

# Statut hydrique d'un Lixisol sous des semis directs avec couverture végétale en zone soudanienne (Burkina Faso)

---

KAMBIRE Fabèkourè Cédric<sup>1\*</sup>, KOULIBALY Bazoumana<sup>2</sup>,  
OUEDRAOGO R. Adèle<sup>1</sup>, OUATTARA Adama<sup>2</sup>.

## Résumé

Afin de répondre au défi de résilience hydrique des cultures sous un climat changeant, cette étude vise à évaluer l'effet des semis directs avec couverture végétale (SCV) sur le statut hydrique d'un Lixisol soumis à une rotation biennale coton-maïs en Zone soudanienne (Farako-bâ, Burkina Faso). Dans un dispositif randomisé en bloc Fisher, les traitements comparés sont : T1 (semis direct), T2 (T1 + *Brachiaria ruziziensis*), T3 (T2 + *Mucuna cochinchinensis*), T4 (T2 + *Panicum maximum*), T5 (T2 + *Stylosanthes hamata*), T6 (semis direct + *Crotalaria retusa*) et T7 (labour conventionnel). Les paramètres mesurés sont la porosité, la conductivité hydraulique (Ksat) et le stock hydrique (SWA) du sol. Les résultats révèlent que les SCV contrairement aux pratiques sans couverture (T1 et T7) maintiennent ou améliorent la Ksat du sol. Cela repose sur une atténuation significative de l'impact de la pluie sur l'allure de compaction du sol. Les SCV améliorent le SWA couplée d'une meilleure homogénéisation du profil hydrique du sol. Ces pratiques semblent profiter d'une continuité verticale des macropores créés par le réseau racinaire des plantes de couverture. Par contre une forte discontinuité du profil hydrique est observée sous labour conventionnel, qui pourrait être favorisée par d'éventuelles semelles de labour.

**Mots clés :** Semis avec couverture végétale, infiltration, porosité, stock hydrique, Burkina Faso

## Hydric status of lixosol under direct sowing in mulch-based cropping systems (Bukina faso)

### Abstract

In order to address the challenge of crop water resilience in the changing climate, this study is carried out to evaluate the water availability on Lixosol in response to Direct sowing under Mulch-Based Cropping systems (DMC) at Farako-bâ (sudanian area, Burkina Faso). The DMC are associated with maize and cotton biennial rotation in a randomized Fisher block design comparing seven treatments: T1 (no-till), T2 (T1 + *Brachiaria ruziziensis*), T3 (T2 + *Mucuna cochinchinensis*), T4 (T2 + *Panicum maximum*), T5 (T2 + *Stylosanthes hamata*), T6 (no-till + *Crotalaria retusa*), T7 (conventional tillage). The parameters measured are : porosity, hydraulic conductivity (Ksat) and soil water availability (SWA). According to

---

<sup>1</sup> Institut de Recherche en Sciences Appliquées et Technologies / Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (IRSAT / CNRST), Direction Régionale de l'Ouest 01 BP 2393 Bobo-Dioulasso 01, Burkina-Faso ;

<sup>2</sup> Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA / CNRST), Station de Farako-bâ, BP 910 Bobo-Dioulasso, Burkina-Faso

\* Auteur de correspondant: E-mail address: fkambire@yahoo.fr

the results, Ksat is stabilized or improved by the DMC unlike to the systems without mulch (T1, T7). This DMC effect results from a significant attenuation of the negative impact of rain on soil compaction. The DMC improve the SWA which is more homogeneous over the soil depth (0-40 cm). This could be favored by a vertical continuity of the macropores established by the root system of the cover plants. On the reverse, the SWA is strongly discontinuous over the soil depth under ploughing (T7), and this probably because of the plough pan.

**Key words:** Direct Sowing under mulch-based cropping system, infiltration, porosity, water availability, Burkina Faso

## Introduction

Les régions sahéliennes sont connues pour leur fragilité écologique. Ces régions sont considérées comme étant particulièrement plus vulnérables, tant du point de vue écologique qu'humaine, aux effets néfastes du climat changeant (IPCC, 2022). Selon ce rapport, cette vulnérabilité accentue la compétition pour les ressources en terre et en eau, et ce dans un contexte d'augmentation des besoins alimentaires et économiques en lien avec la croissance démographique. En outre, les productions végétales sont très sensibles aux conditions pluviométriques en Afrique subsaharienne (ASS) (Albergel *et al.*, 1985 ; Buhaug *et al.*, 2015). Selon des études réalisées au Burkina Faso, l'augmentation des précipitations de 1% entraîne une hausse des revenus agricoles de 14,7% (Ouédraogo (2012). Toutefois, c'est la répartition des pluies, plus que leur cumul, qui affecte la productivité agricole. Cependant, les conditions pluviométriques pourraient devenir encore plus limitantes pour l'agriculture, en témoignent des simulations concernant les impacts des changements climatiques sur les pertes des rendements agricoles en ASS. Dans la plupart des pays, les pertes moyennes se situeraient entre -10 et -20% pour le maïs, le sorgho, le mil et l'arachide à l'horizon 2050 par rapport à la période 1961-2000 (Schlenker et Lobell, 2010 ; Wheeler et von Braun, 2013). Ceci conforte l'idée qui fait de la disponibilité limitée en eau, le facteur le plus limitant et qui explique les déficits importants et persistants de rendements agricoles (Alexandratos et Bruinsma, 2012 ; Constable et Bange, 2015). Plusieurs travaux (Blanc *et al.*, 2008 ; Sultan *et al.*, 2010 ; Traoré *et al.*, 2014 ; Ripoche *et al.*, 2015) rapportent de manière convergente des relations étroites entre les rendements du cotonnier (par exemple) et la longueur de la saison culturale. Il ressort que le rendement en coton-graine décroît de 65 kg ha<sup>-1</sup> jour<sup>-1</sup> lorsque la saison des pluies dure moins de 118 jours (Ripoche *et al.*, 2015)

Ceci étant, les agriculteurs doivent réussir la préparation du sol et les semis dans les délais, qui ne peuvent être respectés à cause des contraintes associées à la réalisation du labour conventionnel. Il s'agit de la faiblesse physique des animaux de trait en début de saison culturale, de l'humidité insuffisante du sol en relation avec l'irrégularité des pluies, de la faible perméabilité des sols et du fort pouvoir évaporant de l'air. Par conséquent, on observe par exemple au Burkina Faso, des retards importants de semis

alors que les alternatives paysannes pour y faire face ne sont pas toujours viables. Il s'agit par exemple de l'usage anarchique des herbicides – aux conséquences dommageables sur la biodiversité – afin de contrôler l'enherbement précoce des parcelles suite aux premières pluies.

