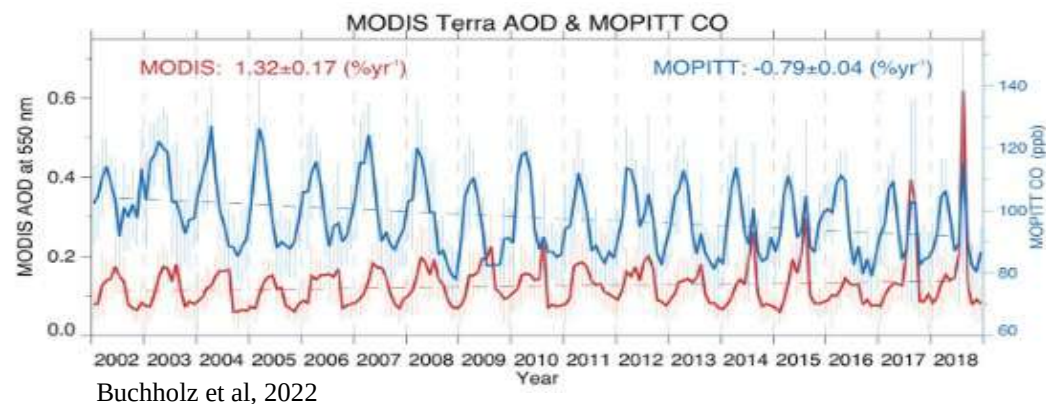


Aerosol Direct radiative effects from extreme fire events in Australia, California and Siberia occurring in 2019-2020.

Thomas Vescovini, Pierre Nabat, Marc Mallet, Fabien Solmon
CNRM, 11/05/2023

Feux de biomasse et changement climatique



Feux de biomasse en Australie (Déc 2019)

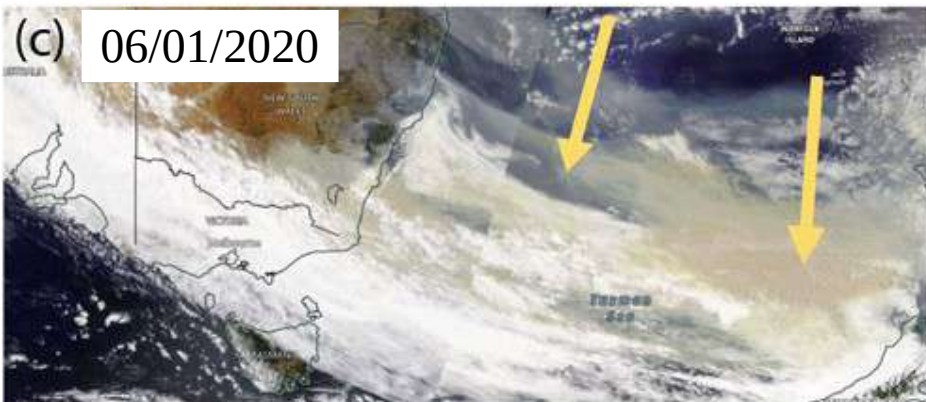
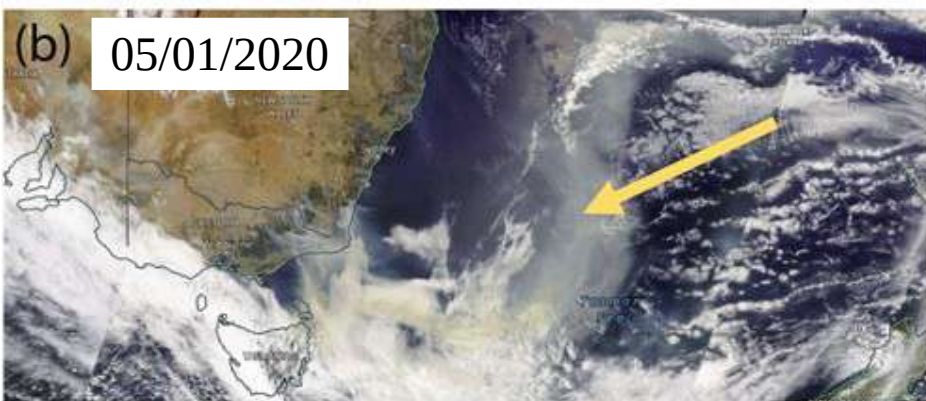
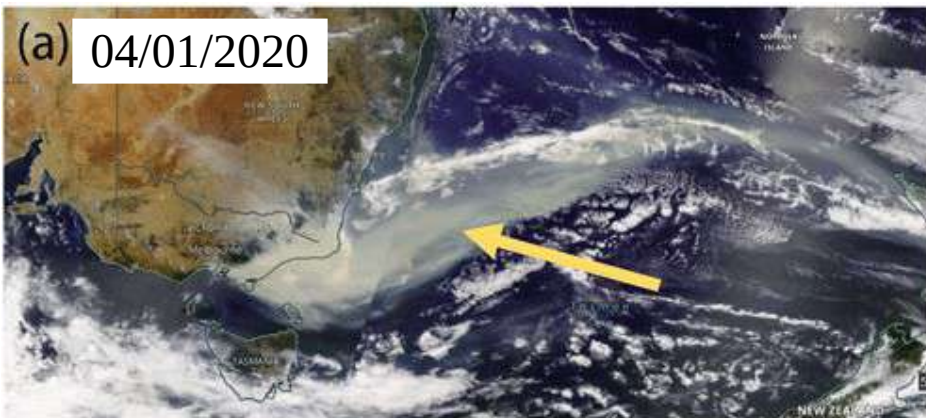


Nasa.gov (2019)

- Californie : intensité et de l'occurrence des feux de biomasse, +140% entre 1973-2012 (Buchholz et al. 2022)
- Feux extrêmes en Sibérie et Australie
- Feux de biomasse produisent des aérosols carbonés -> effet absorbant du rayonnement solaire (\neq sulfatés/nitrés)
- 6 à 8 gigatonnes de CO₂ émis par ces feux en 2019 (43 gigatonnes anthropiques)
- RF 2019-2020 équivalent à une éruption volcanique de taille moyenne
- Influence du changement climatique sur les feux et rétroactions

Intrusions stratosphériques des aérosols de feux

Feux australiens (image visible MODIS)



- Influence sur la composition stratosphérique à l'échelle hémisphérique

→ AOD des panache = 2/3 du total AOD dans la strato (feux californiens en Europe centrale (Baars et al., 2019)

(Bond et al., 2013; Yu et al., 2019; Ohneiser et al., 2022)

- Par pyro-convection

(Fromm and Servranckx, 2003; Peterson et al., 2018; Rodriguez et al., 2020)

→ self-lofting

(Khaykin et al. 2020 ; Ohneiser et al. 2020, 2022 ; Hirsch and Koren 2021)

- Effets sur le bilan radiatif et le climat

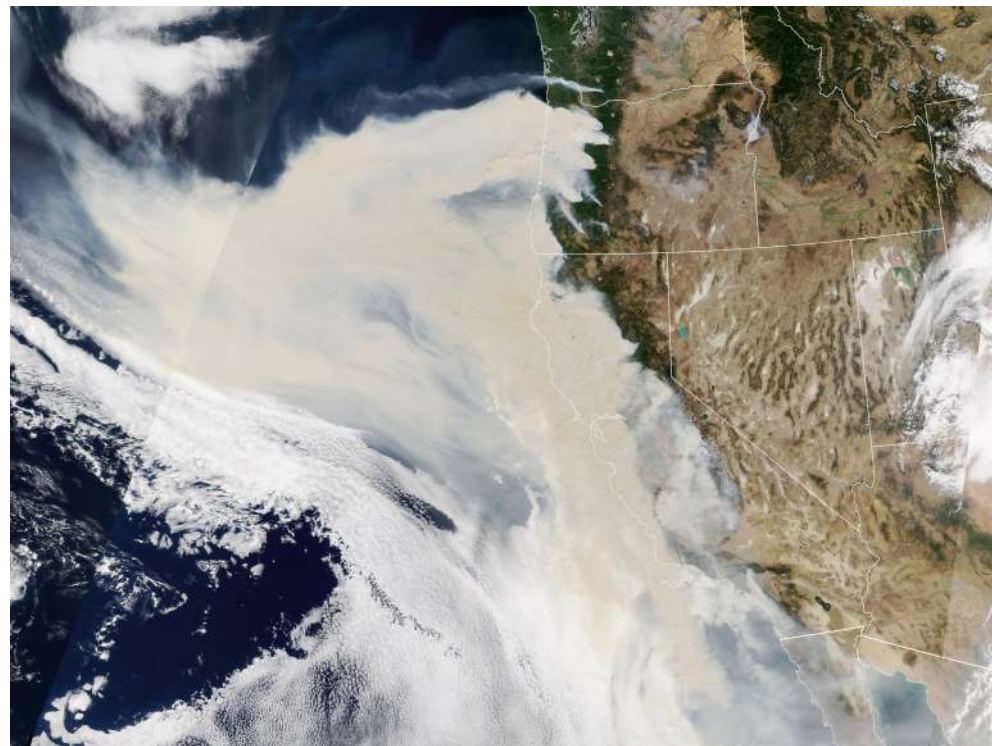
→ +4,2K en theta localement sur 50km, 30min (Campagne aeriennne feux Californiens) (Mardi et al., 2018)

(Das et al., 2021; Yu et al., 2021; Stocker et al., 2021; Heinold et al., 2022; Rieger et al., 2021; Sellitto et al., 2022)

