

# Amélioration de la représentation de l'absorption des aérosols dans ARPEGE-Climat

Projet Horizon 2020 “ESM2025 - Earth system models for the future”

Thomas Drugé – Pierre Nabat – Martine Michou – Marc Mallet

*CNRM, Université de Toulouse, Météo-France, CNRS, Toulouse, France*

*Contact: [thomas.druge@meteo.fr](mailto:thomas.druge@meteo.fr)*

*Ateliers de Modélisation de l'Atmosphère - 11 mai 2023*



- Les aérosols organiques ont longtemps été considérés comme uniquement diffusants mais des études récentes ont montré qu'une fraction de ces particules, appelées brown carbon (BrC) et provenant essentiellement de la combustion de biomasse et de biocarburants, était absorbante (valeur maximale aux longueurs d'onde ultraviolettes)

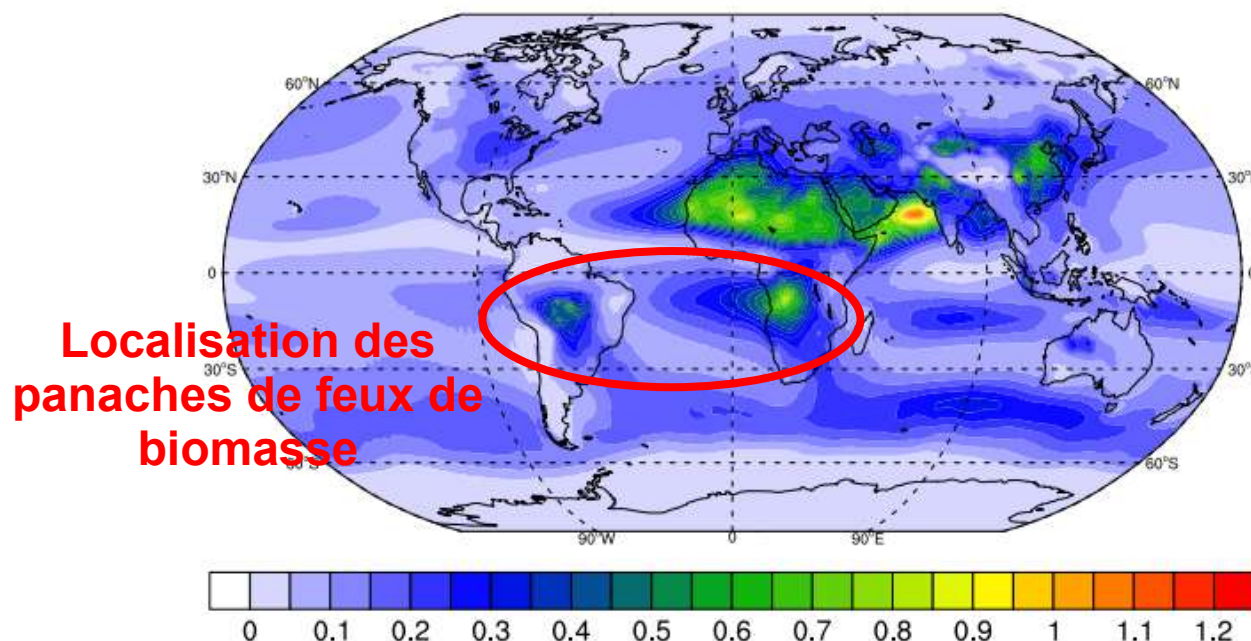
Hecobian et al., 2010 ; Arola et al., 2011 ; Kirchstetter and Thatcher, 2012

- Plusieurs études multi-modèles montrent que la majorité des modèles (ACCMIP, CMIP6) sous-estiment l'absorption des aérosols

Shindell et al. 2013, Mallet et al. 2021

– > implémentation du BrC dans les modèles de chimie-transport et plus récemment dans certains modèles climatiques globaux

### AOD total (JAS)

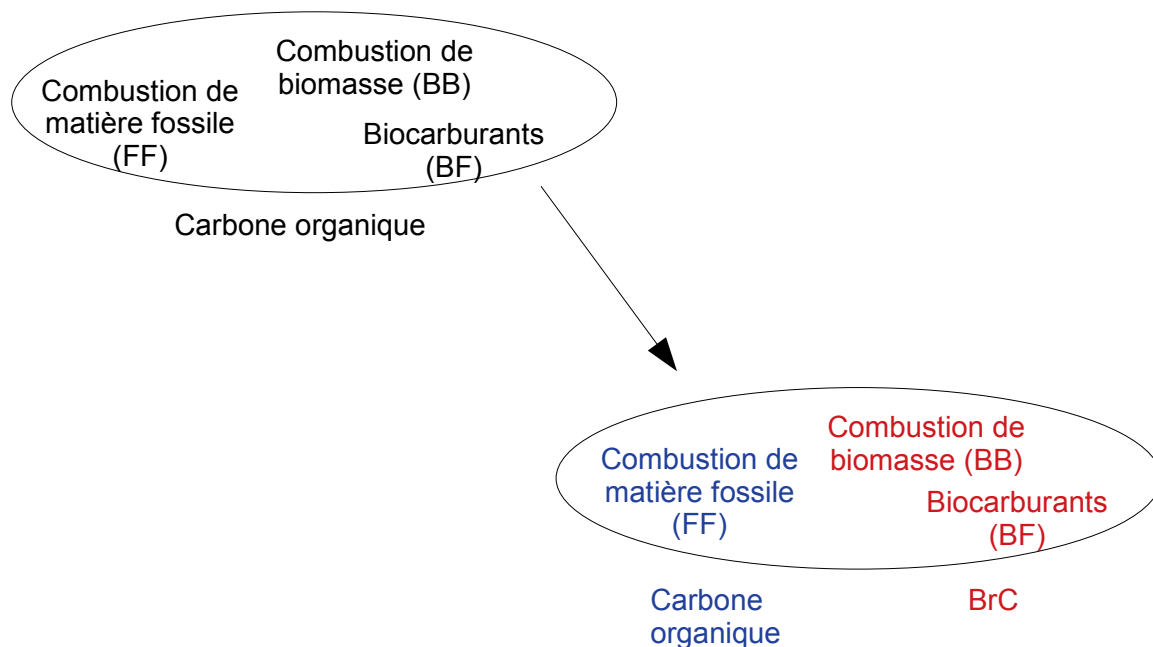


- BrC = fraction absorbante du carbone organique (valeur maximale aux longueurs d'onde ultraviolettes) provenant essentiellement de la combustion de biomasse et de biocarburants
- Deux méthodes possibles pour implémenter le BrC :
  - Méthode 1 : considérer que le BrC correspond à l'ensemble ou à un certain pourcentage du carbone organique et lui attribuer des propriétés optiques spécifiques (Feng et al. 2013, Wang et al. 2018)
  - Méthode 2 : différencier le BrC du carbone organique en fonction des sources et attribuer au BrC des propriétés optiques spécifiques (Saleh et al. 2014, Brown et al. 2018)

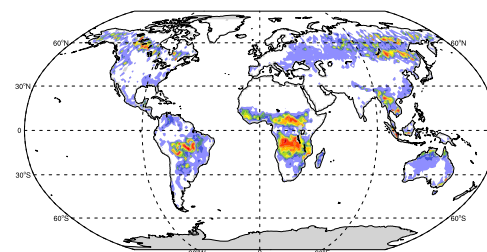
- BrC = fraction absorbante du carbone organique (valeur maximale aux longueurs d'onde ultraviolettes) provenant essentiellement de la combustion de biomasse et de biocarburants
- Deux méthodes possibles pour implémenter le BrC :

