

Notice 2

août 2024



TERRI4SOL

Restaurer les sols et les paysages  
forestiers dégradés de Côte d'Ivoire

# L'usage et les changements d'usage des terres en Afrique de l'Ouest et son influence sur le carbone du sol

Antoine Perrier, Julien Demenois, Camille Piponiot-Laroche,  
Carolina Milhorance, Vincent Freycon



**cirad**  
LA RECHERCHE AGRONOMIQUE  
POUR LE DÉVELOPPEMENT



**nitidæ**  
filières & territoires



Cette étude a bénéficié de l'appui financier de  
**FONDS FRANÇAIS POUR  
L'ENVIRONNEMENT MONDIAL**



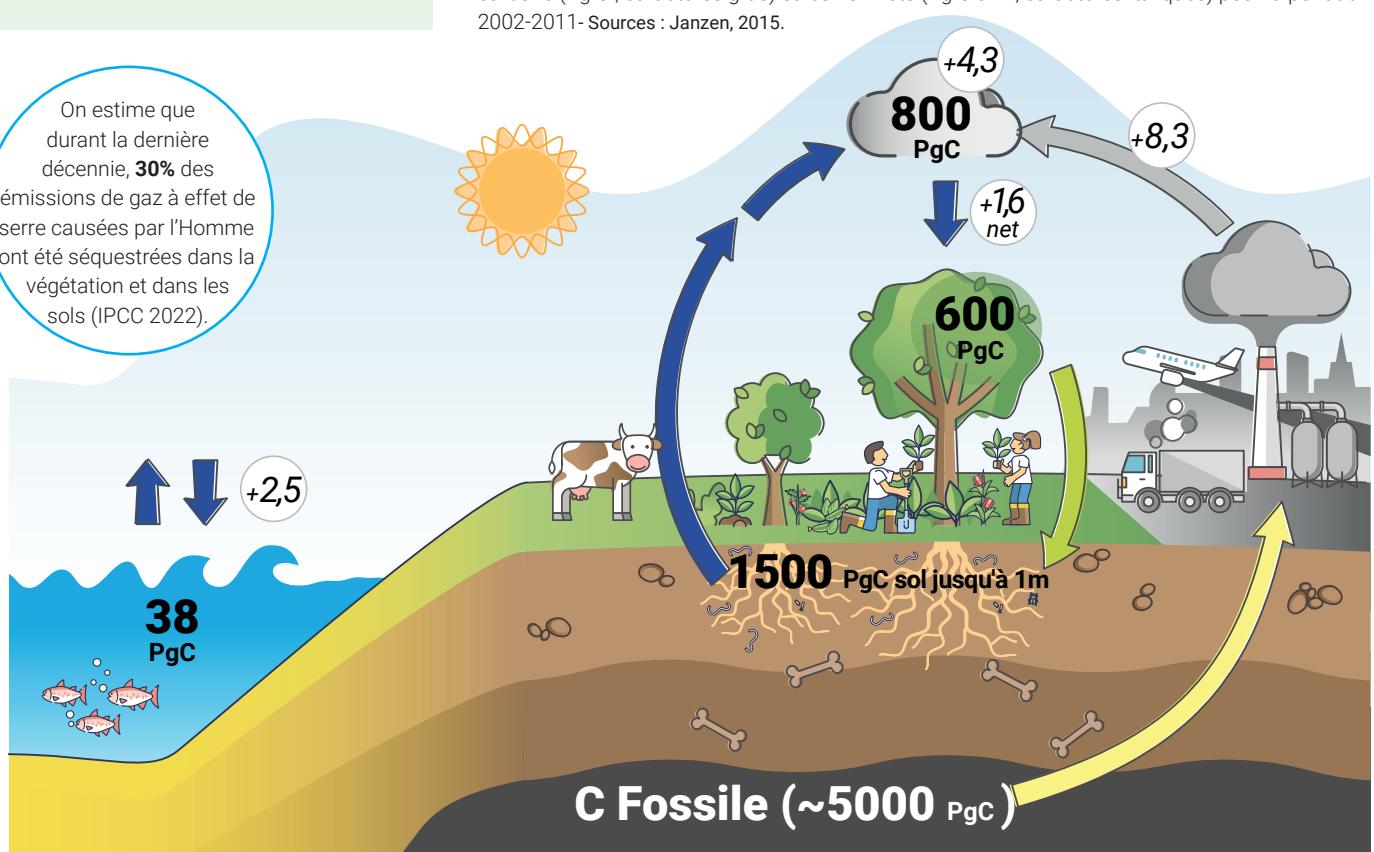
## 3 MESSAGES CLÉS

● Une teneur en Carbone Organique du Sol (COS) plus importante garantit au sol de meilleures propriétés physiques, chimiques et biologiques d'un point de vue agronomique. Ces propriétés agronomiques seront également plus stables et moins impactées par les variations climatiques. Le COS est donc un bien économique et productif pour le paysan.

● Les différents usages des terres présentent des teneurs différentes en COS. La forêt est l'usage des terres qui stocke le plus de COS. Le changement d'usage des terres\* est le principal facteur influençant les stocks de COS à l'échelle subrégionale. La déforestation est le changement d'usage des terres le plus négatif pour les stocks de COS.

● Les changements d'usage des terres qui ont eu lieu dans les pays d'Afrique de l'Ouest comme en Côte-d'Ivoire pourraient survenir dans la région du Bassin du Congo (notamment en République Démocratique du Congo). Cela provoquerait la déforestation de vastes zones naturelles et modifierait considérablement la teneur en COS des sols\* de la région.

On estime que durant la dernière décennie, 30% des émissions de gaz à effet de serre causées par l'Homme ont été séquestrées dans la végétation et dans les sols (IPCC 2022).



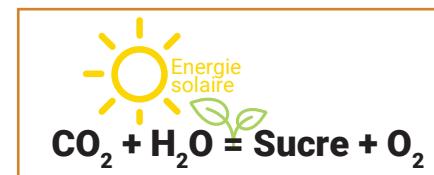
## Enjeux locaux, conséquences mondiales

**Le Carbone Organique du Sol\* (COS) est une richesse pour les agriculteurs et pour l'humanité, mais une richesse menacée**

Le COS\* présente une double importance justifiant de connaître sa dynamique. Pour les paysans, le COS est un bien économique et un moyen de production (Manlay *et al.*, 2002) du fait de son importance dans la fertilité\* et la production des sols agricoles (Feller, 1995). Pour l'humanité, le COS a une importance vitale car c'est une forme du carbone qui est séquestrée dans le sol (*figure 1*). Il permet d'absorber une partie du carbone de l'atmosphère et atténue les dérèglements climatiques planétaires (Manlay *et al.*, 2002).

