

Le rôle des processus évolutifs pour l'adaptation des forêts et les effets des pratiques sur ces processus

François Lefèvre, URFM Avignon (*francois.lefevre.2@inrae.fr*)



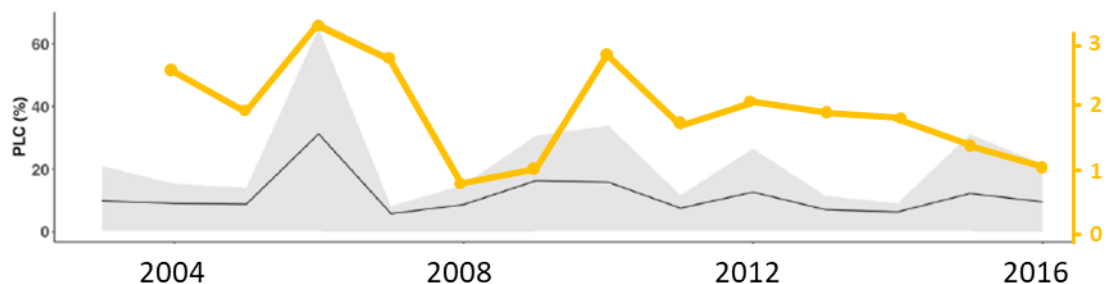
- Enjeux du CC dans le temps des forêts: multirisques, transitions, incertitudes
- Les forêts peuvent-elles s'adapter rapidement par évolution génétique? Jusqu'où?
- Deux facteurs clefs de l'adaptation génétique: variabilité et sélection
- Impacts des pratiques sylvicoles sur ces facteurs clefs
- Messages à retenir

Hêtraie de La Massane

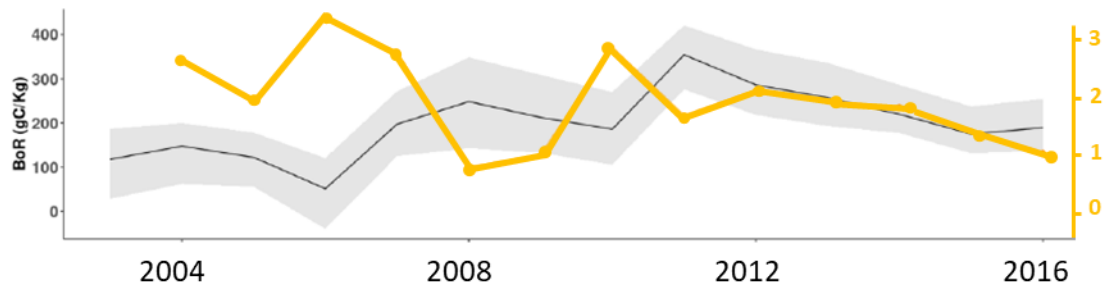
Risques climatiques

Mortalité annuelle (%)