Méthode 1 : considérer que le BrC correspond à l'ensemble ou à un certain pourcentage du carbone organique et lui attribuer des propriétés optiques spécifiques (Feng et al. 2013, Wang et al. 2018)

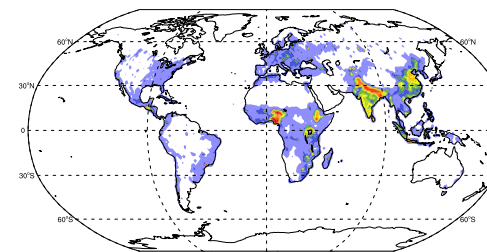
**Méthode 2 : différencier le BrC du carbone organique en fonction des sources et attribuer au BrC des propriétés optiques spécifiques (Saleh et al. 2014, Brown et al. 2018)**



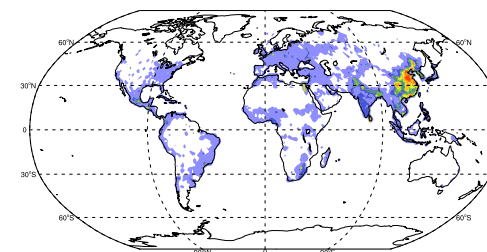
### Émissions (moyenne 2000-2014)



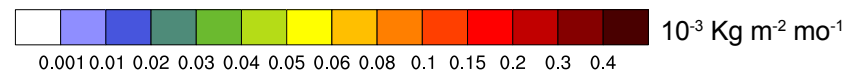
**BB**  
(15.06 Tg y<sup>-1</sup>)



**BF**  
(10.88 Tg y<sup>-1</sup>)



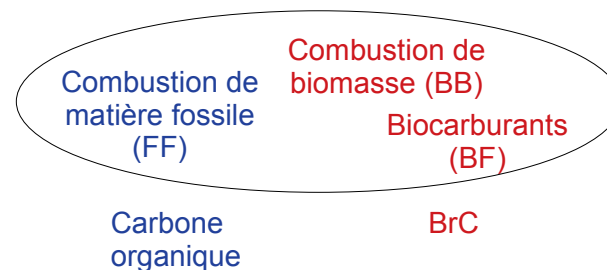
**FF**  
(6.50 Tg y<sup>-1</sup>)



- BrC = fraction absorbante du carbone organique (valeur maximale aux longueurs d'onde ultraviolettes) provenant essentiellement de la combustion de biomasse et de biocarburants
- Deux méthodes possibles pour implémenter le BrC :

Méthode 1 : considérer que le BrC correspond à l'ensemble ou à un certain pourcentage du carbone organique et lui attribuer des propriétés optiques spécifiques (Feng et al. 2013, Wang et al. 2018)

**Méthode 2 : différencier le BrC du carbone organique en fonction des sources et attribuer au BrC des propriétés optiques spécifiques (Saleh et al. 2014, Brown et al. 2018)**

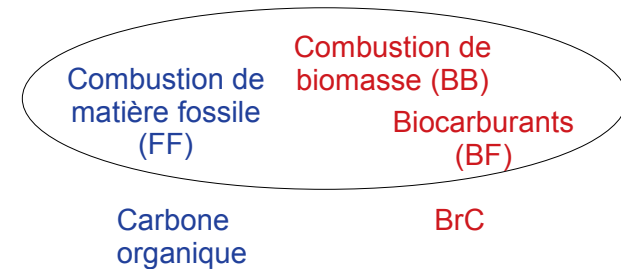


– > Permet une meilleure prise en compte de la variabilité spatiale et temporelle du BrC

- BrC = fraction absorbante du carbone organique (valeur maximale aux longueurs d'onde ultraviolettes) provenant essentiellement de la combustion de biomasse et de biocarburants
- Deux méthodes possibles pour implémenter le BrC :

Méthode 1 : considérer que le BrC correspond à l'ensemble ou à un certain pourcentage du carbone organique et lui attribuer des propriétés optiques spécifiques (Feng et al. 2013, Wang et al. 2018)

**Méthode 2 : différencier le BrC du carbone organique en fonction des sources et attribuer au BrC des propriétés optiques spécifiques (Saleh et al. 2014, Brown et al. 2018)**



– > Permet une meilleure prise en compte de la variabilité spatiale et temporelle du BrC

- Calcul des propriétés optiques du BrC :
  - > Détermination de l'indice de réfraction du BrC

$$RI_{\text{BrC}} = 1.53 + k_{\text{OA},550} (550/\lambda)^\omega i$$

$\omega = 0.21 / (\text{BC/OA} + 0.07)$   
 $k_{\text{OA},550} = 0.016 \cdot \log_{10} (\text{BC/OA}) + 0.04$

Partie réelle : Arola et al. 2011 ; Lin et al. 2014

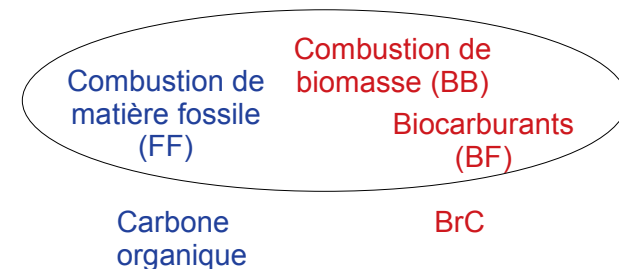
Partie imaginaire : Saleh et al. 2014 ; Brown et al. 2018

$$\lambda = \begin{array}{l} 0.20 - 3.85 \mu\text{m (SW)} \\ 3.33 - 1000 \mu\text{m (LW)} \end{array}$$

BC/OA = 0.08 (Brown et al. 2018)

- BrC = fraction absorbante du carbone organique (valeur maximale aux longueurs d'onde ultraviolettes) provenant essentiellement de la combustion de biomasse et de biocarburants
- Deux méthodes possibles pour implémenter le BrC :
  - Méthode 1 : considérer que le BrC correspond à l'ensemble ou à un certain pourcentage du carbone organique et lui attribuer des propriétés optiques spécifiques (Feng et al. 2013, Wang et al. 2018)

**Méthode 2 : différencier le BrC du carbone organique en fonction des sources et attribuer au BrC des propriétés optiques spécifiques (Saleh et al. 2014, Brown et al. 2018)**



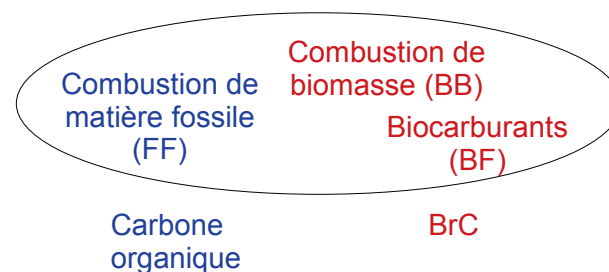
– > Permet une meilleure prise en compte de la variabilité spatiale et temporelle du BrC

- Calcul des propriétés optiques du BrC :
  - > Détermination de l'indice de réfraction du BrC
  - > Paramétrisation du bleaching du BrC
- Bleaching = baisse de l'absorption du BrC au cours du temps
- Dans la littérature le bleaching peut entraîner une baisse allant jusqu'à 75 % de l'absorption initiale (Brown et al. 2018 ; Wang et al. 2018) voir même jusqu'à 94 % (Zhang et al. 2020)
- Dans notre paramétrisation, nous avons fait l'hypothèse d'une baisse d'absorption du BrC moyenne avec le temps, de l'ordre de 50 % au bout d'un jour, représentée par le passage d'un bin hydrophobe (bin fresh) à un bin hydrophile (bin aged, absorption réduite), chacun ayant des propriétés optiques spécifiques

