



Resilience of Family Farms to Climate Change
Through Agroecology in the Sudano-Sahelian
Zone of Mali: Case of the Villages of
Dougoumousso and Kondogola

Moussa Diallo, Bandiougou Dembele and Seydou Traore

EasyChair preprints are intended for rapid
dissemination of research results and are
integrated with the rest of EasyChair.

January 30, 2022

RÉSILIENCE DES EXPLOITATIONS AGRICOLES FAMILIALES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE PAR L'AGROÉCOLOGIE DANS LA ZONE SOUDANO-SAHÉLIENNE DU MALI : CAS DES VILLAGES DE DOUGOUMOUSSO ET DE KONDOGOLA

Moussa DIALLO^{1*}, Bandiougou DEMBELE¹, Seydou TRAORE²

¹Institut d'économie Rurale

²Centre Régional AGRHYMET

*Adresse e-mail de l'auteur correspondant : moussa.diallo@ier.ml

Résumé

Le Changement Climatique (CC) est une préoccupation environnementale mondiale. Les exploitations agricoles familiales (EAF) de Dougoumoussou et de Kondogola en zone soudano-sahélienne du Mali, sont durement affectées par les impacts induits par ce CC. Cette étude qui vise à contribuer au renforcement de la résilience des EAF du Mali face au CC, à consister à caractériser les EAF des deux sites étudiés, à déterminer la perception des producteurs sur le CC et à identifier les pratiques agroécologiques résilientes. Pour atteindre ces objectifs, des recherches documentaires, des échanges avec les autorités locales, la collecte des données climatiques et une enquête avec un échantillon de 138 EAF ont été réalisées. Les données collectées ont été analysées avec les logiciels R, R-instat et SPSS. Les résultats ont révélé des différences statistiquement significatives entre les caractéristiques socio-économiques des exploitations, les plus grandes capacités de production observées à Dougoumoussou grâce à la culture du coton. Les producteurs enquêtés perçoivent le CC par la diminution et/ou l'augmentation des pluies, le raccourcissement de l'hivernage, l'augmentation des températures et la fréquence des extrêmes climatiques. Les résultats des données climatiques indiquent une variabilité interannuelle persistante des pluies et une augmentation moyenne des températures de +0,7°C à Dougoumoussou et de +1,3°C à Kondogola sur la période 1991-2020 par rapport à 1961-1990. Les producteurs perçoivent aussi les impacts du CC sur leur production agricole. Pour renforcer leur résilience les EAF ont développé des pratiques agroécologiques. Plus de 50% des EAF utilisent une diversité de variétés, appliquent la fertilisation organique et font la lutte mécanique, la rotation culturale, le travail minimum du sol, la diversification culturale et la production de semence. Ces pratiques agroécologiques sont non seulement résilientes, mais elles sont aussi adaptées aux exploitations les plus pauvres et offrent une alternative plus durable aux exploitations dépendantes des intrants chimiques.

Mots clés :

Changement climatique ; Exploitation agricole familiale ; Résilience ; Agroécologie ; Mali.

RESILIENCE OF FAMILY FARMS TO CLIMATE CHANGE THROUGH AGROECOLOGY IN THE SUDANO-SAHELIAN ZONE OF MALI: CASE OF THE VILLAGES OF DOUGOUMOUSSO AND KONDOGOLA

Abstract

Climate Change (CC) is a global environmental concern. The Family Farms (FF) of Dougoumousso and Kondogola in the Sudano-Sahelian zone of Mali are severely affected by the impacts induced by this CC. This study, which aims to contribute to strengthening the resilience of Mali's FF to CC, consists of characterizing the FF of the two sites studied, determining the perception of producers on CC and identifying resilient agroecological practices. To achieve these objectives, documentary research, exchanges with local authorities, the collection of climate data and a survey with a sample of 138 EAF were carried out. The data collected was analyzed with R, R-instat and SPSS software. The results revealed statistically significant differences between the socio-economic characteristics of the farms, the greater production capacities observed in Dougoumousso thanks to the cultivation of cotton. The producers surveyed perceive CC through the decrease and/or increase in rainfall, the shortening of wintering, the increase in temperatures and the frequency of climatic extremes. The results of the climate data indicate a persistent interannual variability of rainfall and an average temperature increase of $+0.7^{\circ}\text{C}$ in Dougoumousso and $+1.3^{\circ}\text{C}$ in Kondogola over the period 1991-2020 compared to 1961-1990. Producers also perceive the impacts of CC on their agricultural production. To strengthen their resilience, the FF have developed agroecological practices. More than 50% of the FF use a diversity of varieties, apply organic fertilization and carry out mechanical control, crop rotation, minimum tillage, crop diversification and seed production. These agroecological practices are not only resilient, but they are also suitable for the poorest farms and offer a more sustainable alternative to farms dependent on chemical inputs.

Keywords: Climate change; Family farm; Resilience; Agroecology; Mali.

INTRODUCTION

Le réchauffement du système climatique est sans équivoque et, depuis les années 1950 (GIEC, 2014). L'atmosphère et les océans se sont réchauffés, la couverture de neige et de glace a diminué, le niveau des mers s'est élevé etc. (GIEC, 2014). L'Afrique de l'Ouest n'a pas été épargnée par ces événements climatiques extrêmes. Une hausse exponentielle du nombre d'inondations consécutives à des fortes pluies a été observée. (CILSS/CRA, 2010). Les températures dans le Sahel, ont évolué plus rapidement que la tendance mondiale, avec des augmentations allant de 0,2°C à 0,8°C par décennie depuis la fin des années 1970 dans les zones sahélo-saharienne, sahélienne et soudanienne. (CEDEAO-CSAO/OCDE/CILSS, 2008).

Ce Changement Climatique (CC) est un très grand défi pour le Mali, car il impacte négativement tous les secteurs clefs du développement du pays, en particulier l'Agriculture. Il se manifeste dans le pays par une variabilité interannuelle du régime des précipitations avec une légère tendance à la baisse du cumul annuel et par l'augmentation des températures (CN, 2017).

L'Agriculture est le secteur le plus important du Mali et constitue le fondement de l'économie nationale. Elle représente plus de 38% du produit intérieur brut (PIB) et emploie plus de 80% de la population active (MA, 2019). Plus de la moitié de la population malienne (58%) vit en zone rurale et pratique l'agriculture dans les Exploitations Agricoles Familiales (EAF) (CPS/SDR, 2016). Ces perturbations affectent la production agricole de différentes manières, à la fois directement (moins d'eau pour les cultures) et indirectement (les parasites des cultures se reproduisant plus rapidement), causant la baisse du rendement des cultures (Diarra, 2020).

Les précipitations irrégulières ont à elles seules réduit la croissance du secteur primaire (agriculture, élevage, la foresterie, la pêche, l'eau, etc.) de 7,6% en 2016 à 4,8% en 2017 (Diarra, 2020). Aussi, une « concept note » de *Green climate fund* (2018) a relevé qu'au Mali, on observe une baisse des rendements agricoles et une augmentation de l'insécurité alimentaire qui est passée de 24% en 2014 à 25,6% en 2017. Les communautés rurales sont les plus affectées à cause de leur vulnérabilité (Diarra, 2020), car non seulement elles sont exposées et sensibles aux risques climatiques (variabilité interannuelle des pluies, sécheresses, inondations, élévation de la température, etc.), mais aussi, elles présentent une faible capacité d'adaptation face aux effets des risques climatiques. D'après Simonet *et al.*, (2015), le Mali est un exemple qui illustre comment les sécheresses récurrentes peuvent enraceriner la pauvreté et ébranler la résilience. Outre l'impact sur l'agriculture, des études montrent l'existence de liens entre stress hydrique et l'instabilité socio-politique au Mali (Arsenault, 2015). Par ailleurs, le Mali subit

des pressions supplémentaires dues à la forte croissance démographique, à la pauvreté, et à l'insécurité grandissante.

Ces évidences soulèvent une question centrale : comment accroître la résilience des producteurs agricoles tout en préservant les ressources naturelles dans le contexte du CC en zone soudano-sahélienne du Mali ?

Une littérature assez abondante indique que l'adaptation et l'atténuation pourraient résorber l'impact négatif du CC (GIEC, 2014 ; GIEC, 2018 ; DUPAR, 2019). Il s'agirait d'adapter les pratiques agricoles aux variabilités climatiques et développer de nouvelles technologies agricoles pour réduire l'impact du CC sur les systèmes agricoles dans les pays en voie de développement.

L'agroécologie est définie par Altieri, (2013), comme une approche de la production alimentaire essayant d'assurer des rendements durables par l'utilisation de techniques de gestion écologiquement saines. Cet ensemble de pratiques agricoles se présentent comme une des réponses pertinentes aux grands défis globaux en matière de développement économique, social et environnemental, largement reflété dans les Objectifs de Développement Durable (ODD) (Levard et *al.*, 2019). En effet, l'agroécologie est un modèle de production lié à l'environnement. Elle est durable d'un point de vue sociale et économique et apparaît comme une alternative à la production agroindustrielle et aux impacts du changement climatique (Caritas, 2016). Donc, la diffusion de pratiques agricoles fondées sur l'agroécologie permet de diminuer la vulnérabilité des systèmes de production agricole aux aléas climatiques et ainsi renforcer la résilience des exploitations familiales face aux chocs et catastrophes (Baber, 2018). Cette étude intitulée, « **Résilience des exploitations agricoles familiales au Changement Climatique par l'Agroécologie dans la zone soudano-sahélienne du Mali : cas des villages de Dougoumousso et Kondogola** » a pour objectif global de contribuer au renforcement de la résilience des producteurs agricoles face aux impacts du Changement Climatique au Mali.

Spécifiquement, il s'agit de :

- Caractériser les exploitations agricoles familiales de Dougoumousso et Kondogola dans la zone soudano-sahélienne du Mali ;
- Déterminer la perception des producteurs agricoles des villages sur le CC et son impact dans la zone soudano-sahélienne du Mali ;
- Identifier les bonnes pratiques d'adaptation agroécologiques résilientes au CC mises en œuvre dans ces 2 villages.

PRÉSENTATION DES ZONES D'ÉTUDE

Deux sites font l'objet de cette étude, le 1^{er} site est le village de Dougoumousso situé dans la région de Sikasso et le 2^{ème} site est le village de Kondogola, localisé dans la région de Ségou.

Justification et localisation des sites d'étude

Les deux sites ont été choisis en fonction des critères suivants : différents types agro-climatiques (soudanienne et soudano-sahélienne), différents types de culture principale, utilisation des intrants de production différente en quantité, l'accessibilité de la zone, l'acceptabilité des projets de recherche par les habitants et la renommée du village en terme de production agricoles (dynamismes des AV).

✓ Le village de Dougoumousso

La commune rurale de Kléla se localise dans la partie Nord à 45 km de la ville de Sikasso (capitale de 3^{ème} région du Mali). Le village de Dougoumousso est situé dans cette commune, au Sud-Ouest à environ 6 km du centre communale Kléla. Ses coordonnées géographiques sont -5,71 longitude Ouest et 11,64 latitude Nord. (Figure 1).

