HAL open science

Quelles sont les limites climatiques de survie et de croissance du cèdre du Liban au stade juvénile en région méditerranéenne ?

Yaacoub Nassif, Paulina Pinto, Jean-Claude Gegout

▶ **To cite this version:**

Yaacoub Nassif, Paulina Pinto, Jean-Claude Gegout. Quelles sont les limites climatiques de survie et de croissance du cèdre du Liban au stade juvénile en région méditerranéenne ?. Forêt Méditerranéenne, 2021, Cèdres, 42 (2), pp.157-168. hal-03965160

HAL Id: hal-03965160

https://hal.science/hal-03965160

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.

Quelles sont les limites climatiques de survie et de croissance du cèdre du Liban au stade juvénile en région méditerranéenne ?

par Yaacoub NASSIF, Paulina PINTO et Jean-Claude GEGOUT

L'étude dont rend compte cet article a permis de compléter les connaissances sur l'écologie du cèdre par rapport au climat et de déterminer les facteurs climatiques et biotiques limitant sa distribution à basse et haute altitude.

Introduction

Les modèles climatiques prévoient sous l'effet du changement climatique d'importantes modifications de températures et de précipitations (IPCC, 2021). Pour la région méditerranéenne, ce phénomène s'ajoute à une pression anthropique continue depuis des millénaires (Vernet, 1990). En outre, à la fin de ce siècle, l'effet combiné du réchauffement et de la sécheresse devrait entraîner une hausse généralisée de l'aridité et par conséquent de la désertification de plusieurs écosystèmes terrestres en particulier dans les régions de l'est de la Méditerranée (Guiot et Cramer, 2016).

Parmi les espèces structurantes des forêts méditerranéennes, le cèdre du Liban (*Cedrus libani* A. Rich) est probablement l'espèce la plus emblématique de la région Proche-orientale. Sa localisation à l'étage montagnard la rend particulièrement sensible du fait de l'impact très fort du changement climatique actuel sur les montagnes méditerranéennes (Regate et Salman, 2008) et de la disparition potentielle d'une partie de ses habitats de haute altitude avec le réchauffement climatique futur. Des simulations de sa future répartition géographique au Liban, basées sur sa distribution actuelle, ont été réalisées pour la période 2100. Ces simulations prédisent la quasi disparition de cette essence avec seulement trois zones du Mont Liban qui pourraient permettre sa survie (Hajar *et al.*, 2010). Extrapolés à la région de la Méditerranée orientale, ces résultats montrent que les cédraies en Syrie sont également menacées par le réchauffement climatique futur alors que celles du sud de la Turquie semblent plus pérennes (Hajar *et al.*, 2010, Lopez-Tirado *et al.*, 2021).

La distribution géographique du cèdre a été fortement réduite par l'exploitation humaine au cours de l'histoire. Les cédraies libanaises ont été fortement impactées par l'urbanisation, le pâturage et surtout les coupes de bois d'œuvre dès le néolithique jusqu'au siècle dernier (Loffet, 2004 ; Hajar, 2010). Il existe de nombreuses preuves historiques de l'utilisation de ce bois noble, de fort volume par tige à l'âge adulte et imputrescible, par les grandes civilisations — Égyptiens, Babyloniens… — qui se sont succédées au Moyen-Orient (Cf. Fig. 1). Ainsi, le verset 6:9-10 du livre des Rois de la Bible indique : « *Après avoir achevé de bâtir la maison, Salomon la couvrit de planches et de poutres de cèdre* ». Le cèdre a notamment été utilisé pour la construction navale, la réalisation d'édifices et celle de sarcophages égyptiens (Hepper, 2001). Les preuves historiques indiquent également son ancienne abondance au Liban et son intense utilisation : un scribe du pharaon Snéfrou mentionne ainsi vers 2600 av. J.-C. l'arrivée de quarante bateaux chargés de fûts de cèdres provenant du port de Byblos au Liban (Liphshitz & Biger, 1991). (Cf. Fig. 1).

Cette longue utilisation historique explique la raréfaction dès l'antiquité des forêts résineuses au Liban comme en témoigne le bornage des forêts par l'empereur Romain Hadrien sur des espaces aujourd'hui complètement dénudés (Guinier, 1952). Couplé aux preuves historiques, ce bornage prouve le caractère relictuel des forêts de cèdre actuellement présentes au Liban.

Au Liban, les populations de cèdres couvrent aujourd'hui à peine 2200 ha et sont situées principalement sur le versant ouest du Mont Liban, à des altitudes comprises entre 1100 et 1950 m. Elles constituent la limite sud de l'aire de répartition de l'espèce (Talhouk *et al.* 2001). Il existe également quelques milliers d'arbres très disséminés en Syrie au-dessus de 1000 m et surtout plus de 300 000 hectares en Turquie localisés dans les montagnes du Taurus le plus souvent entre 1500 et 2000 m d'altitude (Quézel, 1998 ; Boydak, 2003). Les connaissances écologiques sur les gammes de température et de précipitations qui limitent la distribution du cèdre du Liban sont limitées. Aussenac (1984) signale la persistance du cèdre pour une gamme de précipitations de 500 à 2000 mm et une gamme de températures moyennes annuelles de 7,5 à 15°C avec des extrêmes de -25 à +41°C mais sans différencier les différentes espèces de cèdre. Les valeurs extrêmes citées sont en partie confirmées par Güney *et al.* (2020) qui montrent que *C. libani* est capable de résister à des températures extrêmes de -13.8 et +37°C et par Messinger *et al.*, (2015) qui a étudié la croissance du cèdre du Liban sur un site (Bayreuth, Allemagne) de température moyenne égale à 7,9°C avec des extrêmes ayant atteint -25 °C. et + 36,1°C. La comparaison des croissances de l'espèce entre ce site sans déficit hydrique estival marqué et un site à fort déficit hydrique estival dans son aire naturelle en Turquie montre le fort impact positif d'un bilan hydrique estival favorable sur la croissance du cèdre (Messinger *et al.*, 2015). Cette bonne performance en croissance radiale, qui peut atteindre 5 mm par an en moyenne en climat tempéré, couplée à une forte résistance du cèdre du Liban au froid et à une sécheresse estivale prolongée font de cette espèce une candidate pour les reboisements en Europe centrale en prévision du fort réchauffement climatique attendu dans les décennies à venir (Messinger *et al.*, 2015).

Pour autant, les études menées à ce jour concernent principalement la croissance du cèdre du Liban sur des sites dont la température moyenne tempérée est très favorable à sa survie. Les informations écologiques ou écophysiologiques disponibles restent insuffisantes pour prédire l'évolution de sa distribution en contexte climatique changeant sur une large gamme de climats notamment en zone méditerranéenne ou en limite froide de son aire. En outre, l'aire actuelle réduite du cèdre n'apparaît pas totalement en rapport avec les larges aptitudes écophysiologiques et de croissance évaluées sur cette essence. Enfin, les études basées sur des observations en conditions naturelles qui reflètent les

Fig. 1 : Transport de cèdre du Liban par bateau. Bas-relief du palais de Sargon II (roi d'Assyrie) à Dur-Sharrukin, Khorsabad datant d'entre 713–716 av. J.-C. Musée du Louvre, Paris.

effets du climat sur la survie et la croissance de cette essence restent particulièrement limitées.

