SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

« Intensification de l'utilisation du cèdre de l'Atlas (C*edrus atlantic*) du mélèze hybride (*Larix x Eurolepsis*) et mélèze d'Europe (Larix decidua) dans les reboisements en France : une cohérence avec le changement climatique ? »

DEVILDER Samuel – Bordeaux Sciences Agro – Promotion 2018-2021

Sommaire

Introduction 1

I. Description générale des essences étudiées 2

A. Le cèdre de l'Atlas, une essence qui se démocratise 2

B. Le mélèze d'Europe et Hybride : deux essences déjà bien utilisées aujourd'hui 3

II. Une adaptation facilitée par des particularités 4

A. Du fait des caractéristiques morphologiques 4

B. Le rôle très important de la sylviculture associée 7

C. Des usages diversifiées et bien adaptés 8

III. Des limites à prendre en compte 9

A. Les facteurs limitants 9

B. Des ravageurs bien présents 9

Conclusion 11

Bibliographie 1

Introduction

Depuis quelques années, nous assistons à un rapide changement de notre climat lié principalement à l'activité humaine (Pörtner, 2019). Une prise de conscience des gestionnaires forestiers s'est opérée depuis une vingtaine d'années et plus récemment à travers les nombreux dépérissements (Becker, 1988). Des simulations ont été réalisées pour émettre des hypothèses sur ce changement climatique comme le montre la figure ci-dessous.

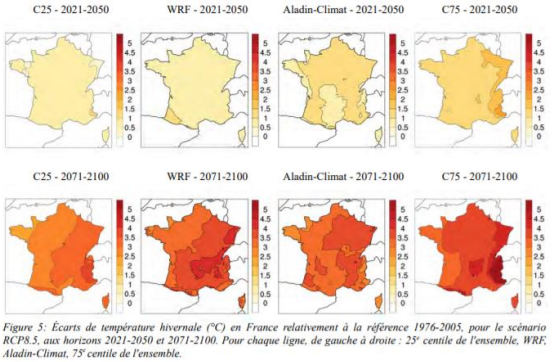


Figure 5: Écarts de température hivernale (°C) en France relativement à la référence 1976-2005, pour le scénario RCP8.5, aux horizons 2021-2050 et 2071-2100. Pour chaque ligne, de gauche à droite : 25e centile de l'ensemble, WRF, Aladin-Climat, 75e centile de l'ensemble.

Figure 1: Différence de scénario sur l'évolution du climat. Source : OUZEAU et al, 2014.

En France, plus particulièrement, nous assistons à des peuplements entiers de Sapin de Grandis, *Abies grandis,* qui sèchent résultant de l'accumulation des sécheresses des dernières années (Mathieu, 2009). Ce ne sont malheureusement pas les seuls avec les épicéas, *Picea,* qui eux aussi souffrent de cette crise (Landmann, 1987). Le Département Santé des Forêt s'inquiète également récemment face à des mélèzes, *larix*, des douglas secs au milieu de peuplement adultes sans raison apparente de cet affaiblissement. Une seule cause de l'ensemble de ces dégâts est le déficit hydrique estival qui s'accumule d'année en année. Le nombre de dépérissements ne cesse d'augmenter en année comme le montre la figure ci-dessous (*Vennetier, 2012*).

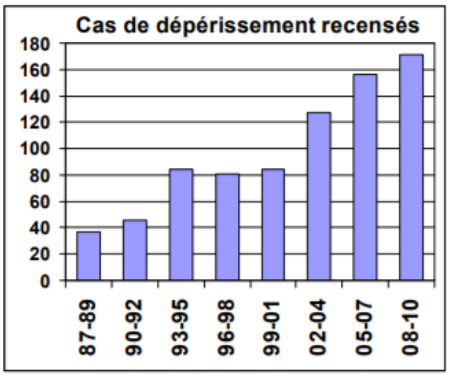


Figure 2: Nombre de cas de dépérissements forestiers importants mentionnées dans la littérature scientifique au cours de la période 1987-2010 (adapté de Allen et al. 2010)

De plus, des incendies viennent se greffer à ce changement climatique, augmentant le risque du nombre de dégâts. Les risques d'incendie encore peu présent dans certaines régions commencent à remonter vers le nord de la France (CHATRY et al, 2010). Voici une comparaison du risque d'incendie en France entre la période 1989-2088 et la projection à 2040 sur les figures ci-contre :

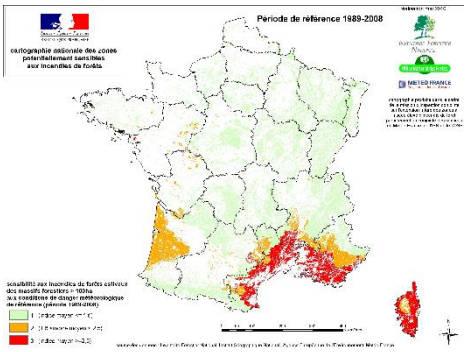


Figure 3: Risque d'incendie sur la période 1989-2008. Source : Météofrance

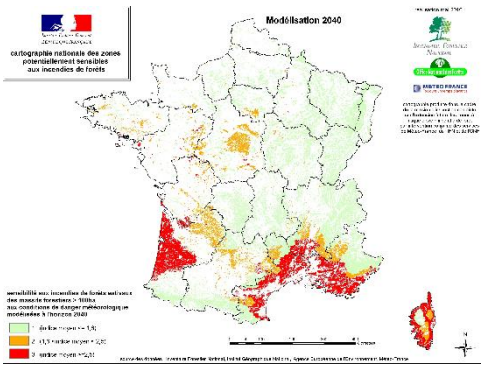


Figure 4: Risque d'incendie en France à l'horizon 2040 Source : Météofrance

Pour répondre à cette problématique de grande envergure, les forestiers ont décidé depuis quelques années de développer des outils pour s'adapter au mieux au changement brutal qui, on le sait, sera compliqué vis-à-vis de sa vitesse d'exécution. En effet, la réponse au changement climatique ne pourra s'opérer aussi rapidement que celui-ci du fait de nos outils de travail : les arbres. Ces derniers ont une vie de plusieurs décennies pour les plus rapides et de quelques centenaires pour les plus lents ne permettant pas une adaptation à un changement aussi rapide du climat.

