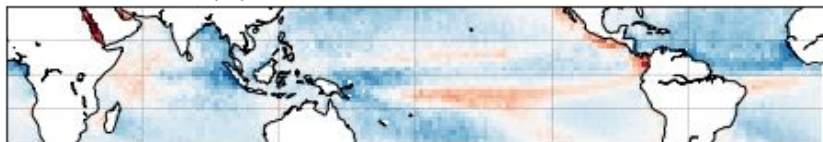


Relation entre la dynamique atmosphérique (ω_{500}) et la distribution verticale des nuages opaques (altitude et couverture) dans les observations et les réanalyses

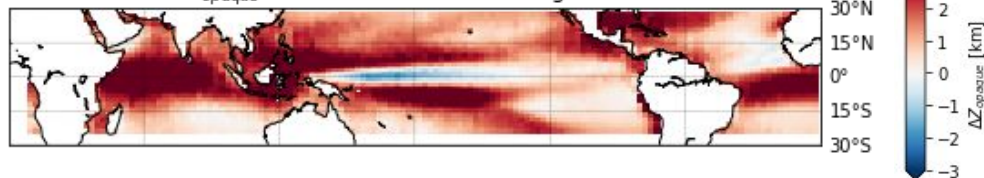
Zopaque/Copaque CESH1 et IPSL-CM6 simulations climat actuel 2008/2014

- Les 2 modèles simulent plutôt bien les zones d'ascendance et de subsidence malgré quelques différences

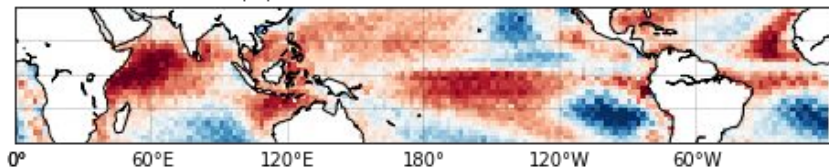
(e) Z_{opaque} diff CESH1 - GOCCP, avg = -0.46 km



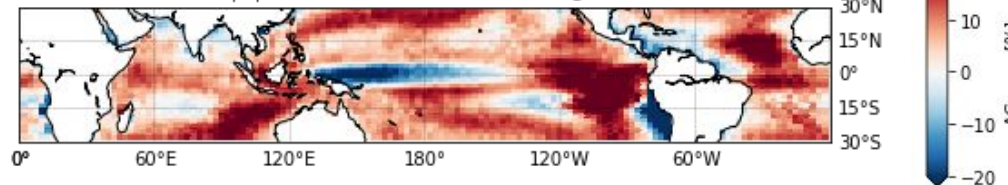
(f) Z_{opaque} diff IPSL-CM6 - GOCCP, avg = 1.6 km




