

Gestion adaptative des forêts par et pour les processus de l'évolution

François Lefèvre



francois.lefevre.2@inrae.fr

- 1) Préambule pour poser le sujet dans le contexte forestier
- 2) Trois retours d'expériences pour introduire l'approche par la résilience
- 3) La diversité génétique comme levier pour l'adaptation
- 4) Conclusion



Les forêts ne sont pas seulement des arbres, des arbres seuls ne font pas une forêt.

Néanmoins, la diversité génétique des arbres détermine le fonctionnement et la dynamique des forêts.

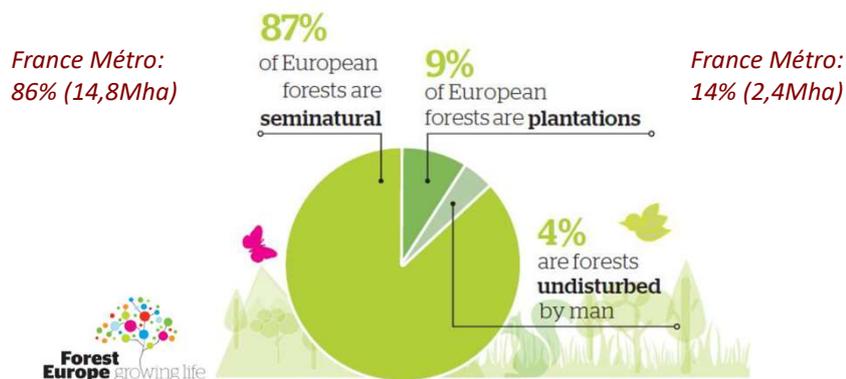
Les forêts (en Europe) ne sont pas seulement des écosystèmes, ce sont des systèmes socio-écologiques complexes.

Forêt -> Homme: multiples contributions au développement durable

Homme -> Forêt: gestion directe et/ou impacts indirects



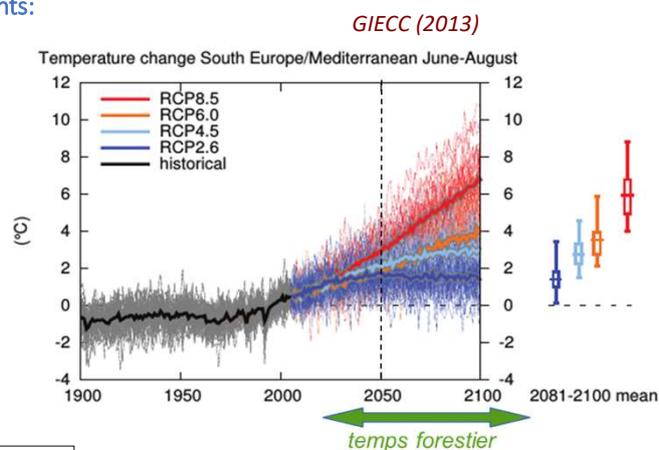
De quelles forêts parle-t-on, en Europe et en France ?



Sources: Forest Europe & IGN

Les temps forestiers, dans le contexte de changements:

- Contexte de changements
 - Changement climatique
 - Changements socio-économiques
- Contexte d'incertitudes multiples
 - Court-terme
 - Long terme



*Projection future des services rendus par les forêts en Catalogne:
=> plus de divergences entre scénarios de politiques forestières
qu'entre scénarios climatiques*

Morán-Ordóñez et al (2020)

- 1) Préambule pour poser le sujet dans le contexte forestier
- 2) **Trois retours d'expériences pour introduire l'approche par la résilience**
- 3) La diversité génétique comme levier pour l'adaptation
- 4) Conclusion

Grands froids de 1962-1963 et 1985 sur la pinède landaise

Les faits:

- 1946-1947: grands incendies
 - reboisements Pin maritime origines landaises et ibériques
- 1962-1963: grands froids (-17°C)
 - 1965: 100000ha détruits, origines ibériques
- 1985: grands froids (-22°C)
 - 1985: 30000-50000ha détruits, origines ibériques

