



DÉFINIR LA DIVERSITÉ DES STRATÉGIES FONCTIONNELLES PLANTE ENTIÈRE EN INTÉGRANT LES TRAITS DE L'ACQUISITION ET ALLOCATION DU CARBONE ET DE L'UTILISATION DE L'EAU CHEZ LES SEMIS DE FAGACÉES

DEFINING FUNCTIONAL STRATEGIES AT THE WHOLE-PLANT LEVEL BY INTEGRATING TRAITS RELATED TO CARBON ACQUISITION AND WATER USE IN SEEDLINGS OF FAGACEAE

Etablissement **Université de Lorraine**

École doctorale **SIReNa - SCIENCE ET INGENIERIE DES RESSOURCES NATURELLES**

Spécialité **Biologie et écologie des forêts et des agrosystèmes**

Unité de recherche **SILVA**

Encadrement de la thèse **Oliver BRENDEL**

Co-Encadrant **Miquel NADAL-NADAL**

Financement du 01-11-2025 au 31-10-2028 *origine* **contrat doctoral établissement** *Employeur* **UNIVERSITE DE LORRAINE**

Début de la thèse le **1 novembre 2025**

Date limite de candidature (à 23h59) **18 juin 2025**

Mots clés - Keywords

Traits fonctionnelles, croissance, efficience d'utilisation de l'eau, sécheresse, Fagacées, chênes

functional traits, growth, water use efficiency, drought, Fagaceae, oaks

Description de la problématique de recherche - Project description

La diversité fonctionnelle intraspécifique des arbres représente une ressource inexploitée pour la gestion forestière, particulièrement au stade très jeune. Ce projet de thèse vise à explorer la variabilité des stratégies fonctionnelles en réponse aux contraintes au stade de semis chez les espèces les plus communes de fagacées (Fagaceae) en France (chênes pédonculé, sessile, pubescent ; hêtre, etc.), pour améliorer la caractérisation de la diversité fonctionnelle inter- et intraspécifique. Les principaux objectifs de la thèse sont : 1) la caractérisation des stratégies fonctionnelles en termes de croissance et résistance au stress en réponse à une disponibilité limitée en eau et d'autres contraintes environnementales (régime lumineux et caractéristiques édaphiques), et 2) l'exploration des caractéristiques sous-jacentes de ces stratégies en intégrant les traits fonctionnels au niveau de la plante entière. Deux expériences principales sont envisagées pour la thèse : Exp1) l'étude de la variation inter- et intraspécifique des traits (plasticité phénotypique) parmi les traits liés à la croissance et à l'utilisation de l'eau, y compris leur base anatomique et biochimique. L'expérience sera menée sur diverses espèces de la famille des Fagacées (espèces de *Quercus*, *Fagus sylvatica*) au stade de semis, dans des conditions de serre. Exp2) Les espèces présentant la plus grande diversité fonctionnelle de l'expérience 1 seront sélectionnées pour la deuxième expérience, où leur tolérance à un événement de sécheresse extrême sera suivie, y compris leur résistance à la défaillance hydraulique et leur capacité de régénération. Cette expérience sera également réalisée sous des conditions de serre. En outre, une plantation comparative de différentes populations de quatre espèces de *Quercus* pourrait être utilisée pour une étude in situ des stratégies fonctionnelles. La thèse vise à identifier des traits critiques qui pourront ensuite être utilisés dans des programmes de sélection forestière.

The intraspecific functional diversity of trees represents an untapped resource for forest management, particularly during the early stages of tree development. This thesis project aims to explore the variability of functional strategies in response to stress at the seedling stage in the most common species of Fagaceae in France (pedunculate, sessile, pubescent oaks; beech, etc.), to improve the characterization of inter- and intraspecific functional diversity. The main objectives of the thesis are: 1) the characterization of functional strategies in terms of growth and stress resistance in response to limited water availability and other environmental constraints (light regime and edaphic characteristics), and 2) the exploration of the traits underpinning these strategies by integrating functional traits at the whole-plant level. Two main experiments are planned for the thesis: Exp1) the study of inter- and intraspecific trait variation (phenotypic plasticity) among traits related to growth and water use, and the determination of their anatomical and biochemical basis. The experiment will be conducted on various species of the Fagaceae family (*Quercus* species, *Fagus sylvatica*) at the seedling stage, under greenhouse conditions. Exp2) The species presenting the highest functional diversity from experiment 1 will be used for the second experiment, where their tolerance to an extreme drought event will be monitored, including their resistance to hydraulic failure and their regeneration capacity. This experiment will also be carried out under greenhouse conditions. In addition, a comparative plantation of different populations of four *Quercus* species could be used for a study in situ of functional strategies. The thesis aims to identify critical traits that can then be used in forest breeding programs.