Parmi les outils développés par les forestiers, le changement d'essence lors des reboisements en est un, c'est celui que nous avons choisi d'évoquer dans cette synthèse bibliographique.

Après quelques recherches bibliographiques sur la vente et la commercialisation de plants forestiers en France, le Cèdre de l'Atlas (*Cedrus Atlantica)* est une espèce dont les ventes croient continuellement depuis quelques années (INRAE, 2020). Les forestiers semblent croire dans l'avenir de cette espèce dans un environnement climatique changeant. En effet, d'après les résultats de l'enquête statistique annuelle MAA/INRAE sur les récoltes et les flux de graines forestières 2018-2019, le cèdre apparaît avec une variation des ventes en France de +43% soit un peu moins de 530 000 plants vendus. Pour comparaison, il est à égalité avec le pin sylvestre et le chêne pédonculé (INRAE, 2019). Le cèdre a définitivement trouvé sa place en France et notamment au départ sur le Mont Ventoux (Toth, 1970). Une autre espèce attire notre attention : le mélèze. Le mélèze d'Europe comme l'Hybride, participent à un véritable engouement qui n'est pas sans conséquence sur la surface de reboisement annuelle en France (*Rondeux, 2003*).

Ces trois essences forestières se sont fait une place depuis quelques années pour leurs différentes qualités aussi bien esthétiques que mécaniques. Ceci nous mène à la question suivante :

« **Intensification de l'utilisation du cèdre de l'Atlas (Cedrus atlantic) du mélèze hybride (Larix x Eurolepsis) et mélèze d'Europe (Larix decidua) dans les reboisements en France : une cohérence avec le changement climatique ? »**

Pour la suite du document, nous nommerons le cèdre de l'Atlas par l'expression plus courte de « cèdre ».

I. Description générale des essences étudiées

Avant de se demander si les trois essences étudiées ci-après sont adaptées au changement climatique, il est important de connaître leurs exigences et leurs préférences hydriques et topographiques.

A. Le cèdre de l'Atlas, une essence qui se démocratise

Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus Atlantica)* est originaire, comme son nom l'indique d'Afrique du Nord à des altitudes supérieures à 1400m comme le montre la figure ci-dessous. C'est une espèce communément utilisée dans les reboisements dans cette région depuis les années 1850 (*Lefèvre et al. 2016*).

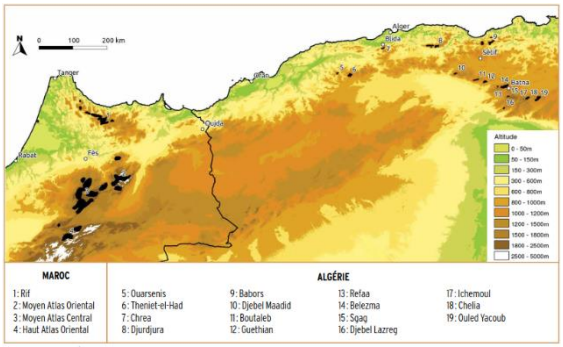


Figure 5: Aire naturelle du cèdre de l'Atlas. Source : F. Courbet

Le cèdre de l'Atlas a été largement introduit en France dans les régions climatiques proches de son aire d'origine comme la Provence-Alpes-Côte-D'azur et le Languedoc-Roussillon. Le premier verger date de 1862 sous le nom de la célèbre cédraie du Mont Ventoux (Toth, 1970) comme l'illustre la figure ci-dessous. Dans ces régions, le cèdre cohabite très bien avec le chêne vert présent lui depuis très longtemps. Aujourd'hui, le cèdre commence à se généraliser et est utilisé dans les plantations de haute et moyenne montagne comme dans le Massif Centrale ou bien dans le massif Vosgien (*Lefèvre et al. 2016*).

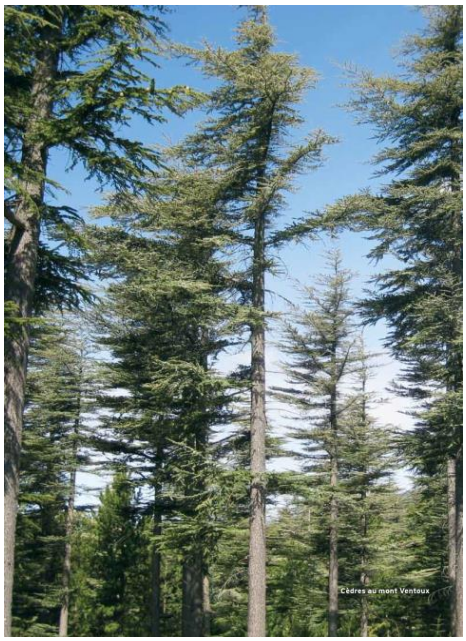


Figure 6: Photo de cèdre adulte. Source : F. Courbet

Pour son bon développement, le cèdre demande une température annuelle moyenne comprise en 7,5°C et 15°C ce qui correspond en France à des altitudes comprises entre 700 et 1200m. Cette essence demande des précipitations annuelles que l'on retrouve facilement dans les régions concernées, c'est-à-dire allant de 800mm à 1500mm. Malgré son habitude des hautes altitudes, il craint les gelées tardives et préfère les gelées moyennement fortes (minimum -8°C).

Ses exigences stationnelles ne sont pas clairement définies puisque le cèdre de l'Atlas tolère un large panel de sol. Il préférera tout de même des sols profonds pour pouvoir exploiter pleinement ses capacités de prospection racinaire. D'autre part, il s'accommode de sol superficiel lorsque la roche est suffisamment friable pour réussir à la traverser. Il faut noter qu'il n'apprécie pas les sols argileux et les sols hydromorphes (*Lefèvre et al. 2016*).

L'ensemble des facteurs présenté ci-dessus sont les conditions parfaites pour une croissance optimale de cette essence. Il n'est pas rare de retrouver des cédraies dans des conditions pédoclimatiques peu favorables, mais qui n'auront simplement pas le meilleur potentiel de croissance. Il est important de se rendre compte que l'air naturel du cèdre n'est pas la région où l'on observe les meilleures croissances. En effet, les études ont montré que les cèdres avaient de meilleurs résultats dendrométriques sur des cédraies françaises avec des hauteurs capables d'atteindre les 40m dans les meilleures conditions.

