



Crédit photo: Joe Cornish, National Trust Images

La forêt, un acteur majeur des variations microclimatiques dans les paysages:
cas particulier des ripisylves

Stations météorologiques *vs.* microclimat en forêt

Les stations météorologiques sont **standardisées**: milieu ouvert, végétation basse, température à 1.5-2m du sol, etc.



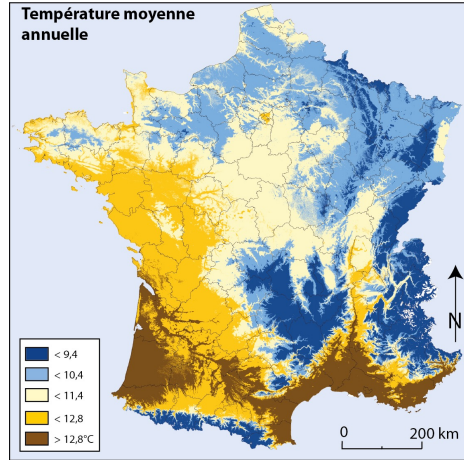
Elles ne permettent pas de bien représenter les **conditions climatiques localement vécues** par les organismes vivant en forêt



Forêt de Białowieża, Pologne (Photo Adam Wajrak)

Macroclimat, topoclimat et microclimat

Macroclimat



D'après Joly et al. (2010)

La 'standardisation' des stations météo permet de décrire **au mieux** le topoclimat



Topoclimat



Anderson Ranch Reserve, Idaho (Photo Thayne Tuason)

Microclimat

Le **microclimat** dépend de la situation géographique et topographique mais aussi de l'**hydrographie**, de la **végétation**, etc.

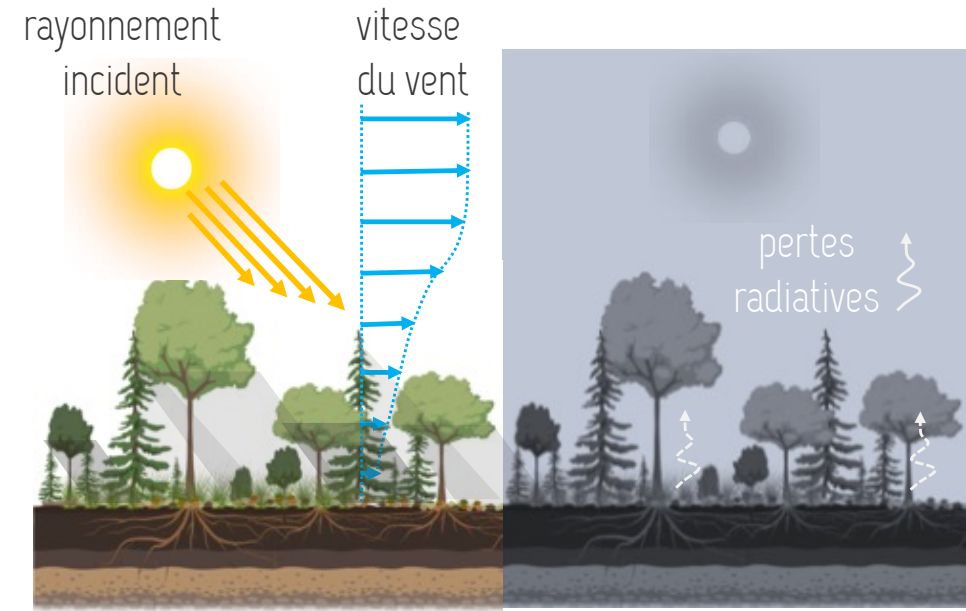


Forêt de Białowieża, Pologne (Photo Adam Wajrak)

Le « pouvoir tampon » de la forêt

En forêt, les arbres apportent:

- De l'**ombrage**
- Une **atténuation du vent** (réduisant les échanges convectifs)
- Un maintien de la **chaleur la nuit** (moins de pertes radiatives)

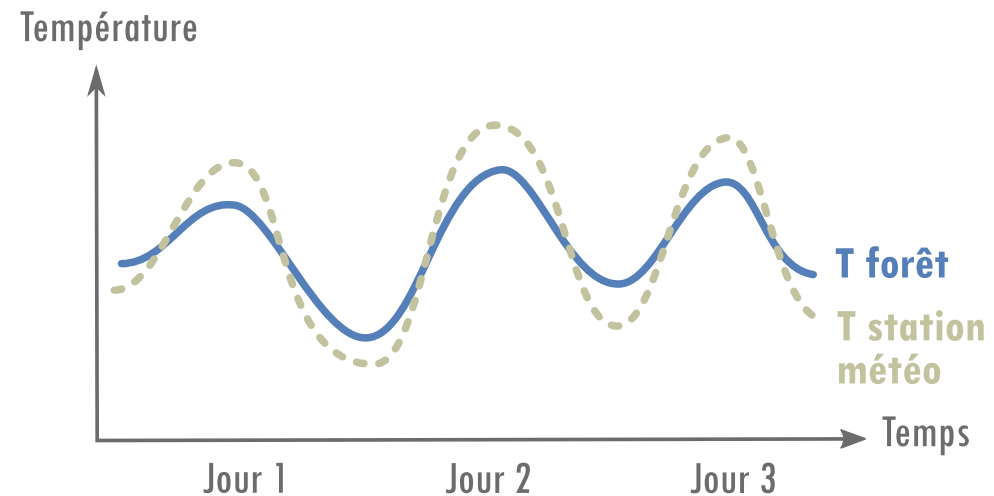
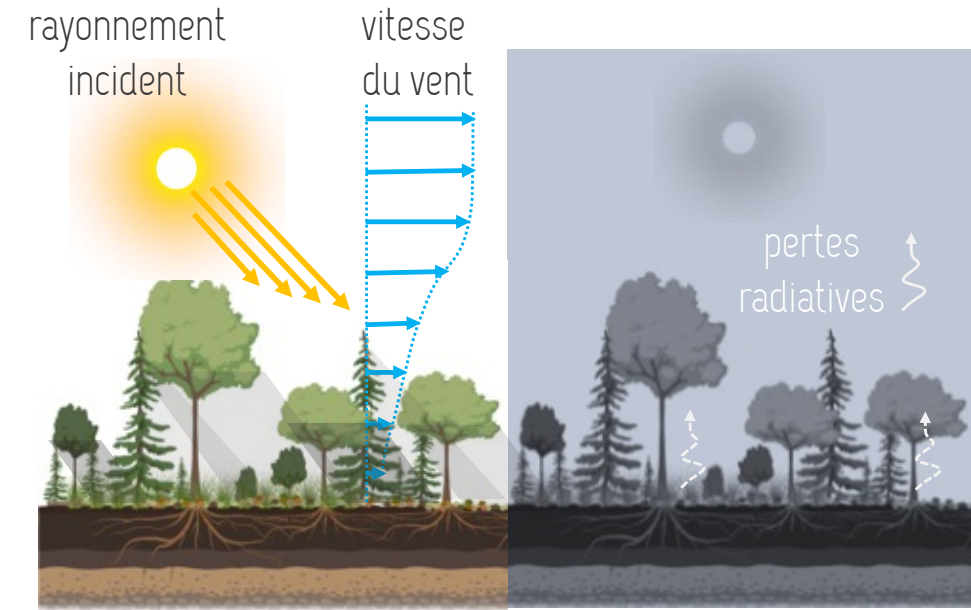
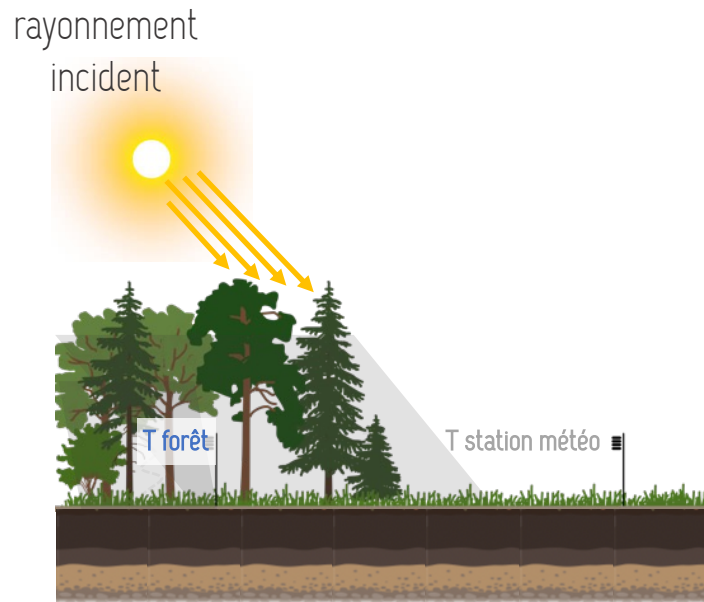


Le « pouvoir tampon » de la forêt

En forêt, les arbres apportent:

- De l'**ombrage**
- Une **atténuation du vent** (réduisant les échanges convectifs)
- Un maintien de la **chaleur la nuit** (moins de pertes radiatives)

Il en résulte que les variations de températures, d'humidité de l'air et de rayonnement sont généralement **plus tamponnés (ou moins extrêmes)** qu'en milieu ouvert



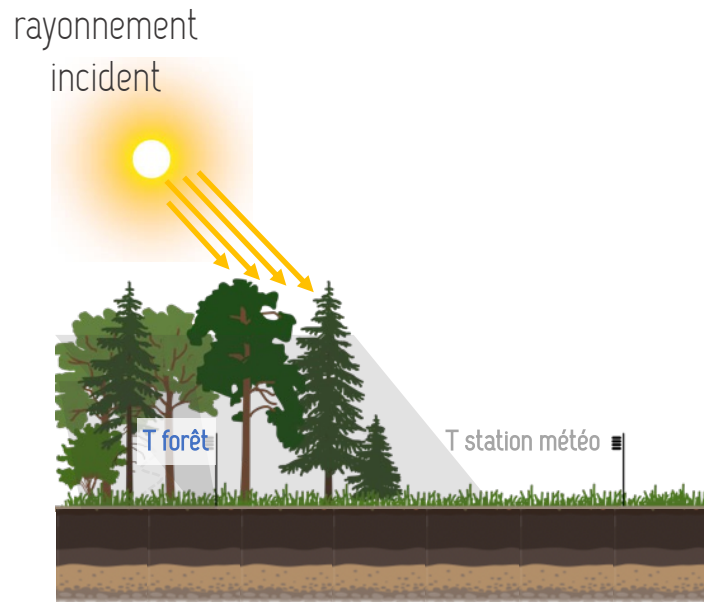
D'après E. Gril (2024)

Le « pouvoir tampon » de la forêt

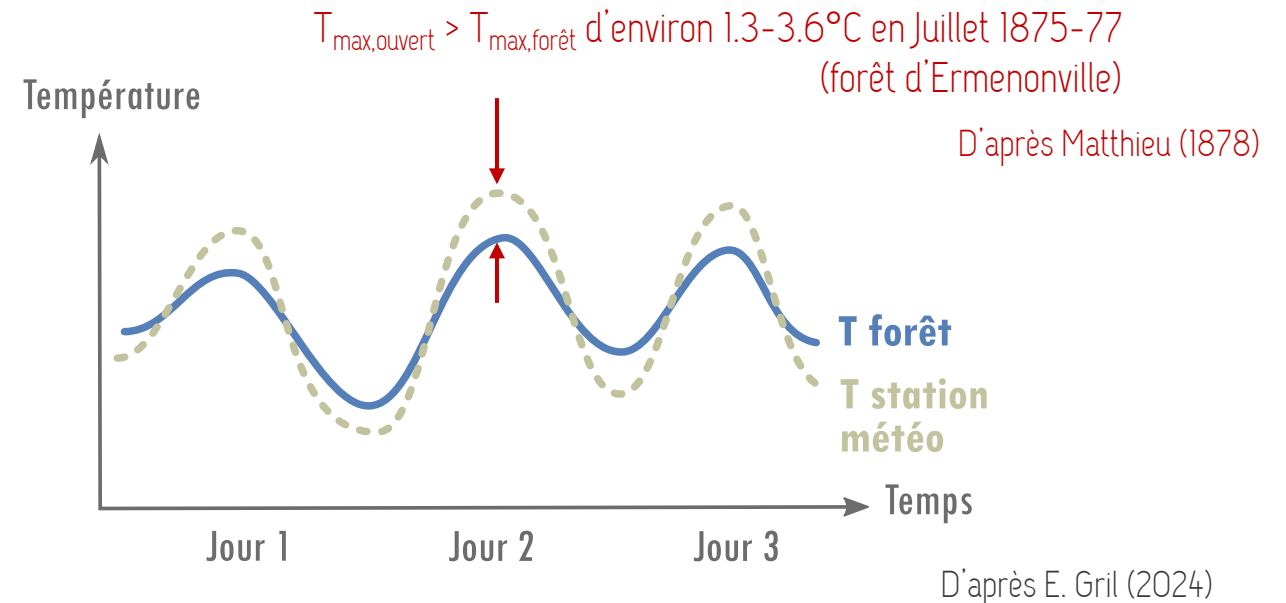
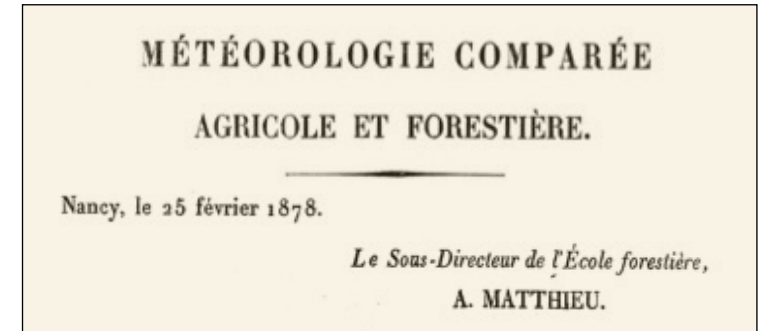
En forêt, les arbres apportent:

