

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

---

## Chapitre 8. Dynamique de stockage du carbone dans les sols du Sénégal

Acquis de la recherche et perspectives

Yacine Badiane Ndour, Saïdou N. Sall, Macoumba Loum, Adama Diouf, Abdoulaye Wélé, Ousmane Ndiaye, Dominique Masse et Lydie Chapuis-Lardy

---

DOI : 10.4000/books.irdeditions.35002

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

NDOUR, Yacine Badiane ; et al. *Chapitre 8. Dynamique de stockage du carbone dans les sols du Sénégal : Acquis de la recherche et perspectives* 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/35002>>. ISBN : 9782709928373. DOI : <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.35002>.

---

# Dynamique de stockage du carbone dans les sols du Sénégal

## Acquis de la recherche et perspectives

Yacine BADIANE NDOUR, Saïdou N. SALL,  
Macoumba LOUM, Adama DIOUF,  
Abdoulaye WÉLÉ, Ousmane NDIAYE,  
Dominique MASSE, Lydie CHAPUIS-LARDY

### Introduction

Au Sénégal, la dynamique de stockage du carbone dans les sols est souvent estimée par des approches de modélisation (TSCHAKERT *et al.*, 2004 ; PARTON *et al.*, 2004 ; WOOMER *et al.*, 2004 ; LUFABA *et al.*, 2008 ; STOOBVOGEL *et al.*, 2009 ; DIÈYE *et al.*, 2012 ; TOURÉ *et al.*, 2013 ; LOUM *et al.*, 2014). Quelques études expérimentales ont également été réalisées (ELBERLING *et al.*, 2003 ; MANLAY *et al.*, 2002 ; MASSE *et al.*, 2004). La teneur des sols en carbone est généralement faible, de moins de 5 à 20 g C.kg<sup>-1</sup> de sol (KHOUMA, 2002). Cependant, les changements de pratiques agricoles constituent un moyen potentiel d'accroître les stocks de carbone dans les sols, principalement au travers la restauration des terres agricoles dégradées (FAO, 2002) et l'amélioration des pratiques agricoles actuelles. La jachère de courte durée n'est pas toujours un moyen efficace de maintenir la qualité du sol (MASSE, 2007 ; NDOUR *et al.*, 2008) et les zones rurales du Sénégal sont affectées par une réduction de la fertilité des sols (PIERI, 1989). Dans ce contexte, il est nécessaire de modifier les pratiques agricoles. Une quantification détaillée des variations temporelles et spatiales de la dynamique du carbone peut orienter ces pratiques agricoles en vue d'améliorer la durabilité des stocks de carbone et de la qualité des sols.

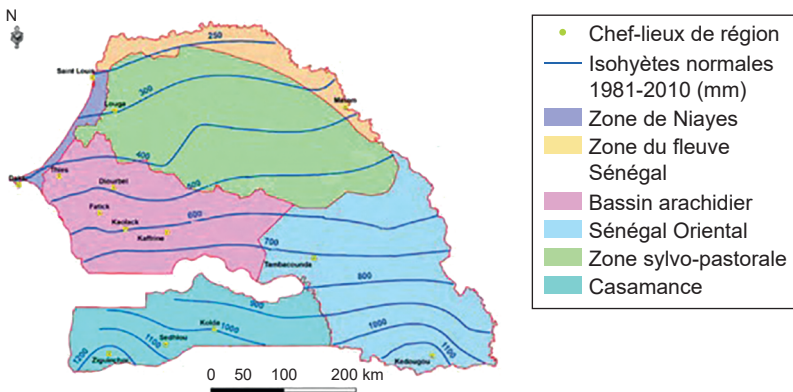
Cette étude a pour objectif de passer en revue les travaux, réalisés au cours des deux dernières décennies, sur la dynamique des stocks de carbone des sols

(2000-2016). Il s'agit de fournir un résumé de l'état actuel des connaissances et de déterminer les principaux défis dans la définition des potentiels de stockage de carbone des sols agricoles au Sénégal.

## Potentiel de stockage du carbone des sols agricoles

### Activités agricoles et sols dominants des différentes zones écogéographiques

Les systèmes agricoles au Sénégal se situent dans la zone semi-aride où les précipitations sont faibles, variant de 200 à 800 mm, et plus importantes au sud où les pluies peuvent atteindre 1 200 mm (fig. 1). Les travaux de l'Office de la recherche scientifique et technique outre-mer (ORSTOM<sup>1</sup>) durant les années 1960 (MAIGNIEN, 1965 ; CHARREAU et FAUCK, 1965) et du Earth Resources Observation System Data Center (EROS Data Center), entre 1985 et 1992, ont permis d'élaborer des cartes d'organisation des principaux types de sols à l'échelle du territoire sénégalais (fig. 2). Les types de sols dominants (CPCS, 1967) sont ici appréhendés par zone écogéographique (littoral, vallée du fleuve Sénégal, Ferlo, bassin arachidier, Sénégal oriental et Casamance ; fig. 1). Des classifications à moyenne échelle ont toutefois été réalisées dans la plupart des régions du Sénégal (cartothèque de l'Institut de recherche pour le développement, IRD<sup>2</sup>).