Or les changements d'usage des terres en Afrique subsaharienne, notamment la conversion des forêts en culture, sont responsables de 35% des émissions de gaz à effet de serre régionales (Valentini *et al.*, 2014). Sur l'ensemble du continent africain, les scientifiques

Figure 2 : équation simplifiée de la photosynthèse



estiment que 22% des terres présentent des signes de dégradation, se traduisant par des baisses de rendement et des pertes de COS (Forsell *et al.*, 2016). Cette note de synthèse se focalisera sur l'Afrique de l'Ouest tropicale dont les richesses proviennent majoritairement du secteur primaire de l'agriculture (comme la Côte-d'Ivoire pour laquelle 22% de son PIB provient du secteur agricole). De cette importance économique, sociale et environnementale de l'agriculture découlent des réflexions croissantes sur les influences des changements d'usage des terres sur le COS.

| \* Mots définis dans le lexique page 7

Figure 1 : Vue d'ensemble du cycle mondial du carbone, montrant les principaux stocks de carbone (Pg C ; caractères gras) et les flux nets (Pg C an<sup>-1</sup> ; caractères italiens) pour la période 2002-2011- Sources : Janzen, 2015.

## Les origines du COS et ses effets bénéfiques

Le carbone est un atome qui se trouve dans l'atmosphère sous forme de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ... Il est mobilisé par les plantes au cours de la photosynthèse via l'absorption de  $\text{CO}_2$  (*figure 2*). Cette réaction utilisant l'énergie solaire permet aux plantes de croître. Les atomes de carbone se retrouvent alors « piégés » dans la plante. Cela représente une première forme de séquestration\* du carbone. Ensuite, la plante meurt et une partie du carbone est à nouveau libéré dans l'atmosphère tandis qu'une autre partie est séquestrée au sein du sol pour former le Carbone Organique du Sol (COS).

Le COS rend des services agronomiques. Il améliore la stabilité structurale d'un sol le rendant moins susceptible à l'érosion (Feller, 1995) et à la sécheresse (Chevallier *et al.*, 2015). Le COS représente également un apport chimique de nutriments (Feller, 1995) à plus ou moins long terme (*figure 3*) (Olness & Clapp, 1972 ; Schmidt *et al.*, 2011).

Ces propriétés sont intéressantes pour les agriculteurs qui utilisent des intrants de synthèse (Ruf *et al.*, 2019 pour les paysans ivoiriens), souvent de provenance étrangère et donc soumis aux aléas géopolitiques mondiaux.

Du point de vue global, le COS limite la présence de  $\text{CO}_2$ , un gaz à effet de serre de l'atmosphère et joue ainsi un véritable rôle tampon.

Figure 4 : Les différents facteurs influençant la teneur de COS à différentes échelles (inspirée de Wiesmeier *et al.*, 2019).

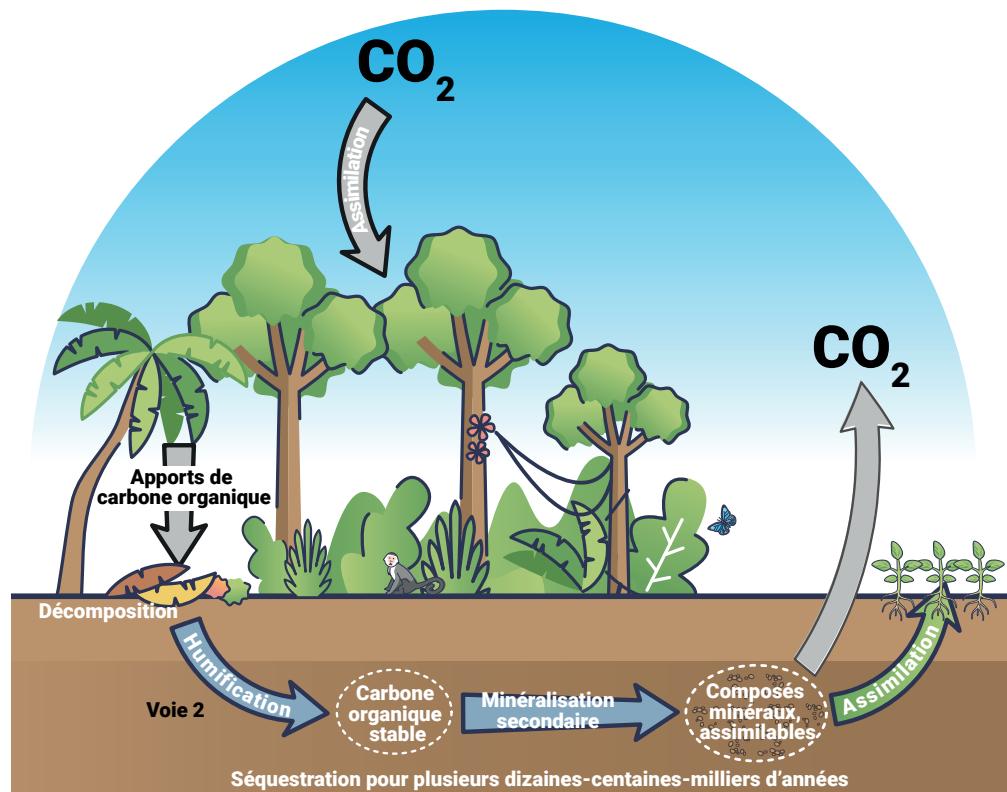


Figure 3 : Le cycle du carbone : de la dégradation de la matière organique à son retour dans l'atmosphère, en passant par sa séquestration au sein du sol sous forme de COS.

## Les changements d'usage des terres\* : dynamismes et influences sur le COS

### a) Les changements d'usage des terres en Afrique de l'Ouest tropicale sont massivement liés à la déforestation

Afrique de l'Ouest est marquée par des changements très importants de l'usage des terres, notamment via la déforestation en zone tropicale. Cette destruction des forêts denses, des forêts claires et des savanes boisées (Barima *et al.*, 2009 ; Cotillon, 2017) se fait au profit des surfaces agricoles (Cotillon, 2017) notamment pour l'implantation de cultures de rentes comme en Côte-d'Ivoire (Ruf, 2009) et des cultures

vivrières paysannes (Barima *et al.*, 2009 ; Cotillon, 2017). Les paysages d'Afrique de l'Ouest se transforment donc peu à peu en mosaïque de cultures, de forêts exploitées et dégradées, de savane et de quelques îlots forestiers encore denses se trouvant généralement dans des zones moins accessibles, vestiges des vastes massifs boisés du XX<sup>e</sup> siècle (Barima *et al.*, 2009).

