

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

TINORUA Sarah  
CNRM/GMEI/MNPCA

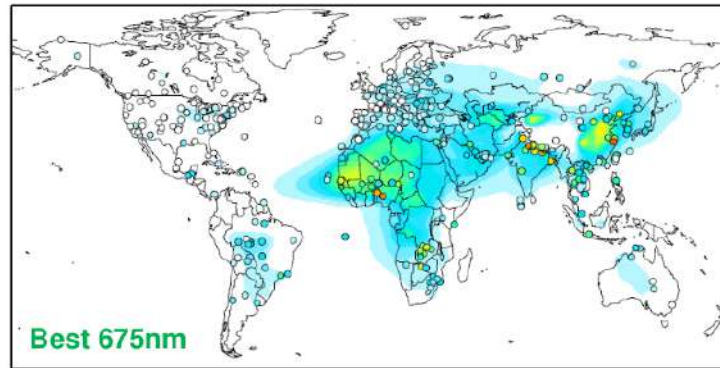
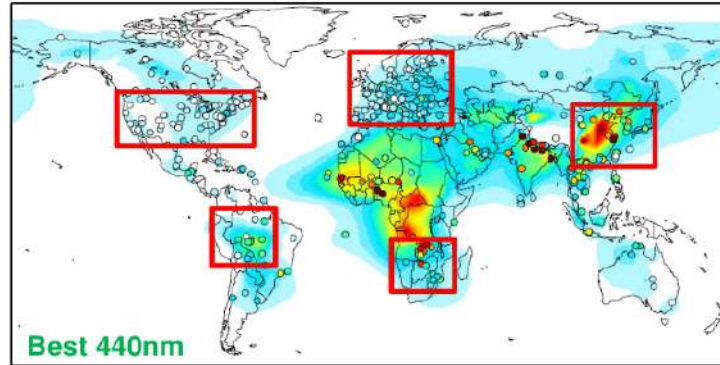
Cyrielle Denjean<sup>1</sup>, Pierre Nabat<sup>1</sup>, Thierry Bourriane<sup>1</sup>, Véronique Pont<sup>2</sup>, François Gheusi<sup>2</sup>, and Emmanuel Leclerc<sup>2</sup>

1 - CNRM / 2 - LAERO

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



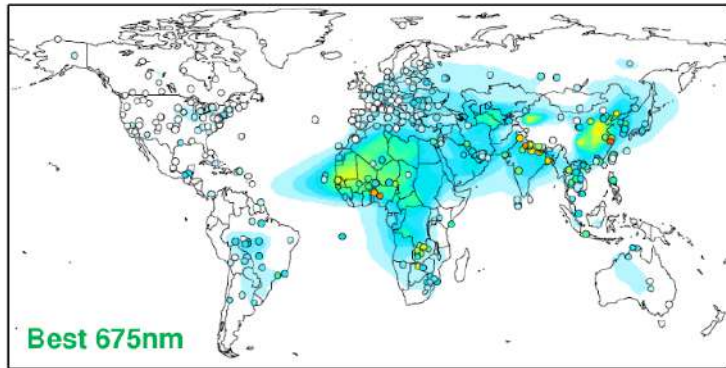
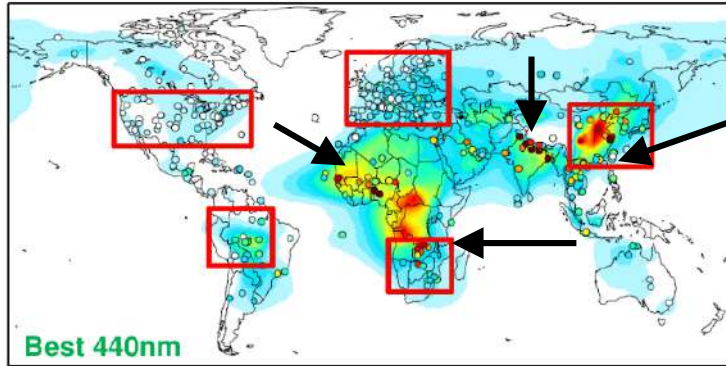
Simulations (GEOS-Chem couplé avec RRTMG) vs. AERONET



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

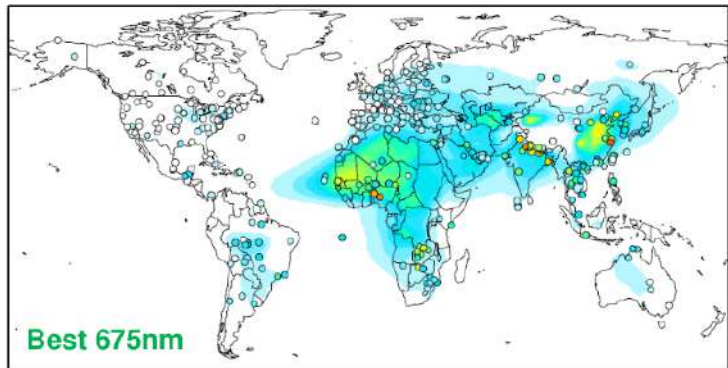
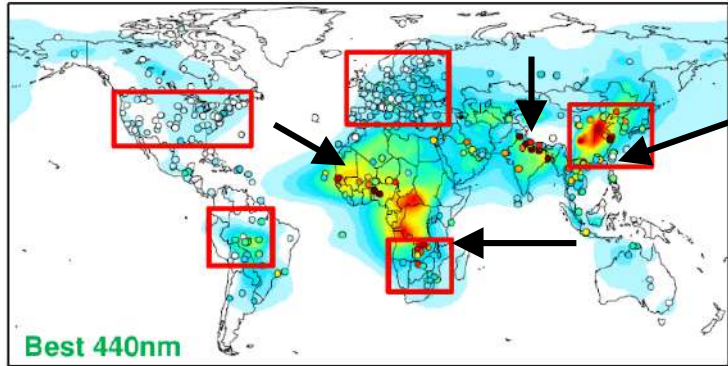


- Sous-estimation de l'AAOD par les modèles climatiques
- Biais plus forts en zones sujettes à la combustion de biomasse

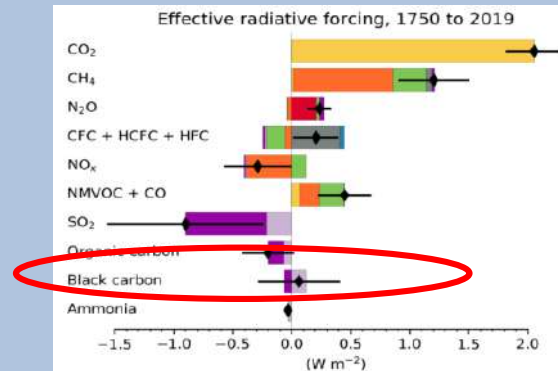


# Forts biais simulations/mesures de l'absorption

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



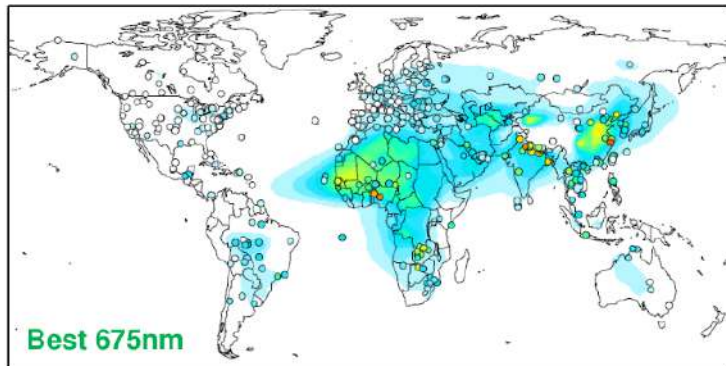
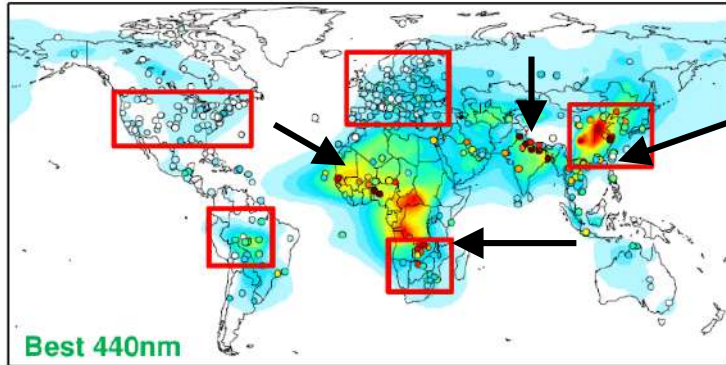
- Sous-estimation de l'AAOD par les modèles climatiques
- Biais plus forts en zones sujettes à la combustion de biomasse
- Black Carbon (BC) = L'espèce particulaire la plus absorbante (Bond et al, 2013) avec effets direct et semi-directs sur le climat



IPCC AR6 WG1(2021)

# Forts biais simulations/mesures de l'absorption

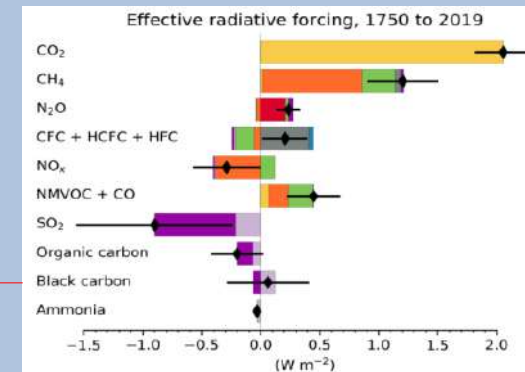
Simulations (GEOS-Chem couplé avec RRTMG) vs. AERONET



- 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 :

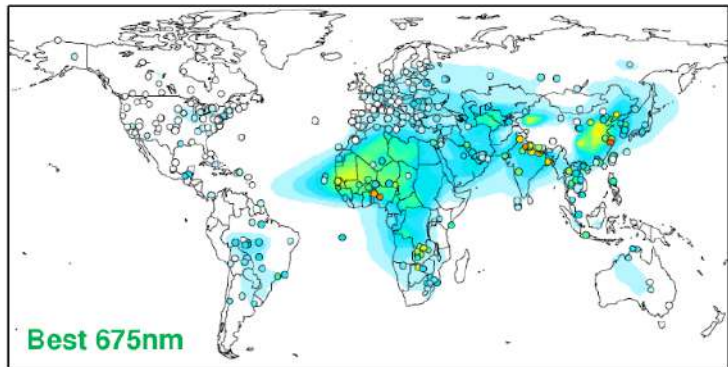
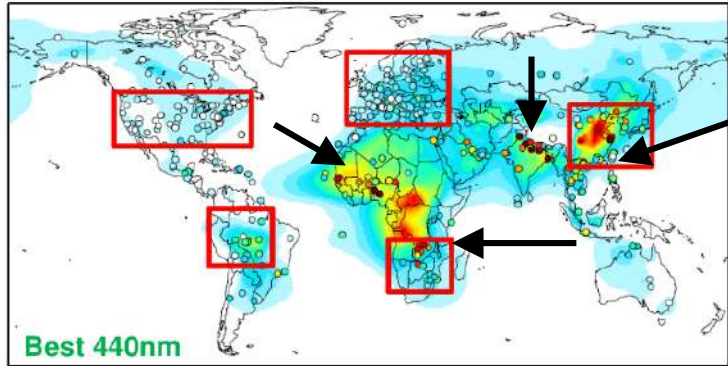
- Single Surface Albédo  $SSA_{BC}$
- Asymmetry factor  $g_{BC}$
- Mass Absorption Cross-Section  $MAC_{BC}$



IPCC AR6 WG1(2021)

# Forts biais simulations/mesures de l'absorption

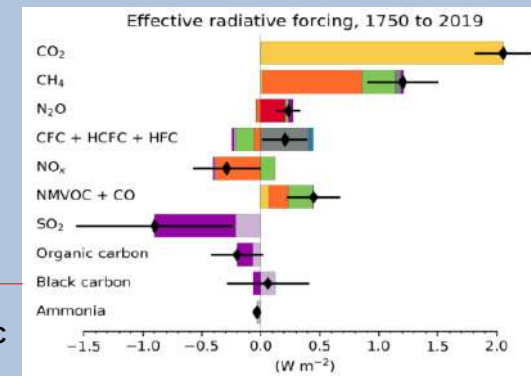
Simulations (GEOS-Chem couplé avec RRTMG) vs. AERONET



- 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 :

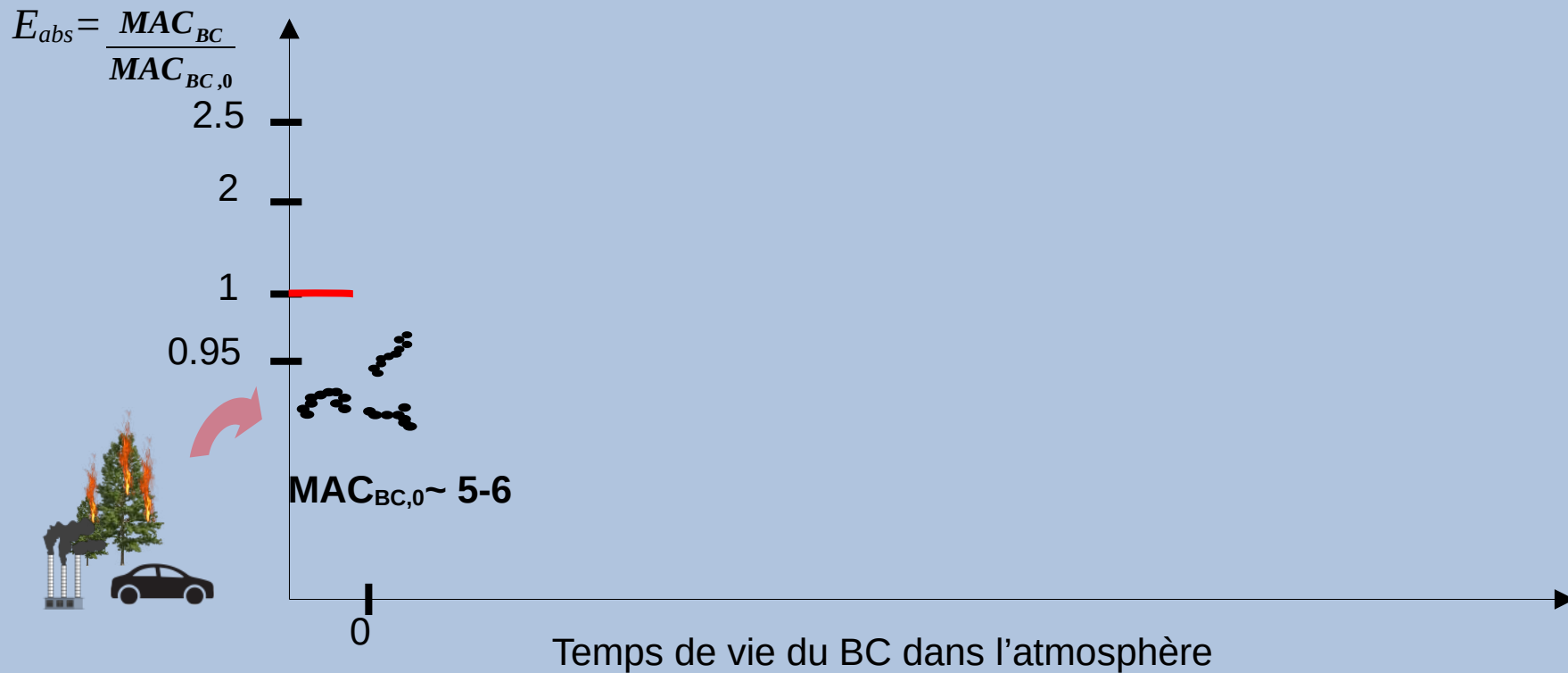
- Single Surface Albédo  $SSA_{BC}$
- Asymmetry factor  $g_{BC}$
- **Mass Absorption Cross-Section  $MAC_{BC}$**



