



## **Variabilité Intra-saisonnière des Pluies et Production du Sorgho en Zones Soudanienne et Sahélienne du Mali**

***L. Traore***

Département des Eaux & Forêts et du Génie Rural,  
Institut Polytechnique Rurale de Formation et de Recherche Appliquée  
(IPR/IFRA) de Katibougou, Mali

***O.D. Bello***

Unité de Recherche sur la Gestion Durable des Sols et des Cultures (ISCM),  
Laboratoire des Sciences du Sol, Ecole des Sciences et Techniques de  
Production Végétale (ESTPV), Faculté des Sciences Agronomiques (FSA),  
Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cadjèhoun, Cotonou, Bénin  
Laboratoire de Biologie Végétale, Ecole des Sciences et Techniques de  
Production Végétale (ESTPV), Faculté des Sciences Agronomiques (FSA),  
Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cotonou, Bénin

***Balogoun B.***

Unité de Recherche sur la Gestion Durable des Sols et des Cultures (ISCM),  
Laboratoire des Sciences du Sol, Ecole des Sciences et Techniques de  
Production Végétale (ESTPV), Faculté des Sciences Agronomiques (FSA),  
Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cadjèhoun, Cotonou, Bénin  
Ecole de Gestion et de Production Végétale et Semencière (EGPVS),  
Université Nationale d'Agriculture (UNA), Kétou, Bénin

***F. Chabi***

Unité de Recherche sur la Gestion Durable des Sols et des Cultures (ISCM),  
Laboratoire des Sciences du Sol, Ecole des Sciences et Techniques de  
Production Végétale (ESTPV), Faculté des Sciences Agronomiques (FSA),  
Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cadjèhoun, Cotonou, Bénin

***M. Y. Issifou***

Laboratoire de Biologie Végétale, Ecole des Sciences et Techniques de  
Production Végétale (ESTPV), Faculté des Sciences Agronomiques (FSA),  
Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cotonou, Bénin

Cartography Laboratory (LaCarto), Institute of Geography, Land  
Management & Environment (IGATE), University of Abomey-Calavi  
(UAC), Abomey-Calavi, Benin

***Yabi Y.***

Laboratoire Pierre PAGNEY « Climat, Eau, Ecosystème et Développement  
», Faculté des Sciences Humaines et Sociales, Département de Géographie et  
Aménagement du Territoire, Université d'Abomey-Calavi (UAC),  
RP Cotonou, Bénin

***E.L. Ahoton***

Laboratoire de Biologie Végétale, Ecole des Sciences et Techniques de  
Production Végétale (ESTPV), Faculté des Sciences Agronomiques (FSA),  
Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cotonou, Bénin

***A. Saïdou***

Unité de Recherche sur la Gestion Durable des Sols et des Cultures (ISCM),  
Laboratoire des Sciences du Sol, Ecole des Sciences et Techniques de  
Production Végétale (ESTPV), Faculté des Sciences Agronomiques (FSA),  
Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cadjèhoun, Cotonou, Bénin

[Doi:10.19044/esj.2022.v18n40p161](https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n40p161)

Submitted: 18 August 2022  
Accepted: 07 December 2022  
Published: 31 December 2022

Copyright 2022 Author(s)  
Under Creative Commons BY-NC-ND  
4.0 OPEN ACCESS

*Cite As:*

Traore L., Bello O.D., Balogoun B., Chabi F., Issifou M.Y., Yabi Y., Ahoton E.L. & Saïdou A. (2022). *Variabilité Intra-saisonnière des Pluies et Production du Sorgho en Zones Soudanienne et Sahélienne du Mali*. European Scientific Journal, ESJ, 18 (40), 161.

<https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n40p161>

**Resume**

L'agriculture malienne, pilier du développement économique et de la sécurité alimentaire des populations, est affectée par les dérèglements climatiques en raison de son caractère essentiellement pluvial. La présente recherche a pour objectif d'analyser les effets de l'instabilité intra-saisonnière des pluies afin d'identifier les périodes optimales de semis du sorgho en zones soudanienne et sahélienne du Mali. A partir des hauteurs journalières de pluie de la station de Katibougou et de San entre 1987 et 2018 fournies par l'Agence pour la Sécurité et la Navigation Aérienne (ASECNAC) du Mali, les dates de début et de fin de saison ont été déterminées. Ensuite, l'analyse fréquentielle du début, de la fin et de la longueur des saisons a été faite aux fréquences de 2, 5 et 8 années sur 10. De même, la fréquence des séquences sèches et humides pendant la saison culturale a été analysée. Les résultats ont montré que dans le cercle de Koulikoro, les dates probables des démarrages de la pluie se situent entre le 06 mai et le 01 août de chaque année. Par contre à San, les dates probables des démarrages de la pluie se situent entre le 12 mai et le 01 août de chaque année. A Koulikoro, la fin de la saison pluvieuse se situe généralement entre le 06 septembre et le 04 novembre. A San, la fin de la saison pluvieuse se situe généralement entre le 03 septembre et le 02 novembre. Les poches de sécheresse de 5 jours (SS1) sont les pauses pluviométriques constatées dans le cercle de Koulikoro et elles décroissent au

fur et à mesure jusqu'au mois de septembre. Les SS4 s'accroissent jusqu'à partir du mois de juillet à octobre. A San, les SS1 et SS4 sont similaires à ceux du cercle de Koulikoro. Par contre, les SS3 sont un peu élevés durant les mois de mai, juillet, août et septembre. Dans le cercle de Koulikoro sur 2, 5 et 8 années sur 10, la durée de la saison agricole est de 159, 132 et 102 jours. Dans ces conditions, la variété du sorgho de 90 jours et de 105 jours peut se cultiver normalement depuis la levée jusqu'à la maturation. Par contre à San, sur 2,5 et 8 années sur 10, la durée de la saison agricole est de 123, 108 et 89 jours, dans ces conditions, la variété du sorgho de 90 jours peut se cultiver normalement depuis la levée jusqu'à la maturation, par contre la variété de 90 est compromise sur 8 années sur 10 et celle de 105 jours est compromise sur 5 et 8 années sur 10. Au regard de l'intérêt que les producteurs accordent à la culture du sorgho et de l'instabilité intra-saisonnière des pluies, ils s'approprient plusieurs mesures d'adaptation (planification du calendrier agricole, adoption de la variété culturale à cycle court, utilisation d'engrais) dont l'efficacité mérite d'être analysée.

---

**Mots-clés:** Mali, (soudanienne et sahélienne), variabilité intra-saisonnière, culture du sorgho, adaptation

---

## **Intra-seasonal Rainfall Variability and Sorghum Production in the Sudanian and Sahelian Zones of Mali**

***L. Traore***

Département des Eaux & Forêts et du Génie Rural,  
Institut Polytechnique Rurale de Formation et de Recherche Appliquée  
(IPR/IFRA) de Katibougou, Mali

***O.D. Bello***

Unité de Recherche sur la Gestion Durable des Sols et des Cultures (ISCM),  
Laboratoire des Sciences du Sol, Ecole des Sciences et Techniques de  
Production Végétale (ESTPV), Faculté des Sciences Agronomiques (FSA),  
Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cadjèhoun, Cotonou, Bénin  
Laboratoire de Biologie Végétale, Ecole des Sciences et Techniques de  
Production Végétale (ESTPV), Faculté des Sciences Agronomiques (FSA),  
Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cotonou, Bénin

***Balogoun B.***

Unité de Recherche sur la Gestion Durable des Sols et des Cultures (ISCM),  
Laboratoire des Sciences du Sol, Ecole des Sciences et Techniques de  
Production Végétale (ESTPV), Faculté des Sciences Agronomiques (FSA),  
Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cadjèhoun, Cotonou, Bénin

Ecole de Gestion et de Production Végétale et Semencière (EGPVS),  
Université Nationale d'Agriculture (UNA), Kétou, Bénin

***F. Chabi***

Unité de Recherche sur la Gestion Durable des Sols et des Cultures (ISCM),  
Laboratoire des Sciences du Sol, Ecole des Sciences et Techniques de  
Production Végétale (ESTPV), Faculté des Sciences Agronomiques (FSA),  
Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cadjèhoun, Cotonou, Bénin

***M. Y. Issifou***

Laboratoire de Biologie Végétale, Ecole des Sciences et Techniques de  
Production Végétale (ESTPV), Faculté des Sciences Agronomiques (FSA),  
Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cotonou, Bénin

Cartography Laboratory (LaCarto), Institute of Geography, Land  
Management & Environment (IGATE), University of Abomey-Calavi  
(UAC), Abomey-Calavi, Benin

