

# Les premiers stades du renouvellement forestier face à l'augmentation des températures :

## Stratégies écologiques et évolutives des chênes et sapins européens de la germination à la plantule

Marion Carme  
02/04/2026



Adobe Stock | #383266715

**INRAE**

Webinaires mensuels « Forêt et changements climatiques » DRAAF AuRA

02/04/2026 / Université de Bordeaux INRAE UMR BIOGECO / Marlon CARME



INRAE

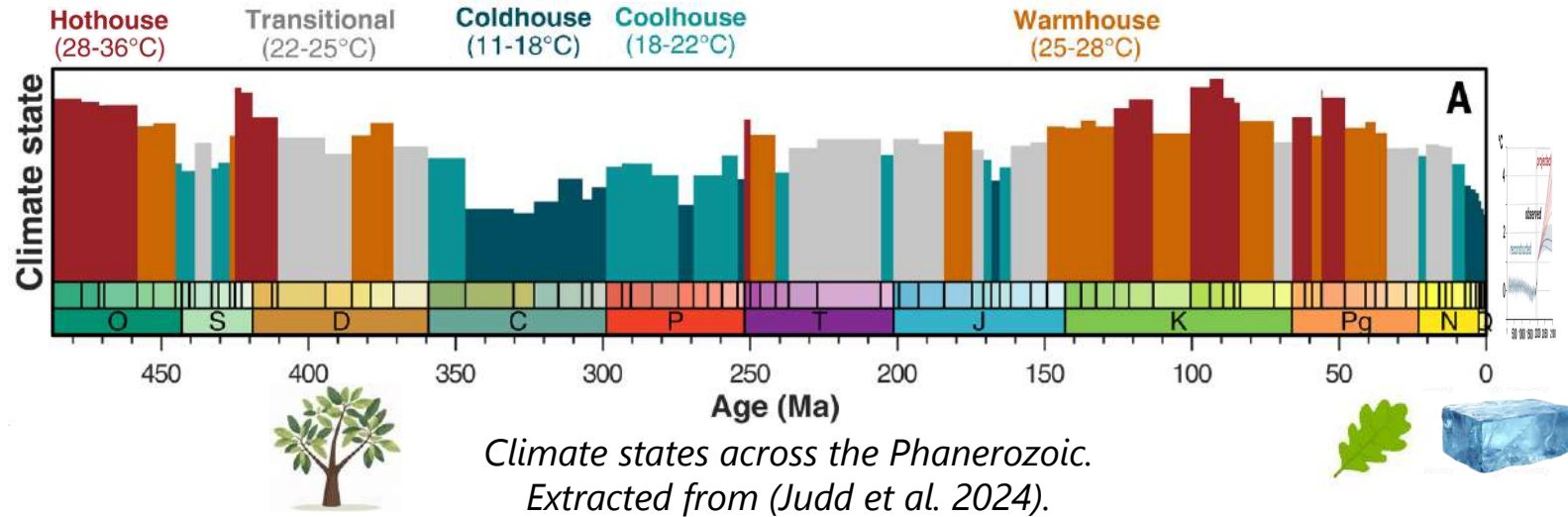
Webinaires mensuels « Forêt et changements climatiques » DRAAF AuRA

02/04/2026 / Université de Bordeaux INRAE UMR BIOGECO / Marion CARME

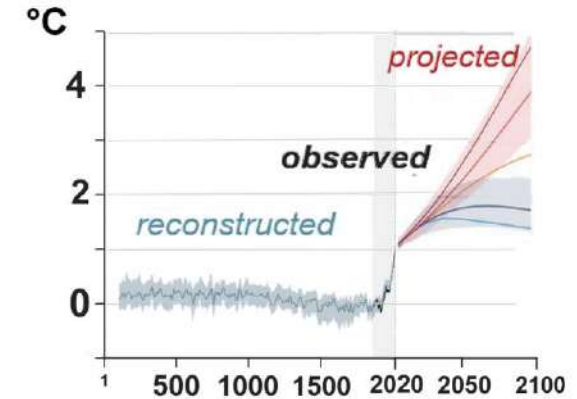
# Introduction

# Changement climatique et forêts

La terre a connu de multiples changements climatiques



Changement climatique en cours: rythme rapide



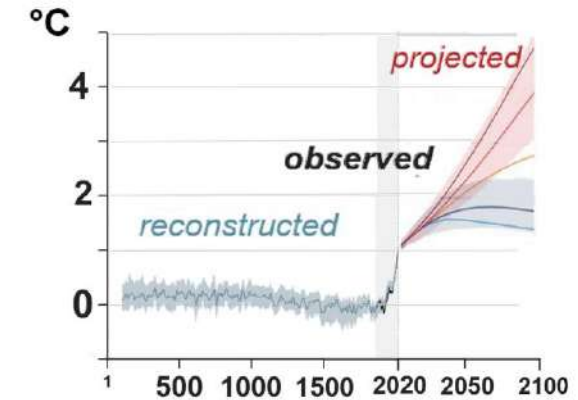
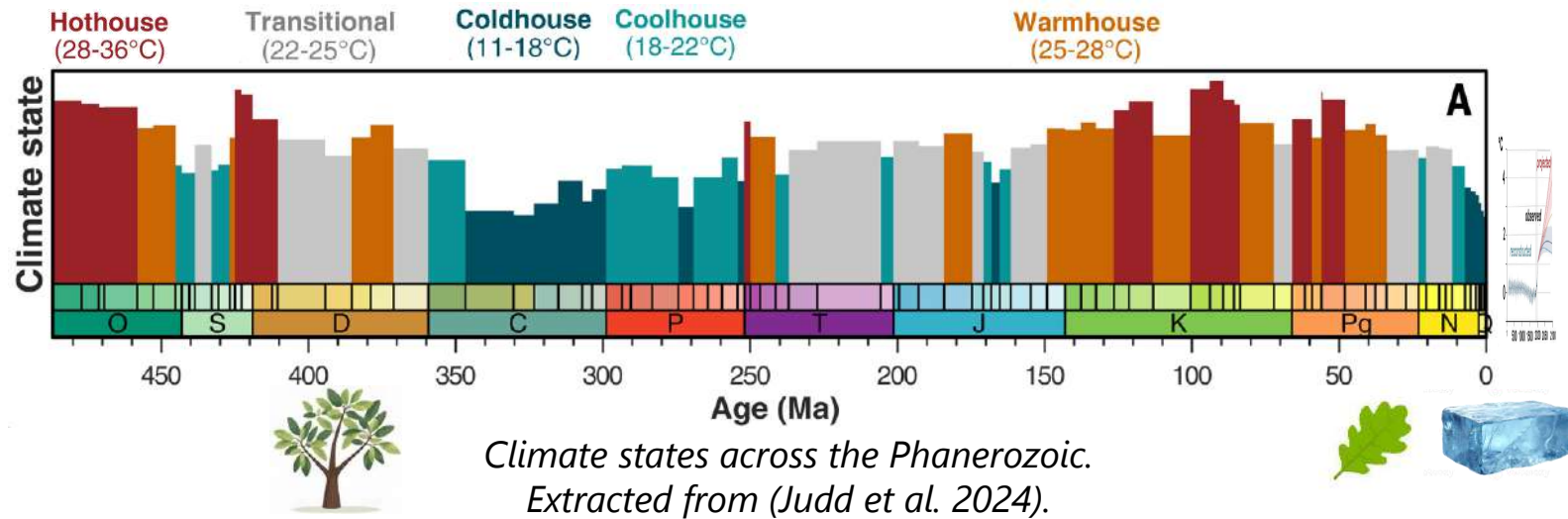
History of global temperature change and projections for global surface temperature change. Extracted from (IPCC, 2023).



# Changement climatique et forêts

La terre a connu de multiples changements climatiques

Changement climatique en cours: rythme rapide



History of global temperature change and projections for global surface temperature change. Extracted from (IPCC, 2023).

⚠ Arbres : cycle de reproduction long, adaptation plus lente

⚠ Chênes, sapins : espèces dominantes en Europe, d'une grande importance écologique et économique (construction, ameublement, merrains)

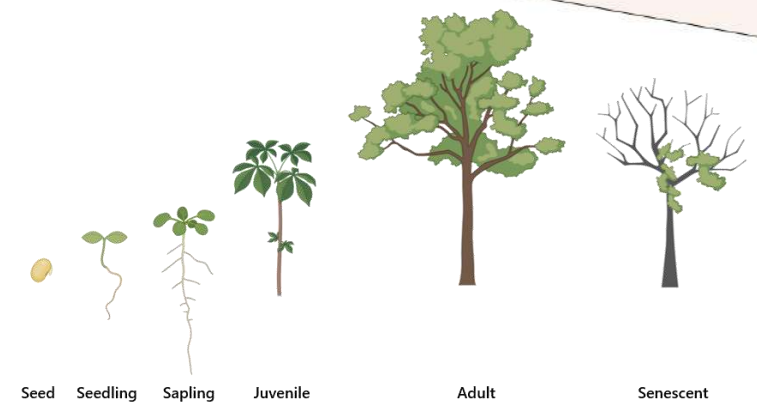
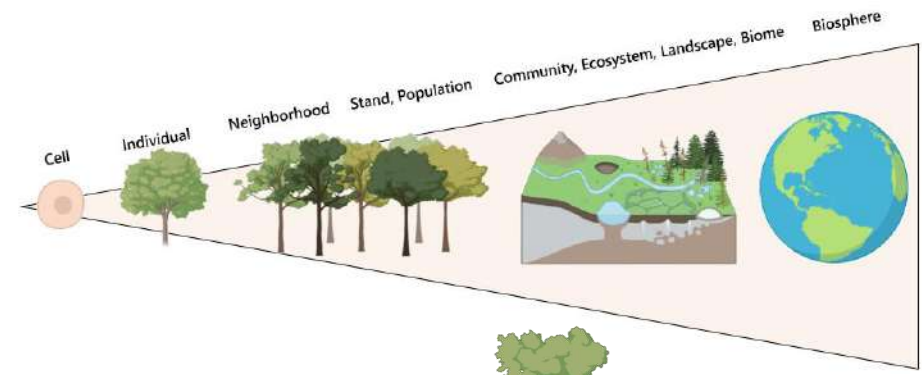


**Comprendre et prédire la réponse des arbres: urgent**



# Comment décrire les écosystèmes forestiers ?

Plusieurs échelles temporelles et spatiales

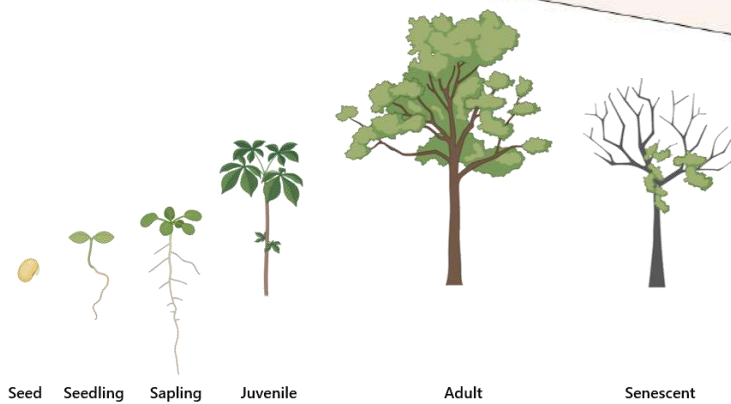
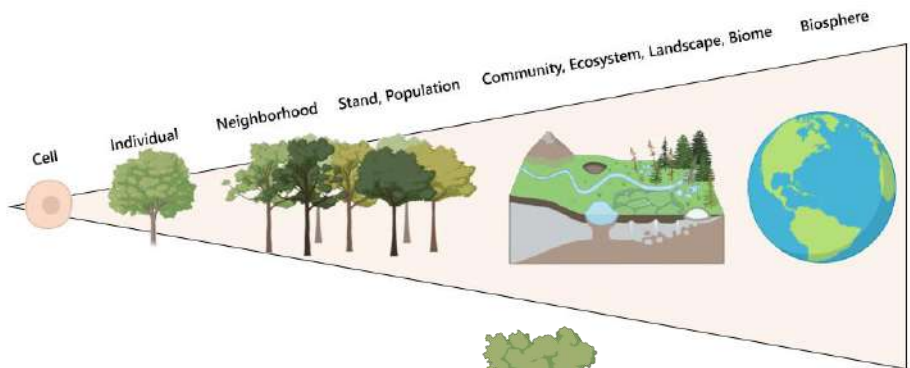


Trait/Caractéristique : propriété bien définie et mesurable des arbres



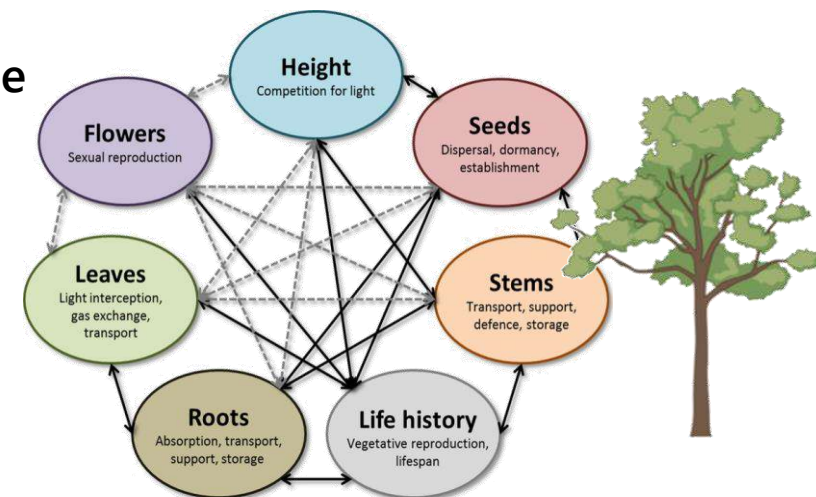
# Comment décrire les écosystèmes forestiers ?

Plusieurs échelles temporelles et spatiales



Le « visible »: le phénotype intégré de l'arbre

Traits intégrés à toutes les échelles

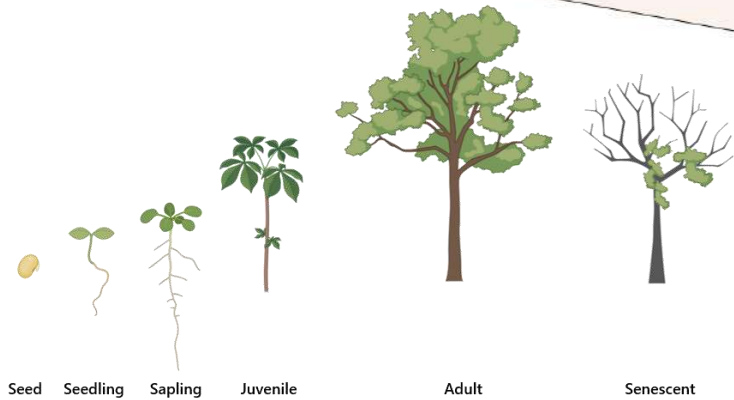
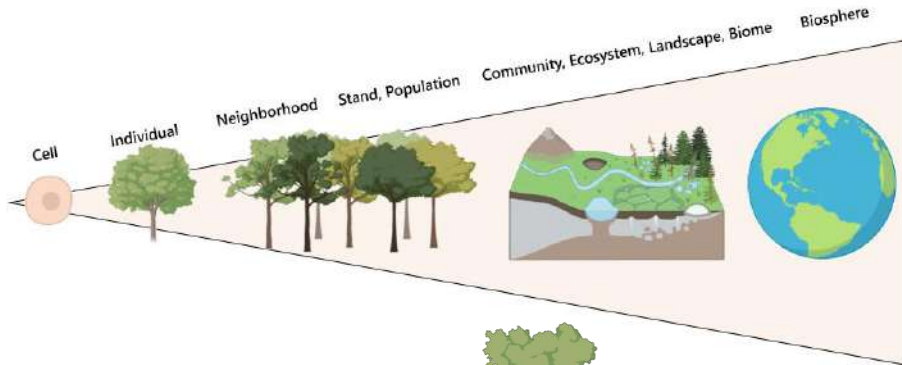


Trait/Caractéristique : propriété bien définie et mesurable des arbres



# Comment décrire les écosystèmes forestiers ?

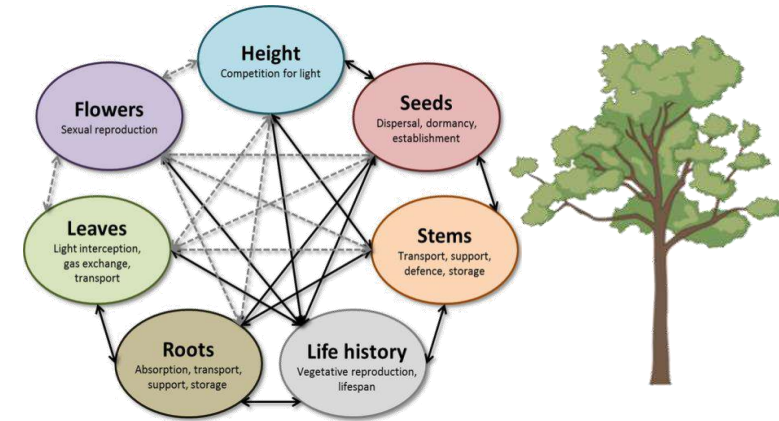
Plusieurs échelles temporelles et spatiales



Trait/Caractéristique : propriété bien définie et mesurable des arbres

Le « visible »: le phénotype intégré de l'arbre

Traits intégrés à toutes les échelles



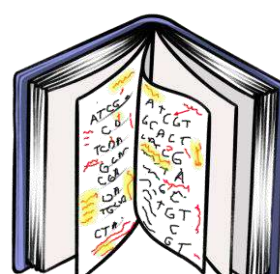
L' « invisible » : génotype et épigénotype

**Génome**  
ADN héréditaire incluant les gènes

**Génotype**  
Diversité génétique

**Epigénome**  
Quels gènes sont actifs, non héréditaire

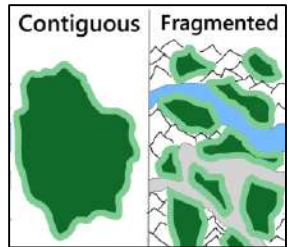
**Epigénotype**  
Diversité



# Qu'est-ce qui façonne les écosystèmes forestiers ?

## Facteurs environnementaux

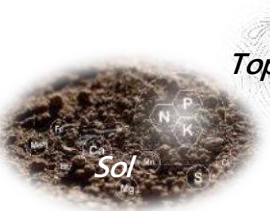
### Contexte historique et paysager



## Facteurs biotiques



## Facteurs abiotiques



Topographie



Températures



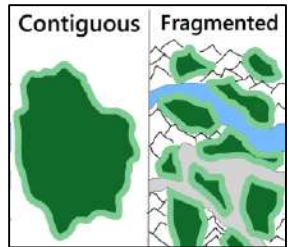
Saisonalité



# Qu'est-ce qui façonne les écosystèmes forestiers ?

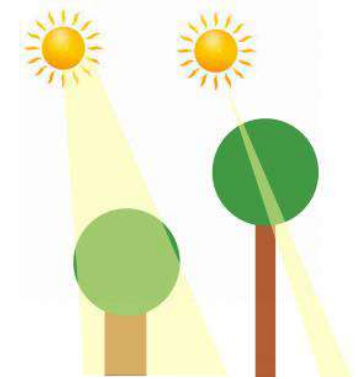
## Facteurs environnementaux

### Contexte historique et paysager



## Réponses des arbres

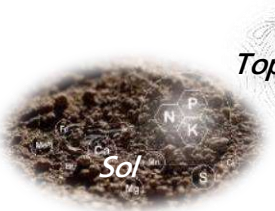
Plasticité phénotypique :  
intra- et intergénérationnelle



## Facteurs biotiques



## Facteurs abiotiques



Topographie



Températures



Saisonalité

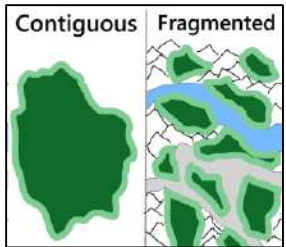


INRAE

# Qu'est-ce qui façonne les écosystèmes forestiers ?

## Facteurs environnementaux

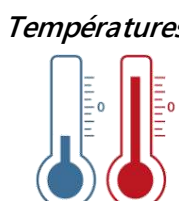
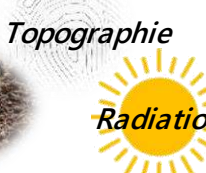
### Contexte historique et paysager



### Facteurs biotiques

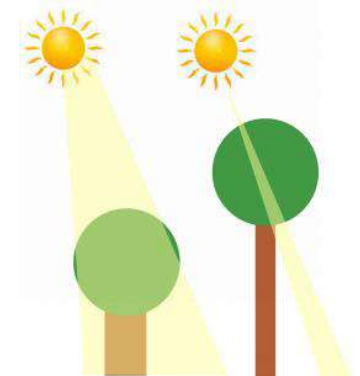


### Facteurs abiotiques



## Réponses des arbres

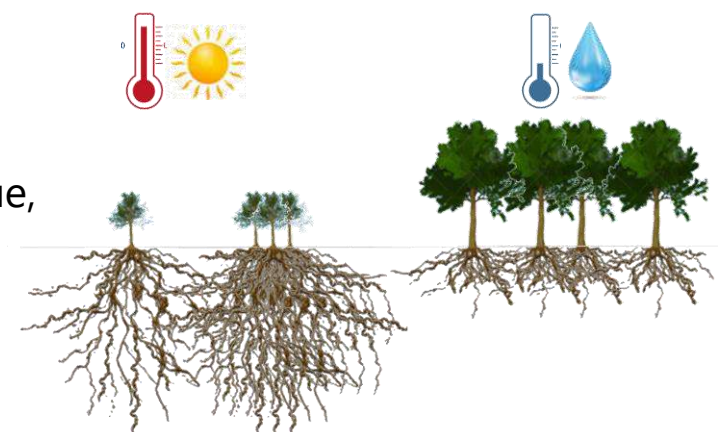
Plasticité phénotypique :  
intra- et intergénérationnelle



### Processus génétiques :

- Neutres (mutation, dérive génétique, flux génétique, hybridation, histoire démographique)
- Non neutres (sélection naturelle) → Adaptation locale