Dans ce travail, nous cherchons à déterminer la gamme climatique de survie et de croissance du cèdre du Liban au stade juvénile. Nous cherchons ainsi à répondre aux trois questions suivantes :

1 - Quelles sont les altitudes limites basse et haute du cèdre dans les conditions actuelles au Liban indépendamment des effets historiques de son exploitation par l'homme ?

2 - La distribution altitudinale naturelle du cèdre est-elle contrainte par des limites physiologiques de réponse au froid à haute altitude, à la chaleur ou à la sécheresse à basse altitude ou par la compétition avec les autres essences méditerranéennes ?

3 - Quelle est la gamme climatique de croissance optimale du cèdre au stade juvénile et correspond-elle à son optimum altitudinal de distribution ?

Pour répondre à ces questions, nous avons réalisé un dispositif comprenant huit sites expérimentaux répartis régulièrement, le long d'un gradient d'altitude s'étendant de 110 à 2320 m avec des sites situés en deçà et au-delà des limites chaudes et froides du cèdre en vue d'évaluer ses limites altitudinales réelles et sa réaction à des climats de la fin du XXIe siècle. Deux modalités, arrosée et non arrosée, ont été établies sur chaque site du dispositif en vue de déterminer si la sécheresse est responsable des limites altitudinales de l'espèce. Nous avons réparti, sur chaque site et situation arrosée et non arrosée, des plants en peuplements pur et en mélange pour déterminer si la compétition par les autres espèces méditerranéennes avait un effet sur les marges de distribution du cèdre. Nous avons enfin distribué les provenances utilisées de façon équitable sur chaque site et mesuré la survie et la croissance des plants pendant 3 ans pour répondre sans biais aux objectifs de l'étude.

Matériel et méthodes

Pour atteindre les objectifs attendus, nous avons mis en place des placettes expérimentales plutôt que de réaliser des observations dans les cédraies naturelles. Cette approche a permis : (i) d'étudier la survie et la croissance du cèdre au cœur mais également en dehors de la gamme climatique correspondant à son aire actuelle de distribution, (ii) de contrôler les facteurs de sol et de luminosité le long du gradient climatique étudié pour éliminer l'effet de ces facteurs non étudiés, (iii) d'équilibrer les quantités et la provenance des individus étudiés entre placettes et étudier des individus de même âge sur tout le dispositif (iv) de créer et combiner des modalités de densité, de mélange d'essences et de niveau hydrique du sol par arrosage pour étudier sans biais l'effet de ces facteurs (Cf. Fig. 2).

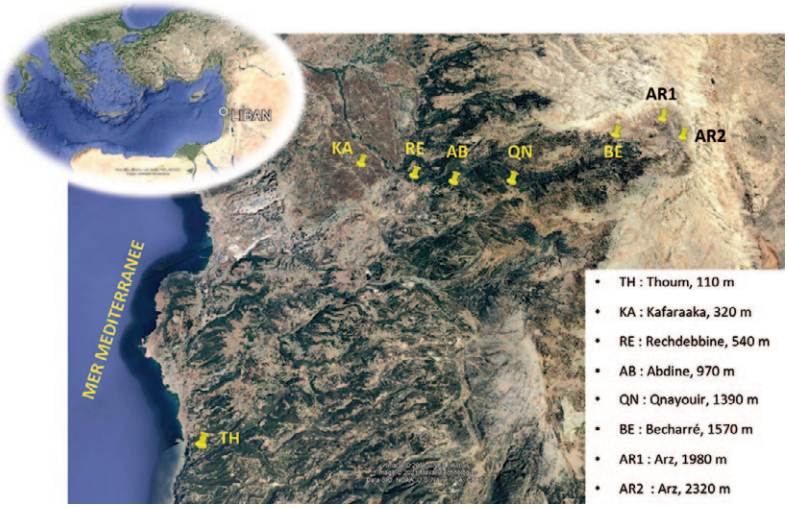

Fig. 2 : Distribution des 8 sites du dispositif expérimental répartis entre 110 et 2320 m d'altitude principalement le long de la vallée de la Kadisha (Liban-nord). En encart, position de la région d'étude au Moyen-Orient. Source Google Earth.

Le dispositif expérimental a été installé au Liban, dans l'aire d'origine du cèdre du Liban, le long de la vallée de la Kadisha (Cf. Fig. 2). Cette région se situe au cœur de la distribution des populations libanaises de cèdre et permet de parcourir un gradient d'altitude de 0 à 3000 m en quelques dizaines de kilomètres. La distribution altitudinale du cèdre fournie par la littérature s'étendant approximativement entre 1100 et 1950 mètres d'altitude (Talhouk *et al.* 2001), huit sites expérimentaux ont été choisis entre 100 et 2300 m avec des intervalles altitudinaux entre sites les plus réguliers possibles. Les sites du dispositif ont été installés dans des conditions de sol optimales de façon à mettre en évidence les effets du climat sans limiter la croissance ou la survie par des contraintes de sol. Le cèdre du Liban se développant essentiellement sur des substrats calcaires ou calcaro-dolomitiques (Quézel et Barbero, 1985 ; Boydak, 2003), les sites du dispositif ont été installés en milieu calcaire sur des sols profonds (>40cm), labourés, épierrés des grosses pierres et à dominante argileuse. Les

effets d'exposition et de pente ont été neutralisés en installant les sites dans des situations topographiques à pente inférieure à 3% (sauf les 2 sites situés à haute altitude). Le cèdre du Liban étant héliophile (Boydak, 2003), les sites ont été installés en pleine lumière. Ils ont également été couverts de toile et de gravillons et régulièrement désherbés manuellement pour éviter toute compétition d'origine herbacée (Cf. Fig. 3c). Un réservoir d'eau a été installé sur chaque site de façon à permettre l'arrosage des plants. Enfin tous les dispositifs ont été protégés du pâturage par un enclos sauf les deux sites de haute altitude, situés dans des zones non pâturées et surveillées.

Des graines de cèdre ont été collectées en avril-mai 2018 dans des peuplements naturels en limite basse (1350 m), au cœur (1550 m) et en limite altitudinale haute (1930 m) de sa distribution au Liban-nord. Par ailleurs des graines de *Pinus brutia*, *Quercus calliprinos* et *Quercus infectoria* ont été collectées au même moment pour le pin et en novembre-décembre 2017 pour les deux espèces de chênes. Ces trois espèces sont les principales essences avec lesquelles le cèdre du Liban peut se trouver en compétition dans les conditions naturelles. Les graines de cèdre et des autres essences ont été plantées en pot dans un terreau aussitôt après récolte et cultivés en pépinière. Tous les plants ont ensuite été repiqués dans les sites expérimentaux en automne 2018.