Dans ce contexte, l'agriculture de conservation (AC) est de plus en plus considérée comme une alternative viable à l'agriculture conventionnelle, et plus efficace pour répondre aux impératifs de résilience des systèmes de culture dans un contexte de changements climatiques et de croissance continue des besoins alimentaires et économiques. Selon de nombreux auteurs comme Kassam *et al.* (2018), l'AC se base sur l'application pratique de trois principes interdépendants à savoir l'absence ou le minimum de perturbation mécanique du sol, la couverture d'au moins 30% du sol par un paillage de biomasse et la diversification des espèces cultivées. Ainsi, de nombreux travaux associent à l'AC des impacts très positifs sur la séquestration du carbone et l'amélioration de la qualité des sols (Yadav *et al.*, 2017, Li *et al.*, 2018 ; Nunes *et al.*, 2018 ; Mahajan *et al.*, 2019 ; Banerjee *et al.*, 2019 ; Pittarello *et al.*, 2022), la réduction du ruissellement concomitamment à une hausse de l'infiltration (Naresh *et al.*, 2013, Nyamadzawo *et al.*, 2012), l'accroissement des rendements (Naresh *et al.*, 2013, Thierfelder *et al.*, 2013 ; Anghinoni *et al.*, 2021), la réduction des gaz à effets de serre (Alskaf *et al.*, 2021), ainsi que la réduction des charges (énergie, travail) de production. En dépit de ses bénéfices potentiels, l'AC couvre une part encore marginale des surfaces cultivées en Afrique, passant de 485.000 ha en 2009 à 1,5 millions d'ha en 2016 (sur 180 millions dans le monde), et cela grâce aux fortes tendances d'extension en Afrique du Sud et de l'Est et du Nord (Kassam *et al.*, 2018). Du reste, cette faible présence est le reflet d'un gap d'investigations scientifiques sur les performances de l'AC en lien avec la diversité des agroécosystèmes subsahariens ainsi que celle des conditions socio-économiques des ménages. En effet, la plupart des pratiques de SCV (semis directs avec couverture végétale) et des technologies associées observées en Afrique s'inspirent des résultats de recherche et des expériences issues de l'Amérique du Sud (Kassam *et al.*, 2018). Autrement dit, la mise à échelle de ce type d'agriculture alternative suggère une connaissance des techniques localement éprouvées et socialement viables. C'est ce qui justifie la mise en place, à partir de 2016, d'un essai de longue durée sur des SCV dans une rotation coton – céréales, qui est par ailleurs la plus pratiquée par les agriculteurs dans les régions cotonnières du Burkina Faso. A travers cet essai, il est question d'évaluer les effets agro-pédologiques des pratiques de SCV dans la perspective d'une meilleure adaptation des systèmes de culture à base du cotonnier au contexte de variabilité climatique. De manière spécifique, la présente étude veut évaluer les effets des pratiques de SCV sur la conductivité hydraulique et les stocks hydriques du sol sous culture. Ce qui peut aider à comprendre si les pratiques de SCV (comparativement au labour conventionnel) améliorent ou non la disponibilité en eau pour

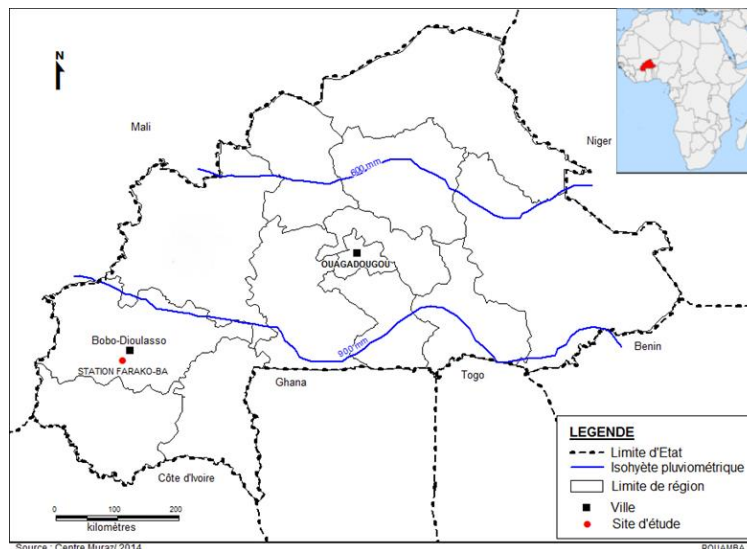
les cultures en place. Les résultats pourront servir d'évidences à partager avec les agriculteurs et ainsi accompagner la transition vers l'agriculture de conservation.

## 1. Matériel et méthodes

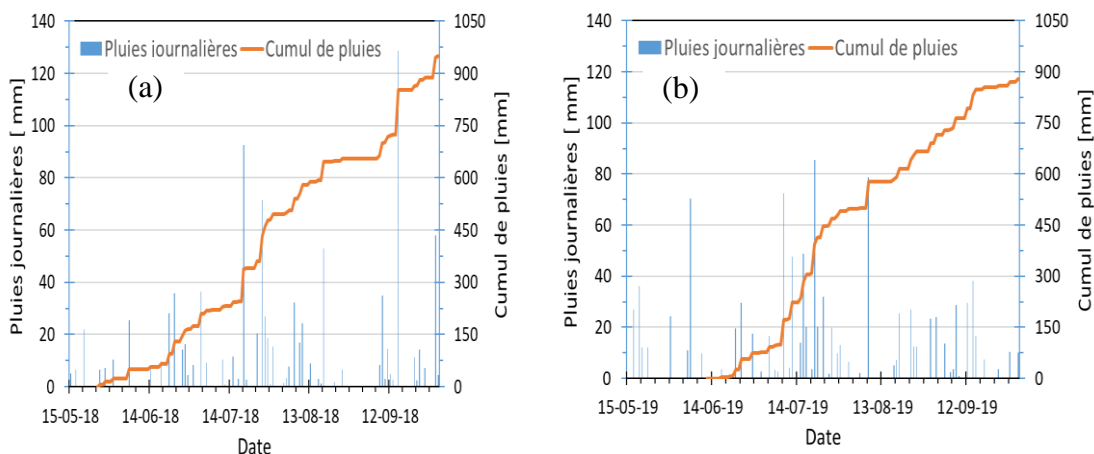
### 1.1. Matériel

#### 1.1.1. Localisation et description du site de l'essai

L'étude est conduite à la station de recherche de l'INERA Farako-Bâ ( $4^{\circ}20' W$ ,  $11^{\circ}06' N$ , 405 m d'altitude) située à 10 km au Sud-Ouest de Bobo-Dioulasso (figure 1). Cette station est soumise à un climat sud-soudanien, caractérisé par l'alternance de deux saisons strictement différenciées : une saison sèche qui s'étend de novembre à mai et une saison pluvieuse allant de juin à octobre. On note une forte variation intra-annuelle (mais aussi inter-annuelle), des pluies avec un pic en août. La moyenne de pluies annuelles au cours de la décennie 2011-2020 sur la station de Farako-Bâ est de 1089 mm d'eau enregistrée en 67 jours de pluies. Sur la période d'observation, les pluies ont été plus fréquentes et plus abondantes en 2019 qu'en 2018 (figure 2).



