

Le cèdre du Liban en Turquie : une espèce prometteuse pour le reboisement et la réhabilitation forestière sous la contrainte du changement climatique

par Sezgin AYAN, Cengiz YÜCEDAĞ et Muhidin ŠEHO

Cette synthèse bibliographique fait le point des connaissances actuelles sur le cèdre du Liban : son aire de répartition et les menaces qui pèsent sur lui, les activités de production et de tests de graines, son élevage en pépinière, les techniques de plantation, régénération et entretien, ses performances en reboisement, sa capacité d'adaptation au changement climatique, et l'amélioration génétique. Ces données seront utiles aux forestiers et aux scientifiques de Turquie et d'Europe centrale qui travaillent avec cette espèce importante et précieuse face au changement climatique.

Introduction

Le changement climatique a directement affecté les forêts à travers le monde via les changements de température, les précipitations, la fréquence et l'ampleur des tempêtes, la fréquence des incendies et la fréquence et l'ampleur des épidémies de ravageurs et de maladies (PAWSON *et al.* 2013). Malgré le déclin continu de l'étendue des forêts naturelles, les superficies mondiales de reboisement et de réhabilitation augmentent rapidement. En ce sens, l'établissement de nouvelles forêts est une tâche impérative afin de produire du bois, réduire la pression sur les forêts naturelles, conserver la biodiversité, atténuer les changements climatiques, répondre aux exigences sociales et bien d'autres (CVJETKOVIĆ et MATARUGA 2021). En 2020, les zones de reboisement et de réhabilitation achevées en Turquie sont respectivement de 899 522 ha et 3 254 169 ha (OGM 2020). Le cèdre du Liban (*Cedrus libani* A. Rich.), nommé localement cèdre du Taurus, du nom des montagnes Turques où il est le plus abondant, est l'une des espèces d'arbres largement utilisées (AYAN 2015).

Le cèdre du Liban, que l'on trouve naturellement en Turquie, au Liban et en Syrie (Cf. Fig. 1), est l'une des quatre espèces de cèdres. Les trois autres sont *C. atlantica* (Endl.) Manetti ex Carriere dans le sud de la Méditerranée (Algérie et Maroc), *C. brevifolia* (Hook. F.) Henry à Chypre et *C. deodora* (Roxb.) G. Don en Himalaya (LOPEZ-TIRADO *et al.* 2021).

Les forêts de cèdre du Liban en Turquie couvrent 482 391 ha (OGM 2015a), ce qui représente la grande majorité de son aire de répartition totale (BARITEAU 1992). En général, l'espèce pousse entre 800 et 2100 m dans les montagnes du Liban (BOYDAK 2003, 2014, AYAN & YER 2016, AYAN *et al.* 2016). Bien qu'il soit considéré comme un symbole de longévité, de sainteté et de paix (MUSSELMAN 2007), le cèdre du Liban est vulnérable selon l'UICN en raison de sa distribution restreinte, d'un déclin de la qualité de son habitat et de la perte d'individus matures résultant du pâturage des chèvres, de l'urbanisation, de coupes sélectives, d'épidémies de ravageurs et des dommages causés par les sports d'hiver (GARDNER 2013 ; ÇALIKOGLU 2008).

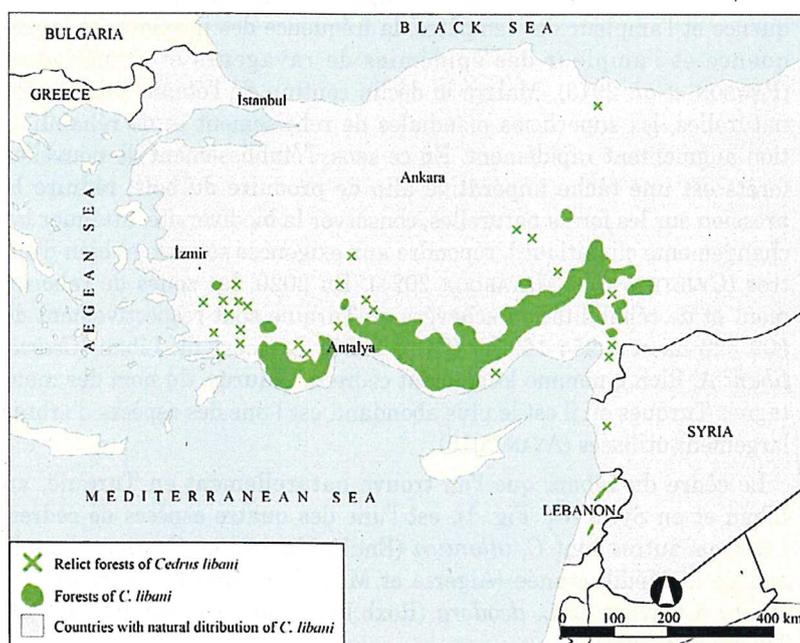
Le cèdre du Liban a une tolérance exceptionnelle à la sécheresse, illustrée par la croissance régulière des cernes des arbres, même à Elmali-Antalya (aire de répartition optimale de l'espèce en Turquie) avec de très faibles précipitations totales (680 mm) et une température moyenne élevée (18°C) (MESSINGER *et al.* 2015). Pendant la sécheresse estivale, l'approvisionnement en eau minimum requis pour l'espèce à Elmali est fourni par des sols fins dans des formations calcaires profondes et crevassées, avec une capacité de rétention d'eau élevée (BOYDAK *et al.* 2018). Il pousse dans des conditions froides et subhumides pendant la période de végétation, et très bien sur les matériaux parentaux tendres tels que le flysch et les

Fig. 1 :
Aire naturelle
de distribution
de *Cedrus libani*.

dépôts colluviaux. Dans son aire de répartition naturelle, la température moyenne annuelle varie de 6°C à 18°C, et les précipitations moyennes annuelles sont supérieures à 600 mm. Il préfère les zones enneigées, les graines commençant à germer sur le manteau neigeux. Il forme des peuplements purs uniquement sur les pentes orientées au nord (ATALAY *et al.* 2014), et des peuplements mixtes occupés par *Abies cilicica* et *Pinus nigra* sont dominants dans la partie supérieure de la ceinture forestière des monts Taurus (ATALAY *et al.* 2018).

Une étude récente (LÓPEZ-TIRADO *et al.* 2021) a souligné que les précipitations annuelles sont le meilleur prédicteur de la réussite des plantations avec le cèdre du Liban, et que les caractéristiques climatiques sont plus pertinentes que les autres caractéristiques du site pour évaluer sa croissance en hauteur. Sa survie a tendance à augmenter avec la température (CORREIA *et al.* 2018).

Cette synthèse bibliographique vise à traiter des aspects pertinents pour les activités de reboisement et de réhabilitation du cèdre du Liban. Ces aspects comprennent la production et les tests de graines, les activités de pépinière, plantation, régénération, entretien et sélection, les performances du cèdre du Liban en reboisement et réhabilitation, sa capacité d'adaptation, les scénarios de changement climatique. Il vise à accroître le succès des travaux de boisement et de réhabilitation de cette espèce en compilant les connaissances actuelles sur ces aspects.



Production de graines

Le cèdre du Liban produit généralement les premiers cônes à l'âge de 30 ans (ERKULOĞLU, 1992), et des graines fertiles à l'âge de 40 ans (GEZER & YÜCEDAĞ 2013). Une année de forte production de graines apparaît généralement à des intervalles de 2-3 ans. Les cônes matures sont récoltés de la mi-septembre à la mi-novembre (OGM 2015b) mais le meilleur moment pour la collecte des cônes est novembre. L'extraction des graines d'un cône est un processus économique, facile et mécanique (GEZER & YÜCEDAĞ 2013). Les cônes sont conservés en plein air et irrigués deux fois par jour pendant 20 min avec un arroseur. Ensuite, les graines sont extraites manuellement des cônes (ALPTEKIN 1996, GÜLCÜ *et al.* 2010). Le

poids de 1000 graines est de 76,36 g. Les graines sont conservées au froid à +3-4 °C pour un stockage à court terme (GEZER & YÜCEDAĞ 2013) et à des températures inférieures à -11 °C pour un stockage à long terme jusqu'au semis (KARAŞAHİN *et al.* 2001).

Test des graines

L'analyse des graines forestières est une procédure standard pour déterminer leurs qualités externes. Les paramètres suivants sont déterminés : pureté, proportion de graines creuses, masse de mille graines, proportion de graines viables par kg déterminée sur la base ISTA (2020) (*International Rules for Seed Testing*). Les graines des différentes espèces d'arbres ont besoin de conditions de germination différentes, en particulier une température adéquate est importante pour interrompre la dormance. En raison de la durée variable de la stratification (interruption de la dormance), il peut y avoir des retards dans la mise en germination des graines, toutes les espèces d'arbres ne pouvant pas être traitées ou semées en même temps.