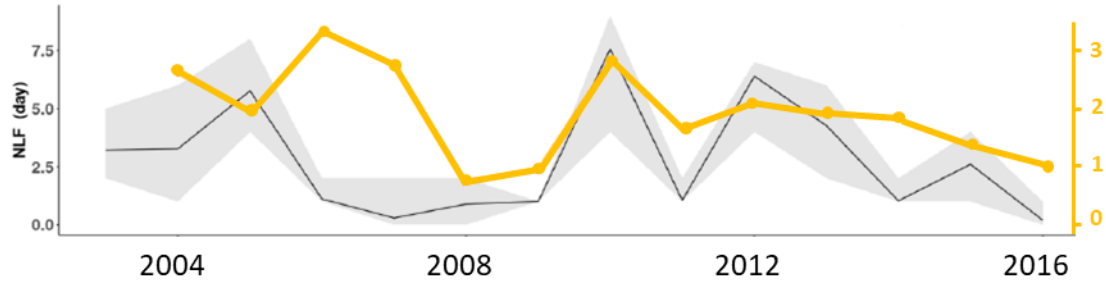
sécheresses
intenses



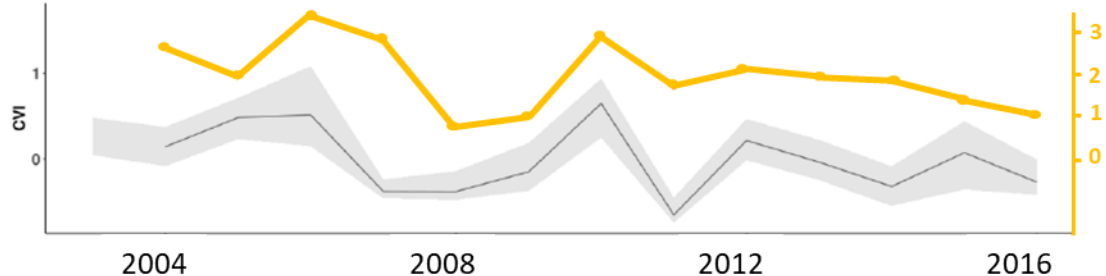
sécheresses
longues



gel tardif



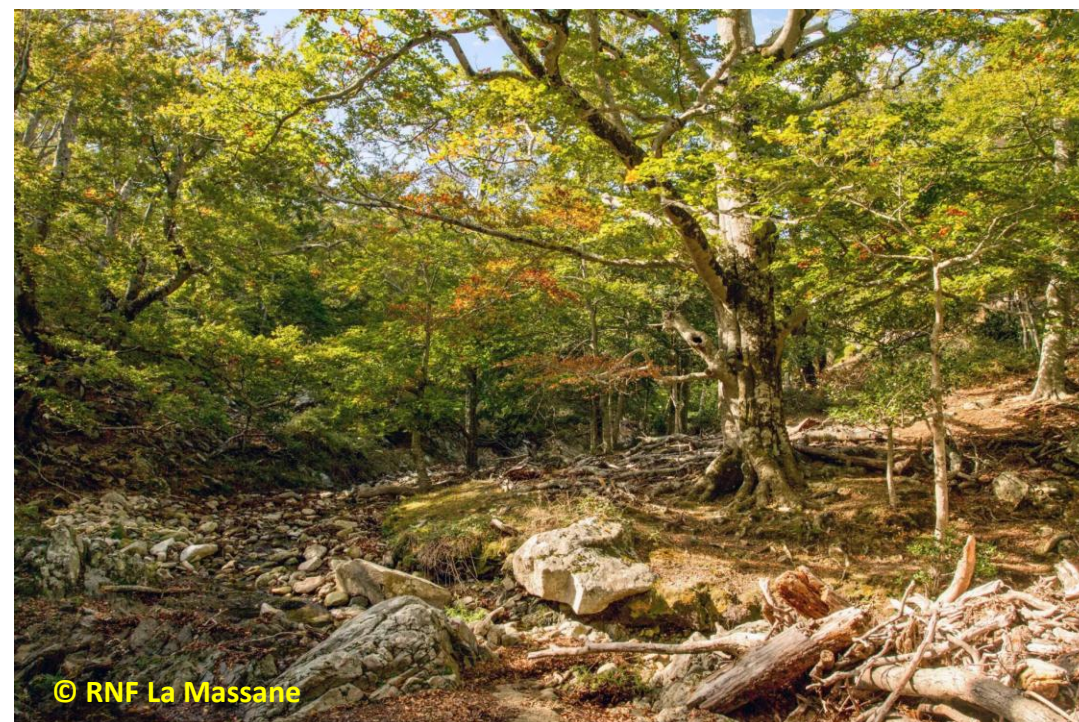
indice
composite



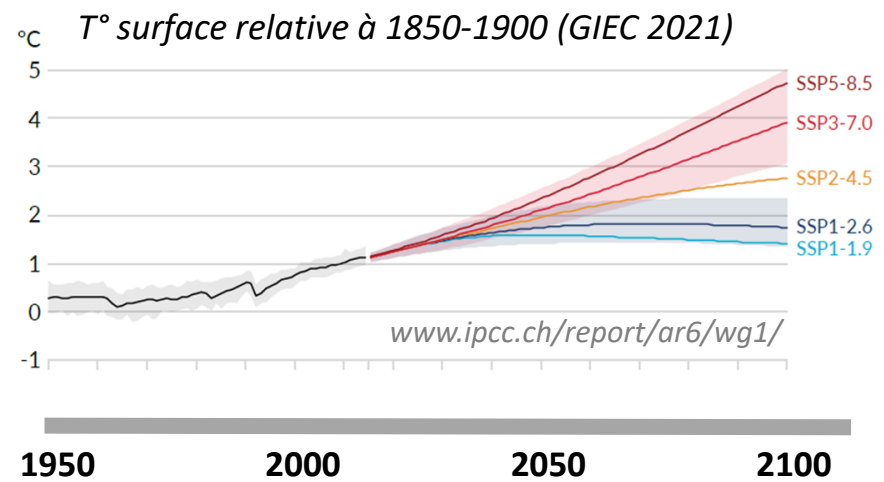
Petit-Cailleux et al (2021) Peer Community J.

Multirisques:

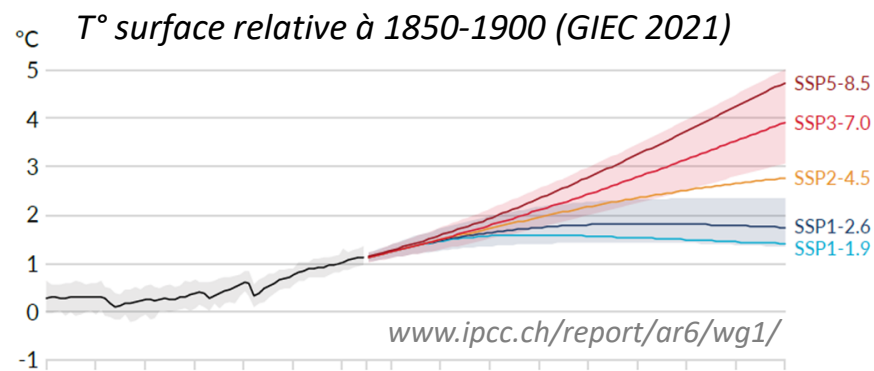
- les causes de mortalité varient d'une année à l'autre.
- chaque arbre est un survivant, parfois polyvalent



Le temps des scénarios climatiques



Le temps des scénarios climatiques



1950 2000 2050 2100 2150 2200 2250 2300



Le temps des forêts

Transitions:

- les besoins d'adaptation vont évoluer durant la vie de la forêt
- le renouvellement de la forêt requiert de nouveaux besoins
- chaque intervention a des impacts à court et à long terme

Incertitudes:

- les incertitudes sont fortes à l'échelle du temps forestier
- gérer pour des futurs incertains

- Enjeux du CC dans le temps des forêts: multirisques, transitions, incertitudes
- Les forêts peuvent-elles s'adapter rapidement par évolution génétique?
Jusqu'où?
- Deux facteurs clefs de l'adaptation génétique: variabilité et sélection
- Impacts des pratiques sylvicoles sur ces facteurs clefs
- Messages à retenir



En 150 ans, le Hêtre et le Sapin se sont ré-installés le long d'un gradient climatique 900 - 1400m au Mont Ventoux (+/- 3,5°C).

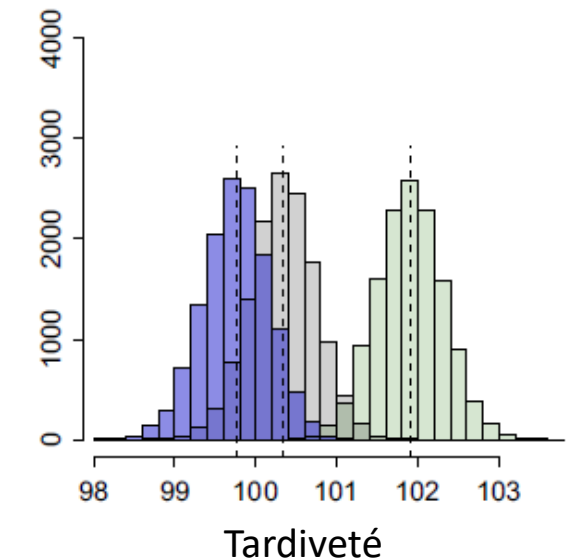
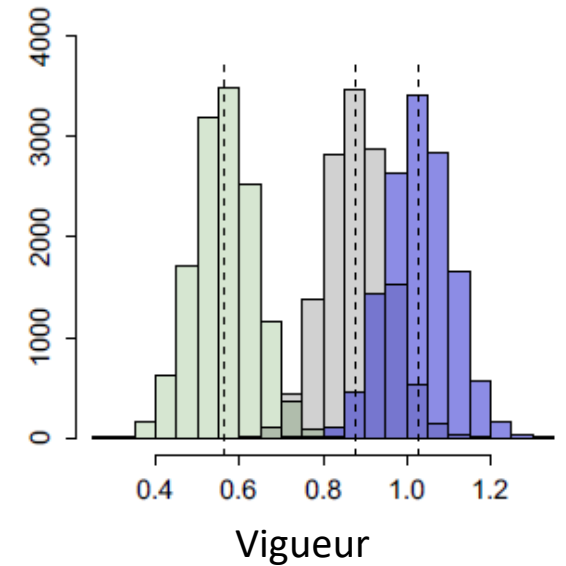
La **sélection naturelle** élimine les arbres maladaptés à chaque altitude.



En 150 ans, le Hêtre et le Sapin se sont ré-installés le long d'un gradient climatique 900 - 1400m au Mont Ventoux (+/- 3,5°C).

La **sélection naturelle** élimine les arbres maladaptés à chaque altitude.

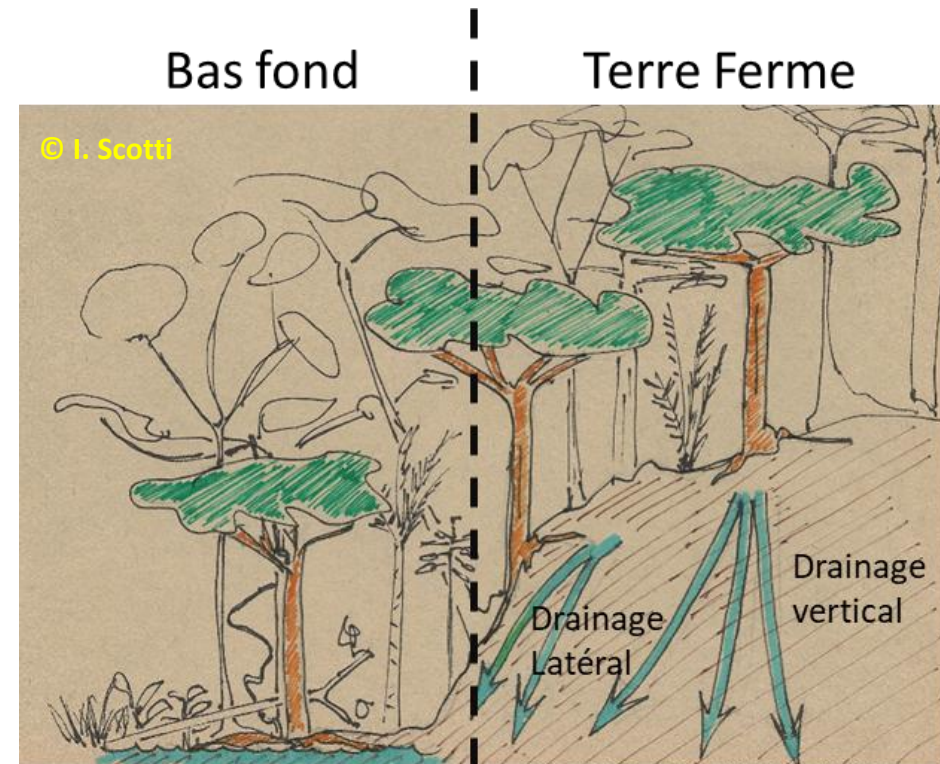
Les populations de différentes altitudes ont développé des spécificités génétiques malgré les flux de pollen et de graines.



