

Proposition de Thèse 2026-2029

Caractérisation de la qualité écologique des haies par fusion de données de télédétection multi-capteurs.

Mots clés: Haies, Télédétection, LiDAR, Drone, traits optiques, traits fonctionnels, qualité écologique, IBP

Direction de thèse : David Sheeren, Marc Lang

Date début de thèse : Octobre 2026 / Janvier 2027

Lieu : AgroToulouse - UMR DYNAFOR à Toulouse

Résumé du projet de thèse : La thèse vise à développer une méthodologie et des outils opérationnels pour évaluer la qualité écologique des haies, cruciales dans les paysages agricoles pour leur biodiversité et leurs services écosystémiques. Elle s'appuie sur des données de télédétection, combinant LiDAR HD et images satellites, pour identifier des descripteurs clés de la structure, du fonctionnement et de la composition spécifique des haies. Ces descripteurs seront utilisés pour prédire le potentiel écologique des haies d'une part en s'inspirant du Plan de Gestion Durable des Haies (PGDH) et seront utilisés pour prédire la diversité taxonomique (faune, flore) d'autre part. Les résultats attendus incluent une méthodologie pour mettre en œuvre cette évaluation, ainsi que des spécifications sur son domaine de validité. Enfin, des cartes prédisant la qualité écologique des haies sur différents territoires seront produites. Cette approche contribuera à combler le manque actuel de solutions pour évaluer la qualité des haies à large échelle, permettant ainsi de mieux comprendre leur rôle comme support de la biodiversité, et d'orienter les politiques publiques en conséquence.

Summary of the thesis project : This thesis aims to develop a methodology and operational tools for assessing the ecological quality of hedgerows, which are crucial in agricultural landscapes for their biodiversity and ecosystem services. It uses remote sensing data, combining LiDAR HD and satellite images, to identify key descriptors of hedgerow structure, function and species composition. These descriptors will be used to predict the ecological quality of hedgerows, based on the Plan de Gestion Durable des Haies (PGDH) criteria. Expected results include a methodology for implementing this assessment, as well as specifications on its range of validity. Finally, maps predicting the ecological quality of hedgerows in different territories will be produced. This approach will help fill the current gap in solutions for assessing the quality of hedgerows on a large scale, enabling a better understanding of their role in biodiversity support and guiding public policies accordingly.

Profil et compétences recherchées : Un master 2, un diplôme d'ingénieur ou une expérience significative en télédétection ou science des données est requis. Une double compétence en écologie / agronomie serait très appréciée. Le ou la candidate doit avoir une expérience dans le traitement d'au moins une de ces données : LiDAR et série temporelle d'images satellitaires. Des compétences en lien avec les acquisitions drone serait un plus. Le ou la candidate maîtrisera au moins un de ces langages de programmations : R et Python (de préférence), idéalement les deux.

Candidature :

Un CV, une lettre de motivation, le contact des derniers encadrants de stage M2 ainsi que les relevés de notes du M1 et M2 doivent être adressés à Marc Lang et David Sheeren (marc.lang@toulouse-inp.fr et david.sheeren@ensat.fr) d'ici le 05 juillet 2026. Des entretiens seront prévus au fur et à mesure de la réception des dossiers.

Contexte :

Les haies jouent un rôle clé dans les paysages agricoles. Au-delà de leur fonction de corridor écologique au sein de la trame verte, elles constituent un important **refuge pour la biodiversité** (Pelletier-Guittier et al., 2020 ; McCollin et al., 2000 ; Hannon and Sisk, 2009) et **rendent de nombreux services écosystémiques** (ex. protection des cultures/ animaux d'élevage, régulation des ravageurs, protection de la ressource en eau, lutte contre l'érosion et les inondations, protection contre le vent (Weninger et al., 2021)). Dans le contexte actuel de changement climatique, les structures bocagères (et plus généralement les arbres hors forêts) représentent un puit de carbone non négligeable, à travers leur biomasse aérienne et racinaire et leur capacité à séquestrer du carbone dans les sols (Fallon et al. 2004, Axe et al. 2017, Colombie et al. 2020). Elles constituent ainsi un des leviers reconnus d'atténuation du réchauffement climatique avec des marges de progression importantes (intensification des plantations et amélioration des pratiques d'entretien, usage en agroforesterie, usage comme bois d'œuvre ou bois énergie en remplacement des énergies fossiles et avec un approvisionnement local...). Elles participent ainsi aux stratégies de lutte contre l'effet de serre avec la possibilité que des initiatives valorisant le bocage obtiennent le label « bas-carbone » (voir le projet récent CARBOCAGE). **La capacité des haies à remplir ces fonctions écologiques et à fournir ces services écosystémiques est directement liée à ses caractéristiques structurelles (largeur, hauteur mais aussi complexité verticale) ainsi que sa composition spécifique (en espèces ligneuses et herbacées).**