Dans le cas de *Cedrus libani* (projet Taurus cedar), il n'y avait pratiquement aucune expérience en matière de test des graines. Elle a été acquise dans le cadre du projet CorCed. En pratique, un kilo contient 5000 à 10000 graines, donnant 3000 à 5000

plants. Dans l'Union européenne (UE), la commercialisation du matériel forestier de reproduction du cèdre du Liban est réglementée par la Directive 1999/105/CE du 22 décembre 1999 (JOURNAL OFFICIEL DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES 2000). Dans le cas de livraisons de graines en provenance de l'UE, les résultats des tests sont indiqués sur le bon de livraison. Ces chiffres clés sont très importants pour les pépinières afin qu'elles puissent planifier les quantités de graines requises pour la production des plants ainsi que les surfaces nécessaires.

Le tableau I montre les résultats des tests de graines de différentes origines et années de récolte au cours de la période du projet.

Pépinières

Les graines de cèdre ont des obstacles à la germination tels que des inhibiteurs de germination et des embryons immatures. Il a été suggéré d'imbibber les graines d'eau pour obtenir la germination (ALPTEKİN 1996 ; YILMAZ & TONGUÇ 2014). Des tests de différents régimes de température et pré-refroidissement pour surmonter la dormance des graines ont révélé que des températures de germination de 4 et 8 °C convenaient à la fois aux graines fraîches et après pré-refroidissement. Une autre nouvelle recherche a souligné que la stratification à froid pendant 30 jours et les prétraitements à 100 ppm d'acide gibbérellique (GA3) étaient les fac-

Tab. I : Résultats des analyses de graines du cèdre du Liban réalisées au Bavarian office for Forest Genetics.

* Le test au tétrazolium est destiné à mesurer la viabilité des graines. Cette molécule réagit avec un enzyme des cellules de la graine, donnant un précipité violet, d'autant plus intense qu'il y a de cellules vivantes et qu'elles sont physiologiquement actives.

Année de récolte	Provenance	Pays	Taux d'humidité (%)	Pureté (%)	Poids de 1000 graines (g)	Graines ou Tétrazolium test* [%]			Viabilité des graines /kg
						Graines viables	Graines non viables	Graines vides	
2016	Ehden	Liban	8,2	98,44	70,48	40	17	36	6.320
2016	Ain Zhalta	Liban	6,3	98,53	89,38	38	32	17	5.071
2016	Adana Pozanti	Turquie	7,3	99,58	75,64	59	21	16	7.965
2016	Mersin Anamur Abonos	Turquie	8,1	82,74	54,04	6	75	17	919
2016	Amasya niksar Catalan	Turquie	9,3	84,05	47,60	20	45	31	3.620
2016	Antalya Kas	Turquie	6,5	97,69	67,53	51	12	32	7.343
2016	K. Maras Andirin Elmadagi	Turquie	9,8	90,25	66,89	24	49	24	3.373
2016	Antalya Finike	Turquie	7,0	98,76	71,68	49	21	23	6.820
2016	Eskisehir, Afyon-Sultandagi	Turquie	13,9	82,19	46,28	2	73	23	266
2017	Kahramanmaras, Sucati	Turquie		90,24	71,96	19			2.006
2018	Egirdir-Belcegez	Turquie	12,3	99,35	58,97	37	19	44	6.207
2018	Ermenek-Kazanci	Turquie	11,5	99,52	64,70	51	9	40	7.807
2018	Isparta-Senirkent	Turquie	14,1	99,39	73,15	76	14	10	10.258
2017	11233 Mersin	Turquie	7,0	99,72	61,14	60	27	13	9.868
2017	22239 Isparta	Turquie	7,8	99,77	64,23	59	26	15	9.126
2017	23245 Konya	Turquie	7,3	99,78	62,48	66	21	13	10.580

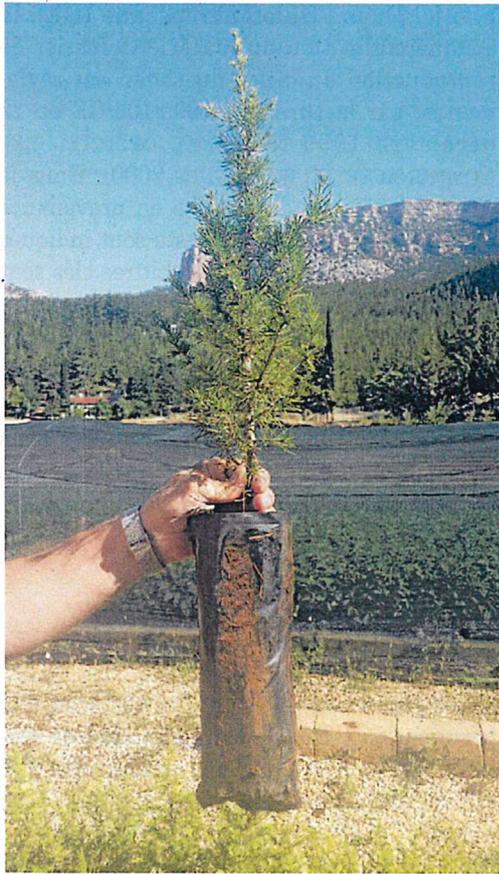
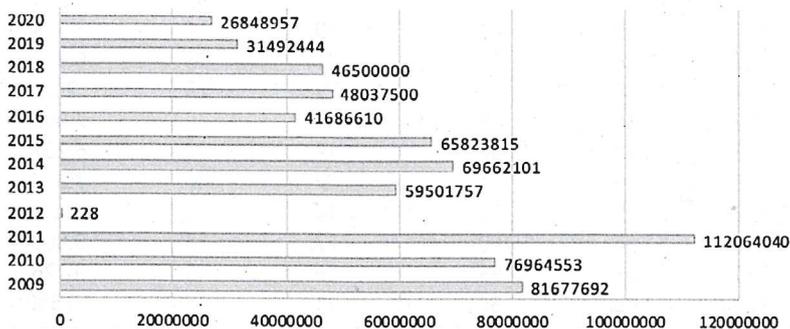


Photo 1 :
Plant de cèdre.
Photo M.Seho.

teurs les plus efficaces pour la germination des graines de cèdre du Liban (AYRANCI & ÖNER 2019).

Les graines sans pré-traitement doivent être semées à 5 mm de profondeur dès que possible jusqu'à la deuxième quinzaine de février en pépinière (GÜLCÜ *et al.* 2010). Un espacement de 7,5 cm (ERMURAT 2015) et 10 cm (ALBAYRAK ÇATAL 2002) a donné les meilleurs semis en termes de caractéristiques morphologiques à 1 an et 2 ans sans repiquage, respectivement, dans les pépinières forestières d'Erzincan et d'Eğirdir.

Fig. 2 :
Production annuelle de graines de cèdre du Liban en Turquie (OGM 2020).



Fait intéressant, GÜNER *et al.* (2016) ont signalé que l'espacement des semis devrait être de 2,5 cm pour obtenir des semis de cèdre du Liban de meilleure qualité. KAYADIBI (2011) a indiqué que les meilleures caractéristiques des semis ont été obtenues à 70, 112 et 168 semis/m² et par coupe profonde des racines (soulevage) en août dans la pépinière de Hazar. YER et AYAN (2011) ont souligné que le soulevage et la réduction du nombre de semis/m² affectaient positivement la qualité des semis de cèdre du Liban.

Des doses moyennes et élevées de micro-organismes actifs (champignons) ont eu un effet positif sur le diamètre du collet, le poids frais de la tige, le poids frais des semis, le pourcentage de racines sèches et l'indice de robustesse des semis de cèdre du Liban âgés de 2 ans sans repiquage. De plus, des micro-organismes actifs appliqués pendant la période de végétation ont montré un effet positif sur le diamètre du collet et le pourcentage de racines sèches (AYAN *et al.* 2018, 2021). Par rapport aux deux autres espèces de mycorhizes (*Lactarius deliciosus* et *Tricholoma ustale*), *Hebeloma crustuliniforme*, en particulier l'inoculation aux stades de repiquage, a eu un effet significatif sur les paramètres de croissance et la teneur en nutriments des semis (TÜFEKÇI 2007). TOPRAK *et al.* (2018) et TOPRAK (2020) explorant les effets de l'inoculation des mycorhizes sur les caractéristiques morphologiques des semis de cèdre du Liban ont révélé que la colonisation mycorhizienne était efficace sur les caractéristiques morphologiques des semis. De plus, TOPRAK (2020) a signalé que les mycorhizes affectaient positivement la nutrition des plantes en augmentant l'absorption des nutriments.

