

Proposition de sujet de thèse 2026

(A remplir par les équipes d'accueil et à retourner à Isabelle HAMMAD : hammad@cerege.fr
*à renseigner obligatoirement pour la validation du sujet, (1) : A remplir lors de la campagne d'attribution des allocations, à l'issue de la session de juin des Masters

Sujet de doctorat proposé * : Analyse métagénomique de la microflore rhizosphérique d'une plante protégée, *Astragalus tragacantha* : influence sur le succès de restauration écologique de ses populations dans le Parc National des Calanques

Encadrantes, nom, prénom, adresse mail * : Miché Lucie, lucie.miche@imbe.fr
Affre Laurence, laurence.affre@imbe.fr

Laboratoire * : **Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie (IMBE)**

Tableau récapitulatif du sujet

Candidat(e)⁽¹⁾	
Nom - Prénom :	
Date de naissance :	
Licence (origine, années, mention) :	
Mention et classement au Master 1 année (Xème sur Y)	
Mention et classement au S3 du Master 2 (Xème sur Y)	
Mention et classement au S4 du Master 2 (Xème sur Y)	
Mention et classement au M2 (année) (Xème sur Y)	
MASTER (nom, université)	
Sujet de doctorat proposé*	Analyse métagénomique de la microflore rhizosphérique d'une plante protégée, <i>Astragalus tragacantha</i> : influence sur le succès de restauration écologique de ses populations dans le Parc National des Calanques
Encadrants (2 max, indiquer si HDR ou pas)*	MICHÉ Lucie, AFFRE Laurence (HDR)
Laboratoire*	Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie (IMBE)
Programme finançant la recherche (indiqué si obtenu ou envisagé) (1)	

Sujet de doctorat proposé*

Intitulé* : **Analyse métagénomique de la microflore rhizosphérique d'une plante protégée, *Astragalus tragacantha* : influence sur le succès de restauration écologique de ses populations dans le Parc National des Calanques**

Descriptif * :

Face aux défis mondiaux tels que la perte et la fragmentation des habitats, le déclin de la biodiversité et les changements climatiques, la restauration écologique est devenue essentielle pour renforcer la résilience des écosystèmes et favoriser le rétablissement des espèces menacées. De plus, l'Assemblée générale des Nations Unies a proclamé la période 2021-2030 « Décennie pour la restauration des écosystèmes » afin de prévenir, d'enrayer et d'inverser la dégradation des écosystèmes à l'échelle mondiale, notamment des écosystèmes

côtiers. L'astragale de Marseille (*A. tragacantha*) est une plante emblématique du parc national des Calanques (PNCal). **En danger d'extinction (statut UICN = EN)**, protégée à l'échelle nationale, elle compte en France 4900 individus, dont 88% se situent sur le littoral du PNCal (Baumberger et al., 2021) : la zone la plus aride de France, en partie hautement polluée durant la période industrielle de Marseille. Dans le cadre du **projet Européen Life Habitats Calanques** (2017 - 2022) une importante opération de **restauration active** a été menée, avec **4500 plantules d'astragales plantées** en 2019-2020 afin de **renforcer** la taille des populations existantes (8 sites : du Mont Rose à la calanque de Marseilleveyre) mais également afin de les reconnecter en ajoutant 4 sites d'**introduction**, améliorant ainsi leur continuité écologique (Affre et al., 2022).

La santé des plantes est fortement dépendante de leur microbiote racinaire : la diversité fonctionnelle des communautés microbiennes sélectionnées par les racines est un élément clé de leur croissance, améliorant l'accès à l'eau et aux nutriments, la tolérance aux stress abiotiques et la résistance aux pathogènes (de la Fuente Cantó et al, 2020). Pour autant, il reste beaucoup à découvrir sur les facteurs structurant le microbiote des plantes, qui résulte d'interactions complexes entre l'hôte, les microorganismes et l'environnement (Trivedi et al., 2020). Comme toutes les Fabacées (Légumineuses), la croissance de l'astragale est particulièrement liée à son association avec des **symbiontes racinaires** (endomycorhizes fongiques et nodulations de bactéries fixatrices d'azote). Nos précédents travaux se sont intéressés à décrypter leur biodiversité (Laffont-Schwob et al, 2011) et ont permis d'isoler différentes souches de rhizobia symbiotiques, dont les génomes viennent d'être séquencés. Ainsi, ces bactéries ont été inoculées en serre afin d'améliorer la survie et croissance des 4500 astragales transplantées dans le PNCal (Affre et al., 2022).