L'économie de la commune est basée sur l'agriculture et l'élevage auxquels s'ajoutent le petit commerce, l'artisanat et la cueillette (PROMISAM, 2006). Les principales cultures de la zone sont le coton, le maïs, le mil et le sorgho. Les rendements moyens observés en 2003 étaient 1 597 kg/ha pour le coton, 2 383 t/ha pour le maïs, 980 kg/ha pour le mil et 972 kg/ha pour le sorgho. Les agriculteurs de la commune bénéficient de l'encadrement et des crédits de la Compagnie Malienne pour le Développement du Textile (CMDT), en intrants et matériels agricoles, ce qui est un atout majeur pour la production agricole de la zone (PROMISAM, 2006).

✓ Le village de Kondogola

La commune rurale de Cinzana est située à 37 km au Sud-Est de la ville de Ségou (4^{ème} région du Mali), sur la RN 6. Le village de Kondogola est l'un des 72 villages de la commune rurale de Cinzana. Il est situé à la périphérie Sud-Ouest de la commune à environ 2 km de Cinzana. Ses coordonnées géographiques sont -5,98 longitude Ouest et 13,24 latitude Nord. (Figure 1). L'activité économique principale de la zone est l'agriculture qui est de type familiale (extensive) et essentiellement pluviale. Les principales cultures rencontrées sont le mil, le sorgho, le sésame, l'arachide et le fonio. Le mil et le sorgho sont les cultures dominantes, ils contribuent pour 60 à 70 % dans l'alimentation humaine et servent à la génération des revenus monétaires (Ferroni et Gabathuler, 2011). De façon globale, l'agriculture reste fortement tributaire des pluies. Les années de faible pluviométrie sont ainsi marquées par une baisse importante des productions agricoles et un accroissement de l'insécurité alimentaire. À cela

s'ajoute le faible niveau d'encadrement des producteurs par les services techniques de l'État. À côté de l'agriculture, nous avons l'élevage sédentaire (ovins, caprins, bovins) avec une prédominance des petits ruminants, la pêche, le commerce, la cueillette, l'artisanat et la foresterie (PDESC, 2018).

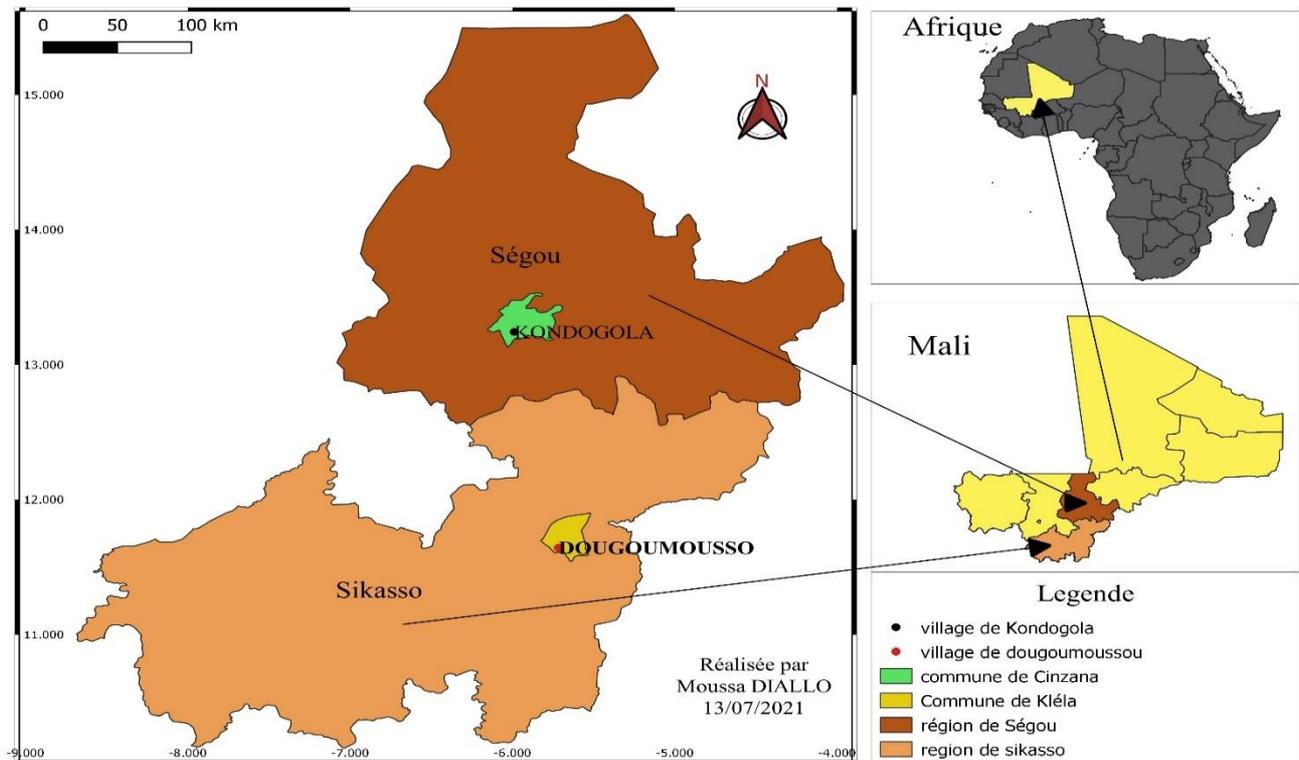


Figure 1 : Localisation des sites de l'étude

MATERIELS METHODES

- ✓ Des fiches d'enquête individuelles (questionnaire semi-structuré) ;
- ✓ Des blocs de notes ;
- ✓ D'un GPS ;
- ✓ D'un appareil photo

Recherche documentaire et échanges avec personnes ressources

La recherche bibliographique a été faite sur le net à travers des moteurs de recherche (google scholar, université Sherbrooke, Cheik Anta Diop et AGRHYMET), les informations recueillies sont entre autres, les caractéristiques des exploitations agricoles familiales, les principales cultures, les pratiques culturelles, les principales activités de subsistances, les risques climatiques de la zone soudano-sahélienne, les manifestations (l'évolution des caractéristiques de la saison des pluies, des températures minimales et maximales, et les phénomènes climatiques extrêmes tels que les inondations, les vents violents et vague de chaleur), etc.

Par ailleurs, nous avons réalisé des entretiens avec les agents des mairies des deux communes et les agents des services d'agriculture qui couvrent les deux villages sur leurs perceptions de l'évolution des saisons de pluies et les impacts du changement climatique sur la production agricole.

Enquête des Exploitations

L'unité d'enquête a été l'exploitation agricole familiale, les interviews ont été réalisés avec les chefs d'EAF

La taille de l'échantillon a été déterminée à partir de la méthode de calcul de Yamane (1967) ;

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} ; \text{ avec}$$

n = taille de l'échantillon

N = taille de la population mère

e : Marge d'erreur de 5%, $e=0.05$

Pour les 2 sites, le nombre total d'exploitations agricoles familiales est de 208 avec 86 à Dougoumouso et 122 à Kondogola.

$$n = \frac{208}{1 + 208 \cdot 0.05^2} = 138 \text{ EAF à enquêter.}$$

La taille de l'échantillon (n) a été répartie proportionnellement entre le nombre d'exploitations agricoles des deux villages. À partir de la liste des EAF mise à notre possession, un tirage aléatoire sans remise a été fait pour choisir les EAF à enquêter. Ainsi on a enquêté 58 EAF à Dougoumouso et 80 EAF à Kondogola. Nous avons réalisé des interviews individuelles avec le chef des EAF, ou son représentant.

Traitements et Analyse des données

✓ **Analyse des données d'enquête collectées**

Les données d'enquête collectées ont été saisies à l'aide du logiciel CSPro (version 7.3), dans lequel le masque de saisie du questionnaire avait été préparé. Les données ont été exportées vers le logiciel SPSS (version 17) pour être analysées. Des analyses descriptives (variables quantitatives) et de fréquences (variables qualitatives) ont été réalisées et les tests de Fisher (t-test) et Khi-deux au seuil de 5% de niveau de probabilité afin de déterminer le niveau de significativité des différences observées entre les EAF des deux villages

✓ **Analyse des caractéristiques de la saison des pluies**

Le logiciel R-Instat a été utilisé pour la détermination des différentes moyennes des caractéristiques de la saison des pluies, notamment le cumul annuel des précipitations, le nombre de jours de pluies, l'intensité des pluies par jour pluvieux, les dates du début et de fin

des saisons des pluies et les séquences sèches des saisons de pluies du passé (1961-1991) et du présent (1991-2020) des deux localités.

- **Cumul des pluies de la saison** (mm) : toutes les pluies supérieures ou égales à 0,85mm tombées entre le 15 avril au 31 octobre ont été additionnées (Stern et *al.*, 2019).
- **Nombre de jour de pluies** (jours) : nous avons comptabilisé tous les jours ayant reçus une pluie supérieure ou égale à 0,85mm (Stern et *al.*, 2019).
- **Moyenne de pluies d'un jour pluvieux** (mm/j) : nous avons considéré la moyenne des résultats de l'opération cumuls annuels divisés par le nombre de jours de pluies. (Stern et *al.*, 2019).
- **Date de démarrage de la saison des pluies** (jour julien) : le critère qui a été retenu est le premier jour entre le 15 avril et le 31 juillet où un cumul pluviométrique d'au moins 20 mm a été enregistré pendant 1 à 3 jours consécutifs sans qu'un épisode sec de plus de 14 jours ne soit observé pendant les 21 jours qui suivent (Stern et *al.*, 2019).
- **Date de fin de la saison des pluies** (jour julien) : le bilan hydrique qui considère la date de fin de la saison de pluies comme, la date à laquelle la consommation en eau de la plante épuise la réserve hydrique du sol (0,05 mm comme seuil de pluie utile) et ceci à partir du 1^{er} septembre a été retenu. Nous avons considéré une réserve utile (RU) de 100 mm d'eau par mètre du sol avec des évapotranspirations quotidiennes de 5 mm (Stern et *al.*, 2019).
- **Durée de la saison des pluies (jours)** : pour déterminer ce paramètre, nous avons fait la soustraction entre la date de fin de la saison des pluies et date de démarrage de la saison des pluies.
- **Durée des séquences sèches (jours)**: nous avons pris en compte le nombre de jours consécutifs sans pluies (Pluies < 0,85 mm) entre l'intervalle date de début de la saison et la fin de la saison.

✓ **Analyse des précipitations et des températures de 1961 à 2020**

Le logiciel R a été utilisé pour analyser les paramètres climatiques de précipitations et des températures minimales et maximales annuelles de 1961 à 2020 des deux zones.

L'analyse des anomalies standardisées (Indices de Lamb) a été réalisée pour déterminer les périodes à pluviométries excédentaires ou déficitaires par rapport à la normale 1961-2020, nous

avons utilisé l'indice de Lamb (Lamb, 1982) : $I = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma}$

Où I est l'anomalie standardisée (indice de LAMB), X_i est la variable étudiée pour le temps (i), X est la moyenne de la période de référence considérée, σ est l'écart-type de la période de référence. Si $I > 0$, la période est dite excédentaire (humide); Si $I < 0$, la période est dite déficitaire (sèche).

