

Proposition de sujet de thèse 2024

(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 : Effets de la configuration paysagère sur les interactions biotiques - de l'expérimentation à la conception de paysages favorables à la biodiversité

Encadrant(s), nom, prénom, adresse mail : ALBERT, Cécile, cecile.albert@imbe.fr, SANTONJA, Mathieu, mathieu.santonja@imbe.fr

Laboratoire : 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*	
Encadrants (2 max, indiquer si HDR ou pas)*	Cécile ALBERT, DR2 CNRS, HDR Mathieu SANTONJA, MCF AMU
Laboratoire*	IMBE
Programme finançant la recherche (indiqué si obtenu ou envisagé) (1)	ERC SCALED, obtenu 2021-2026 H2020 HoliSoils, obtenu 2021-2026 IMBE, équipes et commission doctorale (conférence internationale), très probable ITEM, Appel à projets flash stage (gratification stage M2), envisagé FR ECCOREV, Appel d'offre interne, envisagé CNRS, Appel à Projets EC2CO, envisagé

Sujet de doctorat proposé

Intitulé : Effets de la configuration paysagère sur les interactions biotiques - de l'expérimentation à la conception de paysages favorables à la biodiversité

Descriptif :

1. Contexte scientifique

La perte et la fragmentation des habitats sont des facteurs clés du déclin de la biodiversité. Il est essentiel de comprendre les réponses des organismes à ces deux phénomènes pour concevoir des plans de gestion efficaces dans les paysages dominés par l'homme¹. Alors que l'étude de la fragmentation de l'habitat est au premier plan de

la recherche depuis des décennies, la conception de paysages favorables à la conservation de la biodiversité reste un sujet de débat permanent. Il est reconnu que plus la quantité d'habitat dans un paysage est grande plus les communautés associées sont diversifiées. Cependant, les effets de la fragmentation des habitats en petites zones discontinues et la perméabilité des espaces adjacents (matrice paysagère) demeurent encore très controversés²⁻⁴. La thèse proposée ici se place dans le cadre de l'écologie du paysage et propose de combler les lacunes de connaissance actuelle en mettant en place des expérimentations pour comprendre comment l'agencement spatial des habitats influence les interactions biotiques (compétition et prédation), processus clés structurant les communautés d'organismes. Une nouvelle génération d'expériences à l'échelle de mini-paysages a été récemment développée à l'IMBE⁵. A travers une complexification progressive d'assemblages d'espèces d'arthropodes suivis dans ces mini-paysages, la finalité générale de cette thèse est de fournir une aide à la conception de paysages plus favorables à la coexistence de différentes espèces.

2. Objectifs du projet de thèse

Le projet de thèse vise à tester les effets de la configuration paysagère sur les interactions biotiques par une approche expérimentale. Il se focalisera sur 2 grands types d'interactions : la prédation et la compétition. A ce jour nous avons été capables de faire le lien entre la structure paysagère et la dynamique de population d'une espèce de microarthropode modèle : *Folsomia candida*⁵. Le projet proposé ici vise à reprendre la méthodologie développée pour passer d'un contexte monospécifique à un contexte multispécifique, progressant ainsi vers des résultats théoriques mieux à même de répondre aux besoins actuels de la biologie de la conservation spatialement explicite.

L'objectif principal est de mieux comprendre les processus clé (mouvement des individus, dynamique de population, interaction entre espèces) qui sous-tendent la réponse de la biodiversité à la structuration des paysages. Ceci permettra de mieux comprendre les circonstances dans lesquelles différentes configurations d'habitat et différents types de matrices paysagères peuvent conduire à des niveaux plus élevés de biodiversité. Pour cela, nous manipulerons à la fois l'agencement spatial de l'habitat, la résistance de la matrice paysagère (càd comment le milieu non-habitat environnant facilite ou non le déplacement des organismes) et le type d'interaction biotique. Nous observerons comment les conditions paysagères influencent ces interactions et modifient les règles de persistance des populations et de coexistence des espèces.