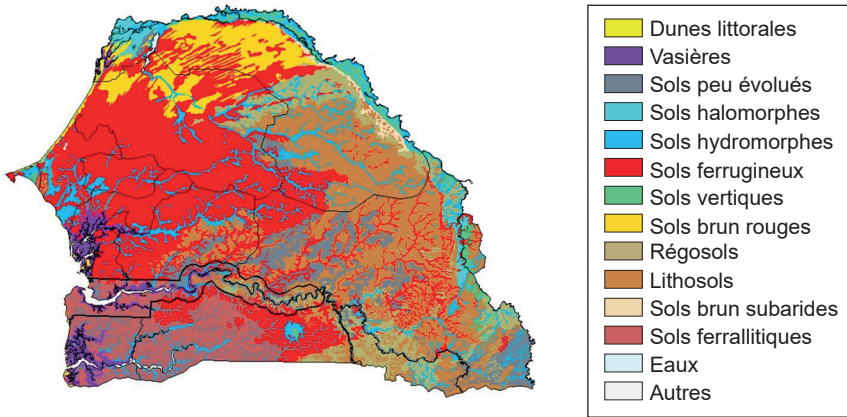
**Figure 1**

Localisation des zones écogéographiques et variabilité annuelle des précipitations au cours des trois dernières décennies à l'échelle nationale (1981-2010).

Source : CSE-ANAT-ANACIM.

<sup>1</sup> Ex-IRD (Institut de recherche pour le développement)

<sup>2</sup> <http://sphaera.cartographie.ird.fr>



**Figure 2**  
 Carte des sols du Sénégal.  
 Source : EROS Data Center, 1985-1992.

### *Le littoral*

Le système de production agricole sur la bande littorale dite des Niayes est dominé par les cultures maraîchères et horticoles permises par la proximité de la nappe phréatique. Les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés occupent 70 % des surfaces de la région des Niayes. Des sols halomorphes, caractérisés par leur salinité et/ou alcalinité, sont situés aux environs des lagunes côtières barrées par les cordons dunaires et des sols hydromorphes occupent les dépressions.

### *La vallée du fleuve*

Les productions agricoles sont dominées dans la vallée du fleuve Sénégal par la riziculture irriguée, la culture de la canne à sucre et le maraîchage. Les systèmes d'irrigation s'effectuent avec des stations de pompage et des réseaux différentiels (primaires, secondaires et tertiaires) qui permettent le prélèvement des eaux du fleuve et leur écoulement vers les périmètres agricoles. Les principales unités pédologiques sont constituées de sols hydromorphes et halomorphes.

### *Le Ferlo*

Le Ferlo est une zone écogéographique à vocation pastorale. La transhumance à grande échelle, avec des mouvements pendulaires de la zone sylvopastorale du Ferlo vers les autres zones écogéographiques (bassin arachidier et Sénégal oriental), est la principale caractéristique de ce système de production. Les sources d'apports de carbone proviennent de la végétation naturelle et des déjections animales issues du pastoralisme. Les sols dominants sont de type brun rouge subaride.

### *Le bassin arachidier*

Dans le bassin arachidier, le système de production est largement dominé par l'agriculture pluviale. L'arachide, le mil, le maïs et le niébé sont les principales espèces végétales cultivées. L'arachide est une culture de rente et demeure la principale source de revenus des populations locales. Les cultures de céréales (mil et maïs) sont destinées à l'autoconsommation. La production végétale repose principalement sur la rotation de ces cultures avec la jachère. L'élevage sédentaire est parfois associé aux productions végétales. Les sols sont généralement de type ferrugineux tropical lessivé ou peu lessivé (CPCS, 1967) et se caractérisent par une texture fortement sableuse (90 %). Des sols sablo-argileux sont localisés dans les dépressions.

### *Le Sénégal oriental*

Dans la région du Sénégal oriental, l'exploitation minière du sous-sol est une activité socio-économique de premier plan. Le système de production agricole reposant en grande partie sur la culture cotonnière est faiblement représenté. La superficie occupée par des sols non cultivables à l'échelle de la région est estimée à 69 % (BOULET, 2000). La couverture pédologique est dominée par des sols sur matériaux gravillonnaires marquée par une forte hétérogénéité (KHOUMA, 2002). Les types de sols présentant une très bonne aptitude culturale sont faiblement représentés, respectivement de 3 %, 39 % et 33 % pour les départements de Tamba, Kédougou et Bakel.

### *La Casamance*

La riziculture pluviale et les cultures horticoles occupent une bonne place dans la vie socio-économique des populations de la région de Casamance. Comparées aux régions plus septentrionales ou intérieures du pays, les précipitations y sont relativement élevées, atteignant parfois 1 200 mm.an<sup>-1</sup>. Les sols sont en général de type ferrallitique (faiblement ou moyennement désaturés selon les endroits).

## **État des stocks de carbone des sols**

L'hétérogénéité de la répartition pluviométrique et sa forte variabilité au cours de ces dernières années dans certaines zones du pays, sont à l'origine de fortes variations de biomasses végétales aériennes et souterraines (racines) (FAO, 2004). Il en résulte des faibles teneurs en carbone organique dans les sols (COS). Dans ces différentes zones écogéographiques, les propriétés intrinsèques des sols peuvent également avoir un effet majeur sur leurs stocks de carbone et sur leur potentiel de séquestration. La faible teneur en COS de l'intérieur du Sénégal est en partie due à la texture sableuse des sols formés à partir du grès terminal continental (NDOUR *et al.*, 2001). La teneur en COS des zones alluviales présentant des dépôts de terrasse fluvio-deltaïques et fossilifères est généralement plus élevée, car la fraction fine (argile + limon) y est plus élevée et peut atteindre 50 % (SY, 2008). Les restitutions de matière organique dans les sols sont

également insuffisantes car les résidus de culture sont souvent utilisés pour l'alimentation du bétail (BADIANE *et al.*, 2002).

