

# Mesures long- terme du carbone-suie en troposphère libre

TINORUA Sarah  
CNRM/GMEI/MNPCA

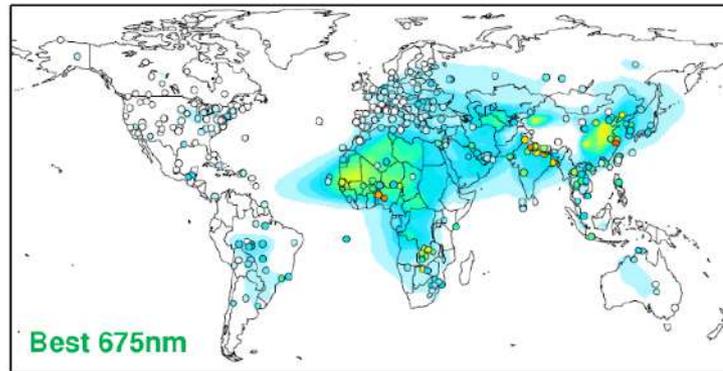
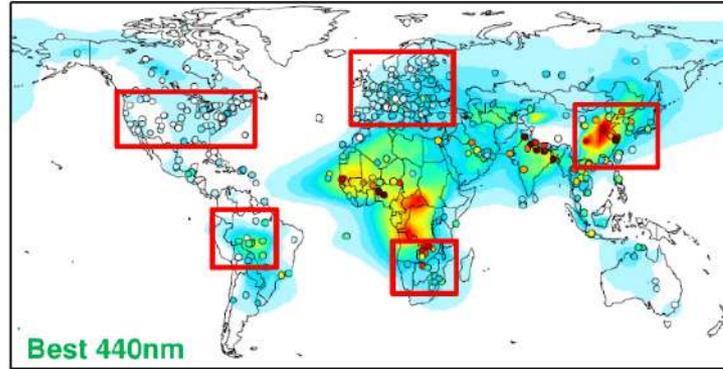
Cyrielle Denjean<sup>1</sup>, Pierre Nabat<sup>1</sup>, Thierry Bourriane<sup>1</sup>, Véronique Pont<sup>2</sup>, François Gheusi<sup>2</sup>, and Emmanuel Leclerc<sup>2</sup>

1 - CNRM / 2 - LAERO

Ateliers de Modélisation de l'Atmosphère 10/05/23



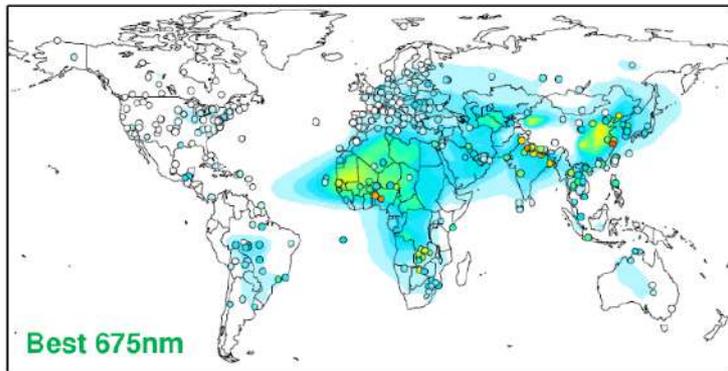
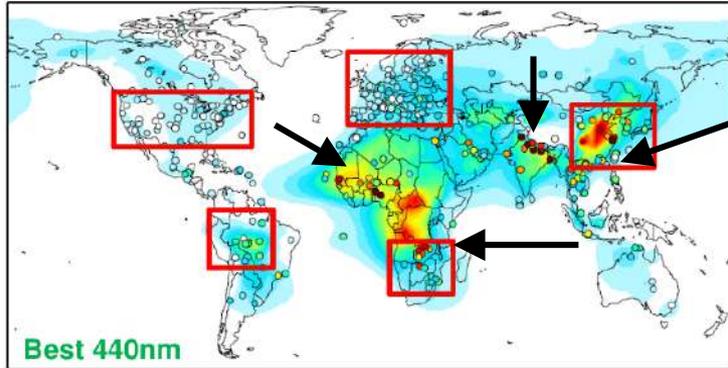
Simulations (GEOS-Chem couplé avec RRTMG) vs. AERONET



AAOD : Absorption Aerosol Optical Depth = épaisseur optique d'absorption des aérosols

# Forts biais simulations/mesures de l'absorption

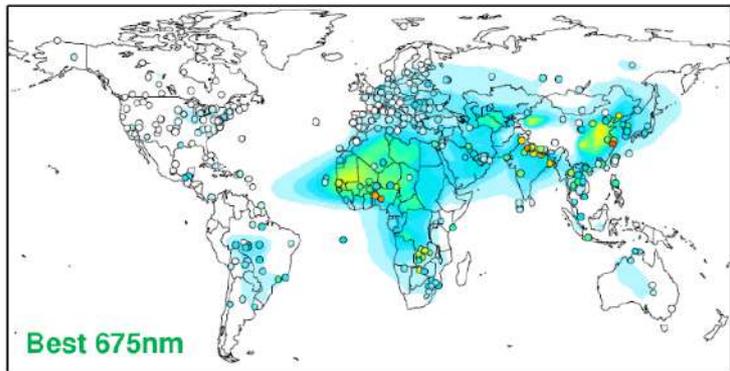
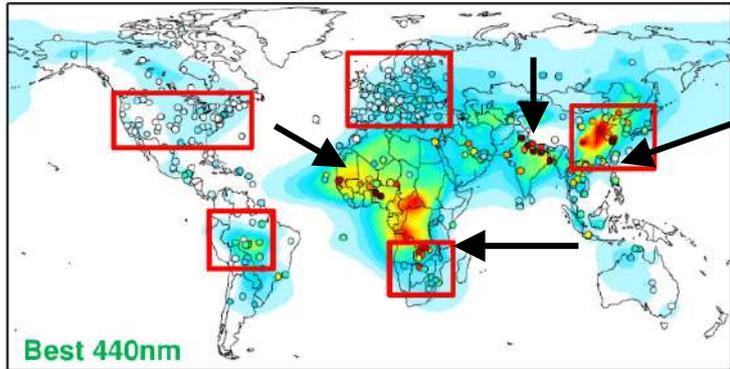
Simulations (GEOS-Chem couplé avec RRTMG) vs. AERONET



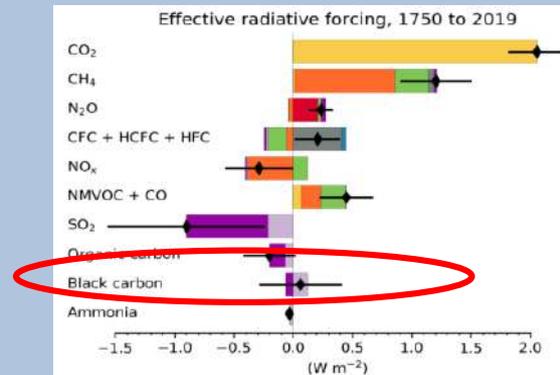
- Sous-estimation de l'AAOD par les modèles climatiques
- Biais plus forts en zones sujettes à la combustion de biomasse

# Forts biais simulations/mesures de l'absorption

Simulations (GEOS-Chem couplé avec RRTMG) vs. AERONET



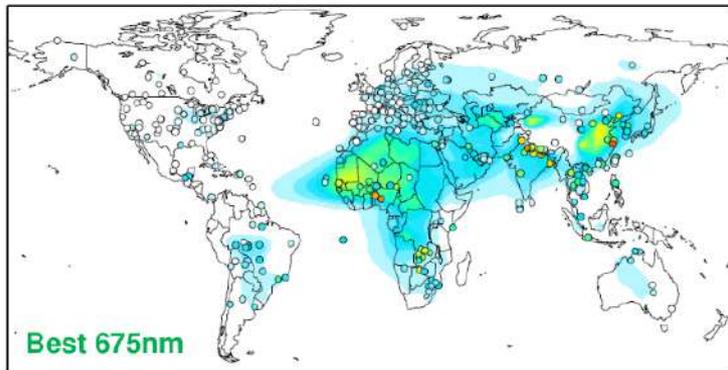
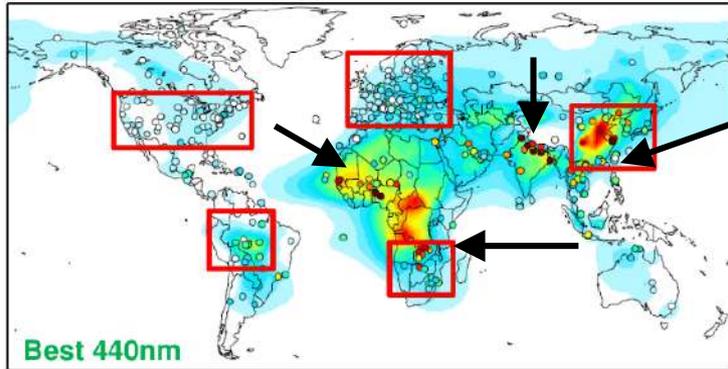
- Sous-estimation de l'AAOD par les modèles climatiques
- Biais plus forts en zones sujettes à la combustion de biomasse
- Black Carbon (BC) = L'espèce particulaire la plus absorbante (Bond et al, 2013) avec effets direct et semi-directs sur le climat



IPCC AR6 WG1(2021)

# Forts biais simulations/mesures de l'absorption

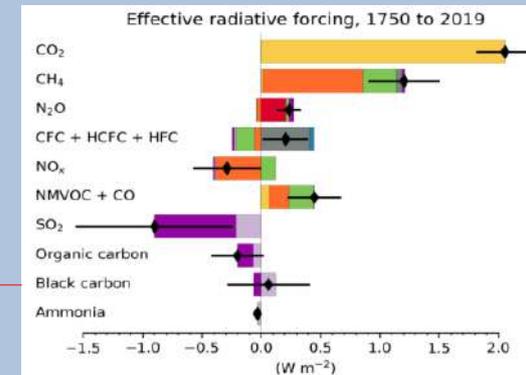
Simulations (GEOS-Chem couplé avec RRTMG) vs. AERONET



- Sous-estimation de l'AAOD par les modèles climatiques
- Biais plus forts en zones sujettes à la combustion de biomasse
- Black Carbon (BC) = L'espèce particulaire la plus absorbante (Bond et al, 2013) avec effets direct et semi-directs sur le climat

$RF_{BC}$  fonction de :

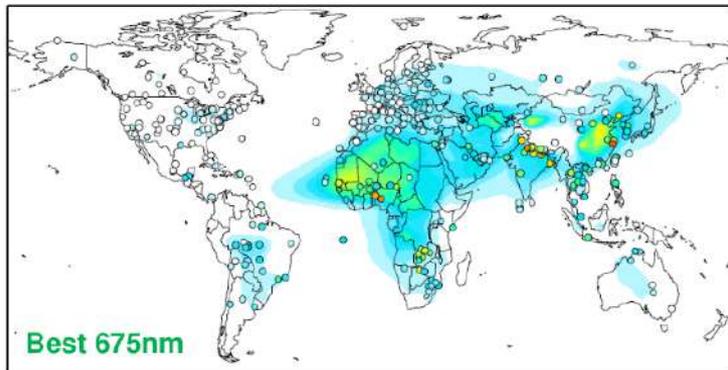
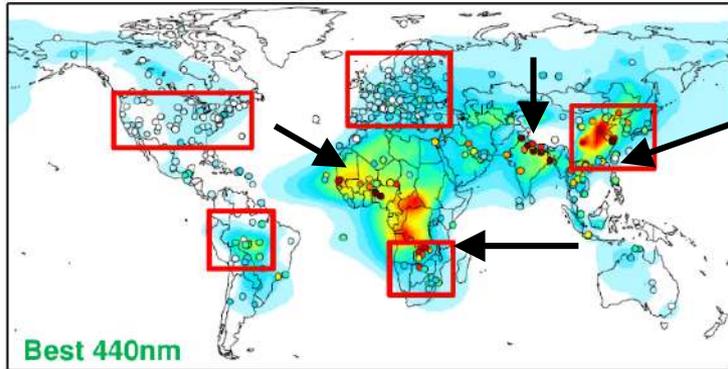
- Single Surface Albédo  $SSA_{BC}$
- Asymmetry factor  $g_{BC}$
- Mass Absorption Cross-Section  $MAC_{BC}$



IPCC AR6 WG1(2021)

# Forts biais simulations/mesures de l'absorption

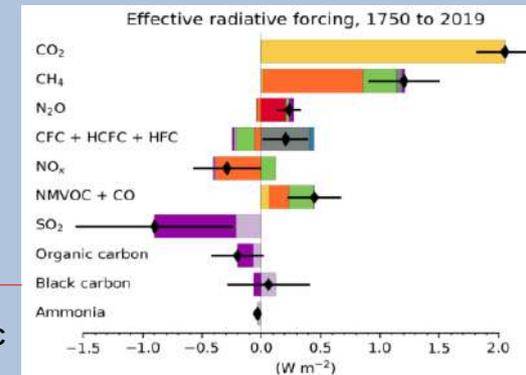
Simulations (GEOS-Chem couplé avec RRTMG) vs. AERONET



- Sous-estimation de l'AAOD par les modèles climatiques
- Biais plus forts en zones sujettes à la combustion de biomasse
- Black Carbon (BC) = L'espèce particulaire la plus absorbante (Bond et al, 2013) avec effets direct et semi-directs sur le climat

$RF_{BC}$  fonction de :

- Single Surface Albédo  $SSA_{BC}$
- Asymmetry factor  $g_{BC}$
- **Mass Absorption Cross-Section  $MAC_{BC}$**



IPCC AR6 WG1(2021)