***Yabi Y.***

Laboratoire Pierre PAGNEY « Climat, Eau, Ecosystème et Développement  
», Faculté des Sciences Humaines et Sociales, Département de Géographie et  
Aménagement du Territoire, Université d'Abomey-Calavi (UAC),  
RP Cotonou, Bénin

***E.L. Ahoton***

Laboratoire de Biologie Végétale, Ecole des Sciences et Techniques de  
Production Végétale (ESTPV), Faculté des Sciences Agronomiques (FSA),  
Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cotonou, Bénin

***A. Saïdou***

Unité de Recherche sur la Gestion Durable des Sols et des Cultures (ISCM),  
Laboratoire des Sciences du Sol, Ecole des Sciences et Techniques de  
Production Végétale (ESTPV), Faculté des Sciences Agronomiques (FSA),  
Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cadjèhoun, Cotonou, Bénin

---

## **Abstract**

Malian agriculture, a pillar of economic development and food security, is affected by climatic disturbances because of its essentially rainfed nature. The objective of this research is to analyse the effects of intra-seasonal rainfall instability in order to identify optimal sorghum sowing periods in the Sudanian and Sahelian zones of Mali. From the daily rainfall amounts of the Katibougou and San stations between 1987 and 2018 provided by the Malian Agency for Air Safety and Navigation (ASECNAC), the start and end of the season dates were determined. Then, the frequency analysis of the beginning, end and length of the seasons was done at frequencies of 2.5 and 8 years out of 10. Similarly, the frequency of dry and wet sequences during the cropping season was analysed. The results showed that in the Koulikoro district, the

probable dates for the start of rainfall are between 6 May and 1 August each year. In contrast, in San, the probable dates for the start of the rainfall are between 12 May and 1 August each year. In Koulikoro, the end of the rainy season is generally between 6 September and 4 November. In San, the end of the rainy season is generally between 03 September and 02 November. The 5-day drought pockets (SS1) are the rainfall breaks observed in the Koulikoro district and they decrease progressively until September. SS4 increases from July to October. In San, SS1 and SS4 are similar to those in Koulikoro, but, SS3 is slightly higher in May, July, August and September. In the Koulikoro district, the length of the agricultural season in 2. 5 and 8 years out of 10 is 159. 132 and 102 days. Under these conditions, the 90-day and 105-day sorghum varieties can be grown normally from emergence to maturation. On the other hand, in San, over 2. 5 and 8 years out of 10, the length of the agricultural season is 123. 108 and 89 days, under these conditions, the 90-day sorghum variety can be grown normally from emergence to maturation, while the 90-day variety is compromised over 8 years out of 10 and the 105-day variety is compromised over 5 and 8 years out of 10. In view of the interest that producers have in growing sorghum and the intra-seasonal instability of rainfall, they have adopted several adaptation measures (planning of the agricultural calendar, adoption of the short-cycle crop variety, use of fertilisers), the effectiveness of which deserves to be analysed.

---

**Keywords:** Mali, (Sudanese and Sahelian), intra-seasonal variability, sorghum cultivation, adaptation

## 1. Introduction

Les changements climatiques ont entraîné de nombreux bouleversements autour du monde. En effet, il ne se passe plus une année sans que l'on observe l'un des effets néfastes de ces nouvelles conditions climatiques sur la planète (pluies diluviennes, sécheresses extrêmes, ouragans, Tsunamis) ( Kouamé *et al.*, 2018).

En Afrique de l'Ouest, les populations sont majoritairement rurales et adoptent des systèmes de production (agriculture, élevage) dont les performances sont étroitement soumises au climat (Alhassane *et al.*, 2013; Yolou *et al.*, 2017). Or, le Sahel Ouest-Africain est sujet à une importante crise climatique depuis les années 1970. Due principalement à la baisse de la pluviométrie et à une augmentation de sa variabilité spatio-temporelle, elle est devenue le principal facteur limitant de l'agriculture dans cette région (Vadez, 2012). Responsable de la baisse et de la fluctuation des rendements des cultures, la sécheresse affecte les besoins alimentaires des populations sahéniennes à tel point que les besoins minimaux sont rarement satisfaits (Kihondo *et al.*, 2016). En effet, la répartition des pluies est un aspect dont

l'analyse est essentielle en régions sahélienne et Soudanienne car l'agriculture souffre autant des excès que des déficits de précipitations. Même si la pluviosité est assez bonne, l'irrégularité des précipitations influe souvent plus sur le rendement des cultures que la pluviométrie absolue.

Selon Ahoussi *et al.*, (2013), ces variabilités imprévisibles du climat ont considérablement perturbé les systèmes cultureux en Côte d'Ivoire. Ces fluctuations pluviométriques ont pour corollaire la variation des paramètres liés à la saison culturale (saison des pluies utiles) tels que : les dates de début et de fin, la durée et le cumul saisonnier. Il se pose alors le problème important de la détermination des dates de semis (Dekoula *et al.*, 2018). Ainsi, la qualité des saisons agricoles est beaucoup influencée par les instabilités intra-saisonnières des pluies (Adjakpa *et al.*, 2017) dans la mesure où les débuts et fin des pluies sont très aléatoires, et presque tous les autres paramètres du climat en subissent le contre coup (Faye, 2017). La distribution journalière des pluies est aussi très importante pour le développement des plantes. C'est elle qui détermine la date de semis pouvant décaler le cycle de la plante de plus d'un mois au sein de l'année agricole (Sebbar *et al.*, 2018).

Le Mali est un pays agropastoral avec une part importante de la population qui vit dans des communautés villageoises caractérisées par différentes unités socio-économiques ayant comme activité principale la production agricole (au sens large). Près de 75 % de la population active est employée dans l'agriculture et le secteur primaire représente de 33% à 38 % PIB total selon les années (McDonald *et al.*, 2015; Bélières, 2014)). Même en milieu urbain, une part conséquente de la population pratique l'agriculture. Le sorgho est l'une des principales céréales entrant dans l'alimentation de base des populations du sahel et constitue une culture stratégique dans le maintien de la sécurité alimentaire (Sissoko *et al.*, 2017). Il occupe la deuxième place parmi les céréales sèches cultivées après le mil (FAO, 2012 ; Sissoko *et al.*, 2017). Malgré son importance, la culture du sorgho est exposée aux aléas climatiques tels que les sécheresses récurrentes et irrégulières, des déficits pluviométriques, les événements de fortes précipitations, les inondations dévastatrices, l'interruption brusque de la saison des pluies et où sa durée est très variable d'une année à l'autre dans les conditions soudano- sahéliennes, etc. (Traoré *et al.*, 2001 ; Kouressy *et al.*, 2008). Ces contraintes agro-climatiques affectent les rendements du sorgho (Sissoko *et al.*, 2018), couplées au contexte socio-économique et politique souvent défavorable expliquent le faible niveau de production (Lobell *et al.*, 2008 ; Traoré *et al.*, 2011 ; Traoré, 2014). Il paraît donc important de prévoir les dates de début et de la fin de saison, les risques des débuts tardifs et des fins précoces des saisons pluvieuses pour aider les producteurs du sorgho dans le choix des périodes de semis et des variétés à semer pour minimiser les risques climatiques (Balme *et al.*, 2005).

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Milieu d'étude

Les travaux ont été effectués au Mali dans deux différents Cercles que sont le Cercle de Koulikoro et celui de San (Figure 1).

Le Cercle de Koulikoro est situé dans la zone soudanienne à 60 km de Bamako (capital politique du Mali) et compte neuf communes. Ce cercle s'étend entre  $-8,9^{\circ} 32'$  de longitude Ouest et de  $12^{\circ} 56'$  de latitude Nord à une altitude de 332 m au-dessus du niveau de la mer sur l'isohyète 900 mm (Traoré et *al.*, 2021). Le climat est de type soudano-sahélien avec une pluviométrie moyenne annuelle oscillant entre 700 et 900 mm (Traoré et *al.*, 2021). La saison de culture commence généralement début juin et se termine en octobre. Le cercle de Koulikoro est une zone agropastorale par excellence. Le mil, le sorgho, le maïs, le riz, le fonio et le niébé constituent les principales cultures vivrières de la zone. Le maraîchage est également pratiqué. Le coton est la première culture industrielle de la zone. La végétation de la zone est caractérisée par une savane arborée et arbustive par endroits. Le tapis herbacé est dominé par les graminées annuelles avec *Combretum lecardii*, *Combretum glutinosum*, *Guiera senegalensis*, *Prosopis africana*, *Sclerocarya birrea*, *Spondias monbin*, comme principales ligneuses (Traoré et *al.*, 2021). Les principaux types de sol rencontrés dans la zone sont les sols ferrugineux tropicaux rubéfiés, les sols ferrugineux tropicaux lessivés jaunes, les sols ferrugineux à hydromorphie profonde, les sols peu évolués d'apport alluvial. Le Cercle de San par contre est situé dans la région de Ségou en zone sahélienne du Mali à  $-4^{\circ} 9'$  de longitude Ouest et  $13^{\circ} 3'$  de latitude Nord à une altitude de 287 m au-dessus du niveau de la mer. La pluviométrie moyenne annuelle oscille entre 500 mm et 800 mm. La saison des pluies commence également en mi-juin et se termine en octobre. On enregistre également un décalage de la saison des pluies avec une moyenne de 3 mois de pluies (Traore et *al.*, 2021). Le mil et le sorgho constituent les principales cultures vivrières pratiquées dans la zone. Plusieurs variétés de riz irrigué et pluvial sont aussi cultivées dans les plaines aménagées et non aménagées. Le couvert végétal est dominé par *Faidherbia albida* (Balanzan), *Adansonia digitata* (Baobab), *Vitellaria Paradoxa* (Karité), *Balanites aegyptiaca* (Zèguènè), *Ceiba pentandra* (Fromager), *Khaya senegalensis* (Djala), *Parkia biglobosa* (Néré) etc. Les sols sont de type argileux, sablonneux, latéritique et gravillonnaire par endroit.

