

RÉSUMÉ DE THÈSE /
ACADEMIC THESIS ABSTRACT / RESUMEN DE TESIS ACADÉMICAÉvaluation et gestion des
potentialités microbiennes du sol
pour l'amélioration de la tolérance du
caroubier aux contraintes hydriques.

Hamza KHASSALI

RÉSUMÉ

Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.), composante écologique, culturelle et industrielle du pourtour méditerranéen, est marqué par un déclin de son abondance ces dernières décennies. Trois facteurs aggravants ont été identifiés : une politique agricole en faveur d'autres espèces végétales, une forte urbanisation du littoral méditerranéen, fragmentant son habitat, et enfin des conditions climatiques défavorables, notamment un allongement des périodes de sécheresse. La dépendance du caroubier vis-à-vis des ressources en eau est un trait sous-estimé, et pourtant déterminant pour sa survie. L'optimisation de l'association symbiotique entre caroubier et champignons mycorrhiziens a été proposée comme une stratégie prometteuse pour améliorer sa résistance au stress hydrique. Cependant, une vision plus holistique des interactions plante-microorganisme au sein de l'environnement semble incontournable pour relever durablement les défis de l'adaptation des plantes aux contraintes environnementales. L'hypothèse centrale de la thèse est que la gestion des interactions entre le caroubier et le microbiote de certaines plantes pionnières pourrait être la clé d'une meilleure adaptation du caroubier à la sécheresse. Les objectifs ont été, d'une part, d'évaluer la spécificité des microbiotes associés aux plantes vivant avec le caroubier et, d'autre part, de quantifier leur impact sur la croissance du caroubier et sa résistance au stress hydrique. Les résultats de l'étude ont montré une prédominance des actinobactéries, protéobactéries et ascomycètes dans les habitats étudiés, avec des divergences fonctionnelles notables entre le Nord et le Sud du Maroc. Des expérimentations menées en jardin contrôlé ont révélé que le type de microbiote détermine l'effet sur la croissance et la résistance du caroubier, avec cependant de fortes variations suivant le statut hydrique. En effet, le microbiote natif du caroubier est l'un des plus efficaces en conditions hydriques non limitantes, mais confère peu de résistance à la sécheresse. Cependant, le microbiote associé au pistachier lentisque a permis d'atteindre le meilleur compromis croissance-résistance. Ce bénéfice semble s'expliquer par une plus forte abondance de champignons endophytes de type DSE (*dark septate endophytes*) et une augmentation de la colonisation mycorrhizienne en réponse à un stress hydrique. L'intégration du pistachier lentisque dans les itinéraires techniques comme levier de gestion d'un microbiote bénéfique pourrait donc représenter une stratégie d'avenir pour l'adaptation du caroubier à une sécheresse croissante dans le bassin méditerranéen.

Mots-clés : caroubier, microbiote, sécheresse, compromis croissance-résistance, Maroc.

Evaluation and management of soil
microbial potentialities for improving
the carob tree tolerance to water
constraints.

ABSTRACT

The carob tree (*Ceratonia siliqua* L.), an ecological, cultural and industrial component of the Mediterranean basin, has been experiencing a decline of its abundance in recent decades. Three contributing factors have been identified, an agricultural policy in favour of other plant species, an increasing urbanisation of the Mediterranean coastline, which leads to habitat fragmentation, and negative climatic conditions, notably longer periods of drought. The dependency of the carob tree on water resources is an underestimated trait, and yet a crucial one for its survival. The optimisation of the symbiotic association between carob and mycorrhizal fungi has been proposed as a promising strategy to improve its resistance to water stress. However, a more holistic view of plant-microorganism interactions within the environment seems essential to sustainably address the challenges of plant adaptation to environmental stresses. The central hypothesis of the thesis is that the management of interactions between the carob tree and the microbiota of some pioneer plants in its habitat could be the key for a better adaptation of the carob tree to drought. The objectives were (i) to assess the specificity of microbiota associated with plants living with the carob, and (ii) to quantify their impact on carob growth and resistance to water deficit. The results showed a predominance of actinobacteria, proteobacteria and ascomycetes in the studied habitats, with significant functional divergences between North and South of Morocco. Common garden experiments revealed that the type of microbiota was a major driver of the effect on carob growth and resistance, with strong variations depending on the water status. Indeed, the native microbiota of the carob tree is one of the most efficient under non-limiting water conditions but confers little resistance to drought. On the other hand, the microbiota associated with the lentisk provides the best growth-resistance trade-off. This benefit seems to be attributable to a higher abundance of DSE (*dark septate endophytes*) fungi and an increase in mycorrhizal colonisation in response to water stress. The integration of lentisk in technical practices as a lever for the management of a beneficial microbiota could therefore represent a future strategy for the adaptation of carob to increasing drought in the Mediterranean basin.