**Figure 1** : Localisation de la station de Farako-Bâ



**Figure 2:** Pluies individuelles et cumul pluviométrique au cours de la période active de la saison culturale en 2018 (a) et en 2019 (b). Les cumuls sont calculés à partir de la date réalisation du labour

Les sols de la parcelle expérimentale sont du type ferrugineux tropical. Selon les analyses du sol faites par le programme coton de l'INERA, la texture est de type limon sableux en surface (0-20 cm), limon et limon argileux dans les profondeurs 20-40 cm et 40-60 cm respectivement. Les teneurs en carbone organique sont très faibles variant de 5,6 g.kg<sup>-1</sup> en surface à 3,6 g.kg<sup>-1</sup> en profondeur. L'azote total (0,043 à 0,027%) et le phosphore assimilable (7,04 à 1,98 ppm) sont aussi faiblement présents. Ces sols sont acides (pH<sub>eau</sub> : 5,30 à 4,93).

### 1.1.2. Matériel végétal

Conformément au système de rotation dominant chez les agriculteurs de la région, le cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) et les céréales (maïs *Zea mays* L et sorgho *Sorghum bicolor* L) sont cultivés dans une rotation biennale depuis la mise en place du dispositif en 2016. Cependant notre étude se focalise sur la rotation coton-maïs associée à des plantes de couverture. La variété FK37 du cotonnier et FKC6, sélectionnées à l'INERA, ont été utilisées compte tenu de leur adaptation à la zone agroécologique de l'essai. Elles ont respectivement un cycle semis-maturité de 120 jours et 70-84 jours.

Comme plantes de couvertures, les cinq espèces suivantes ont été utilisées : *Brachiaria ruziziensis* (Germ. & Evrard), *Mucuna cochinchinensis* (Lour.), *Panicum maximum* (Jacq.), *Stylosanthes hamata* (L.) Taub., *Crotalaria retusa* (L.). Ce sont des espèces potentiellement bénéfiques pour la biomasse fourragère ainsi que pour la restructuration du sol par le biais de leur système racinaire.

## 1.2. Méthodes

### 1.2.1. Dispositif expérimental

Des semis directs sous couvert végétal, le zéro-labour et le labour conventionnel du sol sont comparés dans un dispositif en blocs Fisher complètement randomisé avec quatre répétitions. La parcelle élémentaire mesure 20 m x 8 m soit 160 m<sup>2</sup>. Cette étude se focalise sur la moitié du dispositif, qui est consacré à la rotation cotonnier – maïs et qui couvre 5394 m<sup>2</sup>. Les traitements étudiés (T1 à T7) sont présentés dans le tableau ci-dessous (Tableau 1). Les traitements T1 à T6, sont des semis directs sans préparation préalable du sol. Dans les traitements T2 à T6 (contrairement à T1), les plantes de couverture sont semées à 48 jours après semis (JAS) du maïs et après les opérations de sarclage. Le traitement T7 correspond au labour conventionnel (T7) réalisé avec la traction bovine. Le semis direct T1, sans plante de couverture, est une alternative paysanne au labour conventionnel, pour semer à bonne date, et minimiser ainsi les contraintes liées aux insuffisances des pluies et d'énergie de travail.

**Tableau I:** Traitements mis en œuvre dans le dispositif de rotation cotonnier – maïs

Traitements	Année	
	2018	2019
T1	Semis direct du maïs	
T2	T1 + <i>Brachiaria ruziziensis</i>	
T3	T2 + <i>Mucuna cochinchinensis</i>	
T4	T2 + <i>Panicum maximum</i>	
T5	T2 + <i>Sithylosanthes hamata</i>	
T6	T1 + <i>Crotalaria retusa</i>	
T7	Labour conventionnel	Labour conventionnel

### 1.2.2. Conduite de l'essai

Le chronogramme des opérations culturales a été affecté d'une année à l'autre par l'installation plus ou moins tardive des pluies. Le labour conventionnel a été réalisé plus tardivement en 2019 (12 juin) qu'en 2018 (25 mai). Pour une année, les semis sont réalisés le même jour pour tous les traitements, soit le 08 juin en 2018 et le 18 juin en

2019. Les semis respectent des écartements de 80 cm entre les lignes et 40 cm entre les poquets. A cause de l'enherbement précoce de la parcelle, les parcelles T1-T6 sont traitées à l'herbicide (pré-levée) total. De l'engrais minéral NPKSB 14-18-18-6-1 a été appliquée à la dose de 200 kg ha<sup>-1</sup> à 30 JAS, puis de l'urée (46%N) à la dose de 150 kg ha<sup>-1</sup> à 45 JAS. Deux sarclages sont réalisés avant les apports des engrais. Enfin, les plantes de couverture sont semées à 48 JAS dans les traitements T2 à T6 en 2018 en association avec le maïs. Par contre, le coton n'est pas associé de plantes de couverture en 2019. Il en est ainsi au cours des années où cette culture est mise en place.

### 1.2.3. Collecte des données

#### 1.2.3.1 Prélèvement des échantillons non remaniés de sol

La couche superficielle du sol, qui est la plus remaniée par les outils de travail de sol et les systèmes racinaires est la principale zone d'intérêt. Les échantillons sont prélevés dans les profondeurs 0-10 cm à l'aide d'une kopecki (anneau) de volume connue ( $V=100 \text{ cm}^3$ ). Elle est enfoncée dans la couche du sol 0-10 cm, à l'aide d'un porte-anneau et d'un maillet, de sorte à ne pas perturber la structure du sol. Lorsque la kopecki atteint sa limite d'enfoncement, elle est dégagée à l'aide d'une truelle. Les bordures de la kopecki en contact avec le sol sont arasées avec précaution à l'aide d'un couteau et fermées avec des couvercles. L'échantillon non remanié ainsi prélevé a servi pour déterminer la porosité et la conductivité hydraulique du sol en 2018. Cette année correspond à la présence des plantes de couverture associées au maïs. Ces paramètres n'ont pas été analysés en 2019, année de culture du coton.

#### 1.2.3.2 Porosité du sol

Il s'agit d'un indicateur majeur de la qualité physique du sol susceptible d'être affecté par des facteurs comme les opérations culturales et la pluviométrie. C'est pourquoi, les échantillons de sol ont été prélevés sur une période de 90 jours couvrant la phase critique de la culture, et ce à intervalles d'environ 10 jours après les semis. Trois échantillons sont pris sur les lignes de semis dans trois parcelles élémentaires par traitement. Ces échantillons sont pesés avant et après un séjour de 24 heures à l'étuve à 105°C. La densité apparente (**Da**) puis la porosité sont déterminées suivant les équations (Eq) 1 et 2 (Hénin, 1976). Le calcul de la porosité a utilisé la valeur 2,650 g/cm<sup>3</sup> considérée comme étant la densité réelle (**Dr**) des sols minéraux.

