

Cedrus libani au Liban face aux changements climatiques

par Magda BOU DAGHER-KHARRAT

**Quel est l'état de *Cedrus libani*
au Liban aujourd'hui et comment
réagit-il aux changements
climatiques en cours ?
Même s'il n'existe pas d'études
exhaustives sur l'impact
du changement climatique
sur les cèdres au Liban, grâce
à la connaissance de la biologie,
de la physiologie et des exigences
écologiques du cèdre, cet article
présente quelques constats et
observations de terrain.**

Aujourd'hui, en plus de la pression anthropique galopante, la région méditerranéenne doit faire face aux conséquences du changement climatique. Ces dernières s'intensifient et exacerbent les problèmes environnementaux qui sont causés par les effets combinés des modifications de l'utilisation des sols, de l'augmentation de la pollution et de la dégradation de la biodiversité (CRAMER *et al.* 2018). En ce qui concerne les forêts, les changements actuels et les futurs scénarios révèlent systématiquement d'importants risques accrus dans les décennies à venir. Les cèdres ayant connu un déclin phénoménal depuis des millénaires à cause de la cupidité volontaire ou involontaire des humains, font l'objet, depuis quelques décennies seulement, de programmes nationaux pour la réhabilitation de leurs forêts. Pourtant leur destinée n'en reste pas moins incertaine avec le réchauffement climatique. Un aperçu historique s'impose !

Comme attesté par la présence de fossiles (macro-fossiles ou pollen), le genre *Cedrus* avait une répartition très large couvrant l'Asie et l'Europe et même le continent américain (Cf. Fig. 1). Ces fossiles sont de plus en plus jeunes en allant du nord vers le sud suggérant que l'origine du genre *Cedrus* serait le nord de l'Asie. Aujourd'hui, complètement absent du continent européen à l'état naturel, le cèdre y a pourtant vécu depuis des millions d'années. Sa présence durant le Miocène (16-11 Ma) est révélée par son pollen retrouvé en Turquie (YAVUZ-IŞIK, 2007), en Bulgarie (IVANOV *et al.*, 2002), et en Autriche (JIMÉNEZ-MORENO *et al.*, 2008). Durant le Pléistocène le genre *Cedrus* a commencé sa régression jusqu'à sa disparition complète de la Péninsule Ibérique, du sud de la France, de l'Italie et de la Grèce. Une revue sys-

tématique fine des données polliniques de *Cedrus* a été effectuée par MAGRI (2012) et HAJAR *et al.*, (2008) pour le sud de l'Europe et à l'est de la Région méditerranéenne. La figure 1 en montre une synthèse.

On en conclut que le genre *Cedrus* aurait disparu relativement rapidement vers la moitié du Pléistocène. Cette période correspond aux changements majeurs qui ont eu lieu avec les oscillations climatique glaciaires et interglaciaires (BERTINI, 2010 ; TZEDAKIS *et al.*, 2006). La question révélant laquelle des périodes glaciaire ou interglaciaire fut la plus fatale pour le cèdre, reste ouverte. La présence de plusieurs taxons éteints ne présage pas un grand potentiel d'adaptation aux changements climatiques. Les études phylogénétiques réalisées sur les taxons actuels du genre *Cedrus* montrent que les quatre taxons restants sont monophylétiques, ils se seraient formés par vicariance à partir d'un taxon tertiaire ayant occupé une large aire de répartition.

Même si certaines espèces ont traversé avec plus ou moins de succès le crible des grandes crises du Pléistocène (SVENNING, 2003), cet héritage biologique s'avère fragilisé par la rapidité et l'ampleur des changements environnementaux en cours et à venir sur le pourtour méditerranéen (MAZZOLENI *et al.*, 2004).

Quel est l'état de *Cedrus libani* au Liban aujourd'hui et comment réagit-il aux changements climatiques en cours ?