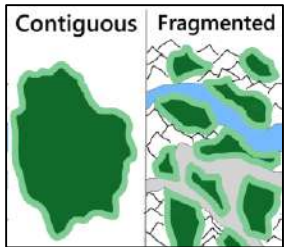
Conditions: diversité génétique,  
flux de gènes modéré  
Plasticité aussi concernée



# Qu'est-ce qui façonne les écosystèmes forestiers ?

## Facteurs environnementaux

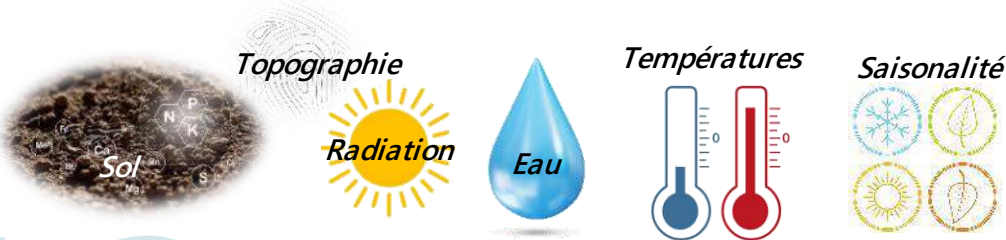
### Contexte historique et paysager



### Facteurs biotiques



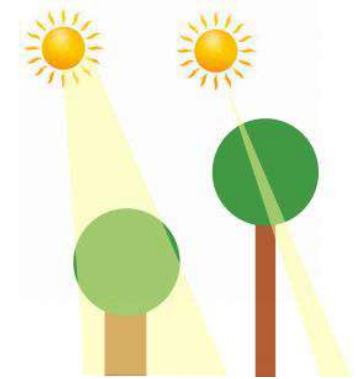
### Facteurs abiotiques



INRAE

## Réponses des arbres

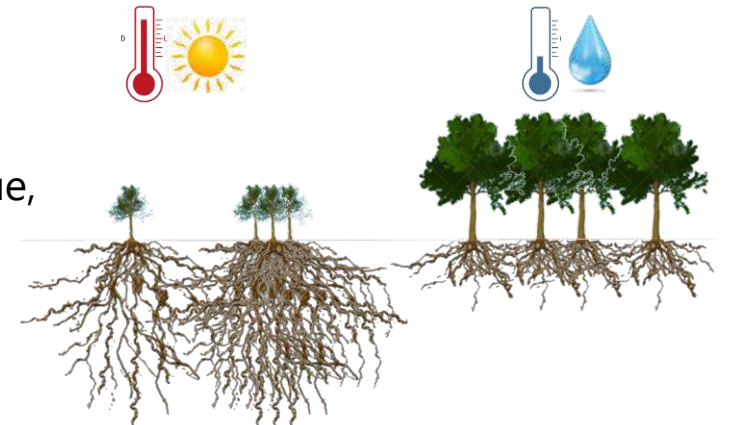
Plasticité phénotypique :  
intra- et intergénérationnelle



### Processus génétiques :

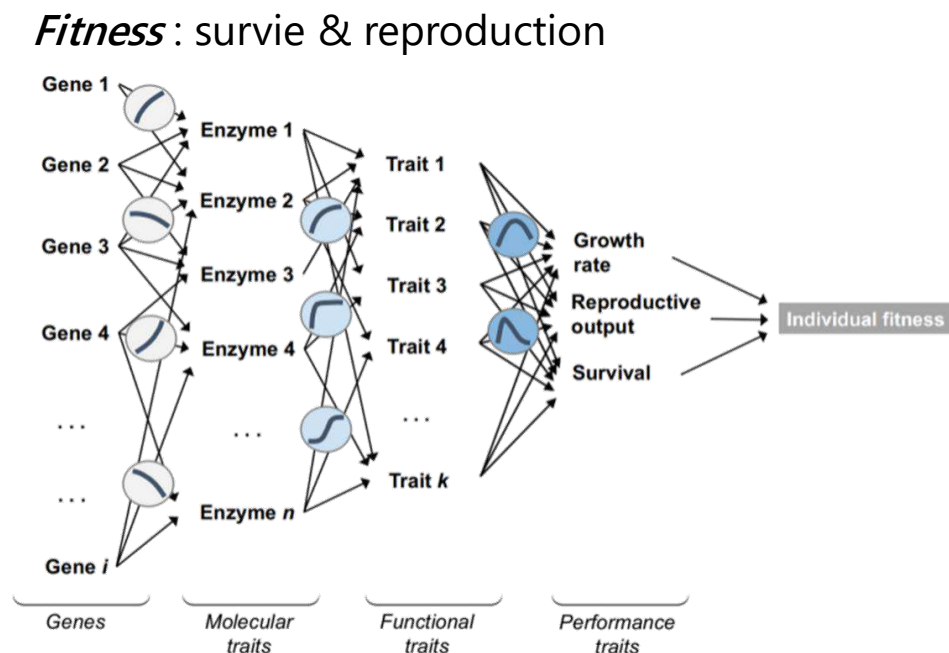
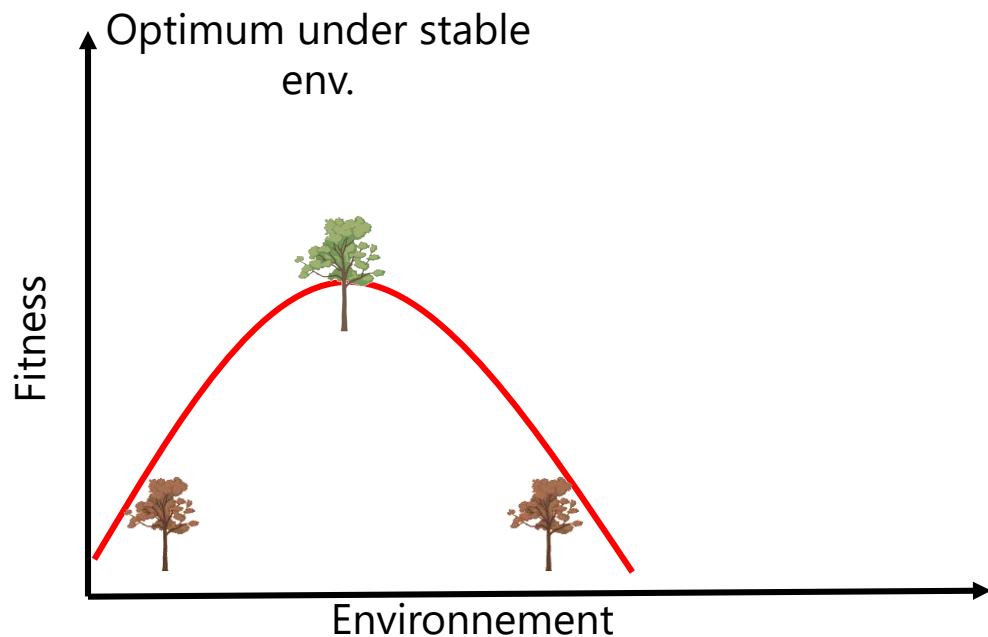
- Neutres (mutation, dérive génétique, flux génétique, hybridation, histoire démographique)
- Non neutres (sélection naturelle) → Adaptation locale

Conditions: diversité génétique,  
flux de gènes modéré  
Plasticité aussi concernée

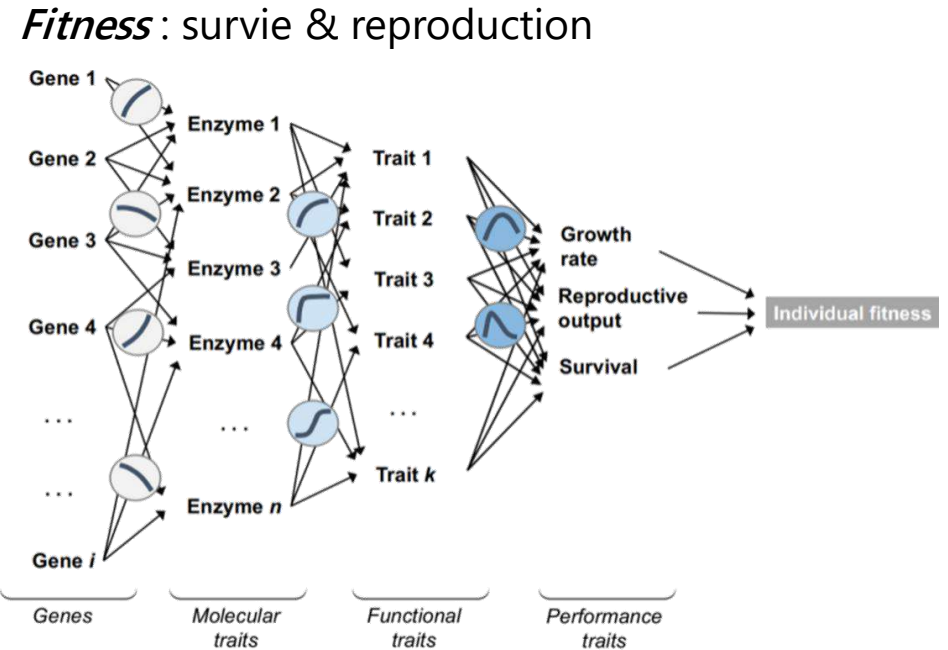
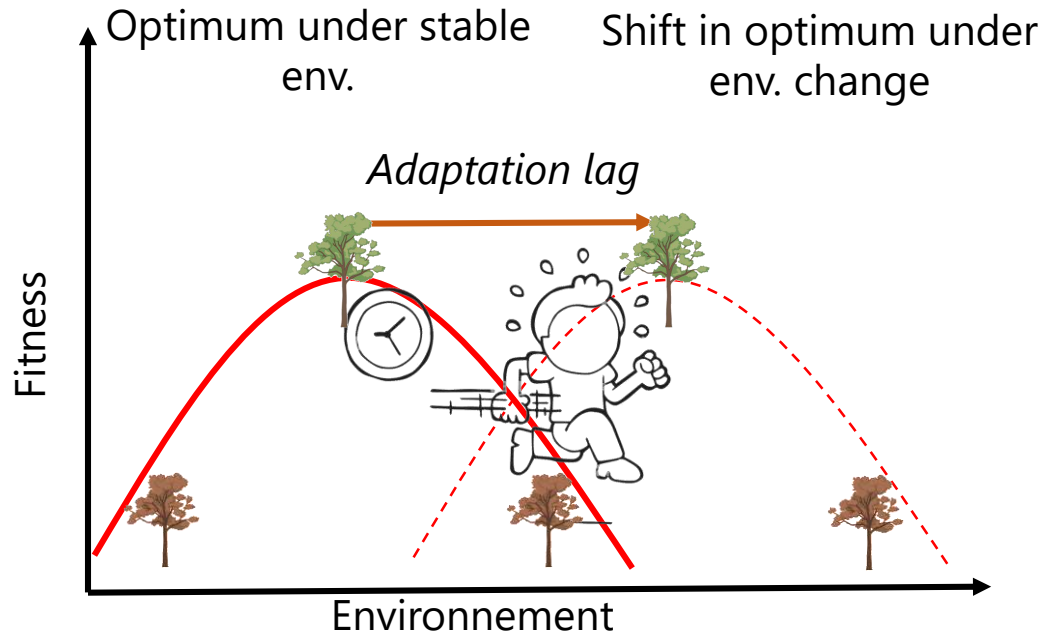


### Migration

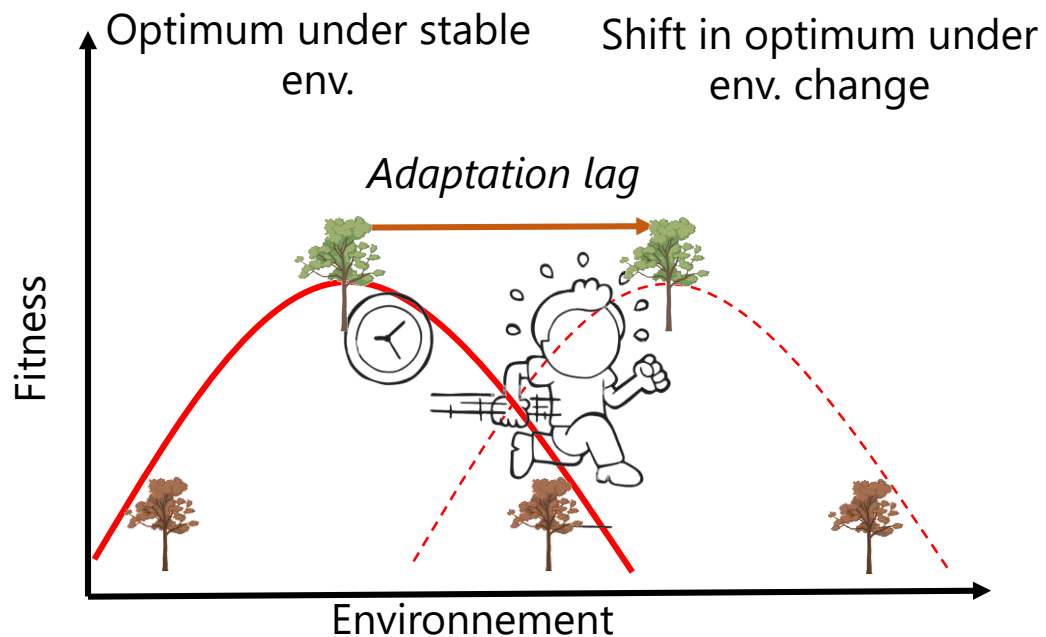
# Qu'est-ce qui façonne les écosystèmes forestiers ?



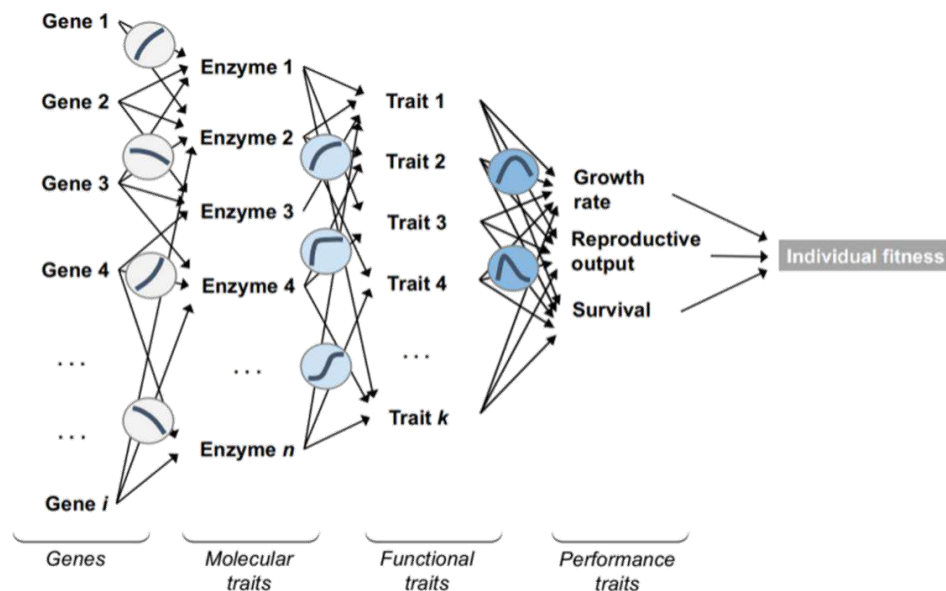
# Qu'est-ce qui façonne les écosystèmes forestiers ?



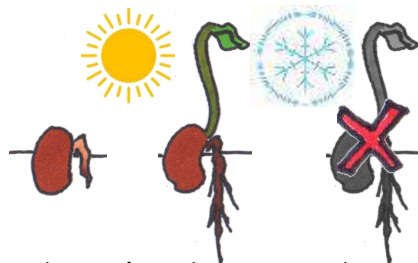
# Qu'est-ce qui façonne les écosystèmes forestiers ?



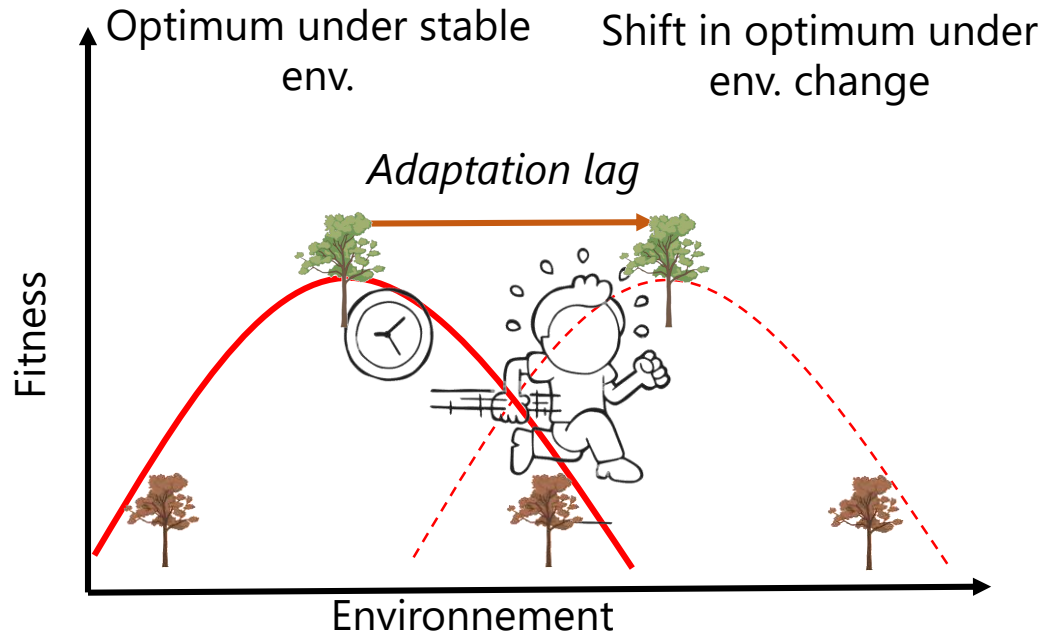
*Fitness*: survie & reproduction



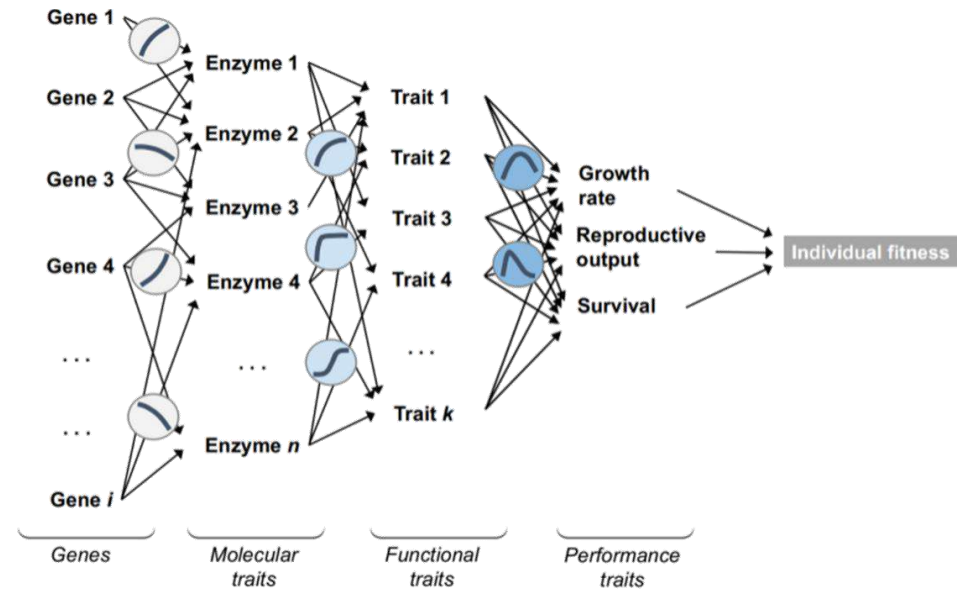
Des réponses toujours adaptatives? Non  
 Seulement lorsqu'elles augmentent la fitness



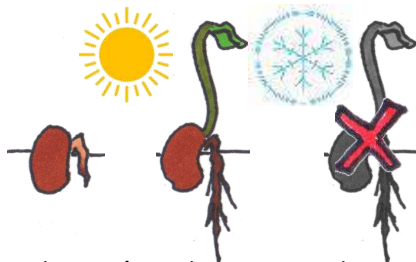
# Qu'est-ce qui façonne les écosystèmes forestiers ?



**Fitness** : survie & reproduction



Des réponses toujours adaptatives? Non  
 Seulement lorsqu'elles augmentent la fitness



Face au changement climatique... s'adapter, migrer ou s'éteindre

- Qui est plastique?
- Qui est adapté ou maladapté?
- Qui est diversifié?