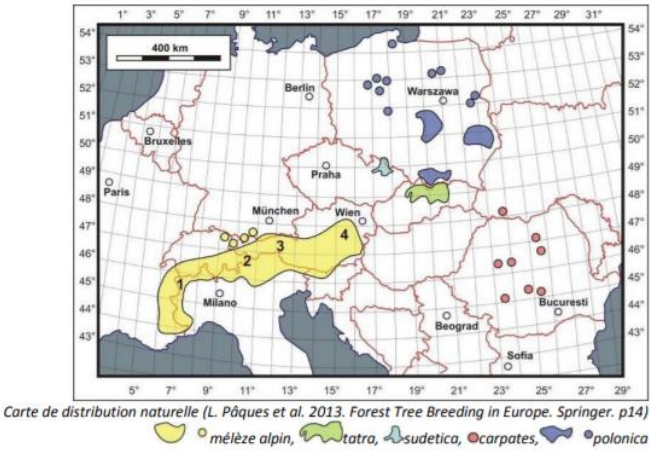
Nous estimons la surface occupée par le cèdre de l'Atlas en France à 20.000 ha (Courbet et al., 2012).

Pour finir, le cèdre reste sensible à la neige et au vent dont on retrouve très souvent dans les régions où on commence à l'implanter (Massif Centrale, Vosges, Pyrénées). Il conviendra de bien choisir les parcelles concernées et de peser le pour et le contre avant toute implantation de cédraie.

B. Le mélèze d'Europe et Hybride : deux essences déjà bien utilisées aujourd'hui

Après avoir vu la première essence concernée pour notre rapport, nous allons nous intéresser aux deux mélèzes. Le mélèze hybride étant un croisement entre le mélèze du Japon et le mélèze d'Europe, on présentera dans un premier temps le mélèze d'Europe puis on notera les différences avec le mélèze hybride.

Il n'existe pas une seule aire naturelle du mélèze d'Europe. La littérature rappelle qu'il est originaire des montagnes alpines, des montagnes polonaises et quelques autres foyers plus localisés comme présentés sur la figure ci-dessous.



Carte de distribution naturelle (L. Pâques et al. 2013. Forest Tree Breeding in Europe. Springer. p14)

Figure 7: Carte de répartition des aires naturelles du mélèze. L.Paques et al. 2013)

Ce mélèze a depuis longtemps été introduit dans le reste de l'Europe et notamment en France où on le retrouve dans les Vosges, le Massif Central et les Pyrénées en plus des Alpes où il était présent naturellement.

Pour ce qui est du mélèze hybride, aucune aire naturelle n'est définie puisque c'est une espèce résultant de l'hybridation des deux espèces de mélèzes, l'Europe et du Japon qui ont des aires naturelles bien distinctes (Pâques, 2016).

Pour présenter le mélèze d'Europe, l'une des principales exigences de cette essence est le besoin en lumière. Elle ne supporte pas la concurrence ce qui en fait une essence forestière à conduire en termes de sylviculture de façon dynamique. Cette caractéristique reste commune avec le mélèze hybride.

De plus, en termes de pluviométrie, le mélèze d'Europe supporte davantage le manque d'eau puisqu'il tolère une pluviométrie annuelle descendant jusqu'à 600mm (Pâques, 2016). Au contraire, le mélèze hybride exigera un peu plus avec 800mm au minimum.

Le mélèze d'Europe reste l'essence plus rustique comparée à l'hybride. En effet, elle s'accommode de sol un peu moins riche en eau, elle tolère les fortes variations de température contrairement au mélèze hybride (Pâques, 2016).

Les exigences en termes d'altitude sont relativement similaires entre ces deux espèces puisqu'il existe différentes provenances en fonction des altitudes souhaitées.

Pour rappel, le croisement des deux espèces de mélèze a été observé pour la première fois dans un jardin à Dunkeld, en Ecosse (Perron, 2011) Le sujet présentait des dimensions dendrométriques bien supérieures à ses deux parents. Depuis, les forestiers ont largement reproduit cette situation pour donner naissance aux premiers vergers à graine de mélèze Hybride. Des premières recherches sur une deuxième génération sont en cours depuis 2011 afin d'améliorer une fois de plus les performances du mélèze.

Pour finir, aujourd'hui nous sommes confrontés à un manque de graines aussi bien pour le mélèze d'Europe que l'hybride en raison d'une production trop faible des vergers à graine. Ceci explique en partie pourquoi, malgré un engouement pour le mélèze, nous n'avons pas une forte augmentation des ventes de plants en France. Afin de pallier ce manque, la France fait importer des graines de l'étranger au risque d'avoir des plants moins bien adaptés aux conditions locales.

II. Une adaptation facilitée par des particularités

A. Du fait des caractéristiques morphologiques

Après de nombreuses recherches bibliographiques sur le sujet, plusieurs idées ressortent sur la réponse de nos essences face au changement climatique.

Dans un premier temps, nous nous intéressons au cèdre de l'Atlas.

Comme présenté dans la première partie de cette synthèse, le cèdre est originaire du Nord de l'Afrique. Ainsi, son importation dans une région telle que la France ne peut qu'être bénéfique en matière de pluviométrie et de températures plus douces. Pour autant, il ne paraissait pas évident que ces conditions soient celles que préfère le cèdre. Il s'est avéré que l'introduction du cèdre dans les plantations françaises, a été le meilleur exemple d'acclimatation d'essence forestière (Courbet, 2012). La figure ci-dessous permet de se rendre compte de la répartition du cèdre en France en 2011.