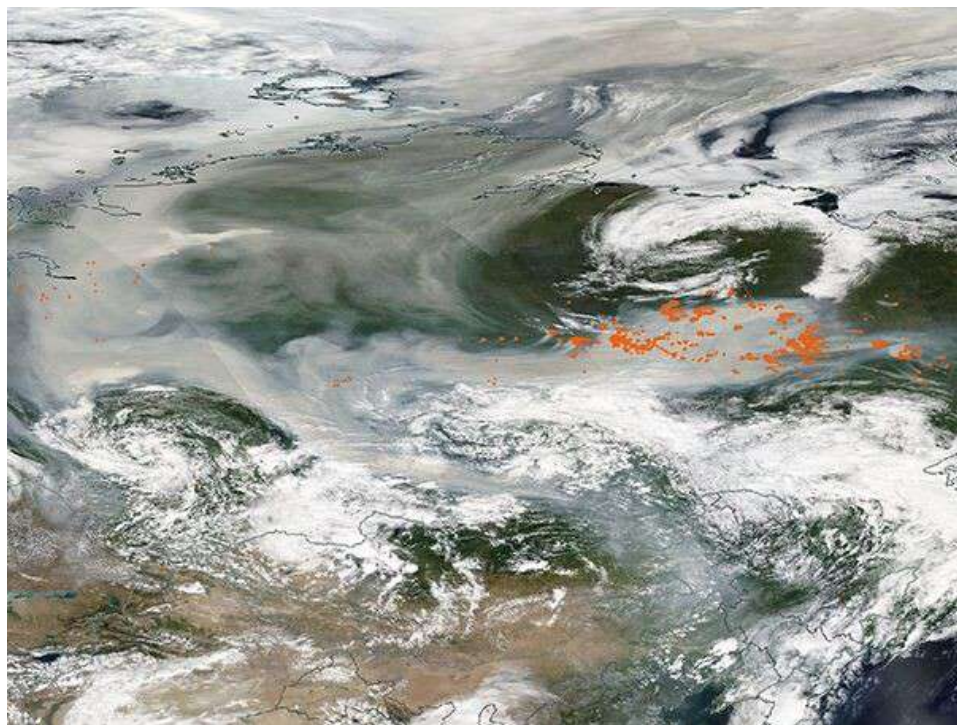
Objectifs de l'étude



Nasa.gov (2019)



Nasa.gov (2020)



Nasa.gov (2019)

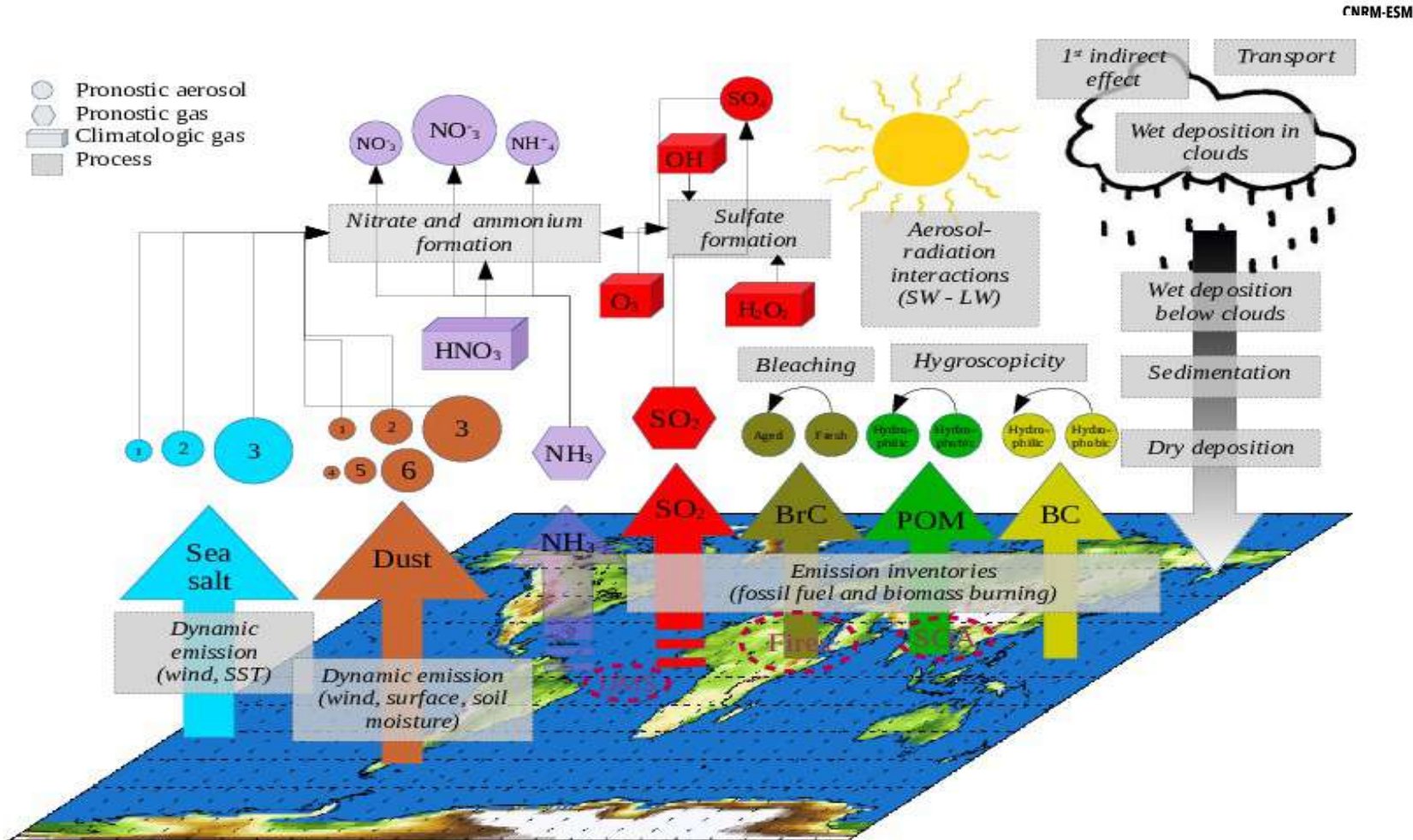
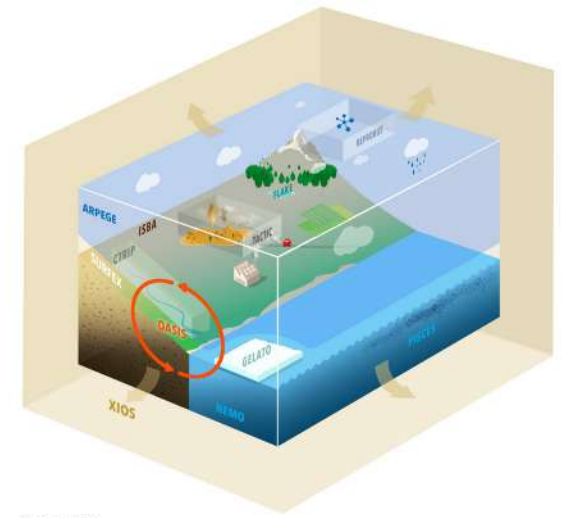
2019-2020 : deux années de feux extrêmes
(Australie, Californie, Sibérie)

- => Quelles propriétés pour les aérosols issus de ces feux ?
(absorption, distribution verticale, etc.)
- => Comment les représenter dans un modèle de climat ?
- => Quels effets sur le bilan radiatif et le climat ?

Outil de modélisation : ARPEGE-Climat

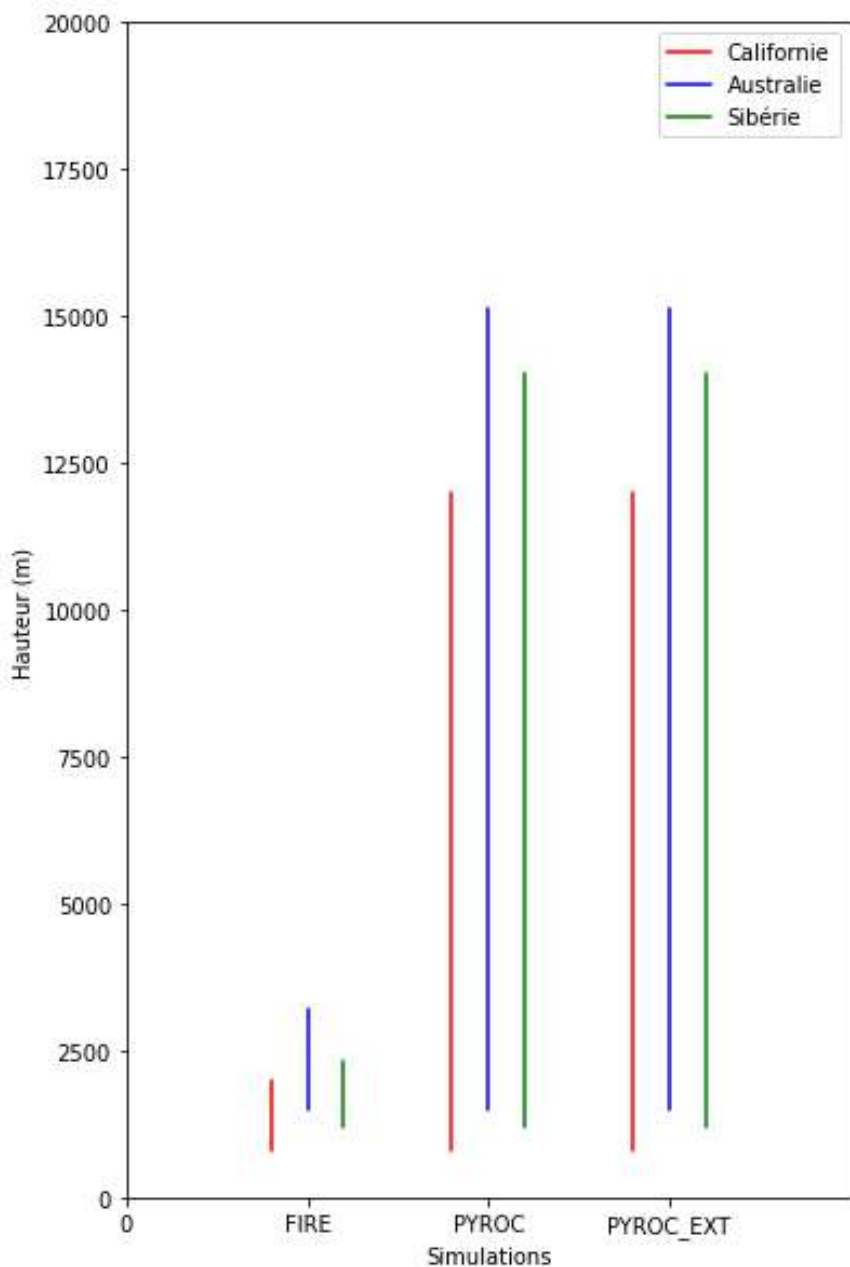
Modèle de climat global (ARPEGE V6.4.1, 50km, 91 niveaux)

