

La litière des forêts méditerranéenne comme source d'émissions de composés organiques volatils (COV) dans un climat plus aride : quelle conséquence atmosphérique à l'échelle régionale ?



Thibaud LEGROS

Laboratoire : **IMBE** (UMR, 7263 CNRS, AMU, IRD, UA)
Equipe: **ECOSOM**

Encadrement: **Elena Ormeño et Catherine Fernandez**

Référents AtmoSud: **Sonia Oppo et Alexandre Armengaud**

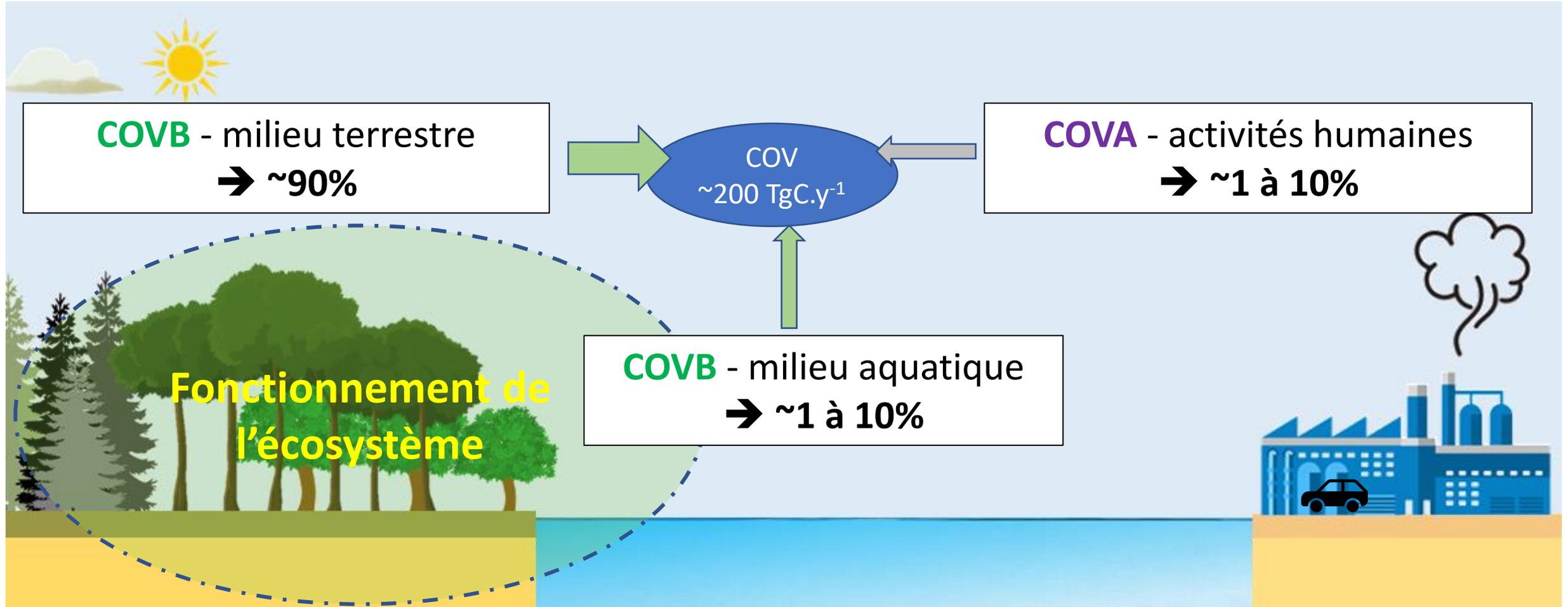
Financeurs: **Sud-PACA, AtmoSud (allocation doctorale)
EC2CO (fonctionnement)**





Les principales sources de COV

~200 millions de tonnes par an soit **100 fois moins que le CO₂** (Sindelarova et al., 2014)



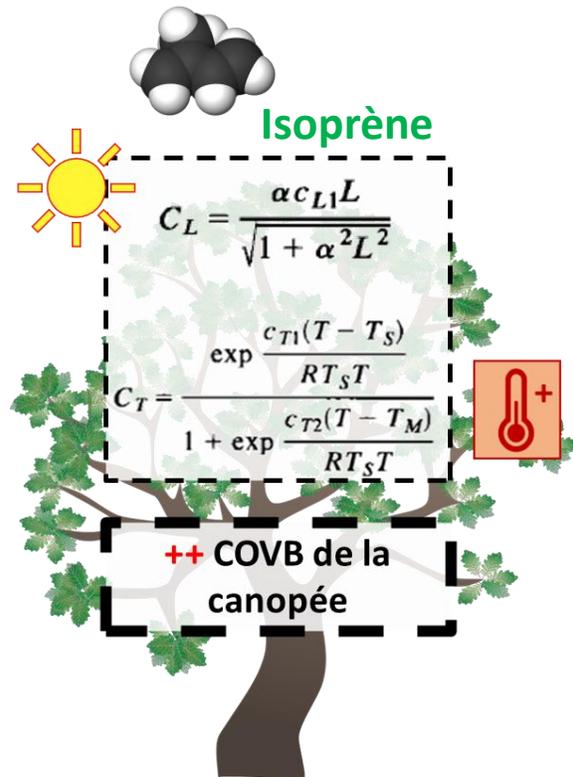
COVB terrestre et aquatique > 90% des émissions totales



Modélisation des COVB de la canopée

Canopée ~90% des COV émis à l'échelle globale

(Guenther et al., 1993; Sindelarova et al., 2014)

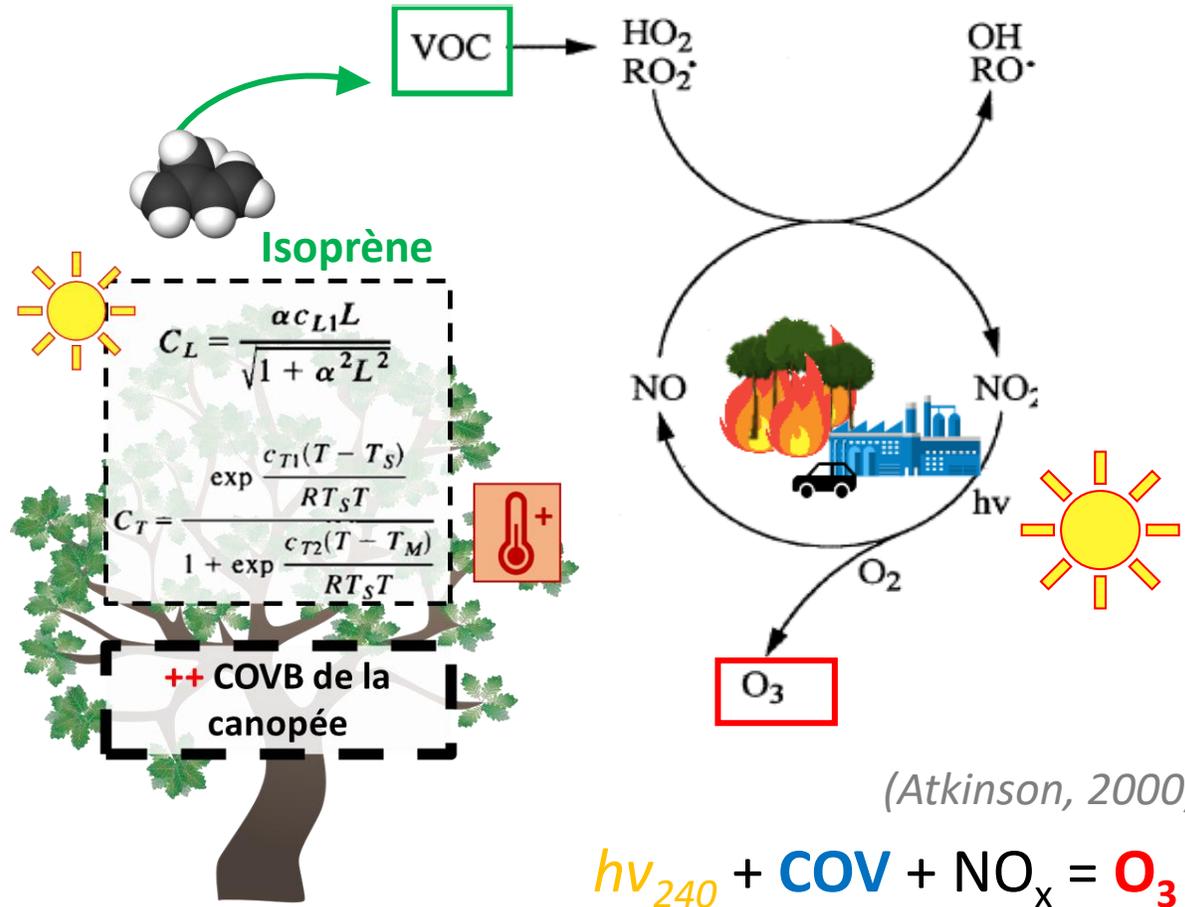




La photochimie troposphérique source d'ozone (O₃)

