

INFLUENCE DU DECALAGE DES SEMIS SUR LES BESOINS EN EAU DE DEUX VARIETES DE MIL (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) EN ZONE SOUDANAIENNE DE LA COTE D'IVOIRE

L. A. C. SIENE^{1*}, R. BAYALA², I. DRABO³, G. KANFANY^{4,5}, T. V. F. N'GUETTIA¹, M. CONDE¹, A. F. B. KOUADIO¹, B. J.-M. DROGBA¹

¹UFR des Sciences Biologiques / Département de Biologie Végétale, Université Peleforo GON COULIBALY, Korhogo, Côte d'Ivoire (BP 1328 Korhogo / www.univ-pgc.edu.ci)

²Université Jean Lorougnon GUEDE / UFR Agroforesterie / BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire / www.ujlog.ci.

³Centre National de Recherche Scientifiques et Technologiques (CNRST)/Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Centre de Recherches Environnementales, Agricoles et de Formation (CREAF) de Kamboinsé Burkina Faso BP 476 Ouagadougou 01

⁴Centre National de Recherches Agronomiques de Bambey (CNRA), Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, BP 211 Bambey, Sénégal

⁵Département de Productions Végétales et Agronomie, UFR des Sciences Agronomiques, de l'Aquaculture et des Technologies Alimentaires (S2ATA), Université Gaston Berger, B.P. 234, Saint Louis, Sénégal

*Auteur correspondant, Email : s.silamca@gmail.com / téléphone : 00225 07 08 82 30 34

RESUME

En Côte d'Ivoire, les anomalies pluviométriques constatées depuis quelques décennies, influencent le calendrier cultural et le choix des variétés, notamment du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.). L'objectif de cette étude est de permettre de mieux planifier les périodes de semis de cette culture. Pour ce faire, deux variétés de différentes durées de cycle ont été semées selon un dispositif expérimental en essai factoriel (2 variétés x 3 dates de semis). Les variétés étudiées ont été la variété de mil précoce SOUNA3 et une variété de mil local tardive dénommée «sagon». Les dates de semis ont été les suivantes : 09 Juillet 2019, le 31 juillet et le 16 août. Les besoins en eau des plants (ET_r) ont été calculés à l'aide du logiciel CROPWAT (version 8.0). Cette étude a révélé concernant la distribution des pluies au cours des cycles culturaux que la période critique se trouve en fin de cycle. Les variétés précoces échappent généralement à ce déficit hydrique par rapport aux variétés tardives pour l'ensemble des dates de semis appliquées. Cependant, la seconde date de semis conviendrait le mieux à cette variété dans la zone d'étude. La première date de semis serait par contre la période idéale pour les variétés tardives. L'importance de la date de semis dans la satisfaction des besoins en eau des plantes, au cours du cycle de culture du mil a ainsi été mise en évidence au cours de cette étude.

Mots-clés : Besoin en eau, cycle de culture, date de semis, mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), Côte d'Ivoire.

ABSTRACT

INFLUENCE OF SOWING DELAY ON THE WATER NEEDS OF TWO VARIETIES OF MILLET (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) IN THE SUDANIAN ZONE OF CÔTE D'IVOIRE

In Côte d'Ivoire, the rainfall anomalies observed over the past few decades have influenced the cropping calendar and the choice of varieties, particularly millet. The objective of this study is to make it possible to better plan the sowing periods of this crop. To do this, two varieties of different cycle lengths were sown according to an experimental device in factorial test (2 varieties x 3 sowing dates). The varieties studied were the early millet variety SOUNA3 and a late local millet variety called «sagon». The sowing dates were as follows: July 09, 2019, July 31 and August 16. Plant water requirements (ET_r) were calculated using CROPWAT software (version 8.0). This study revealed concerning the distribution of rainfall during crop cycles that the critical period is at the end of the cycle. Early varieties generally

escape this water deficit compared to late varieties for all the sowing dates applied. However, the second sowing date would best suit this variety in the study area. On the other hand, the first sowing date would be the ideal period for late varieties. The importance of the sowing date in meeting the water needs of plants during the millet crop cycle was thus highlighted during this study.

Keywords: Water requirement, crop cycle, sowing date, millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), Côte d'Ivoire.

INTRODUCTION

Le mil à chandelle (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) est une céréale originaire d'Afrique de l'Ouest, plus précisément de la zone Nord-Est du fleuve Sénégal (Tostain, 1998 ; Oumar *et al.*, 2008 ; Burgarella *et al.*, 2018). Il est principalement cultivé dans les zones tropicales sèches en Afrique de l'Ouest et en Inde. En Côte d'Ivoire, le mil est présent dans la partie Nord du pays et occupe la troisième place des céréales produites et consommées dans le pays, après le riz et le maïs (Parry, 1982 ; Béninga, 2007). Il entre dans l'alimentation humaine et animale pour la qualité de son fourrage (Bouzou, 2009). Cependant, la majorité des cultivars qui sont utilisés dans cette zone sont traditionnelles (Sangaré *et al.*, 2009). Bien que cette céréale, soit une plante capable de s'adapter aux conditions extrêmes typiques (hautes températures, sols peu fertiles, faibles précipitations), elle reste sensible au déficit hydrique au cours de la phase végétative et de remplissage des grains (Mahamadou, 2004 ; Yang et Zhang, 2006 ; Aslani et Mehrvar, 2012 ; Debieu *et al.*, 2018).

Depuis quelques années, la variabilité climatique et ses conséquences sur la sécurité alimentaire et l'environnement préoccupe les scientifiques et les décideurs politiques (Doukpolo, 2007). Les prévisions climatiques annoncent des fluctuations intra ou inter annuelles élevées et la manifestation des phénomènes extrêmes de la pluviométrie et de la température (Servat *et al.*, 1999 ; Brown *et al.*, 2006 ; Noufé, 2012).

Des études récentes menées au Nord du pays, ont montré une tendance significative à la baisse des cumuls pluviométriques saisonniers, du nombre de jours de pluies et des précipitations moyennes journalières (Dekoula *et al.*, 2018). Ces anomalies pluviométriques qui ont pour conséquence une plus grande occurrence des poches de sécheresse au cours du cycle cultural se traduisent donc par une influence sur le calendrier cultural notamment par une incertitude sur les dates de semis (Sivakumar, 1991). En effet, la date de semis est l'une des

pratiques agricoles qui consiste à faire coïncider le cycle de développement des cultures céréalières avec la saison des pluies (Hanchane, 2009). Pratiquement, cette date est devenue très fluctuante d'une année à l'autre à cause de la variabilité interannuelle de l'arrivée des premières pluies. La décision de semis, le choix d'une variété et le calage du cycle de culture deviennent difficiles dans ces conditions.

Face donc à l'instabilité naturelle du régime pluviométrique et l'extrême variabilité des paramètres agro-climatiques, les paysans n'arrivent plus à déceler les dates probables de début et de fin des saisons pluvieuses qui sont essentielles pour optimiser les productions agricoles (El Mourid, 1988). Pourtant selon Eldin (1990), la répartition des pluies est très importante pour le développement du mil. En effet, les échecs de récolte sont plus généralement dus à la variabilité de la distribution des pluies au cours de la saison qu'à un réel déficit du cumul annuel (Balme-Debionne, 2004 ; Sanou *et al.*, 2016). C'est une céréale qui résiste bien à la sécheresse en début de végétation et les besoins en eau deviennent importants depuis la montaison jusqu'à la maturité avec un maximum à la floraison. Pour faire face à cet ensemble de contraintes climatiques, les techniques utilisées ont concerné aussi bien la création de variétés tolérantes à la sécheresse que le choix de pratiques culturales appropriées (El Mourid, 1988 ; Siéné *et al.*, 2020a).

Face à l'importance que le mil représente dans la lutte contre l'insécurité alimentaire dans les zones de production, la connaissance de la saison des pluies utiles en termes de dates de début de pluie et de fin de pluie, de longueur de pluie et de cumul pluviométrique saisonnier pourrait aider les agriculteurs dans le choix des moments de semis et des variétés à semer pour minimiser les risques climatiques (Balme *et al.*, 2005). D'où l'intérêt de cette étude qui a pour objectif de contribuer à fournir des informations permettant de mieux planifier les périodes de semis de cette culture. De façon spécifique, il s'agira de déterminer l'évolution pluviométrique annuelle sur les cinq dernières années dans la

zone d'étude, d'établir la relation entre les stades de développement des génotypes de mil étudiées et le climat (ETo + Pluie) et de calculer les besoins en eau des plants des variétés de mil étudiées à chaque phase phénologique par date de semis.

MATERIEL ET METHODES

SITE D'ETUDE

L'essai a été conduit sur le site expérimental de l'Université Peleforo GON COULIBALY

(UPGC), située dans le Département de Korhogo (9°25'56,1" de latitude Nord ; 5°38'2" de longitude Ouest et 370 m d'altitude) (Figure 1). Le climat de ce département est de type soudanien et est marqué par une alternance de deux saisons : la saison sèche marquée par l'harmattan entre novembre et avril et la saison des pluies, de mai à octobre, avec une pluviométrie maximale en juillet et août. La pluviométrie annuelle varie entre 1 100 et 1 600 mm par année. La température du département de Korhogo varie entre 24 et 33 °C. Les mois les plus chauds sont février, mars et avril avec 36 °C, et les mois les plus frais sont décembre et janvier avec 16 °C (Anonyme, 2015).

