



Tiphaine Chevallier, Tantely M. Razafimbelo, Lydie Chapuis-Lardy et Michel Brossard (dir.)

Carbone des sols en Afrique Impacts des usages des sols et des pratiques agricoles

IRD Éditions

Introduction

Usages des sols et stocks de carbone en Afrique

Tiphaine Chevallier, Lydie Chapuis-Lardy, Martial Bernoux, Tantely M. Razafimbelo, Michel Brossard et Étienne Drieux

DOI : 10.4000/books.irdeditions.34882
Éditeur : IRD Éditions, FAO
Lieu d'édition : Rome, Marseille
Année d'édition : 2020
Date de mise en ligne : 16 décembre 2020
Collection : Synthèses
ISBN électronique : 9782709928373



<http://books.openedition.org>

Édition imprimée

Date de publication : 1 septembre 2020

Référence électronique

CHEVALLIER, Tiphaine ; et al. *Introduction : Usages des sols et stocks de carbone en Afrique* In : *Carbone des sols en Afrique : Impacts des usages des sols et des pratiques agricoles* [en ligne]. Rome, Marseille : IRD Éditions, 2020 (généré le 18 décembre 2020). Disponible sur Internet : <<http://books.openedition.org/irdeditions/34882>>. ISBN : 9782709928373. DOI : <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.34882>.

Introduction

Usages des sols et stocks de carbone en Afrique

*Tiphaine CHEVALLIER, Lydie CHAPUIS-LARDY,
Martial BERNOUX, Tantely M. RAZAFIMBELO
Michel BROSSARD, Étienne DRIEUX*

Avec une surface de 30,4 millions de km², le continent africain est le troisième continent le plus vaste de la planète. Il possède 13 % des terres arables du monde, pour une population d'1,3 milliard d'habitants, soit 12 % de la population mondiale. L'évolution de cette population ne cesse d'interroger les démographes, ne serait-ce que pour l'enjeu de sécurité alimentaire.

Les sols sont une ressource vitale pour répondre à cette nécessité d'intensifier la production agricole. Ils sont aussi essentiels pour filtrer l'eau, préserver la biodiversité et stocker du carbone atmosphérique. En tant que réservoir essentiel de carbone, les sols ont en effet un rôle primordial dans la lutte contre l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. Les sols et leurs usages sont ainsi au centre de nombre d'enjeux et d'objectifs de développement durable (ODD) définis par les Nations unies, notamment les ODD 2 « Faim zéro », 13 « Mesures relatives à la lutte contre les changements climatiques », 15 « Vie terrestre », 12 « Consommation et production responsables » et 1 « Pas de pauvreté ».

En Afrique, l'enjeu de la préservation des sols est d'autant plus important que l'agriculture est un pilier de l'économie africaine. Essentiellement familiale, elle occupe une majorité de la main d'œuvre et constitue la principale source de revenus des populations rurales.

Des sols dégradés et une perte de productivité agricole

Les sols africains connaissent de fortes dégradations, notamment ceux qui ont été défrichés pour y pratiquer l'agriculture ou le pâturage. Des pratiques culturales et/ou d'irrigation inappropriées et des événements climatiques extrêmes (sécheresses, ouragans, extrêmes thermiques) modifient la croissance végétale et la dynamique des matières organiques, et accentuent les problèmes de dégradation des sols. Ces dégradations s'observent par des phénomènes d'érosion hydrique et éolienne, d'acidification et de salinisation, par de fortes diminutions de la teneur en carbone et éléments nutritifs et de la biodiversité.

Le pourcentage de sols dégradés varie selon les études et les formes de dégradation prises en compte. Sans tenir compte des terres non-productives (déserts, étendues salées, lacs et reliefs escarpés), on peut estimer que 22 % du continent africain sont affectés par une forme de dégradation des sols (JONES *et al.*, 2013).

Le carbone des sols, de quoi parle-t-on ?

Carbone et matière organique du sol

La végétation des écosystèmes absorbe du CO₂ lors de la photosynthèse. La matière organique (MO) produite constitue la biomasse de la végétation, celle-ci étant progressivement intégrée à la litière, puis au sol. Le stock de carbone d'un sol est souvent confondu avec celui des MO. En effet, 50 à 55 % de la MO sont constitués de carbone.

On parle alors de carbone organique des sols (COS). Le COS est donc le résultat de la décomposition d'apports organiques, soit des végétaux (racines, litières de feuilles, résidus de culture) laissés au sol, soit du compost ou des fumiers. Le COS a plusieurs formes. Ce sont des « restes » de la décomposition ou des produits microbiens issus de la décomposition et associés aux particules minérales du sol (MILTNER *et al.*, 2012 ; KALLENBACH *et al.*, 2016). Les matières de plus grandes tailles, généralement supérieures à 50 µm, sont plus ou moins reconnaissables à l'œil nu ou à la loupe binoculaire. Ce sont des « squelettes » de feuilles, des débris millimétriques de racines ou de feuilles. On appelle ce carbone organique, ou cette matière organique, des matières particulières (*particulate organic matter* en anglais). Les matières organiques de plus petites tailles, inférieures à 50 µm, sont des matières amorphes intégrées à la matrice minérale du sol. Le stock de carbone organique est dynamique, d'autant plus dans les environnements chauds et humides favorables à l'activité biologique des sols, puisqu'il est sans cesse en renouvellement par des apports organiques réguliers et des pertes par minéralisation ou par décomposition.

La minéralisation du COS, via la décomposition des MOS, libère du CO₂ issu de l'activité biologique hétérotrophe, essentiellement microbienne et fongique. Elle participe également au recyclage des éléments nutritifs – azote, phosphore, potassium – indispensables à la croissance des plantes. Les sols émettent donc du CO₂ lors des processus de décomposition de la matière organique mais, globalement, le bilan est négatif : ils captent plus de carbone qu'ils n'en rejettent et sont ainsi considérés comme des puits de carbone. L'essentiel du carbone terrestre (2 000-3 000 Gt C¹) est ainsi localisé dans les sols, 1 500 à 2 400 Gt C se situant dans le premier mètre des sols, contre 830 Gt C dans l'atmosphère et 450-650 Gt C dans la biomasse végétale (CIAIS *et al.*, 2013). Issu des apports organiques de surface transformés par l'activité biologique, le carbone organique des sols est alors plus important en quantité en surface qu'en profondeur.

Carbone organique et inorganique

Dans les sols dits « carbonatés » surtout situés dans les zones arides et semi-arides d'Afrique du Nord, les stocks de carbone contiennent également du carbone sous une forme minérale. Ce sont des carbonates de calcium (calcite, CaCO₃) ou, dans une moindre mesure, de magnésium (dolomie, MgCO₃), de fer (sidérite, FeCO₃) ou de sodium (Na₂CO₃). Ils sont issus directement de la fragmentation de la roche-mère ou bien de la formation et de l'évolution du sol sous forme de nodules, lamelles, cristaux (ce sont alors des matériaux secondaires). Contrairement au carbone organique, le carbone inorganique prédomine en profondeur. Il représente 35 % des stocks de carbone terrestre totaux, avec toutefois une répartition hétérogène puisque 97 % du carbone inorganique sont situés dans les zones sèches (BERNOUX et CHEVALLIER, 2013). Dans les sols de ces régions, les teneurs en carbone inorganique peuvent être 2 à 10 fois supérieures aux teneurs en carbone organique.