Bien que GÜRLEVIK et KURTARAN (2018) aient signalé que les engrais azotés pourraient ne pas améliorer considérablement la croissance des semis, GÜRLEVIK et MERCAN (2017) et PERK (2011) ont souligné qu'un traitement de 10 g d'azote/m² et le dosage d'engrais (N+P+K +ME) 25 % inférieur au témoin ont eu un effet significatif sur les propriétés morphologiques des semis de cèdre du Liban à racines nues et en conteneur dans les pépinières forestières d'Eğirdir et d'Eskişehir, respectivement.

Les semis directs en conteneur d'un an provenant des graines des peuplements semenciers d'Adana-Feke (ÇETINKAYA et BILIR 2019) et les semis en conteneur de deux ans avec repiquage (1+1) provenant des graines d'origine Konya et Mersin (EKEN et

ÖNER 2017) étaient dans la première classe en termes de hauteur et de diamètre au collet selon les normes turques pour les semis de conifères.

D'après certains travaux, la meilleure croissance des semis de cèdre du Liban est obtenue avec des conteneurs disposés à une profondeur de 16 cm (PERK 2011) et par une transplantation en novembre et mars de semis juvéniles d'un an. Bien que la période la plus sûre pour prélever les semis s'étale de fin janvier à début mars (dans la pépinière d'Eğirdir), l'opération peut être retardée jusqu'à fin mars si les conditions d'arrachage ou de plantation sont défavorable (SARI 2018).

La production de plants de cèdre du Liban en Turquie de 2009 à 2020 est présentée dans la figure 2. Elle a diminué de 75%.

Semis et plantations

Préparation du terrain

Des terrasses doivent être aménagées sur les terrains karstiques en forte pente. Sur les terrains légèrement en pente, le travail du sol en bandes avec des équipements tels qu'une sous-soleuse à soc unique ou une pelleteuse est beaucoup plus économique que le travail du sol en plein. La préparation du sol doit être effectuée aussi profondément que possible dans les zones karstiques. Le travail du sol en profondeur avec des machines ne doit pas être effectué dans des endroits où il existe un risque de dégradation de l'écosystème (BOYDAK 2014). Un travail du sol uniquement superficiel, avec des machines ou manuel, doit être effectué dans des endroits où il y a des prairies, et un risque de compactage du sol empêchant les graines de cèdre d'atteindre le sol et d'absorber l'eau (OGM 2015b).

GÜLCÜ et ÇELİK (2016a, b) ont suggéré que la sous-soleuse double et un terrassement en gradins devrait être utilisés pour le travail du sol dans le reboisement en cèdre du Liban sur les terres arides et semi-arides, pour des raisons d'économie et de facilité d'application.

Semis direct

C'est essentiellement la source de graines la plus proche des terres de boisement ou de réhabilitation qui doit être utilisée. Si un

transfert de graines est nécessaire, il doit être conforme à la directive de transfert de graines entre régions préparé par ATALAY (1987). Les cônes décortiqués (graines et leurs écailles porteuses), de 300 à 400 kg par hectare selon les caractéristiques du terrain, sont dispersées à la main ou par hélicoptère, si la topographie et les conditions météorologiques le permettent, juste avant les chutes de neige ou pendant les chutes de neige (OGM 2015b).

Plantation

Les deux périodes de plantation les plus appropriées pour le cèdre du Liban sont novembre, de préférence dans les zones de haute altitude, et dans les terres d'altitude inférieure en priorité avril, sinon en automne (GÜVEN & CENGİZ 1990 ; ÜRGENÇ & BOYDAK 1992). Lorsque des plants à racines nues sont utilisés, la plantation devrait être terminée en mars (ÖZDEMİR 1997). Un espacement de 3 x 1,5 m est utilisé dans les plantations de cèdre du Liban (BOYDAK 2014).

Des plants à racines nues d'un ou deux ans sans repiquage (1+0 ou 2+0) peuvent être utilisés dans l'aire de répartition naturelle du cèdre du Liban, dans des terres assez humides et profondes, adaptées au travail du sol avec des machines (BOYDAK & ÇALIKOĞLU 2008). L'enrobage des racines par trempage avec un hydrogel protecteur (Agricol® = gel d'alginate de sodium) augmente la survie des plants à racines nues de cèdre du Liban (UĞURLU 1989). L'arrêt de l'irrigation dans les pépinières 40 à 60 jours avant la plantation peut augmenter la survie de ces plants. Cependant, des semis en conteneur devraient être utilisés pour assurer la survie des plants dans les substrats karstiques superficiels (BOYDAK 2014). L'utilisation de plants en conteneur aide également à prévenir les dommages causés par le gel précoce du printemps (BOYDAK 1986, 1996 ; BOZKUŞ & ALPTEKİN 1989). S'il est impératif d'utiliser des plants à racines nues, GÜVEN & CENGİZ (1990) recommandent de privilégier les plants de deux ans (2+0), plus résistants aux gelées printanières et aux dégâts du lapin.

Entretien des boisements

L'entretien des jeunes arbres obtenus par semis directs se poursuit jusqu'à ce qu'ils soient bien établis. Le désherbage et l'éclair-

cissage en faveur des plants bien développés, le regarnissage par semis et les travaux de finition sont effectués, si nécessaire, au printemps de la deuxième année. Il est habituel de clôturer toutes les zones de boisement ou de réhabilitation pour les protéger notamment des chèvres (OGM 2015b).

L'entretien des plantations doit être assuré pendant au moins trois ans. Ils se fait avec un déchaumeur à disques entre les rangs et avec une houe sur les rangs dans les terrains avec préparation mécanique du sol, et avec une houe autour des plants dans les terrains avec préparation manuelle du sol. Le binage est nécessaire les trois premières années sur les terrasses (CENGİZ 1990, BOYDAK 1986, 1996) après des pluies significatives en début de saison de végétation. Comme pour les semis, tous les semis naturels et les plants introduits doivent être protégés dans les zones karstiques. Les travaux de regarnissage (remplacement des plants morts) doivent être réalisés avec des plants en conteneur de deux ou trois ans, repiqués ou non (1+1, 1+2 ou 2+0) pendant la saison de plantation suivant la première période de végétation (BOYDAK 2014).

Performance du cèdre du Liban en boisement et réhabilitation

Le taux de survie à 5 ans du cèdre du Liban était de 84,4%, 77,9% et 54,7% à

Ankara, Eskişehir et Konya (SEMERCİ 2005), 14,7% à 9 ans à Konya (ÖNER & UYSAL 2009), 82,2 % à 4 ans à Artvin (PEKAL 2009), 77% à 3 ans à Çorum (ERTEKİN & ÖZEL 2010), 81,5% à 6 ans à Konya (KOÇAŞ 2011), 77,3% à 6 ans et 76,4 % à 10 ans à Adana, Kahramanmaraş et Mersin (DAĞDAŞ 2012), 30 % à 7 ans à Mardin (NARIN 2012), 58-66 % à 10 ans à Çankırı (ÖNER *et al.* 2015), 75 % et 72,8 % à 4 ans à Karaman (GÜLCÜ & ÇELİK 2016a, b), 73 % et 82,9 % à 11 ans à Denizli (GÜLBAŞ 2016) et à Isparta (ÇETİN 2017) (Cf. Fig. 3). De plus, BOYDAK & ÇALIKOĞLU (2008) ont rapporté que les taux de survie du cèdre du Liban étaient de 70 à 90 % dans sa zone de distribution naturelle et de 50 à 80 % en dehors. Par ailleurs, le taux de survie des mycorhizes arbusculaires inoculées aux plants de cèdre du Liban était de 99 % trois ans après la plantation dans les zones de reboisement de la Direction régionale des forêts d'Eskisehir (TOPRAK 2016). ÖZDEMİR (1997) a souligné que l'époque de plantation avait un effet significatif sur la survie des semis de cèdre du Liban. ERKAN & AYDIN (2017) ont indiqué que les plants en conteneurs avaient des taux de survie plus élevés que les autres types de plants 13 ans après le boisement dans des expériences menées à Bucak-Burdur et Korkuteli-Antalya.

Trois ans après la plantation, la survie du cèdre du Liban est significativement corrélée avec sa hauteur, mais pas avec son diamètre du collet (SEMERCİ 2002). Cinq ans après la plantation, la morphologie initiale des plants n'est pas un bon prédicteur de leur survie mais le diamètre du collet est un bon indicateur du potentiel de croissance des plants (SEMERCİ 2005). Cependant, TOPRAK *et al.* (2016) ont montré que le taux de survie des plants de cèdre du Liban n'avait aucune corrélation avec leur hauteur ni leur diamètre au collet après la première saison de végétation, dans les zones de boisement de la Direction régionale des forêts d'Eskisehir.