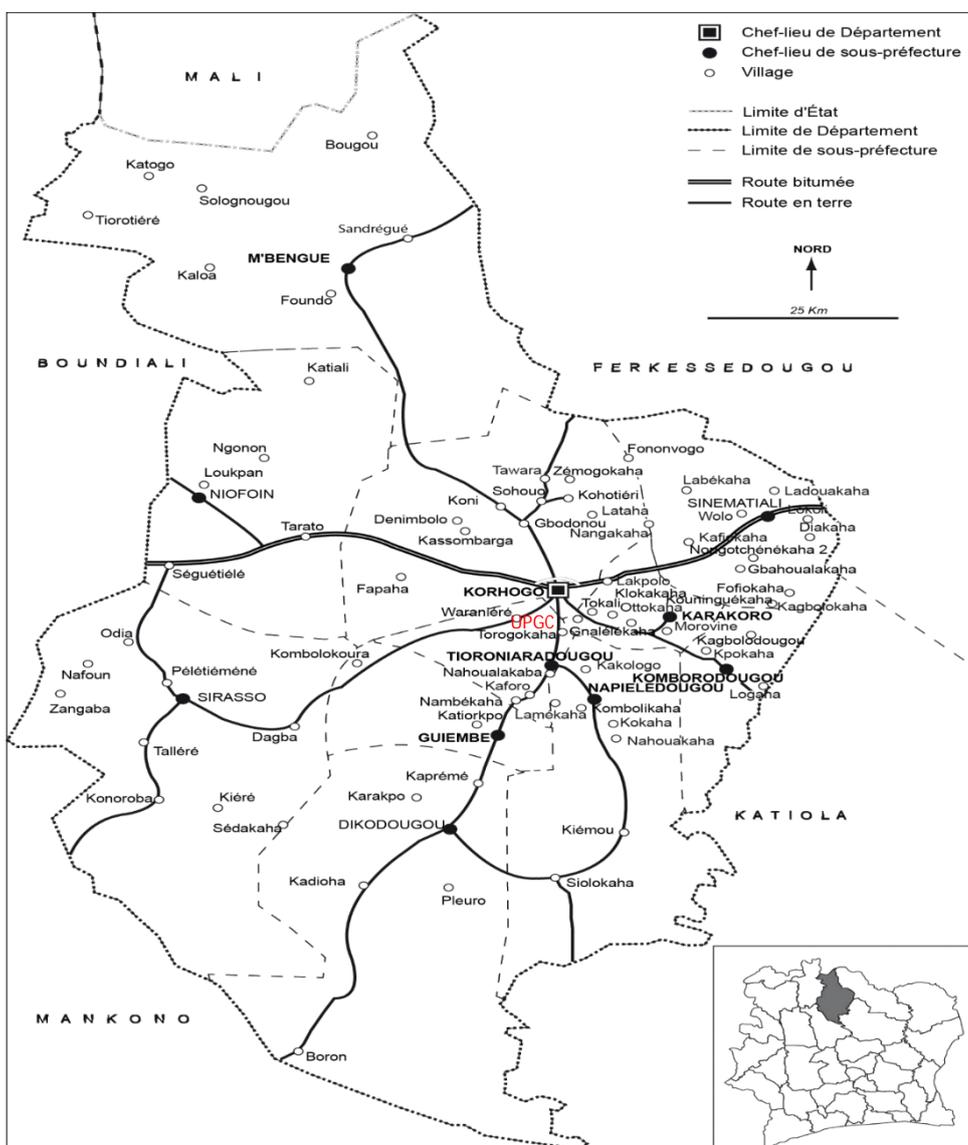


Figure 1: Carte de la ville de Korhogo (Anonyme, 2016).

Map of the city of Korhogo (Anonymous, 2016).

MATERIEL VEGETAL

Le matériel végétal a été constitué de deux génotypes de mil, dont l'un précoce (SOUNA 3) et l'autre tardive dénommée «sagnon» en langue locale. La variété précoce provient du Sénégal et a une durée de cycle comprise entre 85 et 95 jours. Elle permet d'obtenir un rendement moyen variant entre 2,4 et 3,5 t/ha. Elle est faiblement photosensible et est peu résistante au mildiou et aux insectes (ISRA, 2012). Les valeurs minimale, moyenne et maximale des besoins en eau de cette variété sont respectivement 380, 418 et 460 mm (Dancette, 1983). La variété tardive de mil est cultivée en Côte d'Ivoire. Elle peut avoir une taille de 3 à 4 m, avec un cycle cultural de 120 à 140 jours et un rendement de 2,5 t/ha en milieu paysan. Elle est photopériodique de jours courts. Une pluviométrie annuelle de 1 100 mm à 1 300 mm bien répartie peut assurer une récolte satisfaisante de cette variété de mil (Béninga et Ankanvou, 2005 ; Béninga, 2015).

METHODES

Préparation des parcelles et opérations préliminaires

Un labour suivi du nivellement, du piquetage et de la confection de billons cloisonnés ont été effectués quelques jours avant la date de semis de chaque essai. La fiente de poulet a été épandue sur les billons cloisonnés à la dose de 10 kg par parcelle élémentaire, à raison de 20 tonnes/ha tous les trois ans, dose recommandée par la recherche (Chaibou, 2013), quinze (15) jours avant le semis. Le sol de la parcelle d'expérimentation a été traité contre les termites et les fourmis avec du Pyrical (50G), microgranulé, appliqué à la dose de 20 kg/ha, trois jours avant le semis.

Facteur étudié

Le facteur étudié a été la date de semis. Les semis ont été effectués en condition humide sur billon en 3 dates différentes : le 09 Juillet 2019 pour le premier semis, le 31 juillet 2019 pour le deuxième semis et le 16 août 2019 pour le troisième semis. Au total 6 essais ont été conduits, soit deux par date de semis. Un démariage a été effectué pour garder 3 plants par poquet 15 jours après levée.

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est un essai factoriel (2 variétés x 3 dates de semis). Chacune des deux variétés a été semée en 3 répétitions pour chaque date de semis sur une parcelle élémentaire de 2 m x 2,5 m. Chaque date de semis constitue un bloc pour chaque variété. Soit 6 blocs pour l'ensemble de l'essai. Les parcelles élémentaires ou répétitions à l'intérieur des blocs sont espacées de 1 m. Les blocs sont espacés entre eux de 2 m. Chaque parcelle élémentaire comporte 4 lignes espacées de 0,8 m et chaque ligne comporte 5 poquets espacés de 0,5 m.

Observations phénologiques

Les observations ont porté sur les dates de la levée, du tallage, de la montaison, de l'épiaison, de la floraison et de la maturité physiologique. Les stades de développement (levée, tallage, montaison, épiaison, floraison et maturité physiologique) ont été considérés effectifs, lorsque 50 % des plants de la parcelle ont atteint ces différents stades. Les dates de la levée, de la floraison et de la maturité physiologique ont permis de déterminer le temps d'émergence, la durée des phases végétative et reproductive et la durée du cycle.

METHODE DE CALCUL DES BESOINS EN EAU DES PLANTES (ETC)

Données pluviométriques de la zone d'étude

Les données pluviométriques de la zone d'étude durant la période 2015 à 2020 ont été recueillies auprès de la Direction Régionale de l'Agriculture de Korhogo. Ces données ont permis de déterminer la pluviométrie annuelle et le nombre de jours de pluies annuel, durant la période 2015-2020.

Pluies réelles sur le site expérimental

Les données pluviométriques du site ont été collectées à l'aide d'un pluviomètre à lecture directe, durant l'expérimentation en 2019, fixé sur un mât de 2 m de hauteur. Ces données pluviométriques ont permis de calculer les besoins en eau des plants et des quantités d'eau complémentaires à apporter par irrigation au cours des différents cycles de culture. Elles ont également permis de suivre la distribution des

pluies, au cours de ces cycles culturaux.

Calcul des besoins en eau des plants de mil

Les besoins en eau des plants ont été calculés, au cours de l'expérimentation en 2019, comme suit : $ET_c = ETo \times Kc$

Avec : ET_c : évapotranspiration de la culture, ETo : évapotranspiration de référence et Kc : coefficient cultural.

Le logiciel CROPWAT (version 8.0) développé par Allen *et al.*, (2005) à partir du modèle de Penman-Monteith method a été utilisé pour l'estimation des besoins en eau des deux génotypes de mil. L' ETo journalière a été calculée avec le logiciel CROPWAT (version 8.0), au cours de l'expérimentation à partir des températures maximum et minimum ($^{\circ}C$), l'humidité relative (%), la vitesse du vent ($m\ s^{-1}$), et l'insolation (heures). Ces données climatiques ont été obtenues à partir de la base de données disponible en ligne <https://www.historique-meteo.net/afrique/cote-d-ivoire/korhogo/2019>.

Les besoins en eau des plants de mil ont été estimés en prenant en compte une durée du cycle de chaque variété, c'est-à-dire 90 jours pour la variété précoce (SOUNA3) et 120 à 140 jours pour la variété tardive dénommée «sagnon». Le cycle du mil comprend quatre phases phénologiques (stade initial ou démarrage, stade de croissance ou développement végétatif, stade de mi-saison ou floraison, stade d'arrière-saison ou remplissage du grain + maturation des grains) qui déterminent les besoins en eau des plantes. Ces phases ont été adaptées à celle observée sur les deux génotypes de mil. Pour chacune des phases, un coefficient cultural (kc) a été déterminé, rapport entre l'évapotranspiration réelle maximum de la culture ($ETRM$) et l'évapotranspiration potentielle (ETo) de référence du site et de la période considérée. Ces coefficients ont été déterminés à partir des coefficients de référence de la culture, pondérés en fonction des conditions moyennes de vent et d'humidité relative de l'air au cours de la période

de culture (Allen *et al.*, 1998). La texture du sol de la parcelle d'expérimentation proposé par le logiciel, est un sol sablo-limoneux (Siéné *et al.*, 2020b) qui présente une réserve utile de 140 mm/m et une vitesse d'infiltration de 30 mm/jour.

Besoins et périodes d'irrigation des plants de mil

En plus des besoins en eau, le logiciel a permis de calculer les pluies efficaces et les quantités d'eau à apporter sous forme d'irrigation aux plants, en cas de déficit hydrique.

Traitement et analyse des données

Le logiciel statistique XLSTAT version 2014 a permis de faire l'analyse de la Variance et la comparaison des moyennes. Pour la comparaison des moyennes, le test de Newman et Keuls a été considéré au seuil de 5 %.