Les tests statistiques aussi ont été réalisés, à savoir le test de Shapiro Wilk, pour déterminer la normalité des séries de données. Les tests de Fisher et de Student, ont été réalisés afin de déterminer respectivement l'homogénéité entre les variances et les moyennes des variables testées. Et aussi, les tests non paramétriques ont été réalisés, notamment les tests de Kendall, Man Kendall et de Pettitt afin de déterminer respectivement la corrélation, la tendance et la rupture dans la chronologie des séries des paramètres étudiés.

Les résultats des analyses, ont été synthétisés à partir du logiciel Microsoft office Excel 2016, avec lequel nous avons aussi réalisé certains graphiques et les tableaux, notamment les courbes des moyennes de précipitations et de températures du passé, comparées à celles actuelles. Enfin pour la rédaction, le logiciel Microsoft office Word 2016 a été utilisé.

RESULTATS

1. Caractérisations des exploitation agricoles familiales

Niveau d'instruction des chefs des exploitations agricoles familiales

Le niveau d'instruction des chefs de EAF de Kondogola est plus élevé que ceux de Dougoumouso. En effet, plus de la moitié (51%) des chefs des EAF de Kondogola ont reçu une éducation scolaire du niveau primaire (33% pour l'école fondamentale et 18% pour l'école coranique) et 14% sont alphabétisés en langue locale "Bamanankan". Par contre à Dougoumouso 57% des chefs des EAF sont non instruits et moins de 15% ont reçu une instruction formelle. Cependant, la formation en alphabétisation en langue locale y est plus développée avec 31% des chefs des EAF, contre 14% à Kondogola (Figure 2).

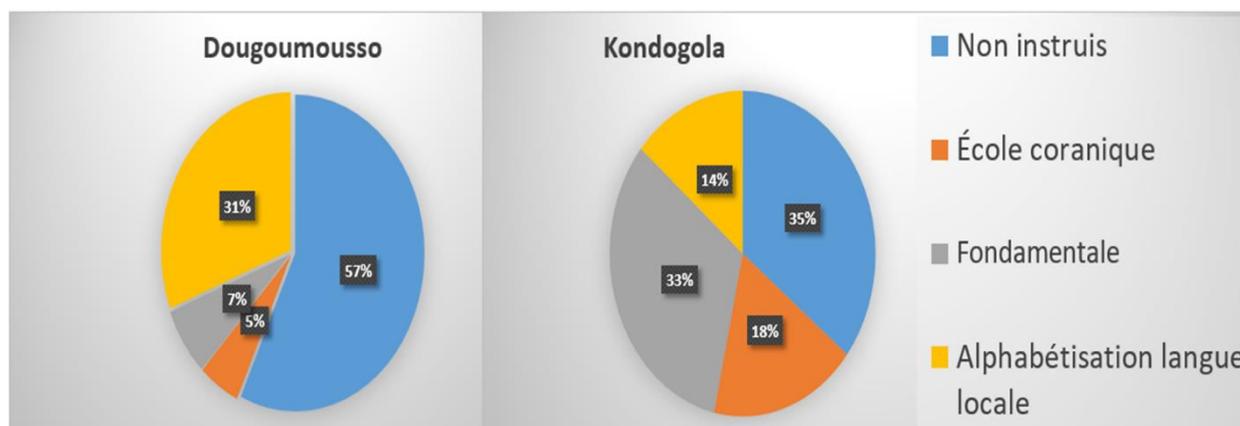


Figure 2 : Niveau d'instruction des Chefs des EAF des 2 villages

Ressources humaines des exploitations

Le nombre moyen de ménages par EAF est de 5 à Dougoumouso et 3 à Kondogola L'effectif moyen des EAF à Dougoumouso est de 29 personnes et 21 personnes à Kondogola. Le nombre moyen de femmes de ménages par EAF est de 7 à Dougoumouso et 5 à Kondogola. Le t-test montre qu'il y'a une différence statistiquement significative au seuil de 5% de niveau de probabilité entre le nombre de ménage, de femmes par ménage et l'effectif des EAF des deux villages. (Tableau 1)

Tableau 1 : Age et ressources humaines des EAF

Variables considérées	Dougoumouso		Kondogola		T-test
	Moyen	Écart-type	Moyen	Écart-type	
Age	56	12	57	12	0,800
Nombre de ménage des EAF	5	3	3	2	0,004***
Hommes de 16 à 59 ans	6	5	5	5	0,111
Femmes de 16 à 59 ans	7	5	5	5	0,006***
Effectif total de l' EAF	29	27	21	15	0,025**

***, ** : Significatif respectivement à 1% et 5% de niveau de probabilité

Principales cultures des EAF

Le maïs est la céréale la plus produite par les EAF de Dougoumouso avec 98% des EAF, alors que seulement 29% des EAF de Kondogola pratiquent cette culture. Le mil est la principale culture à Kondogola. Il est produit par toutes les EAF de Kondogola et par 90% des celles de Dougoumouso. Le sorgho est cultivé par 84% et 89% des exploitations, respectivement à Dougoumouso et à Kondogola. Le coton est exclusivement produit à Dougoumouso (95% des EAF) zone cotonnière sud du Mali. Très peu d'EAF des deux villages produisent le riz pluvial, les autres cultures (généralement les légumineuses) sont plus pratiquées par les EAF de Kondogola (63%) que celles de Dougoumouso (29%). Le test de Khi-deux montre qu'il y'a une différence statistiquement significative au seuil de 1% de niveau de probabilité entre le nombre des EAF productrices de maïs, de mil, de riz et des autres cultures des deux villages. (Tableau 2).

Tableau 2 : Pourcentage des EAF productrices des principales cultures des deux villages

Type cultures	Dougoumouso		Kondogola		Test de khi-deux
	% de Oui	% de Non	% de Oui	% de Non	
Coton	95%	5%	-	-	-
Maïs	98,3%	1,7%	28,8%	71,2%	0.000***
Sorgho	84,5%	15,5%	88,8%	11,2%	0,463
Mil	87,9%	12,1%	100%	0,0%	0,001***
Riz pluvial	24,1%	75,9%	7,5%	92,5%	0,006***
Autres cultures	29,3%	70,7%	62,5%	37,5%	0,000***

*** : Significatif à 1% de niveau de probabilité

Superficies et production des principales cultures

Le

Tableau 3, présente les superficies emblavées, les productions et les rendements des principales cultures dans les deux villages. Les EAF de Dougoumousso (zone cotonnière Sud), emblavent en moyenne une superficie de 28 ha par EAF, toutes cultures confondues. Les superficies moyennes attribuées aux céréales sont de 7 ha, 5 ha et 3 ha respectivement pour le maïs, le sorgho et le mil. Le coton seul occupe jusqu'à 11 ha en moyenne par EAF. À Kondogola, la superficie totale, pour toutes les cultures confondues est en moyenne 9 ha par EAF. Celle emblavée pour le mil est de 4 ha qui est la plus importante culture du village, suivi par le sorgho 2 ha. En comparant les capacités des 2 villages en termes de superficie et de production, on constate que la superficie moyenne destinée à la culture des céréales est de 14 ha à Dougoumousso contre 7 ha à Kondogola.

Le t-test présente une différence statistiquement significative au seuil de 1% de niveau de probabilité entre les superficies des principales cultures et les productions céréalières des deux villages. Par contre, le t-test ne montre aucune différence statistiquement significative au seuil de 5% de probabilité, entre les rendements des cultures céréalières des deux villages qui sont de 1 624 kg/ha, 945 kg/ha et 1 000 kg/ha, respectivement pour le maïs, le sorgho et le mil à Dougoumousso et de 1 522 kg/ha, 1 013 kg/ha et 1 130 kg/ha respectivement pour le maïs, le sorgho et le mil à Kondogola (

Tableau 3).

Tableau 3 : Comparaison des superficies, productions et rendements des principales cultures déclarés par les EAF enquêtées

Variables considérées	Indicateurs de production	Dougoumousso		Kondogola		T-test
		Moyen	Écart-type	Moyen	Écart-type	
Coton	Superficie (ha)	11	7	-	-	-
	Production (kg)	11 933	8 107	-	-	-
	Rendement (kg/ha)	1 085	7	-	-	-
Maïs	Superficie (ha)	7	6	1	0,3	0,00***
	Production (kg)	11 370	10 156	1 522	908	0,00***
	Rendement (kg/ha)	1 624	777	1 522	735	0,10
Sorgho	Superficie (ha)	5	4	2	1	0,00***
	Production (kg)	4 724	4680	2 025	1635	0,00***
	Rendement (kg/ha)	945	458	1 013	408	0,58
Mil	Superficie (ha)	3	2	4	2	0,002***
	Production (kg)	3 000	2340	4 511	3030	0,002**
	Rendement (kg/ha)	1 000	488	1 130	410	0,57
Superficie emblavée en moyenne pour les céréales		14 ha		7 ha		

Production moyenne de céréale/EAF	19 tonnes	8 tonnes
-----------------------------------	-----------	----------

***, ** : Significatif respectivement à 1% et 5% de niveau de probabilité

Les quantités de fertilisants chimiques utilisées par les EAF

À Dougoumouso, quasiment tous les producteurs utilisent les engrais chimiques qui sont principalement le complexe coton, le complexe céréales et l'urée. Ils appliquent en moyenne 145 kg de complexe coton plus 64 kg d'urée à l'hectare sous le cotonnier. Quant au maïs, ils appliquent en moyenne 121 kg de complexe céréales plus 100 kg d'urée à l'hectare. Aussi pour le mil, ils appliquent 100 kg de complexe céréales plus 50 kg d'urée à l'hectare. Par contre, ils n'appliquent pas d'engrais chimique sous le sorgho. Dans le village de Kondogola 25% des EAF ne font pas recours aux engrais chimiques. Les 75% utilisant les engrais appliquent en moyenne sous le mil, 50 kg de complexe céréales plus 38 kg de DAP plus 25 kg d'urée à l'hectare. Ils appliquent en moyenne 100 kg de complexe céréales plus 50 kg d'urée à l'hectare sous le maïs et 100 kg de Complexe céréales plus 25 kg d'urée à l'hectare sous sorgho. En somme, les EAF de Kondogola appliquent en moyenne 625 kg d'engrais chimiques pour l'ensemble des parcelles fertilisées soit un ratio de 70 kg/ha, ce qui est nettement inférieur au ratio 140 kg/ha des EAF de Dougoumouso, qui appliquent en moyenne 3 900 kg d'engrais sur l'ensemble des parcelles fertilisées (Tableau 4). La fumure organique occupe une place importante dans la fertilisation des cultures dans les 2 villages. En effet, ils appliquent tous cette dernière dans leurs parcelles de production avec 21 tonnes en moyenne à Dougoumouso (soit 0,75 t/ha) et 11 tonnes en moyenne à Kondogola (soit 1,22 t/ha) (Tableau 4).