Peu d'études quantifient et explicitent la dynamique du carbone inorganique des sols. Dans les études sur l'impact de tel ou tel usage sur la dynamique des stocks de carbone des sols, seul le carbone organique est comptabilisé. En effet, le carbone organique est (1) considéré plus dynamique à court terme et davantage impacté par les activités humaines que le carbone inorganique (LAL, 2004) même si des interactions à court terme entre les deux types de carbone ont été mises en évidence (CHEVALLIER *et al.*, 2017), et (2) directement lié aux flux de minéralisation d'azote et de phosphore et donc à la fertilité des sols.

De plus, des difficultés compliquent les études – de fait peu nombreuses – des sols carbonatés. La première difficulté est l'échantillonnage, du fait de la grande quantité de cailloux présents dans ces sols qui rend difficiles le prélèvement des échantillons et la mesure de la densité apparente (indispensable au calcul des stocks de carbone). Dans ces sols, le carbone organique est réparti de façon très hétérogène et souvent en faibles concentrations (difficulté de prélever un

1. Gt : gigatonne, soit un milliard de tonnes de carbone.

échantillon représentatif). La seconde difficulté est analytique avec une difficile différenciation des teneurs en carbone organique et de celles en carbone inorganique.

Les charbons

D'autres formes caractéristiques du carbone des sols sont les charbons. Issus des feux de brousse, des techniques d'abattis-brûlis (*slash and burn* en anglais) ou d'apports de biochars (amendements issus de la pyrolyse de biomasse végétale), ces charbons ont des compositions chimiques et des caractéristiques qui peuvent être variées car dépendantes des conditions de pyrolyse et de la biomasse avant pyrolyse. Même si les charbons se caractérisent par des temps de résidence très élevés par rapport à d'autres MO dans les sols, leur composition chimique et leur structure sont susceptibles de changer au cours du temps (QUÉNÉA *et al.*, 2006) et leurs interactions avec d'autres composantes minérales et biologiques des sols au cours du temps nécessitent de plus amples investigations. Du fait de difficultés analytiques et de coûts d'analyse, ces charbons, pourtant parfois présents en grande quantité dans les sols connaissant des brûlis réguliers (jusqu'à 30 % de leur carbone, RUMPEL *et al.*, 2006), sont peu étudiés et ne seront donc pas abordés dans cet ouvrage.

La mesure du carbone organique des sols

Mesures et unités de mesure

Selon les études, les données de stocks peuvent être exprimées en carbone total, carbone organique, MO, voire en C-CO₂ stocké. Lorsque l'étude est centrée sur l'impact des usages des sols ou des pratiques agricoles sur les bilans de carbone (dans une optique de lutte contre le changement climatique), on s'intéresse aux stocks de carbone total ou de carbone organique exprimés en mégagrammes ou tonnes par hectare, ou encore en kilogrammes par m² (Mg C.ha⁻¹, t C.ha⁻¹, kg C.m⁻²) sur une profondeur donnée, généralement 0-30 cm telle que recommandée par les lignes directrices du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2006). Lorsque le sujet est centré sur la qualité ou la fertilité des sols, on s'intéresse plutôt à la teneur – ou concentration – de MO dans les sols, exprimée en gramme de MO par kilogramme de sol (g MO.kg⁻¹sol), en général dans la couche superficielle du sol (0-10 ou 0-20 cm de profondeur).

Pour comparer les résultats de différentes études, il faut dès lors faire attention à l'unité et à la profondeur de sol considérée. Il existe un rapport de conversion couramment utilisé entre carbone organique et MO, le « coefficient de van Bemmelen » (MO/COS = 1,72). Néanmoins, ce rapport varie selon les types de MO. Une synthèse bibliographique de 2010 indique qu'un rapport MO/COS de 2 serait plus adapté dans la plupart des cas (PRIBYL, 2010).

Pour mesurer un stock de carbone d'un sol sur une épaisseur donnée, il faut tout d'abord connaître la teneur en carbone du sol (en g C.kg⁻¹ sol), la densité du sol et la proportion de graviers (> 2 mm) qui s'y trouvent (en kg.dm⁻³) (chap. 1). Les teneurs en carbone sont mesurées sur des échantillons de sol de petites quantités. Les deux principales méthodes d'analyse sont destructives. Ce sont en effet des méthodes d'oxydation par voie humide (WALKLEY et BLACK, 1934) et une méthode par combustion sèche (à une température de 900 °C) avec dosage du CO₂ produit lors de la combustion (par analyseur élémentaire CHN). Ces méthodes sont réalisées sur des échantillons de petites tailles (quelques milligrammes pour la combustion). Elles nécessitent de préparer les échantillons de sol (avec un broyage fin < 250 µm) et de s'assurer de la représentativité de ces échantillons ; elles peuvent être polluantes (oxydation) ou coûteuses (combustion). Des méthodes alternatives se développent comme la spectrométrie infrarouge de laboratoire ou de terrain (par exemple BARTHÈS *et al.*, 2006 ; VISCARRA ROSSEL *et al.*, 2016 ; CAMBOU *et al.*, 2016).

Ces méthodes d'analyse ainsi que la connaissance des déterminants de la variabilité des stocks de carbone (types de sols, usages des sols) sont des préalables à l'extrapolation des données sur des territoires plus vastes (partie I de l'ouvrage).

Stock, stockage et séquestration du carbone dans les écosystèmes terrestres

Le stock de carbone du sol est la mesure d'un état, à un moment donné, pour une superficie donnée, exprimé en unité de masse. Le stockage de carbone est le bilan de carbone entre les apports organiques (biomasse végétale, amendements organiques sous forme de compost, fumier, etc.) et les sorties de carbone, dues à la minéralisation des MO, en CO₂ (essentiellement via la respiration hétérotrophe des microorganismes du sol). Ce stockage, ou ΔC, est la différence de stocks de carbone d'un système entre deux dates (échelle pluriannuelle supérieure à 10 ans pour une étude dite « diachronique ») ou la différence de stocks de carbone de deux systèmes supposés identiques à une date antérieure et ayant évolué différemment selon leur mode d'usage ou de contraintes environnementales (étude dite « synchronique »). Évaluer le potentiel de stockage d'une pratique revient à évaluer le stockage de carbone additionnel par rapport à une pratique de référence.