(g) C_{opaque} diff CESH1 - GOCCP, avg = 3.1 %

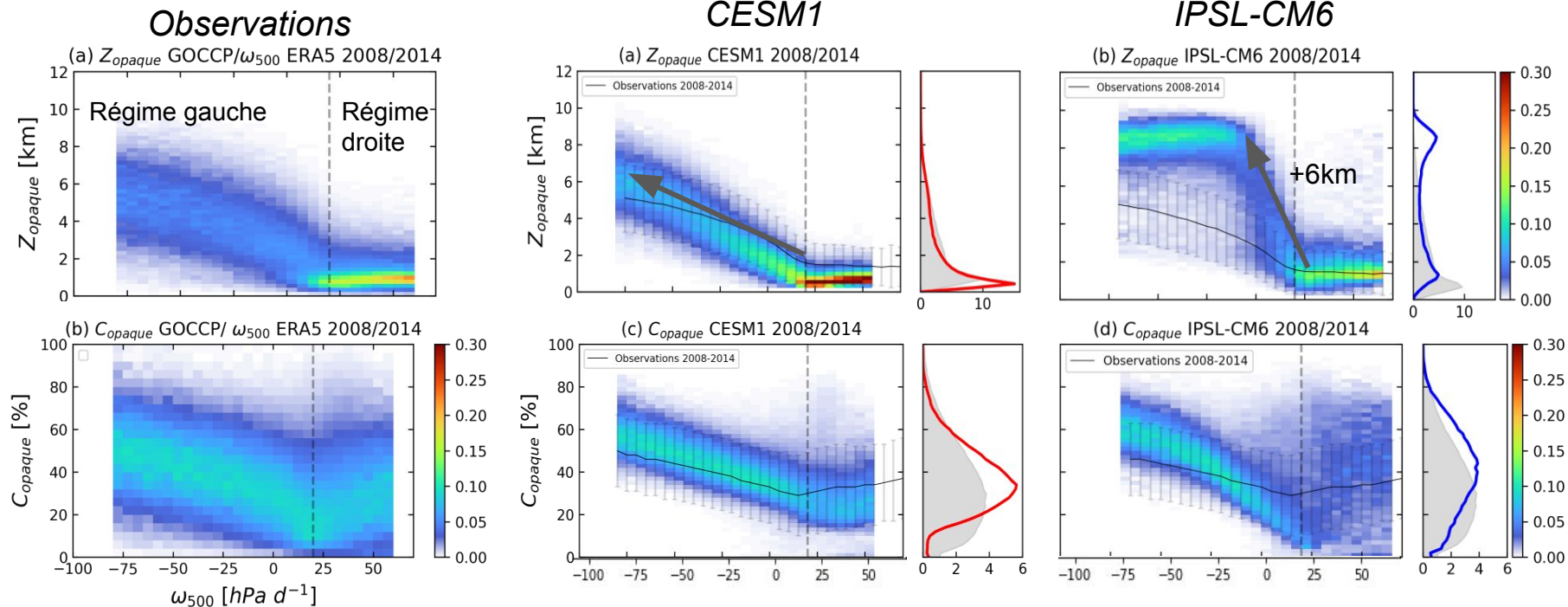


(h) C_{opaque} diff IPSL-CM6 - GOCCP, avg = 6.8 %



- 
- CESH1: sous-estime Z_{opaque} partout et surestime C_{opaque} pratiquement partout sauf zones de stratocumulus
 - IPSL-CM6: surestime Z_{opaque} et C_{opaque} partout sauf dans la zone de subsidence Pacifique équatoriale (bleu)

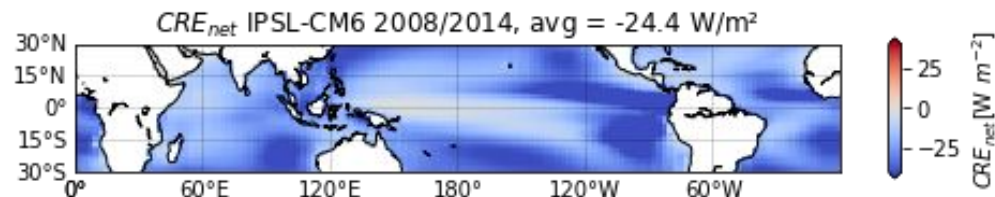
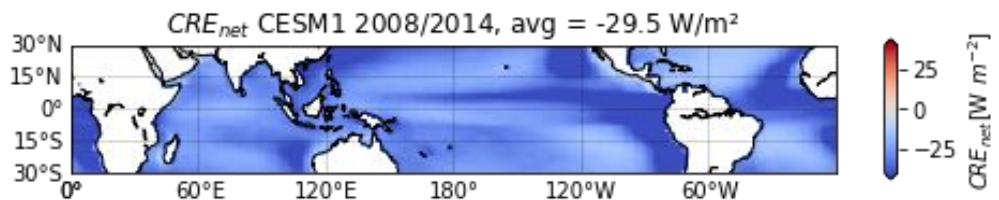
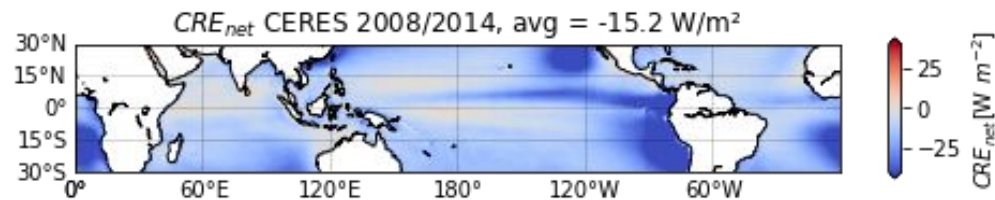
ω_{500} vs Zopaque/Copaque CESM1 et IPSL-CM6 simulations climat actuel 2008/2014