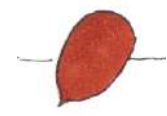
→ Anticiper l'avenir des populations/provenances



# Jeunes stades des arbres



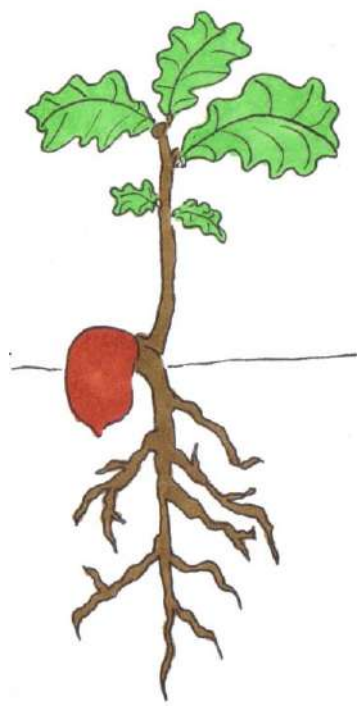
Fructification



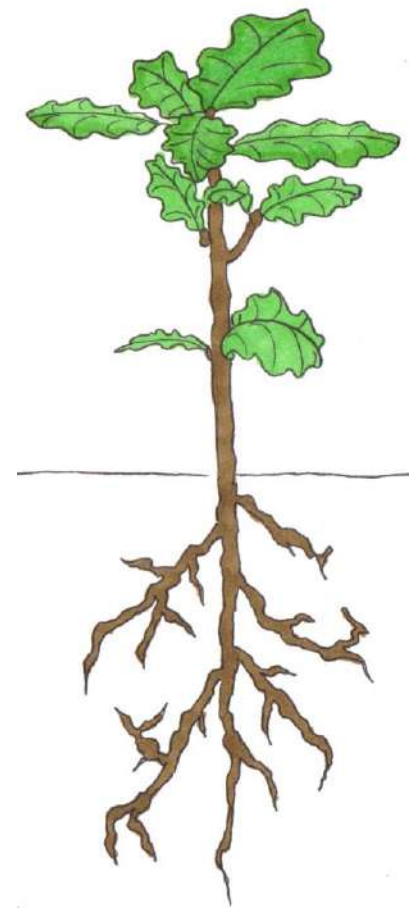
Graine



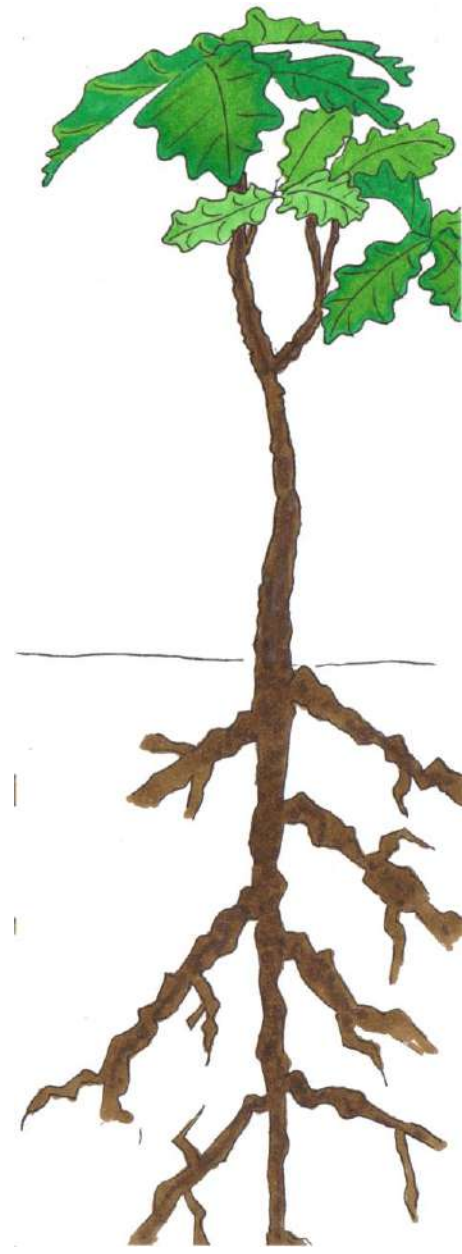
Germination



Plantule



Plant

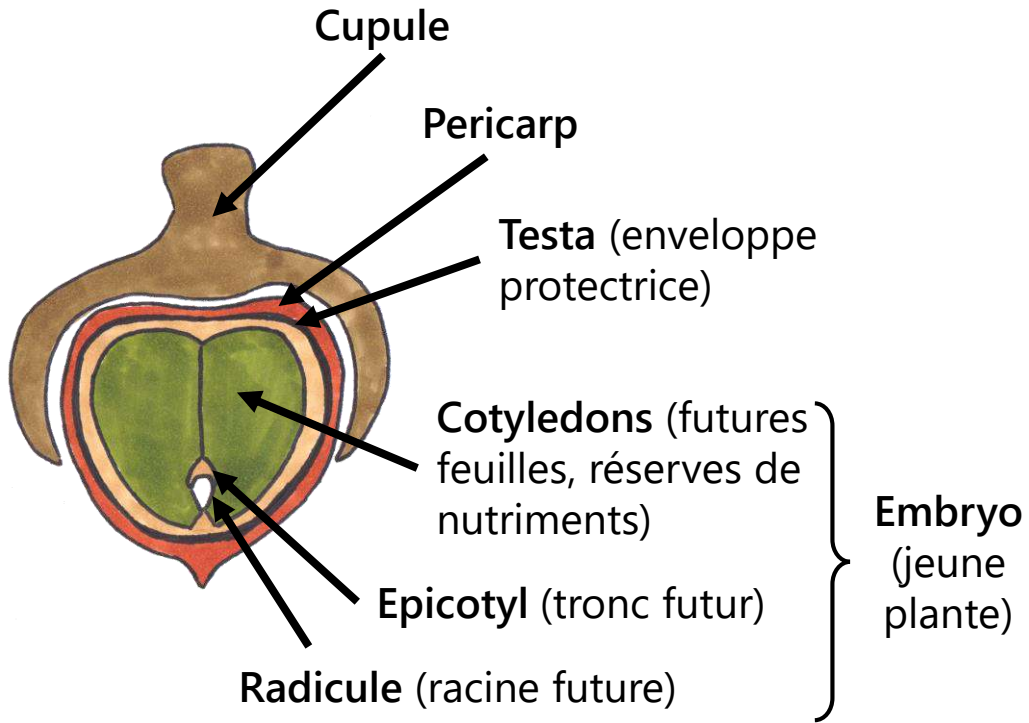


Jeune arbre



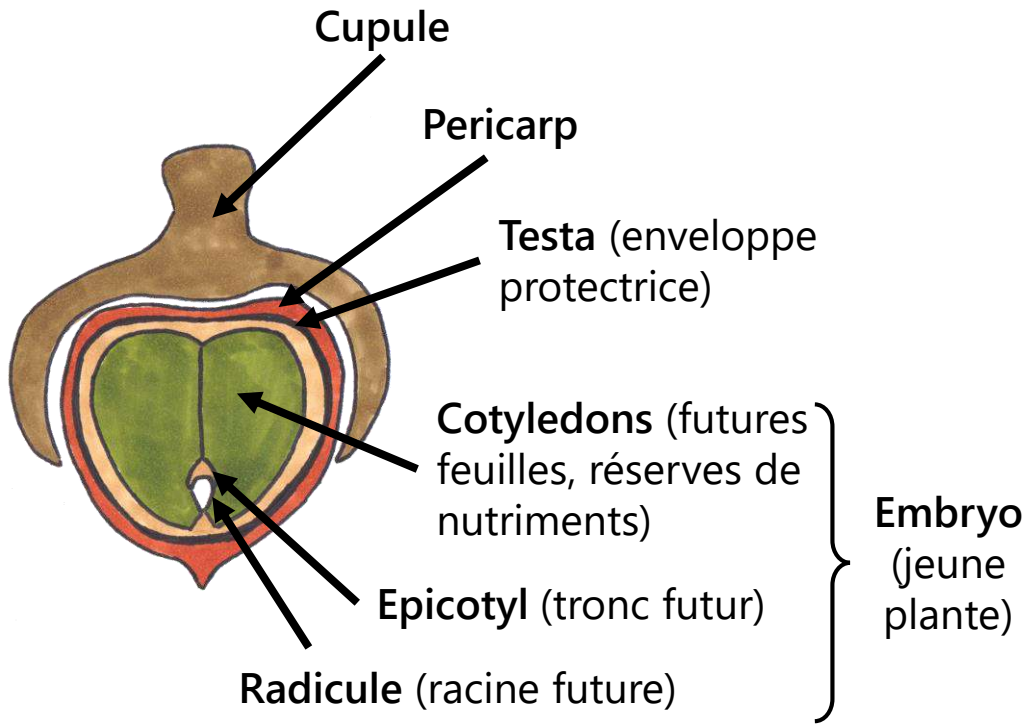
# Organes

## Graine (exemple pour le chêne)

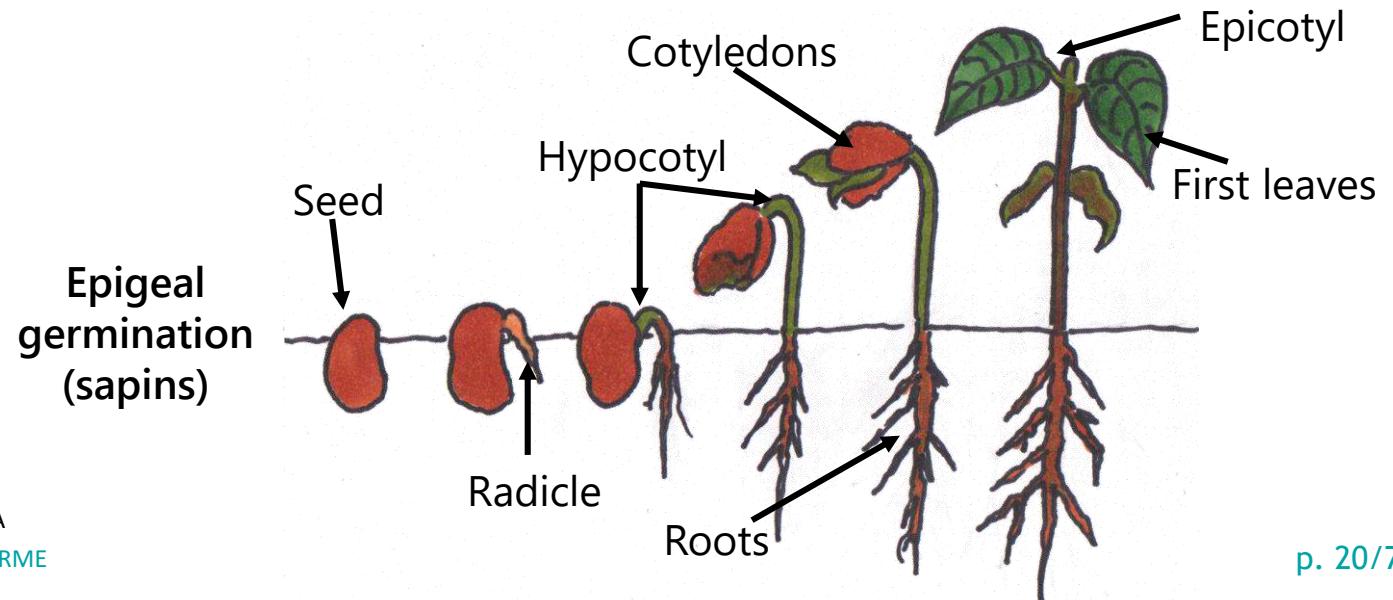
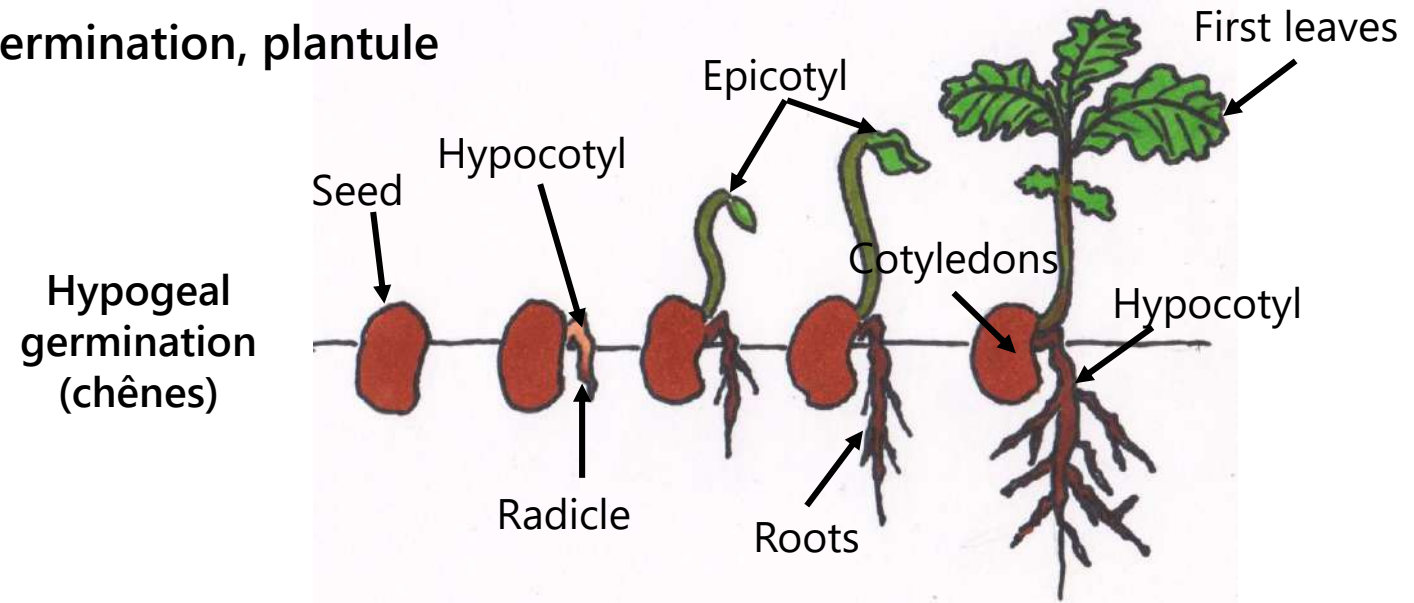


# Organes

## Graine (exemple pour le chêne)



## Germination, plantule



# Variations des stratégies de reproduction et des traits des jeunes stades

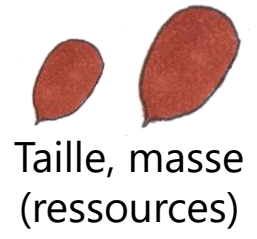
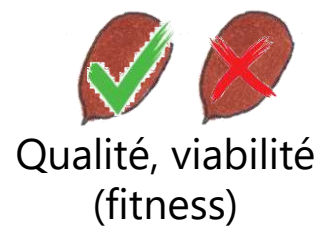
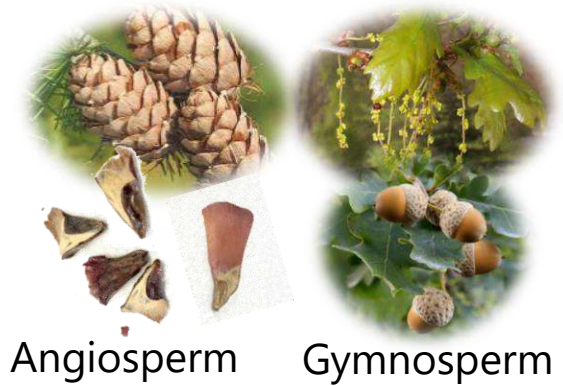


Angiosperm

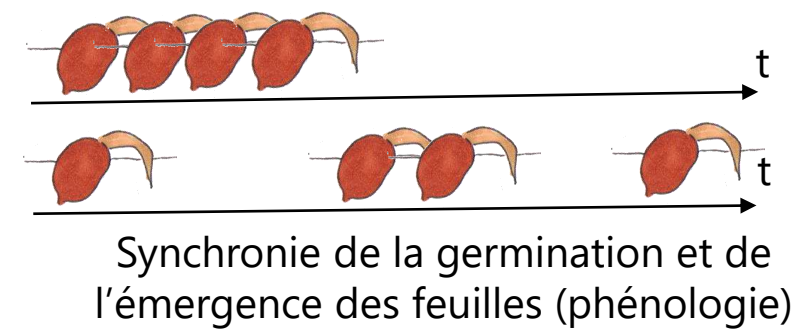
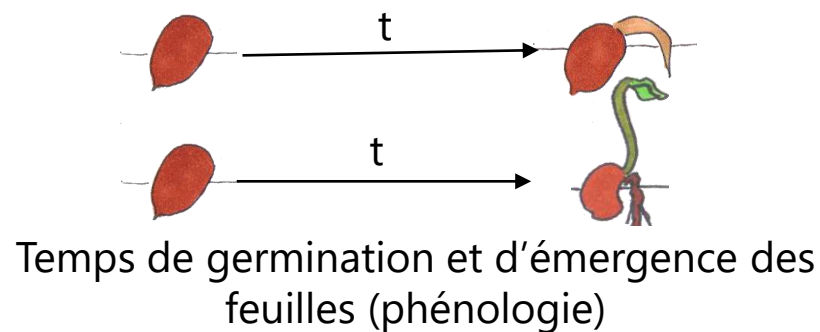
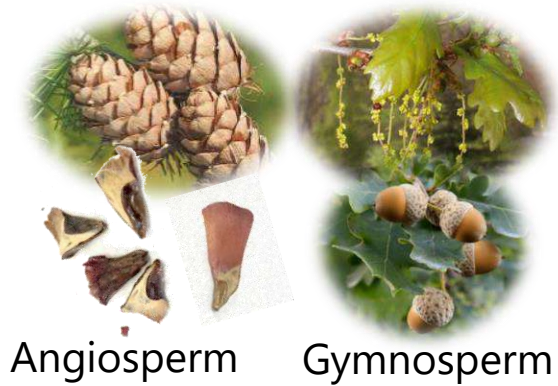
Gymnosperm



# Variations des stratégies de reproduction et des traits des jeunes stades



# Variations des stratégies de reproduction et des traits des jeunes stades



# Variations des stratégies de reproduction et des traits des jeunes stades



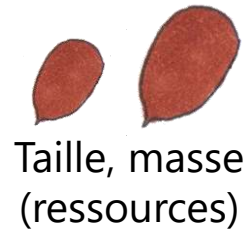
Angiosperm Gymnosperm



Survie (fitness) Biomasse (fitness)



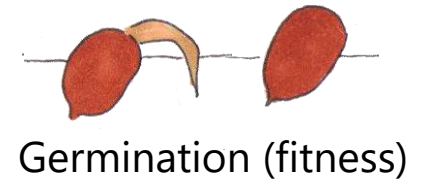
Qualité, viabilité (fitness)



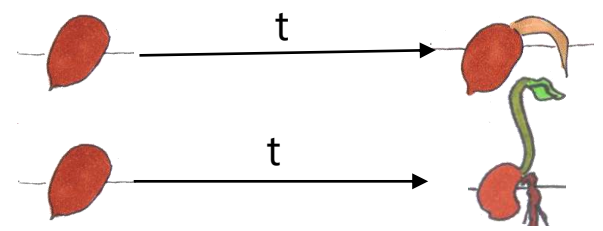
Taille, masse (ressources)



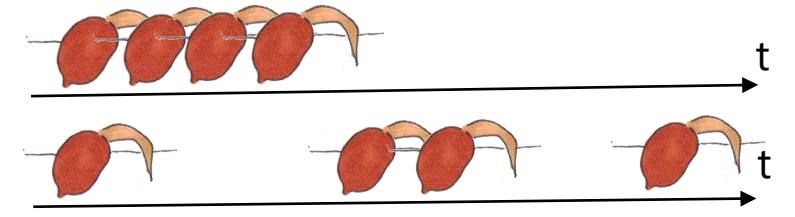
Teneur en humidité (tolérance à la dessiccation)



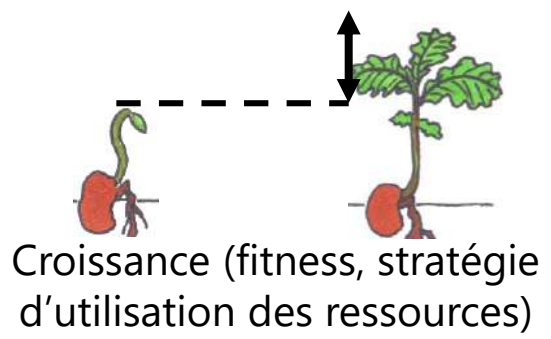
Germination (fitness)



Temps de germination et d'émergence des feuilles (phénologie)



Synchronie de la germination et de l'émergence des feuilles (phénologie)



Croissance (fitness, stratégie d'utilisation des ressources)



# Variations des stratégies de reproduction et des traits des jeunes stades



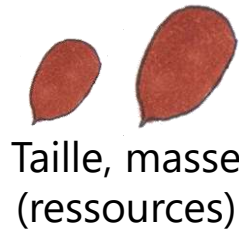
Angiosperm Gymnosperm



Survie (fitness) Biomasse (fitness)



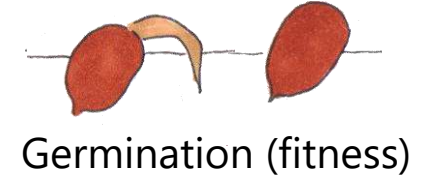
Qualité, viabilité (fitness)



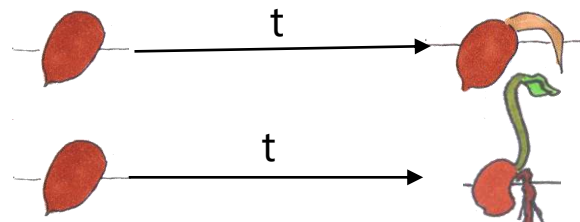
Taille, masse (ressources)



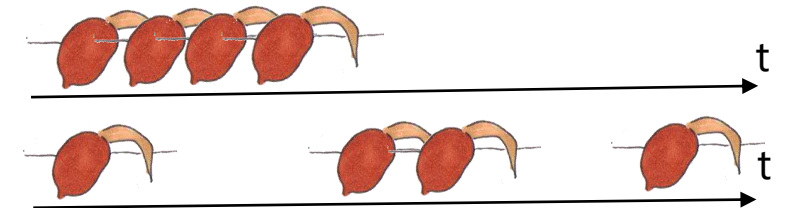
Teneur en humidité (tolérance à la dessiccation)



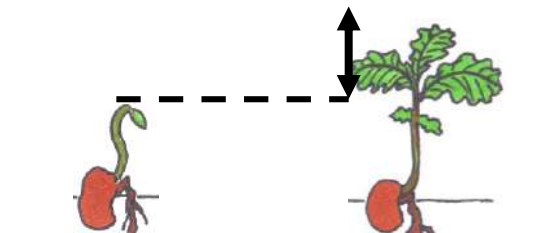
Germination (fitness)



Temps de germination et d'émergence des feuilles (phénologie)



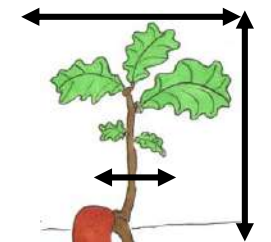
Synchronie de la germination et de l'émergence des feuilles (phénologie)



Croissance (fitness, stratégie d'utilisation des ressources)



Proportion de racines (adaptation à la sécheresse)



Hauteur, Diamètre, Surface foliaire spécifique (stratégie d'utilisation des ressources)

# Variations des stratégies de reproduction et des traits des jeunes stades



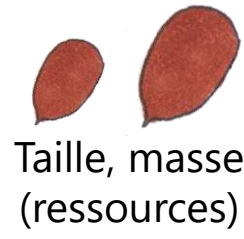
Angiosperm Gymnosperm



Survie (fitness) Biomasse (fitness)



Qualité, viabilité (fitness)



