

# MICROCLIMAT EN FORÊT: RÔLE DES FACTEURS LOCAUX ET PAYSAGERS

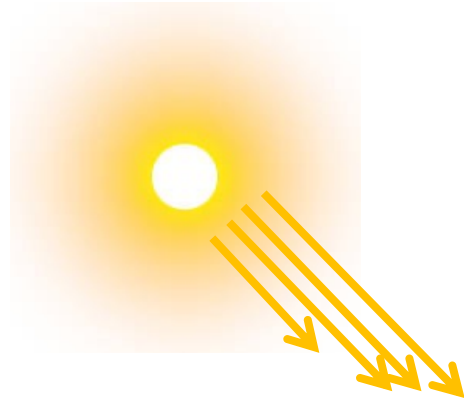


Crédit photo: Joe Cornish, National Trust Images

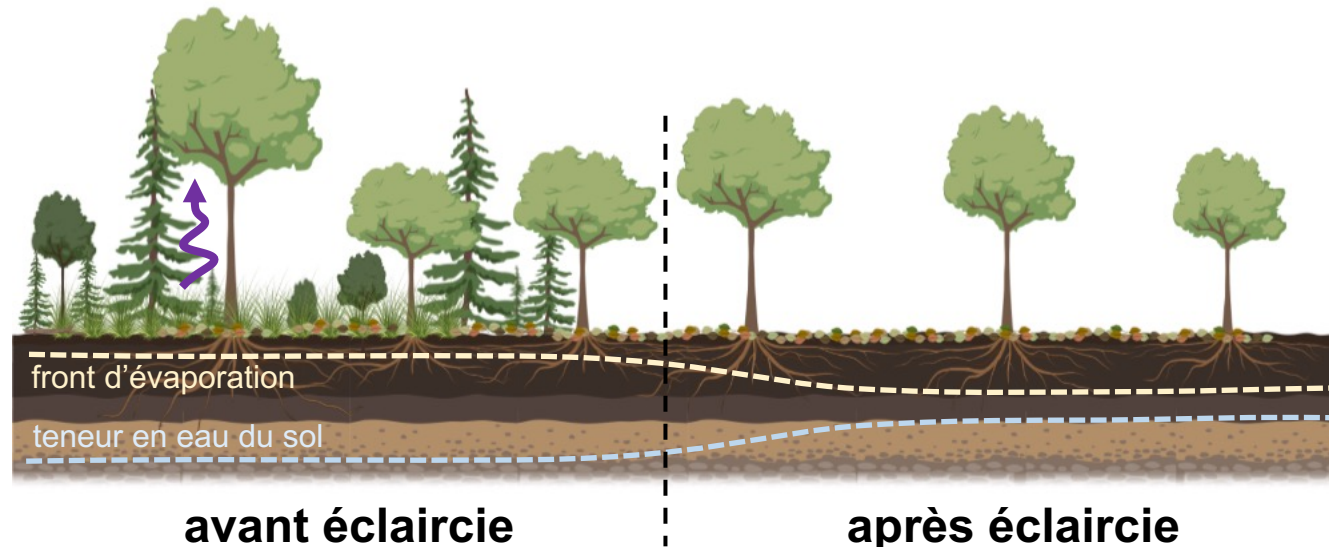
**Jérôme Ogée**

INRAE, Bordeaux Science Agro, UMR ISPA, Villenave d'Ornon, France

Tout changement dans la structure d'une forêt (éclaircie, contrôle du sous-bois, etc.) influence le microclimat en forêt selon des processus physiques bien documentés

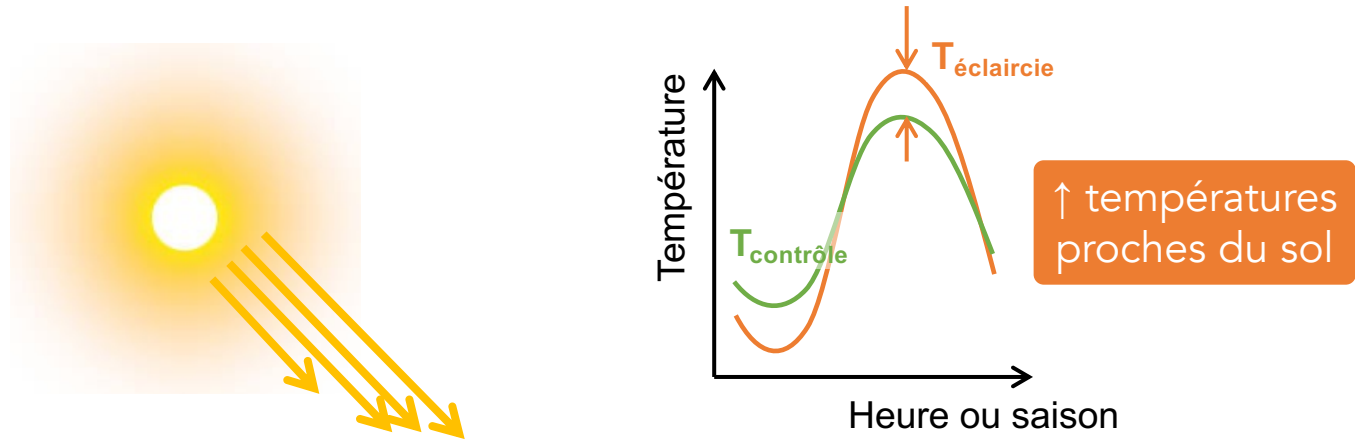


↑ rayonnement incident



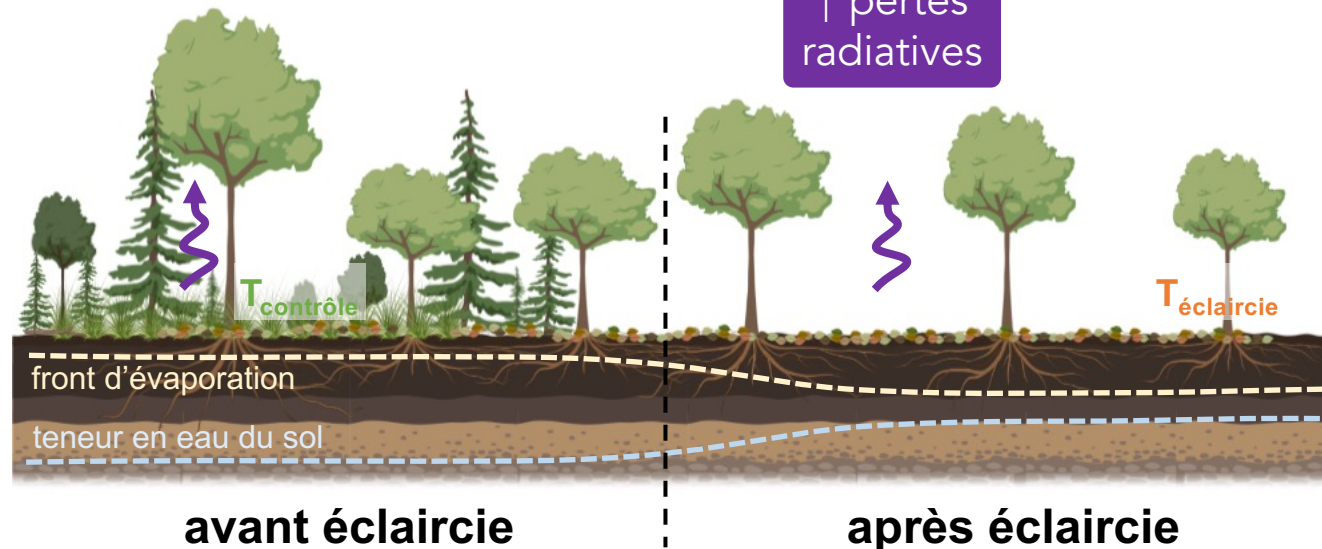
↑ teneur en eau du sol

Tout changement dans la structure d'une forêt (éclaircie, contrôle du sous-bois, etc.) influence le microclimat en forêt selon des processus physiques bien documentés



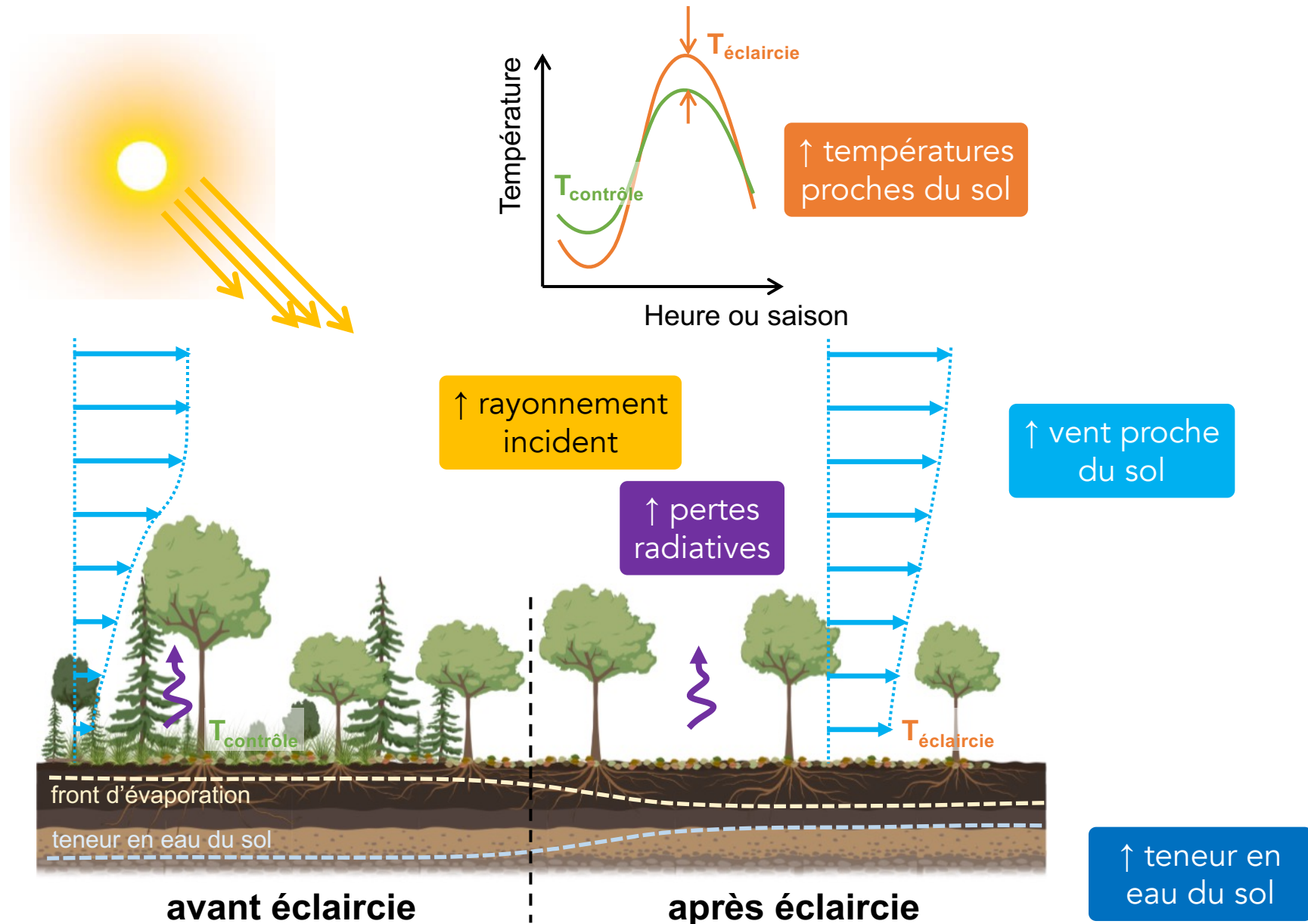
↑ rayonnement incident

↑ pertes radiatives

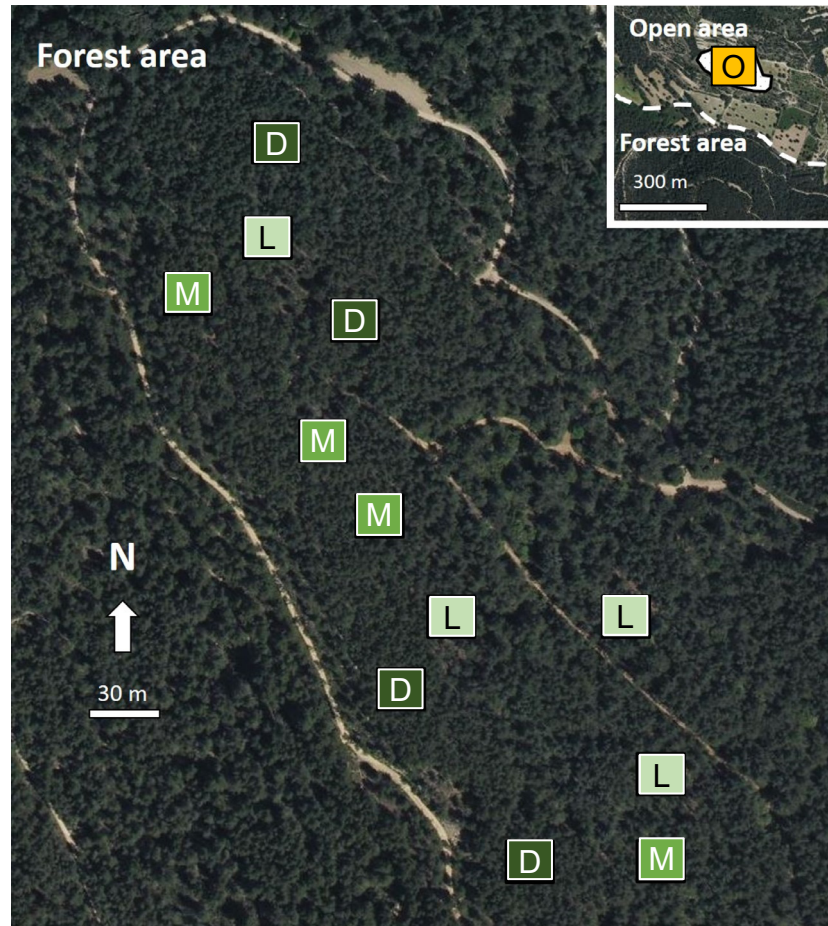


↑ teneur en eau du sol

Tout changement dans la structure d'une forêt (éclaircie, contrôle du sous-bois, etc.) influence le microclimat en forêt selon des processus physiques bien documentés



# Exemple en forêt méditerranéenne (Saint-Mitre) de pins d'Alep (~ 60 ans après recolonisation) avec sous-étage de feuillus (chênes...)