Tableau 4 : % d'utilisateurs et quantité d'engrais utilisés par ha sous les principales cultures

Culture	Engrais	Dougoumouso		Kondogola	
		%utilisateurs	Quantité (kg/ha)	%utilisateurs	Quantité (kg/ha)
Coton	Complexe coton	95%	145	-	-
	Urée	100%	64	-	-
Mais	Complexe céréale	98%	121	74%	100
	Urée	100%	100	74%	50
Sorgho	Complexe céréale	-	-	74%	100
	Urée	-	-	74%	25
Mil	Complexe céréale	98%	100	74%	50
	DAP	0%	-	21%	38
	Urée	100%	50	74%	25
Fumure Organiques		100%	775	100%	1222

Équipements agricoles des EAF

Le Tableau 5, illustre les équipements agricoles que possèdent les EAF enquêtées. Le village de Dougoumouso présente plus d'équipements que celui de Kondogola. Les EAF de Dougoumouso comptent en moyenne 2 charrues contre 2 à Kondogola ; 1 charrettes contre 2

à Kondogola ; 2 semoirs contre 1 à Kondogola ; 2 multiculteurs contre 1 à Kondogola. Le t-test indique une différence statistiquement significative entre les nombres moyens de charrettes, de semoirs et de multiculteurs que possèdent les EAF des deux villages. En plus, la moyenne de tracteur par EAF est de 1 à Dougoumouso avec 42% des EAF qui disposent d'un tracteur contre 0 à Kondogola (Tableau 5).

Tableau 5 : Nombre moyen des matériels de production des EAF des 2 villages

Variables	Dougoumouso		Kondogola		Test-t
	Moyenne	Écart type	Moyenne	Écart type	
Charrue	2	1	2	1	0,085
Charrette	1	0,6	2	0,9	0,001***
Semoir	2	0,8	1	0,4	0,000***
Multiculteur	2	1	1	0	0,029**
Tracteur	1	0	-	-	

***, ** : Significatif respectivement à 1% et 5% de niveau de probabilité

Le cheptel des EAF des deux villages

Toutes les EAF des deux villages possèdent des animaux d'élevage composés de bovin, de petits ruminants (ovins et caprins) et d'âne. Les EAF de Dougoumouso et Kondogola possèdent en moyenne plus de gros ruminants (bovins) respectivement 34 et 17 que de petits ruminants (ovins et caprins) respectivement 11 et 15. Le T-test présente une différence statistiquement significative au seuil de 1% de niveau de probabilité entre les nombres moyens de bœufs de labour et de gros ruminants des 2 villages, les plus grands nombres observés à Dougoumouso. (Tableau 6).

Tableau 6 : Nombre moyen d'animaux d'élevage des EAF des 2 villages

Variables	Dougoumouso		Kondogola		Test-t
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	
Bœuf de labour	6	7	4	2	0,009***
Total gros ruminants	34	21	17	8	0,000***
Petits ruminants	11	12	15	13	0,097
Ânes	3	2	2	2	0,793

***: Significatif à 1% de niveau de probabilité

Souveraineté alimentaire des EAF

De façon générale, les productions céréalières des 2 villages, satisfont les besoins annuels de consommation en céréales des EAF. Selon les EAF enquêtées, 97 % à Dougoumouso et 70 % Kondogola, vendent une partie des céréales produites après avoir stocké la quantité destinée

aux besoins annuels de consommation. Seulement 2% des EAF Dougoumouso et 11% de celles de Kondogola achètent des céréales pendant la période de soudure (Tableau 7).

Tableau 7 : Souveraineté alimentaire des EAF

Variables	Modalités	Dougoumouso	Kondogola	test khi-deux
Utilisation prioritaire la production céréalière	Auto consommation	3%	30%	0,000***
	Commercialisation	0%	0%	
	Les deux	97%	70%	
Souveraineté alimentaire des EAF	Oui	98%	89%	0,033**
	Non	2%	11%	
Achat de céréale en période de soudure	Oui	9%	14%	0,353
	Non	91%	86%	

***, ** : Significatif respectivement à 1% et 5% de niveau de probabilité

2. Evolution du climat observé et perception des EAF sur le CC et ses impacts

Evolution du cumul des précipitations annuelles de Sikasso et Ségou

Le cumul pluviométrique des deux zones d'étude de 1961 à 2020, tel qu'illustré par l'évolution des indices standardisés, est marqué par une variabilité interannuelle. Toutefois, on observe des périodes sèches (déficitaires) entre 1980 et 1990 dans les deux zones qui n'excèdent pas 10 ans et un retour progressif de l'humidité (années excédentaires) dans la zone soudanienne de Sikasso à partir de 2011 (Figure 3). Le Test de Mann Kendall et de Pettitt ($P < 0,05$) ne présentent respectivement aucune tendance monotone et aucune rupture statistiquement significative dans les deux séries chronologiques des précipitations de 1961 à 2020. La moyenne pluviométrie annuelle des 60 dernières années est de 1166,4 mm à Sikasso et 646.6 mm à Ségou.

Indice standardisé du cumul des précipitations annuelles de 1961 à 2020 des zones d'étude

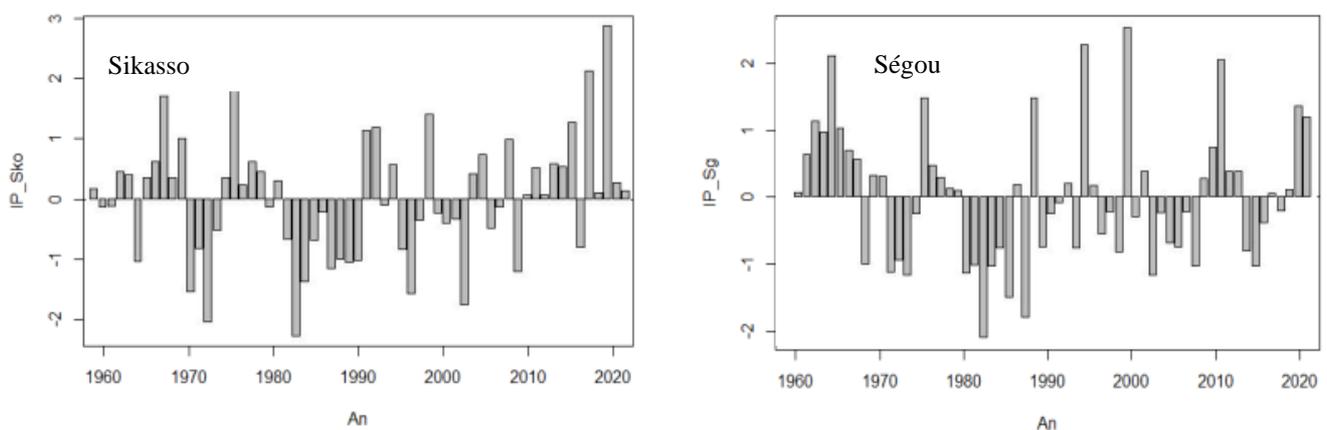


Figure 3 : Évolution des Indices standardisés du cumul des précipitations annuelles de Sikasso (à gauche) et Ségou (à droite) de 1961 à 2020.

Comparaison des caractéristiques de la saison des pluies du passées à celle actuelle

L'observation des caractéristiques de la saison des pluies du passé et du présent à partir des données pluviométriques journalières montre une égalité approximative entre les cumuls, le nombre de jours de pluies, l'intensité des pluies journalières, les fins de saison de pluies et la durée des poches de sécheresse dans les deux zones de l'étude. Une différence notable est observée seulement au niveau du démarrage des pluies, où la condition date de démarrage des pluies régulières sans poche de sécheresse excèdent 14 jours, montre que le début de la saison des pluies est passé du 122^{ème} jour au 132^{ème} jour Julien à Sikasso et du 147^{ème} jour au 155^{ème} jour Julien à Ségou, soit un retard d'environ 10 jours dans les deux localités (Tableau 8).

Tableau 8: Comparaison des caractéristiques des saisons de pluies du passé à celle actuelle

Caractéristiques de la saison des pluies	Dougoumouso				Kondogola			
	Passé (61 à 90)		Présent (91 à 20)		Passé (61 à 90)		Présent (91 à 20)	
	Moyen	Écart-T	Moyen	Écart-T	Moyen	Écart-T	Moyen	Écart-T
Cumul des pluies annuelles (mm)	1128	182	1153	178	636	128	664	127
Nombre de jour de pluies (jours)	75	9	75	10	48	9	45	6
Pluviosité d'un jour pluvieux (mm/jour)	15	2	16	2	13	2	16	2
Début de la saison de pluies (jour julien)	122	17	132	19	147	24	155	18
Fin de la saison des pluies (jour julien)	300	12	304	9	276	16	279	10
Durée de la saison des pluies (jours)	178		172		129		124	
Durée moyenne de poche de sécheresse (jours)	11	4	12	3	12	4	14	3

Comparaison des cumuls mensuels des précipitations du passé à ceux du présent

L'observation de la répartition moyenne des pluies mensuelles du passé, comparée à celle actuelle ne présente pas de différence nette dans le cycle de la saison des pluies sur les 2 périodes. Toutefois, une petite différence est observée à Sikasso entre août et octobre et à Ségou entre juin et août où les cumuls mensuels actuels sont légèrement supérieurs à ceux du passé (Figure 4).

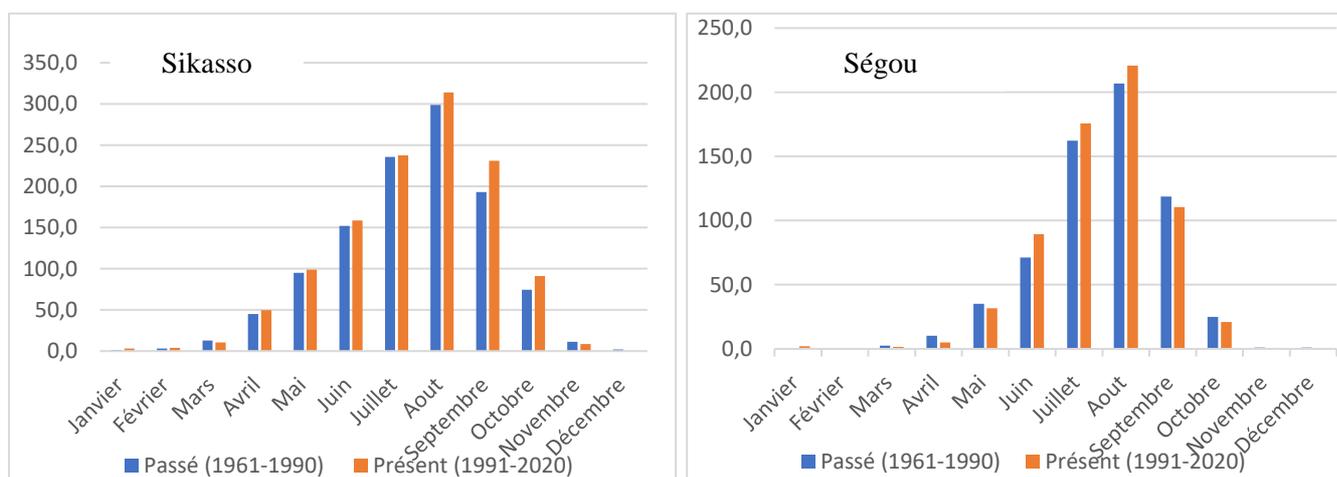


Figure 4 : comparaison des cumuls mensuels moyens des précipitations du passé (1961-1990) et du présent (1991-2020) à Sikasso (à gauche) et à Ségou (à droite)

Évolution des températures (max et min) de 1961 à 2020 de Sikasso et Ségou

De manière générale, on observe une évolution croissante très marquée des températures minimales dans les deux zones de l'étude et des températures maximales de Ségou entre 1961 et 2020 (Figure 5). Par contre les températures maximales de Sikasso ne présentent pas de tendance marquée sur la même période (Figure 6). Le t-test ne montre pas d'homogénéité entre les moyennes des séries de températures maximales et minimales de Ségou de 1961 à 2020, et entre celles de Sikasso. Le test de Fisher a montré une homogénéité statistiquement significative entre les variances des séries de températures maximales et minimales de Ségou, mais ne présente pas d'homogénéité entre celles de Sikasso. La moyenne des températures des soixante dernières années de Sikasso est de 27,39°C et celle de Ségou est de 28,92°C.