Ensuite un indice de compaction du sol (Eq. 4) a été calculé à partir d'une fonction linéaire entre le taux de variation de la densité apparente (TDa, Eq.3) et le cumul pluviométrique à une date donnée. La valeur de la pente de la courbe renseigne sur l'allure de la perte de porosité au cours de la saison culturale. Plus cette valeur est élevée, plus la compaction du sol est rapide sous l'effet des pluies.

$$Da = \frac{Ms}{V} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$P = \left(1 - \frac{Da}{Dr}\right) * 100 \quad (\text{Eq. 2}).$$

$$TDa = Da_{t0} - Da_{ti} \quad (\text{Eq. 3})$$

$$TDa = a * x + c \quad (\text{Eq. 4})$$

Avec **Da** (g.cm<sup>-3</sup>) : densité apparente ; **ms** (g) : masse sèche ; **V** (cm<sup>3</sup>) : volume de la kopecki ; **P** (%) : porosité ; **TDa** (%) : variation de la densité apparente ; **t0** : période initiale correspondant à 10 jours après semis ; **ti** : période de mesure avec i = 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 jours après semis ; **a** : pente de l'équation ; **x** : cumul de pluies (mm) au temps ti ; **c** : constante.

### 1.2.3.3 Conductivité hydraulique

Pour apprécier l'effet des pratiques sur la perméabilité du sol, la conductivité hydraulique à saturation (**Ksat**) a été mesurée à deux périodes : à 20 JAS et juste avant le sarclage, puis à 90 JAS correspondant à la période de la récolte. Pour chaque traitement, trois échantillons non remaniés sont pris sur les lignes de semis au sein de la parcelle élémentaire. Au laboratoire, ces échantillons de sol ont été placés dans un perméamètre à charge d'eau constante afin de mesurer les débits de percolation des eaux jusqu'à obtenir des débits constants. Puis la conductivité hydraulique à saturation (**Ksat**) est calculée en utilisant la loi de Darcy (1856) (**Eq. 5 et 6**)

$$Q = K_{sat} * S * \frac{\Delta h}{L} \quad (\text{Eq. 5})$$

$$K_{sat} = \frac{Q * L}{\Delta h * S} \quad (\text{Eq. 6})$$

Avec : **K<sub>Sat</sub>** (cm/h) : coefficient de perméabilité de Darcy; **Q** (cm<sup>3</sup>/s) : débit d'eau; **V** (cm<sup>3</sup>) : volume d'eau percolant dans la burette; **L** (cm) : longueur de l'échantillon ; **S** (cm<sup>2</sup>) : section de l'échantillon; **T** (s) : durée de percolation de la quantité d'eau ; **Δh** (cm) : variation de la lame d'eau observée au-dessus de chaque échantillon et de la lame d'eau à l'intérieur du perméamètre (cm).

### 1.2.3.4 Le stock hydrique du sol

Il a été évalué au cours des deux années, en culture de maïs (2018) et du coton (2019). Les mesures de l'humidité du sol sont faites dans la profondeur (0-10, 10-20, 20-30, 30-40 cm) colonisée par les systèmes racinaires. Elles ont été effectuées in situ à l'aide d'une sonde TDR de type PR2 (Delta-T Devices). Des tubes d'accès sont enfoncés dans le sol et maintenus tout au long des essais. Au total 21 tubes ont été implantés au milieu des PE et couvrant trois répétitions. C'est dans ces tubes d'accès qu'on enfonce la sonde



dont l'autre bout en surface est connecté à un lecteur / enregistreur des données HH2. Des relevés quotidiens ont été faits. Les périodes de suivi ont été conditionnées par la disponibilité d'une ressource humaine. Ces relevés sont faits lorsque le sol est bien drainé. Le stock d'eau (**S**) sur une profondeur (**Z**) a été calculé suivant la méthode des trapèzes (Cours physique du sol LBRES 2010, Université catholique de Louvain). Cette méthode est basée sur l'intégration des humidités volumiques ( $\theta$ ) mesurées dans les différentes sous-couches (**Eq. 7**)

$$S = \theta_1 \cdot z_1 + \sum_{i=2}^n \left( \frac{\theta_i - 1 + \theta_i}{2} \right) \cdot (z_i - z_{i-1}) \quad (\text{Eq.7})$$

Avec S (mm) = stock d'eau du sol.  $\theta$  (%) = teneur en eau volumique d'une profondeur donnée. Z (mm) = 100, 200, 300, 400 mm, n = nombre de profondeurs considérées.

En complément, un pluviomètre enregistreur implanté à la station expérimentale a permis l'acquisition des données de pluies.

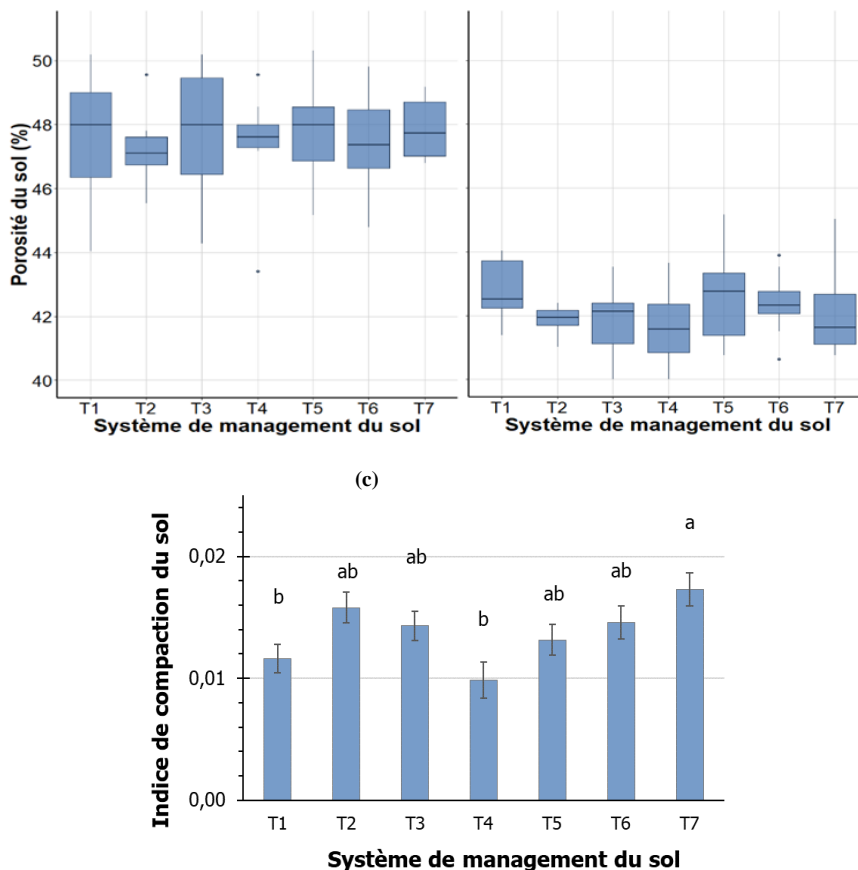
### 1.3. Analyses des données

Les données collectées sont soumises à des analyses descriptives ainsi qu'une analyse de variance (ANOVA) par la procédure GLM. Si nécessaire une comparaison des moyennes par le test Newman-Keuls est faite au seuil de 5 %. Les analyses ont été faites à l'aide du logiciel Rstudio version 3.5.3 (R Development Core Team, 2019).