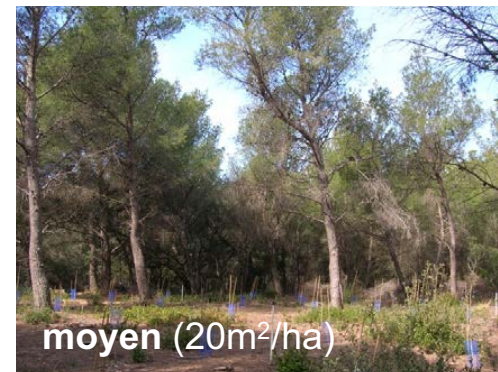


## Niveaux d'éclaircies (2007)

- D:** dense (contrôle)
- M:** moyen (-33%BA)
- L:** épars (-67%BA)
- O:** ouvert

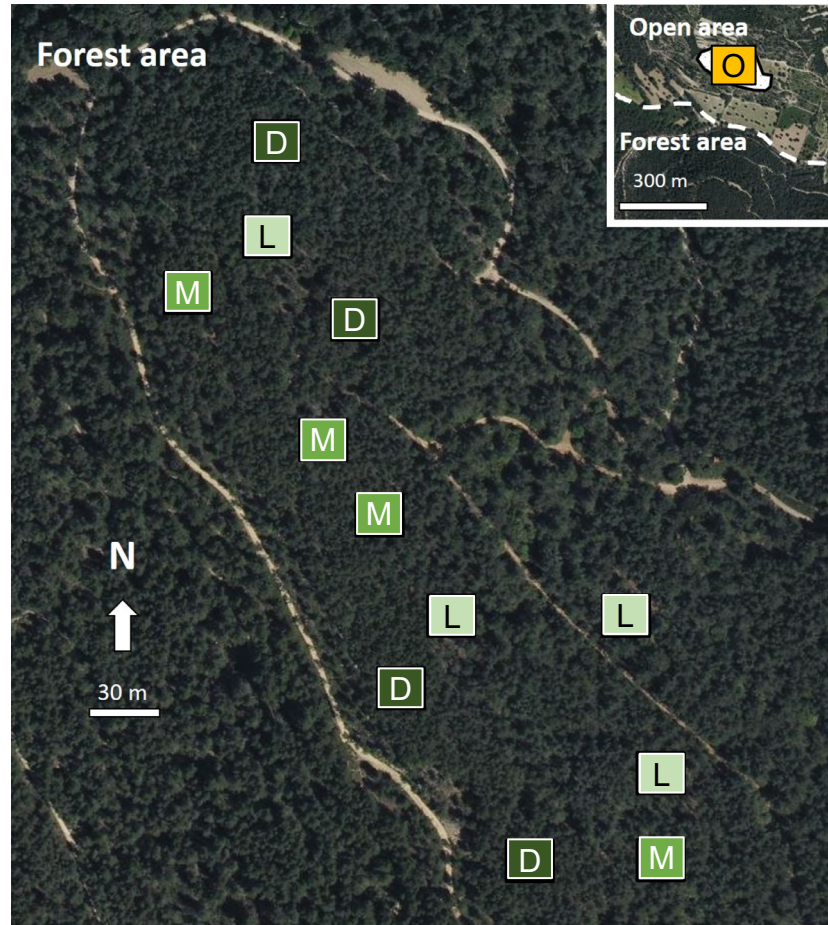
## Contrôle du sous-étage (Fév. 2016)

- +S:** avec sous-étage



Prévosto et al. (2020) Microclimate in Mediterranean pine forests: what is the influence of the shrub layer?, Agric. For., Meteorol. 282-3, 107856.

# Exemple en forêt méditerranéenne (Saint-Mitre) de pins d'Alep (~ 60 ans après recolonisation) avec sous-étage de feuillus (chênes...)



## Niveaux d'éclaircies (2007)

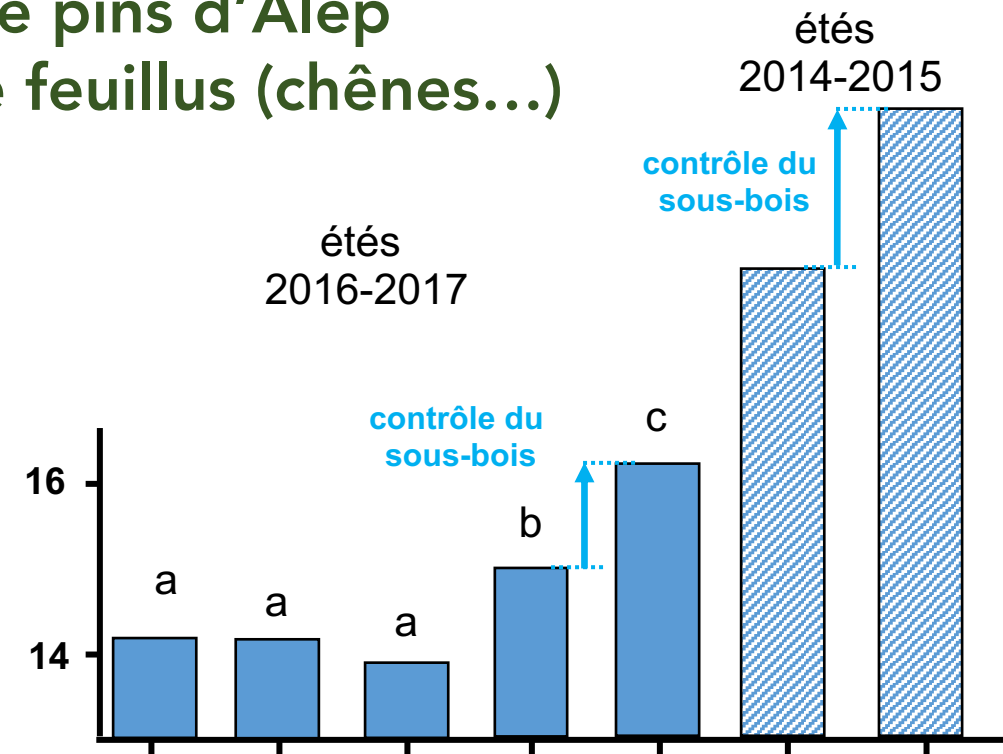
D: dense (contrôle)  
 M: moyen (-33%BA)  
 L: épars (-67%BA)  
 O: ouvert

## Contrôle du sous-étage (Fév. 2016)

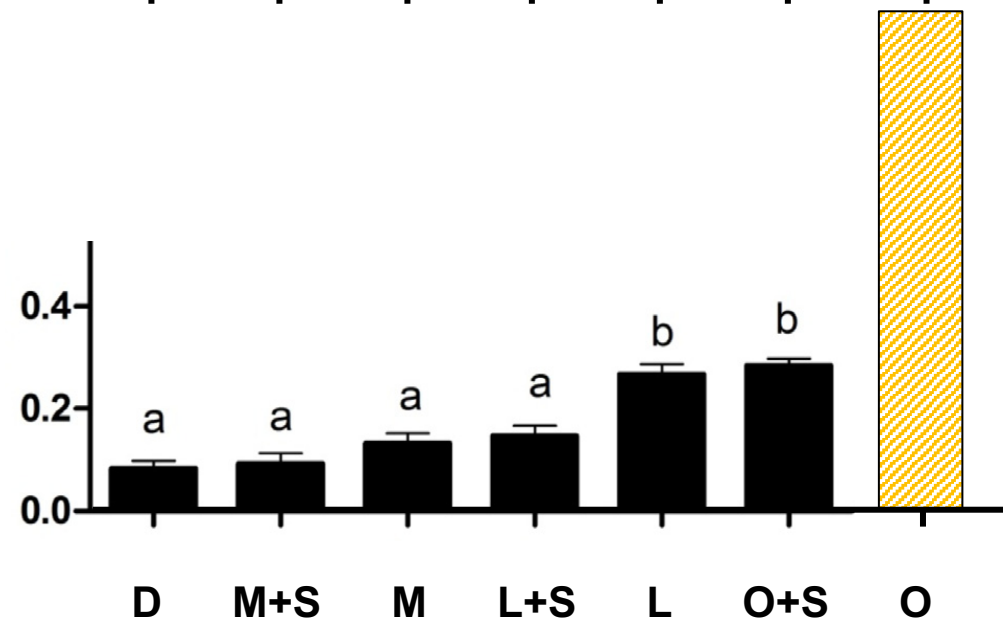
+S: avec sous-étage

Prévosto et al. (2020) Microclimate in Mediterranean pine forests: what is the influence of the shrub layer?, Agric. For., Meteorol. 282-3, 107856.

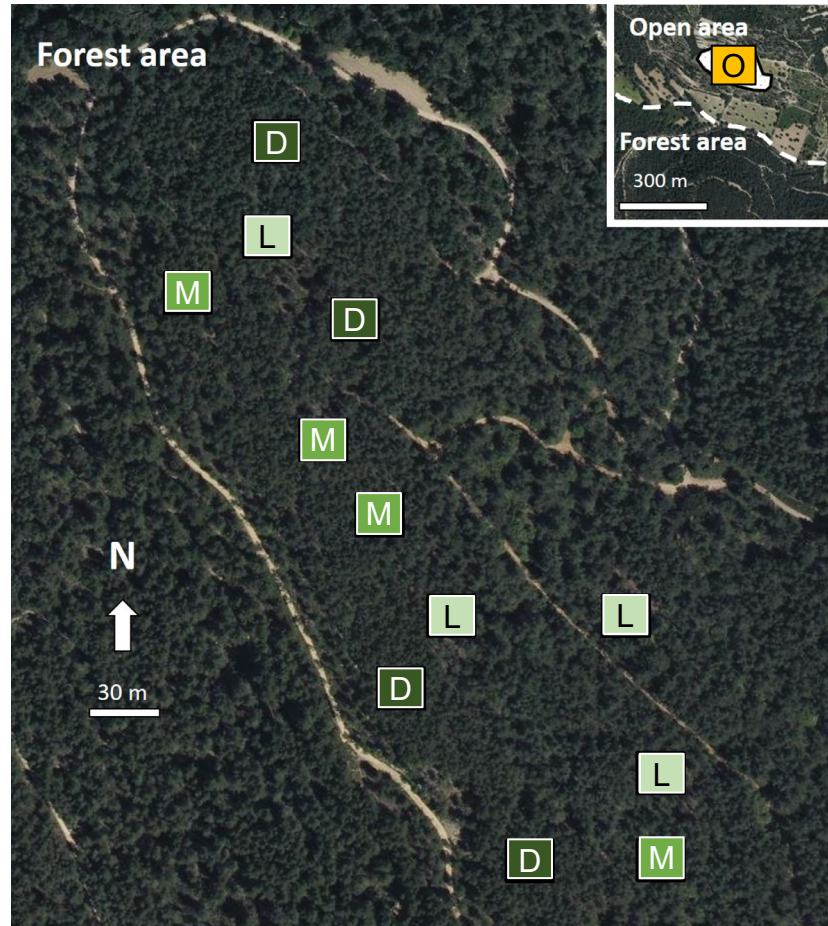
Teneur en eau  
 du sol à 30cm (% vol.)



Fraction du  
 rayonnement incident



# Exemple en forêt méditerranéenne (Saint-Mitre) de pins d'Alep (~ 60 ans après recolonisation) avec sous-étage de feuillus (chênes...)