- De l'**ombrage**
- Une **atténuation du vent** (réduisant les échanges convectifs)
- Un maintien de la **chaleur la nuit** (moins de pertes radiatives)

Il en résulte que les variations de températures, d'humidité de l'air et de rayonnement sont généralement **plus tamponnées** (ou moins **extrêmes**) qu'en milieu ouvert



Un effet connu et **quantifié** depuis la fin du XIX^{ème} siècle !

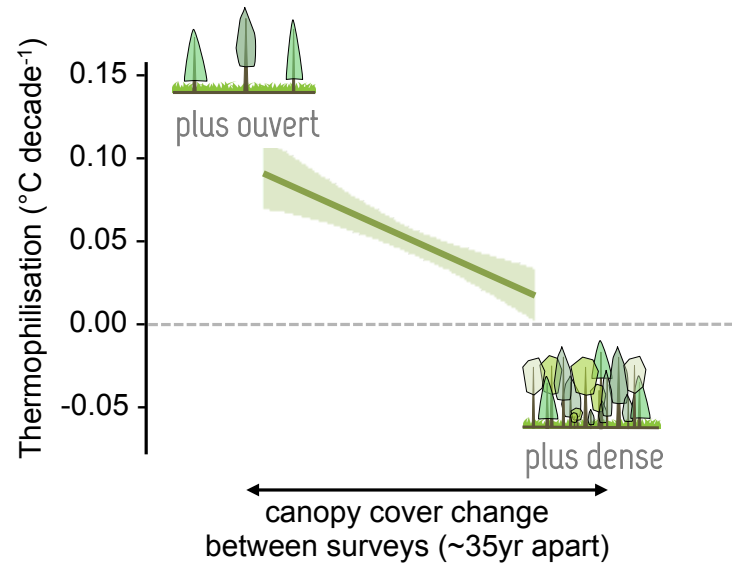


Le « pouvoir tampon » de la forêt ... et la biodiversité

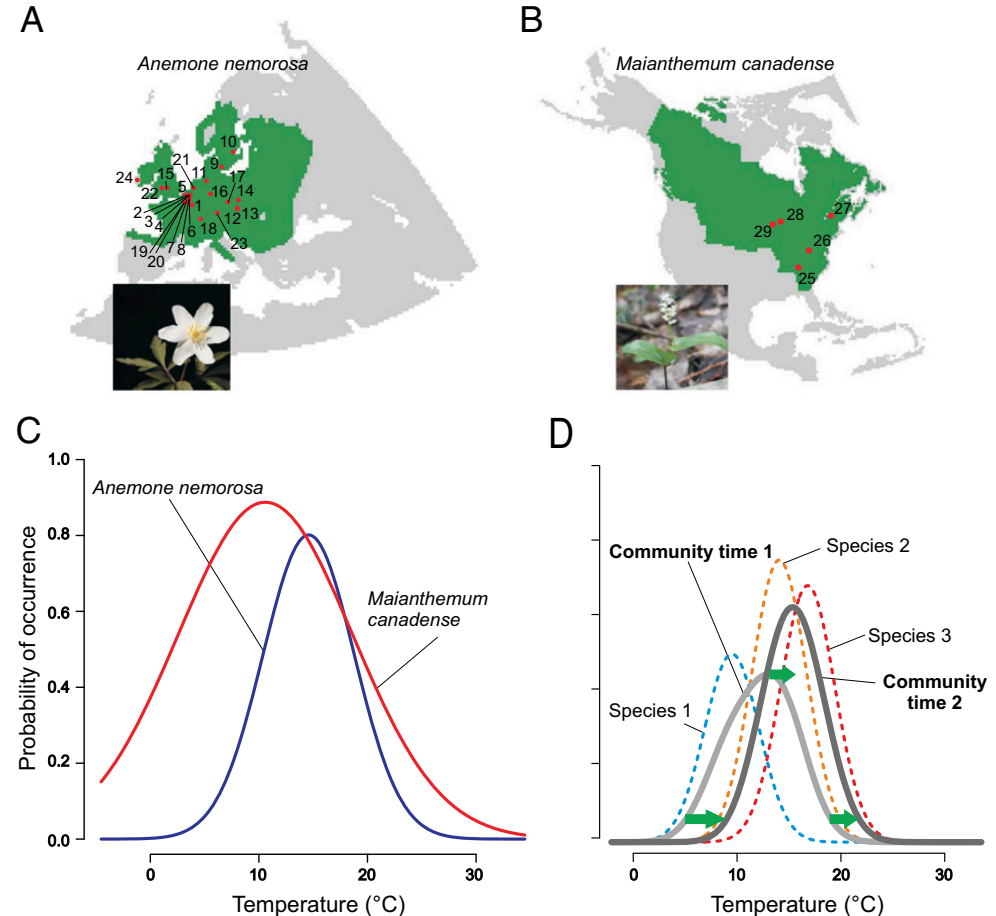
Un regain d'intérêt avec le dérèglement climatique actuel qui questionne nos pratiques de gestion forestière pour:

- Lutter contre l'érosion de la biodiversité

Communautés végétales du sous-bois
en Europe et Amérique du Nord



DeFrenne et al. (PNAS 2013)

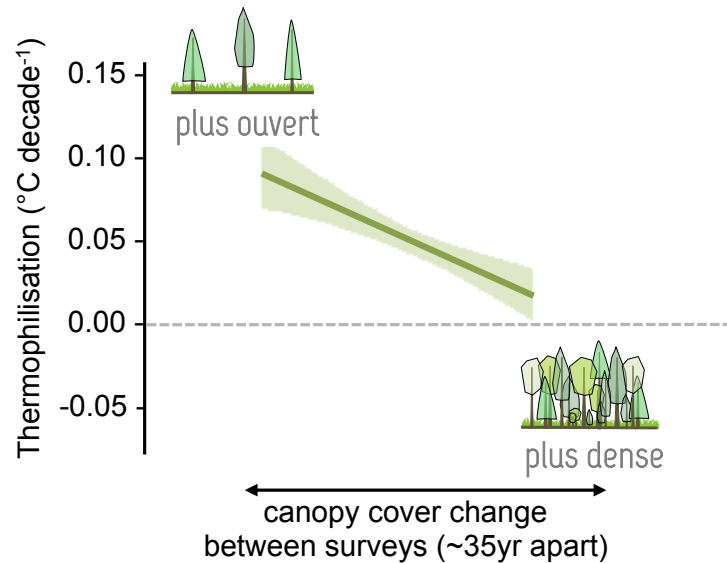


Le « pouvoir tampon » de la forêt ... et la biodiversité

Un regain d'intérêt avec le dérèglement climatique actuel qui questionne nos pratiques de gestion forestière pour:

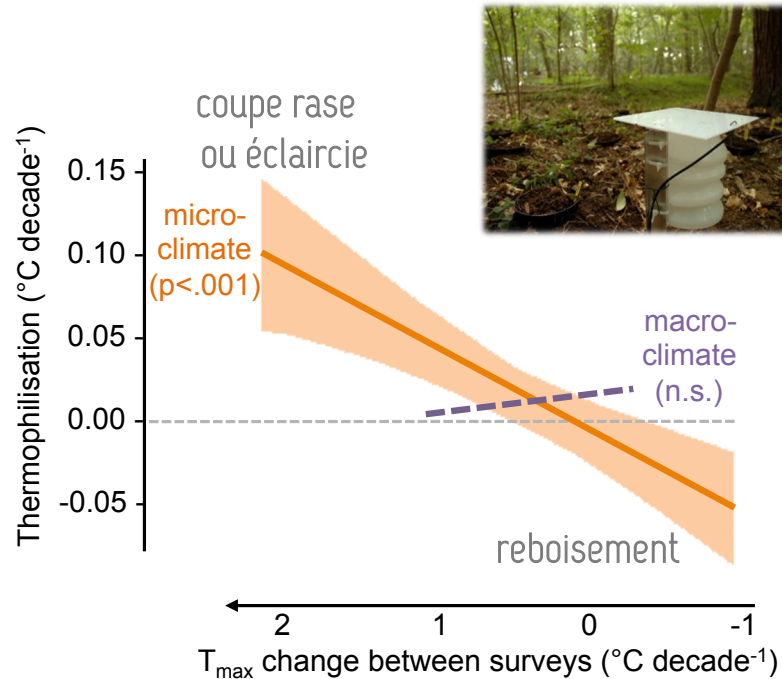
- Lutter contre l'érosion de la biodiversité

Communautés végétales du sous-bois
en Europe et Amérique du Nord

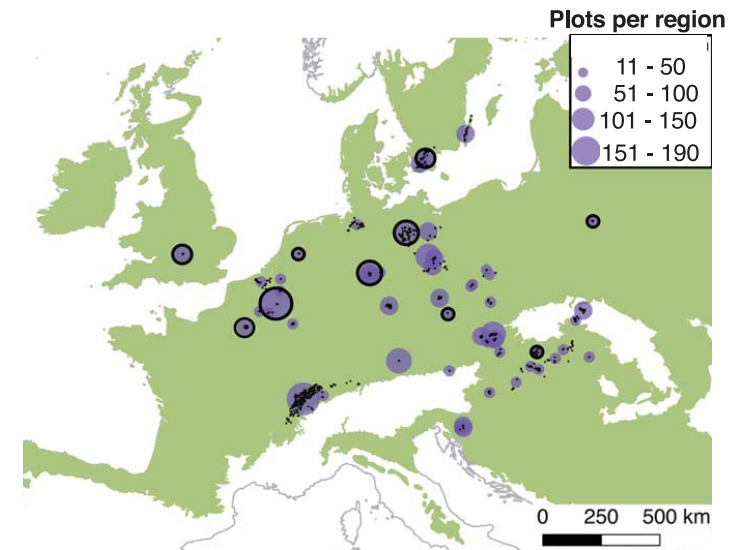


DeFrenne et al. (PNAS 2013)

Communautés végétales du sous-bois
en Europe Centrale et du Nord



Zellweger et al. (Science 2020)