## 2. Résultats

### 2.1 La porosité du sol en fonction des pratiques de SCV

L'état de porosité du sol à 10 JAS et à la récolte du maïs est illustré par les figures 3a et 3b respectivement. Elle ne varie pas significativement entre les différents systèmes de gestion du sol, aussi bien au début ( $p_{\text{valeur}} = 0,989$ ) qu'en fin de la saison culturale ( $p_{\text{valeur}} = 0,4323$ ). Toutefois, la porosité régresse considérablement et de manière globale entre ces deux périodes. C'est cette réduction de porosité qui est traduite à travers l'indice de compaction (figure 3c). En effet, l'indice de compaction varie très significativement ( $p_{\text{valeur}} = 0,0077$ ) sous l'effet des pratiques de management du sol (figure 3c). La perte de porosité sous labour conventionnel ( $0,0173 \pm 0,0013$ ) est significativement plus élevée que dans les pratiques de zéro-labour ( $0,0116 \pm 0,0012$ ) et de SCV associant au zéro-labour les plantes de *Brachiaria ruziziensis* et de *Panicum maximum* ( $T4 : 0,0099 \pm 0,0015$ ). Avec les autres pratiques de SCV, la compaction évolue à une allure intermédiaire, et statistiquement comparable d'une part à celle du labour conventionnel, et d'autre part à celle du zéro-labour.

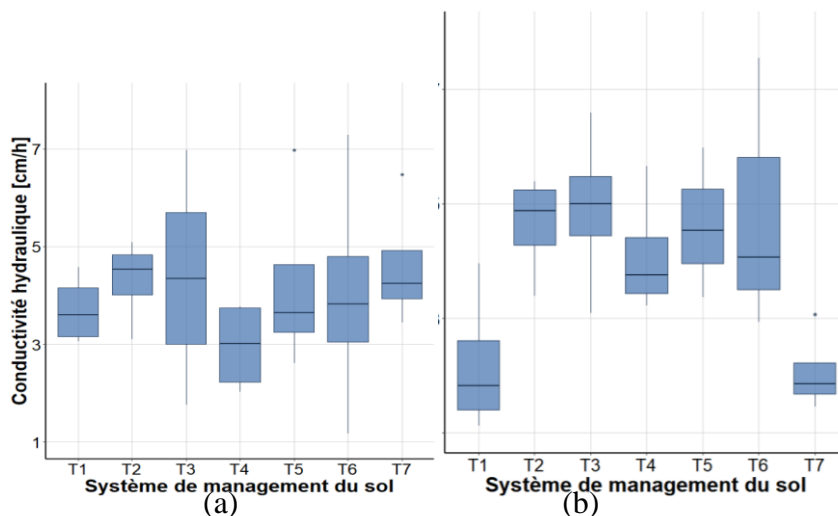


**Figure 3 :** Etat de la porosité du sol au cours de la saison culturale (2018) en fonction du système de management du sol : (a) : valeurs médianes et dispersion de la porosité à 10 JAS ; (b) : valeurs médianes et dispersion de la porosité à 90 JAS ; (c) : effet significatif des pratiques sur la compaction du sol : moyenne  $\pm$  erreur standard de l'indice de compaction. Les traitements affectés d'une même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de 5%.

T1 : Semis direct du maïs ; T2 = T1 + *Brachiaria ruziziensis* ; T3 = T2 + *Mucuna cochinchinensis* ; T4 = T2 + *Panicum maximum* ; T5 = T2 + *Sthylosanthes hamata* ; T6 = T1 + *Crotalaria retusa* ; T7 = Labour conventionnel à la charrue bovine

## 2.2 La conductivité hydraulique du sol à saturation en fonction des pratiques de SCV

Tout comme la porosité du sol, la conductivité hydraulique à saturation n'est pas significativement affectée par les traitements en début de la saison de culture (20 JAS, Figure 4a). Autrement, l'effet du travail du sol par le labour conventionnel n'est pas remarquable à 20 jours après les semis.



**Figure 4 :** Valeurs médianes et dispersion de la conductivité hydraulique à 20 JAS (a) et à 90 JAS (b).

A la récolte par contre (100 JAS), les pratiques se différencient significativement ( $p_{\text{valeur}} = 0,0270$ , figure 4b). En effet, le labour conventionnel (T7) et le zéro-labour (T1) se distinguent avec une conductivité hydraulique plus faible que celles des pratiques de SCV intégrant des plantes de couverture. Par ailleurs, on constate que ces pratiques conservent, entre les deux périodes de mesure, leurs valeurs de conductivité avec des écarts non considérables. Par contre, la conductivité hydraulique subit une réduction très remarquable sous les pratiques de zéro-labour et de labour conventionnel au cours de la saison culturale

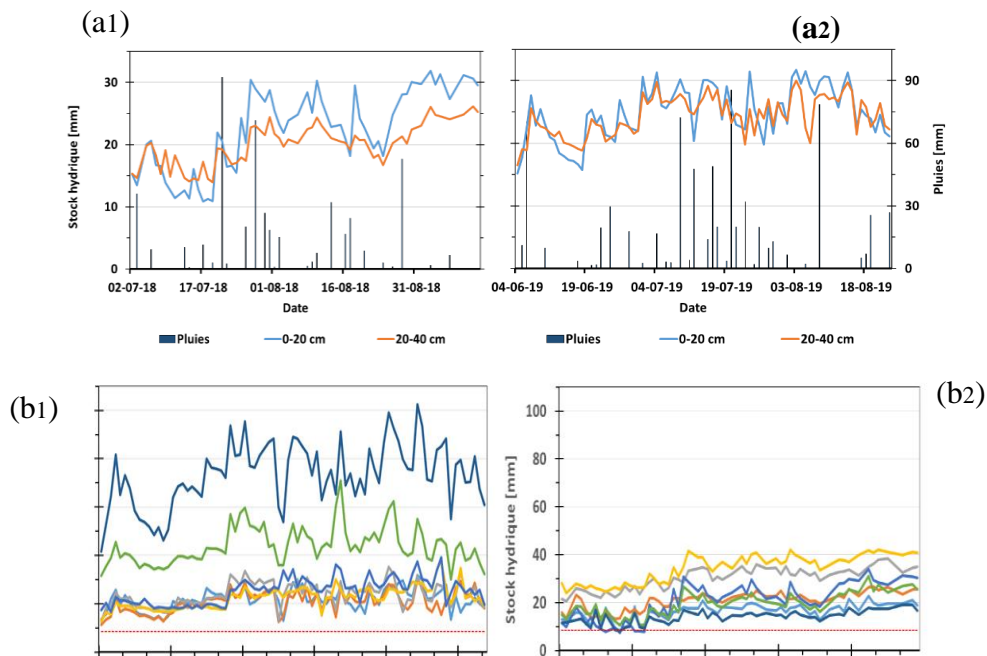
### 2.3 Stock hydrique du sol en fonction des pratiques de SCV