Section efficace  
d'absorption  $MAC_{BC}$

Paramètres  
microphysiques :  
- Concentration  
- Taille

$$E_{abs} = \frac{MAC_{BC}}{MAC_{BC,0}}$$

2.5

2

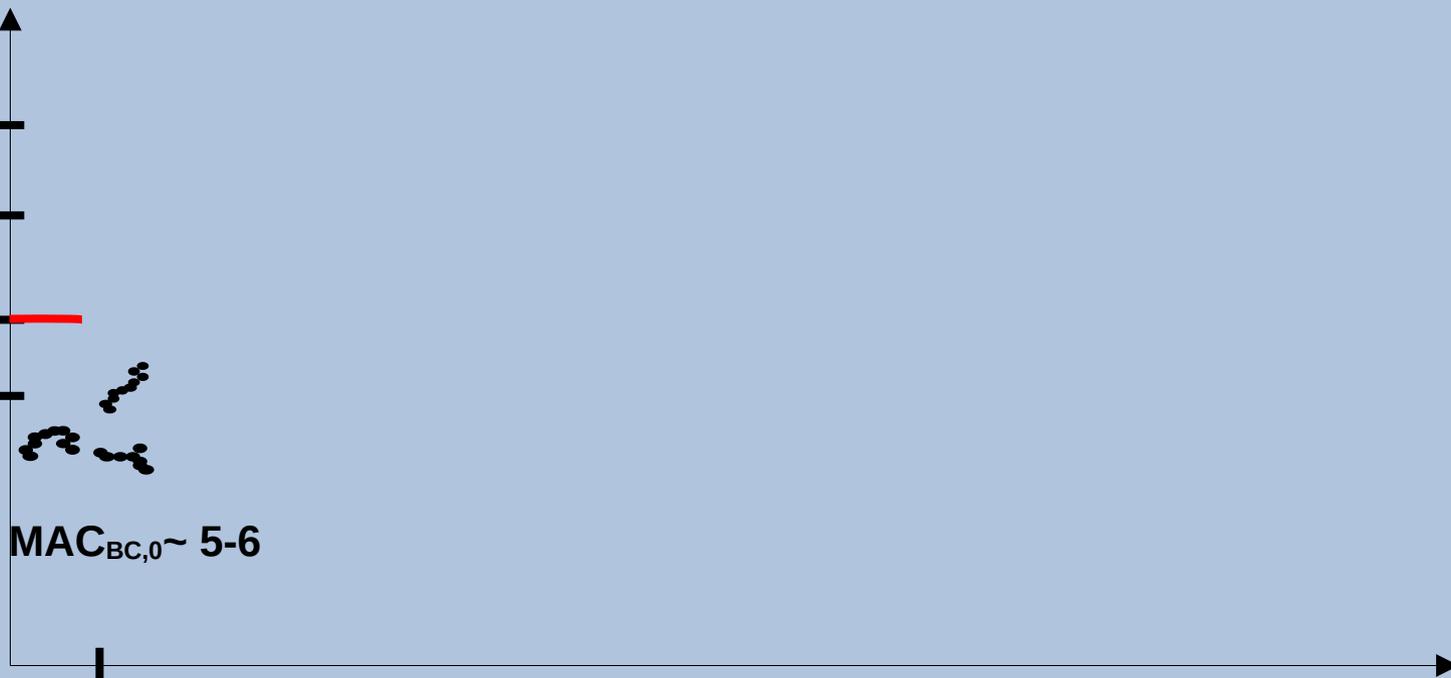
1

0.95

$MAC_{BC,0} \sim 5-6$

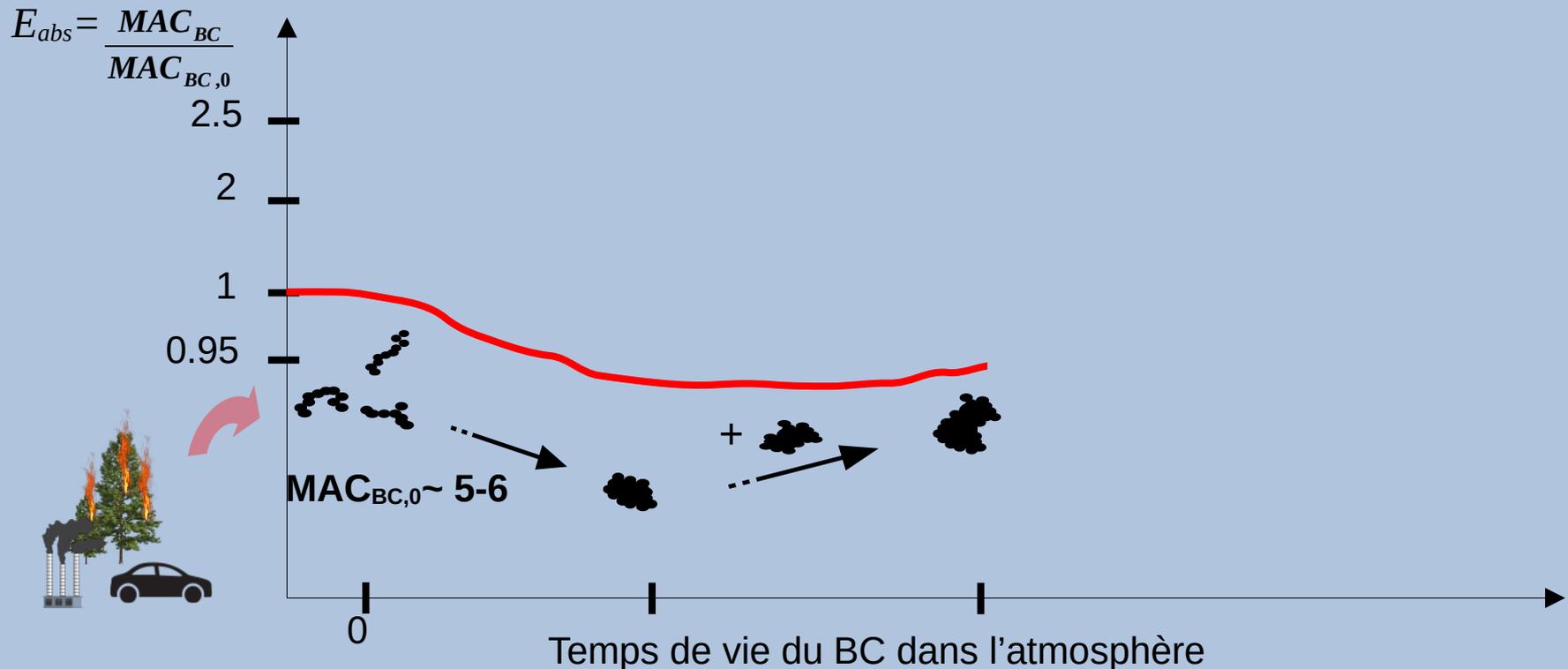
0

Temps de vie du BC dans l'atmosphère



Section efficace  
d'absorption  $MAC_{BC}$

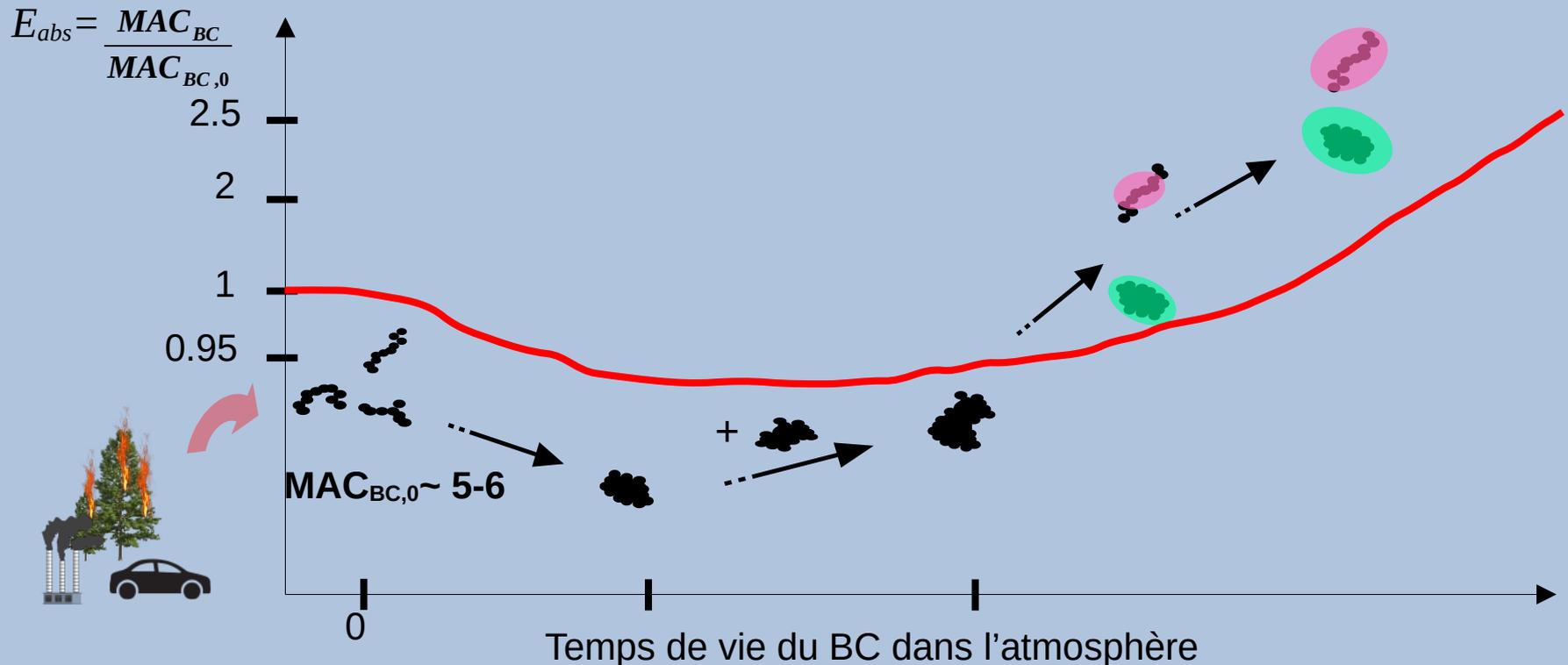
Paramètres  
microphysiques :  
- Concentration  
- Taille



Section efficace d'absorption  $MAC_{BC}$

Paramètres microphysiques :  
- Concentration  
- Taille

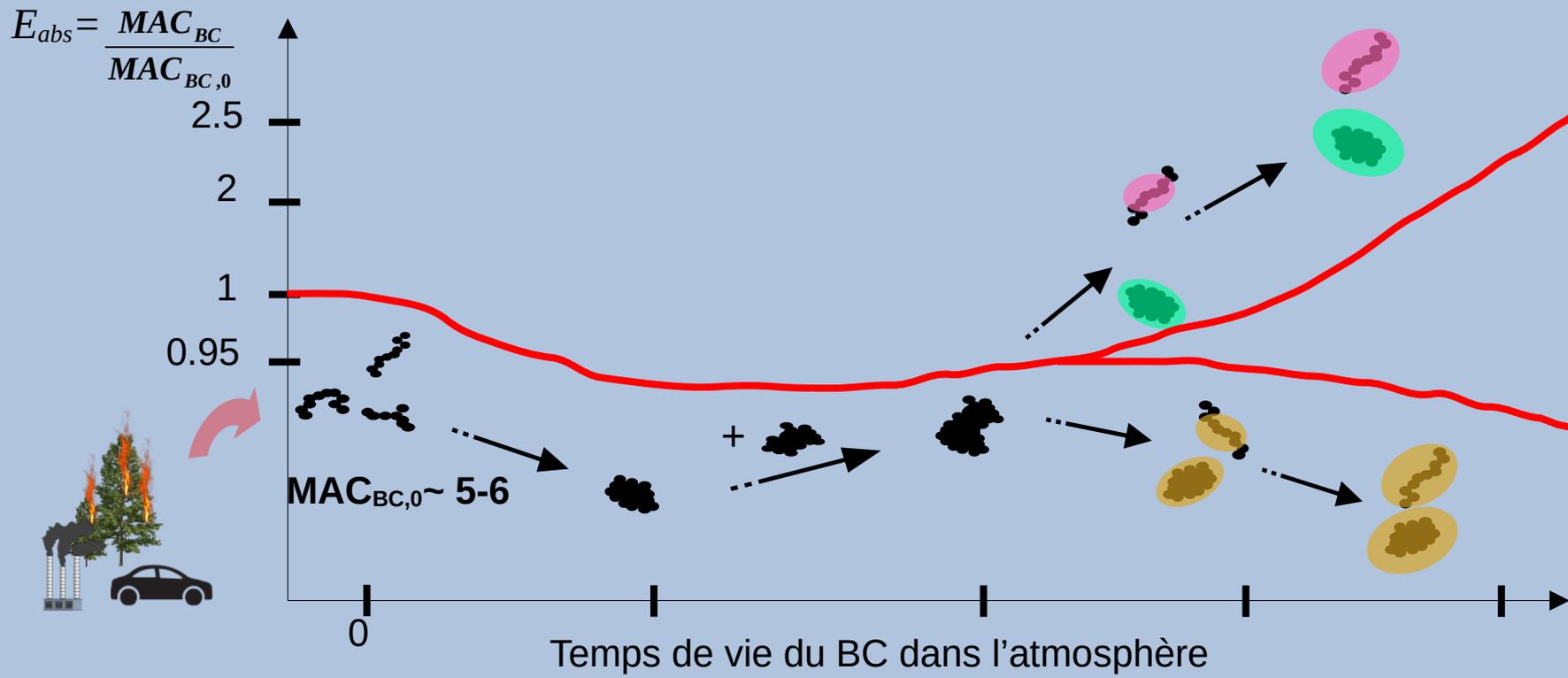
Composition chimique:  
- État de mélange  
- Coating



# Section efficace d'absorption $MAC_{BC}$

Paramètres microphysiques :  
- Concentration  
- Taille

Composition chimique:  
- État de mélange  
- Coating

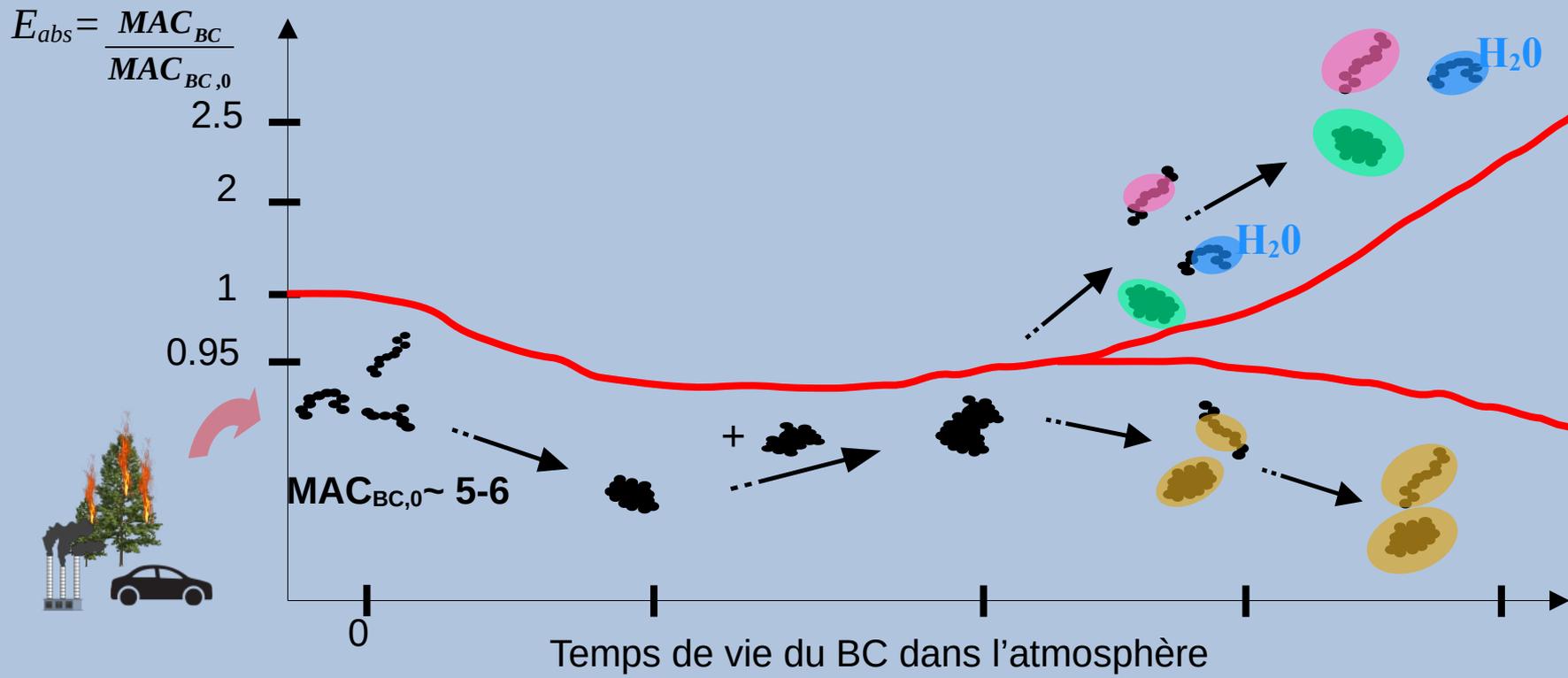


Section efficace  
d'absorption  $MAC_{BC}$

Paramètres  
microphysiques :  
- Concentration  
- Taille

Paramètres  
hygroscopiques:  
- Growth Factor

Composition  
chimique:  
- État de mélange  
- Coating



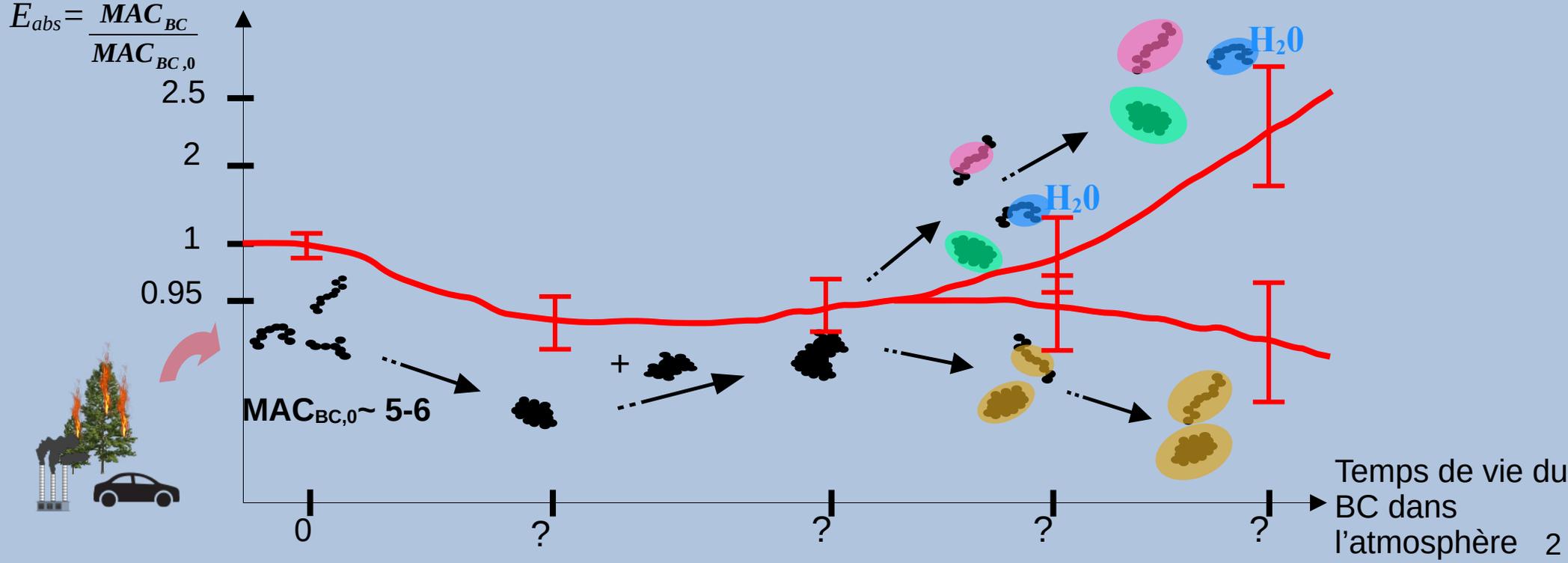
Section efficace d'absorption  $MAC_{BC}$