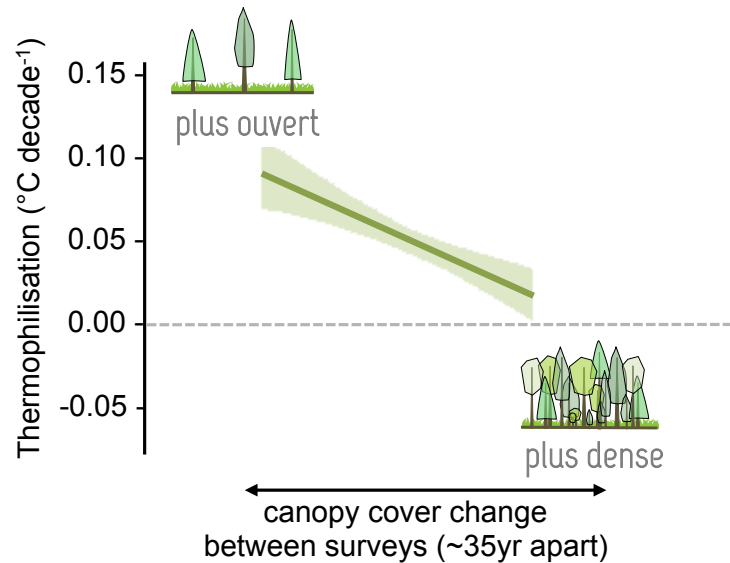


Le « pouvoir tampon » de la forêt ... et la biodiversité

Un regain d'intérêt avec le dérèglement climatique actuel qui questionne nos pratiques de gestion forestière pour:

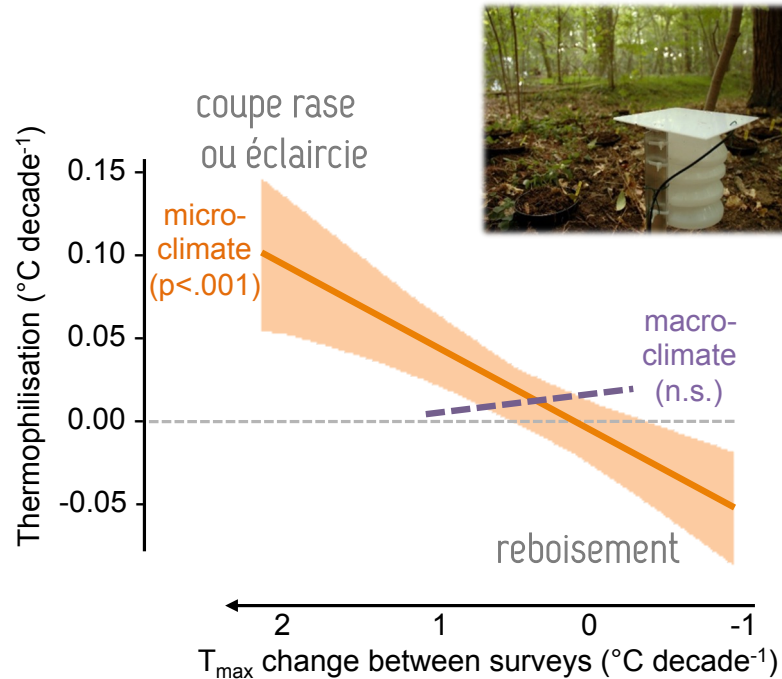
- Lutter contre l'érosion de la biodiversité

Communautés végétales du sous-bois
en Europe et Amérique du Nord



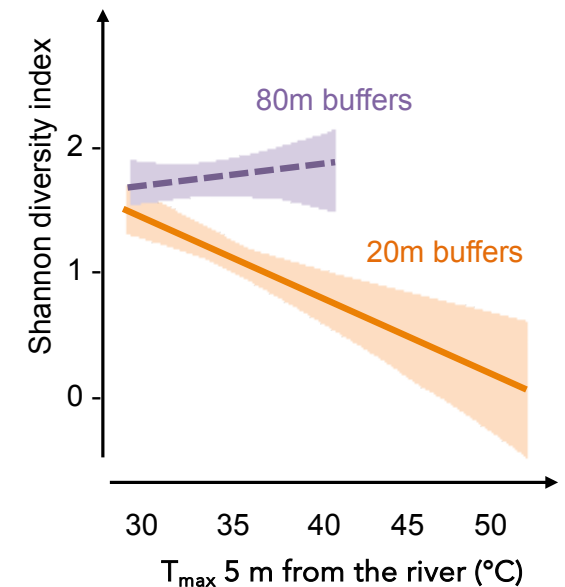
DeFrenne et al. (PNAS 2013)

Communautés végétales du sous-bois
en Europe Centrale et du Nord



Zellweger et al. (Science 2020)

Diversité de scarabées près de
plantations de palmiers à huile à Bornéo



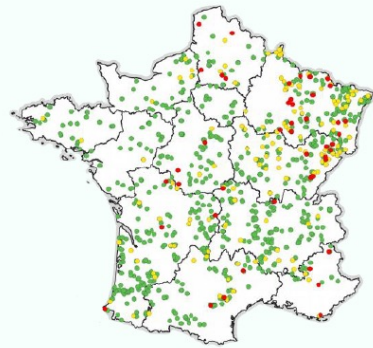
Williamson et al. (J Appl. Ecol. 2020)

Le « pouvoir tampon » de la forêt ... et la régénération forestière

Un regain d'intérêt avec le dérèglement climatique actuel qui questionne nos pratiques de gestion forestière pour:

- Lutter contre l'érosion de la biodiversité
- Assurer le renouvellement forestier

1279 plantations
67 essences



Echec des plantations (> 1ha) à l'échelle nationale
(source DSF 2024)



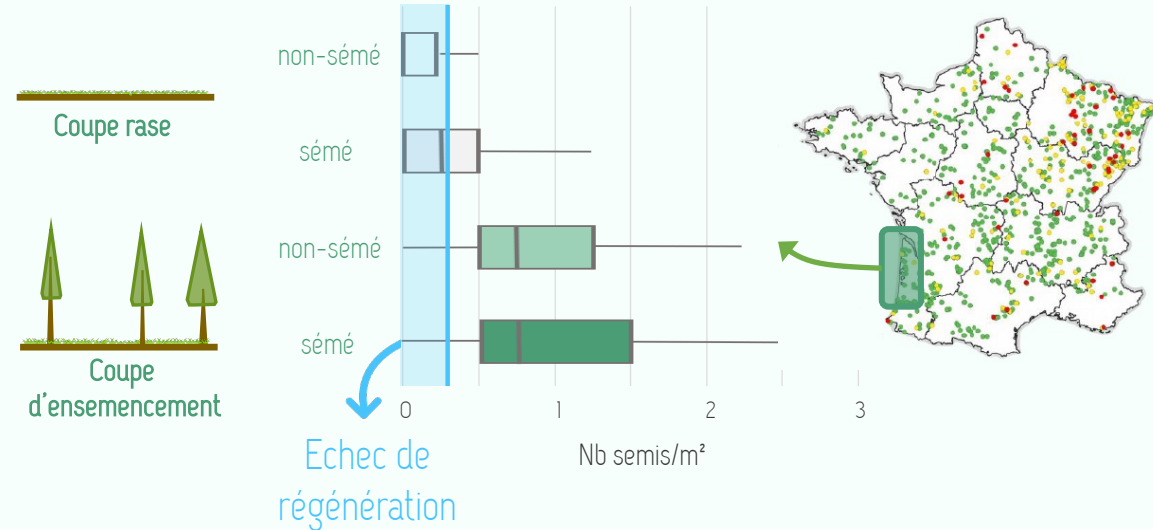
En 2022, ~92% de la mortalité attribuée à une origine abiotique ou complexe

Le « pouvoir tampon » de la forêt ... et la régénération forestière

Un regain d'intérêt avec le dérèglement climatique actuel qui questionne nos pratiques de gestion forestière pour:

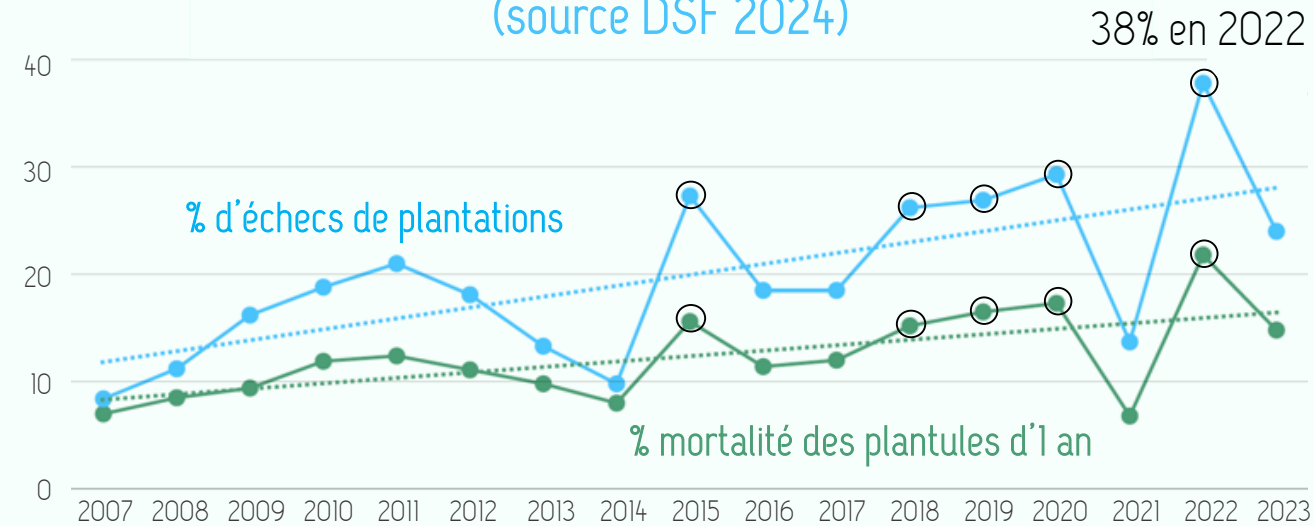
- Lutter contre l'érosion de la biodiversité
- Assurer le renouvellement forestier

Echec de régénération du pin maritime sur le cordon dunaire (2015-2016) (source ONF-INRAE)



La sécheresse estivale, « cause majeure » de mortalité des plantules

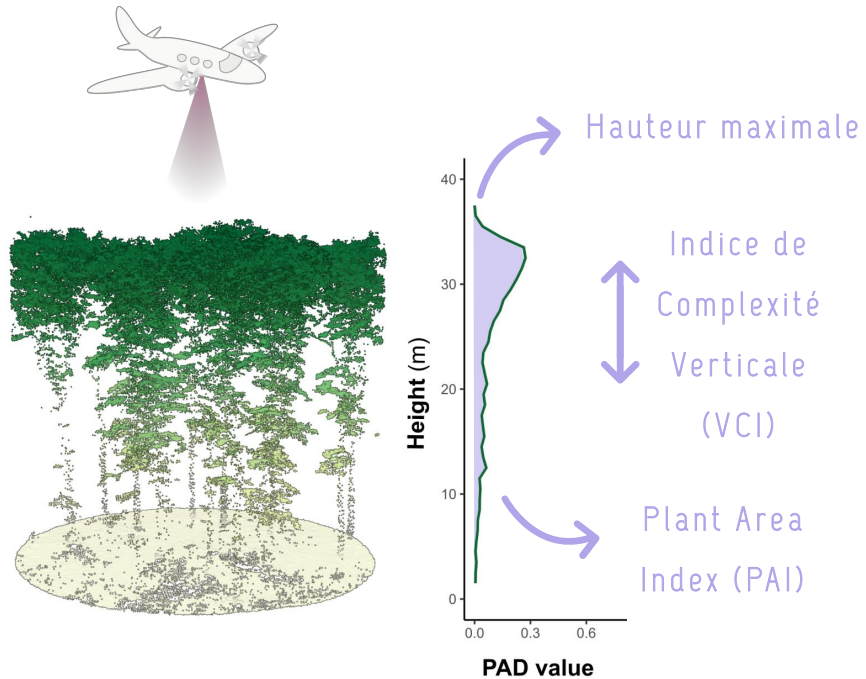
Echec des plantations (> 1ha) à l'échelle nationale (source DSF 2024)