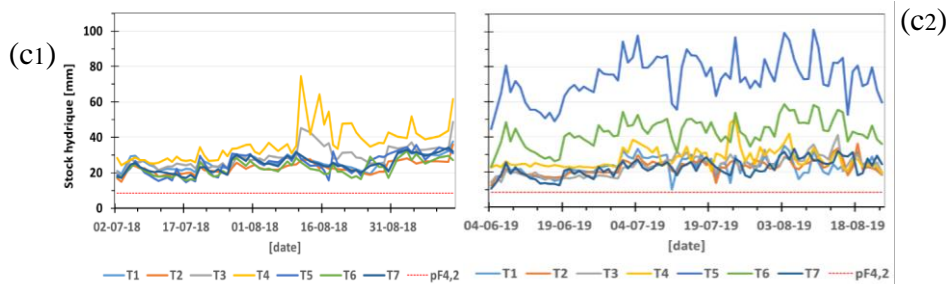
Pour les deux saisons culturales, 2018 (figure 5a1) et 2019 (figure 5a2), les profils des stocks hydriques sont différents pour les deux profondeurs considérées (0-20 cm, 20-40 cm). L'amplitude des variations des stocks est plus grande en 2018 qu'en 2019. De plus, les écarts entre les stocks hydriques des deux profondeurs sont plus remarquables en 2018. Autrement, le profil hydrique présente plus de discontinuité en 2018. Ainsi, la couche superficielle apparaît nettement plus humide (après le 17.07) avec l'avènement de pluies plus abondantes et plus fréquentes. Par contre en 2019, les deux couches ont des niveaux de stocks hydriques comparables, et cela sous un régime pluviométrique plus abondant.

Lorsqu'on considère les pratiques de management du sol, les stocks par profondeur diffèrent considérablement d'une année à l'autre (figure 5b, c). En effet, les niveaux de stock les plus élevés apparaissent toujours en 2019 (figure 5b2, c2). A l'opposé, les

niveaux les plus bas ont été observés en 2018, particulièrement dans la profondeur 0-20 cm (figure 5b1, c1). Certains traitements comme le T5 et le labour conventionnel y ont présenté des stocks à la limite du point de flétrissement, particulièrement en début de la saison culturale. Les pratiques ayant en commun l'absence de plantes de couverture, c'est-à-dire le labour conventionnel, et dans une moindre mesure le zéro-labour, ont présenté les stocks les plus bas tout le long de la saison. Autrement dit, l'horizon de surface le plus sec est associé au labour conventionnel. Il en est de même pour la couche sous-jacente. A l'opposé les horizons les plus humides sont associés aux pratiques T3 et T4, aussi bien en surface qu'en profondeur.

En 2019, marqué par l'absence de plantes de couverture, le labour conventionnel, suivi de la pratique T6, se distingue avec une meilleure disponibilité hydrique en surface. A l'inverse, l'horizon de profondeur des parcelles labourées est des plus secs. Ceci traduit une forte hétérogénéité du profil hydrique du sol sous labour conventionnel. Les autres pratiques, à l'exception de T5, présentent une meilleure homogénéité du profil hydrique. Le T5 comme le T7, présente un profil hydrique très discontinu. De plus, les deux profils sont parfaitement inversés. Par ailleurs, le niveau du stock hydrique sous zéro-labour se confond aux SCV T2 à T5 en surface et T2, T3, T4, T7 en profondeur.





**Figure 4 :** Variation du stock hydrique du sol au cours de la saison : moyennes de traitements par couche et évènements pluvieux en 2018 (a1) et 2019 (a2) ; stock hydrique journalier et humidité au point de flétrissement pour la profondeur 0-20 cm en 2018 (b1) et 2019 (b2) ; stock hydrique journalier et humidité au point de flétrissement pour la profondeur 20-40 cm en 2018 (c1) et 2019 (c2).

### 2.3. Discussions

Le maintien d'un bon statut poral est déterminant dans toute perspective de gestion durable des sols cultivés (Ouattara *et al.*, 2008). Ceci repose sur le fait que la porosité participe à la régulation de divers processus chimiques et biologiques, aux transferts et échanges liquides et gazeux, qui sont indispensables au bon développement des plantes. Dans la présente étude, la valeur moyenne de la porosité observée varie de 48% en début de saison à 42% en fin de culture. Ces valeurs (obtenues sur un sol limon sableux) sont toutes supérieures à celle (39%) mesurée sur des sols à texture sable limoneux au sein de la même station (Dembélé et Somé, 1991). Alors qu'il est souvent associé au labour conventionnel une augmentation de la macroporosité (Ouattara *et al.*, 2008), cet avantage n'apparaît pas significativement selon nos résultats. Cela s'explique par le caractère temporaire des pores créés par l'action mécanique (mécanisme abiotique) par opposition à celles issues des agents biotiques (faune, racines, etc). Non seulement le labour crée préférentiellement des mésopores (Ouattara *et al.*, 2008), il produit aussi moins d'agrégats stables comparativement au zéro-labour (Naresh *et al.*, 2013). Les agrégats fins (< 5 mm) sont plus fortement représentés (43 à 72%) dans la couche du sol labourée (Kambiré, 2016). Ce qui facilite l'action des pluies pour détacher les particules primaires qui vont ensuite colmater les pores, et ce sur des sols reconnus peu stables et dénudés. La restriction de la durée de l'effet du labour est une résultante logique qui corrobore des observations antérieures sur les mêmes types de sol (Kambiré, 2016). Cependant dans la présente étude, seulement 67 mm de pluies, tombées (en 3 semaines) entre le labour et les premières mesures de porosité, ont suffi pour annuler le bénéfice du labour. Cette temporalité éphémère de l'effet du labour est le reflet de la faible stabilité structurale du sol labouré corrélativement à sa faible teneur en matières organiques (0,56%). Or, il aurait fallu une teneur en matières organiques de 1,63% pour permettre à ce type de sol, même labouré de résister à la compaction (Obi et Ebo, 1995).

