



A Long term EU-Africa research and Innovation Partnership on food and nutrition security and sustainable Agriculture



EUROPEAN UNION

THIS PROJECT HAS CO-FINANCED FROM THE EUROPEAN UNION'S FUND FOR REGIONAL DEVELOPMENT UNDER THE LEADER REGIONS DEVELOPMENT INTERVENTION PRIORITY AXIS (LEADER)

Roles of Agroforestry in sustainable intensification of small farMs and food SEcurity for Socletles in West Africa



WP2 Ecosystem Services - Task 2.2. Supporting & regulating services D 2.2.1. Tree impacts on their immediate environment (80% completed)

D 2.2.1.1 - Burkina-Faso

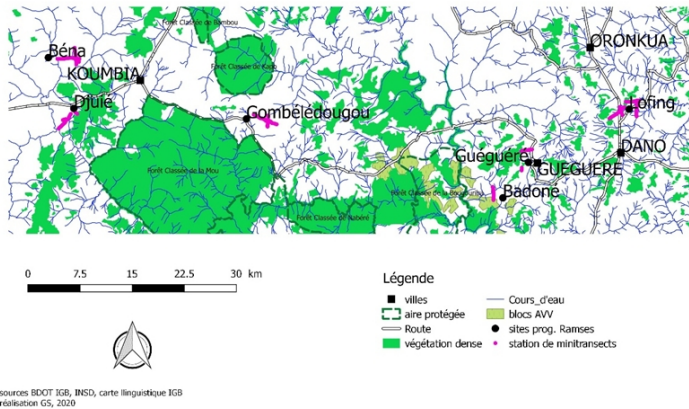


Fig.1. localisation des villages investigués le long du transect Koumbia-Dano et des minitranssects

D 2.2.1.1.1 La fonction “ombrage” : entre service et disservice (*G. Serpantié, B. Bastide, P. Koura, H. Ouoba, I. Thiombiano*)

Méthodologie : L'ombrage d'un arbre isolé est non seulement un phénomène saisonnier, lié à la densité de feuillage variable (cas de *F. albida*), à la surface du houppier et son épaisseur, donc à l'âge, mais aussi au port de l'arbre. Un arbre de haute stature et de faible surface de houppier crée une ombre portée mobile sur un vaste espace, donc diluée dans le temps, et laisse passer la lumière diffuse. Alors que sous le houppier étalé d'un arbre trapu l'ombre portée est permanente sous l'arbre et l'accès à la lumière diffuse du ciel y est limité. Selon un modèle schématique symétrique de l'arbre isolé (Fig. 2a), soit l'angle α entre le tronc et une droite reliant la base du tronc et la couronne, plus l'angle est élevé, plus l'ombre portée se déplace sur un espace réduit, et moins la lumière diffuse accède au pied de l'arbre, pris comme zone d'ombrage maximal.

Si le taux d'ombrage du pied de l'arbre (%) va de 0% ($\alpha = 0^\circ$) à 100% ($\alpha = 90^\circ$) et supposant une variation linéaire, il vaudrait alors :

Taux d'ombrage maximum sol (TOMS %) :

$$\text{TOMS} = 200 / \pi * \text{Arctg } r/h,$$

r = rayon couronne, h = hauteur sous couronne.

L'ombrage fait partie des effets directs de l'arbre sur les conditions d'éclairement des cultures sous-jacentes, qui peut être recherché pour certaines productions sensibles en saison

chaude (cas des « jardins de karité » près de Ouagadougou pour des plantes maraîchères sensibles à la chaleur en saison chaude (persil, céleri), cas du piment sous néré, cas de l'élevage en saison chaude ...). L'ombrage peut aussi être recherché pour maintenir une vie dans le sol en saison sèche (limiter l'hyperdessiccation). Mais il peut aussi être une source de nuisance pour les cultures, légère (cas des céréales rustiques extensives à cycle long), ou plus gênante en présence d'investissements (cas des cultures intensives mécanisées maïs-cotonnier). La fonction écologique « ombrage » rend donc un service ou un disservice à l'agriculteur selon les systèmes de culture/élevage adoptés et le système de production. Elle peut être aussi modulée en éclaircissant les arbres ou en taillant dans les branches basses pour réduire α et en choisissant des essences à phénologie décalée par rapport à celle des cultures (comme *F. albida*). Un indice d'ombrage complet, donc un proxy du « service/disservice » de l'arbre ou d'un parc en matière d'ombrage des cultures serait donc constitué de l'emprise des houppiers (surface du houppier, taux de recouvrement des arbres), d'une densité saisonnière du feuillage dépendant de l'espèce et de l'épaisseur du houppier, complété par ce « taux d'ombrage » lié

au port qui est un facteur aggravant/atténuant. Mais l'incidence de l'ombrage dépend aussi de la hauteur des plants cultivés, les feuilles hautes contribuant le plus à la production de photosynthétats lors des phases de reproduction (Fig 2b). Selon la position du pied cultivé sur un plan est-ouest, on définit deux angles α et β dont la somme représente l'ombrage subi par la culture du fait de l'arbre :

Taux d'ombrage subi (TOS %):

$$TOS = 100 / \pi * (\text{Arctg}(r-d)/(ha-hc) + \text{Arctg}(r+d)/(ha-hc))$$

r = rayon couronne, ha = hauteur sous couronne, hc = hauteur de la culture, d = distance culture- tronc.

Sur chaque station du transect Koumbia-Dano, mini-transect ou facette de paysage, la dimension et le port des arbres sont très variés, mais des variations tendancielle apparaissent.

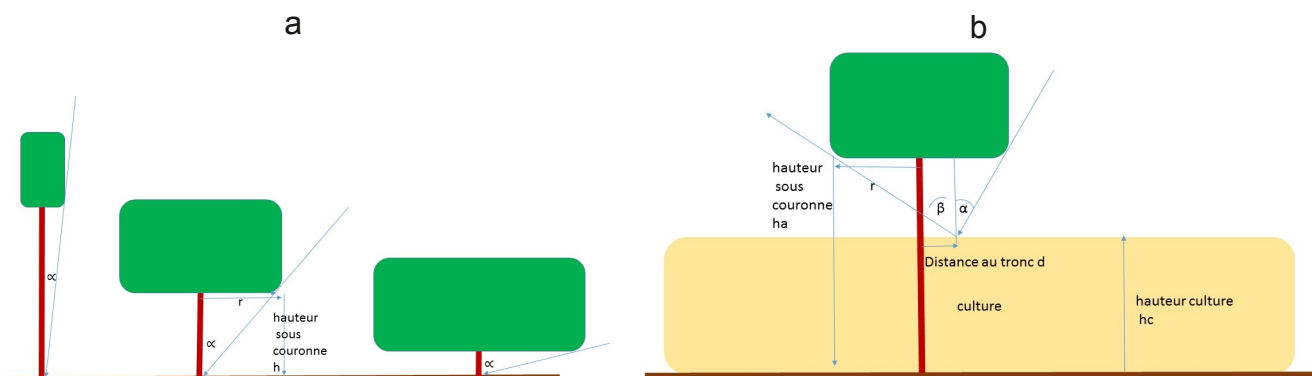


Fig.2. Modèle d'un arbre isolé et angle α représentant l'intensité d'ombrage maximum au sol (a); calcul de l'ombrage de l'arbre subi par la culture associée en fonction de la distance à l'arbre et de la hauteur de la culture (b)

Résultats :

Surface du houppier : L'isolement des arbres du parc favorise l'étalement maximal de leur houppier, et donc le facteur ombrage. Dans les champs de villages, où l'on trouve les arbres les plus vieux et les plus étendus, l'emprise max des nérés et des *F. albida* est plus forte que celle des karités (Fig. 3a, 3b, 4a). Les karités de forte emprise (> 2 ares) restent rares (1%), excepté dans les champs de village (40%) alors que 50% des nérés (y compris en champs de brousse) ont des houppiers dépassant 2 ares. Le karité fait donc partie des arbres les moins étalés, surtout à l'état jeune. La surface de couronne est fortement corrélée au diamètre du tronc, qui est un indicateur

L'emprise augmente donc avec l'âge de l'arbre. Les champs de brousse ont des arbres plus jeunes et donc moins étalés que les champs de villages, lesquels ont peu de karités. La pente de la relation entre surface et âge (fonction puissance) est aussi plus grande dans les champs de villages que dans les champs de brousse où il y a non seulement des feux (en phase jachère) mais aussi moins de pratiques de coupe (Fig. 3a et 4b). Les plus vieux arbres sont sur la courbe des maxima, ce qui pourrait marquer qu'on les taille moins, soit en tant qu'arbres vénérables, soit parce qu'ils sont réservés à la production de fruits, soit que leur port soit le témoignage d'une période où on ne taillait pas le karité.