Dans les sols de la moyenne vallée du fleuve Sénégal (nord de Kassak), les stocks de carbone sont de l'ordre de 4 Mg C.ha<sup>-1</sup> dans l'horizon 0-12 cm (tabl. 1). Les stocks de COS du Ferlo sont de l'ordre de 2 Mg C.ha<sup>-1</sup> dans la couche superficielle (0-5 cm) ; les sources d'apports de carbone proviennent de la végétation naturelle et des déjections animales issues du pastoralisme. Dans la couche 0-20 cm des sols du bassin arachidier, le stock sous des cultures annuelles varie de 6,2 à 11,3 Mg C.ha<sup>-1</sup> selon l'étude, la culture et la zone considérée. Dans les sols de Casamance, pour la même couche de sol considérée (0-20 cm), le stock de COS de 12,2 Mg C.ha<sup>-1</sup> sous culture peut atteindre 15,9 Mg C.ha<sup>-1</sup> en moyenne sous jachère.

Tableau 1

Les stocks de carbone du sol estimés à partir des données bibliographiques.

Zones écogéographiques	Modes d'usage	Stocks de COS (Mg C.ha <sup>-1</sup> )	Couches de sol (cm)	Sources
Bassin arachidier	Cultures annuelles (arachide + mil)	8,9	0-25	LOUM <i>et al.</i> , 2014
	Forêts	11,1		
	Cultures annuelles (arachide, mil, sorgho)	11,3	0-20	TSCHAKERT <i>et al.</i> , 2004
	Cultures annuelles (arachide + mil)	6,2	0-20	KHOUMA, 2002
Casamance	Cultures	12,2	0-20	MANLAY <i>et al.</i> , 2002
	Jachères	15,9		
Ferlo	Steppes herbacées	2,0	0-5	ELBERLING <i>et al.</i> , 2003
Vallée du fleuve Sénégal	Riziculture dans des sols hydromorphes	4,7	0-12	KHOUMA, 2002
	Sols halomorphes	3,9		

Les entrées de carbone des parcelles en jachère peuvent être faibles lorsque la régénération naturelle de la végétation est pâturée pendant la saison sèche. La biomasse racinaire constitue alors l'unique source d'apport de carbone dans les sols lorsque la jachère dure plus de deux ans. En quatre années de jachère, MASSE *et al.* (2004) ont observé une diminution des stocks de COS de 1,3 et 0,1 Mg C.ha<sup>-1</sup> respectivement dans le sud du bassin arachidier (Sonkorong) et en Casamance (Saré Yorouba). Les parcelles de jachère ont de forts potentiels de stockage de carbone lorsqu'elles sont remises en culture grâce à l'importance de leur biomasse racinaire et de la litière qui s'y trouve. Ces deux compartiments issus de la biomasse végétale constituent les principales sources de carbone.

## Prédiction des stocks de carbone au Sénégal

Les modèles Century et RothC ont été les plus fréquemment utilisés pour prédire la dynamique du carbone des sols au Sénégal selon différents scénarios agronomiques et de changement climatique (FARAGE *et al.*, 2007). Le modèle Century est le plus complet car, outre le carbone du sol, il permet de prédire la teneur du carbone de la biomasse végétale, les rendements des cultures ainsi que d'autres propriétés du sol telles que les teneurs en azote ou en phosphore. Cependant, le modèle RothC est plus facile à utiliser avec moins de variables d'entrée. TSCHAKERT *et al.*, (2004) ont appliqué le modèle Century aux agro-systèmes sénégalais du bassin arachidier. Parmi les 25 scénarios de mode d'utilisation agricole des sols répertoriés par ces auteurs, 16 entraînent une réduction des stocks de COS entre 2002 et 2050. La rotation continue des cultures (arachide + mil) sans apport externe de carbone entraîne la plus forte diminution des stocks de carbone (tabl. 2). L'agroforesterie à base de *Faidherbia albida* a généré la plus forte augmentation des stocks de COS (+11 Mg C.ha<sup>-1</sup> entre 2002 et 2050, soit 0,28 Mg C.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>).

Tableau 2  
Évolution des stocks de carbone organique des sols simulés avec le modèle Century (2002-2050) en fonction des systèmes de culture.

Rotations de cultures	Description	Variation des stocks de COS (Mg C.ha <sup>-1</sup> )
Arachide/Mil	2 ans de culture de mil / 1 an d'arachide.	- 3,9
Culture/Jachère	4 ans de culture / 3 ans de jachère.	- 1,4
Culture de rotation/ Jachère	Amendements : 2 Mg de matière sèche (MS).ha <sup>-1</sup> de compost pour un champ de mil. 4 Mg MS.ha <sup>-1</sup> de compost et 1,8 Mg MS.ha <sup>-1</sup> de fumier pour un champ d'arachide.	+ 0,3
Agroforesterie	Plantation de <i>Faidherbia albida</i> avec une densité de 250 à 300 arbres.ha <sup>-1</sup> et réduction du brûlis.	+ 11,1

Source : TSCHAKERT *et al.*, 2004.

Le modèle RothC, appliqué dans le bassin arachidier a montré que la rotation arachide-mil entraîne la réduction la plus importante des stocks de COS (LOUM *et al.*, 2014 ; tabl. 3). Avec un scénario sans changement climatique, les stocks de COS (couche 0-25 cm) sont passés de 8,1 Mg C.ha<sup>-1</sup> en 2009 à 3,3 Mg C.ha<sup>-1</sup> en 2050 soit une perte de 4,8 Mg C.ha<sup>-1</sup> sur la période (tabl. 3). Cette perte de carbone reste du même ordre de grandeur lors des simulations avec un scénario de changement climatique. Le scénario « agroforesterie à base de *Faidherbia albida* » devrait augmenter les stocks de COS d'environ 12 Mg C.ha<sup>-1</sup> entre 2009 et 2050, quel que soit le scénario climatique.

