



HAL
open science

HedgeTools : une boîte à outils pour caractériser automatiquement les haies en milieu agricole

David Sheeren, Gabriel Marquès, Lewis Villierme, Jean-Baptiste Boissonnat,
Guillaume Guébin, Marc Lang, Claude Monteil

► To cite this version:

David Sheeren, Gabriel Marquès, Lewis Villierme, Jean-Baptiste Boissonnat, Guillaume Guébin, et al.. HedgeTools : une boîte à outils pour caractériser automatiquement les haies en milieu agricole. Spatial Analysis and GEOmatics 2023, GDR MAGIS Méthodes et Applications pour la Géomatique et l'Information Spatiale; Centre de Recherche en Données et Intelligence Géospatiales de l'Université Laval (Québec), Jun 2023, Québec, Canada. pp.9-22. <hal-04440841>

HAL Id: hal-04440841

<https://hal.inrae.fr/hal-04440841v1>

Submitted on 6 Feb 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY 4.0 - Attribution - International License



Actes de la conférence Spatial Analysis and GEOmatics (SAGEO) 2023.

Éditeurs : Thierry Badard, Jacynthe Pouliot, Matthieu Noucher, Marlène Villanova-Oliver

ISBN : 978-2-9822061-0-6

Conférence coorganisée par le Centre de recherche en données et intelligence géospatiales (CRDIG) de l'Université Laval et le groupement de recherche CNRS MAGIS



Préambule

La conférence Spatial Analysis and GEomatics (SAGEO) 2023 s'est tenue à Québec, Qc, Canada du 5 au 9 juin 2023, sur le campus de l'Université Laval. SAGEO est la conférence internationale francophone en géomatique soutenue par le groupe de recherche CNRS MAGIS (<https://gdr-magis.cnrs.fr/>). L'objectif de SAGEO est de présenter les derniers travaux de recherche en géomatique et en analyse spatiale.

Cette édition de SAGEO a été organisée par le Centre de Recherche en Données et Intelligence Géospatiales (CRDIG) de l'Université Laval.

En plus de conférences, SAGEO a permis la tenue de 7 ateliers thématiques et l'organisation de l'assemblée générale du GDR MAGIS. Des visites dans 2 institutions québécoises (Communauté Métropolitaine de Québec et Centre de simulation et d'expertise maritime) en lien avec les technologies géospatiales ont été organisées.

Thierry Joliveau était le conférencier invité de cette édition de la conférence et a présenté une synthèse des travaux qu'il a réalisés durant sa riche et intense carrière au sujet des « techniques, pratiques et imaginaires de la géo-numérisation. Les objets culturels en géomatique ».

La liste des thèmes d'intérêt pour cette édition de la conférence était :

- Capteurs et Internet des objets
- Acquisition de données spatiales : topographie, positionnement et navigation par satellites, géo-senseurs...
- Géographie participative (VGI), Collaboration, participation, médiation, modélisation d'accompagnement
- Modélisation conceptuelle de données spatiales et temporelles
- Structure de données spatiales et algorithmique géométrique, modélisation des relations spatiales
- Modélisation, représentations et dynamiques urbaines
- Modélisation et simulation de systèmes complexes, couplage de modèles
- Intégration, fusion multi-échelle, généralisation
- Incertitude, modélisation et gestion de l'incertitude, propagation des erreurs, analyse de sensibilité
- Web sémantique et ontologies spatio-temporelles
- Données spatiales massives, Spatial Big Data
- Bases et entrepôts de données spatiales, fouille/forage de données, (S)OLAP...
- Géospatial et apprentissage machine
- Indexation, traitement et optimisation de requêtes spatiales et temporelles
- Infrastructures de données spatiales, interopérabilité, métadonnées
- Services web géographiques
- Raisonnement spatial, raisonnement temporel

- Fouille de données spatiales et temporelles
- Extraction et recherche d'information géographique
- Calculs hautes performances en géomatique
- Algorithmes distribués et parallèles pour l'Information géographique
- Géo-informatique en nuage
- Géolocalisation et analyse des déplacements
- Référentiels spatiaux : géodésie, gravimétrie, projections cartographiques...
- Télédétection, photogrammétrie et traitement d'images, LiDAR, observation de la Terre
- Analyse d'images et de vidéos, traitement de flux d'informations géographiques
- Géo-visualisation et cartographie dynamique, langages visuels, Webmapping
- Cognition spatiale : perception et appropriation de l'espace
- Mobilité des personnes, des objets et des systèmes, analyse de trajectoires, transports et flux
- Applications mobiles spatio-temporelles et services géolocalisés
- SIG 3D, jumeaux numériques
- SIG temps réel
- Analyse spatiale, géo-statistiques, modélisation de surfaces...
- Analyse d'erreurs, d'incertitudes et de sensibilité des données spatiales et temporelles
- Aide à la décision spatiale
- Dynamiques spatiales et Interactions
- Observatoire territorial, observatoire scientifique, observatoire de l'information géographique
- Approches critiques des sciences de l'information géographique
- etc.

Les domaines d'application concernaient :

- Écologie du paysage, environnement, gestion des ressources naturelles
- Aménagement et Gouvernance du Territoire
- Villes et communautés intelligentes
- Développement durable
- Urbanisme
- Energie
- Transport et mobilité
- Société et usages de l'information géographique
- Planification et géo-prospective
- Mers et océans, Gestion des zones côtières et des littoraux
- Prévention des risques et vulnérabilités
- Santé, Épidémiologie
- Changements climatiques
- Enseignement de la géomatique et de l'analyse spatiale

Tenue en format hybride (en présence et accès à distance possible), la conférence a rassemblé 98 personnes (80 en présence, 18 à distance), ce qui est un beau succès pour une édition de la conférence organisée à l'étranger.

Le comité de lecture composé de 45 experts de France et de Québec a eu à évaluer les 30 articles qui ont été soumis. Chaque article a été évalué par 2 membres du comité de lecture et 18 articles ont finalement été acceptés (soit un taux de 60% d'acceptation).

Les auteurs des 8 meilleurs articles ont été invités à soumettre une version étendue de leur papier pour considération dans un volume dédié aux Sciences de l'information géographique et les mesures environnementales du Journal of Interdisciplinary Methodologies and Issues in Science (JIMIS) : <https://jimis.episciences.org/page/vol-12>.

Les détails et le programme de la conférence SAGEO 2023 sont disponible en ligne à l'adresse <https://crdig.ulaval.ca/sageo2023/>.