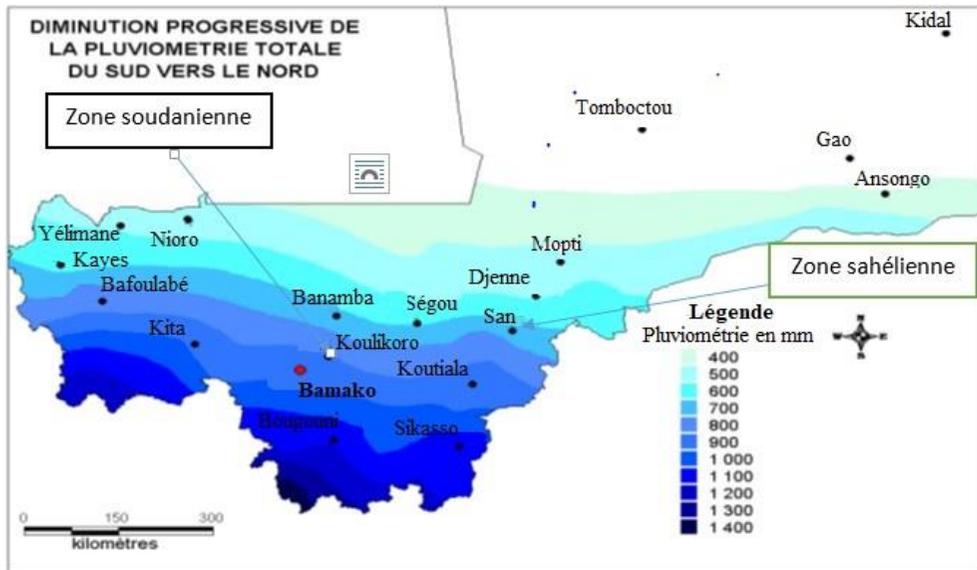


Figure 1. Pluviométrie totale annuelle (de plus de 1400 mm au sud à de 400 mm au nord)

## 2.2. Méthode de collecte et de traitement des données

### 2.2.1. Collecte des données

Les données utilisées concernent les pluies journalières de deux cercles (Koulikoro et San) pour la période 1987-2018. Elles sont fournies par l'Agence pour la Sécurité et la Navigation Aérienne (ASECNAC) du Mali.

### 2.2.2. Analyse et traitement des données

Pour préciser le début de la saison agricole (DSA) et la fin de la saison agricole (FSA), les critères de Guèye et Sivakumar (1992) et Dekoula et *al.*, (2018) ont été combinés avec le calendrier agricole habituel des producteurs relatifs aux premiers semis. Le DSA est fixé au jour où, à partir du 1er mai, dans l'intervalle de 3 jours le cumul pluviométrique précipité atteint au moins 20 mm sans qu'il ne soit suivi pendant les 30 jours suivants d'une séquence sèche excédant 2 décades (20 jours). Le DSA est considéré tardif lorsqu'il intervient 1 décade au moins après la date moyenne. Quant à la FSA, elle correspond au jour où, à partir du 1er septembre, il n'y a plus de pluie pendant deux décades consécutives. Une FSA est considérée comme précoce lorsqu'elle intervient 1 décade au moins avant la date moyenne. Quant à la longueur de la saison agricole (LSA), elle correspond à la différence en jours entre le DSA et la FSA.

En ce qui concerne l'identification des séquences pluviométriques sèches et humides, elle a été faite en s'inspirant des travaux de Sané et *al.*, (2008) et de Zachari et *al.*, (2012). Ainsi, est considéré comme séquence, un intervalle de temps d'au moins 10 jours consécutifs (1 décade) pendant la

saison agricole sans pluie. Un tel épisode est capable d'induire les échecs de semis ou d'affecter négativement les besoins en eau des cultures saisonnières. L'analyse fréquentielle du début de la saison agricole et de la fin de la saison agricole a été faite aux fréquences 8 années sur 10 ; 5 années sur 10 et 2 années sur 10 en calculant la fréquence cumulée par la formule de Zachari et *al.*, (2012) :  $F(x) = (i-0,5)/N$ .

La détermination des séquences pluviométriques sèches a également permis d'apprécier la qualité de la saison agricole. L'identification des séquences pluviométriques sèches est inspirée des travaux de Zachari et *al.*, (2012). Ainsi une séquence est considérée comme sèche lorsque pendant la saison agricole, il s'écoule au moins 10 à 20 jours (1 à 2 décades) sans pluie. Un tel phénomène est capable d'affecter négativement les besoins en eau de la plante (Yabi, 2013). Les séquences sèches ont été définies de la manière suivante :

- SS1 : poche de sécheresse de moins de 5 jours ;
- SS2 : poche de sécheresse de 5 jours ;
- SS3 : poche de sécheresse variant entre 6 et 10 jours ;
- SS4 : poche de sécheresse de plus de 10 jours.

Le logiciel de traitement des données Instat + a été utilisé. En effet, il s'agit d'un logiciel d'analyse statistique de données agroclimatologiques et un modèle de simulation agro-météorologique (Sarr, 2007;Chédé et *al.*, 2020). Ce logiciel a permis de faire des analyses agroclimatiques des facteurs clés de la saison agricole (la date de début, la date de fin, la longueur de la saison des pluies, les cumuls pluviométriques, la distribution des séquences sèches) (Chédé et *al.*, 2020).

### 3. Resultats

#### 3.1. Instabilité intra-saisonnière des pluies

##### 3.1.1 Débuts de la saison pluvieuse dans le cercle de Koulikoro et de San

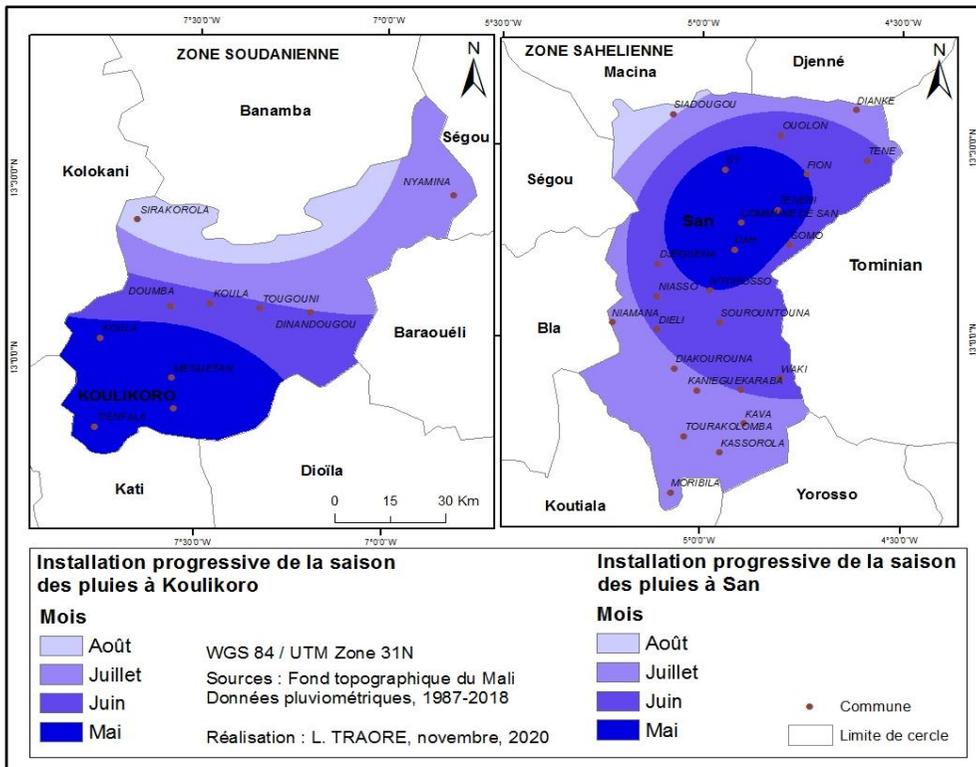


Figure 2. Installation progressive de la saison des pluies dans le cercle de Koulikoro et Sa

Dans le cercle de Koulikoro, l'évolution des dates des démarrages de la saison pluvieuse est illustrée par la figure 3. L'analyse la figure 3 a montré que les sous périodes de 1987 à 2018 sont caractérisés par des démarrages instables des saisons agricoles. En moyenne la saison pluvieuse débute le 21 mai dans le cercle de Koulikoro, mais 24 saisons de débuts tardifs de saison sont constatées dans la zone d'étude. Par contre à San, les dates probables des démarrages de la pluvieuse se situent entre le 12 mai et le 01 août de chaque année (figure 3).

