

FACTEURS DÉTERMINANT LA RÉPONSE DE LA CROISSANCE AÉRIENNE DU PIN D'ALEP À LA SÉCHERESSE

Thèse de Léa **VEUILLEN**¹

Analysée par Bernard **ROMAN-AMAT**²

Directeur de thèse : Bernard **PREVOSTO**, ingénieur de recherche, INRAE, Aix-Marseille Université

Co-directeur de thèse : Maxime **CAILLERET**, chargé de recherche, INRAE, Unité Mixte de Recherche RECOVER, site d'Aix en Provence, Le Tholonet

Contexte

La thèse de Léa VEUILLEN a été préparée en trois ans dans l'Unité Mixte de Recherche RECOVER associant l'INRAE et l'Université d'Aix Marseille, centrée sur le fonctionnement des écosystèmes et les risques naturels en milieu méditerranéen (3275 route de Cézanne, CS 40061, F- 13182 Aix-en-Provence Cedex 5, France).

Elle s'inscrit dans le thème général de l'identification et de la compréhension des déterminants de la réponse des peuplements forestiers à la sécheresse. L'espèce choisie est le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) qui est une espèce forestière majeure sur tout le pourtour de la Méditerranée et notamment en France où elle est présente sur environ 250 000 ha. Un regard est aussi porté sur l'espèce voisine, le pin brutia (*Pinus brutia* Ten.) dont l'aire naturelle est en Turquie. Les caractères examinés sont majoritairement ceux de la croissance, primaire et secondaire.

Contenu de la thèse

Le manuscrit de 136 pages, hors bibliographie, commence par une introduction générale très étoffée définissant les objectifs de la thèse, suivie d'une présentation des « matériels et méthodes » exposant les données utilisées et leur provenance. Suivent trois parties de longueur comparable correspondant aux trois axes d'investigation empruntés, faisant l'objet de publications en anglais, parues en 2023 pour les deux premières (*Agricultural and forest meteorology*, *Forest ecology and management*), en préparation pour la troisième (*Global*

¹ Thèse de doctorat préparée au sein de l'École doctorale 251, Sciences de l'environnement, Université d'Aix Marseille ; présentée et soutenue le 20 décembre 2023.

² Membre de l'Académie d'agriculture de France, section 2 « Forêts et filière-bois ».

change biology). La conclusion reprend en 18 pages les résultats obtenus, en tire les conséquences et dresse des perspectives.

Le premier axe s'intitule « Caractérisation de la résilience à la sécheresse du pin d'Alep le long de son aire de distribution ». La démarche a consisté en la mise en relation de la croissance radiale des arbres en forêt naturelle, mesurée sur des carottes de sondage, avec un index de bilan hydrique simplifié (la différence entre la pluviométrie et l'évapotranspiration (ETP)) calculé à partir des données météorologiques correspondant à celles de leur forêt. Grâce à la collaboration d'une quarantaine d'équipes de recherche, Léa VEUILLEN a rassemblé 40 jeux de largeurs de cernes différents (publiés ou non), mesurés sur carottes de sondage, après nettoyage et homogénéisation, de 281 peuplements forestiers, soit 4632 arbres. Toute l'aire de distribution de l'espèce est représentée. Pour chaque peuplement, les données météorologiques moyennes mensuelles (précipitations, températures et rayonnement solaire pour le calcul de l'ETP de Turc) de la station d'enregistrement la plus proche, pendant la période 1950-2020, ont été extraites de la base de données *ERA5-Land Copernicus*. Cet échantillon est exceptionnel par l'étendue de la zone géographique couverte et par sa profondeur temporelle. En revanche, aucune information n'est disponible sur les conditions stationnelles de l'ensemble de ces peuplements.