Gauzere et al (2020) New Phytol.



En forêt Guyanaise, l'hétérogénéité de la ressource en eau dans le sol sur de très courtes distances est un facteur de sélection pour plusieurs espèces

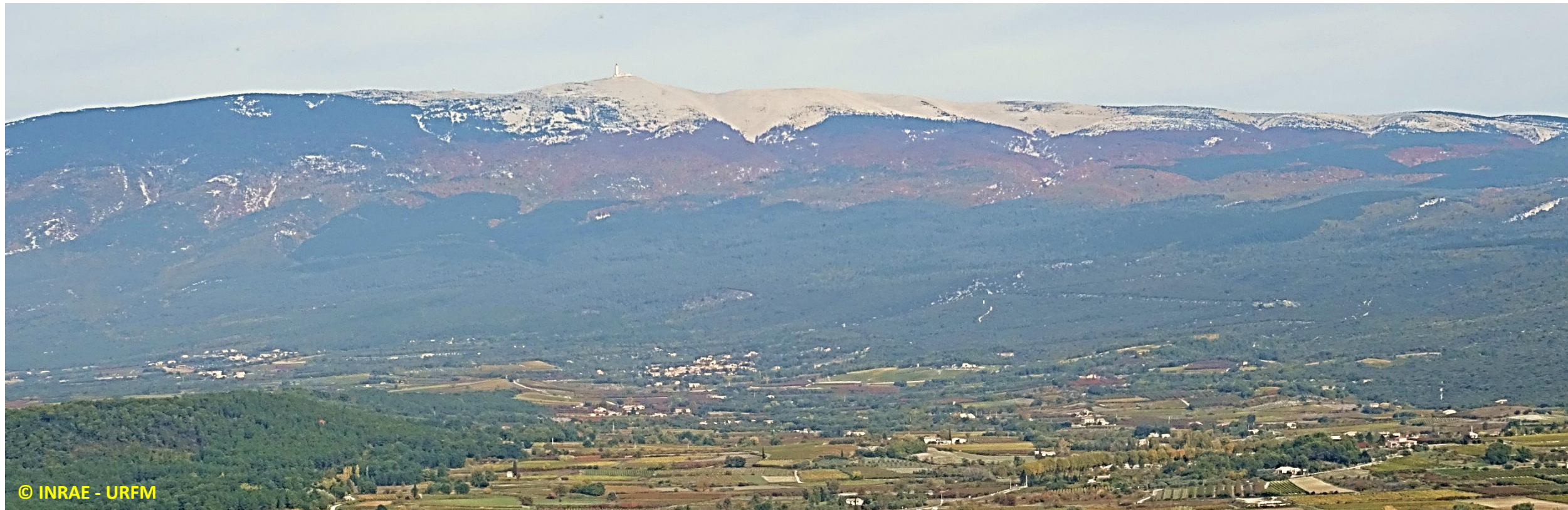
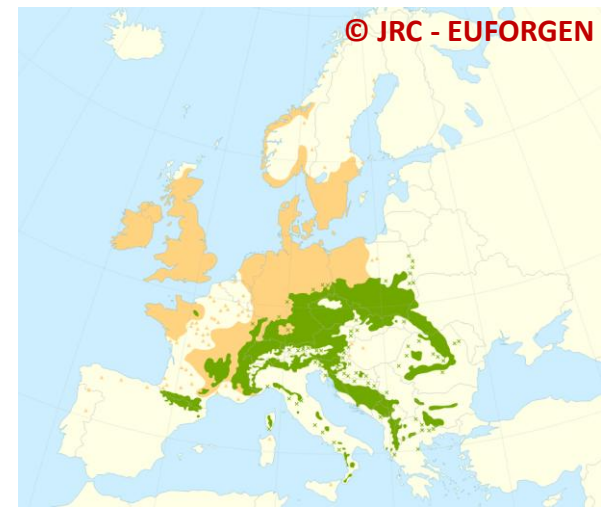


Anoxie

Sécheresse

Brousseau et al (2013) Ann. Bot.
Brousseau et al(2021) Mol. Ecol.

Le potentiel d'adaptation génétique est élevé chez les arbres, mais pas illimité



- Enjeux du CC dans le temps des forêts: multirisques, transitions, incertitudes
- Les forêts peuvent-elles s'adapter rapidement par évolution génétique? Jusqu'où?
- Deux facteurs clefs de l'adaptation génétique: variabilité et sélection
- Impacts des pratiques sylvicoles sur ces facteurs clefs
- Messages à retenir

La **variabilité génétique** est le carburant de la sélection naturelle.

