



**HAL**  
open science

## Illustration de la conception dynamiques de l'adaptation : le cèdre de l'Atlas

Francois Lefèvre

► **To cite this version:**

Francois Lefèvre. Illustration de la conception dynamiques de l'adaptation : le cèdre de l'Atlas. Rendez-vous Techniques de l'ONF, 2020, 63-64, pp.51-53. hal-03728224

**HAL Id: hal-03728224**

**<https://hal.inrae.fr/hal-03728224v1>**

Submitted on 31 Jan 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## 10. ILLUSTRATION DE LA CONCEPTION DYNAMIQUE DE L'ADAPTATION : LE CÈDRE DE L'ATLAS

François Lefèvre

INRAE, UR0629 Ecologie des Forêts Méditerranéennes (URFM)

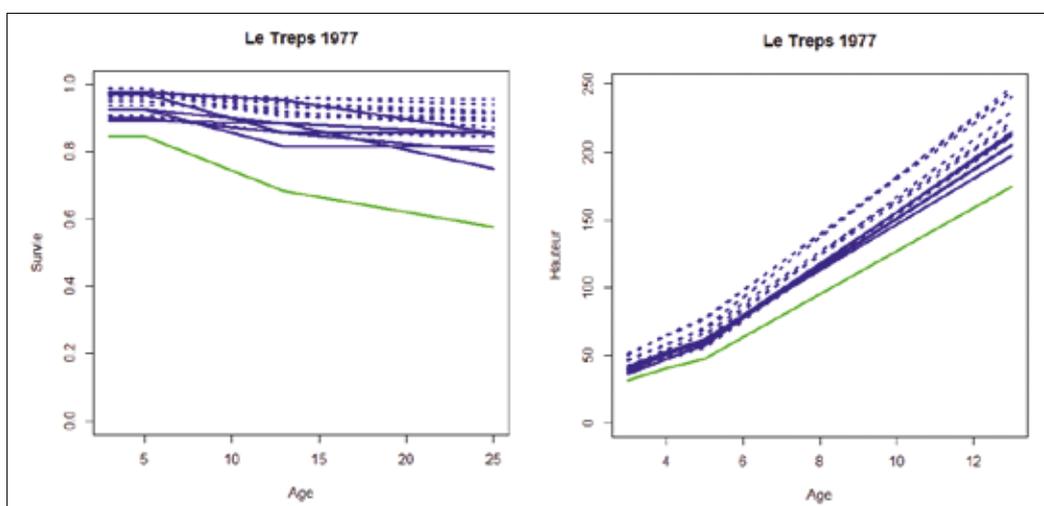
Le cèdre de l'Atlas a été introduit en France en trois vagues principales (Cointat, 1996) : vers 1860 avec le programme **RTM\***, dans les années 1930, puis dans les années 1960-80 avec des financements **FFN\***, **FEOGA\*** et **PIM\***. Depuis, les cédraines installées ont évolué par régénération naturelle sous une sylviculture plus ou moins intensive selon les sites. Certains arbres fondateurs, survivants au stress des installations initiales, ont été laissés en place lors des interventions sylvicoles réalisées une fois le peuplement bien établi. Ils sont peu nombreux sur le Ventoux, quelques dizaines tout au plus, la sylviculture ayant éliminé la plupart de ces vieux arbres branchus, du fait de la très faible densité de fondateurs survivants, au profit des jeunes cohortes mieux conformées du fait de leur croissance à forte densité. Ces arbres fondateurs sont donc issus de graines produites dans les peuplements d'Algérie et ils sont à l'origine des trois ou quatre générations d'arbres reproducteurs qui constituent les peuplements actuels. Les graines produites actuellement dans les peuplements français sont issues de l'intercroisement de ces différentes générations d'arbres reproducteurs.

### Une forte diversité génétique dans les peuplements introduits

Mesurée globalement sur la base de marqueurs génétiques, la diversité génétique est un peu plus faible chez *C. atlantica* que chez les autres *Cedrus* (Bou Dagher-Kharrat *et al.*, 2007). En revanche, malgré leur origine introduite récente, la plupart des peuplements français montrent une diversité génétique équivalente, voire supérieure, à celle des peuplements de l'aire d'origine. Cela s'explique en partie par le fait que plusieurs provenances génétiquement différenciées ont été introduites en mélange comme l'indiquent les études de diversité génétique (Lefèvre *et al.*, 2004 ; Karam 2014).