Thierry Badard, Jacynthe Pouliot, Matthieu Noucher, Marlène Villanova-Oliver
Responsables du comité scientifique de SAGEO 2023

Comité d'organisation

- Éric Guilbert
- Frédéric Hubert
- Sonia Rivest
- Alexandre Gourret
- Guetchine Gaspard

Comité scientifique

- Thierry Badard, Université Laval
- Jacynthe Pouliot, Université Laval
- Matthieu Noucher, CNRS
- Marlène Villanova-Oliver, Université Grenoble Alpes

Comité de programme

- Nathalie Abadie (IGN, LATSIG)
- Mireille Batton-Hubert (LIMOS, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne)
- Yacine Bouroubi (Université de Sherbrooke)
- Carmen Brando (EHESS)
- Anne-Christine Bronner (CNRS, SAGE)
- Christophe Claramunt (Ecole navale de Brest, IRENav)
- Rodolphe Devillers (IRD, Espace-DEV)
- Jean Dubé (CRDIG, Université Laval)
- Bertrand Duménieu (EHESS)
- Pauline Dusseux (Université Grenoble Alpes, PACTE)
- Laurent Etienne (L@BISEN, Yncrea Ouest, Brest)
- Grégoire Feyt (Université Grenoble Alpes, PACTE)
- Pierre Gautreau (Université Paris 1 Panthéon Sorbonne, PRODIG)
- Jérôme Gensel (Université Grenoble Alpes, LIG)
- Mickaël Germain (Université de Sherbrooke)
- Marc Gervais (CRDIG, Université Laval)
- Charles Gignac (CRDIG, Université Laval)
- Arnaud le Guilcher (IGN, LATSIG)
- Françoise Gourmelon (CNRS, LETG)
- Baptiste Hautdidier (INRAE, ETTIS, Bordeaux)
- Pierre-Alexis Herrault (Université de Strasbourg, LIVE)
- Saeid Homayouni (INRS)
- Thierry Joliveau (Université St Etienne, EVS)
- Didier Josselin (CNRS, ESPACE, Avignon)

- Christian Larouche (CRDIG, Université Laval)
- Maud Loireau (IRD, Espace-DEV, Montpellier)
- Eric Masson (Université de Lille, TVES)
- Hélène Mathian (CNRS, EVS)
- Sehl Mellouli (CRDIG, Université Laval)
- Boris Mericskay (Univ. Rennes 2, ESO)
- André Miralès (INRAE, TETIS, Montpellier)
- Ludovic Moncla (INSA Lyon, LIRIS)
- Mir Mostafavi (CRDIG, Université Laval)
- Ana-Maria Olteanu-Raimond (IGN, LATSIG)
- Christine Plumejeaud (CNRS, Migrinter, Poitiers)
- François Pinet (INRAE, TSCF)
- Juste Rimbault (IGN, LATSIG)
- Sébastien Rey-Coyrehourcq (CNRS, IDEES)
- Stéphane Roche (CRDIG, Université Laval)
- Francis Roy (CRDIG, Université Laval)
- Anne Ruas (Université Gustave Eiffel, COSYS)
- Sylvie Servigne (INSA Lyon, LIRIS)
- David Sheeren (Institut National Polytechnique de Toulouse, DYNAFOR)
- Myriam Servières (Ecole centrale de Nantes, AAU)
- Brice Trouillet (Nantes Université, LETG)

Tables des matières

HedgeTools : une boîte à outils pour caractériser automatiquement les haies en milieu agricole. <i>David Sheeren, Gabriel Marques, Lewis Villierme, Jean-Baptiste Boissonnat, Guillaume Guebin, Marc Lang et Claude Monteil</i>	9
Caractérisation spatiale multiscalaire des agricultures contribuant à l’approvisionnement alimentaire de proximité. Propositions méthodologiques pour l’accompagnement de l’action publique de planification alimentaire. <i>Esther Sanz Sanz, Claude Napoléone et Michel Mouléry</i>	23
Proposition méthodologique pour identifier la limite spatiale ville-agriculture : Caractérisation de la rugosité du contour. <i>Michel Mouléry, Didier Josselin, Esther Sanz Sanz et Claude Napoléone</i>	38
ORL : une Ontologie des Relations de Localisation pour l’aide à la localisation de victimes en montagne lors d’un appel aux secours. <i>Mattia Bunel, Cécile Duchêne and Ana-Maria Olteanu-Raimond</i>	52
Qaujikairit, un outil d’information et d’alerte précoce sur les événements météorologiques pour les communautés nordiques du Nunavik. <i>Charles Gignac, Thierry Badard and Stéphane Voyer-Boutet, Jacynthe Pouliot et Richard Fortier</i>	64
Developing an Ontology-Based Framework to Select Geospatial Data for Natural Hazards Early Warning Systems (Case study: Nunavik, Québec, Canada). <i>Amirhossein Vahdat, Jacynthe Pouliot, Thierry Badard and Richard Fortier</i>	80
Cartographie lidar des biotopes terrestres, marins et intertidaux de l’atoll de Tetiaroa. <i>Benoit Stoll, Poeiti Tuheiava, Moana Badie and Lila De Oliveira</i>	95
Cartographie de la diversité spécifique forestière des milieux tempérés à partir d’imagerie hyperspectrale. <i>Marc Lang, Max Ferriere, Florian De Boissieu, Xavier Briottet, Sophie Fabre, David Sheeren and Jean-Baptiste Féret</i>	107
Cartographie des trajectoires maritimes incertaines du XVIIIème siècle. <i>Christine Plumejeaud-Perreau and Bernard Pradines</i>	122
Variation d’estimation de température selon les échelles administratives. <i>Didier Josselin, Matthieu Vignal, Nicolas Viaux, Delphine Blanke and Céline Lacaux</i>	137
Identifier le domaine public et son évolution : méthodologie d’analyse spatio-temporelle par traitements géomatiques en creux du cadastre. <i>Thibault Lecourt, Laure Casanova Enault and Didier Josselin</i>	152
Optimiser la localisation des services publics : Développement méthodologique et application à la Région SUD. <i>Quentin Godoye and Cyrille Genre-Grandpierre</i>	165
CentipedeRTK Le Real Time Kinematic collaboratif, low-cost et open source. <i>Ancelin Julien, Ladet Sylvie and Heintz Wilfried</i>	184