Keywords: carob tree, microbiota, drought, growth-resistance trade-off, Morocco.

Evaluación y gestión del potencial
microbiano del suelo para mejorar la
tolerancia del algarrobo ante el estrés
hídrico.

RESUMEN

El algarrobo (*Ceratonia siliqua* L.), componente ecológico, cultural e industrial de la región mediterránea, ha pasado a ser menos abundante en las últimas décadas. Se han identificado tres factores agravantes: una política agrícola favorable a otras especies vegetales; la importante urbanización del litoral mediterráneo, que fragmenta su hábitat, y las condiciones climáticas desfavorables, especialmente los largos períodos de sequía. Se ha subestimado la dependencia del algarrobo de los recursos hídricos, aunque es crucial para su supervivencia. Se propone optimizar la asociación simbiótica entre algarrobo y hongos micorrícicos como una estrategia para mejorar su resistencia al estrés hídrico. Sin embargo, parece inevitable tener que aplicar una visión más holística de las interacciones entre plantas y microorganismos en el seno del medio ambiente para poder afrontar de forma duradera los retos de adaptación de las plantas ante las presiones medioambientales. La hipótesis central de la tesis es que la gestión de las interacciones entre el algarrobo y la microbiota de ciertas plantas pioneras podría ser la clave para mejorar la adaptación del algarrobo a la sequía. Los objetivos son: (i) evaluar la especificidad de la microbiota asociada a las plantas que viven con el algarrobo, y (ii) cuantificar su impacto en el crecimiento y en la resistencia al estrés hídrico del algarrobo. Los resultados del estudio mostraron un predominio de actinobacterias, proteobacterias y ascomycetos en los hábitats estudiados, con notables divergencias funcionales entre el norte y el sur de Marruecos. Los experimentos realizados en jardín controlado revelaron que el tipo de microbiota tiene un efecto determinante en el crecimiento y la resistencia del algarrobo, aunque con importantes variaciones en función del estado hídrico. De hecho, la microbiota nativa del algarrobo es una de las más eficientes en condiciones hídricas no limitadas, pero confiere poca resistencia ante la sequía. En cambio, la microbiota asociada al lentisco permitió alcanzar el mejor balance entre crecimiento y resistencia. Este beneficio parece explicarse por una mayor abundancia de hongos endófitos septados oscuros (ESO) y un aumento de la colonización micorrícica como respuesta al estrés hídrico. La integración del lentisco en los itinerarios técnicos para impulsar una microbiota beneficiosa podría, por tanto, ser una estrategia de futuro para la adaptación del algarrobo a una sequía creciente en la cuenca mediterránea.

Palabras clave: algarrobo, microbiota, sequía, balance entre crecimiento y resistencia, Marruecos.



Doi : <https://doi.org/10.19182/bft2021.350.a36838>

Droit d'auteur © 2021, Bois et Forêts des Tropiques © Cirad
Date de publication : 1^{er} décembre 2021