Leçons à tirer:

- Il y a de la diversité génétique y compris pour la sensibilité aux événements extrêmes
- On ne connaît pas toujours d'avance la diversité dont on aura besoin dans le futur
- La catastrophe vient de l'homogénéité génétique à l'échelle du massif



Le Tacon et al (1994)

Dégâts de scolytes sur Epicéa dans le Nord Est, en cours

Les faits:

- Années 1950: boisements Fond Forestier National, parfois en situation limite
- 2000-2008: environ 6Mm³ de bois attaqués suite à la tempête de 1999
- 2019-2020: mortalité massive sur peuplements affaiblis par la sécheresse

Leçons à tirer:

- Une cascade de risques peut faire basculer vers l'effondrement
- La diversité génétique au sein des espèces ne suffit pas toujours
- La diversité des peuplements à l'échelle du massif limite la catastrophe



*B. Boutte, S. Gaudin,
communication
personnelle*



© S Gaudin, CNPF

Evolution continue des forêts du Mont Ventoux

Les faits:

- 1860-1914: Restauration des terrains en montagne, puis recolonisation naturelle
- 2020: un massif diversifié (33 types de forêts, 9 essences principales, 5 altitudes), impacts climatiques en cours

Leçons à tirer:

- La diversité génétique évolue et se structure dans l'espace en quelques générations, adaptations locales
- Interventions anthropiques et dynamiques naturelles se combinent



© RTM, 1902



© D. Huguenin, 2004

Ningre (2007)



© H. Davy, INRAE



© F Lefevre INRAE

Une approche par la résilience selon Holling (1973)

« Les points de vue de la résilience et de la stabilité des systèmes écologiques peuvent donner lieu à des approches très différentes de la gestion des ressources. Le point de vue de la **stabilité** met l'accent sur l'équilibre, le maintien d'un monde prévisible et l'exploitation de la production excédentaire de la nature avec le moins de fluctuations possible.

Une approche de gestion basée sur la **résilience** mettrait l'accent sur la nécessité de **garder des options ouvertes**, sur la nécessité de considérer les événements dans un **contexte régional** plutôt que local, et sur la nécessité de mettre **l'accent sur l'hétérogénéité**.

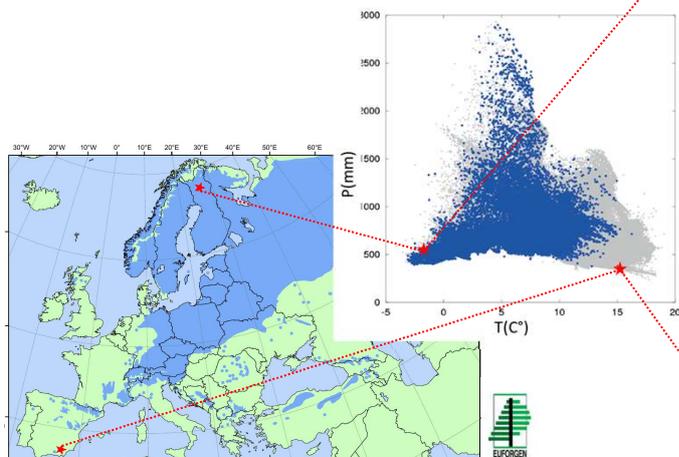
Il en découlerait **non pas la présomption d'une connaissance suffisante, mais la reconnaissance de notre ignorance ; non pas la présomption que les événements futurs sont attendus, mais qu'ils seront inattendus.** »

- 1) Préambule pour poser le sujet dans le contexte forestier
- 2) Trois retours d'expériences pour introduire l'approche par la résilience
- 3) La diversité génétique comme levier pour l'adaptation
- 4) Conclusion