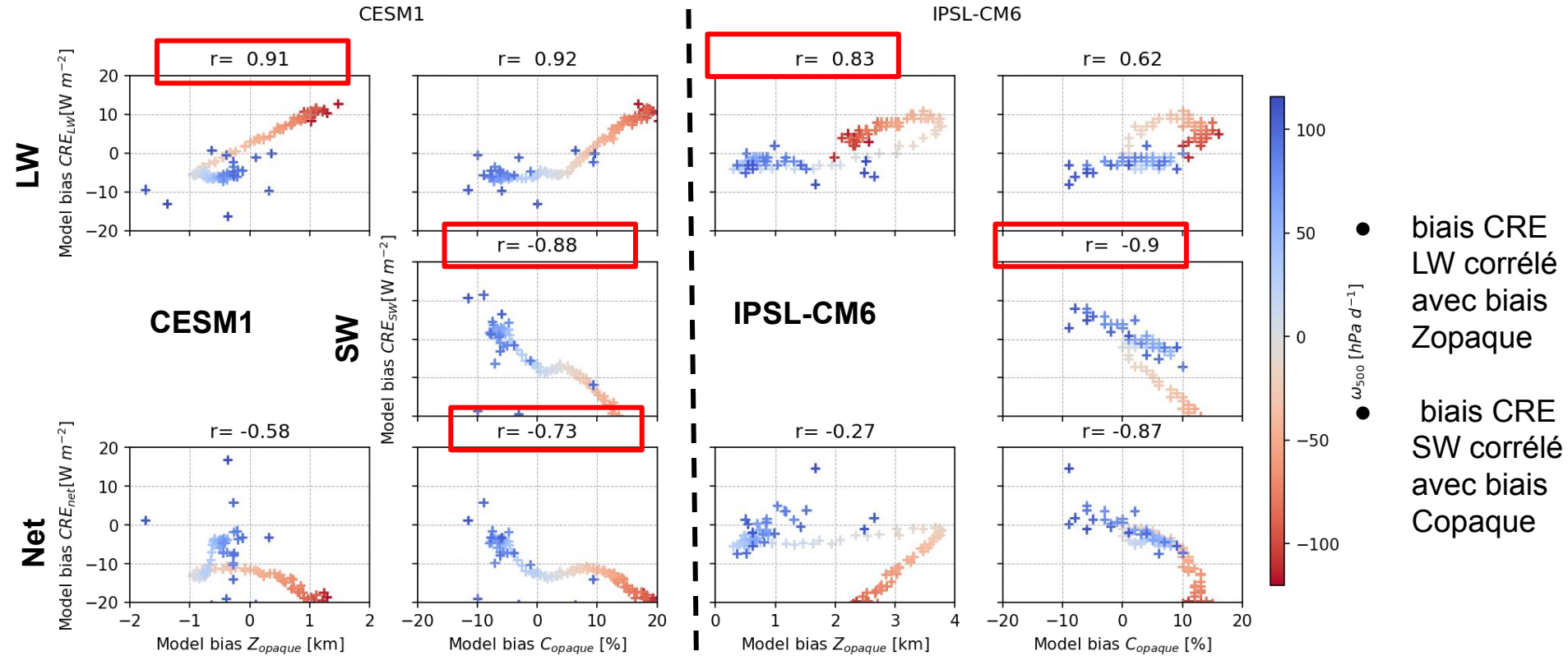
- 2 régimes distinct: CESM1 proche des obs et IPSL-CM6 surestime fortement Z_{opaque} entre faible subsidence et faible ascendance (+6km)
- CESM1 reproduit la relation entre C_{opaque} et ω_{500} mieux que IPSL-CM6 mais IPSL-CM6 reproduit la PDF globale de C_{opaque} mieux que CESM1
- Ces biais influencent-ils comment les modèles simulent l'effet radiatif des nuages ?