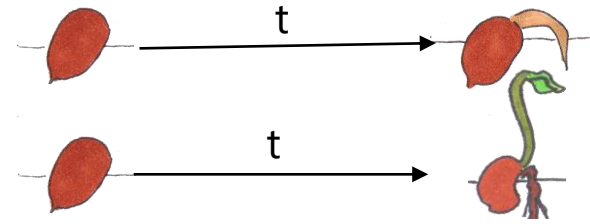
Taille, masse (ressources)



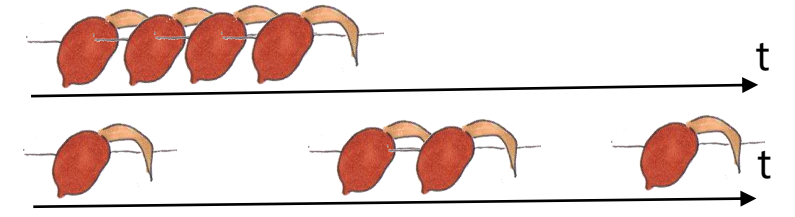
Teneur en humidité (tolérance à la dessiccation)



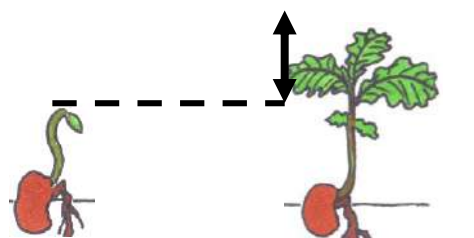
Germination (fitness)



Temps de germination et d'émergence des feuilles (phénologie)



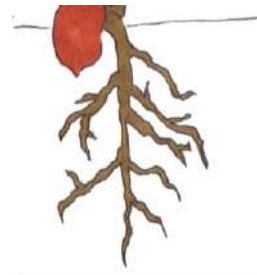
Synchronie de la germination et de l'émergence des feuilles (phénologie)



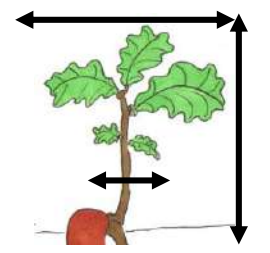
Croissance (fitness, stratégie d'utilisation des ressources)



Pigments foliaires :  
Chlorophylle (captation du carbone par photosynthèse, réponse au stress)  
Flavonoïdes, anthocyanines (photoprotection)



Proportion de racines (adaptation à la sécheresse)

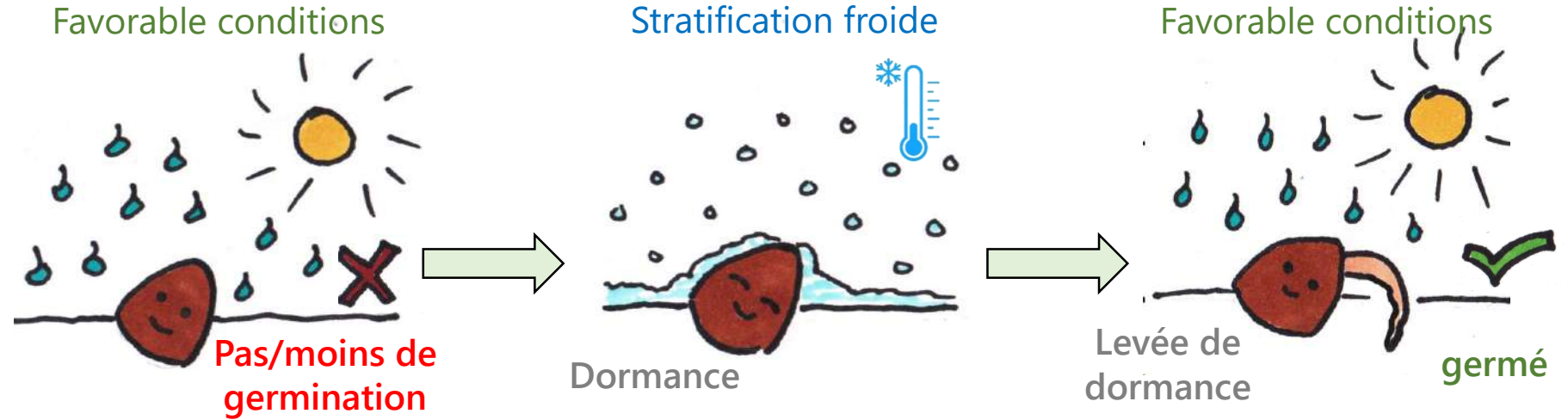


Hauteur, Diamètre, Surface foliaire spécifique (stratégie d'utilisation des ressources)



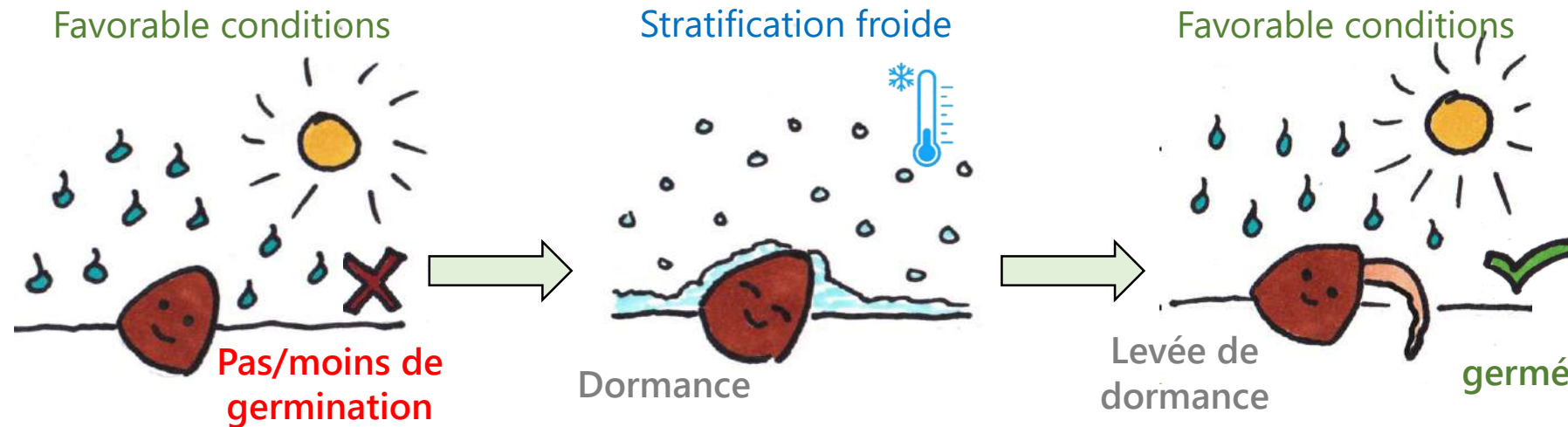
# Variations des stratégies de reproduction et des traits des jeunes stades

Dormance du radicule

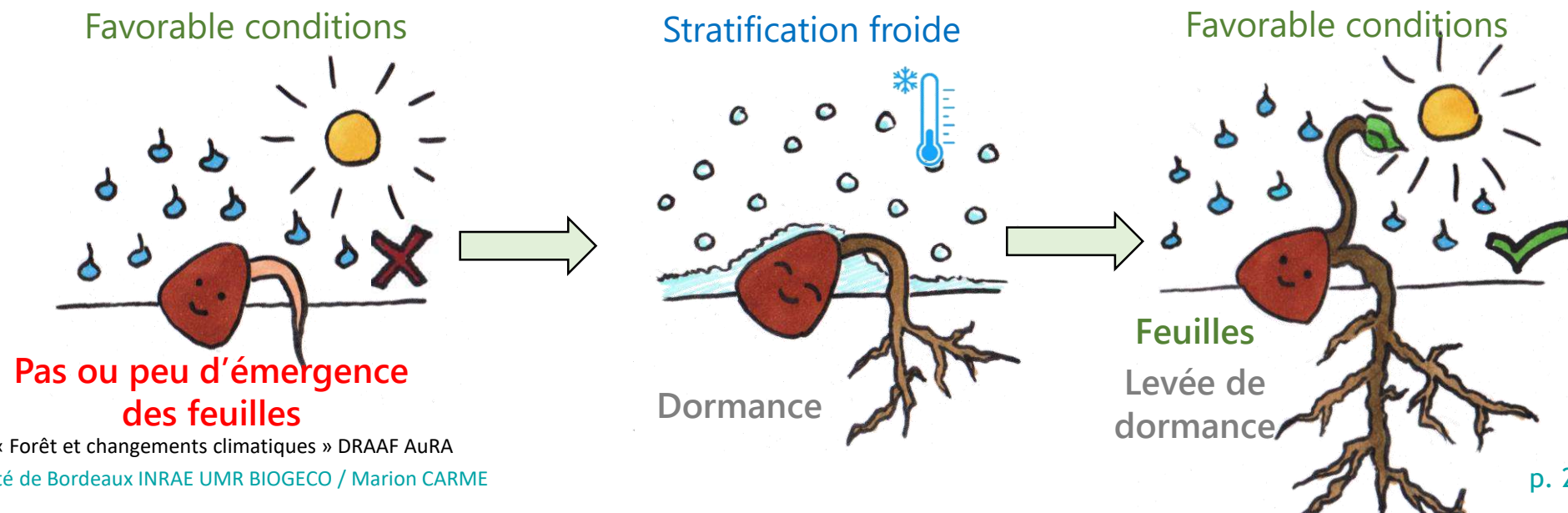


# Variations des stratégies de reproduction et des traits des jeunes stades

Dormance du radicule



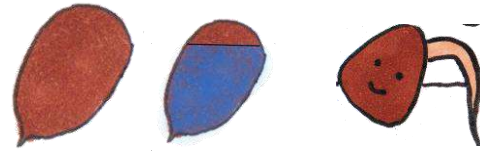
Dormance de l'épicotyle



# Variations des stratégies de reproduction et des traits des jeunes stades

## Graines récalcitrantes

10%, surtout tropical



Tendances dans les traits

Ne supporte pas le dessèchement  
Difficile à stocker  
Vulnérable



Unfavorable conditions



temps

Favorable conditions



Favorable conditions

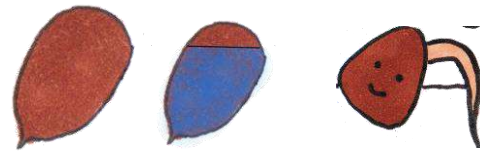


germé

# Variations des stratégies de reproduction et des traits des jeunes stades

## Graines récalcitrantes

10%, surtout tropical



Tendances dans les traits

Ne supporte pas le dessèchement  
Difficile à stocker  
Vulnérable



Unfavorable conditions



temps

Favorable conditions



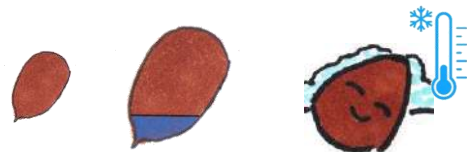
Favorable conditions



germé

## Graines orthodoxes

90%, état ancestral?



Tendances dans les traits

Résiste à la dessiccation/dessèchement  
Se conserve pendant des années

Unfavorable conditions



temps

Favorable conditions



Favorable conditions



germé

# Pourquoi les premiers stades sont cruciaux pour le maintien des forêts

Impact important sur la fitness tout au long de la vie, clés pour l'adaptation à de nouvelles conditions environnementales, sensibilité climatique spécifique



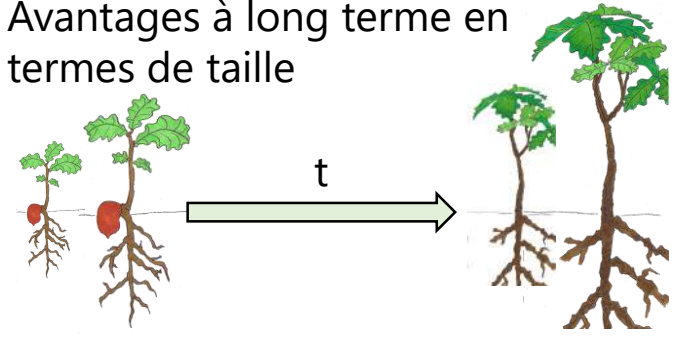
# Pourquoi les premiers stades sont cruciaux pour le maintien des forêts

Impact important sur la fitness tout au long de la vie, clés pour l'adaptation à de nouvelles conditions environnementales, sensibilité climatique spécifique

Taux de germination et de survie : qui passe au stade suivant? sélection naturelle plus forte



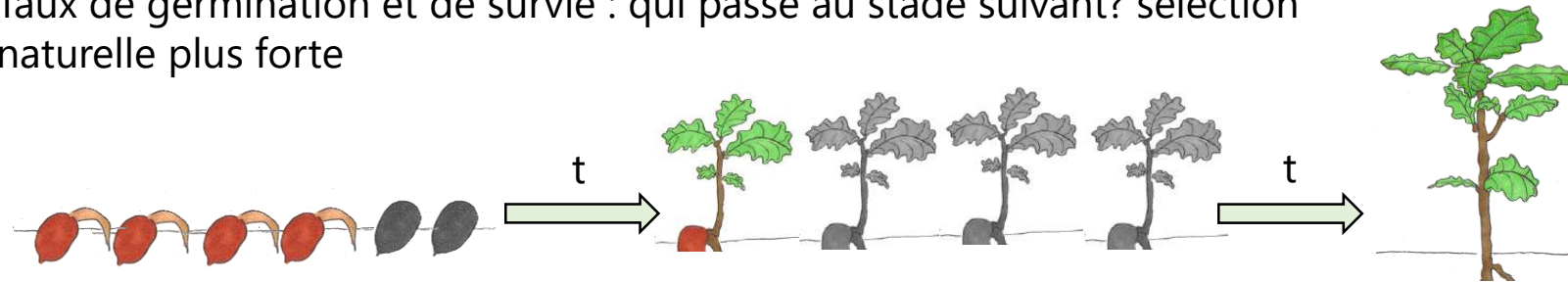
Avantages à long terme en termes de taille



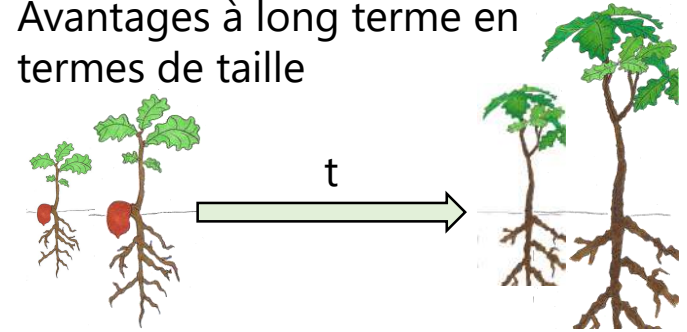
# Pourquoi les premiers stades sont cruciaux pour le maintien des forêts

Impact important sur la fitness tout au long de la vie, clés pour l'adaptation à de nouvelles conditions environnementales, sensibilité climatique spécifique

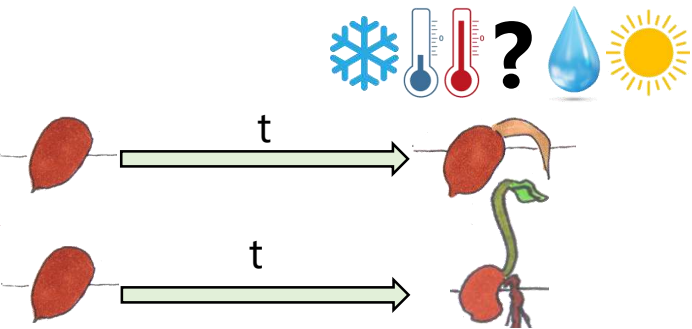
Taux de germination et de survie : qui passe au stade suivant? sélection naturelle plus forte



Avantages à long terme en termes de taille



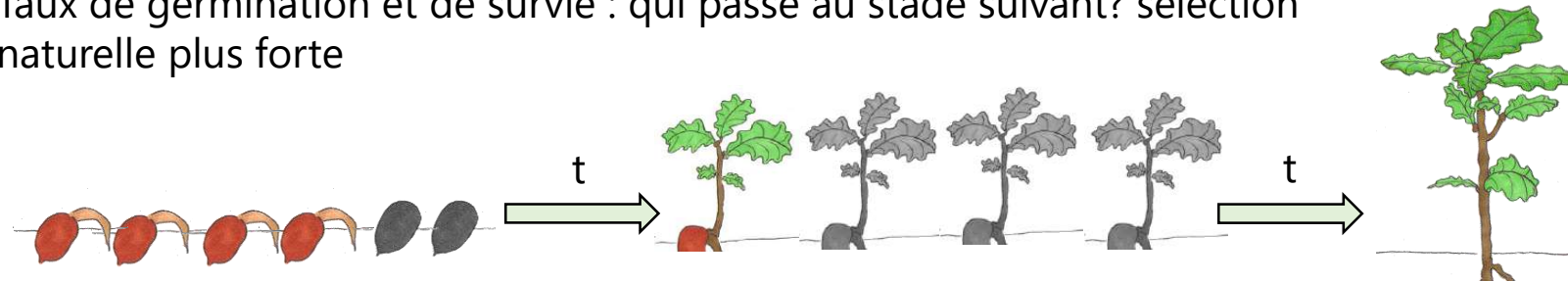
Phénologie : quelles conditions environnementales pour le stade suivant ?



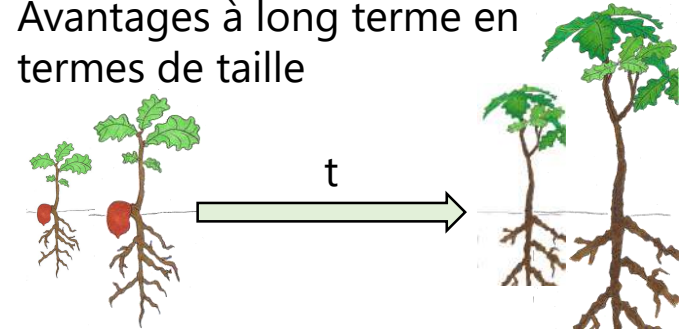
# Pourquoi les premiers stades sont cruciaux pour le maintien des forêts

Impact important sur la fitness tout au long de la vie, clés pour l'adaptation à de nouvelles conditions environnementales, sensibilité climatique spécifique

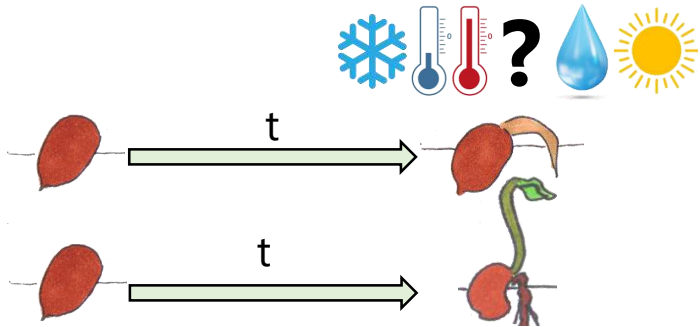
Taux de germination et de survie : qui passe au stade suivant? sélection naturelle plus forte



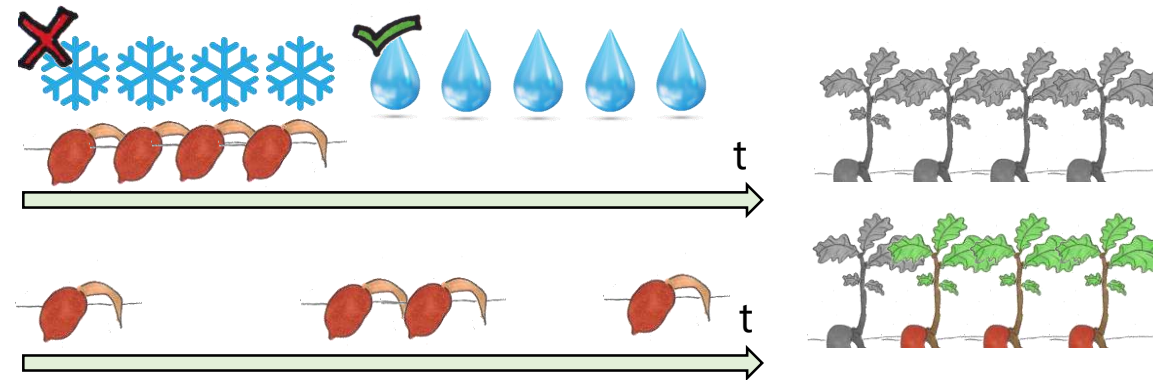
Avantages à long terme en termes de taille



Phénologie : quelles conditions environnementales pour le stade suivant ?