Tableau 3

Simulation de l'évolution des stocks de carbone organique du sol avec le modèle RothC (2009-2050) en fonction des rotations culturales annuelles et selon divers scénarios de changement climatique.

Rotations culturales	Évolution des stocks de COS (Mg C.ha <sup>-1</sup> )		
	Scénarios de changement climatique		
	Aucun	Faible	Fort
Arachide-mil en présence d' <i>Acacia senegal</i>	+ 1,22	+ 0,60	+ 0,97
Arachide-mil en présence de <i>Faidherbia albida</i>	+ 12,41	+ 11,74	+ 11,93
Arachide-mil	- 4,83	- 4,93	- 5,09
Arachide-mil-jachère	- 4,63	- 4,88	- 4,72
Mil-arachide-jachère	- 2,32	- 2,48	- 1,78
Arachide-mil-jachère-jachère-jachère	- 3,34	- 3,47	- 3,48

Source : LOUM *et al.*, 2014.

Les modèles couplés comme GEFSOC (*Global Environmental Facility for Soil Carbon Sequestration*) et GEMS (*General Ensemble Biogeochemical Modeling System*) (basés sur Century) ont été testés au Sénégal pour prévoir la dynamique temporelle et spatiale du COS. Cependant, ces modèles ont été calibrés avec peu de données expérimentales de terrain. Les variables d'entrée ont été principalement collectées dans la bibliographie.

Le modèle GEFSOC a été testé au Sénégal par BELLASSEN *et al.* (2010) pour évaluer la dimension spatiale et socio-économique du stockage du carbone en prenant en compte quatre scénarios agronomiques différents selon leur degré d'intensification (données non présentées). À l'échelle du Sénégal, la modélisation a montré que les variations de stocks de COS simulées étaient parfois négatives avec le scénario d'intensification maximale. Les stocks de carbone les plus faibles ont été enregistrés dans la région de Saint-Louis où la configuration du modèle ne tenait pas compte des sols des rizières. Les sols ayant les stocks de COS les plus importants se trouvaient en Casamance avec 15,6 et 12,7 Mg C.ha<sup>-1</sup> respectivement dans les régions de Ziguinchor et Kolda. Pour le scénario d'intensification élevée, les stocks de carbone étaient généralement faibles quelle que soit la région.

Dans la région de Vélingara, LIU *et al.* (2004) ont quantifié la dynamique du stock de carbone à l'aide du modèle GEMS. En 2000, le stock moyen de COS comprenant divers modes d'utilisation des sols (parcelles cultivées, parcelles en jachère, zones forestières, savanes et reboisements) était estimé à 28 Mg C.ha<sup>-1</sup> dans la couche 0-40 cm. En 2100, le modèle prévoyait une diminution des stocks variant entre 3,3 et 6,9 Mg C.ha<sup>-1</sup>. DIÈYE *et al.*, (2012) ont également appliqué le modèle GEMS au nord du Sénégal. Les stocks de COS moyens estimés (0-20 cm) variaient entre 4,8 Mg C.ha<sup>-1</sup> dans les sols nus et 15 Mg C.ha<sup>-1</sup> dans les sols des systèmes de culture irrigués.



## Facteurs déterminant le stockage du carbone des sols

Différents travaux (ELBERLING *et al.*, 2003 ; TOURÉ *et al.*, 2013 ; TSCHAKERT *et al.*, 2004) ont montré que les propriétés physiques du sol, les facteurs anthropiques liés au défrichement et aux pratiques sur brûlis, sont les déterminants du déstockage de carbone des sols du Sénégal.

### Les propriétés physiques du sol

La texture est un déterminant des stocks de carbone du sol. Les travaux réalisés par LOUM (2012) et TOURÉ *et al.* (2013), dans la zone du bassin arachidier du Sénégal, montrent une forte corrélation entre les teneurs, ou les stocks, en carbone organique et la teneur en argile ou de la fraction fine (argile+limon).

Les stocks de COS, ainsi que la texture, varient également avec la profondeur du sol. Les différentes études faites au Sénégal sur les stocks de COS ont considéré différentes profondeurs (tabl. 1). Les stocks moyens de carbone dans les agrosystèmes de Khelcom ont été calculés pour 0-25 cm. Dans le département de Bambey, les stocks de COS ont été calculés pour 0-20 cm (TSCHAKERT *et al.*, 2004). ELBERLING *et al.* (2003) ont calculé les stocks de COS pour 0-100 cm. Bien que les horizons superficiels soient ceux qui reçoivent les apports de matière organique, ce sont aussi ceux qui subissent, dans les agrosystèmes sénégalais, les différentes formes d'érosion (éolienne et hydrique). Les écarts dans la profondeur considérée rendent alors difficiles les comparaisons des stocks de COS d'une région à l'autre.

### Les facteurs anthropiques

Le défrichement, la déforestation ou les feux de brousse sont divers facteurs d'émission de CO<sub>2</sub> qui caractérisent les systèmes de production agricoles du Sénégal.