Canopée ~90% des COV émis à l'échelle globale

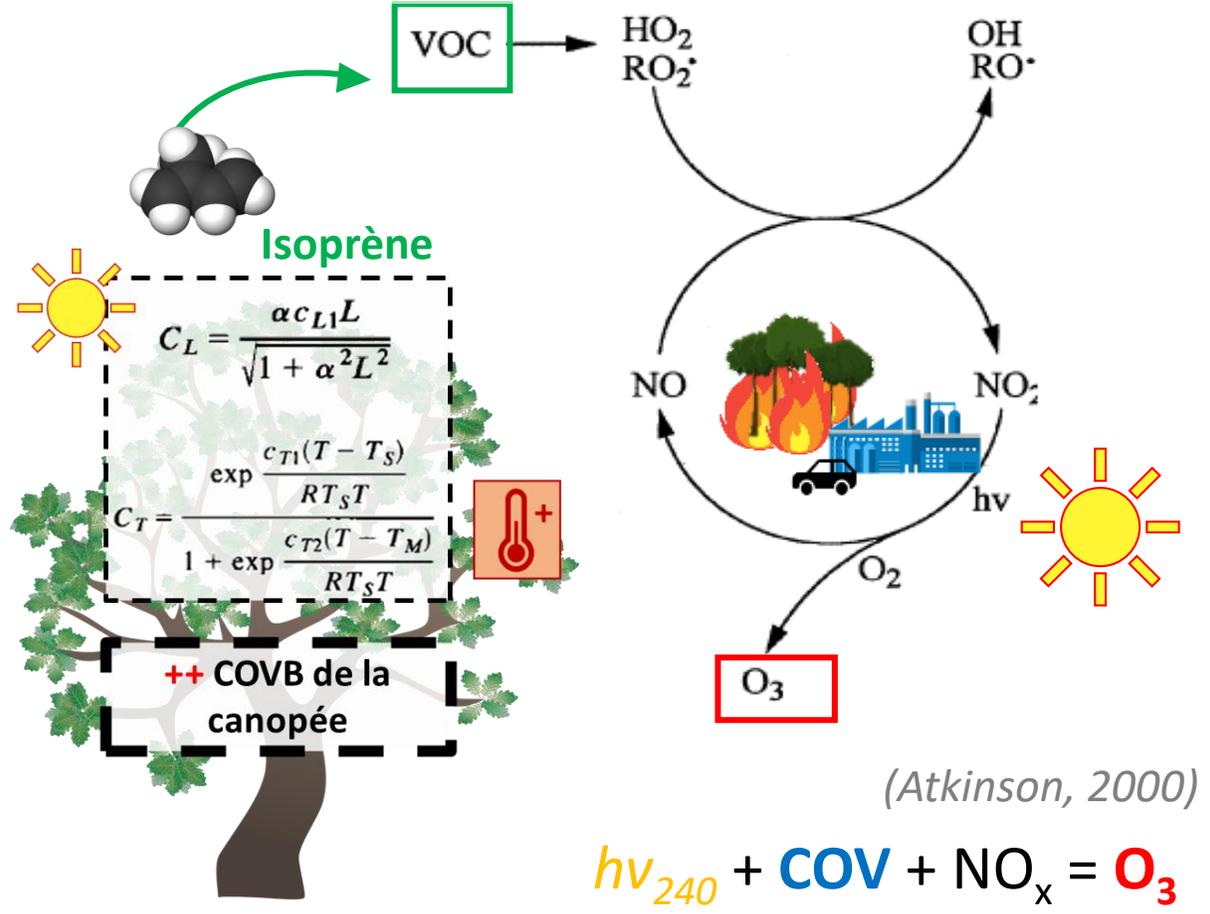
(Guenther et al., 1993; Sindelarova et al., 2014)



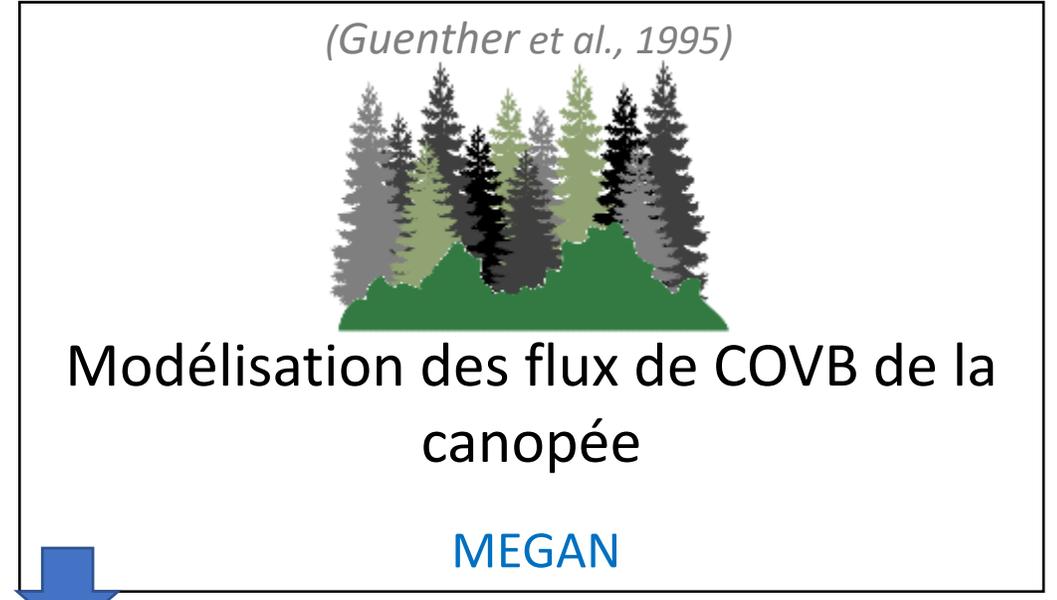


La photochimie troposphérique source d'ozone (O₃)

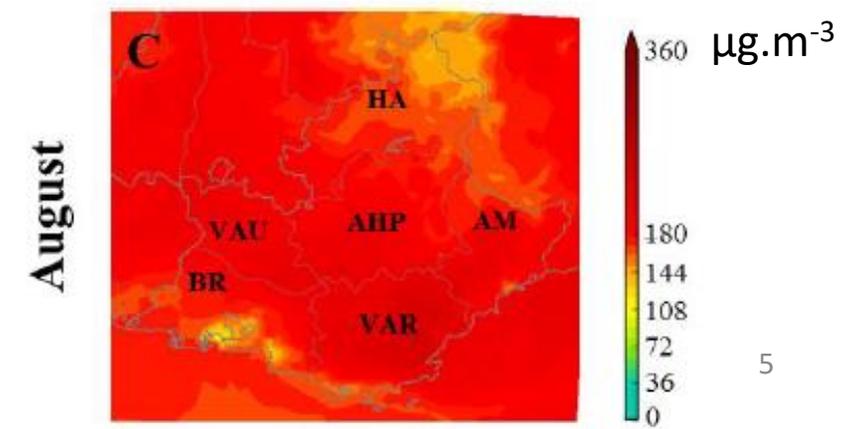
Canopée ~90% des COV émis à l'échelle globale
(Guenther et al., 1993; Sindelarova et al., 2014)



Modèle de chimie et de transport CHIMERE



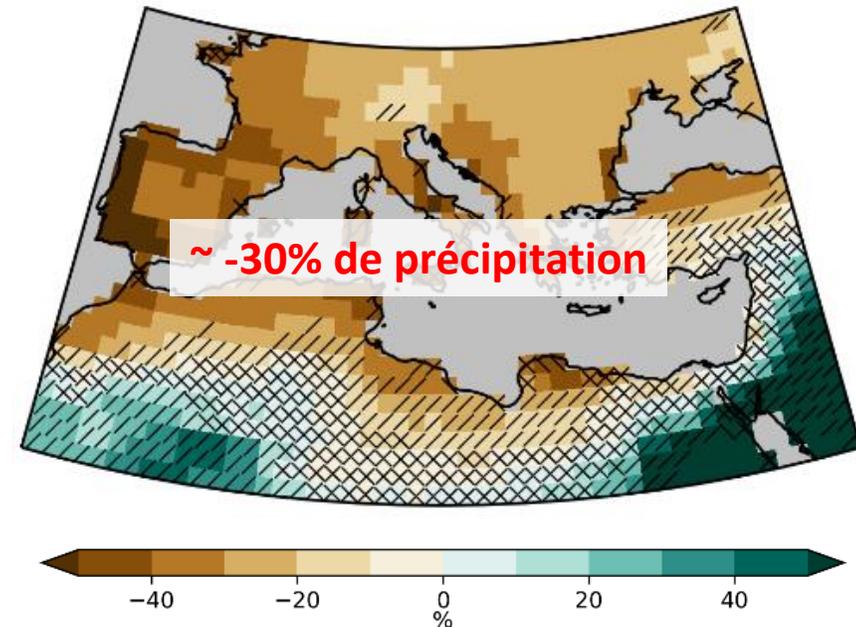
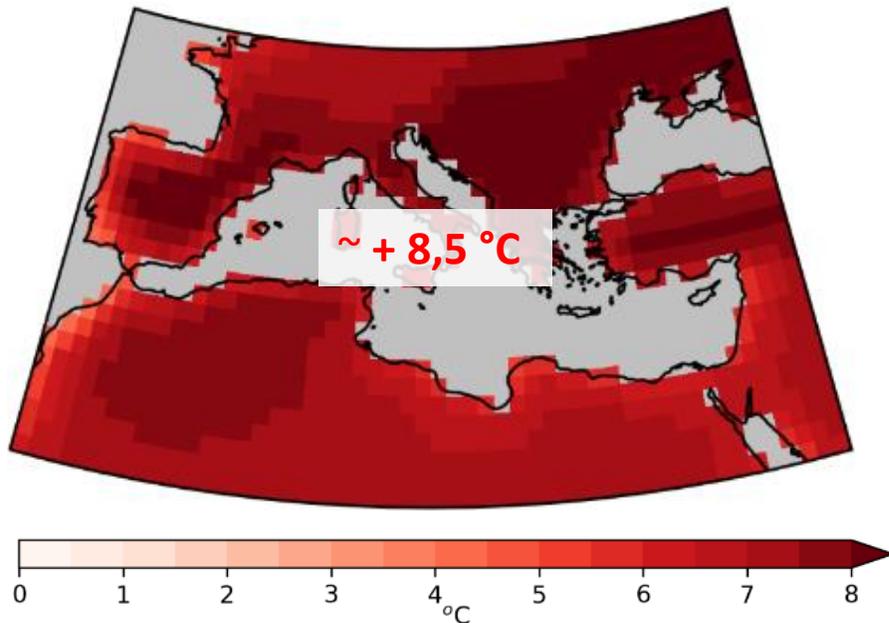
Modélisation de la formation d'O₃ en août 2003,





Le changement climatique en région méditerranéenne d'ici à la fin du siècle

SSP5- 8.5 (scénario sans modification de notre dépendance aux énergies fossiles)



Cos et al (2022) Earth System Dynamics (Model used CMIP : Coupled Model Intercomparison Project Phase)