Dans cette hêtraie de basse altitude au Mont Ventoux plusieurs formes d'adaptation coexistent :

- arbres précoces à croissance rapide moins impactés par la sécheresse estivale mais risquant le gel,
- arbres tardifs et plus tolérants à la sécheresse.

Bontemps et al (2017) Oikos



© INRAE - URFM

Sélection par compétition: dominants > dominés



© INRAE - URFM

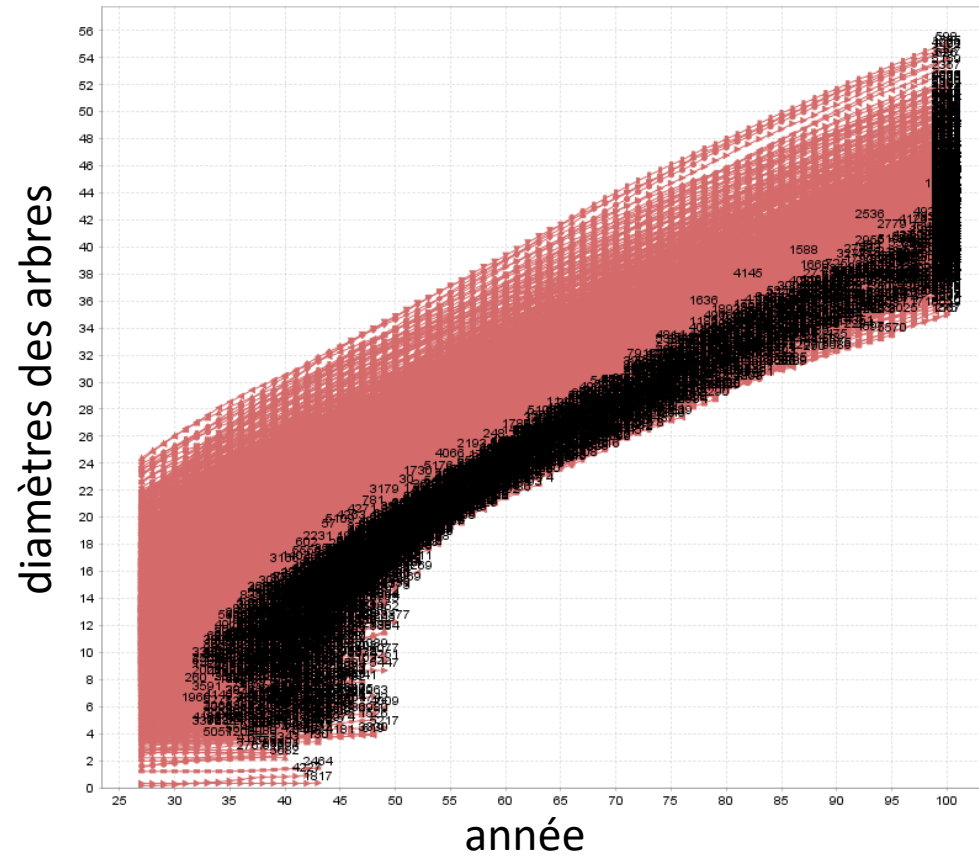
Sélection directe sur caractéristiques individuelles



© ONF

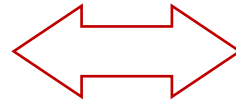
Sélection par compétition: dominants > dominés

- les arbres dominants survivent plus longtemps
- ils contribuent plus à la reproduction