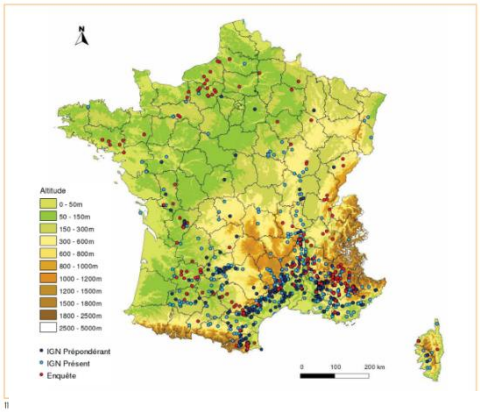


Figure 8: Répartition du cèdre en France. (IGN, 2011)

Effectivement, depuis son introduction dans la région méditerranéenne de France, le cèdre a su montrer sa forte capacitée d'adaptation à ce climat qui concernera, dans les prochaines années, une majeure partie du territoire. Pour preuve, des cédraies implantées en Bretagne ont montré des résultats de croissance bien supérieurs à ceux qu'on connaissait jusqu'à présent dans les pays d'Afrique du Nord (Rabhi, 2018). Il a été observé depuis de nombreuses années que le cèdre est capable de donner des individus de bonne dimension, bien conformé malgré des conditions de sécheresse plutôt compliquées (Courbet, 2012). Le climat de son aire naturelle d'origine montre que le cèdre est capable de supporter de 2 à 4 mois sec (Courbet 2012). En comparant à notre climat actuel en France, on retrouve depuis quelques années des sécheresses estivales et dont les prévisions sont une augmentation de ces dernières de 2 à 8 jours (OUZEAU et al, 2014). La situation prévisionnelle des années à venir ne donne pas de doute sur l'augmentation du nombre des mois secs. Le cèdre pourra, avec une certaine incertitude, s'adapter.

Il est important de noter que cette forte capacité à résister à la sécheresse découle de sa forte capacité à développer des racines latérales et de laisser en attente la croissance des parties aériennes (Courbet, 2012). Cette même étude a démontré que les cèdres les plus résistants aux sécheresses étaient ceux qui étaient déjà implantés sur des zones sèches qui n'avaient jamais eu une bonne disponibilité en eau. En effet, des cèdres ayant subi une sécheresse l'année passée voient leur système racinaire se développer de façon bien supérieure à des cèdres ayant eu une année passée arrosée. Ce phénomène se ressent également la deuxième année sur une hausse de la croissance des parties aériennes, comme si le cèdre compensait la perte de croissance passée lors de la sécheresse, sur l'année suivante (Finkelstein, 1981).

De plus, sa longue période de végétation couplée à sa forte capacité d'enracinement, font du cèdre une espèce xérophile. En d'autres termes, il peut surmonter de forts épisodes de sécheresse à condition que les derniers mois de végétation (septembre-octobre) soient bien arrosés pour compenser le stress hydrique qu'il aura subi pendant l'été.

Cependant, une étude plus récente au Maroc a démontré que le cèdre de l'Atlas pouvait être davantage sensible au changement climatique. Sa croissance continue malgré des valeurs de déficit hydrique très élevé font de lui une essence qui supportera mal les longues périodes de sécheresse à répétition (ZINE EL ABIDINE. 2016). Cette étude, remet en question les conclusions de l'étude présentée précédemment.

Pour finir sur les caractéristiques intéressantes du cèdre, celui-ci laisse au sol une litière d'aiguille de petite taille, compact et peu inflammable. Il a été montré qu'une litière d'aiguille de cèdre pouvait contribuer à la baisse de la propagation des incendies en forêt grâce à cette propriété (Nivert et al. 2012). Les scientifiques sont clairs, le changement climatique induira l'augmentation d'événements climatiques extrêmes ainsi que les incendies en forêts. Ce sont d'ailleurs les observations que l'on peut faire aujourd'hui avec l'augmentation du nombre de cas d'incendie dans les régions du centre de la France, précédemment très peu touchées par ce type d'événement.

Nous allons à présent nous arrêter sur le cas des deux mélèzes étudiés dans leur capacité à s'adapter au changement climatique.

De premier abord, il est judicieux de se demander en quoi une essence originaire des montagnes, peut-elle être vraiment un allié des forestiers dans la recherche d'alternatives pour les reboisements futurs. Pour autant, la littérature nous montre qu'il existe quelques caractéristiques intéressantes qui pourront aider les mélèzes à subsister dans le temps.

Tout d'abord, une première observation étonnante est que, malgré sa forte transpiration, le mélèze d'Europe résiste plutôt bien aux sécheresses. Ceci s'explique, comme pour le cèdre, à sa bonne capacité à développer un système racinaire profond pour puiser l'eau en profondeur (Forestopic, 2016). De plus, dans ce même article, les scientifiques se sont rendu compte que le mélèze d'Europe avait une bonne résistance à la cavitation. Comme vu précédemment, le mélèze d'Europe demande une pluviométrie annuelle moindre comparée au mélèze Hybride. Ceci confirme la capacité du mélèze d'Europe à résister aux sécheresses que l'on connaît actuellement. De plus, de par ses exigences écologiques, la littérature nous confirme que le mélèze supporte mieux les sols secs. Au contraire le mélèze hybride demande lui des sols plus frais, une pluviométrie un peu supérieure.

Ces résultats sont à nuancer, car comme le montrent certaines études, le mélèze d'Europe reste une essence dite sensible au réchauffement climatique, dont la croissance diminue fortement, jusqu'à 50%, en cas de sécheresse intense, comparé à d'autres essences telles que le Douglas, *pseudotsuga menziesii* ou le pin noir, *pinus nigra* (Lévesque, 2015). Nous verrons les faiblesses dans la dernière partie de cette synthèse.

Le mélèze hybride aura un comportement similaire au mélèze d'Europe concernant la croissance racinaire (Filiatrault, 2008). Étant donné son amélioration génétique par croisement, le mélèze hybride a de meilleures capacités à développer son système racinaire rapidement. De ce fait, il atteint plus rapidement la nappe phréatique et peut puiser l'eau en profondeur durant les périodes de sécheresse.