En 2022, ~92% de la mortalité attribuée à une origine abiotique ou complexe

Le pouvoir tampon dépend de la structure/composition du couvert

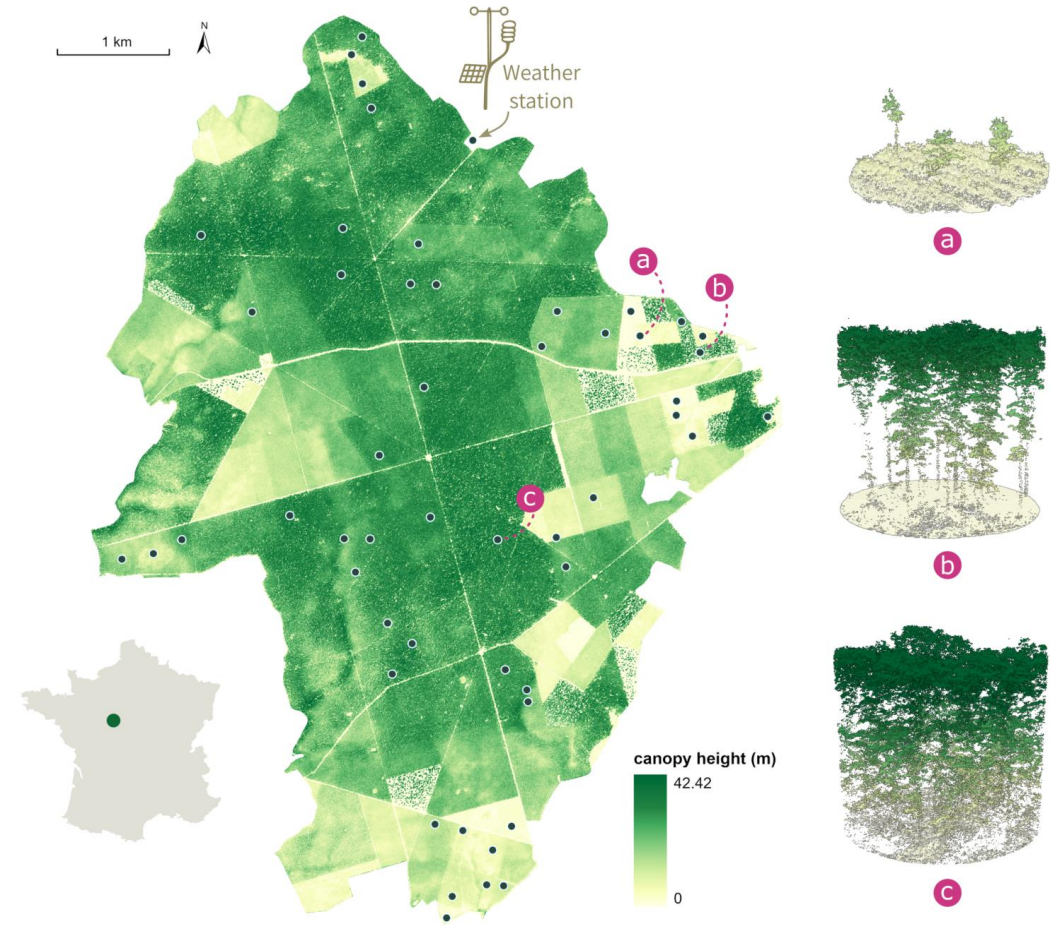
Métriques de structure influençant le microclimat



Gril et al. *Remote Sensing of Environment* (2023)

3 métriques calculées dans un rayon de 5 m
autour des sondes microclimatiques

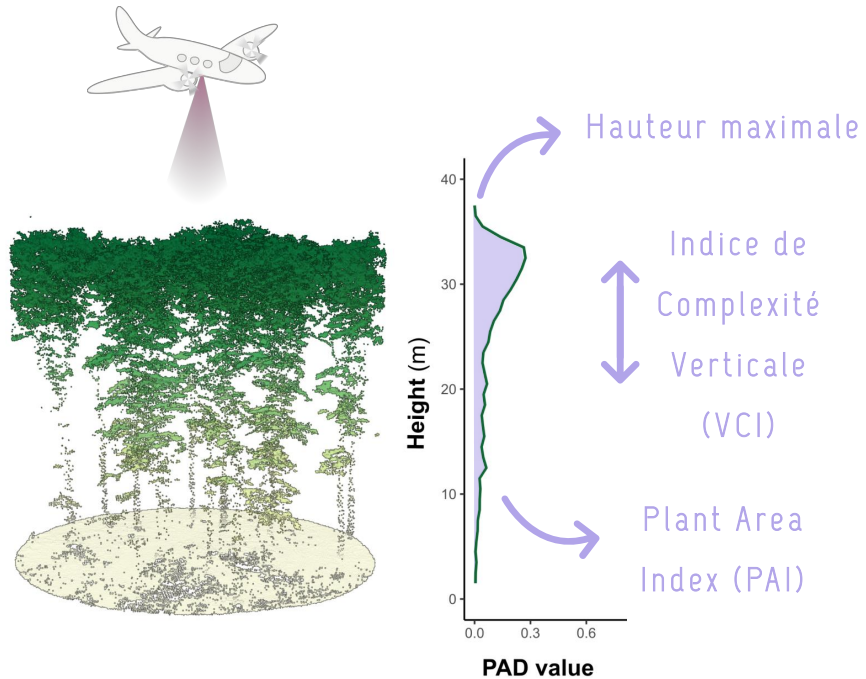
Hauteur de canopée en forêt de Blois



Gril et al. *Remote Sensing of Environment* (2023)

Le pouvoir tampon dépend de la structure/composition du couvert

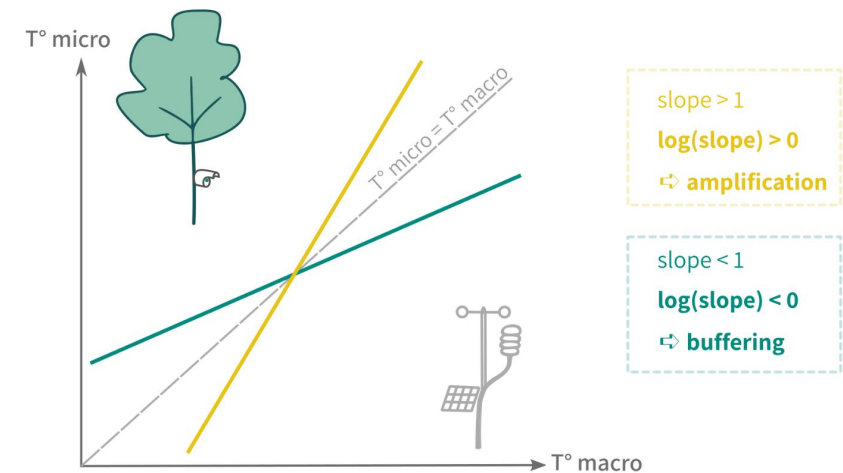
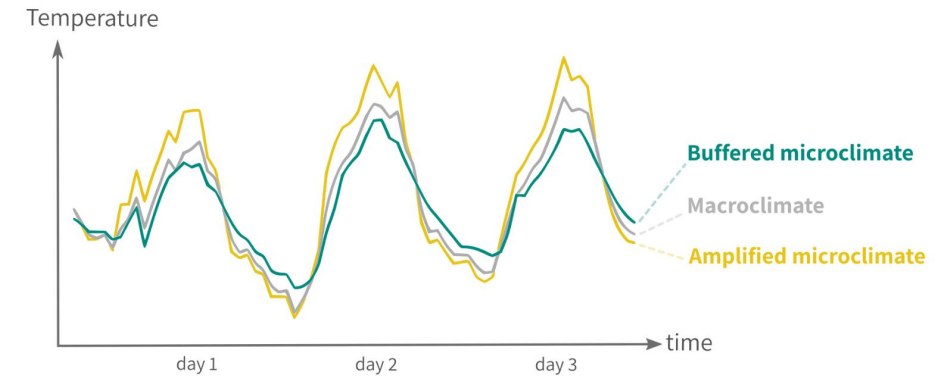
Métriques de structure influençant le microclimat



Gril et al. *Remote Sensing of Environment* (2023)

3 métriques calculées dans un rayon de 5 m
autour des sondes microclimatiques

Métrique pour quantifier le pouvoir tampon

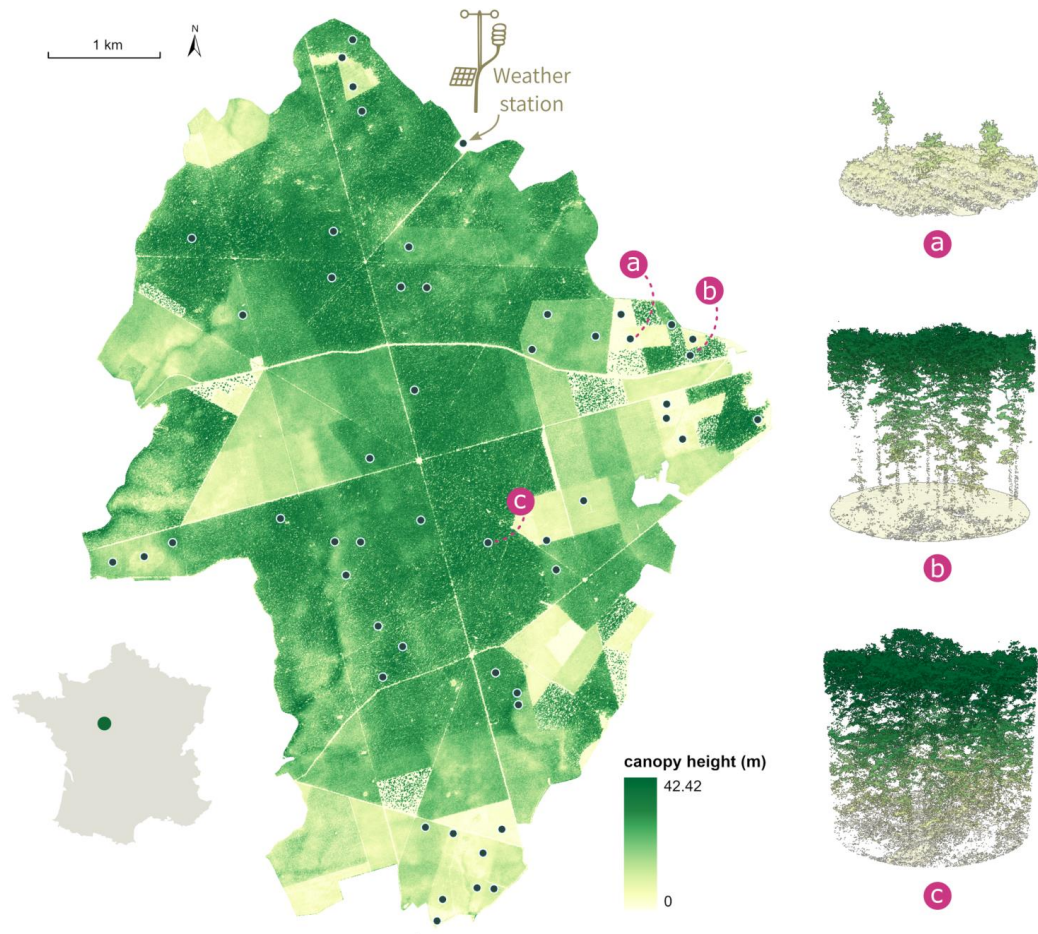


D'après E. Gril (2023)

Atténuation si $\log(\text{pente}) < 0$
Amplification si $\log(\text{pente}) > 0$