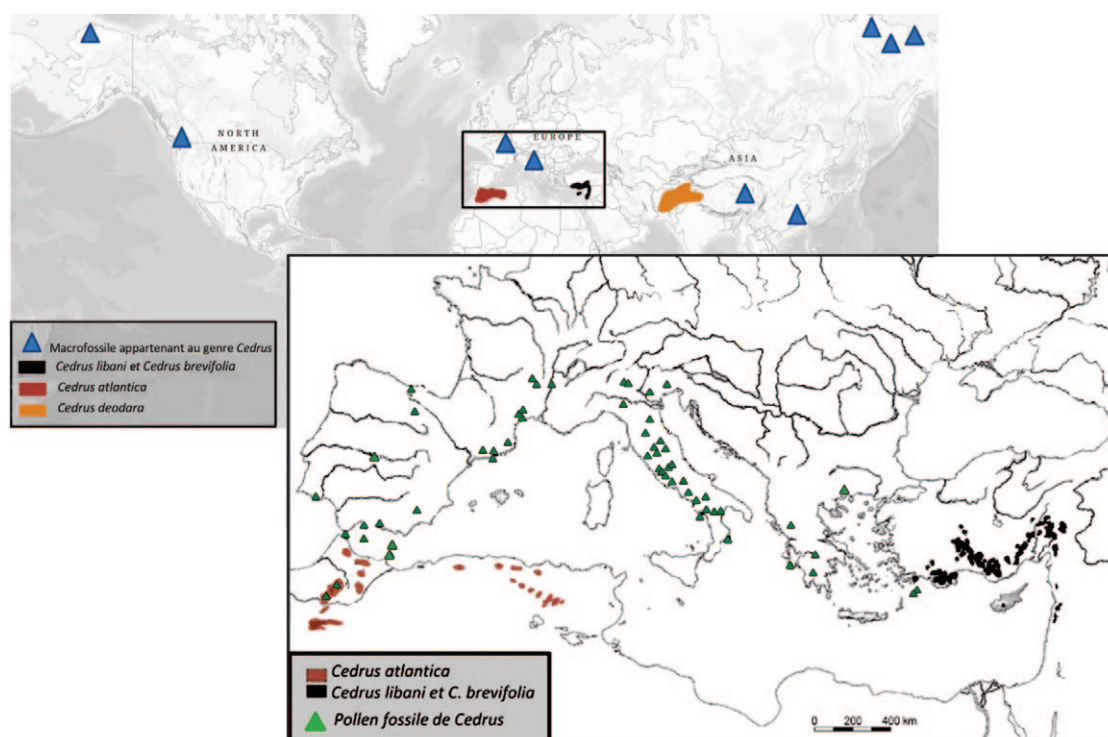
Les changements climatiques modifient en premier lieu les facteurs abiotiques de l'environnement dans lesquels évoluent les cèdres comme la température (température moyenne ainsi que les minimum et maximum atteints), l'humidité de l'air et du sol, la diminution des précipitations et ou le raccourcissement de la saison de précipitation. Ainsi, les cédraies du Liban qui peuplent l'étage montagnard entre 1 400 et 2 000 mètres d'altitude sont soumises à une forte diminution de la période d'enneigement (un à deux mois au lieu de 4 ou 5 mois) et à des épisodes caniculaires récurrents.

D'autre part, les changements climatiques peuvent avoir des répercussions importantes sur la structure et le fonctionnement des cédraies, notamment en modifiant les cycles de vie ou le comportement de certains organismes, et ainsi conduire à des changements dans les interactions qu'ils établissent avec les cèdres (compétition, prédation, parasitisme, mutualisme...).

Au Liban, il n'y a pas eu d'études exhaustives sur le sujet. Mais connaissant la biologie, la physiologie et les exigences écologiques du cèdre, nous pourrions toutefois constater quelques points et partager des observations de terrain qui nécessitent des recherches et des suivis pour être confirmés.