La principale force du mélèze hybride est sa plasticité naturelle (Pâques, 2016). Comme le montre la figure ci-dessous, l'hybridation du mélèze d'Europe et du mélèze du Japon, donne des résultats très compétitifs à tous les

	Larix decidua	*Larix kaempferi*	*Larix* × *eurolepis*
— Production	3	2	1
— Débourrement (tardiveté)	2	3	1
— Plasticité	3	2	1
— Rectitude du fût	3	2	1
— Angles des branches (horizontalité)	3	2	1
— Densité du bois	1	3	2
— Retractibilité (stabilité)	3	1	2
— Homogénéité (ordre contraire à hétérogénéité)	1	2	3
— Propriétés mécaniques	2	3	1

Figure 9: Classement des mélèzes en fonction de critères. Source : BASTIEN J.C, KELLER R.

niveaux.

Les scientifiques s'entendent à dire que cette espèce sera capable de s'adapter plus facilement aux changements du climat (Pâques, 2016). Ses capacités d'adaptation aux différentes altitudes par exemple, en France,

montrent que le mélèze hybride peut s'accommoder de son milieu rapidement. Cependant, il faut garder à l'esprit que tous ces mélèzes n'auront pas les mêmes performances en fonction de la situation géographique d'implantation.

Cette plasticité reste présente de façon plus modérée chez le mélèze d'Europe. Pour illustrer ses propos, une étude de 34 ans de comparaison des provenances a fait ressortir que la provenance *Sudète* était celle qui apportait la plus grande plasticité (Pâques, 1996).

Nous venons de voir quelles sont les principales « armes » de nos trois espèces pour lutter contre le changement climatique. Nous allons maintenant nous concentrer sur les techniques mises en place nouvellement et depuis quelques années qui peuvent favoriser le maintien de nos espèces malgré le changement climatique.

B. Le rôle très important de la sylviculture associée

Tout d'abord, prenons l'exemple du cèdre. Les peuplements de cèdres sont encore peu connus aujourd'hui en comparaison avec des essences comme l'épicéa ou le douglas. La littérature permet de connaître les itinéraires pratiqués.

Après de nombreuses recherches, quelques idées émergent sur la possibilité d'aider les peuplements à traverser les épisodes de sécheresses que nous subissons déjà actuellement.

Pour exemple, un article expose que des éclaircies fortes et précoces couplées à un élagage des branches vertes permettraient au cèdre de résister face au stress hydrique (Niver, 2012). La figure ci-dessous présente des itinéraires techniques dynamique pour s'adapter au changement climatique.

Hauteur dominante	Nature de l'intervention	Nombre de tiges avant intervention[1]	Nombre de tiges après intervention[1]	Taux de prélèvement
-	**Plantation** à 3 m x 3 m de préférence ou 3,5 m x 2,5 m si nécessaire pour entretiens mécanisés	-	1110	
12-15 m (dès que la 1ère éclaircie est réalisable)	**Élagage à 6 m de** 150 à 200 tiges/ha à désigner juste avant éclaircie. Éviter d'élaguer des tiges situées sur les futurs cloisonnements	-	-	
	1ère éclaircie : à la fois systématique (une ligne sur cinq pour créer des cloisonnements) et sélective (un arbre sur trois entre les cloisonnements)	1000 [2]	500	50 %
18 m	**2ème éclaircie** : sélective au profit des arbres élagués	500	350	30 %
22 m	**3ème éclaircie** : sélective	350	250	30 %
27 m	**4ème éclaircie** : sélective	250	170	30 %
31 m	**Coupe rase** [3] **(*ou coupe d'ensemencement*)**	170	0 (*60-100*)	100 % (*40-65 %*)

Figure 10: Itinéraire technique du cèdre. Source : INRA

Nous avons vu précédemment que le cèdre n'avait pas une bonne gestion d'ouverture de ses stomates ce qui conduisait à des valeurs de stress hydrique importante. Ici, élaguer les branches permettrait de diminuer la surface foliaire et donc la transpiration de l'arbre. En conséquence, en période de sécheresse, le cèdre perd moins d'eau et demande alors moins d'eau au sol sur lequel il est implanté. Voici ci-dessous un itinéraire technique de façon dynamique.

La seconde technique sylvicole avancée par les scientifiques comme potentielle aide contre le changement climatique serait la régénération naturelle. Des études ont montré que le cèdre s'installe très bien sous un taillis de chênes verts s'expliquant par son comportement de demi-ombre dans le jeune âge (Niver, 2012). De ce fait, sous couvert d'une bonne préparation de sol essentiel pour la germination des graines de cèdres, le taux de réussite de la régénération naturelle sera amélioré. De plus, la littérature nous rappelle que l'installation du peuplement est une étape cruciale dans la vie d'un peuplement forestier. Cette étape est généralement impactée par les sécheresses lors des premières années. Ici, la régénération naturelle semble être une bonne opportunité pour installer le renouvellement du peuplement sans craindre les sécheresses.

Tout comme le cèdre, la régénération naturelle nécessite des travaux du sol pour faciliter la germination des graines. L'existence de flore au sol contribue de façon importante à l'échec de la régénération. (Barbey, 2004).

D'autres avancées privilégient la plantation lorsque des peuplements ne sont pas encore en place. Lorsque la plantation n'est pas évitable, des méthodes pour faciliter l'implantation des plants est nécessaire. Nous venons de voir que nos trois essences avaient besoin de places pour développer leurs systèmes racinaires qui leur permettent de lutter contre les sécheresses. Pour cela, des techniques comme la plantation sous couvert, la plantation en potets travaillées, le sous-solage, sont d'autant de techniques qui faciliteront la croissance des racines en profondeur afin d'atteindre l'eau plus facilement. Couplé à ces techniques, l'utilisation d'engrais serait un bon allié pour donner un coup de « boost » aux plants. Ces derniers pourraient avoir un système racinaire bien développé dès la première année leur permettant de s'assurer d'une bonne accessibilité à l'eau pour passer les sécheresses estivales (Leroy et al, 1973).

Pour continuer sur les méthodes de plantation, nos essences sont toutes les trois très régulièrement conditionnées en conteneurs de cubage important. L'arrêté préfectoral prévoit des aides pour les MFR de cèdre et de mélèze pour des contenances de 400cc. Ces volumes de conteneurs permettent aux plants d'avoir une première réserve en eau dans le but de limiter l'effet de transplantation. Cette technique et aujourd'hui l'une des plus pratiquées en raison du très bon taux de reprise.