RESULTATS

La pluviométrie annuelle et le nombre de jours annuel de pluies enregistrés dans la zone d'étude de 2015 à 2020

La pluviométrie enregistrée durant la période de 2015 à 2020 présente de grandes variations interannuelles (Figure 2). La moyenne du cumul pluviométrique durant les 5 ans a été de 1035,8 mm dans l'intervalle du minimum et du maximum enregistré en 2018 et 2019. En comparant la pluviométrie des deux années, une augmentation de la pluviométrie de plus de 60 % entre ces deux années successives a été constatée. La distribution des précipitations peut être déterminée par les nombres totaux de jours de pluies par an sur la période 2015 à 2020. Le nombre de pluies a varié de 37 à 71 jours, avec une moyenne de 56 jours par an. D'une manière générale, les précipitations annuelles ont été concentrées sur environ 2 mois et demi. Le plus grand nombre de jours de pluies a été observé en 2015.

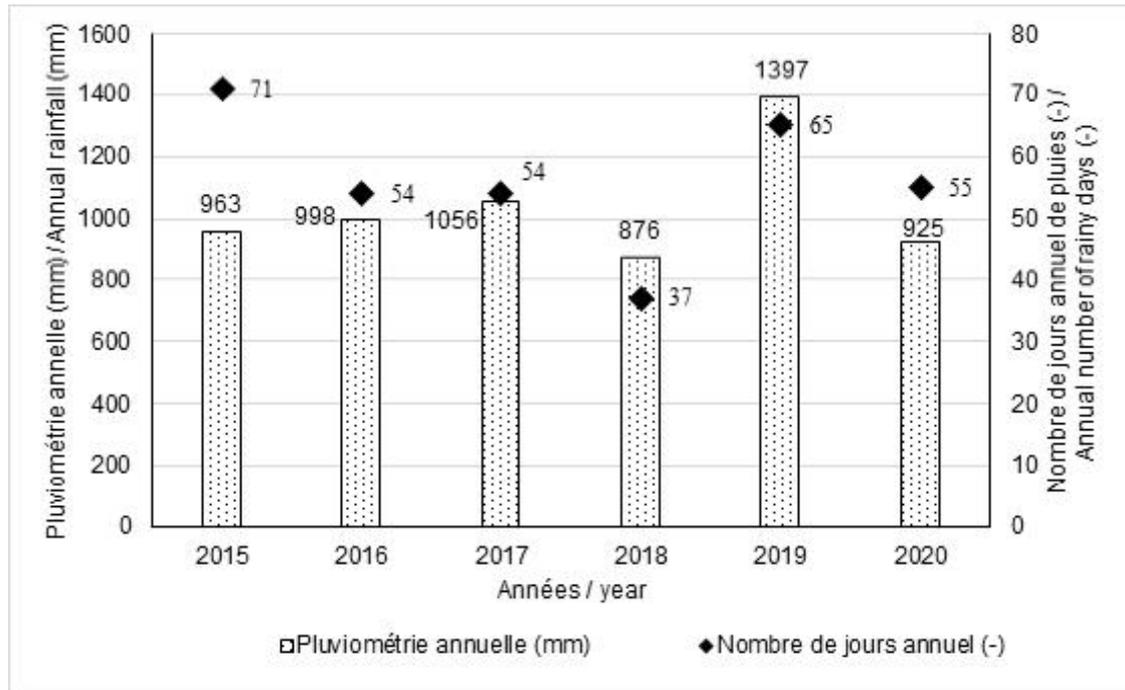


Figure 2 : Pluviométrie annuelle et nombre de jours annuel de pluies enregistrés dans la zone d'étude de 2015 à 2020.

Annual rainfall and annual number of rainy days recorded in the study area from 2015 to 2020.

PHASES PHENOLOGIQUES DES VARIETES DE MIL EN FONCTION DES DATES DE SEMIS

Les différentes phases phénologiques des deux variétés de mil en fonction de la date de semis, sont présentées dans le tableau 1. Concernant le délai d'émergence et la phase reproductive, les résultats de l'analyse statistique n'ont pas montré de différences significatives quelles que soient la date de semis et la variété. La durée du délai d'émergence a été de 3,3 jours en moyenne quelle que soit la variété. Celle de la phase reproductive a été de 26 jours en moyenne pour la variété précoce et de 30,33 jours en moyenne pour la variété tardive. L'analyse statistique de la durée de la phase végétative a présenté une différence significative entre les dates de semis en fonction de la variété. La variété précoce a présenté la phase végétative

la plus courte ($P < 0,001$) avec une durée moyenne de 49,33 jours à la première date de semis. Chez la variété tardive ($P < 0,0004$), la plus courte durée moyenne (77 jours) a été observée à la troisième date de semis et la plus longue (98 jours) à la première date de semis. Une durée intermédiaire (86,33 jours) a été obtenue à la deuxième date de semis. Par rapport à la durée du cycle, les résultats de l'analyse statistique ont révélé une différence significative entre les dates de semis quelle que soit la variété. Chez la variété précoce ($P < 0,0007$), le cycle a été plus court (82,33 jours) à la première date de semis par rapport aux deux autres dates. Chez la variété tardive ($P < 0,0006$), elle a été plus courte (111 jours) au troisième semis et plus longue (131 jours) au premier semis. Le deuxième semis a présenté une durée intermédiaire (120,33 jours).

Tableau 1 : Phases phénologiques des variétés de mil en fonction des dates de semis.*Phenological phases of millet varieties according to sowing dates.*

Phases phénologiques (jours) / Phenological phases (days)					
Variétés/ Varieties		Levée/ Lifting	Phase Végétative/ Vegetative phase	Phase Reproductive/ Reproductive phase	Durée semis- maturité/ Duration sowing- maturity
Variété précoce/ Early variety (SOUNA3)	S1	3a	49,3b	30a	82,3b
	S2	4a	55,3a	30a	89,3a
	S3	3a	54,0a	28a	85,0a
Variété tardive/ Late variety (sagnon)	S1	3a	98,0a	30a	131,0a
	S2	4a	86,3b	30a	120,3b
	S3	3a	77,0c	31a	111,0c

Pour une variable et un effet donné, les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %, test de Newman et Keuls.

For a given variable and effect, the means assigned the same letter are not significantly different at the 5% level, Newman et Keuls's test.

S1 : date de semis 1 ; S2 : date de semis 2 et S3 : date de semis 3

S1 : sowing date 1 ; S2 : sowing date 2 et S3 : sowing date 3

Relation entre les stades de développement des variétés de mil et le climat (ETo + Pluie)

Les valeurs de l'évapotranspiration de référence (ETo) ainsi que la répartition des pluies ont varié au cours du cycle des différentes variétés de mil et des dates de semis (figures 3 et 4). Durant le cycle de développement de la variété précoce (SOUNA3), les valeurs de l'évapotranspiration de référence ETo ont varié en fonction des phases phénologiques. Pour le premier semis (S1), le tallage et la montaison du mil ont eu lieu avec une valeur moyenne de ETo égale à 5,4 mm/j. Cette valeur a augmenté légèrement pour atteindre 5,5 mm/j de la montaison à l'épiaison et a diminué entre l'épiaison et la floraison (5,3 mm/j) pour atteindre la valeur la plus élevée de 5,6 mm/j entre les stades de la floraison et de la maturité du mil. Concernant le deuxième semis (S2), la valeur moyenne de ETo a été de 5,4 mm/j du tallage à la montaison du mil. Entre la montaison et l'épiaison, la moyenne de ETo a atteint une valeur de 5,6 mm/j et a diminué légèrement pour atteindre 5,4 mm/j durant l'épiaison, la floraison et la maturité. En rapport avec le semis S3 (16 août), les phases de tallage, montaison et épiaison du mil ont

coïncidé avec une valeur moyenne de ETo de 5,5 mm/j. Une légère diminution de ETo a été observée entre l'épiaison et la floraison, pour atteindre une moyenne de 5,4 mm/j. La valeur moyenne de ETo a présenté sa plus faible valeur entre la floraison et la maturité (5,2 mm/j).