Licence Creative Commons :
Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

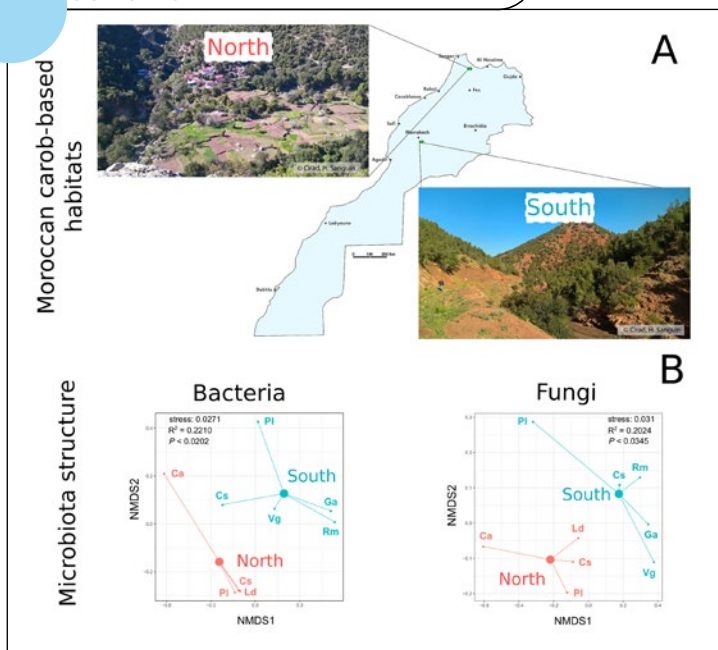


Figure 1. A. Localisation des sites d'étude au nord (région du Rif) et au sud (vallée de l'Ourika) du Maroc. **B.** Analyse de structure (nMDS) de la microbiote associée à différentes espèces végétales présentes au sein des habitats au nord (rouge) et au sud (bleu) du Maroc. Les différences dans la structure des communautés entre le Nord et le Sud ont été évaluées par PERMANOVA. Les valeurs de R^2 et de p-values sont indiquées sur chaque projection de la nMDS. L'hétérogénéité de dispersion des données (HOMOVA) entre le Nord et le Sud n'est pas significative. Ca, *Cistus albidus*; Cs, *Ceratonia siliqua*; Ga, *Globularia alypum*; Ld, *Lavandula dentata*; Pl, *Pistacia lentiscus*; Rm, *Retama monosperma*; Vg, *Vachellia gummifera*.

Figure 1. A. Location of the study sites in the north (Rif region) and south (Ourika Valley) of Morocco. **B.** Structural analysis (nMDS) of the microbiota associated with different plant species present in the northern (red) and southern (blue) habitats in Morocco. Differences in community structure between north and south were assessed with PERMANOVA. R^2 and p-values are shown on each nMDS projection. Heterogeneity in the dispersion of the data (HOMOVA) between the north and the south is not significant. Ca, *Cistus albidus*; Cs, *Ceratonia siliqua*; Ga, *Globularia alypum*; Ld, *Lavandula dentata*; Pl, *Pistacia lentiscus*; Rm, *Retama monosperma*; Vg, *Vachellia gummifera*.

Figure 1. A. Localización de las zonas de estudio en el norte (región del Rif) y en el sur (valle de Ourika) de Marruecos. **B.** Análisis de estructura (nMDS) de la microbiota asociada a diferentes especies vegetales presente en los hábitats del norte (rojo) y del sur (azul) de Marruecos. Las diferencias en la estructura de las comunidades entre el norte y el sur se evaluaron mediante PERMANOVA. Los R^2 y valores-p se indican para cada proyección de la nMDS. La heterogeneidad de dispersión de los datos (HOMOVA) entre el norte y el sur no es significativa. Ca, *Cistus albidus*; Cs, *Ceratonia siliqua*; Ga, *Globularia alypum*; Ld, *Lavandula dentata*; Pl, *Pistacia lentiscus*; Rm, *Retama monosperma*; Vg, *Vachellia gummifera*.

Graduate and academic degree: PhD in plant ecophysiology and adaptation
University: Montpellier University (France), Cadi Ayyad University (Morocco).

Date of defense: 16 december 2020.

Composition of the jury

Direction

Hervé SANGUIN (researcher, CIRAD, Umr Phim, Montpellier, France), Alex BAUMEL (lecturer, Aix-Marseille University, Umr Imbe, Marseille, France), Lahcen OUAHMANE (professor, Cadi Ayyad University, Laboratory of Microbial Biotechnology, Agrosciences and Environment, Marrakesh, Morocco), Yves PRIN (Research Director, CIRAD, Umr Lstm, Montpellier, France).

Members

Yedir OUHDOUCH (Professor, Cadi Ayyad University, Laboratory of Microbial Biotechnology, Agrosciences and Environment, Marrakesh, Morocco), Sophie GAUDRIault (Research Director, INRAE, UMR DGIMI, Montpellier, France), Mohammed FARISSI (Professor, Soltane Moulay Slimane University, Laboratory of Biotechnology and Sustainable Development of Natural Resources, Beni Mellal, Morocco), Thierry HEULIN (Research Director, CNRS, UMR LEMIR, Saint-Paul-Lez-Durance, France).

Funding

The PhD scholarship was funded by the Partenariat Hubert Curien TOUBKAL in the framework of the BARACA project (TBK/17/50) and by CIRAD incentive actions.

The operating budget for the thesis was provided by the DYNAMIC project (<https://dynamic.cirad.fr>), supported by the French national agency of research (ANR-14-CE02-0016).

Langage used for writing: French and English.