3. Organismes d'étude

Les expérimentations porteront sur des microarthropodes du sol (taille ~1.5 mm) : collembole (proie) et acarien (prédateur). Ces organismes sont mobiles, faciles à élever, et ont des temps générationnels courts (<30 jours)⁶. Cela permet de mener en quelques semaines des expériences multi-générationnelles et d'observer les processus démographiques à l'œuvre. Ils sont reconnus pour être de bons modèles d'étude pour traiter des questions de fragmentation des habitats dans des paysages miniatures^{7,8}. Les proies comprendront *F. candida*, ainsi que 4 autres espèces de collembolles ayant des capacités de reproduction (e.g. nombres d'œufs/génération) et mouvement (e.g. ratio longueur corps/pattes) contrastées. La sélection basée sur les traits sera alimentée par la base de données de traits BETSI (<https://portail.betsi.cnrs.fr/>) et les espèces choisies parmi une 40^{aine} d'espèces élevables en laboratoire. Le prédateur sera l'acarien *Stratiolaelaps scimitus* déjà élevé au laboratoire⁶. Toutes les expérimentations seront menées en conditions optimales de température et d'humidité pour les organismes sélectionnés.

4. Approche expérimentale en mini-paysages

Les paysages expérimentaux sont constitués d'une boîte en plastique de 50 x 50 x 10 cm, dans laquelle est placée une plaque horizontale recouverte d'un matériau « matrice » donné. Argote et al.⁵ a testé l'effet de 35 matériaux sur la capacité de déplacement de *F. candida* et en a sélectionné 4 formant un gradient de résistance au déplacement : coton bio, papier à dessin, tissu à cerf-volant et feutrine. Les patches d'habitat sont des piluliers en plastique de 3,5 cm de diamètre remplis d'un substrat humide de charbon et plâtre typique pour l'élevage des collembolles⁹. Ceux-ci sont insérés dans la matrice et fendus pour permettre les allers et venues des individus entre habitat et matrice. Dans chaque patch d'habitat, un disque de 1 cm de litière foliaire de chêne pubescent est placé pour fournir un abri et de la nourriture. Il a été démontré précédemment que la taille de ces patches et la nourriture associée sont suffisantes pour soutenir une population de *F. candida* sur plusieurs générations⁹.

5. Méthodologie

Pour répondre à l'objectif de ce projet, nous proposons de travailler autour de deux volets complémentaires.

5.1. Comparer les capacités de mouvement et évaluer les interactions 2 à 2 pour un ensemble d'espèces de microarthropodes ayant des traits de reproduction et déplacement variés

Ce premier volet apportera à la fois des connaissances approfondies sur l'écologie des modèles biologiques et permettra d'acquérir un certain nombre d'éléments pour calibrer les expérimentations du volet #2.

Expérience 1.1 Évaluer la capacité de mouvement des 6 espèces sélectionnées (oct-fev 2024)

En suivant les méthodologies développées avec *F. candida*^{9,10}, nous évalueront la capacité de mouvement des espèces sélectionnées sur différentes « matrices » comme détaillé au-dessus. Les individus seront placés dans des arènes sur un matériau donné et leurs trajectoires filmées. Les images seront ensuite analysées pour estimer la mobilité des individus (vitesse de déplacement, tortuosité de la trajectoire, distance parcourue). La mobilité sera ensuite reliée statistiquement aux traits de mobilité des individus tels qu'estimés dans la base de données BETSI, afin de valider les hypothèses entre traits et mobilité des espèces. Un total de 288 tests seront effectués (4 substrats x 6 espèces x 12 répétitions) et permettront de déterminer les distances inter-patches et les choix de « matrices » pour le volet #2. (VALO1)

Expérience 1.2 Évaluer la force des interactions biotiques entre les 6 espèces sélectionnées (mar-août 2025)

Il s'agit de mesurer la capacité de coexistence de 2 espèces et de mesurer la force de leur interaction (α dans le modèle de Lotka-Volterra) en mesurant comment la présence de l'espèce B affecte le taux de croissance de l'espèce A. Pour cela, nous élèverons les différentes espèces sélectionnées par paires (proie-proie ou proie-prédateur) dans des microcosmes sur un substrat neutre avec au centre un disque de feuille de chêne.