IPCC AR6 WG1(2021)

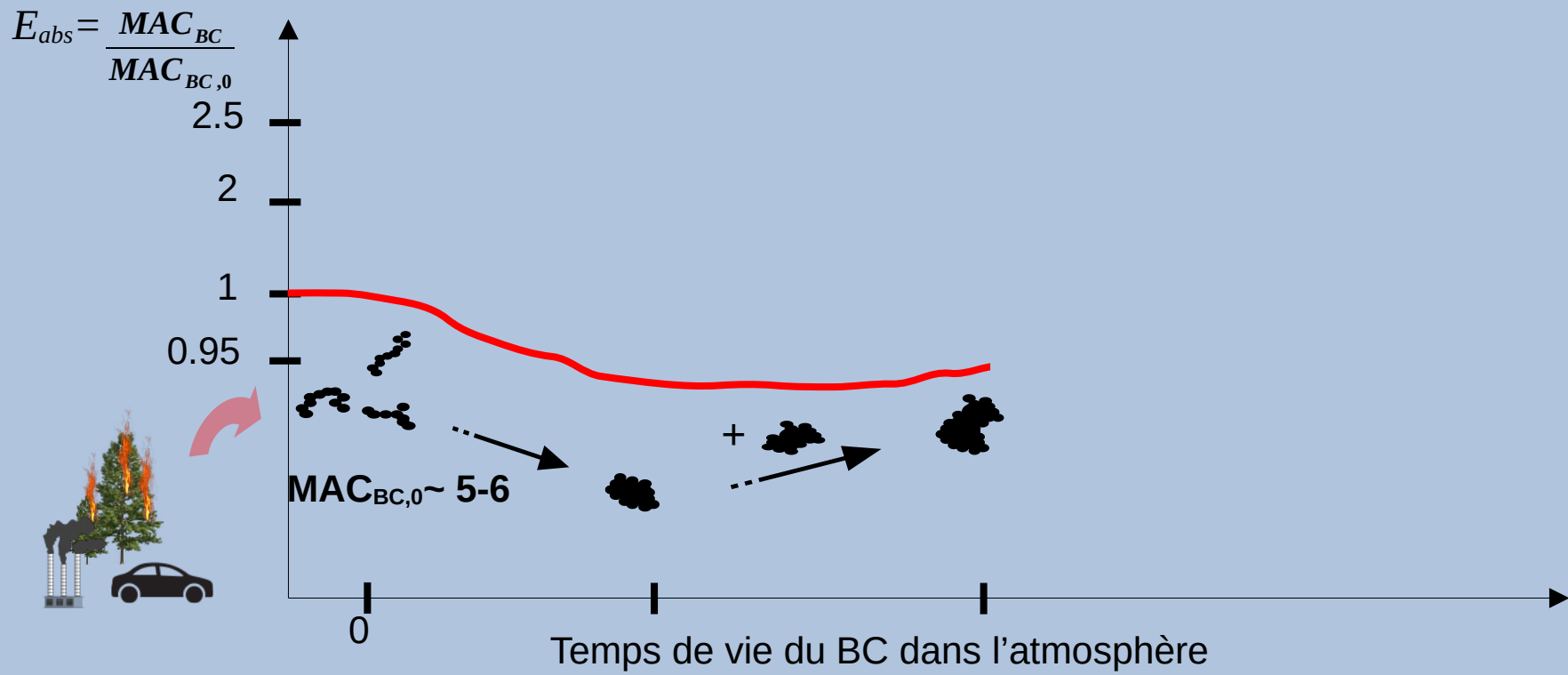
Section efficace  
d'absorption  $MAC_{BC}$

Paramètres  
microphysiques :  
- Concentration  
- Taille



Section efficace  
d'absorption  $MAC_{BC}$

Paramètres  
microphysiques :  
- Concentration  
- Taille

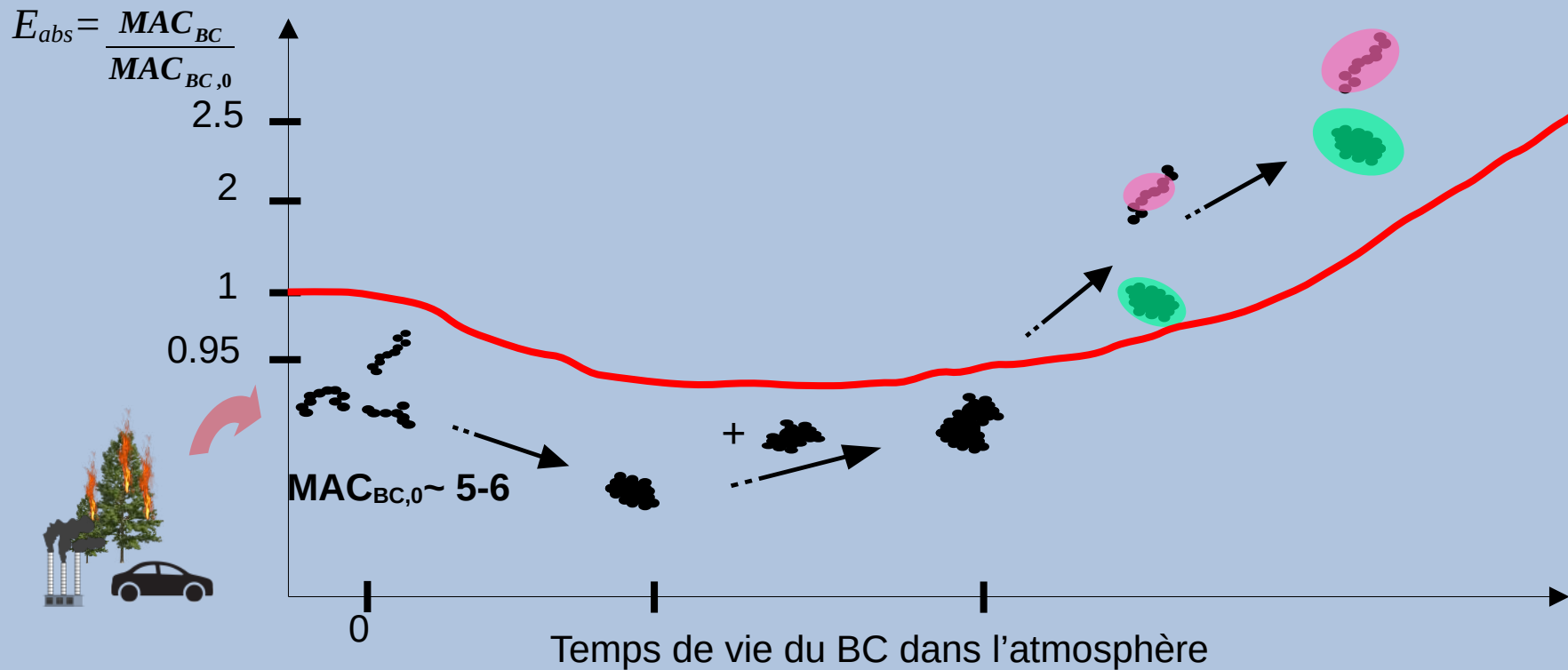




# Section efficace d'absorption $MAC_{BC}$

Paramètres microphysiques :  
- Concentration  
- Taille

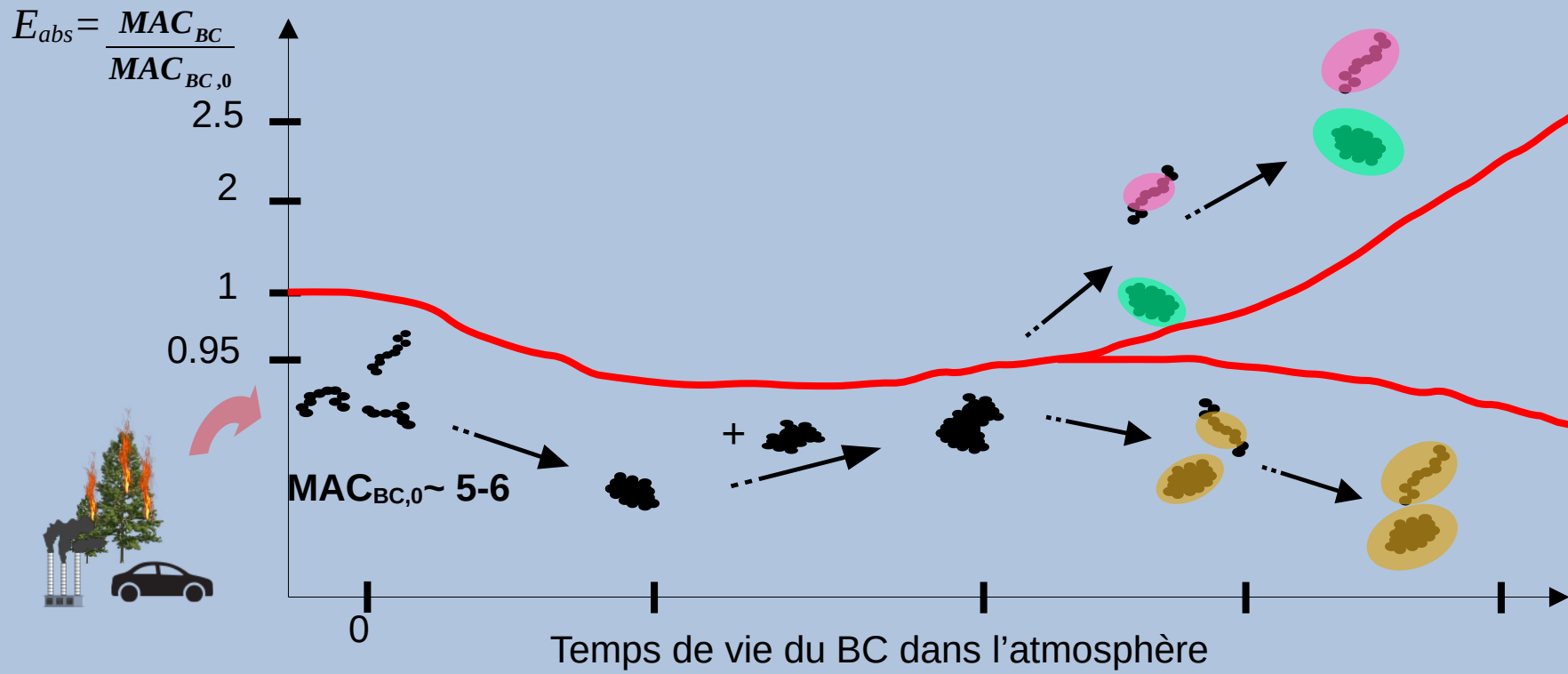
Composition chimique:  
- État de mélange  
- Coating