Paramètres microphysiques :  
- Concentration  
- Taille

Paramètres hygroscopiques :  
- Growth Factor

Composition chimique :  
- État de mélange  
- Coating

$$E_{abs} = \frac{MAC_{BC}}{MAC_{BC,0}}$$



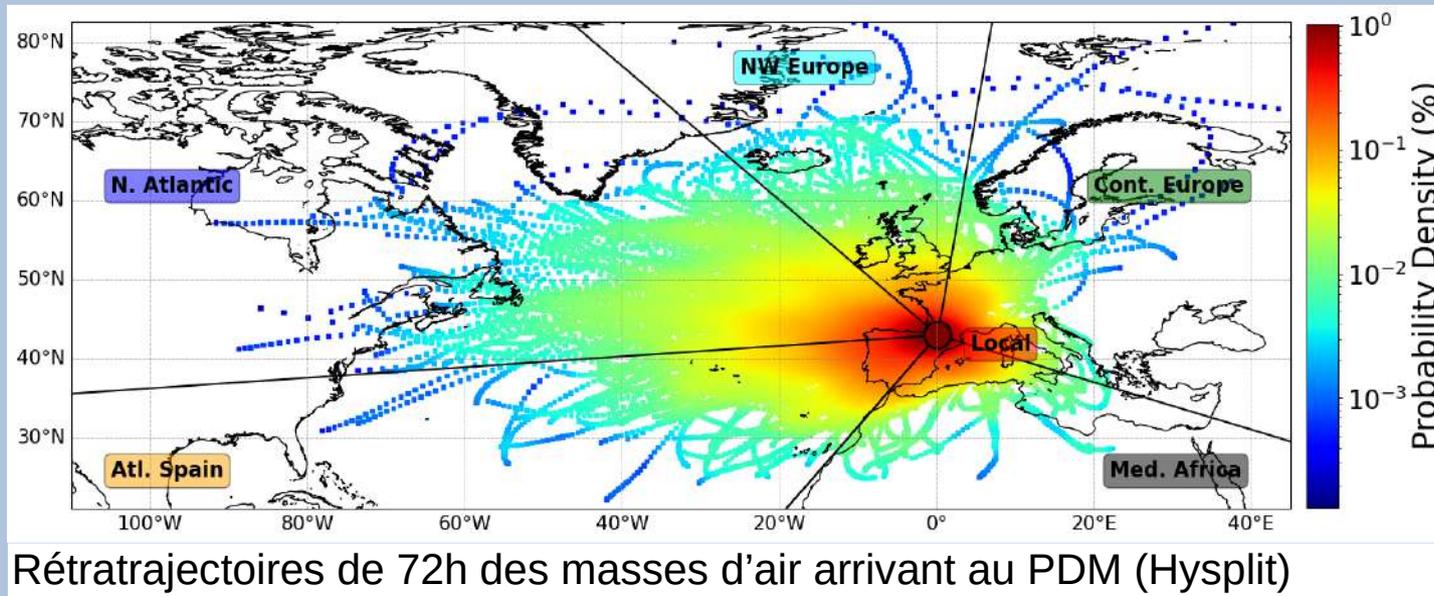
**Quelles propriétés physico-chimiques et optiques en troposphère libre (loin des sources de BC) ?**

**Quelles variations de ces propriétés en fonction :**

- **Des saisons**
- **De la dynamique propre aux sites de montagnes**
- **Des sources de BC ?**

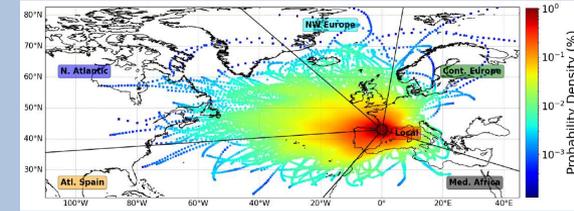
## II. Site de mesures & Instrumentation

- 3 ans de mesures **aérosols** et **BC** au Pic du Midi (PDM, site ACTRIS-fr & SNO-CNAP) 2019-2021
- Site en altitude (2877 m.asl) avec peu de sources locales de BC
- Idéal pour l'étude du vieillissement du BC et de son transport dans la troposphère libre

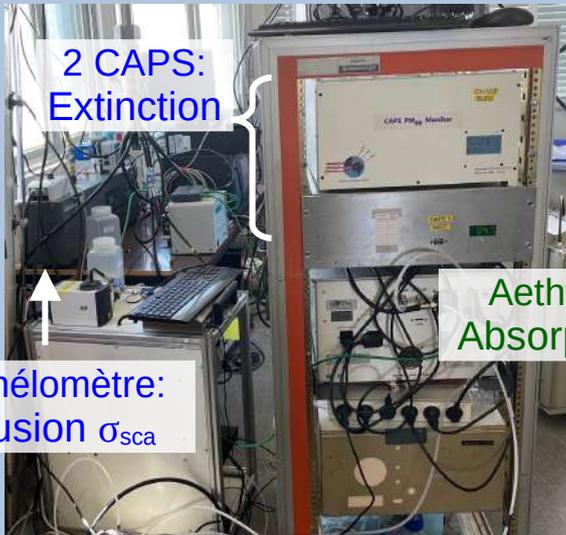


# II. Site de mesures & Instrumentation

- 3 ans de mesures **aérosols** et **BC** au Pic du Midi (PDM)  
(site ACTRIS-fr & SNO-CNAP) 2019-2021
- Site en altitude (2877 m.asl) avec peu de sources locales de BC
- Idéal pour l'étude du vieillissement du BC et de son transport dans la troposphère libre



## Optique

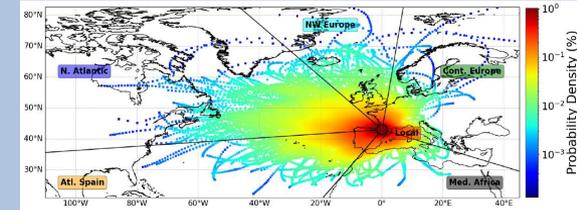


Aethalomètre:  
Absorption  $\sigma_{ap,880}$



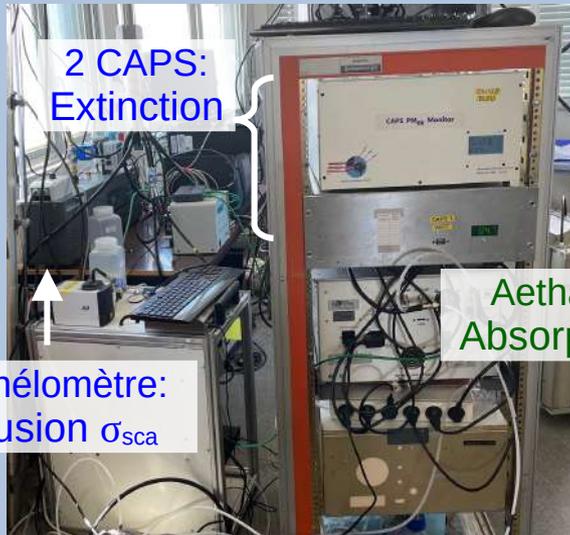
# II. Site de mesures & Instrumentation

- 3 ans de mesures **aérosols** et **BC** au Pic du Midi (PDM)  
(site ACTRIS-fr & SNO-CNAP) 2019-2021
- Site en altitude (2877 m.asl) avec peu de sources locales de BC



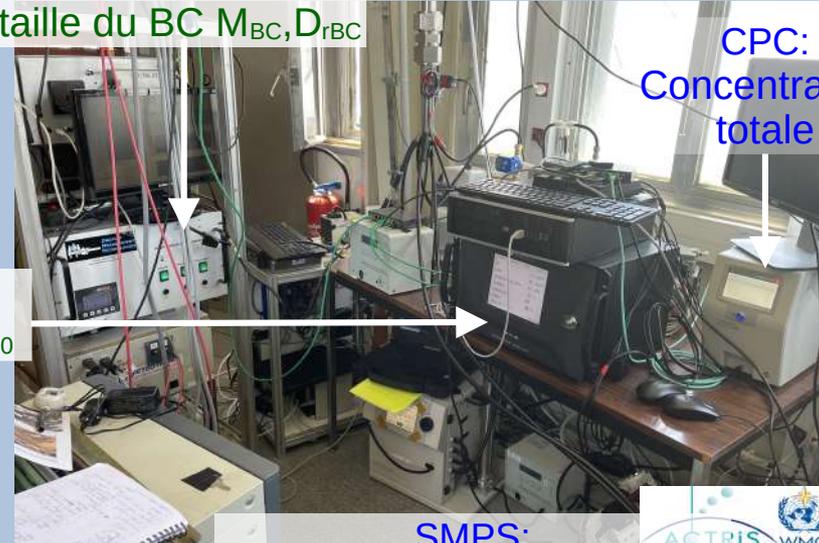
- Idéal pour l'étude du vieillissement du BC et de son transport dans la troposphère libre

Optique



Microphysique

SP2:  
Concentration et  
taille du BC  $M_{BC}, D_{rBC}$

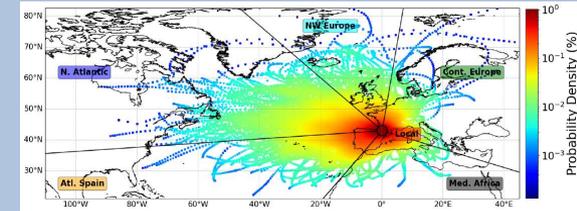


SMPS:  
Granulométrie 12-800 nm



# II. Site de mesures & Instrumentation

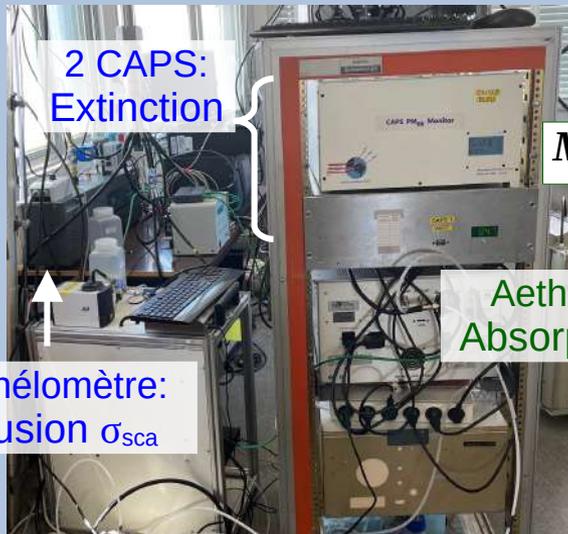
- 3 ans de mesures **aérosols** et **BC** au Pic du Midi (PDM) (site ACTRIS-fr & SNO-CNAP) 2019-2021
- Site en altitude (2877 m.asl) avec peu de sources locales de BC



➤ Idéal pour l'étude du vieillissement du BC et de son transport dans la troposphère libre

Optique

Microphysique



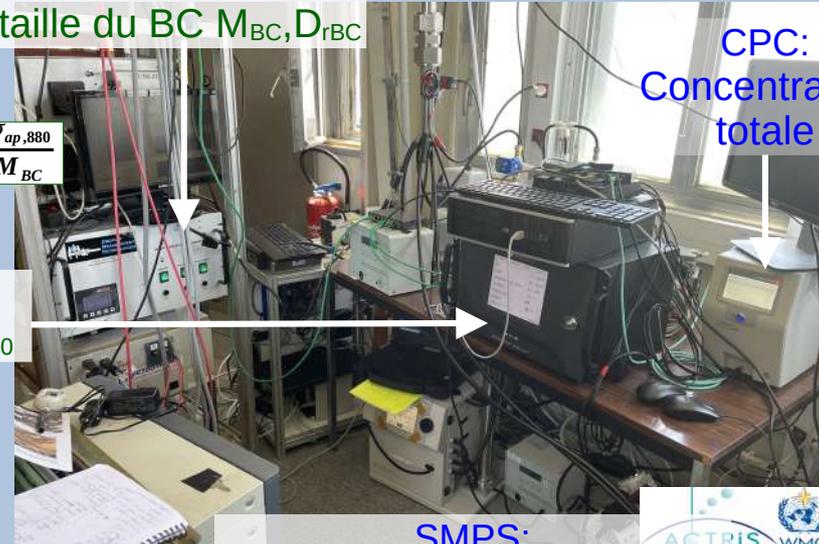
2 CAPS:  
Extinction

Néphélomètre:  
Diffusion  $\sigma_{sca}$

Aethalomètre:  
Absorption  $\sigma_{ap,880}$

$$MAC_{BC} = \frac{\sigma_{ap,880}}{M_{BC}}$$

SP2:  
Concentration et  
taille du BC  $M_{BC}, D_{rBC}$



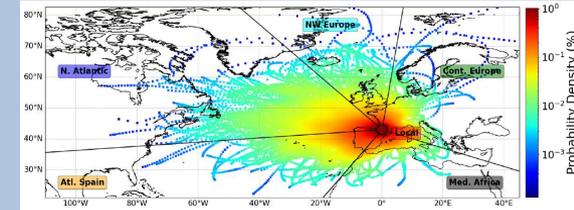
CPC:  
Concentration  
totale

SMPS:  
Granulométrie 12-800 nm



# II. Site de mesures & Instrumentation

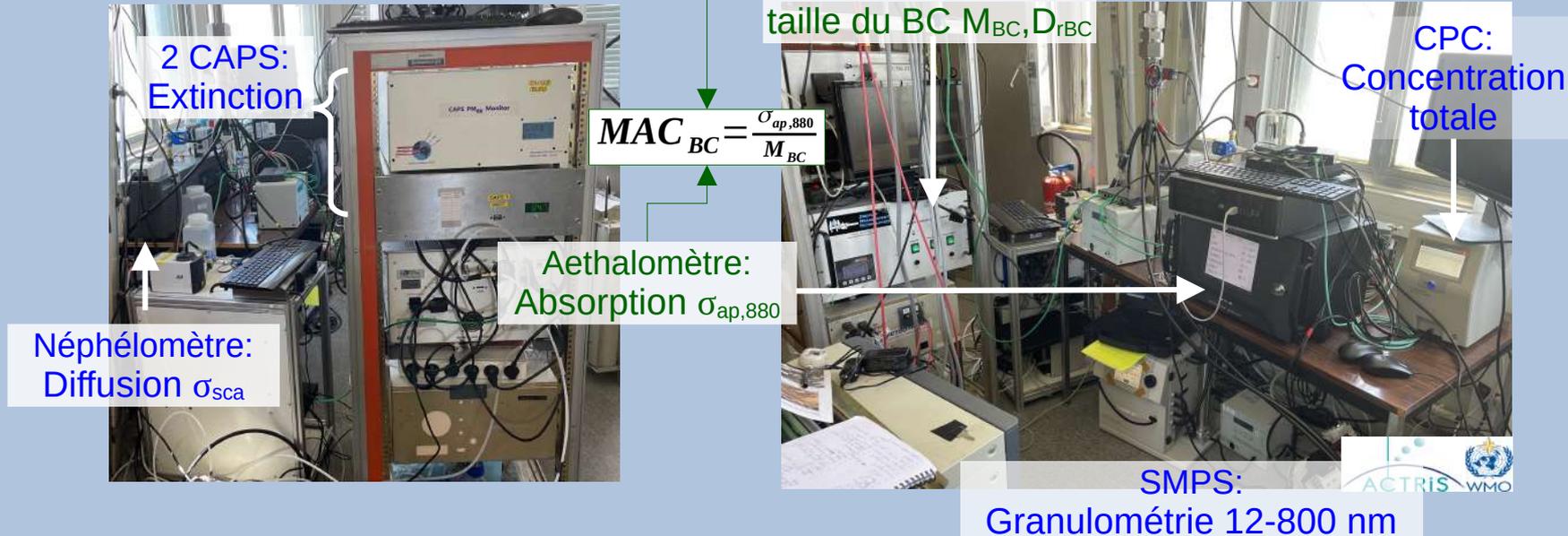
- 3 ans de mesures **aérosols** et **BC** au Pic du Midi (PDM) (site ACTRIS-fr & SNO-CNAP) 2019-2021
- Site en altitude (2877 m.asl) avec peu de sources locales de BC