Concernant le cèdre, on peut remarquer que seuls les godets sont éligibles aux aides de l'Etat. Ceci montre que l'Etat veut inciter les propriétaires à reboiser avec des godets qui sont considérés comme plus résistants face au changement climatique.

C. Des usages diversifiés et bien adaptés

Tout d'abord, le cèdre est une essence qui, comme le douglas, a un duramen qui se différencie facilement par sa coloration plus sombre. Tout comme le douglas, utilisé de façon abondante, le bois de cèdre est un bois naturellement durable grâce aux huiles essentielles présentes (Courbet, 2012). Il est utilisé en classe 3 pour des conditions de non-contact avec le sol (CIRAD, 2012). Il conviendra assez bien aux usages extérieurs (bardages, mobilier extérieur…) tout comme intérieur. Il est tout à fait capable de faire des usages nobles tel que le déroulage ou le tranchage grâce à des qualités de bois nettement supérieure à d'autres résineux déjà utilisés en France (EL AZZOUZI, KELLER, 1998) Le bois de cèdre peut également convenir aux usages classiques comme la palette, le papier, le coffrage, et même la charpente avec des conditions d'utilisation un peu particulière comparé au Douglas. Cette comparaison avec le Douglas est importante car le prix du bois de cèdre se rapproche de celui du douglas (61€/m3 en 2018 d'après franceboisforêt).

Le cèdre est une essence produisant du bois de qualité, bien adapté aux marchés actuels. Son bois semble être une bonne opportunité pour continuer de faire vivre les scieries sans bouleverser les pratiques et usage des bois. Il faudrait alors encourager son expansion (EL AZZOUZI, KELLER, 1998).

En second lieu, le mélèze, qu'il soit d'Europe ou hybride, est une essence déjà bien ancrée dans la filière forêt-bois. En effet, le bois de mélèze est bien connu pour ses propriétés de résistance naturelle aux altérations extérieures. Tout comme le Douglas, le bois est naturellement de classe 3 (aucun traitement est nécessaire : il ne moisit pas, résiste aux intempéries, aux insectes et aux champignons) (Cirad, 2012) ce qui explique son utilisation en bardage de façon majoritaire. C'est d'ailleurs pour cette caractéristique que le bois de mélèze est connu pour être le bois le plus dur et le plus résistant. Sinon, le bois de mélèze est également utilisé pour de multiples usages comme la menuiserie, les panneaux, le placage, les fustes et bien d'autres (Cirad, 2012).

Nous venons de voir que nos essences étudiées produisent des bois de qualité supérieure qui sauront se faire et savent déjà se faire une place importante dans les marchés. Le cèdre est pour le moment une essence encore peu connue des forestiers mais qui possède de sérieux atouts pour se faire une place parmi les scieries de Douglas par exemple. Cette qualité des bois est une variable très importante dans le sens où il ne serait pas intéressant d'apporter des essences adaptées au changement climatique si celles-ci produisaient du bois de mauvaise qualité et/ou pour des usages peu intéressants.

III. Des limites à prendre en compte

A. Les facteurs limitants

Malgré l'ensemble de ces facteurs en faveur de l'utilisation du cèdre et du mélèze d'Europe/Hybride dans les reboisements, il existe également des inconvénients qui les décrédibilisent face au changement climatique.

Tout d'abord, une étude a montré que les cèdres, malgré leur résistance confirmée contre la sécheresse, dépérissaient au Maroc dans leur aire naturelle depuis les années 1970 (Linares et Camarero, 2012). Leur dépérissement serait causé, comme évoqué précédemment, par leur incapacité à réguler leur transpiration par leurs stomates. De cette action, en découle un épuisement de l'arbre et le début du dépérissement. Ces observations ont été faites aussi bien sur des peuplements jeunes comme adultes.

Plus récemment, après la sécheresse de 2003, les dépérissements ont continué dans l'Atlas au Maroc mais également France dans des plantations et des arboretums (Davi, 2015). Ces observations ont fait prendre conscience aux forestiers que le cèdre ne résiste pas aux trop fortes sécheresses et surtout aux sécheresses de longue durée comme celle de 2003.

L'affaiblissement du nombre de cédraies dans son aire naturelle est compensé par l'augmentation progressive dans l'hémisphère nord de celles-ci par des peuplements en bonnes conditions physiques.

La remontée du cèdre vers le Nord soulève un autre problème. Le cèdre est sensible aux gelées tardives, très fréquentes dans ces régions (Courbet et al. 2012). Le changement climatique aura peut-être raison de ces gelées qui, hypothétiquement, disparaîtront. L'altitude est également une cause du dépérissement de certaines cédraies. Le cèdre ne résiste pas lorsqu'il est implanté à des altitudes trop basses et de façon rédhibitoire lorsqu'il est couplé à un sol superficiel (Courbet, 2012).

Pour les mélèzes, la situation est similaire. Le principal problème reste le manque d'eau. Des peuplements sur sols très superficiels ne réussiront pas à atteindre une source d'eau et ne pourront pas passer les épisodes de sécheresse. A l'extrême, les mélèzes ne supporteront pas non plus les sols avec une hydromorphie permanente (Rondeux, 2003).

Avec le changement climatique, ces extrêmes risquent d'être présents de façon plus régulière et se doivent d'être réfléchis en amont.

B. Des ravageurs bien présents

Pour finir, le changement climatique ne veut pas dire uniquement, changement brutal de conditions climatiques (températures, précipitations etc..). Celui-ci va induire le développement des maladies et pathogènes. Les scientifiques sont formels, l'augmentation des températures va entraîner des développements plus rapides des populations et une exposition augmentée de peuplements qui étaient jusque-là, protégé (Davi, 2015).

Pour revenir à nos essences étudiées, aucune n'est épargnée par ce phénomène.

Pour commencer, le cèdre possède plusieurs ennemis. MegastigMus, une guêpe qui pond dans les cônes de cèdres. Les larves qui en découlent se nourrissent des graines. Ceci

devient très problématique dans la mesure où précédemment, on vient d'expliquer que la régénération naturelle de cèdre pouvait être une bonne solution pour contrer le climat (Nageleisen, 2007).