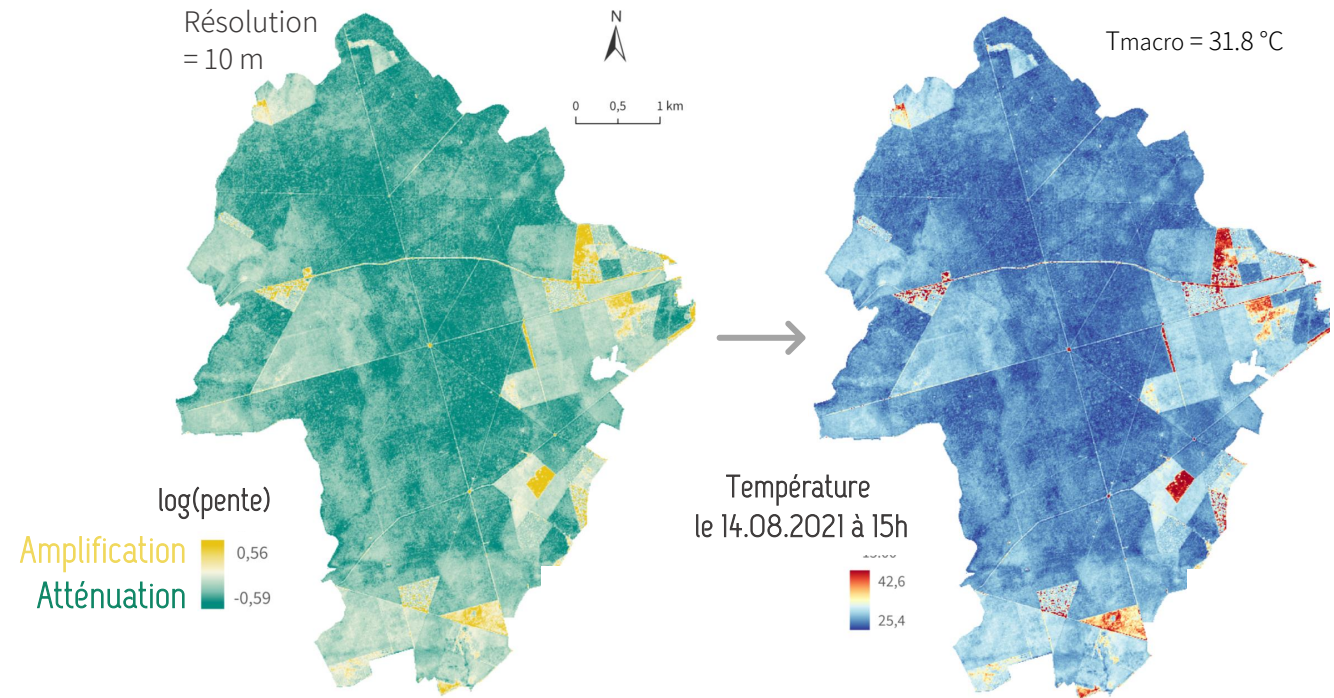
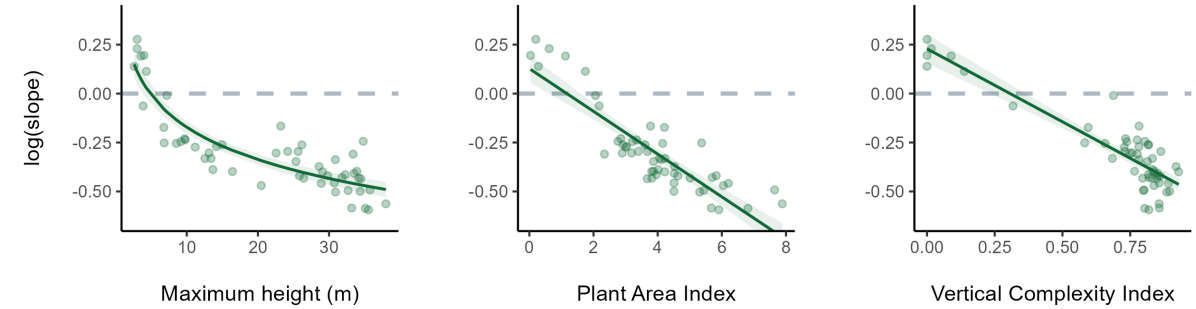
Le pouvoir tampon dépend de la structure/composition du couvert

Hauteur de canopée en forêt de Blois



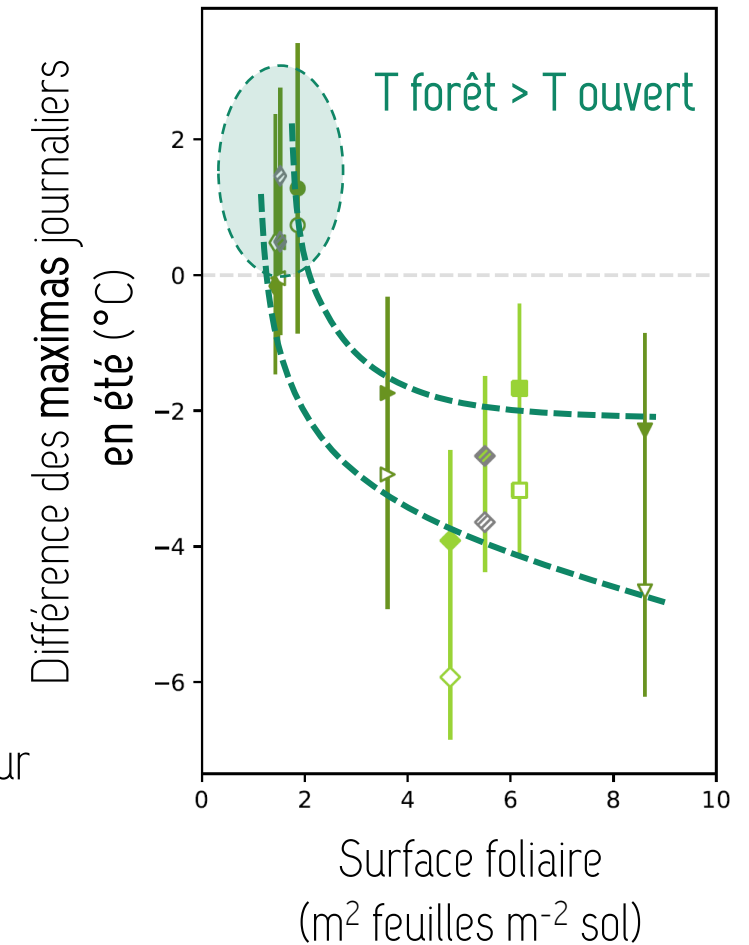
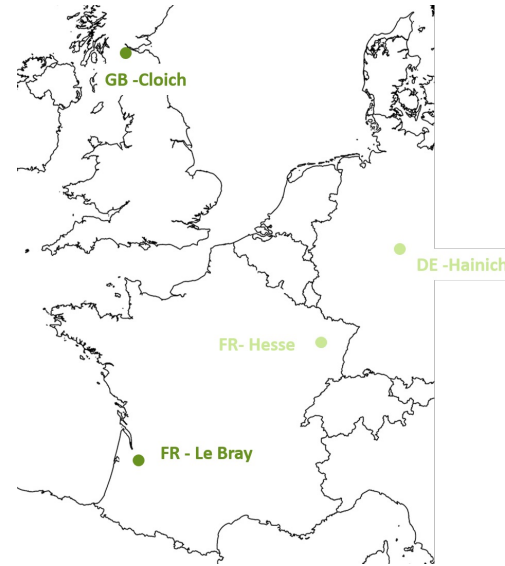
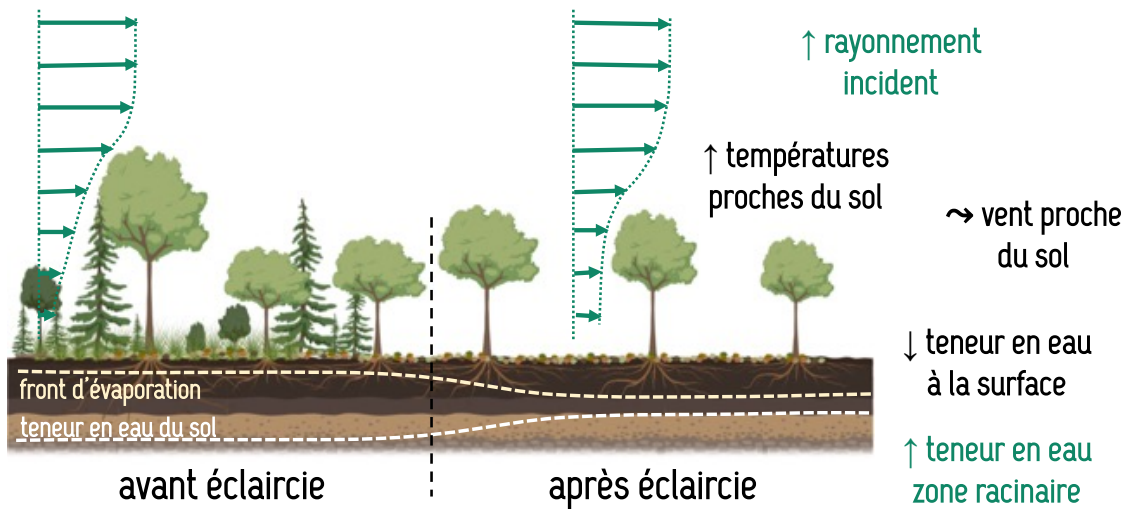
Gril et al. *Remote Sensing of Environment* (2023)

Construction d'un modèle de microclimat



Le pouvoir tampon dépend de la structure/composition du couvert

Mieux comprendre les interactions entre structure de la canopée et microclimat en sous-bois nécessite une approche intégrée car relations complexes avec **effet de seuil**



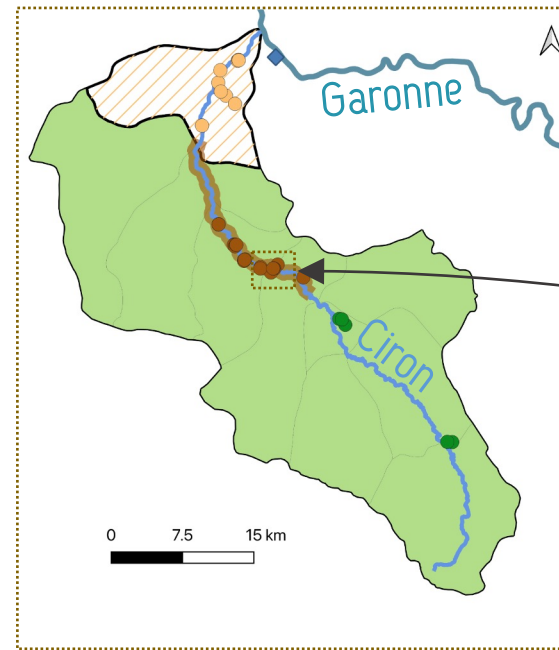
La température proche du sol peut être **plus chaude** qu'en milieu ouvert, si milieu trop ouvert pour limiter le rayonnement solaire et l'évaporation du sol, et pas assez ouvert pour **bien ventiler**

Nécessité d'une **approche à base physique** pour estimer les conditions de **stress hydrique et thermique** en sous-bois

Le pouvoir tampon dépend de la microtopographie

La ripisylve du Ciron et sa hêtraie relictuelle

- Garonne river
- Ciron river
- ◆ Reference weather station
- Sensors in Graves sector
- Sensors in Gorges sector
- Sensors in Landes sector
- Gorges sector
- Graves sector
- Landes and Gorges sector



Aire de répartition de *Fagus sylvatica* (hêtre commun)



(Delafontaine et al. 2014)

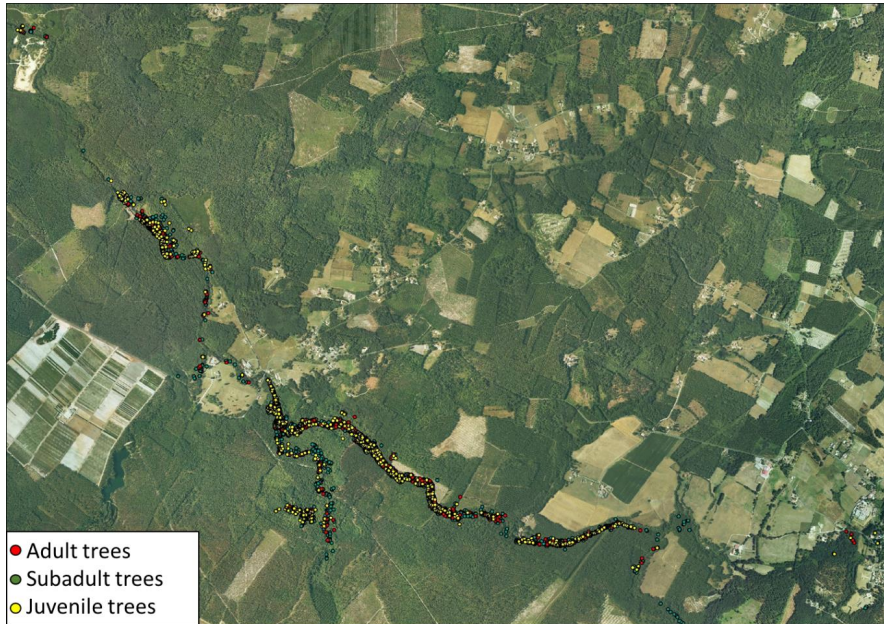
Charbons de hêtres datés de 42kyr et 32kyr BP
Ciron = refuge glaciaire et interglaciaire