- Idéal pour l'étude du vieillissement du BC et de son transport dans la troposphère libre

Optique

Microphysique

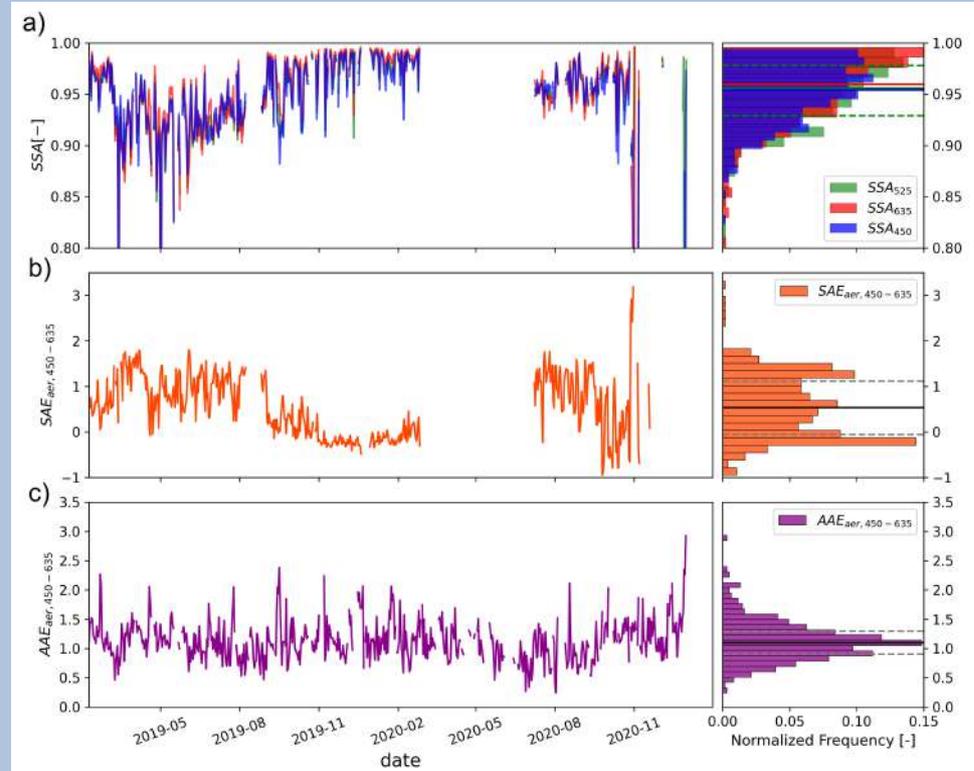


+ mesures de CO (⇒ source de BC) et de Radon (⇒ influence couche limite)

# III. a) Présence d'aérosols modérément absorbants en été

- SSA : Single Scattering Albedo

$$SSA_{aer, \lambda} = \frac{\sigma_{sca, \lambda}}{\sigma_{sca, \lambda} + \sigma_{ap, \lambda}}$$



Quelles espèces particulières contribuent à l'absorption des aérosols au PDM ?

# III. a) Présence d'aérosols modérément absorbants en été

- SSA : Single Scattering Albedo

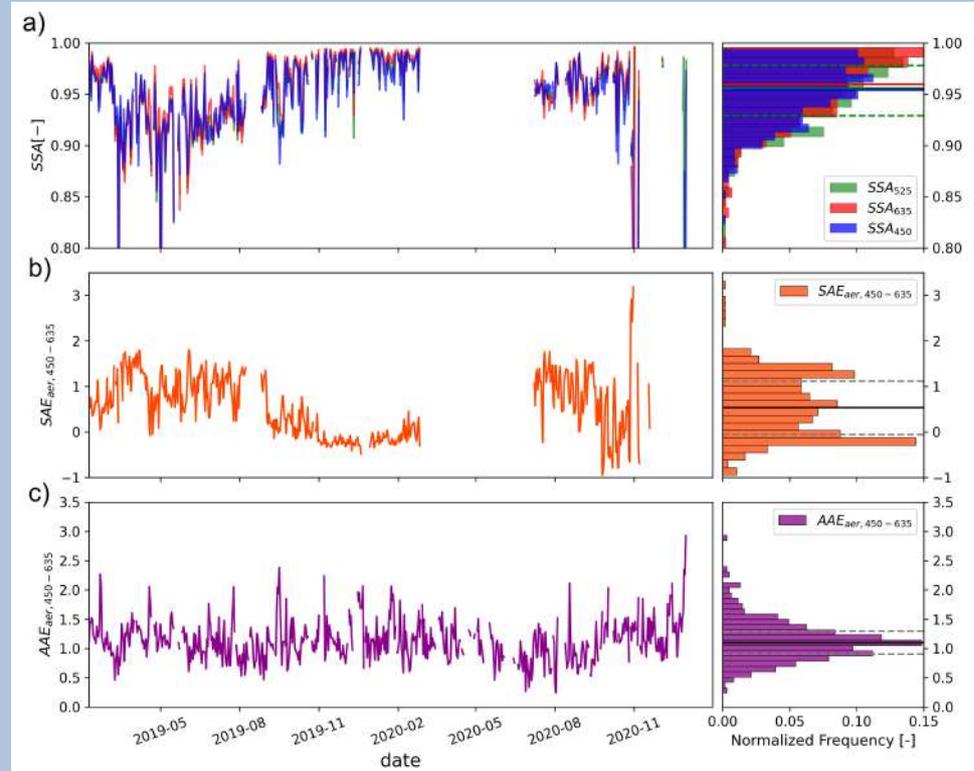
$$SSA_{aer, \lambda} = \frac{\sigma_{sca, \lambda}}{\sigma_{sca, \lambda} + \sigma_{ap, \lambda}}$$

- SAE : Scattering Angström Exponent

$$SAE_{aer, 450-635} = \frac{-\log\left(\frac{\sigma_{sca, 450}}{\sigma_{sca, 635}}\right)}{-\log\left(\frac{450}{635}\right)}$$

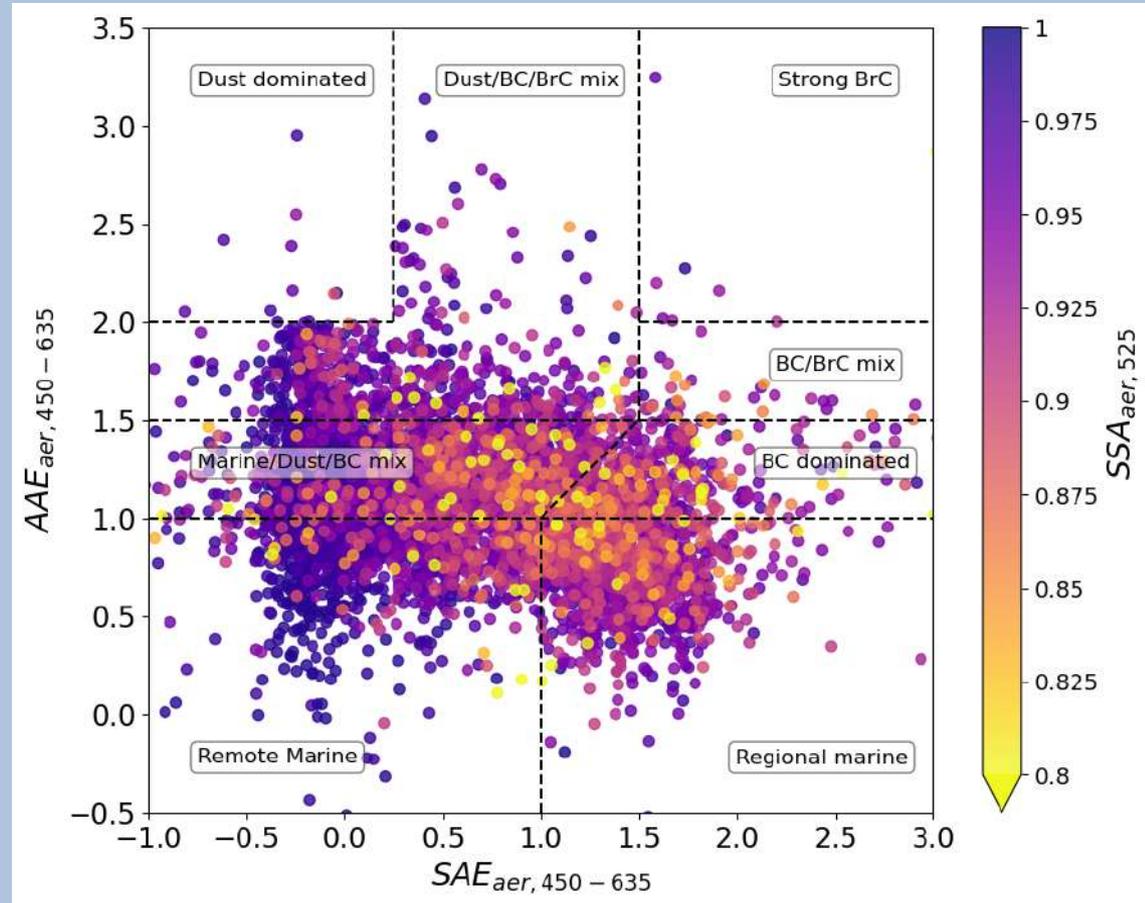
- AAE : Absorption Angström Exponent

$$AAE_{aer, 450-635} = \frac{-\log\left(\frac{\sigma_{ap, 450}}{\sigma_{ap, 635}}\right)}{-\log\left(\frac{450}{635}\right)}$$



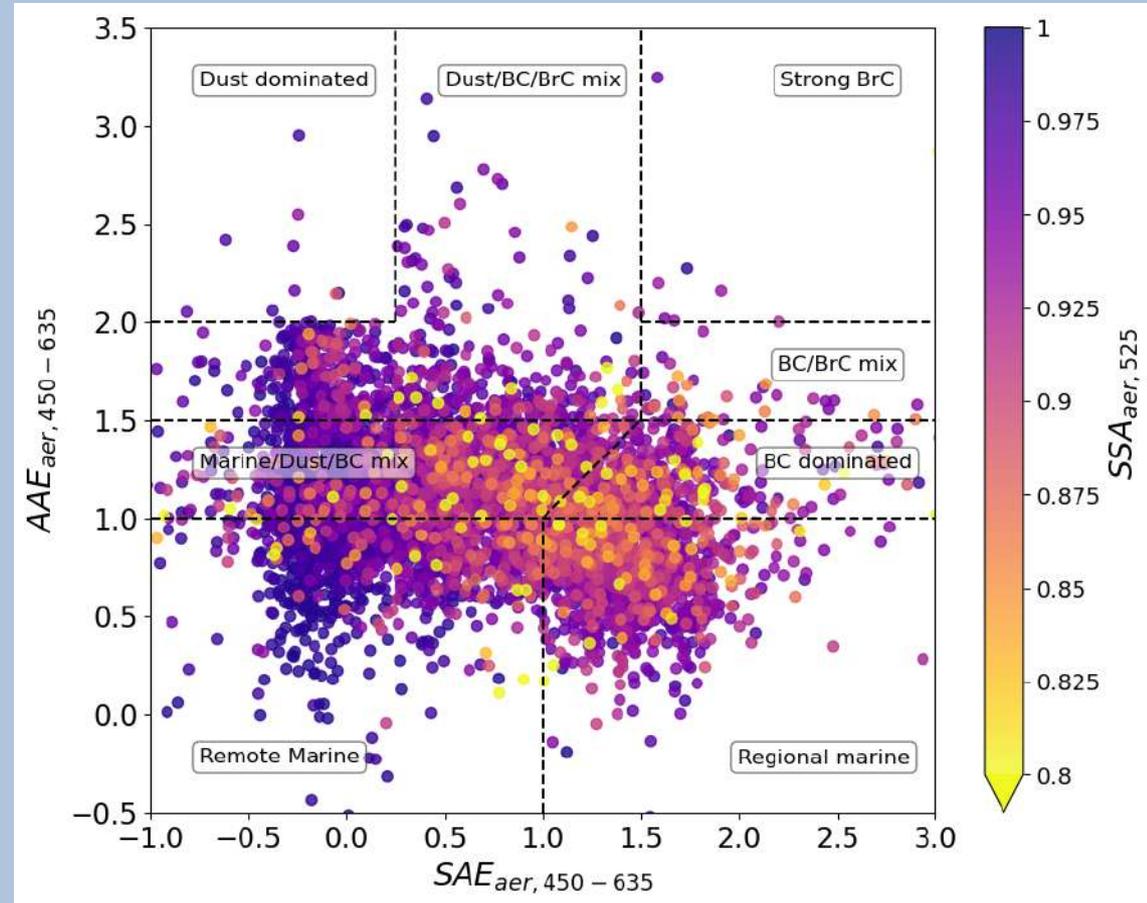
Quelles espèces particulières contribuent à l'absorption des aérosols au PDM ?