Dans les années 1970 puis dans les années 1990, l'INRA a installé des plantations comparatives de provenances de diverses espèces de cèdres. Ces expérimentations étaient destinées à tester la survie et la croissance de différents matériels génétiques dans des conditions sévères, elles sont le plus souvent hors zone de recommandation pour ces espèces. Dans ces plantations comparatives, les provenances françaises de *C. atlantica* (c'est-à-dire les plants issus de graines récoltées dans ces peuplements) montrent une meilleure survie et une meilleure croissance que les provenances de l'aire d'origine (Fig. 10.1).

Cette meilleure qualité génétique peut avoir trois raisons, non exclusives et potentiellement cumulées. La première raison est la sélection. En effet pour les cédraines issues du programme RTM qui étaient installées dans des conditions drastiques, une très forte mortalité initiale peut avoir provoqué une forte pression de sélection et seuls les individus les mieux adaptés ont survécu et contribué à l'expansion secondaire de l'espèce. La deuxième raison est la faible consanguinité des graines produites en peuplement issu de plantation. Contrairement à ce qui se passe en peuplement naturel où, du fait de la dispersion limitée des graines, les arbres voisins tendent à être apparentés et en se croisant produisent des graines avec un degré plus ou moins fort de consanguinité, la plantation initiale à partir de lots de graines mélangés revient à réduire voire supprimer tout apparentement entre arbres voisins. Il y a donc moins de consanguinité dans les graines produites ce qui limite l'expression de la dépression de consanguinité que l'on sait exister chez cette espèce (Ferriol *et al.*, 2011). La troisième raison envisageable serait un effet de vigueur hybride lié au croisement entre provenances différentes (encore non démontré à ce jour). Il est important de souligner que les deux dernières raisons ne sont pas durables à long terme : d'une part les apparentements de voisinage se créent progressivement au fil des régénérations successives, d'autre part la vigueur hybride est maximale dans les croisements de première génération et diminue par la suite.



**Figure 10.1.** Évolution de la survie et de la croissance dans un dispositif de comparaison de provenances installé dans le massif des Maures, en conditions drastiques « hors station ».

Les provenances de *C. atlantica* sont figurées en bleu, une provenance *C. libani* est figurée en vert (le substrat acide ne convient pas à cette espèce). Les provenances françaises, figurées en pointillé, ont une meilleure survie et une meilleure croissance : cela est observé dans la grande majorité de nos dispositifs.



Récolte de cônes de cèdre de l'Atlas, provenance française.

### Une acclimatation et une sélection précoce de génotypes adaptés au stress

Même si cela dépasse le cadre strict de l'espèce *C. atlantica*, l'étude de l'impact de l'événement climatique 2003 dans un test multi-sites de provenances de différentes espèces de cèdres est intéressant (Bariteau *et al.*, 2007). Le même matériel génétique (40 provenances) fut installé en test en 1993 sur trois sites très contrastés. Sur le site le plus xérique, une mortalité importante a débuté dès la plantation pour se stabiliser avant 2003 vers 35% : sur ce site la mortalité n'a pas évolué après 2003. Sur les deux autres sites où la mortalité initiale était faible à nulle, l'effet climatique 2003 y a été majeur et la mortalité a rattrapé d'un coup celle du site précédent. De façon tout à fait remarquable, après 2004, tous les sites ont non seulement le même taux de mortalité globale mais, de plus, le même classement et les mêmes taux de réussite pour chaque provenance. Cela démontre deux choses. D'une part que les plants ayant été exposés à des conditions initiales difficiles sont mieux préparés à un événement exceptionnel. D'autre part, qu'une sélection précoce au stade jeune dans des conditions de stress peut s'avérer efficace pour sélectionner des génotypes résistants à des aléas climatiques ultérieurs.

Aujourd'hui, bien évidemment, la diversité génétique du cèdre de l'Atlas en France ne cesse d'être en constante évolution, dans un contexte global d'expansion : soit d'expansion naturelle par colonisation des taillis, soit d'expansion par plantation. Les chapitres précédents ont décrit non seulement chacun des processus évolutifs mais aussi leurs interactions, notamment les interactions entre flux de gènes et adaptation locale et les interactions entre prédation des graines et diversité génétique. Le cèdre, au cœur de toutes ces interactions, illustre bien la nécessité d'avoir une conception dynamique de l'adaptation (Lefèvre 2017).