Le pouvoir tampon dépend de la microtopographie

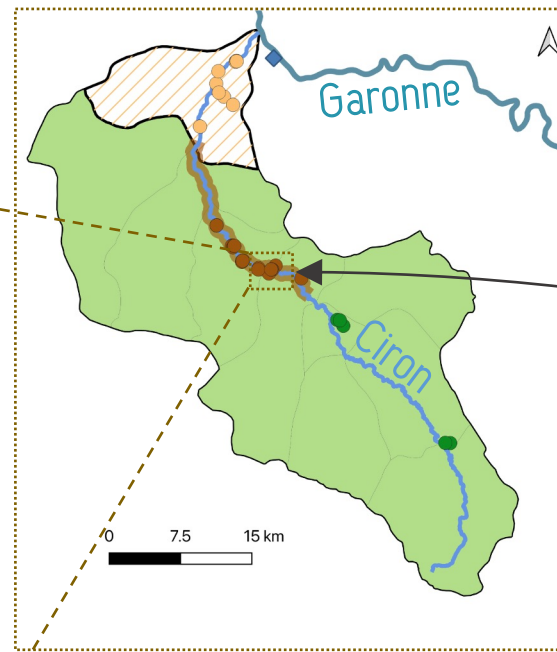
La ripisylve du Ciron et sa hêtraie relictuelle



Inventaire des hêtres du Ciron (SABV Ciron, 2014)



- Garonne river
- Ciron river
- ◆ Reference weather station
- Sensors in Graves sector
- Sensors in Gorges sector
- Sensors in Landes sector
- Gorges sector
- Graves sector
- Landes and Gorges sector



Aire de répartition de *Fagus sylvatica* (hêtre commun)



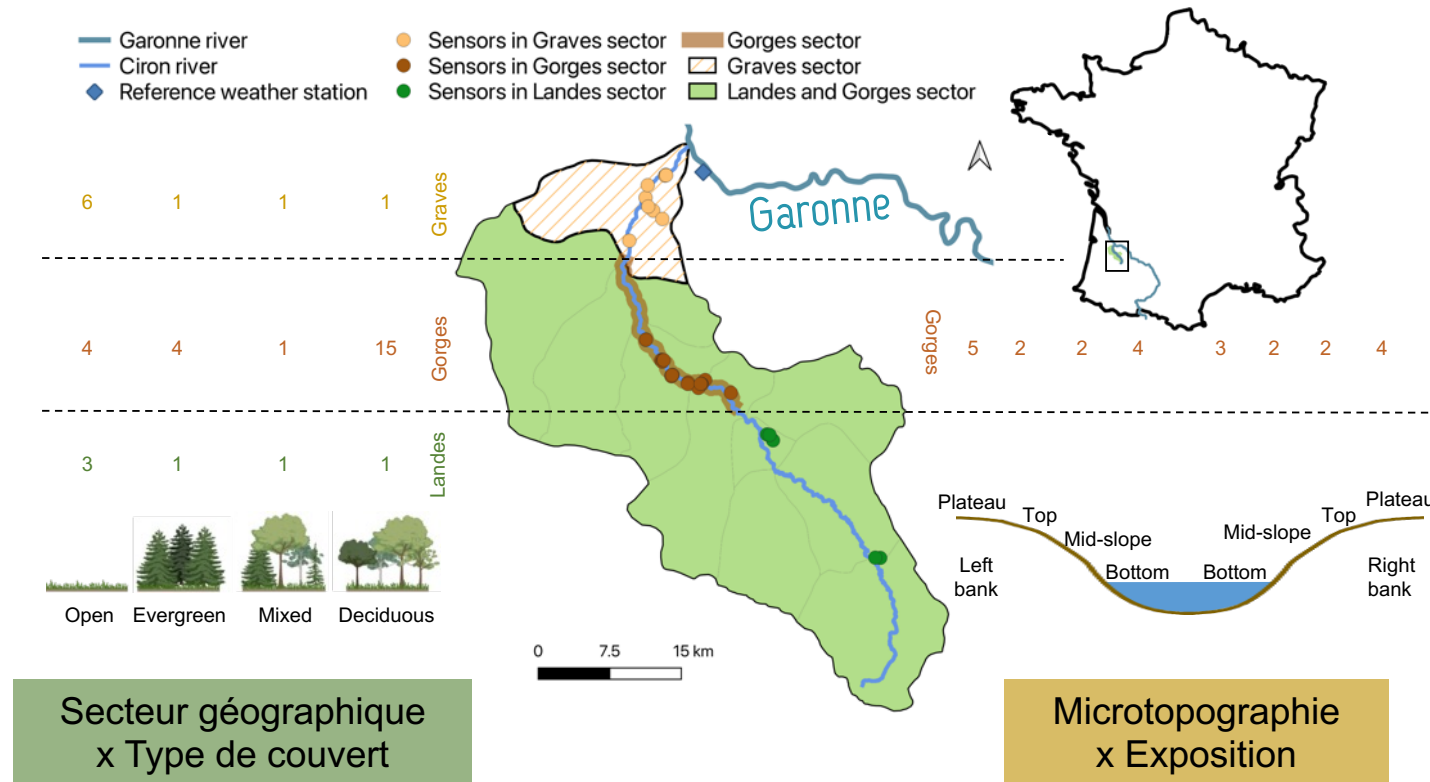
(Delafontaine et al. 2014)

Charbons de hêtres datés de 42kyr et 32kyr BP
Ciron = refuge glaciaire et interglaciaire

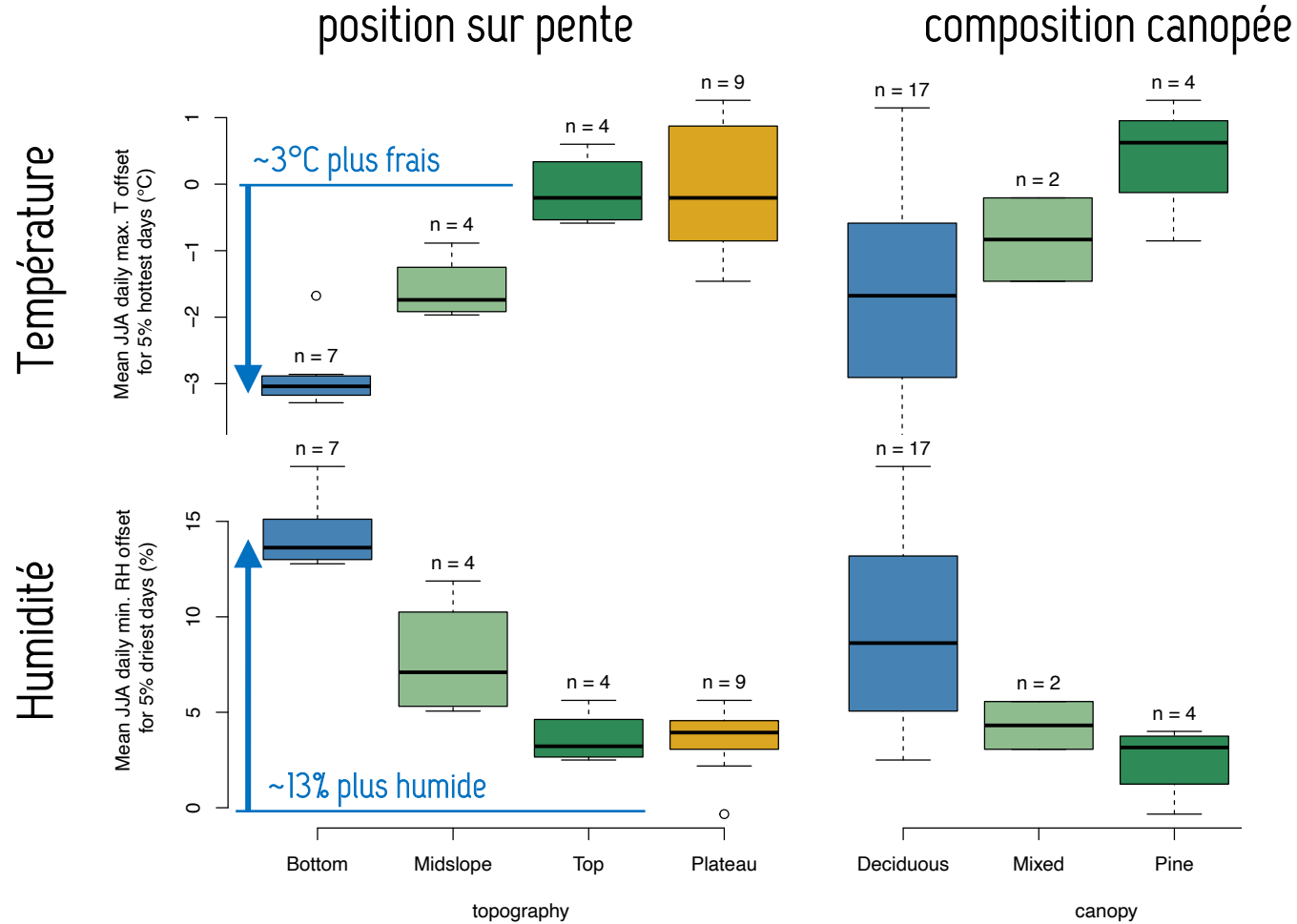
Population de hêtres au patrimoine génétique unique (car isolée depuis longtemps)