Les flux COVB du sol et leur dépendance aux variables biotiques et abiotiques

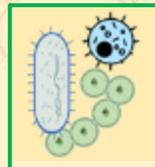
Biotique

Abiotique



Litière

Microorganismes et racines

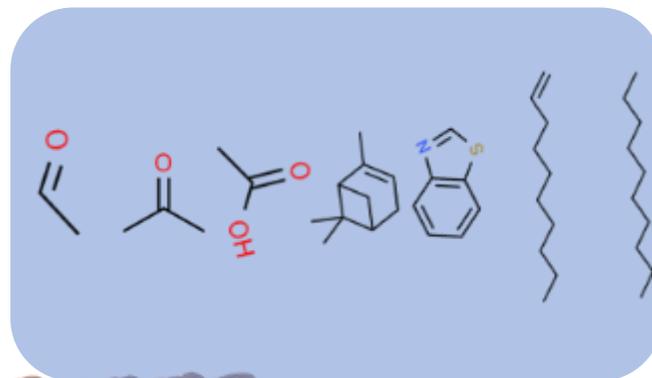




Les flux COVB du sol et leur dépendance aux variables biotiques et abiotiques

Biotique

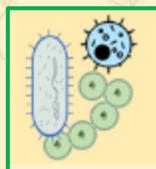
Abiotique



décomposition
biosynthèse
consommation

Litière

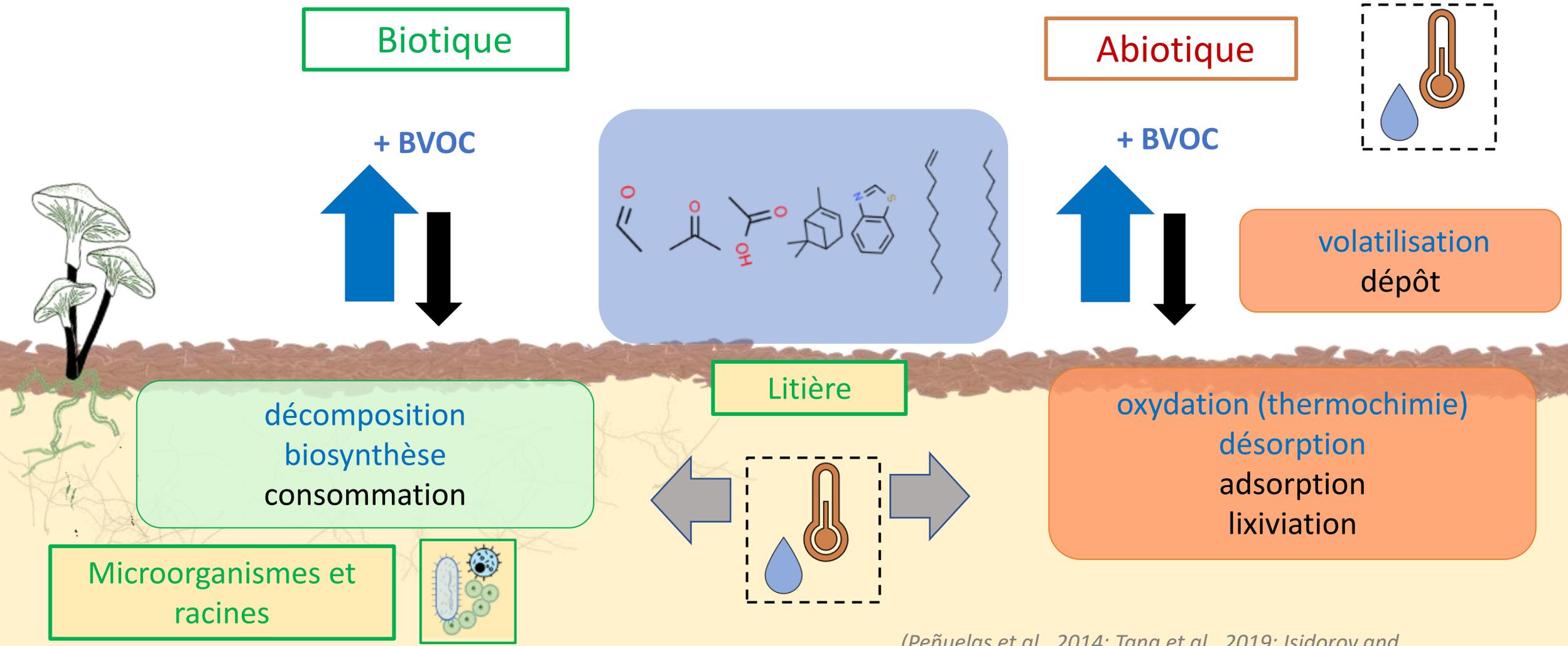
Microorganismes et racines



(Peñuelas et al., 2014; Tang et al., 2019; Isidorov and Zaitsev, 2022; Yang et al., 2024)



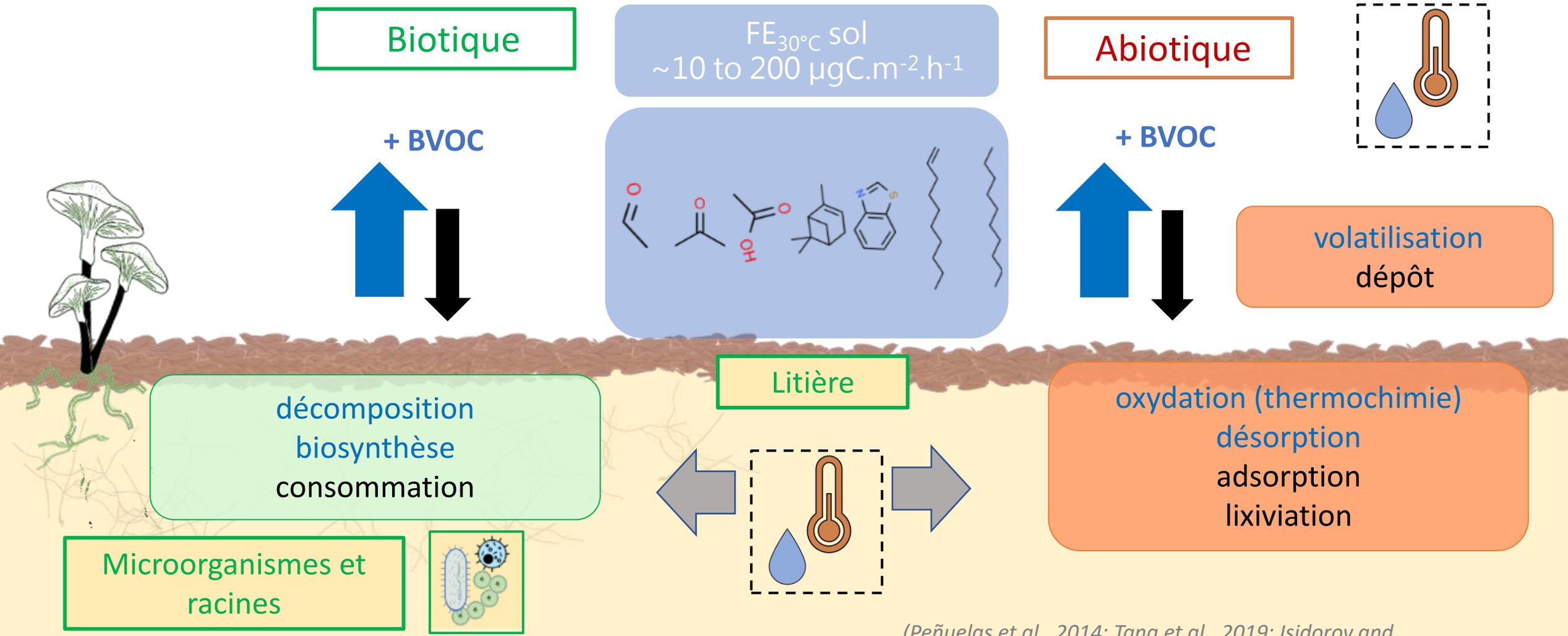
Les flux COVB du sol et leur dépendance aux variables biotiques et abiotiques



(Peñuelas et al., 2014; Tang et al., 2019; Isidorov and Zaitsev, 2022; Yang et al., 2024)



Les flux COVB du sol et leur dépendance aux variables biotiques et abiotiques



(Peñuelas et al., 2014; Tang et al., 2019; Isidorov and Zaitsev, 2022; Yang et al., 2024)



Expérimental: mesurer l'impact du **stress hydrique amplifié** ($SA = -30\%$ de précipitations > 10 ans) sur les **émissions de COVB** du sol couvert de litière dans les forêts méditerranéennes



Chapitre I : forêt décidue (chêne pubescent)

- Système d'exclusion dynamique
- Analyse PTR-ToF-MS (*on-line*)



Chapitre II : forêt mixte sempervirente (pin d'Alep et chêne vert)

- Système d'exclusion statique
- Analyse GC-MS (*off-line*)



Expérimental: mesurer l'impact du **stress hydrique amplifié** ($SA = -30\%$ de précipitations > 10 ans) sur les **émissions de COVB** du sol couvert de litière dans les forêts méditerranéennes



Chapitre I : forêt décidue (chêne pubescent)

- Système d'exclusion dynamique
- Analyse PTR-Tof-MS (*on-line*)

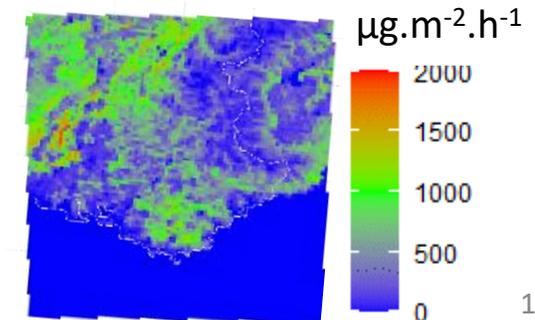


Chapitre II : forêt mixte sempervirente (pin d'Alep et chêne vert)

- Système d'exclusion statique
- Analyse GC-MS (*off-line*)

Modélisation: Chapitre III : impact du **SA** sur la formation d' O_3 troposphérique en région PACA :

- MEGAN (COV[canopée +sol])
- CHIMERE (Chimie et transport)





O₃HP: Dispositif expérimental INRAE du réseau ANAEE



Automated roof
(rain exclusion device)