De plus, le changement climatique aura des effets bénéfiques pour le développement des champignons et notamment, Diplodia sapinea, un champignon s'attaquant au cèdre (Nageleisen, 2007). Sa prolifération pourrait mener à des dépérissements importants de cédraies.

Un autre champignon bien connu des forestiers, peut s'attaquer au cèdre : le fomes (Nageleisen, 2007). Ce champignon est depuis ces dernières années, en raison du réchauffement climatique, très virulent et détruit des milliers d'hectares de forêts. Dans le cas du cèdre, le *fomes* sera associé au dépérissement de jeunes peuplements contrairement aux épicéas qui eux concernent de vieux sujets en général.

Ces exemples sont qu'une petite partie des pathogènes pouvant attaquer le cèdre. Il a été constaté que des parasites attribués à d'autres résineux tel que le sapin, arrivent facilement à s'attaquer au cèdre. Il devient important de surveiller leur totale adaptation qui provoquerait de grands dépérissements. De plus, avec le changement climatique, ces parasites, et ceux autochtones au cèdre, pourraient trouver dans nos pays du nord des conditions idéales pour se développer et éventuellement évoluer (Nageleisen, 2007). Toutes ces hypothèses ont pour vocation de bien réfléchir sur l'utilisation du cèdre et des différentes prévenances possibles (Negeleisen, 2007).

En ce qui concerne le mélèze d'Europe et hybride, des rougissements des peuplements de mélèze d'Europe ont récemment été recensés en France. Le département santé des forêts a mené l'enquête pour déterminer quelle était la cause. Il s'est avéré que le responsable était un pathogène appelé Meria *laricis* (Daubree, 2020). L'intensité d'attaque semble être corrélée à la pluviométrie des mois de mai-juin. L'étude prévoit l'émergence de cette maladie causée par l'augmentation des températures printanières et la disparition du manteau neigeux en altitude. Pour le moment, aucun peuplement n'a été complètement décimé par ce pathogène. Pour autant, l'accumulation des sécheresses et des perturbations foliaires sur les mélèzes risques de finir par causer d'importants dépérissements (Daubree, 2020). D'autres pathogènes bien connus des forestiers sont capables de causer d'impressionnantes défoliations, aussi bien celui d'Europe que l'hybride : la tordeuse du mélèze (Wermelinger, 2018). La chenille de ce papillon éclos au printemps et vient consommer les aiguilles. Les populations de tordeuse peuvent atteindre les 50 000 individus sur un seul arbre. Malgré cette importante défoliation, le mélèze, en général, ne dépérit pas, mais sa croissance sera très fortement impactée. Contrairement aux pathogènes précédents, la tordeuse du mélèze est vouée à disparaître avec le changement climatique, sous condition qu'elle ne s'adapte pas. En effet, il a été remarqué que depuis les 20 dernières années, les populations ont diminué. Avec des automnes plus chauds et des hivers plus doux, les larves demandent davantage d'énergie et voient leur réserve consommée bien plus rapidement. De ce fait, à l'arrivée du printemps, une importante partie de larves sont mortes de faims (Wermelinger, 2018).

Cette liste n'est pas exhaustive, nous avons exposé les pathogènes les plus présents et connus du monde forestier.

Conclusion

Tout au long de cette synthèse bibliographique, nous avons pu évoquer les différentes exigences de nos essences étudiées pour pouvoir ensuite déterminer quels étaient les avantages de chacune par rapport au changement climatique. De cette synthèse, plusieurs points importants sont soulevés.

Tout d'abord, la littérature scientifique s'entend pour affirmer que le cèdre semble être une bonne alternative pour les reboisements. En effet, depuis des dizaines d'années, elle a montré sa bonne adaptation à des climats méditerranéens. Une étude s'avance sur le fait que la Belgique sera même l'aire naturelle du cèdre d'ici la fin du siècle (Pirronitto, 2019). Ceci s'explique par une remontée de cette aire naturelle depuis de nombreuses années, suite au réchauffement du climat.

A contrario, les analyses sur les mélèzes sont plus nuancées. Le mélèze d'Europe lui semble davantage résistant à la sécheresse comparée au mélèze hybride qui lui demande des pluviométries annuelles supérieures et des sols plus frais. Par ailleurs, nos deux essences de mélèzes ont un net avantage : leur plasticité. La littérature garde espoir sur une adaptation possible du patrimoine génétique des mélèzes pour s'adapter aux sécheresses estivales et aux hivers doux.

Malgré une possible bonne gestion du changement climatique par nos trois essences, il ne faut pas oublier que certains pathogènes pourront venir noircir le tableau. Certains pathogènes présents aujourd'hui pourraient se développer davantage grâce à des conditions climatiques meilleures et l'on pourrait également assister à l'arrivée de nouveaux pathogènes qui ne peuvent pas subsister aujourd'hui dans nos climats. Il convient de suivre de très près les menaces pesant sur le cèdre et les deux mélèzes pour pouvoir s'adapter.

La principale recommandation de l'ensemble des textes est de bien choisir son essence en fonction du sol. Les provenances seront également un allié pour bien choisir en fonction des prévisions d'évolutions du climat aussi bien au niveau de la résistance à la sécheresse, mais également des pathogènes. Il n'y aura pas une seule essence possible et nous ne devrons pas faire comme nos prédécesseurs, miser sur une seule essence sur d'immenses surfaces. La clé du succès est de diversifier les plantations pour ne pas « mettre tous les œufs dans le même panier ».

Pour finir, nos trois essences ont un avenir certain dans les forêts, d'une part pour leur possible adaptation, mais également pour leur qualité de bois recherchée.

Bibliographie

1. BARBEY, Michel. 2004. « La pérennité des peuplements de mélèze et les contraintes de leur régénération », nº 2 (juin) : 2 p.

2. BECKER, M., et LEVY, G. 1988. « A propos du dépérissement des forêts : climat, sylviculture et vitalité de la sapinière vosgienne ». *Revue Forestière Française*, nº 5 : 345. https://doi.org/10.4267/2042/25902.