L'inoculation de microorganismes, mêmes bénéfiques, **pose la question des conséquences** de ces interventions sur l'écologie microbienne des sols. Suite aux transplantations *in natura*, les rhizobia inoculées ont été confrontées à la microflore locale, comprenant potentiellement d'autres bactéries ou champignons bénéfiques, ou au contraire, certains compétiteurs et pathogènes (Davidson et al., 2016 ; Wei et al., 2019). Est-il possible de mettre en évidence une relation avec le succès ou l'échec des transplantations de l'astragale et une interdépendance entre les activités contrastées des microorganismes du sol ? En effet, le suivi à moyen terme (5 ans) démontre une **grande hétérogénéité des taux de survie et de croissance en fonction des sites où les astragales ont été transplantées** et des caractéristiques physico-chimiques de leur sols. Cette question est cruciale pour établir un bilan complet de l'action de sauvetage démographique de l'astragale et fournir des clés supplémentaires aux gestionnaires pour leur action de conservation des populations végétales menacées.

Le principal objectif de cette thèse sera donc de décrypter la structure et la diversité des fonctions des communautés microbiennes associées aux racines des astragales transplantées dans le PNCal, et de rechercher un lien avec les différentes conditions pédologiques des sites sélectionnés lors de cette campagne de restauration écologique. Les analyses des métagénomomes de la présente thèse seront conduites sur des prélèvements de sols réalisés avant plantation (T0), puis 5 ans après au pied de 72 astragales transplantées (représentatives des différents micro-habitats relevés) et de 18 astragales spontanées de ces sites, soit un total de 116 échantillons. Les ADNg extraits des sols ont été séquencés en 2025 sur Novaseq X 300 cycles, pour un total de 1600 Millions de reads (480 Gb).

Après co-assemblage, la liste des **MAGs** (*metagenome assembled genomes*) obtenus donnera une vision précise des microorganismes présents (résolution possible à la souche). Ces MAGs pourront être comparés par phylogénomique entre sites du PNCal, ainsi qu'aux génomes de référence et aux MAGs assemblés dans une diversité grandissante de sols (Ma et al, 2023) incluant des sols côtiers européens (TREC 2023). L'analyse des données de séquençage offre aussi la possibilité d'une évaluation de l'abondance des espèces microbiennes, pour une étude fine de leur communautés (diversité Beta) afin de rechercher (1) s'il existe des **facteurs pédologiques les structurant** ; l'analyse chimique des sols et de leur pollution étant connues, et (2) **de mettre en évidence leur changement en 5 ans**. Notre hypothèse est que **les exsudats racinaires exercent un filtre** sur ces communautés, lissant la diversité précédemment mesurée, par sélection des microorganismes mutualistes adaptées aux conditions locales (Reinhold-Hurek et al., 2015). De plus, dans les sites de renforcement, les microbiotes des astragales transplantées seront comparés à ceux des astragales spontanées présentes à proximité, afin d'évaluer **l'impact potentiel de l'inoculation en serre sur la biodiversité microbienne locale**.

De manière surprenante, les astragales transplantées dans le PNCal survivent mieux dans les sites d'introduction, mais y montrent une moins bonne croissance comparativement aux sites de renforcement (Miché et al., *soumis*). Ceci pose la question de leur capacité à entrer en interaction avec les microorganismes nécessaires à leur vigueur (en particulier, les champignons endomycorhiziens) en l'absence d'astragales

spontanées. De plus, les génomes des rhizobia symbiotiques de l'astragale et inoculées avant transplantation étant disponibles, il sera possible de les rechercher dans les métagénomés afin de vérifier leur présence spontanée entre les différents sites et leur **persistance dans la rhizosphère après 5 ans**.