Les traitements réalisés sont identiques sur chacun des huit sites du dispositif expérimental. Ils croisent le niveau d'arrosage, la densité et la composition en essences pour les plants soumis à compétition (Cf. Fig. 3 et Tab. I) :

– **Niveau d'arrosage** : chaque site expérimental est composé de deux lots identiques : lot arrosé pendant la période estivale permettant l'étude de la survie et de la croissance des plants en l'absence de stress hydrique, et lot non arrosé représentatif des conditions naturelles. Pour assurer la reprise des plants après transplantation, tous les plants ont été arrosés en 2019 pendant la première saison de végétation après transplantation. L'arrêt d'arrosage pour la moitié du dispositif a été mis en place aux premières pluies de l'automne 2019 ;

– **Densité** : deux espacements entre plants ont été utilisés : 50 cm permettant la croissance libre des plants au stade juvénile (modalité faible densité) ; 10 cm permettant la croissance en interaction forte (compétition ou facilitation) entre plants (Cf. Fig. 3c, respectivement fond et premier plan de la photo). Les plants de la modalité forte densité ont été installés sur des placeaux « les nanoforêts » de 1,5 m de cotés qui regroupent 196 plants de 4 essences (*Cedrus libani, Pinus brutia, Quercus calliprinos, Quercus infectoria*) avec 49 plants pour chaque essence dont une partie en peuplement pur et une partie en mélange (Cf. Fig. 3b, premier plan Fig. 3c, Tab. I) ;

– **Composition** : la variation de composition n'est étudiée que pour le traitement à forte densité (elle ne présente pas d'intérêt pour les plants en croissance libre) : les deux modalités « peuplements purs » et « peuplements mélangés » avec *Pinus brutia* ou *Quercus infectoria* permettent d'évaluer l'effet de la compétition interspécifique.

Pour éviter des effets liés aux provenances sur les résultats, les provenances de basse,

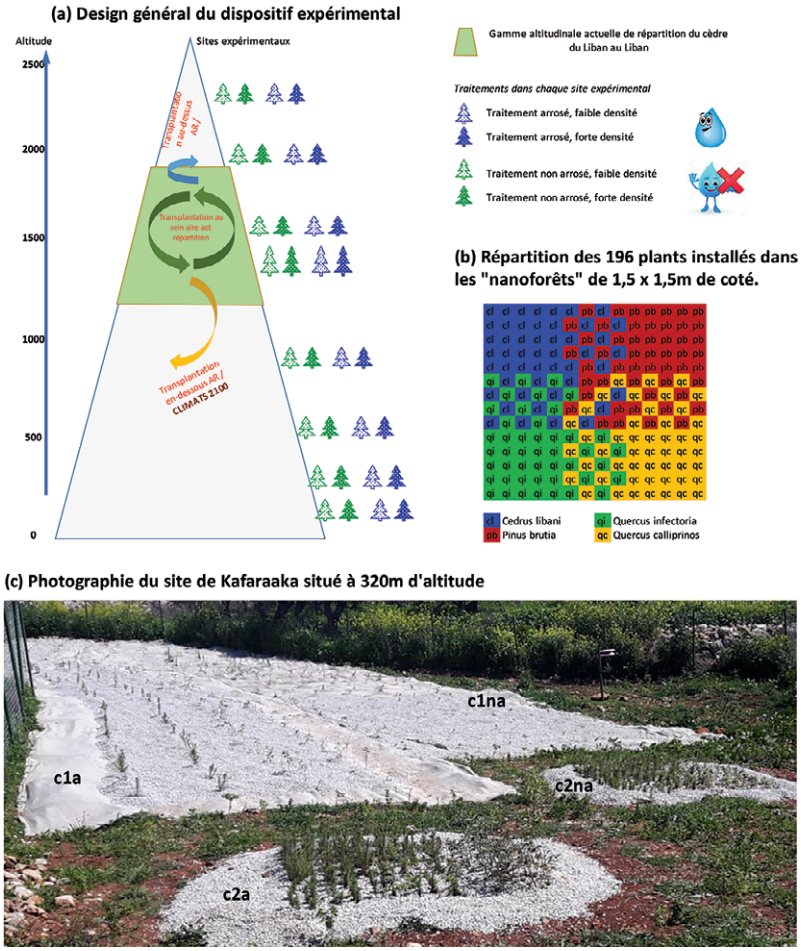

Fig. 3 : Illustration du dispositif expérimental mis en place pour étudier la gamme climatique de survie et de croissance du cèdre du Liban en lien avec le réchauffement climatique en cours. Photo (c), à l'arrière-plan : plantation à faible densité (1 plant chaque 50 cm) des 4 espèces méditerranéennes étudiées : *C. libani, P. brutia, Q. infectoria, Q. calliprinos* ; la moitié de la plantation est arrosée (c1a), l'autre ne l'est pas (c1na). Au premier plan, les deux nanoforêts correspondant aux plantations à forte densité (1 plant chaque 10 cm), l'une arrosée (c2a), l'autre non (c2na).

moyenne et haute altitude ont été réparties équitablement entre les sites, les combinaisons d'arrosage et les combinaisons de densité. Au total, 1360 cèdres ont été plantés dans le dispositif, soit 170 pour chacun des huit sites (Cf. Tab. I). Ce nombre de plants a été défini de façon à obtenir un nombre d'individus suffisant pour permettre des analyses statistiques entre traitements. Nous avons opté pour un nombre d'individus de l'ordre d'une trentaine par combinaison croisant les facteurs étudiés altitude, arrosage, densité et composition (Cf. Tab. I).

Les mesures de survie ont été réalisées sur chaque plant au printemps de chaque année après transplantation pour évaluer la mortalité liée au froid hivernal et en automne pour évaluer la mortalité liée à la sécheresse estivale. Un plant a été considéré comme mort s'il ne possédait plus de feuilles vertes en période de végétation. Des mesures de hauteur ont été réalisées en octobre de chaque année après la période de végétation.

Pour connaître la distribution altitudinale du cèdre du Liban dans les conditions naturelles du Liban-nord, nous avons par ailleurs relevé la présence ou l'absence du cèdre sur 1241 sites hors agglomération et hors plantation dont 963 placettes réalisées sur le terrain et 278 sites photo-interprétés sur image satellitale dans des peuplements à faible couvert arboré (le plus souvent à haute altitude). Ces données ont mis en évidence la présence de cèdre dans 74 sites et permis de définir précisément la gamme d'altitude de l'espèce dans les conditions naturelles du Liban-nord.

Enfin, nous avons recueilli les températures mensuelles fournies par le modèle CHELSA V2 à résolution kilométrique (Karger *et al.*, 2017) pour l'année 2019 pour chacun des huit sites expérimentaux ainsi que les températures et précipitations moyennes pour la période trentenaire 1981-2010 pour les placettes échantillonnées dans les conditions naturelles. Nous avons également installé des thermomètres automatiques sur chacun des sites expérimentaux qui nous ont permis d'évaluer la précision des données CHELSA (de l'ordre de 1°C pour les températures mensuelles) et de fournir des valeurs extrêmes de température mesurées sur les sites. L'ensemble de ces données climatiques a permis de définir les gammes climatiques favorables au cèdre du Liban dans les forêts du Liban-nord et sur le dispositif établi.

Nb de plants de cèdre	Non arrosés	Arrosés	Total
Faible densité	36	36	72
Forte densité	49	49	98
Pur	25	25	50
Mélange	24	24	48
Total	85	85	170

Tab. I : Nombre de plants de cèdre étudiés par modalité sur chaque site expérimental. Sur les huit sites expérimentaux, 1360 plants de cèdre du Liban ont été étudiés.