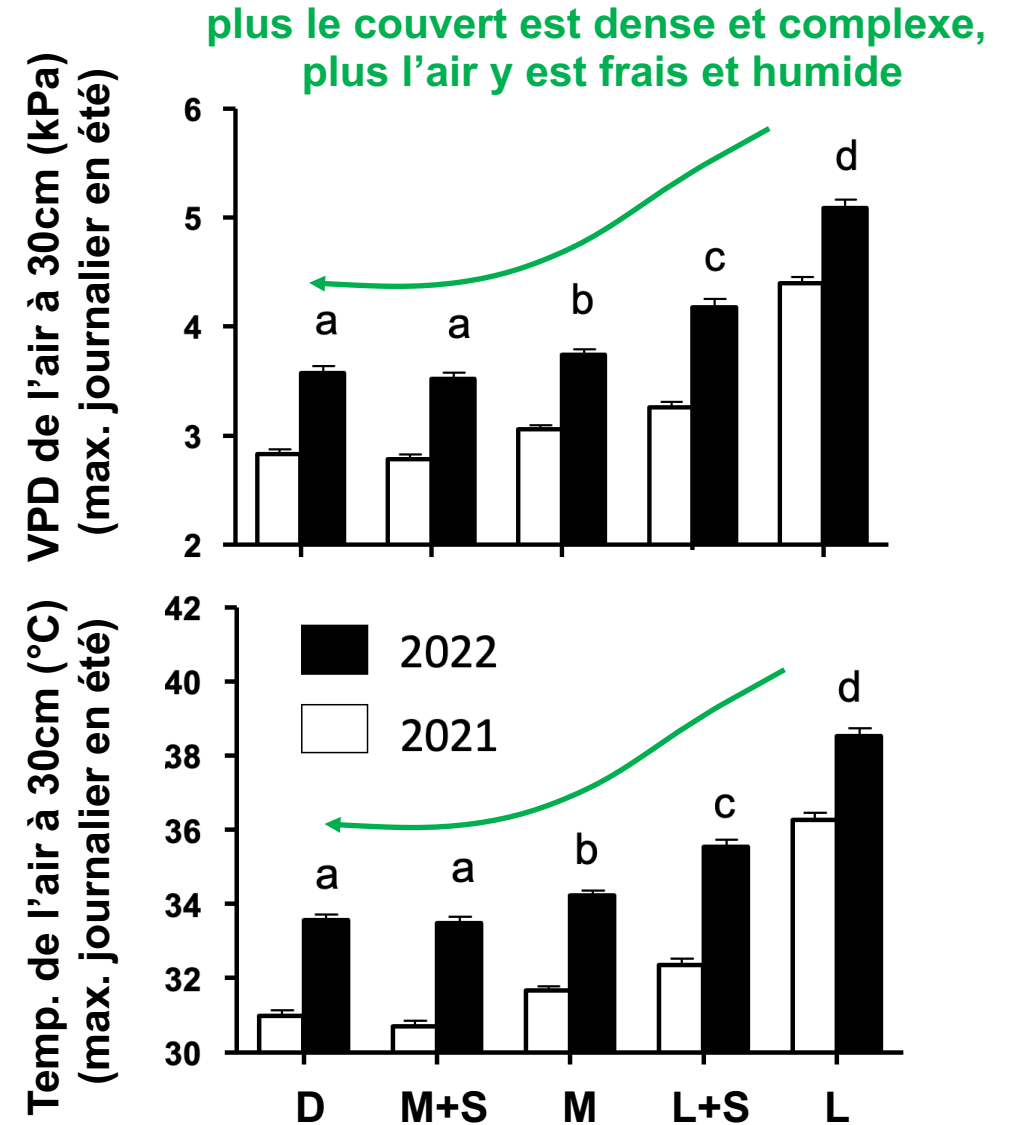
Prévosto et al. (unpublished)

## Niveaux d'éclaircies (2007)

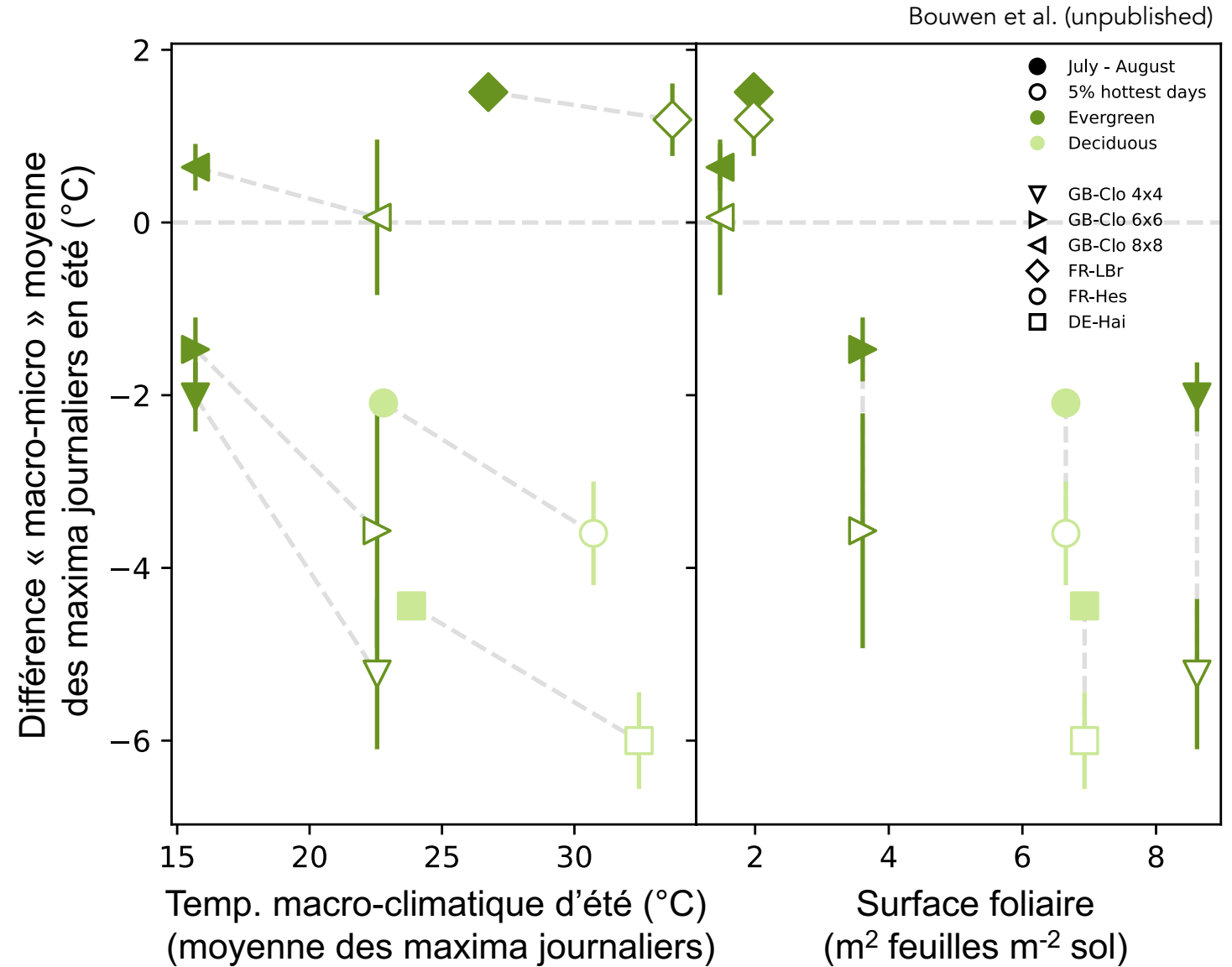
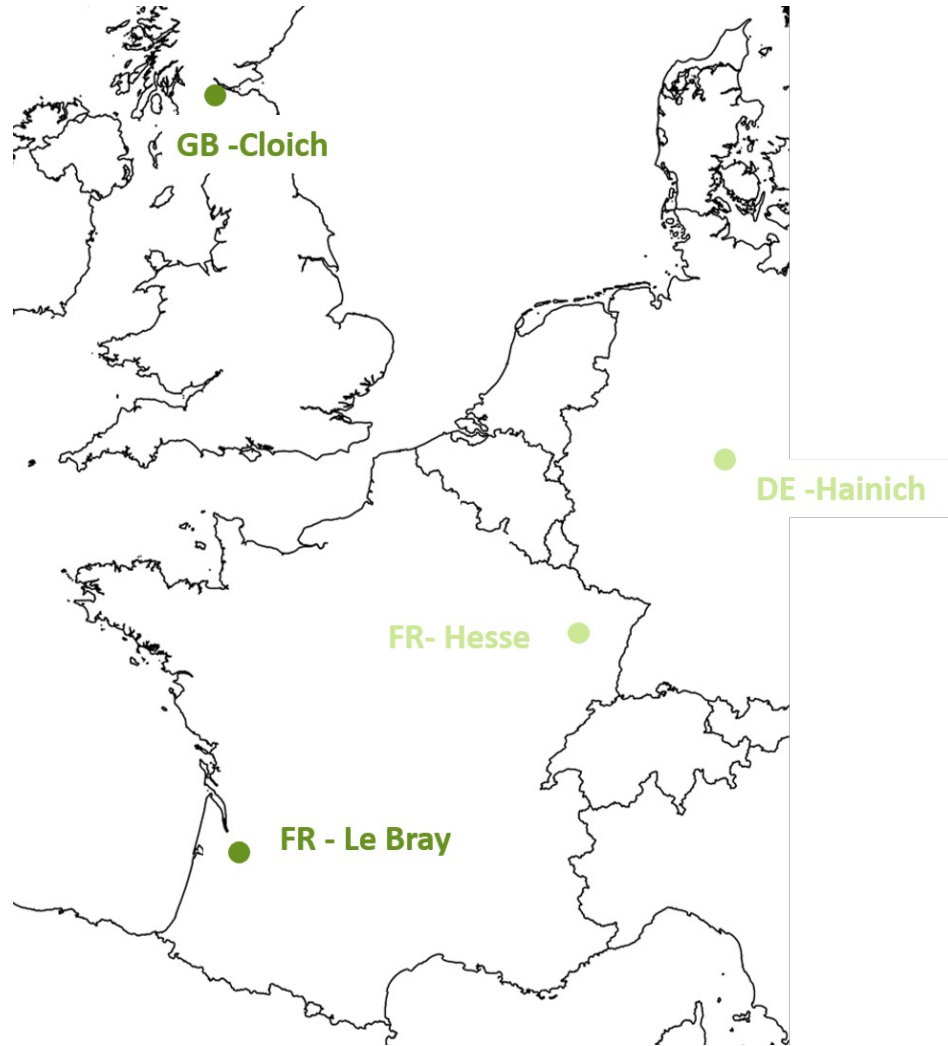
**D**: dense (contrôle)  
**M**: moyen (-33%BA)  
**L**: épars (-67%BA)  
**O**: ouvert