Enfin, la polyvalence des données métagénomiques (par rapport aux metabarcodes) permettra une **approche fonctionnelle de la diversité microbienne rhizosphérique des astragales**. L'annotation des génomes des rhizobia inoculées est en cours, afin de décrypter les voies métaboliques de ces bactéries. Un accent particulier sera mis sur la **recherche de gènes d'interaction avec les plantes** : synthèse de phytohormones, de composés antimicrobiens (lutte biologique), fixation d'azote, solubilisation du P, ou encore, tolérance aux métaux (Ashrafi et al, 2022). L'analyse de leur diversité et redondance dans les assemblages microbiens des différentes conditions écologiques de l'étude (avant/après transplantation, présence/absence d'astragale spontanées, échec/succès de la transplantation, concentration des sols en métaux) sera menée.

Ces connaissances ouvriront de nouvelles perspectives dans le cadre de la recherche-action, fondées sur une meilleure connaissance du microbiote dans la niche écologique des plantes, très peu étudiée et très peu prise en compte dans les opérations de conservation, notamment dans la section *Tragacantha sensu lato* dans le bassin méditerranéen, qui comprend de nombreux autres taxa vulnérables (Hardion et al., 2016).

Références

- Affre L, Dumas E, Dupin A, Labat S, Miché L, Panzani L, Ugo J. 2022. Guide de gestion des habitats littoraux et des espèces associées. LIFE16 NAT/FR/000593. Agence Régionale pour la Biodiversité et l'Environnement Provence-Alpes-Côte d'Azur 188 p.
- Ashrafi S, Kuzmanović N, Patz S, Lohwasser U, Bunk B, Spröer C, Lorenz M, Elhady A, Frühling A, Neumann-Schaal M, Verbarq S, Becker M, Thünen T. 2022. Two new *Rhizobiales* species isolated from root nodules of common sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) show different plant colonization strategies. *Microbiol Spectr* 10:e01099-22. <https://doi.org/10.1128/spectrum.01099-22>
- Baumberger T, Baumel A, Dumas PJ, Ugo J, Keller L, Dumas E, Tatoni T, Miché L, Mirleau P, Laffont-Schwob I, Affre L. 2021. Is a restricted niche the explanation for species vulnerability? Insights from a large field survey of *Astragalus tragacantha* L. (Fabaceae). *Flora*, 283, 151902 <https://doi.org/10.1016/j.flora.2021.151902>
- Davidson BE, Novak SJ, Serpe MD. 2016. Consequences of inoculation with native arbuscular mycorrhizal fungi for root colonization and survival of *Artemisia tridentata* ssp. *wyomingensis* seedlings after transplanting. *Mycorrhiza* 26(6):595-608.
- de la Fuente Cantó C, Simonin M, King E, Moulin L, Bennett MJ, Castrillo G, Laplaze L. 2020. An extended root phenotype: the rhizosphere, its formation and impacts on plant fitness. *Plant J.* 103(3):951-964. <https://doi.org/10.1111/tpl.14781>
- Hardion L, Dumas PJ, Abdel-Samad F, Bou Dagher Kharrat M, Surina B, Affre L, Médail F, Bacchetta G, Baumel A. 2016. Geographical isolation caused the diversification of the Mediterranean thorny cushion-like *Astragalus* L. sect. *Tragacantha* DC. (Fabaceae). *Mol Phylogenet Evol.* 97:187-195. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2016.01.006>
- Laffont-Schwob I, Dumas PJ, Pricop A, Rabier J, Miché L, Affre L, Masotti V, Prudent P, Tatoni T. 2011. Insights on metal-tolerance and symbionts of the rare species *Astragalus tragacantha* aiming at phytostabilization of polluted soils and plant conservation. *Ecologia Mediterranea* 37(2): 57-62.
- Ma, B., Lu, C., Wang, Y. et al. 2023. A genomic catalogue of soil microbiomes boosts mining of biodiversity and genetic resources. *Nat Commun* 14, 7318. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-43000-z>
- Miché L, Baumberger T, Mirleau F, Prudent P, Armange M, Mirleau P, Laffont-Schwob I, Tatoni T, Le Mire Pecheux L, Dupin A, Keller L, Baumel A, Affre L. Restoration of the declining populations of *Astragalus tragacantha* on the French Mediterranean coast: a case study of factors leading to transplantation success. *Soumis à Ecological Engineering le 05/02/2026*
- Reinhold-Hurek B, Bünger W, Burbano CS, Sabale M, Hurek T. 2015. Roots shaping their microbiome: global hotspots for microbial activity. *Annu Rev Phytopathol.* 53:403-24. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082712-102342>
- [TREC Traversing European Coastlines. 2023. https://www.embl.org/about/info/trec/expedition/](https://www.embl.org/about/info/trec/expedition/)
- Trivedi P, Leach JE, Tringe SG et al. 2020. Plant-microbiome interactions: from community assembly to plant health. *Nat Rev Microbiol* 18, 607-621. <https://doi.org/10.1038/s41579-020-0412-1>
- Wei Z, Gu Y, Friman VP, Kowalchuk GA, Xu Y, Shen Q, Jousset A. 2019. Initial soil microbiome composition and functioning predetermine future plant health. *Sci Adv.* 25;5(9):eaaw0759. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaw0759>