Thématique / Domaine / Contexte

Étude des traits fonctionnels des différents organes de la plante entière chez des semis de fagacées pour établir leur réponse en termes de croissance et de tolérance à la sécheresse ainsi qu'à d'autres contraintes environnementales limitantes (régime lumineux et caractéristiques édaphiques).

Écophysiologie de l'arbre

Les conditions climatiques actuelles et futures imposent de nouveaux défis aux systèmes naturels et anthropiques à travers le monde. Dans le cas des forêts et de la sylviculture, il y a une double exigence pour les arbres : avoir une productivité primaire élevée (c'est-à-dire des niveaux élevés d'accumulation de biomasse végétative), et avoir une grande résilience aux stress environnementaux. Parmi les nombreux aspects de l'adaptation des écosystèmes forestiers à un climat changeant, l'augmentation de la diversité fonctionnelle est envisagée comme un objectif souhaitable pour favoriser la résilience des forêts. Au niveau de la communauté, la diversité fonctionnelle rend compte de la variété des stratégies des plantes pour faire face aux conditions stressantes ou aux ressources limitées (disponibilité en eau, lumière, nutriments, etc.) et aux perturbations (feu, vent, etc.). La 'stratégie fonctionnelle' est définie comme la variation coordonnée des traits résultant de compromis écologiques et évolutifs ; ainsi, définir l'ensemble des traits clés qui décrivent le mieux les stratégies des plantes est une première étape cruciale pour mieux comprendre et caractériser la diversité fonctionnelle des espèces d'arbres forestiers. La diversité fonctionnelle est généralement abordée au niveau interspécifique ; cependant, étant donné d'une côté l'abondance relative disproportionnée d'un nombre très limité d'espèces dans la plupart des forêts tempérées (par exemple, seulement 10 espèces représentent 82 % des populations d'arbres en France métropolitaine selon l'ONF), et de l'autre côté leur large distribution géographique, l'étude de la diversité fonctionnelle intraspécifique est essentielle pour adapter les forêts actuelles aux conditions de changement climatique.

Objectifs

Le principal objectif du présent projet de thèse est d'étudier les effets de la sécheresse édaphique — ainsi que son interaction avec d'autres facteurs tels que la lumière et les propriétés du sol — sur le taux de croissance, l'allocation des ressources entre les différentes parties de la plante (feuilles, tige et racines), l'utilisation de l'eau et la survie, ainsi que d'identifier les traits fonctionnels clés et leurs caractéristiques sus-jacents.

Méthode

La thèse vise à définir les stratégies fonctionnelles des semis en réponse à la disponibilité limitée des ressources (eau, lumière et conditions édaphiques), en se basant sur le taux de croissance relatif (RGR, Relative Growth Rate), ses composantes et l'allocation des ressources, ainsi que sur la tolérance à la sécheresse en termes de survie après un stress aigu. Les espèces de la famille des fagacées (chênes, hêtre) serviront de modèle pour tester l'approche proposée. Les arbres seront étudiés à l'état de semis ou à un stade juvénile, étant donné l'importance critique de cette étape pour la régénération naturelle des populations. Deux expériences complémentaires sont envisagées, décrites ci-dessous :

Expérience 1. Identifier les traits fonctionnels qui déterminent le RGR à l'échelle inter- et intraspécifique, tout en évaluant l'allocation des ressources au niveau de la plante entière. Cette expérience sera réalisée en serre sur des jeunes plants de chêne (*Q. robur*, *Q. petraea*, *Q. pubescens*, *Q. cerris*) et d'hêtre (*Fagus sylvatica*), cultivés à partir de glands sur différents types de sols et sous différentes conditions lumineuses. Les plantes seront mesurées à plusieurs stades de croissance (de 1 à plusieurs mois après la germination). L'expérience sera menée dans les installations de serre de l'INRAE Grand Est Nancy (54280 Champenoux). Plusieurs méthodologies et techniques vont être utilisées pour caractériser les traits fonctionnels : quantification de biomasse, échanges gazeux, composition isotopique du carbone ($\delta^{13}C$), analyse des éléments N et C, relations hydriques, analyse histologique du nombre et du diamètre des vaisseaux du xylème, analyse statistique multivariée.

