

Les taillis méditerranéens de chênes verts face aux changements climatiques : éclaircir pour améliorer leur résistance à la sécheresse

par Jordane GAVINET, Jean-Marc OURCIVAL, Morine LEMPEREUR,
Antoine CABON & Jean-Marc LIMOUSIN

Les changements climatiques attendus pour la région méditerranéenne prévoient une augmentation des températures et de la sécheresse qui affecteront la croissance et le fonctionnement des taillis de chêne vert.

Quels sont les modes de gestion qui apporteront une solution intéressante pour l'adaptation de ces taillis méditerranéens ?

Les auteurs nous livrent les résultats d'une expérimentation de sécheresse appliquée sur des peuplements de chêne vert pendant 14 ans.

Les taillis de chênes verts sont une formation forestière typique de la région méditerranéenne et couvrent plus de 350 000 ha dans le sud de la France. Traditionnellement exploités par des coupes rases tous les 15 à 30 ans pour la production de bois de chauffage et de charbon de bois jusqu'au milieu du XX^e siècle, ils sont aujourd'hui souvent laissés à l'abandon et forment des taillis denses, âgés et à croissance très lente. Ces vieux taillis sont de surcroît aujourd'hui confrontés à des changements climatiques intenses et rapides (GIEC, 2013). L'augmentation des températures et le changement du régime de précipitation entraînent une sécheresse accrue qui vient renforcer la contrainte hydrique caractéristique de la zone méditerranéenne. Des phénomènes de dépérissement et de mortalité accrue sont d'ores et déjà attribués à l'augmentation de la sécheresse en région méditerranéenne (ALLEN *et al.*, 2010 ; CARNICER *et al.*, 2011).

Le Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive (CEFE, laboratoire CNRS) étudie le fonctionnement du taillis de chênes verts (*Quercus ilex* L.) de la forêt domaniale de Puéchabon depuis 1984. Ce site expérimental, situé à 35 km au nord-ouest de Montpellier (Hérault), est représentatif des conditions moyennes de développement du chêne vert dans le sud de la France. Le sol y est superficiel et très caillouteux avec une faible réserve en eau. Le taillis n'a subi aucune intervention sylvicole depuis la dernière coupe rase en 1942, ce qui en fait un peuplement âgé et dense (entre 5000 et 7000 tiges/ha, pour une surface terrière d'environ 30 m²/ha).

Impacts de la sécheresse sur le fonctionnement des taillis de chêne vert

Flux et bilan de carbone de l'écosystème à chêne vert

Un dispositif de mesure des échanges de carbone et de vapeur d'eau entre la forêt et l'atmosphère permet d'établir un bilan de carbone précis de l'écosystème depuis 1998 (Cf. Photo 1).

Le taillis de chênes verts de Puéchabon se comporte comme un puits de carbone, y compris les années les plus sèches, et fixe en moyenne 2,56 tC/ha/an (Cf. Fig. 1). L'assimilation de carbone, ou photosynthèse brute, est en moyenne de 11,6 tC/ha/an et les pertes de carbone par respiration de 9,07 tC/ha/an. Le bilan de carbone présente une importante saisonnalité et plus de 75% du carbone est fixé entre mars et juin. Cette saisonnalité s'explique par des effets différents du climat sur les flux au cours de l'année. La photosynthèse est contrôlée à la fois par l'ensoleillement et la disponibilité en eau qui sont maximums au printemps, alors qu'en été la sécheresse est limitante. En automne la respiration du sol est favorisée par un sol chaud et humide, alors que la photosynthèse est pénalisée par un ensoleillement moindre qu'au printemps. Par conséquent, le bilan annuel de carbone dépend en grande partie des conditions climatiques



Photo 1 :

Tour de mesure des flux d'eau et de carbone entre la forêt et l'atmosphère.

Photo JM Ourcival.

printanières, et en particulier des précipitations de mars à juin. Entre 2001 et 2014, le bilan net de carbone a varié de 1,37 tC/ha/an à 4,51 tC/ha/an.

Une double contrainte climatique sur la croissance

Des mesures journalières de la croissance en diamètre des troncs montrent que la croissance annuelle du chêne vert a lieu en deux phases : au printemps et à l'automne (Cf. Fig. 2). La production de bois est arrêtée à la fois par le froid durant les mois d'hiver et par la sécheresse durant l'été. Les conditions propices à la croissance sont donc limitées aux périodes douces et humides – globalement, au printemps et à l'automne. La croissance est plus sensible au climat que la photosynthèse et plus restreinte dans le temps. Ainsi, la disponibilité en éléments carbonés est moins limitante que le climat pour la réalisation de la croissance (LEMPEREUR *et al.*, 2015). La date de démarrage de la croissance au printemps dépend de la température hivernale, plus l'hiver est doux et plus la croissance est précoce. La croissance s'arrête durant l'été lorsque le stress hydrique des arbres (sécheresse) dépasse un certain seuil, puis reprend à l'automne lorsque les pluies ont été suffisamment abondantes pour supprimer la contrainte hydrique avant de s'arrêter à nouveau dès que les températures redeviennent froides (LEMPEREUR *et al.*, 2015). La période de croissance printanière représente en moyenne 70% de la croissance annuelle totale.