# III. a) Peu de Brown Carbon détecté malgré une présence forte de BC

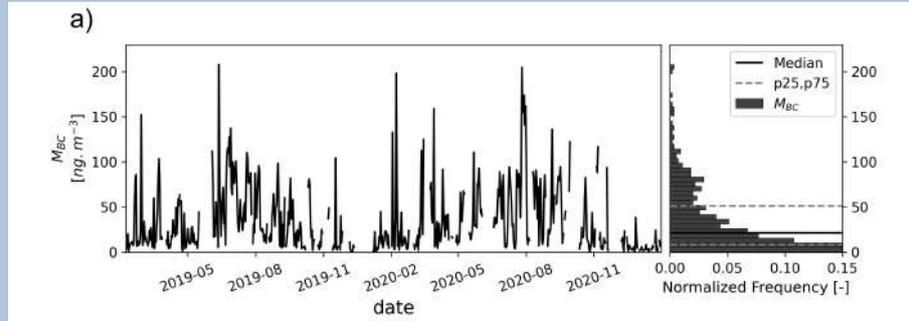


# III. a) Peu de Brown Carbon détecté malgré une présence forte de BC

- SSA < 0.8 induit par la présence de BC
- Présence de poussières désertiques
- Faible présence de Brown Carbon

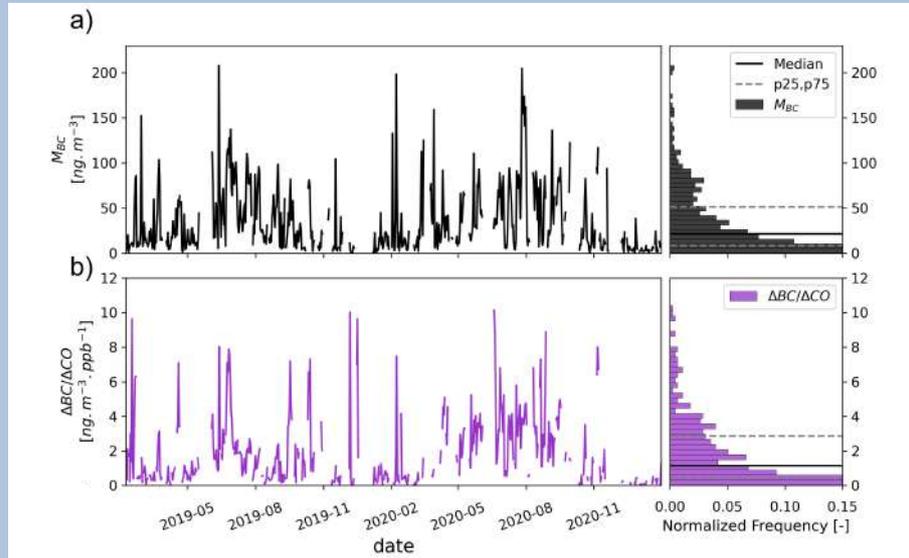


# III. b) Forte variabilité saisonnière de l'absorption du BC et de ses sources



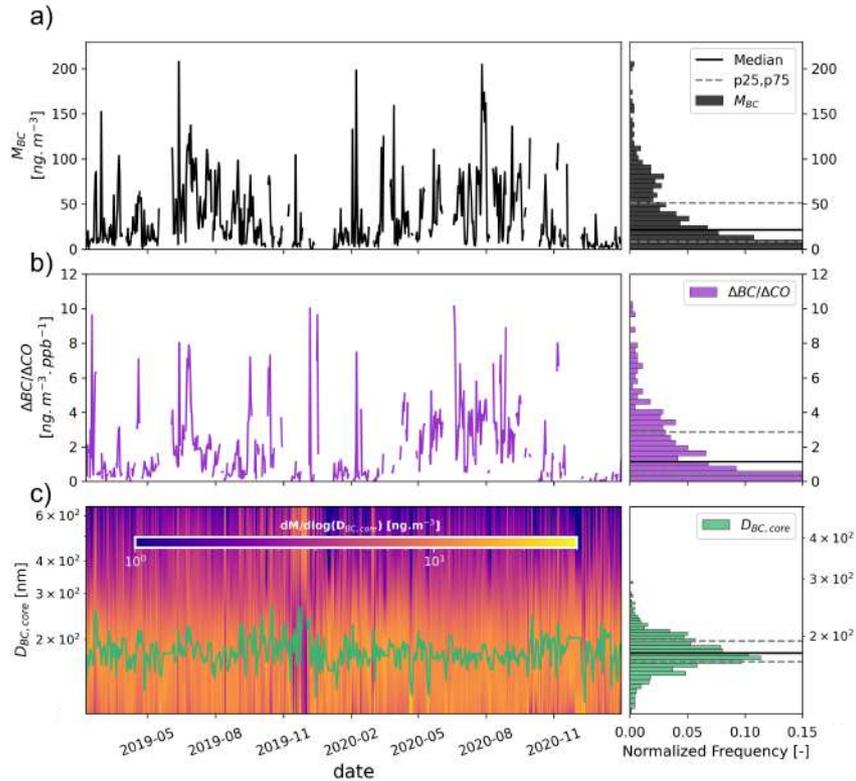
- $M_{BC}$  maximales en été ( moyenne de  $35 \text{ ng m}^{-3}$ )

# III. b) Forte variabilité saisonnière de l'absorption du BC et de ses sources



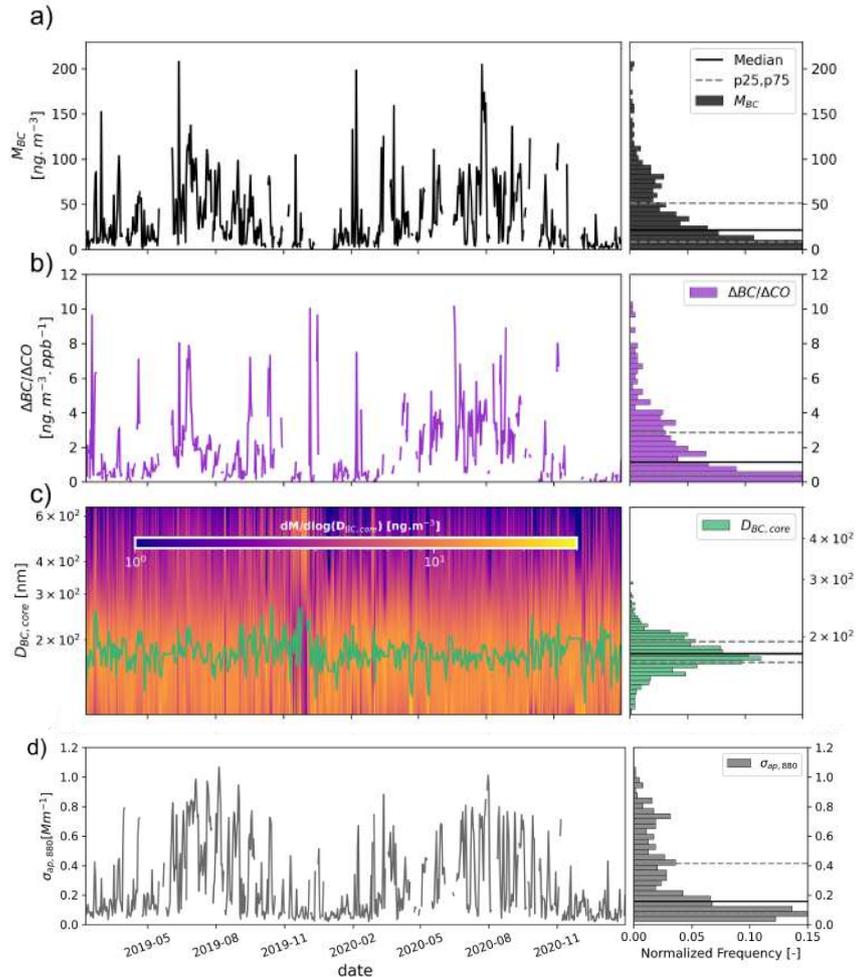
- $M_{BC}$  maximales en été ( moyenne de  $35 \text{ ng m}^{-3}$ )
- $\Delta BC/\Delta CO$  = traceur des sources du BC très variable

# III. b) Forte variabilité saisonnière de l'absorption du BC et de ses sources



- $M_{BC}$  maximales en été ( moyenne de 35 ng m<sup>-3</sup>)
- $\Delta BC/\Delta CO$  = traceur des sources du BC très variable
- $D_{BC} = 179 \pm 28$  nm  $\Rightarrow$  BC coagulé

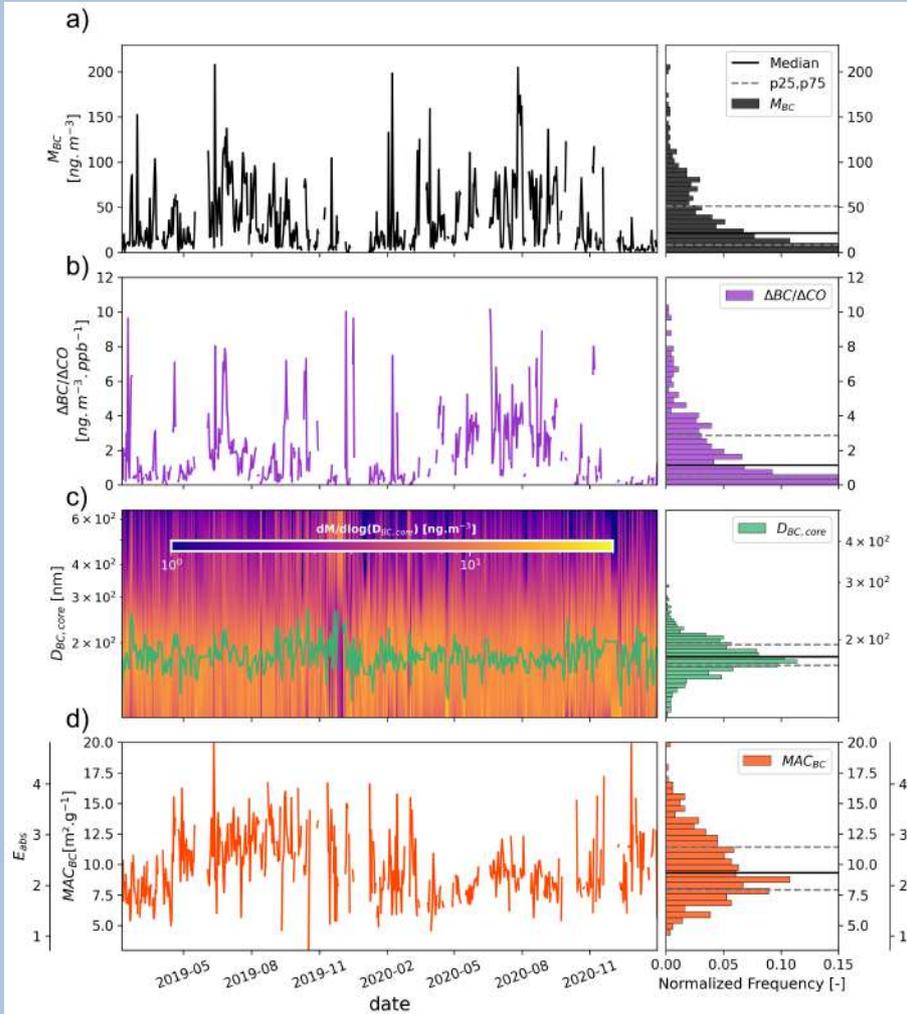
# III. b) Forte variabilité saisonnière de l'absorption du BC et de ses sources



- $M_{BC}$  maximales en été ( moyenne de  $35 \text{ ng m}^{-3}$ )
- $\Delta BC/\Delta CO$  = traceur des sources du BC très variable
- $D_{BC} = 179 \pm 28 \text{ nm} \Rightarrow$  BC coagulé

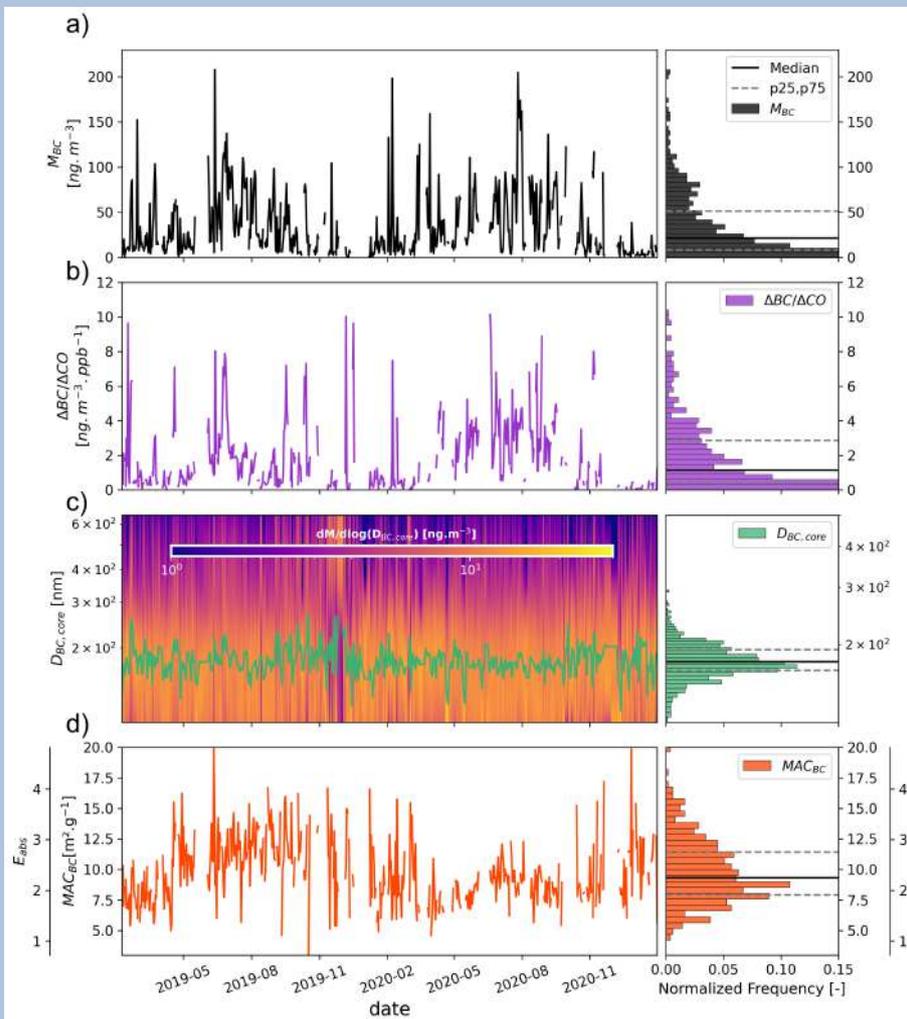
$$MAC_{BC} = \frac{\sigma_{ap, 880}}{M_{BC}}$$

# III. b) Forte variabilité saisonnière de l'absorption du BC et de ses sources



- $M_{BC}$  maximales en été ( moyenne de  $35 \text{ ng m}^{-3}$ )
- $\Delta BC/\Delta CO$  = traceur des sources du BC très variable
- $D_{BC} = 179 \pm 28 \text{ nm} \Rightarrow$  BC coagulé
- $MAC_{BC} = 9.8 \pm 2.7 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$

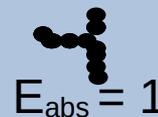
# III. b) Forte variabilité saisonnière de l'absorption du BC et de ses sources



- $M_{BC}$  maximales en été ( moyenne de  $35 \text{ ng m}^{-3}$ )
- $\Delta BC/\Delta CO =$  traceur des sources du BC très variable
- $D_{BC} = 179 \pm 28 \text{ nm} \Rightarrow$  BC coagulé
- $MAC_{BC} = 9.8 \pm 2.7 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$

