



Drought impact on the diversity, function and functioning of the forest microbial communities

Responsable scientifique : Stéphane UROZ / Aurélie DEVEAU, UMR Interactions Arbres/Micro-organismes (IAM) 1136

Partenaires Labex : Marie-Pierre TURPAULT, UR Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers (BEF) 1138

Actions thématiques concernées : WP1 WP2

Des périodes de sécheresse plus longues combinées à une intensité plus élevée devraient devenir de plus en plus fréquentes avec les futurs changements climatiques. Bien que de nombreuses études se soient concentrées sur la réponse et l'adaptation de la partie aérienne des forêts, relativement peu ont abordé les processus souterrains reliant le sol, les plantes et le microbiome. Cependant, la sécheresse réduit fortement la diffusion des nutriments dans le sol et ralentit les processus biogéochimiques tels que le renouvellement de la matière organique du sol et l'altération des minéraux. Elle induit également des changements quantitatifs et qualitatifs des exsudats racinaires, qui impactent différemment la composition des communautés microbiennes associées aux racines. La sécheresse affecte par conséquent de nombreux processus biogéochimiques centraux, qui ont des effets de rétroaction critiques sur la nutrition, le développement et même la survie des arbres. Dans le même temps, la disponibilité des nutriments et le pH sont connus pour conditionner les structures fonctionnelles et taxonomiques des microbiomes du sol et de la rhizosphère. Déterminer comment la sécheresse et la fréquence de la sécheresse impactent le microbiome du sol en relation avec les propriétés du sol et les besoins nutritionnels des plantes est un domaine de recherche difficile, mais qui devrait permettre de mieux comprendre le fonctionnement des écosystèmes forestiers et de déterminer si une coévolution se produit entre arbres et leur microbiome associé pour faire face à la

sécheresse. Dans ce contexte, les objectifs du projet « Impact de la sécheresse sur la diversité, la fonction et le fonctionnement des communautés microbiennes forestières » (DroughtMIC) sont : i) de déterminer comment un historique de sécheresses successives impacte les propriétés du sol et la structure taxonomique et fonctionnelle du microbiome du sol et ii) tester si le microbiome capté par les arbres diffère selon un historique ancien ou récent de sécheresse et comment cela impacte la physiologie des arbres.

Contexte —

Le changement climatique et tout particulièrement les variations des quantités et fréquence de pluviométrie sont des événements majeurs qui impactent directement le secteur forestier. Des périodes plus longues et plus fréquentes de sécheresse sont attendues dans les années à venir. Les arbres ayant des besoins importants en eau pour assurer leur nutrition, leur croissance et leur santé, ces variations risquent de les affecter fortement ainsi que la filière de gestion forestière et l'industrie associées. Si les besoins peuvent différer d'une essence à une autre et en fonction des propriétés du sol (type, profondeur, réserve utile en eau), la sécheresse observée en 2020 a affecté de nombreux massifs forestiers conduisant à la mort massive des épicéas et dans une moindre mesure d'autres essences telle que le hêtre. Il est donc essentiel de comprendre comment s'opère l'adaptation des arbres à ces conditions changeantes. D'importants efforts ont été réalisés ces 20 dernières années dans les domaines de la physiologie et la génétique des arbres pour comprendre comment les arbres répondent et s'adaptent à la sécheresse, mais sans considérer le rôle relatif de la fertilité et du microbiote du sol, et de leurs interactions. Pourtant la sécheresse perturbe fortement la diffusion des nutriments dans le sol et ralentit de nombreux processus géochimiques tels que la dégradation de la matière organique et l'altération des minéraux. Dans le même temps, la sécheresse conduit à des modifications de l'architecture racinaire pour accéder à l'eau et aussi à des variations de l'exsudation racinaire qui stimulent en conséquence différenciellement le microbiote environnant ou associé aux racines. Dans ce contexte, il est essentiel de déterminer comment la sécheresse affecte le microbiote du sol et le microbiote associé aux arbres à la fois au niveau taxonomique mais aussi fonctionnel, en relation avec les propriétés du sols et les besoins nutritionnels de l'arbre.

Objectifs —

Dans ce contexte, les objectifs du projet 'Impact de la sécheresse sur la diversité, fonction et le fonctionnement des communauté microbiennes des sols forestiers' sont de : i) Déterminer comment un historique de sécheresses successives affecte les propriétés du sol et la structure taxonomique e fonctionnelle du microbiote du sol, et ii) Tester si le microbiote capturé par les racines des arbres diffère en fonction de l'historique ancien ou récent de sécheresse.

Démarche —

Pour mener à bien ce projet, nous nous sommes focalisés sur le dispositif instrumenté de Montiers-sur-Saulx. Ce site possède un système d'exclusion des précipitations (Toit) déjà en place depuis plusieurs années. Ce dispositif est installé sur un sol déjà étudié au niveau géochimique, microbiologique et de sa capacité à soutenir la croissance des arbres. Pour répondre aux questionnements liés au projet, nous avons considéré des placettes de sol ayant subi (D) ou non (ND) un historique d'exclusion d'eau. Ces placettes ont servi : i) à collecter les différentes horizons (litière, horizon organique et horizon minéral) pour réaliser différentes analyses (enzymatique, pH, microbiologie) et ii) sur chacune de ces placettes nous avons mis en place des jeunes plants de hêtre collectés sur le site au pied d'un même pied mère afin de limiter la diversité génétique. Une clôture électrique a été mise en place afin de protéger le site des ravageurs. En parallèle de ces expérimentations *in situ*, des expériences en serre ont été réalisées avec du sol et des jeunes plants de hêtre. La même progénie de hêtre (que celle installée sur site) avec son sol adhérant au système racinaire a été mise en place en serre (*in fine* un plant par pot) pour des expériences de contrôle de la teneur en eau du sol. Pour ces expérimentations, du sol provenant de la placette n'ayant pas subi d'exclusion d'eau a été prélevé et utilisé pour repoter les plants de hêtre et assurer leur croissance. Les horizons de sol (litière, organique et organo-minéral) ont été respectés pour la phase de reprise. Les travaux de sécheresse ont été réalisé sur des pots contenant essentiellement l'horizon organo-minéral. Du fait de la mortalité des plants sur site et en serre l'opération a dû être répétée plusieurs fois afin d'avoir un effectif suffisant. Après une première phase de reprise en serre, les plants ont été replantés de manière individuelle en pot. Les premiers résultats du projet ont été obtenus en 2022 via le recrutement de 2 stagiaires (C. BEITZ, master M2 et M. BEDNARECK, master M1).