L'analyse de la figure 3 a montré que les sous périodes de 1987 à 2018 sont caractérisés par des démarrages instables des saisons agricoles. En moyenne la saison pluvieuse débute le 17 juin dans le cercle de San, mais 11 saisons de débuts tardifs de saison sont constatées dans la zone d'étude. Ce qui ne va pas rester sans conséquence sur la production du sorgho de la zone d'étude. Ces évolutions annuelles de ces dates sont illustrées par la figure 3.

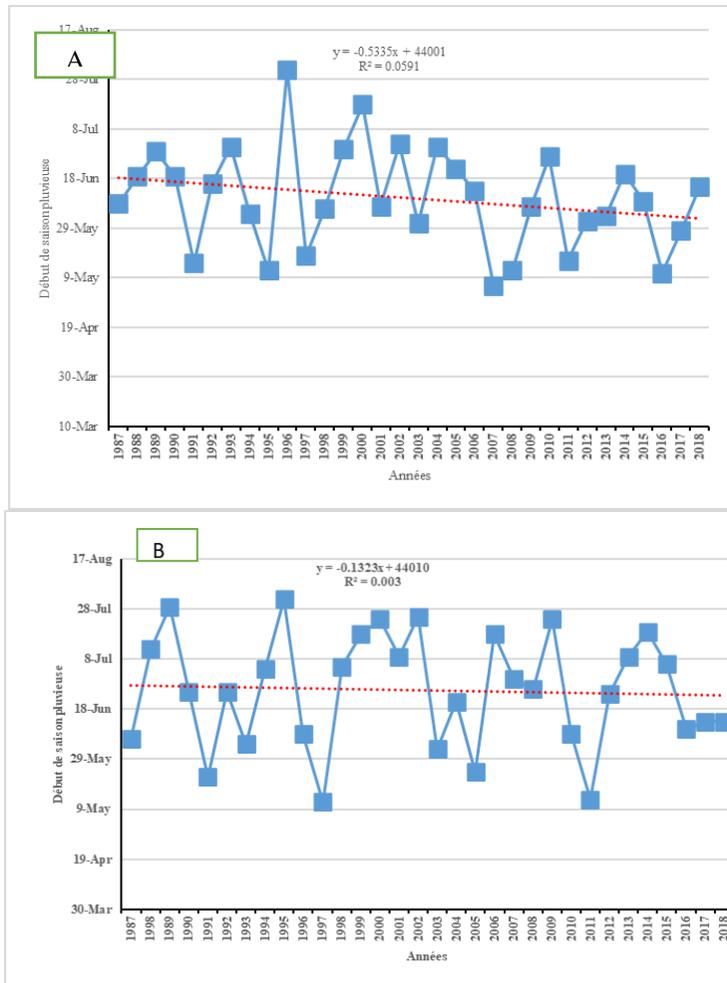
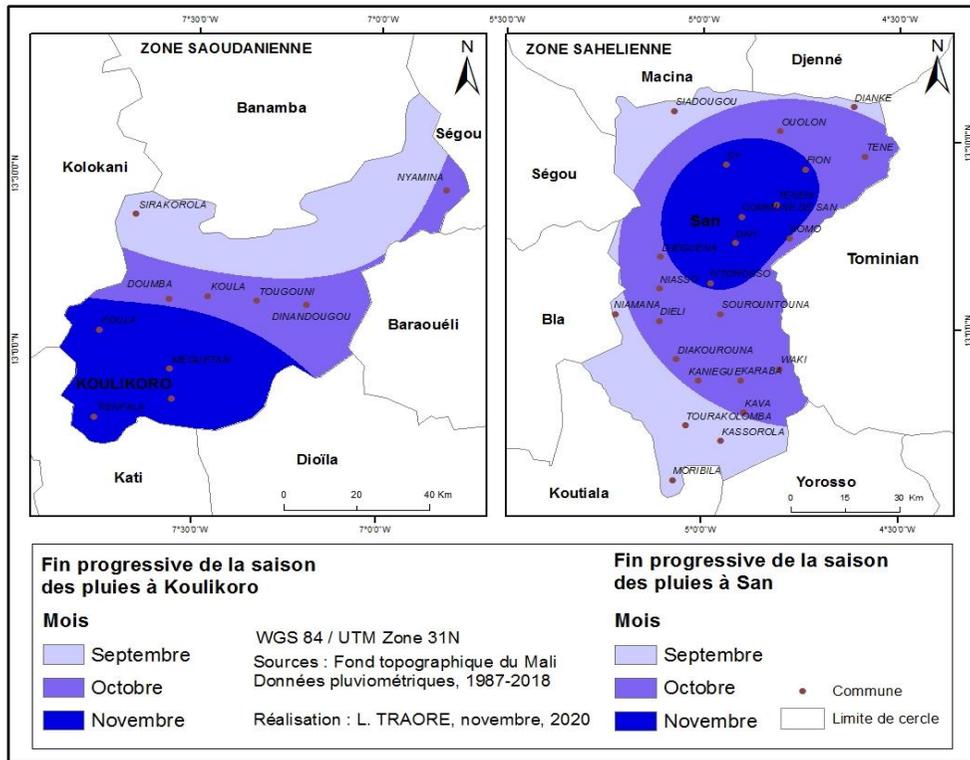


Figure 3 : Evolution des dates de démarrage de la saison pluvieuse dans le cercle de Koulikoro (A) et San (B)

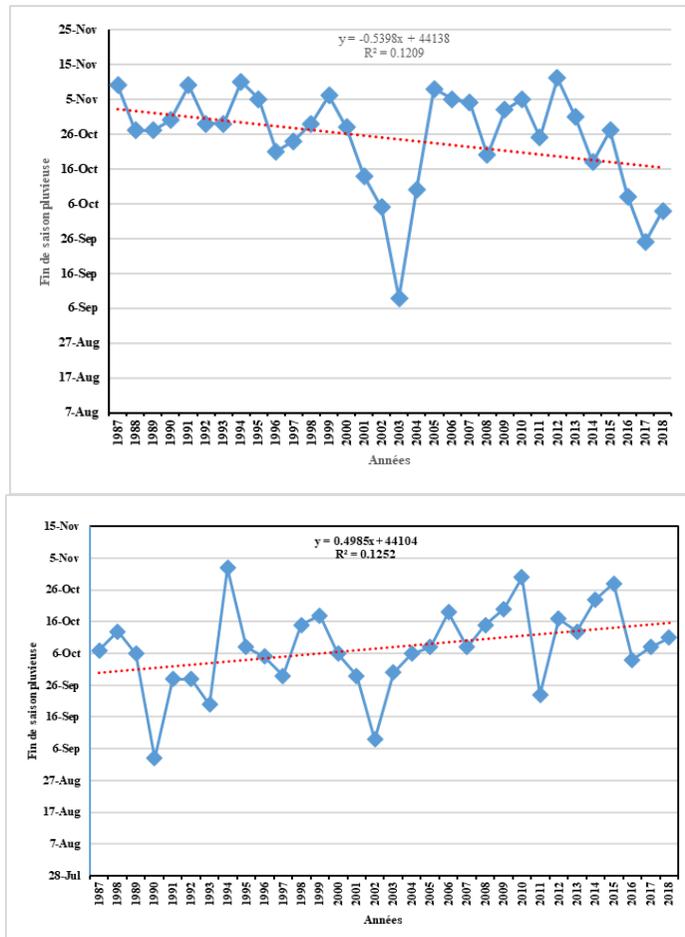
### 3.1.2. Fin de saison pluvieuse dans le cercle de Koulikoro et de San



**Figure 4.** Fin progressive de la saison des pluies dans le cercle de Koulikoro et San.

Les analyses ont montré que dans le cercle de Koulikoro, la fin de la saison pluvieuse se situe généralement entre le 06 septembre et le 04 novembre de chaque année (figure 5). En moyenne la saison pluvieuse prend fin le 23 octobre dans le cercle de Koulikoro, mais huit (8) saisons précoces de fin de saison sont constatées. Les fins précoces sont davantage observées à partir de 2003 où la plus importante est terminée le 06 septembre alors qu'en 2017, la pluie a pris fin le 26 septembre.