Résultats

Gamme d'altitudes dans les conditions naturelles

L'analyse des présences/absences du cèdre relevées sur les 1241 placettes inventoriées dans les conditions naturelles montre que les populations de cèdres apparaissent à partir de 1240 m d'altitude (1er centile des présences) au Liban nord et se situent principalement entre 1350 et 1720 m (centiles 25-75) avec un optimum altitudinal à 1540 m. Elles disparaissent vers 1850 m d'altitude (dernier centile des présences) où elles constituent la limite forestière des peuplements à couvert fermé de la région (cf. Tab II).

Effet de l'altitude et de la sécheresse sur la survie du cèdre

Le taux de survie constant et élevé pour la modalité arrosée tout au long du gradient altitudinal comparé au taux de survie plus faible aux extrêmes climatiques pour la modalité non arrosée, met en évidence que le taux de survie des jeunes plants de *Cedrus libani* est peu sensible aux températures, mais diffère selon le niveau du stress hydrique appliqué (Cf. Fig. 4). Chez les plants poussant en conditions naturelles de

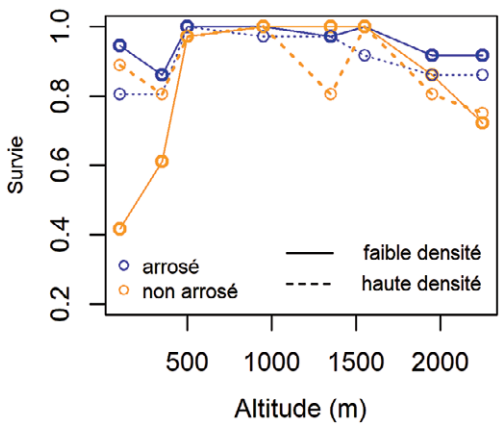

Fig. 4 : Effet de l'arrosage et de la densité de plantation sur la survie à 3 ans du cèdre du Liban le long du gradient d'altitude s'étendant de 110 à 2320 m au Liban.

stress hydrique et en l'absence d'interactions entre plants (placettes à faible densité), nous observons des taux de survie relativement faibles (40 à 60%) chez les plants ayant poussé en dessous de 500 m d'altitude, maximum, proches de 100 % chez les plants poussant entre 500 et 1700 m d'altitude et en baisse progressive pour atteindre un minimum de l'ordre de 75 % après 1900 m. Les précipitations estivales étant semblables (quasi nulles) tout le long du gradient altitudinal, le stress hydrique est déterminé par la température estivale. Il décroit donc régulièrement avec la baisse de température le long du gradient altitudinal. Les résultats montrent donc une baisse du taux de survie du cèdre avec un stress hydrique estival maximal (à basse altitude) mais aussi minimal quand il est accompagné de températures froides (à très haute altitude). Son optimum de survie correspond à des stress hydrique et thermique intermédiaires.

Croissance du cèdre le long du gradient altitudinal

La croissance du cèdre du Liban augmente légèrement des basses aux moyennes altitudes pour se stabiliser entre 500 et 1600m (Cf. Fig. 5). Pour cette gamme d'altitudes, les cèdres atteignent 35 à 40 cm à 2,5 ans (2 ans après plantation). La croissance chute ensuite de moitié à 1950 m pour atteindre 20 cm puis ne pas dépasser 15 cm en moyenne à 2300m (Cf. Fig. 5a). L'effet de l'altitude est donc marqué seulement pour les températures les plus froides. Après un an d'arrêt d'arrosage, aucune différence significative n'a été observée dans la croissance du cèdre sur les placettes à faible densité : les hauteurs moyennes des plants sont de 35,1 cm et 33,7 cm pour les modalités arrosée et non arrosée. Par contre, les différences sont plus marquées et significatives d'un point de vue statistique à forte densité : les hauteurs atteignent 31,7 et 27,6 cm en moyenne pour les modalités arrosée et non arrosée (Cf. Fig. 5b). Les différences de hauteurs sont marquées seulement entre 500 et 1500 m. La compétition pour les réserves hydriques semble donc avoir eu lieu pour les fortes densités essentiellement dans la partie médiane du gradient altitudinal étudié. A haute altitude, la faible croissance des plants et le niveau plus faible du stress hydrique liés aux moyennes thermiques fraîches explique probablement l'absence de différence de hauteur entre les modalités d'arrosage des plants à forte densité.

Effet des interactions entre arbres

La comparaison des placettes à faible et forte densité montre que le taux de survie et la croissance du cèdre du Liban ont été améliorés par la présence des voisins à basse altitude (<500m) : les taux de survie (Cf. Fig. 4) et la hauteur (Cf. Fig. 6) observés sont plus élevés chez les jeunes plants de cèdres plantés à forte densité que ceux observés chez les arbres plantés sans voisins à proximité. Plus particulièrement, pour les deux sites aux altitudes les plus faibles (110 et 320 m), ce sont les plants à forte densité qui sont en mélange avec d'autres essences qui ont une hauteur plus élevée (Cf. Fig. 6). Elles dépassent en effet de 17 % la croissance des témoins en croissance libre et cette différence est significative au seuil de 5%. Au-delà de 500 m d'altitude, les plants en croissance libre se développent significativement plus vite qu'à forte densité (Cf. Fig. 6) et aucune différence de survie n'est observée

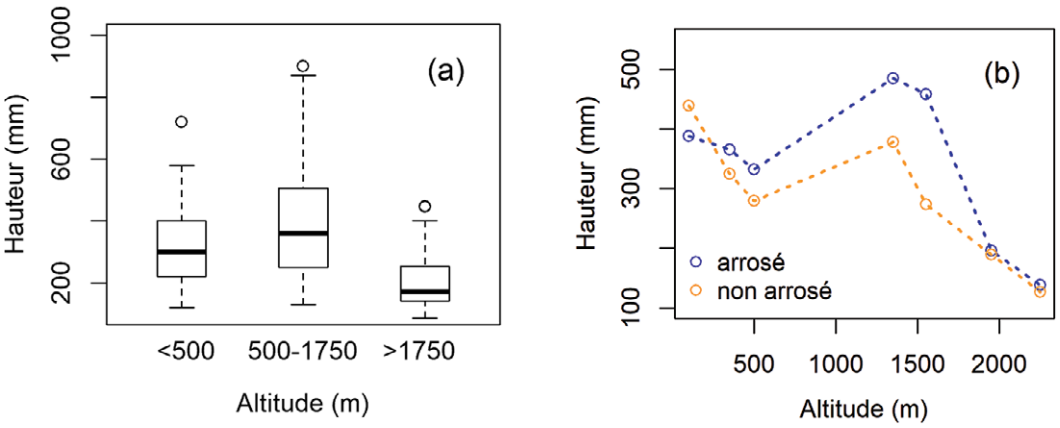

Fig. 5 : Hauteur du cèdre du Liban à 2,5 ans le long d'un gradient d'altitude s'étendant de 100 à 2200 m au Liban. (a) Gammes de hauteurs observées sur les placettes non arosées à faible densité. (b) Variations altitudinales de hauteur dans les nanoforêts en fonction du niveau d'arrosage.

chez les plants (jusqu'à 1600 m) quelles que soient les modalités de densité de plantation et d'arrosage (Cf. Fig. 2). Un effet positif d'une forte densité, et plus particulièrement en mélange, a donc été détecté sur le dispositif expérimental sur la survie et la croissance des plants de cèdre dans les conditions de sécheresse les plus drastiques. Des conditions de compétition semblent prévaloir, par contre, à altitude plus élevée où les conditions de sécheresse sont moindres.