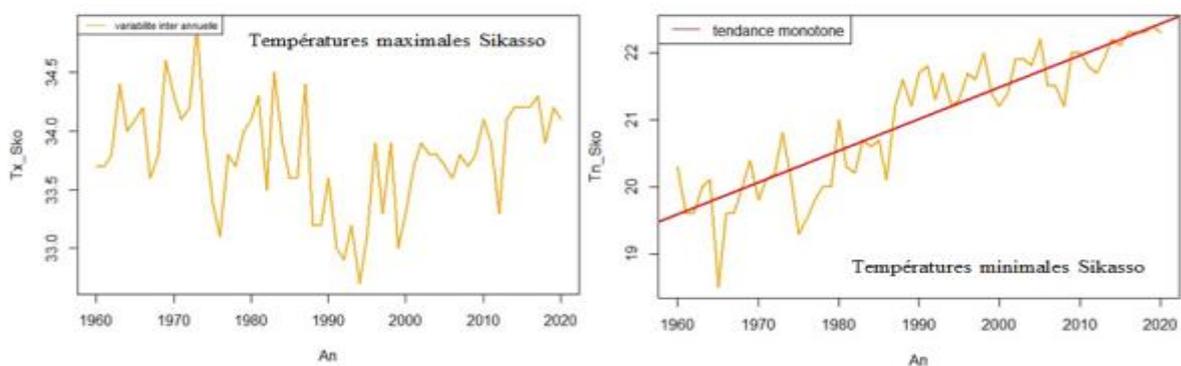


Figure 5: Évolutions des températures de Sikasso entre 1961 et 2020

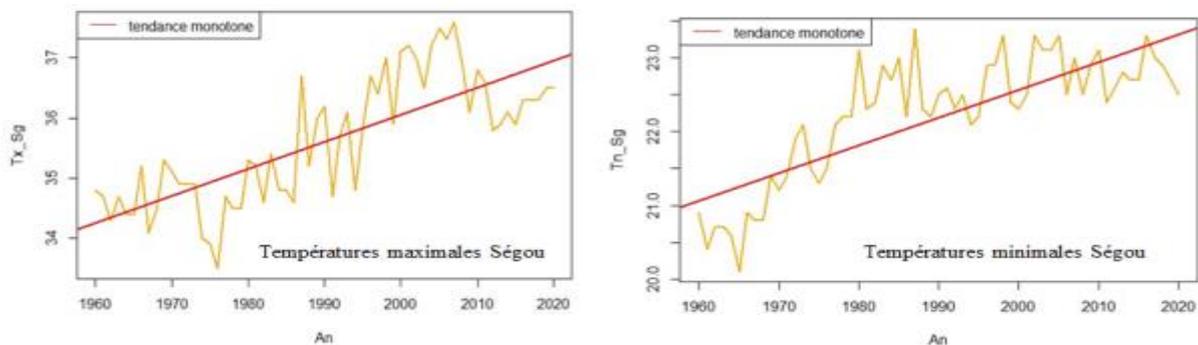


Figure 6 : Évolutions des températures de Ségou entre 1961 et 2020

Comparaison des moyennes mensuelles des températures du passé avec celles du présent

Le t-test indique des différences statistiquement significatives ($P < 0,001$) entre les moyennes mensuelles des températures maximales et minimales du passé, comparées à celles actuelles qui sont supérieures à Sikasso et à Ségou. Dans les 2 zones, on observe aussi une différence significative entre les variances des températures minimales du passé et celles actuelles, par contre on constate une homogénéité entre les variances des maximales (Figure 7). L'indice de l'augmentation moyenne de la température actuelle par rapport au passé est de **+0,7°C** à Sikasso

(augmentation due surtout à la température minimale $+1,6^{\circ}\text{C}$) et de $+1,3^{\circ}\text{C}$ à Ségou (augmentation plus marquée sur les maximales).

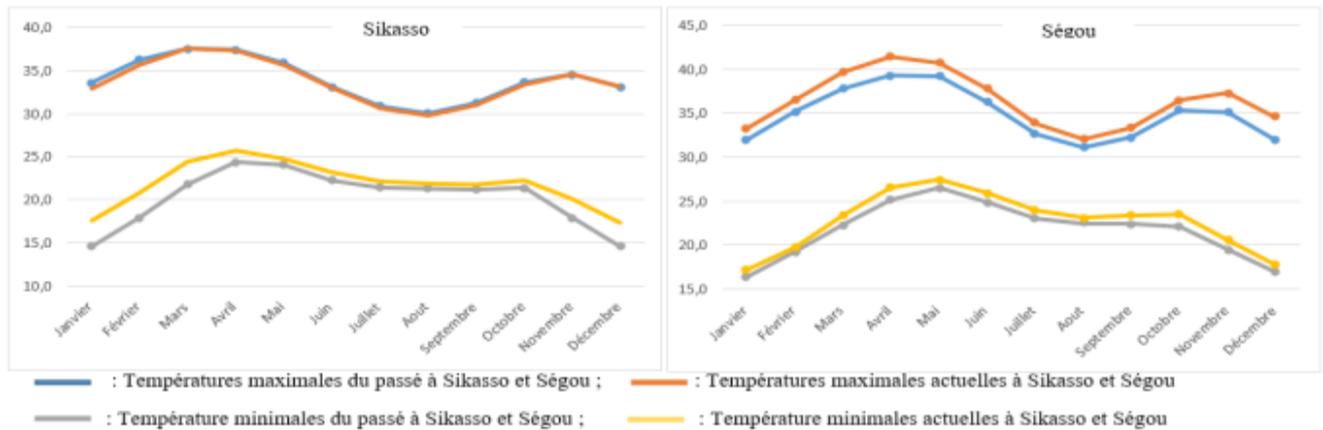


Figure 7 : Moyennes mensuelles des températures maximales et minimales du passé et du présent des 2 zones d'études

Perception des producteurs sur les caractéristiques de la saison des pluies

Les 95% des chefs de EAF de Dougoumousso pensent que les cumuls annuels des pluies ont diminué contrairement à ceux de Kondogola qui sont partagés entre l'augmentation et la baisse dans leur zone. Les EAF des 2 villages pensent que le nombre de jours de pluies actuel a diminué par rapport au passé (

Tableau 9). Les EAF de Kondogola pensent à plus de 50% que l'intensité des pluies a augmenté dans leur localité. Ce constat est contraire à Dougoumousso avec plus de 80% qui pensent, qu'elle est en diminution. Selon plus de 70% des chefs d'EAF de Dougoumousso, l'hivernage démarrait en début mai dans le passé et qu'elle démarre en début juin actuellement dans leur village (69%). À Kondogola, les chefs des EAF pensent que dans le passé l'hivernage démarrait entre mi-mai (28%), fin mai (28%) et début juin (20%) et qu'actuellement elle démarre entre mi-juin (35%), fin juin (32%) et début juillet (23%). Quant à la fin de la saison des pluies, à Kondogola ils pensent qu'elle arrivait entre fin septembre (30%), début octobre (33%) et mi-octobre (20%) dans le passé et qu'actuellement elle intervient entre début septembre (30%) et fin septembre (40%). À Dougoumousso environ 50 % pensent que dans le passé, les pluies de fin de saison continuaient jusqu'en novembre et qu'actuellement la saison des pluies s'achève en fin octobre.

Tableau 9 : Perception des producteurs sur quelques caractéristiques du régime des précipitations des zones d'étude

Variables	Modalités	Dougoumouso	Kondogola	Test khi-deux
Cumul annuel des pluies actuelles par rapport au passé	Diminué	95%	46%	0***
	Augmenté	0%	43%	
	Variabilité	5%	11%	
Durée des poches de sécheresse actuelle par rapport au passé	Diminué	0%	38%	0***
	Augmenté	95%	43%	
	Variabilité	5%	19%	
	Stationnaire	0%	1%	
Nombre de jours de pluies actuelles par rapport au passé	Diminué	86%	76%	0,244
	Augmenté	7%	16%	
	Variabilité	7%	8%	

***, ** : Significatif respectivement à 1% et 5% de niveau de probabilité

L'évolution des températures et des extrêmes climatiques

Les températures maximales et minimales ont augmenté selon plus de 90% des chefs des EAF des deux zones (Tableau 10). Les producteurs de Dougoumouso dans leur grande majorité (plus de 80%) pensent que les extrêmes climatiques, notamment les vagues de chaleur, les sécheresses, et les vents violents ont tous augmenté ces 30 dernières années par rapport au passé (avant 1990), sauf les inondations qui ont diminué dans leur localité. Ce point de vue diffère de ceux de Kondogola, qui sont unanimes que les vagues de chaleurs et les inondations ont augmenté, mais sont partagés sur l'augmentation (50% à 60%) et la diminution (30%) des sécheresses et des vents violents dans leur zone (Tableau 10).

Tableau 10 : Perception des chefs des EAF sur l'évolution des températures et des extrêmes climatiques

Variables	Modalités	Dougoumouso	Kondogola	Test khi-deux
		% de oui	% de oui	
Les températures maximales actuelle comparée celles du passé	diminué	2%	3%	0,31
	augmenté	98%	94%	
	variabilité	0%	4%	
Les températures minimales actuelles comparées celles du passé	ont diminué	3%	5%	0,689
	ont augmenté	95%	90%	
	variabilité	2%	4%	
La fréquence des inondations actuelles comparée au passé (avant 1990)	ont diminué	86,2%	12,5%	0,000***
	ont augmenté	10,3%	82,5%	
	variabilité	0,0%	5,0%	
	stationnaire	3,4%	0,0%	
La fréquence des années de sécheresse comparée au passé (avant 1990)	ont diminué	1,7%	31,3%	0,000***
	ont augmenté	91,4%	56,3%	
	variabilité	5,2%	12,5%	
	stationnaire	1,7%	0,0%	

	ont diminué	5,2%	3,8%	
Les vagues de chaleur actuelles comparées au passé	ont augmenté	89,7%	92,5%	0,331
	variabilité	1,7%	3,8%	
	stationnaire	3,4%	0,0%	

*** : Significatif à 1% de niveau de probabilité

3. Impact du changement climatique selon les chefs d'EAF

Sur la végétation

Les chefs de EAF des 2 villages sont presque tous (93 à 98 %) unanimes sur le fait que la végétation dans son ensemble (arbres, herbacées et diversité végétale) est en diminution dans la zone soudano-sahélienne. Aussi, ils sont tous d'avis que le changement climatique a contribué à ce changement du paysage végétatif (Tableau 11).