A San, les analyses ont montré que la fin de la saison pluvieuse se situe généralement entre le 03 septembre et le 02 novembre chaque année. En moyenne la saison pluvieuse prend fin le 07 octobre dans le cercle de San, mais vingt (20) saisons précoces de fin de saison sont constatées. Les fins précoces sont beaucoup observées à partir de 1990 dont la plus importante s'est achevée le 03 septembre. Egalement en 2002, la pluie a pris fin le 03 septembre (figure 5). Le tableau 1 présente la synthèse des statistiques du début et la fin de la saison pluvieuse dans la zone d'étude.



**Figure 5 :** Evolution des dates de fin de la saison pluvieuse dans le cercle de Koulikoro (A) et San (B)

**Tableau 1.** Synthèse des statistiques du début et de la fin de la saison pluvieuse (Katibougou et San)

Données statistiques	Station katibougou		Station San	
	Début (saison)	Fin (saison)	Début (saison)	Fin (saison)
Date moyenne	21 mai	23 octobre	28 juin	07 octobre
Ecartype (jours)	13	15	17	13
Nombre de début tardif	24	*	11	*
Nombre de fin précoce	*	8	*	20
2 années sur 10	11 Mai	08 Octobre	11 juin	29 septembre
5 années sur 10	16 Mai	27 octobre	26 juin	08 octobre
8 années sur 10	25 Mai	05 Novembre	18 juillet	17 octobre

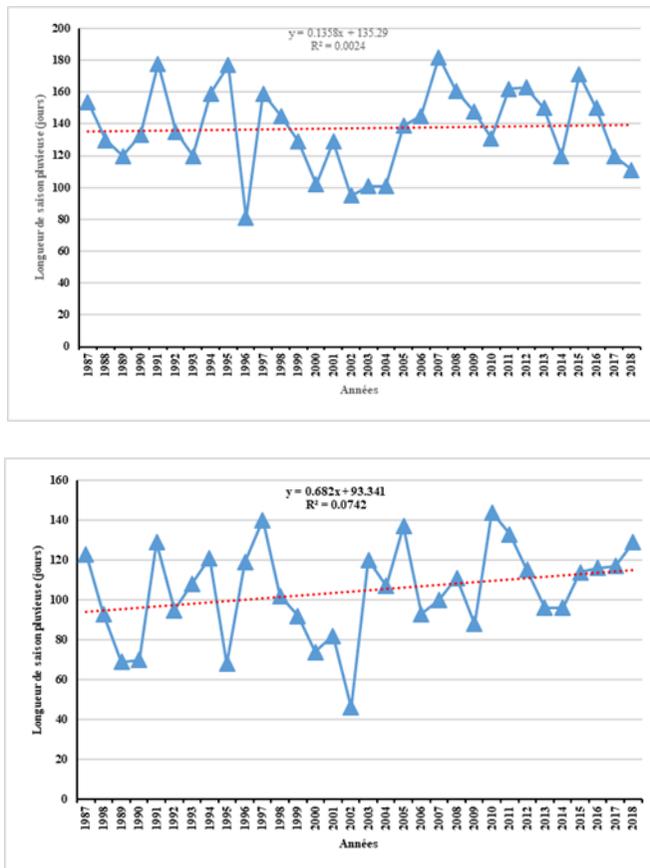
### 3.1.3. Evolution de la longueur des saisons pluvieuses dans le cercle de Koulikoro et de San

Afin de mieux comprendre les instabilités intra-saisonnières des pluies, les caractéristiques de la durée de la saison pluvieuse sont illustrées par la figure 6.

Les analyses ont montré à Koulikoro qu'en moyenne la saison pluvieuse dure 131 jours soit 13 décades (figure 6), Comparée à la durée du cycle végétatif des principales variétés de sorgho, cette durée moyenne est suffisante pour mener à bien une campagne agricole. Mais pour une fréquence de 2 années sur 10, la longueur de la saison agricole se réduit à 102 jours seulement (tableau II). Dans ces conditions, la campagne agricole peut être mise en mal dans la mesure où la longueur de ladite saison est inférieure à la durée du cycle végétatif de la variété du sorgho de 105 jours ; et est également une durée trop juste pour la variété de maïs de 90 jours. Sur la période étudiée, la durée moyenne des LSA est 131 jours soit environ 12 décades avec un écart type de 33 jours (3 décades). A la probabilité de 50 % (fréquence de 5 années sur 10) et à la probabilité de 80 % (fréquence de 8 années sur 10), cette valeur grimpe respectivement à 132 et 159 jours. La valeur moyenne des LSA est suffisante pour les variétés de cultures dans la localité comme le sorgho (de 90 et 105 jours). Mais, c'est beaucoup plus la variabilité interannuelle des LSA (figure 6) qui handicape le bon déroulement des activités agricoles.

Par contre à San, les analyses ont montré qu'en moyenne la saison pluvieuse dure 105 jours soit 10 décades (figure 6), Comparée à la durée du cycle végétatif des principales espèces de sorgho, cette durée moyenne est insuffisante ou trop juste pour mener à bien une campagne agricole. Mais pour une fréquence de 2 années sur 10, la longueur de la saison agricole se réduit à 89 jours (tableau II). Dans ces conditions, la campagne agricole peut être compromise dans la mesure où la longueur de ladite saison est inférieure à la durée du cycle végétatif de la variété du sorgho de 105 jours et est également une durée trop juste pour la variété de maïs de 90 jours. Concernant la période étudiée, la durée moyenne des LSA est 105 jours soit environ 10 décades avec

un écart type de 23 jours (2 décades). A la probabilité de 50 % (fréquence de 5 années sur 10), la valeur moyenne grimpe à 108 jours. Cette valeur est trop juste pour une variété de 105 jours. Pour la probabilité de 80 % (fréquence de 8 années sur 10), la valeur moyenne monte à 123 jours. Cette valeur moyenne des LSA est suffisante pour les variétés de cultures dans la localité comme le sorgho (de 90 et 105 jours). Mais, c'est beaucoup plus la variabilité interannuelle des LSA (figure 6) qui handicape le bon déroulement des activités agricoles.



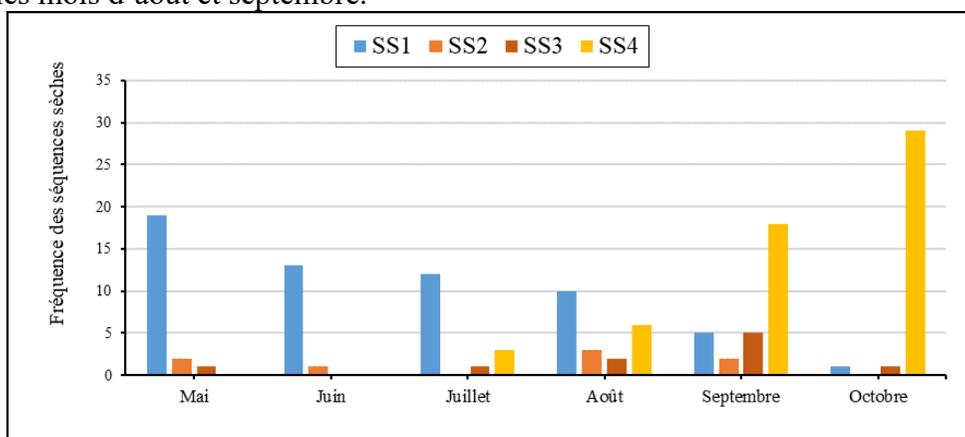
**Figure 6 :** Variation interannuelle de longueur de la saison pluvieuse dans le cercle de Koulikoro (A) et San (B)

**Tableau 2.** Synthèse de la durée de la saison de pluies

Données statistiques	Durée de la saison pluvieuse (jours)	
	Station katibougou	Station San
Moyenne	131	105
Ecartype	33	23
Valeur minimale	81 (1996)	69 (1989)
Valeur maximale	178 (1991)	144 (2010)
2 années sur 10	159	123
5 années sur 10	132	108
8 années sur 10	102	89