Une recherche (POLAT *et al.* 2014), explorant les relations entre certaines caractéristiques environnementales et la hauteur de cèdres du Liban plantés dans le bassin Kadıncık de Mersin, a suggéré que cette



Fig. 3 : Provinces où la performance de *C. libani* a été testée.

espèce devrait être installée sur les versants sud. En outre, SÜRÜCÜ (2012) a indiqué qu'il y avait une corrélation positive entre le taux de sable dans le sol et le diamètre des arbres, et des corrélations négatives entre : (1) le carbone organique du sol et la croissance en diamètre et en hauteur, (2) entre le taux d'argile à toutes les profondeurs dans le sol et le diamètre des arbres, et (3) entre le taux d'argile dans l'horizon 0-5 cm et la croissance en hauteur dans certains boisements du district des lacs de Turquie.

Capacité d'adaptation

C'est en Turquie que se situe la plus grande partie de l'aire de répartition naturelle du cèdre du Liban, entièrement méditerranéenne. Cette aire est située essentiellement dans la plage d'altitude comprise entre 1 000 et 2 300 m, et il existe des forêts pures et mixtes dans le massif du Taurus (AKKEMIK 2003). En tant que l'une des espèces clés des écosystèmes naturels méditerranéens, ses ressources génétiques présentent de grandes opportunités et défis pour l'utilisation et la conservation. Les principaux défis sont le changement climatique, la fragmentation et le dépérissement des forêts, les pratiques forestières intensives, les incendies, les ravageurs, les maladies (ALIZOTI *et al.* 2006). D'un autre côté, le cèdre du Liban est considéré comme une espèce résistante à la sécheresse pour le reboisement futur en Turquie et en Europe centrale (MESSINGER *et al.* 2015, AYAN *et al.* 2017, 2018, ŠEHO *et al.* 2019, 2020, GÜNEY *et al.* 2017, 2020). Dans l'étude de MESSINGER *et al.* (2015), le cèdre du Liban montre une croissance radiale lente mais continue pendant l'été sec à Elmali et confirme sa tolérance exceptionnelle à la sécheresse. Les résultats indiquent une forte adaptation du cèdre du Liban aux conditions climatiques actuelles et futures en Europe centrale (MESSINGER *et al.* 2015). Pendant la sécheresse estivale, l'approvisionnement en eau minimum requis pour l'espèce à Elmali est fourni par la terre fine dans des formations calcaires profondes

et crevassées avec une capacité de rétention en eau élevée (BOYDAK & ÇALIKOĞLU 2008). Il tolère un froid extrême en hiver et des sécheresses prolongées en été. Le cèdre du Liban tolère une large gamme de températures minimales mensuelles en hiver, allant de -15 à 7,5 °C avec des extrêmes de -35 °C en hiver et de 40 °C en été (DUCREY *et al.* 2008). Les précipitations annuelles moyennes dans les différentes cédraies varient de 540 à 1500 mm. La croissance est fortement affectée par les régimes de précipitations printanières et la fonte des neiges (TOUCHAN *et al.* 2005 ; DUCREY *et al.* 2008 ; HAJAR *et al.* 2010). Des tests de provenances en Italie, en France et en Turquie montrent un taux de survie plus élevé du cèdre du Liban que d'autres cèdres pendant les étés arides (BARITEAU *et al.* 2011 ; KONNERT 2017). d'après les résultats de onzième année des expériences menées à Isparta et Elmali (Turquie), les provenances de Turquie s'avèrent les mieux adaptées d'après leur pourcentage de survie et leur croissance. La provenance française de cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) arrive en deuxième position. Des provenances de cèdre de Chypre (*C. brevifolia*) affichent des performances de survie satisfaisantes, mais restent en retrait pour la croissance (COŞGUN *et al.* 2009). Dans d'autres études, le potentiel prometteur du cèdre du Liban pour les tentatives de migration assistée dans son aire de répartition naturelle devrait être évalué. Ces résultats prospectifs peuvent être utilisés pour établir des peuplements forestiers stables et productifs.



Photo 2 :
La cédraie d'Elmali en Turquie.
Photo D. Afxantidis.

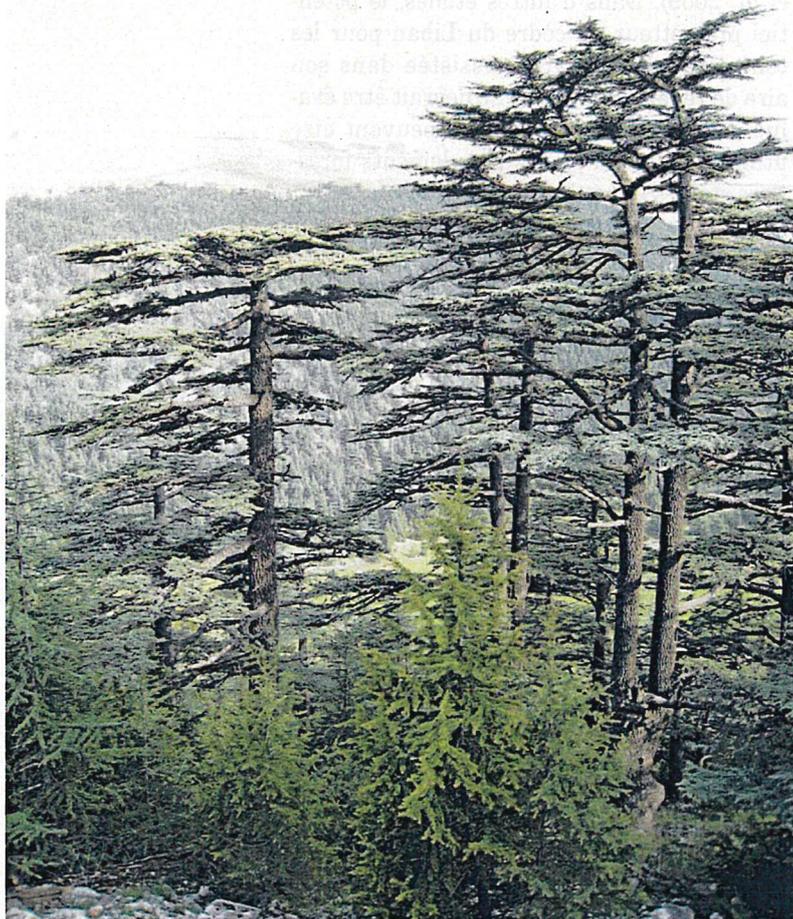
1 - Les machines à vecteurs de support sont un ensemble de techniques d'apprentissage supervisé, algorithmes de classification destinés à résoudre des problèmes de discrimination et de régression.

2 - NDVI : *Normalized difference vegetation index* (Indice de végétation par différence normalisée). Indice calculé en général sur des photos satellite ou aériennes, sur la base de l'intensité des canaux de lumière proche-infrarouge et rouge. Il permet de détecter et cartographier la végétation, sa densité et sa vigueur.

Photo 3 :
Cedrus libani en Turquie.
Photo D. Afxantidis.

Scénarios de changement climatique pour le cèdre du Liban

Des changements spatiaux dans l'adaptation climatique de différentes espèces d'arbres ont été montrés dans de nombreuses études et le besoin d'une migration assistée a été discuté (MACKENZIE & MAHONY 2021). Compte tenu du changement climatique actuel et attendu, l'utilisation de matériel de reproduction provenant des populations locales peut entraîner un risque plus élevé d'échec, une baisse de la vitalité et de la croissance (AITKEN & BEMMELS 2016). Les programmes de reboisement basés sur les prévisions du changement climatique sont considérés comme l'une des stratégies les plus efficaces pour adapter les forêts au changement climatique. Cela peut augmenter la résilience des écosystèmes forestiers ainsi que leur valeur économique (WILLIAMS & DUMROESE 2013).