Unlocking Insights into Business Trajectories with Transformer-based Spatio-temporal Data Analysis. <i>Muhammad Arslan and Christophe Cruz</i>	198
Estimer un potentiel de regroupement de mobilité à partir de données spatio-temporelles. <i>Louissette Garcin, Didier Josselin, Sonia Chardonel, Mathilde Vernet and Jean-Baptiste Chesneau</i>	209
Cartographier pour le web avec la bibliothèque JavaScript `bertin`. <i>Nicolas Lambert, Timothee Giraud, Matthieu Viry and Ronan Ysebaert</i>	221
La partie immergée de l'information géographique : Analyse critique à travers le cas de la planification spatiale marine. <i>Juliette Davret and Brice Trouillet</i>	237
Pour un dialogue entre la géomatique et les humanités numériques : propositions pour contribuer à des pratiques géo-numériques critiques. <i>Juliette Morel and Baptiste Hautdidier</i>	251

HedgeTools : une boîte à outils pour caractériser automatiquement les haies en milieu agricole

David Sheeren¹, Gabriel Marquès^{1,2}, Lewis Villierme^{1,3}, Jean-Baptiste Boissonnat^{1,2}, Guillaume Guébin¹, Marc Lang¹, Claude Monteil¹

¹ Université de Toulouse, INRAE, UMR DYNAFOR
Av. de l'Agrobiopôle, BP 32607, Auzeville Tolosane, 31326 Castanet Tolosan
prenom.nom@toulouse-inp.fr

² TerraNIS
12 Av. de l'Europe, 31520 Ramonville-Saint-Agne

³ Direction du Système d'Information de Polynésie Française
BP 2551, 98713 Papeete Tahiti, Polynésie Française

RÉSUMÉ. La haie occupe une place centrale dans les approches paysagères de l'agroécologie à travers les fonctions de production, de régulation et de protection qu'elle assure. Toutefois, l'opérationnalité de ses fonctions dépend des caractéristiques de la haie, au-delà de son existence dans un territoire. S'il existe différentes techniques permettant d'extraire automatiquement les haies dans des images, il n'existe pas de boîte à outils dédiée à l'évaluation de leur multifonctionnalité. Dans cet article, nous présentons HedgeTools, un nouveau plug-in sous QGIS conçu pour caractériser les haies selon différents points de vue et différents niveaux d'analyse.

ABSTRACT. Hedgerow plays a key role in agro-ecological landscape approach through the production, regulation and protection functions they provide. However the operability of these functions depends on the characteristics of the object, beyond its existence in the landscape. Although various techniques exist to extract automatically hedgerows from imagery, there is no tools dedicated to the evaluation of their multifunctionality. In this paper, we present HedgeTools, a new QGIS plug-in designed to characterize hedgerows from different points of view and different levels of analysis.

MOTS-CLÉS : Haie, point de vue, représentation multiple, topologie, analyse spatiale, SIG.

KEYWORDS: Hedgerow, viewpoint, multiple representation, topology, spatial analysis, GIS.

1. Introduction

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 et rendent de nombreux services écosystémiques : protection des cultures et animaux d'élevage, régulation des ravageurs, rôle épurateur de l'eau, lutte contre l'érosion, protection contre le vent (Weninger *et al.*, 2021). Dans le contexte actuel de changement climatique, les structures bocagères représentent un puit de carbone non négligeable, à travers leur biomasse aérienne et racinaire et leur capacité à séquestrer du carbone dans les sols (Axe *et al.*, 2017). Elles constituent 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 contribuent aussi à complexifier les paysages agricoles et augmenter leur hétérogénéité qui est une caractéristique nécessaire pour mettre en œuvre des pratiques agroécologiques (Estrada-Carmona *et al.*, 2022). Cependant, la surface des haies a largement diminué depuis les années 1950 avec la modernisation de l'agriculture. En France, la perte est estimée à près de 70 % avec un rythme d'érosion d'environ 23 500 km/an sur la période 2017-2021 (d'après un calcul effectué par l'AFAC-Agroforesteries). Par ailleurs, leurs caractéristiques structurelles et fonctionnelles sont encore mal inventoriées ce qui rend difficile de quantifier et de spatialiser sur de larges étendues les services environnementaux qu'elles assurent.

Aujourd'hui, les politiques publiques environnementales européennes et nationales soutiennent la protection et la replantation de haies mais il n'existe pas de solution permettant d'évaluer leur impact. Le premier verrou réside dans la capacité à fournir des données à jour et qui puissent rendre compte des évolutions du bocage sur les territoires. Le deuxième verrou réside dans la capacité à dériver des indicateurs qui rendent compte de la structure et du rôle des haies. Par exemple, l'estimation du potentiel de séquestration du carbone d'une haie dépend de nombreux facteurs comme sa hauteur, sa largeur, sa densité, sa biomasse, son âge, sa composition. Il y a ainsi un besoin d'affiner la cartographie des haies mais aussi, de suivre leur évolution et de qualifier leurs différentes propriétés.

En France, l'institut national de l'information géographique et forestière (IGN) et l'Office Français de la Biodiversité (OFB) ont récemment mis en place le dispositif national de suivi des bocages en créant un nouveau référentiel : la BD Haie (Morin *et al.*, 2019). Cette base de données cartographiques est obtenue en combinant les objets haies de la BDTopo v2 IGN et celles des surfaces non agricoles du Registre Parcellaire Graphique (RPG). Elle vise à lever le premier verrou évoqué en apportant une meilleure connaissance sur le bocage actuel, avant de suivre son évolution.

Malgré tout l'intérêt de ce nouveau dispositif, la représentation cartographique proposée issue de sources hétérogènes et proposant une géométrie linéaire ne répond pas toujours aux besoins des professionnels de l'arbre hors forêt. Par ailleurs, le

nombre d'indicateurs qualifiant les haies est très limité ce qui ne permet pas d'appréhender et de spatialiser la multifonctionnalité des objets (second verrou évoqué).

L'examen de la littérature scientifique fait apparaître l'existence de plusieurs méthodes pour extraire automatiquement les haies à partir d'images (Sheeren *et al.*, 2012 ; Fauvel *et al.* 2014 ; Merciol *et al.*, 2019 ; Lucas *et al.*, 2019). Il montre aussi l'absence d'outils dédiés spécifiquement à leur caractérisation. Différents développements ont vu le jour ces dernières années pour modéliser les réseaux écologiques. C'est le cas notamment de Conefor Sensinode (Saura et Torné, 2009) ou Graphab (Foltête *et al.*, 2021). Néanmoins, ces outils sont surtout spécialisés dans le calcul de métriques de connectivité entre habitats et non dans celui d'indicateurs qualifiant le rôle et la structure des haies. C'est ce qui a motivé le développement de l'outil HedgeTools.