Pour les interactions proie-proie (5 espèces, 10 interactions), le nombre d'individus initial sommera toujours à 40 avec des nombres A:B tels que 40:0, 30:10, 20:20, 10:30 et 0:40. Chaque modalité sera répétée 8 fois pour un total de 400 microcosmes (10 interactions x 5 proportions x 8 réplicats).

Pour les interactions proie-prédateur (5 proies et 1 prédateur, 5 interactions), le nombre initial de proies sera de 40 et le nombre de prédateurs variera sur 4 niveaux (0, 2, 5 et 20), le niveau 0 étant déjà testé dans l'autre pool de mésocosmes. Chaque modalité sera répétée 8 fois pour un total de 120 nouveaux microcosmes (5 proies x 3 densités de prédateurs x 8 réplicats).

Chaque microcosme sera aéré, humidifié et photographié 1 fois par semaine. Les photos seront traitées avec l'application Yolov5 développée dans Argote et al.¹¹ afin d'estimer les taux de reproduction et les tailles et biomasses de population des différentes espèces. L'expérience sera conduite sur 20 semaines pour suivre ~5 générations de proie et 2 de prédateur. Nous pourrions ainsi caractériser et hiérarchiser les interactions de coexistence entre espèces (compétition nulle à exclusion) et les différents niveaux de tolérance à la prédation. Cette expérience permettra également de décider les couples d'espèces à utiliser dans le volet #2. (VALO2)

5.2. Évaluer l'effet de la configuration spatiale de l'habitat sur les communautés de microarthropodes dans des paysages miniatures

Dans le volet 2, il s'agira de manipuler l'arrangement spatial des patches d'habitat et la résistance de la matrice paysagère pour en évaluer l'effet sur des assemblages biologiques de complexité croissante : 1) deux espèces en compétition, 2) une proie et un prédateur, 3) cinq proies et un prédateur. Les processus mis en jeu seront identifiés grâce aux résultats du volet #1.

Expérience 2.1 Évaluer l'effet de la configuration spatiale de l'habitat sur l'interaction de compétition (sep-fev 2026)

Sur la base des résultats du volet #1, nous choisirons parmi les 10 interactions proie-proie testées 3 interactions formant un gradient incluant une coexistence (compétition nulle), une compétition asymétrique faible et une compétition asymétrique forte entre 2 espèces de collembole.

Nous choisirons 6 configurations paysagères contrastées formant un gradient de configuration spatiale dans lequel seront testés les 3 niveaux d'interaction pour un total de 72 paysages (6 configurations x 3 interactions x 4 réplicats). 20 individus de chaque espèce seront introduits dans 1 patch en début d'expérience. Les paysages seront aérés, les zones d'habitat humidifiées et un suivi photo sera effectué 1 fois par semaine. Les photos seront traitées par Yolov5 et l'expérience sera conduite sur 20 semaines. Nous pourrions ainsi analyser comment la configuration paysagère affecte les interactions, en comparaison avec des patches uniques (volet #1). (VALO3)

Détail du Programme finançant la recherche :

Le budget prévu pour le projet de thèse présenté ici est détaillé dans le tableau ci-dessous.

besoin	montant (€)	matériel acquis (€)	financement acquis (€)	financement demandé à ED (€)	financement à acquérir (€)
<i>Salaire thèse (3 ans)</i>	113 892,48*			113 892,48*	
<i>Salles de manip : climatisation, mobilier adapté, ...</i>	1 600	1 600			
<i>Matériel mini-paysages : boîtes et plaques pvc sur mesure</i>	4 500	4 500			
<i>Appareil photo haute-résolution & zoom</i>	3 500	3 500			
<i>Application comptage YOLOV - développement</i>	3 000	3 000			
<i>Ordinateur</i>	1 500		1 500		
<i>Consommables : tissus, tubes plastiques, plâtre & charbon, filtre eau distillé, scalpel, ethanol...</i>	4 500		3 500		1000
<i>Publications (frais de)</i>	2 000		2 000		
<i>Mission/conférence (train/avion, hôtel, frais inscription, support comm)</i>	4 000		2 000		2 000
<i>Stage de Master 2 (expérience 2.2)</i>	3 800				3 800
Total	142 292,48	12 600	9 000	113 892,48*	6 800