La surface des haies a cependant largement diminué depuis les années 1950 avec la modernisation de l'agriculture et on estime encore que 23 500 km linéaires de haies sont perdus chaque année. Aujourd'hui, les politiques publiques environnementales européennes et nationales soutiennent la protection et la replantation de haies. Le récent Pacte en faveur de la haie ambitionne par exemple un gain net de + 50 000 km linéaires de haies d'ici 2030. Si des initiatives sont en cours pour développer des méthodes opérationnelles de cartographie des haies, **il n'existe en revanche pas encore de solutions pour évaluer**

à large échelle la qualité des haies ou leur multifonctionnalité. Le développement d'indices qui permettent de rendre compte de la structure et du rôle des haies, notamment dans l'adaptation et l'atténuation du changement climatique, est un enjeu majeur. Ces indices pourraient ainsi permettre de suivre l'évolution des haies et d'évaluer l'efficacité des politiques publiques.

Les données de télédétection sont particulièrement pertinentes pour caractériser à large échelle les propriétés des haies. La récente campagne d'acquisition de l'IGN du LiDAR HD permet notamment l'utilisation de nuages de points 3D d'une densité de 10 points/m² et ouvre ainsi de nouvelles perspectives pour décrire finement la structure verticale de la végétation. En parallèle, les données à très haute résolution temporelle comme les images des satellites Sentinel-2 ou celles de la constellation Planet permettent de suivre la phénologie des haies. Ainsi, **la combinaison de ces deux types de données constitue une opportunité inédite pour évaluer la multifonctionnalité des haies à large échelle.**

Deux grands types d'approches existent pour caractériser les milieux naturels à partir de données de télédétection. Les approches dites discrètes qui visent à représenter les milieux selon une nomenclature (ou typologie) d'intérêt. Ces approches répondent ainsi souvent à une logique de gestion et de suivi des milieux pour des politiques publiques. Leur inconvénient est que les nomenclatures choisies ne permettent pas toujours (i) de caractériser la variabilité au sein des classes des typologies adoptées ni (ii) de bien rendre compte de leur multifonctionnalité. Une autre approche consiste donc à **décrire les milieux naturels via des traits morphologiques, physiologiques et phénologiques** (Ustin and Gamon, 2010), qui sont en partie accessibles à l'aide de capteurs optiques multispectraux et LiDAR. Les milieux sont ainsi décrits dans un espace continu multivarié qui s'affranchit d'a priori thématique. Il y a cependant un risque que ces traits ne soient pas intelligibles par des non experts et ne répondent dès lors pas à un besoin opérationnel de suivi des milieux pour les politiques publiques. Il est donc nécessaire que ces traits puissent être traduits dans un espace discret (comme une typologie) au besoin (Feilhauer et al., 2014).

Objectifs :

L'objectif principal de cette thèse est **de développer une démarche méthodologique ainsi que des outils opérationnels pour produire des indices permettant d'évaluer la qualité écologique des haies.** Les indices produits devront idéalement respecter les critères suivants :

- ils doivent permettre de caractériser finement la **structure, le fonctionnement et la composition des haies** de tel sorte à contribuer à évaluer **leur multifonctionnalité** ;
- ils doivent pouvoir **répondre au besoin métiers des gestionnaires** et ainsi pouvoir être traduits dans des typologies nationales et des méthodes d'évaluation standardisées ;
- dans un souci de reproductibilité de la méthode, la production de ces indices :
 - respecte **un principe de parcimonie** : ils ne sont pas redondants et les moins nombreux possibles ;
 - est **standardisée** : c'est-à-dire qu'elle requiert un minimum de paramétrisation et qu'elle est la plus automatique possible.

Déroulé :

1. Trouver des descripteurs de la structure, du fonctionnement et de la composition spécifique des haies.

La première année sera consacrée à un travail bibliographique sur l'identification de descripteurs de la végétation ligneuse. S'il n'existe que très peu de travaux sur la caractérisation de la qualité haies, de nombreuses études ont développé des méthodes de caractérisation de la structure (par ex : Guo et al., 2017 ; Fahey et al., 2019 ; Valbuena et al., 2020) et de la diversité spécifique des milieux forestiers (Kacic and Kuenzer, 2022). La thèse s'inspire ainsi des approches développées en milieux forestier pour les adapter aux haies. Quelques outils et bibliothèques développés par Dynafor et l'unité partenaire TETIS pourront notamment être utilisés :