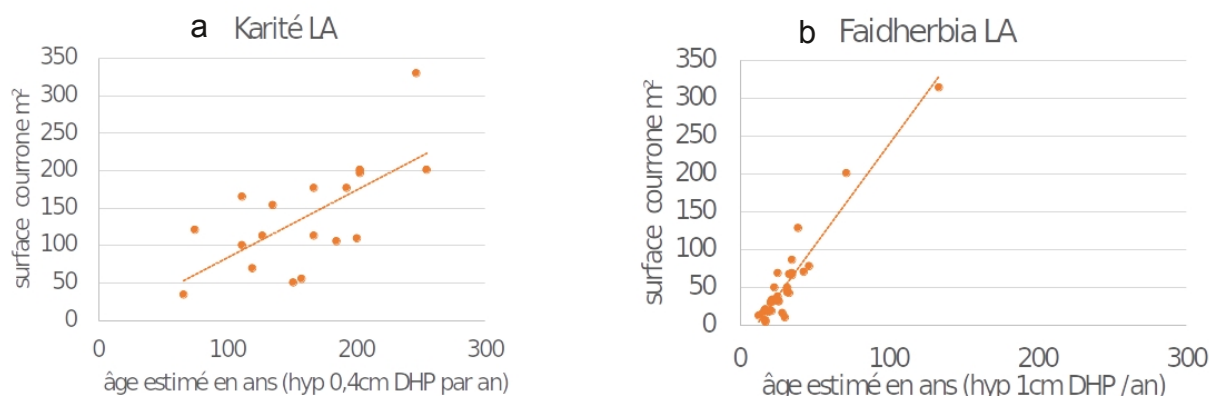


Fig. 3. Surface de houppier dans les champs de village (Lofing), en fonction de l'âge et de l'espèce : karité (a), *F. albida* (b)

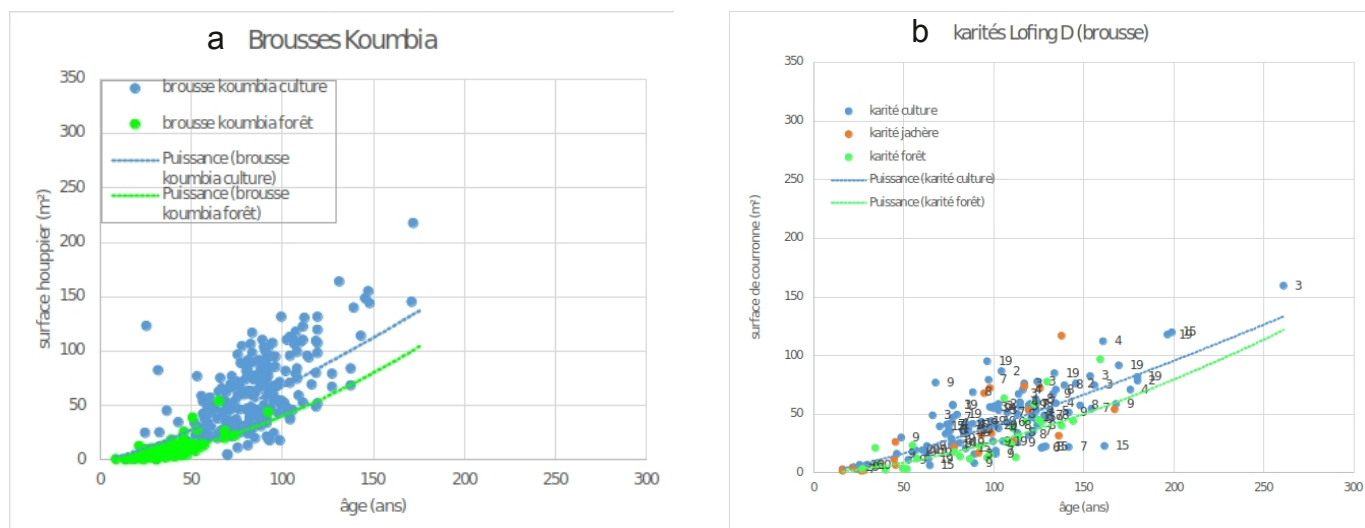


Fig. 4. Surface de houppiers des karités de champs de brousse à Koumbia (Bwa) (a) et à Lofing (Dagara) (b) en fonction de l'âge (estimé par le DHP)

La plus faible taille du houppier de karité en « forêt » (zones jamais cultivées, en vert) (Fig. 3 a et b) révèle des pratiques d'exploitation des branches des karités des zones non cultivées ainsi que les effets du feu. De même il existe une limite d'âge plus faible en « forêt » (100 à 150 ans) qu'en culture (300 ans) ce qui est classique vu la pression du feu en savane. Les karités des jachères ressemblent à ceux des cultures (Fig 3b). Entre les champs de brousse de Koumbia et Lofing, existe aussi une forte différence de surface de houppier (Fig. 4 a et b).

A âge égal, les houppiers de karité des champs de brousses sont plus étendus à Koumbia (Bwa) qu'à Lofing (Dagara), où la pression d'élagage est très forte pour le dolo, même dans les champs. A Koumbia comme à Lofing, certaines placettes de culture (n°7, 9, 15) contiennent des arbres ayant des surfaces de couronne aussi faibles que celles des karités forestiers, ce qui renvoie à des pratiques d'exploitation sévères, récentes ou antérieures, liées aux usagers de ces parcelles.

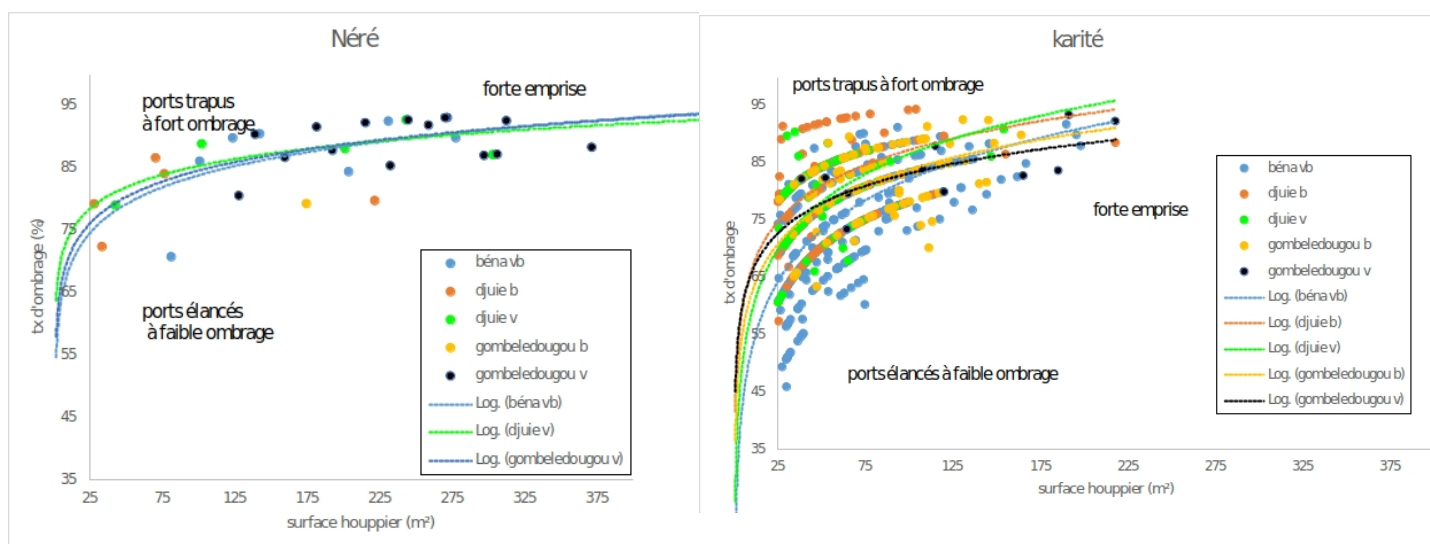


Fig. 5. Emprise vs taux d'ombrage sol des arbres en fonction des espèces, des facettes et des villages du côté de Koumbia, vb : village de brousse ; b : champs de brousse ; v : champs de village)