CRE CERES observations + CESM1 et IPSL-CM6 simulations climat actuel 2008/2014

- CRE (effet radiatif des nuages) au sommet de l'atmosphère (TOA): quantifie les effets des nuages sur l'équilibre radiatif de la Terre
 - CRE positif: nuages réchauffent le système climatique
 - CRE négatif: nuages refroidissent le système climatique
- CRE net = CRE LW (infrarouge) + CRE SW (visible)
 - CRE LW: effet réchauffant des nuages
 - CRE SW: effet refroidissant des nuages
- On calcule les biais modèles - obs pour les CRE et les props nuageuses opaques



Biais modèles CRE vs Zopaque, Copaque



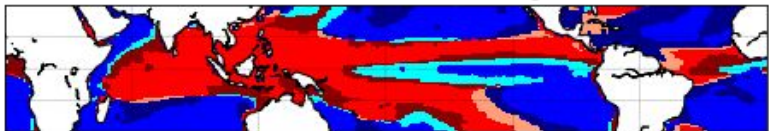
➔ **Biais sur la couverture des nuages opaques pilote les biais sur le CRE SW et sur le CRE net / biais des modèles sur l'altitude des nuages opaques pilote les biais sur le CRE LW**

CLIMAT FUTUR 2089-2095

Prédictions climat futur (2089-2095)

CESM1

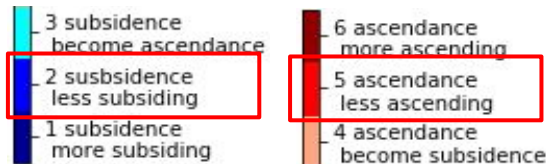
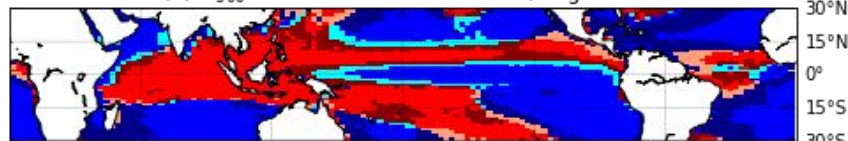
(c) ω_{500} CESM1 diff future - now, avg = 2.5



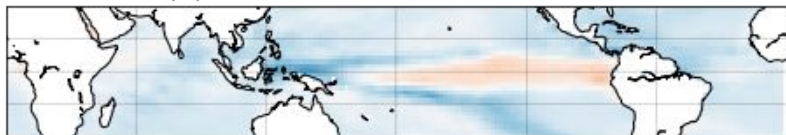
- régions ascendance/subsidence restent les mêmes
- ascendance diminue dans régions d'ascendance (rouge 5)
- subsidence diminue dans régions de subsidence (bleu 2)
- = la circulation atmosphérique s'affaiblit

IPSL-CM6

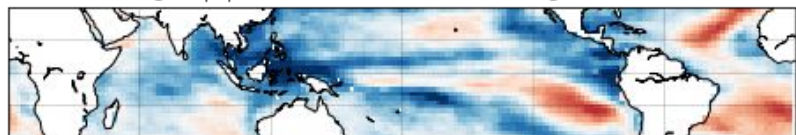
(d) ω_{500} IPSL-CM6 diff future - now, avg = 2.4



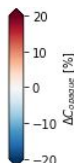
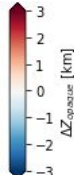
(e) Z_{opaque} CESM1 diff future - now, avg = -0.0024 km



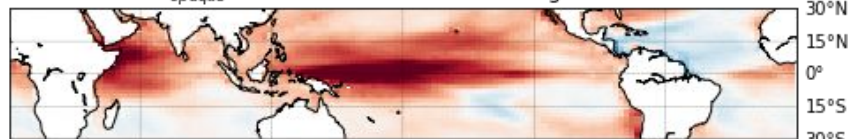
(g) C_{opaque} CESM1 diff future - now, avg = -2.4 %