## Messages pour les gestionnaires

- Ces résultats qui apportent des éléments d'explication à la supériorité constatée des provenances françaises sont pris en compte dans les recommandations d'utilisation des ressources génétiques forestières. Mais ils montrent aussi que cette supériorité n'est peut-être pas durable (à l'échelle d'une ou plusieurs rotations). Dans une perspective d'approvisionnement de graines sur le long terme, l'INRA et l'ONF se sont engagés dans un processus de création d'un verger à graines de *C. atlantica* combinant de façon originale deux objectifs : fournir des graines issues de parents sélectionnés pour leur robustesse face aux conditions xériques tout en maximisant leur diversité génétique pour des besoins futurs incertains. L'idée de base est que les arbres fondateurs survivants des introductions originelles ont passé ces phases de sélection et recèlent le maximum de la diversité que l'on peut trouver en France. Ce projet prospecte donc les arbres fondateurs survivants dans cinq cédraies françaises pour choisir les constituants du futur verger à graines.
- L'adaptation d'une ressource génétique doit être jugée dans une perspective dynamique. Ainsi, l'observation de la réponse à un événement climatique exceptionnel ou à une perturbation particulière doit toujours être interprétée au regard de la trajectoire du peuplement : les mécanismes d'acclimatation ainsi que la sylviculture antérieure jouent un rôle important sur la réponse observée. Ainsi, dans l'exemple précédent du test de provenances, la réponse à l'événement climatique de 2003 dépend à la fois du matériel génétique utilisé et d'une acclimatation à des phases de stress antérieures. De même, l'acclimatation et la sylviculture sont des leviers sur lesquels on peut agir pour renforcer l'adaptation.
- Le contexte de changement climatique est un contexte dynamique en transition continue, c'est aussi un contexte d'incertitudes multiples. Il faut donc raisonner l'adaptation comme un processus dans le temps (les nouvelles ressources génétiques pour demain doivent déjà pouvoir s'installer dans les conditions actuelles). De plus, il faut avoir l'humilité de reconnaître notre ignorance partielle des scénarios futurs, et donc l'objectif de préservation du potentiel adaptatif pour répondre à des futurs inattendus doit toujours accompagner l'objectif d'adaptation à des tendances quasi-certaines. Ainsi dans le cadre d'un projet du Réseau Mixte et Technologique AFORCE, l'INRA, l'ONF et d'autres partenaires développent des outils de simulation, sur la plate-forme de modélisation CAPSIS, permettant d'évaluer les impacts génétiques à court terme (adaptation) et à long terme (potentiel adaptatif) de différentes options sylvicoles (Lefèvre *et al.*, 2019; Fig.10.2).