- BrC = fraction absorbante du carbone organique (valeur maximale aux longueurs d'onde ultraviolettes) provenant essentiellement de la combustion de biomasse et de biocarburants
- Deux méthodes possibles pour implémenter le BrC :

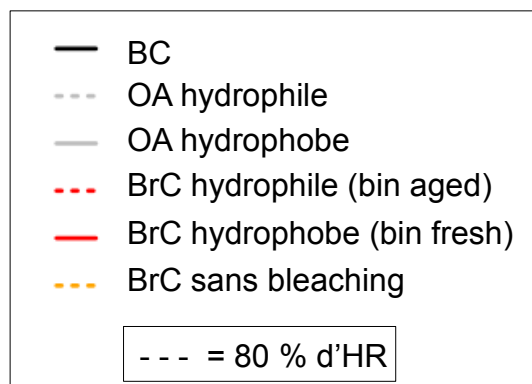
Méthode 1 : considérer que le BrC correspond à l'ensemble ou à un certain pourcentage du carbone organique et lui attribuer des propriétés optiques spécifiques (Feng et al. 2013, Wang et al. 2018)

**Méthode 2 : différencier le BrC du carbone organique en fonction des sources et attribuer au BrC des propriétés optiques spécifiques (Saleh et al. 2014, Brown et al. 2018)**

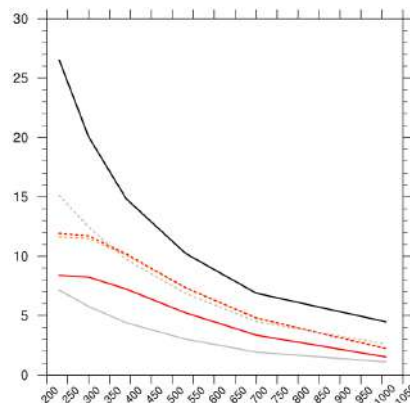


→ Permet une meilleure prise en compte de la variabilité spatiale et temporelle du BrC

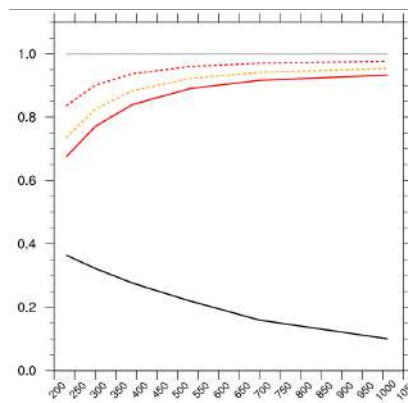
- Calcul des propriétés optiques du BrC :
  - Détermination de l'indice de réfraction du BrC
  - Paramétrisation du bleaching du BrC
  - Code de Mie



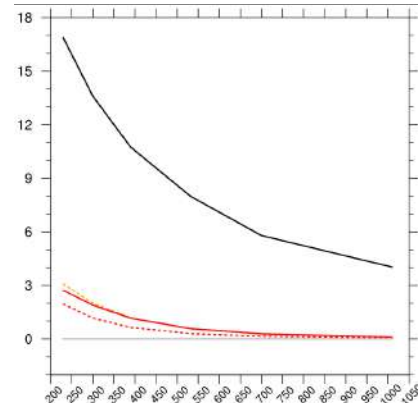
Extinction coefficient



Single Scattering Albedo



Mass absorption efficiency

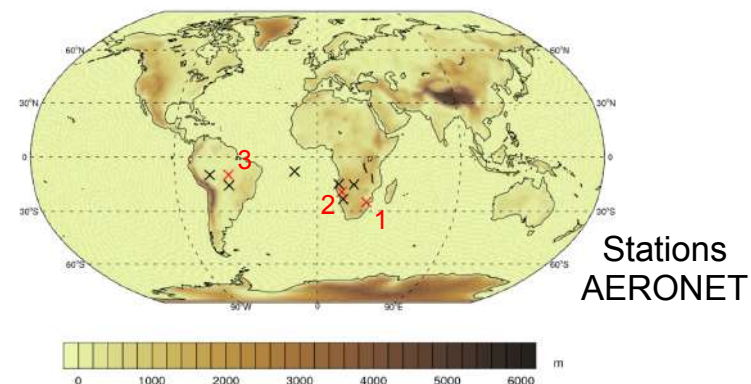


Wavelength



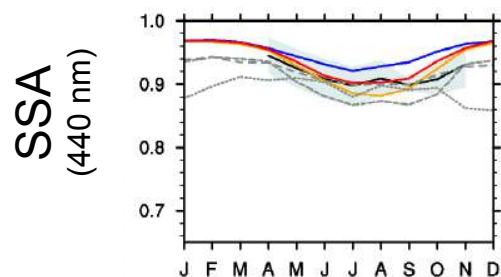
- Comparaison de 3 simulations de 30 ans (2\*15 ans sur 2000-2014) avec différents jeux d'observations (stations AERONET, satellites)

- **NOBRC** : simulation sans BrC
- **BRC\_NOBL** : simulation avec BrC sans bleaching
- **BRC** : simulation avec BrC et bleaching

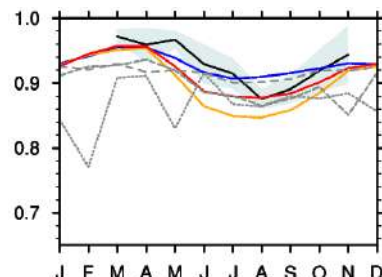


– > Cycles annuels

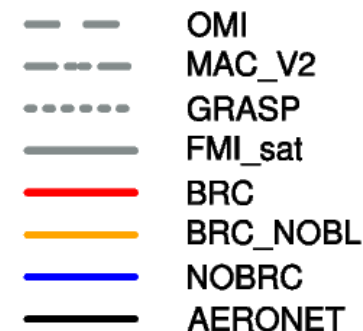
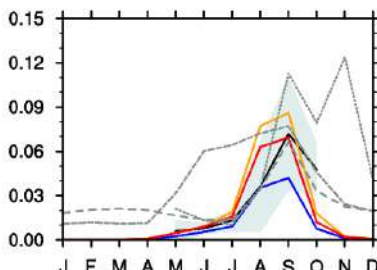
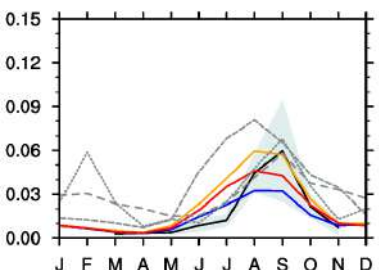
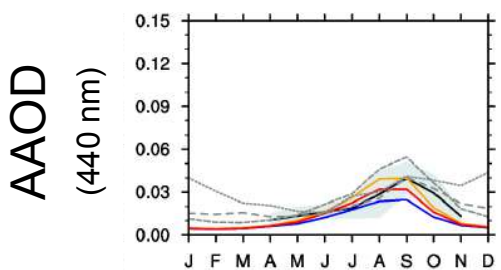
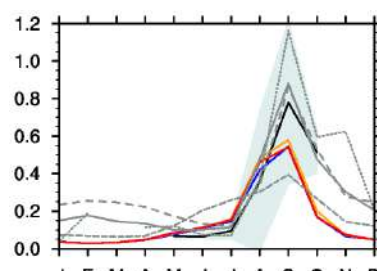
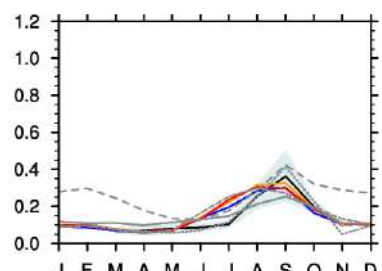
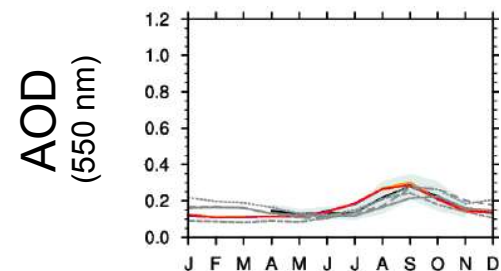
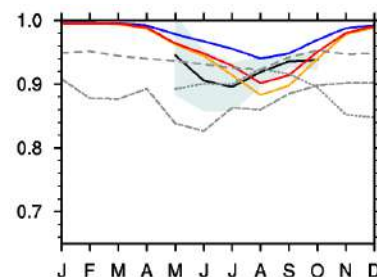
Skukuza (1)