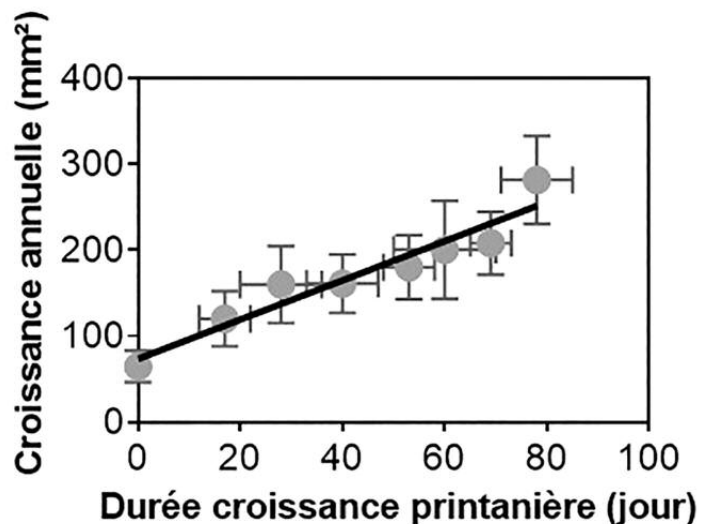
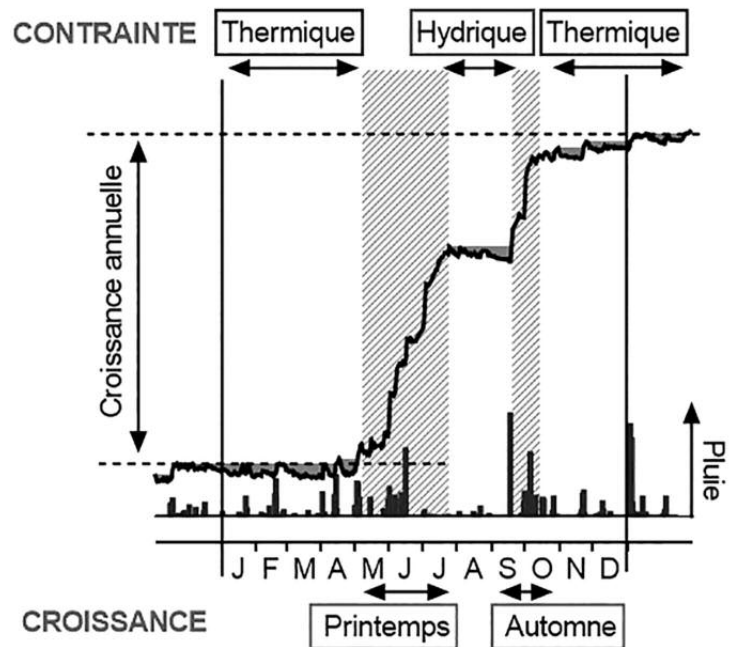
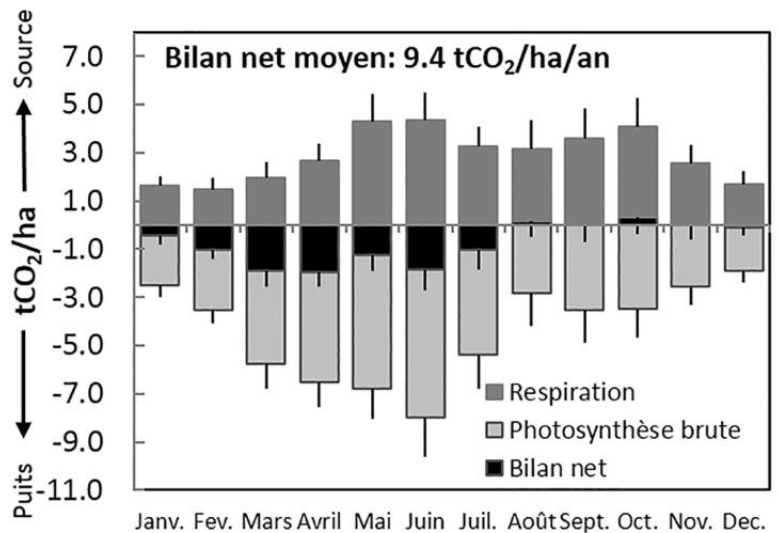
Rôle de l'intensité et de la précocité de la sécheresse de printemps sur la croissance en diamètre des arbres

La durée de croissance printanière est comprise entre la date de démarrage de la croissance (liée aux températures hivernales) et la date de début de la sécheresse. La croissance annuelle des arbres dépend en grande partie de la durée de la croissance printanière, plus elle sera longue et plus la croissance annuelle sera importante (Cf. Fig. 3 ; LEMPEREUR *et al.*, 2015). La hausse de température causée par les changements climatiques a un effet favorable sur la date de début de croissance, puisque celle-ci est plus précoce lorsque les hivers sont plus doux.

Cependant, l'augmentation de la température entraîne une augmentation de l'évaporation et de la transpiration des arbres, qui conduit à un épuisement plus rapide de la réserve en eau du sol et à une sécheresse plus précoce. Il est prévu que la précocité de la sécheresse évolue plus rapidement que la précocité du début de croissance (liée au réchauffement hivernal), la durée de croissance printanière tendra donc à diminuer (LEMPEREUR *et al.*, 2015). Comme la production de bois dépend principalement de la durée de croissance, la date de début de la sécheresse a plus d'effet sur la croissance annuelle que l'intensité de la sécheresse durant l'été (LEMPEREUR *et al.*, 2017). En retardant la sécheresse, les pluies de printemps ont donc plus d'effet sur la croissance que les pluies d'été.