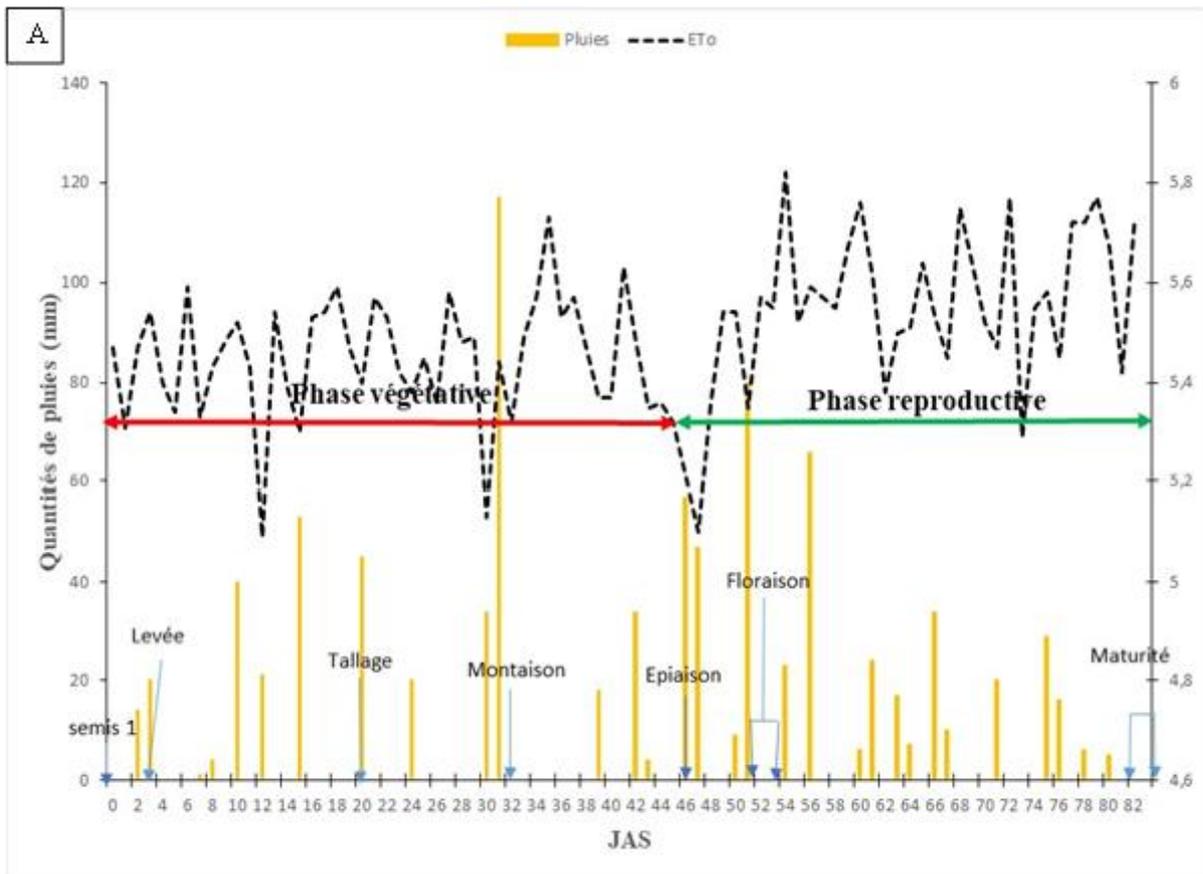
Les valeurs de l'évapotranspiration de référence (ETo) ont également varié en fonction des stades de développement pour la variété tardive. Au semis S1, du tallage à la montaison du mil, le développement des plants a eu lieu sous une valeur moyenne de ETo de 5,4 mm/j. La phase entre la montaison et l'épiaison a coïncidé avec une ETo moyenne légèrement élevée de 5,5 mm/j. La période allant de l'épiaison à la floraison a connu une ETo de 5,3 mm/j pour atteindre la valeur la plus faible de 5,1 mm/j entre le stade de la floraison et celui de la maturité du mil. Le décalage de semis de 21 jours (S2) a montré que la valeur moyenne de ETo du tallage à la montaison a été de 5,5 mm/j. Entre le stade de montaison et celui de l'épiaison, la moyenne de ETo a atteint une moyenne de 5,4 mm/j. La valeur moyenne de ETo a décru progressivement entre l'épiaison et la floraison (5,2 mm/j) ; entre la floraison et la maturité (4,9 mm/j). Avec S3, les résultats montrent que le stade du tallage du mil a coïncidé avec une valeur moyenne de ETo

égale à 5,5 mm/j. Les stades de la montaison et de l'épiaison ont eu lieu sous une valeur moyenne de ETo respective de 5,6 mm/j et 5,4 mm/j. Au-delà, la floraison et la maturité ont eu lieu avec des ETo plus faibles. En effet, la phase de la floraison a eu lieu avec une ETo moyenne de 5,1 mm/j et la maturité avec une ETo de 4,6 mm/j.

Une bonne répartition des pluies a été observée durant le cycle de la variété précoce, pour la première date de semis. Pour la deuxième date de semis, une bonne répartition des pluies a été observée du semis jusqu'à la floraison, suivie d'une pause pluviométrique au début du remplissage des grains et à la fin de la phase de maturation des grains. Durant les phases d'épiaison et de floraison de la variété précoce, le nombre d'épisodes pluvieux a été le même (5 jours de pluies) à S1 et S2, mais d'intensité différente. L'intensité des pluies a été plus élevée à S1. Pour la troisième date de semis, les plants de mil de cette variété ont reçu de la pluie du semis jusqu'au milieu de la phase de montaison et durant les stades d'épiaison et de floraison.

La phase de maturation des grains n'a, par contre, reçu que 3 jours de pluie de faible intensité.

Concernant la variété tardive, pour la première date de semis, une bonne répartition des pluies a été observée de la levée jusqu'à l'épiaison. De la floraison jusqu'à la fin du cycle, les plants ont reçu de faibles quantités de pluies en seulement 3 jours. Pour la deuxième et la troisième date de semis, une bonne répartition des pluies a été observée jusqu'à la mi-montaison. De la mi-montaison jusqu'en fin de cycle, les plants ont été très faiblement arrosés, avec 3 jours de pluies, pour un total de 22 mm. Pour la deuxième date de semis, l'épiaison et la floraison ont eu lieu entre ces pluies de faibles quantités. Une pluie de 13 mm, a été enregistrée au tout début de la phase de maturation des grains (la phase de remplissage des grains), après la floraison. Pour ce qui concerne la troisième date de semis, cette pluie de 13 mm a été enregistrée entre l'épiaison et la floraison. Aucune pluie n'a été notée au cours de la phase de maturation des grains.