## Contrôle du sous-étage (Fév. 2016)

**+S**: avec sous-étage



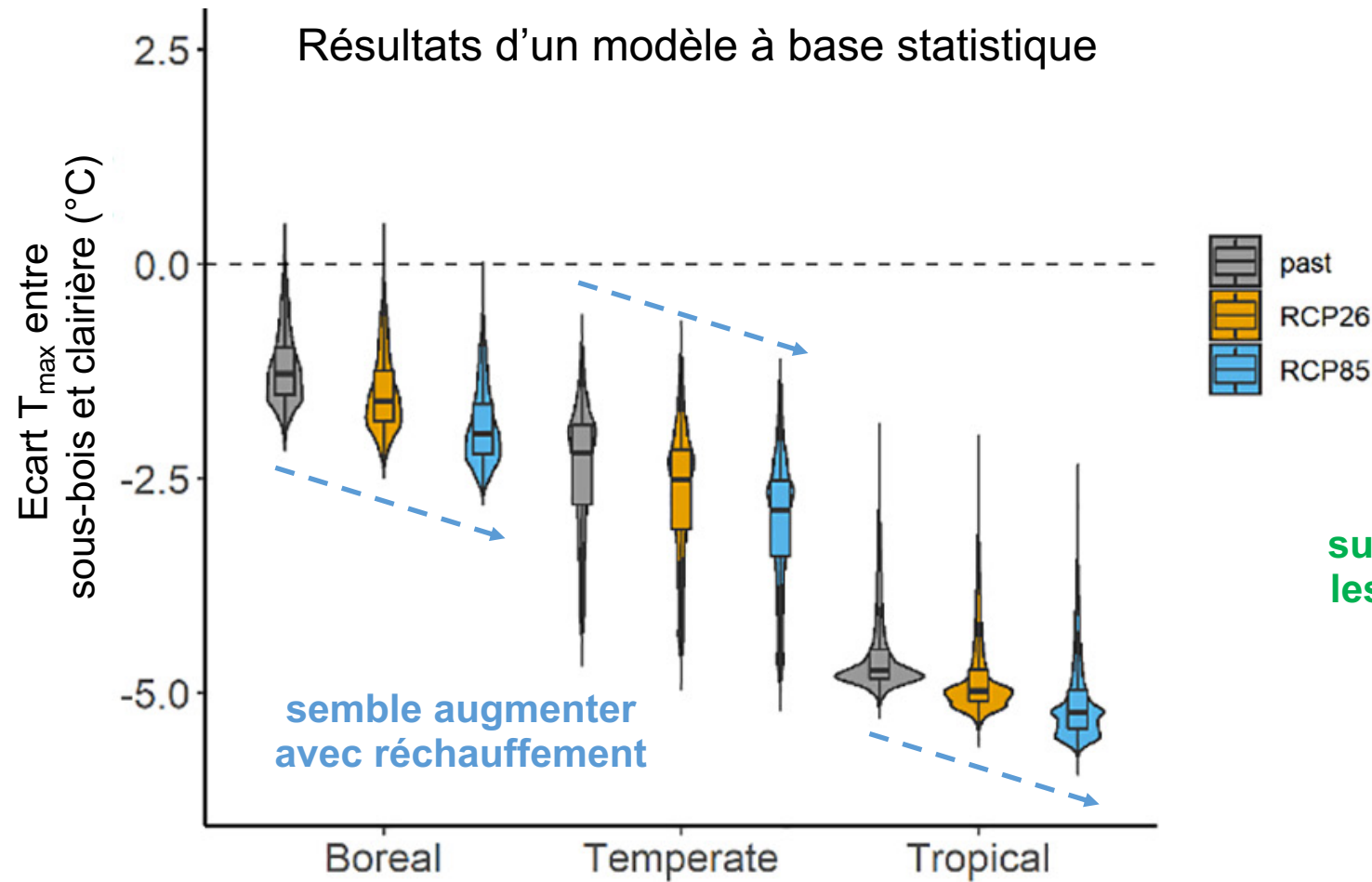
# L'atténuation des extrêmes climatiques par le couvert est plus importante encore que les valeurs moyennes: exemple sur 4 sites européens





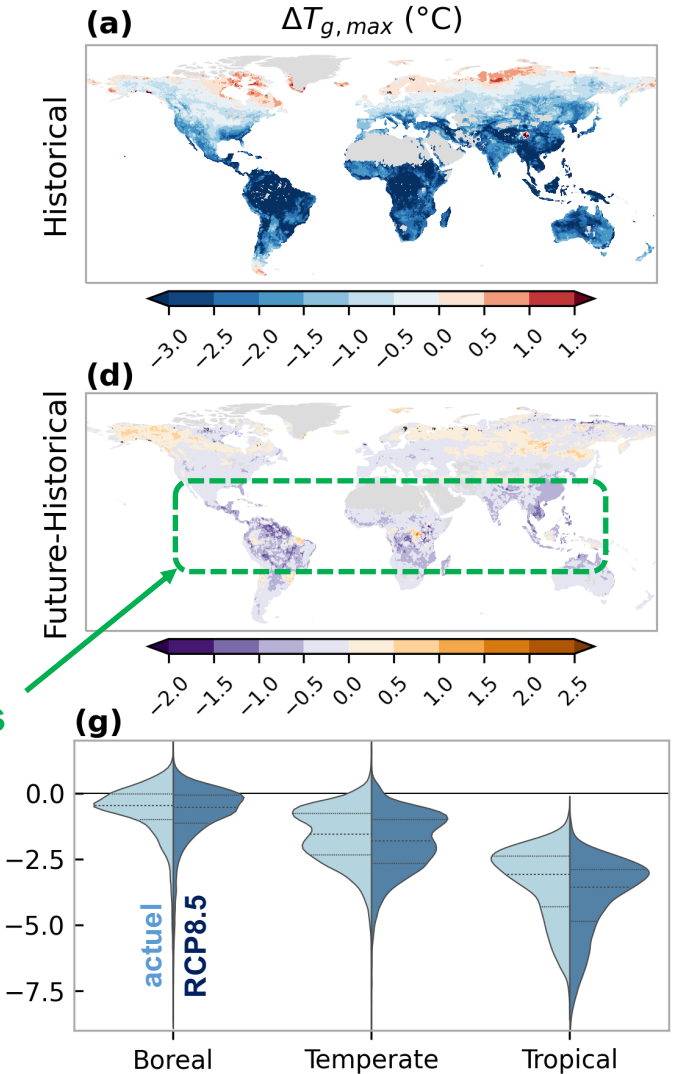
# Comment va évoluer cette atténuation des extrêmes climatiques par le couvert sous climat futur?

## Résultats d'un modèle à base physique



De Lombaerde et al. (Science Total Env. 2022)

Différence des temp. max. mensuelles entre forêt et non forêt (°C)

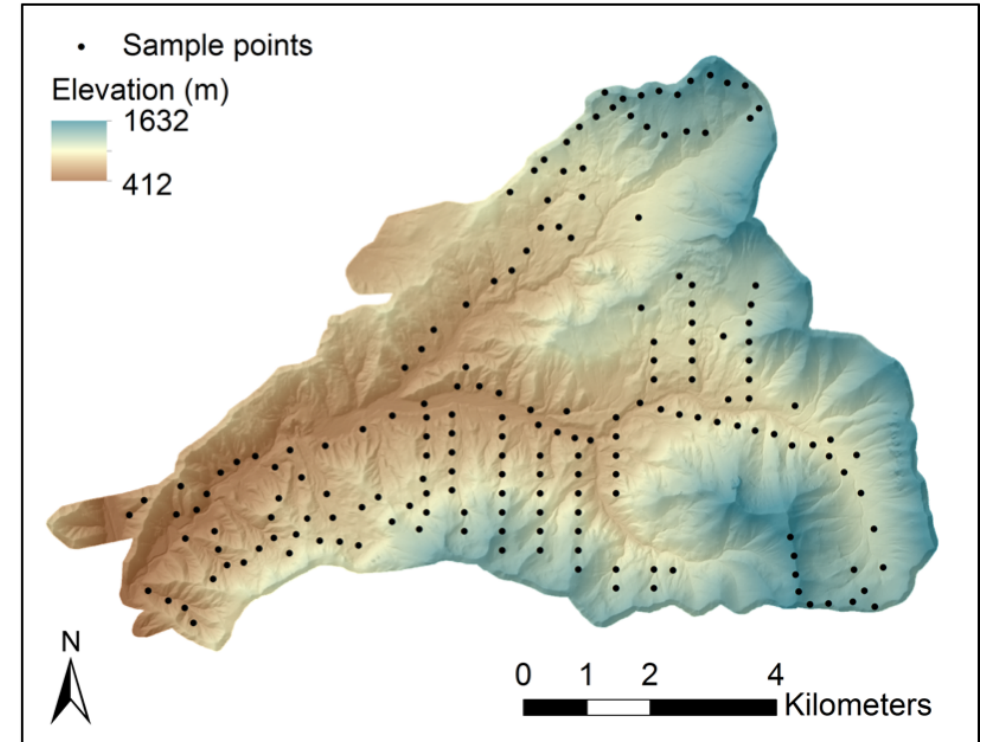


Hes et al. (unpublished)

# Outre la densité du couvert végétal, sa structure et sa composition jouent aussi, ainsi que la macro- et micro- topographie: exemple en Oregon



Crédit photo: Matthew Betts, Oregon State University

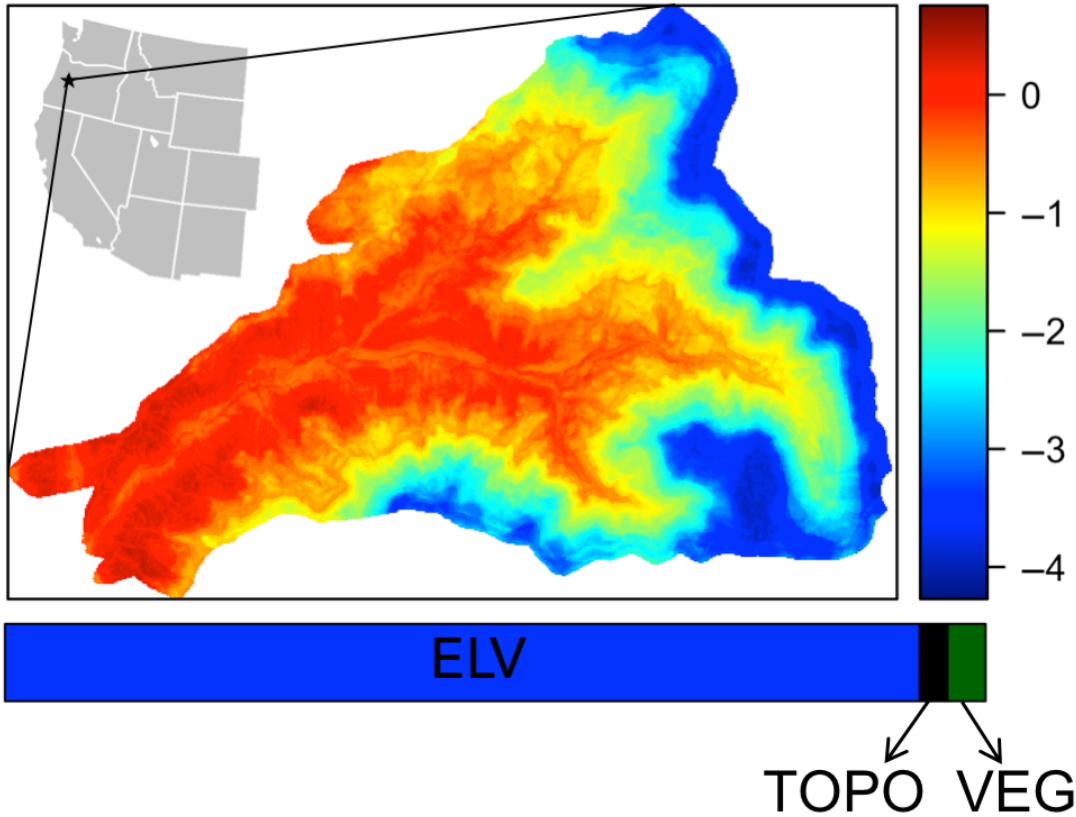


Frey et al. (2016) Spatial models reveal the microclimatic buffering capacity of old-growth forests, *Sci. Adv.*, 2, e1501392.

Réseau de capteurs microclimatiques sur tout un bassin versant forestier montagneux, avec de fortes variations d'élévation (400-1600m), mais aussi de microtopographie et de structure (caractérisées par LiDAR), avec notamment un mélange de **forêts anciennes** (photo de gauche) et de **plantations jeunes et matures** (photo de droite)

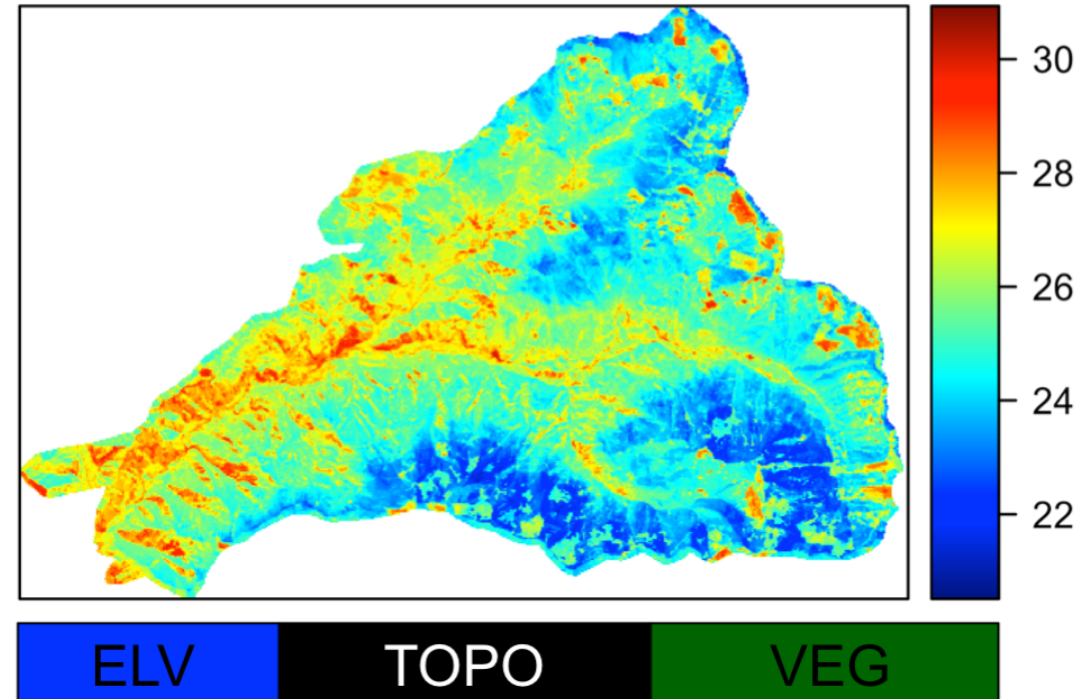
# Outre la densité du couvert végétal, sa structure et sa composition jouent aussi, ainsi que la macro- et micro- topographie: exemple en Oregon