Ce qui précède explique pourquoi la porosité du sol a régressé au fil de la saison des pluies, avec toutefois une atténuation de l'allure de cette régression par les SCV. C'est pourquoi l'infiltration évolue aussi à la baisse dans les parcelles labourées. Dans les conditions climatiques sahéliennes, Malam *et al.* (2015) ont observé que la conductivité hydraulique diminue inversement à l'augmentation des pluies et atteint sa plus faible valeur avec un cumul pluviométrique de 70 mm. Et pourtant, en présence des plantes de couverture, la conductivité hydraulique se stabilise comme l'a aussi remarqué Ouattara *et al.* (2007). Une tendance à la hausse est même visible, à l'image de nombreux résultats issus de conditions diverses selon lesquels les techniques culturales simplifiées – zéro-labour, travail minimum du sol - améliorent nettement l'infiltration de l'eau (Thierfelder *et al.*, 2005 ; Ouattara *et al.*, 2007 ; Strudley *et al.*, 2008 ; Thierfelder *et al.*, 2009 ; Naresh *et al.*, 2013). Cependant, la contreperformance observée sous le zéro-labour sans SCV peut s'expliquer par la rupture de la continuité verticale des macropores (non stabilisées) sous l'effet de la force érosive des pluies et/ou des opérations mécaniques d'entretien. En revanche, l'amélioration de la conductivité hydraulique observée avec les SCV peut être attribuée à la forte densité racinaire des plantes de couverture dont les impacts servent de voies préférentielles d'infiltration. Par ailleurs, cette augmentation des flux d'infiltration sous SCV est concomitante à une réduction significative du ruissellement à plus de 50% (Scopel *et al.*, 2005 ; Dombia, 2016).

C'est pourquoi, les niveaux de stocks hydriques des parcelles sous SVC sont en général plus élevés que sous labour, surtout lorsque la pluviométrie est moins bonne comme en 2018. En plus de réduire le ruissellement des eaux de pluies (Thierfelder *et al.*, 2009 ; Naresh *et al.*, 2013), la couverture du sol réduit l'évaporation de l'eau (Boudiar, 2013). De plus, les pratiques de SCV, à l'exception du T5 (arrière effet) en 2019, assurent une meilleure homogénéisation des profils hydriques. Cela, faut-il le rappeler, semble traduire le fait que les impacts du réseau racinaire couvrent l'ensemble du profil cultural offrant ainsi des voies préférentielles d'infiltration de l'eau. Par contre, les forts contrastes des stocks hydriques observés particulièrement en 2019, entre les horizons de surface et de profondeur dans les parcelles labourées, semblent traduire l'apparition de semelles de labour liées à la répétition de labour aux mêmes profondeurs. Du reste, la présence d'une texture de type limon en profondeur (20-40 cm) pourrait faciliter le lissage du fond du labour sous la pression du soc aratoire et créer ainsi une semelle moins filtrante pour l'eau. Ceci étant, dans les conditions d'abondance de pluies comme en 2019, l'horizon superficiel du sol se sature excessivement d'eau. Au-delà de la distribution de l'eau dans le profil, les SCV assurent globalement une meilleure disponibilité en eau du sol, ce qui peut contribuer à renforcer la résilience hydrique des cultures.

## Conclusion

La résilience hydrique des cultures est un défi majeur pour l'adaptation des systèmes de cultures au contexte d'un climat changeant. L'intérêt de la présente étude est focalisé sur les stocks hydriques du sol en lien avec les pratiques de management du sol, en particulier les SCV. Il ressort que ces pratiques atténuent l'effet des pluies sur la compaction du sol, préservant ainsi une meilleure porosité et corrélativement une meilleure infiltration, comparativement au labour conventionnel. Cette pratique, à cause des semelles de labours, crée une discontinuité dans le profil hydrique. En revanche, les SCV assurent une meilleure homogénéisation du profil hydrique et plus globalement des stocks hydriques plus élevés pour les cultures. Cette étude se poursuivra et devra prendre en compte l'efficacité d'utilisation de l'eau par les cultures ainsi que l'évolution de la qualité du sol sous SCV dans la perspective de contribuer à mieux définir les trajectoires de productivité des sols sous SCV dans le contexte local.

## Remerciements

Au Programme Coton de l'INERA pour la mise en place du dispositif expérimental.

## Références bibliographiques

1. Albergel J., Carbonnel J.P., Vaugelade J., 1985. Aléas climatiques et production agricole : le coton au Burkina. *Ecol. Applic.*, 6 (3) : 199-211.
2. Alexandratos N., Bruinsma J., 2012. World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. ESA Working paper, 12-03, Rome, FAO, 146 p.
3. Alskaf K., Mooney S.J., Sparkes D.L., Wilson P., Sjogerste S., 2021. Short-term impacts of different tillage practices and plant residue retention on soil physical properties and greenhouse gas emissions. *Soil Till. Res*, 206 :1-12.
4. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104803>
5. Anghinoni G., Anghinoni F.B.G., Tormena C.A., Braccini A.L., Mendes I.C., Zancanaro L., Lal R. 2021. Conservation agriculture strengthen sustainability of Brazilian grain production and food security. *Land Use Policy*, 108 : 1-9
6. Banerjee S. Walder F., Büchi L., Meyer M., Held A.Y., Gattinger A., Keller T., Charles R., van der Heijden M.G.A. 2019. Agricultural intensification reduces microbial network complexity and the abundance of keystone taxa in roots. *The ISME Journal*, 13 ;1722–1736. <https://doi.org/10.1038/s41396-019-0383-2>
7. Blanc E., Quirion P., Strobl E., (2008), The climatic determinants of cotton yields: Evidence from a plot in West Africa. *Agric. For. Meteorol.*, 148 :1093 – 1100.
8. Boudiar R., 2013. Etude comparative des effets de travail du sol conventionnel et le semis direct sur l'évolution du sol en région semi-aride. Mémoire de fin d'étude.

Option production végétale et agriculture de conservation. Université Ferhat Abbas Sétif 1. 91p.