- le plugin QGIS HedgeTools pour dériver des indices des données LiDAR (Sheeren et al., 2023) ;
 - des bibliothèques R comme biodivMapR pour calculer indices de diversité spectrale et temporelle (Féret and Boissieu, 2020) ;
 - les modèles de transfert radiatif (e.g. PROSAIL (Feret and de Boissieu, 2024)) pour relier les acquisitions satellite optiques à des variables biophysique de la végétation comme le LAI ou la teneur en chlorophylle.
- Ces indices seront produits en utilisant les données LiDAR HD et les données Sentinel-2, sur des territoires bocagers pour lesquels des relevés terrain incluant des typologies de haies (basées sur la structure, la gestion ou la composition) sont disponibles. Des analyses de covariance seront effectuées pour identifier un jeu restreint d'indices permettant de rendre compte de manière complémentaire la variabilité structurelle, la composition, et la variabilité fonctionnelle des haies.

2. Vers le potentiel écologique des haies – approche indirecte La deuxième année sera consacrée à étudier la pertinence des indices produits pour qualifier la qualité écologique des haies en étudiant notamment leur lien avec les indicateurs d'accueil de la biodiversité tel que définis dans le Plan de Gestion Durable des Haies (PGDH¹). Celui-ci définit plusieurs critères (e.g. richesse en espèces ligneuses, largeur de l'ourlet de végétation, recouvrement des étages de végétation) permettant d'attribuer une note globale indicatrice de la fonction support de la biodiversité des haies. Deux approches seront explorées. Une première où l'ensemble des descripteurs seront utilisés pour prédire directement la note globale d'accueil de la biodiversité, et une deuxième où les liens entre les descripteurs et certains critères pris individuellement seront étudiés plus finement.

3. Vers la qualité écologique des haies – approche directe (taxonomique) La dernière partie de la thèse sera dédiée à modéliser les relations entre l'hétérogénéité spectrale et structurale et la diversité multi-taxonomique (faune, flore) à l'aide de relevés taxonomique fournis par différents partenaires (INPN, OFB, UMR BAGAP etc.) et de relevés de composition du PGDH.

¹ [Indicateurs d'accueil de la biodiversité – Critères PGDH](#)

Résultats attendus :

Les principaux résultats attendus sont :

- une liste de **descripteurs clés** issus de la télédétection pour caractériser la qualité écologique des haies ;
- une **méthodologie pour mettre en œuvre et prédire la qualité écologique des haies** ;
- **des cartes** prédisant la qualité écologique des haies sur différents territoires.

Collaborations envisagées :

Des collaborations internes au laboratoire Dynafor avec :

- des écologues comme Émilie Andrieu pour l'étude du lien avec la qualité de la haie ;
- des télépilotes drone pour les acquisitions drone : Jérôme Molina et Wilfried Heintz ;
- technicien terrain pour les relevés de qualité des haies : Jérôme Willm ;

Des collaborations avec d'autres laboratoires comme l'UMR TETIS sont également prévus : Jean-Baptiste Féret et Florian De Boissieu qui présentent une expertise pour la caractérisation des forêts à l'aide de traits optiques ou la simulation d'image et nuages de points à partir de maquette. Des échanges avec l'UMR BAGAP sont prévus pour les relevés taxonomiques de même qu'avec l'OFB (notamment l'UAR Patrinat) et Réseau Haies France.

Ces structures fourniront des relevés terrain relatifs aux haies (typologie, structure, composition, qualité écologique) ainsi que de relevés taxonomiques, en plus de leur expertise sur le bocage.

Cette thèse est financée par le PEPR « Agroécologie et numérique » dans le cadre du projet Biodicapt. La personne recrutée sera amenée à participer aux réunions du PEPR et échanger avec les nombreux partenaires y contribuant.

Objectifs de valorisation des travaux de recherche du doctorant :

Trois publications sont envisagées en lien avec les trois parties mentionnées dans le déroulé. Deux communications (une présentation orale et un poster) sont également prévues dans des colloques internationaux. Le développement méthodologique sera quant à lui intégré au sein du plugin QGIS HedgeTools au fur et à mesure de la thèse et ainsi mis à disposition des utilisateurs. Une fois validés, les indices développés pourront également être mis en production à large échelle dans le cadre du Centre Expertise Scientifique « Végétation, sol et agrosystème » du pôle THEIA. Les acquisitions drone LiDAR et optique seront également mis à disposition depuis un dépôt de données.