Dans cet article, nous présentons ce nouvel outil en cours de développement, les principes qui ont guidé sa conception, les différentes fonctionnalités actuelles et deux exemples qui illustrent leur mise en œuvre.

2. Les variables attendues pour caractériser les haies

Une haie peut être décrite de multiple façons, à partir d'un grand nombre de variables. Celles-ci renseignent à la fois sur la composition et la structure de l'objet. Elles visent aussi à qualifier la qualité de l'habitat et approcher les rôles fonctionnels de la haie et les services écosystémiques qu'elle fournit. La porosité d'une haie peut ainsi aider à spatialiser son rôle brise-vent qui a un impact sur la production agricole. Sa biomasse aérienne peut permettre d'estimer une partie de la quantité de carbone qu'elle stocke. Son orientation par rapport à la pente dominante, la présence de talus ou fossés à proximité peuvent aider à évaluer son rôle hydrologique (favorisant l'infiltration de l'eau dans les sols) et sa capacité à limiter l'érosion et les pollutions diffuses. Les caractéristiques de la végétation informent sur les ressources florales disponibles pour les pollinisateurs et sur la présence potentielle d'auxiliaires des cultures et donc, sur la régulation possible des bioagresseurs. Par ailleurs, selon sa structure, la haie va jouer le rôle de corridor au sein de la matrice agricole, permettant la circulation d'un habitat à l'autre en fonction de la capacité de dispersion des espèces.

Une première étude bibliographique nous a permis de recenser les principales variables attendues par les différents acteurs qui s'intéressent à cet objet d'étude pour approcher ses caractéristiques structurelles et fonctionnelles (Villierme, 2013). Cette liste de variables a ensuite été revue et enrichie dans le cadre d'un partenariat avec l'AFAC-Agroforesteries, l'IGN, l'Office Français de la Biodiversité, le CNES et TerraNIS (projet SCO EagleHedges). La liste prend en compte une partie des indicateurs proposés dans le plan de gestion durable des haies (PGDH) dont l'objectif est d'harmoniser la description des haies à l'échelle nationale (AFAC 2021).

L'établissement de cette liste de variables (Table 1) a été un préalable au développement de HedgeTools qui vise à fournir des méthodes pour automatiser leur calcul. Néanmoins, l'outil n'a pas la prétention d'être capable de tout calculer. Certains indicateurs sont inaccessibles sans relevés terrain, soit par manque de données spatiales adéquates, soit par manque de méthodes opérationnelles. C'est par exemple le cas du mode d'entretien des haies. C'est aussi le cas de la composition en essences qui pourrait potentiellement être obtenue en utilisant de l'imagerie multispectrale ou hyperspectrale mais la reconnaissance automatique des essences, surtout dans le cas d'objets fins et hétérogènes comme les haies, reste très délicate. Le tableau précise ainsi les variables considérées comme accessibles aujourd'hui ou qui le seront à terme après des développements spécifiques. Certaines variables peuvent être obtenues avec des outils standards disponibles sous SIG (ex. la longueur d'un linéaire). Dans ce cas, HedgeTools a surtout vocation à les rassembler et les centraliser au sein d'une même boîte à outils, sans « réinventer la roue ». D'autres variables sont plus complexes et des méthodes spécifiques ont été mises au point (ou le seront à terme).

TABLE 1. Principales variables d'intérêt pour caractériser les haies (d'après Baudry et Jouin, 2003 ; Villierme, 2013 ; AFAC, 2021 adapté) avec leur niveau d'accessibilité par traitement automatique de données spatiales multi-sources.

Niv. d'analyse	Catégorie	Propriété	Accessibilité
	Typologie	Taillis simple, taillis mixte, futaie régulière, futaie irrégulière, haie en devenir, taillis sous futaie	à l'étude
	Morphologie (2D)	Longueur, largeur du houppier, forme (élongation, complexité), orientation	oui
		Densité, proportion de trouées (ou continuité des houppiers, en %)	oui
		Perméabilité (en%)	à l'étude
	Physionomie (3D)	Volume et biomasse	à l'étude
		Hauteur de la canopée (dominante, moy, var, min, max)	oui
		Présence des étages de végétation (herbacé, 0,3-2m, 2-7m, > 7m)	à l'étude
		Recouvrement par étage (0 à 100%)	à l'étude
		Présence de très gros bois ($\varnothing > 70\text{cm}$)	à l'étude
		Espèce dominante, secondaires, diversité et richesse spécifique, persistance du feuillage, espèces invasives	non
		Age moyen des arbres de futaie, des cépées d'arbres et d'arbustes	non

Objet	Composition	Présence de bois mort sur pied, arbres à cavités, lianes, terrier	<i>non</i>
	Type de sol	Superficiel, moyen, profond	<i>non</i>
	Mode d'entretien et facteurs de dégradation	Traces d'épareuse, lamier, état sanitaire dégradé, espèce invasive, abrouissement ou piétinement par le bétail, brûlage des rémanents, tailles inadéquates, fossé drainant profond, clôture.	<i>non</i>
	Fonction / rôle	Brise-vent, hydrologique, anti-érosif, potentiel d'accueil de la biodiversité	<i>à l'étude</i>
Contexte	Topographique	Pente dominante, position sur versant, orientation p/r à la pente	<i>oui</i>
	Géographique	Fossé et talus adjacent	<i>à l'étude</i>
	Embase	A plat, en creux, sur talus	<i>à l'étude</i>
	Interface	Type d'occupation du sol de part et d'autre de la haie	<i>oui</i>
Réseau	Connectivité	Type de nœud (O, L, T, X, M)	<i>oui</i>
		Indices (β , γ , μ , α)	<i>oui</i>
		Nombre de sous-réseaux, nombre d'arêtes, dimension des sous-réseaux	<i>oui</i>
Paysage	Indices synthétiques	Linéaire de haies, densité, indice de cohérence, indice de linéarité	<i>oui</i>

3. Principes de conception de HedgeTools et modélisation associée

L'analyse des différentes variables a rapidement fait émerger la nécessité d'avoir recours à différentes formes de modélisation de la haie. HedgeTools a ainsi été conçu pour générer des représentations multiples de l'objet à partir d'une couche d'entrée initiale (une carte de haies supposée disponible) en ayant recours à différentes géométries, différents niveaux d'analyse, et à une structure de données adaptée.