#### *Défrichement avant mise en culture et travail du sol*

Au Sénégal, le défrichement est une pratique culturale marquant le début du calendrier saisonnier de l'agriculture pluviale. Il intervient au cours des mois de mai et juin. Les résidus des cultures (racines de mil, maïs, sorgho, etc.) et les débris végétaux laissés à la surface du sol sont nettoyés afin de permettre un bon déroulement des opérations de semis et sarclage. Les repousses des espèces arbustives, notamment de *Guiera senegalensis*, *Combretum glutinosum* et *Balanites aegyptiaca*, sont aussi recépées (LUFABA *et al.*, 2008). Le défrichement réduit considérablement les entrées de matière organique et le stockage de carbone dans le sol des parcelles cultivées. En effet, la biomasse végétale est entassée, puis exportée pour l'alimentation du bétail ou pour un usage domestique, voire même brûlée. Une agriculture extensive dans laquelle les résidus de culture sont exportés ou brûlés réduit les possibilités de reconstitution des stocks de COS (STOORVOGEL

*et al.*, 2009). Par ailleurs, les exploitations familiales utilisent des outils traditionnels pour le travail du sol. Le labour et le sarclage à la houe ou par traction animale sont principalement utilisés pour le désherbage des adventices dans les parcelles agricoles (VALL *et al.*, 2004). Ces techniques culturales ont en général des conséquences néfastes sur le bilan organique des terres. Elles provoquent l'émission des sols lorsqu'elles sont mal exécutées ou appliquées de façon tardive (BADIANE *et al.*, 2002).

### Déforestation

La transformation des parcours pastoraux et des aires protégées en terres de culture est une caractéristique de la dynamique des espaces ruraux du Sénégal. L'agriculture extensive s'est propagée en 1840 du fait de l'introduction de la culture de l'arachide par le pouvoir colonial (MBOU *et al.*, 2008).

Les agrosystèmes installés à Khelcom, dans la réserve forestière de Mbégué, sont l'exemple le plus récent de déforestation pour le développement des zones rurales au Sénégal. La localité de Khelcom était une aire protégée de 100 000 ha connue sous le nom de forêt de Mbégué. De 1992 à 2010, 50 000 ha de la réserve ont été transformés en terres agricoles (LOUM, 2012). En 2009, les stocks moyens de COS (0-25 cm) étaient de 14,8 Mg C.ha<sup>-1</sup> dans la zone sous forêts et de 8,1 Mg C.ha<sup>-1</sup> dans la zone mise en culture (LOUM, 2012). En Casamance, la superficie des zones forestières a diminué de 22 % entre 1973 et 1999 dans la zone de Vélingara au profit d'espaces agricoles dont la superficie a augmenté de 15 % (LIU *et al.*, 2004). La collecte du bois de chauffe et la fabrication du charbon de bois sont les principales causes de déforestation dans cette région.

### Feux de brousse

Les feux de brousse, déclenchés par l'homme, compromettent fortement la durabilité environnementale des agrosystèmes au Sénégal. Le climat est tel que la végétation disparaît considérablement pendant la saison sèche (LIU *et al.*, 2004), offrant ainsi des conditions idéales pour la propagation des feux. Certains feux de brousse sont causés involontairement par des pasteurs ou des forestiers. Cependant, certains agriculteurs du bassin arachidier les utilisent pour défricher les parcelles agricoles. Ces feux, non maîtrisés, conduisent parfois à de vastes feux de brousse. En 2003, les superficies brûlées ont été estimées à 740 000 ha contre 180 000 ha en 1997 (CSE, 2003).

## Améliorer le stockage du carbone dans les sols du Sénégal

Dans les systèmes traditionnels de rotations annuelles cultures-jachères, les durées de mise en jachère se réduisent. Ces systèmes parviennent rarement à

maintenir les stocks de COS (BADIANE *et al.*, 2002). Cependant, les stocks de COS peuvent être augmentés par des systèmes agroforestiers ou par des systèmes intégrés associant cultures et élevage.

## Les jachères améliorées

La culture continue réduit les stocks de carbone des sols en raison de pratiques agricoles extensives (défrichement, pâturage, brûlis, exportation des résidus de récolte, faibles apports de matière organique). Les jachères sont destinées à reconstituer le capital physique et chimique des sols grâce à l'apport de matière organique provenant de la régénération naturelle de la végétation (MASSE *et al.*, 2004). En saison sèche, les paysages sahéliens sont souvent constitués de sols nus avec une distribution éparse d'espèces ligneuses. En saison des pluies, le tapis herbacé constitué d'espèces graminéennes (*Cenchrus biflorus*, *Schoenefeldia gracilis*, etc.) et de rares espèces pérennes (*Andropogon gayanus*) se régénère naturellement dans les parcelles agricoles et dans les parcours pastoraux (BREMANN et KESSLER, 1995). Des espèces ligneuses de la famille des Combrétacées (*Guiera senegalensis*, *Combretum glutinosum*) et de celle des Mimosacées (*Acacia raddiana*, *Faidherbia albida*) sont aussi concernées par ces cycles de régénération annuelle. Cette résilience de la végétation naturelle spontanée constitue un facteur potentiel de stockage du carbone dans les sols ; celle-ci peut être valorisée par des techniques appropriées de gestion des biomasses naturellement produites.

Cependant, des recherches ont montré que les jachères simples sans enfouissement des résidus n'augmentent pas les stocks de COS et les modèles ont même prédit de faibles pertes d'environ  $0,05 \text{ Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$  (TSCHAKERT *et al.*, 2004). Les parcelles mises en jachère doivent donc être retravaillées à des fins de conservation de la qualité des sols. L'enfouissement des résidus végétaux dans le sol est pratiqué en substitution du brûlis et doit être renforcé par l'introduction de graminées vivaces. *Andropogon gayanus* par exemple, avec son importante biomasse végétale (ACHARD *et al.*, 2001 ; NDOUR *et al.*, 2001), peut renforcer la contribution des jachères au stockage du carbone dans les sols.