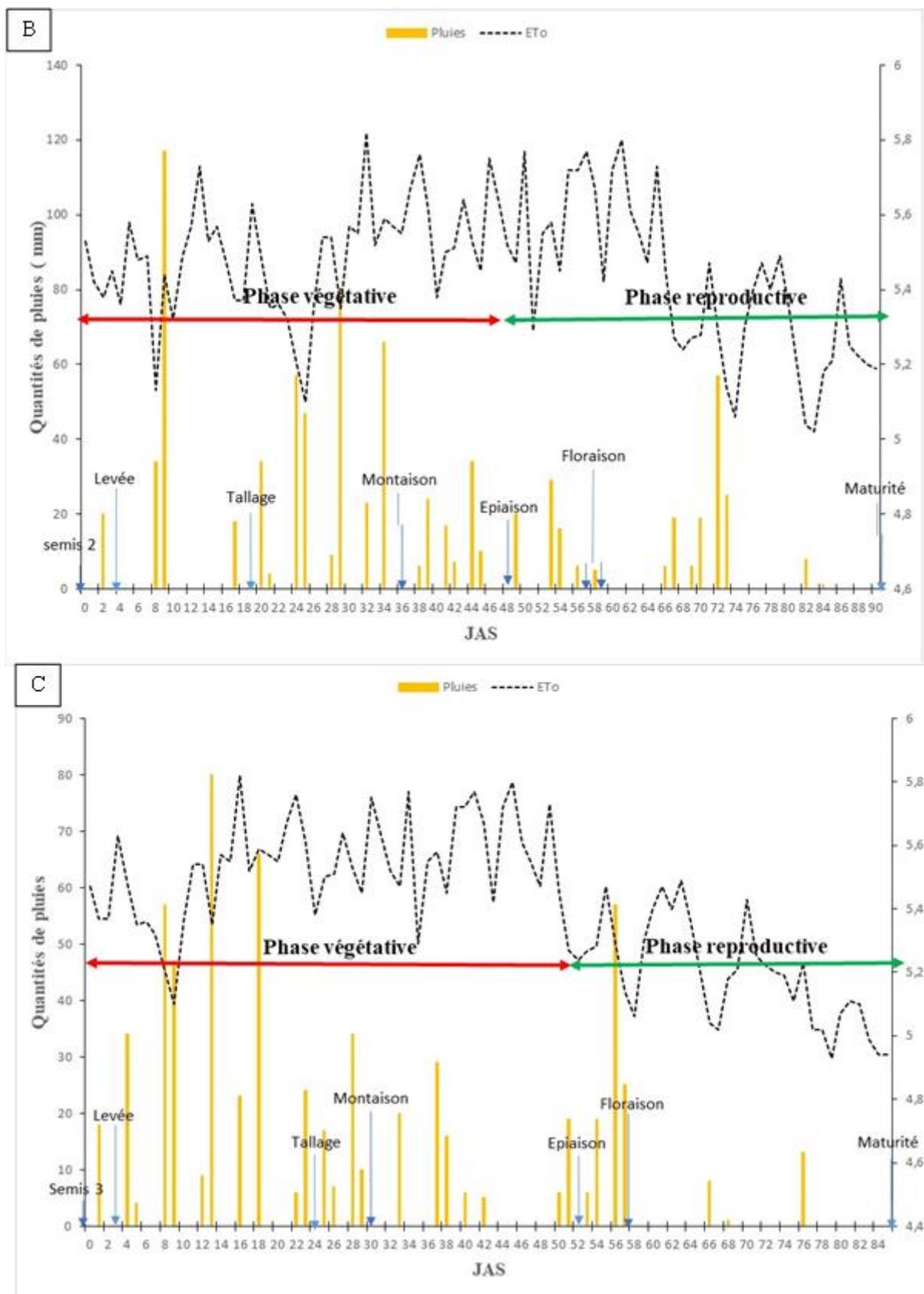
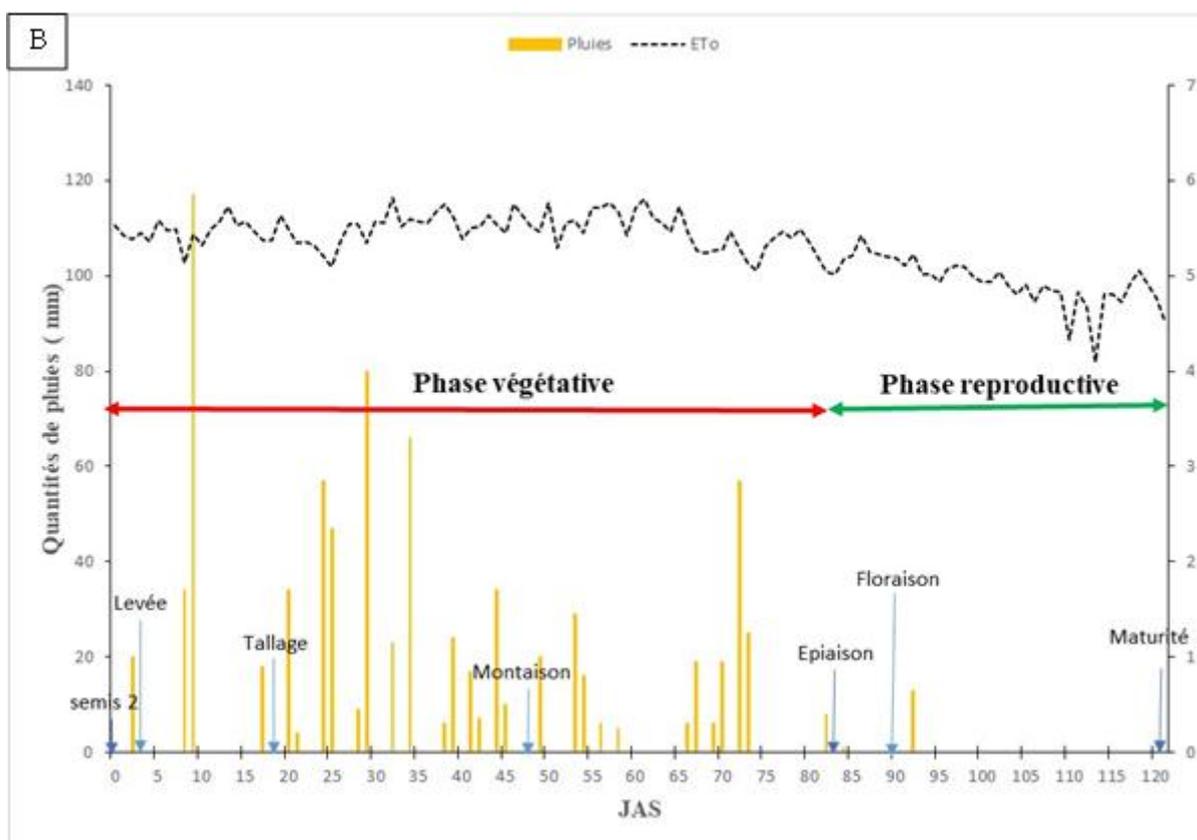
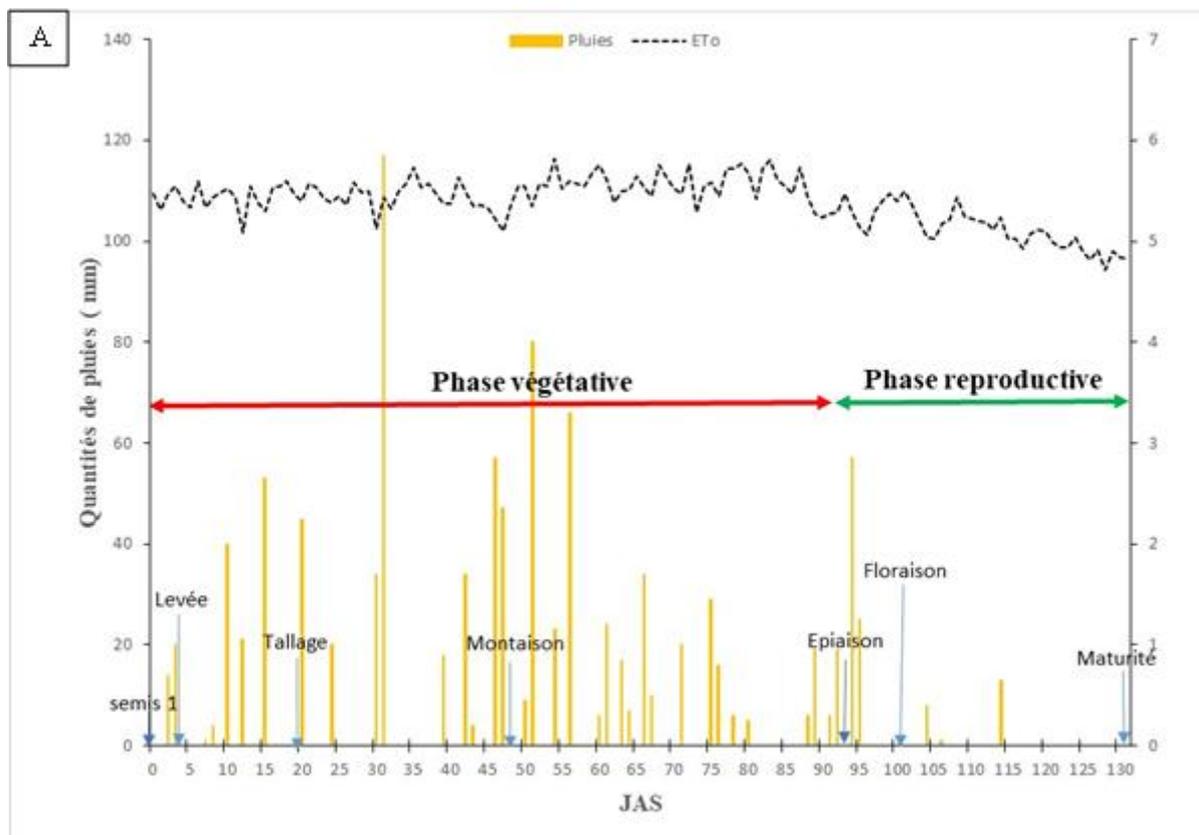


Figure 3 : Relation entre les stades de développement chez la variété de mil précoce et le climat (A : Semis 1 ; B : Semis 2 ; C : Semis 3).

Relationship between development stages in early millet variety and climate (A: Sowing day 1; B: Sowing day 2; C: Sowing day 3).



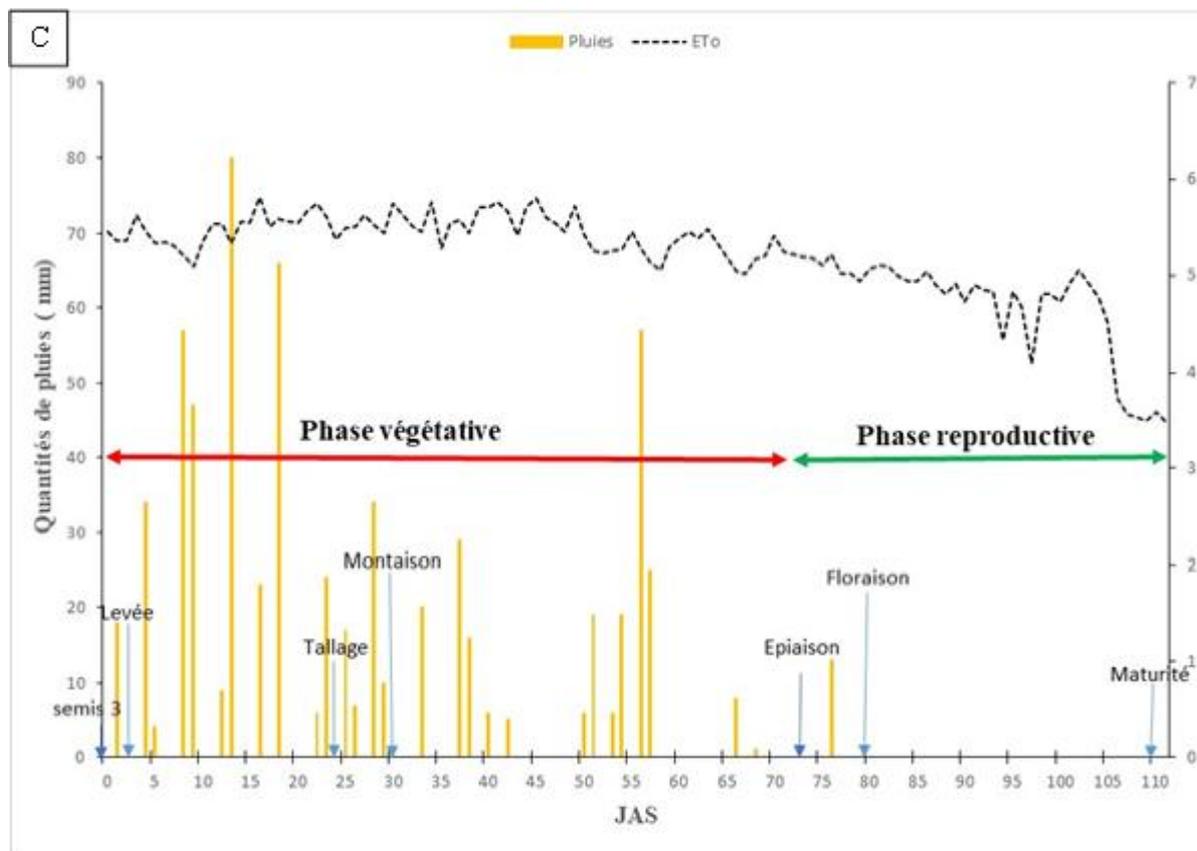


Figure 4 : Relation entre les stades de développement chez la variété de mil tardive et le climat (A : Semis 1 ; B : Semis 2 ; C : Semis 3).

Relationship between development stages in late millet variety and climate (A: Sowing day 1; B: Sowing day 2; C: Sowing day 3).

Les résultats de cette étude ont montré une durée variable entre les dates de floraison des variétés de mil étudiées et la date de la dernière pluie enregistrée au cours de la saison culturale, en fonction des dates de semis (Tableau 2). Chez la variété précoce (SOUNA3), ces résultats montrent que les floraisons ont eu lieu à environ

2 mois, 1 mois et 19 jours de la fin des pluies respectivement pour les trois dates de semis (S1, S2 et S3). Par contre, ces durées ont été de 13 ; 2 et -4 jours chez la variété tardive, respectivement pour ces mêmes dates de semis (S1, S2 et S3. Ce résultat montre que la floraison a eu lieu après la dernière pluie chez cette variété au semis 3.

Tableau 2 : Durée entre la date de floraison et la date de la dernière pluie au cours du cycle cultural des variétés de mil en fonction des dates de semis.