La gestion par éclaircie des taillis de chêne vert pour l'adaptation au changement climatique

Pour favoriser la croissance du chêne vert, il est donc important de retarder le début de la sécheresse estivale. La gestion sylvicole par éclaircie, en réduisant la densité des tiges et la surface foliaire du couvert, ralentit l'épuisement de la réserve en eau du sol en limitant la compétition entre les arbres restants (BRÉDA *et al.*, 1995 ; GEBHARDT *et al.*, 2014). Réduire la densité des peuplements est donc de plus en plus évoqué comme un moyen d'adapter les forêts aux changements climatiques (VILÀ-CABRERA *et al.*, 2018). Toutefois, de nombreuses interrogations demeurent dans le cas particulier des taillis méditerranéens, du fait de leur propension à rejeter de souche. Deux expéri-



De haut en bas :

Fig. 1 :

Flux de carbone mensuels moyens de 1998 à 2014. Le bilan net est égal à la photosynthèse brute moins la respiration.

Fig. 2 :

Patron de croissance annuelle du chêne vert mettant en évidence les phases de croissance et la double contrainte climatique (thermique en hiver, hydrique en été).

Fig. 3 :

Croissance annuelle moyenne du chêne vert en fonction de la durée de croissance printanière.

mentations d'éclaircie ont été réalisées sur le site de Puéchabon : la première permet d'examiner l'effet de l'éclaircie sur 30 ans à travers une vaste gamme d'intensités de prélèvement ; la seconde combine une éclaircie avec une expérimentation de réduction des précipitations et permet d'examiner la pertinence d'une éclaircie dans un contexte de sécheresse accrue.

Quelle intensité d'éclaircie appliquer ?

La première expérimentation a été initiée en 1986 sur des peuplements âgés d'environ 45 ans. Une éclaircie sélective par le bas a été appliquée en prélevant les plus petites tiges au bénéfice des plus grosses. Cinq intensités d'éclaircie ont été appliquées, prélevant environ 0% (témoin), 25%, 45%, 60% et 80% de la surface terrière. Chaque traitement est appliqué sur trois placettes de 1000 m² chacune, pour un total de 15 placettes suivies (DUCREY, 1996). Le nombre de tiges prélevées varie d'environ 50% (25% de la surface terrière) à 90% (80% de surface terrière). Sur chaque placette, un inventaire des diamètres des arbres a été réalisé de 1986 à 1991, puis en 2013 et 2015.

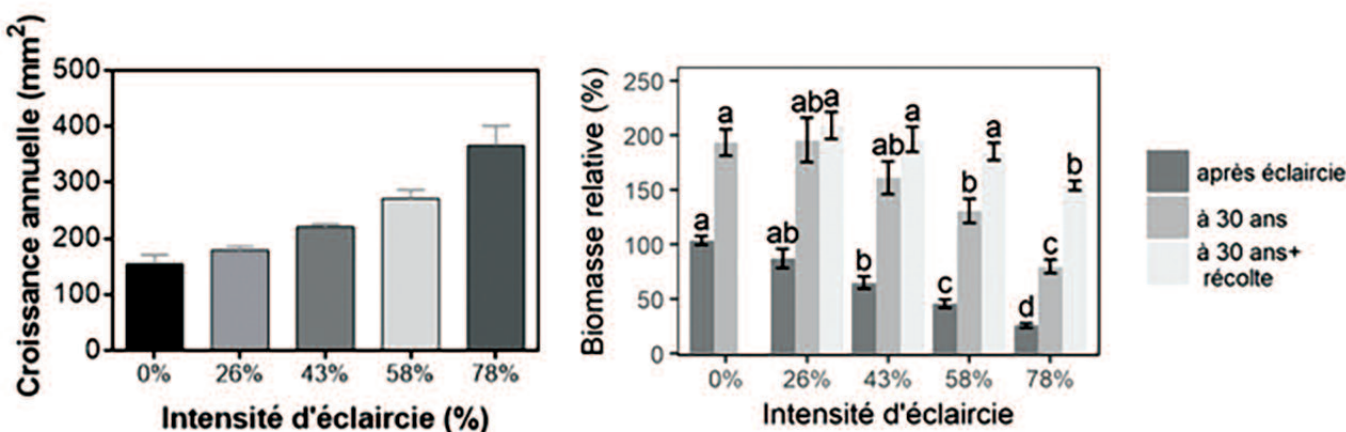
L'éclaircie du taillis a un effet positif sur la croissance des arbres et cet effet augmente avec l'intensité d'éclaircie (Cf. Fig. 4). Cet effet positif est particulièrement marqué les premières années, puis s'estompe avec le temps mais reste significatif même après 30 ans pour les éclaircies les plus fortes (à partir de 45%). Il s'explique en partie par une sélection des tiges de plus gros diamètre dont la croissance est meilleure, mais aussi par une stimulation de la croissance à diamètre équivalent qui peut être attribuée à un décalage de la sécheresse (CABON *et al.*, 2018).