Une grande diversité génétique au sein de chaque espèce

Exemple du Pin sylvestre: du boréal au Méditerranéen

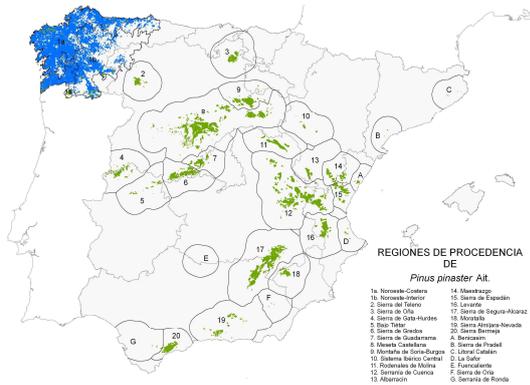
- diversité génétiques entre populations distantes déconnectées
- diversité génétique d'adaptation à des conditions variées



Les perspectives sont très variables d'une provenance à l'autre

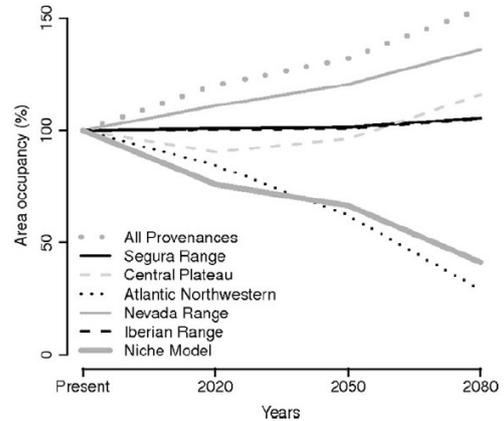
Exemple du Pin maritime en Espagne

Aire actuelle découpée en provenances



Source: MAPA (Espagne)

Aires futures prédites sous CC selon les origines



Benito-Garzón et al (2011)

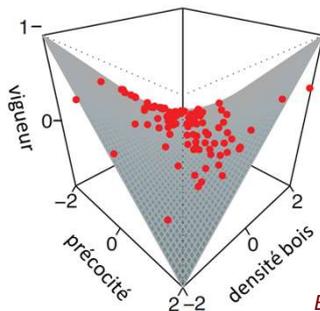


Diversité génétique au sein des espèces et résilience des systèmes agronomiques et forestiers, 4 Novembre 2020

13

Mais aussi une grande diversité génétique au sein de chaque forêt

- Il existe plusieurs mécanismes de maintien de la diversité
- Il existe plusieurs solutions biologiques pour chaque adaptation
- Cette diversité détermine le potentiel de réponse à court terme aux aléas et le potentiel d'adaptation à long terme



Bontemps et al (2017)



© F. Jean, INRAE



Diversité génétique au sein des espèces et résilience des systèmes agronomiques et forestiers, 4 Novembre 2020

14

Neale & Kremer (2011)

Gestion directe de la diversité génétique par des programmes de sélection

- Sélection récurrente à double enjeu: production de variétés sélectionnées et maintien d'une large diversité génétique
- Exemple du Pin radiata:
 - aire naturelle réduite, liste rouge IUCN
 - niche climatique d'utilisation étendue par la sélection

	Pmoy (mm)	Tmin (°C)	Tmax (°C)
Aire naturelle (Californie)	420 – 700	10 – 11	16 – 18
Aires d'utilisation			
Chili (Valdivia)	2350	8	17
N-Z (Southland)	960 – 1000	3 – 5	13 – 15
Chine (Sichuan)	490 – 590	-3,4 – -0,7	25 – 28

Yan et al (2006)

Diversité génétique au sein des espèces et résilience des systèmes agronomiques et forestiers, 4 Novembre 2020