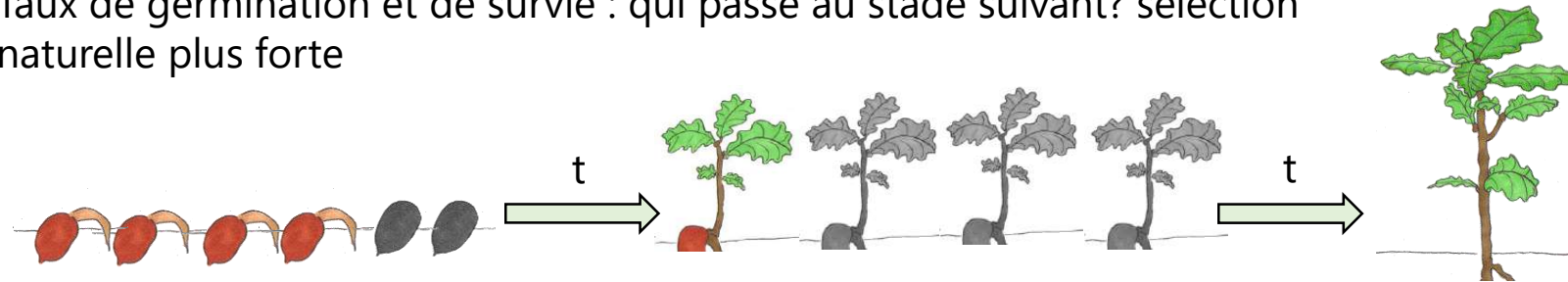
Synchronisation phénologique : répartition du risque d'émergence dans de mauvaises conditions



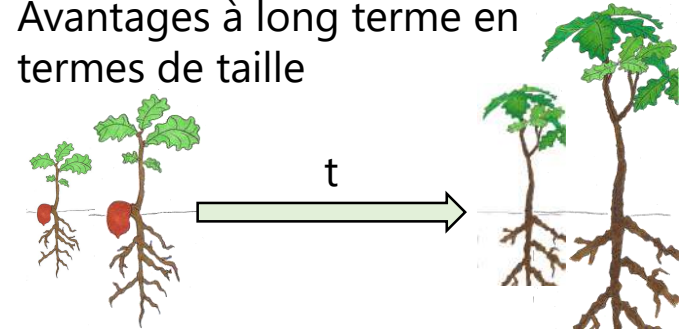
# Pourquoi les premiers stades sont cruciaux pour le maintien des forêts

Impact important sur la fitness tout au long de la vie, clés pour l'adaptation à de nouvelles conditions environnementales, sensibilité climatique spécifique

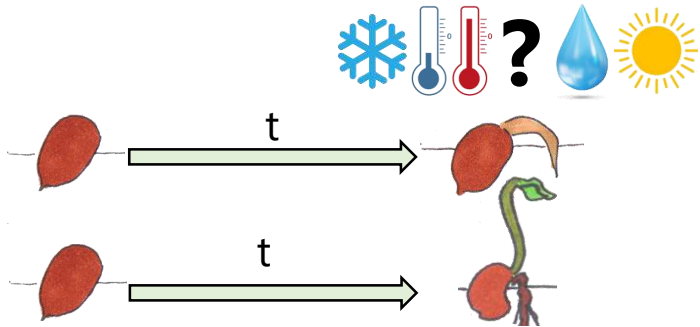
Taux de germination et de survie : qui passe au stade suivant? sélection naturelle plus forte



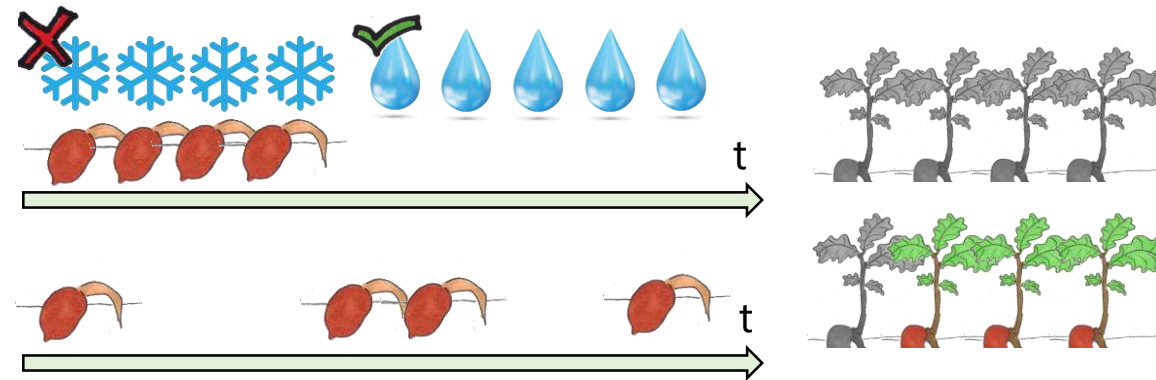
Avantages à long terme en termes de taille



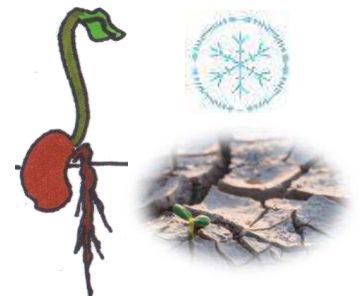
Phénologie : quelles conditions environnementales pour le stade suivant ?



Synchronisation phénologique : répartition du risque d'émergence dans de mauvaises conditions

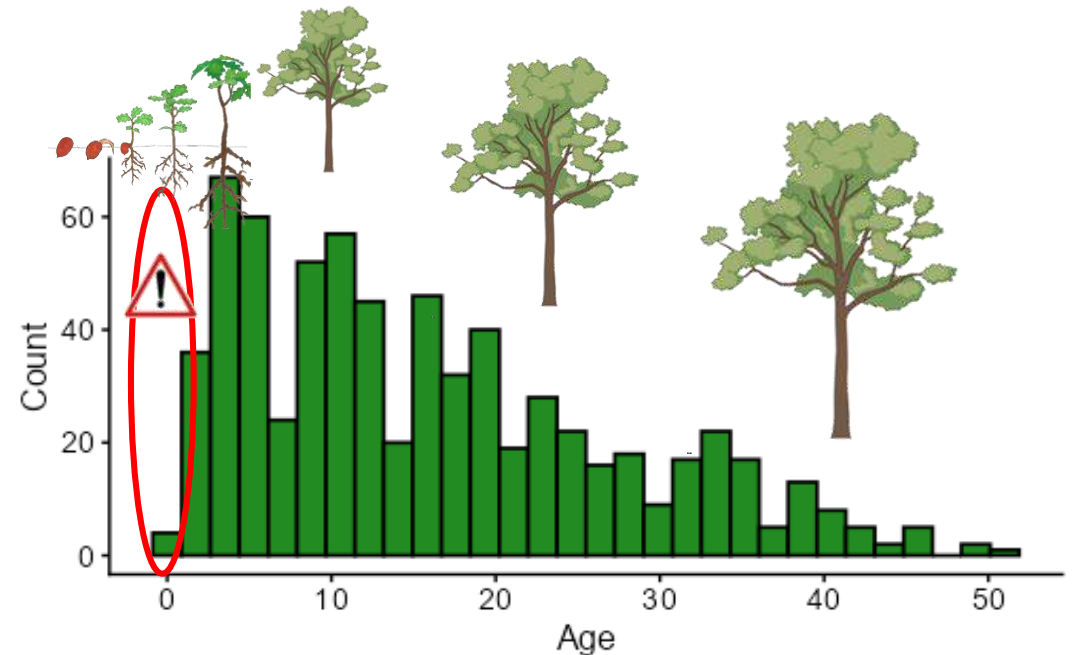


Proximité du sol : microclimats très variables  
Sensibilité à la sécheresse et au gel



# Les très jeunes stades sous-étudiés

Les caractéristiques des premiers stades restent sous-représentées dans les études en écologie



Ages of trees studied in common-garden studies. Data from ((Leites and Benito Garzón, 2023).



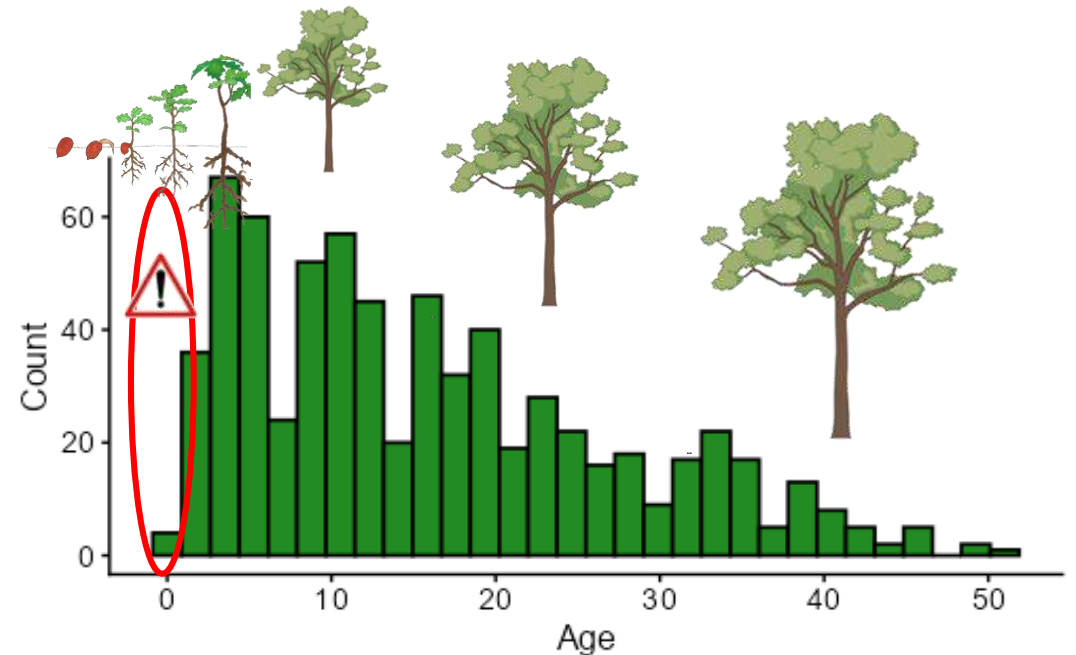
# Les très jeunes stades sous-étudiés

Les caractéristiques des premiers stades restent sous-représentées dans les études en écologie

Manque d'études sur les espèces à graines récalcitrantes (contraintes de stockage)

Les effets du climat sur les premiers stades de développement sont rarement évalués sur plusieurs années et dans différents environnements

Relations entre les caractéristiques des premiers stades de développement et la fitness



Ages of trees studied in common-garden studies. Data from ((Leites and Benito Garzón, 2023).



# Les très jeunes stades sous-étudiés

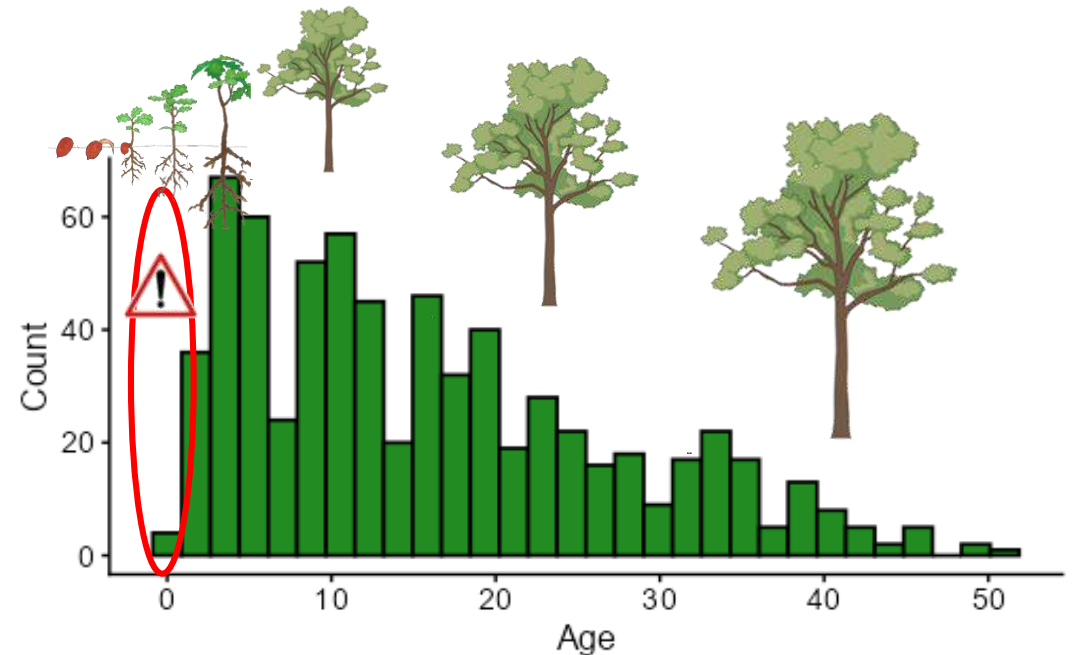
Les caractéristiques des premiers stades restent sous-représentées dans les études en écologie

Manque d'études sur les espèces à graines récalcitrantes (contraintes de stockage)

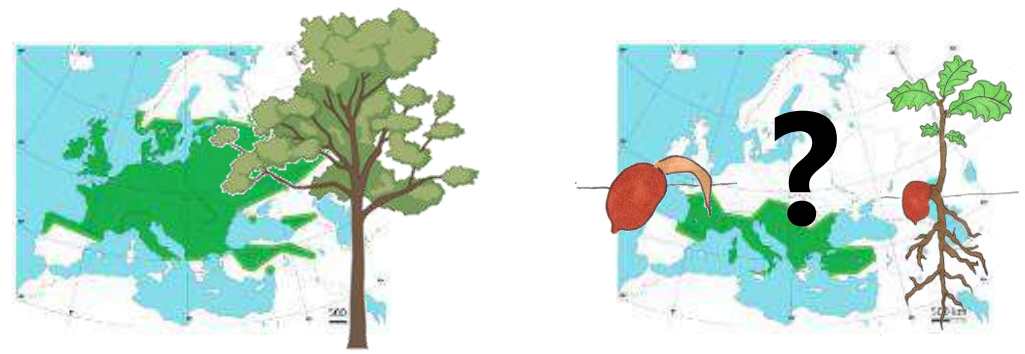
Les effets du climat sur les premiers stades de développement sont rarement évalués sur plusieurs années et dans différents environnements

Relations entre les caractéristiques des premiers stades de développement et la fitness

Différences entre les conditions optimales et les niches des stades précoces et celles des stades ultérieurs



Ages of trees studied in common-garden studies. Data from ((Leites and Benito Garzón, 2023).



# Les très jeunes stades sous-étudiés

⚠ Régénération naturelle : 60 % des forêts européennes (FAO, 2025)



# Les très jeunes stades sous-étudiés

⚠ Régénération naturelle : 60 % des forêts européennes (FAO, 2025)



⚠ Régénération artificielle (régénération et migration assistée, restauration) : dépend des sources de graines ; les jeunes plants issus de pépinières sont fragiles juste après plantation



# Les très jeunes stades sous-étudiés

! Régénération naturelle : 60 % des forêts européennes (FAO, 2025)



! Régénération artificielle (régénération et migration assistée, restauration) : dépend des sources de graines ; les jeunes plants issus de pépinières sont fragiles juste après plantation



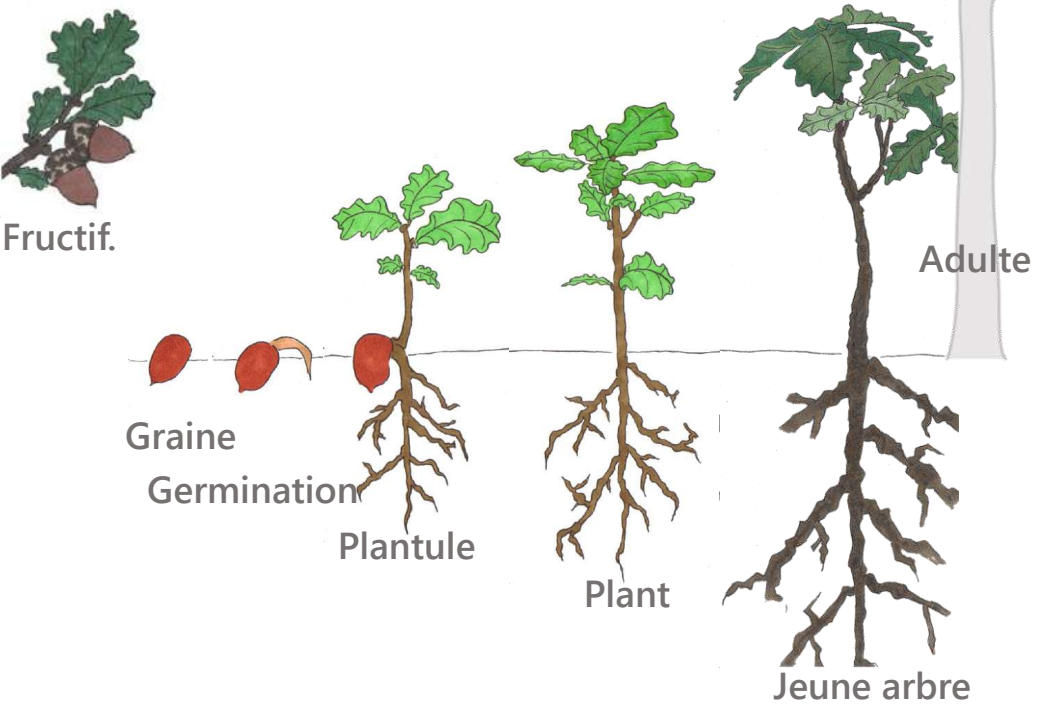
! Graines récalcitrantes chez les principales espèces européennes



Comprendre quelles populations/provenances sont capables de se régénérer : identifier les sources de semences résilientes au changement climatique et les populations vulnérables → orienter les stratégies de régénération et les interventions de conservation ciblées

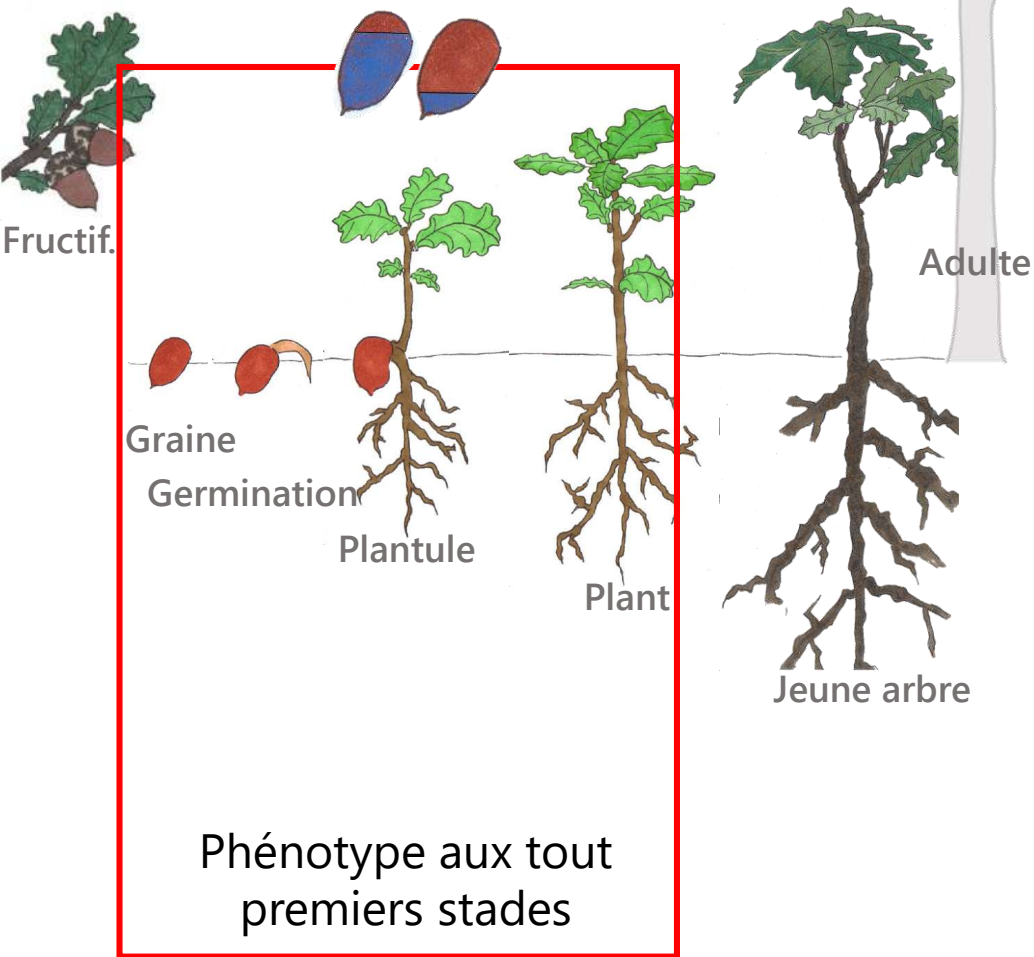
# Cadrage

## Échelle temporelle et niveau biologique



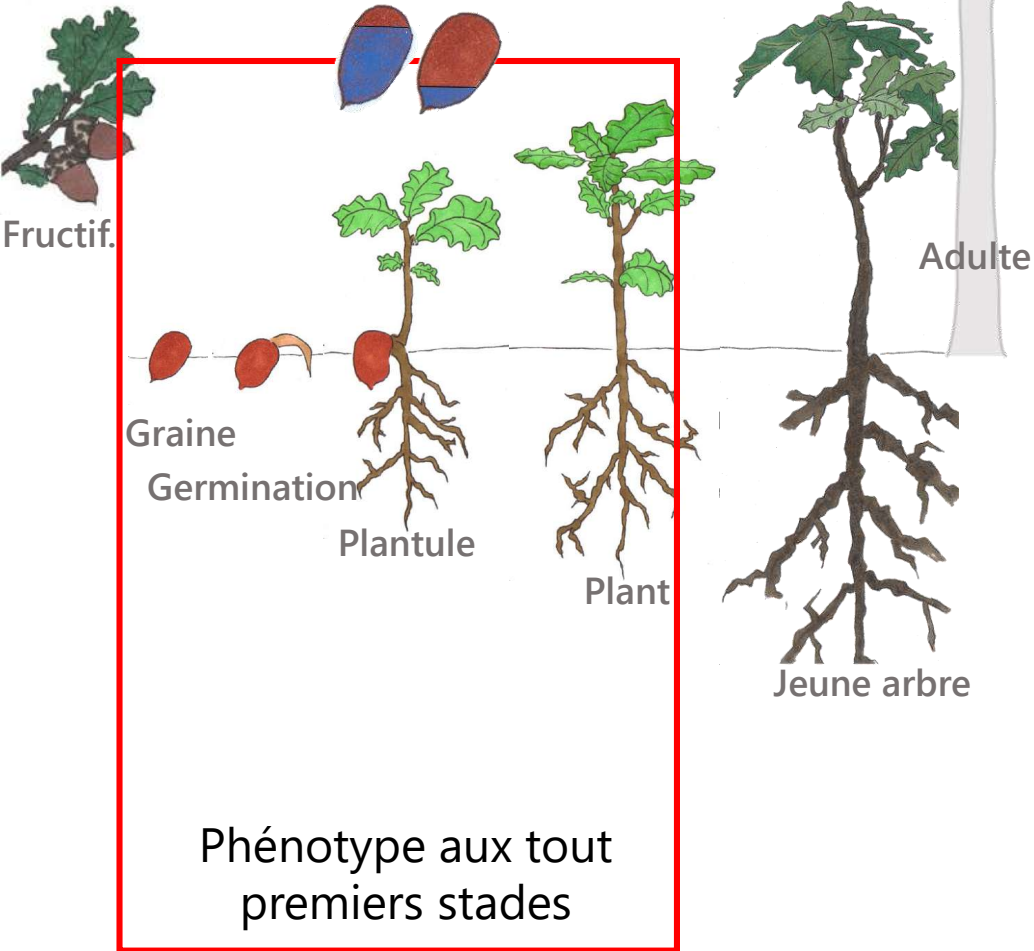
# Cadrage

## Échelle temporelle et niveau biologique

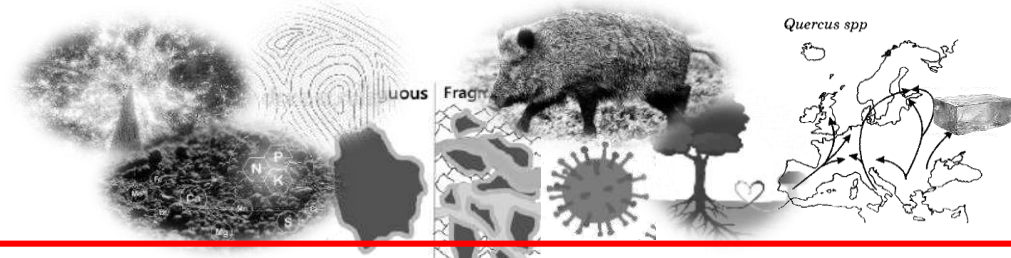


# Cadrage

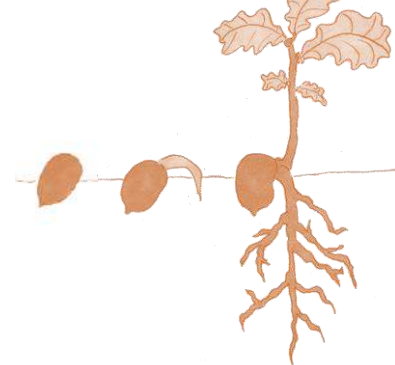
## Échelle temporelle et niveau biologique