Duration between the date of flowering and the date of the last rain during the crop cycle of millet varieties according to sowing dates.

Variétés/Varieties	Dates de floraison (JAS)/Flowering dates (DAS)	Dates de la dernière pluie (JAS)/Last rain dates (DAS)	Durée floraison/ dernière pluie (jours)/ Duration of flowering/ Last rain (days)	
Variété précoce/ Early variety (SOUNA3)	S1	52	114	62
	S2	59	92	33
	S3	57	76	19
Variété tardive/ Late variety (sagnon)	S1	101	114	13
	S2	90	92	2
	S3	80	76	-4

S1 : date de semis 1 ; S2 : date de semis 2 et S3 : date de semis 3 / S1 : sowing date 1 ; S2 : sowing date 2 et S3 : sowing date 3 / JAS : jours après semis / DAS : Days after sowing.

Quantités de pluies reçues par les plants de mil au cours des phases phénologiques

Le décalage du semis a entraîné une diminution de la pluviométrie (Tableau 3). Pour la variété précoce, les plants du semis 1, semis 2 et semis 3 ont reçu respectivement 881, 824 et 666 mm de pluies durant leur cycle cultural. La quantité d'eau de pluies a été bien répartie sur le cycle pour ce qui concerne la première date de semis. En effet, les plants ont reçu 482 et 399 mm de pluies, respectivement pendant les phases végétative et reproductive. Concernant la deuxième date de semis, les plants ont reçu 607 mm de pluie au cours la phase végétative et 217 mm pour la phase reproductive. Pour la troisième date de semis, les plants ont reçu un total de 537 et 129 mm de pluies, respectivement, aux phases végétative et reproductive. Pour cette date de semis, la période de maturation des grains (floraison-maturité), a reçu une faible quantité de pluie (22 mm).

L'analyse de la répartition des pluies durant le cycle de la variété tardive montre que les plants ont aussi reçu suffisamment d'eau, avec des cumuls de 1035 et 837 mm de pluies,

respectives, pour la première et la deuxième date de semis. Pour la troisième date de semis, la quantité d'eau de pluies reçue par les plants a été de 666 mm. Malheureusement, ces pluies ont été mal répartie pour cette variété, quelle que soit la date de semis. En effet, les quantités de pluies ont été supérieures, au cours de la phase végétative par rapport à la phase de reproduction. Les valeurs de 931 ; 823 et 653 mm ont été enregistrées au cours des phases végétatives contre 104 ; 14 et 13 mm durant les phases reproductives, pour les semis 1, semis 2 et semis 3 respectifs. D'une manière générale, l'on a observé une baisse de la pluviométrie au cours de la phase de maturation des grains (floraison-maturité) chez cette variété. Ainsi, pour la première date de semis, la phase de maturation des grains a été faiblement arrosée avec 22 mm de pluies. Pour la deuxième date de semis, une pluie de 1 mm a été enregistrée durant la période épiaison-floraison et 13 mm de pluies ont été relevées au cours de la période de maturation des grains. Aucune pluie n'a été enregistrée au cours de la phase de maturation des grains concernant la troisième date de semis. Par contre, 13 mm de pluies ont été notés au cours de la période épiaison-floraison pour cette date de semis.

Tableau 3 : Quantités de pluies reçues au cours des phases phénologiques des variétés de mil étudiées au cours des essais.

Amounts of rain received during the phenological phases of the millet varieties studied during the trials.

Stades de développement / Stage of development	Quantité de pluies (mm) / Among of rain (mm)					
	SOUNA 3			sagnon		
	Semis 1	Semis 2	Semis 3	Semis 1	Semis 2	Semis 3
Semis-levée	34	20	18	34	20	18
Levée-tallage	164	16	350	164	169	350
Tallage-montaison	171	320	68	331	438	68
Montaison-épiaison	113	98	101	402	196	217
Epiaison-floraison	136	76	107	82	1	13
Floraison-maturité	263	141	22	22	13	0
Qté PV/QTY VP	482	607	537	931	823	653
Qté PR/QTY RP	399	217	129	104	14	13
Qté DC/Qty DC	881	824	666	1035	837	666

Qté PV : quantité de pluie tombée au cours de la phase végétative, Qté PR : quantité de pluie tombée au cours de la phase de reproduction, Qté DC : quantité de pluie totale au cours du cycle / *Qty PV: amount of rain fell during the vegetative phase, Qty PR: amount of rain fallen during the reproduction phase, Qty DC: total amount of rain during the cycle.*

Effet du décalage des semis sur les besoins en eau des variétés de mil

Quelles que soient la variété et la date de semis, l'évapotranspiration réelle (ET_{rc}) des plants a été inférieure à la pluie au cours des cycles de culture (Tableau 4). Néanmoins, des apports d'eau par irrigation ont été nécessaires, afin de satisfaire convenablement les besoins en eau des plants à certaines périodes du cycle cultural. Ainsi, pour la variété précoce de faibles apports d'eau par irrigation ont été nécessaires au cours de la phase initiale pour les deux premières dates de semis, respectivement de 3,2 et 19,2 mm d'eau. Par contre, pour la troisième date de

semis, il a fallu apporter 46 mm d'eau par irrigation pour satisfaire complètement les besoins en eau des plants, à l'arrière-saison, pendant la période de maturation des grains. Chez la variété tardive, pour les dates de semis 1 et 2, des apports d'eau complémentaire respectifs de 111 et 129,9 mm ont été nécessaires au cours du cycle pour assurer le bon remplissage des grains. Quant à la troisième date de semis, un apport de 85,9 mm a été nécessaire au cours de la phase de reproductive (floraison, remplissage et maturation des grains). Pour cette variété, des apports d'eau par irrigation ont donc été nécessaires, afin d'assurer le développement des épis et le bon remplissage des grains.

Tableau 4 : Evapotranspiration réelle (ET_{cycle}) et besoins en irrigation des plants de mil au cours des cycles de culture.*Real evapotranspiration (ET_{cycle}) and irrigation needs of millet plants during crop cycles.*

Variétés/ Varieties	ET _{cycle} (mm)	Pluie (mm)/Rain (mm)	Besoin Irrigation (mm)/Need irrigation (mm)	Périodes d'irrigation/Irrigation periods
SOUNA3 (S1)	276,5	881	3,2	Initiale (1 ^{ère} décade de juillet)
SOUNA3 (S2)	302,6	824	19,2	- Mi saison (3 ^{ème} décade septembre et 1 ^{ère} décade octobre) - Arrière-saison (2 ^{ème} et 3 ^{ème} décade de novembre)
SOUNA3 (S3)	216,2	666	46	- Mi saison (3 ^{ème} décade d'octobre) - Arrière-saison (1 ^{ère} décade de Novembre)
Sagnon (S1)	423,6	1035	111	-Initiale (1 ^{ère} décade de juin) -Croissance (1 ^{ère} décade Août) -Mi saison -Arrière-saison (1 ^{ère} , 2 ^{ème} et 3 ^{ème} décade d'octobre) - Arrière-saison (1 ^{ère} et 2 ^{ème} décade de novembre)
Sagnon (S2)	387,7	837	129,9	-Initiale (3 ^{ème} décade de juillet, 1 ^{ère} décade d'août) -Croissance (1 ^{ère} décade d'octobre) -Mi saison (3 ^{ème} décade d'octobre ; 1 ^{ère} décade de novembre) -Arrière-saison (les 2 dernières décades de novembre)
Sagnon (S3)	345,2	666	85,9	-mi- saison (3 ^{ème} décade d'octobre, 1 ^{ère} et 2 ^{ème} décade de novembre) -arrière-saison (3 ^{ème} décade de novembre et 1 ^{ère} décade de décembre)

S1 : date de semis 1 ; S2 : date de semis 2 et S3 : date de semis 3 / S1 : sowing date 1 ; S2 : sowing date 2 et S3 : sowing date 3

DISCUSSION

Au cours de cette étude, les résultats ont montré une variabilité pluviométrique interannuelle dans la zone d'étude durant la période allant de 2015 à 2020. L'année 2019 a été l'année la plus pluvieuse alors que l'année 2018 a été la moins pluvieuse. L'augmentation de la pluviométrie de plus de 60 % entre ces deux années successives montre le caractère instable et imprévisible de la pluviométrie. La moyenne annuelle (1035,8 mm) a été faible par rapport à la pluviométrie moyenne annuelle de référence (1951-2000) qui est de 1128 mm (Dékoula *et al.*, 2018). Le nombre de jours moyen annuel de pluies (56 jours) a été également en baisse par rapport à la valeur de référence (1951-2000) qui est de 76 jours (Dékoula *et al.* 2018). La diminution de la pluviométrie et la réduction du nombre de jours de pluies sont une réalité dans la zone Nord de la Côte d'Ivoire, témoignant ainsi

les effets néfastes du changement climatique.

Concernant la répartition des pluies au cours du cycle cultural des géotypes de mil étudiés, les résultats ont montré une influence de la date de semis.