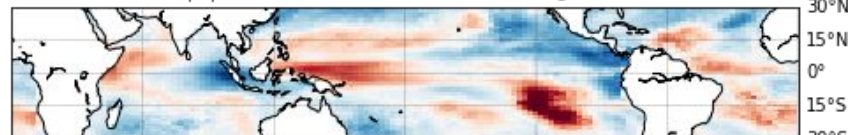
0° 60°E 120°E 180° 120°W 60°W



(f) Z_{opaque} IPSL-CM6 diff future - now, avg = 0.55 km



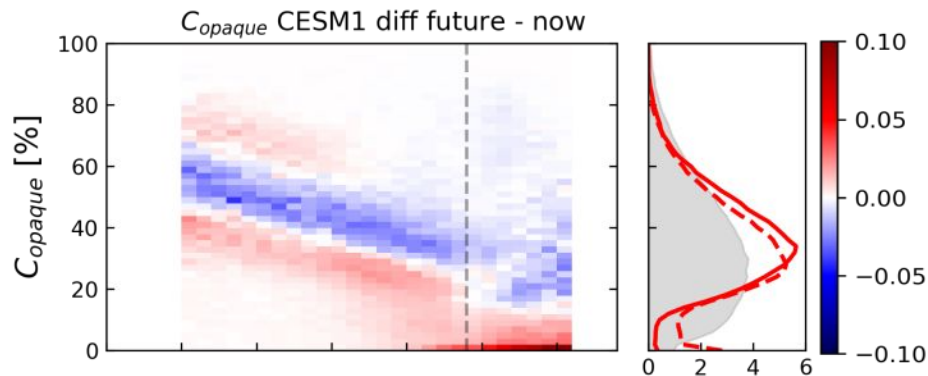
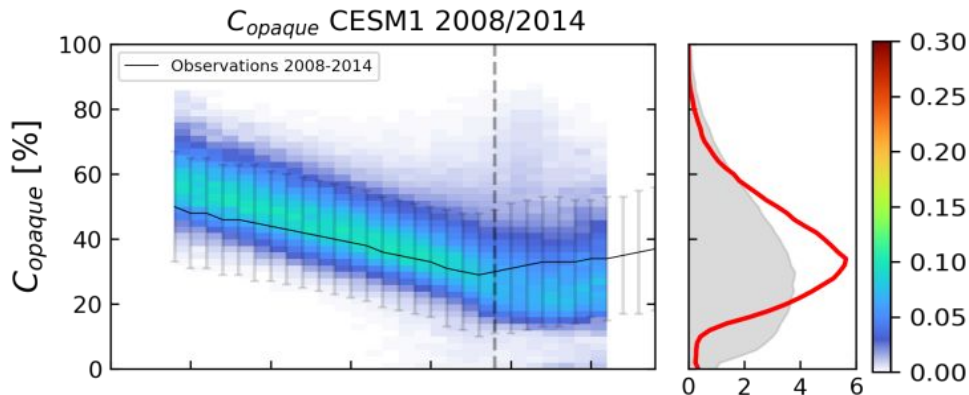
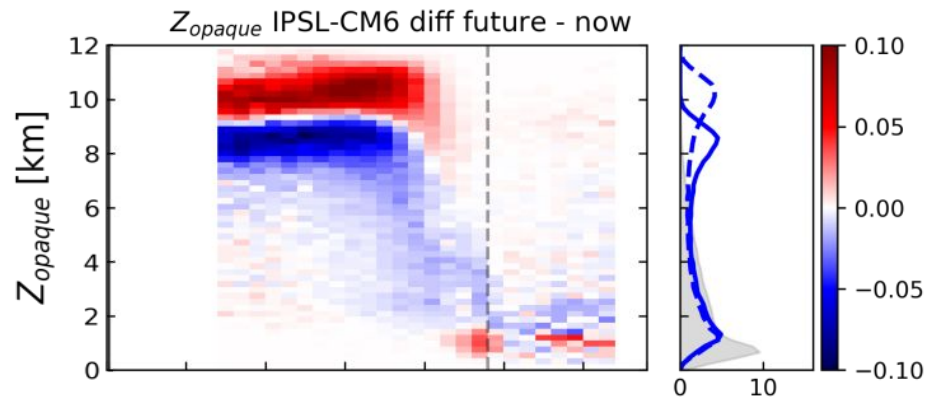
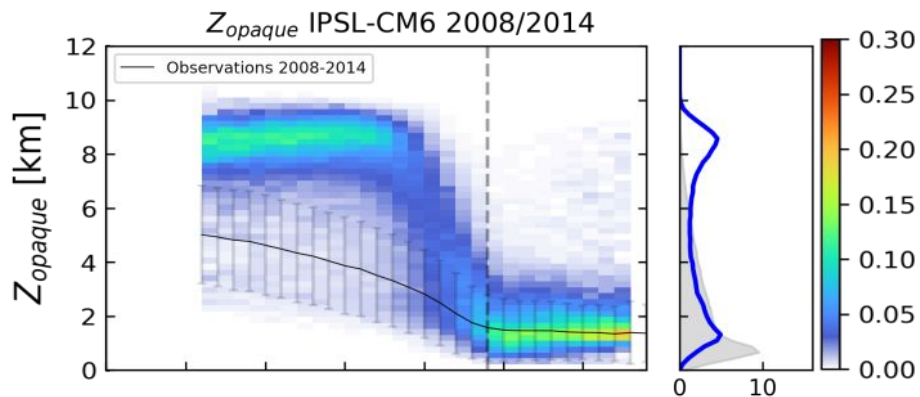
(h) C_{opaque} IPSL-CM6 diff future - now, avg = -0.74 %