Forêt décidue
SN (sécheresse naturelle)
Climat naturel
300 m²



SA (sécheresse amplifiée) : 10 ans
-35 % de précipitations
300 m²

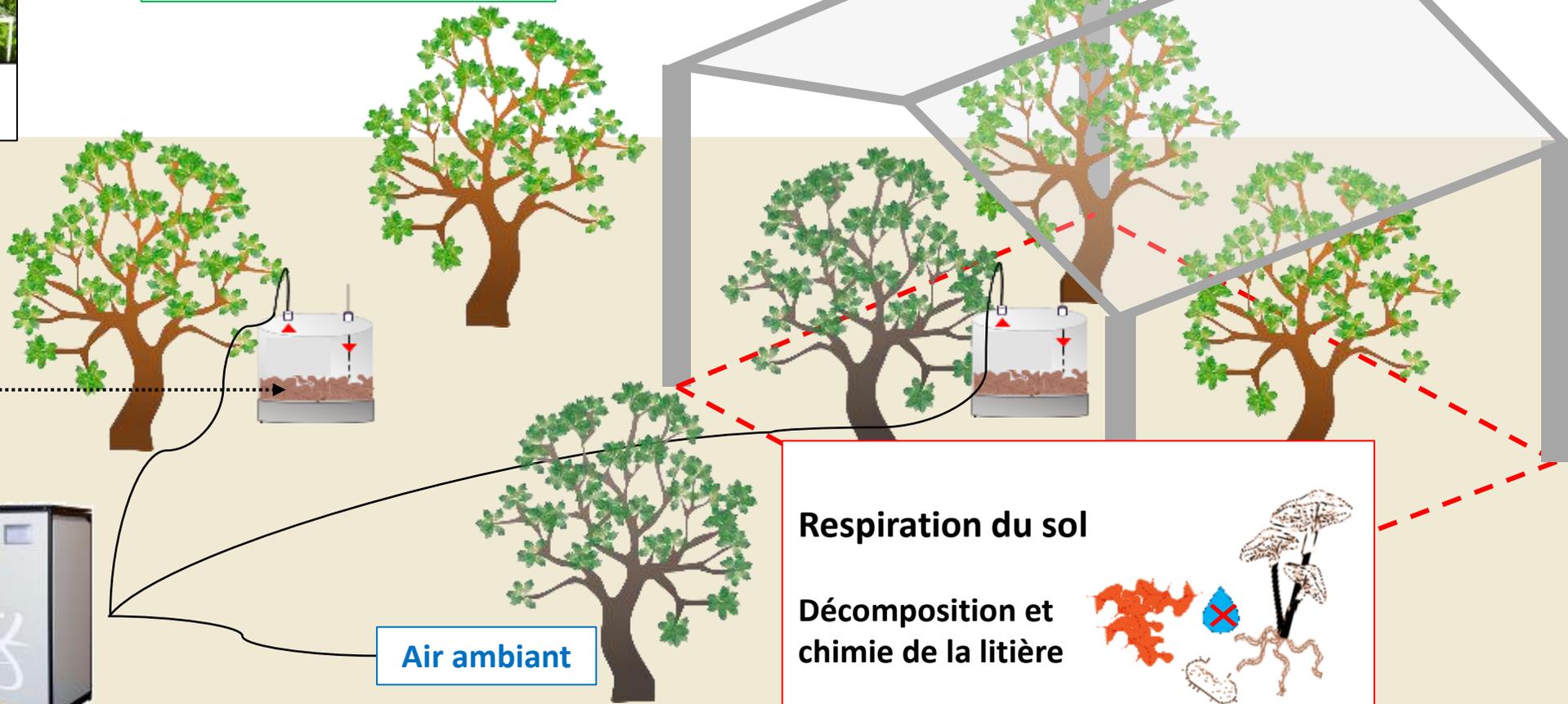


Chambre dynamique
(flux continue)

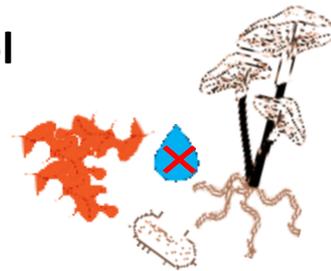
PTR-TOF-MS
24h on-line



Air ambiant



Respiration du sol
Décomposition et chimie de la litière





Fontblanche: Dispositif expérimental INRAE du réseau ANAEE



Stress hydrique (AD)
35 % d'exclusion



Système d'exclusion statique depuis 2008

Forêt mixte pin d'Alep et chêne vert

625 m² = zone d'exclusion (gouttière)

625 m² = sans exclusion (gouttière inversée)

Variables analysées:

-Abiotique

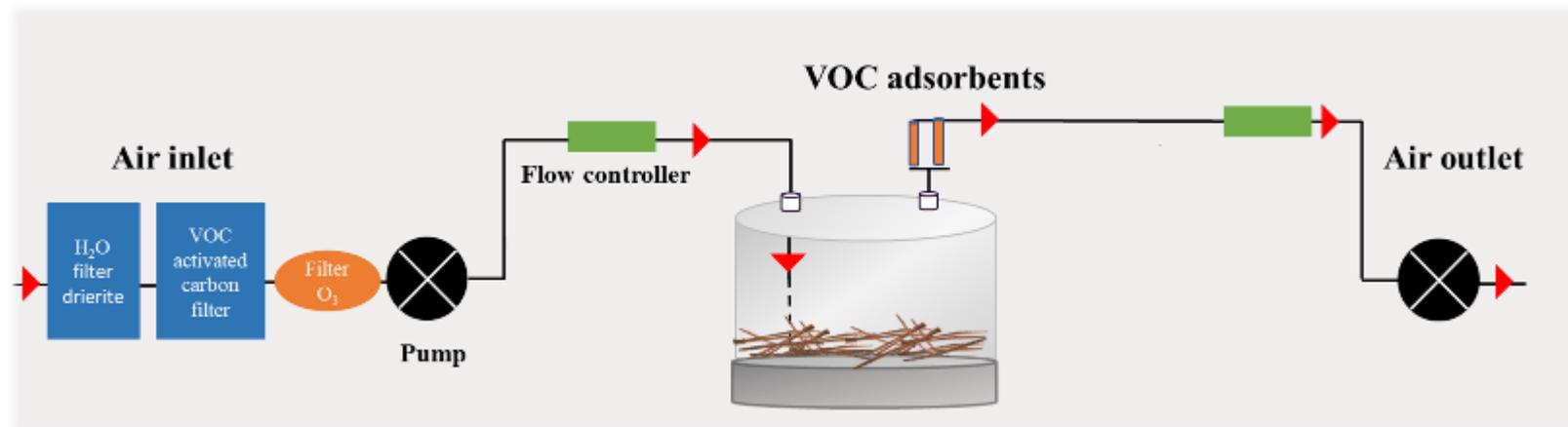


-Biotiques

MS et surface de litière de
chaque espèce *P. halepensis* et
Q. ilex



Piégeage dynamique des COVB dans les tubes tenax

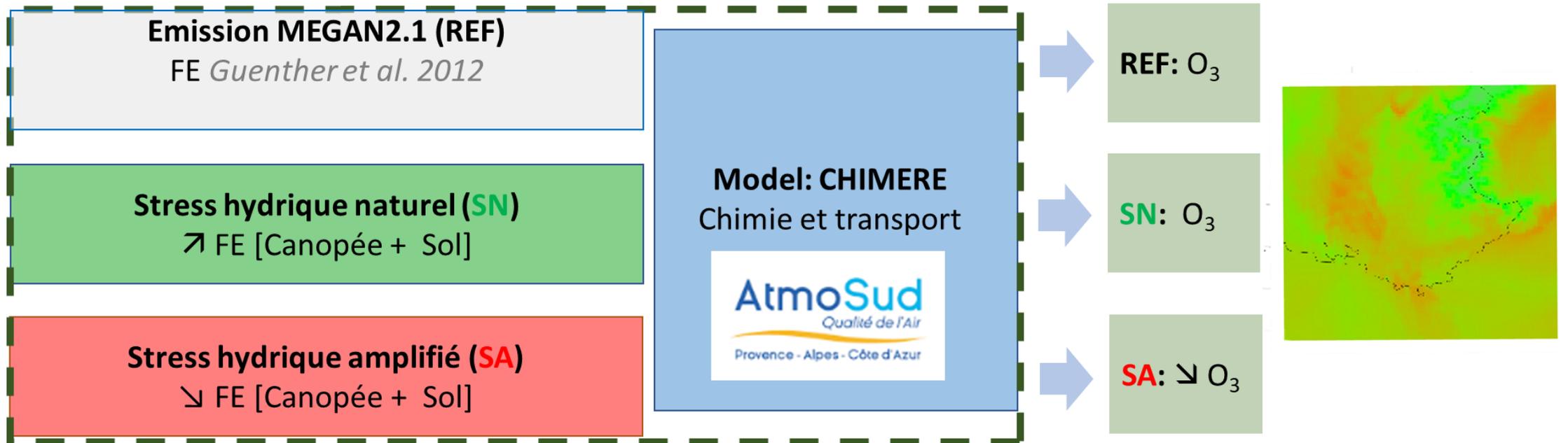


Off-line GC-MS



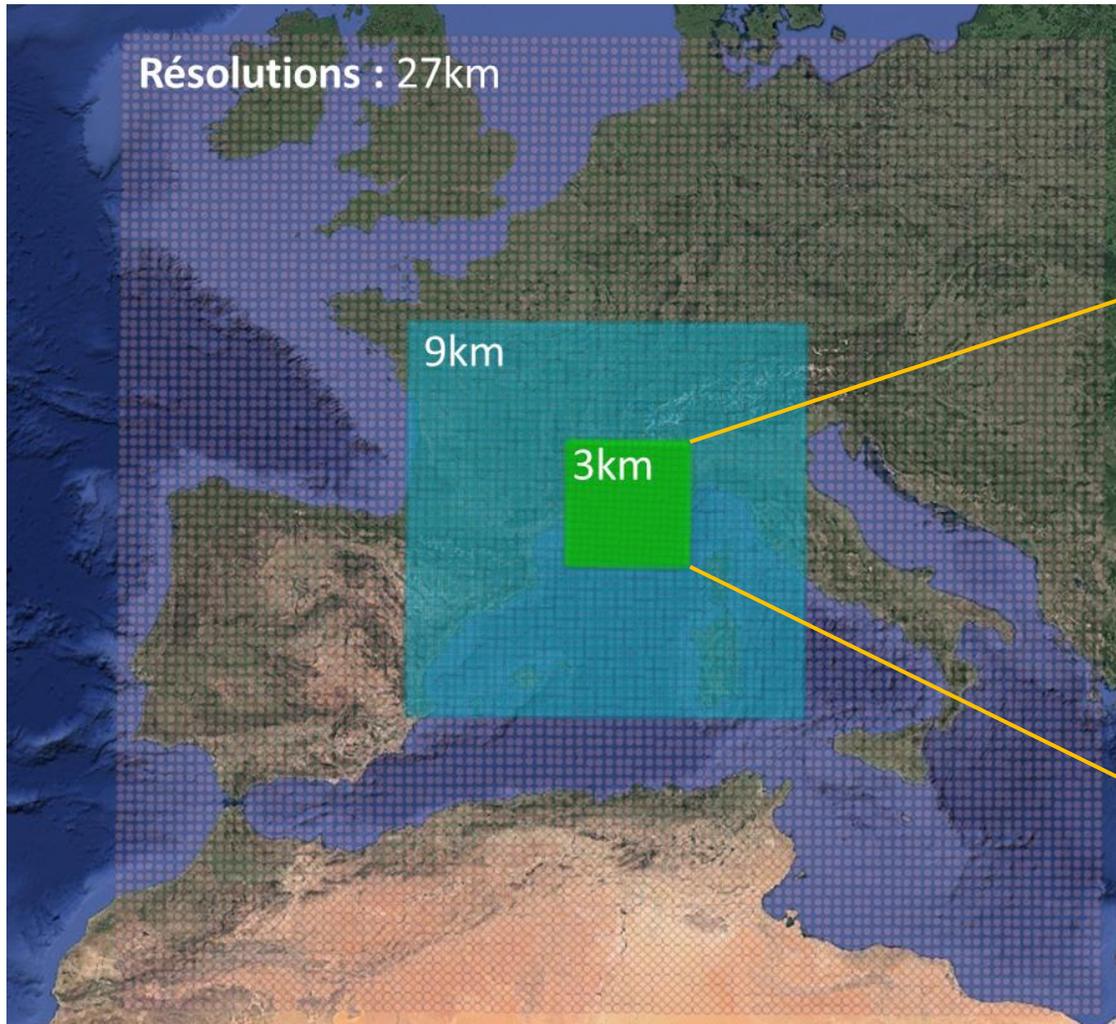


Scénarios de modélisation de l'ajout des émissions de COVB en région Sud-PACA

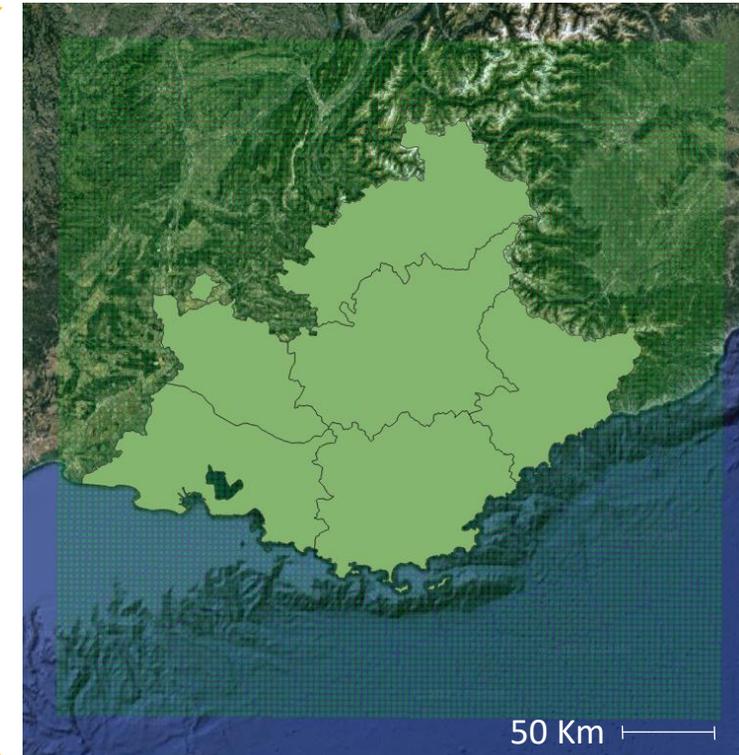




Empreintes des domaines imbriqués pour la modélisation



Région Sud-PACA





Ajouter les émissions de COVB des sols forestier dans CHIMERE

Emissions anthropiques NO_x et COV
litière = $EF \times e^{(\beta \times T - Ts)}$
PFT = CLM4

Modèles et données couplées
météo
utilisation du sol

CHIMERE

Processus de chimie atmosphérique

Emission biogénique (MEGAN)
EF deciduous and coniferous - PFT (CLM4)
- poussières/feux/sel marin/volcans



Flux diurnes et modélisation des COVB selon la température

Corrélations de Pearson COVB/température

Compounds	Temperature (<i>r</i> , Pearson)
Acetaldehyde	0.90 ***
Acetone	0.89 ***
Monoterpenes	0.22 ns
Acrolein	0.60 ***
Acetic acid	0.46 ***
Hexanol	0.48 ***
Octenol	0.75 ***
Isoprene	-0.77 ***
Minor compounds	0.85 ***
Total compounds	0.86 ***



Flux diurnes et modélisation des COVB selon la température

Corrélations de Pearson COVB/température

Compounds	Temperature (<i>r</i> , Pearson)
Acetaldehyde	0.90 ***
Acetone	0.89 ***
Monoterpenes	0.22 ns
Acrolein	0.60 ***
Acetic acid	0.46 ***
Hexanol	0.48 ***
Octenol	0.75 ***
Isoprene	-0.77 ***
Minor compounds	0.85 ***
Total compounds	0.86 ***

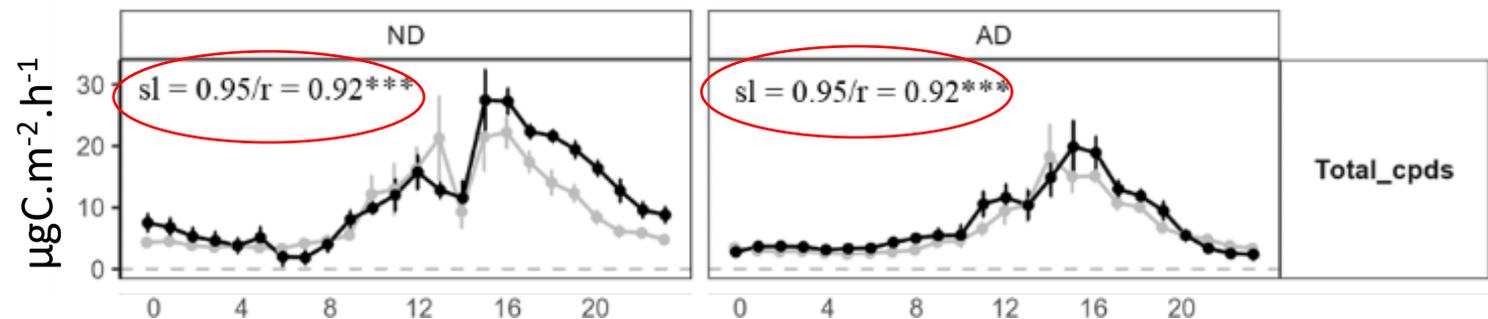


Algorithme C_T de Guenther (1993), pour la dépendance des monoterpène à la température

$$TE_{mod} = FE_{mod} \times \exp^{\beta(T-T_s)}$$

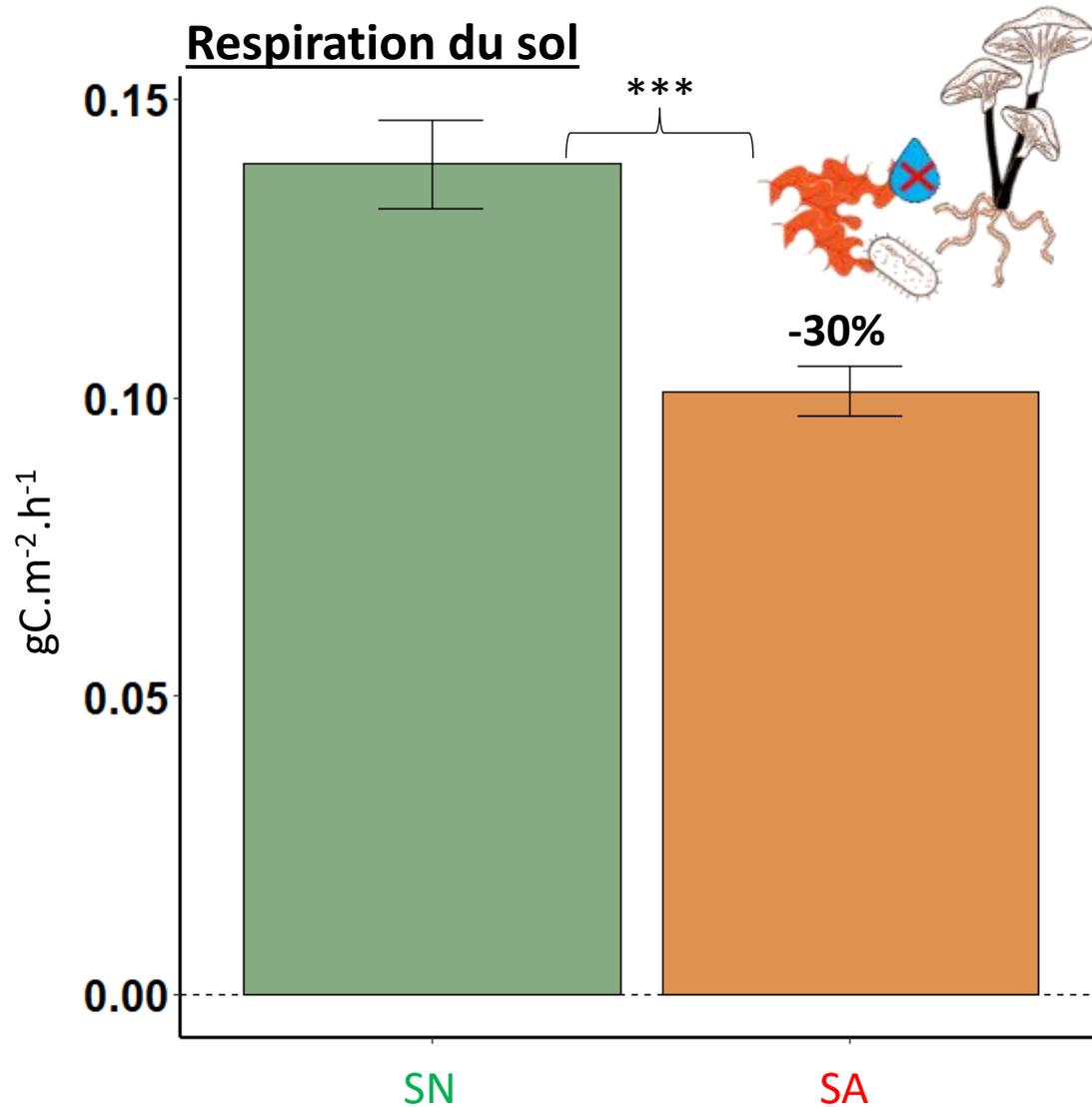


COVB de la litière modélisés (en gris) avec le T-algorithme vs émission réelles (en noir)