**Théorie :**

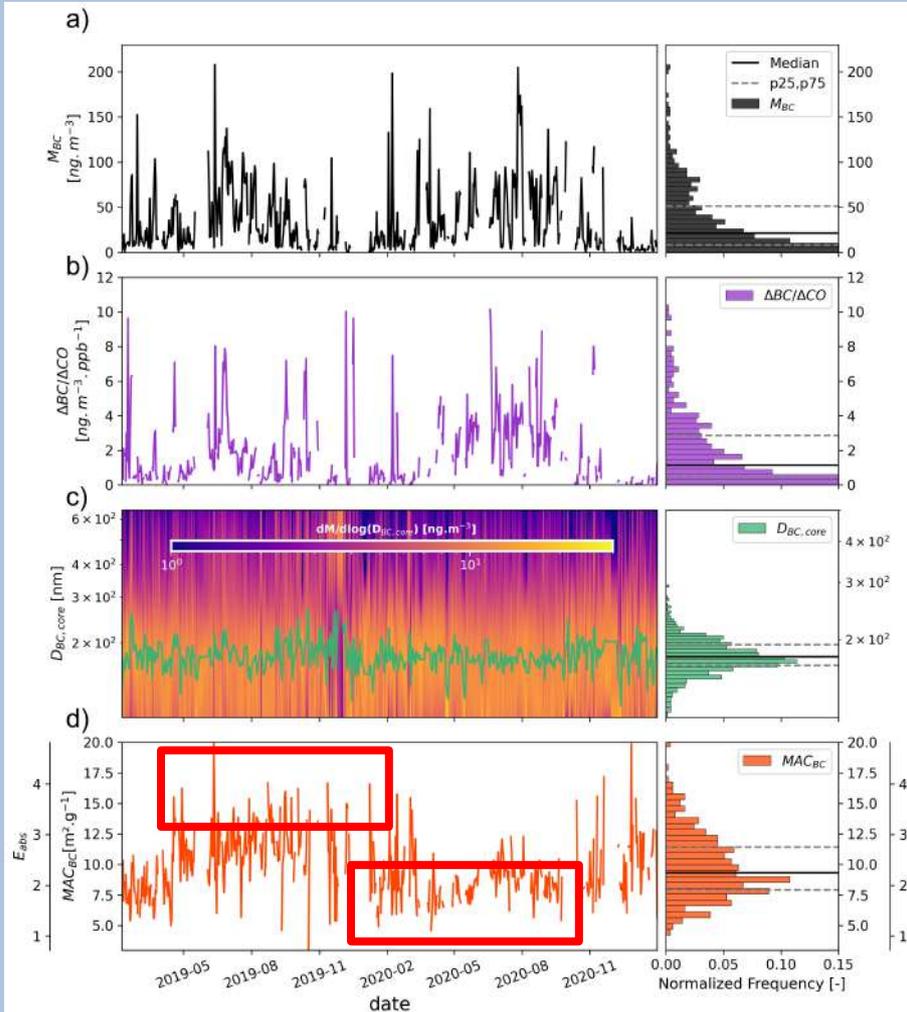
À sa source



Transport  
> 2 jours



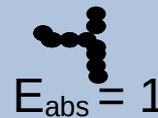
# III. b) Forte variabilité saisonnière de l'absorption du BC et de ses sources



- $M_{BC}$  maximales en été ( moyenne de  $35 \text{ ng m}^{-3}$ )
- $\Delta BC/\Delta CO =$  traceur des sources du BC très variable
- $D_{BC} = 179 \pm 28 \text{ nm} \Rightarrow$  BC coagulé
- $MAC_{BC} = 9.8 \pm 2.7 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$

**Théorie :**

À sa source



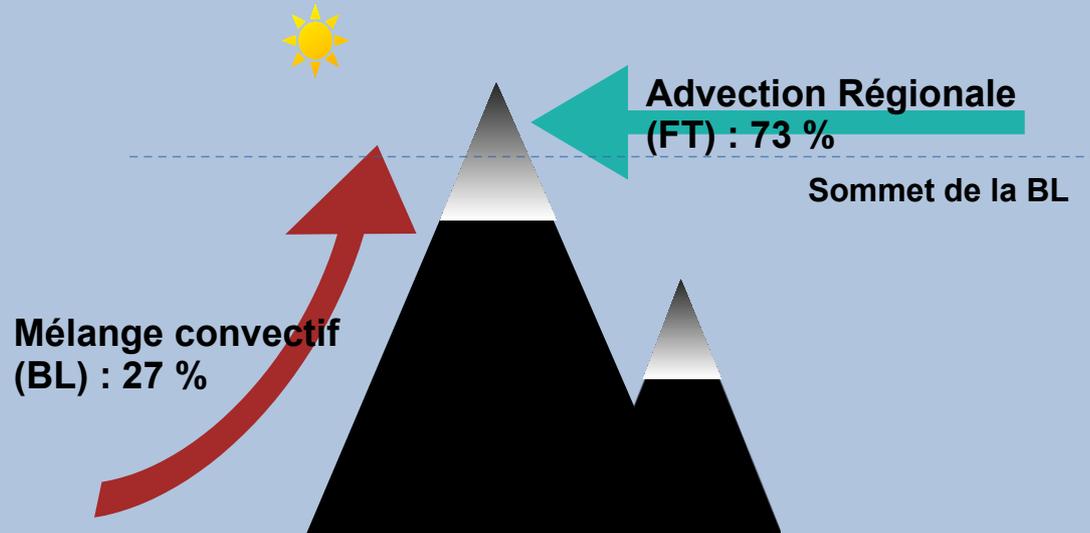
Transport  
> 2 jours



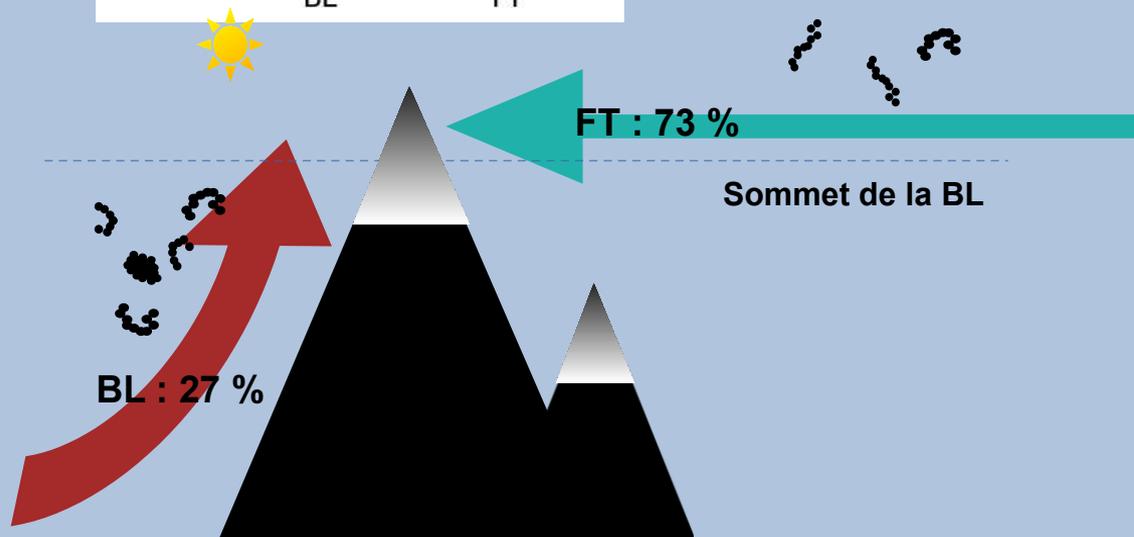
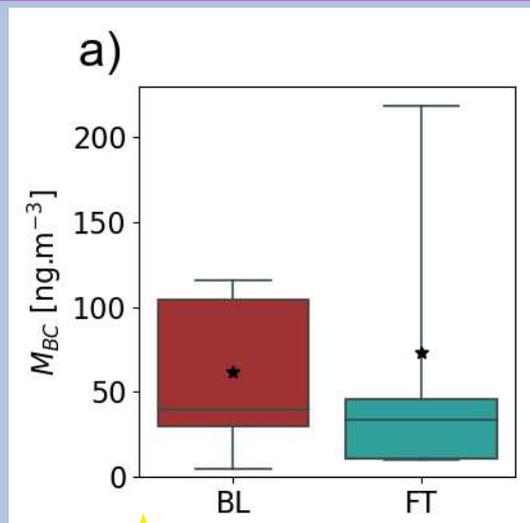
**Pourquoi une telle variabilité et un  $MAC_{BC}$  plus faible en été ?**

# IV. Influence de la couche limite sur les propriétés du BC

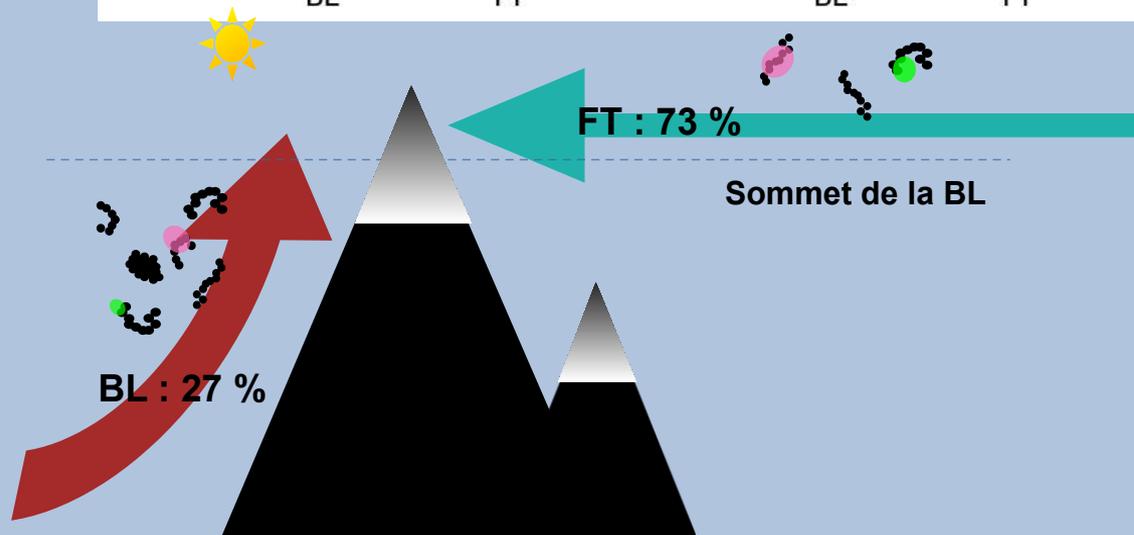
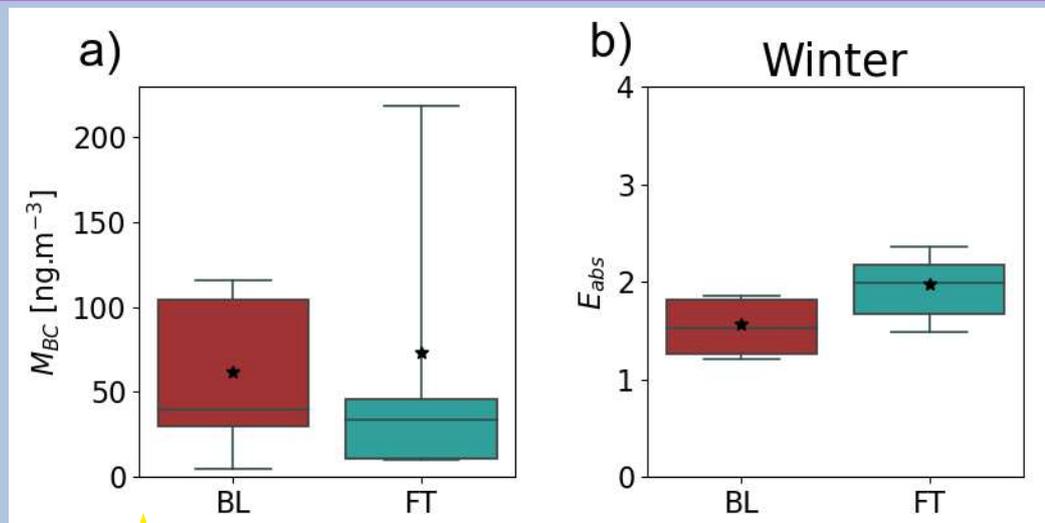
## Le cas de l'hiver



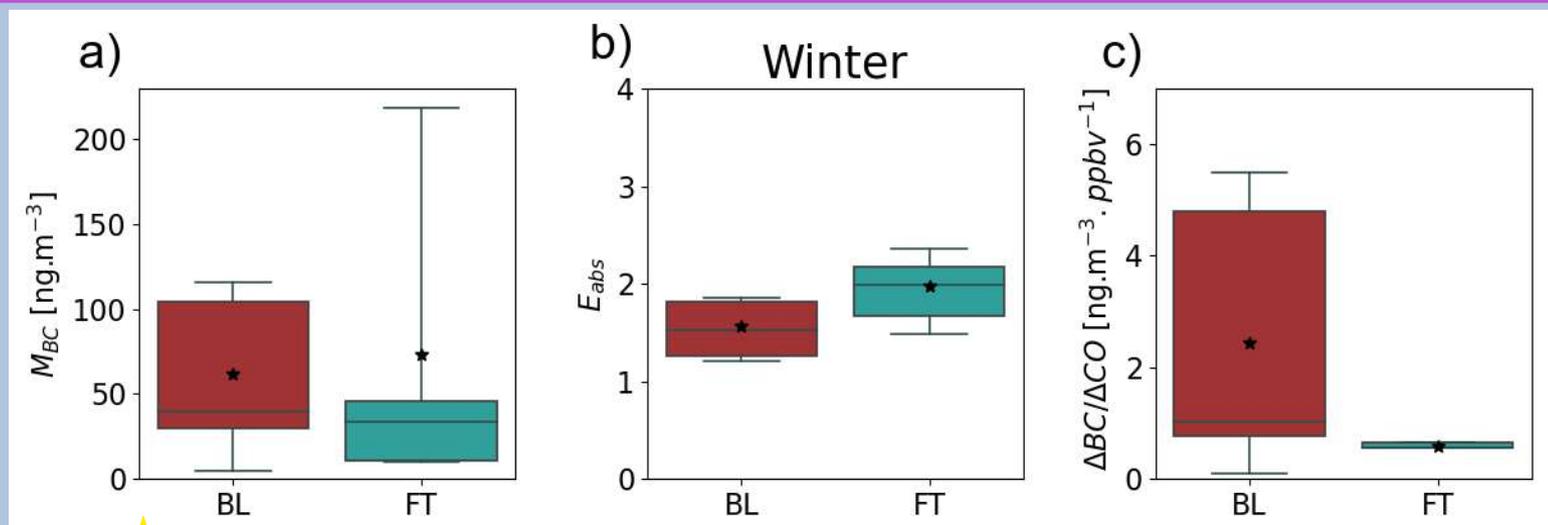
# IV. Influence de la couche limite sur les propriétés du BC en hiver



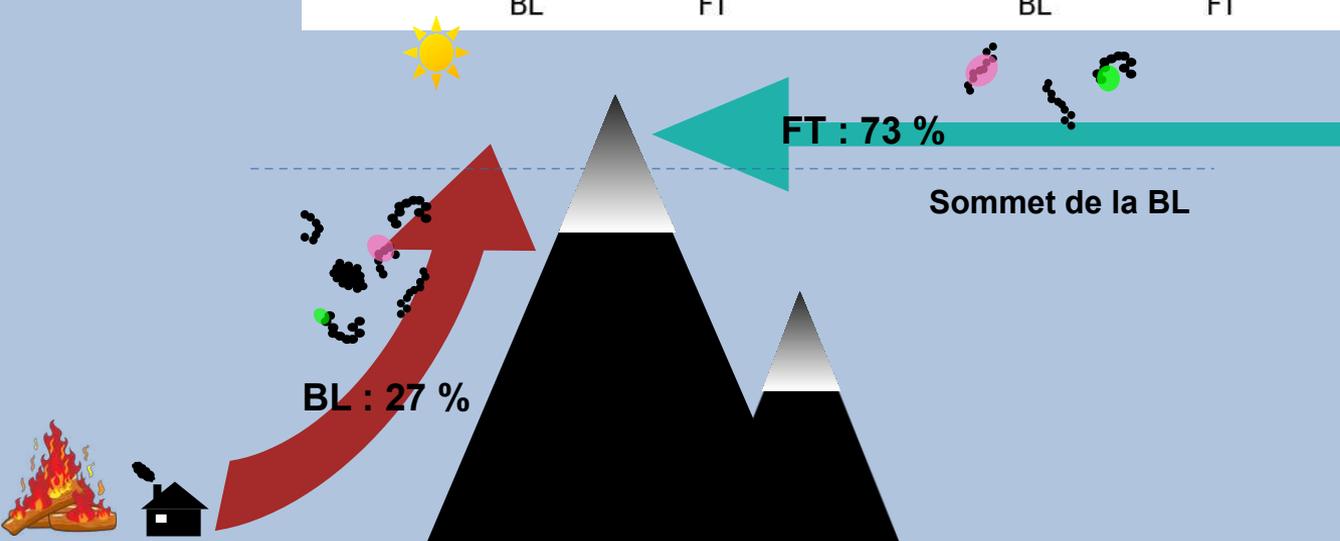
# IV. Influence de la couche limite sur les propriétés du BC en hiver