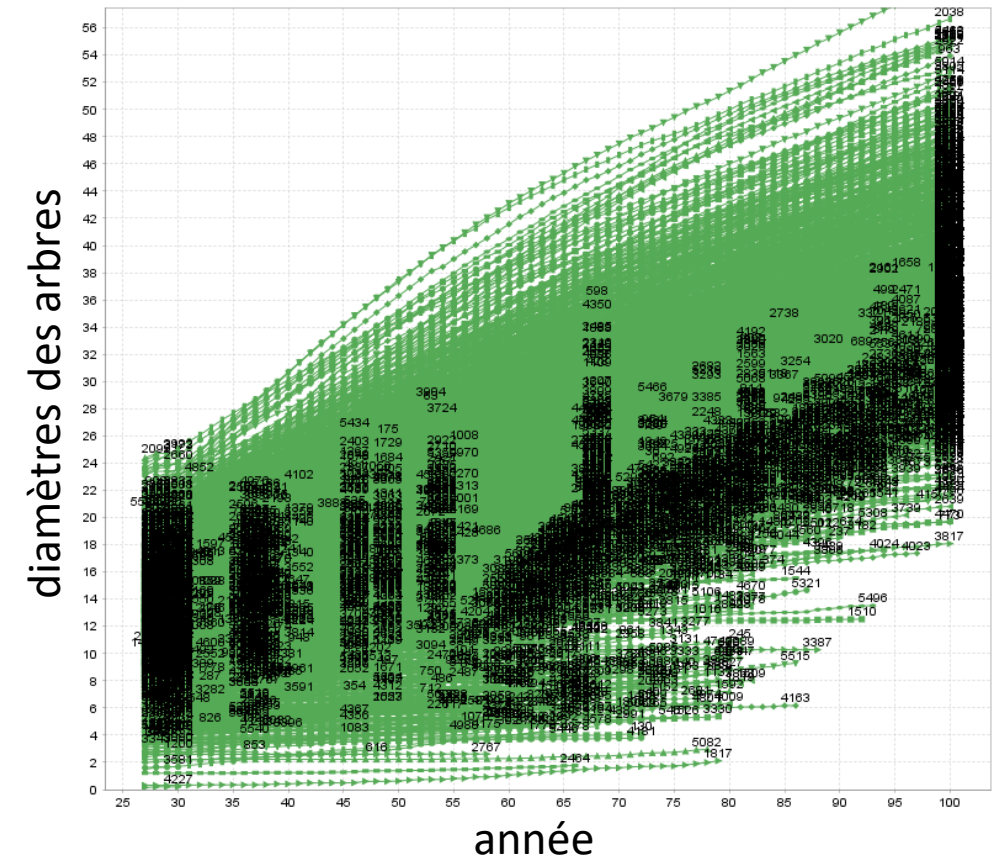
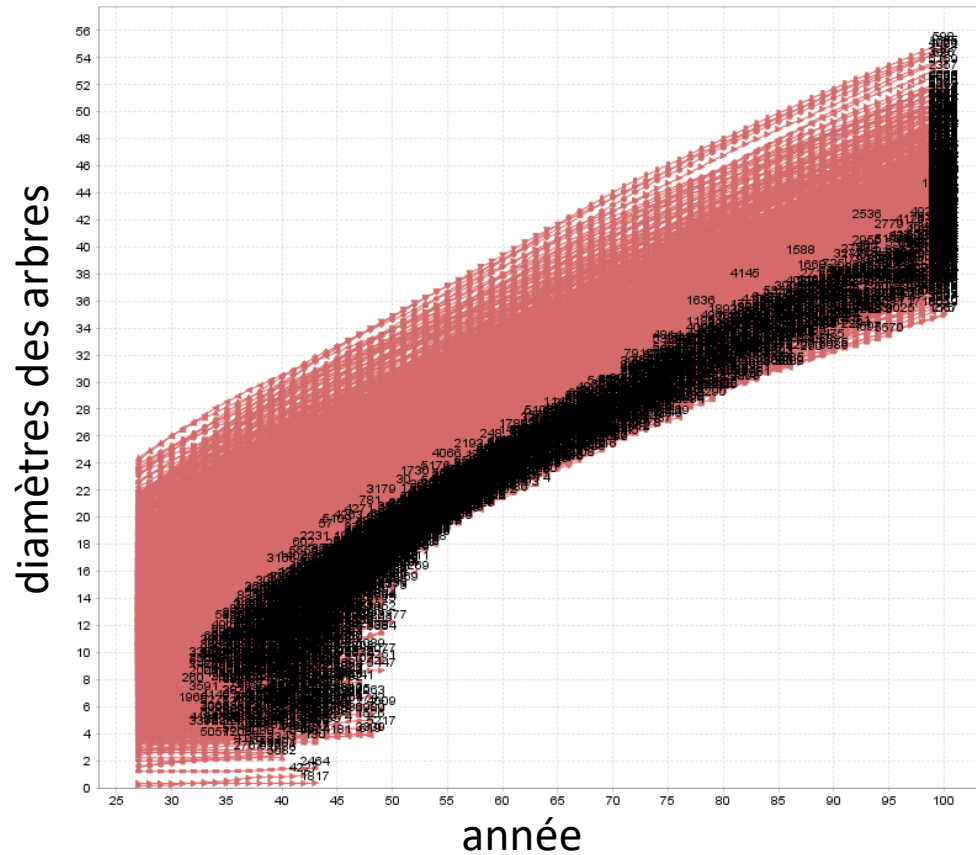
Sélection par compétition: dominants > dominés

- les arbres dominants survivent plus longtemps
- ils contribuent plus à la reproduction



Sélection directe sur caractéristiques individuelles

- sensibilité aux stress climatiques (sécheresse, gel,...)
- sensibilité aux maladies et ravageurs



Pourquoi la sélection naturelle n'épuise-t-elle pas rapidement la variabilité génétique ?

Plusieurs mécanismes explicatifs:

- mécanismes de l'hérédité
- plasticité individuelle
- multiplicité des formes d'adaptation
- instabilité de l'intensité de sélection
- sélections variables dans l'espace
- sélections variables dans le temps
- sélections variables suivant l'âge
- mécanismes de co-evolution
- mécanismes épigénétiques

Pujol et al (2018) Trends Ecol. Evol.
Cubry et al (2022) J. Evol. Biol.



© INRAE - URFM

- Enjeux du CC dans le temps des forêts: multirisques, transitions, incertitudes
- Les forêts peuvent-elles s'adapter rapidement par évolution génétique? Jusqu'où?
- Deux facteurs clefs de l'adaptation génétique: variabilité et sélection
- Impacts des pratiques sylvicoles sur ces facteurs clefs
- Messages à retenir



© INRAE - URÉM

Les pratiques de gestion forestière, à l'échelle de la parcelle ou du massif forestier peuvent avoir des effets combinés sur:

- la variabilité génétique,
- l'intensité de la compétition,
- certains stress,
- de nouveaux critères de sélection,
- les flux de graines et pollen.