Taux d'ombrage lié au port :

- le taux d'ombrage augmente avec la surface du houppier (Fig. 5 a et b) ;
- le taux d'ombrage est supérieur chez le néré par rapport au karité. (Fig 4 a et b). Les vieux nérés montrent des ports peu variables, avec un fort taux d'ombrage général. Il existe quelques cas de ports plus élancés de nérés en brousse par des pratiques de taille ou d'exploitation (élimination des branches basses ce qui relève la hauteur sous couronne), en forêt notamment. La variabilité des ports du karité est forte surtout aux stades jeunes. Le port trapu à fort ombrage est plus fréquent à Djuié (champs de village comme champs de brousse) et les ports les plus élancés sont à Gombeledougou et surtout Béna, ce qui renverrait à des tailles de conformation plus sévères, notamment chez les jeunes arbres.

En zone Dagara en brousse saturée (Lofing, Fig. 5), les néré ont les houppiers les plus étendus.

Les *F. albida* sont particulièrement élancés (port aturel et élagages pour le bois de chauffe). Les autres espèces (karité, *Diospyros*, neem) ont des

ports similaires (faibles surface, faible taux d'ombrage) et proches des karités de Béna (village de brousse saturé de la zone de Koumbia).

Conclusion provisoire : Les compositions spécifiques (place du *Faidherbia*, voir plus loin), des taux de recouvrement des parcs (voir WP1) et des caractéristiques dendrométriques des populations d'arbres isolés sur le transect Koumbia Dano (Burkina Faso) montrent des variations que l'on peut relier (en hypothèse) à des façonnages volontaires du parc (tailles, éclaircies, coupes d'exploitation) soit en vue d'exploiter le bois, soit de minimiser l'impact de l'ombrage et de l'encombrement sur des cultures intensives, ou encore en vue de s'adapter à des conditions d'accès foncier limitantes. La zone Ouest semble favoriser les éclaircies et les tailles de conformation à Béna et GombéléDougou, la zone Est favoriserait les tailles d'exploitation et le remplacement du karité par le *Faidherbia* sans ombrage. Ce sont autant d'hypothèses à valider par enquête auprès des exploitants sur les usages.

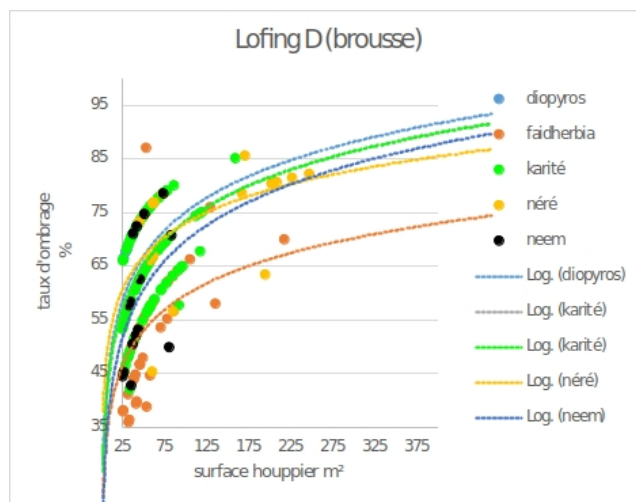


Fig. 5. Emprise et indice d'ombrage sol Lofing D (brousse)

D 2.2.1.1.2 Support and regulation services according to the distance from the tree (*J. Sanou, J. Koala*)

Methodology : Within the network of farmers' plots presented in Task 2.1, D 2.1.1. (§ D 2.1.1.1.2), in addition to the impacts of the trees on the associated crop, measurements were performed to provide insight on their impacts on their environment. Main measured variable were presented in table 1 : soil resources, Leaf Area Index (LAI), Photosynthetically Active Radiation (PAR), and impacts on pests, at three positions from shea trees. Floristic list of herbaceous species and abundance at different distance from the tree in parklands from Dano to Koumbia.

Table 1. Collected data in sampled parklands located along the Koumbia-Dano transect in Bukina Faso

Variable categories	Available results
Socio-economic	Farm typology
	Perception and choices
	Ethnicity
	Land tenure
	Trees regeneration practices
Spatial	Location of each sampled parkland
	Georeferencing of each sampled tree
	Tree density in the sampled parkland
	Minimum distance between trees in the sampled
Practices and parkland management	Duration of the plot cultivation
	Associations and rotations over the last 5 years
	Frequency- and date of the last- pruning
	History of organic manure management
	Tool for soil tillage
	Age of the (last) fallow
Tree biometric traits	Trunk circumference at 1.5m
	Crown diameter
	Height
Crop traits and yield components	Plant growth and phenology
	Grain/straw yield
	Grain/straw yield components
	Parasites status (striga, mildew or other)
Underground traits	Vertical and horizontal distribution of root biomass
Tree health	Parasite status / presence of hemiparasite
Tree impacts on weeds	Tree impacts on weed floristic diversity
	Tree impacts on weed biomass
Tree impacts on physical environment	Soil moisture (0-10 cm and 10-30 cm)
	Photosynthetically Active Radiation (PAR) under shea crown / in open area
	Air temperature under shea under shea crown and in open areas
	Rainfall under shea crown and in open-air areas

Results : Light intensity measured in the plots of these regions showed significant lower values under the crown, indicating that competition for light from the tree to the cereal under and at the limit of the crown was

significant (Fig. 6). Consistently, relative chlorophyll content was higher under the trees (Fig 7). Other results : soil water content, stomatal conductance, striga infestation rate, are presented in Fig. 8, 9, 10 respectively.

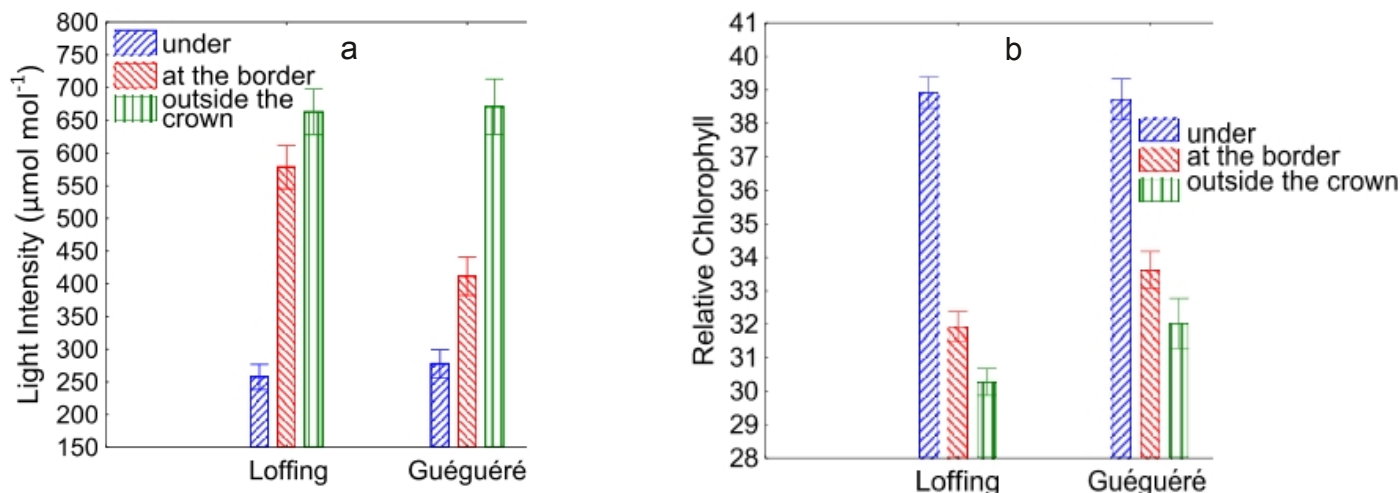


Fig. 6. Light intensity (a) and relative chlorophyll of Sorghum crop (b) according to the distance from the shea tree