Temp. de l'air minimale du mois le plus froid (°C)



les températures mensuelles **minimales** du mois le plus froid répondent principalement aux variations d'**élévation** (ELV)

Temp. de l'air maximale du mois le plus chaud (°C)

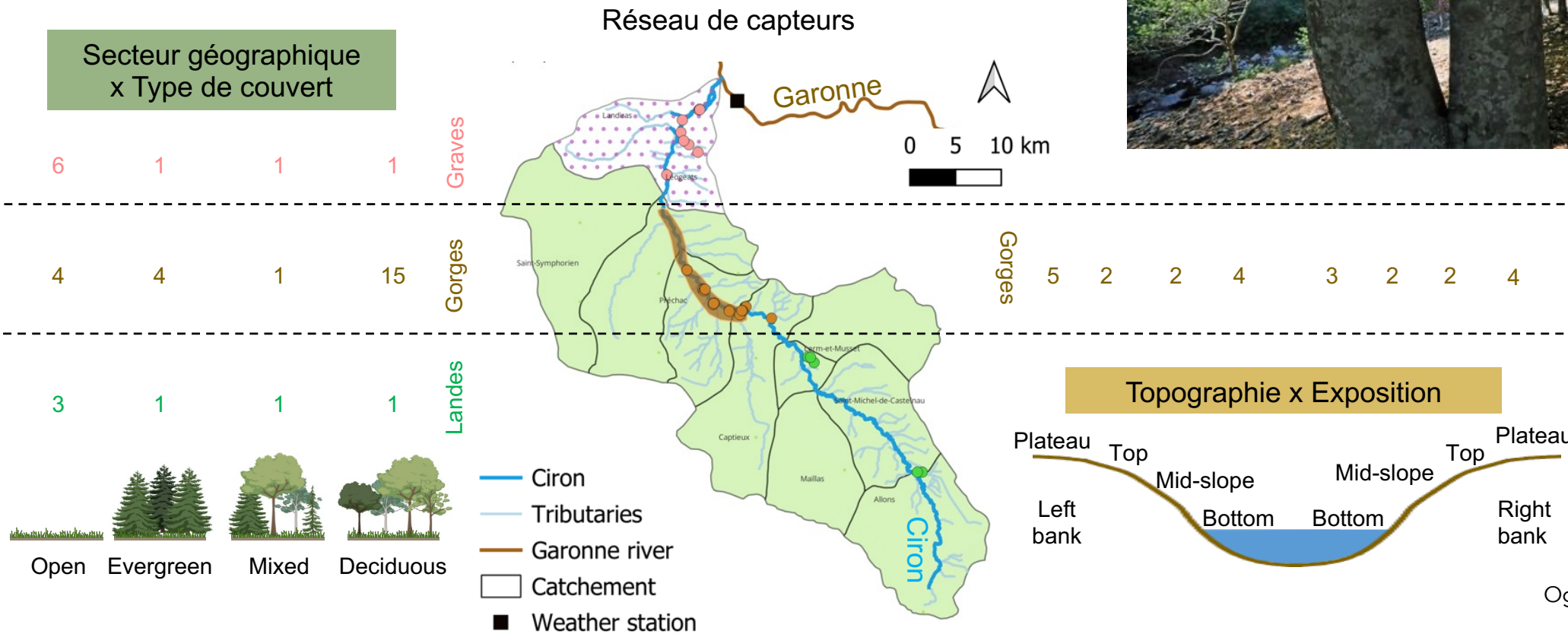


Frey et al. (2016) Spatial models reveal the microclimatic buffering capacity of old-growth forests, *Sci. Adv.*, 2, e1501392.

les températures mensuelles **maximales** du mois le plus chaud répondent en grande partie aux variations de **microtopographie** (TOPO) et de **structure** (VEG)

# Autre exemple ou le type de canopée végétale et la microtopographie jouent beaucoup: la vallée du Ciron

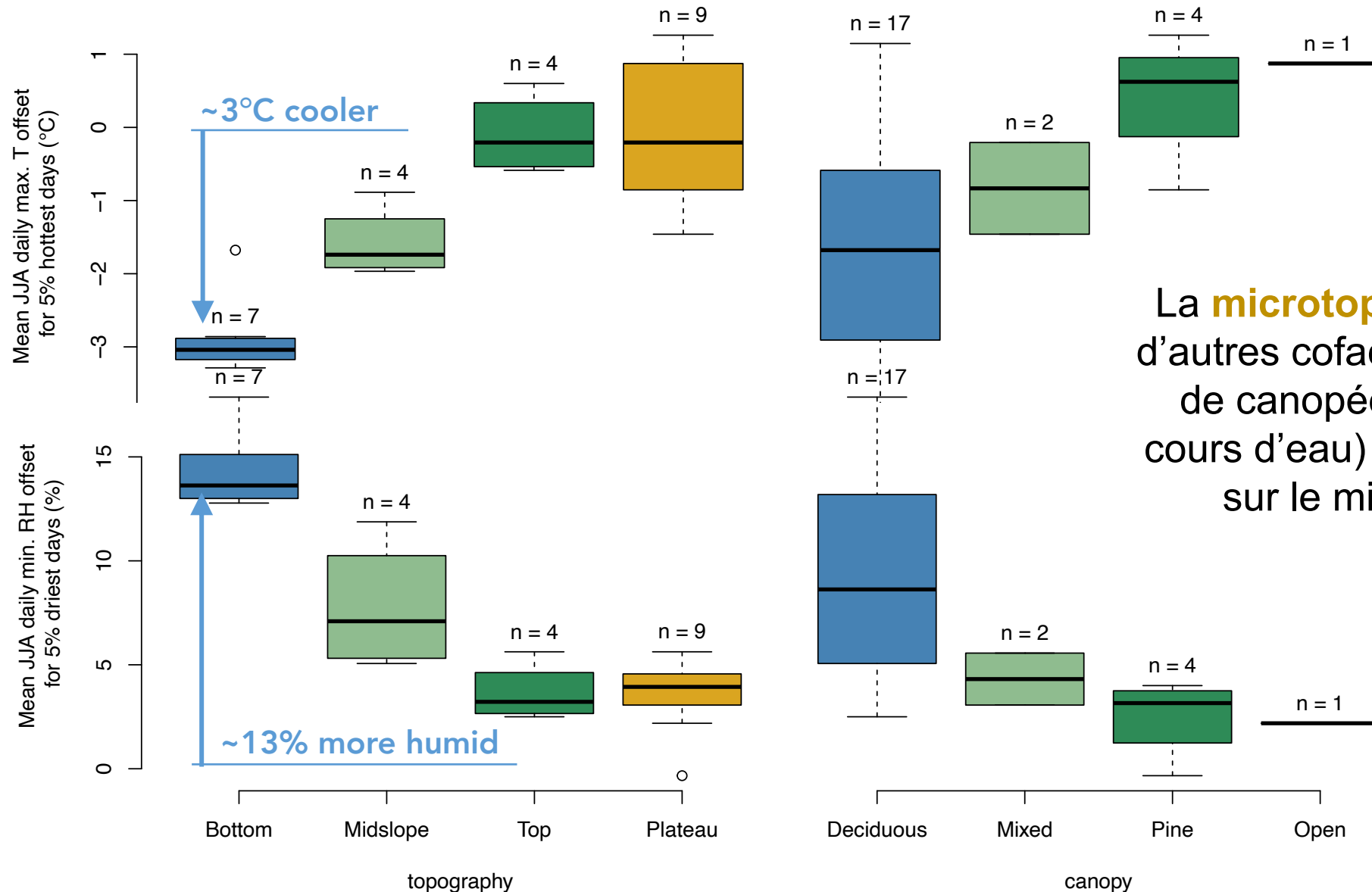
Les gorges du Ciron abritent une **population relictuelle de hêtres** isolée et datée du dernier maximum glaciaire



Ogée et al. (unpublished)

Réseau de capteurs microclimatiques le long du Ciron et ses affluents, répartis selon trois secteurs géographiques, et un gradient de microtopographie et de structure, entre **ripisylve de feuillus** et **plantations de pins maritimes**

# Autre exemple ou le type de canopée végétale et la microtopographie jouent beaucoup: la vallée du Ciron

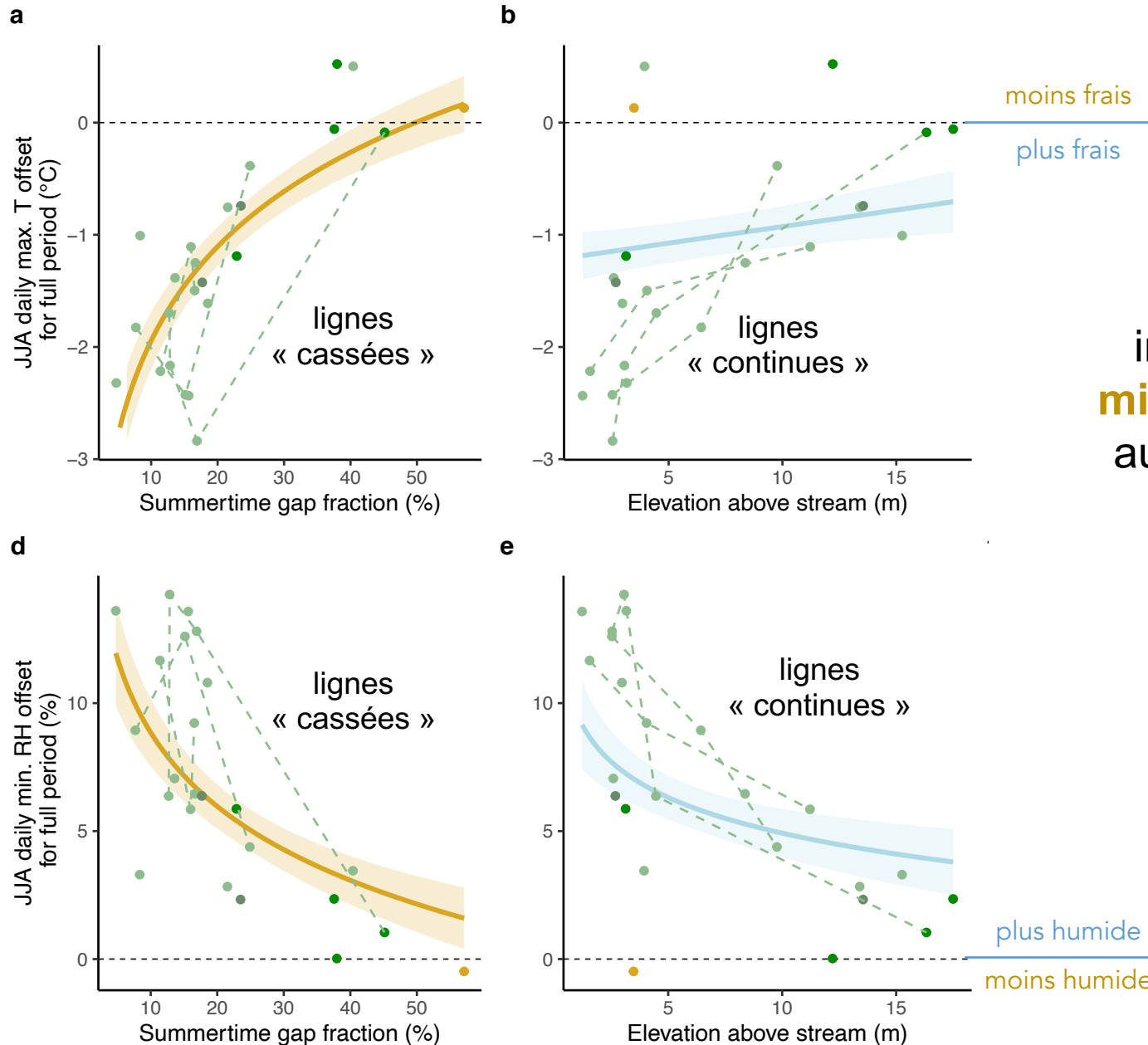


La **microtopographie** (plus que d'autres cofacteurs comme le type de canopée ou la distance au cours d'eau) a une forte influence sur le microclimat **en été**