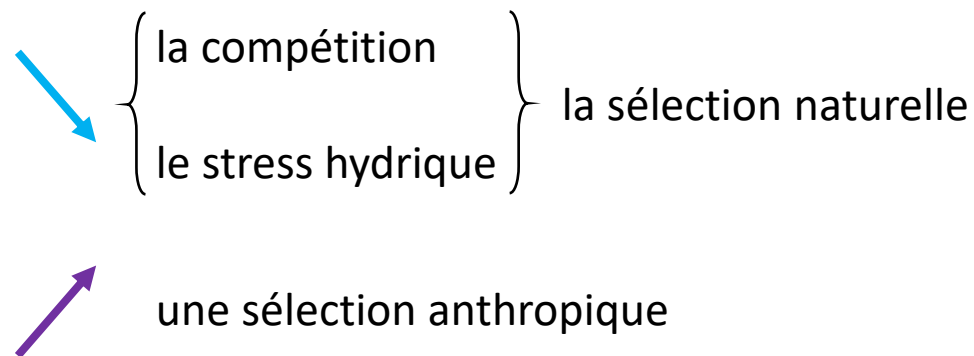
Chaque intervention a des conséquences à court et à long terme.

Lefèvre et al (2014) Ann. For. Sci.



© INRAE - URFM

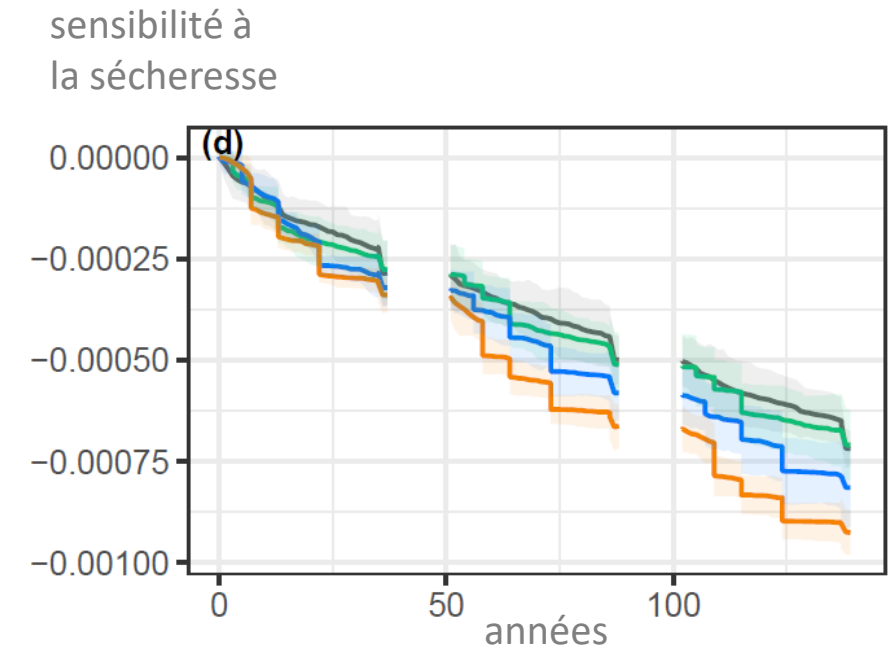
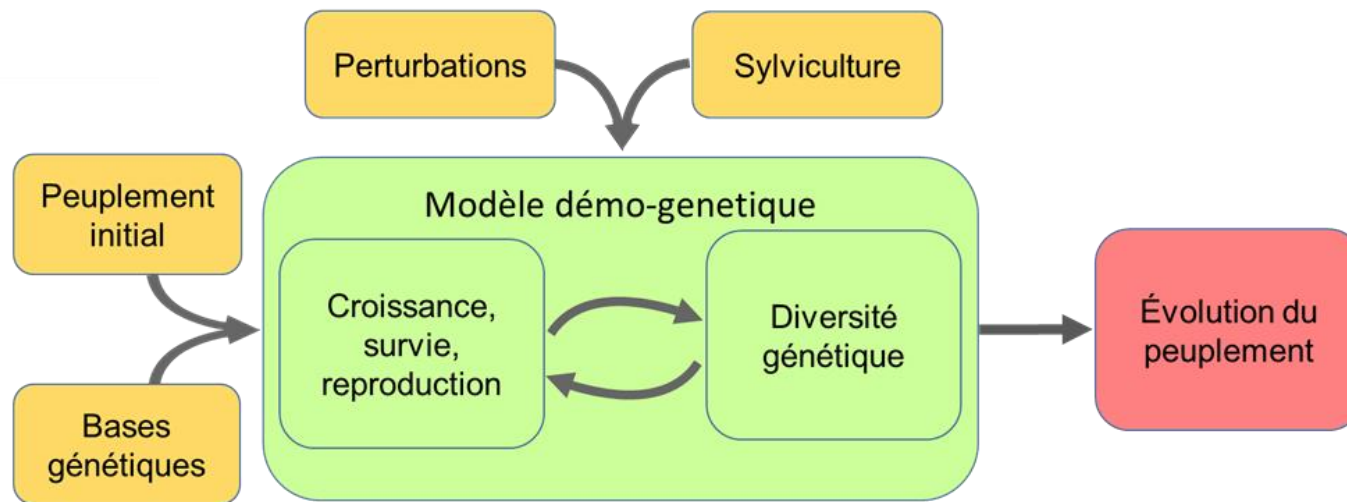
Les éclaircies peuvent accélérer ou, au contraire, freiner l'adaptation selon leur fréquence, leur intensité et les critères de choix des arbres retenus:



Godineau, Fririon et al (2023) *Evol. Appl.*
Fririon et al (2024) *Evol. Appl.*

Piloter les processus de sélection naturelle et anthropique par la sylviculture pour favoriser l'adaptation :

- modèles pour simuler des sylvicultures innovantes, évaluer leurs effets sur l'adaptation à court et à long terme
- recherche de compromis entre réduire le stress subi par la forêt et favoriser l'adaptation génétique par sélection
- laisser une part à la sélection naturelle, notamment pour des besoins d'adaptation imprévus.