L'étude de LOPEZ-TIRADO *et al.* (2021) se concentre sur la répartition potentielle du cèdre du Liban dans le présent et le futur au Liban, en Syrie et en Turquie. Pour la modélisation, les chercheurs utilisent 24 variables environnementales, 13 modèles de circulation générale et 6 algorithmes (modèle d'espace climatique, score d'enveloppe, distance environnementale, algorithme génétique pour la production d'ensembles de règles, entropie maximale et machines à vecteurs de support¹). La modélisation pour deux scénarios et deux périodes montre un élargissement de la zone d'habitat convenant au cèdre du Liban par rapport aux zones actuelles (tous les peuplements naturels et artificiels existants), les zones potentielles ainsi qu'une montée en altitude en 2070 (Cf. Tab. II) (LOPEZ-TIRADO *et al.* 2021). Différentes études montrent que les facteurs corrélés à l'altitude sont les plus significatifs (KÖRNER 2007 ; LÓPEZ-TIRADO *et al.* 2018). Les résultats peuvent être utilisés pour la gestion par le boisement et la conservation du cèdre du Liban dans des conditions de réchauffement climatique. HAJAR *et al.* (2010) a utilisé des données de pollen fossile et des simulations de modèles pour déterminer les futures zones potentielles pour *Cedrus libani* au Liban dans différents scénarios climatiques du GIEC. Ces simulations montrent qu'il pourrait être préservé autour de son aire de répartition actuelle et à des altitudes plus élevées sur le Mont Liban (HAJAR *et al.* 2010). Cette étude trouve également des zones potentielles dans le sud de la Turquie et de la Syrie. Le facteur le plus important pour l'utilisation et la conservation du cèdre du Liban à l'avenir sera la capacité de migration (HAJAR *et al.* 2010, LOPEZ-TIRADO *et al.* 2021). D'après LOPEZ-TIRADO *et al.* (2021) les surfaces des habitats qui peuvent lui convenir sont plus grandes qu'au cours de la période actuelle dans les scénarios prévus. Une autre étude (MAHFOUD *et al.* 2019), analysant les changements de température, de précipitations et de la sécheresse sur la côte syrienne, a montré avec les variations de NDVI² qu'il y avait un effet significatif des changements de température sur la croissance du cèdre du Liban mais aucun effet des changements de précipitations. Ces résultats peuvent être utiles pour gérer les peuplements naturels et artificiels. Des programmes de boisement peuvent déjà être menés, pour faire face au changement climatique attendu.

		Répartition actuelle	Répartition potentielle présente	RCP 4.5 2050	RCP 4.5 2070	RCP 8.5 2050	RCP 8.5 2070
Altitude (m)	Min.	16	194	0	0	0	12
	Max.	2819	3330	3889	3889	3889	4192
	Moy.	1485	1376	1310	1419	1374	1481
Latitude (degré)	Min.	33° 40' 54"	33° 38' 54"	33° 18' 54"	33° 18' 54"	33° 19' 54"	33° 19' 53"
	Max.	41° 59' 54"	40° 26' 54"	42° 3' 54"	41° 58' 54"	41° 59' 24"	42° 5' 53"
	Moy.	37° 17' 25"	37° 46' 22"	39° 10' 3"	39° 7' 56"	39° 8' 4"	39° 18' 5"
Zone d'habitat favorable (km ²)		3,829	92,583	407,516	342,112	329,799	205,779
Zone d'habitat favorable (%)		0.39	9.46	41.66	34.97	33.71	21.04

Sélection et croisement génétique

Compte tenu de la demande croissante de matériel forestier de reproduction avec des caractéristiques de croissance améliorées face au changement climatique, les activités de sélection gagnent en importance. Les vergers à graines représentent le lien entre l'amélioration des arbres et les activités sylvicoles (FUNDA & EL-KASSABY 2012). Les paramètres génétiques (structure et diversité) et les caractéristiques phénotypiques des vergers à graines sont connus pour être supérieurs à la moyenne des peuplements à graines. L'efficacité génétique des vergers à graines est d'une grande importance car elle détermine le degré de diversité génétique des futures plantations d'arbres forestiers (FUNDA & EL-KASSABY 2012). La superficie totale de la source de graines (5968,8 ha) de cèdre du Liban se compose de 20 peuplements semenciers (2940,8 ha), de 8 vergers à graines (54,7 ha) et de 24 forêts conservatoires génétiques (2973,3 ha) (OGM 2021). Les vergers à graines sont représentatifs du pool génétique du cèdre du Liban dans l'aire de répartition naturelle des montagnes du Taurus et peuvent être utilisés à des fins de production et de conservation. Les paramètres génétiques des arbres mères individuels des vergers à graines, qui jouent un rôle dans l'adaptabilité, la croissance et la qualité devraient être explorés. L'enrichissement du pool génétique des populations naturelles sera d'un grand intérêt. Il est considéré comme une solution possible pour favoriser leur adaptation au changement climatique (AITKEN & WHITLOCK 2013).

La structure génétique de la population de cèdre du Liban devrait être prise en compte pour les futures recommandations d'utilisation et les stratégies de conservation (KAYIHAN *et al.* 2006, FADY *et al.* 2008). Jusqu'à présent, la variation génétique était déterminée dans les populations naturelles en utilisant des analyses d'isoenzymes (KURT *et al.* 2008) et dans les peuplements classés porte-graines par la méthode d'amplification aléatoire d'ADN polymorphe (KAYIHAN *et al.* 2006). Cependant les marqueurs microsatellites devraient être utilisés pour caractériser minutieusement sa diversité génétique. D'autre part, les prédictions des effets des opérations de sélection et de conservation des arbres nécessitent des informations sur les variations de fertilité des individus (KANG *et al.* 2003). En ce sens, certaines recherches (ÖZEL & BILIR 2016 ; YAZICI & BILIR 2017 ; BILIR & KANG 2021 ; CERCIOGLU & CETINKAYA 2021) étudient la variation de la fertilité dans des populations restreintes de cèdre du Liban en Turquie. BILIR & KANG (2021) ont souligné qu'un équilibre entre le nombre effectif de parents et le nombre d'années ou de populations mixtes devrait être pris en considération pour maintenir la diversité génétique des graines des peuplements naturels. L'objectif principal des stratégies de conservation des gènes dans les écosystèmes forestiers devrait être la conservation de l'information génétique dans les populations naturelles (*in situ*). Les ressources génétiques forestières menacées dans les populations naturelles (ex. sécheresse, émissions de polluants, etc.) doivent être préservées loin de leur habitat naturel (conservation *ex situ*). Une mesure possible pour sécuriser la ressource génétique est la création de vergers à graines conservateurs.

Tab. II :
Altitude, latitude et surface des zones d'habitat pour les distributions réelles et potentielle actuelles, et pour le futur selon les modèles des scénarios climatiques. (Lopez-Tirado *et al.* 2021)

Conclusions

L'essentiel de l'aire naturelle du cèdre du Liban se trouve en Turquie. C'est l'une des espèces clés des écosystèmes naturels méditerranéens. Ses ressources génétiques présentent de grandes opportunités et défis pour son utilisation et sa conservation dans les scénarios de changement climatique attendus.

Récemment, des études sur les réponses du cèdre du Liban au changement climatique ont été menées avec non seulement des modèles informatiques sophistiqués, utilisant des ensembles de données volumineux et complets, mais également de véritables expérimentations (par exemple une étude en Europe centrale). En conséquence, le cèdre du Liban donne une réponse positive face à un climat plus froid et plus chaud. Cette nouvelle caractéristique en fait une espèce prioritaire pour les nouvelles conditions climatiques, capable d'utiliser toute la saison de croissance et de minimiser les dommages dus au gel grâce à un temps approprié d'acclimatation (adaptation physiologique) ou de désacclimatation. Le cèdre du Liban est une espèce prometteuse pour les changements climatiques attendus. Les descendances de la première génération des essais de provenances devraient être rapidement testées pour déterminer le changement évolutif des caractères mentionnés sous des températures variables. Ainsi, la nature des signaux environnementaux impliqués sera clarifiée. De plus, il est nécessaire d'accélérer les activités de sélection dans les peuplements et vergers à graines de cèdre du Liban en utilisant des outils moléculaires pour révéler les génotypes les mieux adaptés aux changements climatiques.

Sezgin AYAN *
Kastamonu University,
Faculty of Forestry,
Silviculture
Department,
Kuzeykent Campus,
37100 Kuzeykent
Campus, Kastamonu,
TURQUIE

Cengiz YÜCEDAĞ
Burdur Mehmet Akif
Ersoy University,
Faculty of Engineering
Architecture,
Department of
Landscape
Architecture, 15030
Istiklal Campus,
Burdur
TURQUIE

Muhidin ŠEHO
Bavarian Office for
Forest Genetics,
Forstamtsplatz 1,
Teisendorf, 83317,
ALLEMAGNE