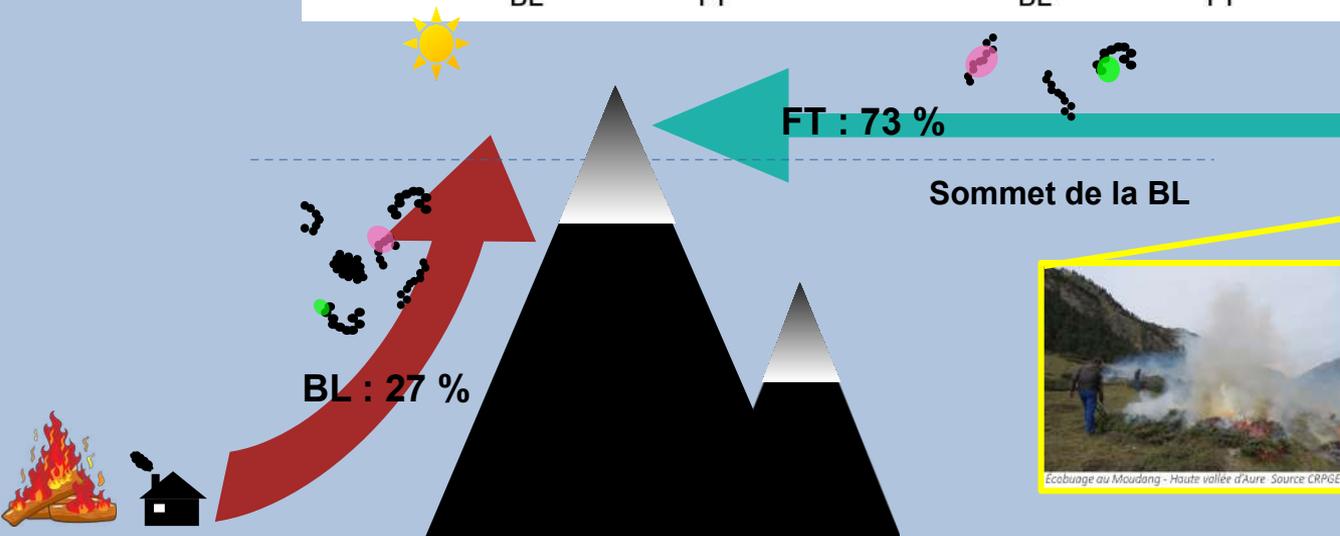
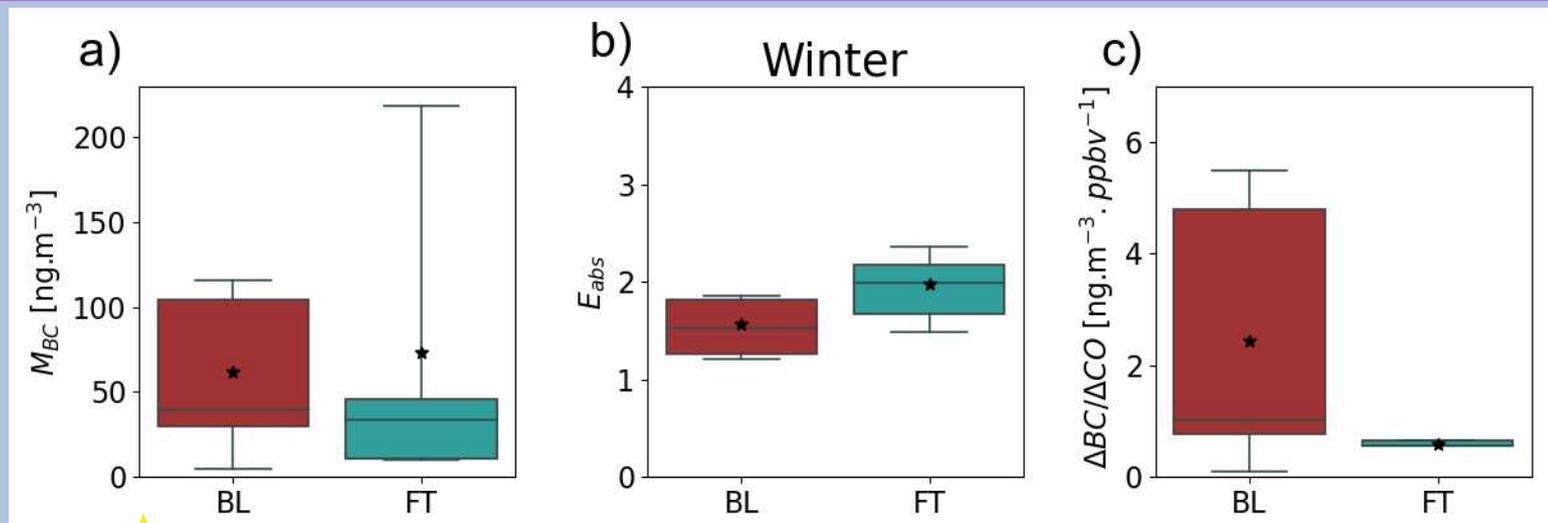
# IV. Influence de la couche limite sur les propriétés du BC en hiver



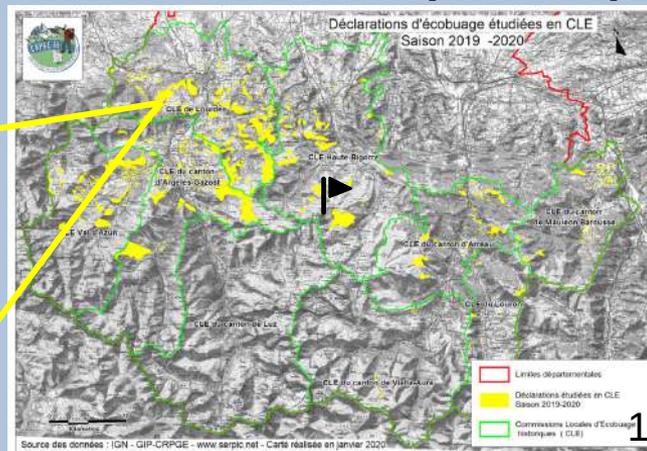
↑ Biomass burning  
↓ Fossil fuel



# IV. Influence de la couche limite sur les propriétés du BC en hiver

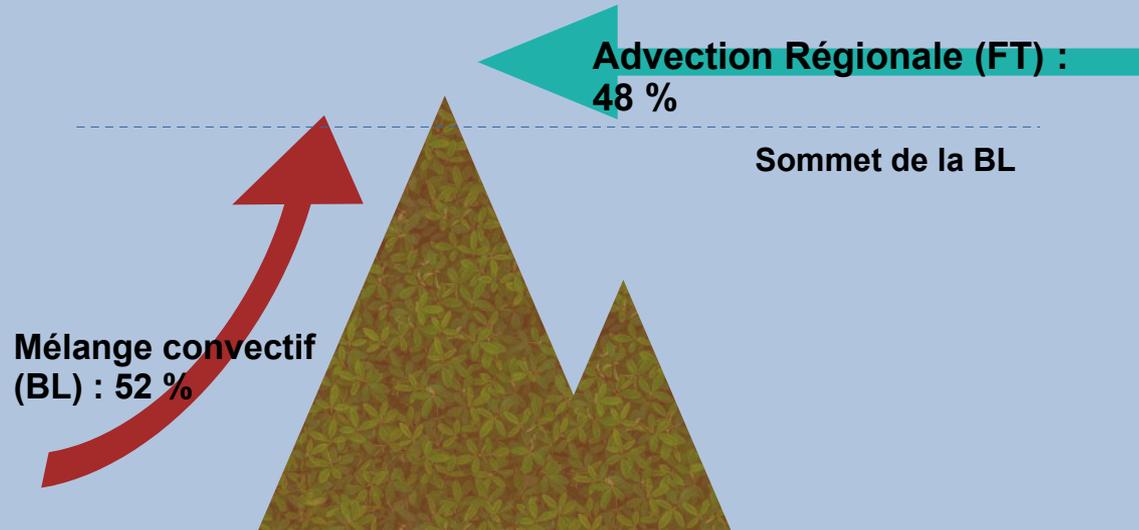


**>30000 Ha brûlés (02/2019)**

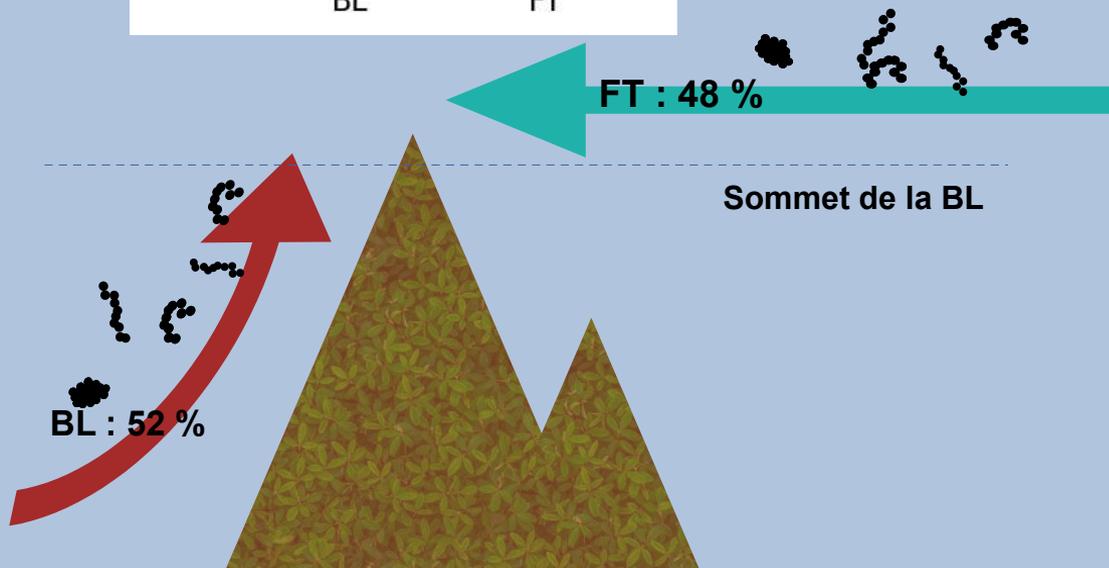
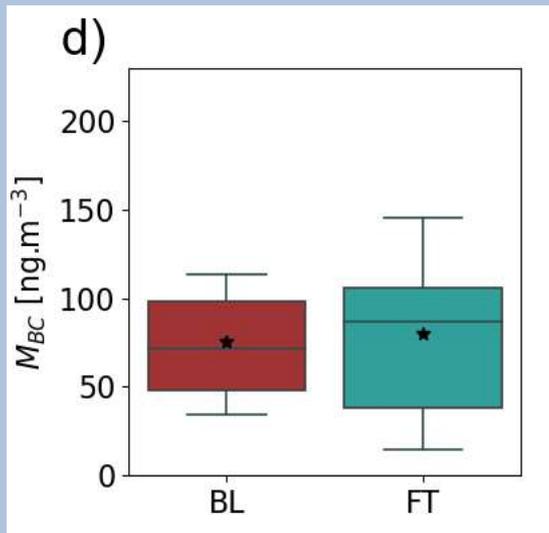


# IV. Influence de la couche limite sur les propriétés du BC

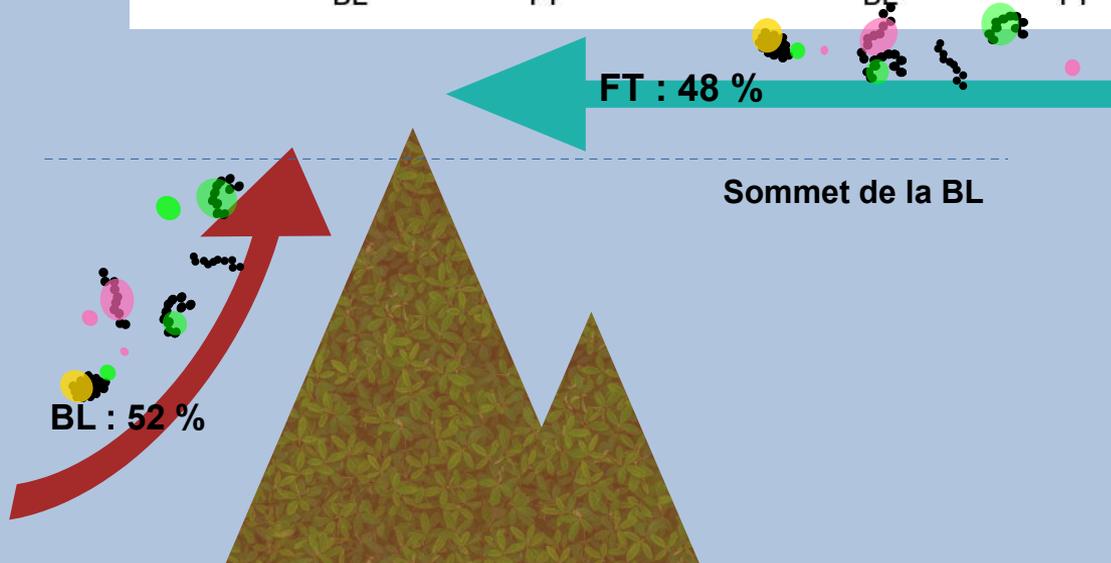
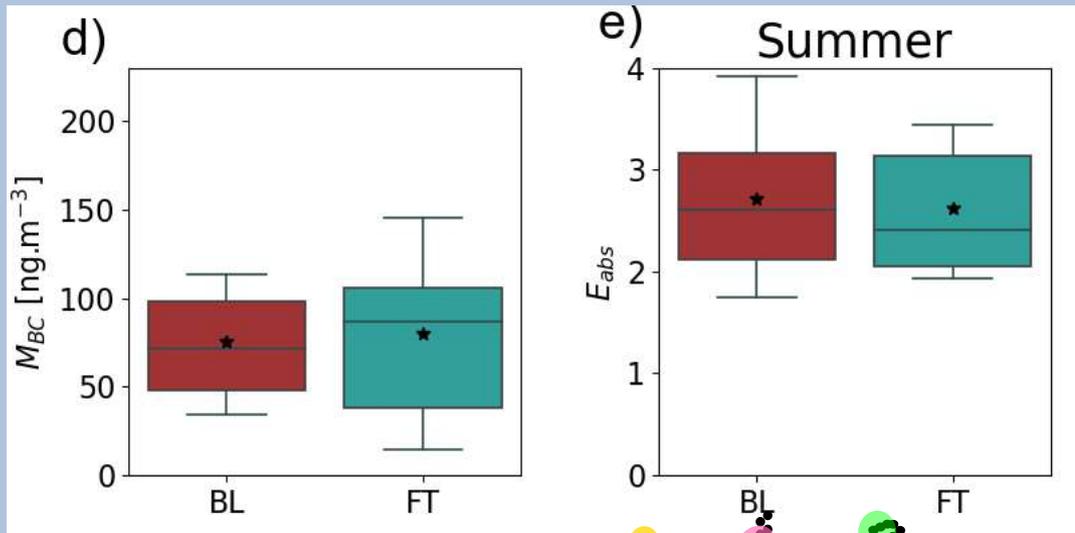
## Le cas de l'été