# Autre exemple ou le type de canopée végétale et la microtopographie jouent beaucoup: la vallée du Ciron

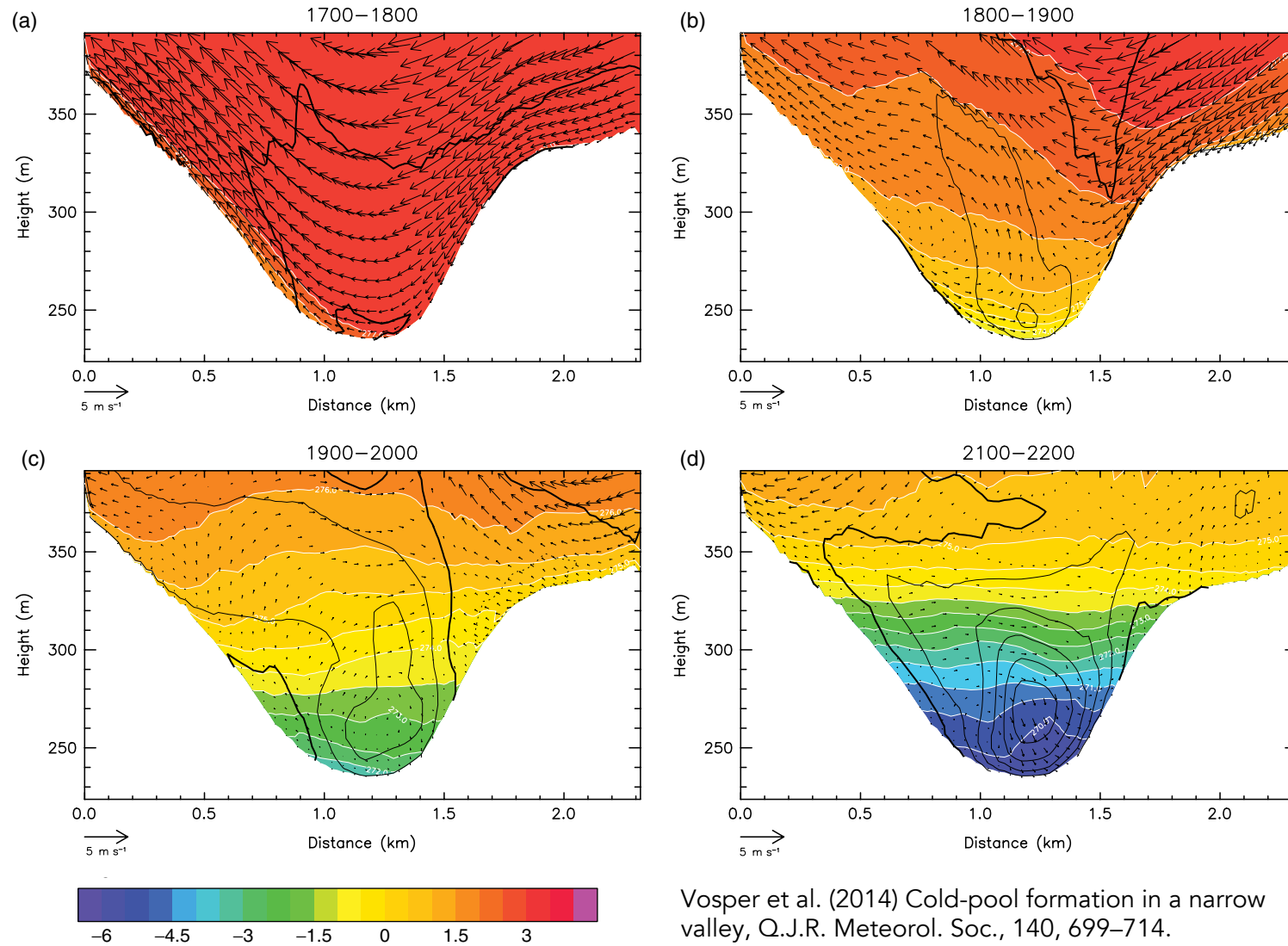
## Canopy type

- Deciduous
- Mixed
- Pine
- Open



Le long de transects individuels (pointillés), la **microtopographie** (hauteur au-dessus du cours d'eau) semble être le **facteur principal** influençant le microclimat en été

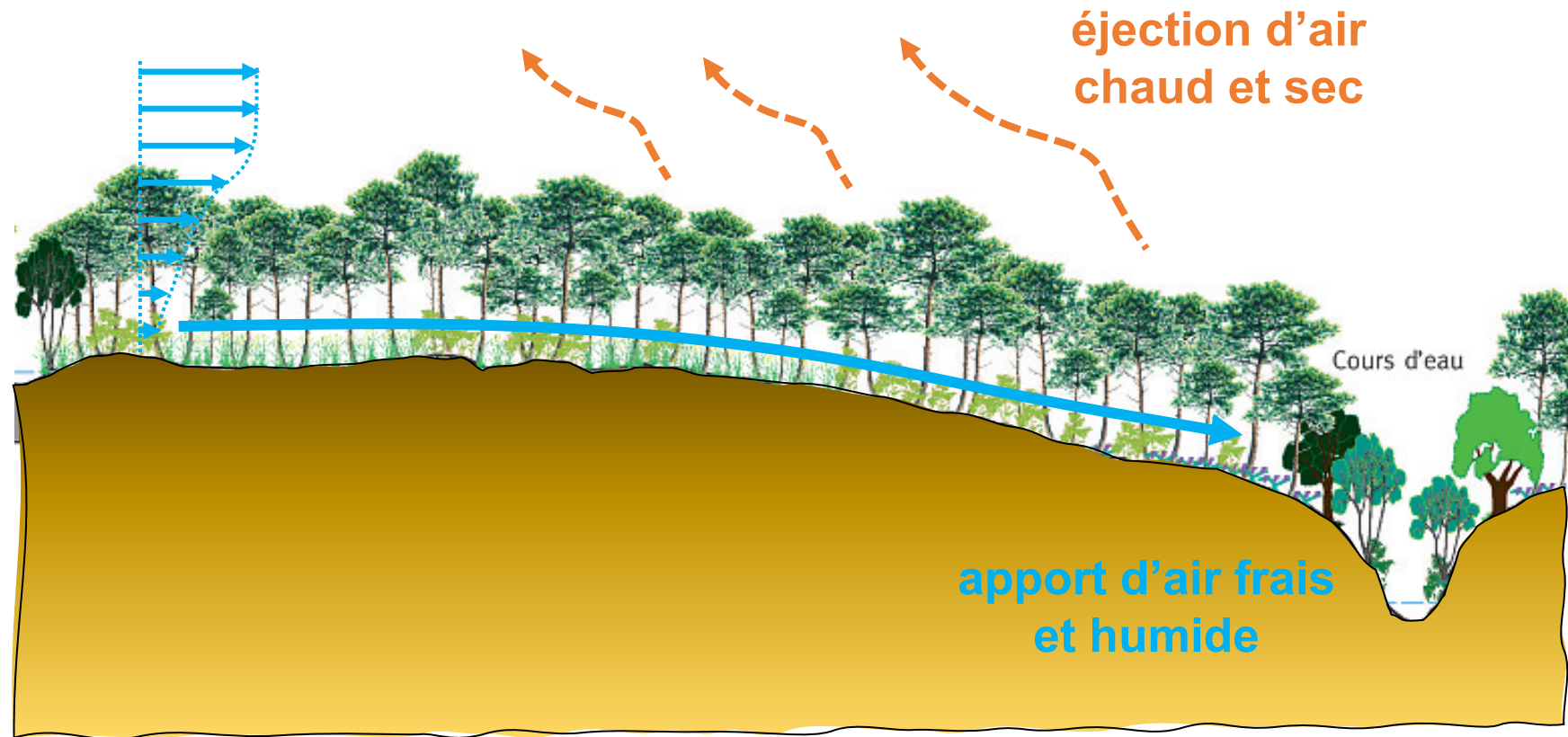
# Les mécanismes de formation de poches d'air froid sont bien connus mais sur des dénivelés généralement importants (>100m) et en atmosphère stable (la nuit)



Vosper et al. (2014) Cold-pool formation in a narrow valley, Q.J.R. Meteorol. Soc., 140, 699–714.

- Principalement étudiés pour les risques de gels.
- En journée ensoleillée d'été, la couche limite est bien mélangée et les gradients de températures sont a priori moins marqués

# Les mécanismes de formation d'écart de température en journée d'été caniculaire (convection libre) sont beaucoup moins bien compris

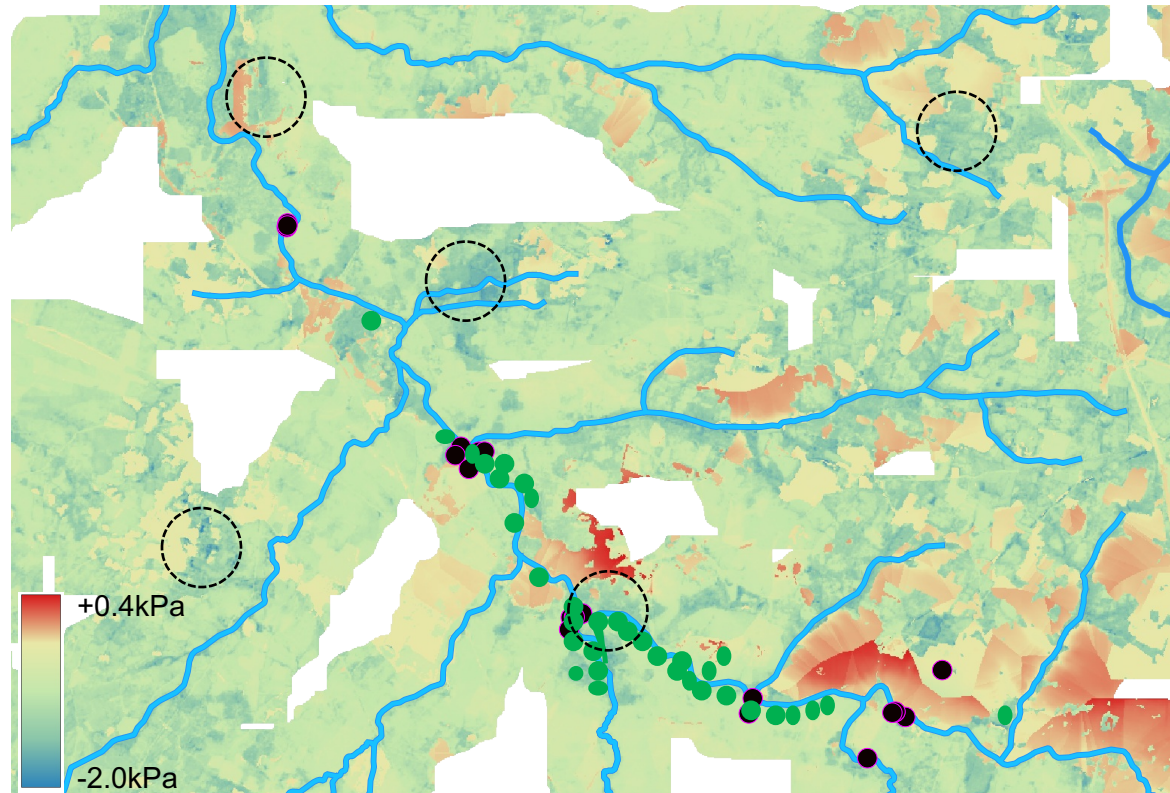


- La prise en compte du découplage des écoulements sous et au-dessus de la canopée est essentielle
- La continuité du couvert forestier pourrait être un facteur essentiel expliquant le rafraichissement des berges observé en été



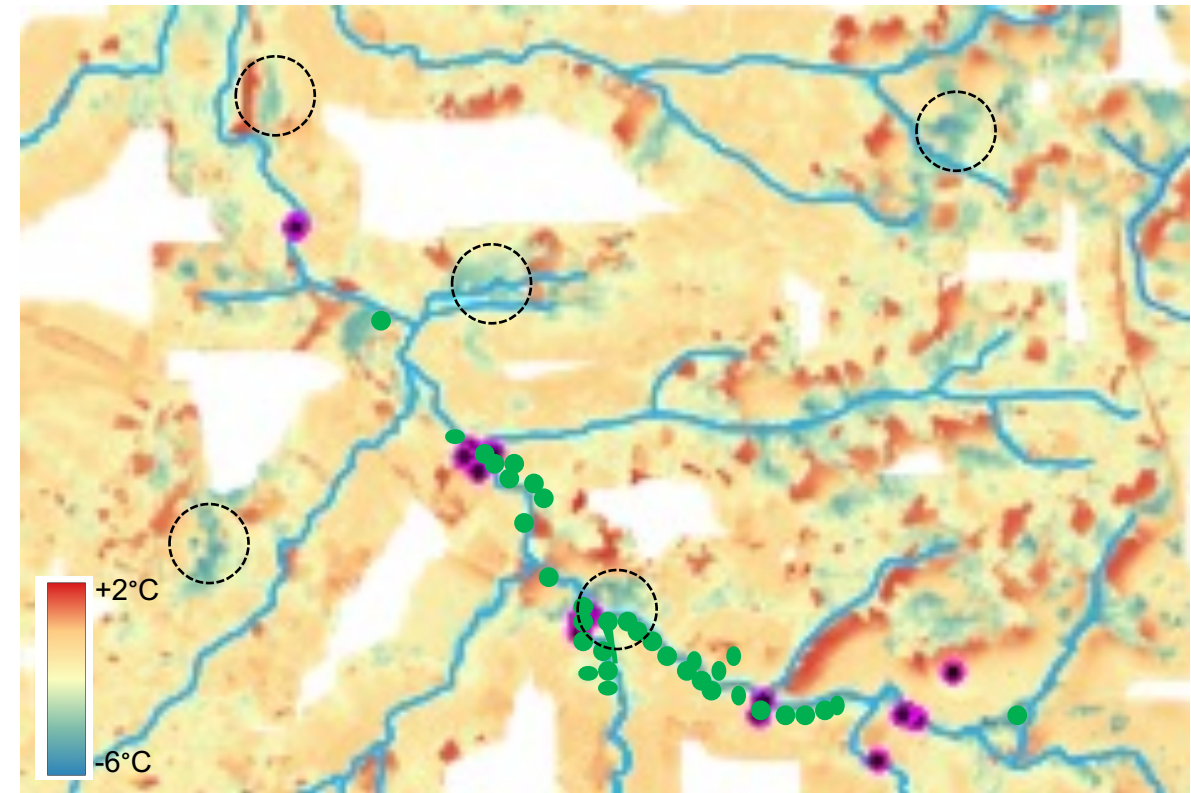
# Autre exemple ou le type de canopée végétale et la microtopographie jouent beaucoup: la vallée du Ciron