3. CHATRY et al. 2010. « Ingénieur général des Ponts, des Eaux et des Forêts », 190.

4. CIRAD, BioWooEB. 2012. « Mélèze », Fiche technologique du bois 4.

5. CIRAD, BioWooEB. 2012. « CEDRE », Fiche technologique du bois 4.

6. COURBET, François, LAGACHERIE Michèle, MARTY Pauline, LADIER Jean, RIPERT Christian, RIOU-NIVERT Philippe, HUARD Frederic, AMANDIER Louis, et PAILLASSA Eric. 2012. « Le cèdre en France face au changement climatique : bilan et recommandations », 33.

7. DAUBREE, JB. 2020. « Importants rougissements des mélèzes dans les Alpes du sud, à l'origine : Meria laricis, un pathogène des aiguilles du mélèze d'Europe », novembre, 3 p.

8. Davi. 2015. « Impact des changements climatiques sur les écosystèmes forestiers de la région méditerranéenne », Innovation Agronomique, 154 p.

9. EL AZZOUZI et KELLER. 1998. « Propriétés technologiques du bois de cèdre de l 'Atlas (Cedrus atlantica Manetti) », Forêt méditérranéenne, nº 1 : 23.

10. FILIATRAULT, Patrick. 2008. « Revue de la littérature portant sur les rapports sol-plante en ligniculture », 40.

11. FINKELSTEIN, D. 1981. « Influence des conditions d'alimentation hydrique sur le débourrement et la croissance de jeunes plants de Cèdres (Cedrus atlantica Manetti) cultivés en serre ». *Annales des Sciences Forestières* 38 (4) : 513-30. https://doi.org/10.1051/forest:19810407.

12. INRAE. 2020. « Statistiques annuelles sur les ventes de graines et plants forestiers ». *Ministère de l'agriculture et de l'alimentation*. https://agriculture.gouv.fr/statistiques-annuelles-sur-les-ventes-de-graines-et-plants-forestiers.

13. La rédaction de FORESTOPIC. 2016. « Reboiser avec le changement climatique ». *Forestopic*, juin. https://www.forestopic.com/fr/foret/gestion-des-forets/387-reboiser-avec-le-changement-climatique.

14. LANDMANN G., BONNEAU M., et ADRIAN M. 1987. « Le dépérissement du Sapin pectiné et de l'Epicéa commun dans le massif vosgien est-il en relation avec l'état nutritionnel des peuplements ? » *Revue Forestière Française*, nº 1 : 5. https://doi.org/10.4267/2042/25763.

15. LEFEVRE François, COURBET François, RIPERT Christian, RICODEAU Nicolas, COLLIN Eric, et al. 2016. « Cèdre de l'Atlas », HAL, 6.

16. LEROY, Ph., LEVY G., et STRULLU D. G. 1973. « Action de la matière organique et des engrais minéraux en pépinière sur la croissance et les caractères foliaires du Douglas ». Annales des Sciences Forestières 30 (4) : 393-412.

17. LEVESQUE, Mathieu, RIGLING Andreas, et BRANG Peter. 2015. « Réponse à la sécheresse de conifères indigènes et exotiques : une étude dendroécologique ». *Schweizerische Zeitschrift fur Forstwesen* 166 (6) : 372-79. https://doi.org/10.3188/szf.2015.0372.

18. MATHIEU, Francis, et François LEFEVRE. 2009. « Changements climatiques : des sylviculteurs à inventaire » Forêt méditerranéenne (2) : 175-80.

19. NAGELEISEN Louis-Michel. 2007. « Les problèmes phytosanitaires du cèdre en France », Forêt entreprise, n° 174 : 6 p.

20. OUZEAU, DEQUE, JOUINI, PLANTON, et VAUTARD. 2014. « Le climat de la France au XXIe siècle », 64.

21. PAQUES Luc et Gwenael. 2016. « Le mélèze d'Europe », avril, 8 p.

22. PAQUES Luc et PHILIPPE Gwenael. 2016. « Le mélèze hybride », avril, 7 p.

23. PAQUES. 1996. « Variabilité naturelle du mélèze. I. Mélèze d'Europe : bilan de 34 ans de test comparatif de provenances ». *Annales des sciences forestières* 53 (1) : 51-67.

24. PERRON Martin. 2011. « Le mélèze hybride du Québec : performant et racé », Avis de recherche forestière, n° 37 (octobre) : 2 p.

25. PIRRONITTO, S. 2019. « Potentialités et risques liés à l'introduction d'une essence forestière exotique dans un contexte de changement climatique : Cas du cèdre de l'Atlas (Cedrus atlantica (Endl.) Carr.) en Belgique », 87.

26. PÖRTNER Hans-Otto, DEBRA C., ROBERTS Valérie MASSON-DELMOTTE, et PANMAO Zhai. 2019. « The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate », 765.

27. RABHI, KHELLAF, AKLI Amel, DJOUHRI Ahlem, YAHI Nassima, BOUDEDJA Salem, et MESSAOUDENE Mahand. 2018. « Bilan et croissance des reboisements de cèdre de l'Atlas, *Cedrus atlantica* (Endl.) Carrière, en Algérie : cas du Djurdjura et de l'Atlas blidéen | BOIS & FORETS DES TROPIQUES », Nois et Forêt des Tropiques, 337 (juillet) : 13 p.

28. RONDEUX, J. 2003. « Les mélèzes, un nouveau défi pour la sylviculture des résineux en Wallonie », 15.

29. TOTH J. 1970. « Plus que centenaire et plein d'avenir : le cèdre en France », 10 p.

30. VENNETIER, M. 2012. « Changement climatique et dépérissements forestiers : causes et conséquences ». *Changement climatique et modification forestière*, 50-60.

31. WERMELINGER, Beat, FORSTER Beat, et NIEVERGELT Daniel. 2018. « Cycles et importance de la tordeuse du mélèze ». *Not. prat.*, 12.

32. ZINE EL ABIDINE Abdenbi, BOUDERRAH Mohamed, et MOUSTAHSSEN Ahmed et S. LAMHAMEDI Mohammed. 2016. « Relations hydriques et croissance de plants soumis à un déficit hydrique édaphique graduel - Cas du cèdre de l'Atlas, du pin maritime de montagne et du cyprès de l'Atlas », Forêt méditérranéenne. 16.