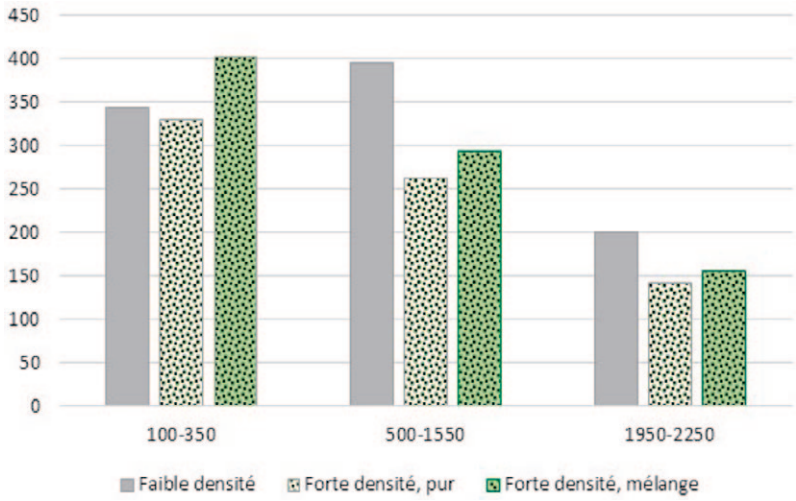

Fig. 6 : Comparaison des hauteurs des plants de cèdre du Liban en croissance libre (faible densité), en peuplement pur à forte densité et en peuplement mélangé à forte densité le long du gradient altitudinal en situation non arrosée.

Gamme climatique favorable à la survie et à la croissance du cèdre du Liban au stade juvénile

Dans les forêts du nord Liban, les températures moyennes annuelles correspondant aux premier et dernier centiles de distribution altitudinale du cèdre (1240-1850 m) sont égales à 13 et 9,4°C (moyenne 1981-2010). Dans les conditions naturelles, le cèdre apparaît donc comme une espèce se développant dans une gamme thermique étroite de quelques degrés autour de 10,5°C de moyenne annuelle (Cf. Tab. II). Si on définit comme élevé, un niveau de survie supérieur à 80 % à 3 ans, la gamme d'altitudes correspondant à une survie élevée du cèdre s'étend de 540 à 1980 m dans les placettes non arrosées du dispositif expérimental. Pour l'année 2019, seule année où le dispositif était mis en place pour laquelle des données climatiques CHELSA sont disponibles, cette gamme d'altitude correspond à une gamme de températures moyennes annuelles qui s'étend de 18,8 à 9,2°C (Cf. Tab. II). Dans cette gamme thermique, la croissance dans les sites non arrosés a été maximale dès 540 m jusque 1570 m soit de 18,8 à 11,7°C de température moyenne annuelle.

La comparaison des marges froides de distribution du cèdre observées dans le dispositif expérimental et dans les conditions naturelles met en évidence des marges semblables avec des moyennes annuelles légèrement supérieures à 9°C. Dans les conditions plus froides (site à 2320 m d'altitude et 6,9 °C de moyenne annuelle), le taux de survie à 3 ans reste élevé, mais le niveau de croissance devient très faible.

La comparaison des marges chaudes montre des valeurs beaucoup plus élevées dans le dispositif expérimental (18,8°C de tempéra-

Source de données	Forêts du Liban	Sites expérimentaux
Critère définissant la zone favorable	Centiles 1-99 de la distribution altitudinale des présences du cèdre	
Gamme altitudinale favorable	1240-1850m	540-1980m
Période, données thermique	1980-2010	2019
Temp. min. absolue (°C)	-	-9,1
Temp. moy. min. janvier, limite altitudinale haute	-4,6	-6,2
Temp. moy. Janvier, limite altitudinale haute	0,1	-1,7
Temp. moy. annuelle, limite altitudinale haute	9,4	9,2
Temp. moy. annuelle à 1540m (optimum altit. Liban)	10,5	11,7
Temp. moy. annuelle, limite altitudinale basse	13,0	18,8
Temp. moy. Juillet, limite altitudinale basse	21,6	26,3
Temp. moy. max. Juillet, limite altitudinale basse	25,4	29,5
Temp. max. absolue	-	44,7
Précipitations moy. annuelles, optimum alt., 1540m (mm)	1082	-
Précipitations printemps-été (avr.-sept.), optimum alt.	118	-
Précipitations été (juil.-sept.), optimum alt.	13	-

Températures : moyenne trentenaire 1980-2010 pour les conditions naturelles moyenne annuelle 2019 pour le dispositif expérimental.
Limites basse-haute de distribution : 1240-1850m d'altitude dans les conditions naturelles (centiles 1-99 % des présences de l'espèce), 540-1980 mètres d'altitude dans le dispositif (gamme de survie >80 % 2,5 ans après plantation).
Optimum altitudinal : 1540m.

Tab. II : Gammes de températures et de précipitations de présence du cèdre dans les conditions naturelles du Liban-nord et de survie dans le dispositif expérimental.

ture moyenne annuelle) par rapport aux marges trouvées dans les forêts du nord Liban (13,0°C). La gamme climatique du cèdre au stade juvénile semble donc s'étendre pour les températures chaudes bien au-delà des limites observées dans les conditions naturelles. Pour les conditions encore plus chaudes (sites expérimentaux à 320 et 110 m d'altitude soit 19,6 et 20,9 °C de température moyenne annuelle), le taux de survie à 3 ans chute nettement avec cependant un effet favorable sur la survie et la croissance d'une mise en mélange de l'espèce avec d'autres essences.

Au contraire des températures, les précipitations ne varient quasiment pas avec l'altitude dans la région d'étude : les précipitations moyennes annuelles sont élevées et varient de 1030 à 1360 mm et les précipitations estivales, qui varient entre 12 et 14 mm en moyenne selon les altitudes, peuvent être considérées comme quasiment nulles sur tout le gradient altitudinal.

L'examen des caractéristiques climatiques complètes des sites expérimentaux favorables au cèdre (Cf. Tab. II) montre que le cèdre du Liban supporte au stade juvénile une gamme de températures plus étendue vers les climats chauds que celles observées dans les conditions naturelles. Au Liban, ces températures sont associées à des déficits hydriques estivaux très marqués, typiques du climat méditerranéen.