Toutefois, les éclaircies les plus fortes favorisent également le rejet de souche des chênes et la croissance des espèces de sous-bois (DUCREY, 1996), ce qui peut estomper voire annuler l'effet positif de l'éclaircie sur le bilan hydrique (PRÉVOSTO *et al.*, 2018), favoriser la propagation des incendies et gêner l'exploitation. De plus, les éclaircies fortes diminuent la biomasse de bois sur pied du peuplement, ce qui n'est que partiellement compensé par une meilleure croissance individuelle (Cf. Fig. 4). Après 30 ans, les peuplements ayant fait l'objet d'intensités d'éclaircies intermédiaires (25 - 45%) présentent une biomasse de bois sur pied égale aux peuplements non éclaircis, voire légèrement plus élevée en prenant en compte le bois extrait par l'éclaircie, tandis que la biomasse diminue avec des intensités plus fortes. Une éclaircie d'intensité moyenne (ici entre 25 et 45%), permettant de conserver un couvert continu, apparaît donc comme un bon compromis entre décapitalisation et stimulation des arbres restants, tout en permettant de limiter le développement du sous-bois et des rejets. L'intensité de l'éclaircie devrait cependant être adaptée aux conditions locales et à la fertilité du site (DUCREY, 1996). Par exemple, sur le pin sylvestre, AMEZTEGUI *et al.* (2017) montrent par modélisation que l'intensité optimale d'éclaircie en termes de productivité varie entre 20 et 40% en fonction du climat, avec des intensités plus faibles préférables dans les conditions plus arides.

L'éclaircie compense les effets d'une sécheresse aggravée

Une seconde expérience, initiée en 2003, combine une éclaircie de 30% de la surface terrière avec une réduction expérimentale des pluies de 27% à l'aide de gouttières, simulant les conditions plus sèches attendues d'ici la fin

Fig. 4 : Effet de l'intensité d'éclaircie (en % de surface terrière prélevée) sur la croissance annuelle moyenne des arbres sur la période 1986-2015 (gauche) et sur la biomasse relative après éclaircie, 30 ans plus tard et en prenant en compte la biomasse récoltée lors de l'éclaircie (droite). Des lettres différentes indiquent des différences significatives entre traitements, $P < 0,05$.



du siècle. Elle comprend donc quatre traitements : un traitement témoin, un traitement sec avec 27% de pluie en moins, un traitement éclairci à 30% et un traitement éclairci et sec (Cf. Photo 2). L'éclaircie de 30% de la surface terrière correspond à la suppression d'environ 50% des tiges. Elle a été réalisée en supprimant les tiges dominées et en éclaircissant les plus grosses cépées, dans le but de maintenir un couvert continu. Chaque traitement est appliqué sur 3 parcelles de 100 m², pour un total de 12 parcelles. Un suivi annuel du diamètre de l'intégralité des arbres, des mesures mensuelles de chute de litière et des mesures continues de flux de sève permettent d'estimer la productivité aérienne du peuplement et sa consommation d'eau.

Sur 14 ans (2003-2017), la productivité moyenne du taillis de chêne vert est de 2,3 tC/ha/an, ce qui est cohérent avec les données estimées par les échanges de carbone (voir p. 180). La production de bois représente environ 25% de cette productivité totale, la production de feuilles pratiquement 50% et le reste provient de la reproduction (fleurs, glands) et des branches mortes.

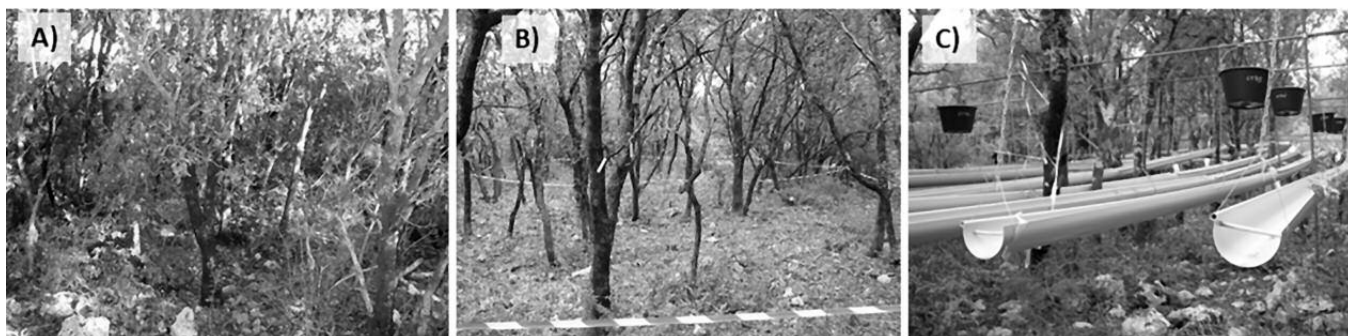
La production de bois du couvert non éclairci se situe en moyenne aux alentours de 0,62 tC/ha/an (soit 1,3 t/ha/an en biomasse sèche) alors qu'elle est 30% plus importante dans le traitement éclairci (en moyenne 0,79 tC/ha/an), et même 20% plus importante (en moyenne 0,72 tC/ha/an) dans le traitement éclairci et sec. L'éclaircie permet donc de stimuler la croissance même dans des conditions plus sèches. Par ailleurs, le taux de mortalité est très faible dans les traitements éclaircis (0,3% par an) du fait de l'élimination des tiges les moins vigoureuses, tandis qu'il atteint 2,1% par an sur les traitements non éclaircis. La sécheresse accrue n'a que peu d'impact sur la croissance ou le taux de mortalité. Par contre, la mortalité touche globalement des arbres de plus gros diamètre sur les parcelles du traitement sec.