Résultats marquants —

Approche collection : Les échantillons de sol prélevés ont permis de réaliser des analyses sur le pH, l'humidité du sol et le potentiel fonctionnel global en utilisant des plaque BIOLOG et des tests enzymatiques. En parallèle, une collection de souches bactériennes (50 souches par horizon) a été réalisée à partir des horizons de sol

organique et minéral, soit un total de 400 souches. Un sous-échantillon de cette collection de souches a été caractérisé fonctionnellement en utilisant différents biotests mimant des processus liés à la décomposition de la matière organique, la dissolution des minéraux et la résistance à la sécheresse (en présence de polyéthylène glycol ; PEG) et au niveau taxonomique via le séquençage de la sous unité ribosomique (16S). Ces travaux n'ont pas permis de mettre en évidence de différence significative entre les traitements ayant connu ou non un historique de sécheresse que ce soit à l'échelle globale ou de la souche. Aucune différence significative n'a été observée sur la densité de bactéries entre les deux traitements (D=ND). Une tendance de meilleure résistance à la sécheresse (test en présence ou non de PEG) a été observée pour les souches provenant du sol avec un historique de sécheresse. La plupart des souches efficaces pour l'une des fonctions testées se sont avérées perdre cette capacité en condition de sécheresse. Une différence significative a été observée entre les différents horizons considérés que ce soit au niveau des tests globaux (BIOLOG) ou des souches (ex : solubilisation du P inorganique), avec une efficacité variant selon le gradient : Litière > organique > minéral.

Approche en serre : Les expérimentations en serre ont permis de montrer un effet marqué de la sécheresse sur croissance de plantules de hêtres, leur colonisation par les micro-organismes et les activités de ces derniers. Ainsi la sécheresse a conduit à une réduction de la biomasse des plantules d'un facteur deux par rapport aux témoins ainsi qu'une augmentation de la mortalité des racines courtes (+20%). De plus la sécheresse a mené à une très forte réduction des activités enzymatiques impliquées dans la dégradation de la matière organique. Cet effet était encore plus marqué dans les sols situés à distance des racines, ce qui suggère un effet protecteur des systèmes racinaires sur l'activité des micro-organismes.

Des échantillons ont été prélevés pour réaliser l'étude du microbiote. Les ADN ont été extraits et les banques de d'amplicons de marqueurs fongiques et bactériens sont en cours d'élaboration. Le séquençage de ces banques et la quantification par PCR quantitative de marqueurs fongiques et bactériens permettront de quantifier l'impact de la sécheresse sur la densité de micro-organismes dans les sols et les systèmes racinaires et d'identifier à la fois les micro-organismes sensibles et résistants à la sécheresse

Principales conclusions incluant des points-clés de discussion —

A ce stade du projet, nos résultats montrent que :

- i) l'historique de sécheresse n'a pas d'incidence évidente sur les propriétés fonctionnelles des bactéries isolées et testées. Ce résultat soulève un certain nombre de questions sur le dispositif, la temporalité d'exclusion d'eau, la capacité de résilience du microbiote et le temps d'échantillonnage choisi. Pour des raisons expérimentales et liées au stage de M2, les travaux de microbiologie ont été réalisés en mars, soit plusieurs mois après la période d'exclusion d'eau, et de plus après une année ou il a peu plu, limitant les différences entre les traitements D et ND.
- ii) le contrôle du niveau de sécheresse se traduit bien par des changements de la physiologie et de la croissance de la plante et sur le microbiote du sol. Les conclusions bien que partielles sont intéressantes.

Perspectives —

En 2023 plusieurs expériences relatives à la manipulation de la disponibilité en eau seront développées pour déterminer son impact sur la croissance et le développement des jeunes arbres et sur le microbiote associé. Un étudiant de M2 débutera son stage en mars sur l'effet de la sécheresse sur le microbiote du sol. Les expériences en serre sont essentielles car elles permettent de moduler l'apport en eau et de limiter la variation des autres facteurs.

Valorisation —

A ce stade ce projet est valorisé sous la forme de 2 stages de master et par la formation de ces étudiants de master :

- Maud BEDNARECK-Master 1 -Master Microbiologie (Nancy) Effet de la sécheresse sur la croissance du hêtre et de son microbiote associé (co-supervisor A. DEVEAU)
- Clement BEITZ – Master 2 – Master Microbiologie (Nancy) Effet d'un historique de sécheresse sur la structuration taxonomique et fonctionnelle du microbiote du sol de la forêt de Montiers (co-supervisor A. DEVEAU)

Effet levier du projet —

Le projet a participé à la soumission d'un projet 'DONUT' soumis à l'appel AAP2022 du Labex.