Chez la variété précoce, une bonne répartition des pluies a été observée tout le long de son cycle cultural aux dates de semis 1 et 2, excepté la phase d'installation de la culture, où un faible besoin en eau s'est fait ressentir entre la levée et le début de la montaison. Par contre, ce besoin s'est fait ressentir en fin de cycle pour la troisième date de semis, pendant la phase de maturation des grains, qui est sensible au déficit hydrique (Debieu *et al.*, 2017). A cette date de semis, une quantité de 5,8 mm a été requise, afin d'assurer le bon remplissage des grains pour cette variété. Il convient de noter que pour ladite variété, le stade de la floraison a coïncidé avec une abondance de pluies pour la première date de semis par rapport à la seconde date de

semis. Cette situation pourrait provoquer le lessivage des grains de pollen, ce qui aurait pour conséquence, une mauvaise fécondation et l'apparition de maladie tel que l'ergot. La floraison pour la troisième date de semis, a eu lieu à un moment où il y avait moins d'épisodes pluvieux. De plus, au cours de la première date de semis, la grande partie de la phase reproductive s'est déroulée avec beaucoup plus d'épisodes pluvieux. Ce qui n'est pas favorable au bon remplissage des épis, car l'humidité créée par ces pluies pourrait être favorable au développement de maladies fongiques, sur les épis et les grains en formation (Bose *et al.*, 2010 ; Netam *et al.*, 2014). Par contre, la phase reproductive pour la seconde date de semis a reçu moins de pluies. L'abondance des pluies enregistrées au cours des deux premières dates de semis pourrait s'expliquer par le fait que le cycle cultural de la variété précoce se soit déroulé durant les 3 mois les plus pluvieux (juillet, août et septembre) pour le semis 1 et les deux mois les plus pluvieux (août et septembre) pour le semis 2. Par contre, pour la troisième date de semis, la phase de maturation des grains a coïncidé avec le mois le moins pluvieux (octobre), donc la fin des pluies dans la zone d'étude, ce qui a nécessité un apport d'eau par irrigation sans quoi, il y aurait un défaut de remplissage de grain qui va occasionner un faible poids des grain et donc un faible rendement grain.

Pour la variété tardive, la floraison et la phase de maturation des grains ont coïncidé avec la fin des pluies dans la zone d'étude quelle que soit la date de semis. Des apports d'eau par irrigation ont été nécessaires pendant ces stades de développement, afin d'assurer un bon développement des épis et un bon remplissage des grains. Ce résultat pourrait s'expliquer par la longueur du cycle de cette variété, qui est influencée par la durée du jour ou la photopériode. En effet, c'est une variété photopériodique de jours courts (Siéné *et al.*, 2021a), dont la floraison a lieu quand la durée du jour devient courte que celle de la nuit dans la zone d'étude (Siéné *et al.*, 2021 a et b). Et cette période a coïncidé avec la fin des pluies dans la zone d'étude. Selon Diop (2005) et Abdel (2016), le photopériodisme joue un rôle essentiel dans l'adaptation du mil aux conditions de forte variabilité climatique. Il leur permet de terminer leur cycle à la fin de la saison des pluies, indépendamment de la date de semis. C'est donc un phénomène qui permet l'ajustement de la durée du cycle de la plante à la durée probable de la saison des pluies (Vaksmann *et al.*, 1996).

De plus, selon Kouressy *et al.* (2006 et 2008), une variété de sorgho photopériodique est dite adaptée au climat, si la floraison débute dans les 20 jours qui précèdent la fin moyenne de saison. Cette condition assurerait un équilibre entre la satisfaction des besoins en eau et l'évitement de nombreuses contraintes biotiques (oiseaux et moisissures). Nos résultats ont montré une durée variable entre les dates de floraison et celle de la dernière pluie enregistrée, au cours de la saison de culture, au niveau de la variété de mil tardive. En effet, cette durée a été de 13 jours au semis 1. Elle a été plus courte pour les deux derniers semis. A ces dates de semis, l'essentiel du remplissage des grains qui devrait être fait sur l'eau stockée dans le sol, n'a été possible que grâce à un apport d'eau par irrigation. Contrairement à la variété tardive, la floraison de la variété SOUNA3 a eu lieu sous la pluie particulièrement au semis 1. Dans ces conditions, il pourrait y avoir un lessivage du pollen. Les épis et les grains formés pourraient souffrir de maladies fongiques et d'attaques d'oiseaux.

Les plants des deux variétés de mil ont reçues suffisamment d'eau au cours des différentes dates de semis, et cette quantité a diminué avec le retard de semis. Selon Moumouni (2014) et Upadhyaya *et al.* (2008) pour assurer une récolte satisfaisante du mil précoce, la quantité d'eau doit varier entre 350 et 600 mm. Contrairement à ces auteurs, Illiassou (2009) pense que les zones dont la pluviométrie est comprise entre 200 et 800 mm, demeurent toutefois les plus favorables à la culture du mil précoce. Les zones dont la pluviométrie est supérieure présentent d'importants risques de maladies et de mauvaises herbes selon ces auteurs. Pour Moumouni (2014), la pluviométrie annuelle optimale pour assurer une récolte satisfaisante du mil tardive varie entre 600 et 1 000 mm de pluies. Béninga et Ankanvou (2005) et Béninga (2015) ont montré qu'en Côte d'Ivoire, une pluviométrie annuelle variant entre 1 100 mm et 1 300 mm, bien répartie est nécessaire pour assurer une récolte satisfaisante des variétés tardives de mil. Ces valeurs sont nettement supérieures à la valeur moyenne de 1035,8 mm obtenue dans la zone d'étude, au cours de notre expérimentation. Contrairement à la variété précoce, la variété tardive met beaucoup plus de temps à se développer au cours de la phase végétative. Par conséquent, elle demande beaucoup plus de pluies et une bonne répartition de celle-ci. Les variétés précoces, comparées aux variétés traditionnelles (généralement des

mils tardifs), ont des besoins en eau moins importants (Moumouni, 2014).

Malgré, la bonne pluviométrie qui a été enregistrée au cours des différents cycles culturaux, sa distribution a été irrégulière. Cela a nécessité des apports d'eau par irrigation à certaines périodes du développement des plants de mil. En effet, pour chacune des variétés et pour toutes les dates de semis, les plants ont reçu suffisamment d'eau au cours de la phase végétative par rapport à la phase reproductive. Selon Eldin (1990), la répartition des pluies est très importante pour le développement du mil. De même, Sanou *et al.* (2016) pour cette même culture, ont montré que pour deux saisons de pluies de même cumul pluviométrique, le rendement a été meilleur au cours de l'année où les pluies ont été bien réparties au cours du cycle cultural. Le mil résiste bien à la sécheresse en début de végétation et les besoins en eau deviennent importants depuis la montaison jusqu'à la maturité avec un maximum à l'épiaison. Les effets du déficit hydrique sur la croissance et le développement du mil dépendent de son intensité et du stade phénologique de la plante. Un déficit hydrique en phase d'installation de la culture entraîne un arrêt ou une réduction de la croissance (Siband, 1981 ; Debieu *et al.*, 2018) et un décalage de la floraison de 10 à 15 jours par rapport aux plants témoins (Seetharama *et al.*, 1984). La variété précoce a reçu plus d'eau de pluies pendant les phases d'épiaison et de floraison à la première date de semis par rapport à la seconde date de semis. Par contre, la floraison a eu lieu à un moment où il n'y avait pas de pluies, pour lessiver le pollen sur les épis, pour toutes les dates de semis concernant la variété tardive. D'après Upadhyaya *et al.* (2008), au cours de la floraison, les fortes pluies ne sont pas souhaitables, car elles entraînent les pollens vers le sol, et empêchent la pollinisation. Elles réduisent donc le rendement (Illiasou, 2009). Des conditions de précipitation et d'humidité relative faibles sont souhaitables lors de la floraison-fécondation et la maturation des grains, car les grosses pluies et les fortes humidités peuvent aussi causer l'apparition de maladies sur les grains (Bose *et al.*, 2010 ; Netam *et al.*, 2014). La variété précoce a subi un faible déficit au cours de la phase de maturation des grains au semis 3. Concernant la variété tardive, les phases de maturation des grains ont reçu moins d'eau de pluies pour toutes les différentes dates de semis. Pourtant, cette phase est très

sensible au déficit hydrique chez le mil (Siéné *et al.*, 2016). Ces quantités d'eau de pluies reçues n'ont pas été suffisantes pour assurer un bon développement des épis et un bon remplissage des grains. Ce qui a nécessité un apport d'eau par irrigation.

CONCLUSION

Ce travail a montré une variabilité interannuelle de la pluviométrie dans la zone d'étude. Il a permis également de montrer que les cycles culturaux ont été affectés par la distribution des pluies, au cours du cycle cultural des deux génotypes de mil étudiés. L'importance de la date de semis dans la satisfaction des besoins en eau des plantes, au cours du cycle de culture du mil a ainsi été mise en évidence. Concernant la distribution des pluies au cours du cycle cultural, cette étude a révélé que la période critique se trouve en fin de cycle. Les variétés précoces échappent généralement à ce déficit hydrique par rapport aux variétés tardives pour l'ensemble des dates de semis appliquées. Une répartition irrégulière des pluies a également été mise en évidence dans cette étude surtout sur la variété tardive. Pour les variétés précoces, la seconde date de semis conviendrait le mieux dans la zone d'étude. La première date de semis serait par contre la période idéale pour les variétés tardives. Les résultats de ce présent travail fournissent d'importantes informations permettant de mieux planifier les périodes de semis des différents types de variétés de mil dans la zone nord de la Côte d'Ivoire, où la saison pluvieuse dure généralement entre 4 et 5 mois.

REMERCIEMENTS

Nous exprimons notre gratitude à M. le Directeur Régional de l'Agriculture et du Développement Rural de la Région du Poro et au Service des Affaires Administratives et Financières (SAAF) de ladite Direction pour les données pluviométriques qu'ils nous ont fournies dans le cadre de ce travail.