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

Paramètres microphysiques :  
- Concentration  
- Taille

Composition chimique:  
- État de mélange  
- Coating

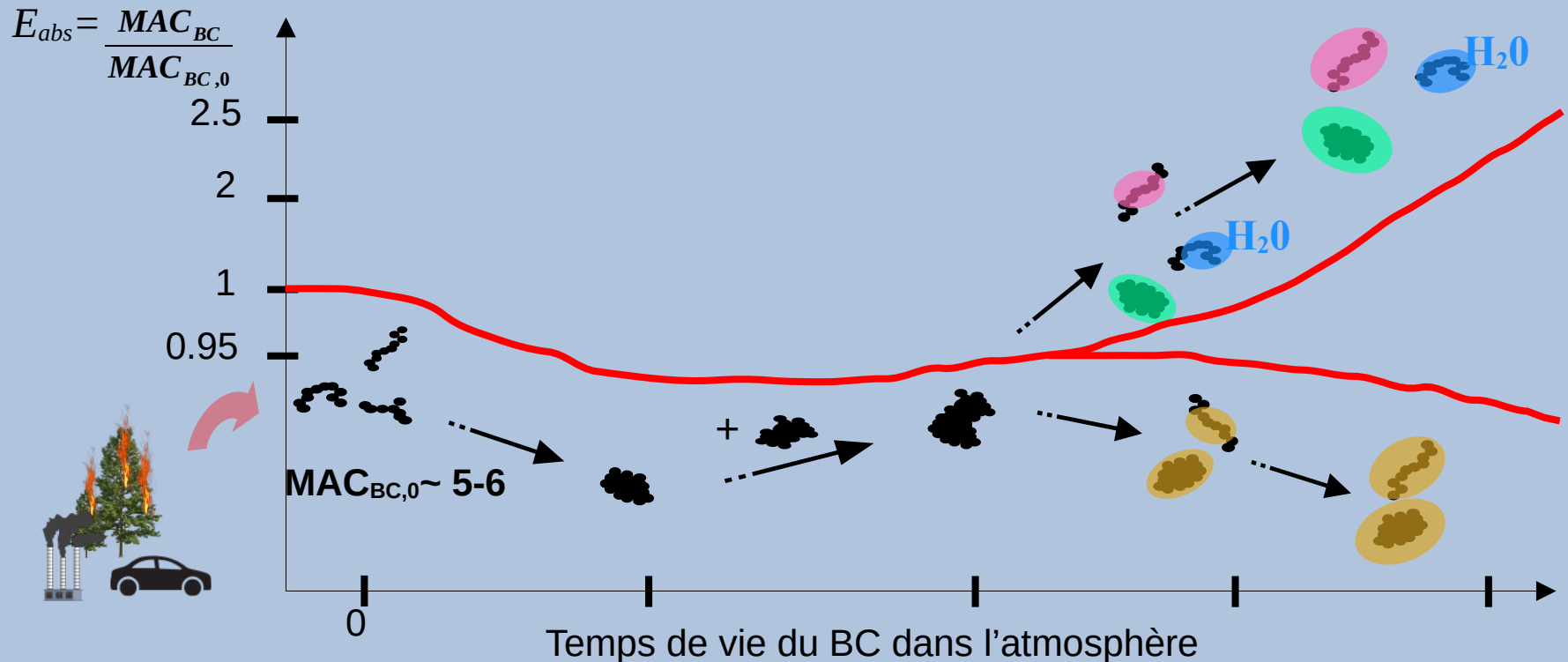


Section efficace d'absorption  $MAC_{BC}$

Paramètres microphysiques :  
- Concentration  
- Taille

Paramètres hygroscopiques :  
- Growth Factor

Composition chimique :  
- État de mélange  
- Coating



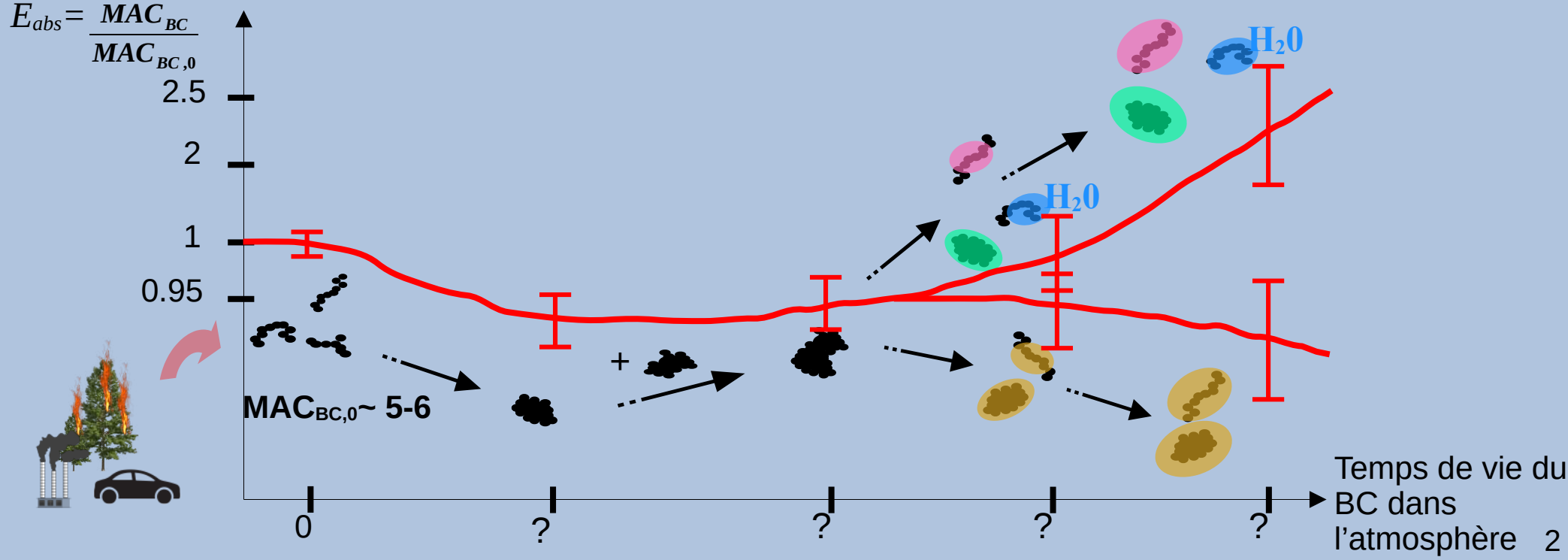
Section efficace d'absorption  $MAC_{BC}$

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) ?**

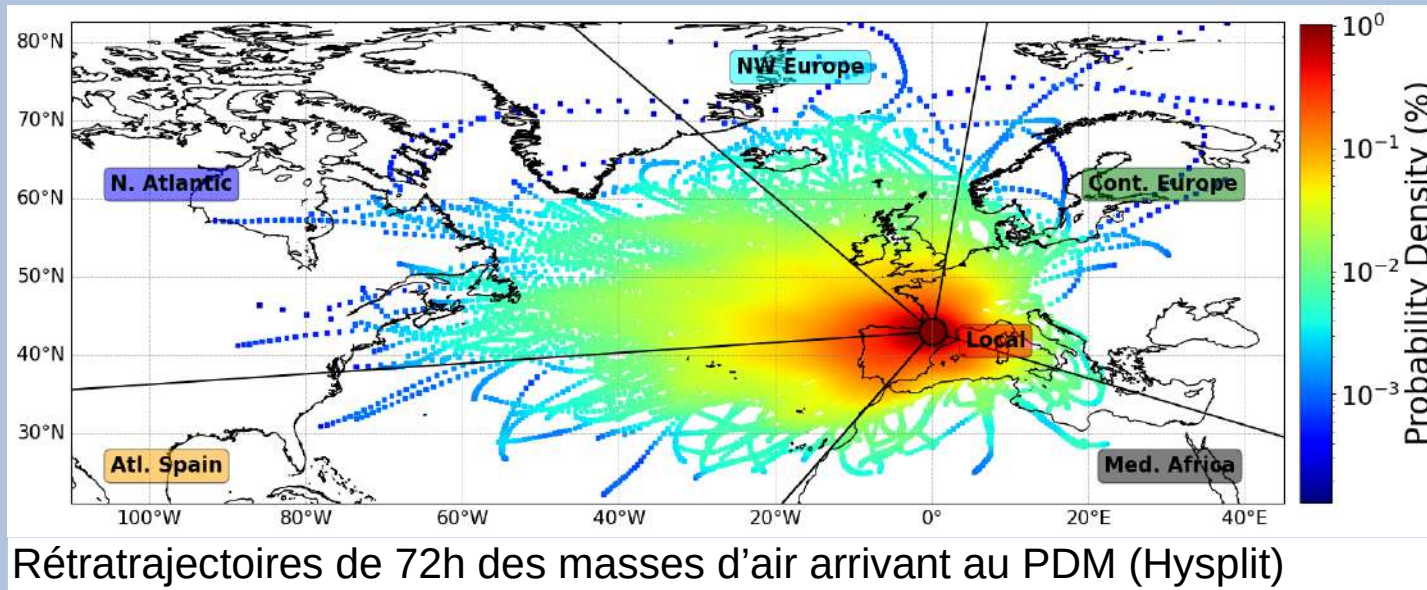
**Quelles variations de ces propriétés en fonction :**

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



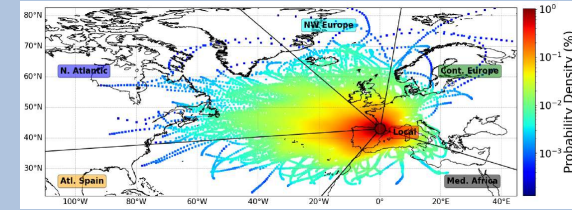
## II. Site de mesures & Instrumentation

- 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

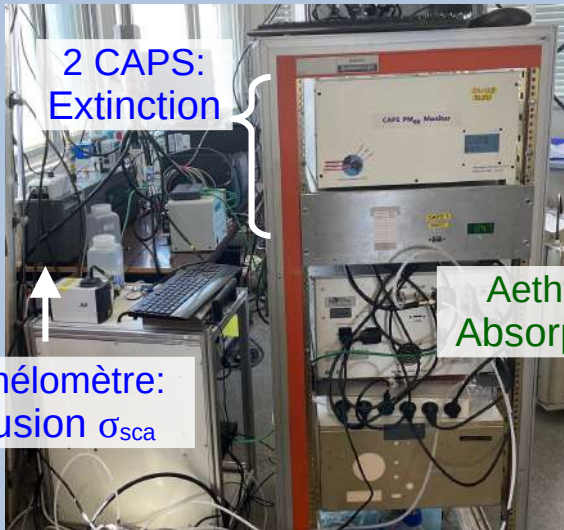


# II. Site de mesures & Instrumentation

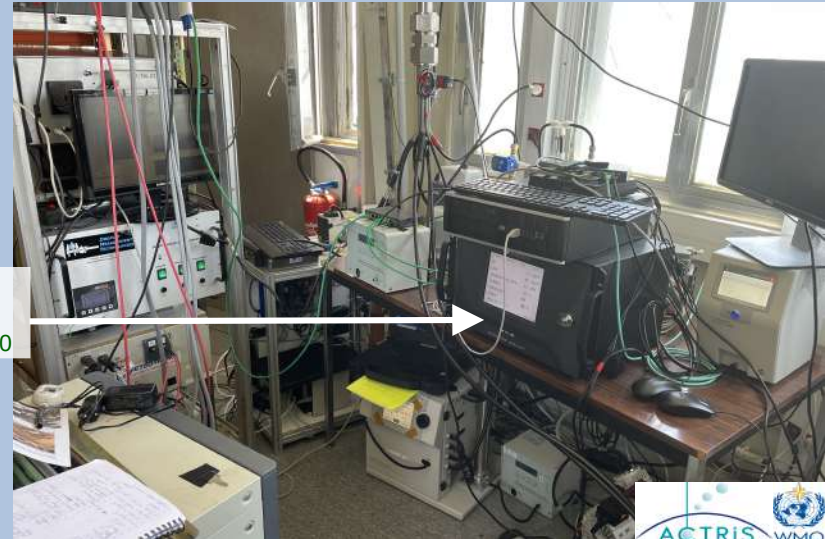
- 3 ans de mesures **aérosols** et **BC** au Pic du Midi (PDM)  
(site ACTRIS-fr & SNO-CNAP) 2019-2021
- Site en altitude (2877 m.asl) avec peu de sources locales de BC
- Idéal pour l'étude du vieillissement du BC et de son transport dans la troposphère libre



## Optique

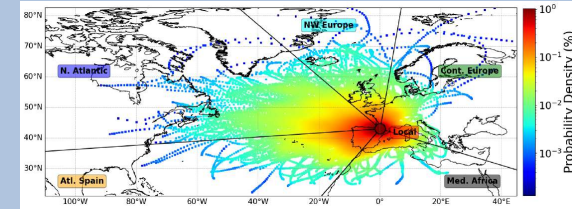


Aethalomètre:  
Absorption  $\sigma_{ap,880}$



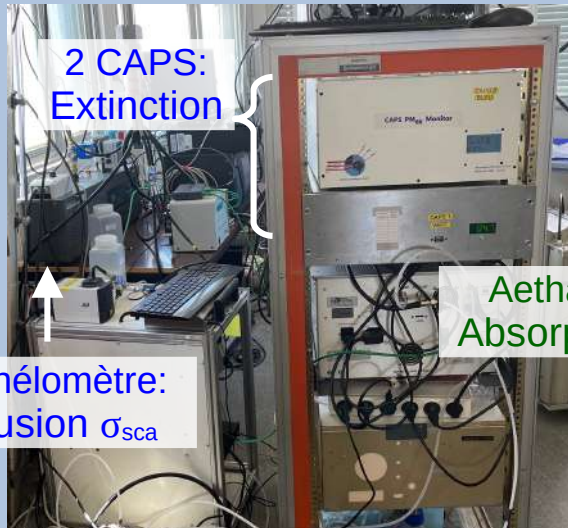
# II. Site de mesures & Instrumentation

- 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



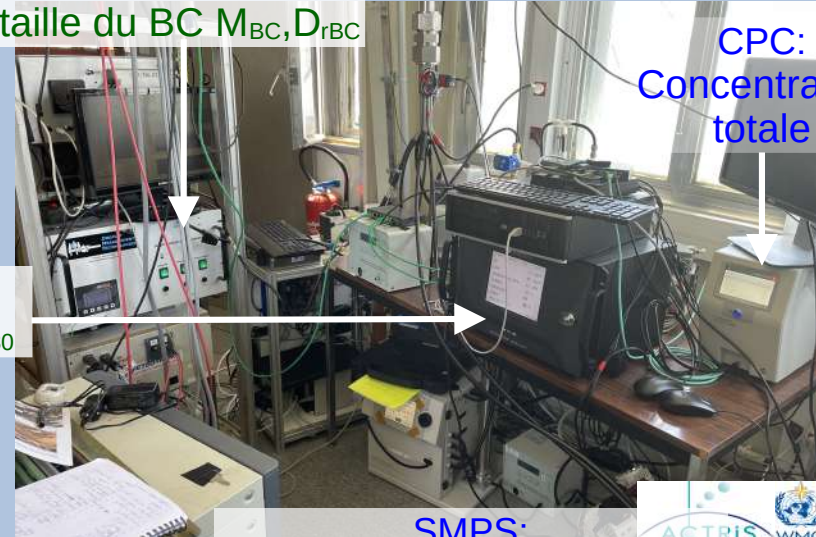
➤ Idéal pour l'étude du vieillissement du BC et de son transport dans la troposphère libre

Optique



Microphysique

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



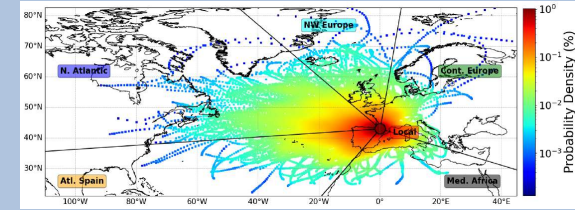
SMPS:  
Granulométrie 12-800 nm





# II. Site de mesures & Instrumentation

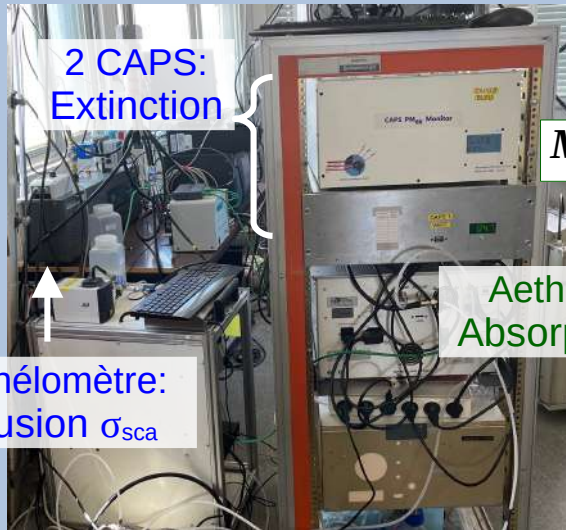
- 3 ans de mesures **aérosols** et **BC** au Pic du Midi (PDM)  
(site ACTRIS-fr & SNO-CNAP) 2019-2021
- Site en altitude (2877 m.asl) avec peu de sources locales de BC