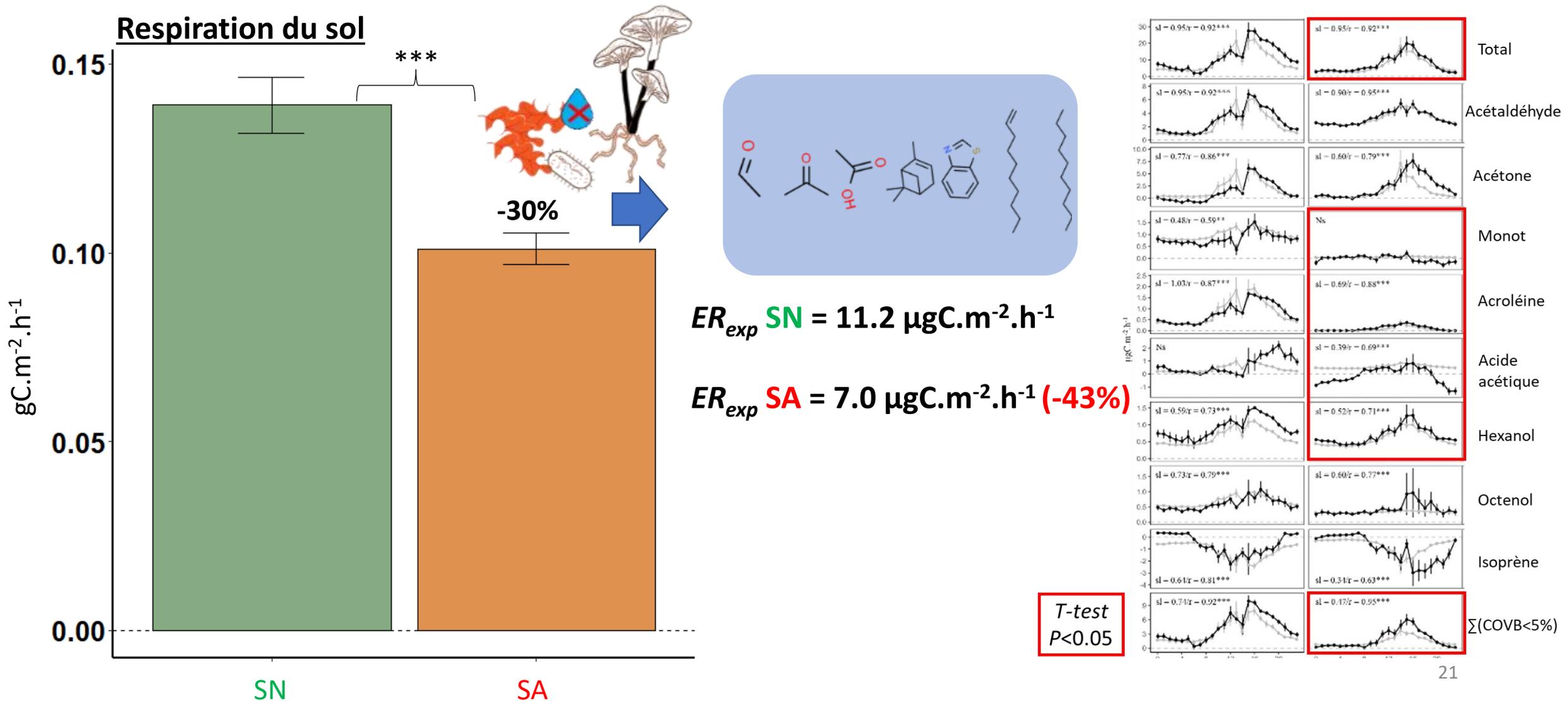


Impact du stress hydrique sur l'activité biologique et sur les COVB



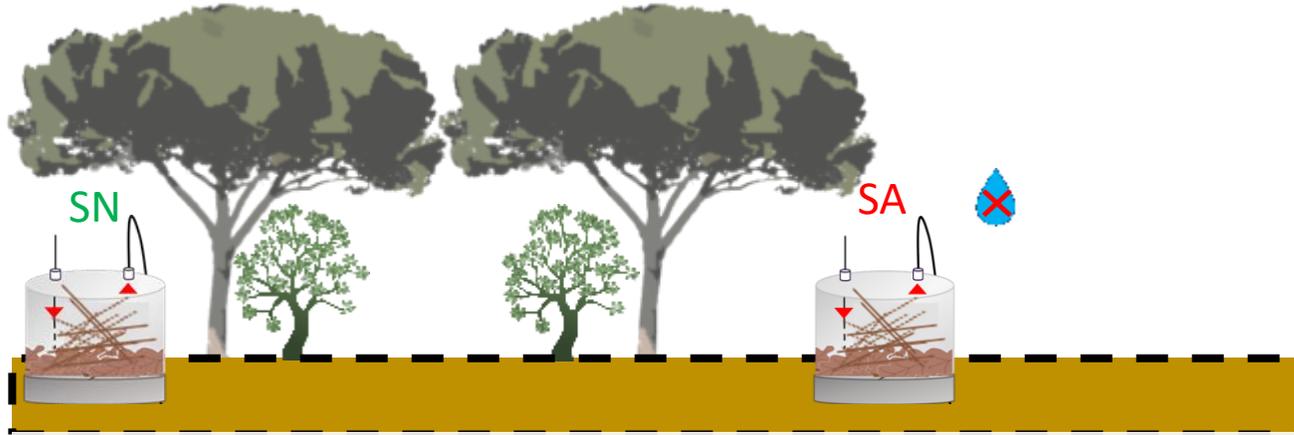


Impact du stress hydrique sur l'activité biologique et sur les COVB





Impact du stress hydrique les flux de COVB



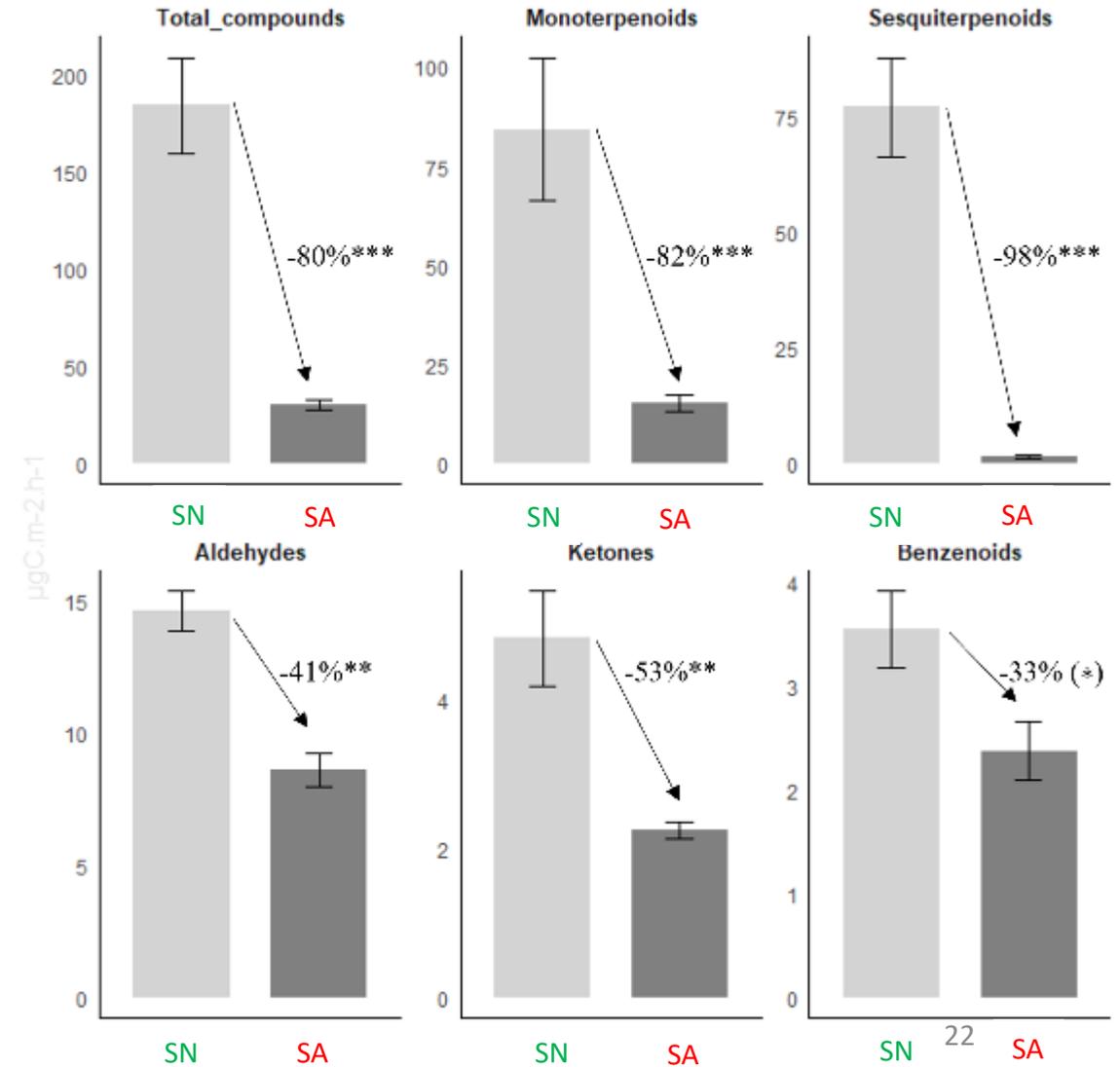
SN émission importantes comparée à celles de l'O₃HP