Fririon et al (2024) *Evol. Appl.*

- Enjeux du CC dans le temps des forêts: multirisques, transitions, incertitudes
- Les forêts peuvent-elles s'adapter rapidement par évolution génétique? Jusqu'où?
- Deux facteurs clefs de l'adaptation génétique: variabilité et sélection
- Impacts des pratiques sylvicoles sur ces facteurs clefs
- Messages à retenir

1. Le potentiel d'adaptation des forêts est important, mais il a aussi ses limites, il ne peut justifier l'inaction climatique: adaptation des forêts ⇔ action sur le climat
2. L'adaptation génétique n'est pas un état mais un processus continu de sélection et reproduction
3. Le potentiel d'adaptation dépend de la variabilité génétique
4. La réalisation de l'adaptation dépend des pressions de sélection naturelles et anthropiques
5. L'adaptation ne réduit pas rapidement le potentiel d'adaptations futures
6. La gestion forestière peut être un levier d'action sur la variabilité génétique et les pressions de sélection
7. La sélection naturelle est une alliée pour des stratégies d'adaptation agiles
8. Il faut raisonner les stratégies d'adaptation en fonction du contexte local dans une démarche adaptative

Références

- Bontemps A., Davi H., Lefèvre F., Rozenberg P., Oddou-Muratorio S. (2017) How do functional traits syndromes covary with growth and reproductive performance in a water-stressed population of *Fagus sylvatica*? *Oikos*, 126:1472-1483. <https://doi.org/10.1111/oik.04156>
- Brousseau L., Bonal D., Cigna J., Scotti I. (2013). Highly local environmental variability promotes intrapopulation divergence of quantitative traits: An example from tropical rain forest trees. *Annals of Botany*, 112:1169–1179. <https://doi.org/10.1093/aob/mct176>
- Brousseau L., Fine P.V.A., Dreyer E., Vendramin G.G., Scotti I. (2021) Genomic and phenotypic divergence unveil microgeographic adaptation in the Amazonian hyperdominant tree *Eperua falcata* Aubl. (Fabaceae). *Molecular Ecology*, 30:1136-1154. <https://doi.org/10.1111/mec.15595>
- Cubry P., Oddou-Muratorio S., Scotti I., Lefèvre F. (2022) Interactions between micro-environment, selection and genetic architecture drive multiscale adaptation in a simulation experiment. *Journal of Evolutionary Biology*, 35:451-466. <https://doi.org/10.1111/jeb.13988>
- Fririon V., Davi H., Oddou-Muratorio S., Ligot G., Lefèvre F. (2024) Can thinning foster forest genetic adaptation to drought? A demo-genetic modelling approach with disturbance regimes. *Evolutionary Applications*, 17: e70051. <https://doi.org/10.1111/eva.70051>
- Gauzere J., Klein E.K., Brendel O., Davi H., Oddou-Muratorio S. (2020) Microgeographic adaptation and the effect of pollen flow on the adaptive potential of a temperate tree species. *New Phytologist*, 227: 641–653. <https://doi.org/10.1111/nph.16537>
- GIEC (2021) Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Changement climatique 2021. Les bases scientifiques physiques. Résumé à l'attention des décideurs. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Godineau C., Fririon V., Beudez N., de Coligny F., Courbet F., Ligot G., Oddou-Muratorio S., Sanchez L., Lefèvre F. (2023) A demo-genetic model shows how silviculture reduces natural density-dependent selection in tree populations. *Evolutionary Applications*, 16:1830–1844. <https://doi.org/10.1111/eva.13606>
- Lefèvre F., Boivin T., Bontemps A., Courbet F., Davi H., Durand-Gillmann M., Fady B., Gauzere J., Gidoïn C., Karam M.J., Lalagüe H., Oddou-Muratorio S., Pichot C. (2014) Considering evolutionary processes in adaptive forestry. *Annals of Forest Science*, 71:723-73. <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0272-1>
- Petit-Cailleux C., Davi H., Lefèvre F., Garrigue J., Magdalou J.A., Hurson C., Magnanou E., Oddou-Muratorio S. (2021) Comparing statistical and mechanistic models to identify the drivers of mortality within a rear-edge beech population. *Peer Community Journal*, 1:e55. <https://doi.org/10.24072/pcjournal.60>
- Pujol B., Blanchet S., Charmantier A., Danchin E., Facon B., Marrot P., Roux F., Scotti I., Teplitsky C., Thomson C.E., Winney I. (2018) The missing response to selection in the wild. *Trends in Ecology & Evolution*, 33(5), 337–346. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.02.007>