La séquestration du carbone est le résultat de ce bilan plus celui de l'ensemble des émissions de GES (essentiellement le protoxyde d'azote, N₂O, et le méthane, CH₄) issues de la décomposition microbienne des MO dans certaines conditions d'aération des sols et souvent liées à l'application d'engrais azotés en agriculture (BERNOUX *et al.*, 2006). Ces émissions sont comptabilisées en équivalents CO₂ grâce à des facteurs de conversion, les potentiels de réchauffement global (PRG de 1 pour le CO₂, 298 pour le N₂O et 34 pour le CH₄, sur un pas de temps de 100 ans, MYHRE *et al.*, 2013). Le stockage de carbone lors d'un changement d'usage et/ou de gestion des terres est une composante de la séquestration du carbone, même si parfois, et de plus en plus souvent, le stockage de carbone est confondu avec la séquestration du carbone, entendue alors comme son expression sous forme de flux. Pour évaluer

la séquestration du carbone, donc la fonction qui consiste à l'introduire dans le sol, et qu'il y soit conservé, il faut faire des bilans. Dans ces bilans, la séquestration du carbone comptabilise un transfert additionnel de CO₂-équivalent de l'atmosphère vers les compartiments terrestres, sols ou végétations, mais aussi les pertes par émission de GES (POWLSON *et al.*, 2011). Le carbone étant mobile entre les différents compartiments d'un agro-écosystème et dynamique dans le temps, la quantification de la séquestration liée à un mode d'usage des terres, se fait dans un espace et un intervalle de temps définis, en général sur 20 ans et au moins à une profondeur de 0-30 cm de sol (GIEC, 2006). Les dimensions spatiale et temporelle de la séquestration sont donc majeures.

Saturation, déficit de saturation et potentiel de stockage de carbone

La fraction minérale fine du sol, qui correspond aux argiles granulométriques (< 2 µm) et aux limons fins (2-20 µm), est un élément clé de la stabilisation du COS (KLEBER *et al.*, 2015). Le carbone organique, issu d'exsudats racinaires et de l'activité microbienne des sols, se lie à cette fraction et y est stabilisé durablement. Il a été proposé que la teneur de cette fraction fine d'un sol (teneur en argiles et limons fins) ait une capacité finie de protéger le carbone. Une capacité maximale, ou saturation en carbone stabilisé, d'un sol a pu ainsi être définie selon sa texture ou sa teneur en fraction fine (HASSINK, 1997). Sur la base de cette hypothèse, un déficit de saturation peut être calculé. C'est la différence entre cette teneur maximale de carbone associée à la fraction fine, et sa teneur actuelle. Ce concept de saturation est régulièrement remis en cause : existe-t-il une limite supérieure de stock de carbone dans les sols et, si oui, comment mesurer cette capacité maximale de stockage de carbone selon les types de sol (BARRÉ *et al.*, 2017) ? Le potentiel de stockage d'un sol est défini comme la potentialité d'un sol à stocker du carbone additionnel par rapport à une pratique de référence. S'il dépend en partie de ce concept de saturation et en tout cas des propriétés physiques du sol, il dépend également de l'usage de ces sols et des pratiques agricoles qui sont menées. Les contraintes freinant l'atteinte d'un tel potentiel de stockage de carbone dans le sol ne sont pas uniquement biophysiques mais également techniques et socio-économiques (PELLERIN *et al.* 2019).

Pratiques agricoles et stockage de carbone dans les sols

Les facteurs qui influencent les stocks de carbone organique sont naturels (climat, type de végétation, type de sol) et anthropiques (usages des sols, pratiques agricoles). Les stocks de carbone dans les sols résultent du bilan entre trois

processus : les apports organiques (litières aériennes et racinaires, amendements), la décomposition de ces apports par les activités biologiques des sols et la stabilisation de la MO par la matrice minérale des sols (particules d'argiles, oxydes) (DERRIEN *et al.*, 2016). Les usages des sols et les pratiques agricoles qui augmentent les apports organiques sont ceux qui permettent un stockage de carbone additionnel (FUJISAKI *et al.*, 2018a).

Les entrées de carbone (exogènes ou non) sont multiples dans les sols, et fluctuantes au fil des saisons (sèches et humides). Elles le sont également selon le type d'agro-écosystème. Par exemple, les entrées organiques sont généralement plus faibles sous une culture annuelle que sous une forêt. Ainsi les stocks de carbone des sols sont bien plus élevés sous une forêt ou une prairie que sous des cultures annuelles surtout si aucun résidu de culture ou amendement organique n'y est laissé ou apporté.

Le carbone organique des sols, ou la matière organique, est un continuum de matières plus ou moins complexes en perpétuel renouvellement. Leur temps de résidence dans le sol varie selon leur composition biochimique et leurs associations aux particules minérales du sol, en particulier les argiles (DERRIEN *et al.*, 2016). Ainsi, les matières organiques particulières ont des taux de renouvellement de quelques mois à quelques années et participent davantage au recyclage des éléments nutritifs indispensables à la croissance des plantes (WOOD *et al.*, 2016). Les matières organiques associées aux argiles des sols ont des taux de renouvellement plus lents et sont considérées comme stables. Ainsi les sols argileux ont généralement des stocks de carbone plus élevés que les sols sableux. La teneur en argiles granulométriques et limons fins des sols est un déterminant majeur du stock et de la capacité maximale à stabiliser ce carbone organique dans le sol. Pourtant les données expérimentales disponibles issues d'essais au champ ont peine à montrer qu'une modification des pratiques agricoles puisse combler le déficit de saturation de carbone du sol lié aux particules fines (FUJISAKI *et al.*, 2018b). À court terme, le stockage de carbone après un changement de pratiques agricoles ne serait guère plus élevé dans un sol argileux que dans un sol sableux. Ce résultat surprenant vient peut-être du fait qu'il existe peu d'études sur de longues durées de suivi des stocks organiques suite à des changements de pratiques agricoles, en milieu tropical.

D'après le GIEC (2006), la réduction du travail du sol, voire la suppression du labour, est souvent considérée comme une option pour augmenter le stockage du COS dans les sols. En effet, le travail du sol détruit sa structure, stimulant ainsi la décomposition des matières organiques qui s'y trouvent. Ainsi, la suppression du travail du sol limiterait cette décomposition et favoriserait la stabilisation du carbone dans le sol. Toutefois, d'autres études remettent en cause ou discutent l'importance de ce facteur sur le stockage (par exemple ANGERS et ERIKSEN-HAMEL, 2008 ; LUO *et al.*, 2010, DIMASSI *et al.*, 2014 ; HADDAWAY *et al.*, 2017 ; CHENU *et al.*, 2019 ; OGLE *et al.*, 2019).

Le taux d'humidité d'un sol joue sur son activité biologique et donc sur les vitesses de décomposition de la matière organique. De plus, ce taux joue

également sur les taux de production d'autres gaz à effet de serre, comme le N_2O et le CH_4 , et peut modifier les bilans de séquestration de C. Ceci est particulièrement important dans la conduite de l'irrigation des rizières (RAZAFIMBELO *et al.* 2015a).

