



innovations agronomiques

n°107 / Novembre 2025

**Développement
Agricole**

Rural

Innovation

Partenariat

**Recherche
Technologique**

Ce numéro traite de résultats de projets lauréats en 2019 de l'appel à projet CASDAR (Compte d'Affectation Spéciale Développement Agricole et Rural), «Innovation et Partenariat» et «Recherche Technologique». Ces projets sont financés par le ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire.

31 projets qui traitent de systèmes agricoles plus durables, de bien-être animal : repenser les pratiques pour des élevages plus respectueux, de sécurité sanitaire : nouvelles méthodes pour maîtriser les risques, de méthodes d'évaluation pour des sélections animales et végétales efficaces, d'améliorer les qualités organoleptiques des produits et de nouveaux modes de travail en agriculture.



/// Crédits photos : Bertrand NICOLAS / INRAE • Jean-Michel HILLAIREAU / INRAE • Baptiste HAMOUSIN / INRAE • Tymur KHAKIMOV / Pexel • Schwoaze / PIXABAY



Innovations Agronomiques

Volume 107 - Novembre 2025

CASDAR 2019

Ce numéro traite de résultats de projets lauréats en 2019 de l'appel à projet CASDAR (Compte d'Affectation Spéciale Développement Agricole et Rural), « Innovation et Partenariat » et « Recherche Technologique ». Ces projets sont financés par le ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire.

Directeur de la publication : Philippe Mauguin, Président directeur Général INRAE

Rédaction en chef : Christian Huyghe, Chargé de mission à la Direction Scientifique Agriculture INRAE, et Isabelle Litrico, Directrice Scientifique Agriculture INRAE

Coordination éditoriale : Aurélie Gauguery, Responsable des Carrefours de l'Innovation INRAE

Comité scientifique : Claire Rogel-Gaillard, Sophie Thoyer et Christian Lannou, Directrices et directeur scientifiques Agriculture adjoints ; Sophie Nicklaus, Directrice scientifique Alimentation et bioéconomie adjointe ; Alban Thomas et Pierre Renault, Directeurs scientifiques Environnement adjoints, INRAE ; Nathalie Munier-Jolain, Directrice générale déléguée à la science et à l'innovation adjointe, INRAE ; Isabelle Pion, Chargée de mission agroécologie et transition des systèmes agricoles, Direction de l'Appui aux Politiques Publiques, INRAE ; Marianne Sellam, Directrice scientifique et technique, ACTA, Luc Mounier, Enseignant-chercheur, VetAgro Sup ; Nicolas Brault, Directeur adjoint de l'unité de recherche Interact, Institut Polytechnique UniLaSalle ; Alessia Lefébure, Directrice, Sciences Po Aix.

Coordination scientifique du numéro : Christian Huyghe et Véronique Saint-Gès

Initiée en 2007, la revue de transfert *Innovations agronomiques* a pour ambition de diffuser les savoirs et de favoriser les échanges entre les acteurs de la recherche et les professionnels de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement, et de faciliter leur appropriation par les acteurs de la chaîne de valeur agri-alimentaire (professionnels du secteur, chercheurs, conseillers, R&D, agriculteurs, enseignants et apprenants, décideurs publics, société civile, etc.). Elle complète la démarche générale de transfert des Carrefours de l'Innovation INRAE (<https://ciag.hub.inrae.fr/>) qui réunissent ces acteurs impliqués dans les travaux au cœur des défis mondiaux et sociétaux de notre siècle : production et performance économique, santé, changement climatique, raréfaction des ressources non renouvelables, préservation de la biodiversité, des ressources naturelles et de l'environnement, qualité de vie et des emplois...

La revue est une propriété d'INRAE, intégralement financée sur des fonds publics.

Revue en accès libre diamant, publiée par INRAE. Les articles sont relus et validés par des experts scientifiques et opérationnels.

Site de la revue : <https://ciag.hub.inrae.fr/revue-innovations-agronomiques>

Contact : innovations-agronomiques@inrae.fr

Adresse : Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement – 147 rue de l'Université – 75338 Paris Cedex 07

ISSN : 1958-5853 (édition électronique)

ISBN (PDF) : 978-2-7380-1487-0

ISBN (ePub) : 978-2-7380-1488-7



DOI : <https://doi.org/10.17180/innovagro-2025-vol107>

Pour citer ce numéro : Collectif. Innovations Agronomiques. CASDAR 2019, 2025, 107.
<https://doi.org/10.17180/innovagro-2025-vol107>

Photo de couverture : Bertrand NICOLAS / INRAE ; Jean-Michel HILLAIREAU / INRAE ; Baptiste HAMOUSIN / INRAE ; Tymur KHAKIMOV / Pexel ; Schwoaze / PIXABAY

Licence : CC BY 4.0



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue *Innovations agronomiques* et son DOI, la date de publication.



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

INRAE

Sommaire

Vers des systèmes agricoles plus durables

Sylvain BETOLAUD, Frédéric COULON, Lucas LESANT, Catherine MORET, Laurent NEVOUX, Baptiste SANSON et Valérie VIAUD, 2025 - **RESP'HAIES - Méthodologies innovantes d'évaluation de la biomasse et des stocks de carbone des haies françaises.**
 Innovations Agronomiques 107, 1-12

<https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art01>

Christophe DAVID, Benoit MELEARD, Sonia GEOFFROY et Laurent CHIPPAUX, 2025 - **CERPET : Des valeurs nutritionnelles et technologiques d'intérêt pour une valorisation du Kernza (Thinopyrum intermedium) en alimentation humaine.**
 Innovations Agronomiques 107, 13-28

<https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art02>

Jean-Charles DESWARTE, Alexandra DUTAY, Antoine MAINEMARE et Fanny RINGUET et , 2025 - **Evaluation de la croissance et du développement de l'agropyre intermédiaire en conditions françaises – une production en retrait par rapport aux espèces de référence.**
 Innovations Agronomiques 107, 29-40

<https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art03>

David LAFOND, Pascale GUILLERMIN, Raphaël METRAL, Pascal NEVEU, Sylvaine SIMON et François WARLOP, 2025 - **AgroÉcoPérennes : Vers des systèmes de culture pérennes agroécologiques.**
 Innovations Agronomiques 107, 41-54

<https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art04>

Pierre MISCHLER, Jean Louis ROUJEAN, Alizée CHOUTEAU et Eric CESCHIA, 2025 - **Albéo-Prairies : exploiter l'effet refroidissant de l'albédo des prairies comme levier d'atténuation du**



changement climatique, un atout majeur pour la durabilité de l'élevage de ruminants.
 Innovations Agronomiques 107, 55-67
<https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art05>

Sophie SADET-BOURGETEAU, Daniela MORA-SALGUERO, Camille CHAUVIN, Pierre BARRE, Daniel CLUZEAU, Pascal PIVETEAU, Cécile VILLENAVE, Anne HERMANT, Aurélie SCHERER, Virginie RIOU, Mariana MOREIRA, Kevin HOEFFNER, Adeline HAUMONT, Gregory VRIGNAUDO, Vincent JEAN-BAPTISTE, Thierry MORVAN, Manon GILLES, Arthur BAILLY, Margaret JOHNSON, Véronique STANGRET, Aurélie LEVET, Aurélie REIBEL, Samuel DEQUIEDT, Pierre-Alain MARON, Julie TRIPIED, Lionel RANJARD, Pierre MULLIEZ et Mario CANNAVACCIUOLO, 2025 - Metha-BioSol : Impact des digestats de méthanisation sur la qualité biologique des sols agricoles.
 Innovations Agronomiques 107, 68-82
<https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art06>

Bien-être animal : repenser les pratiques pour des élevages plus respectueux

Didier BASTIEN, Philippe BRIAND, Virginie LEFOUL, Manuel TOURTIER et Mathilde VAILLANT avec la collaboration de : Magdélène CHANTEPERDRIX, Léa DROSNE, Etienne LABUSSIÈRE, Yannick LE-COLZER, Lucile MONTAGNE, Marie-Anne LEFEBVRE, Christophe MARTINEAU, Jocelyn PRIGENT, Lola REVERCHON-BILLOT et Jean-Baptiste VANHAM, 2025 - Renouveau – Réinventer les modèles de production de veaux de boucherie alliant enjeux sociétaux, qualité des produits et viabilité économique.

Innovations Agronomiques 107, 83-94
<https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art07>

Sarah LOMBARD, Armelle PRUNIER, Rodolphe VIDAL, Florent MASSOULIER, Bénédicte LEBRET, Chloé VAN BAELEN, Alexandre POISSONNET, Florence MAUPERTUIS, Alexandre TORTEREAU, Samuel FROIS et Antoine ROINSARD, 2025 - Farinelli : Elevage de porcs mâles non castrés et valorisation des carcasses en agriculture biologique.
 Innovations Agronomiques 107, 95-112
<https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art08>

Agathe CHEYPE, Béatrice MOUNAIX, Jérôme MANCEAU, Vincent GAUTHIER, Quentin DELAHAYE, Claire DUGUE, Laure-Anne MERLE et Xavier BOIVIN, 2025 - BeBoP : Evaluer le bien-être des taurillons : des indicateurs revus pour gagner en faisabilité sans perdre en fiabilité.
 Innovations Agronomiques 107, 113-122
<https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art09>

Laurine MESSAGER, Aude KLEIBER, Violaine COLSON, Ségolène CALVEZ, Vanessa GUESDON, Mohamed MOUSTAPHA et Aurélien TOCQUEVILLE, 2025 - AQUA BIEN-ÊTRE : Amélioration du bien-être des truites d'élevage : besoins, indicateurs spécifiques et effets des enrichissements.
 Innovations Agronomiques 107, 123-137
<https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art10>

Protection des cultures : innovation et stratégies pour des récoltes saines et productives

Benjamin GARD, Amélie BARDEL, Laurent CAMOIN, Nicolas DESNEUX, Hervé FLOURY, Valérie Fontaine, Jérôme LAMBION, Anthony GINEZ, Caroline Baconnier, Olivier ROUDIL, Roselyne SOURIAU et Solène TREHIOU, 2025 - ACOR : Améliorer l'installation des punaises prédatrices dans la culture grâce aux plantes relais – exemple en tomate hors sol.
 Innovations Agronomiques 107, 138-149
<https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art11>

Ange LHOSTE-DROUINEAU, Marie-Anne JOUSSEMET, Marine LITZLER, Benjamin GARD, Jérôme LAMBION et Nicolas DESNEUX, 2025 - Conserver les auxiliaires de culture avec le gîte et le



couvert.

Innovations Agronomiques 107, 150-162
<https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art12>

Sébastien PICAULT, Anne-Marie CORTESERO, Hélène GAUTIER, Laurent GOMEZ, Juliette PELLAT et Christèle ASSEGOND, 2025 - **Repulse : Mise au point et évaluation de stratégies de protection des cultures légumières contre les ravageurs basées sur l'utilisation de plantes répulsives.**

Innovations Agronomiques 107, 163-176
<https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art13>

Anne MOUSSART, Coralie BRIER, Sophie PERROT, Isabelle SERANDAT, Claude-Emmanuel KOUTOUAN, Quentin LAMBERT et Agathe PENANT, 2025 - **Ascolup : Ascochyte du pois chiche, de nouveaux outils pour la gestion du risque.**

Innovations Agronomiques 107, 177-188
<https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art14>

Cécile LE GALL, Françoise LE CAHEREC, Mohammed BENBRAHIM, Laurent KREMMER, Marie Françoise NIOGRET, Cécile BARON, Vanessa CLOUET, Philippe ETIENNE, Jean-Christophe AVICE et Jacques TROUVERIE, 2025 - **Biostim Colza : Mettre au point une méthode d'évaluation de la réponse du colza aux biostimulants en conditions de stress, du labo au champ.**

Innovations Agronomiques 107, 189-214
<https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art15>

François JOUDELAT, François BRUN, David ROUSSEAU et Fabienne MAUPAS, 2025 - **CERCOCAP - pilotage de la CERcosporiose de la betterave par COuplage entre modèle agroclimatique et CApteurs connectés.**

Innovations Agronomiques 107, 215-226
<https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art16>

Bruno PARIS, Léo KERAUDREN, Roxane CALVAIRE, Emilie MAUGIN, Jacques FILLATRE, Isabelle CABEU, Sophie DESCAMPS, Laurent CAMBOURNAC, Stephen AMBROGIO et Fabien ROBERT, 2025 - **SAMOSA : Des capteurs climatiques et des outils numériques pour piloter des systèmes horticoles bas intrants phytosanitaires.**

Innovations Agronomiques 107, 227-241
<https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art17>

Sécurité sanitaire : nouvelles méthodes pour maîtriser les risques

Jean-Michel SAVOIE, Rodolphe VIDAL, Camille VINDRAS, Marie-Hélène ROBIN, Gwenaëlle JARD et Delphine SICARD, 2025 - **Myco3C : Identifier et limiter les risques de mycotoxines dans les céréales produites, stockées et transformées en circuit court.**

Innovations Agronomiques 107, 242-257
<https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art18>

Stéphanie LA CARBONA, Maëlle ROBIN, Julie CHALLANT, Marion BICHET, Maxime LE BLOND, Sébastien MASSIER, Marion GARDETTE, Christophe GANTZER, Isabelle BERTRAND et Nicolas BOUDAUD, 2025 - **NOROSTAN : potentiel d'indicateurs viraux pour estimer le caractère infectieux des norovirus humains dans les salades 1ère et 4ème gammes.**

Innovations Agronomiques 107, 258-270
<https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art19>

Alice ROUSSEAU, Gaëlle COQUEREAU, Marine MINIER, Alice HUBERT, Cécile LAITHIER, Jean-Louis POULET, Renée DE CREMOUX, Claire BOYER, Christophe HUAU, Laurent DELATTRE, Pierre MARTIN, Apolline BAILLYS SALINS et Pierre-Guy MARNET, 2025 - **CapriMam3D : les technologies 3D au service de la traite caprine de demain.**



Innovations Agronomiques 107, 271-287
<https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art20>

Méthodes d'évaluation pour des sélections animales et végétales efficaces

Amandine LAUNAY, Philippe BOULESTEIX, Marine BARBAT, Emeric DUGAS, Romain FOUGEROLLAS, Lola CROUE et Caroline MOULIN, 2025 - **UniGéno : vers une évaluation génomique unifiée et en une seule étape.**
Innovations Agronomiques 107, 288-300
<https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art21>

Juliette MAGADRAY, Romain SAINTILAN et Pauline BRENAUT, 2025 - **Pic'Let : Développement d'un outil de phénotypage du niveau de maturité du porcelet par intelligence artificielle.**
Innovations Agronomiques 107, 301-315
<https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art22>

Sandrine SCHWOB, Mathieu MONZIOLS, Delphine LOISEAU, Claire HASSENFRAITZ et Maxime BANVILLE avec la collaboration de : Guillaume LENOIR, Bruno LIGONESCHE, Florence YTOURNEL et l'équipe de l'INRAE de l'UE3P du Rheu, 2025 - **EFFISCAN : Nouveaux critères d'efficacité alimentaire et de composition corporelle par scanner dédiés à la sélection porcine.**
Innovations Agronomiques 107, 316-327
<https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art23>

Marie-Agnès DUCASSE, Amélie ROY, Denis CABOULET, François DAVAUX, Jean-Michel DESSEIGNE, Philippe COTTEREAU, Yannick SIRE, Magali BES, Evelyne AGUERA, Jean-Marie SABLAYROLLES, Jean-Roch MOURET et Marc PEREZ, 2025 - **Vinimag : système automatisé de microvinification (<1 kg) dédié aux vins rouges pour l'expérimentation viti-vinicole.**
Innovations Agronomiques 107, 328-341
<https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art24>

Améliorer les qualités organoleptiques des produits

Christophe MONNET, Eric DUGAT-BONY, Céline DELBÈS, Cresciense LECAUDÉ, Yvette BOUTON, Elisa MICHEL, Isabelle VERDIER-METZ, Sarah CHUZEVILLE, Cécile CHARLES, Ronan LASBLEIZ et Blandine POLTURAT, 2025 - **ADAMOS - Un nouveau regard sur les écosystèmes microbiens laitiers et fromagers apporté par les méthodes omiques.**
Innovations Agronomiques 107, 342-356
<https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art25>

Pascal POUPARD, Frédéric CHARRIER, Philippe COTTEREAU, Stéphane DELPECH, Elise SALANOUVE, Laurent DAGAN, Erick CASALTA, Jean-Roch MOURET et Rémi BAUDUIN, 2025 - **DiVin Cidre : Développement d'itinéraires techniques pour optimiser le caractère fruité des vins et des cidres.**
Innovations Agronomiques 107, 357-369
<https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art26>

Valérie MÉRENDET, Onrawee LAGUERRE, Sophie ANNIBAL, Evelyne DERENS, Jean MOURET, Denis FLICK, Steven DURET, Elsa DESNOUES, Valentine COTTET et Christophe AUBERT, 2025 - **FreshQualiTom : étude de l'impact du froid sur les qualités de la tomate, au cours du circuit logistique.**
Innovations Agronomiques 107, 370-386
<https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art27>

Nouveaux modes de travail en agriculture

Blandine PASSEMARD-KALKBRENNER, Hélène BRIVES et Mathilde GRAU, 2025 - **Co-Agil : Accompagner les animateurs de collectifs agricoles dans la durée.**



Innovations Agronomiques 107, 387-397
<https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art28>

Christine GUINAMARD, Jocelyn FAGON, Marie-ODILE NOZIERES-PETIT, Claire LESUR-DUMOULIN, Françoise MORIZOT-BRAUD et Laurence ROUHER, 2025 - Travail en circuits courts, à la recherche d'équilibres.

Innovations Agronomiques 107, 398-420
<https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art29>

Pascale METAIS, Nicolas ROGIER, Marine LACOSTE, Pierre DUL, Thomas LEBORGNE, Rémy DUVAL, Annie DUPARQUE, Damian MARTIN, Philippe BILLA, Mathieu LAMANDE et Carolina UGARTE, 2025 - J-DISTAS : construction d'un outil de calcul des jours disponibles pour les grandes cultures.

Innovations Agronomiques 107, 421-440
<https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art30>

Anne-Laure LAROCHE, Allan MAIGNANT, Ronan SYMONEAUX, Gaëlle PANTIN-SOHER, Caroline WIDEHEM et Imène BELBOULA, 2025 - DEXINNOV : une analyse de l'innovation produit en horticulture de l'amont de la filière à l'aval, jusqu'à sa perception par le consommateur.

Innovations Agronomiques 107, 441-453
<https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art31>



RESP'HAIES - Méthodologies innovantes d'évaluation de la biomasse et des stocks de carbone des haies françaises

Sylvain BETOLAUD¹, Frédéric COULON², Lucas LESAIN³, Catherine MORET⁴,
Laurent NEVOUX¹, Baptiste SANSON⁴, Valérie VIAUD³

¹ SCIC Bois Bocage Énergie, 6, place de Verdun, 61800 Chanu, France

² Solagro, 75 Voie du TOEC, CS 27608, 31000 Toulouse, France

³ INRAE UMR SAS, Centre Bretagne-Normandie, 4 allée Adolphe Bobierre, CS 61103, 35011 Rennes Cedex, France

⁴ Réseau Haies France, 38 rue Saint-Sabin, 75011 Paris, France

Correspondance : catherine.moret@reseauhaies.fr

DOI : <https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art01>

Résumé

Le projet Resp'haies visait à renforcer les connaissances sur les haies pour guider l'action publique et produire de nouveaux référentiels et outils à l'intention des agriculteurs, des conseillers, des gestionnaires et des enseignants-formateurs. Le présent article valorise les travaux relatifs à l'élaboration de méthodes simplifiées pour mesurer la production de biomasse et le stockage de carbone des haies en vue d'établir des références pour la France entière. À partir d'un échantillon de 98 haies mesurées dans quatre régions différentes (Normandie, Hauts-de-France, Pays de Loire et Bourgogne-Franche-Comté), les auteurs ont modélisé des méthodes simplifiées de cubage des haies de taillis, d'arbustes, d'arbres et de têtards ainsi que de mesure de stockage du carbone dans les sols des haies. Ils ont également produit des données de références dans les territoires étudiés sur la productivité des haies (volume et accroissement, tonnage et compartiment de stockage de carbone).

Mots-clés : haies, biomasse, carbone dans les sols, cubage, bois-énergie, agroforesterie

Abstract: RESP'HAIES - Measuring biomass and carbon stocks of French hedges : innovative methodologies

The Resp'haies project aimed at enhancing knowledge about hedgerows to guide public initiatives and developing news references and tools for farmers, advisors, managers, and teacher trainers. This current article highlights the work on developing simplified methods to measure biomass production and carbon storage in hedgerows, to establish national benchmarks across France. Based on a sample of 98 hedgerows measured in four different regions (Normandie, Hauts-de-France, Pays de Loire et Bourgogne-Franche-Comté), the authors modelled simplified methods for assessing the volume of coppices, shrubs, trees, and pollards, as well as for measuring carbon storage in hedgerow soils. They also provided reference data on hedgerow productivity (volume and growth rates, tonnage, and carbon storage compartments) for the studied regions.

Keywords: hedgerows, biomass, soil carbon, volume estimation, wood energy, agroforestry

1. Introduction

Le Pacte en faveur de la haie engagé par l'Etat en septembre 2023 vise à enrayer la destruction et la dégradation des haies observées depuis une cinquantaine d'années, estimée à 23 500 km/an entre la période 2017 et 2021 (Piveteau *et al*, 2023). Parmi les principaux leviers identifiés pour parvenir à



préserver et développer les haies figure notamment la valorisation durable des produits et services issus des haies. Celle-ci peut s'appuyer sur l'intérêt croissant pour la biomasse issue des haies sous forme de bois déchiqueté (bois plaquette) destiné à approvisionner des chaudières collectives de capacité importante. L'émergence et le développement de la filière bois énergie d'origine bocagère présente cependant un risque d'exercer une pression accrue sur la ressource bocagère (Douet et Lemarchand, 2016) en cas de sur-prélèvement. Les données disponibles actuellement, provenant d'étude réalisées par l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) sur l'évaluation de la biomasse en Bretagne et en Normandie s'appuient sur des enquêtes auprès des opérateurs des haies ainsi que d'une étude de Bouvier (2008). Les retours d'enquête réalisées ont cependant été peu nombreux et les résultats ont été jugés peu exploitables. Aujourd'hui, il est donc difficile pour les acteurs locaux de donner des valeurs chiffrées des volumes récoltés et des fréquences de coupe dans les haies de leurs territoires. Pour évaluer de manière plus robuste la biomasse bocagère et les prélèvements possibles, il est nécessaire de disposer d'une base de données de mesures de terrain, s'appuyant sur un cubage (évaluation du volume) des haies obtenu par une méthodologie maîtrisée qui puisse être utilisable à grande échelle, en association avec un dispositif exhaustif de description du linéaire bocager.

Les haies ont également un potentiel de stockage de carbone intéressant, notamment dans le cadre de l'objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050, porté par la Stratégie Nationale Bas Carbone (Pellerin et al., 2020). Une méthode Haies¹ du Label Bas Carbone a été approuvée en 2021. Promue par la Chambre d'Agriculture des Pays de la Loire, cette méthode Haies s'appuie sur les résultats du projet Carbocage (Colombie et al., 2020) des bocages de l'Ouest et sur l'état de connaissances bibliographiques. Cependant, sa construction butte sur le manque de références disponibles sur le stock de carbone des haies dans les différents compartiments, suivant les types de haies et les situations pédoclimatiques en France. Pour remédier à ce manque de connaissance, de nombreux abattements sont réalisés afin de prendre en compte les incertitudes sur le stockage additionnel de carbone des projets de haies accompagnés dans le cadre de cette méthode. Il est donc nécessaire de poursuivre les suivis pour préciser les données de références nécessaires aux modèles.

Pour répondre à ces enjeux, les travaux du rapport n°3 du projet de recherche et développement Resp'haies², « Resilience et Performances des exploitations agricoles liées aux Haies » ont porté sur l'évaluation de la biomasse et du carbone dans les compartiments aériens et sols des haies de différentes situations pédoclimatiques caractéristiques.

Les trois objectifs principaux de ce rapport n°3 étaient de (1) concevoir et tester une méthode simplifiée de calcul des stocks et des flux de biomasse et de carbone dans les compartiments aériens et sols des haies sur des zones de test de la méthodologie, (2) actualiser les références existantes à partir de données consolidées de terrain, et (3) produire des éléments de références chiffrés de biomasse et de stock de carbone dans les compartiments aériens et sols. L'étude a été menée dans quatre contextes pédoclimatiques différents en France : Normandie, Hauts-de-France, Pays de la Loire et Bourgogne-Franche-Comté.

Méthodologie

Cet article détaille la méthodologie employée pour évaluer la biomasse aérienne et les stocks de carbone des haies. Il présente les résultats obtenus, incluant de nouvelles données de références de biomasse pour la Normandie, les Hauts-de-France et les Pays de la Loire et de carbone pour la Normandie, les Hauts-de-France et la Bourgogne-Franche-Comté. Une section de discussion explore

¹ Cette méthode Haies est consultable sur : <https://label-bas-carbone.ecologie.gouv.fr/la-methode-haies>

² Les huit rapports du projet Resp'haies (2019-2022) sont consultables sur : <https://reseauhaies.fr/resphaies/>



ensuite les implications des résultats obtenus avant de conclure. Chacune des parties de l'article comporte un volet « biomasse » et un volet « carbone ».

2. Matériels et méthodes

2.1. Volet biomasse

Les types de haies en France sont nombreux et parfois complexes dans leur composition. Pour une première approche méthodologique, il a été fait le choix d'étudier les types de haies les plus simples et uniformes en gestion : têtards et taillis d'arbustes et d'arbre (Figure 1). Pour en connaître le descriptif précis, il est conseillé de se référer au référentiel national sur la typologie des haies (Réseau Haies France, 2017).



Figure 1 : Types de haies étudiées. 1 et 2 : taillis simple de cépées d'arbustes, 3 et 4 : taillis simple de cépées d'arbres, 5 et 6 : alignement de têtards. Crédits photos : Réseau Haies France.

Les types des haies étudiées dans le projet sont les suivants :

- taillis simple de cépées d'arbustes ;
- taillis simple de cépées d'arbres ;
- taillis fureté de hêtres ;
- taillis mixte de cépées d'arbres et d'arbustes ;
- alignement de têtards ;
- taillis sous futaie de têtards et cépées d'arbustes ;
- taillis sous futaie de têtards et cépées d'arbres.

Il s'agit de types de haies qui, lorsqu'elles sont exploitées, le sont entièrement, ce qui facilite le suivi des chantiers et de la quantité de biomasse. Cette proposition permet de ne pas avoir trop d'indicateurs explicatifs des données tout en permettant la valorisation des résultats en les associant proportionnellement dans des types de haies plus complexes (par exemple les types taillis et futaies croisés dans le type taillis sous futaies). Les données de biomasse s'appuient sur un échantillon de 98 haies réparties en Hauts-de-France, Normandie, Pays de la Loire et Bourgogne-Franche-Comté.

Les structures locales ont réalisé un cubage de bois sur pied de l'ensemble de l'échantillonnage des haies prévues (sur un linéaire de 100 mètres linéaire (ml) homogène). Elles ont également effectué des mesures à des points différents de la haie : hauteur, largeur au sol, largeur à 1,30 m, largeur du houppier, longueur, nombre de cépées, nombre de brins seuls, inventaire exhaustif de tous les individus et taille estimée). Une fois mesurées, les haies ont été exploitées et broyées. Il est donc possible de comparer le volume estimé sur pied au volume broyé obtenu.

Par ailleurs, les remorques ont été pesées afin d'avoir les équivalents en tonnage. Ces données ont permis de vérifier les tableaux de conversion entre le poids pesé directement après le déchiquetage (en tonnes) et les volumes de bois (en m³) à partir de la mesure des volumes de bennes. L'objectif étant de produire un référentiel d'accroissement moyen annuel des différents types de haies, l'âge du bois a été évalué précisément par des comptages des cernes sur les brins coupés.

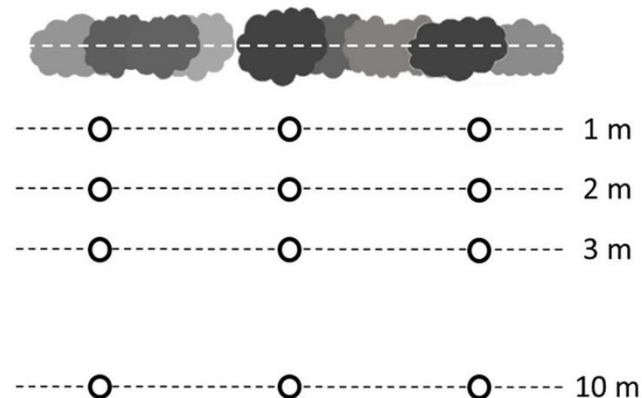
A partir de ce jeu de données, différents types d'analyses statistiques ont été réalisées, afin de décrire et établir les liens entre les variables. Il a été réalisé des analyses générales sur l'ensemble des haies. Puis, afin d'identifier des corrélations possibles, des analyses exploratoires ont été réalisées, d'abord entre variables deux à deux, puis entre des groupes de variables par la recherche de modèles de régression. Les analyses ont permis de construire une méthode de cubage très simplifiée basée sur deux modèles établis, tout en étant suffisamment robuste au vu des données disponibles statistiquement représentatives.

2.2. Volet carbone

Dans ce volet de l'étude, l'impact des haies sur le stockage additionnel de carbone dans les sols a été estimé au niveau des sites d'étude. Le protocole de mesures était basé sur un échantillonnage des sols sur la base des résultats de Viaud et Künnemann (2021). Ce protocole de mesure a été conçu pour permettre de capter la distribution spatiale des stocks de carbone au voisinage de la haie dans les parcelles adjacentes. Les sols ont été échantillonnés avant les opérations de fertilisation et de travail du sol dans les parcelles en cultures annuelles.

Au sein des trois régions, Bourgogne-Franche-Comté, Normandie et Hauts-de-France, un sous échantillonnage de haies a été sélectionné basé sur l'échantillonnage ayant servi à faire les mesures de biomasse des haies. Les haies ont été sélectionnées dans des zones avec un linéaire de haies dense en contexte de polyculture élevage, et avec un faible gradient climatique (climat tempéré océanique). Les haies sélectionnées correspondaient toutes à des haies matures de plus de 70 ans. Au total, 45 sites d'études (un site d'étude correspondant à une parcelle agricole bordée d'une haie) ont été sélectionnés : 16 en Normandie, 15 en Hauts de France et 14 en Bourgogne-Franche-Comté.

Pour chaque site d'étude, des points d'échantillonnage ont été placés le long de trois transects perpendiculaires à la haie, à des distances de 1



et 3 mètres de la haie et en milieu de parcelles (Figure 2). A chaque distance, des échantillons de sol ont été prélevés à la tarière manuelle à trois profondeurs : 0-30, 30-60, 60-90 cm. Pour une distance et une profondeur donnée, les trois échantillons collectés sur les trois transects ont été mélangés pour obtenir un échantillon composite.

Figure 2 : Stratégie d'échantillonnage des points de prélèvement pour un site d'étude

Pour chaque échantillon, la teneur en carbone (g.kg^{-1} , NF ISO 10694), ainsi que la granulométrie 5 fraction (NF X31-107) ont été analysées. La densité apparente (g.cm^{-3}) a été estimée en s'appuyant sur une fonction de pédotransfert validée par des mesures spécifiques sur le terrain. Les stocks de carbone (t C.ha^{-1}) ont ensuite été calculés et corrigés par une méthode de masse de sol équivalente.

Ce protocole implique néanmoins un échantillonnage dense et des travaux de terrain et de traitements et d'analyse des sols au laboratoire conséquents. Dans une perspective d'opérationnalité et d'étude de la faisabilité du stockage additionnel de carbone dans les sols à plus grande échelle, l'impact de simplifications de ce protocole sur l'estimation du stockage additionnel de carbone dans le sol au voisinage des haies a été estimé.

Ce travail a permis la publication d'un article scientifique (Lesaint *et al.*, 2023) qui contient le « matériel et méthodes » détaillé de ce volet, incluant les analyses de données réalisées.

3. Résultats

3.1. Volet biomasse

3.1.1. Méthode de cubage simplifié des haies de type taillis et têtards

Par la réalisation de modèles avec le logiciel de statistique R, il a été recherché des corrélations entre la masse humide obtenue du chantier, avec les données mesurées sur le terrain. Les variables à mesurer sont la largeur au sol de la haie, la longueur et la largeur au houppier (Figure 3).

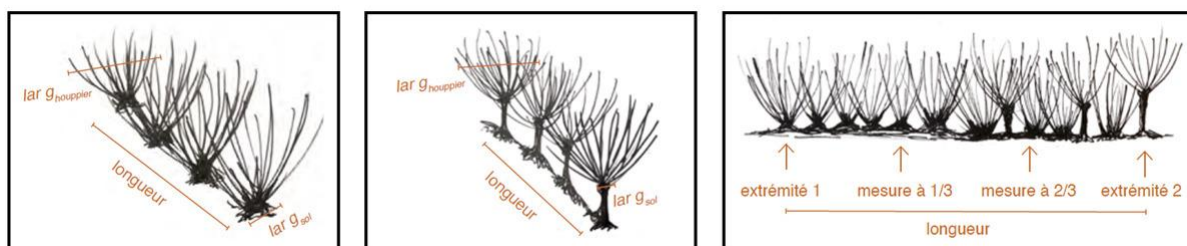
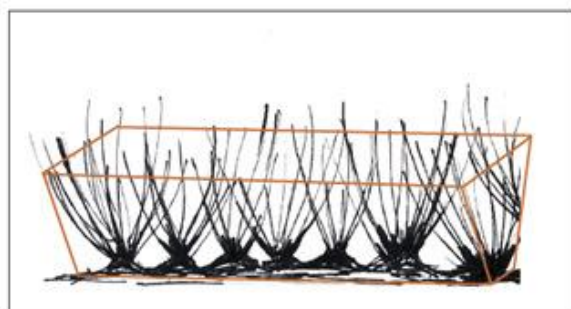


Figure 3 : Variables à mesurer pour les modèles de cubage simplifiés

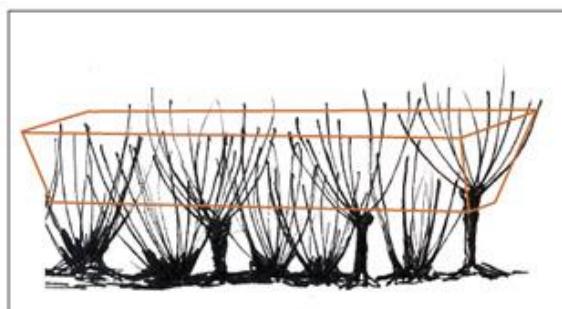
Formules de calcul pour l'estimation de la masse humide :

- longueur de la haie : distance aux sections extrêmes de la haie, à l'aplomb des houppiers ;
- largeur moyenne au sol de la cépée ou de la tête du têtard : plus grande largeur visible de la base de la cépée ou de la tête du têtard qui représente la zone d'implantation des brins. Pour l'obtention de la moyenne, cette mesure est reproduite pour les individus aux deux extrémités de la haie et environ une fois tous les 25 mètres ou a minima à 1/3 et 2/3 de la haie, pour obtenir au minimum entre quatre et cinq mesures ;
- largeur moyenne du houppier de la haie : projection de la partie la plus large du houppier étudié. Pour l'obtention de la moyenne, les mêmes points de mesures sont pris que ceux pour la largeur précédente.

Deux modèles de calculs pour estimer la biomasse humide ont été établis : un premier modèle qui peut être appliqué sur les haies de taillis constituées de cépées d'arbres et/ou d'arbustes et un deuxième modèle qui peut être utilisé sur des haies constituées de têtards avec ou sans taillis associé (Figure 4). Des ajustements pourront être réalisés en fonction de la facilité estimée des opérateurs de faire les mesures. En effet, la largeur au houppier étant très corrélée à la hauteur de la haie, il serait possible de remplacer la prise de la largeur du houppier par la hauteur de la haie dans les formules.

Modèle 1 : Mesures permettant de cuber les cépées basses


$$m_{humide} = 17,83503 \times larg_{sol} + 0,05601 \times longueur$$

Modèle 2 : Mesures permettant de cuber les cépées basses et têtards


$$m_{humide} = 10,04251 \times larg_{sol} + 0,06809 \times longueur + 0,82625 \times larg_{houppier}$$

Figure 4 : Modèles de cubage simplifiés

3.1.2. Données de référence de biomasse et de stocks de carbone dans le compartiment aérien des haies

Ces travaux ont permis de produire des références en Normandie, Pays de la Loire et Hauts-de-France.

L'accroissement annuel médian des taillis (dont les têtards, considérés comme des « taillis perchés ») dans ces trois régions est de l'ordre de 1 T humide/100 ml (Tableau 1). L'accroissement annuel en Mayenne est supérieur de 0,20 T humide.

Tableau 1 : Productivité annuelle en bois décheté des haies de taillis en tonne humide pour 100 ml en fonction de la région.

	NORMANDIE	PAYS DE LA LOIRE	HAUTS-DE-FRANCE
ACCROISSEMENT ANNUEL MÉDIAN EN TONNE HUMIDE POUR 100 ML DE HAIE	1,00	1,20	0,98

A partir de ces données de production de volume de bois produit, il est possible d'estimer le stockage de carbone dans la biomasse aérienne produites par les haies de taillis en bon état (Tableau 2).

Tableau 2 : Stock de carbone dans la biomasse aérienne exploitée des haies de taillis

STOCK DE CARBONE MÉDIAN EN TONNE DE CO₂ PAR KM DE HAIES ET PAR AN (EN TEQ CO₂/KM/AN)	NORMANDIE	PAYS DE LA LOIRE	HAUTS-DE-FRANCE
DANS LA BIOMASSE AÉRIENNE EXPLOITÉE DES TAILLES D'ARBUSTES, D'ARBRES ET DE TÊTARDS	9,6	11,4	9,3

D'autres données de références plus détaillées ont été publiées :

- les gabarits (hauteur, largeur) des haies en fonction de leur typologie ;
- la caractérisation de la productivité des haies en fonction de leur typologie ;



- la vérification des coefficients de conversion d'unité : volume apparent (MAP) en masse humide (tonne de bois vert) et masse humide (tonne verte) en masse sèche (tonne sèche).

3.2. Volet carbone dans le sol

3.2.1. Stocks de référence dans les sites échantillonnés

L'analyse de variance permettant de comparer le stock de carbone à différentes distances de la haie, montre que les stocks de carbone à proximité des haies sont bien significativement différents des stocks à distance et des stocks considérés comme stock de référence dans une situation sans haie (Figure 5). Pour les horizons 0-30 et 30-60 cm, les stocks de carbone à proximité de la haie sont significativement différents des stocks de référence à 10 m jusqu'à une distance de 2 m du pied de la haie. Au-delà (60-90 cm), les stocks à proximité de la haie sont significativement différents des stocks de référence uniquement à 1 m de la haie. Nous observons cet « effet haie » quel que soit l'usage du sol adjacent à la haie (rotation de cultures annuelles, rotation de prairies temporaires et cultures annuelles, prairies permanentes). Nous pouvons donc calculer un stock additionnel de carbone au voisinage de la haie jusqu'à une distance de 2 m dans la couche 0-60 cm de sol et jusqu'à une distance de 1 m dans l'horizon 60-90 cm.

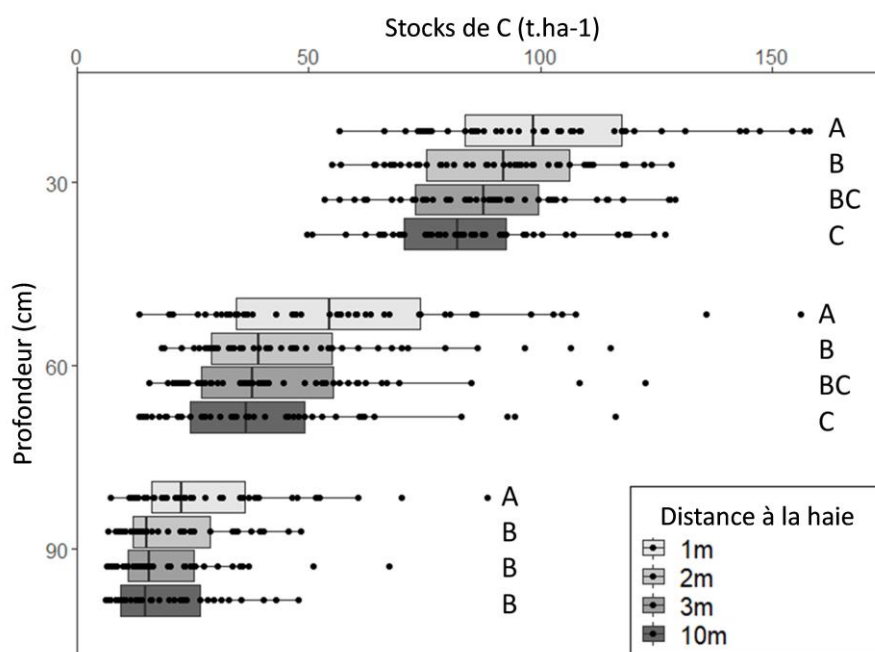


Figure 5 : Box-plots des stocks de carbone à différentes distances de la haie et pour 3 profondeurs de sol (0-30, 30-60 et 60-90 cm). Dans les box-plots, les bords du rectangle représentent les quantiles 25 et 75 %, la ligne à l'intérieur de la boîte représente la médiane des observations, la distance entre les extrémités des « moustaches » figurent 1,5 fois l'espace interquartile. Les points représentent les données individuelles. Les lettres caractérisent la significativité des différences de stocks.

Les stocks additionnels totaux de carbone, liés à la présence de haie, estimés dans cette étude sont en moyenne de 0,69 ; 0,53 et 0,51 t de carbone pour 100 m linéaires de haie, respectivement en Normandie, Bourgogne et dans les Hauts-de-France (Tableau 3). Ils présentent une forte variabilité. Ces stocks additionnels représentent une augmentation relative du stock de carbone de 0,44 ; 0,45 et 0,43 % dans une parcelle de 1 hectare qui serait bordée de 100 m de haie, respectivement en Bourgogne, Hauts-de-France et Normandie. Ils représentent une augmentation relative du stock de carbone de 15 % en Bourgogne et Hauts-de-France et 14 % en Normandie, localement dans la zone d'influence de la haie (bande de 2 m de large à partir du pied de la haie).

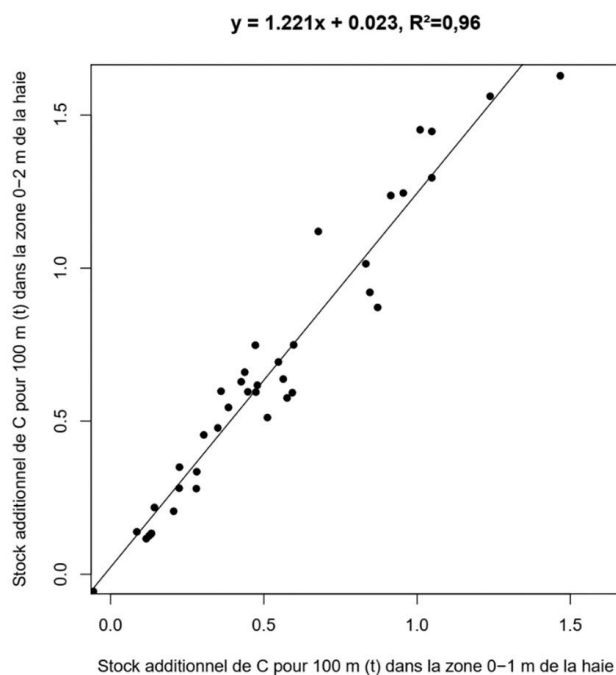


Tableau 3 : Stocks additionnels totaux de carbone, liés à la présence de haie dans les différentes régions étudiées

STOCKS ADDITIONNELS POUR 100M / STOCK DE REFERENCE POUR 1HA			STOCKS ADDITIONNELS POUR 100M / STOCK DE REFERENCE DANS LA BANDE AFFECTEE PAR LA HAIE		
BOURGOGNE	Hauts-de-France	Normandie	Bourgogne	Hauts-de-France	Normandie
0,44 % ± 0,39	0,45 % ± 0,36	0,43 % ± 0,35	15 % ± 13	15 % ± 12	14 % ± 12

3.2.2. Protocole simplifié d'évaluation du stockage additionnel de carbone dans le voisinage des haies

Les résultats montrent, que sur les situations échantillonnées où l'érosion n'est pas un processus majoritaire d'apport ou de perte de carbone au voisinage des haies, une simplification du protocole peut être envisagée en se limitant à deux points de mesures : à proximité de la haie (1 m) et à une distance d'au moins 10 m de la haie servant de référence, sur 90 cm.



Le stock additionnel dans le premier mètre du pied de la haie représente 60 à 100 % du stock additionnel estimé sur l'ensemble des deux premiers mètres. Il existe une relation linéaire forte entre le stock additionnel dans le premier mètre et le stock additionnel estimé sur les deux premiers mètres (Figure 6).

Figure 6 : Stocks additionnels de carbone dans les sols estimés pour 100 m linéaires de haie dans la zone 0 à 2 m du pied de la haie, en fonction des stocks additionnels de carbone estimés pour 100 m linéaires de haie dans la zone 0 à 1 m du pied de la haie. La droite représente la régression linéaire entre les deux valeurs, dont l'équation et le R^2 sont inscrits sur le graphique.

En revanche, une réduction de l'échantillonnage aux horizons de surface du sol n'est pas souhaitable dans la perspective d'approcher le stockage additionnel total de carbone associé à la présence de haies. Cette méthodologie conduit en moyenne à sous-estimer de façon significative ($p=0,001$) le stock de carbone additionnel pour 100 m linéaires de 0.30 tC par rapport à un échantillonnage sur 90 cm. Il n'existe pas de relation simple entre le stock additionnel de carbone mesuré sur 30 cm et le stock additionnel de carbone mesuré jusqu'à 90 cm de profondeur, qui permettrait d'estimer le stock additionnel total à partir d'un échantillonnage des 30 premiers centimètres uniquement.



4. Discussions

4.1. Volet biomasse

L'étude a abouti à la construction d'une méthode simplifiée de cubage sur pied des haies de taillis (arbres et arbustes) et de têtards qui sont aujourd'hui les types de haies les plus exploitées dans les territoires pour produire de la biomasse. Les modèles confirment les résultats des travaux faits en forêt de Auclair et Metayer (1980), dans Bazin et Chevalier (1985), qui mettent en évidence une forte corrélation entre le poids total d'un brin de taillis et sa surface terrière (surface de la section de coupe). En quelque sorte, le houppier de la haie est compris dans un parallélépipède de la forme d'un « moule à cake ». Indépendamment de la taille des branches, de la forme de la cépée ou de l'espèce mesurée, le volume de biomasse produite est déterminé par la place disponible au sein de la cépée et entre les cépées pour développer des branches en fonction de la lumière accessible. La formule permet de calculer ce volume déduit du volume des vides entre les branches. Il est cependant nécessaire de conforter les modèles de cubage simplifiés avec plus de données de mesure de haies afin de renforcer sa fiabilité. Les modèles ont pu être établis avec 46 jeux de données complètes sur les 98 haies mesurées. L'objectif est d'avoir une base de 100 haies minimum.

Les référentiels permettent de confirmer les données du Nord-Ouest de la France sur l'accroissement annuel et le stockage de carbone associé. La différence d'accroissement en Mayenne peut s'expliquer par les modalités de gestion identifiées chez les agriculteurs ayant participé au projet dans cette région : les haies ont déjà été exploitées et recépées sur un cycle précédent suivant les bonnes conduites permettant d'augmenter la productivité grâce à une bonne reprise des brins.

Les données généralement utilisées dans le Grand Ouest sont issues d'une étude ancienne réalisée en 2008 (Bouvier, 2008). Les données issues du projet Resp'haies-ADEME sont très éloignées pour les taillis d'arbustes. Cela pose la question de la typologie des haies, mal définie dans les études antérieures. Les résultats sont plus concordants pour les taillis d'arbres mais avec un accroissement supérieur de 20 % obtenu dans le projet Resp'haies-ADEME. Les données estimées du stockage de carbone permettent de considérer que les références du Grand Ouest utilisées dans la méthodologie nationale Label Bas Carbone sont équivalentes dans la région des Hauts-de-France.

4.2. Volet carbone dans les sols

L'échantillonnage a été réalisé exclusivement dans des zones de polyculture-élevage qui sont à l'échelle nationale les systèmes agricoles auxquels les haies sont historiquement les plus associées. L'étude confirme un stockage additionnel de carbone dans les sols en présence de haies par rapport à une situation sans haie. Le stockage additionnel moyen mesuré sur l'échantillonnage est du même ordre de grandeur que celui rapporté dans la littérature à l'échelle européenne. Par rapport aux références françaises, les stocks additionnels sont inférieurs d'un ordre de grandeur à ceux rapportés par Walter *et al.* (2003). Mais ici, les situations échantillonnées diffèrent par rapport à celles étudiées par Walter *et al.* (2003) en Bretagne. En effet, les situations retenues pour l'étude présentent un relief peu prononcé et sont peu sensibles et peu soumises à l'érosion hydrique ; en particulier les haies situées perpendiculairement à la pente ou interceptant les flux hydriques dans des versants présentant des pentes significatives, ont été exclues de l'échantillonnage, pour s'affranchir des effets d'accumulation de sol en amont de haie par dépôt de particules érodées en amont. La moyenne de stockage additionnel mesurée correspond aux valeurs basses rapportées par Viaud et Kunnemann (2021) – projet ADEME Carbocage – pour des haies de moins de 20 ans situées dans le Nord-Ouest de la France (Bretagne, Pays de Loire). Elle est 2 fois moins élevée que les valeurs rapportées des haies anciennes (1,4 à 4,7 t de carbone pour 100 m linéaires de haie). Comme Viaud et Kunnemann (2021), l'étude montre un stockage additionnel y compris en prairie. Également de façon similaire à la littérature, on trouve une grande variabilité de stockage additionnel dans les sols en leur voisinage



parmi les haies échantillonnées dans l'étude : il ne s'agit pas d'une variabilité entre les trois sites régionaux échantillonnés (Normandie, Bourgogne, Hauts-de-France), mais bien d'une variabilité locale observée au sein même d'une région.

Les résultats montrent, que sur les situations échantillonnées où l'érosion n'est pas un processus majoritaire d'apport ou de perte de carbone au voisinage des haies, une simplification du protocole peut s'envisager en limitant à deux distances de la haie : 1 m et le point de référence à au moins 10 m de distance.

Le traitement des échantillons se fait tel que décrit dans le protocole complet. Le calcul du stock additionnel, présenté ci-dessus, est réalisé pour la distance de 1 m. Le stock additionnel total sur l'ensemble de la zone d'influence de la haie est donné par l'équation 3, tirée des résultats du projet Resp'haies dans 45 situations (Figure 7).

Eq. 3

$$SOC_{0-2m,tot} = 1,221 \times SOC_{0-1m,tot} + 0,023$$

Figure 7 : Equation du stock additionnel total sur l'ensemble de la zone d'influence de la haie.

Cette simplification du protocole permet de réduire significativement le temps de prélèvements et de traitement des échantillons en le divisant par deux.

5. Conclusion

Plusieurs axes sont identifiés pour poursuivre ce travail autour de la connaissance de la biomasse et du stockage des haies en France.

Dans un premier temps, d'un point de vue méthodologique, il est nécessaire de consolider les modèles de cubage simplifié des taillis par l'acquisition de nouvelles données exhaustives de comparaison de cubages avec des chantiers d'exploitation. Un projet dans ce sens soutenu par l'ADEME et WWF et coordonné par Réseau Haies France a été mené au cours de l'hiver 2023/2024, les résultats en seront prochainement publiés.

Par ailleurs, l'étude n'a pu s'intéresser qu'aux haies de taillis ou têtards. Il conviendra de la compléter par une étude sur les haies d'arbres de haut-jet pour disposer d'une méthode simplifiée complète qui pourra s'appliquer à tous les types de haies en France. Du fait de la difficulté d'obtenir des données de chantier d'exploitation pour cette typologie de haies, il est imaginé de travailler des mesures des gabarits des arbres avec un croisement des volumétries obtenues par des données lidar.

Les données de stockage de carbone additionnels dans les sols aux abords des haies montrent une très forte variabilité. La variabilité peut s'expliquer par les propriétés des sols, les usages des parcelles adjacentes mais également les caractéristiques et les modalités de gestion des haies. Une meilleure compréhension de ces facteurs pourra permettre de proposer des adaptations de protocoles ou des guides pour l'échantillonnage en fonction des situations locales. Par ailleurs, ce travail de recherche peut donner des pistes pour pouvoir agir sur certains facteurs humains qui peuvent permettre l'augmentation du stockage du carbone dans les sols aux abords des haies.

Cette construction de méthodologies simplifiées, n'impliquant pas l'obligation d'avoir une exploitation des haies et diminuant fortement les coûts de mise en œuvre, apporte la possibilité de construire sur un pas de temps et à un coût raisonnable un référentiel national biomasse-carbone des haies dans toutes les situations pédoclimatiques.



Il est essentiel de poursuivre les travaux engagés pour permettre le développement de filières locales s'appuyant sur la gestion durable des haies et ainsi de leur redonner une valeur économique, seule garantie de leur préservation sur le long terme.

Éthique

Les auteurs déclarent que les expérimentations ont été réalisées en conformité avec les réglementations nationales applicables.

Déclaration sur la disponibilité des données et des modèles

Les données qui étayent les résultats évoqués dans cet article sont accessibles sur demande auprès de l'auteur de correspondance de l'article.

Déclaration relative à l'intelligence artificielle générative et aux technologies assistées par l'intelligence artificielle dans le processus de rédaction

Les auteurs n'ont pas utilisé de technologies assistées par intelligence artificielle dans le processus de rédaction.

Contributions des auteurs

Catherine Moret et Sylvain Betolaud ont rédigé les parties de l'article portant sur la méthodologie simplifiée de cubage des haies, avec la contribution de Laurent Nevoux pour l'élaboration de cette méthode. Lucas Lesaint et Valérie Viaud ont rédigé les parties de l'article portant sur l'évaluation du potentiel de stockage additionnel de carbone dans les sols par les haies. Baptiste Sanson a assuré la coordination de la rédaction de l'article en tant que coordinateur du projet Resp'haies. Frédéric Coulon a assuré la relecture de l'article en tant que rédacteur du chapitre portant sur l'analyse des contextes pédoclimatiques du rapport du projet Resp'haies dont est issu cet article.

Tous les auteurs et autrices ont lu et approuvé le manuscrit final.

Déclaration d'intérêt

Les auteurs déclarent ne pas travailler, ne pas conseiller, ne pas posséder de parts, ne pas recevoir de fonds d'une organisation qui pourrait tirer profit de cet article, et ne déclarent aucune autre affiliation que celles citées en début d'article.

Remerciements

Les auteurs remercient les structures du Réseau Haies France qui ont participé aux mesures de terrain : la SCIC Mayenne Bois Energie, la SCIC Bois Bocage Energie, l'Atelier Agriculture Avesnois Thiérache et le CPIE Yonne-Nièvre.

Déclaration de soutien financier

Les sous-actions 1.1 et 2.4 du projet Resp'haies dont les résultats sont valorisés dans cet article et le rapport n°3 du projet Resp'haies ont bénéficié du soutien financier du CASDAR, de l'ADEME et de la Fondation Ecotone.

Références bibliographiques

Auclair D., Metayer S., 1980. Méthodologie de l'évaluation de la biomasse aérienne sur pied et de la production en biomasse des taillis. *Acta Oecologica / Oecologica Applicata*, Vol. 1, n° 4, 357-377.

Bazin P., Chevalier D., 1985. Etude des potentialités et de la valorisation des ressources des haies bocagères de Basse – Normandie, 55 pages.



Bouvier D., 2008. Estimation de la productivité des haies de l'Ouest de la France, Recherche de références pour l'amélioration de la valorisation énergétique des haies, 85 pages

Colombie S. - CRA PdL ; Ligneau L. - CRA BhZ ; Thureau B. - ESA-LARESS ; Viaud V. - INRAE- SAS; Coisson T. ; Dupraz P. ; Seyni N.A. – INRAE-SmartLereco ; Thomas M. - CCI PdL ; Messenger O. - O2MConseil ; Treviosiol A. - ADEME. 2020. Carbocage, vers la neutralité carbone des territoires.40p.

Douet M., Lemarchand F., 2016. Du bon usage du bocage : la haie bocagère au cœur des enjeux de développement durable, Belgeo

Lesaint L., Viaud V., [Menasseri-Aubry S.](#), 2023. Influence of soil properties and land use on organic carbon storage in agricultural soils near hedges. *Soil Use and Management*, 39, 1140-1154.

Pellerin, S. ; Bamière, L. *et al.*, 2019. Stocker du carbone dans les sols français, Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ? Synthèse du rapport d'étude, INRA (France), 108 p.

Piveteau V., De Menthère C., Falcone P., Ory X., 2023. La haie, levier de la planification écologique, 116 pages.

Réseau Haies France, 2017. Référentiel national sur la typologie des haies, modalités pour une gestion durable, 90 pages

Viaud, V.; Künnemann, T. 2021. Additional soil organic carbon stocks in hedgerows in crop-livestock areas of western France. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 305 : 10174.

Walter, C., Merot, P., Layer, B., & Dutin, G. (2003). The effect of hedgerows on soil organic carbon storage in hillslopes. *Soil Use and Management*, 19, 201–207.

Pour citer cet article : Sylvain Betolaud, Frédéric Coulon, Lucas Lesaint, Catherine Moret, Laurent Nevoux, *et al.*. RESP'HAIES -Méthodologies innovantes d'évaluation de la biomasse et des stocks de carbone des haies françaises. *Innovations Agronomiques*, 2025, 107, pp.1-12. [10.17180/ciag-2025-vol107-art01](https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art01)



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue *Innovations agronomiques* et son DOI, la date de publication.



CERPET : Des valeurs nutritionnelles et technologiques d'intérêt pour une valorisation du Kernza (*Thinopyrum intermedium*) en alimentation humaine

Christophe DAVID ¹, Benoit MELEARD ², Sonia GEOFFROY ², Laurent CHIPPAUX ³

¹ ISARA, AGRIVIA, Equipe Agroécologie et Environnement, 23 Rue Jean Baldassini, 69364 Lyon, France

² ARVALIS – Institut du végétal, Station de recherche et d'expérimentation, 91720 Boigneville, France

³ Alma Pro, 1 rue de la cave, 26260 Saint-Donat-sur-l'Herbasse, France

Correspondance : davidc@isara.fr

DOI : <https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol107-art02>

Résumé

La graminée pérenne *Thinopyrum intermedium*, commercialisée sous le nom de Kernza®, est testée en France depuis 2017. Son utilisation en alimentation humaine est cruciale pour assurer sa rentabilité. Le but de ce travail est de caractériser la composition du grain et ses propriétés fonctionnelles mais aussi les processus de traitement de la graine post récolte. *T. intermedium* dispose d'une teneur élevée en protéines, fibres alimentaires, matières grasses et cendres ce qui lui confère une forte valeur nutritionnelle. A l'inverse, les faibles teneurs en amidon et en gluténines à haut poids moléculaire affectent la qualité boulangère. La farine de Kernza® dispose de faibles notes de panification expliquées par des pâtes manquant de résistance. L'optimisation des processus de triage et de décorticage du grain améliore les valeurs technologique et économique du produit fini. Il est alors indispensable d'adapter la fabrication et les usages alimentaires aux caractéristiques spécifiques de la graine.

Mots clés : culture pérenne, Kernza, grain, farine, nutrition humaine

Abstract: Nutritional and technological values of interest for the development of Kernza (*Thinopyrum intermedium*) for human consumption

The perennial grass *Thinopyrum intermedium*, marketed under the name Kernza®, has been tested in France since 2017. Its use in human food is crucial to ensure its profitability. The aim of this work is to characterize grain composition and functional properties, as well as post-harvest seed processing. *T. intermedium* has a high protein, dietary fiber, fat and ash content, giving it a high nutritional value. Conversely, low levels of starch and high-molecular-weight glutenins affect baking quality. Kernza® flour has low breadmaking scores, due to a lack of dough strength. Optimizing the grain sorting and dehulling processes improves the technological and economic value of the finished product. It is therefore essential to adapt manufacturing and food uses to the specific characteristics of the grain.

Keywords: perennial crop, Kernza, grain, flour, human nutrition

1. Le *Thinopyrum intermedium* : une culture émergente à intérêts multiples

Thinopyrum intermedium (Host) Barkworth & D.R Dewey est une graminée fourragère pérenne originaire des plaines eurasiennes (Wagoner, 1990), introduite dans les années 1930 en Amérique du Nord pour le contrôle de l'érosion du sol et la restauration de la végétation. Depuis le début des années 1980, Rodale Research Center en 1988 puis le Land Institute (TLI) en 2003 ont lancé un programme de domestication directe afin notamment d'augmenter la production de grains de la culture et ce sur plusieurs années. Depuis, une variété commerciale de *Thinopyrum intermedium*, déposée sous le nom