## Facteurs environnementaux et stratégies

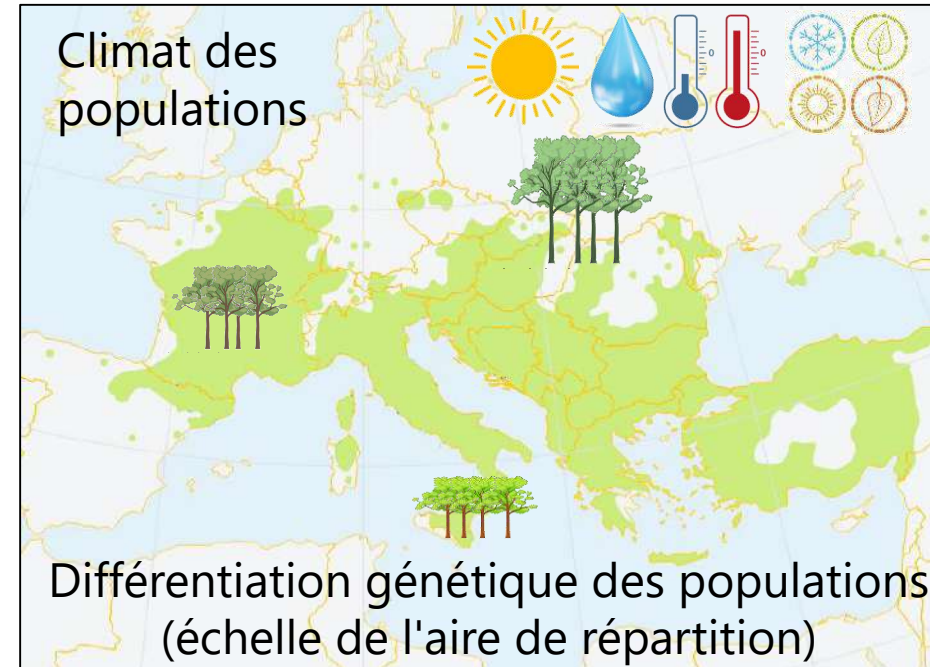


Effet de la hausse des températures



Plasticité intragénérationnelle

Climat des populations



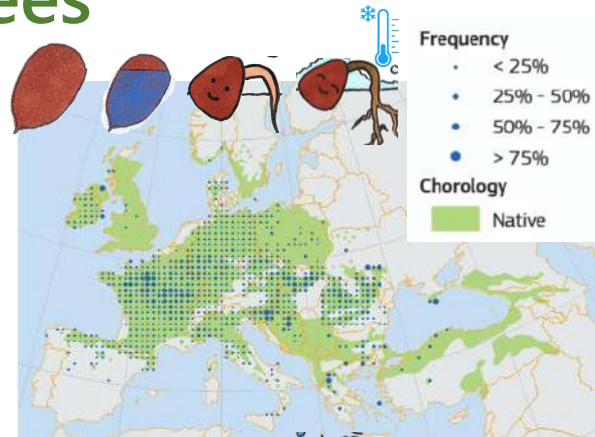


# Matériel & Méthodes

# Espèces étudiées

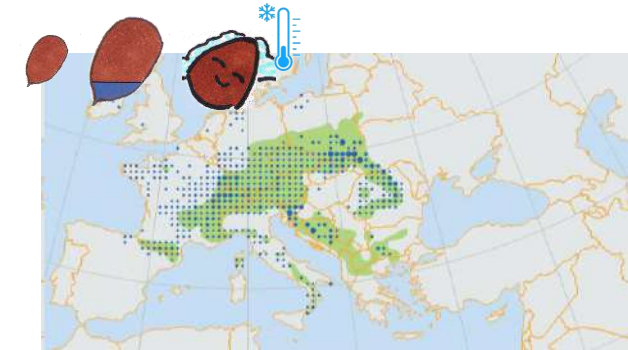
Chêne sessile  
*Q. petraea*

Tempéré



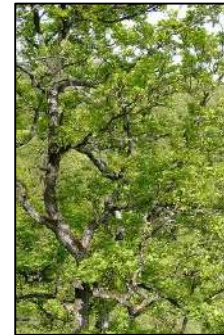
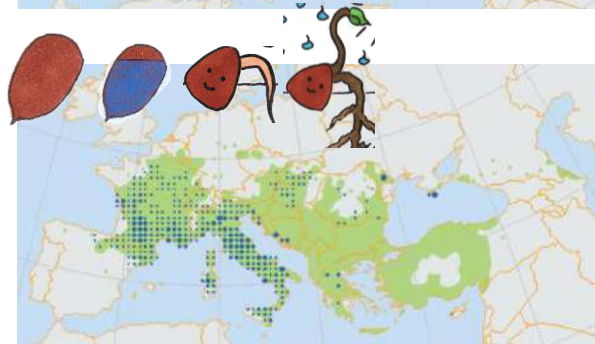
Sapin pectiné  
*A. alba*

Tempéré



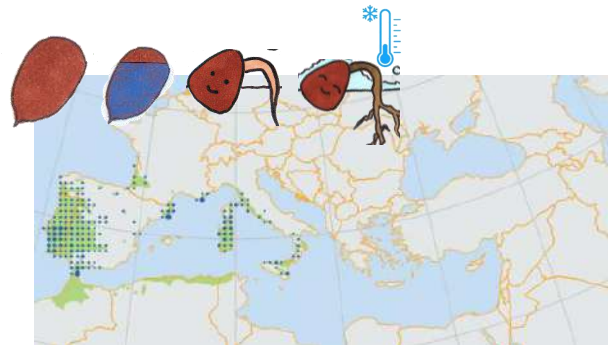
Chêne pubescent  
*Q. pubescens*

Sub-Méditerranéen



Chêne liège  
*Q. suber*

Méditerranéen



# Matériel graines et données climatiques

Graines collectées sur l'ensemble de l'aire de répartition (populations centrales et marginales: représentatif des climats rencontrés par l'espèce)

6 à 20 arbres-mère par population (variation génétique intrapopulation)



**9008 graines, 29 populations**

Chêne: 15 glands par arbre-mère



Sapin: 60 graines par arbre-mère



# Matériel graines et données climatiques

Graines collectées sur l'ensemble de l'aire de répartition (populations centrales et marginales: représentatif des climats rencontrés par l'espèce)

6 à 20 arbres-mère par population (variation génétique intrapopulation)



9008 graines, 29 populations

Chêne: 15 glands par arbre-mère

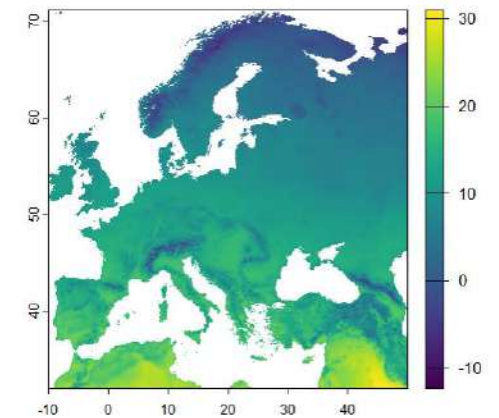


Sapin: 60 graines par arbre-mère



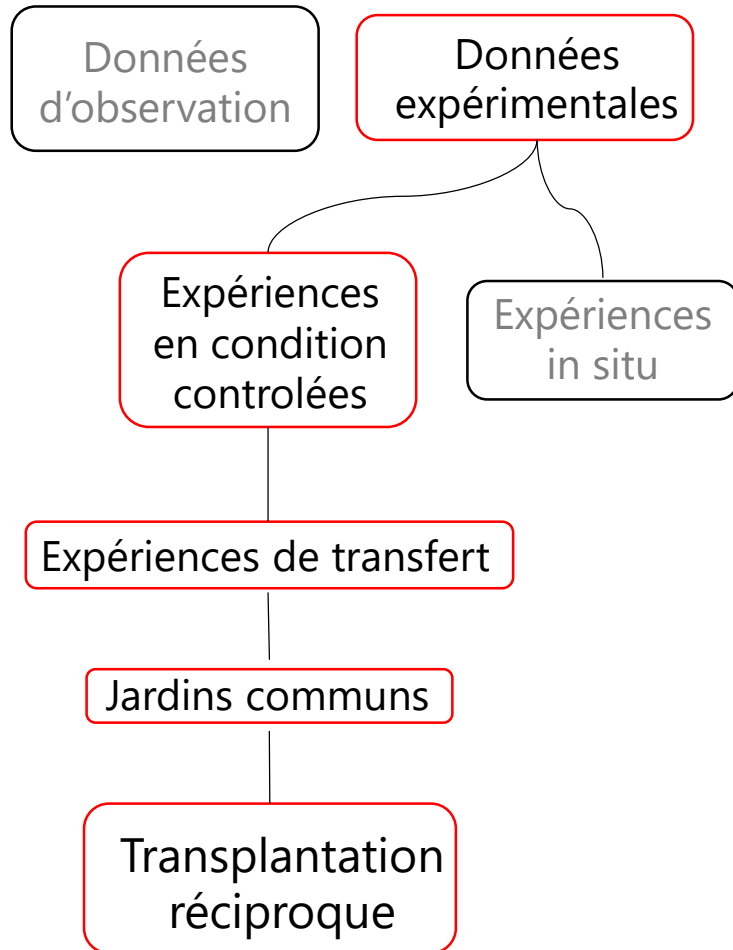
- Climat long terme de chaque population (1900-1960)
- Rasters de variables climatiques pour prédictions à l'échelle de l'aire de répartition

e.g. Température printemps 1900-1960

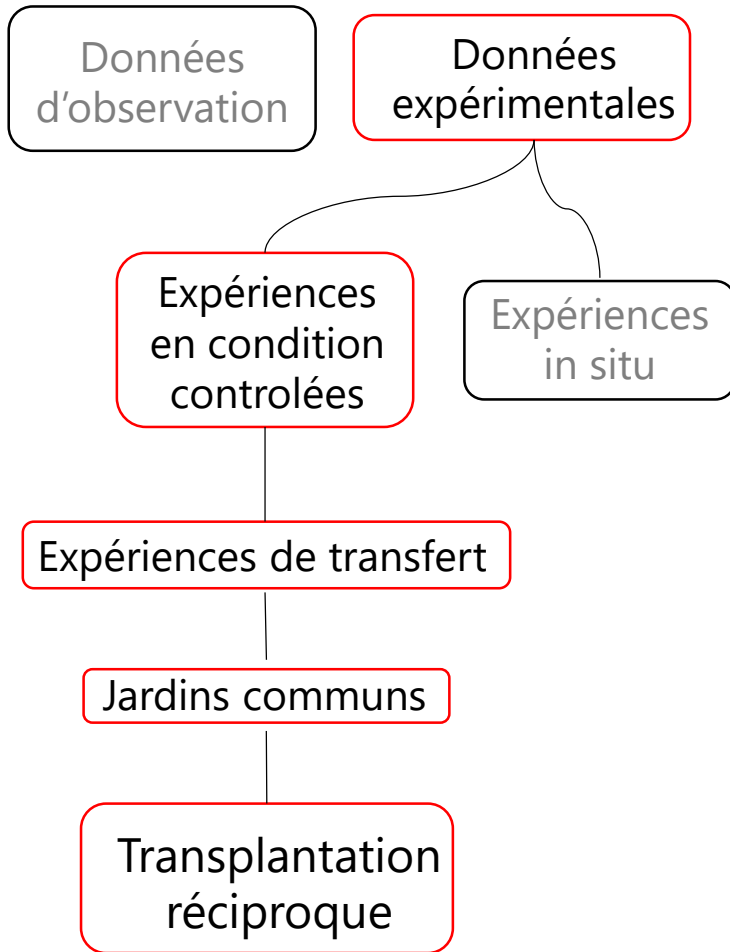


Climate DT  
<https://www.ibbr.cnr.it/climate-dt/>

# Design expérimental: jardins communs de transplantation réciproque en conditions contrôlées

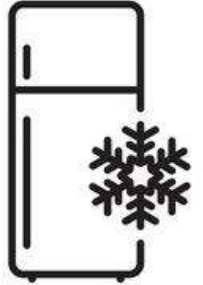


# Design expérimental: jardins communs de transplantation réciproque en conditions contrôlées

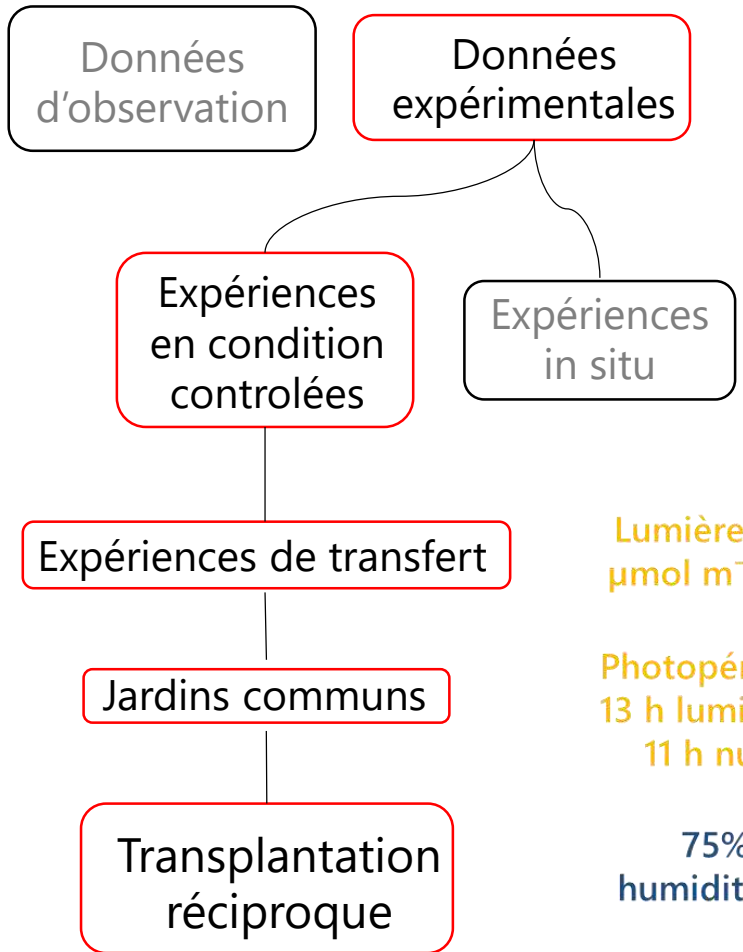


## Frigo (sapin)

Simulation hiver (dormance) pour une moitié des graines: stratification froid-humide à 4°C, 3 semaines

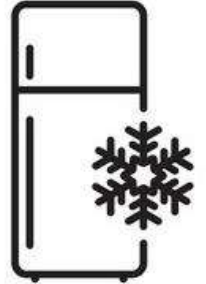


# Design expérimental: jardins communs de transplantation réciproque en conditions contrôlées



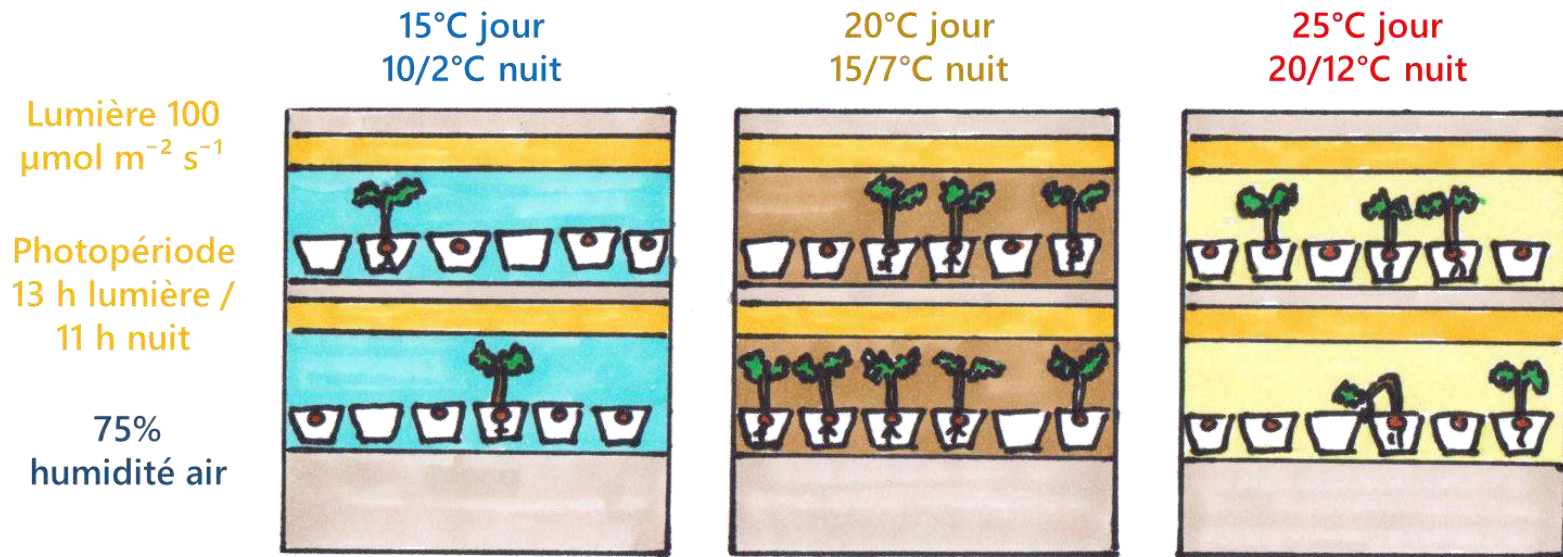
## Frigo (sapin)

Simulation hiver (dormance) pour une moitié des graines: stratification froid-humide à 4°C, 3 semaines



## Chambres climatiques (toutes espèces)

Conditions optimales et constantes pour isoler l'effet de la température



Sol: terreau (Q. petraea, suber, A. alba), mélange terreau (2/3) perlite (1/3) (Q. pubescens)

Eau: 3x semaine (arrosage manuel)

Climatic chambers FITOCLIMA D1200 Aralab Quantum sensor Licor Li190 USA

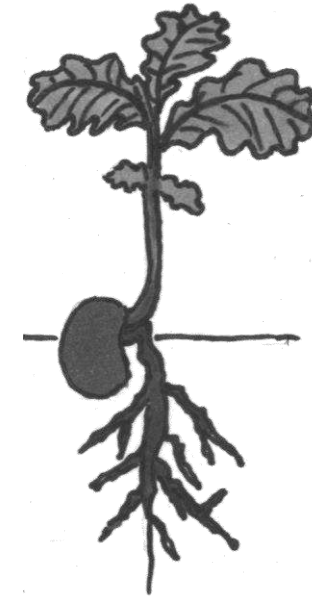
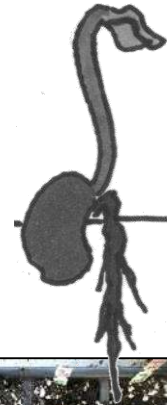
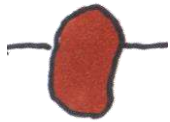


# Design expérimental: jardins communs de transplantation réciproque en conditions contrôlées



# Mesures des traits phénotypiques

Masse  
Teneur en eau



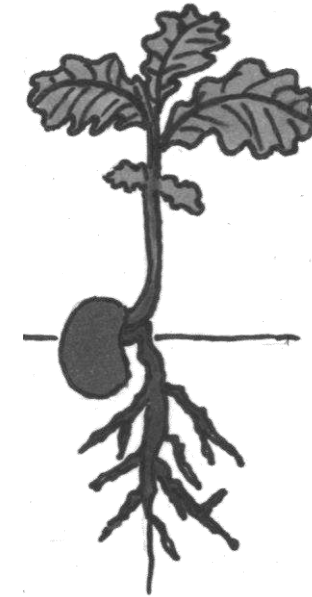
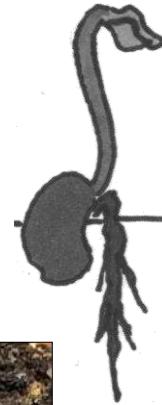
INRAE

# Mesures des traits phénotypiques

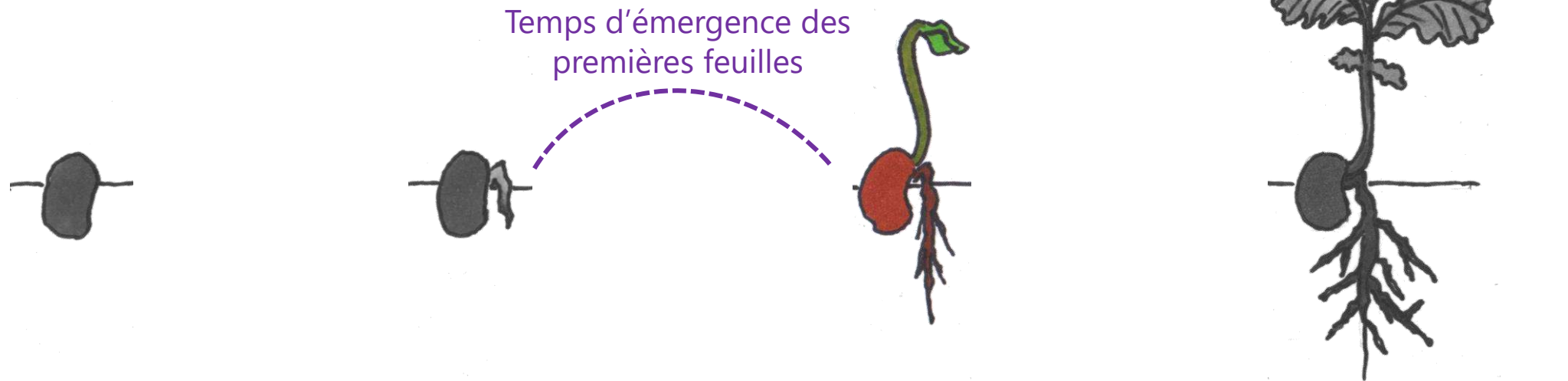
Synchronie germin.