Trois grandeurs caractérisant le comportement de la croissance radiale des arbres sont définies à partir des différences de largeurs de cerne avant, pendant et après l'année de sécheresse : la résistance (largeur de l'année moins celle des années précédentes), la récupération (largeur des années suivantes moins celle de l'année), la résilience (résistance plus récupération, soit largeur des années suivantes moins celles des années précédentes). L'analyse a porté sur les moyennes des peuplements mais les données individuelles ont été stockées en vue de travaux ultérieurs. Les techniques sont celles de l'analyse de variance. Les principaux résultats obtenus sont les suivants :

- L'index de « précipitations-ETP » offrant globalement la meilleure corrélation avec la croissance radiale d'une année donnée est celui calculé sur 10 mois de septembre de l'année précédente à juin de l'année en cours ;
- La résistance diminue fortement avec l'intensité de la sécheresse, tandis que la résilience n'est que très peu affectée ;
- Les conditions météorologiques des années précédant et suivant l'année d'une sécheresse ont un impact sur la réaction de la croissance des arbres ; la récupération et la résilience des arbres après une sécheresse sont le mieux expliquées par une combinaison de trois indices de « précipitations-ETP » (années précédentes, en cours et suivantes) ; la résistance n'est corrélée qu'aux indices associant les années précédentes et l'année en cours ;
- La sensibilité de la résistance, la récupération et la résilience aux bilans hydriques des années avant, pendant et après la sécheresse augmentent avec l'aridité du site.

Le deuxième axe s'intitule « Origine de la variabilité inter-populations de la résilience à la sécheresse ». Il vise à apprécier la part de déterminisme génétique (variabilité inter-populations) dans les paramètres de résistance à la sécheresse, ainsi que pour plusieurs autres caractères (croissance, morphologie, résistance au froid). Les données proviennent de la plantation comparative installée par l'INRA en 1976 à CEYRESTE (Bouches-du-Rhône) et contenant douze provenances de pin d'Alep et treize de pin brutia issues principalement des parties sub-humide et humide de leur aire naturelle (3 sub-arides seulement). L'ETP prise en

compte pour calculer le déficit hydrique a été cette fois celle de Penman-Monteith. Les caractères de résistance à la sécheresse ont été appréciés à partir des largeurs de cernes sur carottes de sondage comme pour l'analyse précédente. La définition des caractères s'est fondée sur des périodes de deux ans avant et après sécheresse, et des formules non plus additives mais multiplicatives : Résistance = index de largeur de cerne de l'année étudiée / index de largeur de cerne des années précédentes ; Récupération = années suivantes / année étudiée ; Résilience = Résistance x Récupération = index années suivantes / index années précédentes. De manière innovante, un indice de compétition aérienne a été calculé pour chaque arbre, fondé sur l'analyse d'orthophotographies prises grâce à un drone. Les données ont été traitées par analyse de variance.

Les résultats ne montrent pas d'effet du facteur « espèce » ni du facteur « provenance » sur les paramètres de résistance ou résilience face à la sécheresse. Ces paramètres n'ont pas été influencés non plus par la concurrence aérienne entre arbres. Globalement, pendant toutes les années couvertes par la plantation comparative, les provenances de pin brutia ressortent comme mieux classées que celles de pin d'Alep pour la survie et la résistance au froid, la croissance et la morphologie du tronc. Ces résultats permettent de raisonner l'optimisation de l'utilisation des deux espèces face au changement climatique : la provenance locale de pin d'Alep (« Gemenos ») constitue le meilleur choix pour les conditions stationnelles comparables à celles du test ; pour des plantations plus au nord, le pin brutia présente de nombreux atouts.

Le troisième axe est intitulé « Réponse des traits de la croissance primaire du pin d'Alep à la sécheresse ». Il s'appuie sur des données provenant du dispositif expérimental INRAE de Font-Blanche (Bouches du Rhône) implanté en 2007 dans un peuplement mélangé de chêne vert et de pin d'Alep, à proximité immédiate du site de Ceyreste. Ce dispositif comporte une placette sur laquelle la pluviométrie est réduite de 30 % et une autre sur laquelle on peut augmenter la quantité d'eau incidente. Les objectifs poursuivis étaient (1) d'estimer les effets de quatorze années de réduction de pluviométrie sur les croissances primaire et secondaire des pins, (2) de déterminer si ces effets sont immédiats ou différés, (3) d'observer si la résistance à la sécheresse s'avère différente sous pluviométrie réduite, ce qui serait une preuve d'acclimatation.