Expérience 2. Déterminer si les traits identifiés dans l'expérience 1 influencent la tolérance à la sécheresse. Deux espèces parmi celles étudiées lors de l'expérience 1 seront sélectionnées. Un stress hydrique aigu sera appliqué sur des plantes juvéniles cultivées dans des conditions contrôlées (serres de phénotypage). L'accent sera mis sur les relations entre les traits identifiés à l'expérience 1 et la survie en conditions de sécheresse extrême. Il y aura un suivi précis du statut hydrique des plantes, incluant la consommation d'eau, le potentiel hydrique du sol et des tissus végétaux. Les méthodologies utilisées seront les suivantes : résistances à l'embolisme, détermination des réserves de carbone, fluorescence chlorophyllienne et d'autres indices de dommages physiologiques.

Résultats attendus - Expected results

Ce projet de thèse contribuera à l'étude du fonctionnement des arbres à différentes échelles dans les systèmes forestiers naturels et agroforestiers (ici, l'étude de la diversité fonctionnelle au niveau intraspécifique chez les chênes juvéniles). En particulier, la thèse contribuera à établir les relations entre l'acquisition de carbone, l'utilisation de l'eau et la tolérance à la sécheresse (et de l'interaction avec d'autres contraintes). La thèse combinera les traits fonctionnels des feuilles, des tiges et des racines, permettant une compréhension complète des stratégies fonctionnelles des plantes entières face aux contraintes environnementales. De plus, l'identification d'un ensemble de traits fonctionnels relativement faciles à mesurer peut fournir un outil puissant pour étendre l'approche proposée à des échelles plus importantes, notamment dans le cas de programmes étendus de criblage phénotypique, de sélection de génotypes résilients et de gestion des régénérations forestières.

Références bibliographiques

Nadal M, Peguero-Pina JJ, Sancho-Knapik, Gil-Pelegrín E. 2025. Comparison of different methods to evaluate tissue damage in response to leaf dehydration in *Quercus ilex* L. and *Q. faginea* Lam. *Physiologia Plantarum* 177 (2), e70178. <https://doi.org/10.1111/ppl.70178>

Nadal M, Carriqui M, Badel E, Cochard H, Delzon S, King A, Lamarque LJ, Flexas J, Torres-Ruiz JM. 2023. Photosynthesis, leaf hydraulic conductance and embolism dynamics in the resurrection plant *Barbarea purpurea*. *Physiologia Plantarum* 175 (5), e14035. <https://doi.org/10.1111/ppl.14035>

Nadal M, Clemente-Moreno MJ, Perera-castro AV, Roig-Oliver M, Onoda Y, Gulías J, Flexas J. 2023. Incorporating pressure–volume traits into the leaf economics spectrum. *Ecology Letters* 26 (4), 549-562. <https://doi.org/10.1111/ele.14176>

Brendel O, Epron D. 2022. Are differences among forest tree populations in carbon isotope composition an indication of adaptation to drought? *Tree Physiology* 42, 26–31. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpab143>

Bogeat-Triboulot MB, Buré C, Gerardin T, Chuste PA, Le Thiec D, Hummel I, Durand M, Wildhagen H, Douthe C, Molins A, Galmés J, Smith HK, Flexas J, Polle A, Taylor G, Brendel O. 2019. Additive effects of high growth rate and low transpiration rate drive differences in whole plant transpiration efficiency among black poplar genotypes. *Environmental and Experimental Botany* 166, 103784. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.05.021>

Gibert A, Graf EF, Westoby M, Wright IJ, Falster DS. 2016. On the link between functional traits and growth rate: meta-analysis shows effects change with plant size, as predicted. *Journal of Ecology* 104, 1488-1503. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12594>

Kannenber SA, Guo JS, Novick KA, Anderegg WRL, Feng X, Kennedy D, Konings AG, Martínez-Vilalta J, Matheny AM. 2022. Opportunities, challenges and pitfalls in characterizing plant water-use strategies. *Functional Ecology* 36, 24-37. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13945>

Précisions sur l'encadrement - Details on the thesis supervision

Thèse dirigée entre O Brendel (HDR) et Miquel Nadal (co-encadrant) de l'équipe PHARE (UMR Silva). La participation à des formations proposées par l'école doctorale et le comité de thèse vont être organisés d'après les règles de l'école doctorale SIRENA.