### b) Les teneurs en COS varient fortement en fonction des changements d'usage des terres

Le changement d'usage des terres est l'un des facteurs les plus importants dans les variations de COS à l'échelle paysagère (*figure 4*) (Wiesmeier *et al.*, 2019). Ainsi la déforestation d'une parcelle engendre une baisse brutale de la teneur en COS durant au moins une dizaine d'années (Covington, 1981 ; Diallo, 2023).

Cette baisse est due d'une part à la diminution des apports de litières par les végétaux (Mbagou Mwe-zue *et al.*, 2021 ; Lal, 2014) et d'autre part à une sortie accélérée du COS : érosion du sol accrue par l'absence d'un couvert végétal (Dabin, 1981), minéralisation plus importante par modification du microclimat (Bormann, 1974) ou encore

## L'AGROFORESTERIE\* : un usage des terres hybride permettant un meilleur contrôle du COS mais son développement fait face à des défis

- L'adoption de systèmes agroforestiers est de plus en plus encouragée par les politiques et les instituts de recherche en Afrique de l'Ouest tropicale (CIRAD, 2022)

- Elle permet notamment d'augmenter le stockage\* du COS (Beillouin et al., 2023), d'augmenter la fertilité du sol\* et de mieux gérer la ressource en eau. Ces bénéfices s'expliquent par l'augmentation des apports de litière, la limitation de l'érosion (figure 6), la baisse de la

température au sol... Ainsi, en système agroforestier de cacao, les teneurs en COS atteignent parfois un niveau proche du COS de forêt (Seghieri & Harmand, 2019) ! D'un point de vue technique, les systèmes agroforestiers présentent donc de nombreux avantages qui mériteraient d'être mobilisés.

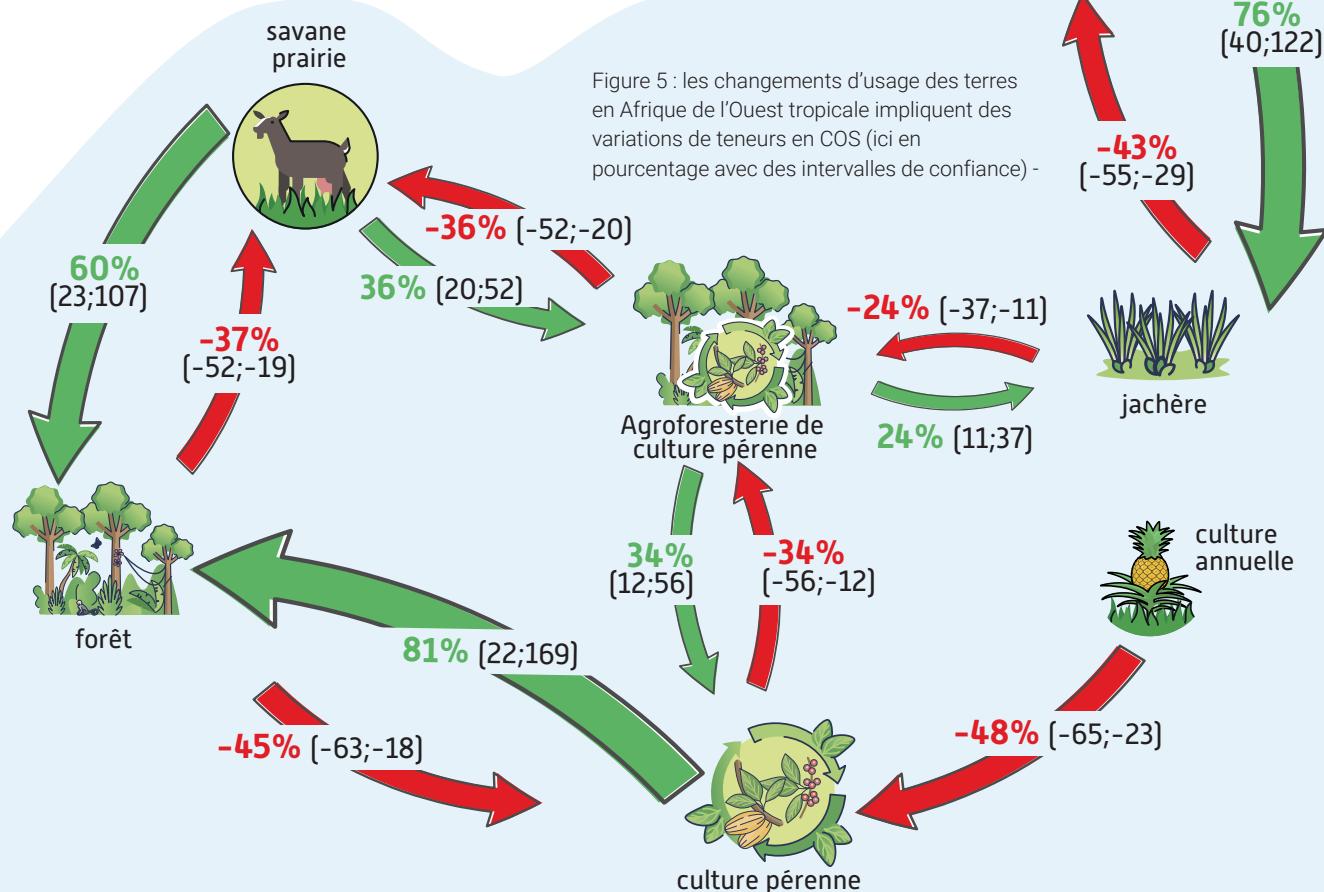
- L'agroforesterie s'est ainsi intégrée dans les discours politiques et les normes de durabilité, notamment à l'échelle

étatique et privée avec le secteur chocolatier comme en Côte-d'Ivoire. Cependant, sa mise en œuvre pratique génère des controverses dues à des visions divergentes sur les objectifs de production et de commercialisation du cacao d'une part, et les impératifs environnementaux d'autre part. Cela engendre alors des obstacles au bon développement de l'agroforesterie. (voir le paragraphe p.6)

changements dans la structure physique du sol (Balesdent et al., 1987). La baisse de COS dépend ensuite de l'usage qui est fait de la terre suite au défrichement (figure 5) (Bessimory et al., 2023 ; Beillouin et al., 2023 ; Maillard & Angers, 2014 ; Luo et al., 2010).