La désarticulation des cônes : les cônes du cèdre deviennent matures en automne et s'apprêtent à libérer leurs graines. L'action du gel et du dégel des cônes de cèdre impré-

Fig. 1 :
Répartition géographique
des taxons de *Cedrus*
fossiles et actuels.



gnés d'eau de pluie accélère la désarticulation des écailles des cônes et la libération des graines. Avec le réchauffement climatique et l'adoucissement des températures, les épisodes de gel sont de moins en moins fréquents en début de saison (Cf. Photo 1).

La prolongation de la présence des graines dans les cônes humides peut déclencher la germination des graines dans les cônes avant même que ces graines ne tombent au sol. Ce phénomène de « viviparité » qui condamne, à terme, la régénération naturelle a été observé chez les cèdres de basse altitude à Barouk et à Tannourine.

Une étude systématique de ce phénomène dans les différentes cédraies et à différentes altitudes devrait être conduite afin de confirmer ce phénomène.

Tolérance naturelle à la sécheresse : la tolérance du cèdre à la sécheresse réside essentiellement dans sa capacité à puiser l'eau en profondeur via son système racinaire. En conditions contrôlées, il a été démontré qu'en cas de sécheresse, le cèdre développait davantage ses racines que sa partie aérienne. La régulation stomatique de la transpiration du cèdre est moyenne. Il continue en effet à réaliser la photosynthèse et à croître pour des niveaux de sécheresse assez prononcés (DUCREY 1988). À une sécheresse brusque et intense il peut réagir en interrompant sa croissance en longueur. Un assèchement des cimes des cèdres est observé en général à partir d'un certain âge donnant à l'arbre le signal d'arrêter son développement en hauteur et de commencer à adopter le port tabulaire caractéristique des vieux arbres. Ces dernières années, l'assèchement de la cime est observé chez des individus de plus en plus jeunes. Ce phénomène pourrait être dû à la sécheresse ressentie par ces jeunes cèdres. Là aussi une étude systématique devrait être conduite sur ce point. Nous avons observé également chez les cèdres à basse altitude, des nécroses cambiales qui provoquent des écoulements de résine le long du tronc. La sécheresse peut être à l'origine de ces nécroses qui peuvent cicatriser ultérieurement sans dommages irréversibles pour l'arbre (AUSSENAC et FINKELSTEIN 1983 ; BELVAUX et TRON 1996; DUCREY *et al.* 2008)

Comme chez d'autres organismes vivants, la tolérance à la sécheresse peut s'effectuer par acclimatation et/ou par adaptation. La première se manifeste à travers la mise en place par les cèdres de stratégies de tolérance au stress hydrique. En effet, quand les



Photo 1 :
Germination des graines de cèdre dans un cône de cèdre du Liban.

épisodes de stress hydrique sont réguliers et modérés ou allant crescendo, les cèdres se révèlent résistants à des sécheresses prononcées et occasionnelles qu'on considérerait comme fatales pour des arbres régulièrement alimentés en eau. Le développement racinaire en profondeur ainsi que d'autres mécanismes physiologiques peuvent être à l'origine de cette résistance.

Quant à l'adaptation qui se fait à l'échelle de la population et non de l'individu, elle opère par sélection naturelle et se manifeste par la survie après la germination des plantules qui sont naturellement plus tolérantes à la sécheresse et l'élimination de ceux qui requièrent plus d'humidité. C'est dans cette optique que nous nous permettons de spéculer que la large diversité génétique des cédraies porteuse de génotypes résistants ou sensibles à diverses contraintes environnementales dont la sécheresse pourrait être leur gage de survie.



Photo 2 :
En l'absence d'agents biotiques causant ces phénomènes, la mort de ce jeune cèdre et l'assèchement de la cime de l'autre (encadré) peuvent être dus à une sécheresse exacerbée. Photos prises à la Réserve naturelle de Horsh Ehdén.
Photos T. Chahine et S. Markos.