La température influence également les activités microbiologiques des cycles du carbone, de l'azote et du phosphore (ANDRIAMANANJARA *et al.*, 2019). En général, ces activités sont multipliées par un facteur 2 pour une augmentation de la température du sol de 10 °C. Toutefois au-delà de 50 °C, une limitation de la minéralisation de la MOS est constatée sur le long terme (HAMDI *et al.*, 2013).

Des solutions concrètes (amendement organique, agroforesterie, association ou rotation de cultures) existent pour stocker davantage de carbone dans les sols. Cependant, la définition et la quantification du potentiel de stockage du carbone des sols sont au centre des discussions : Où ? Comment ? Quelles pratiques culturales ? À quelles échelles de temps peut-on espérer stocker du carbone dans les sols ? Quelle est la capacité maximale d'un sol à stocker du carbone ? Ce maximum est-il l'objectif principal à atteindre ? Pour qui ? Quels moyens cela demande-t-il ? Les conditions de travail des agriculteurs qui mettent en œuvre les pratiques agricoles dites « stockantes » sont-elles supportables ?

À diverses échelles de temps et d'espace, les processus de stockage de carbone dans les sols et le maintien de ces stocks ont des implications dans la production agricole et la gestion des terres et des problèmes environnementaux sous la pression de l'évolution démographique ou du changement climatique, appelant à des choix économiques et sociétaux par les populations. En effet s'il faut accentuer les processus de stockage, il est aussi nécessaire de « sécuriser » les puits de carbone et d'éviter leur perte par des pratiques et des usages non adaptés. La pérennité des stocks de carbone repose sur des questions qui dépassent l'objet de cet ouvrage, par exemple l'évaluation des bénéfices individuels et collectifs que ces stocks apportent et la sécurisation des « bonnes pratiques » par des conditions sociales, économiques, juridiques, politiques et techniques appropriées.

Le COS, un indicateur de l'état et du fonctionnement des sols

Les MO (ou carbone organique) sont au cœur des propriétés des sols : leur fertilité pour la production agricole, leur biodiversité, leur résistance à l'érosion, leur rétention et capacité de filtration de l'eau et des polluants. En se décomposant, ces MO participent au recyclage des éléments nutritifs (N, P, K, etc.) indispensables à la croissance des plantes ; elles sont sources d'énergie pour les organismes hétérotrophes du sol et leur présence permet de maintenir la structure des

sols et de contribuer, avec les argiles, à la capacité d'échange des ions, voire des polluants. Maintenir un taux de matière organique dans les sols est donc bénéfique pour le climat (puits de carbone) mais aussi pour l'ensemble des services écosystémiques que procurent les sols à nos sociétés. Ce ne sont pas les mêmes compartiments organiques qui sont en jeu. Les compartiments les plus stables associés aux fractions fines du sol (argiles et limons fins) participent peu au recyclage des éléments nutritifs et à la production agricole à court terme (objectif de sécurité alimentaire) mais plutôt à la stabilisation du carbone à long terme (objectif de lutte contre le réchauffement climatique).

Une perte de matière organique du sol, et donc de carbone organique, surtout lorsque les niveaux initiaux sont faibles comme dans les régions sèches et/ou dans les sols sableux, se traduit invariablement par la dégradation des sols et de leurs fonctions associées, notamment celle de soutenir la production agricole provoquant alors un cercle vicieux de dégradation (LAL, 2004). Au contraire, le fait d'augmenter la matière organique améliore directement la qualité et la fertilité du sol contribuant ainsi à la résilience et la durabilité de l'agriculture et, de fait, à la sécurité alimentaire des sociétés.

Le taux de matière organique et/ou la teneur en carbone organique des sols sont ainsi considérés comme des indicateurs clés de la santé des sols, pour leurs fonctions agricoles et environnementales (FAO-ITPS, 2016).

Action commune de Koronivia pour l'agriculture

La richesse des interactions entre l'atmosphère, la végétation, le sol et les sociétés, fait des zones continentales des espaces complexes à étudier mais essentiels dans les stratégies de réduction des émissions et de piégeage de CO₂ atmosphérique. Le secteur « agriculture, foresterie et autres utilisations des terres » (AFOLU) défini par le GIEC, est ainsi reconnu comme ayant un rôle majeur dans les stratégies de réduction et de piégeage du CO₂ (SMITH *et al.*, 2014). Préserver les stocks de carbone des forêts en évitant la déforestation et restaurer les forêts naturelles font partie des principaux moyens de stockage de carbone (LEWIS *et al.*, 2019). Toutefois, ces politiques, vertueuses sur les plans « biodiversité » et « climat », sont parfois controversées sur le plan social (faible prise en compte des populations locales dans les prises de décision et le partage des bénéfices, impacts sur leur subsistance et leurs conditions de vie). L'agriculture est un mode d'utilisation des sols complexe. Les productions et les techniques agricoles sont diversifiées et les potentiels de séquestration du carbone également. Plus difficile à évaluer et à contrôler, le potentiel de l'agriculture pour stocker du carbone a été initialement écarté des discussions

internationales. Ainsi, même si l'agriculture est mentionnée dans le texte de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) dans son article 4 sur les engagements des Parties, il faut attendre 2006 pour que l'un de ses organes subsidiaires, celui du conseil scientifique et technologique (SBSTA), se penche sur l'atténuation dans le secteur de l'agriculture. La vulnérabilité des activités agricoles au changement climatique et les impératifs de sécurité alimentaire ont fait que ce secteur a pris progressivement une place importante dans les négociations internationales sur le climat.

Lors de la 23^e conférence des Parties (COP23, 2017), les Parties ont adopté « l'Action commune de Koronivia pour l'agriculture ». Cette décision a été le premier résultat tangible et la première décision de la COP dans l'histoire des négociations sur l'agriculture (DRIEUX *et al.*, 2019). Cette décision demande aux deux organes subsidiaires de la CCNUCC – l'organe subsidiaire de mise en œuvre (SBI) et le SBSTA – de travailler conjointement à la résolution des enjeux liés à l'agriculture et notamment les sols : « amélioration du carbone du sol, de la santé des sols et de la fertilité des sols dans les systèmes applicables aux pâturages et aux terres cultivables ainsi que dans les systèmes intégrés, y compris la gestion des ressources en eau ». À noter, les autres thèmes inscrits dans cette décision sont également importants pour les sols et leur gestion :

- évaluation de l'adaptation, des retombées positives de l'adaptation et de la résilience ;
- amélioration de l'utilisation des nutriments et de la gestion des effluents d'élevage pour des systèmes agricoles durables et résilients ;
- amélioration des systèmes d'élevage y compris les systèmes de production agropastoraux ;
- dimension socio-économique liée à la sécurité alimentaire du secteur agricole dans le contexte du changement climatique.