Discussion

La limite altitudinale supérieure froide de distribution du cèdre du Liban

L'analyse de la survie et de la croissance du cèdre dans les sites du dispositif expérimental permet d'approcher les limites climatiques de sa distribution. Notre étude montre qu'au-delà de sa limite altitudinale haute dans les conditions naturelles, le niveau de survie des jeunes plants de cèdre décroît progressivement avec l'altitude parallèlement avec une forte baisse de sa croissance. Cette baisse de performance du cèdre au-delà de sa limite altitudinale haute est cohérente avec la majorité des résultats trouvés pour d'autres espèces dans les études de transplantation (Hargreaves *et al.,* 2014). Elle n'explique cependant pas complètement la disparition du cèdre dans les conditions naturelles car le niveau de survie reste élevé, aux environs de 75 % à 2 320 m pour les plants non arrosés. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer cette absence : la prédation des graines importante à haute altitude (Doublet, 2020 ; Braun & Vellend, 2014), la difficulté d'installation des semis dans des conditions de sol et de compétition herbacées contraignantes à cette altitude (Carter & Prince, 1985) ou enfin la destruction humaine historique des peuplements de très haute altitude associée à une régénération plus contrainte qu'aux altitudes plus basses.

L'analyse des différences de survie entre modalités du dispositif expérimental a d'autre part permis de mettre en évidence le fort effet du stress hydrique, associé aux basses températures sur la mortalité du cèdre au niveau de sa marge froide. Cet effet n'était pas du tout attendu. En effet, la limite froide de distribution des espèces est reliée généralement à des contraintes thermiques (Körner *et al.,* 2016) associées parfois à des limites historiques de dispersion (Svenning & Skov, 2007) ou à des interactions biotiques (Carter & Prince, 1985). Il est probable que les fortes contraintes hydriques spécifiques aux milieux méditerranéens expliquent la double contrainte hydrique et thermique observée pour la limite froide de distribution du cèdre au Liban. Le taux de mortalité très faible du cèdre pour la modalité arrosée à très haute altitude montre qu'il semble possible de planter cette espèce au-delà de la limite froide des peuplements naturels si un apport d'eau est effectué les premières années après plantation. La faible croissance observée conduirait cependant à réaliser cette opération plutôt pour un objectif paysager ou de restauration écologique plutôt que de production de bois. Sur la base de nos résultats, des mesures de migration assistée vers les hautes altitudes pour anticiper le réchauffement climatique semble réalisables dès maintenant.

La limite altitudinale inférieure chaude du cèdre

En deçà de 500 m d'altitude, l'effet positif de l'arrosage sur la survie des jeunes plants de cèdre du Liban en croissance libre est clairement mis en évidence. C'est donc la sécheresse, et non pas les fortes températures, qui constitue le facteur limitant la survie du cèdre du Liban à la limite inférieure de sa distribution potentielle. Cet effet de la

sécheresse, comme cause de la limite chaude de distribution des espèces, est retrouvé dans la bibliographie où, selon les espèces, sécheresse, température ou interactions biotiques sont tour à tour mises en avant pour expliquer cette limite (CAHILL *et al.*, 2014 ; PAQUETTE & HARGREAVES, 2021).

Cependant, pour cette gamme d'altitudes très faibles, nous avons aussi observé un effet de facilitation lié au mélange d'essences sur la survie du cèdre dans les nanoforêts. Cet effet de facilitation en milieu très contraignant a été retrouvé chez d'autres espèces et abondamment discuté (MAESTRE *et al.*, 2005, BROOKER *et al.*, 2008). Dans notre cas, le cèdre pourrait se comporter comme une essence d'ombre à basse altitude (LEPOUTRE, 1961). Dans le dispositif, le pin et le chêne, plus développés que le cèdre, fournissent en peuplement mélangé un couvert susceptible de protéger ce dernier contre une trop forte évapotranspiration. Une moindre évapotranspiration en période de fort stress hydrique pourrait avoir pour conséquence une limitation de sa mortalité. Ce phénomène a déjà été observé chez le cèdre de l'Atlas pour lequel les meilleurs taux de survie sont atteints sous des couverts végétaux modérés qui réduisent l'évapotranspiration et protègent les jeunes semis (EZZAHIRI & BELGHAZI, 2000). La forte importance des interactions positives qui compensent presque complètement l'effet du stress hydrique à très basse altitude pose la question de la capacité du cèdre à survivre à des altitudes très basses et de l'intérêt d'utiliser cette essence en peuplements mélangés.

La limite à 540 m d'altitude à partir de laquelle la survie et la croissance du cèdre sont optimales, indépendamment de la densité du peuplement et de l'arrosage, est largement inférieure à la limite actuelle de distribution observée vers 1200 m d'altitude en conditions naturelles. Si notre étude met en évidence la capacité du cèdre à se développer à basse altitude au stade juvénile, elle ne permet pas d'expliquer les écarts entre les limites chaudes observées dans la nature et dans le dispositif expérimental. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer cette différence : (i) les prélèvements historiques importants et qui remontent à plusieurs millénaires constituent probablement la cause majeure de l'absence du cèdre à basse altitude ; (ii) la compétition par les essences méditerranéennes, essentiellement chênes et pin qui ont leur optimum écologique à basse altitude et qui pourraient, au-delà d'un effet positif sur le cèdre en début de vie du peuplement, devenir à long terme des compétiteurs de l'espèce au stade végétatif ou reproductif ; (iii) des périodes climatiques plus contraignantes que celle analysée ou la présence des ravageurs (e.g. *Cephalcia tannourinensis*) (NEMER *et al.* 2014) qui pourraient agir à tout moment au cours de la vie du peuplement ; (iv) ou enfin des problèmes de reproduction du cèdre à très basse altitude, comme l'a montré Toth (1978) chez *Cedrus atlantica*. Chez cette espèce, le gel est important pour la désarticulation et la dissémination des graines et son absence à faible altitude peut compromettre la régénération des peuplements et constituer une limitation à leur pérennité.

Gamme altitudinale et climatique de survie et de croissance du cèdre

Les populations de cèdres échantillonnées pour ce travail dans les conditions naturelles du Liban-nord se situent principalement entre 1240 et 1850 m d'altitude avec une présence optimale vers 1540 m d'altitude. Cette gamme, est cohérente avec celle fournie par KHURI *et al.* (2000), qui indiquent une gamme de répartition du cèdre au Liban comprise entre 1100 et 1925 m après estimation par imagerie satellitale. L'approche de terrain employée dans notre étude apporte des précisions sur la distribution altitudinale du cœur de distribution de l'espèce situé entre 1350 et 1700 m et sur son optimum altitudinal vers 1540 m. Cet optimum altitudinal calculé pour le Liban est très proche de la valeur de 1485 m indiquée par LOPEZ-TIRADO *et al.* (2021), comme l'optimum altitudinal du cèdre évalué à l'échelle de l'ensemble de son aire de répartition.