M. Brendel et M. Nadal-Nadal, travaillant dans la même équipe sur le même lieu au campus de INRAE Champenoux, accompagneront le/la doctorant(e) à travers des réunions hebdomadaires ou mensuelles. Le/la doctorant(e) pourra bénéficier de l'expertise des ingénieurs, techniciens et chercheurs de l'équipe et de l'unité. Il/elle participera activement aux activités de l'équipe et de l'unité, notamment aux journées doctorales organisées par l'INRAE et l'Université de Lorraine.

Conditions scientifiques matérielles et financières du projet de recherche

L'équipement d'échange gazeux et les infrastructures nécessaires aux travaux expérimentaux sont déjà disponibles pour l'équipe PHARE et pour la plateforme SilvaTech. Financement du département INRAE ECODIV pour mettre en place les expérimentations envisagées. Possibilité de faire expérimentations supplémentaires à la plantation comparative de chênes dans la forêt de Fénétrange. Le financement pour 2025/2026 des expérimentation est acquis (département INRAE ECODIV). Plusieurs autres sources de financement sont envisagées pour 2027 et au-delà : AAP ANR jeunes chercheurs, programme interdisciplinaire Artemis del'Université de Lorraine et programme EXPLOR'AE, entre autres.

Ouverture Internationale

Il est prévu que le/la doctorant(e) assiste à des conférences internationales pendant la phase de diffusion des résultats. O. Brendel est coordinateur du working party « Evolution and adaptation of Fagaceae and Nothofagaceae » de l'IUFRO, avec des webinaires réguliers, permettant d'intégrer un réseau international.

Objectifs de valorisation des travaux de recherche du doctorant : diffusion, publication et confidentialité, droit à la propriété intellectuelle,...

Les résultats seront diffusés sous forme de publications scientifiques, communications lors de congrès et de séminaires nationales et internationales.

Collaborations envisagées

Il est prévu de collaborer avec des scientifiques d'autres unités du département ECODIV et de l'UMR Silva tout au long de la thèse. En particulier, une collaboration sera établie avec le Dr Herve Cochard (UMR PIAF, Clermont-Ferrand) et le Dr Julien Ruffault (URFM, Avignon) pour réaliser des études sur la résistance à l'embolie des plantes étudiées et la modélisation de la résistance à la défaillance hydraulique (expérience 2).

Complément sur le sujet

<https://silva.nancy.hub.inrae.fr/nos-offres/these-post-doc> (<https://silva.nancy.hub.inrae.fr/nos-offres/these-post-doc>)

Profil et compétences recherchées - Profile and skills required

- Master 2 ou équivalent en écophysiologie ou en physiologie végétale ou autres domaines pertinents. Si le/la candidat(e) a effectué ses études à l'étranger, une formation équivalente en biologie des plantes.
- Etudiant(e) motivé(e), dynamique et curieux/se, appréciant le travail en équipe et sachant faire preuve d'autonomie. La disponibilité et la

volonté de travailler ponctuellement en dehors des horaires habituels sont importantes.

- Des compétences en analyses de données, connaissances de base en statistique et en programmation (R) sont un plus, surtout en analyse multi-varié. Il est nécessaire de se familiariser avec la littérature scientifique.

- Maîtrise de l'anglais (rédaction d'article scientifique, communication).

- pour candidater, envoyez à oliver.brendel@inrae.fr et miquel.nadal-nadal@inrae.fr un CV, une lettre de motivation, et si possible un extrait de notes du master ou équivalent et une lettre de recommandation

- la date limite de soumission de candidature est le 23 juin 2025, des entretiens en visio ou sur place auront lieu du 30 juin au 4 juillet 2025

- Master's degree or equivalent in Ecophysiology or Plant Physiology or other relevant fields. If the candidate has studied abroad, an equivalent training in plant biology is required.

- Motivated, dynamic, and curious student, enjoying teamwork and able to demonstrate autonomy. Availability and willingness to occasionally work outside regular hours are important.

- Skills in data analysis, basic knowledge of statistics, and programming (R) are a plus, especially in multi-variate analyses. Familiarity with scientific literature is necessary.

- Proficiency in English (scientific writing, communication).

- to apply, send a CV, a letter of motivation and, if possible, a transcript of your master's degree (or equivalent) marks and a letter of recommendation to oliver.brendel@inrae.fr and miquel.nadal-nadal@inrae.fr.

- the deadline for submitting applications is 23 June 2025; interviews will be held by videoconference or on site from 30 June to 4 July 2025

Dernière mise à jour le 5 mai 2025