

Avec le soutien de :

Avec
la contribution
financière du compte
d'affectation spéciale
développement
agricole et rural
CASDAR



MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE LA SOUVERAINETÉ
ALIMENTAIRE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Resp^{haies}

Résumé du rapport n°3

Évaluation des stocks et flux de biomasse et carbone des haies

Méthodologies et références
dans quatre régions de France

Auteurs :

Catherine Moret – Afac-Agroforesteries
Sylvain Betolaud – SCIC Bois Bocage Énergie
Valérie Viaud – INRAE
Lucas Lesaint – INRAE
Frédéric Coulon – Solagro



INRAE



1 FICHE D'IDENTITE

Sur la globalité des résultats



Rapport

Un rapport en trois parties restituant l'ensemble du travail des actions 1.1 et 2.4
[Téléchargeable sur le site de l'Afac-Agroforesteries](#)



Vidéo

Un webinaire de présentation des méthodes et des résultats des actions 1.1 et 2.4
Intitulé « Évaluation des stocks et flux de biomasse et carbone des haies - Méthodologie et premières références dans quatre régions de France » qui s'est déroulé le 19 janvier 2023. Ce webinaire a rassemblé plus de 250 inscrits, et son enregistrement est disponible sur le site de l'Afac-Agroforesteries (<https://afac-agroforesteries.fr/rapport-3/>) ;

Pour le transfert aux acteurs utilisant les modèles et les résultats



Fiche technique x 4

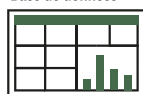
[Fiche de présentation méthodologie mesure de carbone dans les sols aux abords des haies](#) : l'objectif de cette fiche est de décrire les méthodes de mesure complètes et allégées obtenues dans cette étude pour les rendre accessibles et applicables facilement.

[Fiche de présentation méthodologie cubage taillis et têtards](#) : l'objectif de cette fiche est de décrire les méthodes de cubage simplifiées obtenues dans cette étude pour les rendre accessibles et applicables facilement.

Fiches des données référentiels [carbone](#) et [biomasse](#) : ces deux fiches résument les principaux résultats chiffrés de mesures sur les haies, les mesures d'accroissement de biomasse et de carbone, ainsi que les coefficients de conversion obtenus dans les territoires étudiés.

Les supports chiffrés

Tableur
Base de données



La base de données des haies mesurées : Aujourd'hui, la base de données de l'ensemble des mesures est sur le logiciel Acces. L'objectif est de rendre accessible les données de l'étude sous un format à définir.

Tableur
Base de données



Le script R des modèles : Celui-ci permet de continuer à développer les analyses statistiques déjà réalisées.

2 PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS

2.1 PROBLEMATIQUE

Malgré la dégradation qualitative et la très forte régression des linéaires de haies qui ont accompagné l'accroissement de la mécanisation (1,4 millions de haies supprimées en France depuis 1960 – Pointereau Solagro 2002), la haie reste le système agroforestier prépondérant. Afin de les préserver (750 000 kms hérités) et les développer (environ 4000 kms de haies plantés par an actuellement), il est absolument nécessaire de leur redonner une valeur économique pour les agriculteurs. Celle-ci peut s'appuyer sur l'intérêt croissant pour la biomasse issue des haies, grâce à la production de bois plaquette pour l'alimentation de grosses chaudières collectives. L'émergence et le développement de la filière bois énergie d'origine bocagère présente le risque d'exercer une pression accrue sur la ressource bocagère (Douet et Lemarchand, 2016), d'autant plus importante quand la France vit une crise énergétique majeure suite à la guerre en Ukraine.

Afin d'accompagner la transition énergétique en cohérence avec les scénarios envisagés sur le recours à la biomasse bocagère, il demeure indispensable de poursuivre le travail d'acquisition de connaissances, de suivi et d'analyses de la ressource disponible. En effet, la fabrication de bois déchiqueté pour les chaudières bois ne doit pas s'accompagner d'une destruction du bocage par excès de prélèvement, par mauvaise conduite des haies, ou par non maîtrise du marché.

Les études réalisées précédemment par l'IGN sur l'évaluation de la biomasse en Bretagne et en Normandie s'appuyaient sur des enquêtes auprès des opérateurs. Les retours d'enquête réalisés ont été peu nombreux et les résultats ont été jugés mal exploitables. Aujourd'hui il est difficile pour les acteurs locaux de donner des valeurs chiffrées des volumes récoltés et des fréquences de coupe dans les haies qu'ils rencontrent sur leur territoire. Par conséquent, le seul moyen d'estimer aujourd'hui des volumes récoltables dans les haies, est de se référer aux données de l'étude de Bouvier (2008) qui date de 15 ans mais qui restent utilisées à ce jour par les professionnels.

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 des haies précis, par une méthodologie maîtrisée qui puisse être utilisable à grande échelle, en association avec un dispositif exhaustif de description du linéaire bocager.

Outre leur contribution à la substitution d'énergie fossile, les haies sont aussi une source potentielle d'augmentation des puits de carbone dans l'espace agricole. Aussi, le chiffrage du potentiel que représente ce levier dans le cadre de l'objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050, porté par la Stratégie Nationale Bas Carbone, est indispensable. Une méthodologie Label Bas Carbone sur les haies est en cours d'élaboration. Réalisée par la Chambre d'Agriculture des Pays de la Loire, elle s'appuie sur les résultats du projet CarboCage¹ 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.

¹ COLOMBIE S. - CRA PdL ; LIGNEAU L. - CRA BhZ ; THAREAU B. - ESA-LARESS ; VIAUD V. - INRAE- SAS; COISNON T. ; DUPRAZ P. ; SEYNI N.A. – INRAE-SmartLereco ; THOMAS M. - CCI PdL ; MESSENGER O. - O2MConseil ; TREVISIOL A. - ADEME. 2020. CARBOCAGE, vers la neutralité carbone des territoires.40p.

2.2 OBJECTIFS

Les partenaires de cette étude s'associent pour engager un premier travail d'évaluation de la biomasse bocagère et du carbone dans les compartiments aériens et sols de différentes situations pédoclimatiques caractéristiques. Ce rapport porte sur l'évaluation de la biomasse et du carbone dans les compartiments aériens des haies. Au-delà de la production de premières données de références, l'objectif principal de cette étude est de tester des méthodes qui puisse être déployées sur l'ensemble des bocages en France à échelles fines pour aider les orientations des politiques publiques sur les haies et de préciser les conditions techniques et matérielles de ce déploiement.

Les trois objectifs principaux sont :

- 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. En effet, si certaines méthodes de cubage existent, elles sont souvent difficilement adaptables au contexte bocager ou très complexe à mettre en œuvre et chronophage.
- Actualiser les références existantes à partir de données terrains consolidées. En effet, de nombreuses références utilisées aujourd'hui se basent sur des données vieillissantes et parfois issus d'approximations voire d'imprécisions. Il s'agit en particulier de coefficients de conversion entre différentes unités utilisées. Ces données ont vocation de servir de support de croisement avec d'autres partenaires.
- En parallèle, ce travail a permis de produire des éléments de références chiffrés de biomasse et de stock de carbone (C) dans les compartiments aériens et sols dans 3 contextes pédoclimatiques différents en France : Normandie, Haut de France, Pays de la Loire et de relier ces références à des accroissements annuels (âges des haies).

3 METHODOLOGIE ET REALISATIONS

3.1 METHODOLOGIE

Volet biomasse :

Les types de haies en France sont nombreux^{et} parfois complexes dans leur composition. Dans ce cadre de première approche méthodologique, il a été proposé d'orienter notre choix de haies vers les types les plus simples et uniformes en gestion : taillis et têtards. 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 que les résultats puissent être valorisés 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). Compte tenu du budget disponible et du temps de travail correspondant, il a été possible d'échantillonner la biomasse de 98 haies réparties en Hauts-de-France, Normandie, Pays de la Loire et Bourgogne Franche Comté.

Les structures locales ont réalisé sur l'ensemble de l'échantillonnage des haies prévues (sur un linéaire de 100 ml homogène) le cubage de bois sur pied suivant la méthode définie dans l'action 1.1 de Resp'haies. Cette prise de données comprenait plusieurs mesures effectuées 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). Toutes les haies qui sont mesurées dans le cadre de ce projet sont exploitées et broyées. Il est donc possible par le volume broyé obtenu de vérifier le volume estimé sur pied.

Par ailleurs, les remorques seront pesées afin d'avoir les équivalents en tonnage. Ces données permettront aussi de vérifier avec des chantiers dont les conditions d'exploitations et de pesées sont maîtrisées les tableaux de conversion. L'objectif étant de produire un référentiel d'accroissement moyen annuel des différents types de haies, il est nécessaire d'évaluer précisément l'âge du bois 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'explorer 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 (tout en étant suffisamment robuste au vu des données disponibles statistiquement représentatives) basée sur deux modèles établis.

Volet carbone dans les sols :

Dans cette action, nous avons estimé l'impact des haies sur le stockage additionnel de C dans les sols dans les sites d'études, en mettant en œuvre un protocole de mesures basé sur un échantillonnage des sols sur le terrain et inspiré des travaux de recherche détaillés qui ont été menés sur les haies. Ce protocole a été raisonné sur la base des résultats de ces études (Viaud et Kunneman, 2021)

Pour chaque haie, le protocole de mesure est conçu pour permettre de capter la distribution spatiale des stocks de C au voisinage de la haie dans les parcelles adjacentes. Les sols seront échantillonnés avant les opérations de fertilisation et de travail du sol dans les parcelles en cultures annuelles. Dans chaque parcelle bordée d'une haie, les points d'échantillonnage sont localisés sur 3 transects perpendiculaires à la haie, à des distances de 1 et 3 m de la haie et en milieu de parcelles. A chaque distance, les échantillons sont prélevés à la tarière manuelle à 3 profondeurs : 0-30, 30-60, 60-90 cm. Pour une distance et une profondeur donnée, les 3 échantillons collectés sur les 3 transects sont mélangés pour obtenir un échantillon composite.

La teneur en C de ces échantillons (g.kg⁻¹) est analysée (NF ISO 10694), ainsi que la granulométrie (NF X31-107). La densité apparente (g.cm⁻³) est estimée s'appuyant sur une fonction de pédotransfert dont la validité dans les contextes étudiés est évaluée en quelques mesures spécifiques sur le terrain. Le stock de C (tC.ha⁻¹) dans chaque horizon est obtenu par le produit de la teneur en C par la densité apparente.

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 C dans les sols à plus grande échelle, nous avons ensuite quantifié l'impact de simplifications de ce protocole sur l'estimation du stockage additionnel de C dans le sol au voisinage des haies

Volet pédo-climatique :

L'objectif étant de resituer les données issues des chantiers de mesures de biomasse dans leur contexte pédo-climatique, afin de contextualiser et comprendre les mesures d'accroissement obtenues dans des territoires différents et de proposer à terme une méthodologie de référentiels à l'échelle nationale.

Pour un type de haies donné, la productivité de biomasse bocagère est sous l'influence de facteurs pédologiques (texture du sol, profondeur, fertilité, matière organique...) et climatiques (températures, pluviométrie, vent, ...). Ces facteurs sont donc nombreux et il est trop complexe de les considérer tous avec les moyens mobilisables dans notre étude exploratoire.

Aussi, une analyse de la production de biomasse mesurée dans les sites d'études a été réalisée en considérant que la disponibilité en eau est un facteur déterminant de la croissance végétale (productivité).

La méthode a donc consisté à évaluer la capacité du sol à approvisionner les plantes en eau tout au long de la période de végétation, et à identifier les périodes de faible stockage de l'eau dans le sol.

L'approche a utilisé la méthode du bilan hydrique est une méthode simple permettant de calculer la réserve en eau dans le sol disponible pour les végétaux au cours de l'année en tenant compte des besoins en eau des plantes (évapotranspiration) et des précipitations. Cette méthode permet d'identifier les périodes durant lesquelles le sol devient sec, c'est-à-dire quand la réserve en eau du sol devient nulle, et donc provoque un stress hydrique sur les haies.

Le bilan hydrique est donc évalué en considérant les paramètres suivants :

- La réserve utile du sol (RU) qui mesure la quantité maximale d'eau retenue dans le sol (après ressuyage) et disponible pour les plantes ;
- Les données d'évapotranspiration (ETP) quotidiennes sont fonction des conditions climatiques locales (températures, vent...);
- Les données des précipitations (P).

Les variables climatiques journalières sont issues des données Météo-France disponibles via le portail du programme européen Agri4cast (grille AWA de 25 km x 25 km), et la réserve utile des sols a été évaluée à partir des données des Référentiels Régionaux Pédologiques (modèle DoneSol) gérées par le GIS Sol et le RMT Sols et Territoires.

Ces données pédoclimatiques ont permis de suivre l'évolution quotidienne de la réserve en eau en période de végétation, et ainsi de caractériser les situations de sécheresse édaphique, à l'aide de plusieurs variables (intensité, durée, fréquence...), rencontrées par chaque haie au cours des 20 années précédant la coupe (période 2001-2020).

Un travail d'analyses statistiques a consisté à d'étudier des corrélations possibles entre ces variables pédoclimatiques et les mesures d'accroissement annuel de biomasse des haies.

3.2 DEROULE DU PROJET

Année	2020			2021												2022										
Mois	19/10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	09	19/10	
Échantillonnage	Choix des sites d'étude et recherche des haies échantillonnées (avec gestion et chantier)											Echantillonnage des haies complété et ajout territoire Mayenne														Rédaction rapport et restitution des résultats
Biomasse et Carbone aérien				Mesures de cubage				Construction base de données et analyse des données et premiers modèles de cubage et référentiels				Mesures de cubage chantiers 2021 et nouveaux chantiers				Analyse des données et confortation des résultats		Rédaction rapport et restitution des résultats								
Carbone Sols				Prélèvement des échantillons sur les sites et conditionnement, préparation des échantillons				Traitement des échantillons et réalisation des analyses de sol				Compléments de prélèvements sur sites		Analyse des données		Rédaction rapport et restitution des résultats										
Croisement des résultats avec étude IGN																					Croisement des résultats étude IGN		Rédaction propositions de poursuites			

4 RESULTATS

4.1 Résultats

Volet biomasse :

- **Production de références** ([cf. fiche de synthèse](#)) en Normandie, Haut de France et Pays de Loire. L'ensemble de ces données permet d'obtenir
 - des données descriptives des haies en fonction de leur typologie et de leur localisation géographique.
 - la caractérisation de la productivité des haies - estimation de la biomasse produite par les haies et de l'accroissement annuel en fonction de leur typologie
 - la vérification des coefficients de conversion d'unité
 - les stocks de carbone dans la biomasse exploitées

- **Méthode de cubage simplifiée des haies de taillis et des têtards** : ([cf. fiche de synthèse](#))

Volet Carbone dans le sol

- **Production de références** ([cf. fiche de synthèse](#)) en Normandie, Haut de France et Bourgogne Franche Comté). L'ensemble de ces données permet d'obtenir
 - Stocks additionnels de carbone dans les sols en présence de haie

- **Protocole de mesure du carbone des sols à proximité des haies** ([cf fiche de synthèse](#))
 - présentation du protocole complet
 - proposition protocole simplifié

Volet Pédo-climatique

- **Démarche de caractérisation pédoclimatique** des secteurs sur lesquels les haies font l'objet d'un calcul de productivité de la biomasse.

- **Restitution des données issues des chantiers de mesures de biomasse dans leur contexte pédoclimatique**, afin de contextualiser et de tenter de comprendre les mesures d'accroissement obtenues dans des territoires différents.

4.2 DISCUSSIONS DES RESULTATS

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 qui sont 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), in 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).

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. 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. Ils peuvent être intégrés dans les projets locaux et méthodologie nationale.

Le travail réalisé permet d'imaginer la reproduction d'une méthodologie grande échelle pour produire un référentiel dans différentes situations sans avoir l'obligation de mesure de chantiers de coupe.

Volet carbone dans les sols :

L'échantillonnage a été réalisé exclusivement dans des zones de polyculture-élevage. L'étude confirme un stockage additionnel de C en présence de haie mais qui est très variable en fonction des situations locales. Ces données montrent l'importance d'une mesure des stocks de référence, sans haie, localement.

Une simplification du protocole est envisageable en limitant les relevés à deux distances de la haie sur 90 cm de profondeur à proximité de la haie et sur un point de référence dans la parcelle. Il est possible d'utiliser des fonctions de pédotransfert pour s'affranchir des mesures de densités apparentes. Mais si cette méthode peut donner une bonne estimation de la moyenne des stocks additionnels à l'échelle de l'ensemble de l'échantillonnage, elle introduit un biais dans l'estimation des stocks au niveau local de chaque parcelle.

Volet pédoclimatique :

L'étude a montré qu'il est possible et réaliste de mener un travail à grande échelle en mobilisant les données géospatialisées publiques et gratuites qui sont disponibles pour la quasi-totalité du territoire national. Aussi, ce travail mériterait d'être poursuivi sur d'autres territoires de bocage en bénéficiant des acquis de cette première expérimentation, notamment sur l'intérêt de structurer en amont l'échantillon de haies étudiées. Cela permettrait qu'il soit représentatif de la diversité des contextes pédoclimatiques, et de couvrir un nombre minimum de pédoclimat par territoire et un nombre minimum de haies par pédoclimat. Il serait notamment intéressant de disposer de mesures dans des zones de bocage ou de semi-bocage en climat continental (Bourgogne, Franche-Comté par exemple), en climat montagnard (Auvergne par exemple), semi-océanique (Sud-Ouest).

Étendre le réseau de haies dans quelques zones géographiques pourrait également permettre de tester d'autres variables climatiques. Par exemple, la précocité des épisodes de sécheresse est un facteur susceptible d'affecter notablement la croissance des végétaux. Or, les territoires considérés dans cette étude (nord Pays de la Loire, Normandie, Hauts-de-France) sont dans des situations très proches en moyenne pour cette variable, ce qui n'a pas permis de tester cette variable. Il serait ainsi intéressant de disposer de données dans des territoires bocagers soumis à des sécheresses précoces marquées, et qui surviennent plus fréquemment ces dernières années, comme dans l'Ouest (vallées de la Garonne et de la Loire), et l'Est de la France (Bourgogne, Champagne...).

5 PERSPECTIVES ET BIBLIOGRAPHIE

5.1 PERSPECTIVES

Communication, formation avec les méthodes construites dans le projet Resp'haies-ADEME pour les valorisations actuelles :

- Restituer largement les résultats
- Mettre en place des journées d'échanges et de formation
- Transfert méthodes

Consolidation :

- **Ses modèles de cubage simplifié des taillis et établissement d'un tarif sur les arbres de hauts jets :**
 - Acquérir de nouvelles données exhaustives de comparaison cubages / chantiers
 - Voir si possible de simplifier la vérification données chantiers
 - Faire un travail similaire sur les arbres de hauts jets
 - Perte de biomasse / haies dégradées
- **De la méthodologie et la proposition de simplification du protocole par la réduction de l'échantillonnage à 2 distances de la haie :**
 - valider la méthode par l'acquisition de données sur d'autres sites,
 - analyser les facteurs – propriétés des sols, usages des sols dans la parcelle adjacente,
 - identifier les caractéristique de la haie, qui peuvent expliquer la (forte) variabilité du stockage additionnel
- **De l'effet des conditions pédo-climatiques sur l'accroissement annuel :**
 - introduire de nouvelles mesures en particulier sur le secteur de l'Orne-Mayenne pour conclure sur l'impact de l'intensité des épisode de sécheresse et dans d'autres contextes pour tester d'autres variables climatiques

Construire un référentiel en France biomasse -carbone des haies :

- Fixer une méthode d'échantillonnage pour structurer l'acquisition de données pour le référentiel en France
- Coordination d'une méthode nationale de collecte et traitement des données
- Construire des projets à l'échelle régionale pour collecter les données dans différents territoires
- Mobilisation des acteurs – capacité d'organisation
- Collecte unique de la donnée biomasse et carbone avec hébergement et accès à une base de données
- Création application calcul automatique cubage des haies

5.2 BIBLIOGRAPHIE

Biomasse :

AFAC-A, 2017. Référentiel national sur la typologie des haies, modalités pour une gestion durable, 90 pages

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

CAROFF O., 2005. Valorisation du bocage en plaquettes bois énergie pour alimenter la chaudière de la piscine de SCAER. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur des Techniques de l'Agricultures, Institut national agronomique de Paris Grignon, 60 pages

COLOMBIE S. - CRA PdL ; LIGNEAU L. - CRA BhZ ; THAREAU B. - ESA-LARESS ; VIAUD V. - INRAE-SAS; COISNON T. ; DUPRAZ P. ; SEYNI N.A. – INRAE-SmartLereco ; THOMAS M. - CCI PdL ; MESSENGER O. - O2MConseil ; TREVISIOL A. - ADEME. 2020. CARBOCAGE, vers la neutralité carbone des territoires.40p.

DASSOT M., COMMAGNAC L., LETOUZE F., COLIN A., 2022. Stocks de bois et de carbone dans les haies bocagères françaises. 66 pages.

IFN, 2010. L'estimation du bois de haie mobilisable en « bois énergie » en Basse-Normandie, 24 pages

JEZEGOU M., 2008. Données relatives à la production de haies bocagères, 15 pages.

SIMON M., LETOUZE F., COLIN A., 2018. Evaluation de la biomasse bocagère en Bretagne - Rapport d'étude – IGN Janvier 2018 – Etude ADEME

SIMON M., LETOUZE F., COLIN A., 2019. Evaluation de la biomasse bocagère en Normandie - Rapport d'étude – IGN Janvier 2019 – Etude ADEME

Carbone dans les sols :

Biffi, S.; Chapman, P.J.; Grayson, R.P.; Ziv, G. 2022. Soil carbon sequestration potential of planting hedgerows in agricultural landscapes. *Journal of Environmental Management*, 307: 114484.

Follain, S.; Walter, C.; Legout, A.; Lemercier, B.; Dutin, G., 2007. Induced effects of hedgerow networks on soil organic carbon storage within an agricultural landscape. *Geoderma*, 142 : 80-95.

Ford, H.; Healey, JR.; Webb, B.; Pagella, TF.; Smith, AR. 2019. How do hedgerows influence soil organic carbon stock in livestock-grazed pasture? *Soil Use and Management*, 35: 576– 584.

Lacoste, M. 2012. Evolution des sols à l'échelle du paysage sous des conditions de changements climatique et de structure du paysage. Thèse de doctorat Agrocampus Ouest Rennes. 241 p.

Paulsen, H.M.; Bauer, B. 2008. Soil organic carbon stocks in hedge-banks as agricultural marginal areas. *Ressortforschung für den ökologischen Landbau* : 73-80.

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.

Van Den Berge, S.; Vangansbeke, P.; Baeten, L. et al. 2021. Soil carbon of hedgerows and 'ghost' hedgerows. *Agroforest Syst* 95, 1087–1103.

Van Vooren, L.; Reubens, B.; Ampoorter, E. et al. 2018. Monitoring the Impact of Hedgerows and Grass Strips on the Performance of Multiple Ecosystem Service Indicators. *Environmental Management* 62 : 241–259.

Viaud, V.; Kunnemann, 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 (3) : 201-207.