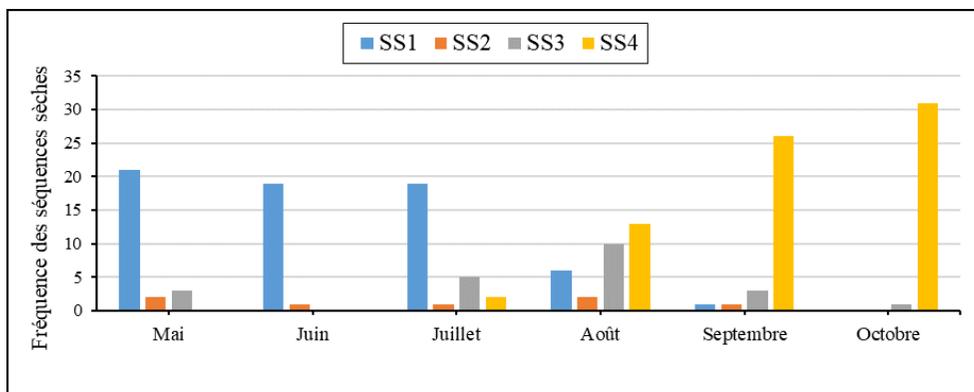
### 3.1.4. Evaluation des séquences sèches dans le cercle de Koulikoro et de San

Au cours de la saison des pluies, les résultats des analyses ont montré que les SS1 (séquence sèches de moins de 5 jours) représentent le plus les pauses pluviométriques constatées dans le cercle de Koulikoro et elles décroissent au fur et à mesure jusqu'au mois de septembre (figure 7). Ainsi, on remarque qu'à partir du mois de juillet que les SS4 s'accroissent jusqu'au mois d'octobre et la répartition mensuelle des SS2 et SS3 est un peu élevée durant les mois d'août et septembre.



**Figure 7.** Fréquence des séquences sèches au cours des mois de mai à octobre de 1987-2018 dans le cercle de Koulikoro

A San, les SS1 (séquence sèche de moins de 5 jours) et SS4 (séquence sèches de plus de 10 jours) sont similaires à ceux du cercle de Koulikoro, par contre les SS3 (séquence sèches de 6 à 10 jours) sont un peu élevés durant les mois de mai, juillet, août et septembre (figure 8).



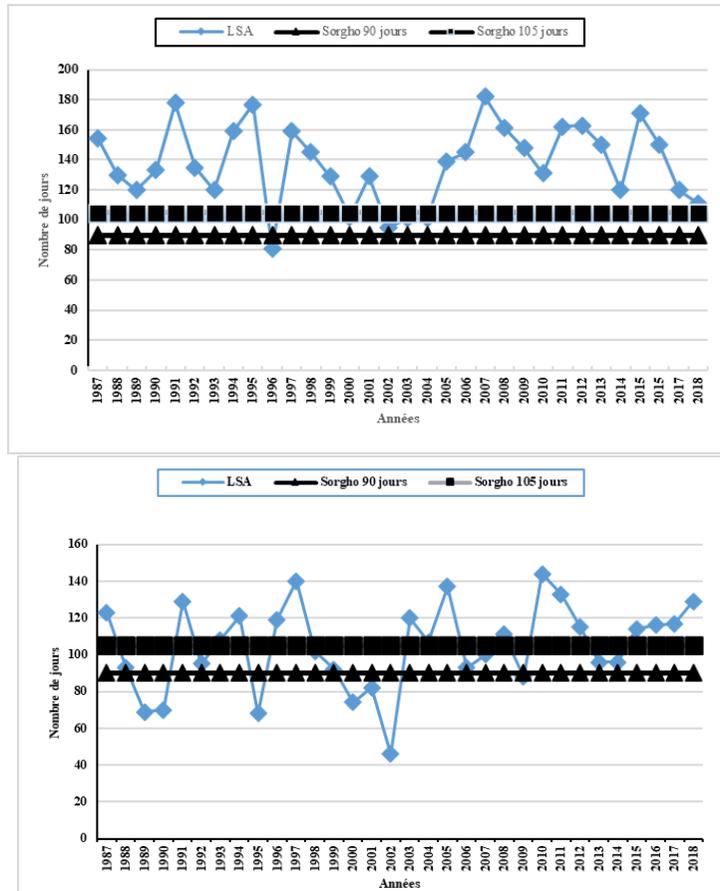
**Figure 8** : Fréquence des séquences sèches au cours des mois de mai à octobre de 1987-2018 dans le cercle de San

**Légende:** SS1: séquence sèche de moins de 5 jours ; séquence sèche de 5 jours ; SS2 : séquence sèche de 6 à 10 jours ; séquence sèches de plus de 10 jour

### 3.1.5. Variabilité de la durée des saisons pluvieuses sur la culture du sorgho

Pour mieux apprécier l'effet de la variabilité des saisons pluvieuses sur la culture du sorgho, un rapprochement a été fait entre la durée de cycle cultural des deux variétés du sorgho cultivées (variété de 90 jours, et variété de 105 jours) avec la durée desdites saisons (figure 9). Dans le cercle de Koulikoro, la figure 9 montre qu'en dehors de l'année 1996, la durée de la saison agricole est toujours supérieure à 90 jours. Dans ces conditions, la variété du sorgho de 90 jours peut se cultiver normalement depuis la levée jusqu'à la maturation. Concernant la variété du sorgho de 105 jours, son cycle de développement est compromis au cours de quatre années (1996, 2002, 2003 et 2004) où la durée de la saison agricole est inférieure à 105 jours. Ces années sont caractérisées par des débuts et/ou fins précoces de la saison selon les résultats d'analyses. En considérant donc la durée de la saison agricole, on peut conclure que le sorgho de 90 et 105 jours est moins vulnérable aux effets de la variabilité intra-saisonnière de pluies. Cela pourrait justifier le fait que les producteurs préfèrent cultiver les variétés de 105 jours au détriment du sorgho de 90 jours qui sont exposées aux attaques des oiseaux.

Par contre à San, la figure 9 indique qu'en dehors des années 1989, 1990, 1995, 2000,2001 et 2002, la durée de la saison agricole est toujours supérieure à 90 jours. Dans ces conditions, la variété du sorgho de 90 jours peut se cultiver normalement depuis la levée jusqu'à la maturation. Quant à la variété du sorgho de 105 jours, son cycle de développement est compromis au cours de quatorze années (1988,1989, 1990,1992, 1995, 1998,1999, 2000, 2001, 2005, 2006, 2009, 2013,2014) où la durée de la saison agricole est inférieure à 105 jours. Ces années sont caractérisées par des débuts et/ou fins précoces de la saison selon les résultats d'analyses. En considérant donc la durée de la saison agricole, on peut conclure que le sorgho de 105 jours est plus exposé aux effets de la variabilité intra-saisonnière de pluies. Cela pourrait justifier le fait que les producteurs cultivent de moins en moins, les variétés de 105 jours au profit du sorgho de 90 jours qui est moins vulnérables. Les résultats de l'analyse ont montré les séquences sèches sont plus fréquentes en début et à la fin de saison. Cette observation des séquences sèches en début de saison de pluies n'est pas souhaitée par les producteurs. Ce qui dénote que les séquences sèches déterminent les risques potentiels de réémis liées à des pauses pluviométriques les plus longues observées sur les 30 jours après les semis.



**Figure 9 :** Comparaison de la durée de la saison pluvieuse avec les durées de cycles du sorgho  
 Légende : LSA = longueur de la saison agricole

## **4. Discussion**

### **4.1. Instabilité intra-saisonnière des pluies**

Les facteurs clés d'une saison agricoles sont les dates de démarrage, les dates de fin, les longueurs des saisons et les séquences sèches des saisons culturales. Cependant, les dates d'installation et d'arrêt de la saison des pluies ont montré, de plus en plus, une grande variabilité spatiotemporelle dans les différentes zones étudiées. Ces résultats sont similaires à ceux trouvés par Soumaré (2004) qui stipule qu'au Mali, les premières pluies revêtent d'une importance capitale dans la détermination du rendement des cultures et qu'en milieu tropical, les pluies sont erratiques en début de saison. Sur un même site, l'installation de l'hivernage peut varier de 30 jours d'une année à l'autre. De ce fait, en milieu paysan, la date de semis est rarement la même d'une année à l'autre (Traore et *al.*, 2013). Le potentiel de la saison dépend en grande partie de la date de semis qui résulte à la fois de la date d'installation des pluies et de l'étalement des semis dû aux systèmes de culture (Traore et *al.*, 2007). Plus, les pluies arrivent tôt, plus la saison est longue (Gnanglé et *al.*, 2011; Soumaré et *al.*, 2008). Ce phénomène résulte de l'indépendance entre les deux événements que sont les dates de début et de fin de la saison (Traoré et *al.*, 2000 ; Diallo et *al.*, 2011). Ainsi selon Akindélé et *al.*, (2012), Zachari et *al.*, (2012), Afouda et *al.*, (2014), Yabi et *al.*, (2016) et Chédé et *al.*, (2020), la qualité des saisons agricoles s'est dégradée depuis quelques décennies dans la mesure où les longueurs des saisons agricoles se raccourcissent de plus en plus avec la persistance des débuts tardifs, des interruptions de pluies au cœur de la saison et des mauvaises répartitions des précipitations.