To access to the manuscript: <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-03329633>

Contact

Postal address: 30 Cooperative el-fath Av Med Boulifa, route takaboute 46020, Safi, Maroc

Email: hamza.khassali@gmail.com

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Hamza-Khassali>

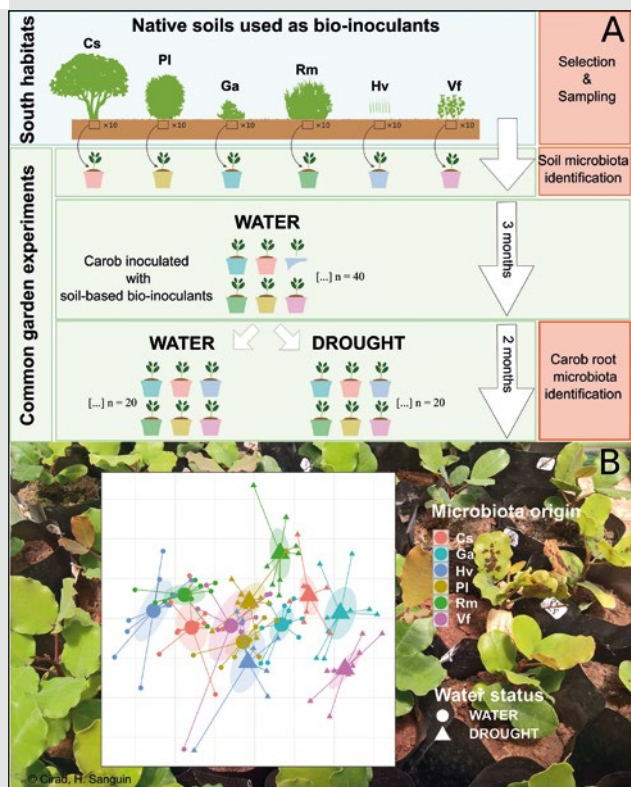


Figure 2. A. Schéma de la démarche expérimentale allant de la constitution de bio-inoculants natifs issus d'un habitat au sud du Maroc à la mise en place d'un dispositif en jardin contrôlé avec des caroubiers sous contraintes hydriques (WATER, pas de déficit hydrique; DROUGHT, déficit hydrique), inoculés avec différents types de bio-inoculants natifs. **B.** Analyse en composante principale des paramètres de croissance, physiologique et de colonisation mycorhizienne des caroubiers inoculés avec des bio-inoculants natifs sous contraintes hydriques (WATER et DROUGHT), correspondant au dispositif en jardin contrôlé. Chaque couleur représente l'origine du bio-inoculant, et chaque symbole correspond à un individu (caroubier). Les individus sont groupés par type de bio-inoculant et contrainte hydrique. Cs, *Ceratonia siliqua*; Pl, *Pistacia lentiscus*; Ga, *Globularia alypum*; Rm, *Retama monosperma*; Hv, *Hordeum vulgare*; Vf, *Vicia faba*. En fond, photo illustrant le dispositif en jardin contrôlé.

Figure 2. A. Diagram showing the experimental approach, from constituting native bio-inoculants from a habitat in southern Morocco to establishing a controlled garden system with carob trees under water stress (WATER: no water deficit; DROUGHT: water deficit), inoculated with different types of native bio-inoculants. **B.** Principal component analysis of the growth, physiological and mycorrhizal colonisation parameters of carob trees inoculated with native bioinoculants under water stress (WATER and DROUGHT), corresponding to the controlled garden set-up. The different colours represent the origins of the bio-inoculant, and each symbol corresponds to an individual carob tree. The individuals are grouped by bio-inoculant type and water stress. Cs, *Ceratonia siliqua*; Pl, *Pistacia lentiscus*; Ga, *Globularia alypum*; Rm, *Retama monosperma*; Hv, *Hordeum vulgare*; Vf, *Vicia faba*. The background photo shows the controlled garden system.

Figure 2. A. Esquema de la actuación experimental que va de la constitución de bioinoculantes nativos provenientes de un hábitat del sur de Marruecos, hasta la aplicación de un dispositivo en jardín controlado con algarrobos bajo limitaciones hídricas (WATER: sin déficit hídrico; DROUGHT, con déficit hídrico), inoculados con diferentes tipos de bioinoculantes nativos. **B.** Análisis del componente principal de los parámetros de crecimiento, fisiológico y de colonización micorrícica de los algarrobos inoculados con bioinoculantes nativos bajo limitaciones hídricas (WATER y DROUGHT), correspondiente al dispositivo en jardín controlado. Cada color representa el origen del bioinoculante, y cada símbolo corresponde a un individuo (algarrobo). Los individuos se agrupan por tipo de bioinoculante y limitación hídrica. Cs, *Ceratonia siliqua*; Pl, *Pistacia lentiscus*; Ga, *Globularia alypum*; Rm, *Retama monosperma*; Hv, *Hordeum vulgare*; Vf, *Vicia faba*. Al fondo, foto que ilustra el dispositivo en jardín controlado.

Publications

List of the published references

Khassali H., Baumel A., Mahé F., Tournier E., Tisseyre P., Prin Y., Ouahmane L., Sanguin H., 2019. The belowground bacterial and fungal communities differed in their significance as microbial indicator of Moroccan carob habitats. Ecological indicators, 114, 106341. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106341>