Windpoort (2)



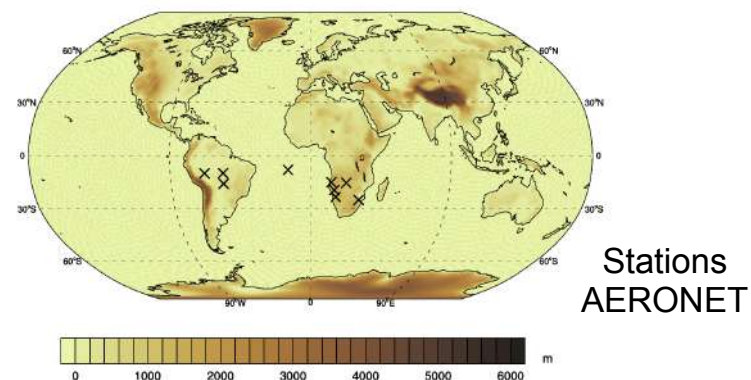
Alta\_Floresta (3)



- Amélioration du cycle saisonnier du SSA et de l'AAOD des aérosols avec la prise en compte du BrC
- Peu d'impact du BrC sur l'AOD

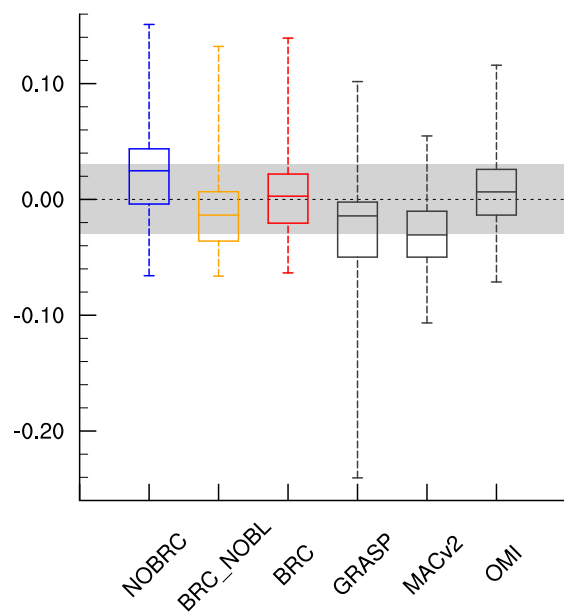
- Comparaison de 3 simulations de 30 ans (2\*15 ans sur 2000-2014) avec différents jeux d'observations (stations AERONET, satellites)

- **NOBRC** : simulation sans BrC
- **BRC\_NOBL** : simulation avec BrC sans bleaching
- **BRC** : simulation avec BrC et bleaching

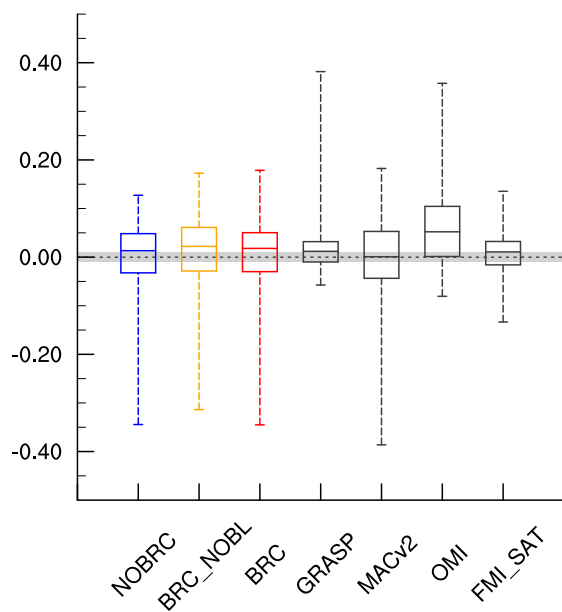


– > Boxplots : biais par rapport aux stations AERONET(annuel)

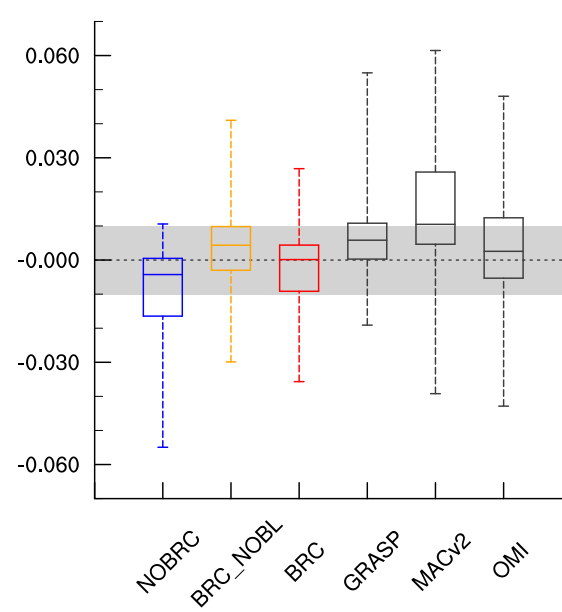
SSA (440 nm)



AOD (550 nm)



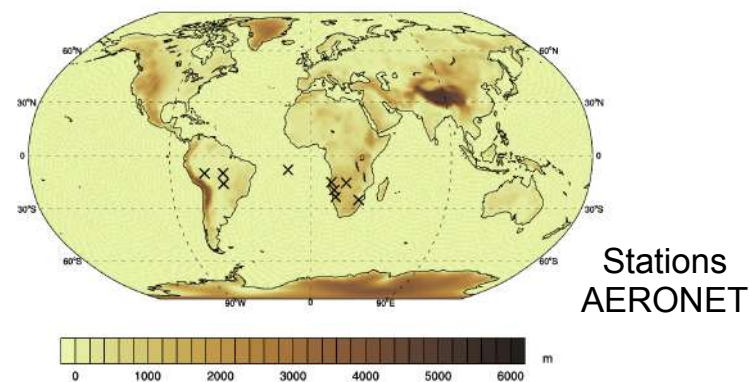
AAOD (440 nm)



- Nette amélioration du SSA et de l'AAOD des aérosols avec la simulation **BRC**
- Toujours peu d'impact du BrC sur l'AOD