Attaque des ravageurs : en 1990, suite à une période caniculaire, un roussissement suivi d'une défoliation des cèdres de la forêt de Tannourine a été observé. Le dépérissement fût provoqué par l'émergence de *Cephalcia tannourinensis* un hyménoptère endémique. Le cycle de vie de cet insecte ravageur défoliateur des cèdres décrit par CHEVIN en 2002 comprend un stade de diapause d'une ou de plusieurs années en fonction de l'humidité et la température du sol. Le réchauffement climatique a perturbé le cycle de vie de l'insecte de façon à provoquer une éclosion annuelle et une augmentation exponentielle du nombre d'insectes ravageurs. Les forêts fortement infestées brunissent, comme si elles avaient été brûlées. Dans la cédraie de Tannourine et de Hadat el Jebbeh, le taux d'attaque s'élevait à plus de 70% menaçant la pérennité de la cédraie. Aujourd'hui, les épidémies sont surveillées de très près et un plan de gestion intégrée basé sur l'emploi de nématodes entomopathogènes est mis en place (BASSIL *et al.* 2018) (Cf. Photo 3).

Photo 3 :

Cédraie de Tannourine attaquée par *Cephalcia tannourinensis*. Le gros plan montre les bourgeons estivaux de secours induits par la défoliation causée par *C. tannourinensis*. Ces bourgeons sont ensuite les sites de pontes d'un autre ravageur.
Photo M.B.K.

Feu de forêt : peu de végétation se développe à l'ombre dense des cèdres : le sous-bois est quasi inexistant et la litière formée d'aiguilles courtes est assez compacte et peu inflammable. Le risque d'incendie est par conséquent assez faible. Cependant, dans les forêts mixtes ou dans les forêts nouvellement boisées, le réchauffement du climat augmentera et étendra le risque d'incendies à des régions jusqu'ici peu touchées ou épargnées. Nous avons assisté en 2019 et en 2021 à des

feux dans la région d'Akkar qui se sont déclenchés dans les pinèdes et les chênaies puis se sont propagés vers les cédraies et les junipéraies de haute altitude (Cf. Photo 4).

Modélisation de la distribution potentielle de *Cedrus libani* : nous disposons aujourd'hui d'outils pour modéliser la distribution potentielle des espèces sous différents scénarios possibles de sécheresse.

Pour HAJAR *et al.* 2010, des modélisations ont permis de cartographier les zones où les cèdres pourraient potentiellement être conservés jusqu'à l'année 2100 sous les trois scénarios climatiques possibles. Le scénario le plus pessimiste prédit que seules quelques unes des forêts existantes de *C. libani* pourront survivre dans la partie nord du Mont Liban. Les trois scénarios montrent que les cèdres peuvent être conservés près de leur répartition géographique actuelle mais à des altitudes plus élevées. Des résultats similaires ont été obtenus par LOPEZ-TIRADO *et al.* 2020 qui ont réalisé des projections de la cartographie des cèdres du Liban jusqu'en 2050 après une collecte complète de données sur la répartition actuelle de cette espèce en prenant en considération l'état de conservation et le degré de menace auquel le cèdre du Liban est confronté.

Cette étude a révélé la sensibilité des cèdres aux changements climatiques passés et suggère une grande étendue des zones bioclimatiques adaptées au développement du cèdre en Turquie. En revanche, au Liban, la migration en altitude n'est possible que pour certaines populations qui ont encore un espace disponible en altitude comme par exemple à Bcharre, Ehden et Tannourine/Haddath al Jibbe. Cette migration peut se faire naturellement, mais vu la faible faculté de dispersion des graines de cèdre, principalement effectuée par le vent et qui peut atteindre au mieux quelques dizaines de mètres, et vu la vitesse à laquelle le changement climatique se déroule, une migration assistée est requise.