Aérosols : schéma interactif TACTIC (Michou et al. 2020, Drugé et al. 2022)



Emission de feux dans ARPEGE-Climat

Profils d'émissions des feux dans ARPEGE



Simulations ARPEGE-climat :

- ➔ Période 2019-2020
- ➔ Nudging par ERA5
- ➔ Aérosols interactifs
- ➔ Inventaires de feux GFED-4.1*
- ➔ Pas de schéma explicite de Pyro-convection
→ Prise en compte via profils verticaux d'injection

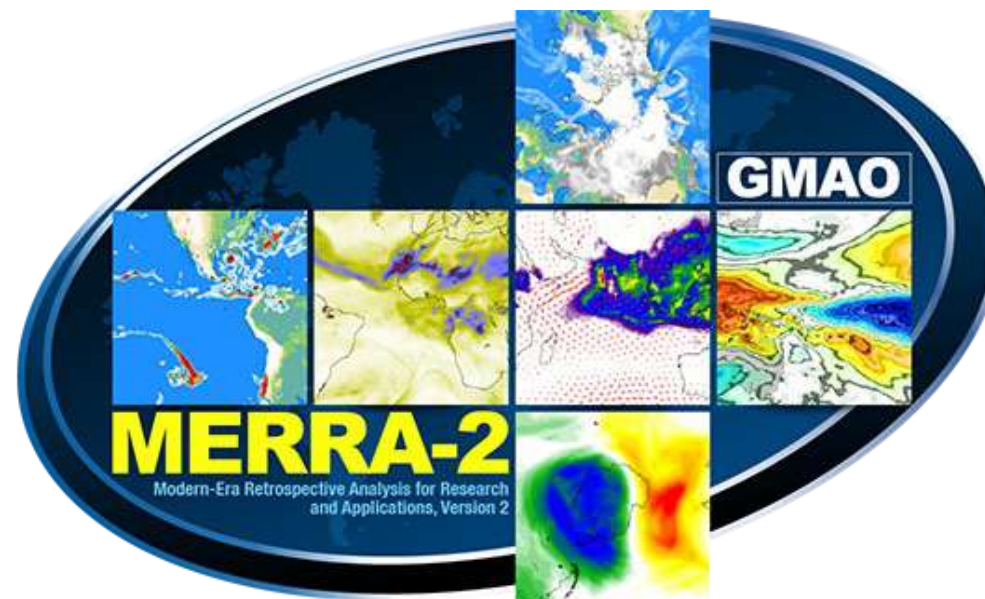
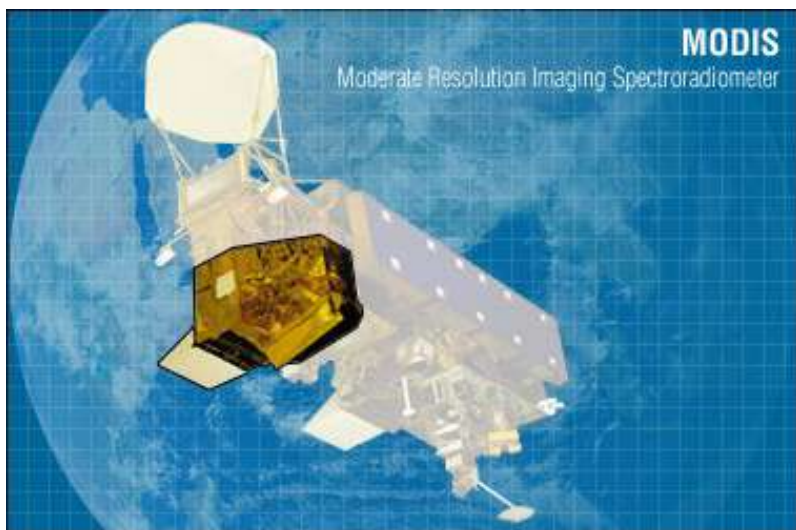
4 configurations :

	Émissions de feux dans les 3 régions	Pyro-convection (Nombre de jours AUS/CAL/SIB)
NOFIRE	Non	Non
FIRE	Oui	Non
PYROC	Oui	Oui (4/2/3)
PYROC_EXT	Oui	Oui (20/10/18)

Données d'évaluation du modèle

Jeux de données :

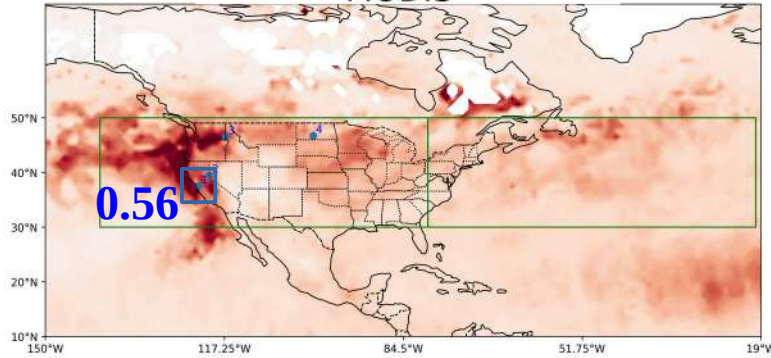
	Type	Resolution spatiale	Variables
MODIS-aqua	Obs satellite	1 km	AOD
CAMSRA	Réanalyses	80 km	AOD et mixing ratio
MERRA-2	Réanalyses	50 km	Coefficient d'extinction
CALIOP	Obs satellite	30-60m vertical 333m horizontal	Coefficient d'extinction
AERONET	Obs au sol	Station fixe	AOD et forçage radiatif



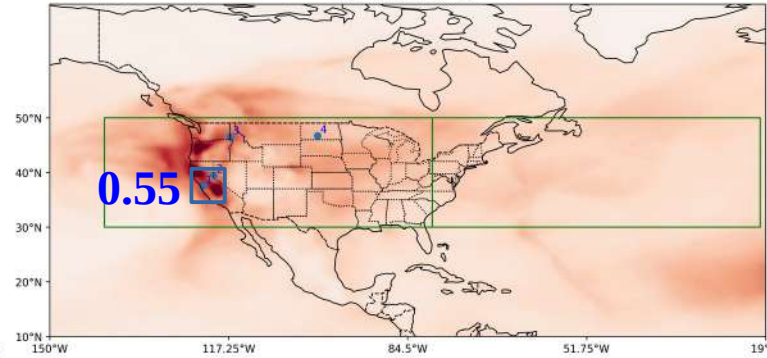
Transport des aérosols de feux Californiens

AOD 550nm (moyenne septembre 2020)