Références bibliographiques :

- Axe, M.S., Grange, I.D., Conway, J.S., 2017. Carbon storage in hedge biomass—A case study of actively managed hedges in England. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 250, 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.08.008>
- COLOMBIE Sarah, LIGNEAU Laurence, THAREAU Bertille, VIAUD Valérie, COISNON Thomas, DUPRAZ Pierre, SEYNI Nasser Abdoul, THOMAS Mickaël, MESSENGER Olivier, TREVISIOL Audrey, CHAMBRE REGIONALE AGRICULTURE PAYS DE LA LOIRE, ADEME, n.d. CARBOCAGE - Vers la Neutralité Carbone des territoires [WWW Document]. La librairie ADEME. URL <https://librairie.ademe.fr/changement-climatique-et-energie/36-carbocage-vers-la-neutralite-carbone-des-territoires.html> (accessed 3.15.24).
- Fahey, R.T., Atkins, J.W., Gough, C.M., Hardiman, B.S., Nave, L.E., Tallant, J.M., Nadehoffer, K.J., Vogel, C., Scheuermann, C.M., Stuart-Haëntjens, E., Haber, L.T., Fotis, A.T., Ricart, R., Curtis, P.S., 2019. Defining a spectrum of integrative trait-based vegetation canopy structural types. *Ecology Letters* 22, 2049–2059. <https://doi.org/10.1111/ele.13388>
- Falloon, P., Powlson, D., Smith, P., 2004. Managing field margins for biodiversity and carbon sequestration: a Great Britain case study. *Soil Use and Management* 20, 240–247. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2004.tb00364.x>
- Feilhauer, H., Dahlke, C., Doktor, D., Lausch, A., Schmidtlein, S., Schulz, G., Stenzel, S., 2014. Mapping the local variability of Natura 2000 habitats with remote sensing. *Applied Vegetation Science* 17, 765–779. <https://doi.org/10.1111/avsc.12115>
- Féret, J., Boissieu, F., 2020. biodivMapR: An R package for α - and β -diversity mapping using remotely sensed images. *Methods Ecol Evol* 11, 64–70. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13310>
- Feret, J.-B., de Boissieu, F., 2024. prosail: PROSAIL leaf and canopy radiative transfer model and inversion routines (manual).
- Hannon, L.E., Sisk, T.D., 2009. Hedgerows in an agri-natural landscape: Potential habitat value for native bees. *Biological Conservation* 142, 2140–2154. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.04.014>
- Kacic, P., Kuenzer, C., 2022. Forest Biodiversity Monitoring Based on Remotely Sensed Spectral Diversity—A Review. *Remote Sensing* 14, 5363. <https://doi.org/10.3390/rs14215363>
- McCollin, D., Jackson, J.I., Bunce, R.G.H., Barr, C.J., Stuart, R., 2000. Hedgerows as habitat for woodland plants. *Journal of Environmental Management* 60, 77–90. <https://doi.org/10.1006/jema.2000.0363>
- Pelletier-Guittier, C., Théau, J., Dupras, J., 2020. Use of hedgerows by mammals in an intensive agricultural landscape. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 302, 107079. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107079>
- Sheeren, D., Marquès, G., Villierme, L., Boissonnat, J.-B., Guébin, G., Lang, M., Monteil, C., 2023. HedgeTools : une boîte à outils pour caractériser automatiquement les haies en milieu agricole, in: Badard, T., Pouliot, J., Noucher, M., (Eds), M.V.-O. (Eds.), *Spatial Analysis and GEOmatics 2023, Actes de La Conférence Spatial Analysis and GEOmatics (SAGEO) 2023. GDR MAGIS Méthodes et Applications pour la Géomatique et l'Information Spatiale and Centre de Recherche en Données et Intelligence Géospatiales de l'Université Laval (Québec), Québec, Canada*, pp. 9–22.
- Ustin, S.L., Gamon, J.A., 2010. Remote sensing of plant functional types. *New Phytologist* 186, 795–816. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03284.x>
- Valbuena, R., O'Connor, B., Zellweger, F., Simonson, W., Vihervaara, P., Maltamo, M., Silva, C.A., Almeida, D.R.A., Danks, F., Morsdorf, F., Chirici, G., Lucas, R., Coomes, D.A., Coops, N.C., 2020. Standardizing Ecosystem Morphological Traits from 3D Information Sources. *Trends in Ecology & Evolution* 35, 656–667. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.03.006>
- Weninger, T., Schepers, S., Lackóová, L., Kitzler, B., Gartner, K., King, N.W., Cornelis, W., Strauss, P., Michel, K., 2021. Ecosystem services of tree windbreaks in rural landscapes—a systematic review. *Environ. Res. Lett.* 16, 103002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac1d0d>