* à titre indicatif, montant estimé par notre responsable RH sur outils du CNRS en mars 2024

Nous envisageons d'équilibrer ce budget en s'appuyant : 1) sur du matériel déjà acheté (~12 600 euros) dans le cadre des projets ERC SCALED (GA n° 949812 – 2021-2026, <https://www.scaled-erc.eu/>) et miniland-pilot (projet interne IMBE – 2020) ; 2) sur des financements déjà acquis ERC SCALED, projet H2020 HOLISOILS (GA n°101000289 – 2021-2025, <https://holisoils.eu/>) et financements équipes IMBE et commission des doctorants (colloque) ; 3) sur des financements à acquérir pour notamment participer à un congrès international (présentation des résultats des travaux de thèse) et ajouter une collaboration avec un étudiant de Master 2 (expérience d'encadrement). Nous pensons à 3 pistes pour ces financements à acquérir : financement fléché sur des stages de Master de L'Institut Méditerranéen pour la Transition Environnementale (ITEM, local), appel de la fédération de recherche ECCOREV (local), et appel EC2CO (CNRS, national). A noter que la collaboration avec un étudiant de Master 2 est un bonus et que la thèse proposée peut s'effectuer sans.

Directeur(s) de thèse proposé(s)

Directeur HDR proposé

Nom - Prénom : ALBERT Cécile

Corps : DR2 CNRS

Laboratoire : IMBE (équipe POPCO)

Adresse mail : cecile.albert@imbe.fr

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

Argote-Deluque K., Albert C.H., Geslin B., Biryol C., Santonja M. (2023). Effects of litter quality on foraging behaviour and demographic parameters in *Folsomia candida* (Collembola), *Ecology and Evolution* 13:e10420, <https://doi.org/10.1002/ece3.10420>

Blight O., Geslin B., Mottet L., Albert C.H. (2023). Advantages and limits of radio tracking for the conservation of small ground-dwelling beetles: a case study in a Mediterranean dry grassland, *Frontiers in Ecology and Evolution* 11:1040931. <https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1040931>

Hamonic F., Couetoux B., Vaxès Y., Albert C.H. (2023). Cumulative effects on habitat networks: How greedy should we be?, *Biological Conservation* 282: 110066. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110066>

Hamon F., Albert C.H., Couetoux B., Vaxès Y. (2022). Optimizing the ecological connectivity of landscapes with generalized flow models and preprocessing, 1-16. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2109.06622>
Albert C.H.*, Hervé M.*, Fader M., Bondeau A., Leriche A., Monnet A.C., Cramer W. (2020). What ecologists should know before using land-use/cover change projections for biodiversity and ecosystem service assessments, *Regional Environmental Change* 20:106. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01675-w> (*equal contribution to the paper)

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

Nom : ARGOTE Karolina

Intitulé : Réponse des communautés de microarthropodes à la fragmentation de leur habitat : Expérimentation contrôlée dans des mini-paysages de laboratoire

Type d'allocation : Projet ERC SCALED

Date de début de l'allocation de doctorat : Avril 2021

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : soutenance prévue en Octobre 2024

Programme finançant la recherche : ERC SCALED

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

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 33 %

Nom : HUBERSON Natan

Intitulé : Réponse des populations et communautés d'arthropodes aptères à la perte et à la fragmentation du couvert en galets au sein d'un paysage dans la steppe de la Crau