Tableau 11 : Perception des chefs des EAF sur l'évolution du paysage végétatif de 2 zones

Variables	Modalités	Dougoumouso % de oui	Kondogola % de oui	Test khi-deux
Évolution des arbres du village	En diminution	93,1%	97,5%	0,386
	Stationnaire	1,7%	1,3%	
	En augmentation	5,2%	1,3%	
Évolution des herbacées du village	En diminution	98,3%	97,5%	0,677
	Stationnaire	0,0%	1,3%	
	En augmentation	1,7%	1,3%	
Évolution de la diversité des espèces végétales du village	En diminution	96,6%	98,8%	0,485
	Stationnaire	1,7%	0,0%	
	En augmentation	1,7%	1,3%	

Sur les cultures

Selon les chefs des EAF de Dougoumouso, dans le passé la principale culture était le sorgho, par contre à Kondogola la principale culture était le mil suivi de près par le sorgho.

Actuellement, la principale culture à Dougoumouso selon les producteurs est le coton largement devant le maïs. Par contre à Kondogola, le mil est resté toujours la principale culture avec plus d'écart par rapport au sorgho (

Figure 8: Principales cultures des EAF dans le passé et présentement

).

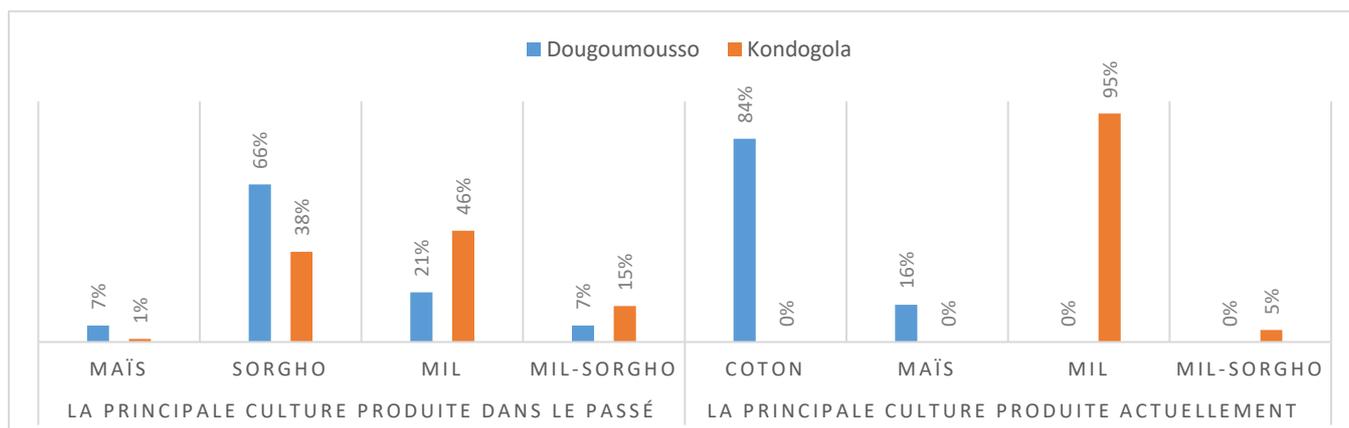


Figure 8: Principales cultures des EAF dans le passé et présentement

Le cycle des cultures s'est raccourci avec l'utilisation des variétés précoces dans les deux villages. Les chefs EAF de Dougoumouso pensent en majorité que le rendement des variétés locales a diminué par rapport au passé, seulement 34% sont de cet avis à Kondogola, les autres pensent plutôt que le rendement a augmenté (47%) ou est stable (19%). Concernant l'évolution des ravageurs et maladies des cultures, les avis sont partagés dans les deux zones. Toutefois, la majorité à Kondogola pense que les ravageurs et maladies ont diminué, tandis que la majorité à Dougoumouso constate plutôt l'apparition de nouveaux ravageurs et maladies (Tableau 12).

Tableau 12 : Perception des EAF sur l'impact du changement climatique sur les cultures

Variables	Modalités	Dougoumouso	Kondogola	Test khi-deux
Cycle des cultures	Plus tardive	1,7%	20,0%	0,003***
	Plus précoce	98,3%	78,8%	
	Stationnaire	0,0%	1,3%	
Évolution du rendement de la principale culture avec la même variété locale	Diminué	81,0%	33,8%	0,000***
	Augmenté	15,5%	47,5%	
	Stable	3,4%	18,8%	
Évolution des ravageurs des culture	Ont augmenté	29,3%	33,8%	0,000***
	Ont diminué	15,5%	62,5%	
	Nouveaux ravageurs	55,2%	3,8%	
Évolution des maladies des culture	Ont augmenté	29,3%	30,0%	0,000***
	Ont diminué	19,0%	65,0%	
	Nouvelles maladies	51,7%	5,0%	

*** : Significatif à 1% de niveau de probabilité

Sur le sol et les ressources en eau

Les producteurs de Kondogola et de Dougoumouso pensent en majorité que la fertilité des sols a diminué et que l'érosion a augmenté (Tableau 13). Quant aux ressources en eau, les avis divergent, ceux de Dougoumouso (90 à 93%) pensent que ces ressources en eau de surface et souterraines ont diminué tandis qu'à Kondogola la majorité pense que les ressources en eau souterraine ont augmenté (89%) et celles de surface ont diminué pour certains (41%), pour d'autres (36%) ont augmenté.

Tableau 13 : perception des producteurs des 2 villages sur l'évolution de l'état des sols et des ressources en eau

Variables	Modalités	Dougoumouso	Kondogola	Test khi-deux
L'évolution de la fertilité du sol	Diminué	94,8%	90,0%	0,496
	Stationnaire	0,0%	1,3%	
	Augmenté	5,2%	8,8%	
L'évolution de l'érosion du sol	Diminué	1,7%	31,3%	0,000***
	Stationnaire	6,9%	13,8%	
	Augmenté	91,4%	55,0%	
L'évolution des ressources en eau souterraine	Diminué	89,7%	1,3%	0,000***
	Stationnaire	8,6%	10,0%	
	Augmenté	1,7%	88,8%	
L'évolution des ressources en eau de surface	Diminué	93,1%	41,3%	0,000***
	Stationnaire	6,9%	22,5%	
	Augmenté	0,0%	36,3%	

*** : Significatif à 1% de niveau de probabilité

4. Options d'Adaptation et Bonnes Pratiques Agroécologiques

Options d'adaptation

En cas de mauvaise campagne agricole, les options d'adaptation à Dougoumouso sont d'abord l'élevage (59%) ensuite la migration saisonnière (16%), et dans une moindre mesure les cultures de tubercules en contre saison, l'artisanat et le commerce. À Kondogola, c'est d'abord la migration saisonnière (44%) qui est priorisée, ensuite l'élevage (41%), puis le petit commerce et l'artisanat (

Figure 9).

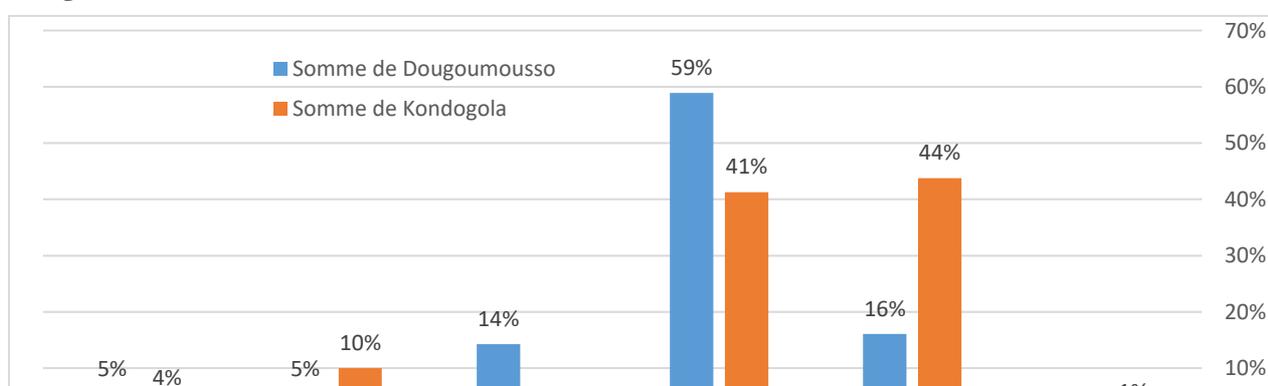


Figure 9 : Options d'adaptation des EAF après une mauvaise campagne agricole

Pratiques agroécologiques d'amélioration de la productivité des cultures

La majorité des EAF des deux villages utilise les variétés précoces et les variétés améliorées en vue d'améliorer la productivité des cultures. Les variétés locales sont plus utilisées par les EAF de Dougoumoussou (88%) que ceux de Kondogola (57%) (Tableau 14).

Tableau 14: les pratiques agroécologiques d'amélioration de la productivité des cultures

Variables	Dougoumoussou		Kondogola		Test khi-deux
	Oui	Non	Oui	Non	
Utilisation des variétés locales	87,9%	12,1%	57,5%	42,5%	0,000***
Utilisation des variétés précoces	95,0%	5,0%	96,4%	3,6%	0,309

***: Significatif à 1% de niveau de probabilité

Pratiques agroécologiques de protection phytosanitaire des cultures

Les principaux ennemis visés par la protection phytosanitaire dans les deux localités sont les insectes (très répandus en zone cotonnière), chenilles, les oiseaux, les rats et les maladies fongiques. Pratiquement tous les EAF de Kondogola et de Dougoumoussou font la rotation de culture (contre les insectes, chenille et les maladies fongiques). Aussi la majorité des EAF de ces deux villages font la lutte mécanique (contre les oiseaux). Par contre, seulement une minorité font la lutte biologique et la lutte intégrée (contre les insectes phytophages du cotonnier). La lutte physique (surtout contre les chenilles), est faite par 50% des EAF de Dougoumoussou et 39% par celles de Kondogola (Tableau 15).

Tableau 15 : Pratiques agroécologiques de protection phytosanitaire des cultures

Variables	Dougoumoussou		Kondogola		Test khi-deux
	Oui	Non	Oui	Non	
Lutte biologique	3,4%	96,6%	23,8%	76,3%	0,001***
Lutte mécanique (son, bonhomme, sachet, etc.)	89,7%	10,3%	66,3%	33,8%	0,001***
Lutte physique (ramassage manuel)	50,0%	50,0%	38,8%	61,3%	0,188

Lutte intégrée	12,1%	87,9%	22,5%	77,5%	0,116
Rotation culturale	100%	0,0%	90%	10%	0,013**

***, ** : Significatif respectivement à 1% et 5% de niveau de probabilité

Pratiques agroécologiques d'amélioration de la fertilité des sols

La fumure organique est utilisée par toutes les EAF des deux villages pour la fertilisation des parcelles de culture. Aussi, ils utilisent toutes l'engrais chimique additionné à la fumure organique sauf 3% des EAF de Kondogola qui se limitent à la fumure organique. Seulement 23% des EAF de Kondogola parmi toutes les EAF des deux villages, enfouissent la paille verte comme fertilisant (Tableau 16).