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

Optique

Microphysique



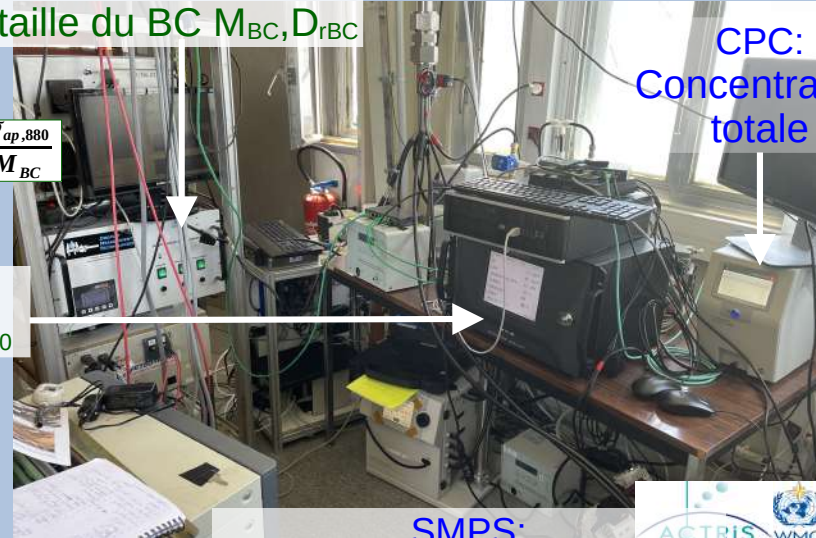
2 CAPS:  
Extinction

Néphélomètre:  
Diffusion  $\sigma_{sca}$

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

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

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



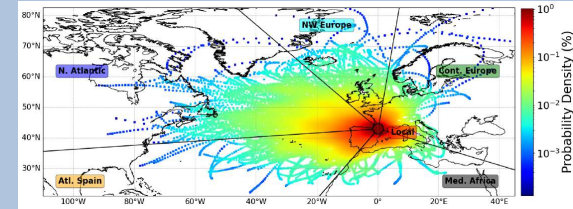
CPC:  
Concentration  
totale

SMPS:  
Granulométrie 12-800 nm



# II. Site de mesures & Instrumentation

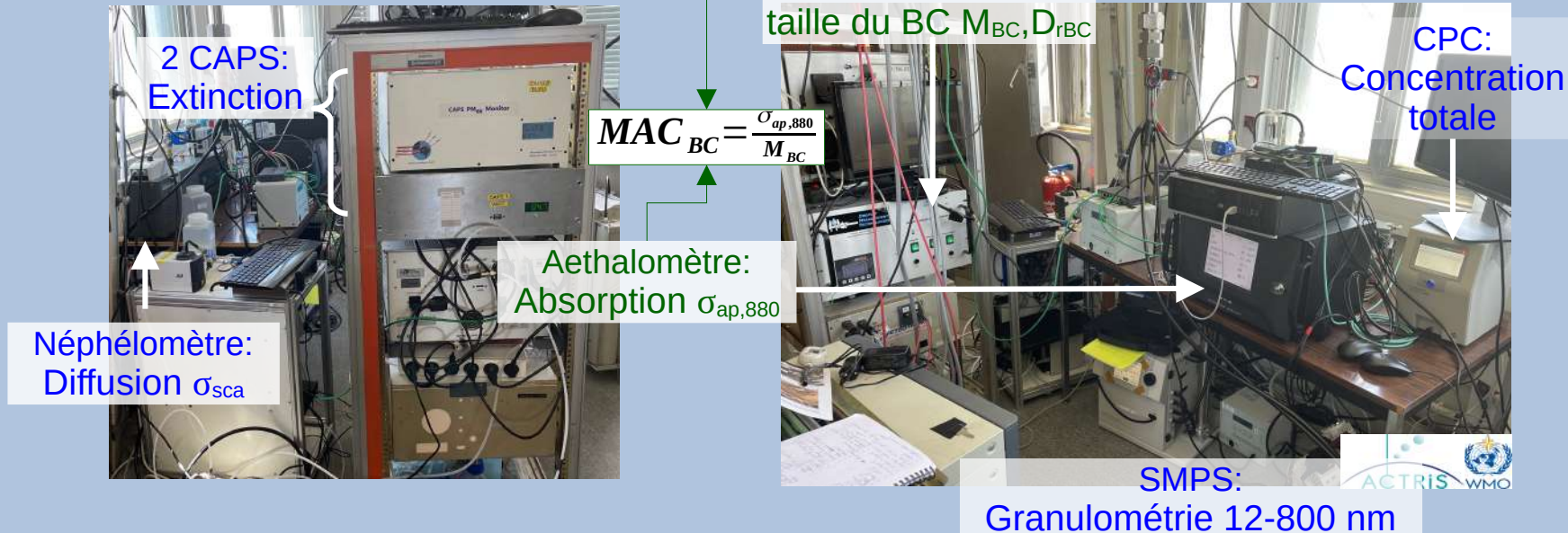
- 3 ans de mesures **aérosols** et **BC** au Pic du Midi (PDM) (site ACTRIS-fr & SNO-CNAP) 2019-2021
- Site en altitude (2877 m.asl) avec peu de sources locales de BC



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

Optique

Microphysique



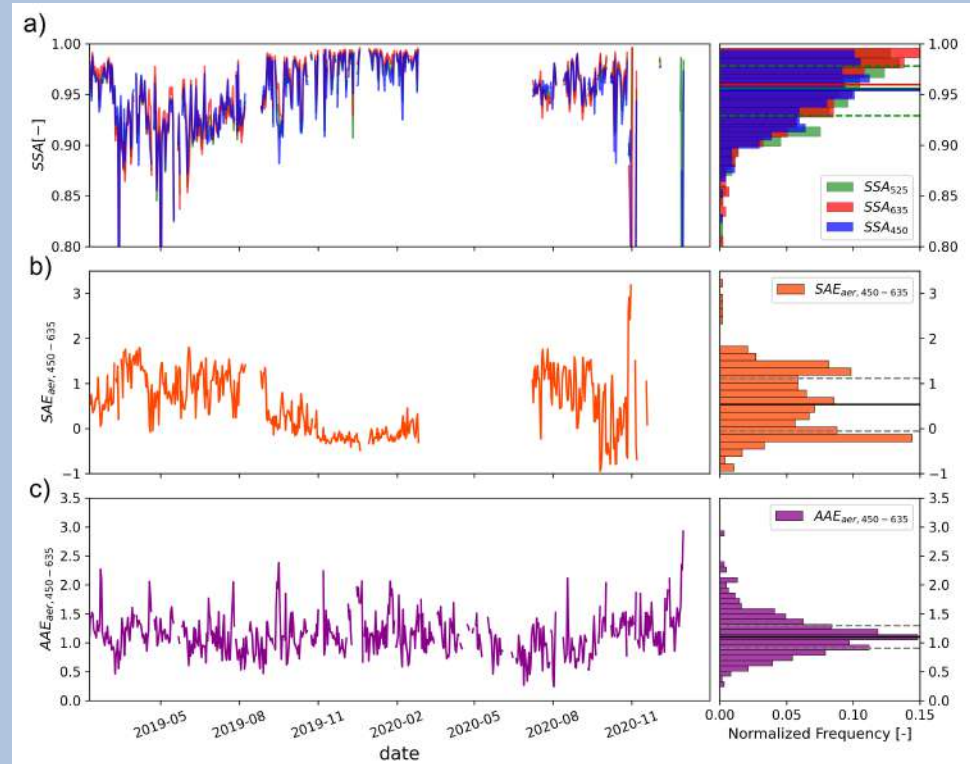
+ mesures de CO (⇒ source de BC) et de Radon (⇒ influence couche limite)



# 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

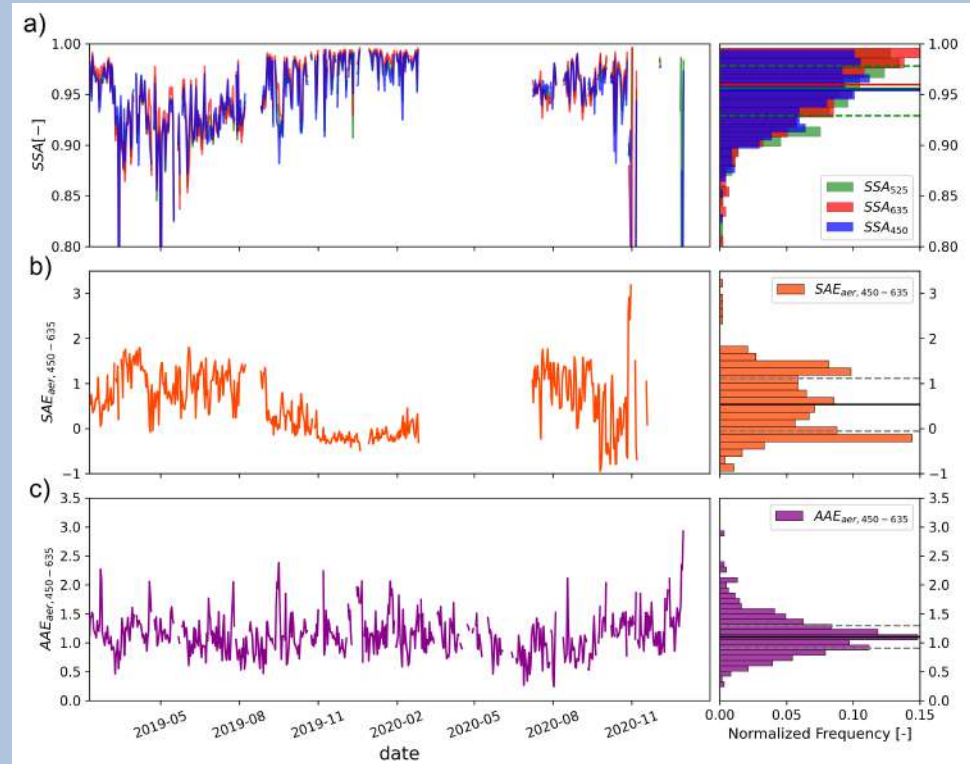
$$SSA_{aer, \lambda} = \frac{\sigma_{sca, \lambda}}{\sigma_{sca, \lambda} + \sigma_{ap, \lambda}}$$

- SAE : Scattering Angström Exponent

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

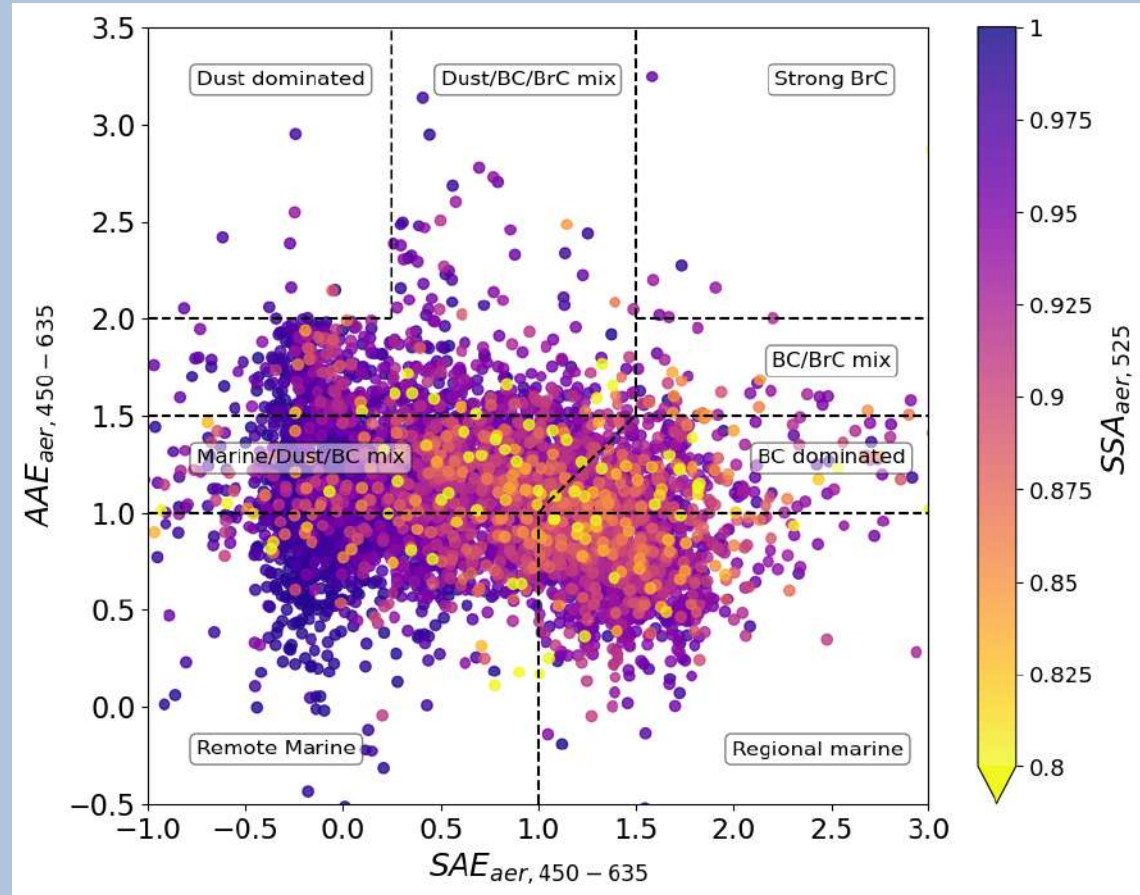
- AAE : Absorption Angström Exponent

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



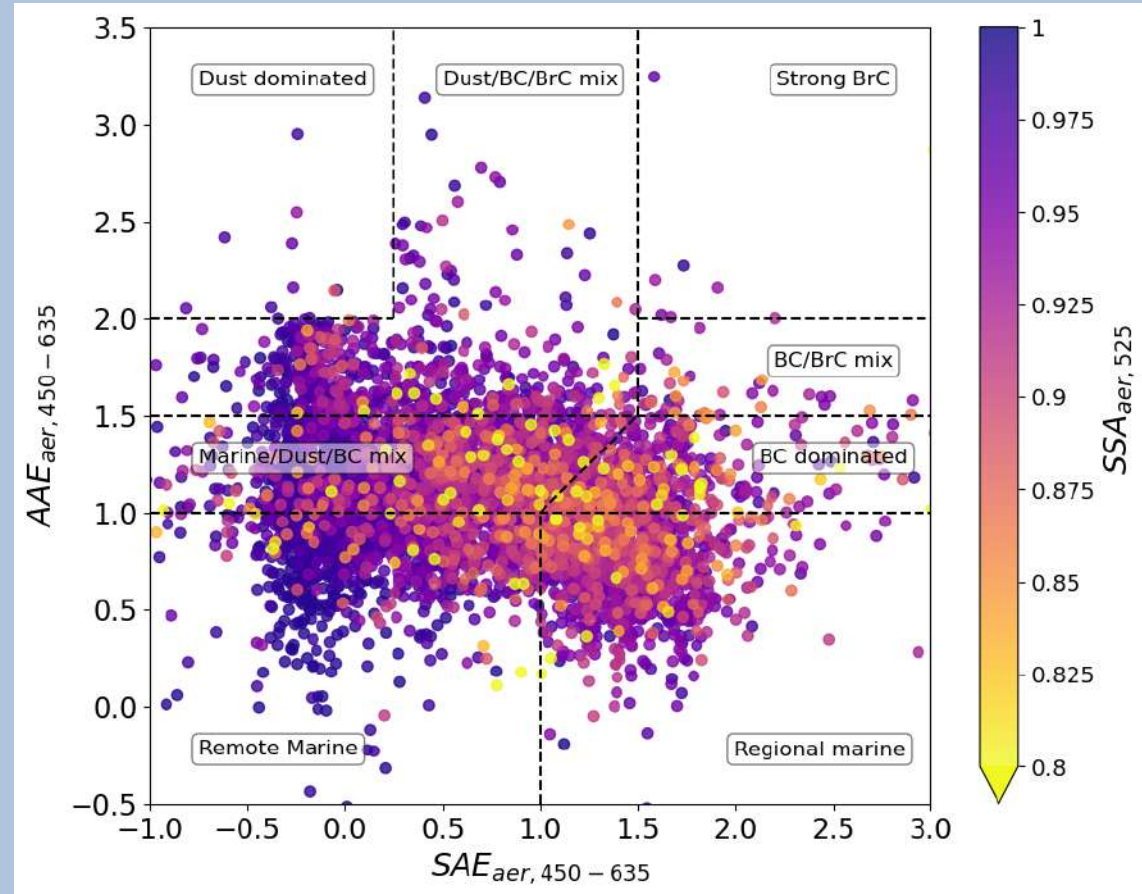
Quelles espèces particulières contribuent à l'absorption des aérosols au PDM ?

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

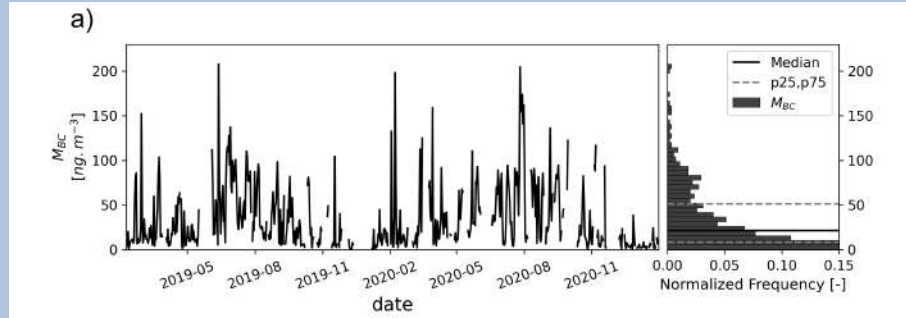


# III. a) Peu de Brown Carbon détecté malgré une présence forte de BC

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



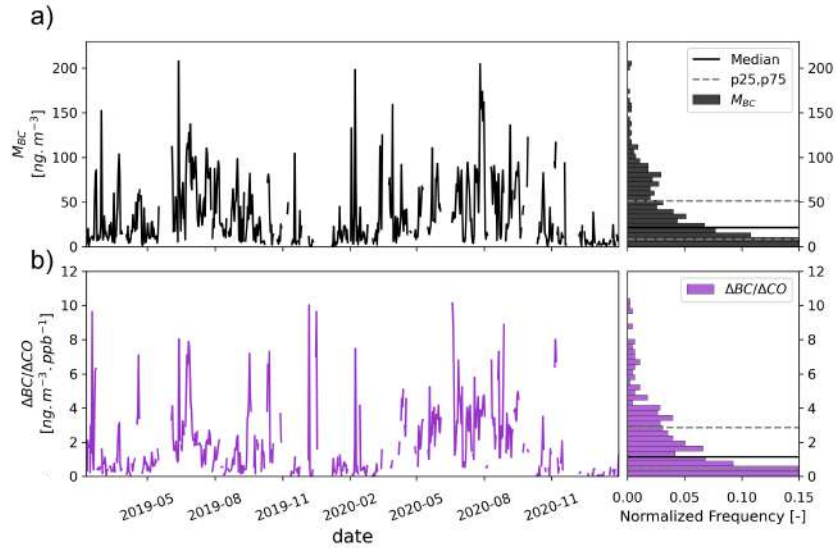
# III. b) Forte variabilité saisonnière de l'absorption du BC et de ses sources



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

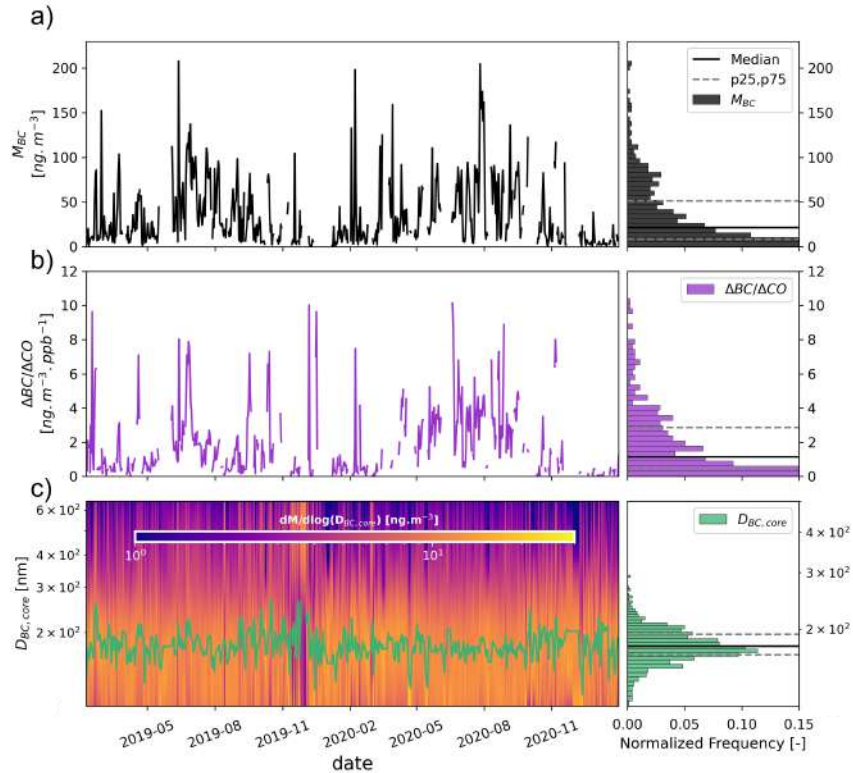


# III. b) Forte variabilité saisonnière de l'absorption du BC et de ses sources



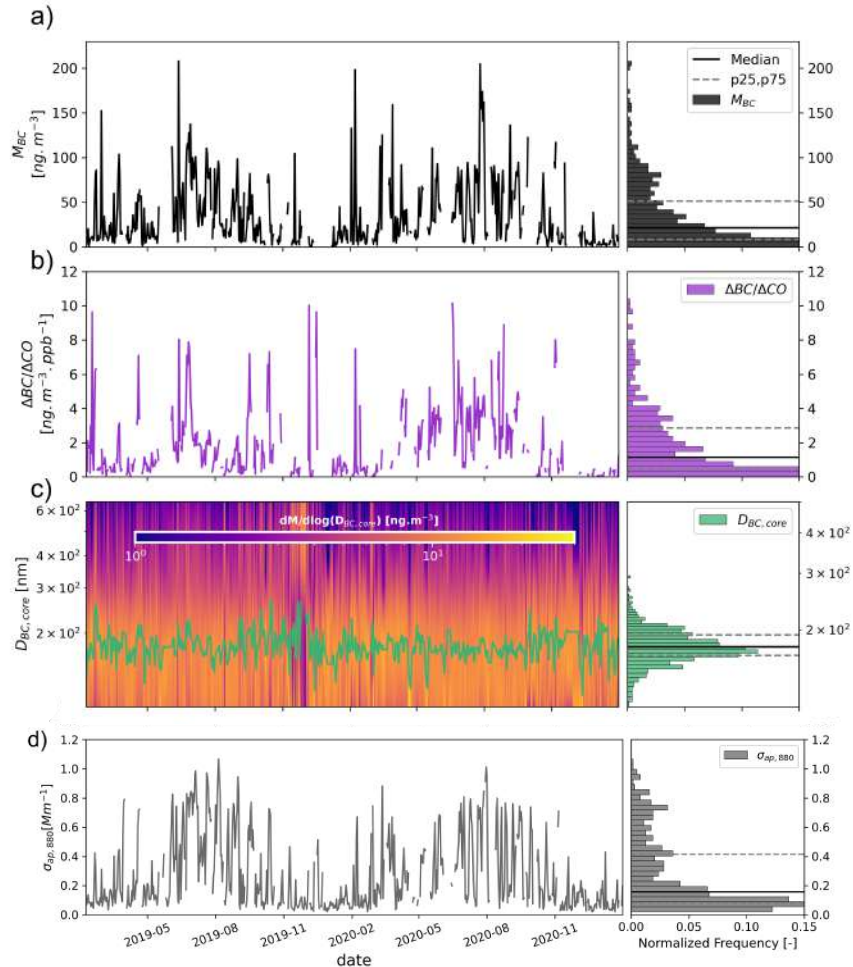
- $M_{BC}$  maximales en été ( moyenne de  $35 \text{ ng m}^{-3}$ )
- $\Delta BC/\Delta CO =$  traceur des sources du BC très variable

# 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

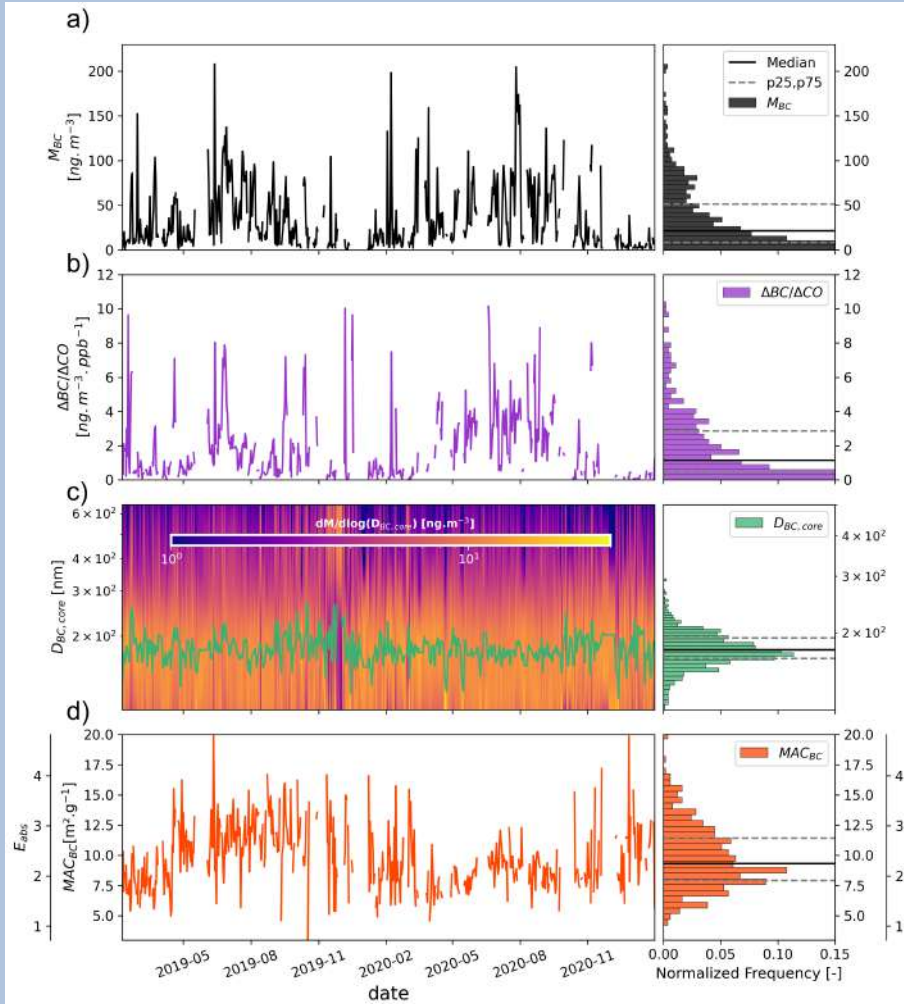
# III. b) Forte variabilité saisonnière de l'absorption du BC et de ses sources



- $M_{BC}$  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

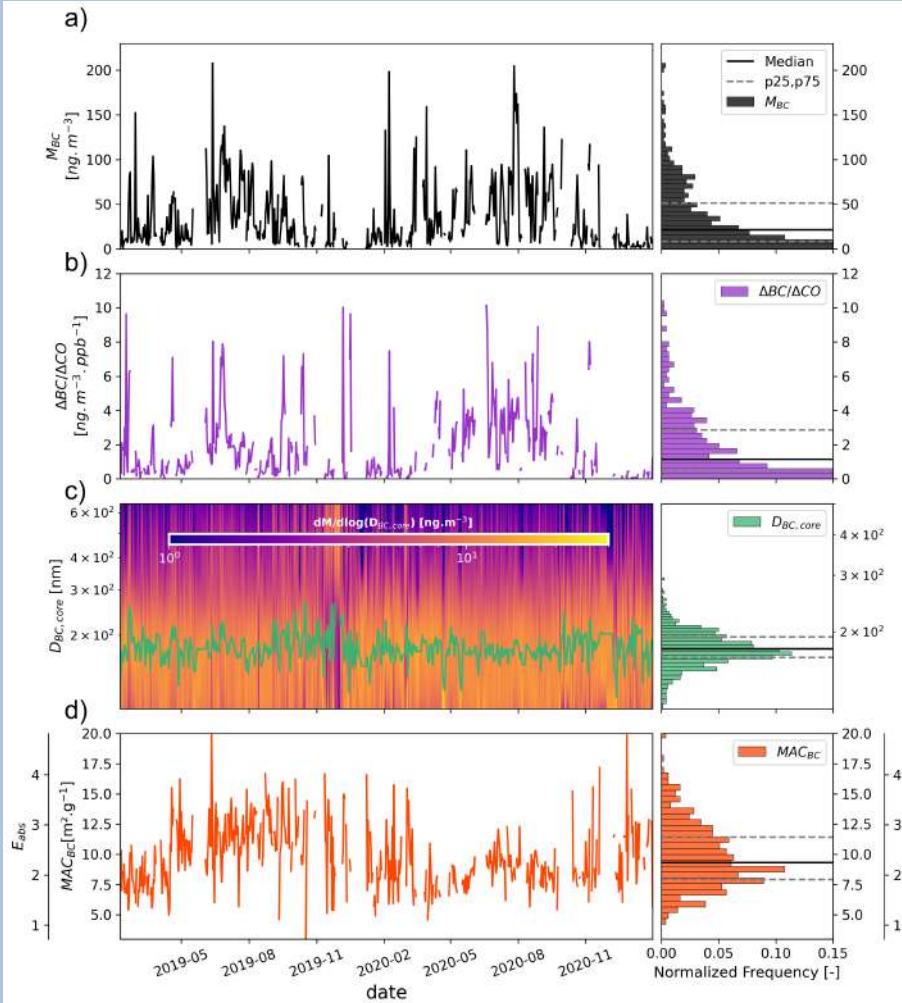
$$MAC_{BC} = \frac{\sigma_{ap, 880}}{M_{BC}}$$

# 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
- $MAC_{BC} = 9.8 \pm 2.7 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$

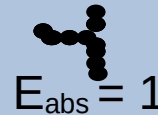
# III. b) Forte variabilité saisonnière de l'absorption du BC et de ses sources



- $M_{BC}$  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

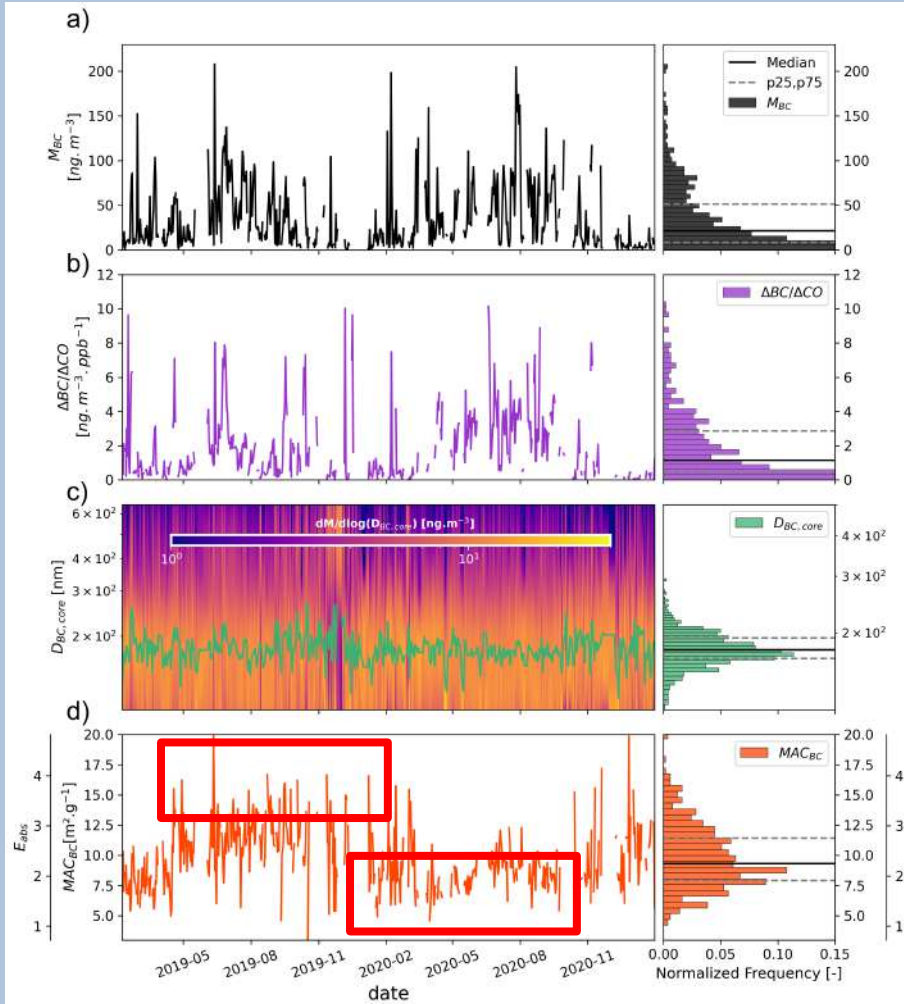


Transport  
> 2 jours





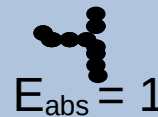
# III. b) Forte variabilité saisonnière de l'absorption du BC et de ses sources



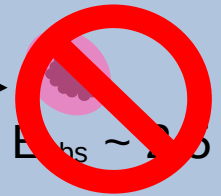
- $M_{BC}$  maximales en été ( moyenne de 35 ng m<sup>-3</sup>)
- $\Delta BC/\Delta CO$  = traceur des sources du BC très variable
- $D_{BC} = 179 \pm 28$  nm  $\Rightarrow$  BC coagulé
- $MAC_{BC} = 9.8 \pm 2.7$  m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>

**Théorie :**

À sa source



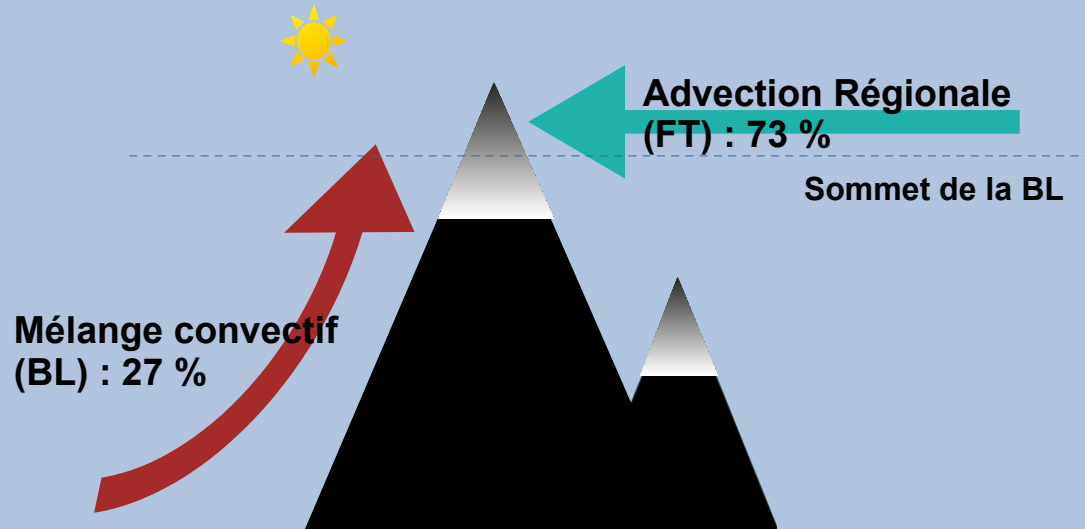
Transport  
> 2 jours



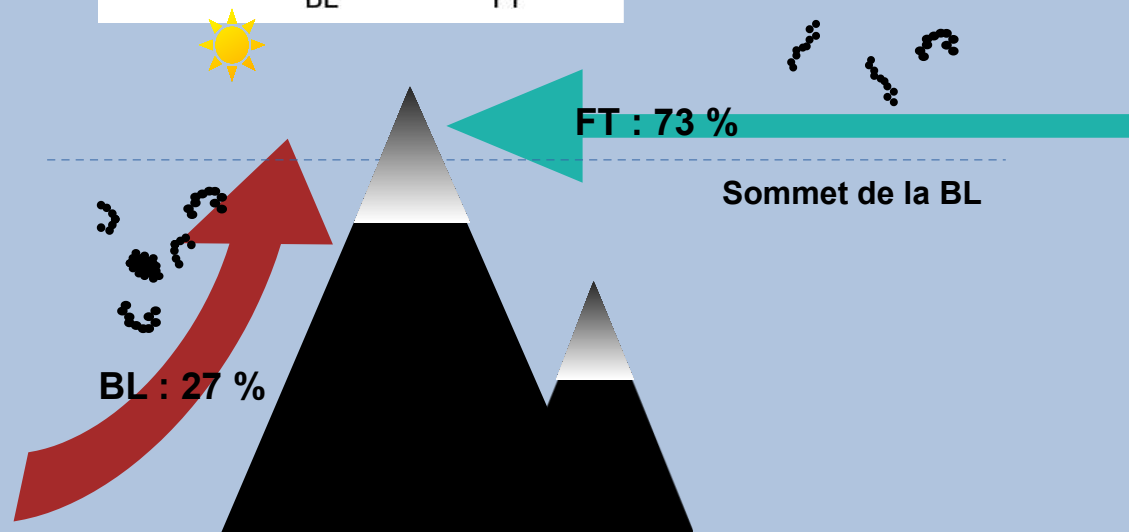
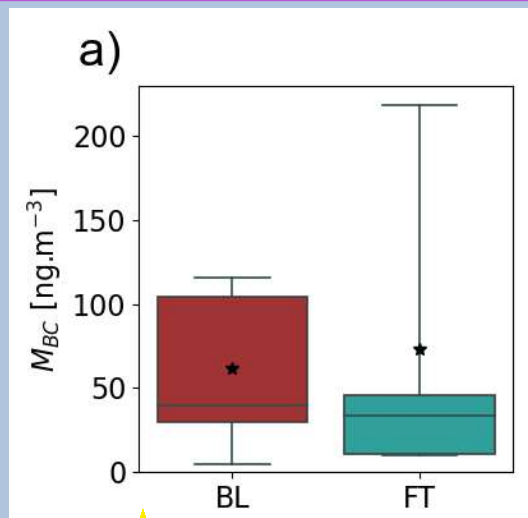
**Pourquoi une telle variabilité et un  $MAC_{BC}$  plus faible en été ?**

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

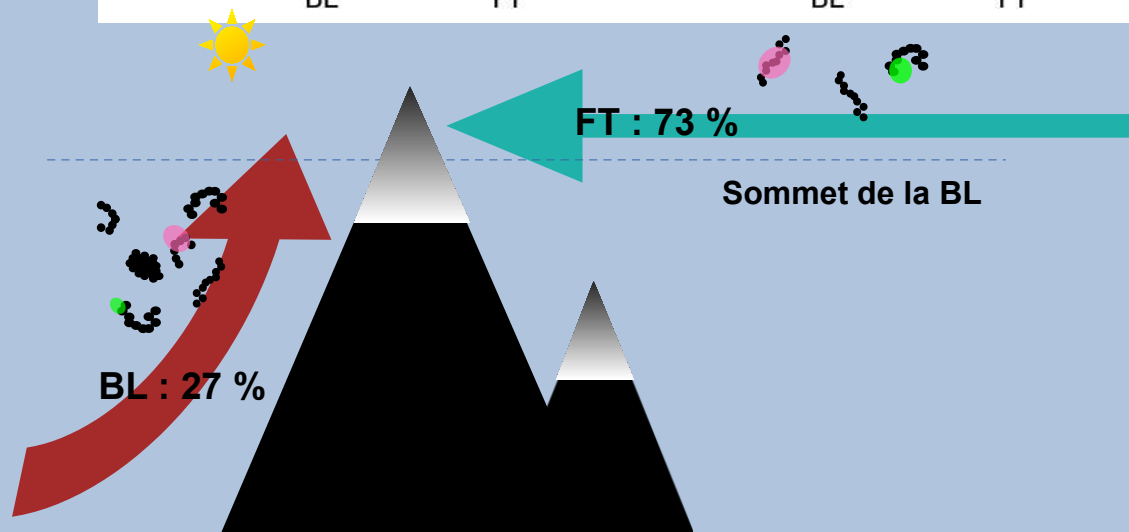
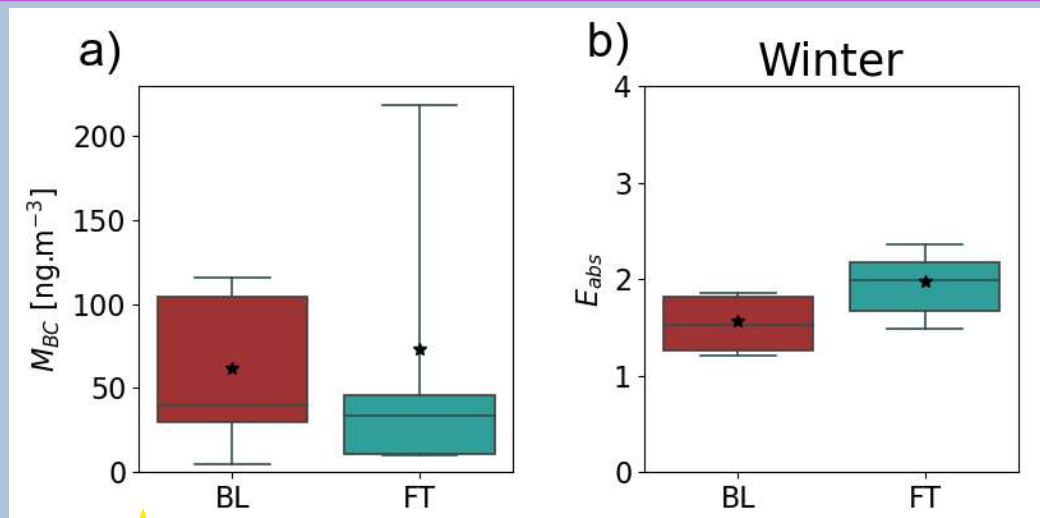
## Le cas de l'hiver



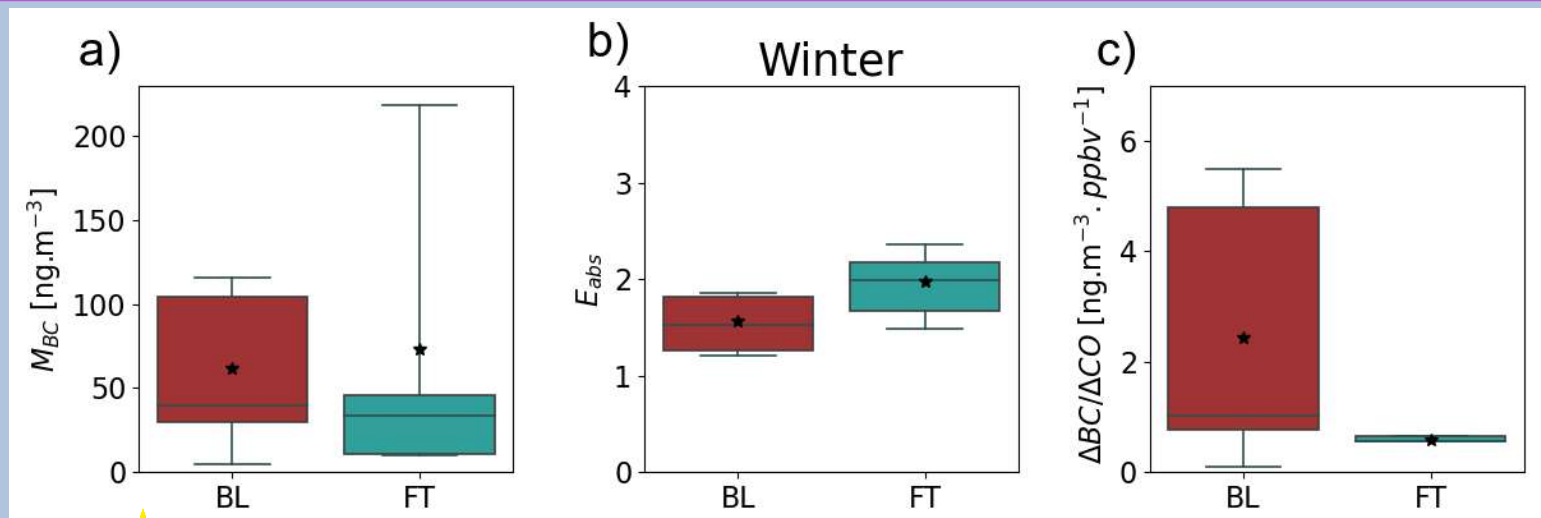
# IV. Influence de la couche limite sur les propriétés du BC en hiver



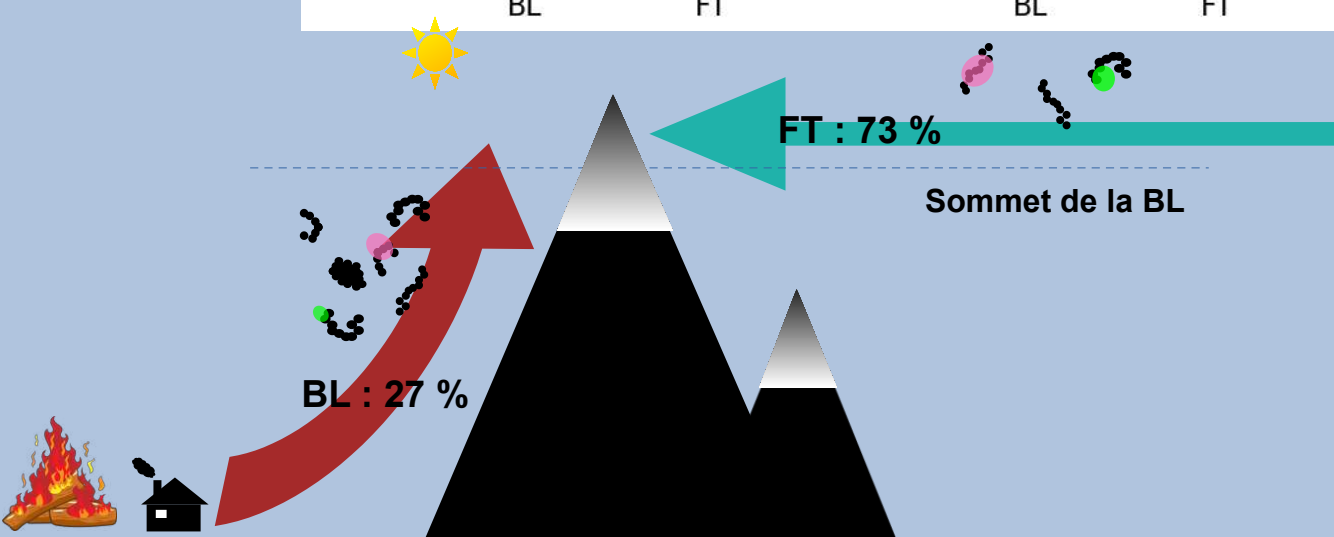
# IV. Influence de la couche limite sur les propriétés du BC en hiver



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

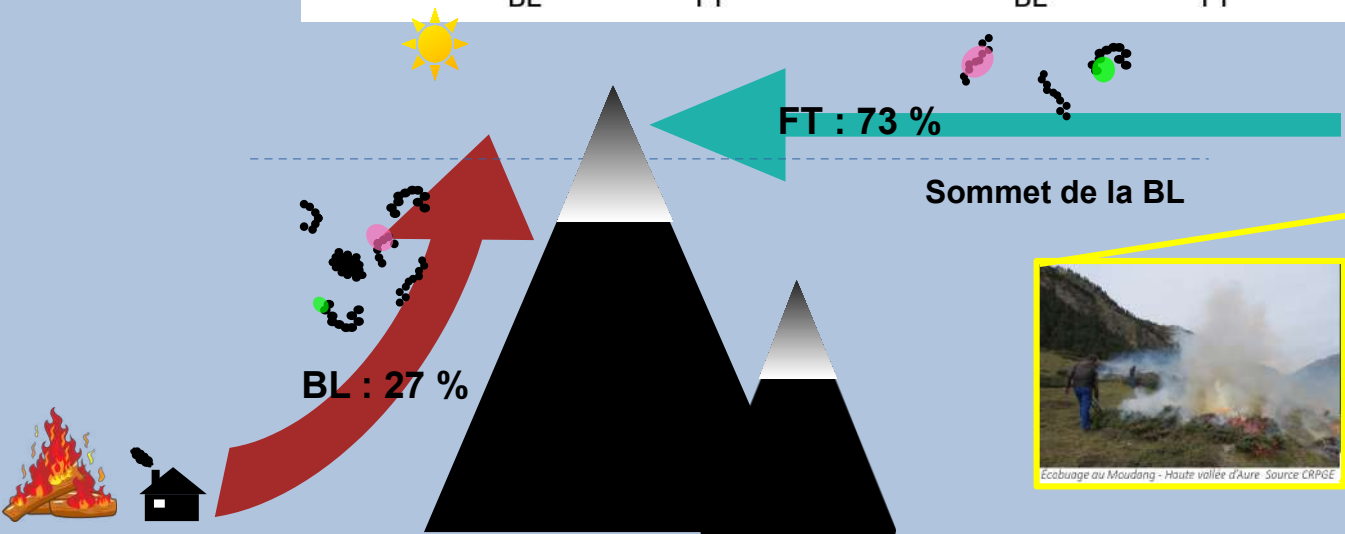
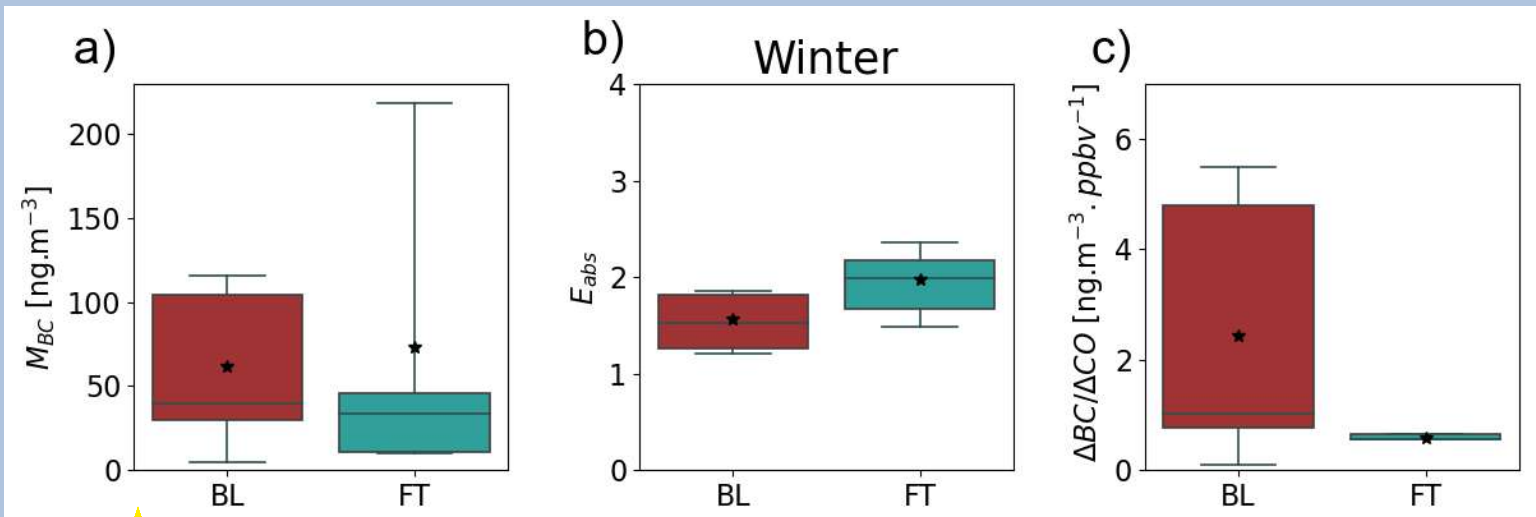


↑ Biomass burning  
↓ Fossil fuel

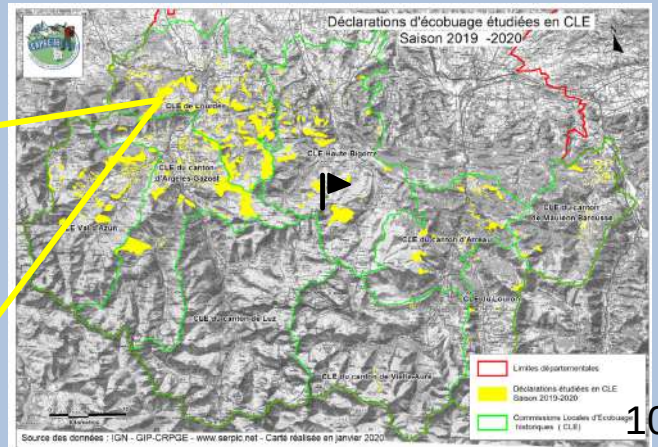




# IV. Influence de la couche limite sur les propriétés du BC en hiver

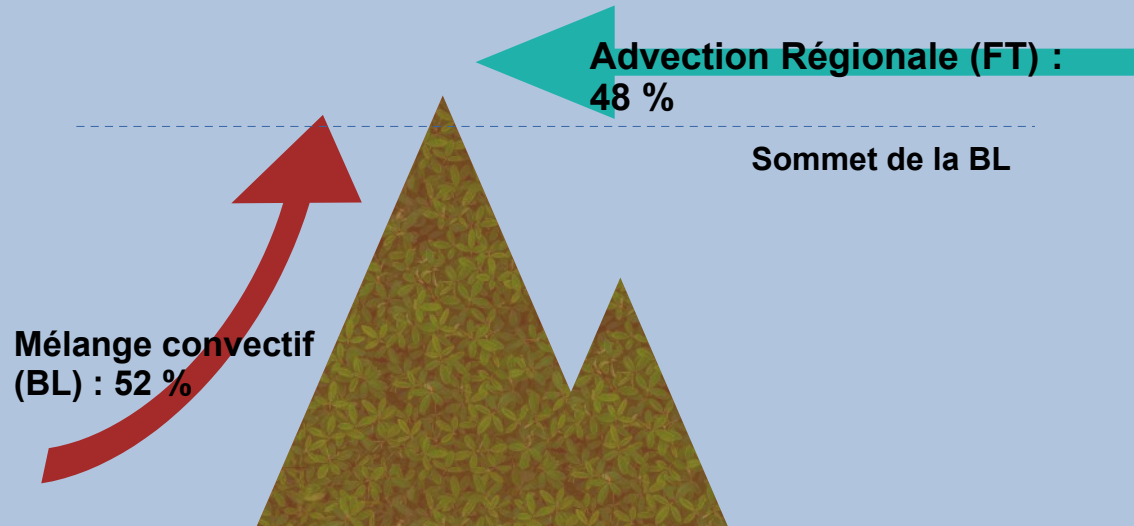


**>30000 Ha brûlés (02/2019)**

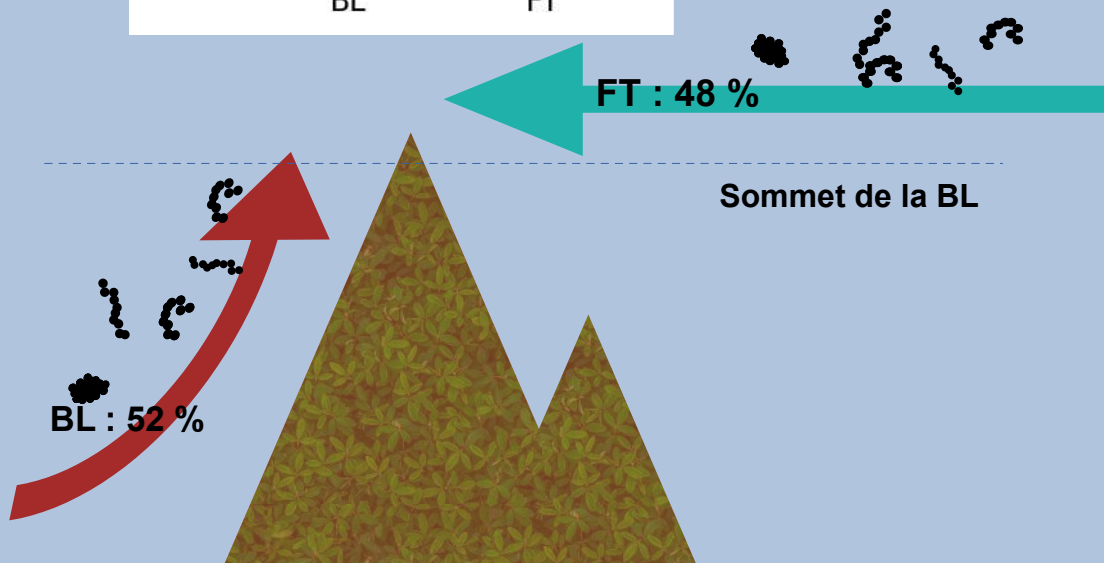
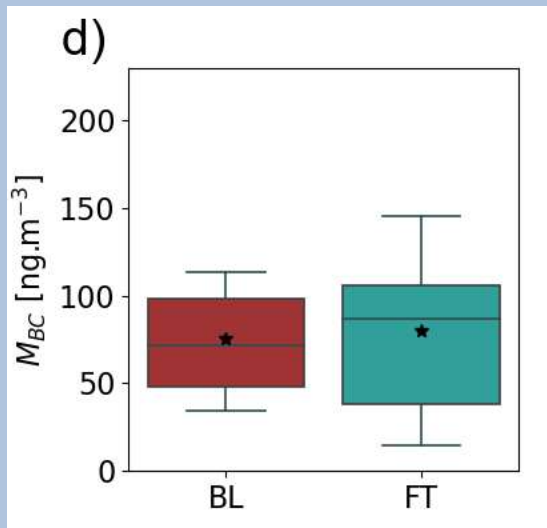


# IV. Influence de la couche limite sur les propriétés du BC

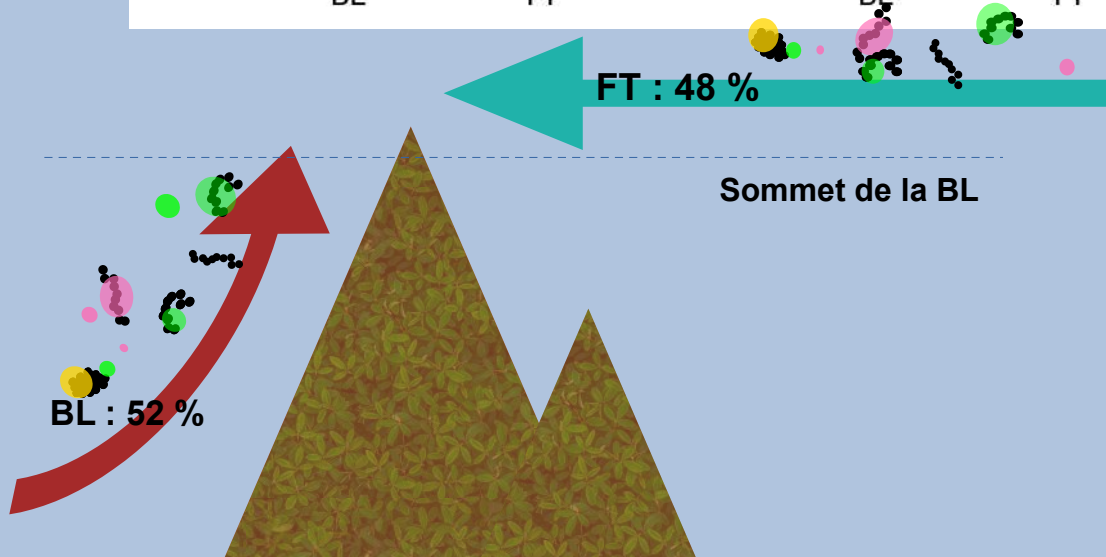
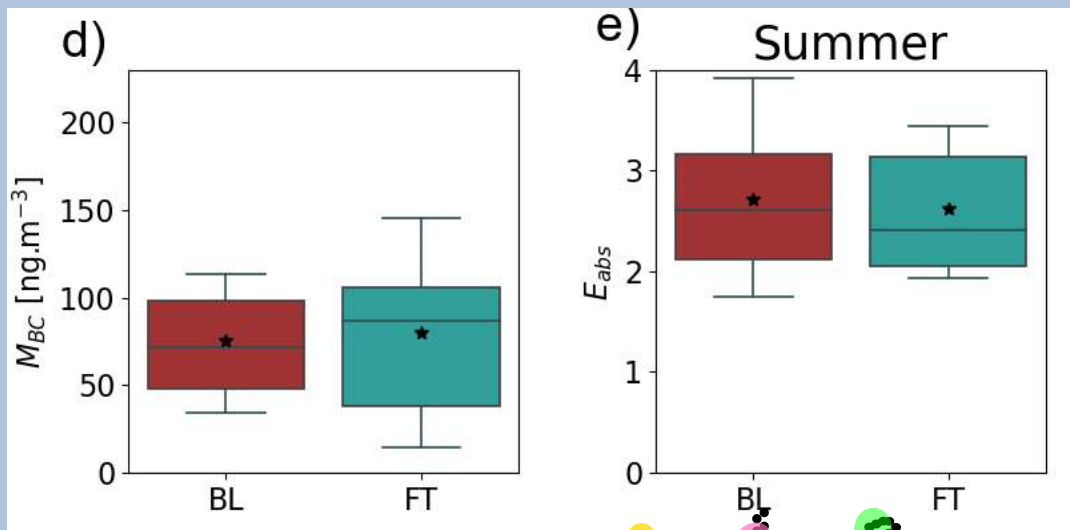
## Le cas de l'été



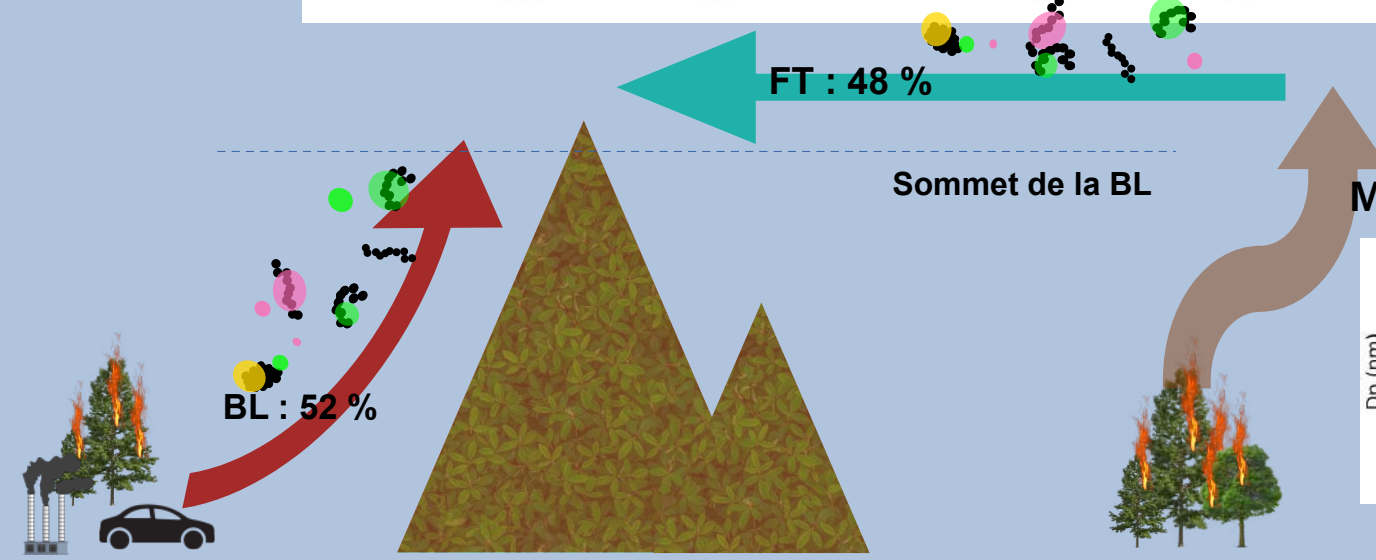
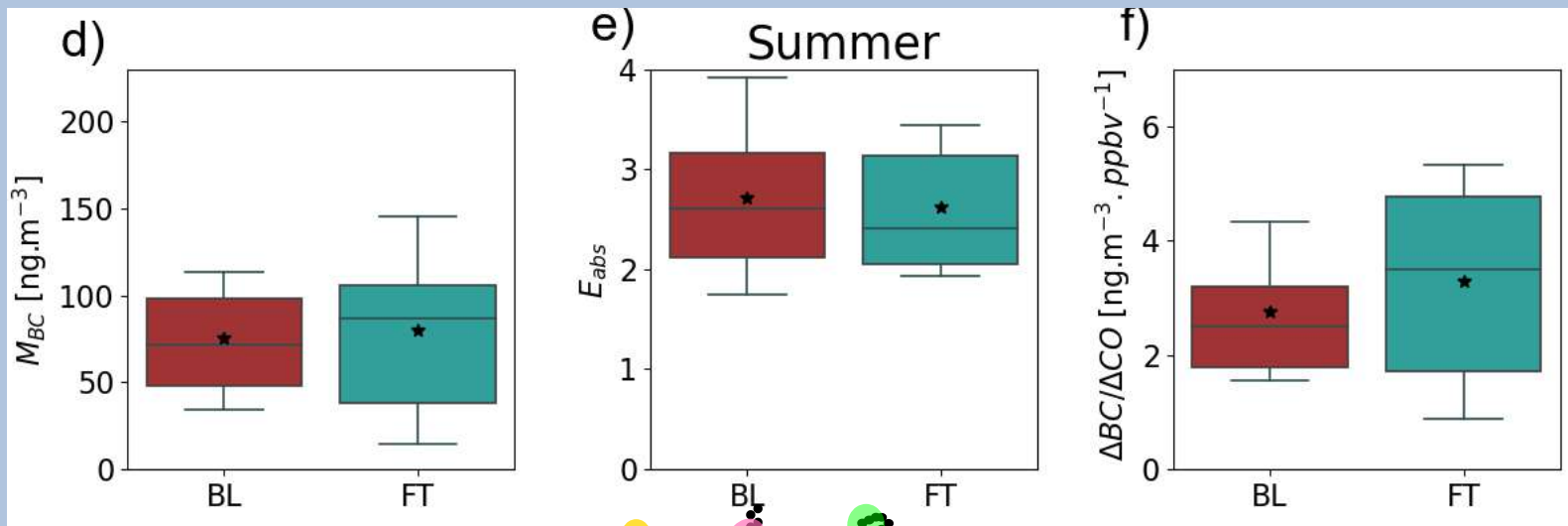
# IV. Transport majeur en troposphère libre en été



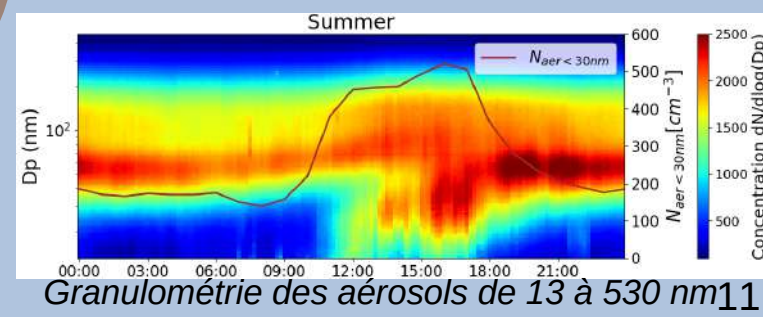
# IV. Transport majeur en troposphère libre en été



# IV. Transport majeur en troposphère libre en été



Mode accumulation transporté en FT





HIVER

ETE

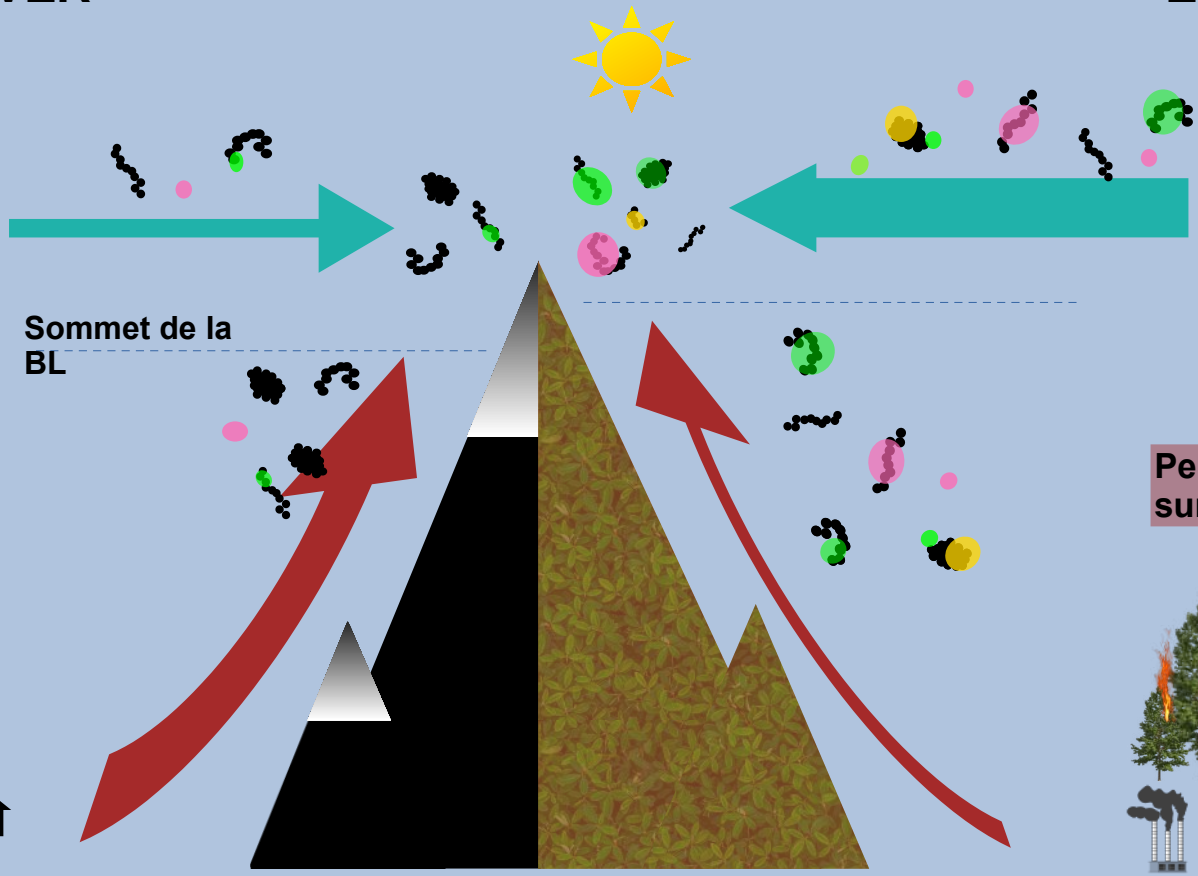
FT peu chargée en aérosols

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

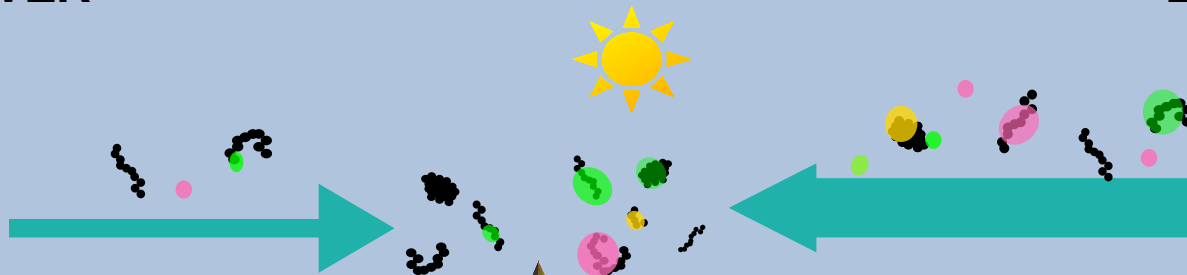
ETE

FT peu chargée en aérosols

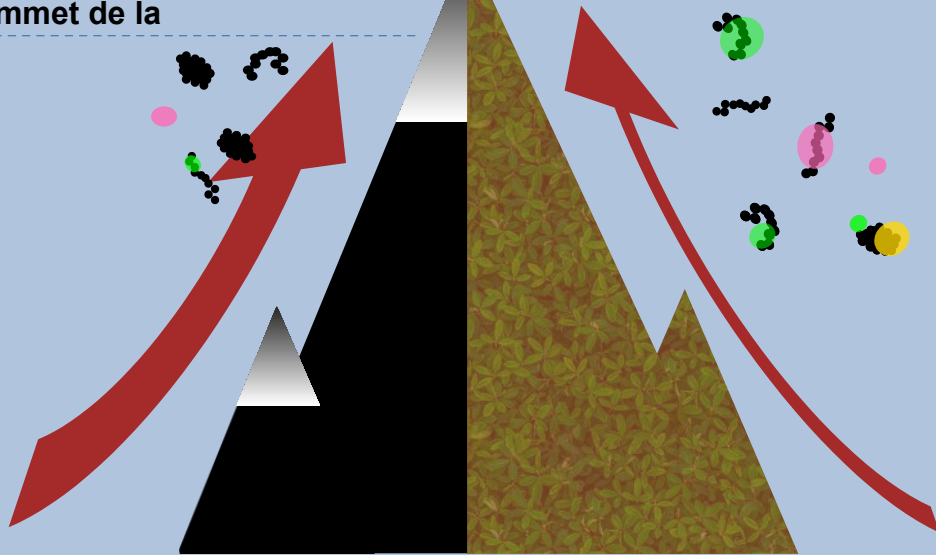
Transport omniprésent et massif en FT

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



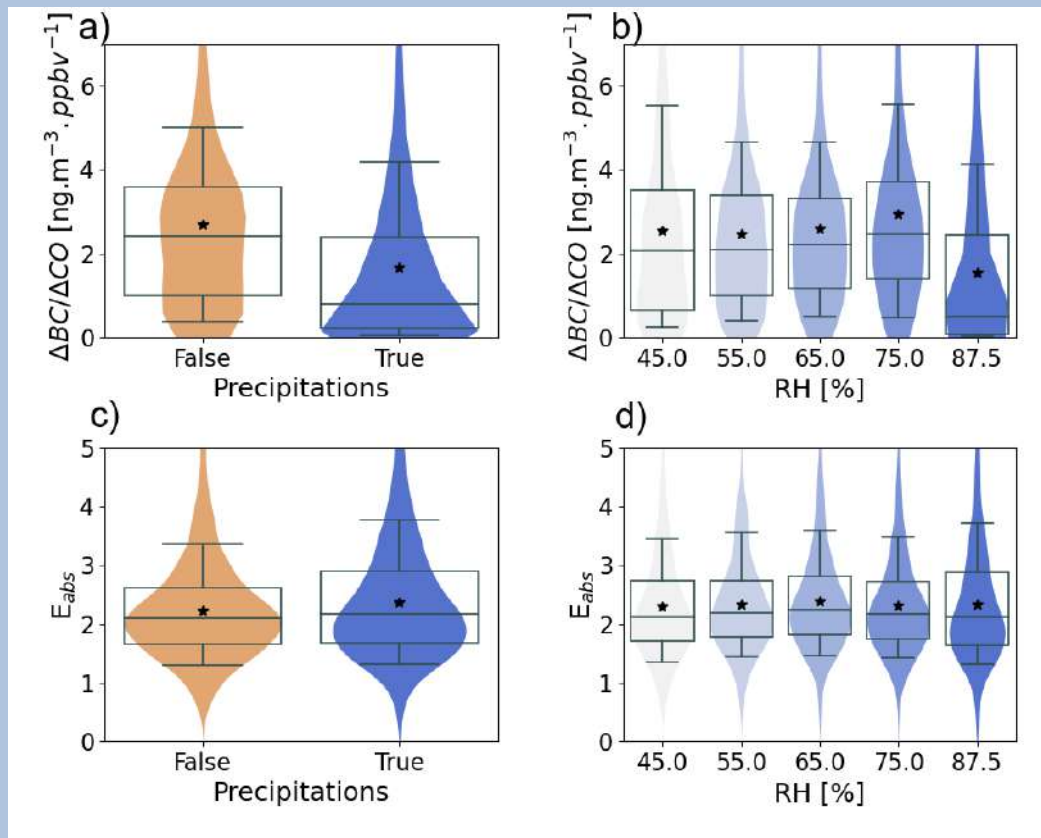
⇒ Propriétés du BC contrôlées par : La source du BC, son transport dans l'atmosphère, la dynamique de l'atmosphère et les processus chimiques

# 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*