Le pouvoir tampon dépend de la microtopographie

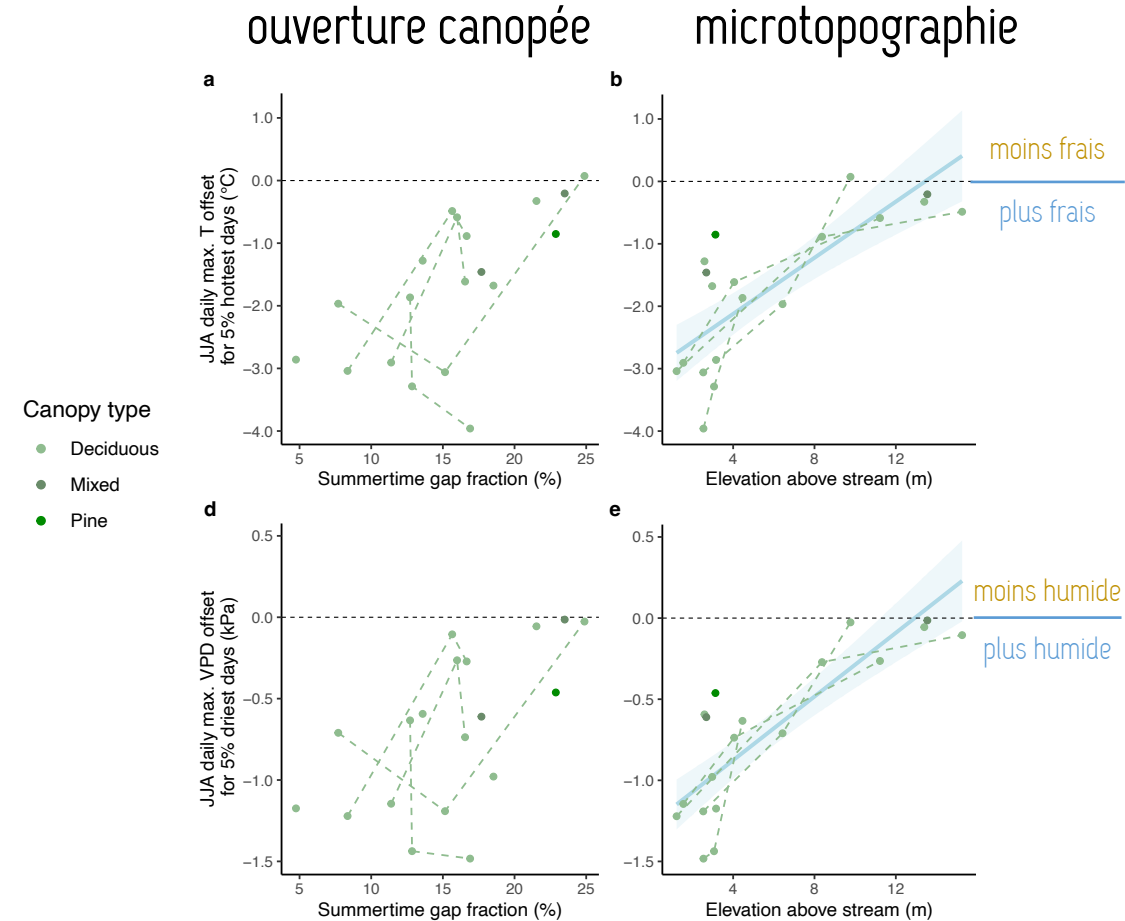
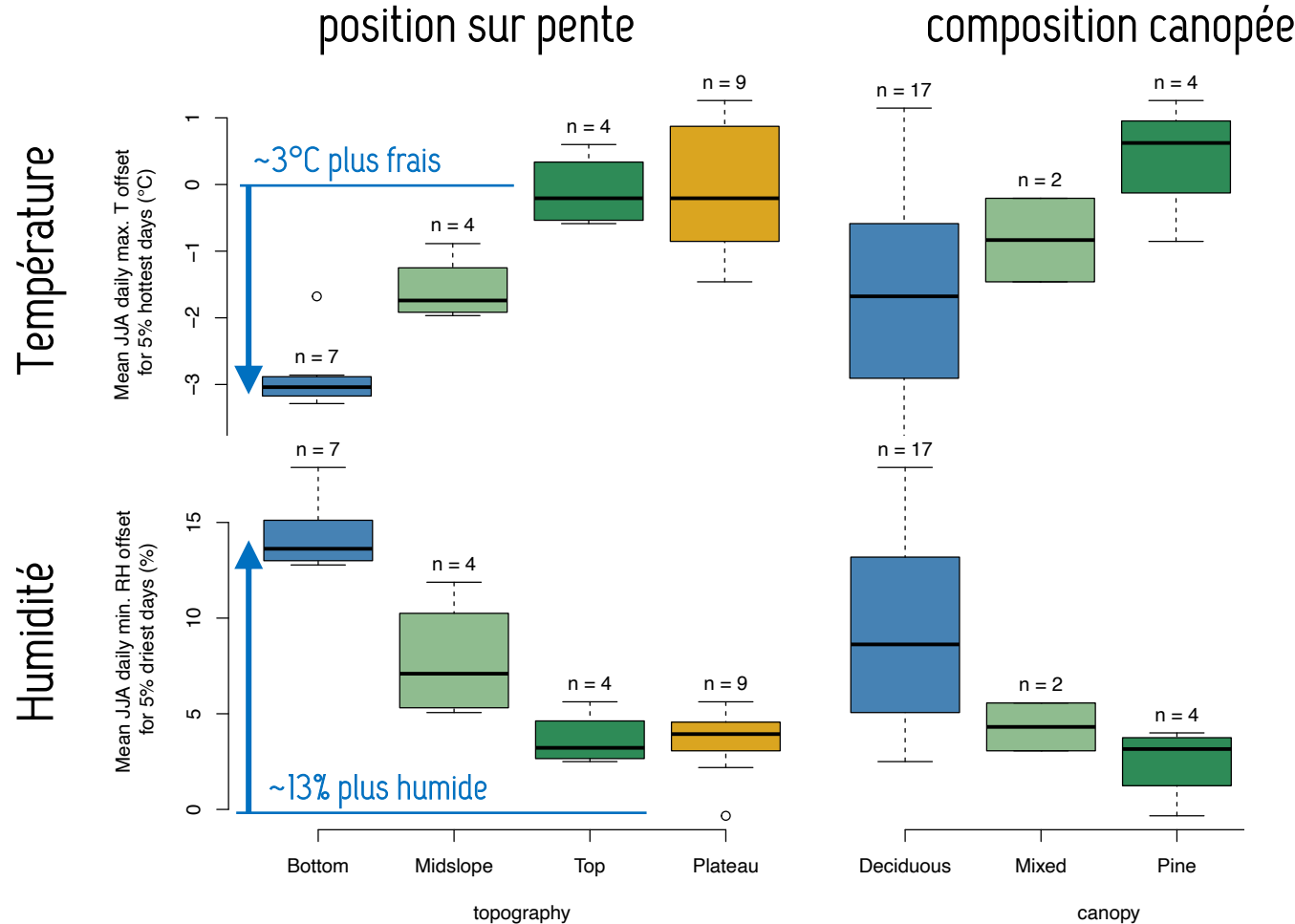
Réseau de capteurs microclimatiques le long du Ciron



Le pouvoir tampon dépend de la microtopographie



Le pouvoir tampon dépend de la microtopographie

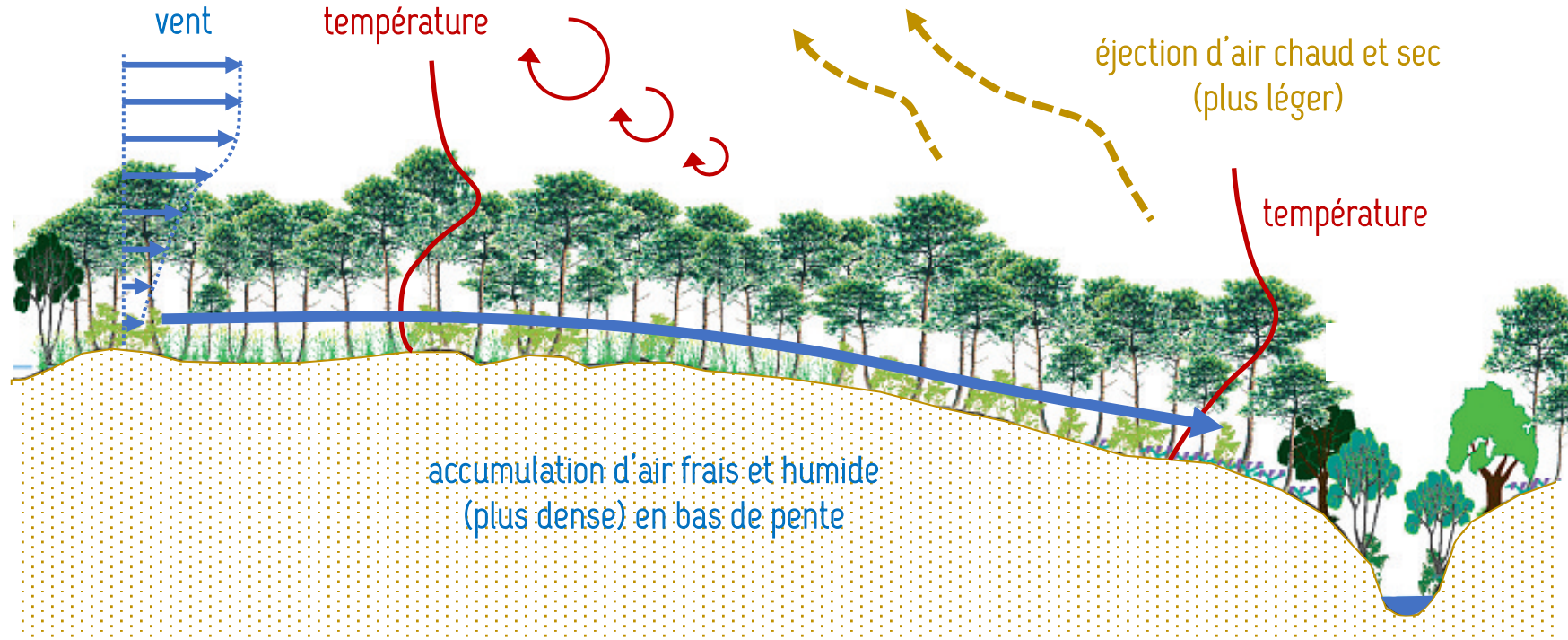


Ogée et al. *International Journal of Biometeorology* (2024)

Dans la ripisylve, la **microtopographie** (position sur pente ou hauteur au-dessus du cours d'eau) influence fortement le microclimat en été, plus que la composition (feuillus *vs.* conifères) ou le degré d'ouverture de la canopée

Le pouvoir tampon dépend de la microtopographie

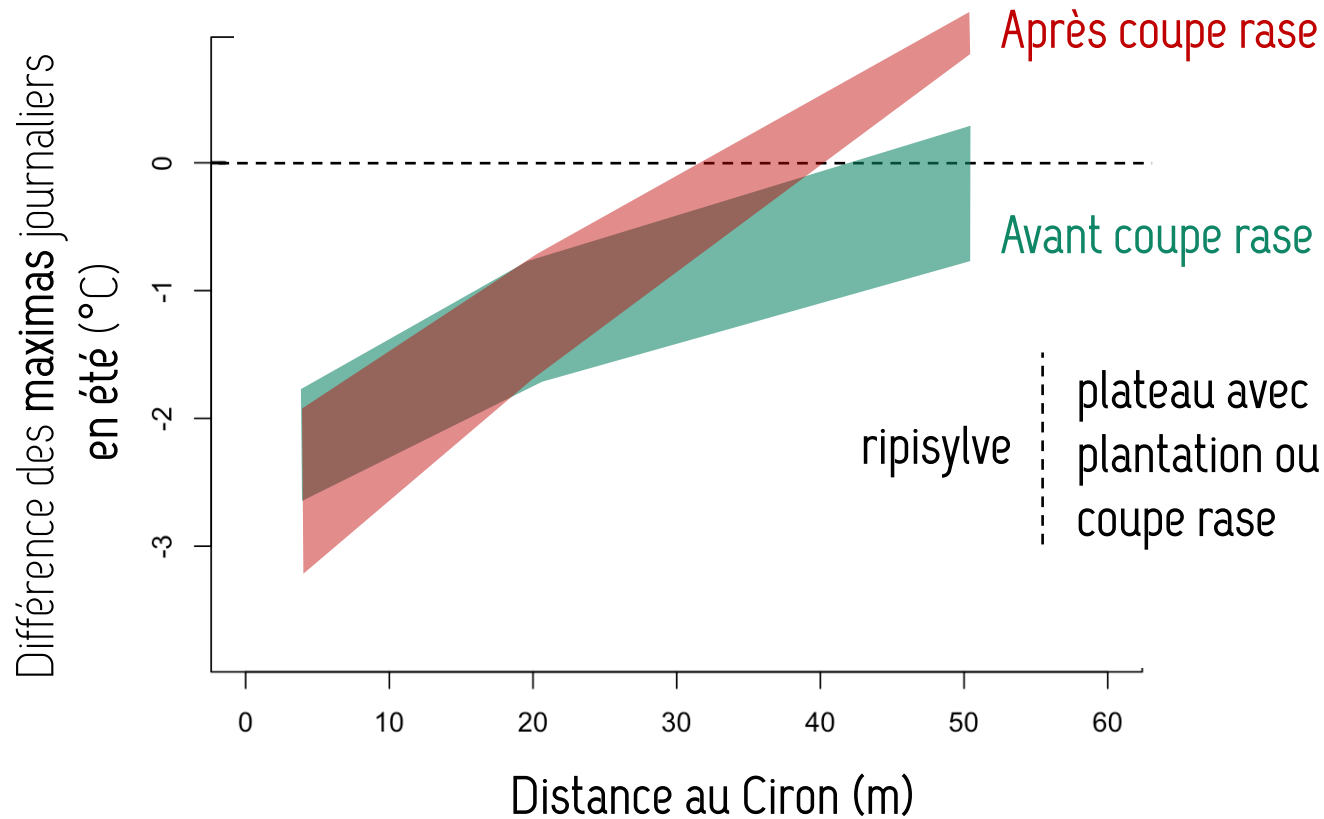
Les conditions convectives en été imposent un mélange important des masses d'air au-dessus du couvert



Le faible vent en sous-bois semble favoriser une accumulation des masses d'air froides en bas de pente
(comme en montagne la nuit, mais ici sur des distances et différences d'altitudes bcp plus faibles, de quelques mètres ou dizaines de mètres)

Si le découplage des écoulements sous et au-dessus de la canopée est induit par la continuité de la canopée le long de la pente, quelle largeur de ripisylve est nécessaire pour maintenir un rafraîchissement des berges en été ?