Ces variations de COS peuvent être temporaires : après 80 ans d'agroforesterie sur des parcelles avec des histoires

différentes, les teneurs en COS étaient similaires (Nijmeijer et al., 2019). Également, la reforestation de parcelles dédiées aux cultures ou aux pâturages pendant plusieurs dizaines d'années ont permis un gain de COS (Laganière et al., 2010). Ainsi, certaines utilisations des terres permettraient de retrouver des teneurs en COS relativement importantes et potentiellement proches des taux de COS élevés des zones forestières.



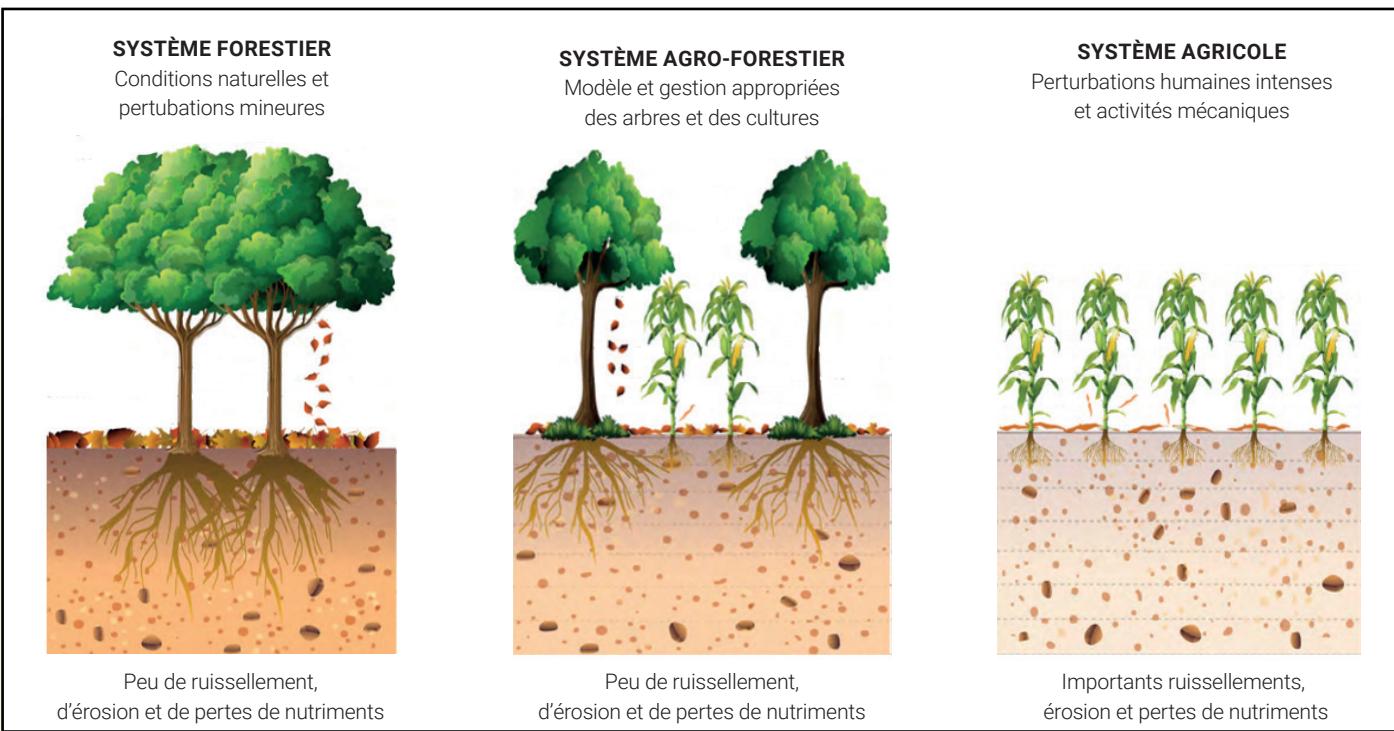


Figure 6 : Caractéristiques de l'agroforesterie et leur impact potentiel sur les processus de réduction des pertes d'eau, de sol et de nutriments, par rapport à la forêt naturelle et aux systèmes agricoles conventionnels, sur la base de la littérature présentée dans le texte principal - Source : Zhu et al., 2020.

## Quelles perspectives ?

### a) Quel futur pour les sols et les forêts de l'Afrique de l'Ouest : le cas de la Côte-d'Ivoire ?

Les vestiges de forêts encore existants en Côte-d'Ivoire (*figure 7*) font l'objet de préoccupations majeures pour les scientifiques et l'Etat ivoirien. Au rythme actuel de la déforestation, la couverture forestière du pays passera en dessous des 2 millions d'hectares en 2035 du fait de l'extension toujours plus importante

des terres utilisées pour la culture de cacao, d'hévéa, d'anacarde et de palmier à huile. Cette défriche qui continue provoque la baisse de la séquestration de carbone ou des changements dans le régime des pluies à l'échelle multinationale (Pirard et al., 2021). Cela va donc présenter de véritables défis pour l'agriculture de Côte-d'Ivoire

avec comme enjeux le maintien de la stabilité environnementale, économique et sociale (FAO, ICRISAT, CIAT, 2018).

Face à ces défis, l'Etat ivoirien a décidé d'accélérer le développement des systèmes agroforestiers, présentés comme étant un usage des terres plus durable et largement salué par les entreprises d'agribusiness