L'Action commune de Koronivia (KJWA) fournit un cadre pour renforcer la place de l'agriculture dans les discussions internationales sur le climat, à la fois pour son rôle dans la réduction de la concentration en GES dans l'atmosphère et pour ses besoins d'adaptation face au changement climatique. C'est aussi l'objectif de l'initiative « 4 pour mille, les sols pour la sécurité alimentaire et le climat ». Lancée par la France lors de la COP 21 (Paris, 2015), cette initiative cherche à promouvoir le rôle crucial des sols agricoles dans la sécurité alimentaire mais aussi la lutte contre le changement climatique via la séquestration du carbone. Aujourd'hui, plusieurs pays du Sud s'appuient sur les secteurs forestiers (par exemple la réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts, REDD) et agricoles pour apporter leurs contributions déterminées au niveau national (CDN) dans le cadre de l'atténuation et de l'adaptation au changement climatique (GCF, 2019). Ainsi, différentes études montrent qu'il existe une place prépondérante des secteurs agricoles (incluant les cultures, l'élevage, la foresterie, les pêches et l'aquaculture) dans les CDN (STROHMAIER *et al.*, 2016 ; CRUMPLER *et al.*, 2019a), notamment en Afrique (CRUMPLER *et al.*,

2017). Il est, en effet, de plus en plus reconnu au niveau international que l'action en faveur du climat issue des secteurs agricoles peut influencer et transformer la lutte contre le changement climatique (IPCC, 2019), et peut être un élément moteur de la réalisation du programme de développement durable à l'horizon 2030 et de ses ODD (CRUMPLER *et al.*, 2019b).

En Afrique, l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) apporte un appui technique pour la formulation et la mise en œuvre d'actions par les secteurs agricoles et forestiers permettant la réalisation des objectifs inscrits dans les CDN. C'est aussi l'objectif du réseau « Carbone des sols pour une agriculture durable en Afrique » (CASA). Cet ouvrage fait le point sur les données concernant le carbone des sols africains, en appréhendant les méthodologies employées, les mesures et expérimentations développées, les pratiques agricoles testées et les acteurs concernés.

Le réseau CASA

Le réseau CASA² regroupe des chercheurs – pédologues, écologues et agronomes essentiellement francophones – d'Afrique et de France. Initié et soutenu de 2013 à 2015 par l'Institut de recherche pour le développement (IRD) et l'Agence inter-établissements de recherche pour le développement (AIRD) au travers d'un projet du Programme d'appui à la recherche en réseau en Afrique (PARRAF) du ministère français en charge des Affaires étrangères, le réseau CASA est né d'une collaboration entre chercheurs africains et européens convaincus de la nécessité de considérer le carbone du sol pour la durabilité et la résilience des systèmes agricoles et pour la réduction des taux des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Soutenu aujourd'hui par le programme « Groupement de recherche international au Sud » (GDRI-Sud) de l'IRD, le réseau CASA est animé principalement par cinq équipes de recherche d'Afrique et Madagascar et par l'IRD ; il est riche de vingt-et-une équipes de recherche issues de onze pays africains francophones.

L'objectif du réseau est de promouvoir les enjeux autour des sols agricoles en Afrique. Les travaux de recherche des membres du réseau contribuent à comprendre, quantifier et modéliser le potentiel de séquestration de carbone des sols selon leurs usages, de comprendre la distribution et la dynamique des stocks de carbone dans les sols mais aussi de promouvoir l'importance de cet indicateur de la santé des sols dans les problématiques en lien avec la production agricole et le climat.

2. www.reseau-carbone-sol-afrique.org

Depuis la naissance de CASA en 2013, la thématique de la séquestration du carbone s'est développée, notamment en 2015 sous l'impulsion de l'initiative « 4 pour mille, les sols pour la sécurité alimentaire et le climat », puis plus récemment de l'Action commune de Koronivia pour l'agriculture. Néanmoins, les spécificités de l'agriculture du ou des Suds doivent être reconnues dans un contexte où la séquestration continentale du carbone est aujourd'hui discutée internationalement et considérée globalement. La gestion du carbone des sols, à travers celle des biomasses et des ressources organiques, est centrale pour l'agriculture à bas intrants des pays du Sud. Elle est indispensable à la fertilité des sols et à leur adaptation face au changement climatique.

Les recherches conduites par les différents membres du réseau depuis une vingtaine d'années alimentent les discussions internationales, grâce à leur participation aux COP de la CCNUCC et de la Convention des Nations unies sur la lutte contre la désertification (CNUCLD), ainsi qu'au Global Soil Partnership (GSP) et Intergovernmental Technical Panel on Soils (ITPS) hébergés par la FAO. Ces recherches sont menées individuellement ou collectivement selon les projets (projets SOCA, CIRCASA, LMI IESOL, JEI SERVIPALM, JEI PRODIGE)³. Elles ont déjà eu l'occasion de s'illustrer grâce à des communications communes lors de conférences internationales (RAZAFIMBELO *et al.*, 2015ab, 2016). Le réseau organise également des ateliers, des formations, des conférences, crée et diffuse des vidéos de sensibilisation de différents acteurs au niveau local. L'ensemble de ces produits a considérablement accru la reconnaissance internationale d'un collectif de chercheurs Sud-Nord sur le thème de la séquestration du carbone dans les sols agricoles en Afrique.

Les bénéfices du réseau pour l'ensemble de ses membres résident dans les échanges, essentiellement scientifiques (intra- et interdisciplinarité), sources de partage de connaissances (valorisation, notoriété sur la scène internationale), de compétences (formation, développement d'outils pour les échanges à l'interface science-politique-société civile) et d'expériences.

3. Projet SOCA, « Le carbone des sols au service de l'agriculture familiale tropicale » : <https://group.bnpparibas/actualite/soca-carbone-sols-service-agriculture-familiale-tropicale>

PROJET CIRCASA, *Coordination of International Research Cooperation on soil Carbon Sequestration in Agriculture* : <https://www.circasa-project.eu/>

LMI IESOL, laboratoire mixte international « Intensification écologique des sols cultivés en Afrique de l'Ouest » : www.ird.fr/la-recherche/laboratoires-mixtes-internationaux-lmi/lmi-iesol-intensification-ecologique-des-sols-cultives-en-afrique-de-l-ouest

JEI SERVIPALM, jeunes équipes associées à l'IRD « Services écosystémiques des systèmes agroforestiers villageois à base de palmier à huile en Afrique soudano-guinéenne » : www.ird.fr/la-recherche/jeunes-equipes-associees-a-l-ird-jei/jeunes-equipes-associees-a-l-ird-jei/jei-en-cours-de-soutien-par-departement-scientifique/departement-ecologie-biodiversite-et-fonctionnement-des-ecosystemes-continentaux-ecobio/jei-servipalm-benin-2017-2019

JEI PRODIGE « Intensification agro-écologique de la production d'igname et autres cultures vivrières en Côte d'Ivoire » : www.ird.fr/la-recherche/jeunes-equipes-associees-a-l-ird-jei/jeunes-equipes-associees-a-l-ird-jei/jei-en-cours-de-soutien-par-departement-scientifique/departement-ecologie-biodiversite-et-fonctionnement-des-ecosystemes-continentaux-ecobio/jei-ie-prodige-cote-d-ivoire-2016-2019

Besoin de connaissances en Afrique

Selon les dernières estimations fournies par l'Atlas des sols d'Afrique (JONES *et al.*, 2013), la couche superficielle (0-1 m) des sols de ce continent contiendrait 154,6 Gt de carbone, soit 10 à 12 % des stocks de carbone de la planète. Ce qui frappe dans les cartogrammes de cet atlas est la forte variabilité de la distribution des stocks de carbone et les grandes incertitudes qui subsistent dans l'estimation des stocks de carbone.