Détail du Programme finançant la recherche* :

Reliquats overheads **du projet LIFE Habitats Calanques** (2017 - 2022) - Partenariat entre l'IMBE et le Parc National des Calanques

Ce projet a financé l'acquisition des données, qui sont déjà disponibles pour la thèse : extractions d'ADN des sols et séquençage Novaseq X de 116 échantillons pour un total de 480 Gb.

Les reliquats permettront de financer les autres frais de fonctionnement de la thèse.

Fonds propres IMBE, incluant la participation à un colloque international.

Directeur(s) de thèse proposé(s)*

(limiter au plus à deux personnes principales, dont au moins une titulaire de l'HDR)

Directeur HDR proposé*

Nom - Prénom : **AFFRE Laurence**

Corps : Maître de Conférence EE

Laboratoire (i.e. formation contractualisée de rattachement, éventuellement équipe au sein de cette formation) :

IMBE, équipe POPCO : « POPulations, Paysages Communautés & cOnservation »

Adresse mail : laurence.affre@imbe.fr

Choix de cinq publications récentes (souligner éventuellement les étudiants dirigés co-signataires) :

Bouchot C., Affre L., Beaumont C., Nève G. & Geslin B. 2026. Isolated but not alone: island plant-pollinator interdependences. *Population Ecology* (*accepté*)

Badiane A., Ropars L., Flacher F., Schurr L., Zakardjian M., **Affre L.**, Deschamps-Cottin M., Gachet S., Nève G., Robles C., Geslin B. 2024. Urbanisation impacts the diversity, coloration, and body size of wild bees in a Mediterranean city. *Regional Environmental Change* <https://doi.org/10.1101/2022.12.09.519739>

Mutillod C., Baumberger T., Prudent P., Saatkamp A., Vidal E., Le-Mire-Pecheux L., **Affre L.** 2023. Yellow-legged gull populations (*Larus michahellis*) link the history of landfills to soil eutrophication and time-related vegetation changes on small Mediterranean islands. *Science of The Total Environment* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.1629482023>

Schurr L., Masotti V., Geslin B., Gachet S., Mahé P., Jeannerod L., & **L. Affre.** 2022. To what extent is fennel crop dependent on insect pollination? *Agric Ecosyst Environ* 338:108047, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108047>

Schurr L., Geslin B., **Affre L.**, Gachet S., Delobea M., Brugger M., Bourdon S. & Masotti V. 2021. Landscape and Local Drivers Affecting Flying Insects along Fennel Crops (*Foeniculum vulgare*, Apiaceae) and Implications for Its Yield. *Insects*, 12(5): 404. <https://doi.org/10.3390/insects12050404>