15

Gestion indirecte de la diversité génétique par la sylviculture

- En modifiant le milieu et/ou la démographie des peuplements, chaque intervention a de multiples impacts sur les processus d'évolution de la diversité génétique
- Les impacts des différentes interventions se combinent et se cumulent dans le temps

interventions sylvicoles

- traitement mécanique ou chimique
- éclaircie systématique
- élagage
- éclaircie sélective

changements induits

- environnement (biotique/abiotique)
- densité locale
- structure spatiale
- allocation à la reproduction
- sélection phénotypique

impacts sur les paramètres de dérive et de sélection

- $\sigma_p^2, \sigma_A^2, \beta$
- $Ne (\sigma_A^2, F)$
- i

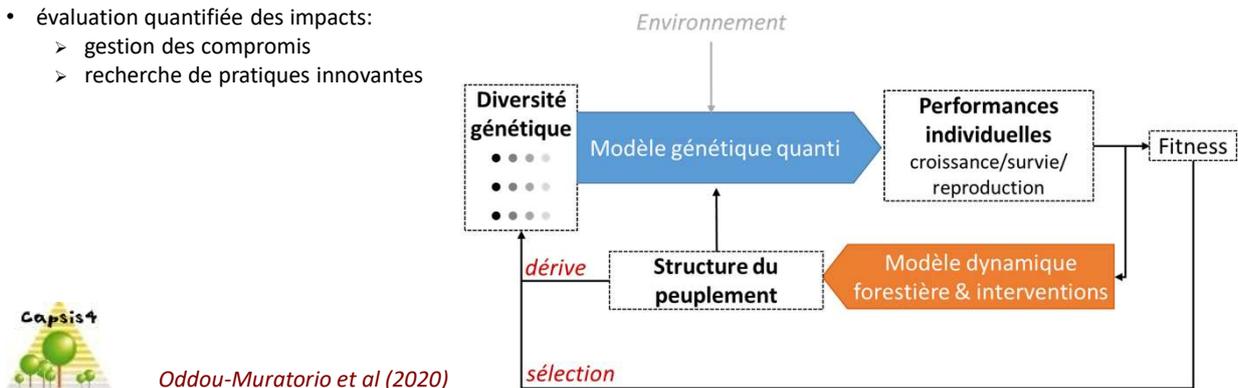
Lefèvre et al (2014)

Diversité génétique au sein des espèces et résilience des systèmes agronomiques et forestiers, 4 Novembre 2020

16

Une approche par simulation pour raisonner des stratégies de gestion

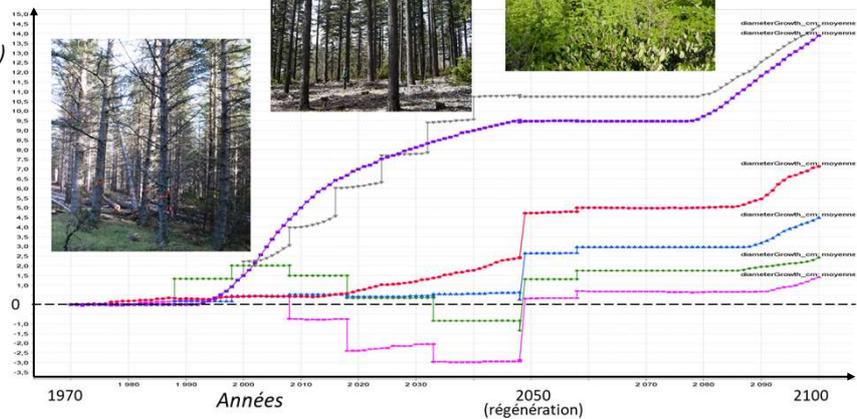
- couplage de modèles:
 - dynamique forestière
 - génétique
 - physiologie
- évaluation quantifiée des impacts:
 - gestion des compromis
 - recherche de pratiques innovantes



Premières leçons des simulations sur les impacts génétiques des itinéraires sylvicoles

- impacts très différents selon les itinéraires sylvicoles
- toutes les étapes contribuent à l'impact génétique final
- les événements accidentels modifient les impacts

Valeur génétique
moyenne (vigueur)



Lefèvre et al (2019)