## L'agroforesterie

Les arbres et les arbustes utilisés dans les systèmes agroforestiers sont en mesure d'accroître les stocks de COS grâce aux apports de biomasse aérienne et racinaire. Les modèles Century et RothC prévoient que l'agroforesterie à base de *Faidherbia albida* dans le bassin arachidier entraînerait une augmentation moyenne de  $0,30 \text{ Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$  d'ici 2050 (TSCHAKERT *et al.*, 2004 ; LOUM *et al.*, 2014). La plantation d'arbres et la présence d'arbustes natifs protègent le sol de l'érosion hydrique et éolienne, et facilitent la remontée d'eau des horizons profonds des sols vers la surface par un phénomène d'ascenseur hydrique (par exemple KIZITO *et al.*, 2012).

La plupart des espèces d'arbres ou d'arbustes utilisées en agroforesterie contribuent aussi à la performance des systèmes de production animale et aident

à diversifier les sources de revenus des populations rurales. Par exemple, l'agroforesterie à base de *F. albida* soutient les systèmes de production animale, grâce à leurs gousses utilisées comme fourrage. D'autres espèces végétales (*Acacia senegal*, *Cordyla pinnata* et *Tamarix indica*) génèrent aussi des produits à usages domestiques et commerciaux qui procurent des revenus aux populations locales. L'agroforesterie offre ainsi une gamme variée de services allant de la conservation de la qualité des sols à la diversification des sources de revenus des populations locales (MBOU *et al.*, 2014).

## Les systèmes de production mixtes cultures-élevage

Au Sénégal, les agrosystèmes combinent souvent des systèmes de production végétale et animale. Pendant la saison des pluies, les parcelles en jachère servent de pâturage aux animaux domestiques (DIOP *et al.*, 2005). Le potentiel de contribution des productions animales au stockage du COS est toutefois limité du fait des modes de gestion extensifs. Dans le bassin arachidier par exemple, les relations entre productions végétales et animales se réduisent surtout à la traction animale ou à l'utilisation des résidus de récolte dans l'alimentation du cheptel (DIÈYE et GUÈYE, 1998). Dans la zone du Ferlo, même si l'activité pastorale est omniprésente, les pasteurs s'intéressent davantage à la pratique agricole, les troupeaux constituant un capital, un moyen d'épargner lors des bonnes récoltes (MAGRIN *et al.*, 2011). Les pratiques d'épandage de fumier rencontrées en agriculture familiale concernent surtout les portions de parcelles de cultures ayant une baisse de leur potentiel de production. De par ces apports organiques d'origine animale, les systèmes agricoles mixtes pourraient donc être un moyen d'accroître substantiellement les stocks de COS. Dans un système intégrant agriculture et élevage suivi pendant cinq ans (1997-2002) en Casamance, MANLAY *et al.* (2004) ont montré que le bétail, les récoltes, le bois et la paille sont respectivement responsables de 83 %, 15 % et 2 % des apports de carbone dans les sols. Toutefois, les déjections animales issues de la vaine pâture et de l'élevage transhumant sont aussi des sources d'émissions de gaz à effet de serre qu'il conviendrait de quantifier lors d'un bilan global de la séquestration du carbone.

## Conclusion et orientations futures

Les stocks de carbone organique dans les sols du Sénégal varient considérablement dans le temps et selon les zones écogéographiques. Cette variation est relative aux types de sols, aux systèmes de production, à leur gestion mais aussi aux approches de quantification utilisées.

Les stocks de COS les plus élevés sont enregistrés dans les régions du nord et du sud du pays. Les stocks les plus faibles sont enregistrés dans le centre du pays. Les sols des régions nord et sud du Sénégal sont mieux pourvus en argiles et en limons, avec des systèmes de production dominés par le riz et le maraîchage. Dans les régions internes (bassin arachidier, Ferlo), la texture des sols est plutôt sableuse et les principales activités sont les cultures pluviales (arachide, mil) et la production animale. Les systèmes agricoles traditionnels ne permettent pas un stockage optimal du COS dans les sols. Les modèles de dynamique du carbone (Century et RothC) mettent en évidence d'ici 2050 une baisse des stocks de COS dans les systèmes sous cultures continues et dans les rotations annuelles cultures-jachères. Des essais sur le terrain et des études de modélisation ont montré les avantages agro-environnementaux de l'agroforesterie. Certaines activités anthropiques (défrichement, travail du sol, déforestation, feux de brousse) contribuent fortement à réduire les stocks de COS et augmenter la dégradation des sols.

Une quantification fine des stocks de COS et de leur dynamique à l'échelle nationale nécessite de prendre en compte les changements d'affectation des sols, la typologie des sols, les formes d'intégration agriculture-élevage et les différences de pratiques de gestion des biomasses herbacées et ligneuses des différentes zones écogéographiques du Sénégal. L'augmentation des stocks de COS (*a minima* leur maintien dans les systèmes agro-sylvo-pastoraux développés sur des sols sableux) doit contribuer à la durabilité des systèmes de production au Sénégal et à leur adaptation aux effets du changement climatique. En outre, les stratégies visant à transformer les sols en un puits de carbone afin d'atténuer les effets du changement climatique constituent un défi scientifique majeur (LAL *et al.*, 2007). Pour parvenir à cet objectif triple (stocker du carbone pour (1) la durabilité des systèmes, (2) l'adaptation et (3) l'atténuation du changement climatique), il est nécessaire de quantifier la dynamique spatiotemporelle des stocks de COS aux échelles du paysage et nationale (VIAUD *et al.*, 2010). Cependant, pour les agrosystèmes sénégalais, l'application des modèles de dynamique du carbone dans les sols reste inégale et disparate : les approches de cartographie se sont principalement concentrées sur les teneurs plutôt que sur les stocks de carbone, la densité apparente du sol étant souvent une donnée manquante. Un consensus scientifique sur les approches et les variables normées pour quantifier les stocks de COS est donc nécessaire avant de modéliser leur variabilité spatiotemporelle.