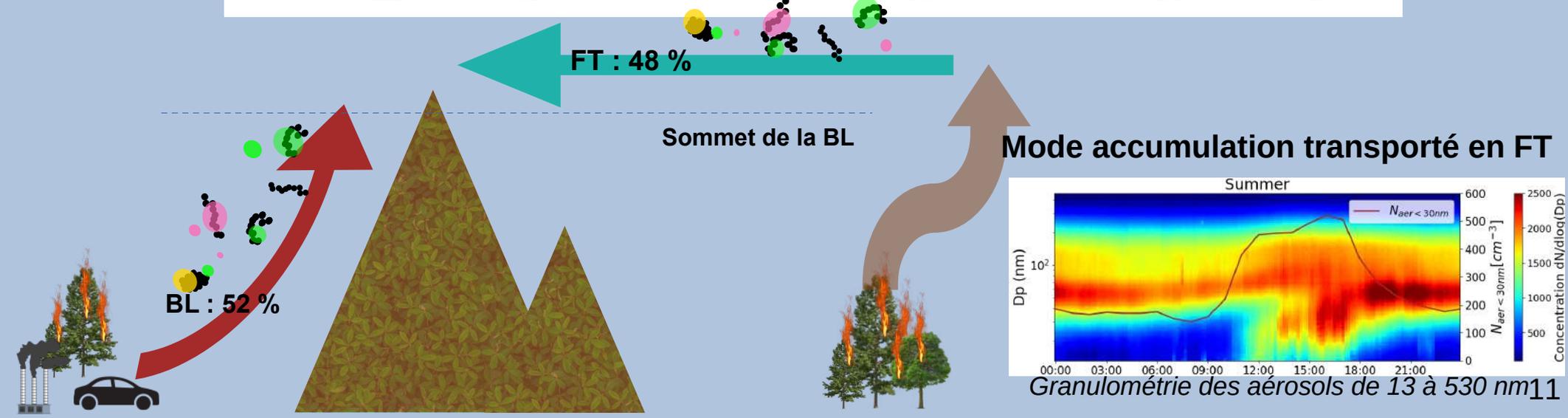
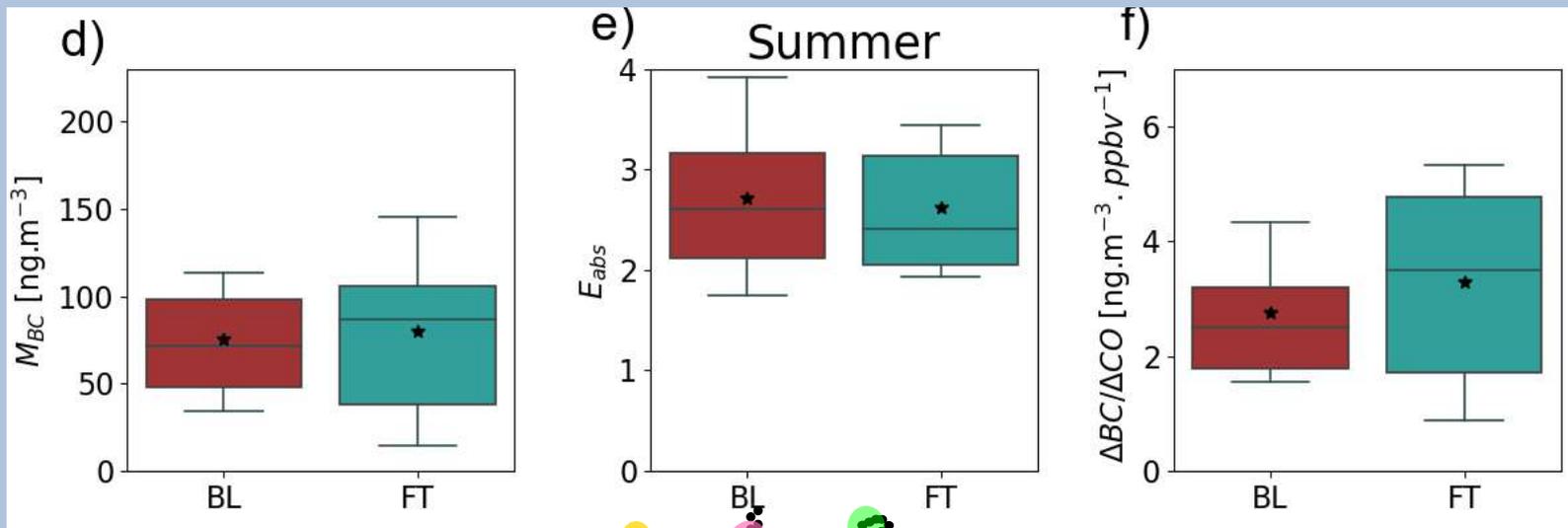
# IV. Transport majeur en troposphère libre en été



# IV. Transport majeur en troposphère libre en été



# IV. Transport majeur en troposphère libre en été



HIVER

ETE

FT peu chargée en aérosols

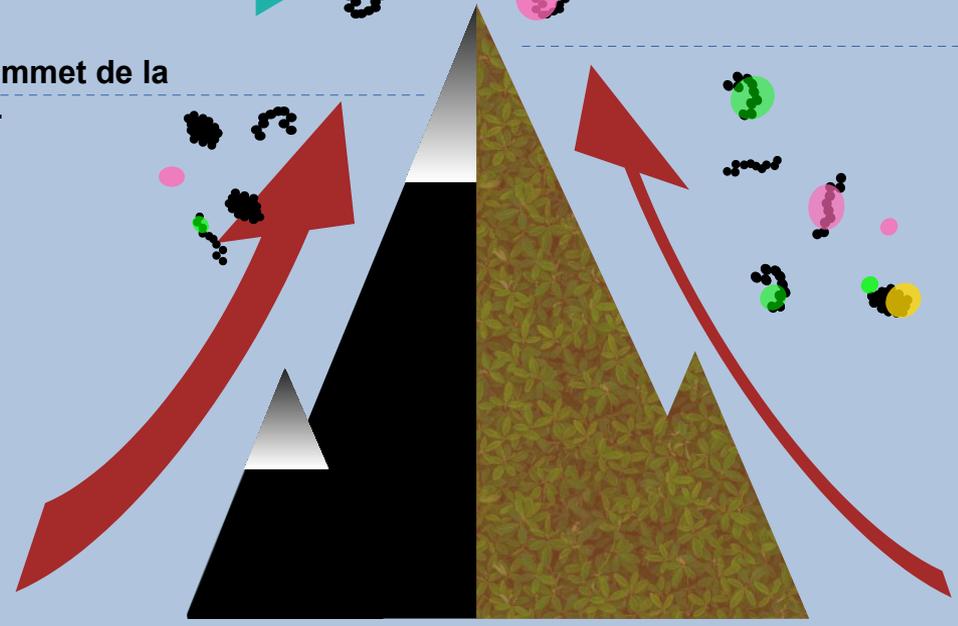
Transport omniprésent et massif en FT



Sommet de la BL

Influence de la BL sur  $M_{BC}$  et  $MAC_{BC}$

Peu d'influence de la BL sur  $M_{BC}$  et  $MAC_{BC}$



HIVER

ETE

FT peu chargée en aérosols

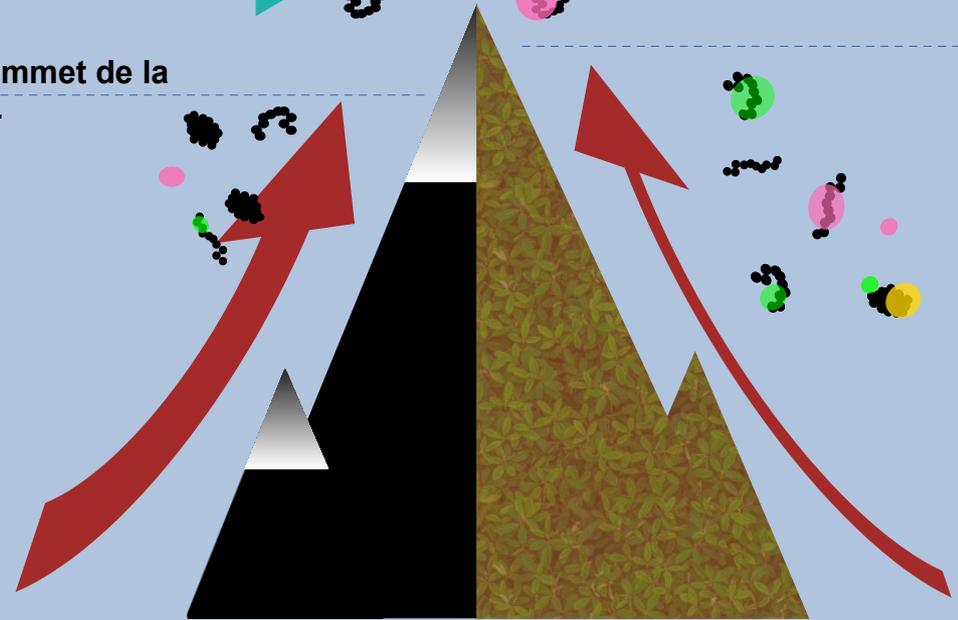
Transport omniprésent et massif en FT

Influence de la BL sur  $M_{BC}$  et  $MAC_{BC}$

Peu d'influence de la BL sur  $M_{BC}$  et  $MAC_{BC}$

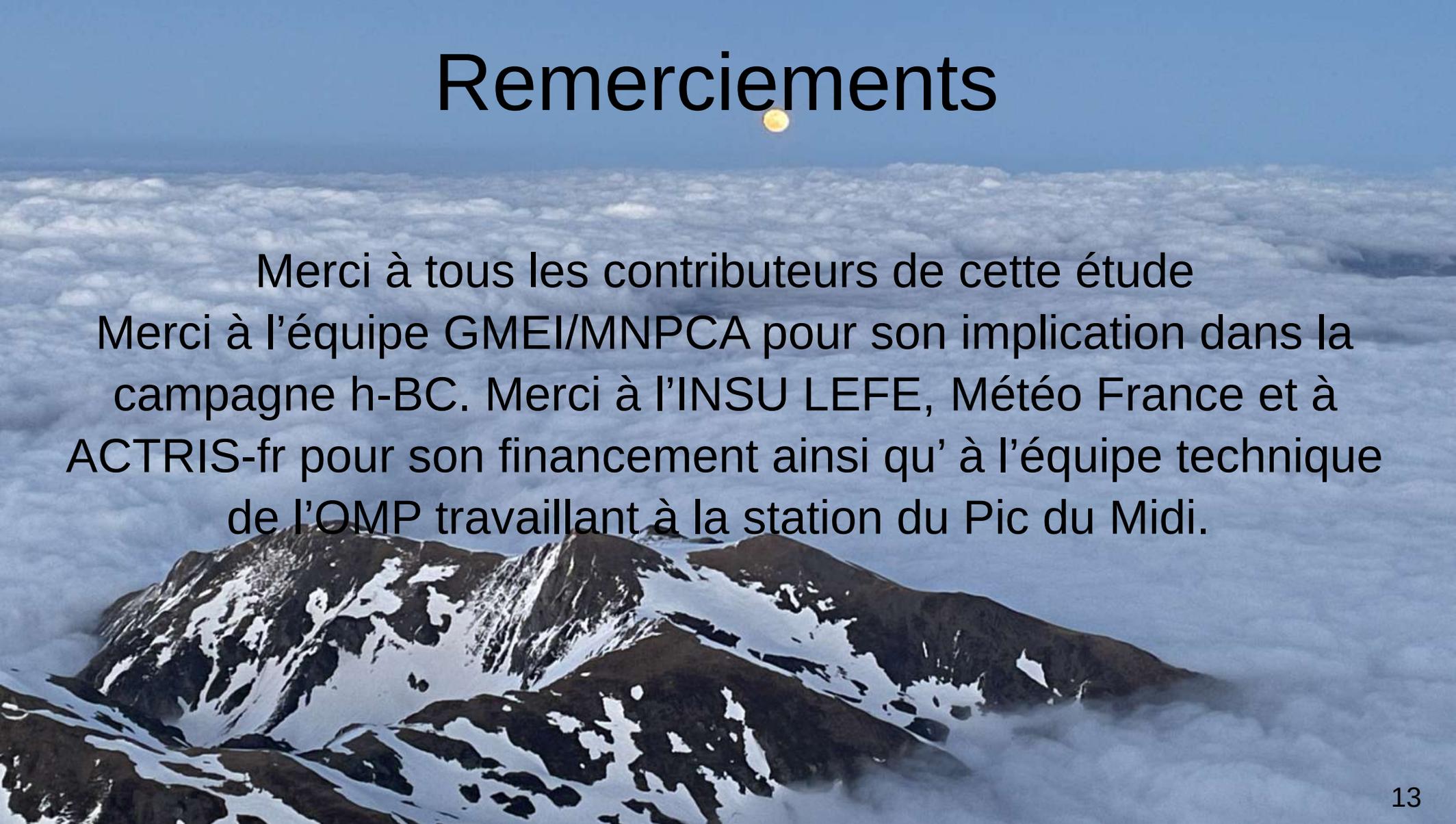


Sommet de la BL



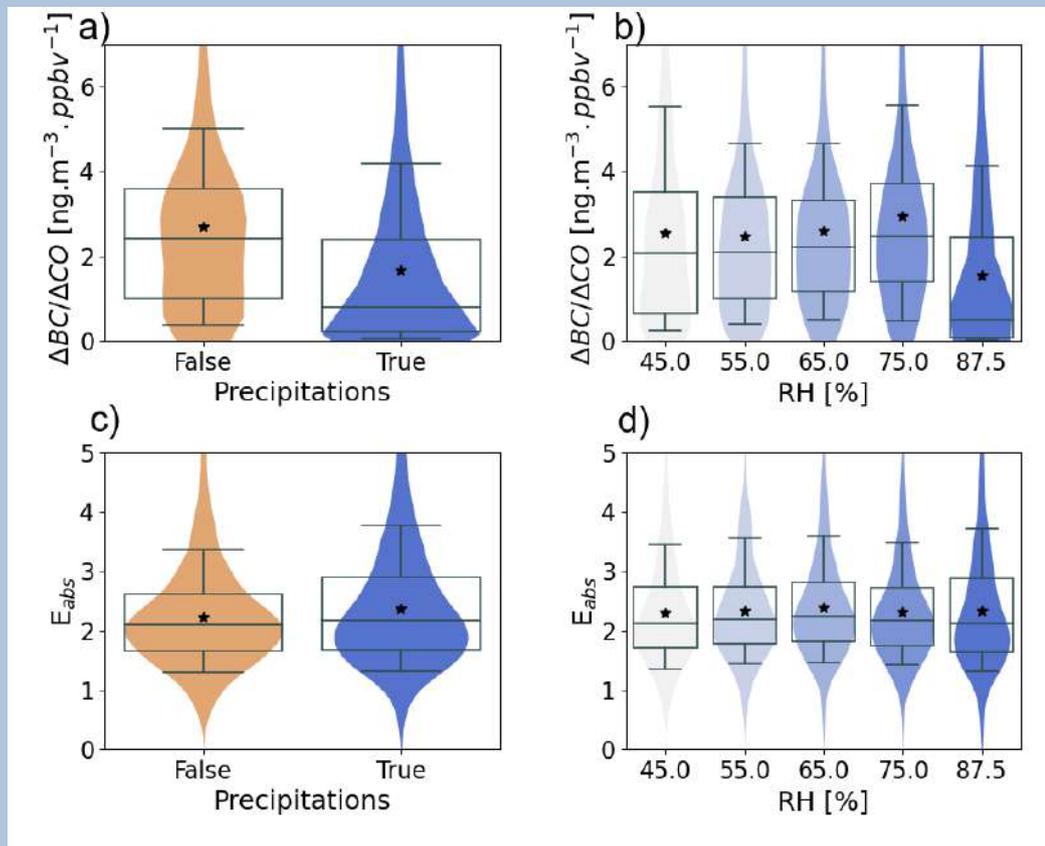
⇒ Propriétés du BC contrôlées par : La source du BC, son transport dans l'atmosphère, la dynamique de l'atmosphère et les processus chimiques

# Remerciements



Merci à tous les contributeurs de cette étude  
Merci à l'équipe GMEI/MNPCA pour son implication dans la campagne h-BC. Merci à l'INSU LEFE, Météo France et à ACTRIS-fr pour son financement ainsi qu' à l'équipe technique de l'OMP travaillant à la station du Pic du Midi.

# III. c) Effets du dépôt humide sur $M_{BC}$ mais pas sur son absorption



*Précipitations sur la trajectoire de la masse d'air & HR*