Tableau 16 : pratiques agroécologiques de fertilisation du sol

Variables	Dougoumouso		Kondogola		Test khi-deux
	Oui	Non	Oui	Non	
Utilisation de la fumure organique	100%	0%	100%	0%	1
Utilisation de la fumure organique + les engrais	100%	0%	97,5%	2,5%	0,225
Enfouissement de paille verte comme engrais vert	0%	100%	22,5%	77,5%	0,000***

***: Significatif à 1% de niveau de probabilité

Pratiques agroécologiques de conservation des sols

La majorité (70%) des EAF de Kondogola et de Dougoumouso, font le travail minimum du sol (labour et buttage léger à la charrue). Le semis sur couvert végétal et les résidus de récolte laissés au champ sont réalisés par respectivement 9% et 52% des EAF Dougoumouso, tandis qu'à Kondogola environ 25% des EAF font ces deux pratiques. La confection de digues et les aménagements en courbe de niveau pour limiter le ruissèlement d'eau dans les parcelles sont beaucoup pratiqués à Dougoumouso avec 86 à 91% EAF ; alors que seulement quelques EAF de Kondogola (2 à 10 %) font ces pratiques de conservation de sols (Tableau 17).

Tableau 17 : Pratiques agroécologiques de conservation des sols

Variables	Dougoumouso		Kondogola		Test khi-deux
	Oui	Non	Oui	Non	
Travail minimum du sol	70,7%	29,3%	70,0%	30,0%	0,93
Semis sur couvert végétal	8,6%	91,4%	27,5%	72,5%	0,006
Résidus de récolte au champs	51,7%	48,3%	25,0%	75,0%	0,001***
Confection de digues	91,4%	8,6%	10,0%	90,0%	0,000***
Aménagements courbe de niveau	86,2%	13,8%	2,5%	97,5%	0,000***

*** : Significatif à 1% de niveau de probabilité

Pratiques agroécologiques de restauration des sols

Les pratiques agroécologiques de restauration des sols sont utilisées par la majorité des EAF à Dougoumouso, mais très peu appliquées à Kondogola. En effet, on constate que les cordons pierreux, les demi-lunes, le zaï et les banquettes antiérosives sont réalisés par respectivement 95%, 75%, 50% et 79% des EAF de Dougoumouso contre 4%, 0%, 0% et 1% des EAF de Kondogola. Toutefois à Kondogola, la jachère est réalisée par environ la moitié des EAF contre seulement 9% des EAF de Dougoumouso (Tableau 18).

Tableau 18 : Pratiques agroécologiques de restauration des sols dégradés

Variables	Dougoumouso		Kondogola		Test khi-deux
	Oui	Non	Oui	Non	
Cordons pierreux	94,8%	5,2%	3,8%	96,3%	0,000***
Demi-lunes	75,9%	24,1%	0,0%	100,0%	0,000***
Zaï	50,0%	50,0%	0,0%	100,0%	0,000***
Banquettes antiérosives	79,3%	20,7%	1,3%	98,8%	0,000***
Jachère enrichie	8,6%	48,8%	91,4%	51,3%	0,000***

*** : Significatif à 1% de niveau de probabilité

Pratiques agroécologiques d'amélioration des revenus

Les EAF de Dougoumouso et Kondogola mettent en œuvre plusieurs pratiques agroécologiques dans le but de rehausser le niveau des revenus de leurs exploitations. La production des semences céréalières par la sélection des meilleurs épis ou panicules au champ et la diversification culturale sont réalisées par la plupart des EAF de Dougoumouso (98 et 91%) et de Kondogola (72 et 91%). À Dougoumouso 25% des exploitations font la contre-saison, contre 1% à Kondogola. L'association d'autres cultures (avec les légumineuses) aux cultures céréalières sur la même parcelle est réalisé par 75% des EAF de Kondogola contre seulement 17% à Dougoumouso. Les cultures fourragères destinées aux animaux d'élevage sont réalisées par environ 50% des exploitations de Dougoumouso contre 25% des celles de Kondogola. L'agroforesterie, caractérisée dans les deux zones par la plantation d'arbres entre les parcelles et l'embocagement, est réalisée par 40% des EAF de Dougoumouso contre 21% à Kondogola. Environ 25% des EAF des deux villages, n'utilisent aucun intrant chimique, dans certaines de leurs parcelles de cultures (Tableau 19).

Tableau 19 : Pratiques agroécologiques d'amélioration des revenus des EAF

Variables	Dougoumouso		Kondogola		Test khi-deux
	Oui	Non	Oui	Non	
Production individuelle de semences	98,3%	1,7%	72,5%	27,5%	0,000***

Diversification culturelle	91,4%	8,6%	91,4%	8,6%	0,001***
Culture de contre saison	24,1%	75,9%	1,3%	98,8%	0,000***
Association culturelle	17,2%	82,8%	73,8%	26,3%	0,000***
Culture des espèces fourragères	46,6%	53,4%	23,8%	76,3%	0,005***
Agroforesterie	39,7%	60,3%	21,3%	78,8%	0,019**
Agriculture biologique	27,6%	72,4%	25,0%	75,0%	0,733

***, ** : Significatif respectivement à 1% et 5% de niveau de probabilité

Les contraintes liées aux pratiques agroécologiques

Les principales contraintes des pratiques agroécologiques indiquées par les EAF des deux villages sont le coût élevé des semences et de certaines pratiques, la nécessité d'employer une main d'œuvre abondante pour certaines pratiques, surtout celles de restauration et de maintien de la fertilité des sols, le travail assez pénible de certaines pratiques, le manque de moyen de transport adéquat pour assurer certaines pratiques et l'efficacité assez faible de certaines pratiques.

DISCUSSION

Au regard des résultats sur les caractéristiques des exploitations agricoles familiales de Dougoumousso, situé dans la zone soudanienne en zone cotonnière au sud, et de Kondogola, localisé dans la zone soudano-sahélienne au centre du Mali. On note que la majorité des populations des 2 villages n'est pas instruite. Les moyennes des effectifs (21 - 29 personnes), des superficies emblavées (9 - 28 ha), des équipements agricoles (attelage complet plus semoir) et des productions céréalières (8 – 19 tonnes) des exploitations des deux villages enquêtés sont supérieurs aux moyennes nationales par exploitation. Toutefois, les exploitations de Dougoumousso présentent des capacités de production plus importantes grâce aux avantages liés à la production du coton. Ces résultats sont conformes à ceux de RGA (2004) et de N'Diaye (2008). La différence observée entre les deux villages est soutenue par plusieurs auteurs (Sidibé *et al.*, 2007 ; Soumaré *et al.*, 2020) qui soulignent que la production du coton offre des avantages (intrants, équipements, appuis techniques etc.) à travers des crédits agricoles et des encadrements de la CMDT, donc permet aux producteurs d'accroître leurs capacités de production. Dans ce sens, on pourrait considérer que la production du coton est un atout permettant le renforcement des capacités des exploitations familiales dans un contexte de changement climatique. Cependant, il est à noter que la dépendance des exploitations à la production du coton peut à long terme accroître leur vulnérabilité face au changement climatique. En effet, l'intensification (engrais chimique, pesticides, tracteur) occasionnée par la culture du cotonnier a des effets néfastes sur les producteurs et leur environnement

(dégradation des sols, intoxications, pollution des eaux etc.) ce qui pourraient être exacerbés par les risques climatiques déjà observés (Hauchart, 2008 ; Westerberg et al., 2017).

Le changement climatique est une réalité qui impacte tous les secteurs économiques du Mali en particulier le secteur agricole (Diarra, 2020). Nos résultats sur l'analyse des données climatiques révèlent que le changement climatique se manifeste dans les deux zones étudiées par une variabilité interannuelle persistante des précipitations avec des périodes déficitaires (sécheresses) ou excédentaires (humides) n'excédant pas 10 ans depuis 1961. Aussi, on constate un décalage plus tardif du début de la saison des pluies d'environ 10 jours en moyenne dans les deux zones sur la période actuelle (1991-2020) par rapport au passé (1961-1990). Par contre les résultats des températures moyennes annuelles des deux zones montrent une tendance à l'augmentation et une rupture statistiquement significative (au seuil de 0,001 de probabilité). On observe une augmentation des températures plus significative à Kondogola avec $+1,3^{\circ}\text{C}$ qu'à Dougoumouso $+0,7^{\circ}\text{C}$ sur la période actuelle (1991-2020) comparée au passé (1961-1990). Ces mêmes manifestations sont aussi observées dans d'autres zones du Mali (CN, 2017 ; N'Diaye et al., 2020), dans le Sahel (Sarr et al., 2007 ; CILSS/CRA, 2010) et dans le monde (GIEC, 2007, 2014). Les producteurs des villages enquêtés de manière générale perçoivent bien ces manifestations du changement climatique et ses impacts dans leurs localités. Ils constatent une diminution des précipitations, un raccourcissement de la saison des pluies, une augmentation des températures et des phénomènes extrêmes (sécheresses, vagues de chaleurs, inondations et les vents violent). Aussi, les producteurs de Dougoumouso et Kondogola perçoivent l'impact du changement climatique à travers la diminution accrue de la végétation (arbres, herbacées et leur diversité), le changement de cultures, la baisse du rendement des cultures, l'apparition de nouveaux ravageurs et maladies des cultures, la baisse de la fertilité des sols, la dégradation accrue des sols à travers l'érosion hydrique et la diminution des ressources en eau (les ressources en eau souterraine augmentent à Kondogola grâce à la réalisation du Barrage de Talo en 2004 à environ 100 km). Ces mêmes impacts sont observés partout en Afrique de l'Ouest (Fayama et al., 2020 ; CILSS/CRA, 2010). Face à ces nouvelles menaces causées par le changement climatique, les producteurs des deux zones ont développé à des degrés variables des pratiques agroécologies résilientes. Nos résultats révèlent une diversité des pratiques employées par les exploitations. Il s'agit des pratiques agroécologiques d'amélioration de la productivité des cultures (utilisation des variétés locales, précoces et améliorées), des pratiques écologiques de protection phytosanitaire des cultures (sans emploi des pesticides), la fertilisation biologique des sols (fumure organique), les pratiques de conservation et de restauration des sols et de gestion efficace de l'eau (travail minimal du sol,

paillage, zaï, demi-lunes, cordons pierreux et ouvrages antiérosifs). Aussi, on observe d'autres pratiques d'amélioration du revenu des exploitations telles que la diversification et l'association des cultures, la production fourragère, l'agroforesterie et l'agriculture biologique. Toutes ces pratiques sont déjà observées en Afrique de l'Ouest et dans d'autres régions du monde par des études réalisées par Dugué, (2012) ; Gnissien, (2018) ; Levard et Mathieu, (2018) et Sanou et *al.*, (2018). Les résultats de ces mêmes auteurs confirment que ces pratiques agroécologiques contribuent efficacement au renforcement de la résilience des EAF au changement climatique. Ainsi, l'agroécologie, étant adaptée aux exploitations les plus pauvres et se présentant comme une alternative économiquement viable à l'utilisation des intrants chimiques, est une solution viable de renforcement de la résilience des exploitations des deux villages étudiés face au changement climatique.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET RECOMMANDATIONS