La combinaison d'une meilleure croissance et d'une plus faible mortalité entraîne un accroissement en surface terrière plus que doublé dans les traitements éclaircis (Cf. Fig. 5). On estime par conséquent qu'entre 25 et 30 ans suffisent pour que la surface terrière vivante rattrape celle du taillis naturel après une éclaircie de 30%. En plus de présenter un meilleur accroissement, les peuplements éclaircis sont plus résistants à des sécheresses extrêmes comme la sécheresse de 2006 (voir aussi SOHN *et al.*, 2016). L'année 2006 a en effet été marquée par une sécheresse précoce et intense, qui a conduit à des mortalités de l'ordre de 4% ainsi qu'à une baisse de la croissance d'environ 70% par rapport à la moyenne dans les peuplements non éclaircis. En 2006, les peuplements non éclaircis ont perdu de la surface terrière (Cf. Fig. 5), ce qui signifie que la mortalité n'a pas été compensée par la croissance des arbres restants. En revanche, l'accroissement s'est maintenu en 2006 dans les peuplements éclaircis. Ces différents résultats montrent qu'une gestion du taillis visant à en réduire la densité, même faiblement, a des effets bénéfiques sur la production de bois, et que ces bénéfices sont conservés sous des conditions plus sèches.

La réduction expérimentale des précipitations diminue la production de feuilles (-22%), de glands (-33%) et la productivité totale (-13% ; Cf. Fig. 6). Les taillis éclaircis produisent au contraire plus de glands (+54%) et l'éclaircie compense totalement l'effet de l'augmentation de la sécheresse (Cf. Fig. 6). Éclaircir les taillis permettrait donc de maintenir la production de glands dans un futur plus sec, ce qui est particulièrement important pour la régénération sexuée de l'espèce et son potentiel d'adaptation génétique ou de migration face aux changements climatiques. Cependant, ce résultat doit être tempéré par le fait que la production de glands reste dominée par des

Photos 2 :

Parcelles de taillis avant éclaircie (A), après éclaircie de 30% de la surface terrière (B) et dispositif de gouttières excluant 27% des précipitations nettes (C). Les seaux accrochés au-dessus des gouttières permettent d'évaluer la production de litière (feuilles, branches mortes, fleurs mâles et glands).
Photos JM Ourcival.



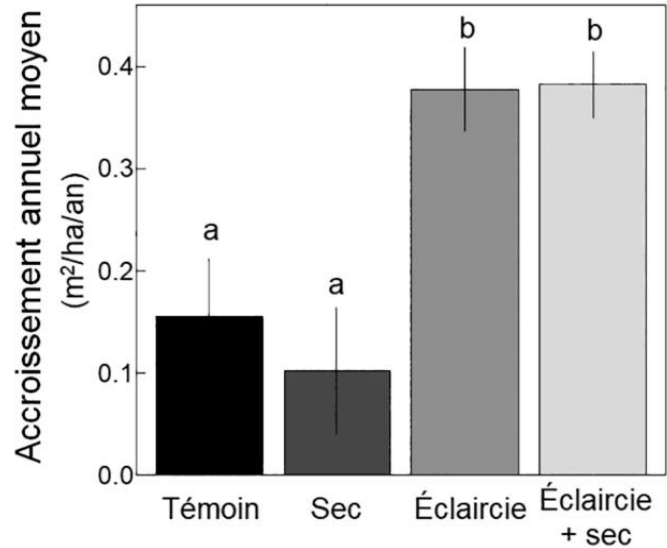
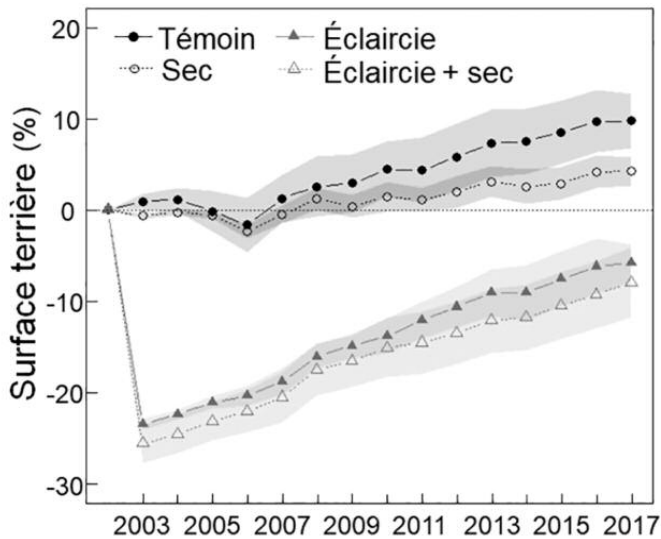


Fig. 5 : Évolution de la surface terrière en fonction des traitements d'éclaircie et de réduction des précipitations, en pourcentage de la surface terrière initiale (à gauche) et accroissement annuel moyen entre 2003 et 2017 (à droite). Des lettres différentes indiquent des différences significatives, $P < 0.05$.