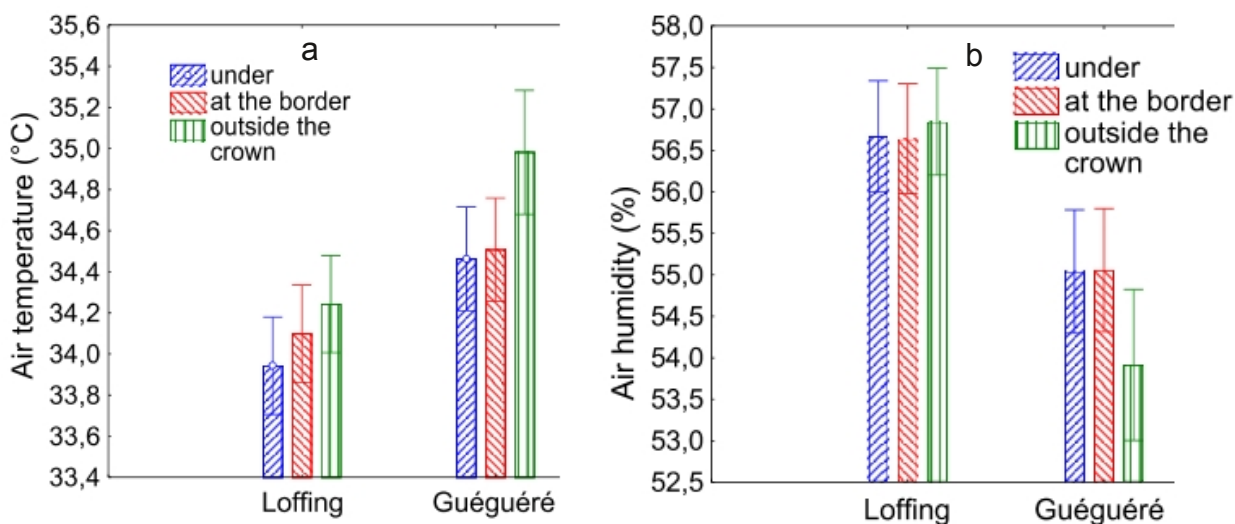


Fig. 7. Air temperature (a) and air humidity (b) according to the distance from the shea tree

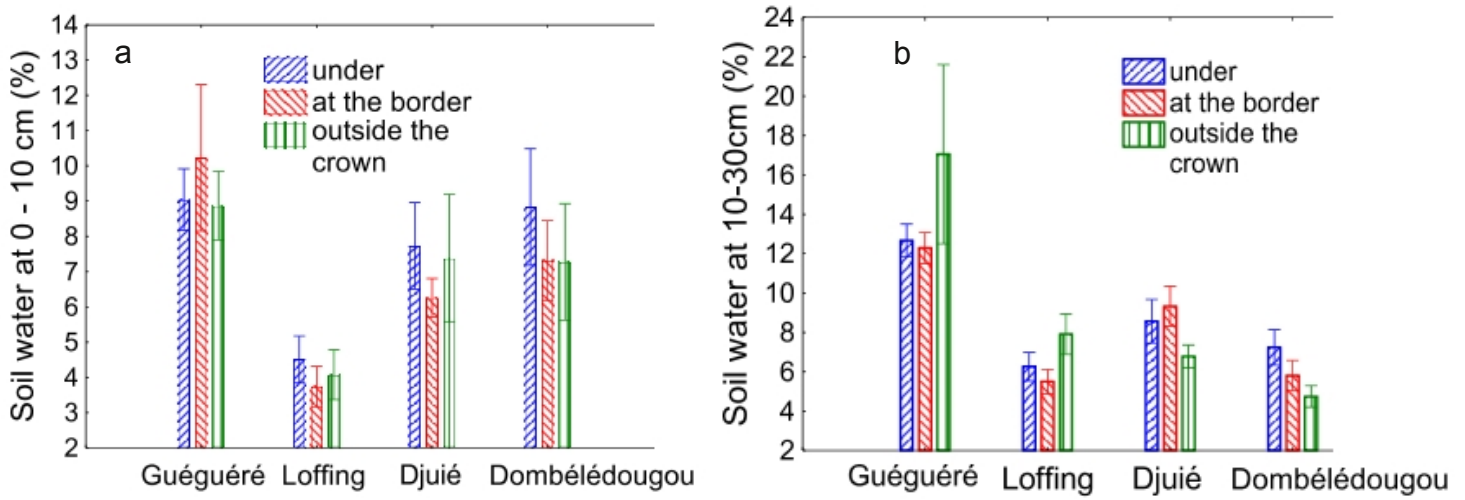


Fig. 8. Soil water content in the 0-10 cm layer (a) and 10-30 cm (b) layer according to the distance from the shea tree during a dry period

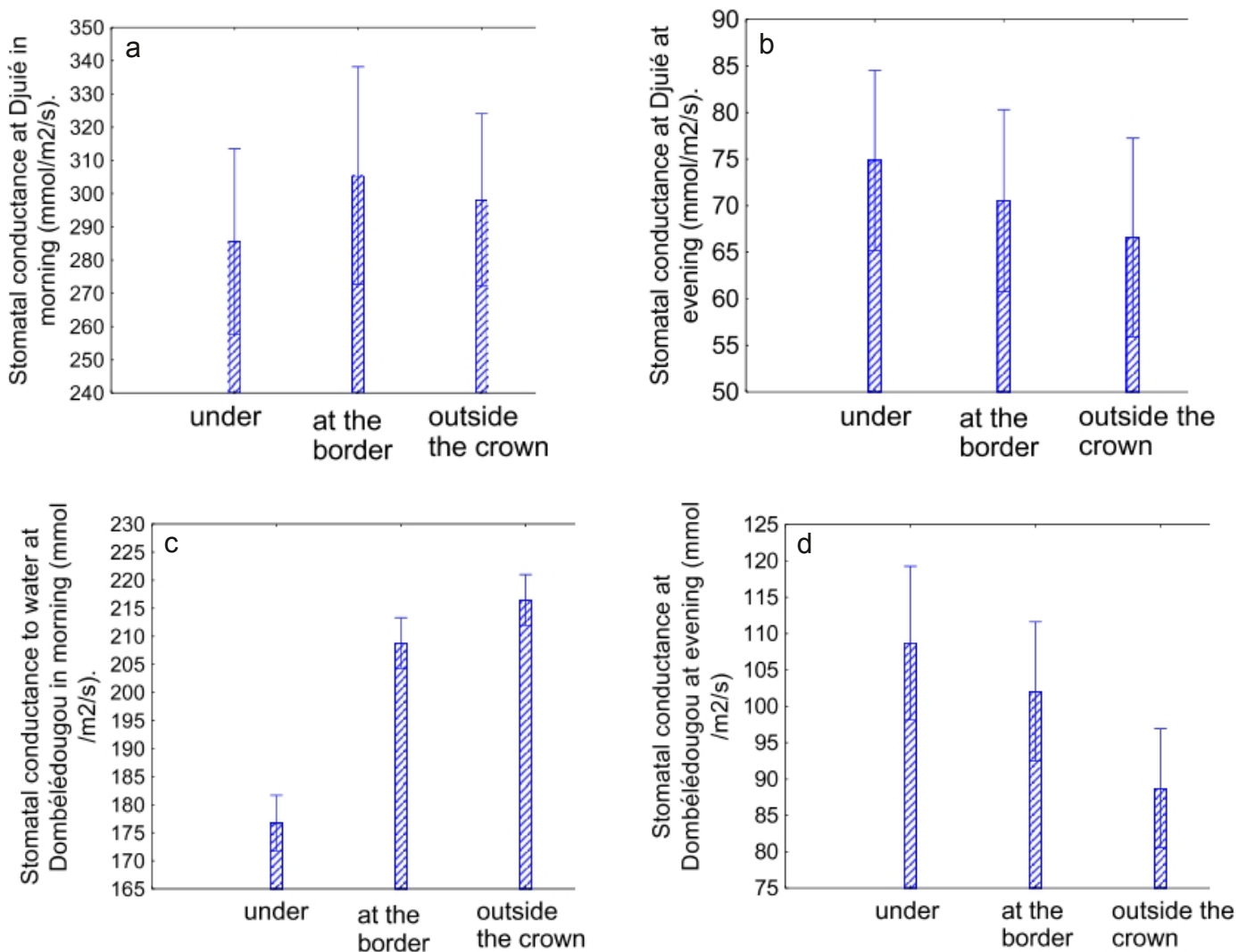


Fig. 9. Sorghum stomatal conductance in the morning (a, c) and evening (b, d) in Djuié (a, b) and in Dombélé Dougou (c, d) according to the distance from the shea tree