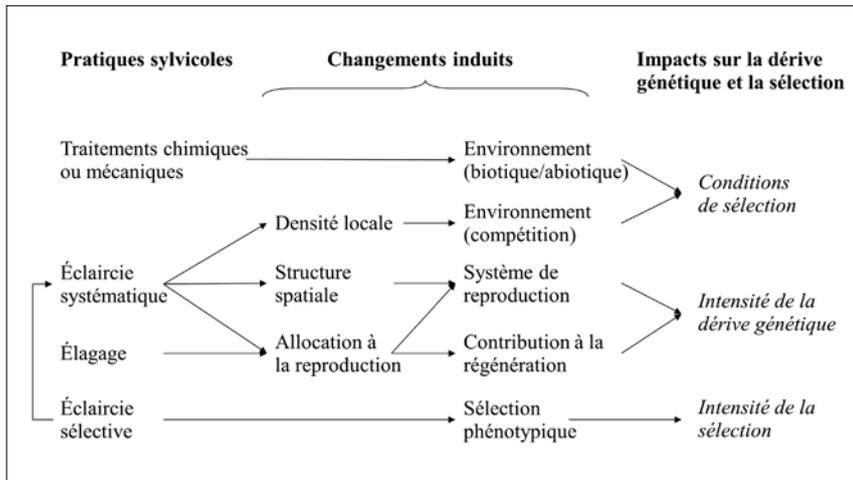
### \*Définitions

**RTM** = Restauration des Terrains en Montagne

**FFN** = Fonds Forestier National

**FEOGA** = Fonds Européen d'Orientation et de Garantie Agricole

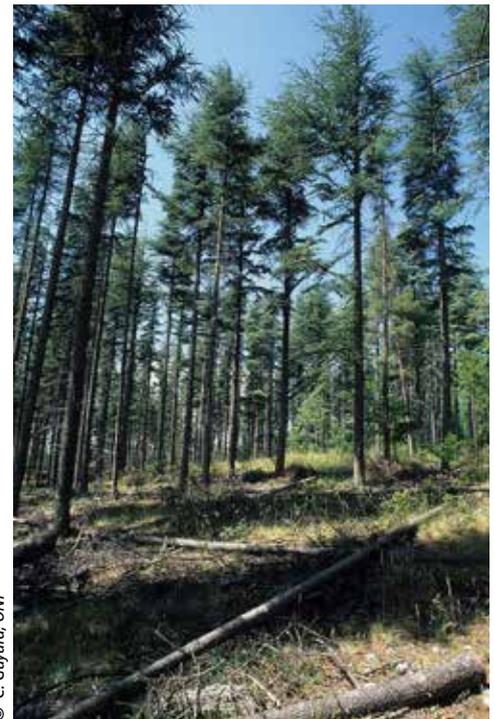
**PIM** = Programmes Intégrés Méditerranéens



**Figure 10.2.** - illustration des mécanismes d'impacts des pratiques sylvicoles sur les deux processus clés de la dynamique évolutive des peuplements que sont la dérive génétique et la sélection.

Ces mécanismes sont connus qualitativement, leur analyse quantitative passe par des approches de simulations. Schéma traduit de Lefèvre et al. (2014).

NB : dérive génétique = évolution aléatoire au fil des générations lorsque le nombre de reproducteurs efficaces est réduit ou lorsque la contribution à la régénération est très inégale.



© C. Gayard, ONF

## Pour en savoir plus...

Bariteau M, Vauthier D, Pommery J, Rei F, Royer J, 2007. Les meilleures provenances de cèdres pour le reboisement en France méditerranéenne. Forêt Entreprise 174: 21-26

Bou Dagher-Kharrat M, Mariette S, Lefèvre F, Fady B, Grenier G, Plomion C, Savouré A, 2007. Geographical diversity and genetic relationships among Cedrus species estimated by AFLP. Tree Genetics and Genomes 3: 275-285

Cointat M, 1996. Le roman du cèdre. Revue Forestière Française 48: 503-526

Ferriol M, Pichot C, Lefèvre F, 2011. Variation of selfing rate and inbreeding depression among individuals and across generations within an admixed Cedrus population. Heredity 106: 146-157

Karam MJ, 2014. Approche moléculaire des mécanismes de microévolution chez une espèce d'arbre introduite, Cedrus atlantica Manetti. Thèse, Université Montpellier 2

Lefèvre F, Fady B, Fallour-Rubio D, Ghosn D, Bariteau M, 2004. Impact of founder population, drift and selection on the genetic diversity of a recently translocated tree population. Heredity 93: 542-550

Lefèvre F, Boivin T, Bontemps A, Courbet F, Davi H, Durand-Gillmann M, Fady B, Gauzere J, Gidoïn C, Karam MJ, Lalagüe H, Oddou-Muratorio S, Pichot C, 2014. Considering evolutionary processes in adaptive forestry. Annals of Forest Science 71: 723-739

Lefèvre F, 2017. Apports des sciences de la vie pour comprendre et raisonner les agrosystèmes : exemple de la génétique pour les forêts. Notes Académiques de l'Académie d'Agriculture de France, 7: 1-19

Lefèvre F, Godineau C, Beudez N, de Coligny F, Courbet F, Oddou-Muratorio S, Sanchez L, Deleuze C, Pichot C, Chartier M, Musch B, François D, Girard S, Guyot J, Le-Legard Moreau L, Riou-Nivert P, Rousselle Y, Salvaudon A, Sédilot-Gasmi C, 2019. Comprendre comment la sylviculture modifie la qualité génétique et les capacités d'adaptation des peuplements. Forêt-entreprise, 249: 49-51