### **4.2. Incidence de l'instabilité intra-saisonnière des pluies sur la production du sorgho**

Les cercles de Koulikoro et San sont impactés par une instabilité pluviométrique qui se manifeste par des démarrages tardifs et des fins précoces des pluies et l'arrivée imprévue de séquences sèches qui sont néfastes aux activités agricoles. Ces observations corroborent avec les résultats de Sané et *al.*, (2008) ; Sarr B. et *al.*, (2011) ; Traore et *al.*, (2013) ; Zongo (2016) et Boco et *al.*, (2017) qui ont fait les mêmes constats dans plusieurs pays de l'Afrique de l'Ouest. Le potentiel d'une saison culturale est donc principalement lié à la date de début ; la date de fin étant moins variable. Plusieurs auteurs montrent que plus les cultures s'installent tôt avec le début de la saison plus les rendements sont élevés (Sivakumar, 1987 ; Rocoli et *al.*, 2009 ; Vermeulen et *al.*, 2012). De même plusieurs expériences montrent que le manque d'eau en fin de cycle peut diminuer voire annuler le rendement. Le principal facteur explicatif de l'adaptation est l'évolution phénologique de la plante dont dépend, en un lieu donné, la concordance entre les phases de sensibilité à la sécheresse et les risques de sécheresse (Soumaré, 2004). Cependant, les pluies

tardives en fin de saison peuvent avoir à leur tour des conséquences néfastes sur les récoltes en détériorant la qualité des grains et en favorisant le développement des parasites (Soumaré et *al.*, 2004 ; Bazile et *al.*, 2008). Les résultats ont montré que sur les 2 années sur 10 les saisons se sont raccourcies de 102 jours à Koulikoro et 89 jours à San. Ce raccourcissement des longueurs des saisons agricoles couplées aux débuts tardifs, aux arrêts de pluies durant de la saison et aux mauvaises répartitions des pluies détériorent la qualité des saisons agricoles. A ce titre, Adjakpa et *al.*, (2017) soutiennent que le raccourcissement de la longueur de la saison pluvieuse, l'apparition des séquences sèches au début et à la fin de la saison pluvieuse, les débuts tardifs et fins précoces de la saison pluvieuse entraînent le bouleversement des calendriers agricoles et influencent négativement la bonne productivité du maïs au Bénin. Cette variabilité des facteurs clés de la saison agricole a pour conséquence la diminution des pluies et cela a été prouvé par de nombreux auteurs. Il est évident que la baisse de la pluviométrie a entraîné l'adoption par les paysans de variétés à cycles plus courts que les cultivars traditionnels. Au Burkina Faso, le cycle des variétés de sorgho utilisées par les paysans serait même passé de 120-150 jours à 70-90 jours durant les 15 dernières années (Kouressy et *al.*, 2008 ; Louafi et *al.*, 2013).

## **Conclusion**

L'étude de l'analyser des effets de l'instabilité intra-saisonnière des pluies pour l'identification des périodes optimales de semis du sorgho en zones soudanienne et sahélienne du Mali montre que dans le cercle de Koulikoro, les dates probables des démarrages de la pluvieuse se situent entre le 06 mai et le 01 août de chaque année. Par contre à San, les dates probables des démarrages de la pluvieuse se situent entre le 12 mai et le 01 août de chaque année. Dans le cercle de Koulikoro, la fin de la saison pluvieuse se situe généralement entre le 06 septembre et le 04 novembre de chaque année. Dans la localité de San, la fin de la saison pluvieuse se situe généralement entre le 03 septembre et le 02 novembre de chaque année. Les SS1 sont les pauses pluviométriques constatées dans le cercle de Koulikoro et elles décroissent au fur et à mesure jusqu'au mois de septembre. Les SS4 s'accroissent jusqu'au mois de juillet et d'octobre. A San, les SS1 et SS4 sont similaires à ceux du cercle de Koulikoro. Par contre les SS3 sont un peu élevés durant les mois de mai, juillet, août et septembre. Dans le cercle de Koulikoro, en dehors d'une année sur 31, la durée de la saison agricole est toujours supérieure à 90 jours. Dans ces conditions, la variété du sorgho de 90 jours et de 105 jours peut se cultiver normalement depuis la levée jusqu'à la maturation. Par contre à San, en dehors 6 années 31 la durée de la saison agricole est toujours supérieure à 90 jours la variété du sorgho de 90 jours et

peuvent se cultiver normalement depuis la levée jusqu'à la maturation par contre la variété de 105 jours est compromise.

Au regard de l'intérêt que les producteurs accordent à la culture du sorgho, ils appliquent plusieurs mesures d'adaptation (planification du calendrier agricole, adoption de la variété culturale à cycle court, utilisation d'engrais) dont l'efficacité mérite d'être analysée.

A cet effet, les instituts de formation, recherche, les services de vulgarisation, les services producteurs des données météorologiques et climatologiques et les producteurs de la culture du sorgho doivent travailler ensemble pour conjuguer leurs efforts dans le cadre de l'ajustement d'un bon démarrage de la campagne agricole au niveau des deux zones d'études en particulier et au Mali en général.

### Remerciements

L'équipe de recherche adresse ses sincères remerciements au Projet de Renforcement des capacités des Institutions de l'Enseignement Supérieur dans la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (IES4GIRE NICHE\_MLI\_251) pour avoir financé les présents travaux de recherche.

### References:

1. Ackatia-Armah, R. S., McDonald, C. M., Doumbia, S., Erhardt, J. G., Hamer, D. H., & Brown, K. H. (2015): Malian children with moderate acute malnutrition who are treated with lipid-based dietary supplements have greater weight gains and recovery rates than those treated with locally produced cereal-legume products: a community-based, cluster-randomized trial. *The American journal of clinical nutrition*, 101(3), 632-645.
2. Adjakpa, J. B., Yabi, I., Adjalala D. K., & Houssou S.C. (2017): Variabilité intra-saisonnières des pluies et production du maïs dans la commune de Natitingou au nord-Bénin. *Climat et Développement-Bénin*, 22. 1-42
3. Afouda, F., Salako, P. M. A., & Yabi, I. (2014): Instabilité intra-saisonnière des pluies de la grande saison agricole dans la commune de Kétou au Bénin. *Revue de géographie du laboratoire Leïdi-ISSN*, 0851-2515.
4. Akindélé A., Yabi I. & Afouda F., 2012: Production agricole dans la commune de Kétou : vulnérabilité aux contraintes climatiques et possibilités d'adaptation. *Les Cahiers du CBRST*, 2, pp. 124-144.
5. Balme M., Galle S. & Lebel T., 2005: Démarrage de la saison des pluies au Sahel : variabilité aux échelles hydrologique et agronomique, analysée à partir des données EPSAT-Niger, *Sécheresse*, 16, 1, pp. 15-22.