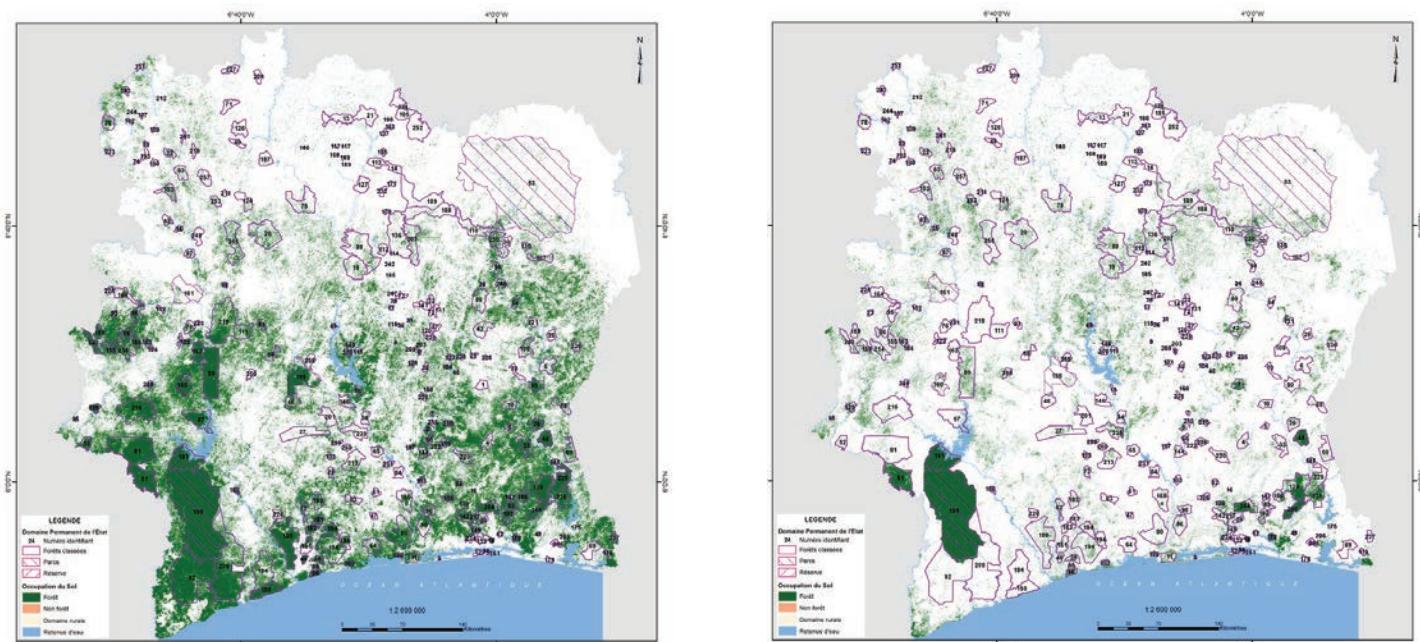


Figure 7 : Évolution de la couverture forestière (symbolisée en vert) entre 1986 et 2015 en Côte-d'Ivoire - Sources : L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, 2017.

## TENEUR ET STOCK DE CARBONE DANS LES SOLS

- La teneur en carbone organique d'un sol est mesurée en laboratoire sur un échantillon de sol tamisé et broyé. Son unité est exprimée en gC/kg de sol.

- La teneur en matière organique du sol est calculée en multipliant la teneur en carbone organique du sol par 1,72 ou 2 selon les sources. En effet le carbone organique est un constituant principal de la matière organique. Il représente généralement un peu plus de 50% des éléments composants la matière organique.

- Le stock de carbone d'un sol représente la masse de l'élément carbone présent sur une surface donnée, elle se calcule comme suit :

$$Scos = COS \times E \times Da \times (1 - EG)$$

*Scos = le stock de carbone organique du sol en tC/ha*

*COS = la teneur en carbone organique du sol en gC/kg*

*E = l'épaisseur de l'horizon du sol en cm*

*Da = la densité apparente de l'horizon du sol en g/cm³*

*EG = le pourcentage massique d'éléments grossiers du sol*

cacaoyères. Mais cette accélération provoque des controverses. Le nouveau code forestier de 2021 permet par exemple que les forêts classées présentant un taux de dégradation supérieur à 75 % puissent être converties en Agro-Forêts. L'agriculture est donc désormais autorisée, mais uniquement sous la forme d'agroforesterie (Di Roberto et al., 2023 ; Ministère des Eaux et Forêts, 2018), ouvrant la voie à de potentielles dérives.

La diffusion de l'agroforesterie se heurte également à des obstacles de définition : • quel est le nombre minimum d'arbres ou

d'essences différents sur une parcelle pour pouvoir la qualifier d'agroforestière ?

- une forêt dégradée dans le but d'y implanter un système agroforestier peut-elle être classée comme durable et présenter les certifications agroforestières (Di Roberto et al., 2023 ; Zo-Bi & Hérault, 2023) ?

Toutes ces nuances scientifiques, politiques, économiques et sociales nécessitent une prise en compte lors du développement du système agroforestier afin qu'il puisse être l'une des solutions à la dégradation des sols post-forestiers de Côte-d'Ivoire.

### b) Une histoire ivoirienne et ouest africaine riche d'enseignements pour la forêt du Bassin du Congo

a déforestation en Côte-d'Ivoire a permis au pays de devenir une véritable puissance agricole permettant une croissance économique très forte notamment au XX<sup>e</sup> siècle. Mais si la déforestation s'est maintenant ralentie d'environ un tiers en Côte-d'Ivoire entre 1986 et 2015 (L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture 2017) elle s'accélère en Afrique Centrale où les pressions anthropiques étaient auparavant faibles (*figure 8*) (Réjou-Méchain et al., 2021).

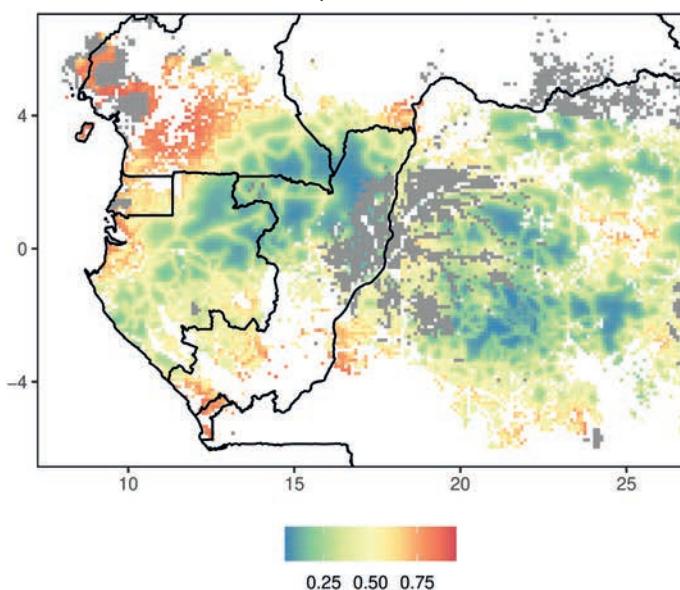
Ainsi, située au cœur du bassin forestier du Congo, la République Démocratique du Congo amorce sa transition forestière avec, depuis plusieurs années, une baisse de son couvert forestier en

lien avec le développement du pays (Mosnier et al., 2016). Pour développer sa croissance agronomique et réduire la pauvreté, le gouvernement congolais entend encourager les investissements étrangers notamment dans le domaine de l'agrobusiness (« Plan National D'investissement Agricole en RDC (PNIA) 2014-2020 », 2014).