Dans les conditions actuelles du Liban, notre expérimentation montre que le cèdre du Liban pourrait commencer à pousser à partir de 500 m d'altitude avec un taux de survie proche de 100 % jusqu'à environ 2000 m. Une gamme d'altitudes favorables s'étendant sur un dénivelé de 1500 mètres correspond à environ le double de la gamme trouvée dans les conditions naturelles du Liban. Elle est cependant cohérente avec celle trouvée en Turquie par BOYDAK *et al.* (2003) qui s'étend de 800 à 2100 m avec des petites populations pouvant se répartir entre 500-600 m et 2400 m. La gamme de températures moyennes annuelles favorables issue de notre dispositif s'étend de 9,2 à 18,8°C

(températures 2019). Une gamme de 6 à 15°C est mentionnée par Akkemik (2003) pour la localisation de peuplements en bordure nord de l'aire de distribution en Turquie. Des sites à 7,3 et 7,9°C de température moyenne annuelle ont été étudiés par Messinger (2015) et Güney (2017) en Turquie et en Allemagne. Ces valeurs moyennes sont proches de celles du site le plus haut en altitude de notre dispositif (2320 m et 6,9° de moyenne annuelle) dans lequel le taux de survie reste élevé. Elles semblent confirmer la possibilité de planter du cèdre au-delà de sa limite froide actuelle. Il n'existe malheureusement pas d'informations thermiques précises sur les limites chaudes du cèdre du Liban à l'échelle de son aire de répartition naturelle qui permettraient d'évaluer si les valeurs trouvées avec notre dispositif sont valides à l'échelle de la vie des peuplements. Un modèle climatique de distribution du cèdre du Liban a cependant montré que l'aire climatiquement favorable à cette essence semble beaucoup plus importante que l'aire actuellement occupée (Lopez-Tirado, 2021). Ces résultats sont cohérents avec le doublement de la gamme altitudinale de vie favorable observé dans notre dispositif par rapport aux conditions naturelles. Outre l'extension de l'aire de distribution du cèdre à haute altitude, il semble cohérent d'explorer si cette aire pourrait être étendue avec succès sur une partie de l'étage euméditerranéen dont les limites altitudinales au Liban sont comprises entre 500 et 1000 m environ.

Yaacoub NASSIF
Paulina PINTO
Jean-Claude GEGOUT
Université de Lorraine, AgroParisTech, INRAE
Silva, 54000, Nancy
France
cedrus.espaces-verts@orange.fr

Conclusion

Le dispositif expérimental mis en œuvre sur un gradient s'étendant de 110 à 2320 mètres d'altitude a permis d'augmenter les connaissances sur l'écologie du cèdre par rapport au climat et de déterminer les facteurs climatiques et biotiques limitant sa distribution à basse et haute altitude. Il a notamment permis de mettre en évidence un fort taux de survie et de croissance à altitude beaucoup plus basse que la gamme altitudinale de distribution naturelle du cèdre au Liban. L'étude a également montré le poids très important du stress hydrique comme déterminant de la marge altitudinale chaude mais aussi de la marge froide de distribution du cèdre. La comparaison des résultats obtenus avec les conditions climatiques des cédraies naturelles confirme le caractère relictuel des forêts de cèdre actuellement présentes au Liban. Même si cette expérimentation ne s'est intéressée qu'au stade juvénile, la capacité du cèdre du Liban à se développer et à se régénérer hors de sa distribution actuelle devrait être prise en compte pour affiner les zones potentielles d'introduction en contexte de changement climatique. Des expérimentations de plus long terme, introduites dans la gamme thermique favorable mise en évidence au cours de cette expérimentation pourraient être mises en œuvre pour confirmer les résultats obtenus.

Y.N., P.P., J.-C.G.

Remerciements
Nous remercions vivement Juan Fernandez pour sa relecture attentive du manuscrit.

Bibliographie

Addar A., Khedache Z., Righi H., Dahmani-Megrerouche M (2016) Suivi de la régénération naturelle du Cèdre de l'Atlas dans les premiers stades de développement dans quelques stations du massif forestier de Chréa (Atlas blidéen, Algérie). *Revue d'écologie,* 71 (4), 367-384.

Akkemik, Ü. (2003) Tree rings of *Cedrus libani* at the northern boundary of its natural distribution, I*AWA Journal,* 24(1), 63-73.

Aussenac G., Valette J.C. (1982) Comportement hydrique estival de *Cedrus atlantica* Manetti, *Quercus ilex* L. et *Quercus pubescens* Willd. et de divers pins dans le Mont Ventoux. *Annals of Forest Sciences,* 19 (1), 41-62.

Aussenac G. (1984. Le Cèdre, essai d'interprétation bioclimatique et écophysiologique, *Bulletin de la Société Botanique de France*. Actualités Botaniques, 131:2-4, 385-398.

Boydak M. (2003) Regeneration of Lebanon cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) on karstic lands in Turkey. *Forest Ecology and Management*, 178, 231-243.

Brooker, R. Maestre, F. & Callaway, R & Lortie C & Cavieres L. & Kunstler G. & Liancourt P. & Tielbörger K. & Travis J. & Anthelme F. & Armas C. & Coll L. & Corcket E. & Delzon S. & Forey E. & Kikvidze Z. & Olofsson J. & Pugnaire F. & Quiroz C. & Michalet R. (2007) Facilitation in plant communities: The past, the present, and the future. *Journal of Ecology,* 96, 18 - 34.

Brown, C. D., Vellend, M. (2014) Non-climatic constraints on upper elevational plant range expansion under climate change. Proceedings of the Royal Society, *Biological Sciences,* 281: 2014.1779.

Cahill A., Aiello-Lammens M., Fisher-Reid M., Hua X, Karanewsky C., Yeong Ryu H, Sbeglia G., Spagnolo F., Waldron J., Warsi O., Wiens J. (2013) How does climate change cause extinction? Proceedings of the Royal Society, *Biological Sciences, 2*80: 2012.1890.

Carter N., Prince D. (1985). The effect of climate on plant distributions By Richard N. Carter, Stephen D. Prince Book: The Climatic Scene – Edition 1st Edition First Published 1985 Imprint: Routledge - 20p.

Doublet V. (2020). Interactions biotiques et dynamiques des populations : approches empiriques et théoriques de la prédation pré-dispersion des graines par les insectes. *Sciences agricoles*. Université Montpellier. NNT : 2020MONTG007.

Ezzahiri M. & Belghazi B. (2000). Synthèse de quelques résultats sur la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas au Moyen Atlas (Maroc). Science et changements planétaires. *Sécheresse*, 11: 79-84.

Güney, A., Zweifel, R., Turkan, S., Zimmermann, R., Wachendorf, M. & Guney, C.O. (2020) Drought responses and their effects on radial stem growth of two co-occurring conifer species in the Mediterranean mountain range. *Annals of Forest Science*, 77, 105.

Güney, A., Kuppers, M., Rathgeber, C., Sahin, M. & Zimmermann, R. (2017). Intra-annual stem growth dynamics of Lebanon Cedar along climatic gradients. *Trees-Structure and Function*, 31, 587-606.

Guinier, P. (1952). Le régime forestier au Liban au IIe siècle. *Revue Forestière Française*, 3, 141-144.

Guiot J, Cramer W (2016). Climate change: The 2015 Paris Agreement thresholds and Mediterranean basin ecosystems. *Science*, 354, 465-468.

Hajar L., Haïdar-Boustani M., Khater C., Cheddadi R. (2010). Environmental changes in Lebanon during the Holocene: Man vs. climate impacts. *Journal of Arid Environments,* 74 (7), 746-755.

Hajar L., François L., Khater C., Jomaa I., Déqué M., Cheddadi R. (2010). *Cedrus libani* (A. Rich) distribution in Lebanon: Past, present and future. Comptes Rendus Biologiques, 333 (8), 622–630.

Hargreaves AL., Samis KE., Eckert CG. Are species' range limits simply niche limits writ large? (2014) A review of transplant experiments beyond the range. *American Naturalist*, 183(2), 157-73.