## Remerciements

Nos remerciements vont à Madeleine Diouf Sarr (ministère de l'Environnement, Sénégal), Valérie Viaud (unité mixte de recherche « Sol Agro et hydro système Spatialisation », Institut national de la recherche agronomique et de l'environnement, INRAE de Rennes), Aziz Touré (Centre de suivi écologique, CSE, Sénégal), Samba

Fall (Énergie, Environnement Développement, Sénégal, ENDA-ÉNERGIE), Laurent Courmac (IRD), Assane Goudiaby et Fatima Niang Diop (Institut des sciences de l'environnement de l'université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, ISE, UCAD) pour leurs orientations scientifiques et la mise à notre disposition des références bibliographiques utiles pour la réalisation de ce travail.

## Bibliographie

- ACHARD F., HIERNAUX P., BANOIN M., 2001**  
« Les jachères fourragères naturelles et améliorées en Afrique de l'Ouest ». In Floret C. et Pontanier R. (éd.) : *La jachère en Afrique tropicale : rôles, aménagement, alternatives : 2. De la jachère naturelle à la jachère améliorée : le point des connaissances*. Paris, Montrouge, IRD, J. Libbey : 201-239.
- BADIANE A., KHOUMA M., SÈNE M., 2002**  
*Gestion et transformation de la matière organique. Synthèse des travaux de recherches menées au Sénégal depuis 1945*. Dakar, ISRA, 131 p.
- BELLASSEN V., MANLAY R.J., CHÉRY J.-P., GITZ V., TOURÉ A., BERNOUX M., CHOTTE J.-L., 2010**  
Multi-criteria spatialization of soil organic carbon sequestration potential from agricultural intensification in Senegal. *Climatic Change*, 98 (1) : 213-243.
- BOULET J., 2000**  
*Systèmes de production agricole et gestion de l'espace au Sénégal Oriental et en Haute Casamance*. multigr. Dakar, IRD, UCAD, 148 p.
- BREMAN H., KESSLER J.-J., 1995**  
*Woody plants in agro-ecosystems of semi-arid regions: with an emphasis on the Sahelian countries*. Berlin, Springer-Verlag.
- CHARREAU C., FAUCK R., 1965**  
« Les sols du Sénégal. » In JAdams.G., Brigaud F., Charreau C., Fauck R. (éd.) : *Études Sénégalaises N°9 – Connaissances du Sénégal*. Saint-Louis-du-Sénégal, CRDS : 111-154.
- CPCS, 1967**  
*Classification des Sols*. Grignon, Commission de pédologie et de cartographie des sols, ENSA, 87 p.
- CSE, 2003**  
*L'évaluation de la dégradation des terres au Sénégal. Projet FAO Land Degradation Assessment (LADA)*. Dakar, Centre de suivi écologique, 59 p.
- DIÈYE P. N., GUÈYE M., 1998**  
« Les systèmes agriculture-élevage au Sénégal : importance, caractéristiques et contraintes ». In : *Workshop on Crop-Livestock in the Dry Savannas of West and Central Africa, 22-27 November 1998, Ibadan, Nigeria*.
- DIÈYE A. M., ROY D. P., HANAN N. P., LIU S., HANSEN M., TOURÉ A., 2012**  
Sensitivity analysis of the GEMS soil organic carbon model to land cover land use classification uncertainties under different climate scenarios in Senegal. *Biogeosciences*, 9 (2) : 631-648.
- DIOP A. T., TOURÉ O., ICKOWICZ A., DIOUF A. 2005**  
Les ressources sylvo-pastorales. In *Bilan de la recherche agricole et agroalimentaire au Sénégal 1964-2004*. Dakar: ISRA. 91-105
- ELBERLING B., TOURÉ A., RASMUSSEN K., 2003**  
Changes in soil organic matter following groundnut-millet cropping at three locations in semi-arid Senegal, West Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 96(1):37-47.
- FAO, 2002**  
*La séquestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion des terres*. Rome, FAO, 76 p.

**FAO, 2004**

*Carbon sequestration in dryland soils*. Rome, FAO, 129 p.

**FARAGE P. K., ARDÖ J., OLSSON L., RIENZI E. A., BALL A. S., PRETTY J. N., 2007**

The potential for soil carbon sequestration in three tropical dryland farming systems of Africa and Latin America: a modelling approach *Soil and Tillage Research*, 94 (2) : 457-472.

**KHOUMA M., 2002**

« Les grands types de sols du Sénégal ». In : *Quatorzième réunion du sous-comité ouest et centre africain de corrélation des sols pour la mise en valeur des terres*. Abomey, Bénin, 9-13 octobre 2000, FAO : 77-94.

**KIZITO F., DRAGILA M. I., SENÉ M., BROOKS J. R., MEINZER F. C., DIEDHIU I., DIOUF M., LUFABA A., DICK R. P., SELKER J., CUENCA R., 2012**

Hydraulic redistribution by two semi-arid shrub species: implications for Sahelian agro-ecosystems. *Journal of Arid Environments*, 83 : 69-77.

**LAL R., FOLLETT R. F., STEWART B. A., KIMBLE J. M., 2007**

Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security. *Soil Science*, 172 (12) : 943-956.