Mean JJA daily max. VPD offset for 5% driest days (kPa)



● Hêtres adultes (en 2017)    ● Sondes microclimatiques

Mean JJA daily max. T offset for 5% hottest days (°C)



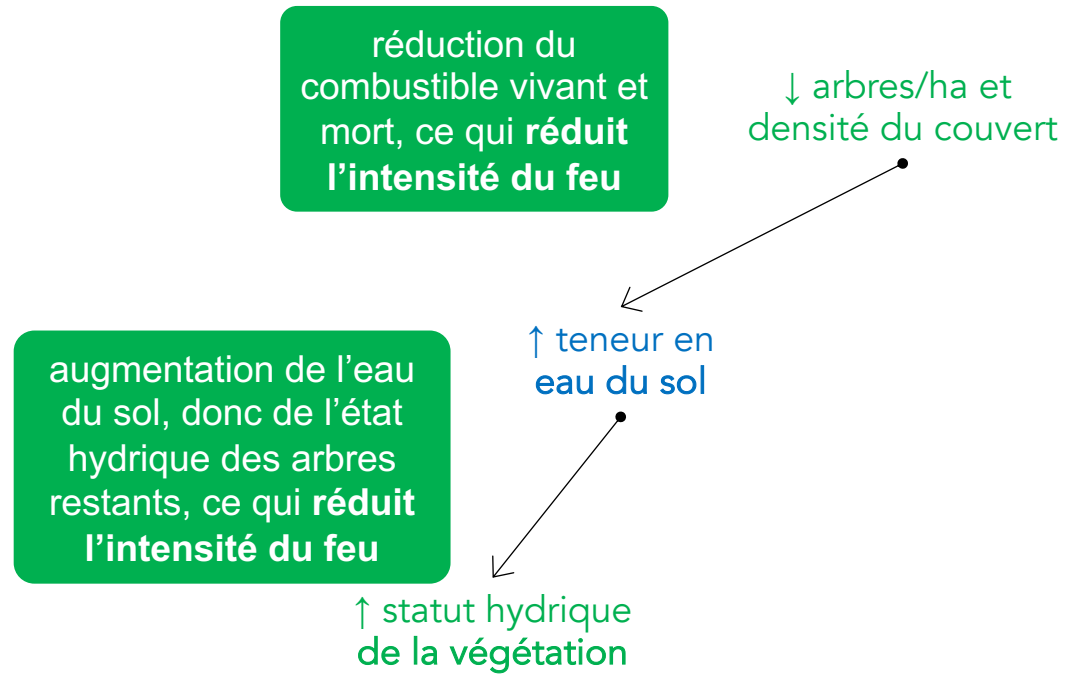
0 1 2 km



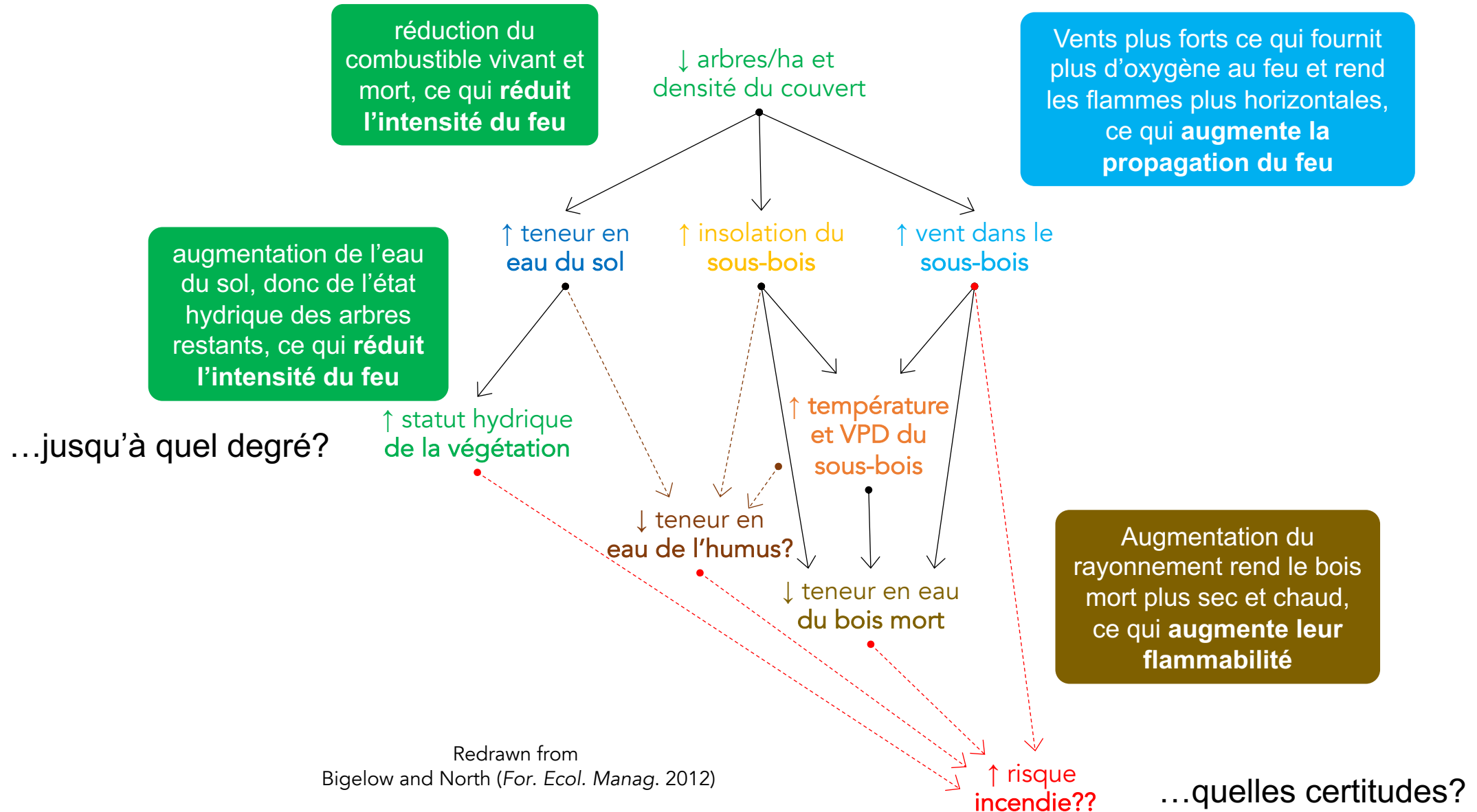
Marion Desale (rapport de stage 2ème année BSA)

Par application de modèles statistiques de microclimat tenant compte des facteurs paysagers, on peut essayer d'identifier des zones (cercles) dans le paysage propices pour la régénération du Hêtre

# De la compréhension de l'influence de la structure du couvert et la microtopographie sur le microclimat ... à la gestion du risque en forêt: exemple du risque incendie



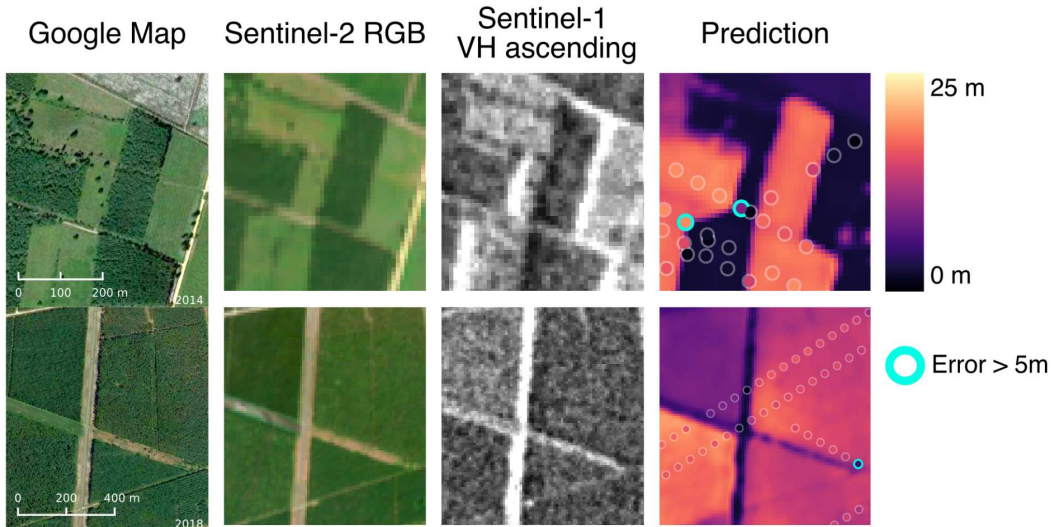
# De la compréhension de l'influence de la structure du couvert et la microtopographie sur le microclimat ... à la gestion du risque en forêt: exemple du risque incendie



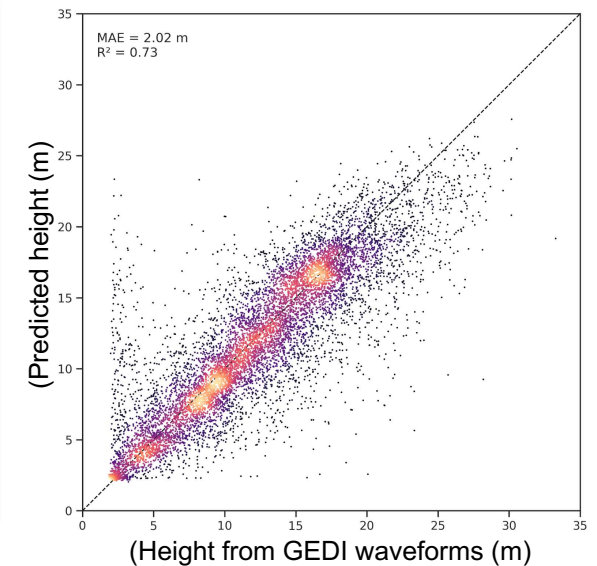
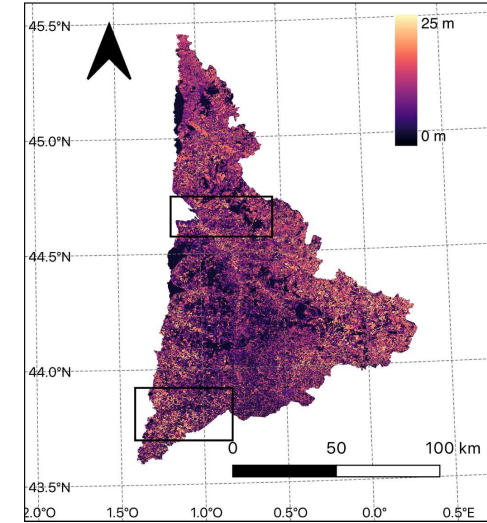
Redrawn from Bigelow and North (*For. Ecol. Manag.* 2012)

# De la compréhension de l'influence de la structure du couvert et la microtopographie sur le microclimat ... à la gestion du risque en forêt: exemple du risque tempête

- Nouveaux algorithmes IA permettent d'estimer la hauteur des arbres à 10m de résolution, à l'échelle nationale



(Schwartz et al. 2023)



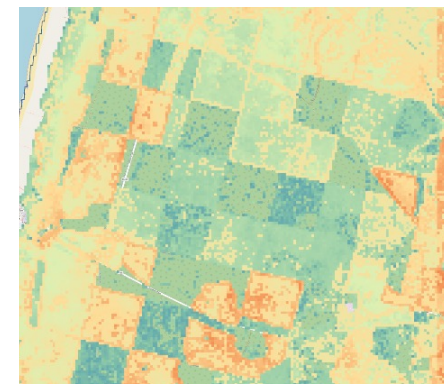
- Vitesse de vent critique (pour le Chablis) dépend de facteurs à l'échelle individu (hauteur  $h$  et DBH) et parcelle (surface terrière BA, indice de compétition)

$$U_{crit} \propto \frac{1}{\sqrt{TMC}} \text{ with } TMC \approx 114D^2h - 20.5\frac{C_{BAL}}{BA}$$