D'un point de vue pédologique, l'Afrique est originale, avec des types de sols contrastés, dont des zones, à l'ouest et au centre, très homogènes dues à la stabilité géologique, et des zones très hétérogènes à l'est dues à l'évolution de la croûte terrestre. Les modes d'usage des sols sont dynamiques sous la pression démographique : les superficies forestières se réduisent, la pratique et la durée des jachères, la présence de légumineuses, l'accès (ou l'absence d'accès) aux intrants chimiques varient d'une région à l'autre.

Cet ouvrage est le fruit des échanges des expériences de recherche menées par les membres du réseau sur les stocks de carbone et leur dynamique, notamment au Bénin, Côte d'Ivoire, Maroc, Madagascar, Rwanda et Sénégal ; il vise également à nourrir les discussions internationales sur les spécificités des sols africains. Sans être exhaustif à l'échelle de tous les terroirs, cet ouvrage fait un bilan des connaissances et met en perspective les enjeux de recherche et de développement dans ces régions.

L'ouvrage est organisé en quatre parties.

La première partie, constituée de quatre contributions, donne une vision des problèmes méthodologiques liés à la détermination des contenus et des stocks de carbone des sols et de leur spatialisation à diverses échelles : Afrique de l'Ouest (chap. 1), Madagascar (chap. 2), Maroc (chap. 3), Rwanda (chap. 4).

La deuxième partie est une projection nationale des stocks de carbone des sols au Bénin (chap. 5), au Tchad (chap. 6), à Madagascar (chap. 7) et au Sénégal (chap. 8). Cette partie illustre la diversité des zones agro-écologiques, des sols et de leurs modes d'usage et de gestion au sein des pays et la difficulté de la connaissance approfondie des stocks de carbone. Elle montre ainsi la disparité des niveaux de couverture et de précision des connaissances des stocks de carbone selon les pays. La réalisation de cartes des stocks de carbone n'étant pas possible, seules des études ponctuelles fournissent des quantifications des stocks de carbone des sols.

La troisième partie présente des résultats d'expériences spécifiques sur l'impact de pratiques agricoles visant à restaurer les stocks de carbone dans les sols : l'utilisation de bois raméaux fragmentés (chap. 9) ainsi que la pratique de la jachère et l'utilisation de légumineuses dans les rotations culturales (chap. 10).

La quatrième et dernière partie de l'ouvrage met en perspectives nos connaissances sur les stocks de carbone des sols, un des moteurs de la fertilité des

terres, tout d'abord d'un point de vue historique (chap. 11) depuis le livre de C. Pieri sur l'état et les causes de la dégradation des terres en Afrique subsaharienne publié en 1989. Quelles sont les avancées de la recherche sur la compréhension des mécanismes en jeu ? Quelles sont les solutions proposées ? Sont-elles perceptibles en termes de fertilité des sols, de stocks de carbone et de production agricole sur le terrain ? Vient ensuite (chap. 12) le point de vue des acteurs de terrain, agriculteurs et ONG de développement rural. Le stock de carbone des sols est-il un bon indicateur de la fertilité des sols ? Promouvoir l'augmentation des stocks de carbone des sols est-il perçu par les acteurs de terrain comme une promotion d'une agriculture durable ? Cette question est également abordée dans le dernier chapitre de cette partie (chap. 13). Si de nombreux discours considèrent que ces deux points de vue – agro-écologique localement et climatique globalement – ont des objectifs communs vis-à-vis du cycle du carbone, la synergie des bénéfices environnementaux et agronomiques n'est pas toujours évidente. Ce chapitre propose une vision critique du lien entre usages des terres et lutte contre le changement climatique en prenant exemple sur les gestions des savanes ouest-africaines.

La recherche menée en Afrique francophone sur les sols, leurs usages et les impacts associés en termes de stocks de carbone, est une recherche d'intérêt mondial. Elle est également porteuse d'innovations, de perspectives et de nouvelles interrogations, comme le montre cet ouvrage. Celui-ci met également en exergue des opportunités et des directions pour de futures recherches ainsi que les besoins nationaux en matière de données sur le carbone afin que les pays puissent évaluer et améliorer leurs gestions des terres. Même si les objectifs d'atténuation du changement climatique sont louables, la priorité en Afrique demeure la réhabilitation des sols dégradés et la conservation de celles qui ne le sont pas encore, afin de maintenir la productivité agricole et ainsi assurer la sécurité alimentaire dans un contexte où l'adaptation face au changement climatique est incontournable.

Bibliographie

ANDRIAMANANJARA A., CHEVALLIER T., MASSE D., RAZAKAMANARIVO H., RAZAFIMBELO T., 2019

Land management modifies the temperature sensitivity of soil organic carbon, nitrogen and phosphorus dynamics in a Ferralsol. *Applied Soil Ecology*, 138 : 112-122.

ANGERS D. A. ERIKSEN-HAMEL N. S., 2008
Full-inversion tillage and organic carbon distribution in soil profiles: a meta-analysis.

Soil Science Society of America Journal, 72 (5) : 1370-1374.

BARRÉ P., ANGERS D. A., BASILE-DOELSCH I., BISPO A., CECILLON L., CHENU C., CHEVALLIER T., DERRIEN D., EGLIN T., PELLERIN S., 2017
Ideas and perspectives: can we use the soil carbon saturation deficit to quantitatively assess the soil carbon storage potential, or should we explore other strategies? *Biogeosciences Discussions*, bg-2017-395.