Les résultats obtenus sont les suivants :

- La croissance aérienne du pin d'Alep est négativement impactée par la durée de la sécheresse de l'année précédente (polycyclisme), de l'année en cours (croissance radiale du tronc), des deux (nombre de ramifications, longueur de la pousse annuelle) ou par la sécheresse printanière (longueur des feuilles) ;
- La croissance radiale de l'année est positivement corrélée avec la pluviométrie de novembre n-1 à septembre n ;
- L'exclusion des pluies n'a pas affecté le nombre de ramifications, le taux de polycyclisme ni la croissance radiale ; en revanche la longueur des aiguilles et celle de la pousse annuelle sont respectivement réduites de 14,3 et 7,7% en moyenne. Cet effet est surtout significatif dans les une à trois premières années après la mise en place du traitement, et ne persiste pas dans le temps.
- Le traitement d'exclusion des pluies n'a entraîné aucune modification de la sensibilité à la sécheresse des traits étudiés ; cependant, à niveau de sécheresse égal, la longueur des aiguilles est légèrement réduite.

L'effet de la réduction expérimentale de pluviométrie de 30% semble plus limité qu'attendu, possiblement parce qu'elle est très inférieure à la variabilité de la pluviométrie naturelle d'une année à l'autre.

Avis du lecteur

La thèse de Léa VEUILLEN aborde le thème essentiel du comportement des essences forestières face à la sécheresse en s'intéressant aux pins méditerranéens d'Alep et brutia dans leur aire naturelle. Elle comporte un nombre impressionnant d'analyses, réalisées à différentes échelles géographiques (de l'ensemble de l'aire à un site expérimental d'à peine plus d'un hectare) et temporelles (de plusieurs décennies au mois). On peut regretter ici que Léa VEUILLEN oublie dans ses remerciements les organismes et les personnes qui ont conçu, mis en place et géré sur la durée les dispositifs de terrain de Ceyreste et de Font-Blanche. La thèse prouve pourtant la nécessité de telles infrastructures dans le champ des recherches forestières, qui s'inscrivent dans le temps très long : de tels dispositifs constituent donc un legs scientifique irremplaçable d'une génération de chercheurs aux suivantes. Léa VEUILLEN a mis en œuvre une batterie très diversifiée de techniques sophistiquées de recueil et d'analyse de ses données, certaines originales (compétition inter-arbres à Ceyreste). Le travail considérable accompli n'a pas permis à Léa VEUILLEN de descendre à l'échelle infra-cerne qui pourrait être pertinente pour l'analyse de la phénologie et de la physiologie de la croissance secondaire : c'est une piste pour la prolongation de son travail.

Globalement, la thèse de Léa VEUILLEN livre plusieurs résultats intéressants. Elle confirme le statut d'espèces « évitantes » face à la sécheresse des pins d'Alep et brutia, tout en le précisant. Ainsi, une réduction de 30% de la pluviométrie dans le site des Bouches du Rhône ne semble pas suffisante pour entraîner une baisse importante de croissance, primaire et secondaire, ou un dépérissement visible du pin d'Alep. Les informations acquises sur la réaction du pin d'Alep aux modalités de la sécheresse estivale (sensibilité à la durée plus qu'à l'intensité, impact des années précédant et suivant la sécheresse) et à la pluviométrie d'automne-hiver-printemps permettront d'affiner des modèles du comportement de cette espèce face à différents scénarios de modification du climat. La confirmation de la supériorité du pin brutia sur le pin d'Alep pour plusieurs caractères importants pour le sylviculteur (croissance, rectitude du fût, résistance au froid) ouvre des perspectives sur une éventuelle utilisation de cette espèce en France. Des pistes claires de recherche sont tracées pour l'avenir, par exemple l'analyse à l'échelle individuelle des composantes de la résilience face à la sécheresse et la prise en compte fine de la phénologie de la formation du cerne annuel.

Pour ces raisons, l'analyse de cette thèse mérite d'être valorisée par sa publication sur le site de l'Académie d'agriculture de France et de figurer dans le Mensuel de l'Académie.