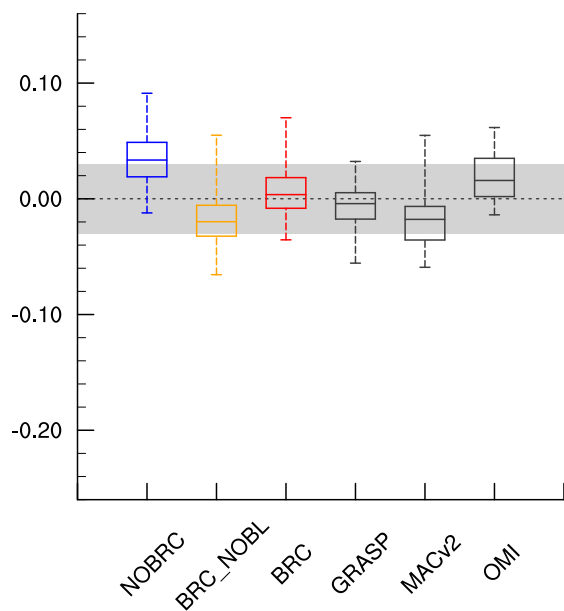
- Comparaison de 3 simulations de 30 ans (2\*15 ans sur 2000-2014) avec différents jeux d'observations (stations AERONET, satellites)

- **NOBRC** : simulation sans BrC
- **BRC\_NOBL** : simulation avec BrC sans bleaching
- **BRC** : simulation avec BrC et bleaching

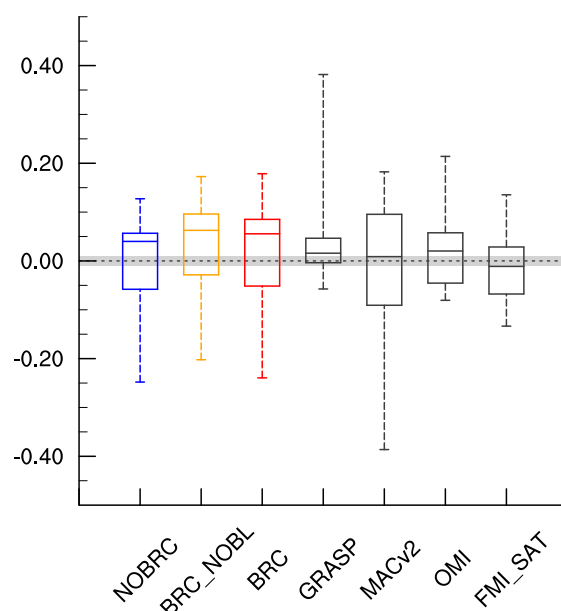


– > Boxplots : biais par rapport aux stations AERONET(JAS)

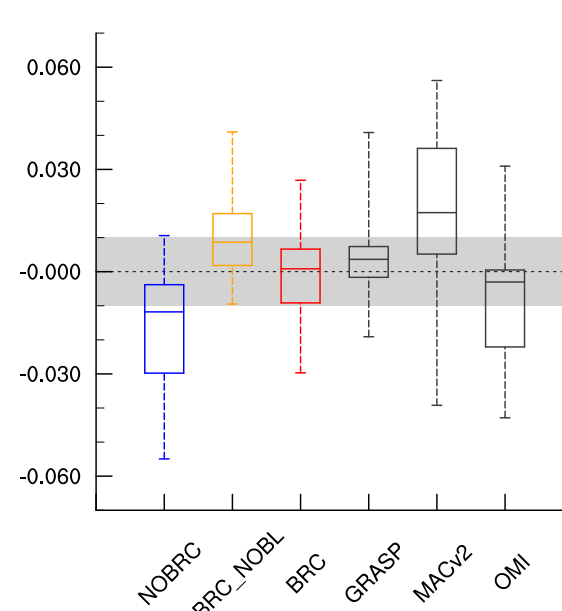
SSA (440 nm)



AOD (550 nm)



AAOD (440 nm)



- Résultats similaires aux boxplots annuels (forte amélioration du SSA et de l'AAOD avec la simulation **BRC**)

- Effective radiative forcing (ERF) dû aux interactions aérosols-rayonnement (ERFari) et aux interactions aérosols-nuages (ERFaci)

- **NOBRC** : simulation sans BrC
- **BRC** : simulation avec BrC et bleaching

$$\Delta F = \Delta (F - F_{\text{clean}}) + \Delta (F_{\text{clean}} - F_{\text{clear,clean}}) + \Delta (F_{\text{clear,clean}})$$

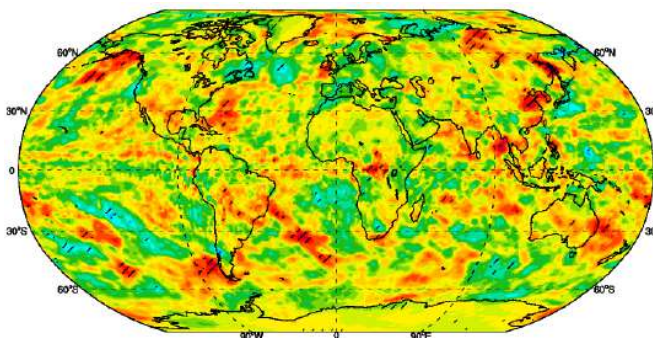
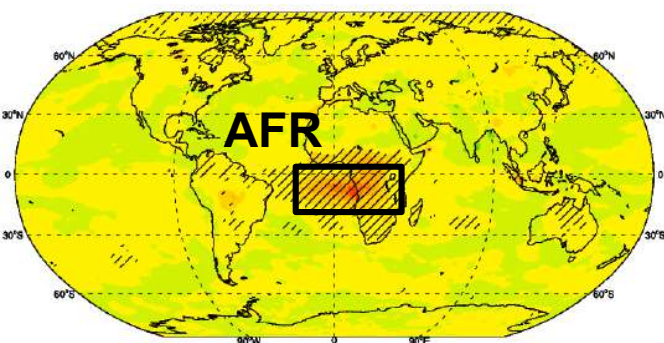
**(ERFari)**
**(ERFaci)**
**(ERFsac)**

(TOA, SW + LW)

ERFari

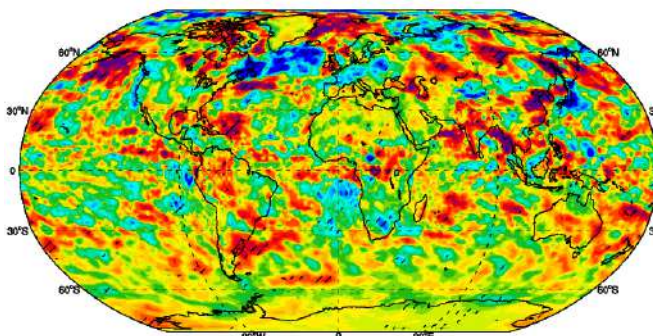
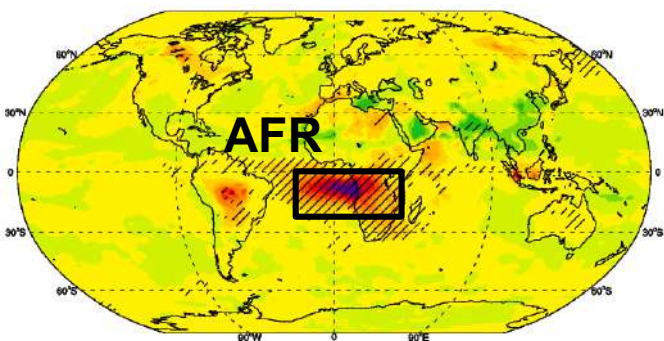
ERFaci