- BARTHÈS B. G., BRUNET D., FERRER H., CHOTTE J.-L., FELLER C., 2006**
Determination of total carbon and nitrogen content in a range of tropical soils using near infrared spectroscopy: influence of replication and sample grinding and drying. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 14 (5) : 341-348.
- BERNOUX M., CHEVALLIER T., 2013**
Le carbone dans les sols des zones sèches. Des fonctions multiples indispensables. *Les dossiers thématiques du CSFD*. N°10. Montpellier, France, CSFD/Agropolis International, 40 p.
- BERNOUX M., FELLER C., CERRI C. C., ESCHENBRENNER V., CERRI C. E. P., 2006**
« Soil carbon sequestration ». In Roose E., Lal R., Feller C., B. B., Stewart B. A. (éd.) : *Soil erosion and carbon dynamics*, Boca Raton: Taylor et Francis : 13-22.
- CAMBOU A., CARDINAEL R., KOUAKOUA E., VILLENEUVE M., DURAND C., BARTHÈS B. G., 2016**
Prediction of soil organic carbon stock using visible and near infrared reflectance spectroscopy (VNIRS) in the field. *Geoderma*, 261 : 151-159.
- CHENU C., ANGERS D., BARRÉ P., DERRIEN D., BALESSENT J., 2019**
Increasing organic stocks in agricultural soils: knowledge gaps and potential innovations. *Soil and Tillage Research*, 188 : 41-52.
- CHEVALLIER T., COURNAC L., BERNOUX M., CARDINAEL R., COZZI T., GIRARDIN C., CHENU C., 2017**
« Soil inorganic carbon and climate change in drylands. an emerging issue? » In *Proceedings of the Global symposium on soil organic carbon*, Rome, Italie.
- CIAS P., SABINE C., BALA G., BOPP L., BROVKIN V., CANADELL J., CHHABRA A., DEFRIES R., GALLOWAY J., HEIMANN M., JONES C., QUÉRÉ C. L., MYNENI R. B., PIAO S., THORNTON P., 2013**
« Carbon and other biogeochemical cycles ». In Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S. K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P. M. (éd.) : *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of working group to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, United Kingdom & New York, NY, USA, Cambridge University Press.
- CRUMPLER K., LAVAL E., FEDERICI S., EVEILLE F., BERNOUX M., SALVATORE M., DI STEFANO E., DARMAUN M., HEUREUX A., RAMASAMY S., WOLF J., 2017**
Regional analysis of the nationally determined contributions of Eastern Africa: gaps and opportunities in the agriculture sectors. Rome, FAO, 120 p.
- CRUMPLER K., MEYBECK A., FEDERICI S., SALVATORE M., DAMEN B., DASGUPTA S., WOLF J., BERNOUX M., 2019A**
Assessing the role of agriculture and land use in nationally determined contributions. Rome, FAO.
- CRUMPLER K., BLOISE M., MEYBECK A., SALVATORE M., BERNOUX M., 2019B**
Linking nationally determined contributions and the sustainable development goals through agriculture: a methodological framework. Rome, FAO.
- DERRIEN D., DIGNAC M.-F., BASILE-DOELSCH I., BAROT S., CÉCILLON L., CHENU C., CHEVALLIER T., FRESCHET G. T., GARNIER P., GUENET B., HEDDE M., KLUMPP K., LASHERMES G., MARON P.-A., NUNAN N., ROUMET C., BARRÉ P., 2016**
Stocker du carbone dans les sols : quels mécanismes, quelles pratiques agricoles, quels indicateurs ? *Étude et Gestion des Sols*, 23 : 193-223.
- DIMASSI B., MARY B., WYLLEMAN R., LABREUCHE J., COUTURE D., PIRAUX F., COHAN J.-P., 2014**
Long-term effect of contrasted tillage and crop management on soil carbon dynamics during 41 years. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 188 : 134-146.
- DRIEUX E., ST-LOUIS M., SCHLICKENRIEDER J., BERNOUX M., 2019**
State of the Koronivia joint work on agriculture – Boosting Koronivia. Rome, FAO, 32 p. www.fao.org/3/ca6910en/ca6910en.pdf
- FAO-ITPS, 2016**
État des ressources en sols du monde – Résumé technique. Rome, FAO-ITPS.
- FUJISAKI K., CHEVALLIER T., CHAPUIS-LARDY L., ALBRECHT A., RAZAFIMBELO T., MASSE D., NDOUR Y. B., CHOTTE J.-L., 2018A**
Soil carbon stock changes in tropical croplands are mainly driven by carbon inputs: a synthesis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 259 : 147-158.

FUJISAKI K., CHAPUIS-LARDY L., ALBRECHT A., RAZAFIMBELO T., CHOTTE J.-L., CHEVALLIER T., 2018b

Data synthesis of carbon distribution in particle size fractions of tropical soils: implications for soil carbon storage potential in croplands. *Geoderma*, 313 : 41-51.

GCF, 2019

Accelerating REDD+ implementation. *Green Climate Fund working paper*. N°2. Téléchargeable : www.greenclimate.fund/documents/20182/194568/Accelerating_REDD_implementation.pdf/a7da7d6c-3d72-eb8a-b5e0-7bab9027193b

GIEC., 2006

Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. Volume 4. Agriculture, foresterie et autres affectations des terres, préparé par le Programme pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. Eggleston H. S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K. (éd), Japon, IGES.

HADDAWAY N. R., HEDLUND K., JACKSON L. E., KÄTTERER T., LUGATO E., THOMSEN I. K., JØRGENSEN H. B., ISBERG P.-E., 2017

How does tillage intensity affect soil organic carbon? A systematic review. *Environmental Evidence*, 6 (1) : 30.

HAMDI S., MOYANO F., SALL S., BERNOUX M., CHEVALLIER T., 2013

Synthesis analysis of the temperature sensitivity of soil respiration from laboratory studies in relation to incubation methods and soil conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, 58 : 115-126.

HASSINK J., 1997

The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. *Plant and Soil*, 191 : 77-87.

IPCC, 2019

Climate change and land. An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Summary for policy makers. 43 p.

JONES A., BREUNING-MADSEN H., BROSSARD M., DAMPHA A., DECKERS J., DEWITTE O., GALLALI T., HALLETT S., JONES R., KILASARA M., LE ROUX P., MICHELI E., MONTANARELLA L., SPAARGAREN O., THIOMBIANO L., VAN RANST E., YEMEFACK M., ZOUGMORÉ R. (éd), 2013

Soil Atlas of Africa. Luxembourg, European

Commission, Publications Office of the European Union, 176 p.

KALLENBACH C. M., FREY S. D., GRANDY A. S., 2016

Direct evidence for microbial-derived soil organic matter formation and its ecophysiological controls. *Nature Communications*, 7:13630.

KLEBER M., EUSTERHUES K., KEILUWEIT M., MIKUTTA C., MIKUTTA R., NICO P. S., 2015

Mineral-organic associations: formation, properties, and relevance in soil environments. *Advances in Agronomy*, 130 : 1-140.

LAL R., 2004

Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304 (5677) : 1623-1627.

LEWIS S. L., WHEELER C. E., MITCHARD E. T. A., KOCH A., 2019

Restoring natural forests is the best way to remove atmospheric carbon. *Nature*, 568 : 25-28.

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 & Environment*, 139 (1) : 224-231.

MILTNER A., BOMBACH P.,

SCHMIDT-BRÜCKEN B., KÄSTNER M., 2012
SOM genesis: microbial biomass as a significant source. *Biogeochemistry*, 111 (1) : 41-55.