Hepper, F.N. (2001) The Cedar of Lebanon in History. *Archaeology & History in Lebanon,* 2-7.

IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte V., Zhai P., Pirani A., Connors S. L., Péan C., Berger S., Caud N., Chen Y., Goldfarb L., Gomis M. I., Huang M., Leitzell K., Lonnoy E., Matthews J.B.R., Maycock T. K., Waterfield T., Yelekçi O., Yu R. and Zhou B. (eds.)]. Cambridge University Press.

Karger, D.N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R.W., Zimmermann, N.E., Linder, H.P. & Kessler, M. (2017) Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific Data* 4, 170122.

Khuri S., Shmoury M.R., Baalbaki, R. Maunder M., Talhouk S.N. (2000). Conservation of the *Cedrus libani* populations in Lebanon: history, current status and experimental application of somatic embryogenesis. *Biodiversity and Conservation* 9, 1261–1273.

Liphshitz, N., Biger, G. (1991). Cedar of lebanon (*Cedrus libani*) in Israël during antiquity. *Israel Exploration Journal*, 41, 167-175.

Körner, C., Basler, D., Hoch, G., Kollas, C., Lenz, A., Randin, C. F., Vitasse, Y., Zimmermann, N. E. (2016). Where, why and how? Explaining the low-temperature range limits of temperate tree species. *Journal of Ecology,* 104(4), 1076-1088.

Lepoutre, B. (1961). Recherches sur les conditions édaphiques de régénération des cédraies marocaines. *Annales de la Recherche Forestière au Maroc,* 6: 1-211.

Lopez-Tirado, J., Vessella, F., Stephan, J., Ayan, S., Schirone, B. & Hidalgo, P.J. (2021). Effect of climate change on potential distribution of *Cedrus libani* A. Rich in the twenty-first century: an Ecological Niche Modeling assessment. *New Forests,* 52, 363-376.

Loffet H.C. (2004). Sur quelques espèces d'arbres de la zone syro-palestinienne et libanaise exportées vers l'Égypte Pharaonique, *Archaeology and History in Lebanon,* 10 -33.

Maestre, F.T., Valladares, F. & Reynolds, J.F. (2005). Is the change of plant-plant interactions with abiotic stress predictable? A meta-analysis of field results in arid environments. *Journal of Ecology,* 93, 748-757.

Messinger, J., Güney, A., Zimmermann, R., Ganser, B., Bachmann, M., Remmele, S. & Aas, G. (2015). *Cedrus libani:* A promising tree species for Central European forestry facing climate change? *European Journal of Forest Researc*h, 134, 1005-1017.

Nemer N., El Beyrouthy M., Lahoud C., Mnif W., Bashour I., Kawar N. (2014) The influence of soil properties on the development of *Cephalcia tannourinensis* Chevin (Hym. Pamphiliidae) infesting the cedar forests in Lebanon. *African Journal of Biotechnology,* 13, 4369–4381

Paquette, A., Hargreaves, A.L. (2021) Biotic interactions are more often important at species' warm versus cool range edges. *Ecology Letters,* 00, 1– 12.

Quézel, P. (1998) Cèdres et cédraies du pourtour méditerranéen : signification bioclimatique et phytogéographique. *Forêt méditerranéenne,* 19, 243-260.

Quézel P., Barbero M. (1985) - Carte de la végétation potentielle de la région méditerranéenne, I : Méditerranée Orientale. Edit. CNRS, Paris, 69 p.

Regato P., Salman R. (2008). Mediterranean mountains in a changing world: guidelines for developing action plans, IUCN Centre for Mediterranean Cooperation.

Svenning, J.-C., Normand, S., & Skov, F. (2008). Postglacial dispersal limitation of widespread forest plant species in nemoral Europe. *Ecography*, 31(3), 316-326.

Talhouk S.N., Zurayk R., Khuri, S. (2001) Conservation of the coniferous forests of Lebanon: past, present and future prospects. *Oryx*, 35, 206-215.

Toth J. (1978). Contribution à l'étude de la fructification et de la régénération naturelle du Cèdre de l'Atlas (Cedrus altlantica Manetti) dans le sud de la France. Thèse Docteur Ingénieur, Université Marseille 136 p.

Vernet J.-L. (1990). Man and vegetation in the Mediterranean area during the last 20,000 years, in : F di Castri, A.J. Hansen, M. Debussche (Eds.), Biological Invasions in Europe and the Mediterranean Basin, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.

Résumé

Dans un contexte de forte vulnérabilité du cèdre du Liban liée à des pressions anthropiques historiques et aux risques engendrés par le réchauffement climatique, nous avons cherché à évaluer la gamme climatique réelle de survie et de croissance du cèdre au stade juvénile. Nous avons relevé la présence du cèdre dans 1241 placettes situées dans l'aire naturelle de l'espèce au Liban pour préciser sa gamme altitudinale dans les conditions naturelles. Nous avons également établi dans cette région un dispositif de 8 sites expérimentaux régulièrement répartis entre 110 et 2320 m d'altitude en étudiant dans chaque site les effets de la densité de plantation, du mélange des essences et de l'arrosage. Nous avons mesuré la croissance et la survie à 3 ans des 1360 cèdres plantés dans le dispositif. Dans les conditions naturelles, la répartition du cèdre s'étend entre 1240 et 1850 m d'altitude. L'étude a mis en évidence le poids très important du stress hydrique comme déterminant de la marge altitudinale chaude mais aussi de la marge froide de distribution du cèdre. L'absence d'arrosage conduit ainsi à une forte baisse de survie et de croissance aux altitudes inférieures à 500 m et à une baisse moindre au-delà de 1900 m. L'effet de l'arrosage est nul pour les altitudes intermédiaires où la croissance et la survie de l'espèce sont optimales. Les résultats mettent en évidence une extension possible importante de l'aire de distribution du cèdre à basse altitude et une extension moindre à haute altitude ouvrant la voie à des tests d'élargissement de la zone de plantation de cette espèce au Liban et dans les régions aux climats comparables.

Summary

What are the climatic limits around the Mediterranean Rim for the survival and growth of Cedars of Lebanon at their juvenile stage ?

In this study, we sought to determine the climate range for the survival and growth of cedars of Lebanon in their juvenile stage. To this end, we investigated: i) the lower and upper altitude limits for cedars in currently-prevailing conditions in Lebanon, independent of the historic impact of their exploitation by man; ii) whether the climate range for the optimal growth of cedars at their juvenile stage corresponds to their optimal altitude level as regards distribution; iii) whether the cedar's natural altitude distribution is conditioned by the species' physiological limits in its response to cold at high altitudes, to heat and drought at low altitudes, or to competition with other Mediterranean plant species . Our study has enabled us to extend our knowledge of this cedar's ecology in relation to climate and determine which climatic and biotic factors limit its distribution at low and high altitudes. The study also highlights a high rate of survival and growth at much lower altitudes than those in the cedar of Lebanon's natural distribution range. In addition, our work revealed the very significant impact of arid conditions in determining the altitude threshold with heat and, also, the limitation in distribution due to cold. The comparison of results obtained for the climatic conditions prevailing in natural cedar stands confirm the relictual character of the cedar forests existing in Lebanon today.