SN = 184.3 $\mu\text{gC.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$

SA = 30.0 $\mu\text{gC.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$

SA \searrow **80%** des émissions totales de COVB du sol

Emissions majoritaire **SN** et **SA**





Impact du stress hydrique les flux de COVB



SN émission importantes comparée à celles de l'O₃HP

SN = 184.3 $\mu\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$

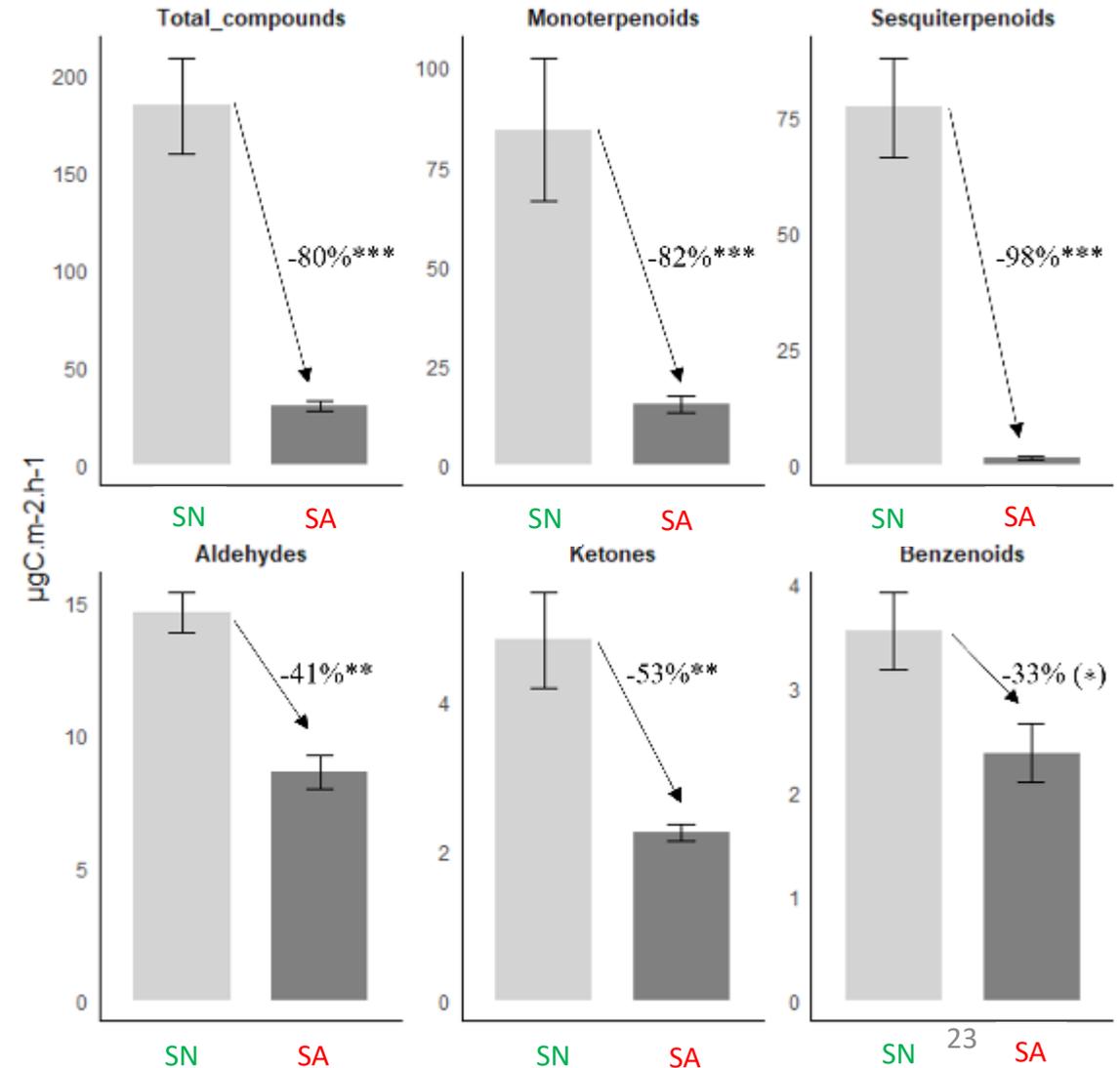
SA = 30.0 $\mu\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$

SA \searrow **80%** des émissions totales de COVB du sol

L'eau \rightarrow premier driver de l'activité des microorganismes en milieu méditerranéen (Ogaya and Peñuelas, 2021; Yang et al., 2024a)

\searrow de la synthèses des métabolites secondaires dans la feuille (Peñuelas et al., 2017; Ghazghazi et al., 2022) et donc dans la future litière (Aupic-Samain et al., 2021; Quer et al., 2022).

Emissions majoritaire **SN** et **SA**



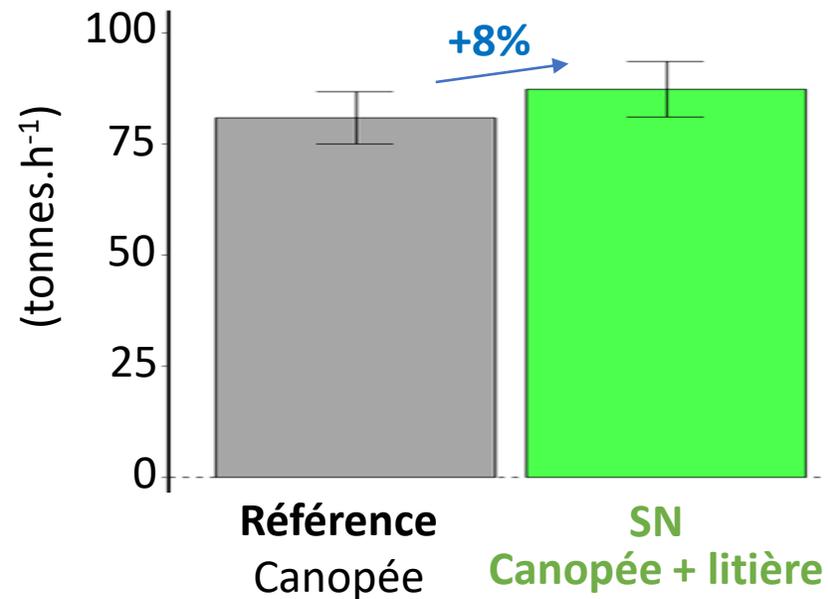


Impact des émissions de COVB des sol forestiers sur la formation d'ozone (O_3) en région PACA

- Période : 15 - 25 juillet 2022
entre 11h et 15h.

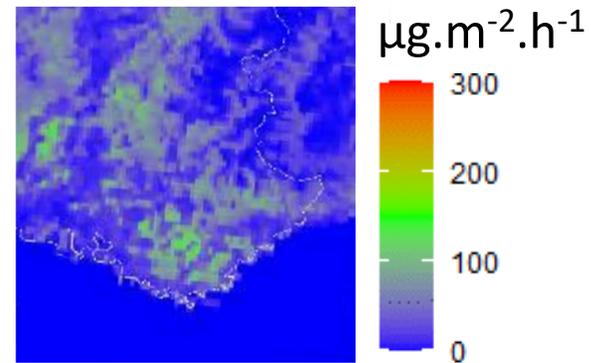
Emissions prises en compte : acétaldéhyde, acétone, monoterpènes et caryophyllène

Taux d'émission



COVB

[SN-Référence]



L'ajout de litière ↗ les maximums
 $ER_{tot} > 200 \mu\text{g.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$

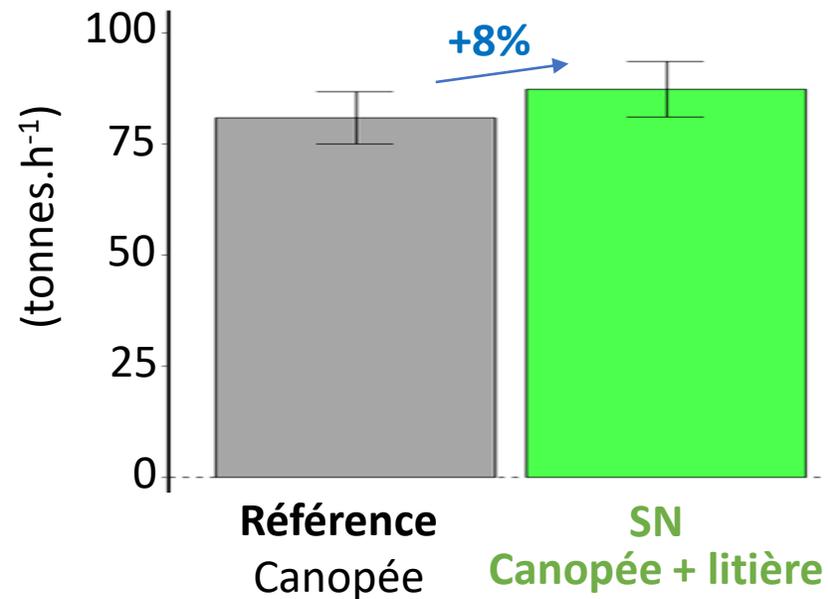


Impact des émissions de COVB des sol forestiers sur la formation d'ozone (O_3) en région PACA

- Période : 15 - 25 juillet 2022
entre 11h et 15h.