3.1. Des définitions multiples

De nombreuses définitions de la haie coexistent. L'acceptation la plus commune est celle d'un alignement d'arbres ou d'arbustes marquant la limite entre deux parcelles ou entre deux propriétés (Larousse, 2013). La définition de l'écologue, du géographe ou de l'agronome est généralement plus complexe, incluant des contraintes sur la physionomie, la composition interne, la gestion ou le contexte paysager. La haie peut ainsi être considérée comme une unité de gestion, au même titre qu'une parcelle agricole (Baudry et Jouin, 2003). Pour une représentation

cartographique, il est également nécessaire de s'accorder sur des dimensions minimales ou maximales à respecter, que ce soit sur la longueur ou la largeur de la haie ou encore, la taille des trouées. L'IGN précise ainsi qu'une haie, dans la BDTopo®, est une « *formation linéaire comportant des arbres, arbustes ou arbrisseaux sur au moins 25 m de long, sans interruption de plus de 20 m, sur une largeur inférieure à 20 m, et sa hauteur potentielle est supérieure à 1,30 m* ». Une seconde définition est adoptée dans la BD Haie, lorsque l'origine des données est celle des surfaces non agricoles du Registre Parcellaire Graphique.

Etant donné la pluralité des définitions, nous avons fait le choix de concevoir un outil qui ne soit pas dépendant d'une définition spécifique. Nous avons également intégré des mécanismes permettant de transformer une représentation vers une autre en tenant compte des spécifications géométriques respectives quand cela s'avérait possible.

3.2. Des géométries multiples

La haie est un objet longiligne et le recours à une modélisation géométrique multiple est nécessaire pour calculer la diversité des variables. La représentation *linéaire* est adaptée au calcul de longueur ou d'orientation mais pas à l'estimation de la largeur. La représentation *surfactive* permet de calculer l'emprise et de caractériser la morphologie ou la physionomie. Les nœuds aux extrémités (représentation *ponctuelle*) sont utiles aux mesures de connectivité dans le graphe. Chaque géométrie (emprise, axe, extrémités) participe ainsi à la modélisation de la haie et l'outil est conçu pour pouvoir générer et naviguer d'une géométrie à l'autre.

3.3. Des points de vue multiples

Le calcul des indicateurs structurels et fonctionnels des haies requiert différents découpages qui sont autant de points de vue sur l'objet (Figure 1). Le point de vue *topologique* (la haie est une arête du graphe planaire) est le point de vue fondamental dans l'outil. À partir de celui-ci, la création d'autres découpages est possible pour tenir compte d'une caractéristique interne à l'objet (ex. l'orientation des tronçons qui composent l'arc topologique ; la strate dominante de végétation) ou externe, en relation avec le voisinage de l'objet (ex. redécoupage en tenant compte des limites du parcellaire agricole d'un côté ou de l'autre de la haie) ou en référence au gestionnaire impliqué. La génération de points de vue est prévue dans HedgeTools à l'aide d'outils spécifiques.

3.4. Différentes échelles d'analyse

Selon les caractéristiques à extraire, différentes échelles d'analyse et différentes données en entrée doivent être considérées. Pour qualifier la structure d'une haie par exemple, l'échelle de l'objet lui-même suffit mais il est nécessaire d'opérer sur le réseau de haies (graphe topologique) correspondant à une autre échelle d'analyse,

pour caractériser le degré de connectivité des objets. De même, le voisinage de la haie est à prendre en compte pour qualifier le contexte topographique ou géographique et le paysage dans lequel elle s'inscrit. Dans ce dernier cas, des données supplémentaires peuvent être mobilisées. Il peut s'agir d'un modèle numérique de terrain, du parcellaire agricole, des réseaux routier et hydrographique ou d'un modèle numérique de hauteur. Des développements sont également en cours pour intégrer le calcul de certaines variables à partir d'un nuage de points LiDAR (utile pour les étages de végétation notamment).

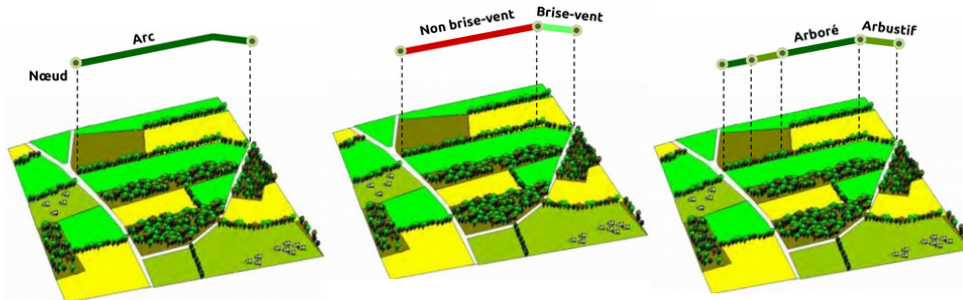


FIGURE 1. Des points de vue multiples sur la haie impliquant différents découpages géométriques.

3.5. Modèle conceptuel de données

Les différents principes évoqués ont permis de proposer une structure de données générique, adaptée aux géométries multiples et à la diversité des points de vue à prendre en compte (Figure 2).

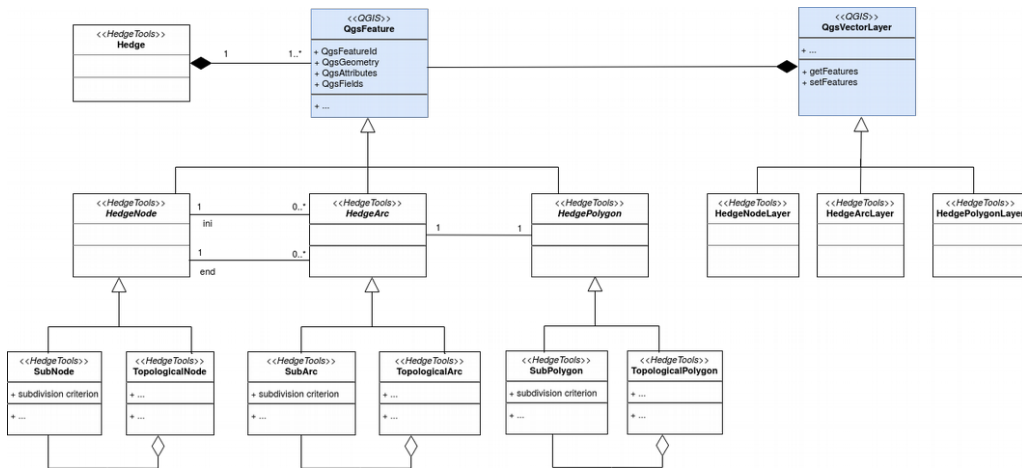


FIGURE 2. Diagramme de classes UML de l'outil HedgeTools. Les attributs et méthodes de classes ne sont pas représentés pour faciliter la lecture.

Les classes de HedgeTools s'appuient sur des classes de l'API QGIS (logiciel cible) et notamment *QgsFeature* et *QgsVectorLayer* qu'elles spécialisent. La haie est ainsi un agrégat des trois géométries via les classes *HedgeNode*, *HedgeArc* et *HedgePolygon* qui sont reliées entre elles selon une structure topologique. Les points de vue sont instanciés à travers les classes *SubArc*, *SubPolygon* et *SubNode* pour lesquelles le critère de découpage est précisé grâce à l'attribut *subdivision criterion*. Ces classes entretiennent une relation de composition avec le point de vue topologique. De cette façon, un tronçon représentant l'axe médian de la haie peut être modélisé par un arc topologique du graphe planaire (objet de la classe *TopologicalArc*) mais aussi être redécoupé en fonction d'un rôle particulier ou d'une physionomie souhaitée via la classe *SubArc* (les objets *subArc* composant alors l'arc topologique). Le même principe s'applique aux emprises de la haie et ses sommets.

4. Implémentation

La version initiale de HedgeTools a été implémentée en langage Python dans le logiciel ArcGIS Desktop (version ArcInfo) en s'appuyant sur la bibliothèque ArcPy (Villierme, 2013 ; Sheeren *et al.*, 2015). Jamais diffusée, cette version était restée à l'état de prototype jusqu'ici. La version actuelle, en cours de développement sous la forme d'un *plug-in*, a été portée sous le logiciel QGIS pour favoriser l'ouverture. Les outils disponibles et opérationnels dans cette version (qui n'est pas encore diffusée) sont organisés en différentes catégories (Figure 3). Celles-ci reflètent la logique d'utilisation de HedgeTools qui passe par l'enchaînement d'une succession d'étapes depuis la mise en structure des données jusqu'au calcul des différentes variables.

- ▼ Hedge tools
 - * Categorize wooded area
 - ▼ 1 - Data preparation
 - * 1 - Create median axis
 - * 2 - Create topological nodes
 - * 3 - Create topological arc
 - * 4 - Create polygons from median axis
 - * 5 - Modify median axis (optional)
 - ▼ Data transformation
 - * Split by distance
 - * Split by interface
 - * Split by network
 - * Split by orientation
- ▼ Geographic context
 - * Relative orientation inside the main slope
 - * Shortest distance to forest
 - * Topographic position
 - ▼ Hedges morphology
 - * Length
 - * Orientation
 - * Shape metrics
 - * Width
 - ▼ Hedges network
 - * Connexion to a forest
 - ▼ Hedges physiognomy
 - * Height metrics from CHM
 - * Strata proportion from CHM

FIGURE 3. Contenu actuel de la boîte à outils HedgeTools en cours de développement sous la forme d'un *plug-in* QGIS.

La première catégorie d'outils concerne la préparation des données. À partir d'une couche de haies surfaciques en représentation vectorielle, les données sont

transformées selon la structure de HedgeTools en créant le point de vue topologique et les géométries multiples. La seconde catégorie permet de générer d'autres points de vue qui sont au nombre de quatre actuellement : un redécoupage selon une distance fixe définie par l'utilisateur, un redécoupage selon les limites des objets adjacents à la haie, un redécoupage selon l'orientation des tronçons, et un redécoupage qui tient compte du réseau de routes avec une agrégation possible d'objets déconnectés en fonction de la distance qui les sépare (i.e. passage à une nouvelle définition de l'objet haie). Pour chaque point de vue, l'ensemble des géométries est mis à jour en redéfinissant les identifiants des objets, tout en conservant la relation avec le point de vue topologique de plus haut niveau (agrégat). Le type de nœud est également évalué (O pour une impasse, L, T ou X pour des relations avec les arcs en 2 à 4-connexité, et M si le degré de connexité dépasse 4).

Les autres catégories d'outils disponibles actuellement permettent de calculer un ensemble d'indicateurs morphologiques à l'échelle de l'objet (longueur, orientation, indices de forme et d'élongation, largeur) ou de préciser la physionomie de chaque haie en s'appuyant sur un modèle numérique de canopée (CHM). Ces variables sont ajoutées après calcul à la table attributaire de la couche de haies utilisée en entrée, correspondant à un point de vue choisi (topologique ou autre). Il est ainsi possible de calculer un même lot de variables pour différents points de vue, en choisissant à chaque fois une couche d'entrée correspondante. Les autres outils permettent de caractériser le contexte de l'objet : position topographique en 10 classes selon les catégories de géomorphons (Jasiewicz et Stepinski, 2013), orientation par rapport à la pente dominante, distance à la forêt la plus proche. Des indices de connectivité dans le graphe sont également en cours d'implémentation.

HedgeTools est avant tout dédié à la caractérisation des haies et non à leur extraction automatique à partir d'images. Toutefois, un outil d'extraction est également proposé. Il s'appuie en entrée sur deux sources disponibles à l'échelle nationale : la BDOOrtho IRC de l'IGN et un Modèle Numérique de Surface (photogrammétrique ou LiDAR). L'extraction, fondée sur un seuillage empirique, permet de dériver une couverture détaillée des éléments arborés (forêts et arbres hors forêts) sans faire appel à des techniques avancées de traitement d'images ou d'apprentissage machine. La couverture arborée est ensuite retraitée par analyse morphologique de façon à identifier et séparer les objets forêts et les objets haies constituant des agrégats en sortie d'extraction (outil *Categorize wooded area* proposé en amont de la préparation des données, Figure 3).

5. Premiers cas d'utilisation

Afin d'illustrer l'usage de l'application et les résultats de quelques méthodes développées, nous détaillons ci-dessous deux cas d'utilisation. Le premier concerne la préparation des données selon la structure de HedgeTools, depuis une couche d'éléments arborés (tous types confondus) jusqu'à la création du point de vue

topologique. Le second cas d'usage illustre le calcul de variables morphologiques et physionomiques.

5.1. Cas 1 : préparation des données avec mise en géométrie et topologie

La couche d'entrée fournie par l'utilisateur est ici supposée correspondre à la couverture arborée de la zone d'intérêt, sans distinction des forêts et des arbres hors forêts (Figure 4a). Après application de l'outil *Categorize wooded area* qui s'inspire de l'approche proposée par (Touya *et al.*, 2010), les haies sont séparées des autres éléments (Figure 4b). La couche de haies est ensuite utilisée pour en extraire l'axe médian (outil *Create median axis*). Cette étape s'est avérée plus complexe que prévue dans son développement. La difficulté réside dans le post-traitement, selon l'approche adoptée, pour obtenir un nettoyage adapté des *arcs pendants* après squelettisation mais aussi, pour conserver la connectivité avec les extrémités de l'objet initial (emprise) selon l'orientation principale, et pour simplifier la géométrie linéaire qui en découle. Deux méthodes au choix sont proposées dans l'outil : l'une en vecteur et l'autre en raster. En vecteur, un lissage des emprises par dilatation-érosion est d'abord opéré pour simplifier les contours. Une squelettisation est ensuite appliquée via la méthode de Voronoï, en s'appuyant sur les points du contour (fonction *v.voronoi* du module GRASS de QGIS d'après Fortune, 1987). Cette étape est problématique actuellement car la fonction utilisée présente des instabilités numériques qui génèrent des artefacts. Une réécriture de l'algorithme est en cours. En raster, l'axe médian est obtenu par un amincissement itératif des surfaces initiales (fonction *r.thin* du module GRASS de QGIS d'après Jang et Chin, 1990). La méthode produit un raster avec les axes médian d'une épaisseur correspondant à un pixel, accompagnés d'arcs pendants. Cette sortie est ensuite vectorisée. Un post-traitement est alors opéré pour corriger les artefacts et supprimer les arcs pendants.

À ce stade, un squelette de la couche arborée initiale est disponible. La seconde étape consiste à extraire les nœuds aux extrémités des haies après avoir fusionné au préalable les tronçons d'axes médian qui partagent une relation d'adjacence (outil *Create topological nodes*). On dispose ainsi des axes et de leurs extrémités sans relation explicite entre eux (Figure 4c). Ensuite, la structure topologique de graphe planaire est produite de façon à associer les nœuds à leurs arcs respectifs (outil *Create topological arcs*). Cela permet d'obtenir les relations de connectivité et de qualifier chaque nœud selon la nature de la jonction (i.e. nœuds O,L,T,X,M selon le nombre d'arcs connectés).

Il reste à assurer une cohérence entre les représentations linéaire et surfacique. Pour la représentation linéaire, chaque haie est bien individualisée selon le point de vue topologique. Ce n'est pas le cas des emprises fournies par la couche de départ (représentation surfacique) dans laquelle les haies forment des agrégats. Ces emprises sont ainsi redécoupées, par calcul des bissectrices entre axes médian, pour en générer de nouvelles (outil *Create polygons from median axis*). Chaque objet surfacique est alors associé à son homologue linéaire avec transfert des identifiants (Figure 4d).

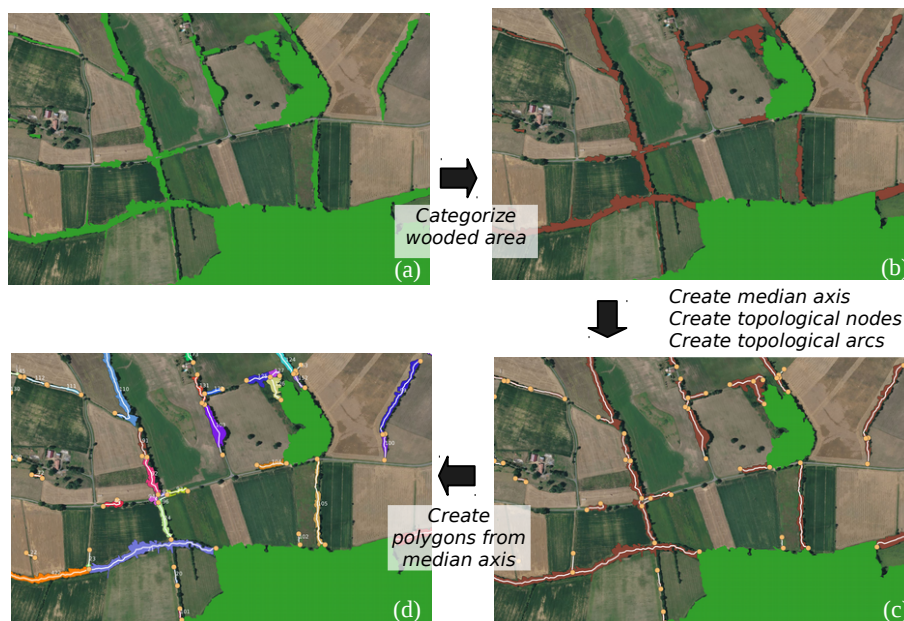


FIGURE 4. Outils de préparation des données de HedgeTools permettant, à partir d'une couche d'éléments arborés (a), d'en extraire les haies (b), d'en dériver les axes médian et le graphe topologique (c) et de redécouper les emprises (d).

5.2. Cas 2 : calcul des caractéristiques morphologiques et physiologiques

Ce n'est qu'à l'issue des différentes étapes de préparation des données que les indicateurs morphologiques et physiologiques peuvent être calculés et enregistrés dans la table attributaire des objets.

Pour la morphologie, l'outil permet actuellement de calculer la longueur, l'orientation, l'élongation, la compacité, la convexité et la largeur des objets haie. La largeur est estimée de deux façons différentes : (1) en créant d'abord des transects perpendiculaires à l'axe median espacés d'une certaine distance puis, en calculant la moyenne ou médiane de leur longueur ou (2), de façon plus approximative, en calculant le rapport entre l'aire du rectangle englobant et la longueur de l'arc median. Pour la physiologie, des statistiques descriptives sur la hauteur des objets sont calculées, en utilisant un CHM raster. La proportion des étages de végétation est obtenue par discrétisation du CHM (Figure 5). Il s'agit ici uniquement des étages vus du dessus mais à terme, les outils seront enrichis d'indicateurs issus du nuage de points 3D LiDAR.