Par ailleurs, cette migration en altitude est observable indirectement par la réduction dans le recrutement des populations de basse altitude qui est corrélée avec l'aridité croissante (LINARES *et al.*, 2011). Cette baisse de recrutement peut être due, d'une part, à la faible survie des graines qui germent et, d'autre part, à la récurrence du phénomène de viviparité que nous avons expliqué plus haut. En effet, dans une étude menée par LELIEVELD *et al.* en 2012, sur le changement climatique et son impact à l'est de la région



méditerranéenne, des zones où il n'y aura plus de gel « *frost free* » ont été identifiées dans les montagnes libanaises. Ces zones-là sont typiquement les zones où les cônes de cèdre ne libèreraient pas leurs graines convenablement et où la forêt connaîtrait une rétraction avec le temps. Ces zones-là ne devraient pas faire l'objet de boisement en cèdre.

Depuis 2012, le ministère de l'Agriculture du Liban a lancé un ambitieux programme pour la plantation de 40 millions d'arbres. Le cèdre occupe une place prépondérante dans ces campagnes de boisement majoritairement réalisées par des ONG. Afin de mener ces campagnes efficacement, il faudra utiliser à bon escient toutes les données scientifiques dont on dispose. Les études de diversité génétique effectuées sur les populations libanaises de cèdre du Liban (BOU DAGHER-KHARRAT *et al.* 2007 ; FADY *et al.* 2008) et les cartes potentielles de zones favorables (HAJAR *et al.* 2010 ; par LOPEZ-TIRADO *et al.* 2020) devront guider ces éventuels projets de reboisement. Ainsi, des peuplements à diversité génétique élevée devraient être utilisés comme sources de graines pour les cèdres à planter.

Il faudrait noter que toutes ces modélisations et ces prédictions n'ont pas pris en considération les facteurs biotiques susceptibles d'avoir leur mot à dire dans cette course à l'adaptation aux changements climatiques. La mycorhization et la microbiologie du sol, la compétition interspécifique, la facilitation sélective ou le surpâturage sont autant d'élé-



Photo 4 :
Cèdres du Akkar
après le passage du feu
de l'été 2021.
Photo K. Taleb.

ments qui peuvent contribuer à la réussite comme à l'échec de cette course que le cèdre mène pour survivre.

Le reboisement au Liban dans toutes les zones susceptibles d'être un lieu potentiellement favorable au développement du cèdre devrait être effectué avec des graines issues de forêts à haute diversité génétique ou idéalement avec un mix de graines des différentes populations, la tolérance à la sécheresse n'étant pas le seul défi que ces cèdres devraient relever dans le futur (Cf. Photo 5).

M.B.K.

Magda BOU DAGHER-KHARRAT
Faculté des Sciences
de l'Université Saint
Joseph, USJ, Beyrouth
Liban
magda.boudagher@
usj.edu.lb



Photo 5 :
Plantation de *Cedrus libani*
par l'ONG Jouzour
Loubnan autour du
barrage de Chabrouh
où les cèdres se plaisent
particulièrement bien.
Photo R. Nehmé.