* Auteur
de correspondance :
sezginayan@gmail.com

Bibliographie

- Aitken SN, Whitlock MC (2013). Assisted Gene Flow to Facilitate Local Adaptation to Climate Change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 2013. 44:367-88. 10.1146/annurev-ecolsys-110512-135747
- Aitken SN, Bemmels JB (2016). Time to get moving: Assisted gene flow of forest trees. *Evol. Appl.* 9, 271-290.
- Akkemik Ü (2003). Tree rings of *Cedrus libani* at the norther boundary of its natural distribution. *IWA Journal*, 24 (1): 2003: 63-73.
- Albayrak Çatal Y (2002). The effect of growing density on some morphological characteristics of Taurus cedar (*Cedrus libani* A. Rich) seedlings. [Master Thesis] Isparta, Süleyman Demirel University. (in Turkish)
- Alizoti PG, Fady B., Ducci F (2006). Conservation and Breeding of Mediterranean Conifers Conversion of a Progeny Trial of *Eucalyptus tereticornis* to a Seedling Seed Orchard Considering Gain and Fertility. IUFRO Conference: Low input breeding and genetic conservation of forest tree species. 9-13 October 2006 Antalya, Turkey.
- Alptekin CÜ (1996). A Study on Germination Characteristics of Seeds in some origins of Atlas Cedar (*Cedrus atlantica* Manetti.) and Cedar of Lebanon (*Cedrus libani* A. Rich.). *Journal of Forestry Faculty*, Istanbul University, 46: 115-130.
- Atalay I (1987). General Ecological Properties of the Natural Occurrence Areas of Cedar (*Cedrus libani* A. Rich) and Regioning of Seed Transfer of Cedar in Turkey. General Directory of Forestry Publication No. 663. Ankara. 167 pp. (In Turkish)
- Atalay I, Altunbaş S, Khan AA, Coşkun M (2018). The Mountain Ecology of the Taurus Mountains and Its Effects on Nomadism. International Geography Symposium on the 30th Anniversary of TUCAUM, 3-6 October 2018, p. 623-640, Ankara-Turkey.
- Atalay I, Efe R, Öztürk M (2014). Effects of topography and climate on the ecology of Taurus Mountains in the Mediterranean region of Turkey. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 120: 142-156.
- Ayan S (2015). A review on rehabilitation and afforestation experiences of *Cedrus libani* a. Rich in Turkey, ECOPLANTMED Conference, 12-15 October, Beirut, Lebanon.
- Ayan S, Yer EN (2016). Assessment of Taurus Cedar (*Cedrus libani* A. Rich) Plantations out of their Natural Distribution Areas in Turkey with Regards to Ecological Factors. Abstract Book, p. 10, Résumés du colloque international Sous le thème: « Les espaces forestiers et péri-forestiers (EFPF) : dynamique et défis ». Les 3-5 novembre 2016, Campus Universitaire Ait Melloul-Université IBN Zohr-Agadir, Morocco.
- Ayan S, Erkan Buğday S, Yer EN, Buğday E (2016). Stands Characteristics of *Cedrus libani* A. Rich. natural forests in Turkey, Abstract Book, p. 50, Résumés du colloque international Sous le thème: « Les espaces forestiers et péri-forestiers (EFPF) : dynamique et défis ». Les 3-5 novembre 2016, Campus Universitaire Ait Melloul-Université IBN Zohr-Agadir, Morocco.
- Ayan S, Çalışkan E, Özel HB, Yer EN (2018a). The influences of the effective microorganisms on morphological and physiological characters of Taurus cedar seedlings (*Cedrus libani* A. Rich.), International Scientific Symposium "Modern Agriculture - Achievements and Prospects", 85th Anniversary - State Agrarian University of Moldova, Proceeding Book, p.359-364, 4-6 October 2018, Chisinau, Moldova. ISBN 978-9975-64-296-5.
- Ayan S, Çalışkan E, Özel HB, Yer Çelik EN, Gülseven O, Yılmaz E (2021). Influence of Effective Microorganisms on Morphological Characteristics of Taurus Cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) Containerised Seedlings. *Journal of Bartın Faculty of Forestry*, 23(1): 294-305. (in Turkish)

- Ayan S, Turfan N, Yer, EN, Šeho M, Özel HB, Ducci F (2018b). Antioxidant Variability of the Seeds in Core and Marginal Populations of Taurus Cedar (*Cedrus libani* A. Rich.). *Šumarski list*, 11–12, 593–600, doi:10.31298/sl.142.11-12.3.
- Ayan S, Yer EN, Gülseven O (2017). Evaluation of Taurus cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) afforestation areas in Turkey in terms of climate type. Artvin Coruh University, *Journal of Forestry Faculty*, 18, 152-161.
- Ayrancı A, Öner MN (2019). Effect of Some Pretreatments of Seeds on Germination of Different Taurus Cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) Origins. *Anatolian Journal of Forest Research*, 5: 61-70. (In Turkish)
- Bariteau M (1992). Ferrandes Les cèdres in: Gallais A, Bannerot H (Eds.), *L'amélioration des plantes*. INRA Paris, p. 732-43.
- Bariteau M, Vauthier D (2011): Main results from the French cedar comparative field test network. In: Status of the Experimental Network of Mediterranean Forest Genetic Resources. CRA SEL, Arezzo and FAO - Silva Mediterranea. Rome, Italy, pp. 61-64.
- Bilir N, Kang K-S (2021). Fertility variation, seed collection and gene diversity in natural stands of Taurus cedar (*Cedrus libani*). *European Journal of Forest Research*, 140:199-208.
- Boydak M (1986). Lübnan (Toros) sedirinin (*Cedrus libani* A. Rich.) yayılışı, ekolojik ve silvikültürel nitelikleri, doğal ve yapay gençleştirme sorunları. Ormançılık Araştırma Enstitüsü Dergisi, 32(2): 7-56. (in Turkish)
- Boydak M (1996). Ecology and silviculture of cedar of Lebanon (*Cedrus libani* A. Rich.) and conservation of its natural forests. Ministry of Forestry, Publication No. 12, 68 p., Ankara.
- Boydak M (2003). Regeneration of Lebanon cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) on karstic lands in Turkey. *Forest Ecology and Management* 178: 231-243.
- Boydak M (2014). Ecology, Natural Regeneration of Taurus cedar and its Afforestations in Carstic Lands. II. National Mediterranean Forest and Environment Symposium, 22-24 October 2014, Isparta-Turkey. (in Turkish)
- Boydak M, Çalikoğlu M (2008). Biology and Silviculture of Taurus Cedar (*Cedrus libani* Rich.). OGEM-VAK Publications, 284 s, Ankara. (in Turkish)
- Bozkuş HF, Alptekin CÜ (1989). Doğu Akdeniz yukarı zon ağaçlandırmalarında problemler ve çözüm önerileri. Doğu Akdeniz Ormançılığı Sempozyumu, 22-23 Februaery 1989, p. 33-40, Mersin, Turkey. (in Turkish)
- Cengiz Y (1990). Sedir dikimlerinde (*Cedrus libani* A. Rich.) başarıyı etkileyen kimi etkiler üzerine araştırmalar. Ormançılık Araştırma Enstitüsü Muhtelif Yayınlar: 59, p. 943-956, Ankara (in Turkish)
- Cercioglu M, Cetinkaya D (2021). Interaction between reproductive and growth characteristics and some genetic parameters in Taurus cedar (*Cedrus libani* A. Rich) forests. *Fresenius Environmental Bulletin*, 30: 7735-742.
- Correia AH, Almeida MH, Branco M, Tomé M, Montoya RC, Di Lucchio L, Cantero A, Diez JJ, Prieto-Recio C, Bravo F, Gartzia N, Arias A, Jinks R, Paillasa E, Pastuszka P, Lorenzo MJR, Pando FJS, Traver MC, Zabalza S, Nóbrega C, Ferreira M, Orazio C (2018). Early Survival and Growth Plasticity of 33 Species Planted in 38 Arboreta across the European Atlantic Area. *Forests*, 9: 630, doi:10.3390/f9100630.
- Coşgun S, Sarıbaşak H, Çalikoğlu M, Cengiz Y, Usta ZH (2009). Adaptation trials on some provenances of Atlas Cedar (*Cedrus atlantica* Manetti), Lebanon Cedar (*Cedrus libani* A. Rich) and Cyprian cedar (*Cedrus brevifolia* Hen.) in South Western Anatolia Region. Batı Akdeniz Ormançılık Araştırma Müdürlüğü, *Teknik Bülten* No: 33, Antalya. (in Turkish)
- Cvjetković B, Mataruga M (2021). Afforestation and Its Climate Change Impact. In: Life on land, Ed. Filho WL, Azul AM, Brandli L, Salvia AL, Wall T, p. 13-26, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-95981-8>.
- Çetin R (2017). Evaluation of forestation activities in Isparta region in the last decade. Master Thesis, Suleyman Demirel University, Isparta, Turkey (in Turkish).
- Çetinkaya D, Bilir N (2019). Interaction of Seedling Type and Seedling Morphology in Taurus Cedar (*Cedrus libani* A. Rich.). *The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University*, 10(1): 28-33. (in Turkish)
- Dağdaş S (2012). The Results of Origin Tests implemented on 6th and 10th Years Old Taurus Cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) in Eastern Mediterranean Region of Turkey. *KSU Journal of Nature Science*, Special Issue: 161-179. (in Turkish)
- Ducrey M, Huc R, Ladjal M, Guehl JM (2008) Variability in growth, carbon isotope composition, leaf gas exchange and hydraulic traits in the eastern Mediterranean cedars *Cedrus libani* and *C. brevifolia*. *Tree Physiol* 28:689.
- Eken Ö, Öner N (2017). Morphological characteristics of Taurus cedar seedlings produced in Cankiri forest nursery. Kastamonu Univ., *Journal of Forestry Faculty*, 17(3): 419-426.
- Erkan N, Aydın AC (2017). Long term survival and growth performance of selected seedling types in Cedar (*Cedrus libani*) afforestation in Turkey. *Journal of Environmental Biology*, 38: 1391-1396.
- Erkuloğlu ÖS (1992). Seed Characteristics of Cedar. In: Cedar, Ed. Eler Ü, Ormançılık Araştırma Enstitüsü Yayınları Muhtelif Yayınlar Serisi: 66, p. 81-90, Ankara, Turkey. (in Turkish)
- Ermurat Y (2015). Effects of thinning degrees on some morphological quality characteristics of Taurus cedar seedlings at the Erzincan Forest Nursery. [Master Thesis] Artvin, Artvin Çoruh University. (in Turkish)
- Ertekin M, Özel HB (2010). Black pine (*Pinus nigra* Arnold.) and Lebanon cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) plantations for erosion control in Çorum region. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 12: 77-85.
- Fady B, Lefevre F, Vendramin GG, Ambert A, Regnier C, Bariteau M (2008). Genetic consequences of past climate and human impact on eastern Mediterranean *Cedrus libani* forests, Implications for their conservation. *Conserv Genet*, 9: 85-95.
- Funda T, El-Kassaby YA (2012). Seed orchard genetics. *CAB Reviews*20127, No. 013, 1-12.
- Gardner M (2013). *Cedrus libani*. The IUCN Red List of Threatened Species 2013: e.T46191675A46192926. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-RLTS.T46191675A46192926.en>. (07 August 2021).
- Gezer A, Yücedağ C (2013). Forest tree seeds and seedling growth techniques. 2nd edn. Suleyman