9. Buhaug H., Benjaminsen T.A., Sjaastad E., Theisen O.M., 2015. Climate variability, food production shocks, and violent conflict in Sub-Saharan Africa. *Environ. Res. Lett.*, 10 :1-11, doi:10.1088/1748-9326/10/12/125015
10. Constable G.A., Bange M.P., 2015. The yield potential of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Field Crops Res.*, 182 : 98–106.
11. Dembélé Y., Somé L., 1991. Propriétés hydrodynamiques des principaux types de sol du Burkina Faso. *IAHS, Publ.199 : 217-227*
12. Doumbia S., 2016. Effets de l'agriculture de conservation sur les flux hydriques, la fertilité du sol et les rendements des cultures en station à l'Ouest du Burkina Faso. Mémoire de fin d'études. Option Agronomie, I.D.R. Université Nazi Boni. 58p.
13. Hénin S., 1976. Cours de physique du sol. Vol. 1. Initiations – Documentations techniques n°28, ORSTOM et EDITEST, Paris, 159p.
14. IPCC (intergovernmental Panel on Climate Changes)., 2022. Climate change 2022, Impacts, adaptation and vulnerability. Summary for policymakers. WGII, WMO, UNEF.
15. Kambiré F. C., 2016. Effet combiné du travail du sol et de la gestion de la fumure organique dans l'agrosystème cotonnier au Burkina Faso, 193 p. Thèse de doctorat en sciences agronomiques. Université Catholique de Louvain. Belgique.
16. Kassam A, Friedrich T., Derpsch R., 2018. Global spread of Conservation Agriculture. *International journal of environmental studies* :1-23. <https://doi.org/10.1080/00207233.2018.1494927>
17. Li L., Huang G., Zhang R., Bill B., Guangdi L., Kwong Y. C., 2011. Benefits of Conservation Agriculture on Soil and Water Conservation and Its Progress in China. *Agricultural Sciences in China*, 10 (6) :850-859
18. Mahajan N.C., Mrunalini K., Prasad K.S.K., Naresh R.K., Sirisha L.,2019. Soil Quality Indicators, Building Soil Organic Matter and Microbial Derived Inputs to Soil Organic Matter under Conservation Agriculture Ecosystem: A Review. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci*, 8(2) : 1859-1879
19. Malam M.A., Vandervaere J.P., Descroix L., Moussa I.B., Maiga O.F., Abdou S., Bodo B.S., Laouali M.O. D., 2015. Évolution de la conductivité hydraulique d'un sol sableux cultivé dans l'Ouest du Niger (Article, Biotechnol. Agron. Soc. Environ., 19(3): 270-280
20. Naresh R.K., Singh S.P., Dwivedi A., Sepat N.K., Kumar V., Ronaliya L.K., Kumar V., Singh R., 2013. Conservation agriculture improving soil quality for sustainable production systems under smallholder farming conditions in north west India: a review. *Int. J. LifeSc. Bt & Pharm. Res.*, 2 (4) : 151-213
21. Nunes M.R., van Esa H.M., Schindelbecka R., Ristowa A.J., Ryana M., 2018. No-till and cropping system diversification improve soil health and crop yield. *Geoderma* 328 : 30–43



22. Nyamadzawo G., Nyamugafata P., Wuta M., Nyamangara J., Chikowo R., 2012. Infiltration and runoff losses under fallowing and conservation agriculture practices on contrasting soils, Zimbabwe. *Water SA*, 38 (2) : 233-240. <http://dx.doi.org/10.4314/wsa.v38i2.8>
23. Obi M.E and. Ebo R.O., 1995. The effects of organic and inorganic amendments on soil physical properties and maize production in a severely degraded sandy soil in southern Nigeria. *Bioresource Technology*, 51 : 117-123
24. Ouattara K., Ouattara B., Nyberg G., Sédogo M., Malmer A., 2007, Ploughing frequency and compost application effects on soil infiltrability in a cotton-maize (*Gossypium hirsutum*-*Zea mays* L.) rotation system on a ferric luvisol and a ferric Lixisol in Burkina Faso. *Soil Till. Res*, 95 (1-2) : 288–297.
25. Ouattara B., Ouattara K., Sédogo M.P., Yao-Kouame A., 2008. Statut poral des sols cultivés dans la zone cotonnière ouest du Burkina Faso. *Agronomie Africaine*, 20 (3) :303 – 312.
26. Ouédraogo M., 2012, Impact des changements climatiques sur les revenus agricoles au Burkina Faso. *JAEID*, vol. 106 (1) :3-21.
27. Pittarello, M.; Chiarini, F.; Menta, C.; Furlan, L.; Carletti, P., 2022. Changes in Soil Quality through Conservation Agriculture in North-Eastern Italy. *Agriculture*, 12, 1007 :1-12. <https://doi.org/10.3390/agriculture12071007>
28. Ripoche A., Crétenet M., Corbeels M., Affholder F., Naudin K., Sissoko F., Douzet J-M., Tittonell P., 2015. Cotton as an entry point for soil fertility maintenance and food crop productivity in savannah agroecosystems—Evidence from a long-term experiment in southern Mali. *Field Crops Res.*, 177 :37–48.
29. Schlenker W. and D.B. Lobell. 2010. Robust negative impacts of climate change on African agriculture. *Environ. Res. Lett.* 5, 8p. doi:10.1088/1748-9326/5/1/014010
30. Scopel E., Douze J-M., Da Silva F-A.M., Cardoso A., Moreira J.A.A., Findeling A., Bernoux M., 2005. Impacts des systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale (SCV) sur la dynamique de l'eau, de l'azote minéral et du carbone du sol dans les cerrados brésiliens. *Cahiers Agricultures*, 14 (1):71-75
31. Strudley M.W., Green T.R, Ascough II J.C., 2008. Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science. *Soil Till. Res*, 99:4–48.
32. Sultan B., Bella-Medjo M., Berg A., Quirion P., Janicot S., 2010. Multi-scales and multi-sites analysis of the role of climate in cotton yields in West Africa. *Int. J. Climatol.*, 30 (1):58–71.
33. Thierfelder C., Amézquita E., Stahr K., 2005. Effects of intensifying organic manuring and tillage practices on penetration resistance and infiltration rate. *Soil Till. Res*, 82:211–226.
34. Thierfelder C., Wall P.C., 2009. Effects of conservation agriculture techniques on infiltration and soil water content in Zambia and Zimbabwe. *Soil Till. Res*, 105 :217–227

35. Thierfelder C., Mwila M., Rusinamhodzi L. 2013. Conservation agriculture in eastern and southern provinces of Zambia: Long-term effects on soil quality and maize productivity. *Soil Till. Res*, 126 :246–258
36. Wheeler T. and von Braun J. 2013. Climate Change Impacts on Global Food Security Science 341 (6145) : 508-513. DOI: 10.1126/science.1239402
37. Traore B., Wijk M.T.V, Descheemaeker K., Corbeels M., Rufino M.C., Giller K.E., (2014), Evaluation of climate adaptation options for Sudano-Sahelian cropping systems. *Field Crops Res.*, 156:63–75.
38. Yadav, M.R., C.M. Parihar, Rakesh Kumar, R.K. Yadav, S.L. Jat, A.K. Singh, H. Ram, R.K. Meena, M. Singh, V.K. Meena, N. Yadav, B. Yadav, C. Kumawat and Jat, M.L. 2017. Conservation Agriculture and Soil Quality– An Overview. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.* 6(2):1-28. doi: <http://dx.doi.org/10.20546/ijcmas.2017.602.0xx>