glands avortés, en particulier dans les traitements secs. L'effet positif de l'éclaircie sur la production de glands sains n'est que marginalement significatif (+33%, $P = 0.08$, voir aussi RODRÍGUEZ-CALCERRADA *et al.*, 2011). De plus, la prédation, la germination et la survie des plantules sont autant d'étapes ultérieures à la production de glands pouvant compromettre le succès de régénération : une étude menée sur le site de Puéchabon a montré que la probabilité globale de régénération du chêne — en prenant en compte l'ensemble des étapes démographiques — est très faible et encore diminuée par l'exclusion de pluie (PÉREZ-RAMOS *et al.*, 2010). La capacité de l'éclaircie à améliorer le succès de ces étapes reste à évaluer, mais des couverts un peu ouverts sont généralement plus favorables à l'établissement des plantules de chêne vert que des couverts très denses (GAVINET *et al.*, 2015 ; PÉREZ-RAMOS *et al.*, 2013). Enfin, les peuplements éclaircis, malgré une densité d'arbres plus faible, ont une productivité totale équivalente aux peuplements non éclaircis y compris en conditions plus sèches (Cf. Fig. 6).

Par ailleurs, la réduction des précipitations entraîne une diminution de la surface foliaire qui va de pair avec une baisse de la transpiration du peuplement (Cf. Fig. 6) ce qui représente un ajustement naturel à la sécheresse (LIMOUSIN *et al.*, 2012, 2009). À long terme, la diminution de la surface foliaire imposée par l'éclaircie est de moindre ampleur que celle causée par la sécheresse. La transpiration des peuplements éclaircis est, elle aussi, réduite par rapport au témoin, du fait du plus faible nombre d'arbres par unité de surface. À productivité équivalente, les peuplements éclaircis consomment moins d'eau et ont donc une efficacité d'utilisation de l'eau supérieure (+60% en conditions normales, +15% en conditions plus sèches). L'eau non utilisée par les peuplements forestiers est exportée par ruissellement ou infiltration pour finalement rejoindre les cours d'eau ou nappes souterraines. Dans l'optique d'un futur plus sec, cet effet bénéfique de l'éclaircie sur les ressources en eau utilisables par les sociétés est de plus en plus mis en avant (AMEZTEGUI *et al.*, 2017 ; BIROT *et al.*, 2011 ; DEL CAMPO *et al.*, 2014). La gestion par éclaircie représente donc une manière d'optimiser le fonctionnement des taillis tout en réduisant sa consommation d'eau.

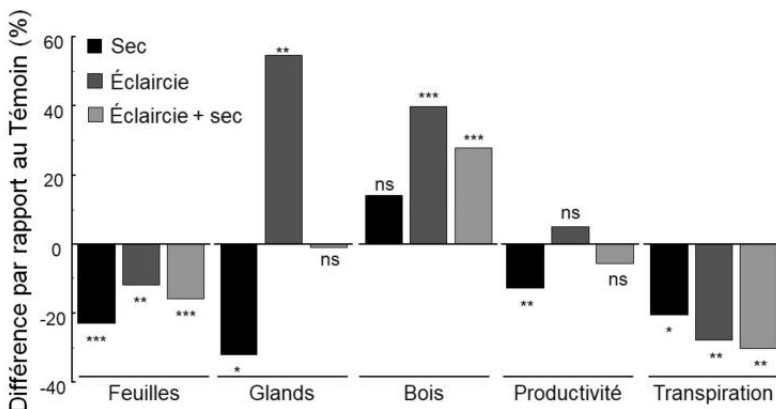


Fig. 6 : Effet relatif des traitements sur la production de feuilles, de glands et de bois, la productivité totale (bois + litière) et la transpiration du peuplement, en pourcentage par rapport au témoin. Les étoiles indiquent une différence entre la moyenne du traitement et du témoin : * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$, ns : pas de différence significative.

Conclusion : les peuplements éclaircis, plus économes en eau et plus résistants au changement climatique

La sylviculture des taillis de chêne vert est actuellement peu pratiquée mais elle pourrait se révéler particulièrement bénéfique, voire indispensable, sous des conditions climatiques futures plus sèches. L'éclaircie du taillis réduit, dans un premier temps, la biomasse et la surface foliaire, mais permet d'économiser la ressource en eau et d'en prolonger l'utilisation au printemps. L'éclaircie a des effets bénéfiques sur la production de bois et de glands. Elle limite la mortalité des arbres et favorise les arbres plus gros et plus vigoureux ayant une meilleure croissance et capacité de résistance à la sécheresse. Ces effets bénéfiques de l'éclaircie sont conservés même pour des conditions plus sèches comme celles attendues dans le futur. De plus, l'éclaircie permet de limiter voire d'éliminer certains effets d'une sécheresse aggravée comme la mortalité des plus gros arbres ou la baisse de la surface foliaire. En réduisant et en retardant les effets de la sécheresse sur le fonctionnement des arbres, l'éclaircie du taillis permet à celui-ci de mieux supporter des conditions plus sèches et donc les changements climatiques à venir pour la région méditerranéenne. L'intensité de l'éclaircie doit prendre en compte la fertilité et l'âge du taillis et maintenir la continuité du couvert pour limiter l'embroussaillage et la mortalité des cimes. Une éclaircie modérée facilite également l'accès du public et limite le risque de propagation des incendies. Les résultats expérimentaux du site de Puéchabon appellent désormais à être répliqués à plus grande échelle dans un objectif d'exploitation commerciale des taillis de chênes verts.