Thèses encadrées ou co-encadrées au cours des quatre dernières années*

Nom : BOUCHOT Claire

Intitulé : Quels liens s'établissent entre pollinisateurs spécialisés / non-spécialisés et plantes rares / communes sur un gradient littoral ? Signaux fonctionnels plantes / pollinisateurs pour une gestion conservatoire des interdépendances

Type d'allocation : MRE

Date de début de l'allocation de doctorat : octobre 2023

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : en cours

Programme finançant la recherche : Parc National des Calanques

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) : en cours

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 50%

Nom : GUENIER Clément

Intitulé : Renforcements expérimentaux et analyses comportementales de tortues d'Hermann : optimiser la stratégie de conservation d'un reptile menacées par les incendies

Type d'allocation : Région PACA

Date de début de l'allocation de doctorat : octobre 2023

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : en cours
Programme finançant la recherche : Parc National de Port-Cros
Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) : en cours
Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 50%

Nom : SCHURR Lucie

Intitulé : Interactions entre insectes floricoles et cultures de fenouil aromatique (*Foeniculum vulgare*) : influences des variables locales et paysagères et implications pour la production d'anéthole.

Type d'allocation : CIFRE Pernod-Ricard

Date de début de l'allocation de doctorat : octobre 2018

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : avril 2022

Programme finançant la recherche : Pernod-Ricard

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) : MCF

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 30%

Autre directeur proposé (éventuellement)*

Nom - Prénom : MICHÉ Lucie

Corps : Maître de Conférence

Adresse mail : lucie.miche@imbe.fr

Laboratoire (i.e. formation contractualisée de rattachement, éventuellement équipe au sein de cette formation) :

IMBE, équipe BEEM « Biologie, Ecologie et Evolution Moléculaires »

Choix de cinq publications récentes (souligner éventuellement les étudiants dirigés co-signataires) :

Miché L, Baumberger T, Mirleau F, Prudent P, Armange M, Mirleau P, Laffont-Schwob I, Tatoni T, Le Mire Pecheux L, Dupin A, Keller L, Baumel A, Affre L. Restoration of the declining populations of *Astragalus tragacantha* on the French Mediterranean coast: a case study of factors leading to transplantation success. *Soumis à Ecological Engineering le 05/02/2026*

Hamim A, Jemo M, Taoussi M, **Miché L**, Mrabet R, Duponnois R, Lahlali R, Hafidi M. 2026. Growth and phosphorus uptake of micropropagated southern highbush blueberry plants inoculated with ericoid endophytic and mycorrhizal fungi in varied growth substrates. *The Microbe* 10: 100639. <https://doi.org/10.1016/j.microb.2025.100639>

Miché L, Dries A, Ben Ammar I, Davidson S, Cagnacci L, Combet-Blanc Y, Abecassis V, Penton Fernandez G, Christen P. 2024. Changes in chemical properties and microbial communities' composition of a forest litter-based biofertilizer produced through aerated solid-state culture under different oxygen conditions. *Environmental Science and Pollution Research*: **32 (28)**, 16725–16739. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33629-8>

Baumberger T, Baumel A, Dumas PJ, Ugo J, Keller L, Dumas E, Tatoni T, **Miché L**, Mirleau P, Laffont-Schwob I, Affre L. 2021. Is a restricted niche the explanation for species vulnerability? Insights from a large field survey of *Astragalus tragacantha* L. (Fabaceae). *Flora*, 283, 151902 <https://doi.org/10.1016/j.flora.2021.151902>

Klonowska A, Melkonian R, **Miché L**, Tisseyre P, Moulin L. 2018. Transcriptomic profiling of *Burkholderia phymatum* STM815, *Cupriavidus taiwanensis* LMG19424 and *Rhizobium mesoamericanum* STM3625 in response to *Mimosa pudica* root exudates illuminates the molecular basis of their nodulation competitiveness and symbiotic evolutionary history. *BMC Genomics* 19:105. <https://doi.org/10.1186/s12864-018-4487-2>

Thèses encadrées ou co-encadrées au cours des quatre dernières années*

Nom :

Intitulé :

Type d'allocation :

Date de début de l'allocation de doctorat :

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) :

Programme finançant la recherche :

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) :

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction :%