

## Offre de thèse/PhD offer

### Intitulé / title :

**Vers une meilleure comptabilité carbone des systèmes agroforestiers au niveau global**

*Towards better carbon accounting for agroforestry systems at global scale*

### Mots clés / keywords :

Agroforesterie, Changement climatique, Carbone du sol, Biomasse, GIEC

Agroforestry, Climate Change, Soil organic carbon, Biomass, IPCC

### Date de clôture / Application deadline :

31 mai 2026

31 May 2026

### Date souhaitée de début du contrat / expected starting date :

1<sup>er</sup> Novembre 2026

1st November 2026

### Résumé du projet / project summary :

L'agroforesterie est reconnue pour ses bénéfices sur la sécurité alimentaire et la lutte contre le changement climatique, notamment via la séquestration du carbone. Pourtant, son intégration dans les systèmes de mesure, de notification et de vérification (MNV) reste limitée. Cette thèse vise à affiner les coefficients par défaut du GIEC pour l'agroforesterie (niveau 1) et à développer des outils statistiques et mécanistes (niveaux 2 et 3) pour une estimation plus précise des stocks de carbone dans les sols et la biomasse. La thèse s'appuie sur une base de données inédite à l'échelle globale, incluant notamment des variables climatiques, pédologiques et de gestion. Un outil statistique sera validé par des données indépendantes. Des retombées importantes sont attendues pour les méthodologies MNV et la révision des lignes directrices du GIEC.

Agroforestry is recognized for its benefits in terms of food security and climate change mitigation, particularly through carbon sequestration. However, its integration into measurement, reporting, and verification (MRV) systems remains limited. This thesis aims to refine the IPCC's default factors for agroforestry (Tier 1) and to develop statistical and mechanistic tools (Tiers 2 and 3) for a more accurate estimation of carbon stocks in soils and biomass. The thesis draws on a unique global-scale database, including climate, soil, and management variables. A statistical tool will be validated using independent data. Significant impacts are expected for MRV methodologies and the revision of IPCC guidelines.

### Contexte / context :

L'agroforesterie offre des opportunités intéressantes pour la sécurité alimentaire, l'adaptation au changement climatique, mais aussi pour son atténuation (Cardinael et al., 2021; Mbow et al., 2014; Verchot et al., 2007), notamment à travers la séquestration du carbone dans la biomasse des arbres et dans les sols (Cardinael et al., 2018; Feliciano et al., 2018; Griscom et al., 2017). Les systèmes de mesure, de notification et de vérification (MNV) des terres (IPCC, 2019, 2006) sont indispensables à la réalisation des objectifs des pays en matière de climat dans le cadre de l'Accord de Paris. Toutefois, la MNV des systèmes agroforestiers est balbutiante et complexe. Jusqu'en 2019, pour le GIEC, l'agroforesterie était incluse dans la catégorie « cultures pérennes » (avec les vergers, les vignobles et les plantations pour cacao, café, thé, palmier à huile, cocotiers, hévéas et bananes), sauf lorsque ces terres répondent aux critères de catégorisation en tant que terres forestières (IPCC,

2006). Suite aux travaux de Cardinael et al., (2018), la Révision 2019 des Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre introduit des coefficients par défaut de niveau 1 pour les stocks de carbone dans la biomasse des arbres pour 8 grands types de systèmes agroforestiers (IPCC, 2019; Ogle et al., 2019).

Agroforestry offers promising opportunities for food security, climate change adaptation, and mitigation (Cardinael et al., 2021; Mbow et al., 2014; Verchot et al., 2007), particularly through carbon sequestration in tree biomass and soils (Cardinael et al., 2018; Feliciano et al., 2018; Griscom et al., 2017). Land-based measurement, reporting, and verification (MRV) systems (IPCC, 2019, 2006) are essential for achieving countries' climate goals under the Paris Agreement. However, MRV for agroforestry systems is in its infancy and complex. Until 2019, the IPCC classified agroforestry under the “perennial crops” category (along with orchards, vineyards, and plantations for cocoa, coffee, tea, oil palm, coconut, rubber, and banana), except when these lands met the criteria for categorization as forest land (IPCC, 2006). Following the work of Cardinael et al., (2018), the 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines introduces Tier 1 default factors for carbon stocks in tree biomass for eight major types of agroforestry systems (IPCC, 2019; Ogle et al., 2019).

### Objectif / objectives :

Les objectifs de cette thèse sont de :

- i) Affiner les coefficients actuels de niveau 1 du GIEC pour le carbone des sols et la biomasse en agroforesterie (Cardinael et al., 2018) en mobilisant un jeu de données beaucoup plus conséquent, et élaborer des coefficients nationaux de niveau 2 quand c'est possible.
- ii) Synthétiser les relations allométriques développées pour les arbres en agroforesterie et évaluer leur pertinence pour prédire les stocks de carbone dans la biomasse des arbres, par rapport à l'utilisation courante de relations allométriques initialement développées pour des arbres forestiers.
- iii) Développer, tester et valider un outil statistique permettant d'estimer la séquestration potentielle du carbone (sol et biomasse) dans les systèmes agroforestiers.
- iv) Évaluer la capacité d'un modèle mécaniste relativement simple, DayCent, à simuler l'accumulation de carbone dans la biomasse des arbres et le sol en agroforesterie (Laub et al., 2025), afin d'obtenir des estimations de niveau 3.

The objectives of this PhD are to:

- i) Refine current IPCC Tier 1 default coefficients for biomass carbon and SOC in agroforestry systems per region, climate and type of agroforestry system (Cardinael et al., 2018), and develop national Tier 2 coefficients when possible.
- ii) Compile allometry equations used in agroforestry systems, and evaluate their accuracy to predict biomass carbon stocks compared to commonly used allometry equations developed for forests.
- iii) Develop, test and validate a statistical tool to estimate potential carbon sequestration (soil and biomass) in agroforestry.
- iv) Evaluate the capacity of a relatively simple process-based model, DayCent, to simulate carbon accumulation in tree biomass and soil under agroforestry (Laub et al., 2025) to move towards Tier 3 estimates at national scale.

### Méthode / methodology :

Le travail reposera en partie sur une base de données nouvelle développée sur le carbone (biomasse et sol) en agroforesterie au niveau global. Le jeu de données comprend également des informations sur les variables

pouvant expliquer les stocks de carbone dans la biomasse et dans le sol en agroforesterie, telles que le climat, le type de sol et les caractéristiques du sol, la densité et la diversité des arbres, la gestion des cultures associées, etc (Terasaki Hart, et al., 2023; Pappo et al., 2025). Des relations allométriques développées pour les systèmes agroforestiers ont également été collectées. Le modèle DayCent est un modèle d'agroécosystème de complexité intermédiaire et déjà utilisé par différents pays pour des estimations de niveau 3, mais pas encore pour de l'agroforesterie. Une étude récente en région tempérée a proposé l'approche ZonalCent, utilisant le modèle DayCent, pour estimer le potentiel de séquestration du carbone des systèmes agroforestiers à plus grande échelle (Laub et al., 2025). Ce modèle et cette approche seront testés dans un à deux sites du projet GALILEO (Kenya, Sénégal), caractérisés par un climat semi-aride à subhumide, avec des parcs agroforestiers, des arbres fruitiers ou des haies associées à des cultures annuelles, du maïs ou du mil et des légumineuses. Différents scénarios d'adoption de l'agroforesterie pourront être testés à l'échelle nationale afin d'estimer le potentiel de séquestration du carbone.

The work will be based in part on a new global database on carbon (biomass and soil) in agroforestry. The dataset also includes information on variables that may explain carbon stocks in biomass and soil in agroforestry, such as climate, soil type and characteristics, tree density and diversity, management of companion crops, etc. (Terasaki Hart, et al., 2023; Pappo et al., 2025). Allometric relationships developed for agroforestry systems have also been collected. The DayCent model is an agroecosystem model of intermediate complexity and is already used by various countries for Tier 3 estimates, but not yet for agroforestry. A recent study in a temperate region proposed the ZonalCent approach, using the DayCent model, to estimate the carbon sequestration potential of agroforestry systems on a larger scale (Laub et al., 2025). This model and approach will be tested at one or two GALILEO project sites (Kenya, Senegal), characterized by a semi-arid to sub-humid climate, featuring agroforestry with fruit trees, or hedgerows combined with annual crops such as maize, millet, and legumes. Various scenarios for agroforestry adoption can be tested at the national level to estimate carbon sequestration potential.

### Résultats attendus / expected results :

Plusieurs publications sont envisagées, notamment sur les facteurs d'émission Tier 1 et Tier 2 dans les systèmes agroforestiers à l'échelle globale, sur les équations allométriques utilisées en agroforesterie et leur conséquence sur l'estimation du carbone dans la biomasse des arbres, et sur l'utilisation du modèle DayCent. Les développements méthodologiques et les résultats obtenus dans cette thèse auront un impact en France comme au niveau international, notamment concernant la compatibilité carbone au niveau global.

Several publications are planned, including on Tier 1 and Tier 2 emission factors in agroforestry systems at the global scale, on allometric equations used in agroforestry and their implications for estimating carbon in tree biomass, and on the use of the DayCent model. The methodological developments and results obtained in this thesis will have an impact both in France and internationally, particularly regarding global carbon compatibility.

### Références bibliographiques / bibliographical references :

Cardinael, R., Cadisch, G., Gosme, M., Oelbermann, M., van Noordwijk, M., 2021. Climate change mitigation and adaptation in agriculture: Why agroforestry should be part of the solution. *Agric. Ecosystem. Approximately.* 319, 107555. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107555>

Cardinael, R., Umulisa, V., Toudert, A., Olivier, A., Bockel, L., Bernoux, M., 2018. Revisiting IPCC Tier 1 coefficients for soil organic and biomass carbon storage in agroforestry systems. *Approximately. Res. Lett.* 13, 1–20. <https://doi.org/https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaeb5f>

Feliciano, D., Ledo, A., Hillier, J., Nayak, DR, 2018. Which agroforestry options give the greatest soil and above ground carbon benefits in different world regions? *Agric. Ecosystem. Approximately.* 254, 117–129. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.032>

Griscom, BW, Adams, J., Ellis, PW, Houghton, RA, Lomax, G., Miteva, DA, Schlesinger, WH, Shoch, D., Siikamäki, JV, Smith, P., Woodbury, P., Zganjar, C., Blackman, A., Campari, J., Conant, RT, Delgado, C., Elias, P., Gopalakrishna, T., Hamsik, MR, Herrero, M., Kiesecker, J., Landis, E., Laestadius, L., Leavitt, SM, Minnemeyer, S., Polasky, S., Potapov, P., Putz, FE, Sanderman, J., Silvius, M., Wollenberg, E., Fargione, J., 2017. Natural climate solutions. Proc. Natl. Acad. Sci. 114, 11645–11650. <https://doi.org/10.1073/pnas.1710465114>

IPCC, 2019. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Published: IPCC, Swi. <https://doi.org/10.21513/0207-2564-2019-2-05-13>

IPCC, 2006. Volume 4: Agriculture, forestry and other land use (AFOLU), in: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. p. 673.

Laub, M., Le Goff, U., Prébandier, M., Six, J., Cardinael, R., 2025. A novel approach to use the DayCent model for simulating agroforestry systems with multiple components. Agrofor. Syst. 99.25. <https://doi.org/10.1007/s10457-024-01127-y>

Mbow, C., Van Noordwijk, M., Luedeling, E., Neufeldt, H., Minang, PA, Kowero, G., 2014. Agroforestry solutions to address food security and climate change challenges in Africa. Curr. Opin. Approximately. Sustain. 6, 61–67. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.10.014>

Ogle, SM, Wakelin, SJ, Buendia, L., McConkey, B., Baldock, J., Akiyama, H., Kishimoto-Mo, AW, Chirinda, N., Bernoux, M., Bhattacharya, S., Chuersuwan, N., Goheer, MAR, Hergoualc'h, K., Ishizuka, S., Lasco, RD, Pan, X., Pathak, H., Regina, K., Sato, A., Vazquez-Amabile, G., Wang, C., Zheng, X., 2019. Cropland - Chapter 5, in: Volume 4 - Agriculture, Forestry and Other Land Use. 2019 Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC, Hayama, Japan. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>.

Pappo, E., Cook-Patton, S., Beillouin, D., Cardinael, R., Cesario, F., Culbertson, K., Griffey, V., Hall, J., Sprenkle-Hyppolite, S., Lovdal, A., Melikov, C., Rosenstock, T., Steward, P., Terasaki Hart, D., Bennett, R., 2025. Carbon payment strategies in coffee agroforests shape climate and biodiversity outcomes. Commun. Earth Environ. 6, 661. <https://doi.org/10.1038/s43247-025-02574-w>

Terasaki Hart, D., Yeo, S., Almaraz, M., Beillouin, D., Cardinael, R., Garcia, E., Kay, S., Lovell, S., Rosenstock, T., Sprenkle-Hyppolite, S., Stolle, F., Suber, M., Thapa, B., Wood, S., Cook-Patton, S., 2023. Priority Science Can Accelerate Agroforestry as a Natural Climate Solution. Nat. Clim. Chang. 13, 1179–1190. <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01810-5>

Verchot, L. V., Van Noordwijk, M., Kandji, S., Tomich, T., Ong, C., Albrecht, A., Mackensen, J., Bantilan, C., Anupama, K. V., Palm, C., 2007. Climate change: Linking adaptation and mitigation through agroforestry. Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang. 12, 901–918. <https://doi.org/10.1007/s11027-007-9105-6>

**Directeur de thèse (UMR DT et email) / PhD Director :**

Rémi Cardinael, Cirad, UR AIDA ([remi.cardinael@cirad.fr](mailto:remi.cardinael@cirad.fr))

**Co-directeur / PhD co-director :**

Guerric le Maire, Cirad, UMR Eco&Sols ([guerric.le\\_maire@cirad.fr](mailto:guerric.le_maire@cirad.fr))

**Ecole doctorale et filière / PhD-Graduate school and research area :**

GAIA, filière EFSA « Ecologie fonctionnelle et sciences agronomiques »

**Modalité d'encadrement de la thèse / supervision details :**

Le/la doctorant.e sera basé.e à Montpellier, France (UMR Eco&Sols).

The PhD student will be based in Montpellier, France (UMR Eco&Sols).

### Type de financement / type of funding :

Demie bourse Cirad, demie bourse projet Horizon Europe GALILEO (<https://galileo-project.eu/>)

### Etat du financement / Funding status :

Acquis / Secured

### Profil du/de la candidat.e / applicant profile :

- Master 2 en sciences de l'environnement
- Maîtrise du logiciel R
- Forte compétence en analyse de données, notamment apprentissage automatique
- Expérience en modélisation avec des modèle sols-plantes ou d'écosystème
- Expérience d'écriture d'articles scientifiques
  
- MSc in environmental sciences
- Proficiency in R software
- Strong skills in data analysis, especially machine learning
- Experience in modeling with soil-crop or ecosystem models
- Experience in writing scientific articles

### Compétences linguistiques / langage requirements :

Niveau requis minimum en français (suivant le CECRL): B2

Niveau requis minimum en anglais (suivant le CECRL): C1

Minimum French level: B2

Minimum English level: C1

### Modalité et renseignements sur la thèse :

#### Contacts et coordonnées pour votre candidature :

Les candidatures seront à envoyer par mail à Rémi Cardinael ([remi.cardinael@cirad.fr](mailto:remi.cardinael@cirad.fr)) et Gueric le Maire ([gueric.le\\_maire@cirad.fr](mailto:gueric.le_maire@cirad.fr)), en précisant le sujet de thèse « **Agroforestry PhD** » dans l'entête du mail et en y joignant les pièces suivantes :

- CV
- Lettre de motivation
- Notes complètes de Master M1 et M2 (ou équivalent si cursus Ingénieur). Si la deuxième année de master (M2) est en cours, nous fournir le dernier relevé disponible.
- Contact mail d'au moins 2 personnes référentes

**Aucune lettre de recommandation n'est acceptée. Tout dossier incomplet ne sera pas traité.**

Applications should be sent by e-mail to Rémi Cardinael ([remi.cardinael@cirad.fr](mailto:remi.cardinael@cirad.fr)) et Gueric le Maire ([gueric.le\\_maire@cirad.fr](mailto:gueric.le_maire@cirad.fr)), specifying the thesis subject « **Agroforestry PhD** » in the title of the email and enclosing the following documents:

- CV
- Cover letter
- Full marks from Master's courses 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> year (or equivalent if engineering course). If the second year of the Master's program (MSc) is in progress, please provide us with the most recent transcript available.
- Email address of at least two contact persons

**No letters of recommendation will be accepted. Incomplete applications will not be processed.**

[www.cirad.fr](http://www.cirad.fr) **Innovons ensemble pour les agricultures de demain**

## Le Cirad en bref

**Le Cirad est l'organisme français de recherche agronomique et de coopération internationale pour le développement durable des régions tropicales et méditerranéennes.**

Avec ses partenaires, il coconstruit des connaissances et des solutions pour des agricultures résilientes dans un monde plus durable et solidaire. Il mobilise la science, l'innovation et la formation afin d'atteindre les objectifs de développement durable. Il met son expertise au service de tous, des producteurs aux politiques publiques, pour favoriser la protection de la biodiversité, les transitions agroécologiques, la durabilité des systèmes alimentaires, la santé (des plantes, des animaux et des écosystèmes), le développement durable des territoires ruraux et leur résilience face au changement climatique. Présent sur tous les continents dans une cinquantaine de pays, le Cirad s'appuie sur les compétences de ses 1750 salariées et salariés, dont 1200 scientifiques, ainsi que sur un réseau mondial de 200 partenaires. Il apporte son soutien à la diplomatie scientifique de la France.

**CIRAD is the French agricultural research and international cooperation organisation working for the sustainable development of tropical and Mediterranean regions.**

It works with its partners to build knowledge and solutions for resilient farming systems in a more sustainable, inclusive world. It mobilises science, innovation and training in order to achieve the Sustainable Development Goals. Its expertise supports the entire range of stakeholders, from producers to public policymakers, to foster biodiversity protection, agroecological transitions, food system sustainability, health (of plants, animals and ecosystems), sustainable development of rural territories, and their resilience to climate change. CIRAD works in some fifty countries on every continent, thanks to the expertise of its 1750 staff members, including 1200 scientists, backed by a global network of some 200 partners. It also supports French science diplomacy operations.

Retrouvez plus d'informations sur notre site Internet : [www.cirad.fr](http://www.cirad.fr)



## SEPT BONNES RAISONS DE NOUS REJOINDRE :

### *Une entreprise porteuse de sens*

- **Contribuez à un monde plus durable** : Convaincu que les dimensions sociales et environnementale du développement sont nécessaires, le Cirad place le développement durable au cœur de son mandat. Il s'applique à être exemplaire dans ses pratiques et leurs impacts. Nos engagements : [Responsabilité sociétale](#)
- **Pratiquez une recherche utile et solidaire** : Intégrer le Cirad, c'est s'engager pour une science utile et solidaire. C'est donner un sens au travail. Pour assumer sa responsabilité vis-à-vis de la société, une délégation à la déontologie et à l'intégrité scientifique du Cirad a été créée en 2018 ainsi qu'un comité consultatif d'éthique commun à quatre organismes de recherche (INRAE, CIRAD, IFREMER, IRD). Voici nos [Engagements éthiques](#).
- **Collaborez à une ouverture vers le monde** : le Cirad construit dans la durée des relations fortes avec des institutions de pays tropicaux et méditerranéens et fait partie d'un réseau mondial de partenaires qui sont autant de moteurs et relais de ses actions dans plus de 100 pays.
- **Adhérez à nos engagements sur la diversité** : le Cirad a mis en place des accords d'entreprise sur l'égalité professionnelle femme-homme, l'inclusion professionnelle et le maintien dans l'emploi des personnes en situation de handicap, ainsi qu'un contrat génération.

### *Des conditions de travail motivantes*

- **Développez vos compétences** : le Cirad offre l'opportunité de suivre des formations adaptées et continues
- **Bénéficiez d'avantages sociaux**, comme la prise en charge partielle de l'assurance santé par le Cirad, la flexibilité des horaires, un accord d'entreprise sur le télétravail et sur l'articulation vie privée-vie professionnelle.
- **Bénéficiez en France des avantages socio-culturels du CSE** et d'une restauration *eco friendly*

[www.cirad.fr](http://www.cirad.fr) **Innovons ensemble pour les agricultures de demain**