0° 60°E 120°E 180° 120°W 60°W

- CESM1: Nuages opaque moins haut et moins nombreux en moyenne
- IPSL-CM6: Nuages opaque plus haut (surtout Pacifique Central, +3km) et moins nombreux en moyenne

ω_{500} vs Zopaque/Copaque CESM1 et IPSL-CM6 prédictions climat futur (2089-2095)



- IPSL-CM6: Zopaque +2km en ascendance (peu de changement dans CESM1)
- CESM1: moins de Copaque=40% (peu de changement dans IPSL-CM6)
- = variables à fort biais dans climat actuel changeant bcp dans le climat futur

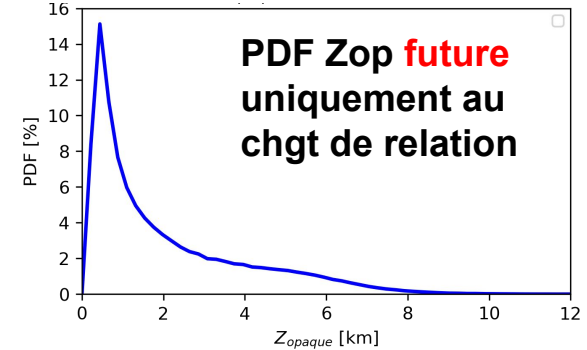
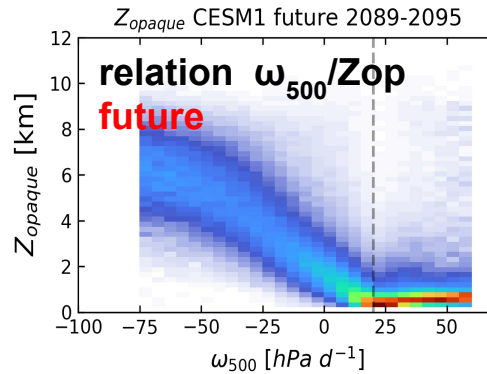
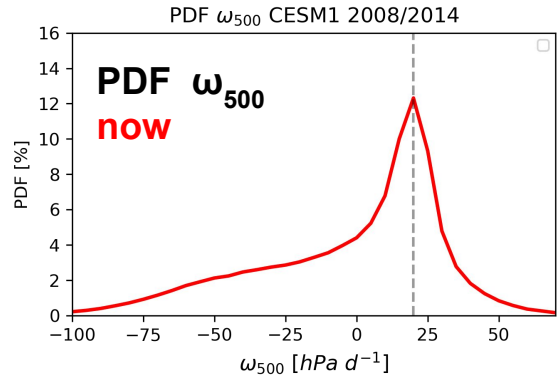
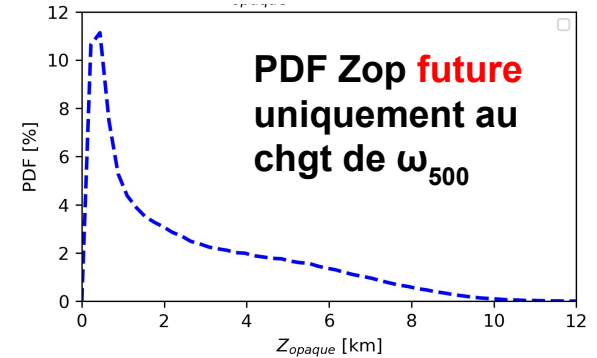
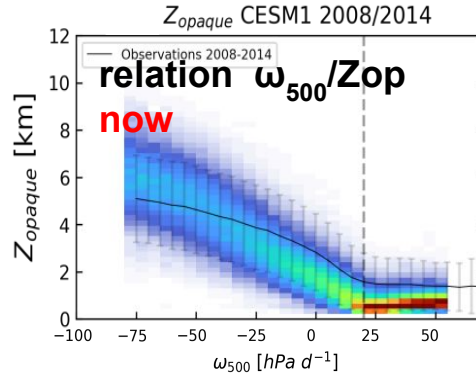
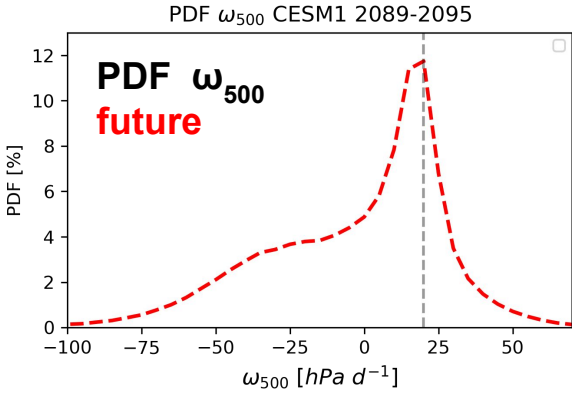