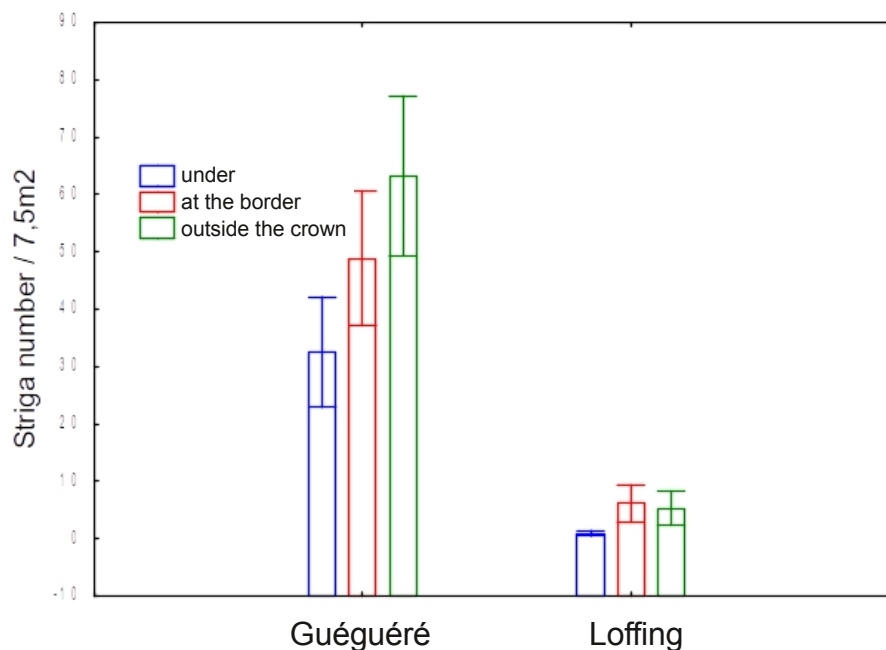


Fig.10. Striga infestation according to the distance from the shea tree

D 2.2.1.2 - Senegal

D 2.2.1.2.1 Support and regulation services according to the distance from the tree (C. Clermont-Dauphin, M. Ndienor, L. Leroux, H. Ba)

Methodology : Within the network of field stations presented in D 2.1.1. (§_D 2.1.1.2.1, p. 4), we collected data on soil resources and physical characteristics, millet leaf water potential and millet bioaggressors as reported in table 2. Based on soil bulk density profiles collected in this study we calculated the soil C stock using the equation:

$$\text{C stock (t/ha)} = \text{Soil surface} * \text{Soil height (0.1m)} * \text{Soil bulk density} * \text{Soil C in 0-10 cm (\%)}$$

Results : Predawn leaf water potential of millet was missing for two villages. For the others, measurements at two dates (Fig. 11, 12) show that the water state of the crop was generally more favourable under the crown (with lower values) than out of the crown cover. There is a great variability in differences between villages, probably related to measurement date shifts and probably microclimate between villages. At midday (Fig. 11b, 12b), the differences between couples are often smaller, which makes sense when you consider that climate demand is highest at this time of day. When this difference is significant, it still indicates a more favourable millet water situation under the crown. Soil water content and temperature Fig. 13)

records started at mid flowering that is after the long period of water shortage that occurred during the vegetative phase of the crop. Because the rainfall was well balanced no significant difference were found during this period in soil water content under and furthest to trees.

Soil samples have been collected at two layers : 0-10cm and 10-30cm. Only the 0-10cm were analysed for C, N total (CHN), P Olsen and NH_4OAC extractable Kexch Ca, Mg and Ca. The chemical analysis were performed at the Laboratory of Analytical Resources of the Institut de la Recherche et du Développement (LAMA/IRD), Dakar (Senegal). They generally showed significant higher soil fertility under tree than furthest to trees, whereas significant variability exist between sites for Olsen P and all the cations., but not for C%. Soil bulk density in 0-10 cm was slightly sensitive to distance to tree in some sites but not in all of them. Effect of soil depth on bulk density was generally not significant. Soil C stock in 0-10 cm amounted X T/ha. The differences between the bulk densities under and far from the tree are a bit surprising: I the 10-20 cm soil layer, at Toucar stations, average bulk density is higher under the crown!

Table 2. Collected data in sampled parklands located along the Niakhar transect of villages in Senegal

Variable categories	Available results
Spatial	Location of each sampled parkland
	Georeferencing of each sampled tree
	Tree density and diversity in the sampled parkland
	Distance between the sampled and the nearest tree
Practices and parkland management	Crop history over the last 5 years
	Frequency- and date of the last- pruning
	History of organic manure management
	Tool for soil tillage
	Nature and dates of technical interventions on millet (2019)
Tree traits	Trunk circumference at 1.5m
	Crown diameter and orientation
	Height
	Sex of the tree (farmer declaration)
Crop traits and yield components	Plant growth and phenology
	Grain/straw yield
	Millet hill* density at harvest
	Number of spike/hole
	Number of grains/spike
	Weight of 1000 grains
	Parasites status (% striga, % mildew, % miners)
Crop water stress status	Predawn leaf potential of millet 30 days after lifting
	Midday leaf potential of millet 30 days after lifting
	Predawn leaf potential of millet 56 days after lifting
	Midday leaf potential of millet 56 days after lifting
Underground traits	Vertical and horizontal distribution of root biomass
Tree health	Parasite status / presence of hemiparasite
Tree impacts on physical environment	Soil moisture 0-20 cm soil depth 30, 56, and 70 days after lifting
	Soil temperature 0-20 cm 30 days after lifting
	Soil bulk density at sowing : 0-10, 10-20 and 20-30 cm soil depth under crown / in open area
	N and C total at sowing 0-10 cm soil depth
	P Olsen and K, Ca, Mg available at sowing 0-10 cm soil depth

* hill: "several seeds or plants planted in a group rather than a row" (Merriam-Webster dictionary)

but this effect is reversed in the 20-30 cm soil layer. Moreover, while we expected a marked effect in the 0-10 cm (where the organic matter is concentrated), there is an effect in Thilla Ounté only. Most important millet pests were armyworms attacking leaves at young stages (*Spodopera frugiperda*, Fig.19), head miner moths (*Heliocheilus albipunctella*, Fig. 20), fungal diseases caused by Downy mildew (*Sclerospora graminicola*) on millet ears

and *Striga hermontica* weeds (Fig. 21). Significant lower attacks of armyworms on the young leaves of millet were recorded under the trees than outside. Missing data should be noticed for *Striga hermontica* records. On the two sites where data were available, a positive effect of the tree proximity recorded. For head miner moths, high variability of the tree proximity between sites is recorded, with positive effect in some site and negative or nil effect in others.