Type d'allocation : Projet ERC SCALED

Date de début de l'allocation de doctorat : Octobre 2022

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : thèse abandonnée

Programme finançant la recherche : ERC SCALED

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

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 33 %

Nom : HAMONIC François

Intitulé : Algorithmes pour la conservation et la restauration des habitats et paysages écologiques

Type d'allocation : Bourse Région

Date de début de l'allocation de doctorat : Octobre 2019

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : Février 2023

Programme finançant la recherche : projets et récurrent laboratoire LIS

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) : post-doctorat IMBE

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 33 %

Autre directeur proposé

Nom - Prénom : SANTONJA Mathieu

Corps : MCF (soutenance HDR prévue en 2025)

Adresse mail : mathieu.santonja@imbe.fr

Laboratoire : IMBE (équipe ECOSOM)

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

Biryol C., Aupic-Samain A., Lecareux C., Gauquelin T., Baldy V., **Santonja M.** (2024). Interactive effects of soil moisture, air temperature and litter nutrient diversity on soil microbial communities and *Folsomia candida* population. *Oikos*, accepté, <https://doi.org/10.1111/oik.10345>

Argote-Deluque K., Albert C.H., Geslin B., Biryol C., **Santonja M.** (2023). Effects of litter quality on foraging behaviour and demographic parameters in *Folsomia candida* (Collembola), *Ecology and Evolution* 13:e10420, <https://doi.org/10.1002/ece3.10420>

Aupic-Samain A., Baldy V., Delcourt N., Krogh P.H., Gauquelin T., Fernandez C., **Santonja M.** (2021). Water availability rather than temperature control soil fauna community structure and prey-predator interactions. *Functional Ecology* 35:1550-1559. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13745>

Aupic-Samain A., **Santonja M.**, Chomel M., Pereira S., Quer E., Lecareux C., Limousin J.M., Ourcival J.M., Simioni G., Gauquelin T., Fernandez C., Baldy V. (2021). Soil biota response to experimental rainfall reduction depends on the dominant tree species in mature Northern Mediterranean forests. *Soil Biology and Biochemistry* 154:108122. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.108122>

Hoeffner K., Santonja M., Monard C., Barbe L., Le Moing M., Cluzeau D. (2021). Soil properties, grassland management and landscape diversity drive earthworm communities in temperate grassland. *Pedosphere* 31:375-383. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(20\)60020-0](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60020-0)

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

Nom : ARGOTE Karolina

Intitulé : Réponse des communautés de microarthropodes à la fragmentation de leur habitat : Expérimentation contrôlée dans des mini-paysages de laboratoire

Type d'allocation : Projet ERC SCALED

Date de début de l'allocation de doctorat : Avril 2021

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : soutenance prévue en Octobre 2024

Programme finançant la recherche : ERC SCALED

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

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 33%

Nom : BIRYOL Charlotte

Intitulé : La biodiversité du sol en forêts méditerranéennes : influence de la gestion forestière et des conditions climatiques

Type d'allocation : Bourse ED251

Date de début de l'allocation de doctorat : Octobre 2020

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : soutenance prévue le 11 Juin 2024

Programme finançant la recherche : ECCOREV-ITEM, AnaEE-France, H2020 HoliSoils

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

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

Nom : BRASSEUR Solène

Intitulé : Impact de la gestion forestière et des contraintes hydriques sur la régénération naturelle : application in situ et ex situ au chêne pubescent

Type d'allocation : Bourse ED251

Date de début de l'allocation de doctorat : Octobre 2022

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : NA

Programme finançant la recherche : ECCOREV-ITEM, H2020 HoliSoils, CNRS EC2CO

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

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 33%

Nom : CZUCKERMAND Lola

Intitulé : Les Espaces à Caractère de Nature (ECN) dans la Ville de Marseille : biodiversité et fonctionnement des sols comme marqueur de leur naturalité et des services écosystémiques associés

Type d'allocation : Bourse CIFRE (Ville de Marseille)

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

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : NA

Programme finançant la recherche : Contrat partenariat IMBE-Ville de Marseille

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

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 33%