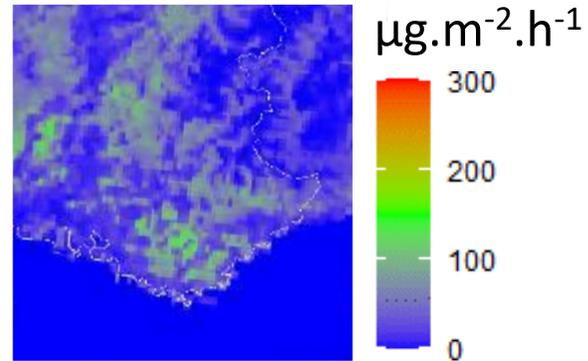
Emissions prises en compte : acétaldéhyde, acétone, monoterpènes et caryophyllène

Taux d'émission



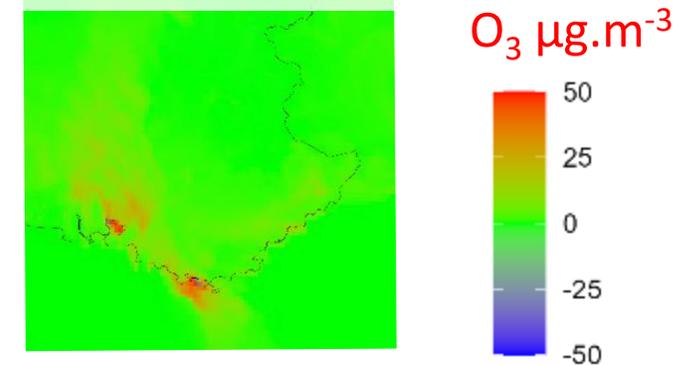
COVB

[SN-Référence]



O_3

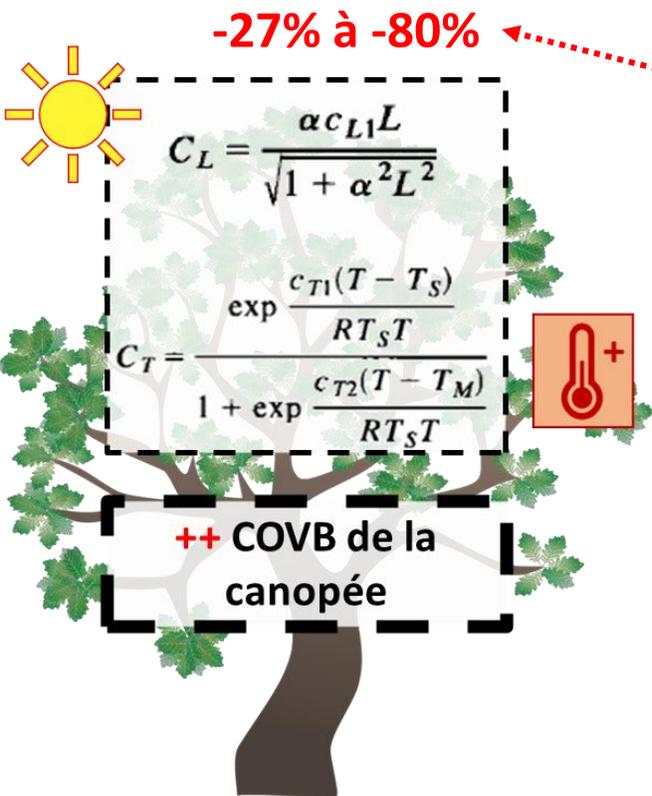
[SN-Référence]





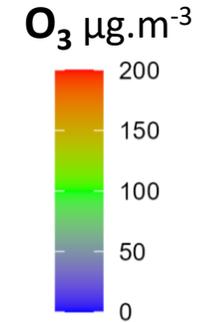
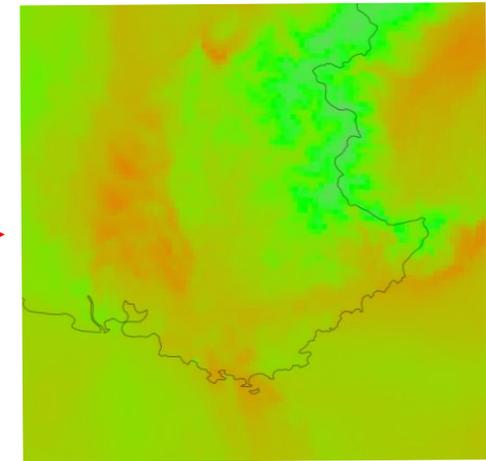
Guenther et al., 1995; Saunier et al., 2017; Llusia et al, 2016

+ 10 000 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$



-30% > 10 ans

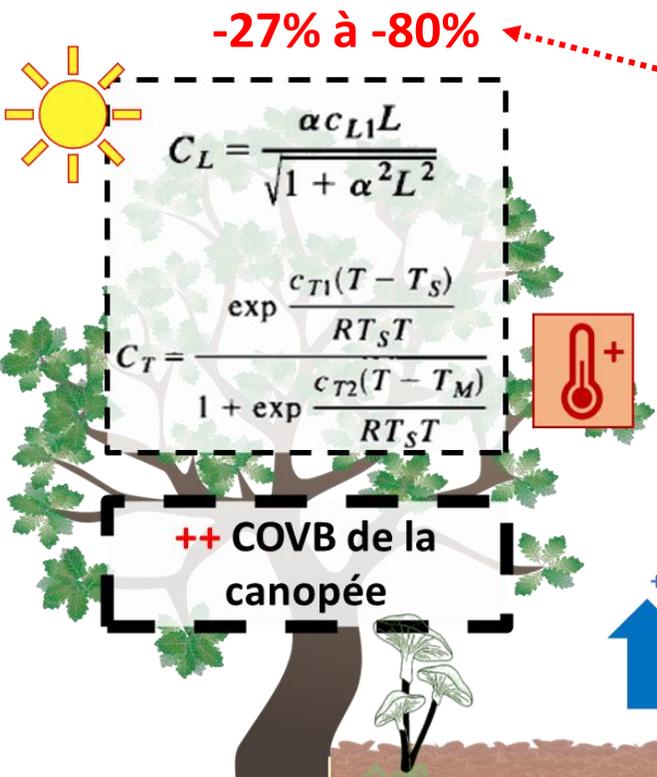
-6 à ? %





Guenther et al., 1995; Saunier et al., 2017; Llusia et al, 2016

+ 10 000 µg.m⁻².h⁻¹



-27% à -80%

-30% > 10 ans

-6 à ? %

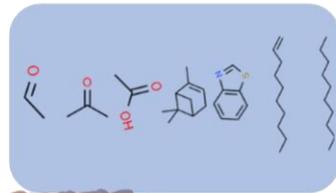
+ 250 µg.m⁻².h⁻¹

-40 à -80%

Induction de pics d'ozone (+50µg.m⁻³)

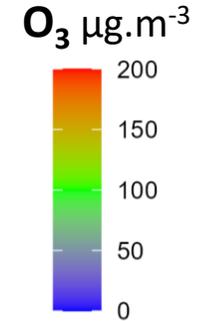
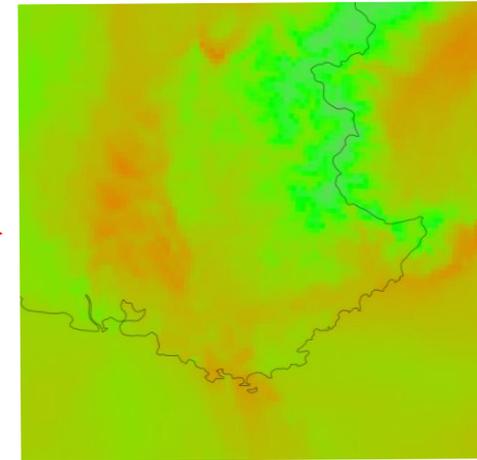
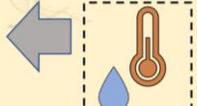
-?%

Legros et al., 2025; Legros et al, in prep



Litière

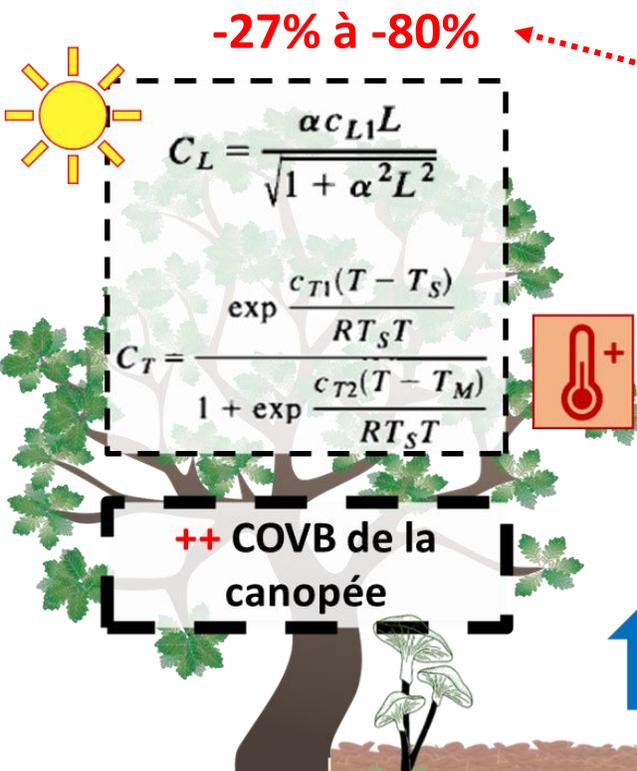
Microorganismes et racines



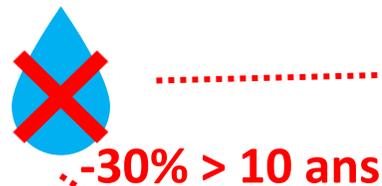


Guenther et al., 1995; Saunier et al., 2017; Llusia et al, 2016

+ 10 000 µg.m⁻².h⁻¹



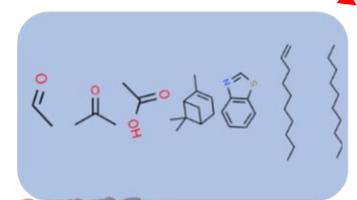
-27% à -80%



-6 à ? %

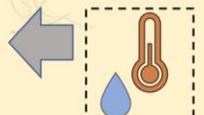
+ 250 µg.m⁻².h⁻¹

-40 à -80%

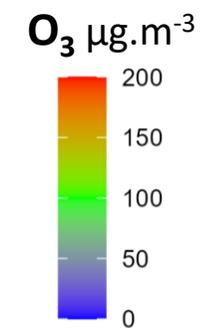
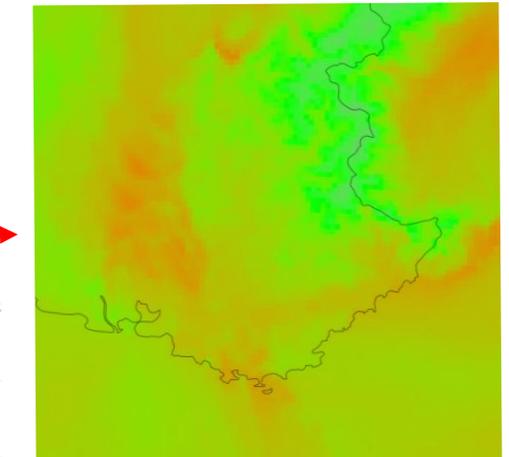


Litière

Microorganismes et racines



$TE_{mod} = FE_{mod} \times \exp^{\beta(T-T_s)}$



Induction de pics d'ozone (+50µg.m⁻³)

-?%

Legros et al., 2025; Legros et al, in prep

A faire avant la soutenance:
 Analyser les 3 scénarios Ref, SN et SA (canopée +sol) pour la période juillet à août 2022



Merci pour votre attention