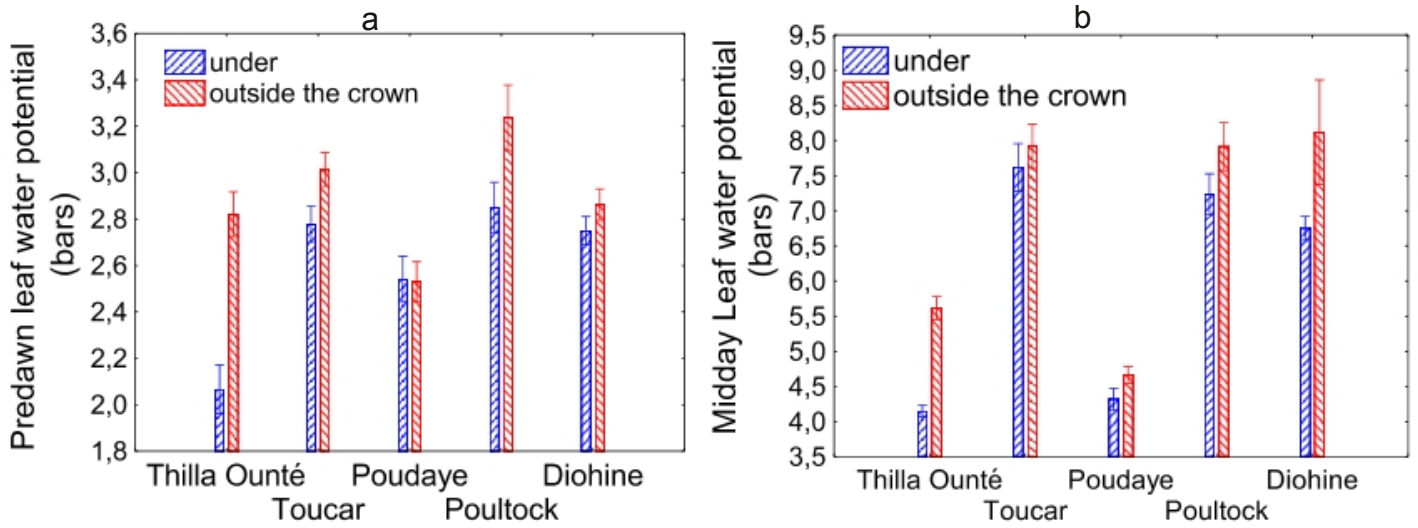


Fig.11. Predawn (a) and midday (b) leaf water potential of millet before millet flowering according to the position relative to the *F. albida* tree

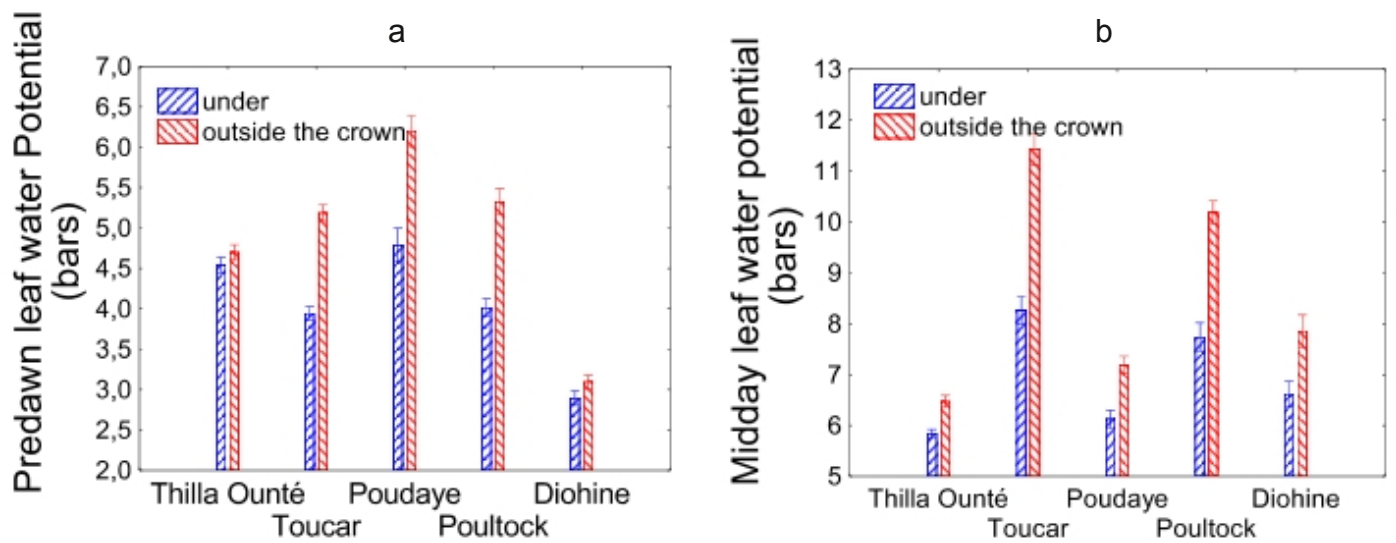


Fig.12. Predawn (a) and midday (b) leaf water potential of millet during millet flowering according to the position relative to the *F. albida* tree

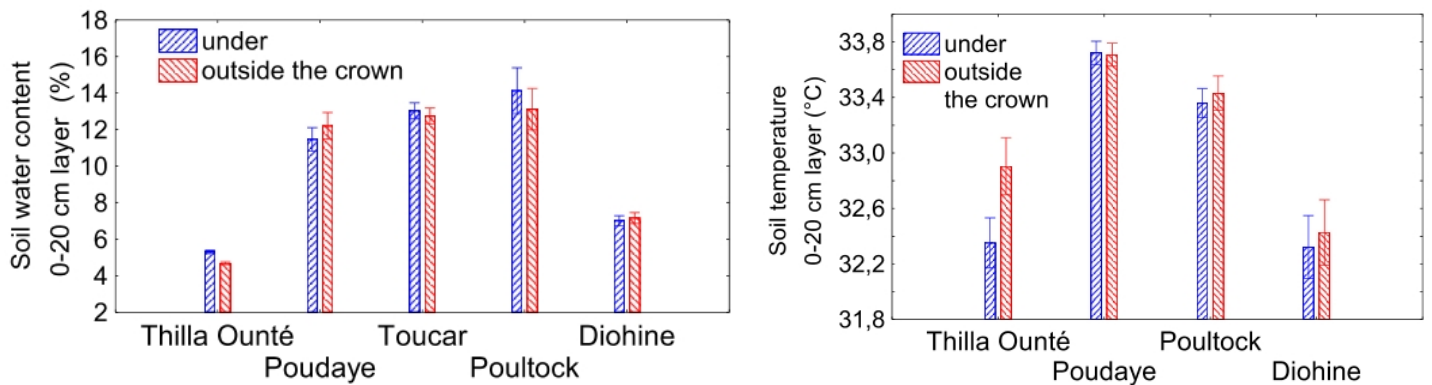


Fig. 13. Soil water content (a) and temperature (b) of the soil in 0-20 cm layer from the millet flowering to its harvest according to the position relative to the *F. albida* tree