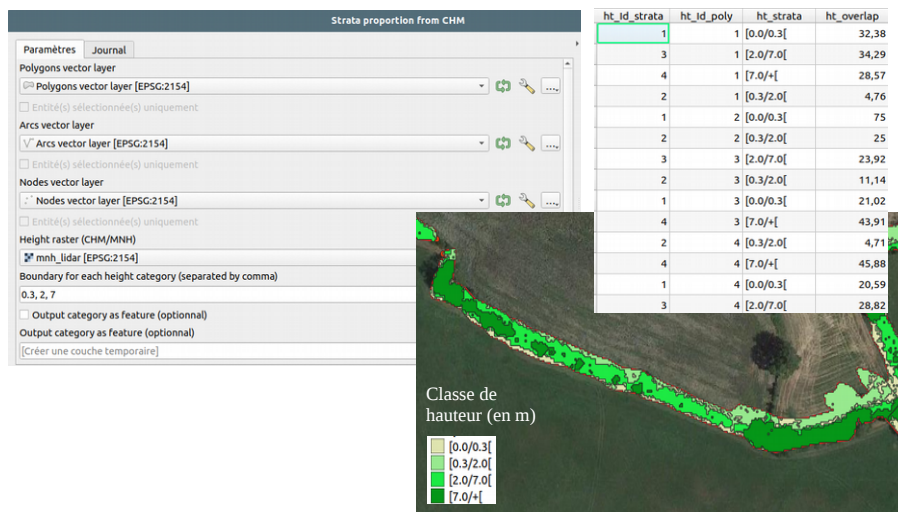


FIGURE 5. Proportion des strates de végétation pour une haie obtenue par discrétisation d'un modèle numérique de canopée (CHM).

6. Conclusion et perspectives

La boîte à outils HedgeTools vise à combler un manque d'outils opérationnels pour caractériser les haies champêtres et évaluer leur multifonctionnalité dans les paysages agricoles. Elle repose sur une structure de données adaptée à la représentation multiple (géométrie et point de vue) nécessaire au calcul de caractéristiques à différentes échelles d'analyse. Ces caractéristiques alimentent la démarche de diagnostic systémique du bocage en dépassant le seul inventaire cartographique. C'est un préalable à la définition d'un plan d'actions pour la gestion des haies.

L'outil sera documenté avant sa diffusion prévue en fin d'année 2023. Des tests de performance sur des jeux de données de taille importante (à l'échelle d'un département par exemple) seront à entreprendre pour s'assurer de la stabilité des calculs et de l'opérationnalité des outils.

Les perspectives d'enrichissement de HedgeTools sont nombreuses. Les développements actuels portent sur l'amélioration de l'extraction de l'axe médian, le calcul d'indices de connectivité dans le graphe, l'évaluation des rôles hydrologiques et brise-vent des haies, et le calcul de variables qualifiant la structure verticale des objets. Le rôle brise-vent implique une évaluation de la porosité que nous devrions pouvoir approcher avec des données LiDAR. L'identification automatique du type de haie selon leur physionomie est également recherchée. Par la suite, l'accent sera mis sur l'évaluation d'indicateurs favorables à la biodiversité.

Bibliographie

- AFAC-Agroforesteries (2021). Guide de réalisation du Plan de Gestion Durable des Haies, version sept. 2021, 66 p.
- Axe M.S., Grange I.D. et Conway J.S. (2017). Carbon storage in hedge biomass—A case study of actively managed hedges in England, *Agriculture, Ecosystems and Environment* vol. 250, p. 81–88.
- Baudry J. et Jouin A., (2003). *De la haie aux bocages : organisation, dynamique, gestion*. INRA éditions.
- Estrada-Carmona N., Sanchez A., Remans R., Jones S. (2022). Complex agricultural landscapes host more biodiversity than simple ones : a global meta-analysis, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119 (38) e2203385119.
- Fauvel M., Planque C., Sheeren D., Dalla Mura, M (2014). Télédétection des éléments semi-naturels : utilisation des données Pléiades pour la détection des haies. *Revue Française de Photogrammétrie et Télédétection*, vol. 208, p. 111-116.
- Foltête J.-C., Vuidel G., Savary P., Clauzel C., Sahraoui Y., Girardet X. et Bourgeois M. (2021). Graphab: an application for modeling and managing ecological habitat networks. *Software Impacts*, vol. 8: 100065.
- Fortune S.J. (1987). A Sweepline Algorithm for Voronoi Diagrams. *Algorithmica*, vol. 2, p. 153-174.
- Jang B.-K. et Chin R.T (1990). Analysis of thinning algorithms using mathematical morphology. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 12, n°6, p. 541-551.
- Jasiewicz J. et Stepinski T. (2013). Geomorphons - a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms, *Geomorphology*, vol. 182, p. 147-156.
- Lucas C., Bouten W., Koma Z., Kissling W.D., Seijmonsbergen A.C. (2019). Identification of Linear Vegetation Elements in a Rural Landscape Using LiDAR Point Clouds. *Remote Sens.*, vol. 11, n°292.
- Merciol F., Fauqueur L., Damodaran B.B., Rémy P.-Y., Desclée B., Dazin F., Lefèvre S., Masse A., Sannier C. (2019). GEOBIA at the Terapixel Scale: Toward Efficient Mapping of Small Woody Features from Heterogeneous VHR Scenes. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 8, 46.
- Morin S., Commagnac L., Benest F. (2019). Caractériser et suivre qualitativement et quantitativement les haies et le bocage en France, *Sciences Eaux & Territoires*, vol. 4, n°30, p. 16-21.
- Saura S. et Torné J. (2009). Conefor sensinode 2.2 : A software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity. *Environmental Modelling & Software*, vol. 24, n°1, p. 135–139.
- Sheeren D., Masse A., Ducrot D., Fauvel M., Collart F., May S.(2012). La télédétection pour la cartographie de la trame verte en milieu agricole. Evaluation des potentialités d'images multi-angulaires à très haute résolution spatiale. *Revue Internationale de Géomatique*, vol. 22, n°4, p. 539-563.
- Sheeren D., Roué A., Villierme L., et Monteil C. (2015). HedgeTools pour ArcGIS : un outil dédié à la modélisation et la caractérisation des haies dans le paysage. *Conférence francophone ESRI (SIG'2015)*, Versailles, France.
- Touya G., Duchêne C., et Mustière S. (2010). Généralisation et intégration pour un fond vert commun entre l'IFN et l'IGN. *Revue Internationale de Géomatique*, vol. 20, n°1, p. 65-86.
- Villierme L. (2013). *Caractérisation automatique du réseau linéaire de haies dans un paysage agri-forestier*. Stage de fin d'études du Master 2 SIGMA, Toulouse INP / Université Toulouse-Jean Jaurès.

Weninger T., Scheper S., Lackóová L., Kitzler B., Gartner K., King N., Cornelis W., Strauss P., et Michel K. (2021). Ecosystem services of tree windbreaks in rural landscapes—a systematic review. *Environmental Research Letters*, 16, 103002.