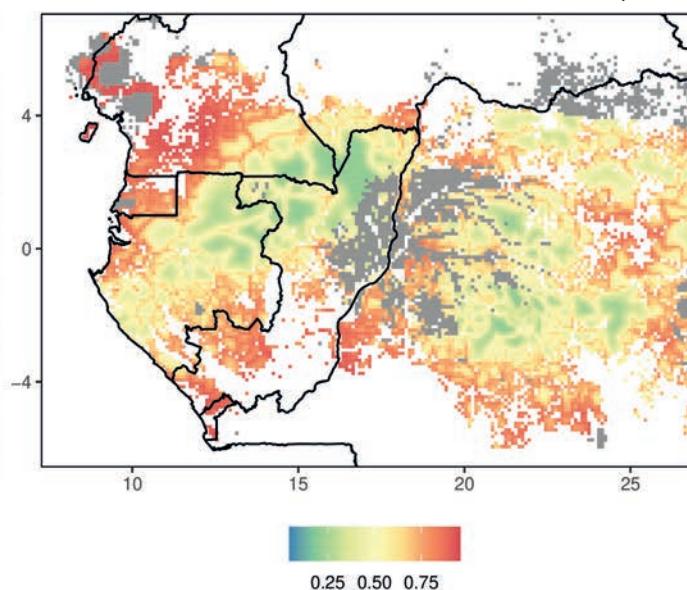
Une accélération de la déforestation pourrait alors conduire à une dégradation irréversible des sols et donc à des pertes du COS de la région. Ces dégradations auraient de très lourdes conséquences à toutes les échelles : pour les paysans locaux et pour le dérèglement climatique planétaire.

Figure 8 : Distribution spatiale de la pression anthropique sur les forêts du Bassin du Congo en 2021 (gauche) et prévision pour l'année 2085 (droite). Le rouge indique une pression anthropique forte tandis que le bleu indique une pression inexistant ou très faible - Sources : Réjou-Méchain et al. 2021.

A PRESSION ANTHROPIQUE ACTUELLE



B PROJECTION EN 2085 DE LA PRESSION ANTHROPIQUE



# LEXIQUE

## AGROFORESTERIE

« L'agroforesterie recouvre l'ensemble des pratiques agricoles qui associent sur une même parcelle, des arbres sous toutes leurs formes (haies, alignements, bosquets, ...) à une culture agricole et/ou de l'élevage. » (« L'agroforesterie, définition », s.d.). C'est une « agriculture multifonctionnelle (Leakey, 2010) qui aborde les questions de fertilité des sols, réhabilitation des terres dégradées, la restauration de la biodiversité aérienne et souterraine, la séquestration du carbone et la protection des sols des bassins versants » (Wasseige et al., 2014).

## CARBONE DU SOL

Le carbone du sol se présente sous deux formes (Duchaufour, 1984 ; Elzein & Balesdent, 1995) :

- **Le carbone organique**, qui se présente lui-même sous deux formes :
  - Le carbone présent dans la matière vivante du sol (racine, microorganismes...)
  - La matière organique morte et stable (COS)
- **Le carbone inorganique**, qui est présent essentiellement sous forme de carbonates - CaCO<sub>3</sub>.

## CHANGEMENT D'USAGE DES TERRES / CHANGEMENT D'AFFECTATION DES TERRES

Terme désignant un changement apporté par l'Homme dans l'utilisation ou la gestion des terres, qui peut entraîner une modification de la

couverture terrestre. Tant cette modification que le changement d'usage des terres peuvent avoir une incidence sur l'albédo de la surface, l'évapotranspiration, les sources et les puits de gaz à effet de serre ou sur d'autres propriétés du système climatique et peuvent donc entraîner un forçage radiatif et/ou avoir d'autres répercussions sur le climat, à l'échelle locale ou mondiale (IPCC, 2022).

## FERTILITÉ D'UN SOL

Capacité d'un sol à produire sous son climat, cette aptitude se mesure à l'abondance des récoltes qu'il porte lorsqu'on lui applique les pratiques agricoles qui lui conviennent le mieux (Lozet & Mathieu, 1986).

La fertilité d'un sol est évaluée par 3 types de propriétés : chimiques, biologiques et physiques. La fertilité globale est davantage une interaction entre ces propriétés que leur simple somme (Faedy, 2003).

## PRATIQUES AGRICOLES

Choix de l'agriculteur dans sa manière d'agir compte tenu de ses objectifs et de sa situation propre (contexte environnemental, social et économique) (Teissier, 1979).

## SOL

Le sol est constitué de constituants minéraux, organiques et d'êtres vivants. Il est caractérisé par des propriétés physiques, chimiques et biologiques (Joffe d'après Dabin & Segalen, 1970).

Un sol est constitué de 3 phases : solide, liquide et gazeuse. Le sol présente une circulation continue des phases liquides et gazeuses au sein et entre les phases solides (Fardeau, 2015).

## SÉQUESTRATION DE CARBONE DANS LE SOL

La séquestration de carbone dans le sol est le retrait net de CO<sub>2</sub> de l'atmosphère résultant du transfert de son carbone dans des compartiments à temps de renouvellement lent du carbone organique du sol (Pellerin et al., 2019).

## STOCKAGE DE CARBONE DANS LE SOL

Le stockage dépend des entrées et des sorties de carbone (Derrien et al., 2016). Le stockage est l'augmentation du stock de carbone dans le temps. Le déstockage (ou stockage négatif) est une diminution (Pellerin et al., 2019).

## USAGE DES TERRES

Pratiques d'utilisation des terres par les sociétés humaines pour diverses activités socio-économiques. Ces pratiques peuvent entraîner des modifications des écosystèmes, de la diversité biologique, du cycle de l'eau et du climat » (Wasseige et al., 2014). Ce terme est également utilisé pour définir les objectifs sociaux et économiques de l'exploitation des terres (pâturage, exploitation forestière, conservation, etc.) (GIEC, 2013).