Bibliographie

Allen, C.D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D.D., Hogg, E.H., Gonzalez, P., Fensham, R., Zhang, Z., Castro, J., Demidova, N., Lim, J.-H., Allard, G., Running, S.W., Semerci, A., Cobb, N., 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *For. Ecol. Manag., Adaptation of Forests and Forest Management to Changing Climate* 259, 660-684.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001>

Ameztegui, A., Cabon, A., De Cáceres, M., Coll, L., 2017. Managing stand density to enhance the adaptability of Scots pine stands to climate change: A modelling approach. *Ecol. Model.* 356, 141-150.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.04.006>

Birrot, Y., Gracia, C., Palahi, M., 2011. *L'eau pour les forêts et les hommes en région méditerranéenne : un équilibre à trouver*. European Forest Institute.

Bréda, N., Granier, A., Aussenac, G., 1995. Effects of thinning on soil and tree water relations, transpiration and growth in an oak forest (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). *Tree Physiol.* 15, 295-306.
<https://doi.org/10.1093/treephys/15.5.295>

Cabon, A., Mouillot, F., Lempereur, M., Ourcival, J.-M., Simioni, G., Limousin, J.-M., 2018. Thinning increases tree growth by delaying drought-induced growth cessation in a Mediterranean evergreen oak coppice. *For. Ecol. Manag.* 409, 333-342.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.11.030>

Carnicer, J., Coll, M., Ninyerola, M., Pons, X., Sánchez, G., Peñuelas, J., 2011. Widespread crown condition decline, food web disruption, and amplified tree mortality with increased climate change-type drought. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 108, 1474-1478.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1010070108>

del Campo, A.D., Fernandes, T.J.G., Molina, A.J., 2014. Hydrology-oriented (adaptive) silviculture in a semi-arid pine plantation: How much can be modified the water cycle through forest management? *Eur. J. For. Res.* 133, 879-894.
<https://doi.org/10.1007/s10342-014-0805-7>

Ducrey, M., 1996. Recherches et expérimentations sur la conduite sylvicole des peuplements de chêne vert. *For. Méditerranéenne* XVII, 151-168.

Gavinnet, J., Vilagrosa, A., Chirino, E., Granados, M.E., Vallejo, V.R., Prévosto, B., 2015. Hardwood seedling establishment below Aleppo pine depends on thinning intensity in two Mediterranean sites. *Ann. For. Sci.* 72, 999-1008.
<https://doi.org/10.1007/s13595-015-0495-4>

Gebhardt, T., Häberle, K.-H., Matyssek, R., Schulz, C., Ammer, C., 2014. The more, the better? Water relations of Norway spruce stands after progressive thinning. *Agric. For. Meteorol.* 197, 235-243.
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.05.013>

GIEC, Stocker, T., Qin, D., Plattner, G.-K., 2013. Changements climatiques 2013, les éléments scientifiques : résumé à l'intention des décideurs, résumé technique et foire aux questions. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Geneva, Switzerland.

Lempereur, M., Limousin, J.-M., Guibal, F., Ourcival, J.-M., Rambal, S., Ruffault, J., Mouillot, F., 2017. Recent climate hiatus revealed dual control by temperature and drought on the stem growth of Mediterranean *Quercus ilex*. *Glob. Change Biol.* 23, 42-55.
<https://doi.org/10.1111/gcb.13495>

Lempereur, Martin St Paul, Damesin, Joffre, Ourcival, Rocheteau, Rambal, 2015. Growth duration is a better predictor of stem increment than carbon supply in a Mediterranean oak forest: implications for assessing forest productivity under climate change. *New Phytol.* 207, 579-590.
<https://doi.org/10.1111/nph.13400>

Limousin, J.M., Rambal, S., Ourcival, J.M., Rocheteau, A., Joffre R., Rodriguez-Cortina R., 2009. Long-term transpiration change with rainfall decline in a Mediterranean *Quercus ilex* forest. *Glob. Change Biol.* 15, 2163-2175.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01852.x>

Limousin, J.-M., Rambal, S., Ourcival, J.-M.,

Jordane GAVINET¹
Jean-Marc OURCIVAL¹
Moline LEMPEREUR^{1,2}
Antoine CABON^{1,3,4}
Jean-Marc LIMOUSIN¹

1 - Centre d'écologie Fonctionnelle et Évolutive CEFE CNRS, 1919 route de Mende 34293 Montpellier Cedex 5
Tél : 04 67 61 32 93;
Courriels :
jordane.gavinnet@cefe.cnrs.fr
jean-marc.limousin@cefe.cnrs.fr
jean-marc.ourcival@cefe.cnrs.fr

2 - Institut méditerranéen de biodiversité et d'écologie marine et continentale (IMBE) CNRS, IRD
Avignon Université UMR 7263 Aix
Marseille Université Marseille Cedex 3

3 - Forest Science and Technology Centre of Catalonia (CEMFOR-CTFC), Solsona ESPAGNE

4 - CREAM Cerdanyola del Vallès, Barcelona ESPAGNE

Remerciements :

Le site expérimental de Puéchabon appartient au SOERE F-ORE-T, soutenu annuellement par Ecofor, Allenvi et l'infrastructure nationale de recherche ANAEE-F et l'OSU OREME. Cette recherche a été soutenue par le Fond stratégique forêt bois (FSFB) financé par le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation à travers le projet Innov'flex, et par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) à travers la bourse doctorale de M. Lempereur.