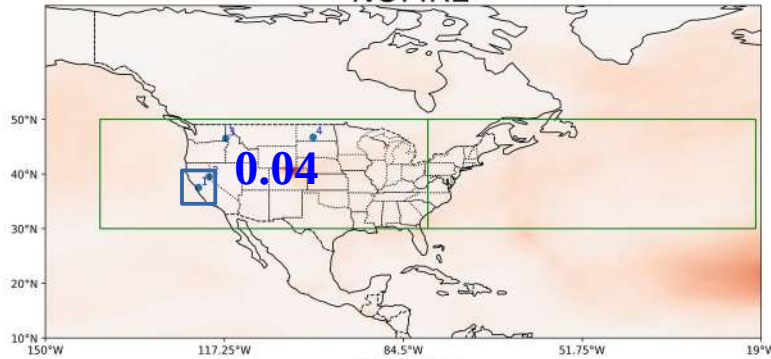
MODIS



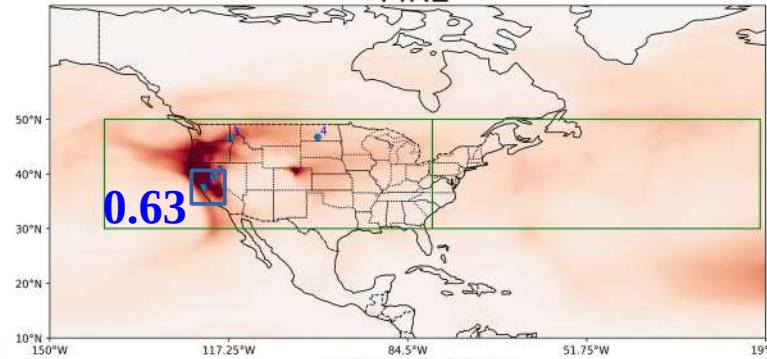
MERRA-2



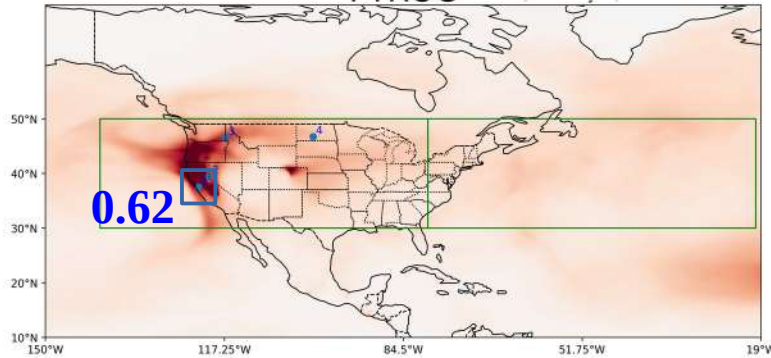
NOFIRE



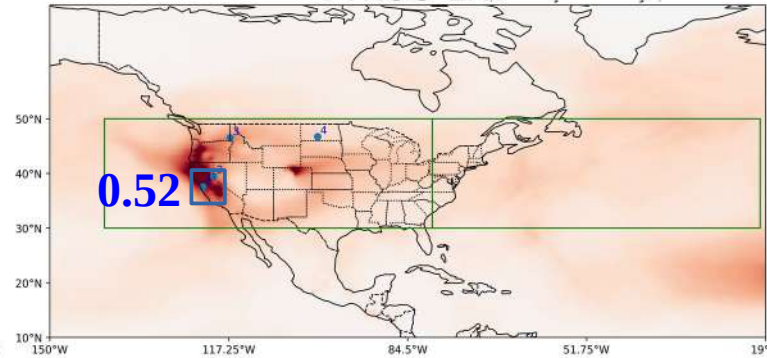
FIRE



PYROC



PYROC EXT



→ Transport des aérosols de feux à l'échelle continentale

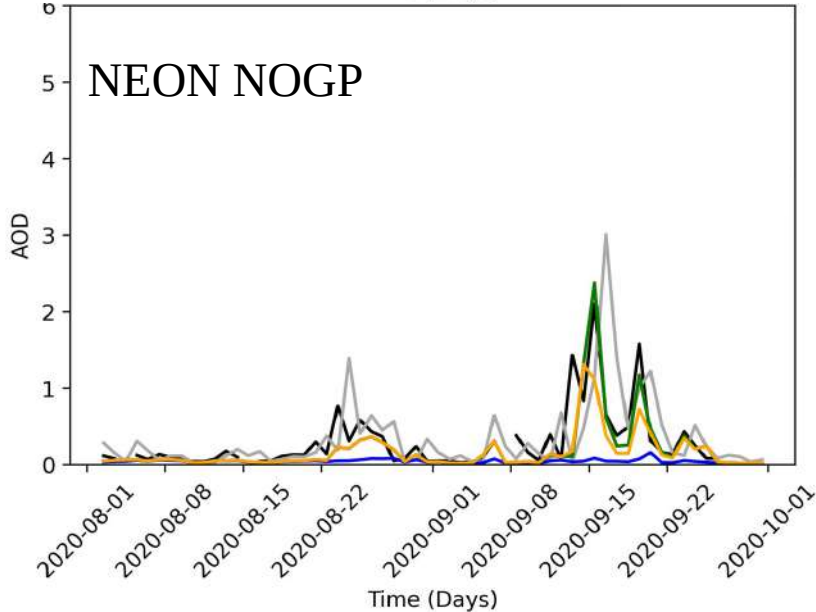
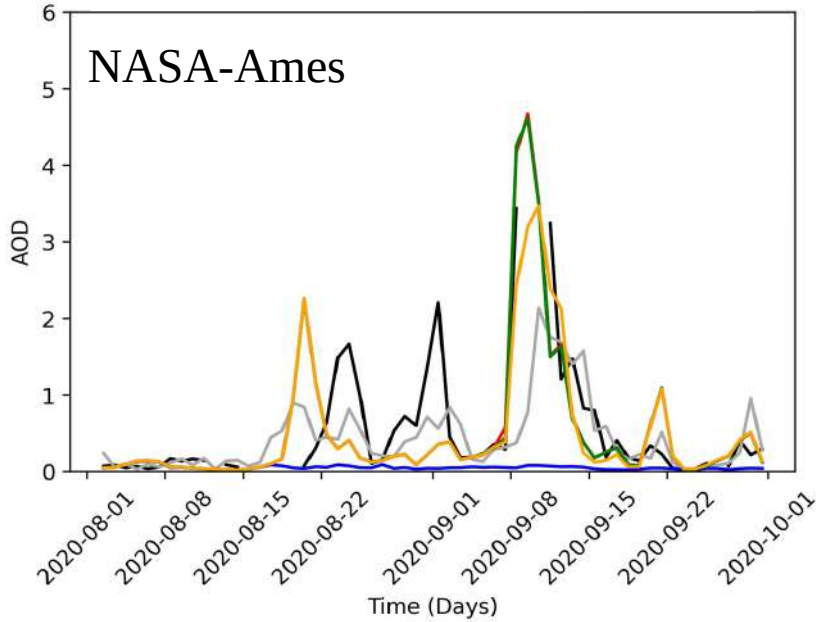
→ Patterns spatiaux similaires dans les trois simulations

→ Bonne reproduction du transport des feux par ARPEGE (vs MODIS et MERRA-2)

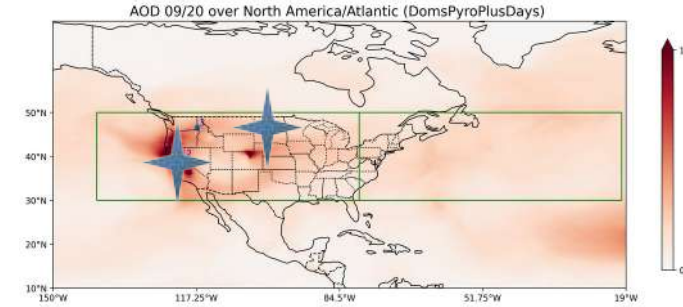
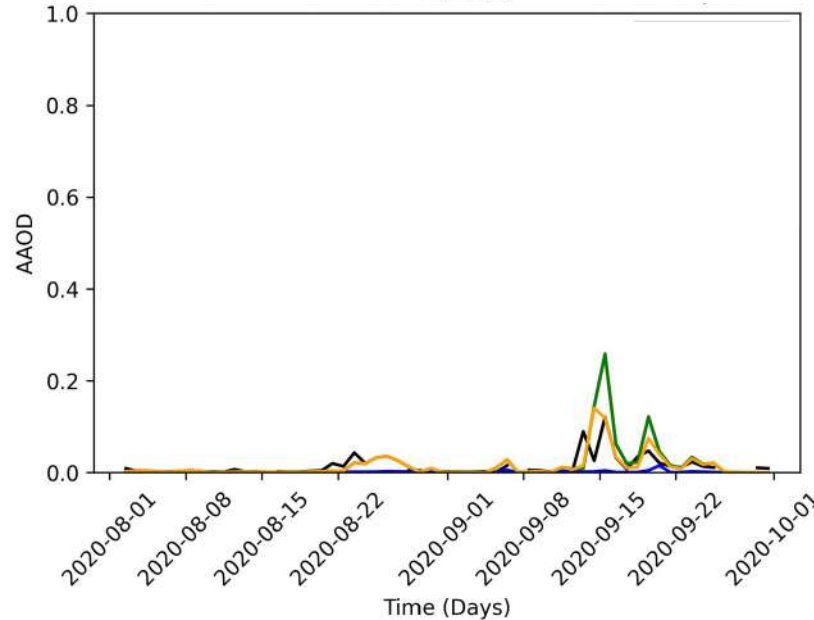
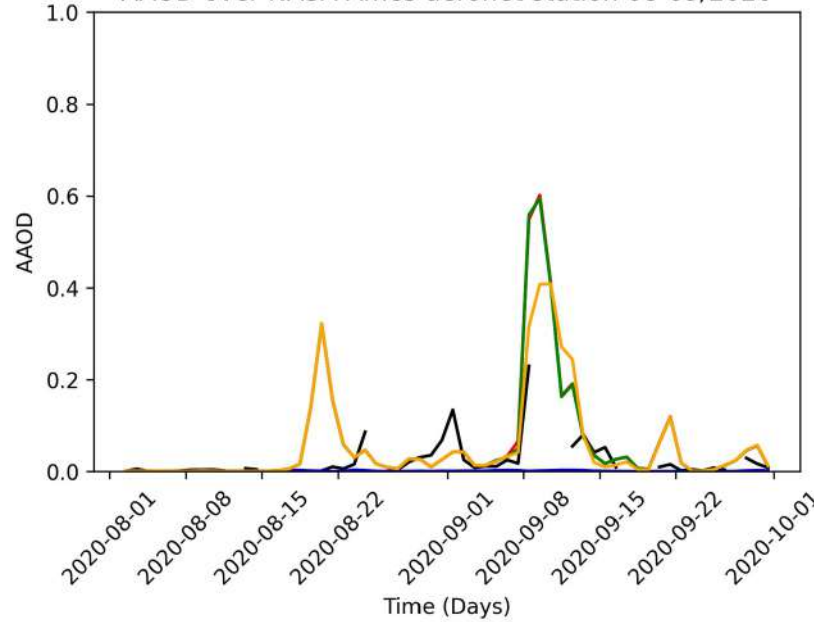
→ Légère amélioration avec la pyro-convection (PYROC_EXT)

Séries temporelles

AOD 550nm
(01/08-30/09/2020)



AAOD 550nm
(01/08-30/09/2020)



AERONET
CAMSRA
NOFIRE
FIRE
PYROC
PYROC_EXT

- Pics en AOD et AAOD liés aux épisodes de feux
- Chronologie bien reproduite par le modèle en général (corrélation > 0.5)
- Mais quelques décalages temporels
- Intensité des maximums varie avec les simulations

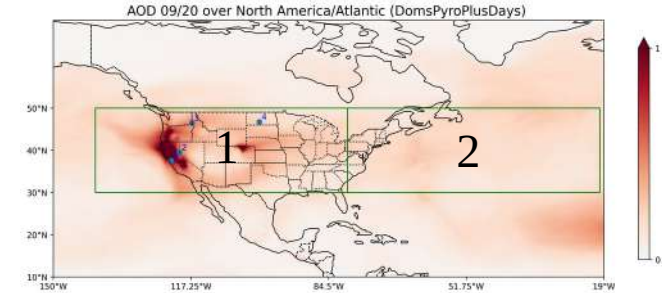
Distribution verticale des aérosols de feux

Coefficient d'extinction 550nm (km^{-1})

 Moyenne septembre 2020

Taux d'échauffement (K/day)