# Références

- ✉ Barima, Y., Barbier, N., Bamba, I., Traoré, D., Lejoly, J., Bogaert (2009). Dynamique paysagère en milieu de transition forêt-savane ivoirienne. BOIS & FORETS DES TROPPIQUES, 299, 15. <https://doi.org/10.19182/bft2009.299.a20419>
- ✉ Beillouin, D., Corbeels, M., Demenois, J., Berre, D., Boyer, A., Fallot, A., Cardinael, R. (2023). A global meta-analysis of soil organic carbon in the Anthropocene. Nature Communications, 14(1), 3700. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-39338-z>
- ✉ Bessimory, T., Ferdinand, Z. B. G., Damien, A. A. H., Hortense, Y. E. (2023). Potentiel de stockage du carbone organique dans des sols sous trois types de cultures pérennes (cacao, hévéa et palmier à huile) dans le département de Daloa (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). International Journal of Innovation and Applied Studies, 39(2), 878-886.
- ✉ Bormann, F. H. G. E., Likens, Siccama, T. G., Pierce, R. S., Eaton, J. S. (1974). The export of nutrients and recovery of stable conditions following deforestation at Hubbard Brook. Ecological Monographs, 44, 255-277.
- ✉ Chevallier, T., Cardinael, R., Béra, C., Chenu, C., Bernoux, M. (2015). L'agroforesterie permet-elle de concilier production agricole et atténuation du changement climatique ? Forêt-entreprise, (225), 49-54.
- ✉ CIRAD. (2022, 1 décembre). Synthèse de la feuille de route cacao. Vers une cacaoculture durable [2022-2032]. CIRAD.
- ✉ Cotillon, S. E. (2017). West Africa land use and land cover time series (Rapport No. 2017-3004). Fact Sheet. U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/fs20173004>
- ✉ Covington, W. W. (1981). Changes in forest floor organic matter and nutrient content following clear cutting in the northern hardwoods. Ecology, 62(1), 41-48.
- ✉ Dabin, B. (1981). Les matières organiques dans les sols tropicaux normalement drainés, 18(3-4), 197-215.
- ✉ Dabin, B., Ségalen, P. (1970). Le sol, sa définition, ses constituants. Techniques rurales en Afrique : Pédologie et développement. 10, 29-42.
- ✉ Derrien, D., Dignac, M.-F., Basile-Doelsch, I., Barot, S., Cécillon, L., Chenu, C., ... Barré, P. (2016). Stocker du C dans les sols: Quels mécanismes, quelles pratiques agricoles, quels indicateurs? Etude et Gestion des Sols, 33.
- ✉ Di Roberto, H., Milhorance, C., Sokhna Dieng, N., Sanial, E. (2023). L'agroforesterie en contexte post-forêt : perspectives et controverses d'une mise à l'agenda politique en Côte d'Ivoire. BOIS & FORETS DES TROPPIQUES, 356, 81-91. <https://doi.org/10.19182/bft2023.356.a37121>
- ✉ Diallo, R. (2023). Impacts de la déforestation et des usages actuels des terres sur le Carbone Organique des Sols d'une zone post-forêt (Behiri, département de Lôh Djiboua) de Côte d'Ivoire.
- ✉ Duchaufour, P. (1984). Abrégé de pédologie.
- ✉ Eba'a Atyi, R., Hiol Hiol, F., Lescuyer, G., Mayaux, P., Defourny, P., Bayol, N., ... Nasi, R. (2022). Les Forêts du Bassin du Congo : Etat des Forêts 2021. Bogor, Indonésie : CIFOR.
- ✉ Elzein, A., Balesdent, J. (1995). Gestion du patrimoine organique des sols viticoles. ENTAV-ITV.
- ✉ Faedy, L. (2003). Introduction du président du GEMAS. In : Thévenet, G., Faedy, L. Les fertilités des sols et les systèmes de cultures, 9-11. Imprimerie Saint-François. Blois.
- ✉ FAO, ICRISAT, CIAT. (2018). Climate-Smart Agriculture in Côte d'Ivoire. Rome, Italy : International Center for Tropical Agriculture (CIAT); International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT); Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Repéré à <https://www.fao.org/3/ca1322en/CA1322EN.pdf>
- ✉ Fardeau, J.-C. (2015). Des indicateurs de la fertilité des sols. Etude et Gestion des Sols, 22, 77-100.