L'Agriculture moteur de l'économie du Mali est fortement impactée par le changement climatique du fait de sa dépendance aux aléas climatiques. Les exploitations agricoles familiales, cheville ouvrière de cette production agricole, présentent des contrastes et des inégalités en termes de capacités, de moyens de production, d'accès aux crédits agricoles et d'encadrement techniques en fonction des régions et des cultures. Les plus vulnérables sont les petites et moyennes exploitations caractérisées par de faibles revenus provenant des céréales sèches. Les exploitations des zones cotonnières ayant de grandes capacités à cause de la production du coton, pourraient aussi voir leur vulnérabilité s'accroître du fait de leur dépendance à la culture du coton et du maïs, dont les effets néfastes (intoxication, dégradation des ressources naturelles, pollution, etc.) seront probablement exacerbés par le changement climatique. Dans les zones de l'étude, le changement climatique se caractérise par une variabilité persistante de la pluviosité et une augmentation des températures et la fréquence des phénomènes extrêmes (sécheresses, vagues de chaleurs, inondations et les vents violents). Ces changements sont bien perçus par les producteurs qui observent aussi les impacts à travers la diminution accrue de la végétation (arbres, herbacées et leur diversité), le changement de cultures, la baisse des rendements, l'apparition de nouveaux ravageurs et maladies des cultures, la dégradation accrue des sols et la diminution des ressources en eau. Face à cette nouvelle donne, les exploitations ont développé à des degrés variables des pratiques agroécologiques résilientes. Ces pratiques agroécologiques sont entre autres les techniques d'amélioration de la productivité des cultures, de protection phytosanitaire des cultures, de conservation et de restauration des sols, de gestion efficace de l'eau du sol et d'amélioration des revenus.

Au terme de cette étude, il est à noter que nos hypothèses formulées ont été vérifiées.

Les pratiques agroécologiques sont bénéfiques du point de vue économique, social et environnemental et contribuent efficacement au renforcement de la résilience des EAF au changement climatique. Aussi, elles sont adaptées aux exploitations les plus pauvres car moins exigeantes financièrement, et offrent une alternative plus économique et écologique aux producteurs dépendants des intrants chimiques. Dans ce sens, leur intensification dans nos deux zones d'études pourra indéniablement contribuer au renforcement de la résilience des exploitations de ces deux villages. Toutefois, des études plus élargies devront être menées sur cette thématique afin de mettre en lumière les informations nécessaires à la transition agroécologique dans tout le Mali.

À l'issue de l'étude, les **recommandations** suivantes sont formulées à l'endroit de l'État et des autorités locales :

- Reconnaître et valoriser les savoirs et pratiques agroécologiques locales ;
- Capitaliser les acquis et favoriser le partage des expériences entre les exploitations de différentes zones ;
- Renforcer les liens entre la recherche et les producteurs ruraux ;
- Appuyer la recherche agronomique et les services de vulgarisations à développer et vulgariser des solutions techniques compatibles avec les principes de l'agroécologie et permettant d'augmenter le revenu des paysans (travail minimum du sol, céréales à double-usage, aménagements en courbes de niveau, production de matière organique etc....
- Intégrer l'agroécologie dans les politiques, lois ou programmes de développement rural et de programme de recherche.
- Mobiliser et orienter des financements publics vers l'agroécologie développée par les EAF.
- Renforcer l'accès des exploitations aux services de vulgarisation et d'information climatique.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Altieri M. A. (2013). L'agroécologie. Éditions Charles Corlet, 237 p.
- Baber M. D. (2018). Agroécologie et Changement Climatique ; Action Contre la Faim, 3p.
- Bélières J. F. (2013). Les agricultures familiales du Monde : Définition, contributions et politiques publiques : Étude de cas Mali, CIRAD, Montpellier, France, 27p.

- Caritas (2016). Agroécologie et développement durable : des projets de terrain, un plaidoyer au service des paysans. Secours Catholique-Caritas France. 48p.
- CILSS/CRA (2010). "Le Sahel face aux changements climatiques, Enjeux pour un développement durable, Bulletin Mensuel. Numéro Spécial. Niamey, Niger, Centre régional AGRHYMET, 42p.
- CN. (2017). Troisième rapport : Communication Nationale du Mali, CCNUCC Ministère de l'Environnement de l'Assainissement et du Développement Durable. République du Mali, 250p.
- CPS/SDR (2016). Annuaire statistique 2015 du secteur développement rural. Cellule de Planification et de la Statistique (CPS)/secteur développement rural), Ministère de l'Agriculture République du Mali, 133p.
- Diarra D. Z., (2020). Plan National Sècheresse du Mali 2021-2025 ; Ministère de l'environnement et du Développement Durable du Mali. 109p.
- Dupar, M. (2019). Le Rapport spécial du GIEC sur le CC et les terres émergées : « Quels impacts pour l'Afrique ? » Cape Town: Climate and Development Knowledge Network, Overseas Development Institute et South North. 40p.
- Fayama T., Dabiré D. et Ba A. (2020). Perceptions du changement climatique et stratégies paysannes d'adaptation (zones soudaniennes du Burkina Faso et du Mali). in : Risques climatiques et agriculture en Afrique de l'Ouest, SULTAN et al 2020, collection de synthèse. IRD, édition, Marseille, France, 289-296p.
- Ferroni S. et Gabathuler E. (2011). Quand les greniers se remplissent, les bénéfices du partenariat entre la recherche agronomique, la vulgarisation agricole et des organisations paysannes au Mali. Centre pour le Développement et l'Environnement, Université Bern.115p.
- GIEC (2007). *Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième. Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A GIEC, Genève, Suisse, 103 pages*
- GIEC (2014). Changements climatiques 2014: Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer]. GIEC, Genève, Suisse, 161 p
- GIEC, (2018) Résumé à l'intention des décideurs, Réchauffement planétaire de 1,5 °C, Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C par

rapport aux niveaux préindustriels et les trajectoires associées d'émissions mondiales de gaz à effet de serre, dans le contexte du renforcement de la parade mondiale au CC, du développement durable et de la lutte contre la pauvreté. Organisation météorologique mondiale, Genève, Suisse, 32 p.

- Gniissien M. (2018). Évaluation des effets et impacts agroenvironnementaux des pratiques agroécologiques et de leurs conditions de développement dans la région de l'Est du Burkina Faso. Mémoire Master en système de production végétale : gestion intégrée de la fertilité du sol (GIFS), IDR, juin 2018, Université Nazi Boni, Burkina, 81p.
- Green climate fund, 2018. Enhancing climate change adaptation of the vulnerable agriculture communities in Segou region in Mali. Concept Note, GCF documentations projects. 13p.
- Hauchart V. (2008). Culture du coton, pluviosité et dégradation des sols dans le Mouhoun (Burkina Faso). *Sciences et changements planétaires/Sécheresse* 19(2): 95–102
- Levard L., Bertrand M. et Masse P. (2019). Mémento pour l'évaluation de l'agroécologie, Méthodes pour évaluer ses effets et les conditions de son développement, GTAE-AgroParisTech CIRAD-IRD, France.
- Levard L. et Mathieu B. (2018). Agroécologie : capitalisation d'expériences. En Afrique de l'Ouest facteurs favorables et limitants au développement de pratiques agroécologiques, évaluation des effets socio-économiques et agro-environnementaux. Projet CALAO-84p.
- Ministère de l'Agriculture (MA) (2019). Plan d'Investissement d'une Agriculture Intelligente face au Climat au Mali., Primature du Mali. 159p.
- N'Diaye B., 2008, Étude sur le Statut des Exploitants et des Exploitations Agricoles Familiales selon les dispositions de l'article 12 de la Loi d'Orientation Agricole. Consultation du Secrétariat Général de la LOA, Ministère de l'Agriculture. 62p.
- N'Diaye I., Aune J.B., Synnevåg G., Yossi H. et Hamadoun A. (2020). Adaptation de l'Agriculture et de l'Élevage au Changement Climatique au Mali - Résultats et leçons apprises au Sahel. Institut d'Économie Rurale (IER). Bamako, Mali, 404 pages.
- PDESC (2018). Programme de développement économique social et culturel (201-2023) de la commune rurale de Cinzana. Cercle de Ségou.
- Pettitt A. N. (1979). "A non-parametric approach to the change-point problem." *Appl. Statist.*, 28(2), 126-135
- PROMISAM (2006). Plan de sécurité alimentaire commune rurale de Kléla ; rapport du Projet de Mobilisation des Initiatives en matière de Sécurité Alimentaire au Mali, Commissariat à la Sécurité Alimentaire, Présidence de la République Mali. 13pages.

- RGA. (2004). Recensement général de l'Agriculture (RGA)- Campagne Agricole 2004-2005. Résultats définitifs - Volume II : Rapport Détaillé. Bamako, Mali, 104p. http://mep.gouv.ml/images/Rapport_RGA_2004-2005_Volume%202.pdf
- RGPH. (1998). Répertoire des villages 1998, le troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitat, Primature, Mali. 171p.
- Sanou K., Amadou S., Adjegan K. et Tsatsu K.D. (2018). "Perceptions et stratégies d'adaptation des producteurs agricoles aux changements climatiques au nord-ouest de la région des savanes du Togo. " Agronomie Africaine 30 (1) : 87 - 97
- Sarr B. Traoré S. Salack S. (2007). Évaluation de l'incidence des changements climatiques sur les rendements des cultures céréalières en Afrique soudano-sahélienne. Centre Régional AGRHYMET/CILSS, Niamey, Niger.
- Sidibé M., Bélières J.-F. ET Coulibaly J. (2007). Gestion des stocks et de la trésorerie dans les exploitations agricoles familiales de la zone cotonnière : pratiques et contraintes. Mémoire Ingénieur d'Agriculture de l'Institut Polytechnique Rurale de Katibougou, Novembre 2007. Koulikoro, Mali, 80 p.
- Simonet C., Mendler J. S., et Blane H. (2015). "Sécheresse, chocs complexes et pauvreté au Mali. " ; Wilkinson, 57p.
- Soumaré M., Havard M. et Bachelier B. (2020). "Le coton en Afrique de l'Ouest et du Centre : de la révolution agricole à la transition agro-écologique. Cahiers Agricultures. <https://doi.org/10.1051/cagri/2020037>. 29,37p.
- Stern R., Parsons D., Stern D et Torgbor F. (2019). R-Instat Climatic guide, University of Reading, Stats4SD et IDEMS International, 283 pages.
- Westerberg V., Golay A., Houndekon V. et Costa L. (2017). L'économie de la dégradation de terre, le cas de la commune de Banikoara. Le coton est-il vraiment l'or blanc à Banikoara ? GIZ, Economics of Land Degradation (ELD). www.eld-initiative.org.
- Yamane T. (1967). Statistics ; An Introductory Analysis; 2ème édition a harper international edition, New York University, 915 pages.