6. Bazile, D., Abrami, G., Dembélé, S., Coulibaly, H., Le Page, C., Dionnet, M., ... & Sangare, K. (2008): Modélisation multi-agents des réseaux d'échanges de semences pour la conservation de la biodiversité agricole. BRG. 7. 29-50
7. Bélières, J. F. (2014): Agriculture familiale et politiques publiques au Mali.35p
8. Chédé D. F, Yabi I, Houndénou, C. (2020) : Variabilité intra-saisonnière de la grande Saison Pluvieuse dans le Sud-Benin. European Scientific Journal,16 (6) (Print) e - ISSN 1857- 7431
9. Dekoula, C. S., Kouame, B., N'goran, E. K., Yao, F., Ehounou, J. N., & Soro, N. (2018): Impact de la variabilité pluviométrique sur la saison culturale dans la zone de production cotonnière en Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal, ESJ, 14*(12), 143-156.
10. Diallo, H., Bamba, I., Barima, Y. S. S., Visser, M., Ballo, A., Mama, A., ... & Bogaert, J. (2011). Effets combinés du climat et des pressions anthropiques sur la dynamique évolutive de la végétation d'une zone protégée du Mali (Réserve de Fina, Boucle du Baoulé). *Science et changements planétaires/Sécheresse, 22*(2), 97-107.
11. FAO., 2012 : Twenty-Seventh FAO Regional Conference for Africa. ARC/12/REP, Brazzaville Congo, 23-27 April 2012, Rev.1.
12. Faostat 2018. <http://Www.Fao.Org/Faostat/En/#Data/QC>. Consulté le 18/01/2020
13. Faye, C. (2017): Variabilité et tendances observées sur les débits moyens mensuels, saisonniers et annuels dans le bassin de la Falémé (Sénégal). *Hydrological Sciences Journal, 62*(2), 259-269.
14. Gnanglè, C. P., Glèlè Kakaï, R., Assogbadjo, A. E., Vodounnon, S., Afouda Yabi, J., & Sokpon, N. (2011): Tendances climatiques passées, modélisation, perceptions et adaptations locales au Bénin. *Climatologie, (Volume 8)*, 27-40.
15. Kihindo, A. P., Bazie, H. R., Ouedraogo, R. F., Some, P. P., Dondasse, E., Zombre, G., & Tozo, K. (2016): Variation de la réponse physiologique et agronomique du niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp) à différentes dates de semis au Burkina Faso. *Journal of Applied Biosciences, 107*(1), 10353-10361.
16. Kouamé, B., Ehounou, J. N., Kassin, K. E., Dekoula, C. S., Yao, G. F., N'goran, E. K., ... & Soro, N. Caractérisation Des Paramètres Agroclimatiques Clés De La Saison Culturelle En Zone De Contact Forêt-Savane De Côte-d'Ivoire. (2018): *European Scientific Journal, ESJ, 14* (36), 243 – 259.
17. Kouressy, M., Traoré, S. B., Vaksmann, M., Grum, M., Maikano, I., Soumaré, M., & Sidibé, A. (2008): Adaptation des sorghos du Mali à la variabilité climatique. 17 (2) 95-100

18. Lobell D. B., Burke M. B., Tebaldi C., Mastrandrea M. D., Falcon W. P. et Naylor R. L., 2008. Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science*, 319(5863), 607-610.
19. Lodoun, T., Giannini, A., Traore, P. S., Some, L., Sanon, M., Vaksmann, M., & Rasolodimby, J. M. (2013): Changes in seasonal descriptors of precipitation in Burkina Faso associated with late 20th century drought and recovery in West Africa. *Environmental Development*, 5, 96-108.
20. Louafi, S., Bazile, D., & Noyer, J. L. (2013): Conserving and cultivating agricultural genetic diversity: transcending established divides. In *Cultivating biodiversity to transform agriculture* (pp. 181-220). Springer, Dordrecht.
21. Ozer, P., & Perrin, D. (2014): Eau et changement climatique. Tendances et perceptions en Afrique de l'Ouest. *Eau, milieux et aménagement. Une recherche au service des territoires*, 227-245.
22. Roncoli, C., Jost, C., Kirshen, P., Sanon, M., Ingram, K. T., Woodin, M., ... & Yaka, P. (2009): From accessing to assessing forecasts: an end-to-end study of participatory climate forecast dissemination in Burkina Faso (West Africa). *Climatic Change*, 92(3-4), 433.
23. Sané, T., Diop, M., & Sagna, P. (2008) : Étude de la qualité de la saison pluvieuse en Haute-Casamance (Sud Sénégal). *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 19(1), 23-28.
24. Sarr, B., Kafando, L., & Atta, S. (2011): Identification des risques climatiques de la culture du maïs au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5(4), 1659-1675.
25. Sarr, Benoît (2007): Instat+ en Bref : manuel d'utilisation destiné aux ingénieurs en agro météorologie. Centre Régional Agrhymet, Niamey, 73p. Sarr Alioune Badara ; Camara Moctar (2017) : Evolution Des Indices Pluviométriques Extrêmes Par L'analyse De Modèles Climatiques Régionaux Du Programme CORDEX: Les Projections Climatiques Sur Le Sénégal. European Scientific Journal June 2017 edition Vol.13, No.17 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431
26. Sebbar, A., Filali, B., Hsaine, M., Fougrache, H., Ilmen, R., & Badri, W. (2018): Démarrage des saisons de pluies et optimisation de la date de semis à la région Casablanca-Settat (Maroc) 6 p.
27. Seneviratne, S., Nicholls, N., Easterling, D., Goodess, C., Kanae, S., Kossin, J., & Reichstein, M. (2012): Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. 3.109-230
28. Sissoko K., Savadogo K., Vaksmann M., et Tientore A., 2018: Cereal crops choices and economic resilience face to climate variability in southern Mali. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 7(1), 116-126.

29. Sissoko P., Aune J. B., Sennevåg G., Teme B. & Lebailly P., 2017: Vulnerability evaluation of millet and sorghum cropping system to climate change and adoption of new technologies in Mali. *Asian Journal of Science and Technology*, 8(1), 4176-4182.
30. Sivakumar MVK. Predicting rainy season potential from the onset of rains in Southern Sahelian and Sudanian climatic zones of West Africa. *Agric For Meteorol* 1988; 42 : 295-305.
31. Soumaré, M., Kouressy, M., Vaksmann, M., Maikano, I., Bazile, D., Traoré, P. S. ... & Somé, L. (2008): Prévission de l'aire de diffusion des sorghos photopériodiques en Afrique de l'Ouest. *Cahiers Agricultures*, 17(2), 160-164.
32. Soumaré, M., Kouressy, M., Vaksmann, M., Maikano, I., Bazile, D., Traoré, P. S., ... & Somé, L. (2008) : Prévission de l'aire de diffusion des sorghos photopériodiques en Afrique de l'Ouest. *Cahiers Agricultures*, 17(2), 160-164.
33. Traore B., 2014: Climate Change, Climate Variability and Adaptation Options in Smallholder Cropping Systems of the Sudano – Sahel Region in West Africa. PhD, Wageningen University. 163 pages.
34. Traoré L., Bello O. D., Togola A., Balogoun I., Chabi F., Yabi I. & Saïdou A., 2021: Farmers' perceptions of climate change and adaptation strategies on sorghum productivity in the Sudanian and Sahelian zones of Mali. *African Crop Science Journal*, 29(1), 157-175.
35. Traoré S. B., Alhassane A., Muller B., Kouressy M., Somé L., Sultan B. & Diop M., 2011: Characterizing and modeling the diversity of cropping situations under climatic constraints in West Africa. *Atmospheric science letters*, 12(1), 89-95.
36. Traore S.B., Reyniers F.N., Vaks mann M. *et al.*, 2000: Adaptation à la sécheresse des écotypes locaux de sorghos du Mali. *Sécheresse*, 11 (4) : 227-37.
37. Traore, B., Corbeels, M., Van Wijk, M. T., Rufino, M. C., & Giller, K. E. (2013): Effects of climate variability and climate change on crop production in southern Mali. *European Journal of Agronomy*, 49, 115-125.
38. Traoré, P. C. S., Kouressy, M., Vaksmann, M., Tabo, R., Maikano, I., Traoré, S. B., & Cooper, P. (2007): Climate prediction and agriculture: What is different about Sudano-Sahelian West Africa?. In *Climate Prediction and Agriculture* (pp. 189-203). Springer, Berlin, Heidelberg.
39. Vadez, V., Hash, T., & Kholova, J. (2012): II. 1.5 Phenotyping pearl millet for adaptation to drought. *Frontiers in physiology*, 3, 386.

40. Vermeulen, S. J., Aggarwal, P. K., Ainslie, A., Angelone, C., Campbell, B. M., Challinor, A. J., ... & Lau, C. (2012): Options for support to agriculture and food security under climate change. *Environmental Science & Policy*, 15(1), 136-144.
41. Yabi I. Issa M-S., Zakari S. et Afouda F., 2016: Instabilité intra-saisonnière des pluies dans le Département de l'Atacora (Nord-Ouest du Bénin), Actes du XXIXème Colloque de l'AIC, Bourgogne Franche-Comté (UBFC) site de Besançon (France) France, pp. 387-392.
42. Yabi I., 2013: Incidences de la variabilité de la durée de la seconde saison agricole sur la production de l'arachide dans la commune de Savalou au Bénin, Revue de géographie du laboratoire Leïdi n° 11, Saint Louis, Sénégal, pp. 58-74.
43. Zakari S., Yabi I., Ogowalé E., Boko M., (2012): Analyse de quelques caractéristiques de la saison des pluies dans le Département du Borgou (Bénin, Afrique de l'Ouest). In : *Actes du XXVème Colloque de l'AIC*, Grenoble, France, pp. 693-698.
44. Zongo, B. (2016) : *Stratégies innovantes d'adaptation à la variabilité et au changement climatiques au Sahel: Cas de l'irrigation de complément et de l'information climatique dans les exploitations agricoles du Burkina Faso* (Doctoral dissertation, Université de Liège, Liège, Belgique).