# Références

- ⊕ Feller, C. (1995). La matière organique du sol : un indicateur de la fertilité. Application aux zones sahélienne et soudanienne. Agriculture et Développement. Repéré à <https://agritrop.cirad.fr/387865/>
- ⊕ Forsell, N., Turkovska, O., Gusti, M., Obersteiner, M., Elzen, M. D., Havlik, P. (2016). Usages des sols et pratiques agricoles en Afrique. Impacts sur le carbone des sols. Résumé à l'attention des décideurs et négociateurs pour l'agriculture. *Carbon Balance and Management*, 11(1), 4. <https://doi.org/10.1186/s13021-016-0068-3>
- ▣ GIEC. (2013). Glossaire [Planton, S. (coord.)]. In: *Changements climatiques 2013: Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K., Plattner, M., Tignor, S.K., Allen, J., Boschung, A., Nauels, Y., Xia, V., Bex et PM., Midgley (dir. publ.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, NY, États-Unis d'Amérique.
- ▣ IPCC. (2022). In *Climate Change 2022: Mitigation Of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report (AR6) of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Technical Summary.
- ⊕ Janzen, H. H. (2015). Beyond carbon sequestration: soil as conduit of solar energy. *European Journal of Soil Science*, 66(1), 19-32. <https://doi.org/10.1111/ejss.12194>
- ⊕ Laganière, J., Angers, D. A., Paré, D. (2010). Carbon accumulation in agricultural soils after afforestation: a meta-analysis. *Global Change Biology*, 16(1), 439-453. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01930.x>
- ▣ Lal, R., Soil Conservation and Ecosystem Services. *International Soil and Water Conservation Research*, 2, 36-47.
- ▣ Leakey, R.R.B. (2010). Agroforestry : a delivery mechanism for Multi-functional Agriculture. In : *Handbook on Agroforestry : Management Practices and Environmental Impact*, 461471, Ed. Lawrence R. Kellimore. Nova Science Publishers. Environmental Science, Engineering and Technology Series. USA
- ▣ Lozet, J., Mathieu, C. (1986). *Dictionnaire de science du sol*. Technique & Documentation Lavoisier. 269p.
- ▣ Luo, Z., Wang, E., Sun, O. J. (2010). Can no-tillage stimulate carbon sequestration in agricultural soils? A meta-analysis of paired experiments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 139, 224-231.
- ⊕ Lagroforesterie, définition. (s.d.). Agroforesterie Association Française. Repéré à <https://www.agroforesterie.fr/agroforesterie-definition/>
- ▣ L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, L. S. E. P. R. (2017). Données forestières de base pour la REDD+ en Côte d'Ivoire, cartographie de la dynamique forestière de 1986 à 2015. Abidjan : FAO. PNUD ; PNUD ; ONU-REDD; REDD+ Côte-d'Ivoire.
- ▣ Maillard, É., Angers, D. A. (2014). Animal manure application and soil organic carbon stocks : a meta-analysis. *Change Biol*, 20, 666-679.
- ▣ Manlay, R. J., Kairé, M., Masse, D., Chotte, J.-L., Ciorni, G., Floret, C. (2002). Carbon, nitrogen and phosphorus allocation in agro-ecosystems of a West African savanna I. The plant component under semi-permanent cultivation.
- ▣ Mbagou mwe-zue ona I. E, Endamane N, Eba F, Mendoume minko D. (2021). Impacts de l'heveaculture (hévéa brasiliensis) sur les caractéristiques physico-chimiques des sols dans la région de Kango (N-W, Gabon). *Agronomie Africaine*, 33(2), 133-148.
- ⊕ Ministère des Eaux et Forêts. (2018, 9 juillet). Politique de Préservation de Réhabilitation et d'Extension des Forêts. Côte-d'Ivoire. Repéré à <https://eauxetforets.gouv.ci/communique/politique-de-preservation-de-rehabilitation-et-extension-des-forets>
- ⊕ Mosnier, A., Mant, R., Pirker, J., Bodin, B., Bokelo, D., Tonga, P., ... Tadoum, M. (2016). Futures émissions issues de la déforestation et de la dégradation forestière et impacts sur la biodiversité : un modèle économique spatial pour la République Démocratique du Congo. IIASA; UNEP-WCMC; COMIFAC. Repéré à [https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/13775/13/DRC\\_Deliv\\_2016\\_FRA\\_28Feb2017.pdf](https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/13775/13/DRC_Deliv_2016_FRA_28Feb2017.pdf)
- ⊕ Nijmeijer, A., Lauri, P.-E., Harmand, J.-M., Freschet, G. T., Essobo Nieboukaho, J.-D., Fogang, P. K., ... Saj, S. (2019). Long-term dynamics of cocoa agroforestry systems established on lands previously occupied by savannah or forests. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 275, 100-111. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.02.004>
- ▣ Olnes, A., Clapp, C.E. (1972). Microbial degradation of a montmorillonite-dextran complex. *Soil Science Society of America Proceedings*, 36, 179-181.
- ⊕ Pellerin, S. et al. (2019). Stocker du carbone dans les sols français - Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 2000 et à quel coût ? Synthèse du rapport d'étude. INRA (France). 114p.
- ⊕ Pirard, R., Cuny, P., Plancheron, F., Moynot, G., Rageade, M., Leclercq, P.E. (2021). Inventaire forestier & faunistique de la Côte d'Ivoire. Nogent-sur-Marne, France : ONF International. Repéré à [https://www.onfinternational.org/wp-content/uploads/2023/02/ONFI\\_IFFN\\_Cote\\_Ivoire.pdf](https://www.onfinternational.org/wp-content/uploads/2023/02/ONFI_IFFN_Cote_Ivoire.pdf)
- ⊕ Plan National D'investissement Agricole en RDC (PNIA) 2014-2020. (2014, 1 janvier). Repéré à <https://faolex.fao.org/docs/pdf/cng146463.pdf>
- ⊕ Réjou-Méchain, M., Mortier, F., Bastin, J.-F., Cornu, G., Barbier, N., Bayol, N., ... Gourlet-Fleury, S. (2021). Unveiling African rainforest composition and vulnerability to global change. *Nature*, 593(7857), 90-94. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03483-6>
- ▣ Ruf, F. (2009). Les cycles du cacao en Côte-d'Ivoire : la mise en cause d'un modèle. In *Le modèle ivoirien en question. Crises, ajustements, recompositions*. Karthala-ORSTOM. Paris, France, 249-264.
- ⊕ Ruf, F., Kone, S., Bebo, B. (2019). Le boom de l'anacarde en Côte d'Ivoire : transition écologique et sociale des systèmes à base de coton et de cacao. *Cahiers Agricultures*, 28, 21. <https://doi.org/10.1051/cagri/2019019>
- ▣ Schmidt, M.W.I., Torn, M.S., Abiven, S., Dittmar, T., Guggenberger, G., Janssens, I.A., Kleber, M., Kögel, Knabner, I., Lehmann, J., Manning, M., Nannipieri, P., Rasse, D.P., Weiner, S., Trumbore, S.E. (2011). Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature*, 478, 49-56.
- ⊕ Seghieri, J., Harmand, J.-M. (2019). Agroforesterie et services écosystémiques en zone tropicale. (S.I.) : éditions Quae. <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-3059-4>
- ▣ Teissier, J. H. (1979). Relations entre techniques et pratiques. INRAP. 38, 19 p.
- ⊕ Valentini, R., Arneth, A., Bombelli, A., Castaldi, S., Cazzolla Gatti, R., Chevallier, F., ... Scholes, R. J. (2014). A full greenhouse gases budget of Africa: synthesis, uncertainties, and vulnerabilities. *Biogeosciences*, 11(2), 381-407. <https://doi.org/10.5194/bg-11-381-2014>
- ▣ Wasseige, C., Flynn, J., Louppe, D., Hiol Hiol, F., Mayaux, P. (2014). Les forêts du bassin du Congo - Etat des forêts 2013. Weyrich - Belgique : (s.n.). Repéré à [https://agritrop.cirad.fr/574740/1/document\\_574740.pdf](https://agritrop.cirad.fr/574740/1/document_574740.pdf)
- ⊕ Wiesmeier, M., Urbanski, L., Hobley, E., Lang, B., Von Lützow, M., Marin-Spiotta, E., ... Kögel-Knabner, I. (2019). Soil organic carbon storage as a key function of soils - A review of drivers and indicators at various scales. *Geoderma*, 333, 149-162. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.026>
- ⊕ Zhu, X., Liu, W., Chen, J., Bruijnzeel, L. A., Mao, Z., Yang, X., ... Jiang, X. J. (2020). Reductions in water, soil and nutrient losses and pesticide pollution in agroforestry practices: a review of evidence and processes. *Plant and Soil*, 453(1), 45-86. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04377-3>
- ⊕ Zo-Bi, I. C., Hérault, B. (2023). Promouvoir l'agroforesterie ? Les leçons de la Côte d'Ivoire: Version française. BOIS & FORETS DES TROPPIQUES, 356, 93-98. <https://doi.org/10.19182/bft2023.356.a37132>