(TMC = turning moment coefficient)

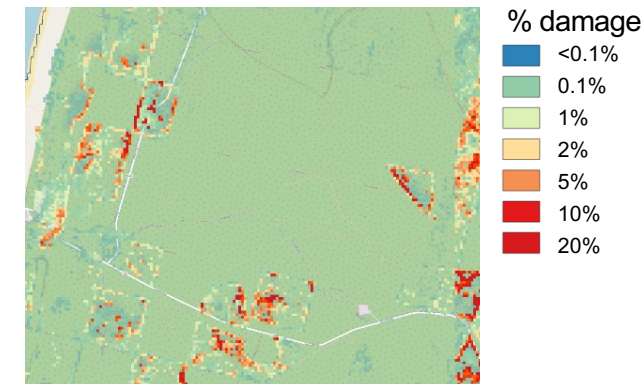
- Possibilité d'évaluer le risque à l'échelle parcelle mais aussi individus

Critical wind speed for breakage



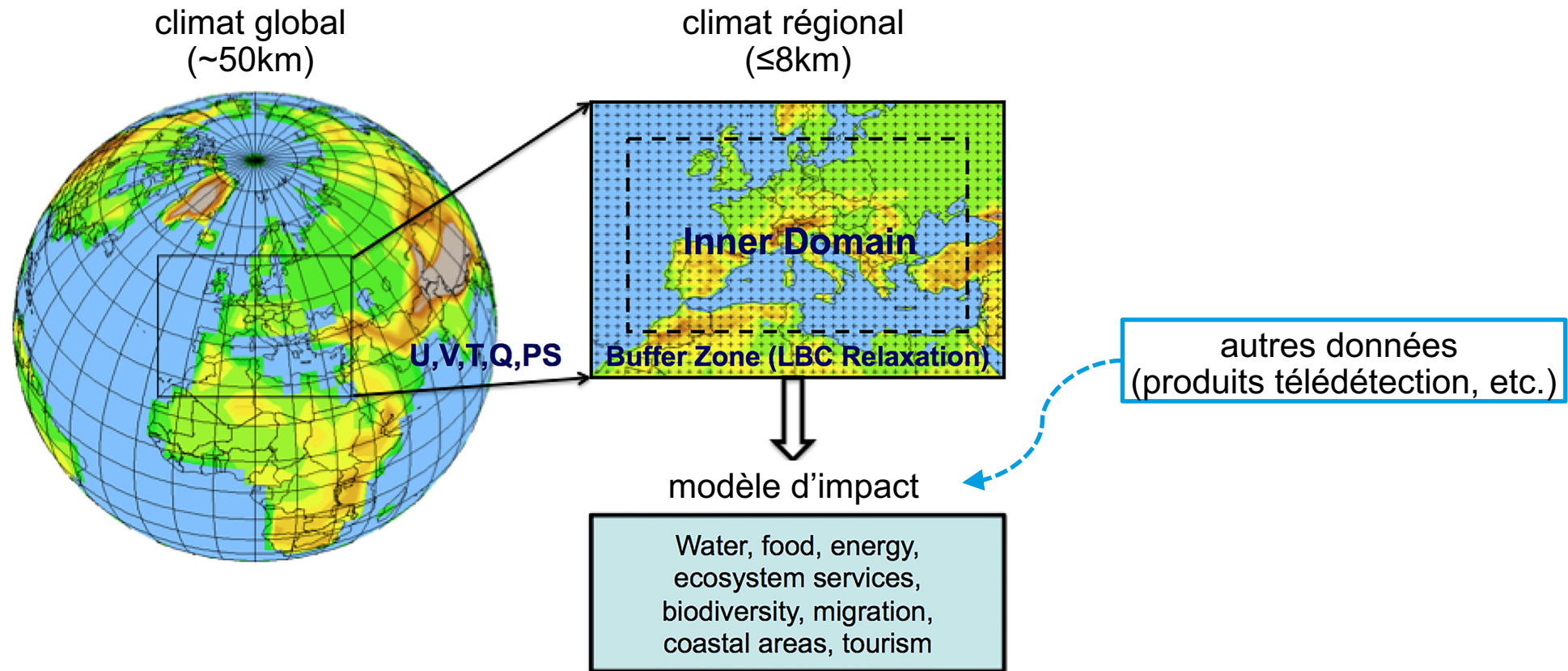
(Gardiner 2022)

Percentage damage by storm



# Vers un service climatique pour la gestion du multirisque en forêt?

Service climatique = outil numérique basé sur un modèle d'impact dépendant de prévisions climatiques



Exemple pour la gestion forestière: « ForestForeward », qui prédit comment la distribution d'essences d'arbres « commercialement importantes » changera à l'horizon 2100 sous deux scénarios (<https://climate.copernicus.eu/forestry-services-based-c3s-data>)

# Prévision décennale du risque en forêt

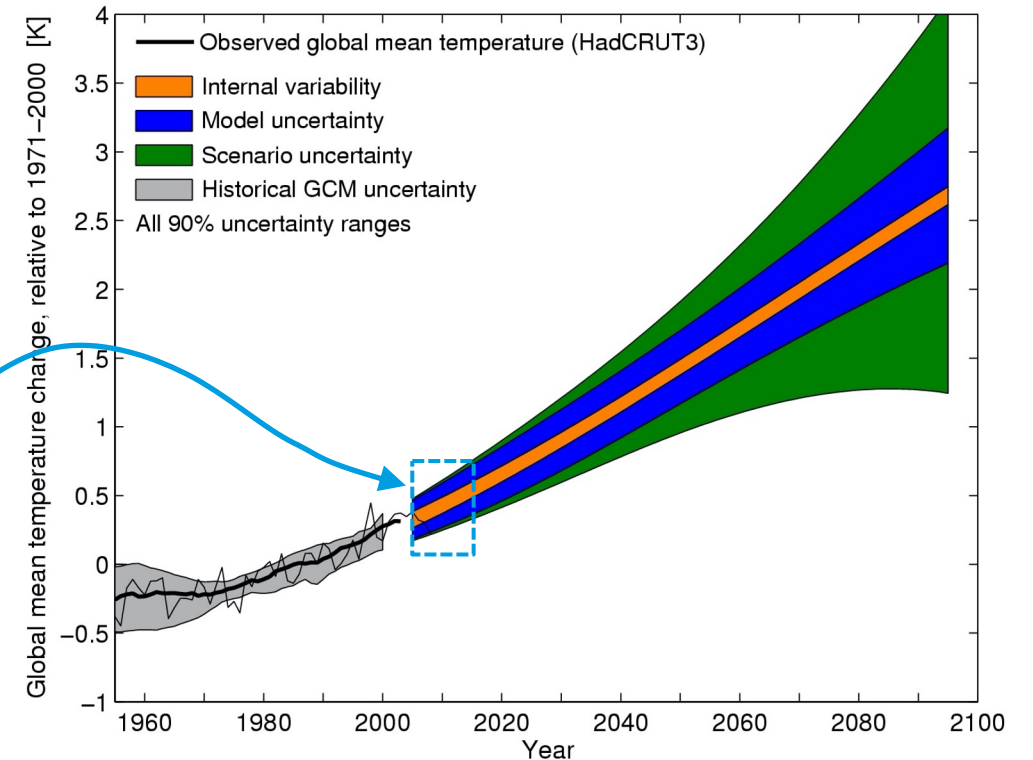
- Qu'est-ce que la prévision climatique décennale?

Trois types d'incertitudes:

- variabilité interne (sensibilité aux conditions initiales)
- physique du modèle
- scénarios (d'émissions de GES, etc.)

incertitudes liées  
essentiellement à la  
physique du modèle et aux  
conditions initiales

Hawkins & Sutton 2009



sensibilité aux conditions initiales

sensibilité à la physique du modèle

sensibilité aux forçages externes (ex. scénarios d'émissions)

prévisions  
« météo »

prévisions  
saisonnères

prévisions  
décennales

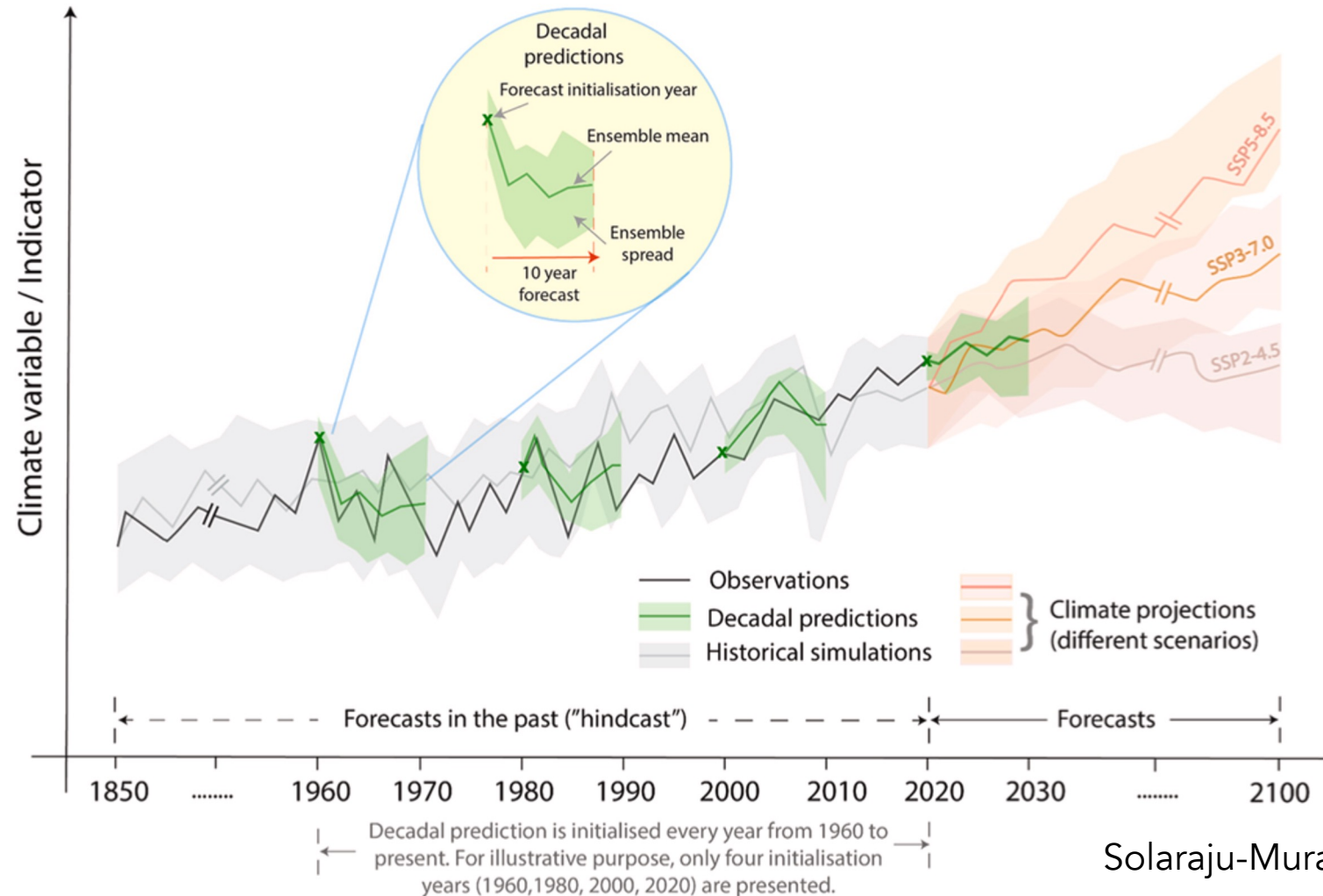
projections  
centennales

cycles glaciaire-  
interglaciaire

jour    semaine    mois    année    décennie    siècle    millénaire    échelle de temps

# Prévision décennale du risque en forêt

- Qu'est-ce que la prévision climatique décennale?



La WMO réunit les prévisions de 10+ modèles (dont IPSL), avec mises à jour annuelles

([hadleyserver.metoffice.gov.uk/wmolc/](http://hadleyserver.metoffice.gov.uk/wmolc/))

Solaraju-Murali et al. (2022)

## Résumé et remarques de conclusion

- Les mécanismes régissant le microclimat en forêt sont globalement bien connus, et étudiés depuis longtemps pour la régénération (besoins en eau et lumière surtout) et les risques de gel;
- Regain d'intérêt du fait du réchauffement climatique, d'échecs de régénération croissants et de l'impact reconnu du microclimat sur la biodiversité (cf. présentation de Jonathan Lenoir);
- Il reste encore quelques « trous dans la raquette », notamment concernant les atténuations des extrêmes climatiques en été, en lien avec la microtopographie et la continuité du couvert arboré;
- Les développements récents de modèles d'impact de certains événements climatiques extrêmes, de l'imagerie satellitaire et la prévision climatique décennale ouvrent des voies pour plus d'outils de « service climatique » pour la gestion forestière, à coconstruire avec les acteurs de terrain.