Question

Qu'est ce qui pilote le changement de ces props nuageuses opaques?

- le changement de ω_{500} ? (dynamique)
- le changement de la relation ω_{500} /variables ? (thermodynamique)

Méthodo thermo vs dynamique



+ on peut quantifier la variation de PDF Z_{opaque} vs la PDF présent

		Changement dans les distributions des variables	
		Changement dû seulement au changement de ω_{500}	Changement dû seulement au changement de la relation (Zop, Cop, CRE) vs ω_{500}
CESM1	Zopaque	11%	24%
	Copaque	7%	25%
	CRE LW	11%	23%
	CRE SW	12%	21%
	CRE net	4%	6%
IPSL-CM6	Zopaque	11%	57%
	Copaque	15%	10%
	CRE LW	15%	10%
	CRE SW	14%	11%
	CRE net	10%	6%

- modèles d'accord: chgt Zopaque lié à des chgts thermo
- modèles pas d'accord:
 - **CESM1:** chgt Copaque et CRE lié à des chgts thermo
 - **IPSL-CM6:** chgt Copaque et CRE lié à des chgts dynamique

Conclusions

climat présent

- IPSL-CM6 : Zopaque 6km trop haut en ascendance faible
- CESM1 : distribution Copaque trop piquée sur 40% (surtout convection)

climat futur

- Affaiblissement de la circulation atmosphérique tropicale
- IPSL-CM6 : Zopaque encore +2km en ascendance
- CESM1 : distribution Copaque s'élargit en convection
- variables affectées par biais en climat présent changent bcp
- Le changement de Zopaque est piloté principalement par des changements de thermodynamique en moyenne sur les tropiques dans les deux modèles (dominance de la subsidence aux tropiques)

Résultats soumis au JGR-A (en révision)

Perspectives

- Comment se fait la transition du pilotage de Zopaque par thermodynamique/dynamique quand on passe de subsidence à convection ?
- Documenter évolution mensuelle de Zopaque, Copaque entre 2014 et 2095
- Temps d'émergence de tendances climatiques anthropiques ?
- Impact de la variabilité naturelle (El Nino) sur ces tendances issues de mesures lidar spatial
- Extension de l'étude avec le modèle du CNRM