 Moyenne septembre 2020



CALIOP — sept 2020

 - - - moy sept 2007-2018

MERRA-2 — sept 2020

 - - - moy sept 2007-2018

NOFIRE

FIRE

PYROC

PYROC_EXT

→ CALIOP : aérosols de feux entre 3 et 12 km

→ MERRA-2 : biais dans la stratosphère

→ Ordre de grandeur bien reproduit par le modèle

→ Intrusions dans la stratosphère uniquement dans PYROC_EXT

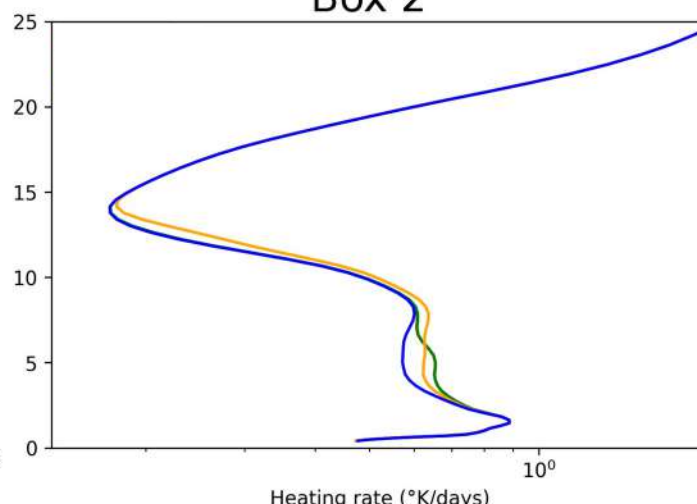
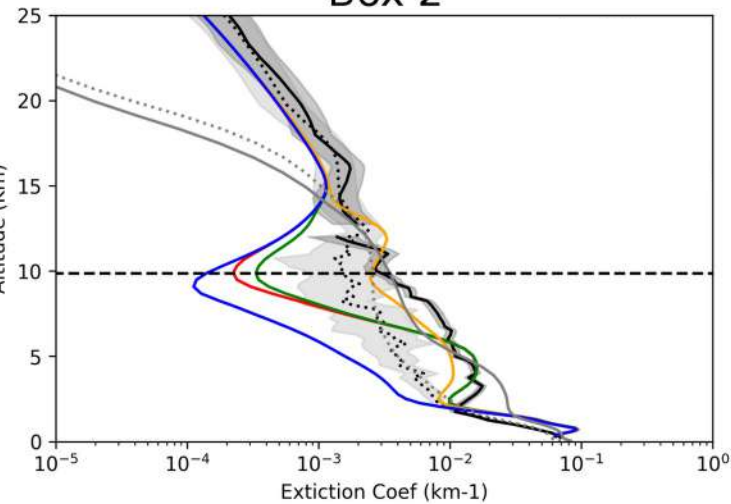
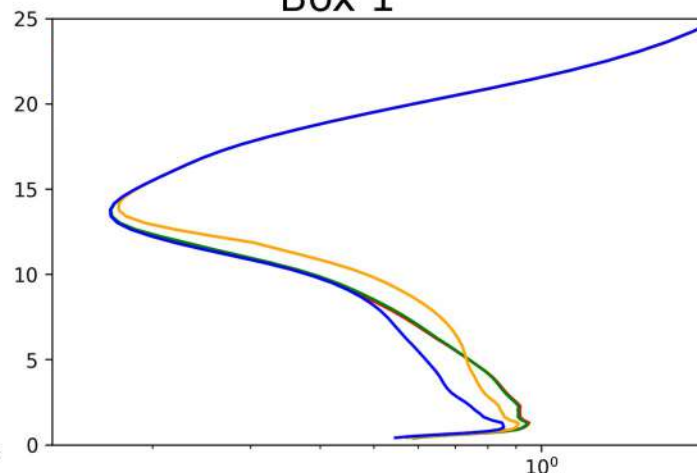
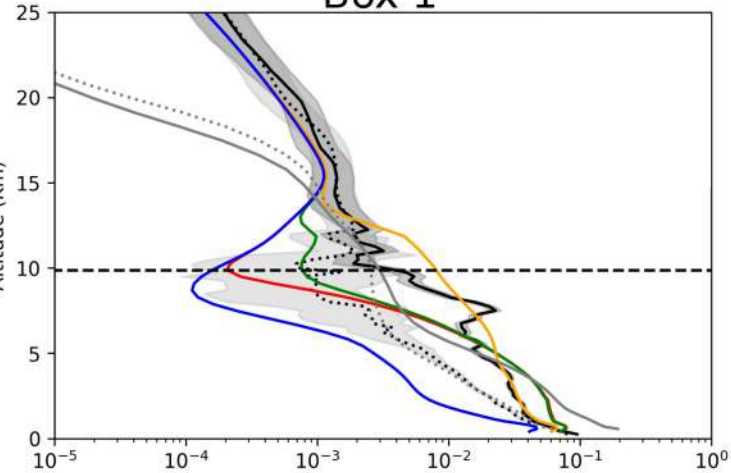
→ Effet radiatif visible sur le taux d'échauffement

Box 1

Box 1

Box 2

Box 2



Effet radiatif direct des aérosols de feux

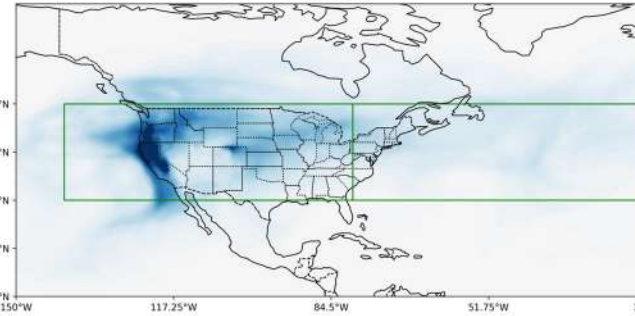
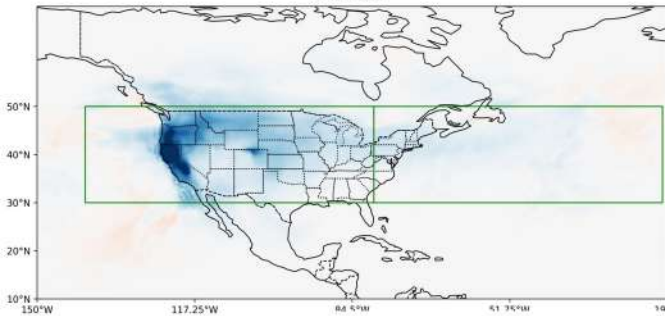
Forçage radiatif direct BrC TOA ($W.m^{-2}$)
Moyenne septembre 2020

All-sky

Clear-sky

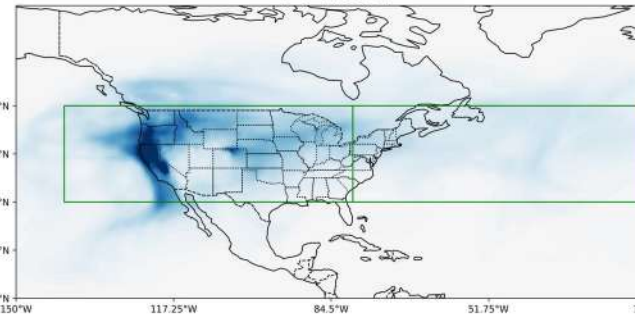
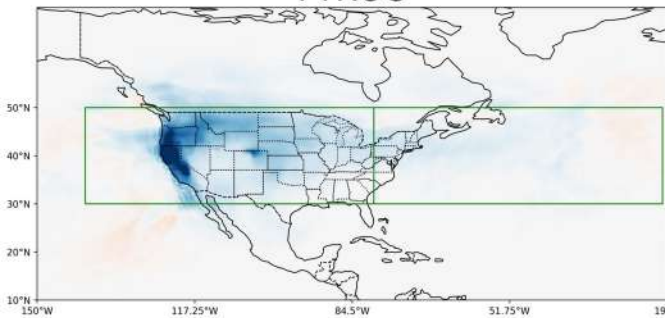
FIRE

FIRE



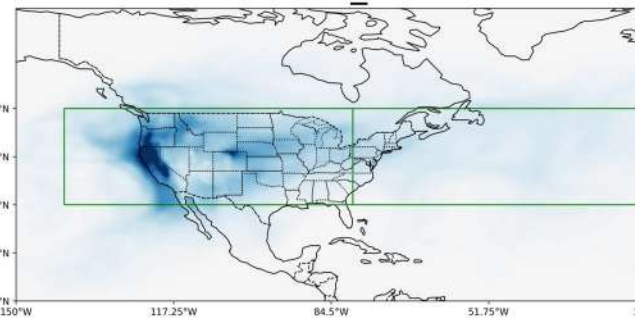
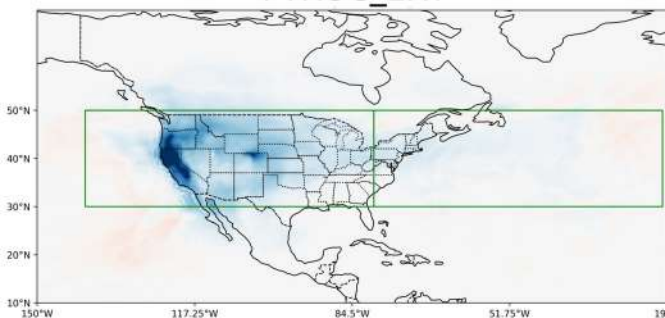
PYROC

PYROC



PYROC_EXT

PYROC_EXT

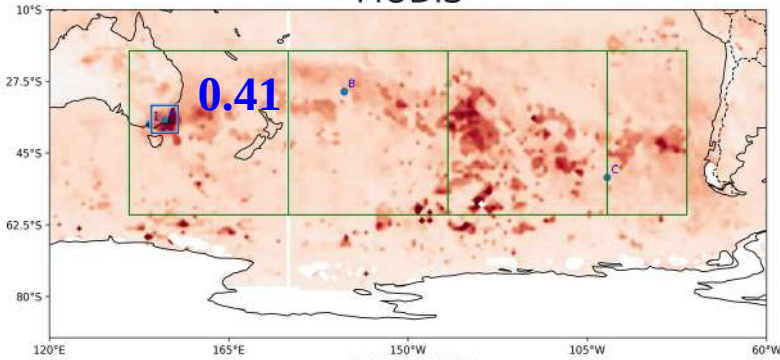


- Forçage radiatif négatif au sommet de l'atmosphère dû aux feux de biomasse
- Près des sources en moyenne en Californie : $-5 W/m^2$
- Peu de différences entre les trois simulations
- Quelques zones de forçage radiatif positif (Pacifique, Atlantique), uniquement en all-sky => lié à l'albedo des nuages