- Demirel University Publications, Isparta, Turkey, No 56, 151 p. (in Turkish)
- Gülbaş M (2016). Evaluation of forestation activities in Denizli region in the last decade. [Master thesis] Isparta, Süleyman Demirel University (in Turkish)
- Gülcü S, Çelik I (2016a). The effect of soil cultivation methods with different machine on planting success in arid and semi-arid area afforestations. *Turkish Journal of Forestry*, 17: 12-19. (In Turkish)
- Gülcü S, Çelik I (2016b). Surviving and growing of seedlings planted with their tubes in arid areas prepared with different soil cultivation methods. *Artvin Çoruh University Journal of Forestry Faculty*, 17: 52-61. (In Turkish)
- Gülcü S, Gültekin HC, Ölmez Z (2010). The effects of sowing time and depth on germination and seedling percentage of the Taurus Cedar (*Cedrus libani* A. Rich.). *African Journal of Biotechnology*, 9(15): 2267-2275.
- Güner ST, Sahin U, Guner D, Karatas R, Erkan N (2016). Effects of seedbed density on some morphological properties and nutrient status of two-year old Taurus cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) Seedlings. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25(6): 2121-2130.
- Güney A, Küppers M, Rathgeber C, Zimmermann R (2017). Intra-annual stem growth dynamics of Lebanon Cedar along climatic gradients. *Trees - Structure and Function* 31 (2), pp.587-606.
- Güney A, Zweifel R, Türkan S, et al. (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 (2020). <https://doi.org/10.1007/s13595-020-01007-2>
- Gürlevik N, Kurtaran A (2018). Effects of nitrogen and micronutrient fertilizers on nutrition and growth of barerooted Taurus cedar seedlings. *Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences*, 22(1): 353-363.
- Gürlevik N, Mercan M (2017). Effects of nitrogen and sulfur fertilization on development of bare-root Taurus cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) seedlings. *Turkish Journal of Forestry*, 18(1): 21-29.
- Güven E, Cengiz Y (1990). Sedir (*Cedrus libani* A. Rich.) Fidanlarının alanlarda dikim zamanı. Ormançılık Araştırma Enstitüsü Muhtelif Yayınlar: 59, p. 215-221, Ankara. (in Turkish)
- Hajar L, Francois L, Khater C, Jomaa I, Deque M, Cheddadi R (2010). *Cedrus libani* (A. Rich) distribution in Lebanon: past, present and future. *CR Biol*, 333:622-630. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2010.05.003>.
- International Rules for Seed Testing (2020). Full Issue i-19-8 (300) <https://doi.org/10.15258/ista-rules.2020>.
- Kang K-S, Bila AD, harju AM, Lindgren D (2003). Estimation of fertility variation in forest tree populations. *Forestry*, 76(3): 329-344.
- Karaşahin H, Velioğlu E, Nur M (2001). Possibility of Long Term Storage of Taurus Cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) and Nordmann's Fir (*Abies nordmanniana* (Steven) Spach.) Seeds. Orman Ağaçları ve Tohumları İslah Araştırma Müdürlüğü Yayını, *Teknik Bülten* No: 7, Ankara (in Turkish).
- Kayadibi B (2011). Effects of seedling density and root undercutting on some morphological characters of Lebanon cedar seedlings. [Master Thesis] Artvin, Artvin çoruh University. (in Turkish)
- Kayihan GC, Kaya Z, Kandemir G, Önde S (2006). The genetic structure of *Cedrus libani* A. Rich seed stands determined by random amplified polymorphic DNA markers. *Forest Genetics*, 12(3): 181-190.
- Koçaş A (2011). Evaluation of Taurus cedar (*Cedrus libani* A. Rich) afforestation in Seydişehir. [Master Thesis] Isparta, Süleyman Demirel University. (in Turkish)
- Konnert M (2017). Short Reviews on the Genetics and Breeding of introduced to Europe Forest Tree Species – *Cedrus atlantica* and *Cedrus libani*. *Silva Slovenica, Studia Forestalia Slovenica* 151, 6-8.
- Körner C (2007) The use of "altitude" in ecological research. *Trends Ecol Evol* 22:569-574
- Kurt Y, Kaya N, Işık K (2008). Isozyme Variation in Four Natural Populations of *Cedrus libani* A. Rich. in Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32: 137-145.
- López-Tirado J, Vessella F, Schirone B, Hidalgo PJ (2018) Trends in evergreen oak suitability from assembled species distribution models: assessing climate change in south-western Europe. *New Forests* 49, 471-487.
- Lopez-Tirado J, Vessella F, Stephan J, Ayan S, Schirone B, Hidalgo PJ (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.
- MacKenzie WH, Mahony CR (2021). An ecological approach to climate change-informed tree species selection for reforestation, *Forest Ecology and Management*, Volume 481, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118705>.
- Mahfoud I, Jabbour B, Soulaïman R (2019). Study of long-term climatic changes effects on cedar of Lebanon (*Cedrus libani* A. Rich) stands (Syria) using remote sensing techniques. *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*, 8(3): 84-92.
- 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 Research*, 134: 1005-1017.
- Musselman L (2007) Figs, dates, laurel, and myrrh: plants of the bible and the quran. Timber Press, China.
- Narin T (2012). Evaluation of forestation studies carried out between 2004-2010 in Mardin region. [Master Thesis] Kahramanmaraş Sütçü İmam University. (in Turkish)
- OGM (2015a). Forest asset. Available online: <https://web.ogm.gov.tr/ekutuphane/Yayinlar/T%C3%BCrkiye%20Orman%20Varl%C4%B1%C4%9F%C4%B1-2016-2017.pdf> (15 July 2021). (in Turkish)
- OGM (2015b). Action Plan II for the Rehabilitation of Cedar forests (2015-2019). Available online: <https://www.ogm.gov.tr> (15 July 2021) (in Turkish).
- OGM (2020). Forestry statistics. Available online: <https://www.ogm.gov.tr/ekutuphane/Sayfalar/Istatistikler.aspx> (15 July 2021). (in Turkish)
- OGM (2021). Breeding facilities 2021. Available online: <https://ortohum.ogm.gov.tr/Documents> (15 July 2021). (In Turkish)
- Öner N, Kondur Y, Şimsek Z, Aslan S (2015). Evaluation of survival ratios and growth of the common plantation species (Black pine and Taurus cedar) on arid and semiarid sites in Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24: 2906-2915.