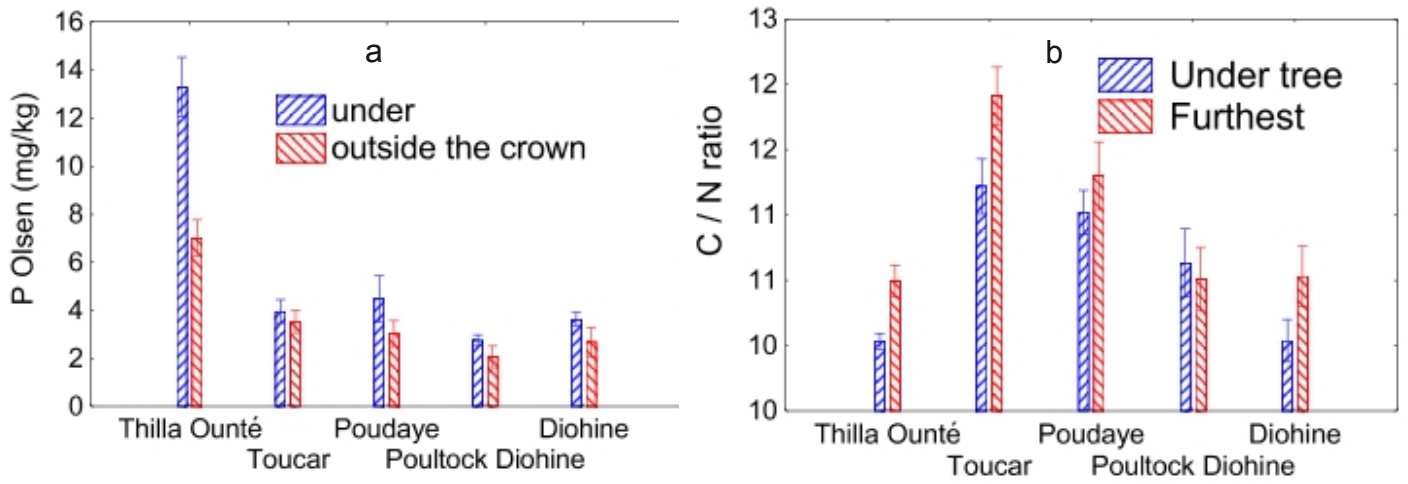


Fig. 14. P Olsen (a) and C/N ratio (b) in soil 0-10cm layer according to the position relative to the *F. albida* tree

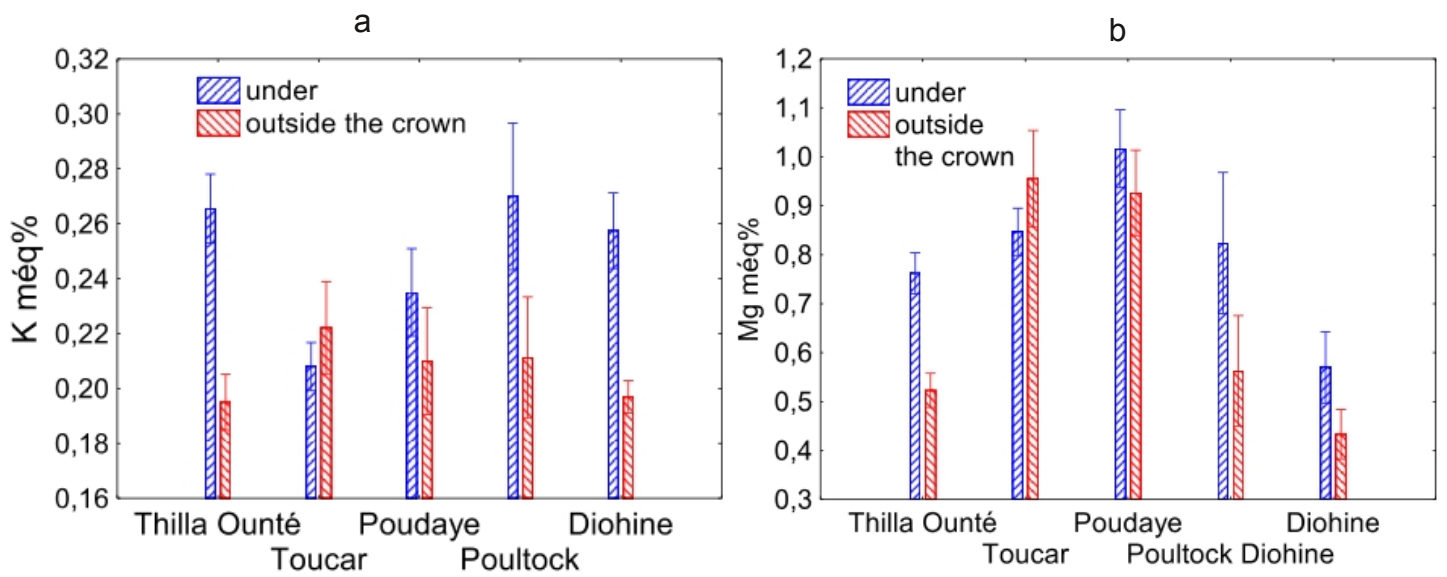


Fig. 15. Exch K (a) and Exch Mg (b) in soil 0-10cm layer according to the position relative to the *F. albida* tree

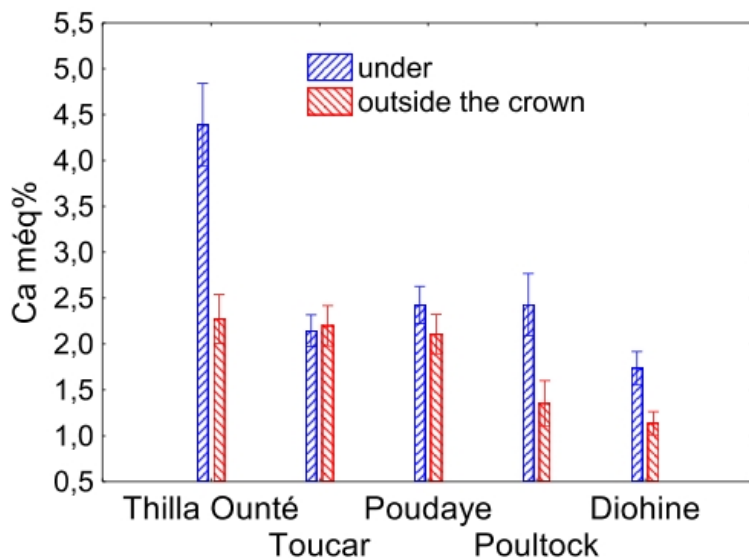


Fig. 16. Exch Ca in soil 0-10cm layer according to the position relative to the *F. albida* tree

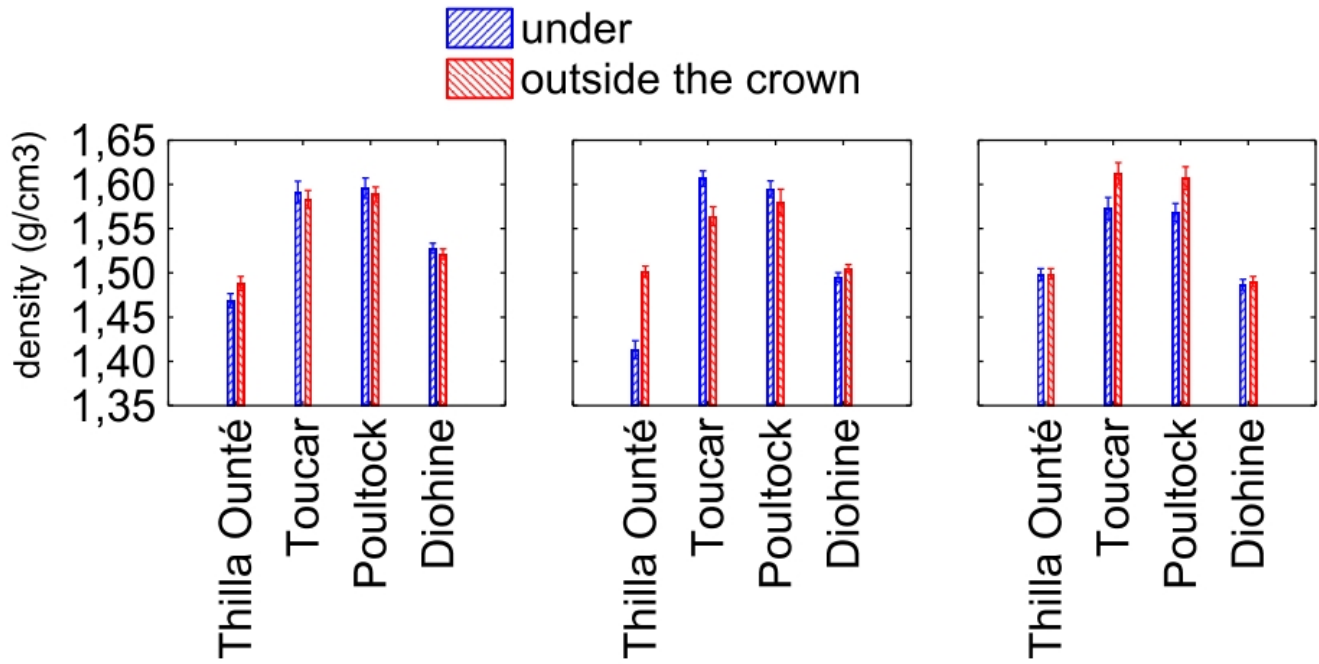


Fig. 17. Soil bulk density in 0-10cm (a) 10-20 cm (b) and 20-30 cm layers according to the position relative to the *F. albida* tree