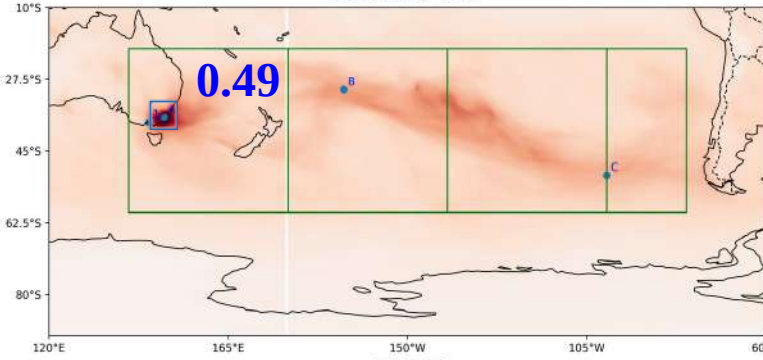
Transport des aérosols de feux Australiens

AOD 550nm (moyenne Janvier 2020)

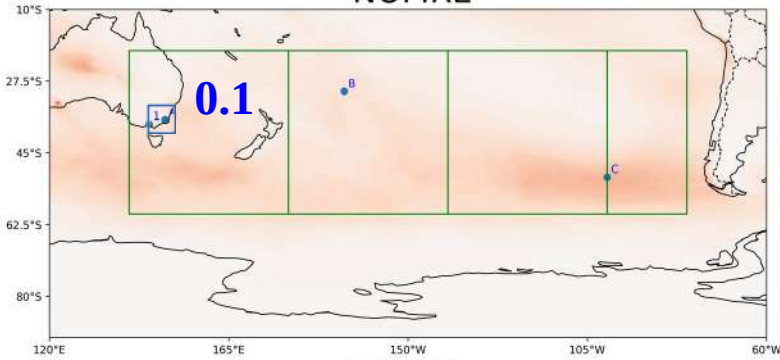
MODIS



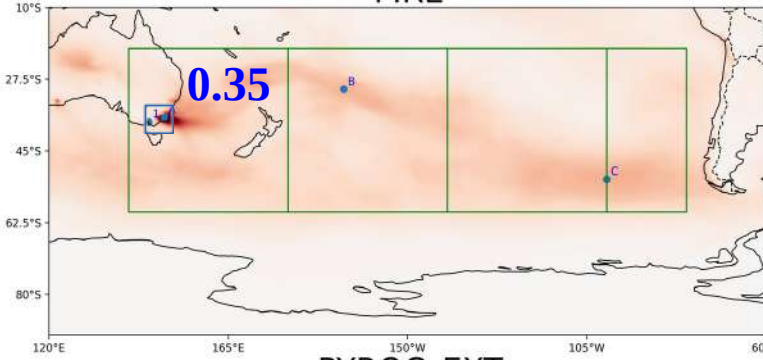
MERRA-2



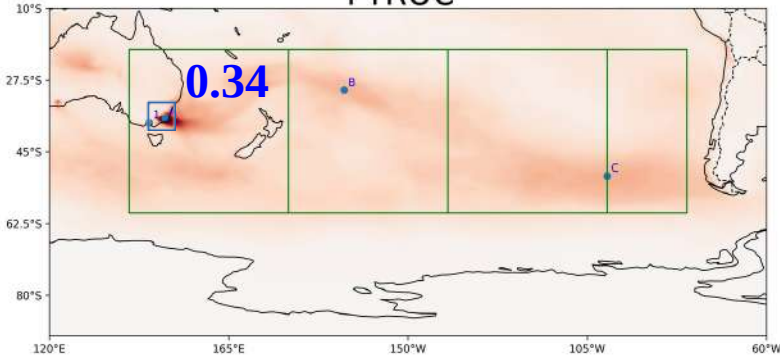
NOFIRE



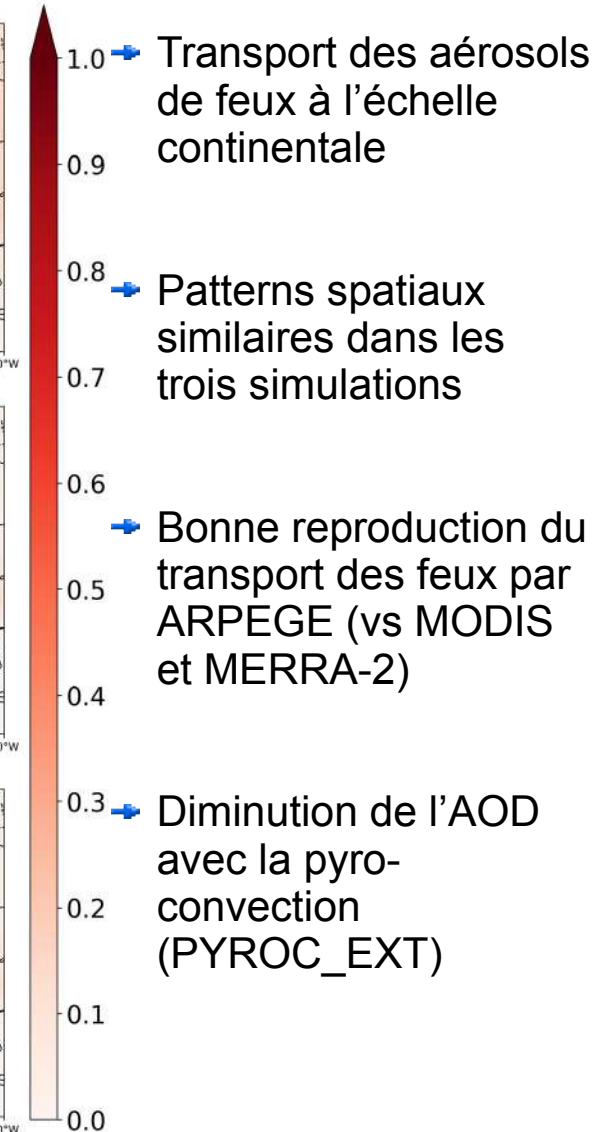
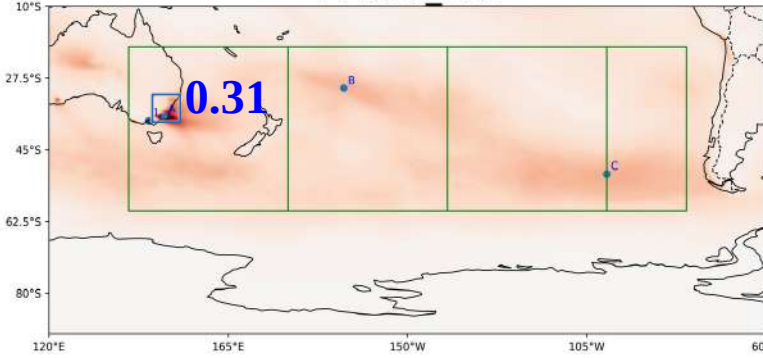
FIRE



PYROC

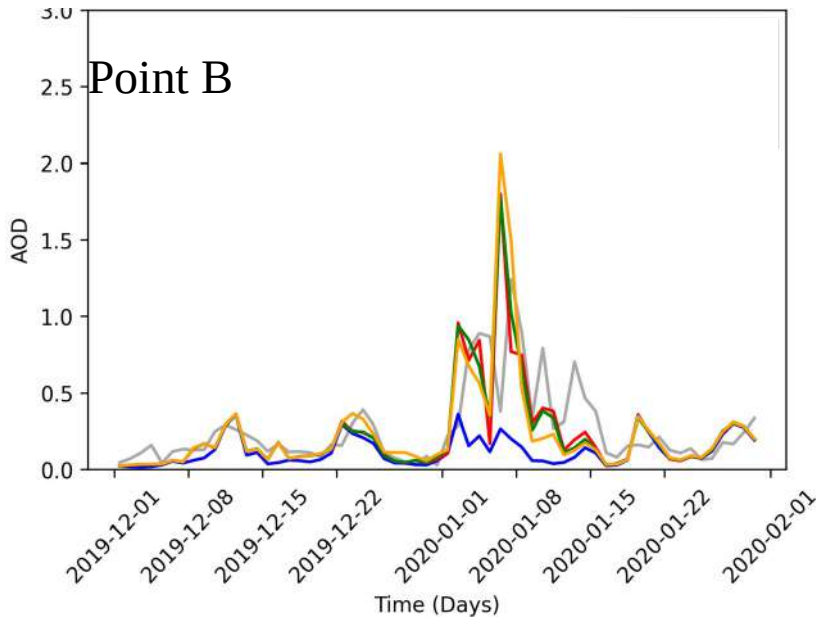
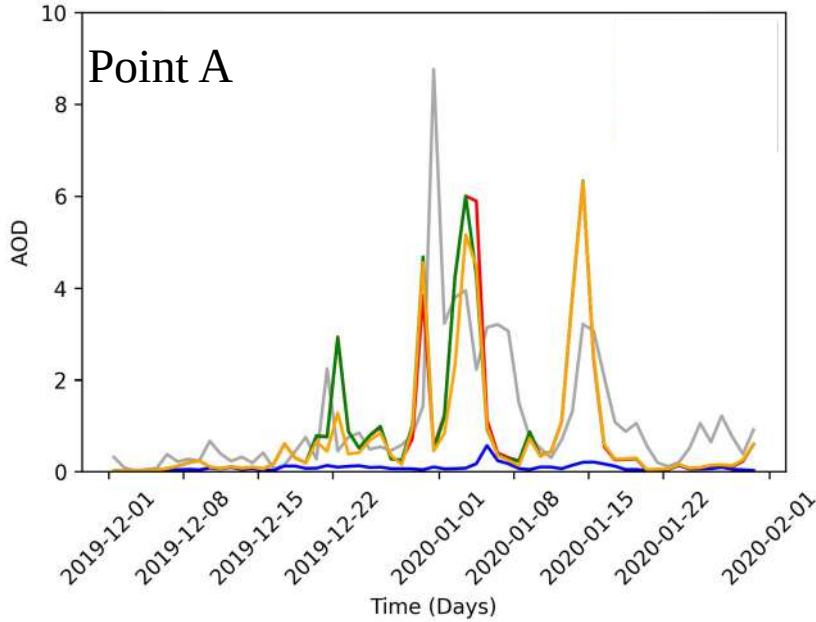