- Öner N, Uysal M (2009). Usability of the Taurus Cedar and Crimean Pine in green belt afforestations in semiarid regions in Turkey: A case study in Konya Province Loros Mountain – Akyokus. *African Journal of Agricultural Research*, 4(10): 1049-1057.
- Özdemir I (1997). A reserach on determination of some factors affecting the biological success of the plantations of Crimean pine (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) and Taurus cedar (*Cedrus libani* A. Rich) in Isparta-Atabey region. [Master Thesis] Isparta, Süleyman Demirel University. (in Turkish)
- Özel HB, Bilir N (2016). Fertility variation in two populations of Taurus cedar (*Cedrus libani* Rich.). *Pakistan Journal of Botany*, 48(3): 1129-1132.
- Pawson SM, Brin A, Brockerhoff EG, Lamb D, Payn TW, Paquette A, Parrotta JA (2013) Plantation forests, climate change and biodiversity. *Biodivers Conserv*, 22: 1203-1227.
- Pekal K (2009). Evaluation of plantations along Artvin Çoruh river basin: a case study in Sümbüllü and Salkımlı districts. [Master Thesis] Artvin, Artvin Çoruh University. (in Turkish)
- Perk B (2011). Effect of Cantainer Size on Morphological and Physiological Properties of Some Forest Trees by Containerized Seedling Production. [Ph.D. Thesis] Eskişehir, Eskişehir Osmangazi University. (in Turkish)
- Polat S, Polat O, Kantarcı MD, Tüfekçi S, Aksay Y (2014). Relationships between some environmental characteristics and site indices (H38) of Taurus cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) and Black pine (*Pinus nigra* Arnold.) afforestation areas in the Kadıncık Basin of Mersin. *Journal of Forestry Research*, 1: 22-37.
- Sarı S (2018). Effect of lifting date on physiological condition of Taurus cedar (*Cedrus libani* A. Rich) seedlings. [Master Thesis] Isparta, Isparta University of Applied Sciences. (in Turkish)
- Semerçi A (2002). The Relationships Between Some Morphological and Physiological Characteristics of Cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) Seedlings and Planting Success in Central Anatolia. İç Anadolu Ormançılık Araştırma Enstitüsü Yayınları Teknik Bülten No: 279, Ankara. (in Turkish)
- Semerçi A (2005). Fifth Year Performance of Morphologically Graded *Cedrus libani* Seedlings in the Central Anatolia Region of Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 29: 483-491.
- Sürücü Z (2012). Effects of different site qualities on stand growth in some Taurus cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) afforestations in Lakes District. [Master Thesis] Isparta, Süleyman Demirel University. (in Turkish)
- Šeho M (2020). Die Libanonzeder – dürretolerante Baumart für trockene Standorte. AFZ DerWald 12/2020. 16-20.
- Šeho M, Janßen A, Kavaliauskas D, Fussi B (2019). Anbaueignung der Libanonzeder als Alternativbaumart für trockene und flachgründige Kalkstandorte. Abstract-Band und Exkursionsführer zur 6. Tagung der Sektion Forstgenetik/Forstpflanzenzüchtung «Forstpflanzenzüchtung für die Praxis» in Dresden, 16.-19.09.2019, 66 S.
- Toprak B (2016). Afforestation success of ecto- and arbuscular mycorrhizae inoculated black pine (*Pinus nigra*), cedar (*Cedrus libani*) and Turkish oak (*Quercus cerris*) seedlings in semi-arid eco-systems. [Ph.D. Thesis] Düzce, Düzce University. (in Turkish)
- Toprak B (2020). Early growth performance of mycorrhizae inoculated Taurus Cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) seedlings in a nursery experiment conducted in inland part of Turkey, *Journal of Plant Nutrition*, 43: 165-175.
- Toprak B, Yıldız O, Sargıncı M, Güner ŞT (2016). Effects of Seedling Diameter and Height on Survival of Black Pine (*Pinus nigra*), Taurus Cedar (*Cedrus libani*) and Turkish Oak (*Quercus cerris*) in Semi-aridland Afforestation. *Ormançılık Dergisi*, 12: 105-111 (in Turkish).
- Toprak B, Yıldız O, Sargıncı M, Güner ŞT, Pekşen A, Altundağ Çakır E (2018). Changes in Morphological Variables of Cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) Seedlings in Response to Mycorrhizae Inoculation. *Journal of Forestry*, 14(1): 30-44. (in Turkish)
- Touchan R, Xoplaki H, Funkhouser H, Luterbacher J, Hughes M, Erkan N, Akkemik U, Stephan J (2005). Reconstructions of spring/summer precipitation for the Eastern Mediterranean from tree-ring widths and its connection to large-scale atmospheric circulation. *Clim Dyn* 25:75–98.
- Tüfekçi S (2007). Isolation of mycorrhizae of Taurus cedar (*Cedrus libani* A. Rich) on natural population and their growth and using in seedling propagation. [Ph.D. Thesis] Adana, Çukurova University. (in Turkish)
- Uğurlu S (1989). Sedir (*Cedrus libani* A. Rich.) fidanlarının dikimden önce "agricol" ile muamelesinin tutma başarısına etkisi ile ekonomisinin irdelenmesi. Ormançılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Teknik Raporlar Serisi: 40-43, p. 3-18, Ankara. (in Turkish)
- Ürgeç S, Boydak M (1992). Akdeniz Bölgesi ağaçlandırmalarının özellikleri, sorunları ve çözüm önerileri. Türkiye Akdeniz Bölgesi Ormanları ve Ormanlığına İlişkin Bilimsel Yaklaşımlar. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Ormançılık Araştırma ve Uygulama Merkezi Müdürlüğü, Yayın No: 1, p.45-57. (in Turkish)
- Williams MI, Dumroese RK (2013). Preparing for climate change: Forestry and assisted migration. *J. Forest.* 111, 287–297.
- Yazıcı N, Bilir N (2017). Aspectual fertility variation and its effect on gene diversity of seeds in natural stands of Taurus cedar (*Cedrus libani* A. Rich.). *International Journal of Genomics*, 2017: 1-5. <http://dx.doi.org/10.1155/2017/2960624>.
- Yer EN, Ayan S (2011). Growth stages of bare rooted seedlings of Taurus cedar and Anatolian black pine in Eskişehir forest nursery conditions, *Journal of Forestry Faculty*, Kastamonu University, 11 (2): 219-227.
- Yıldız D (2005). Influence of some growing techniques on morphological properties of Taurus cedar (*Cedrus libani* A. Rich) seedlings. [Master Thesis] Isparta, Süleyman Demirel University. (in Turkish)
- Yılmaz M, Tonguç F (2014). Effects of Temperature Treatments on the Germination of Taurus Cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) Seeds. *KSU Journal of Nature Sciences*, 17(4): 1-6.

Résumé

Cette synthèse bibliographique fait le point des connaissances actuelles sur le cèdre du Liban (*Cedrus libani* A. Rich.) : i) son aire de répartition et les menaces qui pèsent sur lui ; ii) les activités de production et de tests de graines ; iii) son élevage en pépinière, iv) les techniques de plantation, régénération et entretien ; v) ses performances en reboisement et réhabilitation ; vi) sa capacité d'adaptation au changement climatique, et vii) l'amélioration génétique (croisements). L'article s'adresse aux praticiens forestiers et aux scientifiques de Turquie et d'Europe centrale qui travaillent avec cette espèce importante et précieuse face au changement climatique. Elle donne un aperçu des peuplements semenciers, des unités de conservation des gènes et des vergers à graines (zones de conservation in-situ et ex-situ), qui assureront la survie du cèdre du Liban et constitueront les bases de sa culture à l'avenir. Des stratégies pour les pépinières et la production de plants de cèdre du Liban sont élaborées. On présente les méthodes de plantation et régénération, cruciales pour tous les praticiens. L'expérience acquise sur ses performances en reboisement pourrait être une base pour de futurs tests de provenances, plantations et tentatives de migration assistée. La capacité d'adaptation, l'altitude, la latitude et l'adéquation de l'habitat pour la répartition actuelle sont prises en compte. Des modèles pour la situation actuelle et pour les scénarios climatiques du futur sont discutés, et devront être pris en compte dans les programmes de reboisement.

Mots-clés : reboisement, Cèdre du Liban, changement climatique, réhabilitation, migration assistée

Summary

A promising species in afforestation and rehabilitation activity when faced with climate change: *Cedrus libani* A. Rich.

This review paper gives a review of the literature concerning the Taurus cedar (*Cedrus libani* A. Rich.): i) Distribution and threats to this species; ii) Seed production activities and seed testing; iii) Nursery activities; iv) Stand establishment and cultivation; v) Taurus cedar performance in afforestation and rehabilitation; vi) Capacity for adaptation and climate change scenarios; and vii) Genetic improvement. The paper is of interest to forestry professionals and scientists in Turkey and central Europe who work with this important and valuable tree species under threat from climate change. An overview of seed stands, gene conservation units and seed groves (in-situ and ex-situ conservation areas) is given; together these will ensure the survival of Taurus cedar and provide the basis for cultivation in the future. Plans for nursery undertakings and Taurus cedar seedling production are outlined. Plantation and regeneration methods, crucial for all involved in forestry, should provide the basis for future provenance tests, plantations and attempts at assisted migration. Adaptation capability, altitude, latitude and habitat suitability for current distribution have been taken into account. Models for present as well as predicted scenarios need to be discussed and should be taken into account in afforestation programs.

Keywords: afforestation, *Cedrus libani*, climate change, rehabilitation, assisted migration.