Temps de germin.

Pourcentage de germination



# Mesures des traits phénotypiques



INRAE

# Mesures des traits phénotypiques

Croissance en hauteur  
1 mois

Hauteur, Diamètre,  
Biomasse des racines et  
pousses  
SLA, pigments foliaires



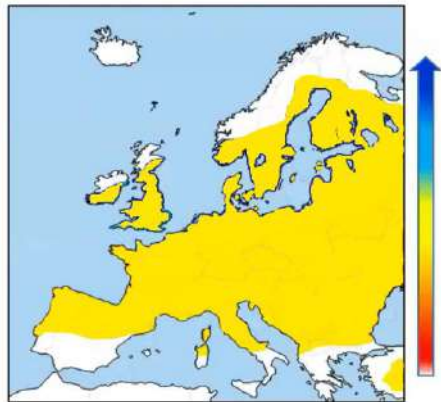
INRAE

# Analyse statistique: $\Delta$ TraitSDM

Tendance à l'intégration des différentes approches

## SDM traditionnel

Uniformité génétique et phénotypique à l'échelle de l'aire de répartition

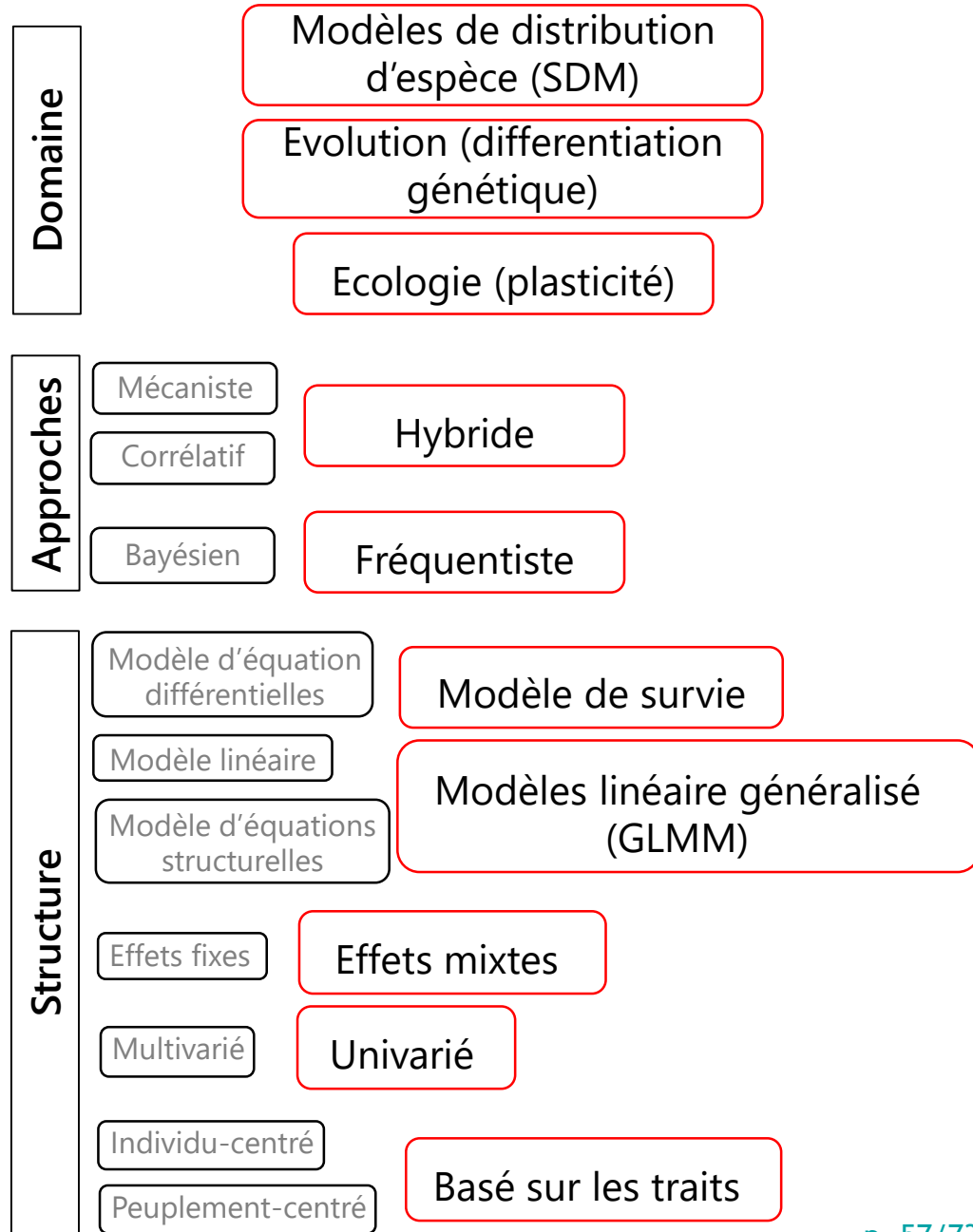
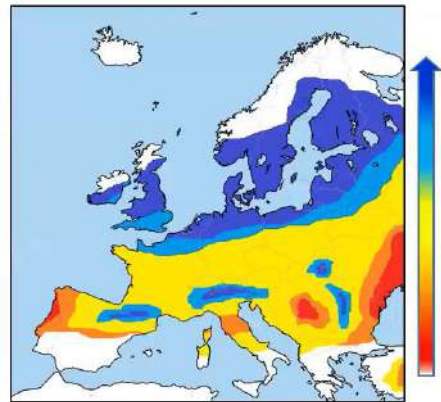


Variation intraspecific : très important



## $\Delta$ TraitSDM : SDM amélioré

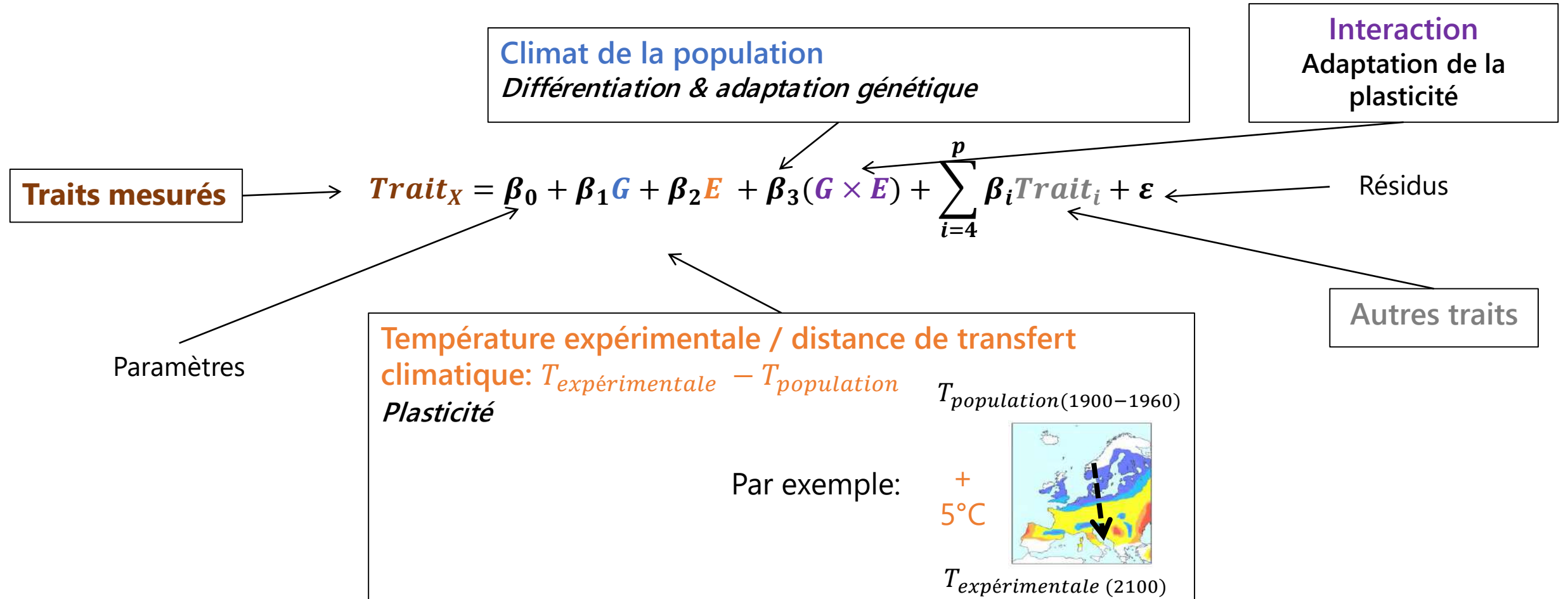
Non-uniformité génétique et phénotypique à l'échelle de l'aire de répartition



Langage:



# Statistical analysis



# PARTIE I – Chênes

## **Seed origin determines cork oak germination: the warmer the higher, faster and more synchronized**

Marion Carme<sup>1\*</sup>, Eduardo Vicente<sup>1</sup>, Filipe Costa e Silva<sup>2</sup>, Maurizio Marchi<sup>3</sup>, Giovanni Giuseppe Vendramin<sup>3</sup>, Natalia Vizcaíno-Palomar<sup>4</sup>, Boutheina Stiti<sup>5</sup>, Marta Benito Garzón<sup>1\*</sup>

*New Forests* 57, 20 (2026). <https://doi.org/10.1007/s11056-026-10163-8>

## **Climate of origin drives germination and seedling responses to warming in sessile and pubescent oaks**

Marion Carme<sup>1\*</sup>, Eduardo Vicente<sup>1</sup>, Marta Benito Garzón<sup>1\*</sup>

*In prep.*

## **Incorporating trait covariation, population climate and plasticity into species distribution models: a case study of sessile and pubescent oaks**

Marion Carme<sup>1\*</sup>, Eduardo Vicente<sup>1</sup>, Marta Benito Garzón<sup>1\*</sup>

*In prep.*

## **Phenotypic integration of post-germination traits in *Quercus suber*: morphology is mediated by acorn mass and leaf physiology by populations' climate**

Eduardo Vicente<sup>1\*</sup>, Marion Carme<sup>1</sup>, Marta Benito Garzón<sup>1\*</sup>

*Annals of Botany*, 136(1), 153-166. <https://doi.org/10.1093/aob/mcaf068>

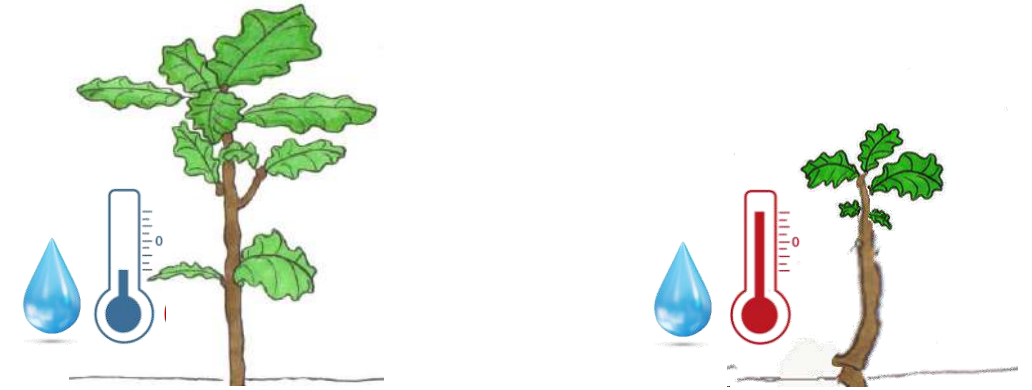
# Le réchauffement diminue l'acquisition de ressources sans diminuer la performance lorsqu'il est modéré

Stratégie d'utilisation des ressources plus conservative:

Diminution: surface foliaire spécifique, croissance, hauteur

Augmentation: diamètre, pigments foliaires  
photoprotecteurs

→ Allocation des ressources réorientée; tissus robustes et résistants au stress



# Le réchauffement diminue l'acquisition de ressources sans diminuer la performance lorsqu'il est modéré

Stratégie d'utilisation des ressources plus conservative:

Diminution: surface foliaire spécifique, croissance, hauteur

Augmentation: diamètre, pigments foliaires  
photoprotecteurs

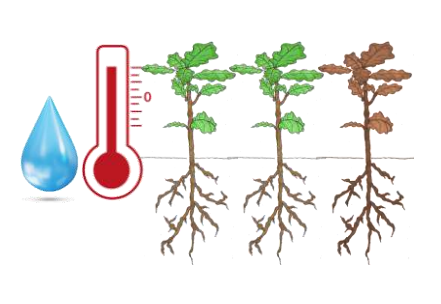
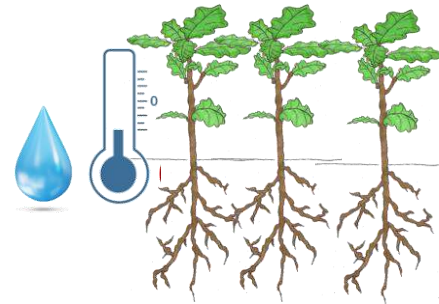
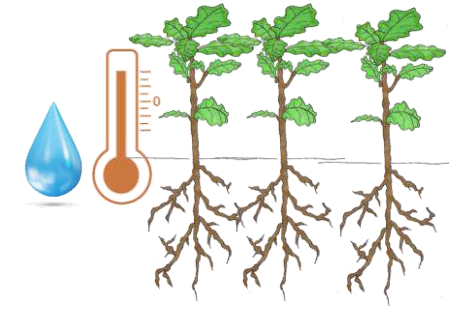
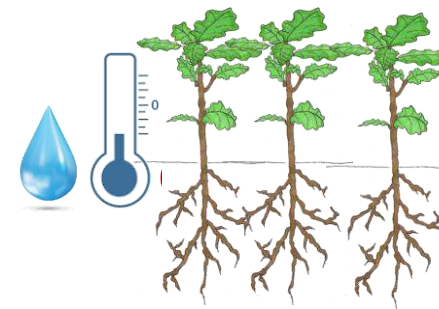
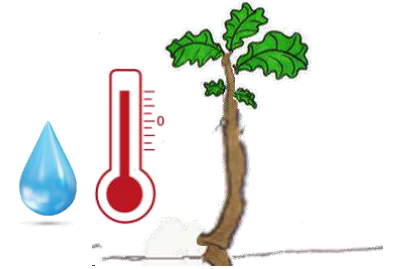
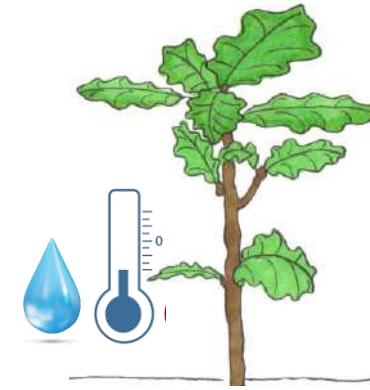
→ Allocation des ressources réorientée; tissus robustes et résistants au stress

Réchauffement modéré: effets positifs ou neutres sur la fitness (germination, survie, biomasse totale)

Réchauffement extrême (+10-15°C par rapport à la température de la population): diminution la fitness (germination, survie, biomasse totale)

Très dépendant de la population!

→ Eau et nutriments suffisant = réchauffement positif jusqu'à un seuil



# Les populations chaudes et arides des chênes pubescent et liège, étonnamment moins « performantes »

Populations plus arides et chaudes et/ou moins saisonales, sous réchauffement tendent à :

Croissance supérieure

Augmentation en hauteur

Diamètre stable

→ stratégie plus acquisitive

Fitness (survie, biomasse, germination) moindre

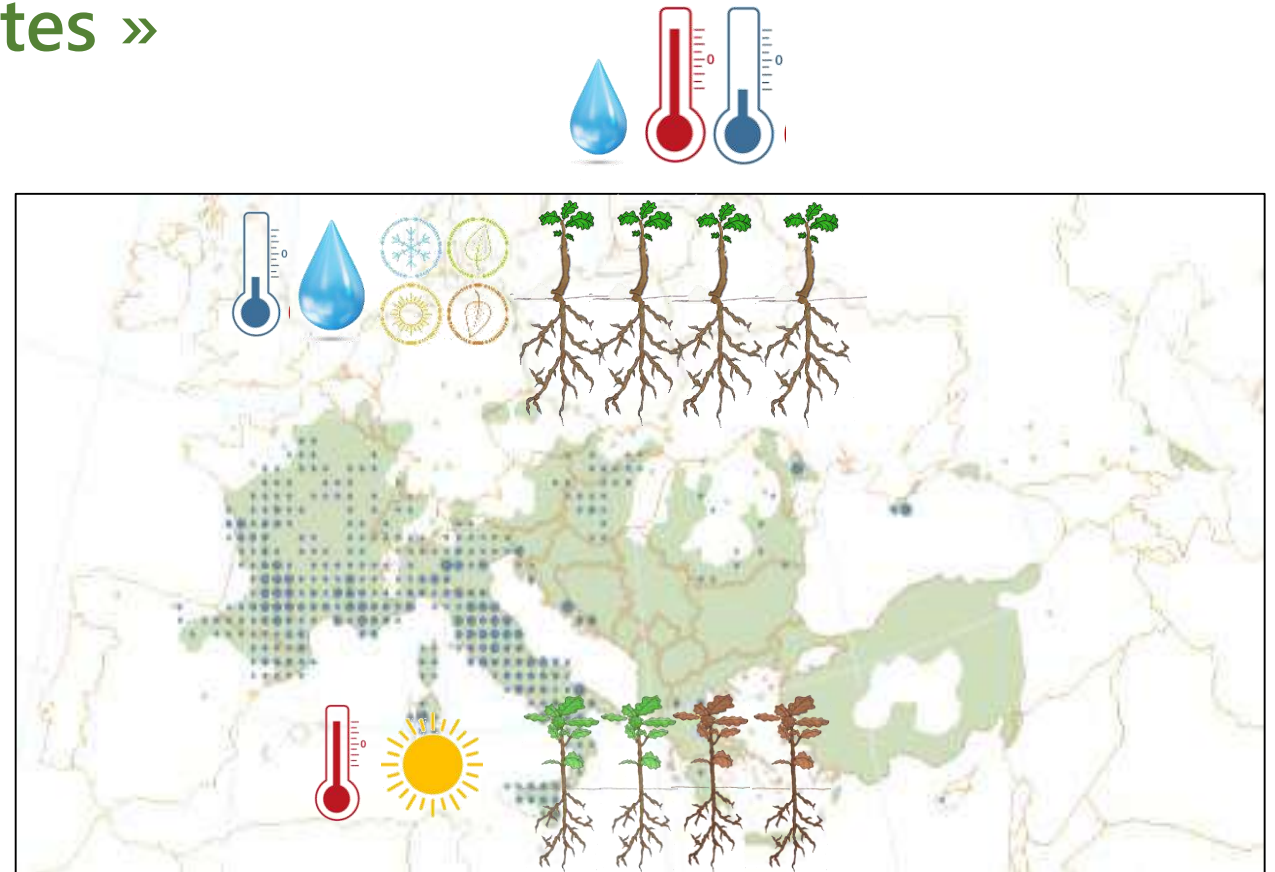
→ Performance moindre

Proportion de racines moindre

→ Diminution résistance à la sécheresse

Possible explication:

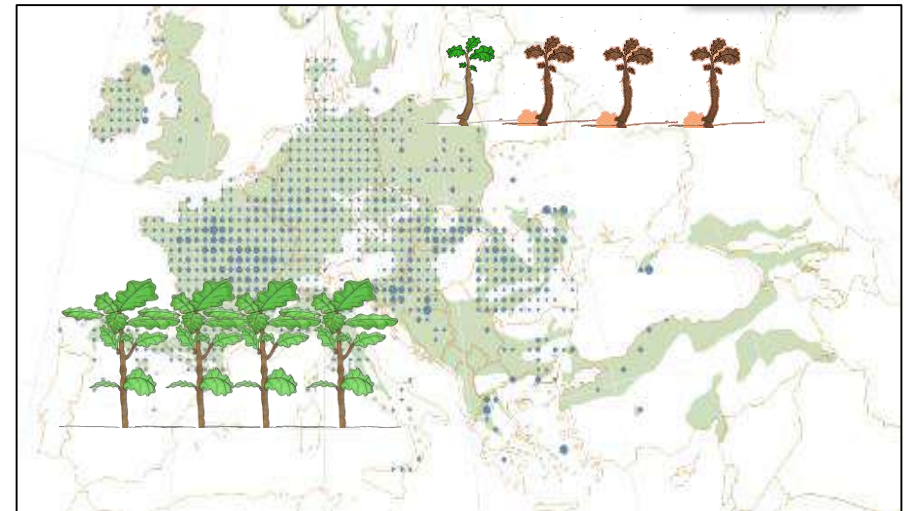
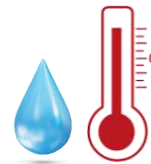
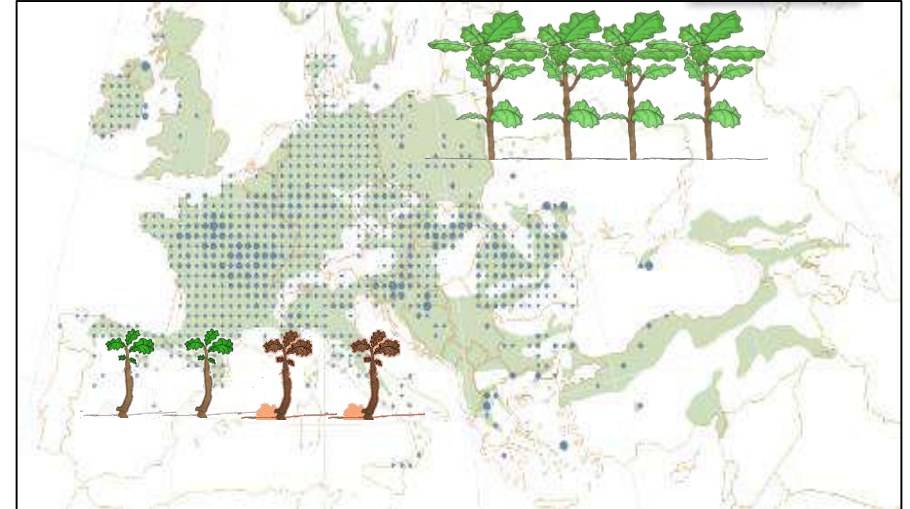
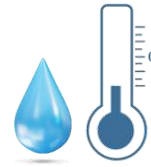
Adaptation à la sécheresse couteuse en conditions humides: stratégie acquisitive pour profiter des périodes humides courtes et ponctuelles en milieu aride, devient désavantageux en conditions continuellement humides.