Le pouvoir tampon dépend de la microtopographie



Transect de la Cure



Besoin d'une approche de modélisation à base physique (modélisation LES) pour comprendre l'influence de la microtopographie dans les ripisylves et estimer **la largeur du couvert boisé minimum pour maintenir un rafraîchissement des berges de la ripisylve en été ?**

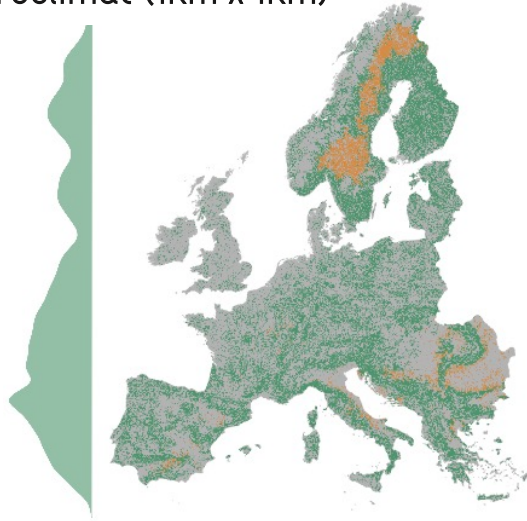
Modéliser le microclimat, une petite révolution en biogéographie

Distribution modélisée de la Parisette à quatre feuilles (*Paris quadrifolia*) selon la source climatique utilisée



Paris quadrifolia

Macroclimat (1km x 1km)

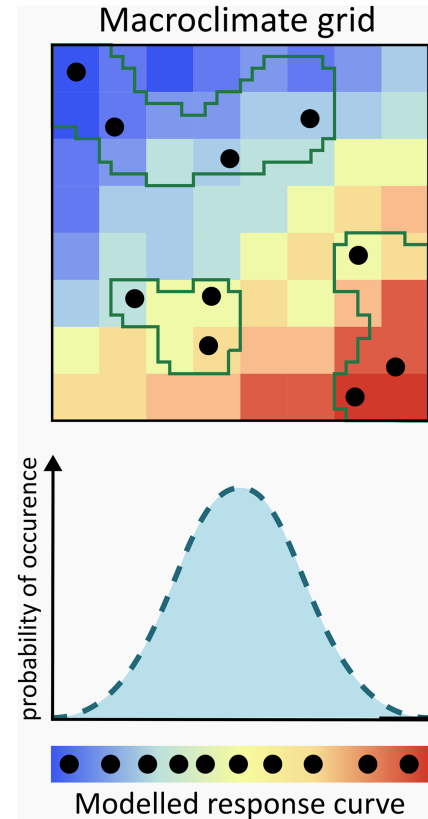


Haesen et al. *Ecology Letters* (2023)

 **Suitable**

 **Unsuitable**

 **No forest**



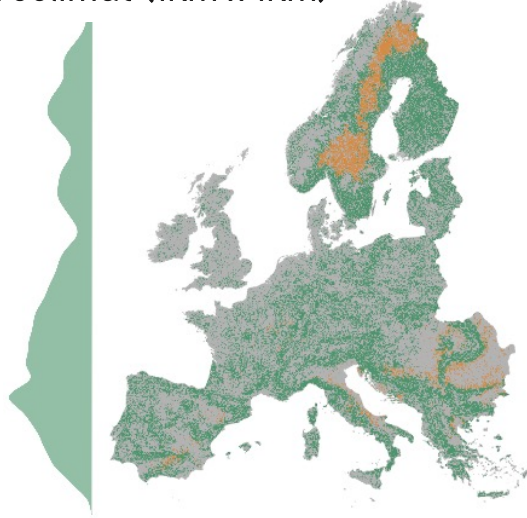
Modéliser le microclimat, une petite révolution en biogéographie

Distribution modélisée de la Parisette à quatre feuilles (*Paris quadrifolia*) selon la source climatique utilisée

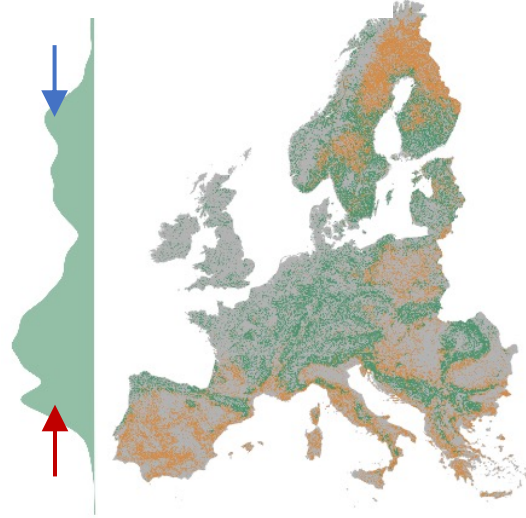


Paris quadrifolia

Macroclimat (1km x 1km)



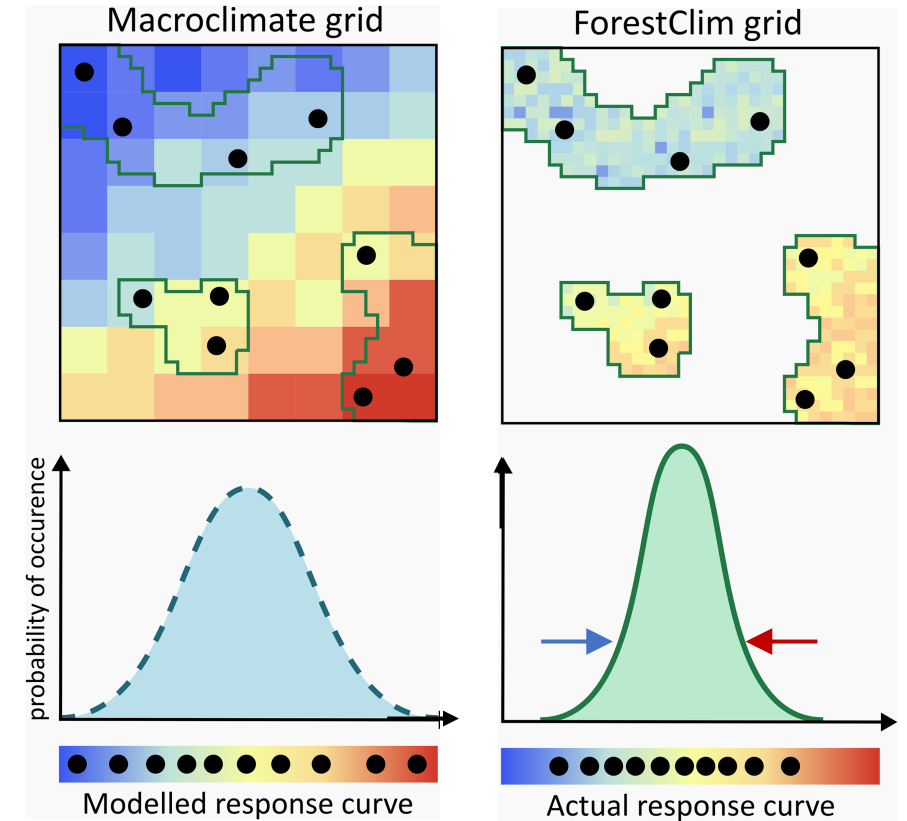
Microclimat (25m x 25m)



Haesen et al. *Ecology Letters* (2023)

 **Suitable**  **Unsuitable**  **No forest**

La prise en compte du microclimat en forêt conduit à des modèles de distribution d'espèce **généralement plus robustes**, et qui prédisent des **aires de répartition moins étendues**, surtout aux limites nord/froides et sud/chaudes, où les espèces se retrouvent souvent en situation de **refuge climatique**



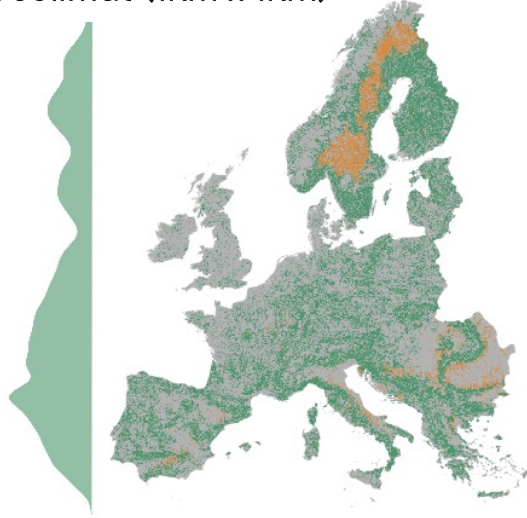
Modéliser le microclimat, une petite révolution en biogéographie

Distribution modélisée de la Parisette à quatre feuilles (*Paris quadrifolia*) selon la source climatique utilisée

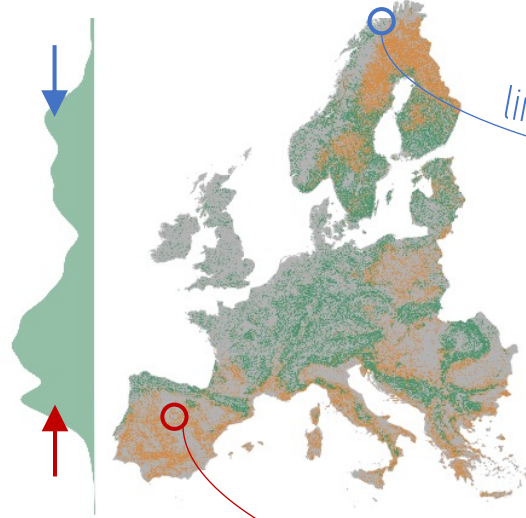


Paris quadrifolia

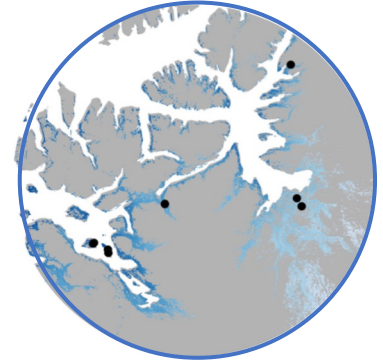
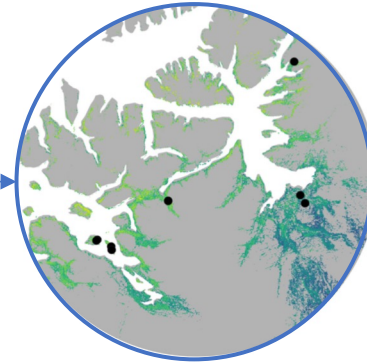
Macroclimat (1km x 1km)



Microclimat (25m x 25m)

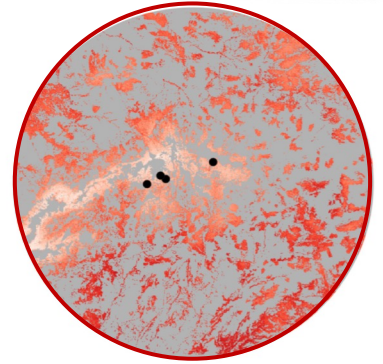
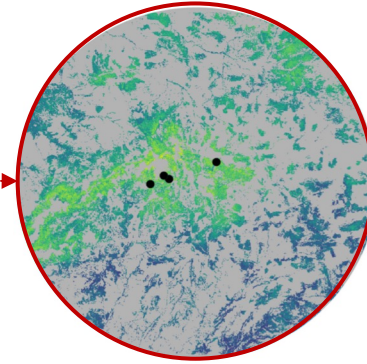


limite Nord/froide



22 64 Suitability (%) -20 -3 Minimum temperature (°C)

limite Sud/chaude



18 47 Suitability (%) 22 39 Maximum temperature (°C)

Haesen et al. *Ecology Letters* (2023)

Suitable Unsuitable No forest

La prise en compte du microclimat en forêt conduit à des modèles de distribution d'espèce généralement plus robustes, et qui prédisent des aires de répartition moins étendues, surtout aux limites nord/froides et sud/chaudes, où les espèces se retrouvent souvent en situation de refuge climatique

En résumé...

Les extrêmes climatiques en forêt sont souvent atténués par rapport à un milieu ouvert et cette atténuation dépend:

- de la **structure et composition** du couvert arboré
- d'éléments du **paysage** comme la microtopographie ou la proximité d'un cours d'eau

Le microclimat en forêt influence la **biodiversité** et la **régénération** des forêts, et les avancées dans la spatialisation du microclimat à l'échelle continentale permet de mieux identifier les **refuges climatiques** et les **aires de répartition des espèces**, actuelles et futures

Besoin d'une approche de modélisation à base physique pour **mieux comprendre les effets de seuils** (ouverture de canopée optimale, largeur de ripisylve minimum, etc.)



Crédit photo: Max A. Rush