Annuel



- Hausse significative du ERFari sur la région AFR

JAS

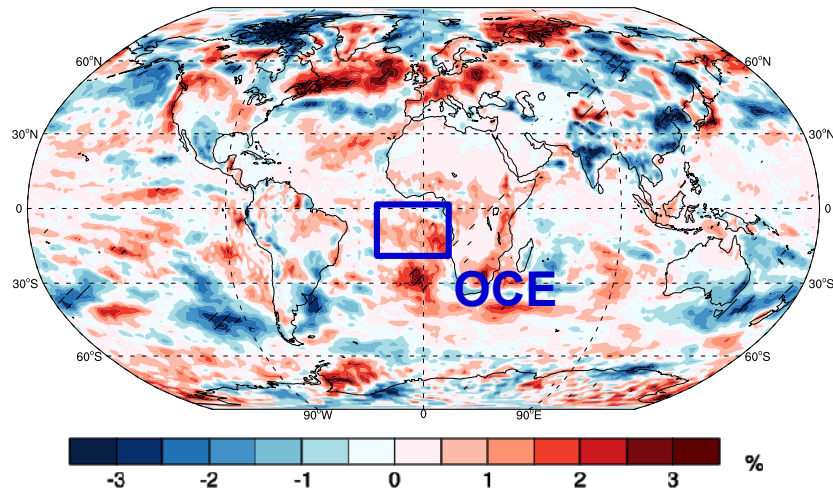


- Signal très bruité et peu significatif pour le ERFaci

→ Résultats similaires dans la littérature (Brown et al. 2018)

- Impacts climatiques du BrC
  - **NOBRC** : simulation sans BrC
  - **BRC** : simulation avec BrC et bleaching

### Nébulosité basse (JAS)

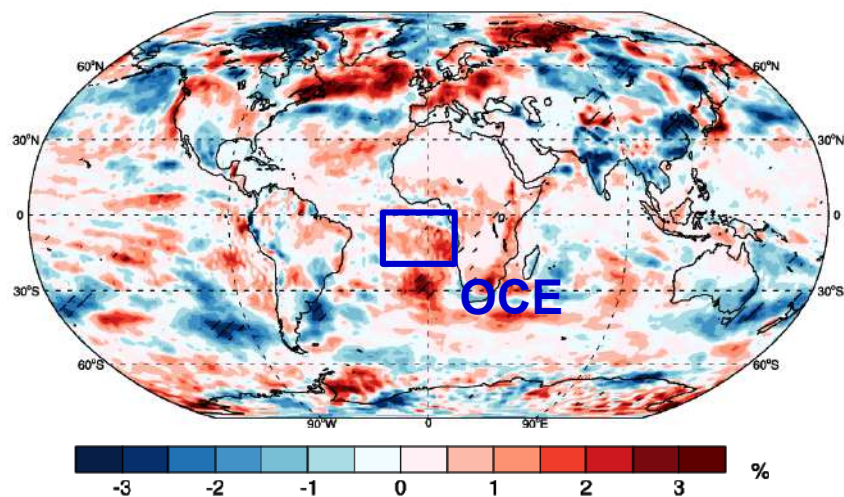


- Hausse de la nébulosité basse sur la région OCE allant jusqu'à 2 %

- Impacts climatiques du BrC

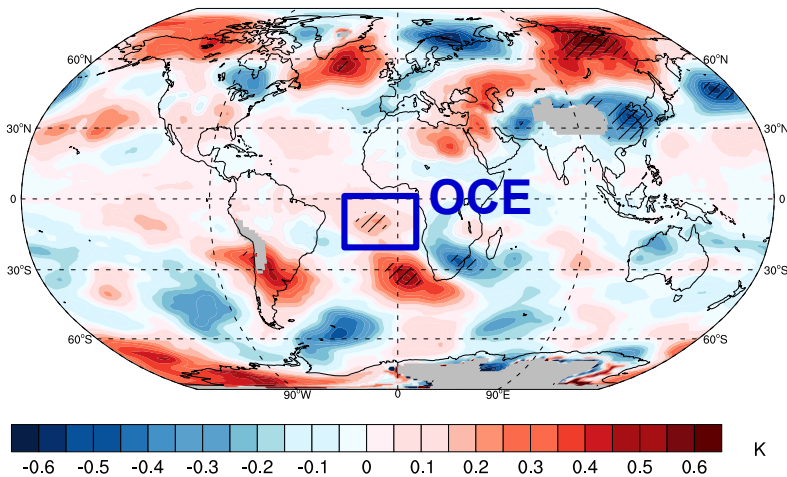
- **NOBRC** : simulation sans BrC
- **BRC** : simulation avec BrC et bleaching

### Nébulosité basse (JAS)



- Hausse de la nébulosité basse sur la région OCE allant jusqu'à 2 %

### Température (700 hPa, JAS)

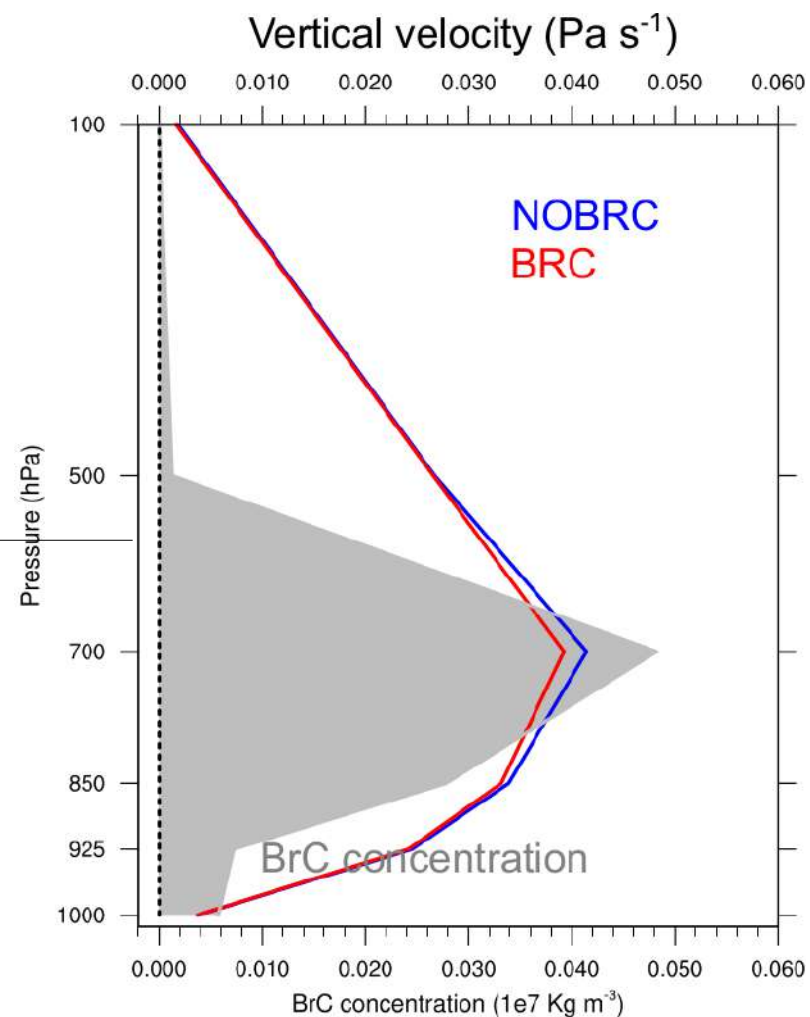
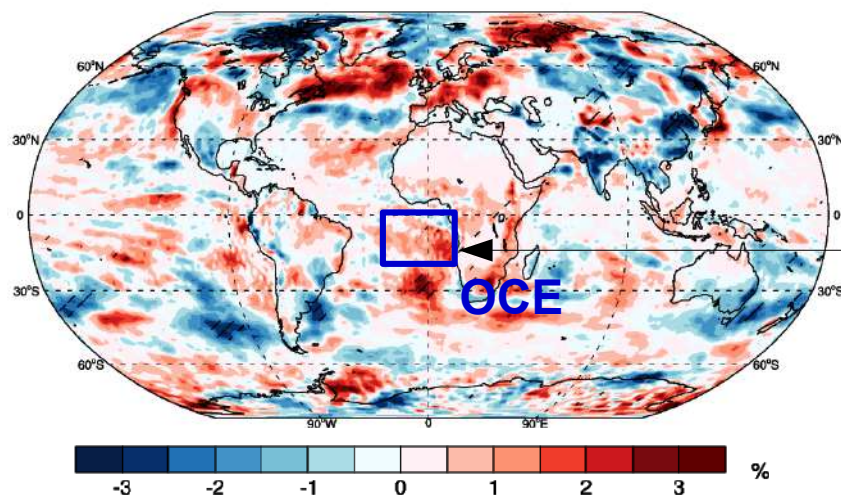