# Les populations adaptées au froid perdent leur avantage : l'exemple du chêne sessile

- Populations plus saisonales/continentales et froides tendent à avoir:
- Surface foliaire spécifique supérieure uniquement à basse température
  - Diamètre moindre, augmentant davantage sous réchauffement
  - Hauteur moindre
  - stratégie plus acquisitive devenant plus conservative sous réchauffement
  - Fitness (survie, biomasse) supérieure uniquement à basse température
  - Performance supérieure puis chutant sous réchauffement

Possible explication:  
Adaptation au froid et au gel coûteuse en conditions chaudes

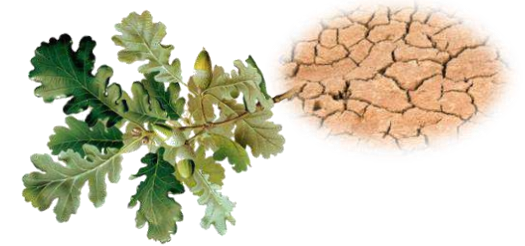


# Les populations continentales ont des réactions opposées chez les chênes pubescent et sessile

Hypothèse des pressions sélectives opposées:

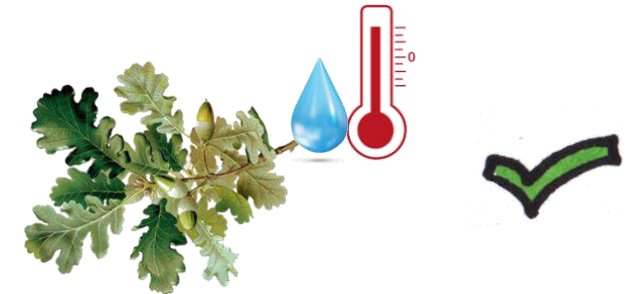
Populations continentales de chêne sessile → adaptées au froid

Populations continentales de chêne pubescent → adaptées à la sécheresse



Q. pubescens dans des conditions chaudes et humides:

Absence de contrainte habituelle (sécheresse) + absence de menace inhabituelle (froid) → amélioration relative des performances



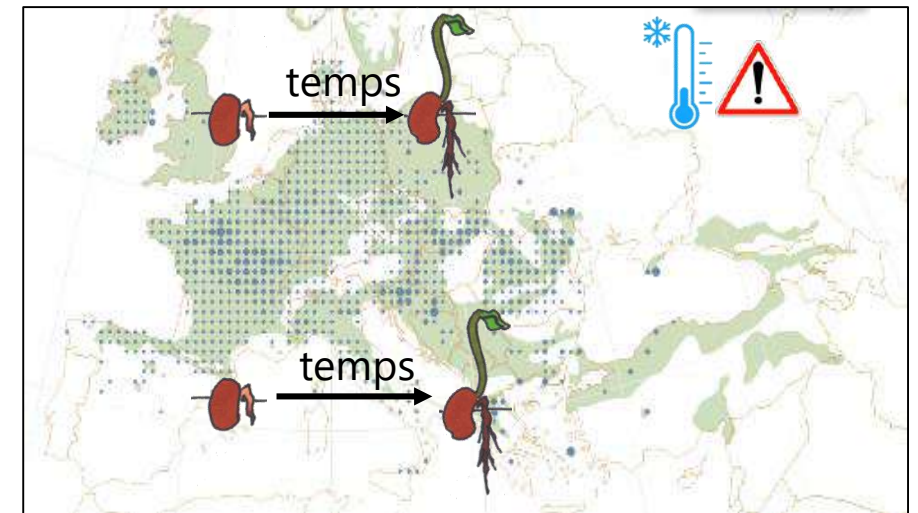
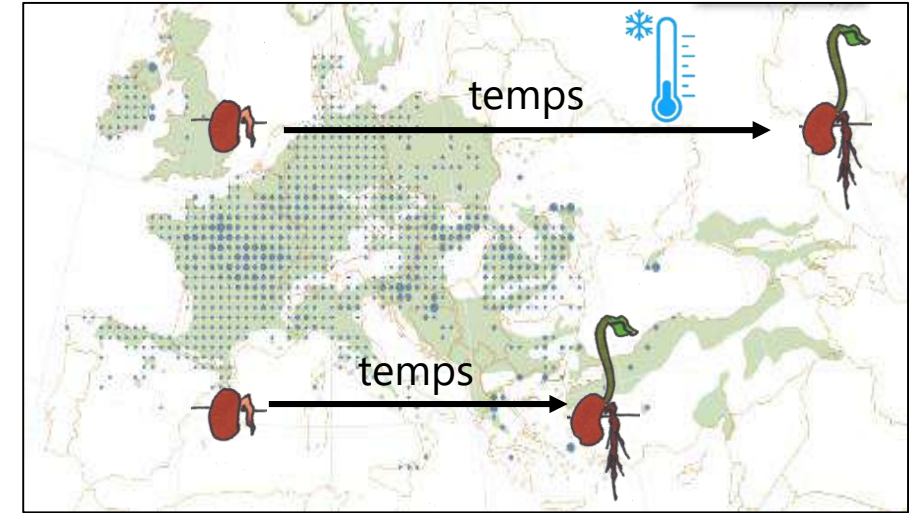
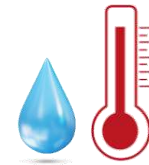
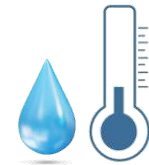
# Le réchauffement accélère la phénologie des plantules, surtout chez les populations froides et saisonales (toutes espèces)

Le réchauffement accélère l'apparition des premières feuilles, surtout chez les populations froides et continentales

Explication:

Augmentation température = accélération seuils de développement

Populations froides et continentales: stratégies adaptées à une saison de croissance courte (exploitation rapide des signaux de réchauffement) et un climat variable (éviter les gelées tardives)



## PARTIE II – Sapin pectiné

**Adaptive responses to warming in silver fir early stages are shaped by seed dormancy release**

Eduardo Vicente<sup>1\*</sup>, Marion Carme<sup>1</sup>, Marta Benito Garzón<sup>1\*</sup>  
*Submitted.*

# Le réchauffement augmente l'acquisition de ressources sans diminuer la performance lorsqu'il est modéré

A l'inverse des chênes, le réchauffement provoque:

Augmentation de la surface foliaire spécifique

Augmentation de la hauteur

Réduction du diamètre

→ Stratégie plus acquisitive

Possible explication:

Compromis entre résistance au froid et croissance/acquisition rapide de ressources, commun chez les espèces adaptés au froid



# Le réchauffement augmente l'acquisition de ressources sans diminuer la performance lorsqu'il est modéré

A l'inverse des chênes, le réchauffement provoque:

Augmentation de la surface foliaire spécifique

Augmentation de la hauteur

Réduction du diamètre

→ Stratégie plus acquisitive

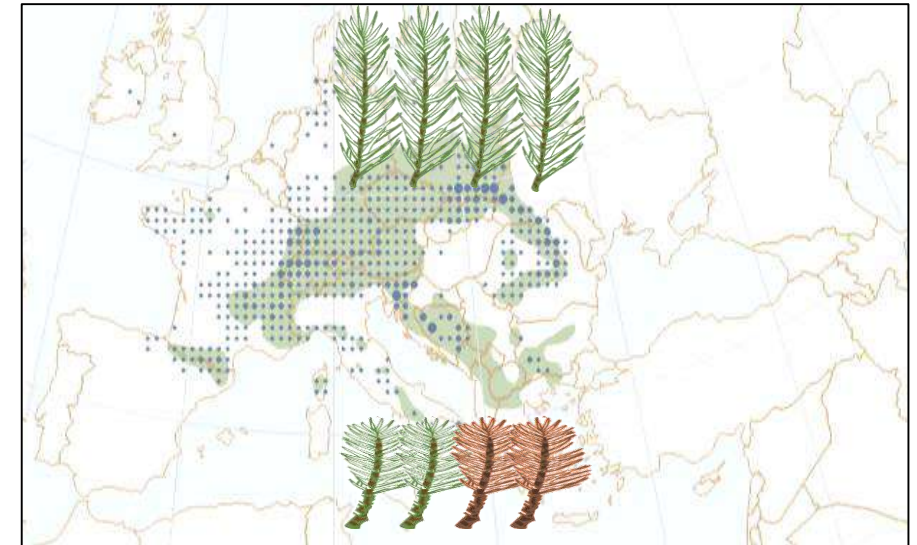
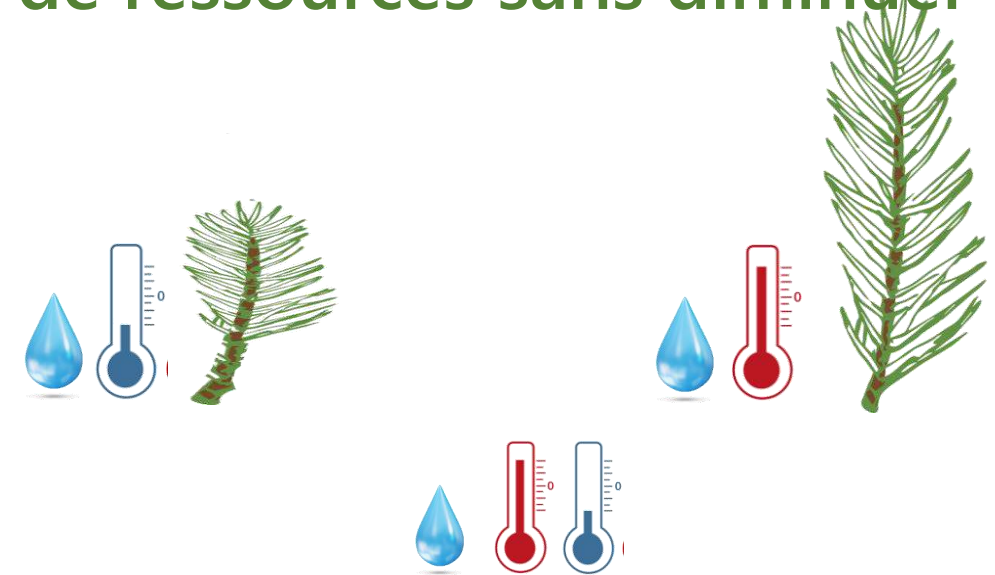
Possible explication:

Compromis entre résistance au froid et croissance/acquisition rapide de ressources, commun chez les espèces adaptés au froid

Populations froides performant mieux

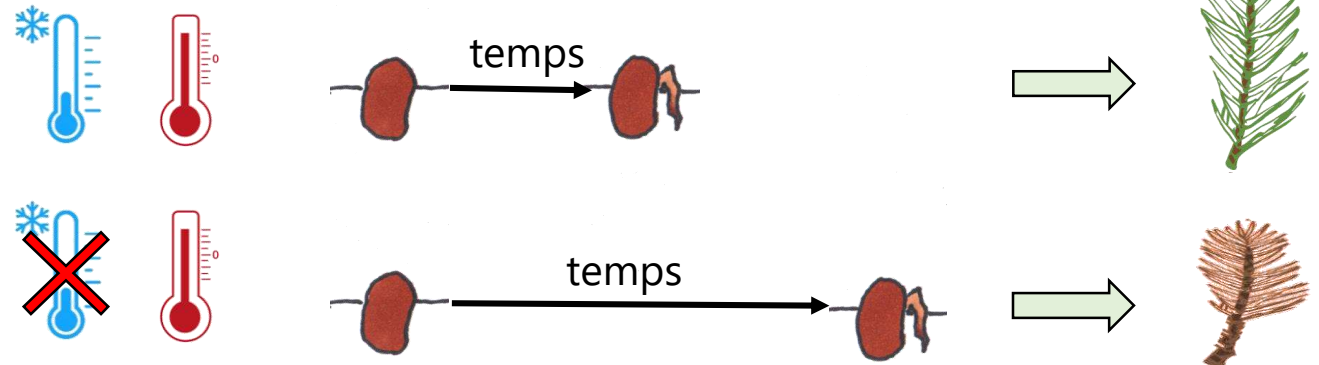
Possible explication:

Histoire démographique



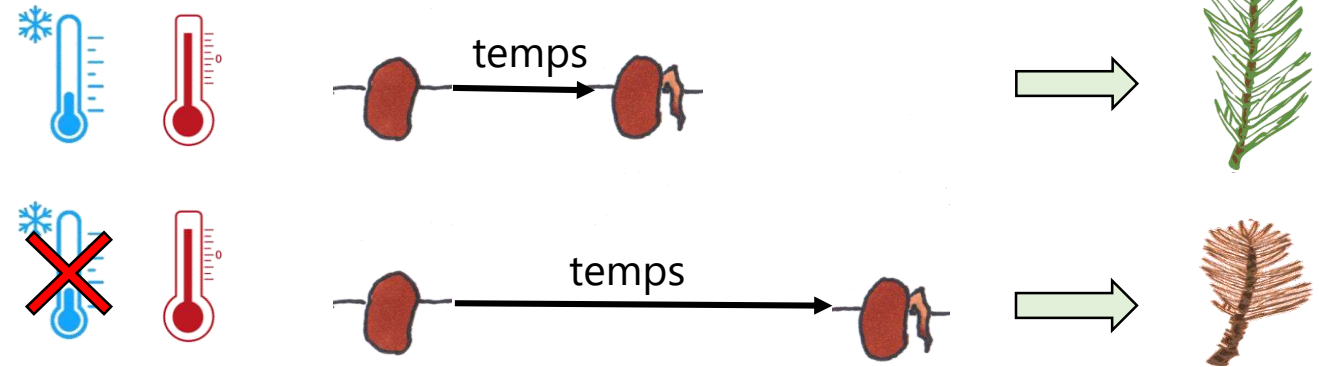
# L'absence de stratification froide (hiver) augmente le temps de germination et diminue la performance des plantules

Sans stratification froide, i.e. simulation de l'hiver et dormance:  
Germination, mais retardée, et performance des plantules moindre



# L'absence de stratification froide (hiver) augmente le temps de germination et diminue la performance des plantules

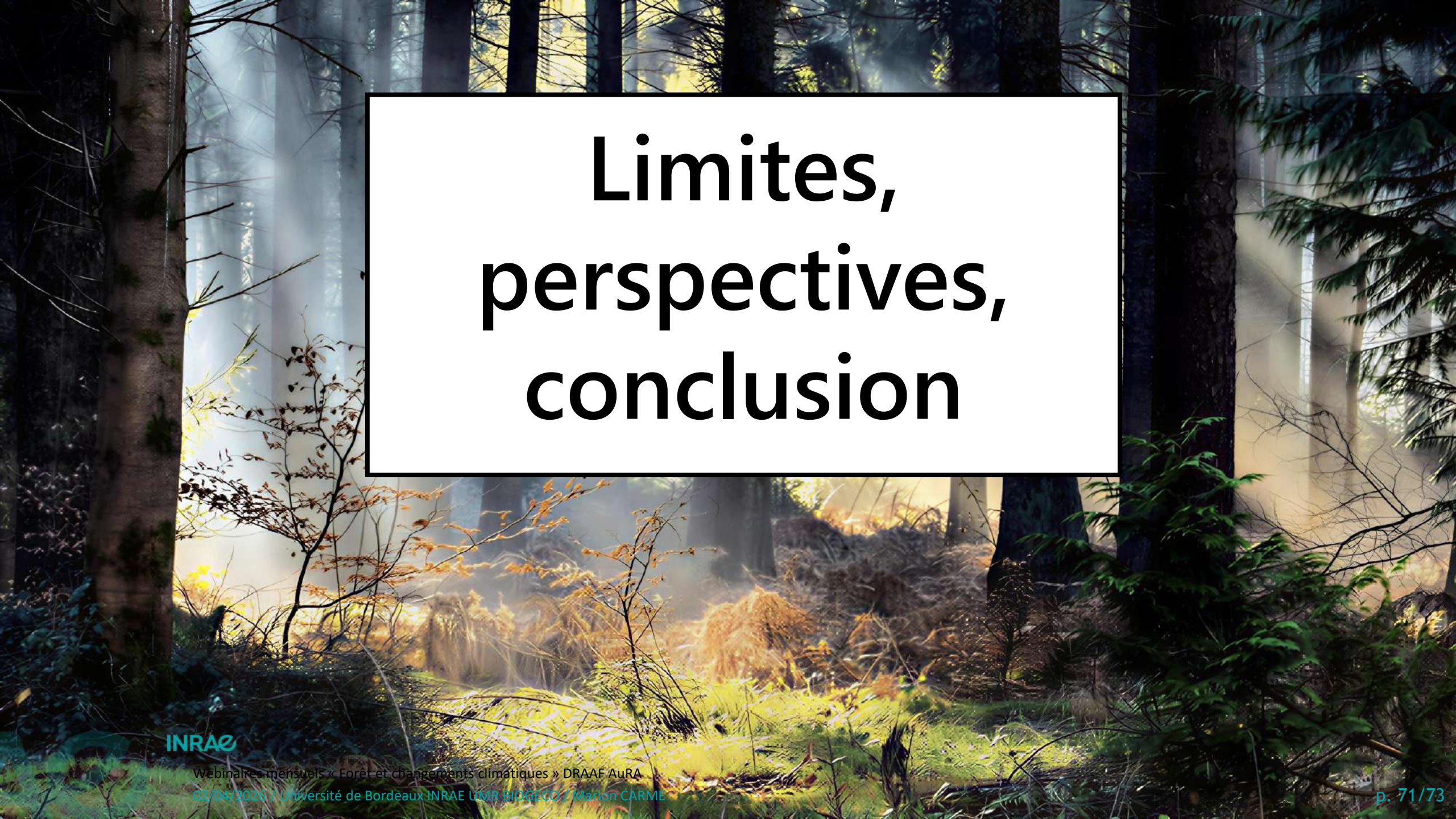
Sans stratification froide, i.e. simulation de l'hiver et dormance:  
Germination, mais retardée, et performance des plantules moindre



Comme les chênes, le réchauffement:

Impacte négativement la fitness (germination, survie, biomasse totale) seulement en réchauffement extrême (+4-7°C par rapport à la température de la population).

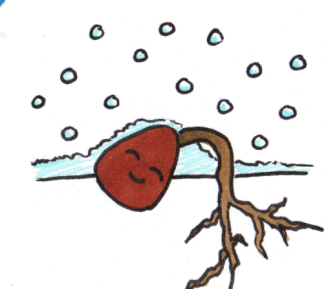
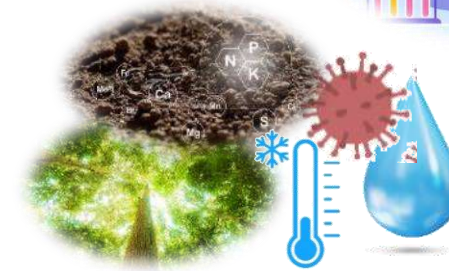
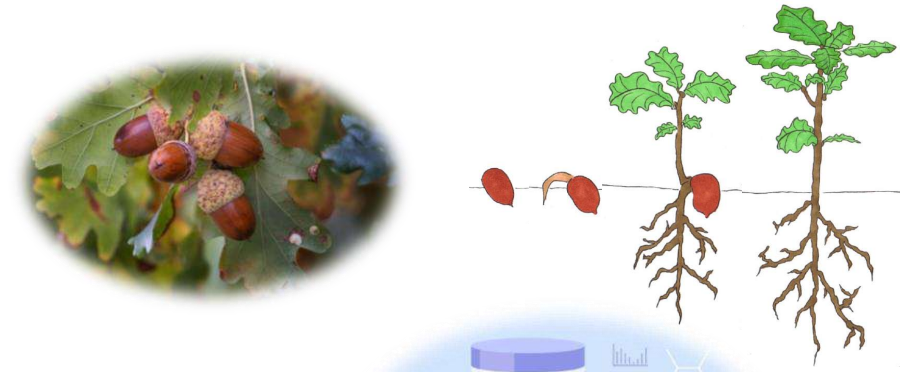
Accélère la phénologie



# Limites, perspectives, conclusion

# Limites et perspectives

- Collecte de graines sur plusieurs années (premiers stades varient d'une année à l'autre)
- Expérimentations sur un an et plus pour mieux mesurer la fitness
- Analyses génétiques: mieux distinguer l'adaptation locale de la différenciation génétique neutre et de l'épigénétique (plasticité transgénérationnelle), estimer l'héritabilité des traits et le potentiel évolutif
- Autres facteurs environnementaux: eau, gel, pathogènes, compétition
- Comparer avec les niches des jeunes arbres et adultes
- Test dormance de l'épicotyle
- Régénération par rejets (notamment chênes)
- Plus grande plage de températures et système d'arrosage automatique



## Conclusion, take-home messages

Population/provenance: important au même titre que l'espèce

L'accélération de la phénologie avec le réchauffement risque d'exposer les jeunes arbres aux gelées tardives dans certaines régions

Jeunes sapins pectinés négativement affectés par l'adoucissement de l'hiver



Merci pour votre attention 😊