Références

- Cramer W, Guiot J, Fader M, Garrabou J, Gattuso J-P, Iglesias A, Lange MA, Lionello P, Llasat MC, Paz S, Peñuelas J, Snoussi M, Toreti A, Tsimplis MN, Xoplaki E (2018) Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nature Climate Change* 8, 972-980, doi: 10.1038/s41558-018-0299-2
- Yavuz-Işık N (2007) Pollen analysis of coal-bearing Miocene sedimentary rocks from the Seyitömer Basin (Kütahya), *Western Anatolia. Geobios* 40, 701-708.
- Ivanov D, Ashraf AR, Mosbrugger V, Palamerev E (2002) Palynological evidence for Miocene climate change in the Forecarpathian Basin (Central Paratethys, NW Bulgaria). *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 178, 19-37
- Jiménez-Moreno G, Fawcett PJ, Anderson RS (2008) Millennial- and centennial-scale vegetation and climate changes during the Late Pleistocene and Holocene from northern New Mexico (USA). *Quaternary Science Reviews* 27, 1442-1452.
- Magri D (2012) Quaternary history of *Cedrus* in southern Europe. *Ann. Bot. (Roma)*, 2, 57-66.
- Hajar L, Khater C, Cheddadi R (2008) Vegetation changes during the late Pleistocene and Holocene in Lebanon: a pollen record from the Bekaa Valley. *The Holocene* 18 1089-1099.
- Bertini A (2010) Pliocene to Pleistocene palynoflora and vegetation in Italy: state of the art. *Quatern. Int.* 225, 5-24.
- Tzedakis PC, Channell JET, Hodell DA, Kleiven HF, Skinner LC (2006) Determining the natural length of the current interglacial. *Nature Geoscience* 5, 138-141.
- Svenning J-C (2003) Deterministic Plio-Pleistocene extinctions in the European cool-temperate tree flora. *Ecology Letters* 6, 646-653.
- Mazzoleni S, di Pasquale G, Mulligan M, et al. (2004) *Recent dynamics of the Mediterranean vegetation and landscape*. John Wiley & Sons. Chichester, UK.
- Ducrey M. 1988. Réactions à la sécheresse de quelques espèces forestières méditerranéennes. *Revue Forestière Française* XL 5 359-370
- Aussenac G., et Finkelstein D. 1983. influence de la sécheresse sur la croissance et la photosynthèse du cèdre. *Ann. Sci. For.* 40 (1) 67-77.
- Belvaux E., Tron G. 1996. expérimentation d'arrosage de boisements en forêt méditerranéenne. *Forêt méditerranéenne*. XVII (4) 287-303.
- Ducrey M, Huc R, Ladjal M, Guehl J. M., 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, 689-701.
- Bassil, Sarita & Kattar, Salim & Navarro-Cerrillo, R & Poyatos, Miguel & Nemer, Nabil & Palacios, Guillermo. (2018). Stand structure and regeneration of *Cedrus libani* (A. Rich) in Tannourine Cedar Forest Reserve (Lebanon) affected by cedar web-spinning sawfly (Cephalcia tannourinensis, Hymenoptera: Pamphiliidae). *Forest - Biogeosciences and Forestry.* 11. 10.3832/for2502-011.
- 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 Biologies*, Volume 333, Issue 8, Pages 622-630,
- López-Tirado, J., Vessella, F., Stephan, J. et al. 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 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11056-020-09798-y>
- Linares JC, Taïqui L, Camarero JJ (2011) Increasing Drought Sensitivity and Decline of Atlas Cedar (*Cedrus atlantica*) in the Moroccan Middle Atlas Forests. *Forests* 2, 777-796.
- Lelieveld, J., Hadjinicolaou, P., Kostopoulou, E. et al. Climate change and impacts in the Eastern Mediterranean and the Middle East. *Climatic Change* 114, 667–687 (2012). <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0418-4>
- 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
- Bou Dagher-Kharrat M., Mariette S., Fady B., Lefevre F., Grenier G., Plomion C. et Savouré A., Geographical diversity and genetic relationships among *Cedrus* species assayed by AFLP. 2007. *Tree Genetics & Genomes* 3: 275-285

Résumé

La région méditerranéenne doit faire face aux conséquences du changement climatique. Ces conséquences sont exacerbées par les impacts d'une population en constante augmentation extirpant les ressources naturelles. Les changements climatiques modifient les facteurs abiotiques de l'environnement et peuvent avoir des répercussions importantes sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes. Quel est l'état de *Cedrus libani* au Liban aujourd'hui et comment réagit-il aux changements climatiques en cours ?

Mis à part certaines études de projection et de modélisation qui ont permis de cartographier les zones où les cèdres pourraient potentiellement être conservés jusqu'à l'année 2100 sous différents scénarios climatiques possibles, il n'y a pas eu d'études exhaustives sur l'impact du changement climatique sur les cèdres au Liban. Mais connaissant la biologie, la physiologie et les exigences écologiques du cèdre, cet article présente quelques constats et observations de terrain qui nécessitent des recherches et des suivis pour être confirmés.