- Hausse modérée de la température à 700 hPa sur la région OCE

- Impacts climatiques du BrC

- **NOBRC** : simulation sans BrC
- **BRC** : simulation avec BrC et bleaching

### Nébulosité basse (JAS)

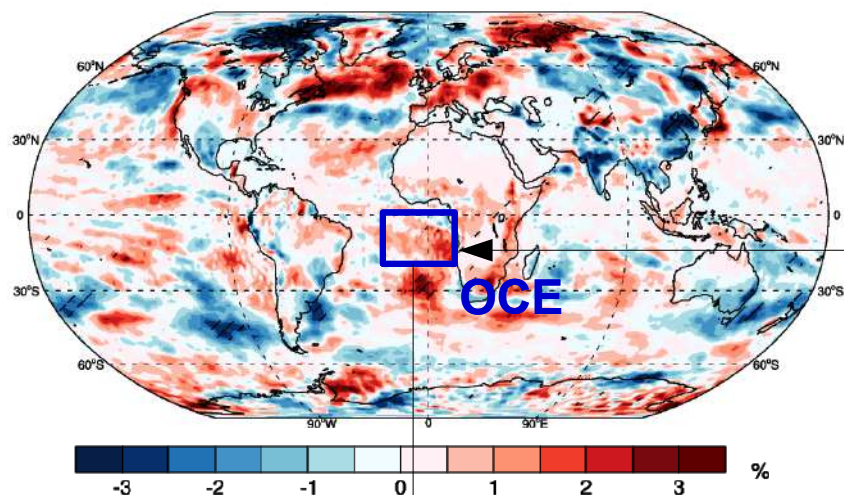


- Baisse d'environ 10 % de la vitesse verticale à 700 hPa (= diminution de la subsidence) sur la région OCE
- Moins d'entrainement d'air sec de la troposphère libre dans la couche limite marine
- hausse de la nébulosité basse

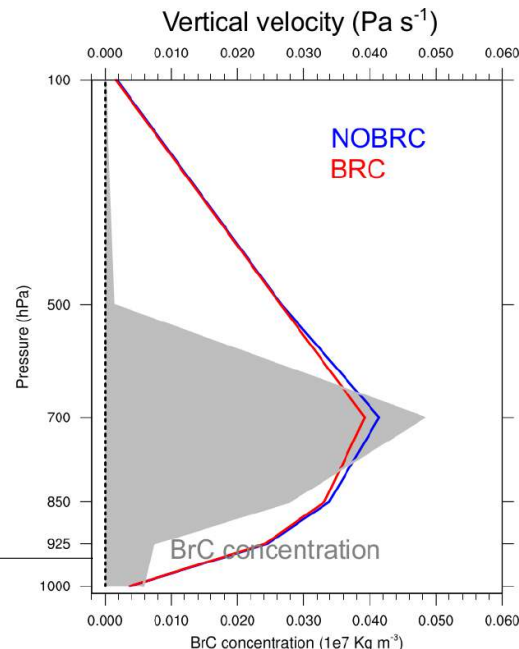
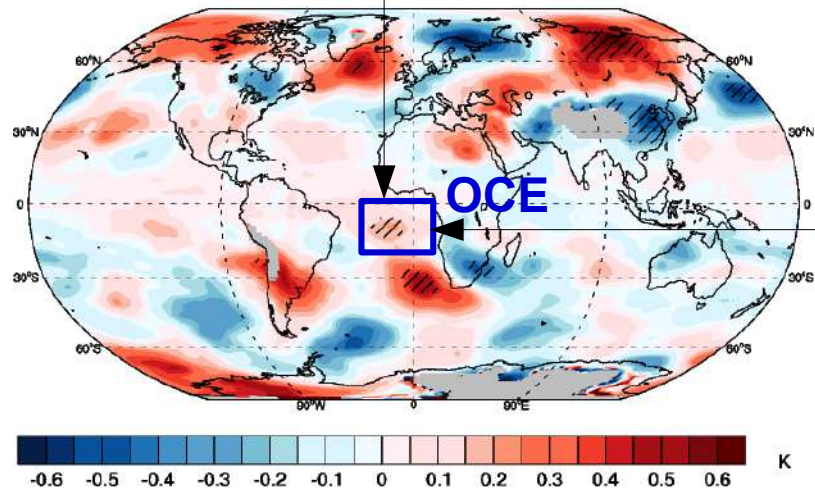
- Impacts climatiques du BrC

- **NOBRC** : simulation sans BrC
- **BRC** : simulation avec BrC et bleaching

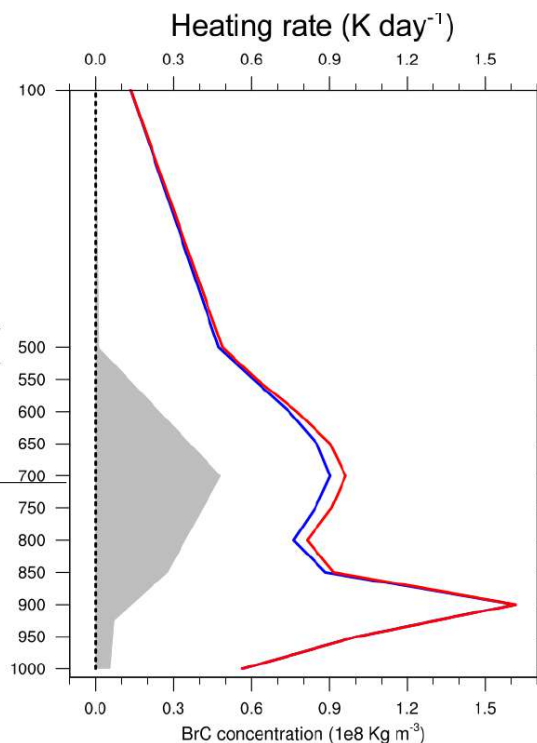
## Nébulosité basse (JAS)



## Température (700 hPa, JAS)



- Hausse de la nébulosité basse due à une diminution de la subsidence entrainant moins d'air sec de la troposphère libre dans la couche limite marine



- Hausse de la température (700 hPa) sur la région OCE due :

- à l'absorption du rayonnement solaire par les particules de BrC associée à une hausse du taux d'échauffement solaire d'environ 11 %

- à la hausse de la nébulosité basse sur cette région



# Conclusions

- **Implémentation du BrC dans le schéma d'aérosols TACTIC en différenciant le BrC (BB + BF) et le carbone organique (FF) en fonction de leurs sources :**