MYHRE G., SHINDELL D., BRÉON F.-M., COLLINS W., FUGLESTVEDT J., HUANG J., KOCH D., LAMARQUE J.-F., LEE D., MENDOZA B., NAKAJIMA T., ROBOCK A., STEPHENS G., TAKEMURA T., ZHANG H., 2013
« Anthropogenic and natural radiative forcing ». In Stocker T. F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S. K., Doschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P. M. (éd.) : *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press : 659-740. DOI:10.1017/CBO9781107415324.018.

OGLE S., ALSAKER C., BALDOCK J., BERNOUX M., BREIDT F. J., MCCONKEY B., REGINA K., VAZQUEZ-AMABILE G., 2019

Climate and soil characteristics determine where no-till management can store carbon in soils and mitigate greenhouse gas emissions. *Scientific Reports*, 9 (11665).

- PELLERIN S., BAMIÈRE L. (éd.), 2019**
Stocker du carbone dans les sols français. Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1 000 et à quel coût ? Synthèse du rapport d'étude, Inra, 114 p.
<http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Etudes/Toutes-les-actualites/Stocker-4-pour-1000-de-carbone-dans-les-sols-francais>
- POWLSON D. S., WHITMORE A. P., GOULDING K. W. T., 2011**
 Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false. *European Journal of Soil Science*, 62 (1) : 42-55.
- PRIBYL D., 2010**
 A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. *Geoderma*, 156 : 75-83.
- QUÉNÉA K., DERENNE S., RUMPEL C., ROUZAUD J. N., GUSTAFSSON O., CARCAILLET C., MARIOTTI A., LARGEAU C., 2006**
 Black carbon yields and types in forest and cultivated sandy soils (Landes de Gascogne, France) as determined with different methods: Influence of change in land use. *Organic Geochemistry*, 37 (9) : 1185-1189.
- RAZAFIMBELO T., RAZAKAMANARIVO H., RAFOLISY T., RAKOTOVAO N., SANEHO T., ANDRIAMANANJARA A., RAKOTOSAMIMANANA S., DEFFONTAINES S., FALINIRINA V., BERNARD L., MASSE D., ALBRECHT A., 2015A**
Climate smart practices impact soil organic carbon storage in Madagascar. Présentation à la conférence « Climate-Smart Agriculture », Montpellier, France.
- RAZAFIMBELO T., BERNOUX M., NDOUR Y., AMADJI G., BALARABE O., HIEN E., KONARE H., KONÉ A., TAISSO M., GALLALI T., RAZAKAMANARIVO H., RAFOLISY T., ANDRIAMANANJARA A., RANDRIAMANANTSOA L., RABENARICO M., RASOARIMALALA O., RABEHARISOA L., RAZAFIMAHATRATRA H., BECQUER T., BLANCHART E., BERNARD L., RAKOTOVAO N., RAMAROSON V., RAVONJARISSON N., AHOLOUKPE H., YEMADJE L., GANGLO J., GOURO A., ASSOUMA M., BILGO A., BELEM M., ALI M., KO AWONO M., M'BIANDOUN M., LENDZEMO V., MOUHAMAN A., OLINA ASSALA J., ETTIEN J., KASSIN K., DIBI K., TONDOH J., DIOUF A., SALL S., SALL A., MASSE D., GARRAUD S., BASTARD G., BALDE M., BA A., LARDY L., KOMI A., WELE A., ABGASSI A., VAYSSIER H., GUIBERT H., BARTHÈS B., CHOTTE J.-L., ALBRECHT A., BROSSARD M., CHEVALLIER T., COUNAC L., BLAVET D., CLERMONT-DAUPHIN C., DELEPORTE P., GRINAND C., SALGADO P., MANLAY R., SABIR M. L. B., 2015B**
Soil carbon network for sustainable agriculture in Africa (CaSA): an open scientific group for a better consideration of CSA in Africa. Présentation à la conférence internationale « Our Common future under climate change », 7-10 juillet 2015, UNESCO, Paris.
- RAZAFIMBELO T., BERNOUX M., SALL S., AMADJI G., BALARABE O., HIEN E., KONÉ A., TAISSO M., GALLALI T., ANDRIAMANANJARA A., RAZAKAMANARIVO H., CHEVALLIER T., BECQUER T., RAFOLISY T., RAKOTOVAO N., RAVONJARISSON N., AHOLOUKPE H., AGBOSSOU E., NDOUR Y., MASSE D., ALBRECHT A., ABGASSI A., KONARE H., GUIBERT H., YEMADJE L., BROSSARD M., 2016**
Sustainable agriculture practices impacts on soil organic carbon: a few example from Sub Saharan Africa. Présentation au 5th International Ecosummit, Montpellier, France.
- RUMPEL C., ALEXIS M., CHABBI A., CHAPLOT V., RASSE D. P., VALENTIN C., MARIOTTI A., 2006**
 Black carbon contribution to soil organic matter composition in tropical sloping land under slash and burn agriculture. *Geoderma*, 130 (1) : 35-46.
- SMITH P., BUSTAMANTE M., AHAMMAD H. et al., 2014**
 « Agriculture, forestry and other land use (AFOLU) ». In Edenhofer O., Pichs-Madruga R., Sokona Y., et al. (éd.), *Climate change 2014: mitigation of climate change. Contribution of Working group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom & New York, NY, USA : 811-922.
- STROHMAIER R., RIOUX J., SEGGER A., MEYBECK A., BERNOUX M., SALVATORE M., MIRANDA J., AGOSTINI A., 2016**
The agriculture sectors in the intended nationally determined contributions: analysis. Rome, FAO.
- VISCARRA ROSSEL R. A., BEHRENS T., BENDOR E., BROWN D. J., DEMATTÉ J. A. M., SHEPHERD K. D., SHI Z., STENBERG B., STEVENS A., ADAMCHUK V., AÏCHI H., BARTHÈS B. G., BARTHOLOMEUS H. M., BAYER A. D., BERNOUX M., BÖTTCHER K., BRODSKÝ L., DU C. W., CHAPPELL A.,**

FOUAD Y., GENOT V., GOMEZ C., GRUNWALD S., GUBLER A., GUERRERO C., HEDLEY C. B., KNADEL M., MORRÁS H. J. M., NOCITA M., RAMIREZ-LOPEZ L., ROUDIER P., CAMPOS E. M. R., SANBORN P., SELBITTO V. M., SUDDUTH K. A., RAWLINS B. G., WALTER C., WINOWIECKI L. A., HONG S. Y., JI W., 2016
A global spectral library to characterize the world's soil. *Earth-Science Reviews*, 155 : 198-230.

WALKLEY A. J., BLACK I. A., 1934
Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37 : 29-38.

WOOD S. A., SOKOL N., BELL C. W., BRADFORD M. A., NAEEM S., WALLENSTEIN M. D., PALM C. A., 2016
Opposing effects of different soil organic matter fractions on crop yields. *Ecological Applications*, 26 (7) : 2072-2085.