PYROC_EXT

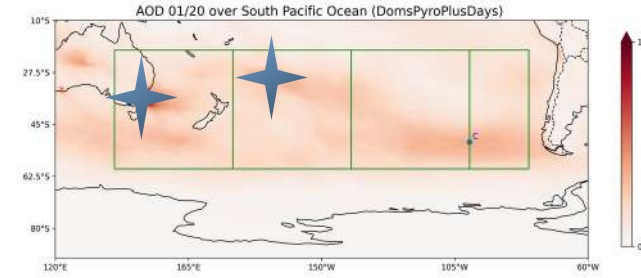
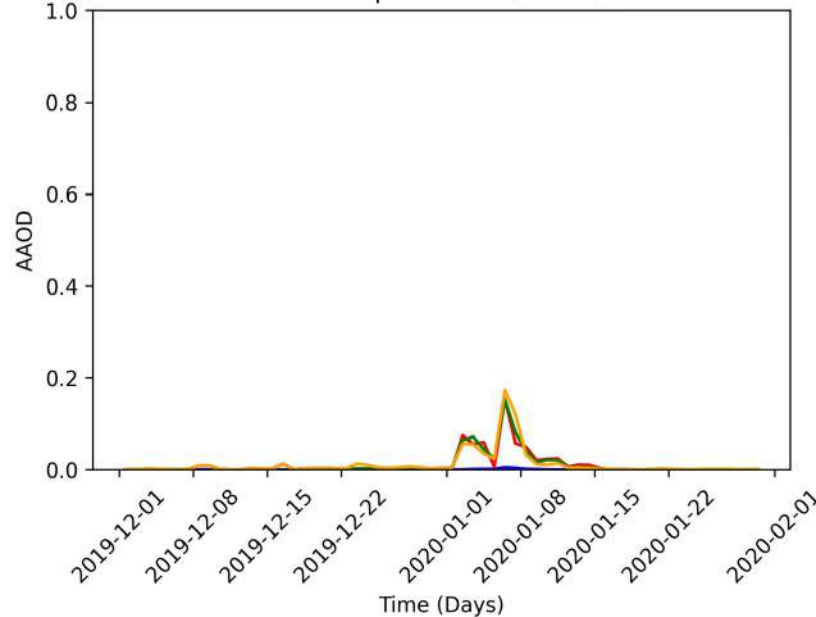
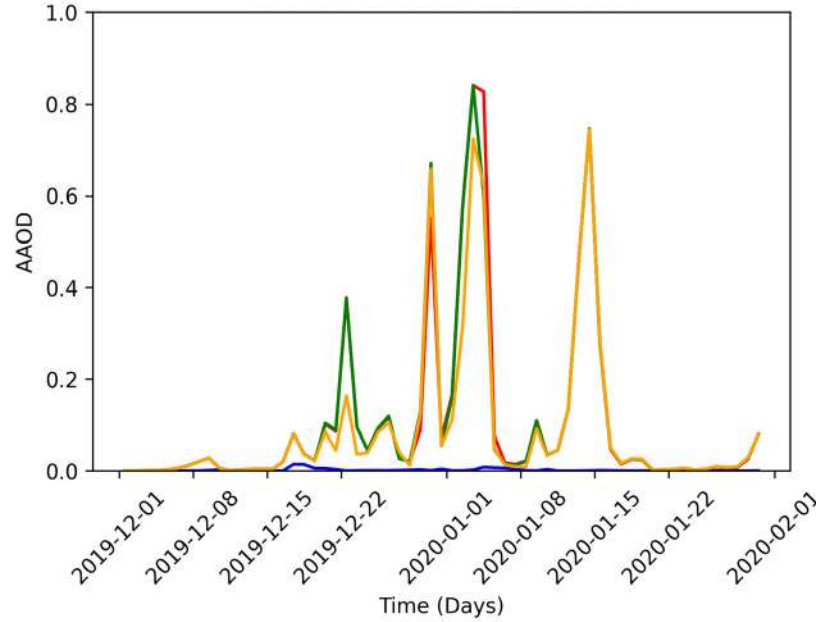


Séries temporelles

AOD 550nm
(01/12/2019-31/01/2020)



AAOD 550nm
(01/12/2019-31/01/2020)



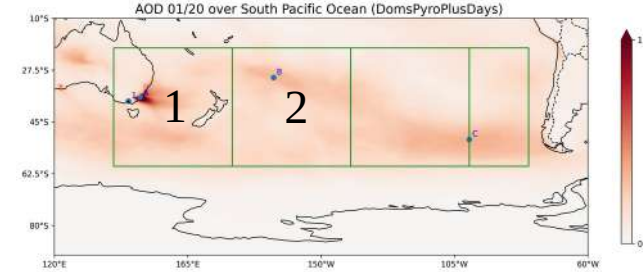
CAMSRA
NOFIRE
FIRE
PYROC
PYROC_EXT

- ➔ Pics en AOD et AAOD liés aux épisodes de feux
- ➔ Chronologie bien reproduite par le modèle en général (corrélation 0.4 - 0.7)
- ➔ Mais quelques décalages temporels
- ➔ Intensité des maximums varie avec les simulations

Distribution verticale des aérosols de feux

Coefficient d'extinction 550nm (km⁻¹)
Moyenne Janvier 2020

Taux d'échauffement (K/day)
Moyenne Janvier 2020



CALIOP — *Jan 2020*
 - - - *moy Jan 2007-2018*
MERRA-2 — *Jan 2020*
 - - - *moy Jan 2007-2018*
NOFIRE
FIRE
PYROC
PYROC_EXT

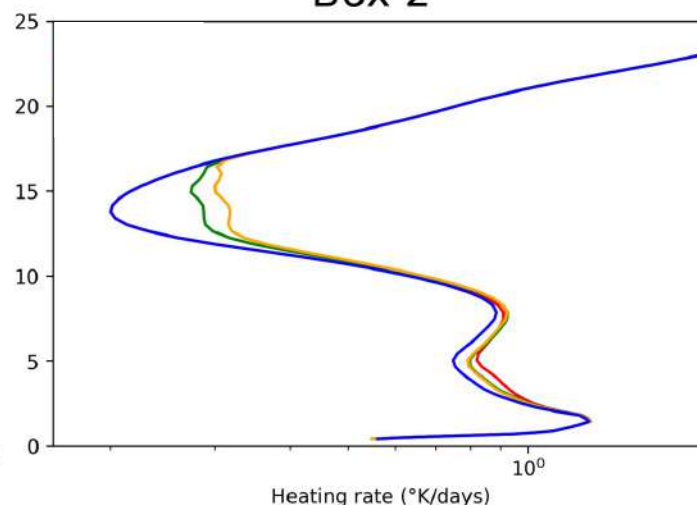
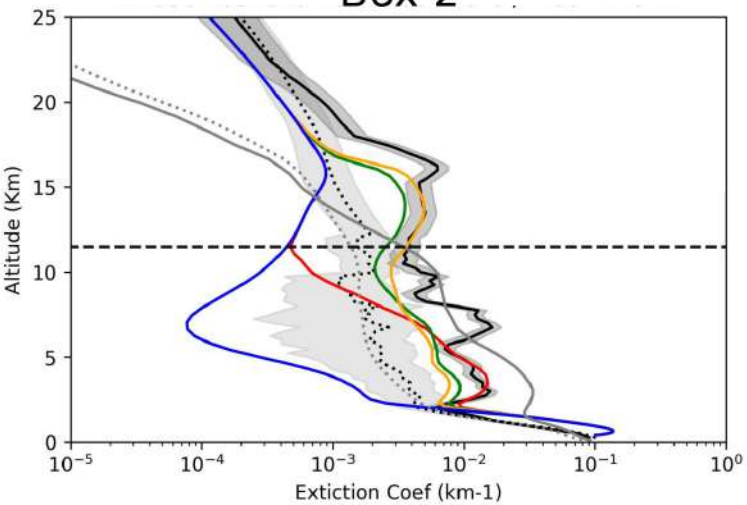
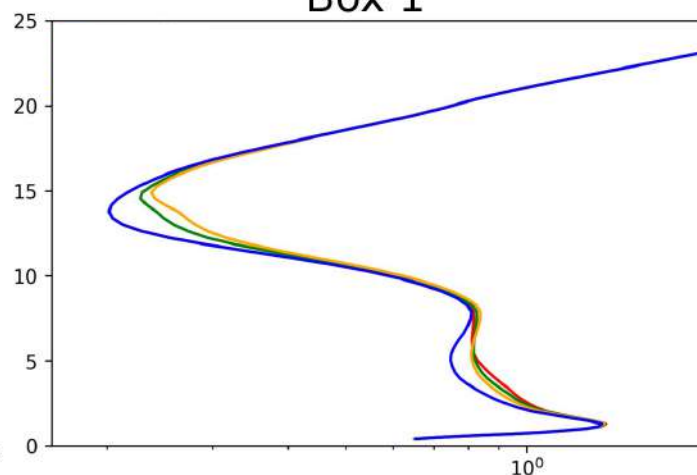
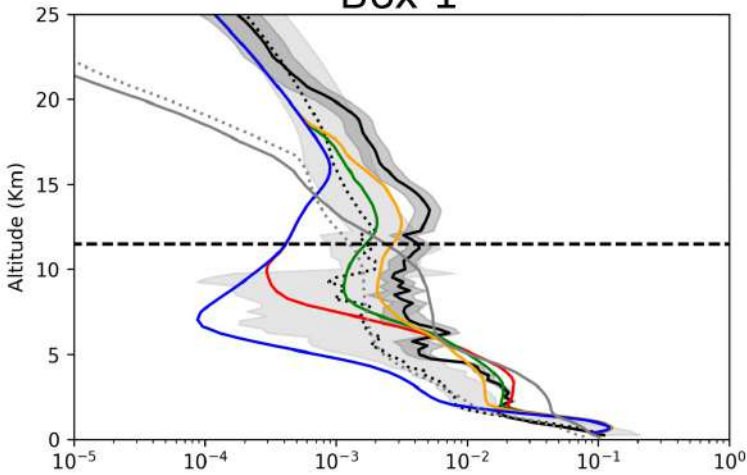
- ➔ CALIOP : aérosols de feux entre 3 et 16 km
- ➔ Ordre de grandeur bien reproduit par le modèle
- ➔ Intrusions dans la stratosphère uniquement dans PYROC PYROC_EXT
- ➔ Effet radiatif visible sur le taux d'échauffement