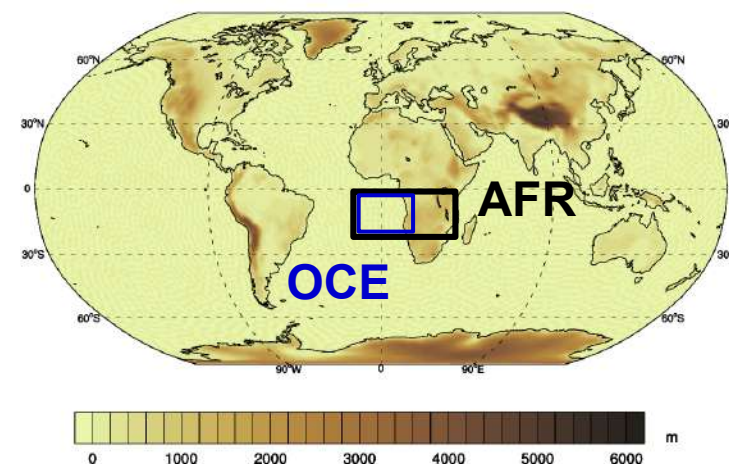
- Amélioration du SSA et de l'AAOD des aérosols en annuel et en JAS
- Peu d'impacts sur l'AOD

- **Impacts radiatifs du BrC :**

- Hausse significative du ERFari sur la région AFR similaire à Brown et al. 2018
- Signal très bruité et peu significatif pour le ERFaci

- **Impacts climatiques du BrC :**

- Région OCE :
  - Hausse de la nébulosité basse due à une diminution d'environ 10 % de la subsidence à 700 hPa entraînant moins d'air sec de la troposphère libre dans la couche limite marine
  - Hausse modérée de la température à 700 hPa due à l'absorption du rayonnement solaire par les particules de BrC (hausse du taux d'échauffement d'environ 11 %) ainsi qu'à l'augmentation de la nébulosité basse sur cette région
- Les variations de nébulosité ou de température observées dans les autres régions du globe semblent davantage liées à des changements de dynamique atmosphérique qu'à un impact direct du BrC



■ —▶ Article publié dans ACP

**Merci à tous !**

Contact: [thomas.druge@meteo.fr](mailto:thomas.druge@meteo.fr)

# Supplements

- Effective radiative forcing (ERF) dû aux interactions aérosols-rayonnement (ERFari) et aux interactions aérosols-nuages (ERFaci)

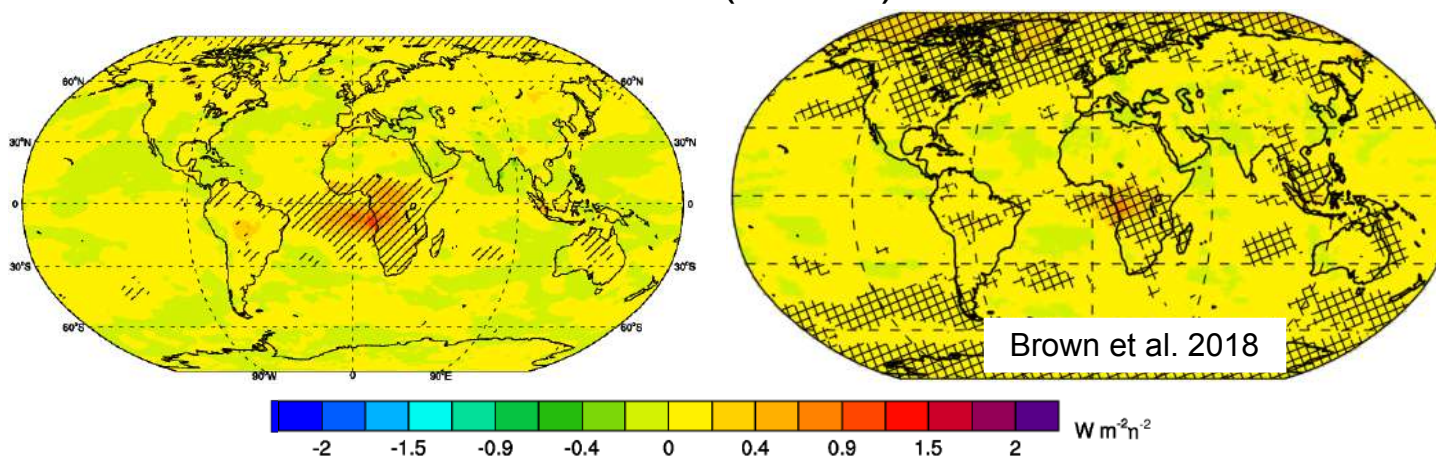
- **NOBRC** : simulation sans BrC
- **BRC** : simulation avec BrC et bleaching

$$\Delta F = \underbrace{\Delta (F - F_{\text{clean}})}_{(\text{ERFari})} + \underbrace{\Delta (F_{\text{clean}} - F_{\text{clear,clean}})}_{(\text{ERFaci})} + \underbrace{\Delta (F_{\text{clear,clean}})}_{(\text{ERFsac})}$$

- Comparaison à l'étude de Brown et al. 2018

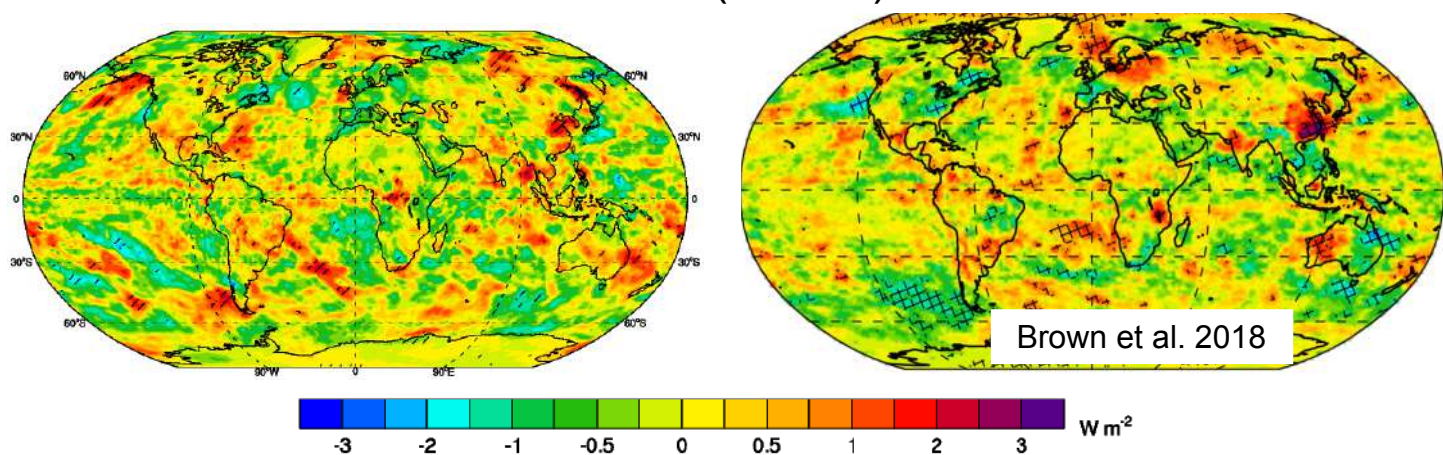
ERFari (annuel)

(TOA, SW + LW)



- Résultats assez similaires pour le ERFari (hausse sur la partie centre de l'Afrique)

ERFaci (annuel)



- Pas de signal clair pour le ERFaci