- Rodríguez-Calcerrada, J., Pérez-Ramos, I.M., Rodríguez-Cortina, R., Misson, L., Joffre, R., 2012. Morphological and phenological shoot plasticity in a Mediterranean evergreen oak facing long-term increased drought. *Oecologia* 169, 565-577. <https://doi.org/10.1007/s00442-011-2221-8>
- Pérez-Ramos, I.M., Ourcival, J.M., Limousin, J.M., Rambal, S., 2010. Mast seeding under increasing drought: results from a long-term data set and from a rainfall exclusion experiment. *Ecology* 91, 3057-3068. <https://doi.org/10.1890/09-2313.1>
- Pérez-Ramos, I.M., Rodríguez-Calcerrada, J., Ourcival, J.M., Rambal, S., 2013. *Quercus ilex* recruitment in a drier world: A multi-stage demographic approach. *Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst.* 15, 106-117. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2012.12.005>
- Prévosto, B., Audouard, M., Helluy, M., Lopez, J.-M., Balandier, P., 2018. Le bilan hydrique en forêt méditerranéenne : influence des strates et de leur gestion. Application au pin d'Alep. *For. Méditerranéenne* XXXIX, 3-13.
- Rodríguez-Calcerrada, J., Pérez-Ramos, I.M., Ourcival, J.-M., Limousin, J.-M., Joffre, R., Rambal, S., 2011. Is selective thinning an adequate practice for adapting *Quercus ilex* coppices to climate change? *Ann. For. Sci.* 68, 575-585. <https://doi.org/10.1007/s13595-011-0050-x>
- Sohn, J.A., Saha, S., Bauhus, J., 2016. Potential of forest thinning to mitigate drought stress: A meta-analysis. *For. Ecol. Manag.*, Special section: Drought and US Forests: Impacts and Potential Management Responses 380, 261-273. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.07.046>
- Vilà-Cabrera, A., Coll, L., Martínez-Vilalta, J., Retana, J., 2018. Forest management for adaptation to climate change in the Mediterranean basin: A synthesis of evidence. *For. Ecol. Manag.* 407, 16-22. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.10.021>

Résumé

Le climat méditerranéen exerce une double contrainte sur la croissance des arbres du fait de ses hivers humides mais froids et de ses étés chauds et secs. Les changements climatiques attendus pour la région méditerranéenne prévoient une augmentation des températures et de la sécheresse qui affecteront la croissance et le fonctionnement des taillis de chêne vert. La croissance des arbres, la productivité du peuplement et sa fonction de puit de carbone sont en effet fortement dépendants de conditions hydriques favorables, en particulier au printemps. Face à une augmentation expérimentale de la sécheresse appliquée pendant 14 ans, on observe un ajustement à la baisse de la surface foliaire et de la transpiration du peuplement, une baisse de la production de glands ainsi qu'une mortalité touchant de plus gros arbres. Une gestion sylvicole par éclaircie modérée économise l'eau, stimule la croissance des arbres et diminue la mortalité, même en conditions plus sèches. Elle permet aussi d'augmenter la production de glands du peuplement et de la maintenir en cas de sécheresse accrue. Ce mode de gestion apparaît donc comme une solution particulièrement intéressante pour l'adaptation des taillis méditerranéens aux changements climatiques.

Summary

Mediterranean holm oak coppices facing climate change : thinning can improve drought resistance

Tree growth limitations under the Mediterranean climate arise from both low winter temperature and drought stress during summer. Rising temperature and increasing drought induced by the on-going climate change are affecting productivity and functioning of holm oak forests. Tree growth, stand productivity and its carbon sink strength are in fact highly dependent on water availability, in particular during spring. A 14-year rainfall exclusion experiment led to a decrease in leaf area, acorn production and stand transpiration and to the mortality of bigger trees. Coppice thinning stimulates stem and acorn production as well as reducing water consumption and mortality, even under drier conditions. Thinning thus appears to offer an advantageous management option in helping Mediterranean holm oak coppices to adapt to climate change.

Resumen

Encinares mediterráneos frente al cambio climático: el aclareo mejora su resistencia a la sequía

El clima mediterráneo limita el crecimiento de los árboles a través de las bajas temperaturas en invierno y la sequía en verano. El cambio climático está aumentando las temperaturas y la sequía, lo que va limitar aún más el funcionamiento de los bosques de encina. El crecimiento de los árboles, la productividad del bosque y su función de sumidero de carbono están estrechamente vinculadas a las buenas condiciones hídricas, particularmente en primavera. Una reducción de lluvia experimental durante 14 años en un encinar ha provocado una disminución de la superficie foliar, de la transpiración y de la producción de bellotas y ha provocado una mortalidad de árboles más grandes. Una gestión selvícola por aclareos de intensidad intermedia ahorra agua, estimula la producción de madera y bellotas, y este efecto positivo se mantiene en condiciones más secas. Este tipo de manejo parece entonces particularmente relevante para adaptar los bosques mediterráneos al cambio climático.