- 1) Préambule pour poser le sujet dans le contexte forestier
- 2) Trois retours d'expériences pour introduire l'approche par la résilience
- 3) La diversité génétique comme levier pour l'adaptation
- 4) Conclusion

- 1) Le contexte de changement nécessite une approche par la résilience et des stratégies adaptatives:
 - L'environnement et les objectifs assignés aux forêts changent en permanence
 - Les changements sont chaotiques, il faut gérer les incertitudes
- 2) La diversité génétique est une ressource, ce doit être aussi un objectif (« par et pour »):
 - Enjeu de court terme (< 50 ans): favoriser et accélérer l'adaptation à des besoins identifiés
 - Enjeu de long terme (> 50 ans): maintenir la diversité comme réservoir d'options pour des futurs incertains
 - Les deux enjeux doivent être combinés, des compromis trouvés
- 3) La diversité génétique est une dynamique, soumise aux impacts directs et indirects des pratiques humaines:
 - Quantifier les impacts directs et indirects, sur le court terme et le long terme
 - Développer des méthodes d'évaluation et gestion des risques sur la diversité génétique
- 4) Passer d'une logique de gestion à une logique de pilotage(*) de la diversité génétique, couplage assumé des processus naturels et des interventions, à différentes échelles:
 - Échelle spatiale du massif forestier pour rechercher les compromis sur la diversité génétique
 - Échelle temporelle du siècle et au-delà pour gérer les incertitudes

(*) Mathevet et al (2018)

Références

- Benito-Garzón et al (2011) Intra-specific variability and plasticity influence potential tree species distributions under climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 20:766-778.
- Bontemps et al (2017) How do functional traits syndromes covary with growth and reproductive performance in a water-stressed population of *Fagus sylvatica*? *Oikos*, 126:1472-1483.
- Holling (1973) Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 4:1-23.
- Le Tacon et al (1994) Le dépérissement du pin maritime dans les Landes de Gascogne à la suite des introductions de graines d'origine ibérique des grands froids des années 1962-1963 et 1985. *Revue Forestière Française*, XLVI:474-484.
- Lefèvre et al (2014) Considering evolutionary processes in adaptive forestry. *Annals of Forest Science*, 71:723-739.
- Lefèvre et al (2019) Comprendre comment la sylviculture modifie la qualité génétique et les capacités d'adaptation des peuplements. *Forêt-Entreprise*, 249:49-51.
- Mathevet et al (2018) The concept of stewardship in sustainability science and conservation biology. *Biological Conservation*, 217:363-370.
- Morán-Ordóñez et al (2020) Future trade-offs and synergies among ecosystem services in Mediterranean forests under global change scenarios. *Ecosystem Services*, <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101174>
- Neal & Kremer (2011) Forest tree genomics: growing resources and applications. *Nature Review Genetics*, 12:111-122.
- Ningre (2007) Le reboisement du Ventoux au XIXe siècle : techniques et travaux. *Forêt Méditerranéenne XXVIII(4):319-326*.
- Oddou-Muratorio et al (2020) Integrating evolutionary, demographic and ecophysiological processes to predict the adaptive dynamics of forest tree populations under global change. *Tree Genetics & Genomes* <https://doi.org/10.1007/s11295-020-01451-1>
- Yan et al (2006) Assessing climatic suitability of *Pinus radiata* (D. Don) for summer rainfall environment of southwest China. *Forest Ecology and Management*, 234:199-208.

Sites web

- Forest Europe, rapport 2015 sur l'état des forêts de l'Europe continentale (46 pays) <https://foresteurope.org/state-europes-forests-2015-report/>
- Statistiques forestières nationales mises à jour, dont statistiques IGN 2020 pour la France <http://fra-data.fao.org/FRA/>
- Rapport du GIECC 2013 <https://www.ipcc.ch/language-2/francais/>
- Atlas européen des espèces forestières <https://forest.jrc.ec.europa.eu/en/european-atlas/>