**LIU S., KAIRÉ M., WOOD E., DIALLO O., TIESZEN L. L., 2004**

Impacts of land use and climate change on carbon dynamics in south-central Senegal. *Journal of Arid Environments*, 59 (3) : 583-604.

**LOUM M., 2012**

*Contribution à l'étude de durabilité d'un système de production en milieu sahélien : cas de l'agrosystème de Khelcom dans le bassin arachidier du Sénégal*. PhD, Agrocampus-Ouest, Rennes, France & UGB, Saint-Louis, Sénégal.

**LOUM M., VIAUD V., FOUAD Y., NICOLAS H., WALTER C., 2014**

Retrospective and prospective dynamics of soil carbon sequestration in Sahelian agrosystems in Senegal. *Journal of Arid Environments*, 100-101 : 100-105.

**LUFABA A., DIÉDHIU I., SAMBA S. A. N., SÉNÉ M., KHOUMA M., KIZITO F., DICK R. P., DOSSA E., NOLLER J. S., 2008**

Carbon stocks and patterns in native shrub

communities of Senegal's Peanut Basin.

*Geoderma*, 146 (1) : 75-82.

**MAGRIN G., NINOT O., CESARO J.-D., 2011**

L'élevage pastoral au Sénégal entre pression spatiale et mutation commerciale. *M@ppemone*, 103 : 2011-2013.

**MAIGNIEN R., 1965**

*Notice explicative de la carte pédologique du Sénégal au 1/1 000 000*. Paris, ORSTOM. 63 p.

**MANLAY R. J., MASSE D., CHOTTE J.-L., FELLER C., KAIRÉ M., FARDOUX J., PONTANIER R., 2002**

Carbon, nitrogen and phosphorus allocation in agro-ecosystems of a West African savanna: II. The soil component under semi-permanent cultivation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 88 (3) : 233-248.

**MANLAY R. J., ICKOWICZ A.,**

**MASSE D., FELLER C., RICHARD D., 2004**

Spatial carbon, nitrogen and phosphorus budget in a village of the West African savanna-II. Element flows and functioning of a mixed-farming system. *Agricultural Systems*, 79 (1) : 83-107.

**MASSE D., 2007**

*Changements d'usage des terres dans les agrosystèmes d'Afrique sub-saharienne : propriétés des sols et dynamique des matières organiques*. HDR, Institut national polytechnique de Toulouse, INPT.

**MASSE D., MANLAY R. J., DIATTA M., PONTANIER R., CHOTTE J.-L., 2004**

Soil properties and plant production after short-term fallows in Senegal. *Soil Use and Management*, 20 (1) : 92-95.

**MBOW C., MERTZ O., DIOUF A., RASMUSSEN K., REENBERG A., 2008**

The history of environmental change and adaptation in eastern Saloum-Senegal-Driving forces and perceptions. *Global and Planetary Change*, 64 (3) : 210-221.

**MBOW C., SMITH P., SKOLE D., DUGUMA L., BUSTAMANTE M., 2014**

Achieving mitigation and adaptation to climate change through sustainable agroforestry practices in Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 6 : 8-14.



**NDOUR BADIANE N. Y., CHOTTE J.-L., PATE E., MASSE D., ROULAND C., 2001**

Use of soil enzyme activities to monitor soil quality in natural and improved fallows in semi-arid tropical regions. *Applied Soil Ecology*, 18 (3) : 229-238.

**NDOUR BADIANE N. Y., ACHOUAK W., CHRISTEN R., HEULIN T., BRAUMAN A., CHOTTE J.-L., 2008**

Characteristics of microbial habitats in a tropical soil subject to different fallow management. *Applied Soil Ecology*, 38 (1) : 51-61.

**PARTON W., TAPPAN G., OJIMA D., TSCHAKERT P., 2004**

Ecological impact of historical and future land-use patterns in Senegal. *Journal of Arid Environments*, 59 (3) : 605-623.

**PIERI C., 1989**

*Fertilité des terres de savanes : bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara*. Montpellier, CIRAD-IRAT, 444 p.

**STOORVOGEL J. J., KEMPEN B., HEUVELINK G. B. M., DE BRUIN S., 2009**

Implementation and evaluation of existing knowledge for digital soil mapping in Senegal. *Geoderma*, 149 (1) : 161-170.

**SY B. A., 2008**

*Milieux, sécheresse climatique et érosion éolienne: étude géomorphologique du Sahel*

*sénégalais*. Thèse d'État, LEIDA, UGB, université Gaston Berger, Sénégal.

**TOURÉ A., TEMGOUA E., GUENAT C., ELBERLING B., 2013**

Land use and soil texture effects on organic carbon change in dryland soils, Senegal. *Open Journal of Soil Science*, 3 (6) : 253-262.

**TSCHAKERT P., KHOUMA M., SÈNE M., 2004**

Biophysical potential for soil carbon sequestration in agricultural systems of the Old Peanut Basin of Senegal. *Journal of Arid Environments*, 59 (3) : 511-533.

**VALL E., DONGMO NGOUTSOP A. L., NDAO T., ILBOUDO I., 2004**

Évolution des pratiques de traction animale et conséquences sur la durabilité des systèmes de culture. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 57 (3-4) : 145-155.

**VIAUD V., ANGERS D. A., WALTER C., 2010**

Toward landscape-scale modeling of soil organic matter dynamics in agroecosystems. *Soil Science Society of America Journal*, 74 (6) : 1847-1860.

**WOOMER P. L., TIESZEN L. L., TAPPAN G., TOURÉ A., SALL M., 2004**

Land use change and terrestrial carbon stocks in Senegal. *Journal of Arid Environments*, 59 (3) : 625-642.