Box 1

Box 1

Box 2

Box 2



Effet radiatif direct des aérosols de feux

Forçage radiatif direct BrC TOA ($W.m^{-2}$)
Moyenne Janvier 2020

All-sky

Clear-sky

FIRE

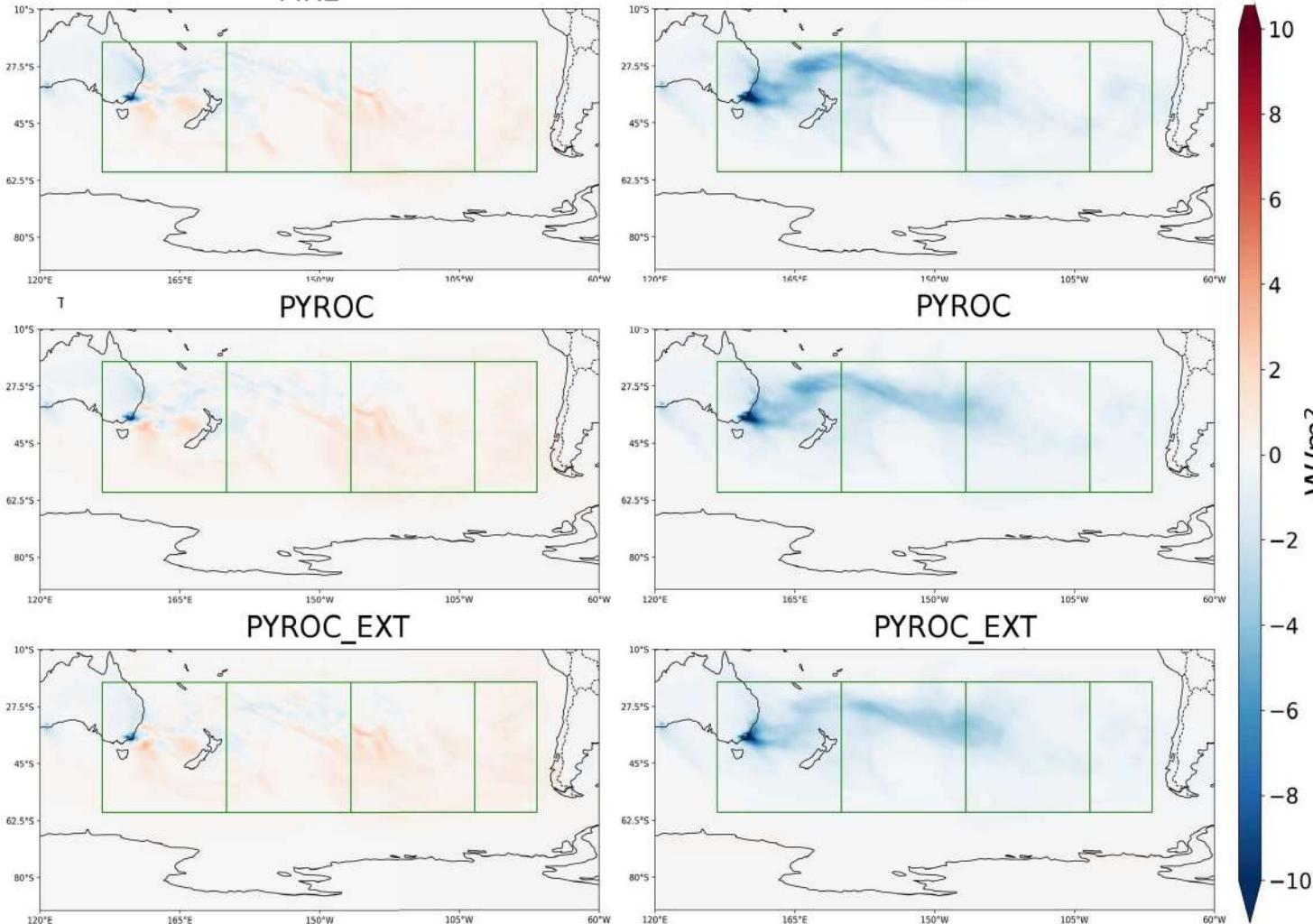
FIRE

PYROC

PYROC

PYROC_EXT

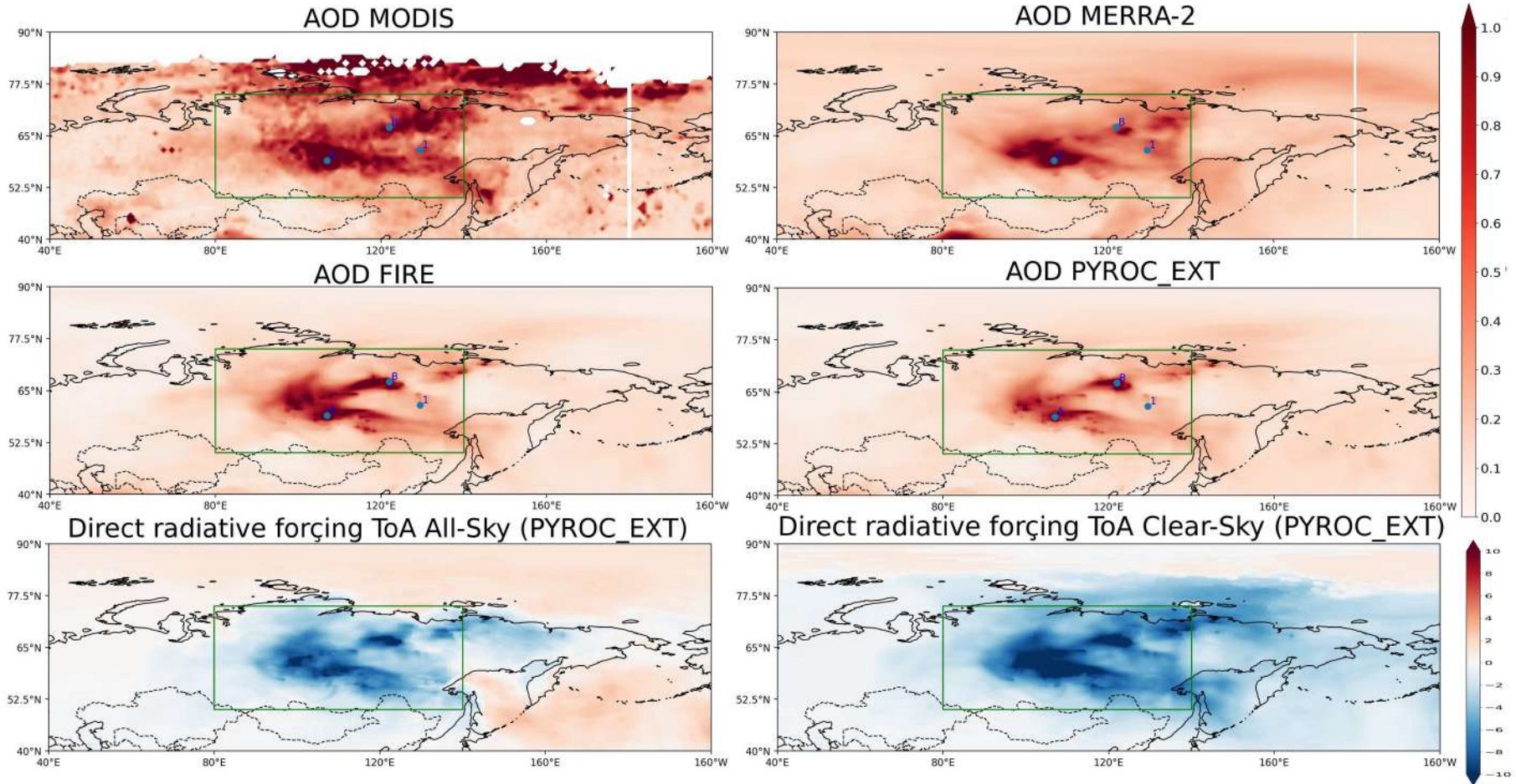
PYROC_EXT



- Forçage radiatif négatif au sommet de l'atmosphère dû aux feux de biomasse
- Près des sources en moyenne en Australie : $-5 W/m^2$
- Peu de différences entre les trois simulations
- Forçage positif sur le Pacifique, uniquement en all-sky => lié à l'albedo des nuages

Feux et effets radiatifs en Sibérie

AOD 550nm et RF ToA (moyenne Août 2019)



- ➔ Transport des aérosols de feux à l'échelle continentale
- ➔ Bonne reproduction du transport des feux sur le continent par ARPEGE (vs MODIS et MERRA-2)
- ➔ Diminution de l'AOD avec la pyro-convection (PYROC_EXT)
- ➔ Forçage radiatif au ToA :
Négatif près des sources -4.5 W/m^2
Positif sur océan (nuages et glace de mer)

Conclusions et perspectives

AOD :

- Patterns spatiaux et temporels bien reproduits par ARPEGE-climat sur les 3 régions

Distribution verticale :

- Pyroconvection indispensable pour reproduire les intrusions stratosphériques d'aérosols de feux

=> PYROC_EXT meilleure simulation

Forçage radiatif direct au ToA :

- Négatif près des sources $\sim 5 \text{ W/m}^2$
- Positif dans le transport au dessus des nuages bas (Atlantique, Pacifique) et de la glace de mer (Arctique)

Perspectives :

- Étude des effets sur le climat