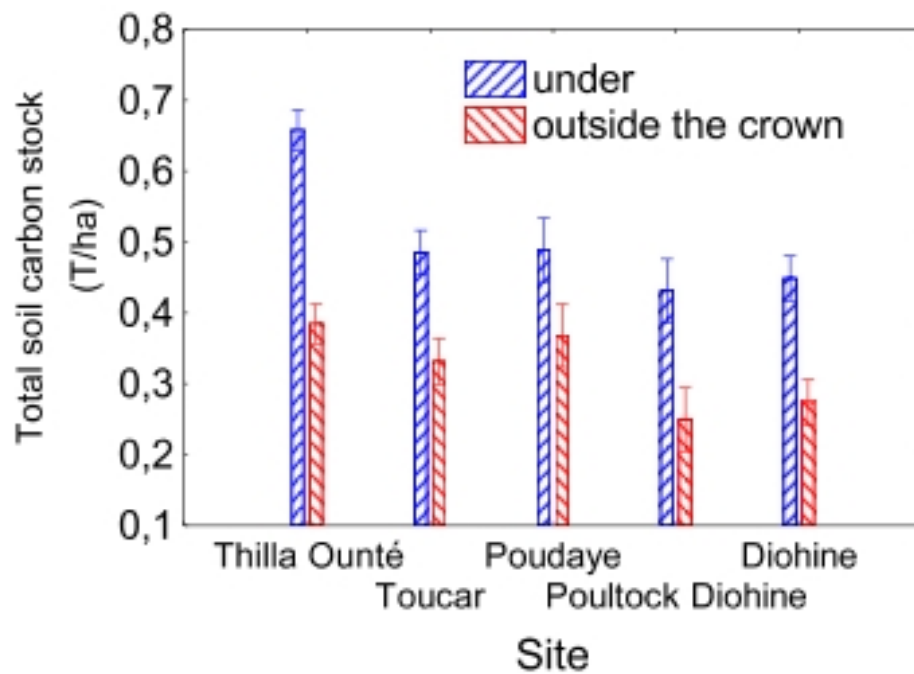


Fig. 18. Carbon stocks in soil 0-10cm layer according to the position relative to the *F. albida* tree

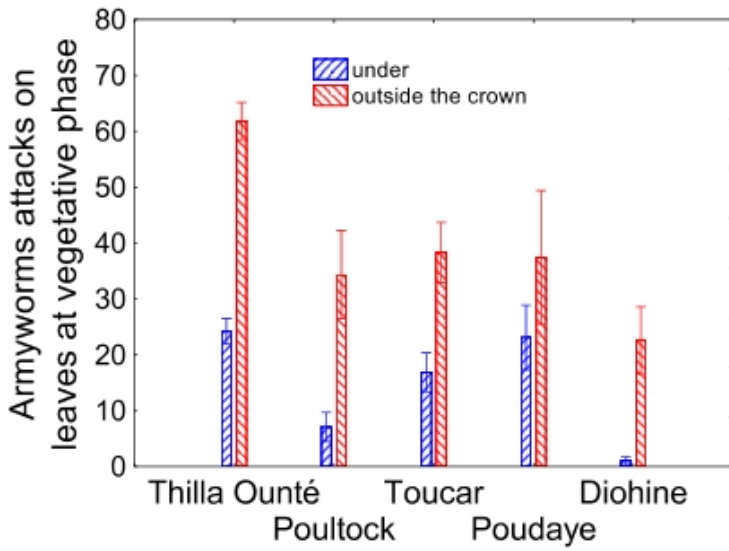


Fig. 19. Fall armyworm incidences on millet crops according to the position relative to the *F. albida* tree

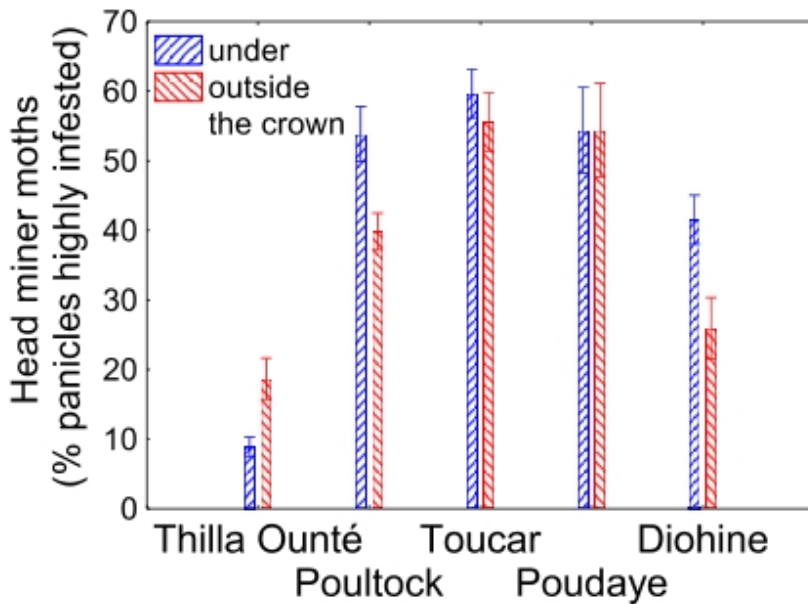


Fig. 20. Head miner moths incidences on millet crops according to the position relative to the *F. albida* tree

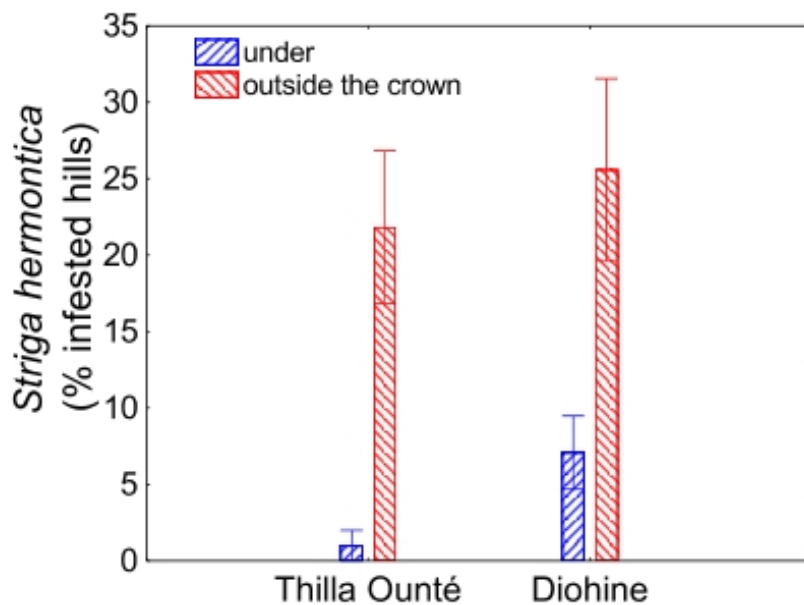


Fig. 21. *Striga hermontica* impact on millet crops according to the position relative to the *F. albida* tree

D 2.2.1.2.2 Support and regulation services at the *Faidherbia Flux* Sob site of intensive measurements as inputs to the WP3 biophysical modelling (O. Roupsard, C. Jourdan, D. Orange)

Methodology : In *Faidherbia-Flux*, soil water has been assessed continuously during 2 years at the semi-hourly time step and down to 2 m in open field (far from the trees) and for one year close to the trees and with profiles down to the water table (-6m).

A SVAT model (BILJOU, Granier et al., 1999) has been calibrated for the open-field situation, which allows to compute soil water storage and evapotranspiration at the daily time-scale.

Data analysis are still going on (S. Sow, PhD student).