REFERENCES

Abdel K. N. J. 2016. Flux de gènes et évolution des ressources génétiques du mil (*Pennisetum glaucum*) dans le bassin du lac Tchad : rôle de la diversité socio-culturelle. Thèse de doctorat de l'université Abdou moumouni

- et de l'université paris – saclays, 388 p.
- Allen R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: UN Food and Agricultural Organization, Irrigation & Drain. Paper no. 56.
- Allen R. G., L. S. Periera, M. Smith, D. Raes and J. L. Wright. 2005. Dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. *Journal of irrigation and drainage engineering*. Food and agriculture organization of the United Nations, 131 (1), 2 -13p.
- Anonyme. 2012. Situation géographique du Nord Ivoirien, nouveau découpage administrative. 54p.
- Anonyme. 2015. Monographie de la région du Poro, Conseil Régional du Poro, 24p.
- Aslani F. and M. R. Mehrvar. 2012. Responses of wheat genotypes as affected by different sowing date. *Asian Journal of Agricultural Sciences*, 4(1): pp 72-74.
- Balme-Debionne M. 2004. Analyse du régime pluviométrique sahélien dans une perspective hydrologique et agronomique : étude de l'impact de sa variabilité sur la culture du mil. Thèse de doctorat de l'INPG (Institut National Polytechnique de Grenoble), Spécialité : Océan, Atmosphère, Hydrologie préparée au laboratoire. Laboratoire d'étude des Transferts en Hydrologie et Environnement. 162p.
- Balme M., S. Galle et T. Lebel. 2005. Démarrage de la saison des pluies au Sahel: variabilité aux échelles hydrologique et agronomique, analysée à partir des données EPSAT-Niger. Sécheresse.
- Béninga M. B. 2007. Génétique, amélioration et vulgarisation du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat d'Etat, UFR Biosciences, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 179 p.
- Béninga M. B. et R. Akanvou. 2005. Bien cultiver le mil en Côte d'Ivoire. 4 p.
- Béninga M. B. 2015. Évaluation des pertes en grains de mil dues aux insectes. Edition vol .11, N° 21, pp: 1857-788.
- Bose S., K. R. Niwas, A. Kumar, M. L. Khichar and J. K. Mani. 2010. Short communication. Effect of agrometeorological parameters on incidence of downy mildew in pearl millet. *Journal of Agrometeorology*, 12(1) : 133-135.
- Bouzou I. M. 2009. Evaluation de l'effet du compost enrichi avec des urines hygiénisées sur la culture du mil, mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'Ingénieurs des Techniques Agricoles (ITA), Option : Productions Végétales ; faculté d'Agronomie de l'université Abdou Moumouni de Niamey. 52p.
- Brown C. and L. Upmanu. 2006. «Water and Economic Development: The Role of Variability and a Framework for Resilience.» *Natural Resources Forum* 30(4): 306–317.
- Burgarella C., P. Cubry, N. A. Kane, R. K. Varshney, C. Mariac, X. Liu, C. Shi, M. Thudi, M. Couderc, X. Xu, A. Chitikineni, N. Scarcelli, A. Barnaud, B. Rhoné, C. Dupuy, O. François, C. Berthouly-Salazar and Y. Vigouroux. 2018. A western Sahara centre of domestication inferred from pearl millet genomes. *Nature Ecology & Evolution*. pp. 1-7. ISSN 2397-334X
- Chaibou Z., 2013. Effet du phospho-compost sur la production du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br). Mémoire pour l'obtention d'un Master de maîtrise en gestion intégrée de la fertilité des sols. Université Polytechnique de Bobo- Dioulasso, Burkina-Faso.47p.
- Dancette C. 1983. Besoins en eau du mil au Sénégal. *Adaptation en zone semi-aride tropicale*. *Agronomie Tropicale* 38: 267–280 p.
- Debieu M., B. Sine, S. Passot, A. Grondin, E. Akata, P. Gangashetty, V. Vadez, P. Gantet, D. Fonckea, L. Cournac, T. H.Charles, N. A. Kane, Y. Vigouroux and L. Laplaze. 2018. «Response to Early Drought Stress and Identification of QTLs Controlling Biomass Production under Drought in Pearl Millet.» *PLoS ONE* : 1-19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201635>
- Debieu M., G. Kanfany and L. Laplaze. 2017. «Pearl Millet Genome: Lessons from a Tough Crop.» *Trends in Plant Science*. V.22 no.11 : pp. 911-913
- Dekoula C. S., B. Kouamé, K. E. N'Goran, J-N. Ehounou, G. F. Yao, K. E. Kassin, J. B. Kouakou, A. E. B. N'Guessan et N. Soro. 2018. Variabilité des descripteurs pluviométriques intra-saisonniers à impact agricole dans le bassin cotonnier de Côte d'Ivoire : zones de Boundiali, Korhogo et Ouangolo. *Journal of Applied Biosciences*, Vol. 130, p. 13199-13212, <https://dx.doi.org/10.4314/jab.v130i1.7>
- Diop M., F. N. Reyniers et B. Sarr. 2005. Apport du photopériodisme à l'adaptation du mil à la sécheresse en milieu soudano-sahélien. *Science et changements planétaires / Sé-*

- cheresse, 16 (1) : 35-40.
- Doukpolo B. 2007. Variabilité et tendances pluviométriques dans le nord-ouest de la Centrafrique: enjeux environnementaux, DEA. Université d'Abomey-Calavi. 72 p
- El Mourid M. 1988. Performance of Wheat and Barley cultivars under different soil moisture regimes in a semi- arid region. Ph. D. dissertation. Ames, Iowa, State University, 229 pp.
- Eldin O. 1990. Croissance et développement du mil (*Pennisetum glaucum*) sous deux conditions de fumure minérale. Rapport de stage ISTOM / 78^{ème} promotion, stage effectué à l'ORSTOM / Niamey (Niger), 53 p.
- Hanchane M. 2009. Simulation de l'effet de la date de semis sur la satisfaction des besoins en eau de l'orge par le modèle CERES en climat semi-aride marocain. *Sécheresse* ; 20(4) :354-359.
- Illiassou Y. 2009. Evaluation de l'effet de l'application périodique de l'urine hygiénisées sur la culture de mil (*Pennisetum glaucum*). Mémoire, Université Abdou Moumouni de Niamey, Niamey. 39 p.
- ISRA. 2012. Catalogue officiel des espèces et des variétés cultivées au Sénégal, 212 p.
- Kouressy M., M. Vaksman et S. B. Traoré. 2006. Le photopériodisme des sorghos africains, une réponse à la variabilité pluviométrique. In: African Monsoon Multidisciplinary Analyses, 1st International Conference, Dakar, and 28th November - 4th December 2005: extended abstracts. Genau Isabelle (ed.), Marsh Sally P. (ed.), McQuaid Jim (ed.), Redelsperger Jean-Luc (ed.), Thorncroft Christopher (ed.), Redelsperger Jean-Luc (ed.). Projet AMMA. Paris: AMMA International, pp. 557-559. International Conference African Monsoon Multidisciplinary Analyses. 1, Dakar, Sénégal, 28 November 2005/4 December 2005.
- Kouressy M., S. Traoré, M. Vaksman, M. Grum, I. Maikano, M. Soumaré, P. S. Traoré, D. Bazile, M. Dingkuhn et A. Sidibé. 2008. Adaptation des sorghos du Mali à la variabilité climatique. *Cahiers Agricultures*, vol. 17, n° 2 : 95-100. Doi: 10.1684/agr.2008.0189
- Mahamadou I. M. 2004. Ressources Génétiques des mils en Afrique de l'Ouest, conservation in situ : études de cas. ©IRD Éditions. 16p.
- Moumouni K. H. 2014. Construction d'une carte génétique pour le mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), par une approche de génotypage par séquençage (GBS). Mémoire, Université de Laval de Québec, Québec. 111 p.
- Netam R. S., R. K. S. Tiwari, A. N. Bahadur, D. P. Singh and D. P. Patel. 2014. Effect of sowing dates and meteorological factors on the development of blast disease in finger millet crop. *American International Journal of Research in Formal. Applied and Natural Sciences* 5(1): 1-5.
- Noufé D. 2012. Changements hydroclimatiques et agriculture : cas de l'Est Ivoirien. Thèse de doctorat. Saarbrücken, *Presses académiques francophones* (Paf), 490 p.
- Oumar I., C. Mariac, J. L. Pham and Y. Vigouroux. 2008. « Phylogeny and Origin of Pearl Millet (*Pennisetum Glaucum* [L.] R. Br.) as Revealed by Microsatellite Loci.» *Theoretical and Applied Genetics* 117: 489–497.
- Parry G. 1982. Le cotonnier et ses produits collection « technique agricole et production végétale » ; Paris France Maisonneuve et Larousse et ACCT. Pp 30-404.
- Sangaré A., E. Koffi, F. Akamou et C. A. Fall. 2009. Rapport sur l'état des ressources phytogénétiques pour l'agriculture et l'alimentation, 64 p.
- Sanou J., B. A. Bationo, S. Barry, L. D. Nabie, J. Bayala and R. Zougmore. 2016. Combining soil fertilization, cropping systems and improved varieties to minimize climate risks on farming productivity in northern region of Burkina Faso. *Agriculture & Food Security* (Agric & Food Secur), 5 (20): 1-12. DOI 10.1186/s40066-016-0067-3.
- Seetharama N., V. Mahalakshmi, F. R. Bidinger et S. Singh. 1984. Response of sorghum and pearl millet to drought in semi-arid India. In 'Agrometeorology of sorghum and pearl millet in the semi-arid tropics. *Proceedings of the International Symposium*' pp. 159-74. ICRISAT Center India. (Ed. MVK Sivakumar).
- Servat E., J. E. Paturel, B. Lubès, B. Kouamé, J. M. Masson, M. Travaglio, M. Ouédraogo et B. Marieu. 1999. Différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne. *Revue des sciences de l'eau*, 12 (2) : pp 363-387
- Siband P. 1981. Croissance, nutrition et production du mil (*Pennisetum typhoides* H. et S.). Essai d'analyse du fonctionnement du mil en zone sahélienne. *Agronomie Tropicale* 38, 27-36.
- Siéné L. A. C., F. S. Dago, O. Diouf et S. Aké. 2016. Evaluation de l'impact de stress hydriques sur la croissance et le rendement du mil

- (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) pour deux conditions de fertilisation azotée dans un environnement tropical semi-aride. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 14(3): 779-789.
- Siéné L. A. C., R. Bayala, M. Condé, B. D. Gofri, A. F. B. Kouadio et T. V. F. N'guettia. 2020a. Comportement d'une variété précoce de mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br) en réponse à différents types de fumures combinées à une sécheresse de fin de cycle au Nord de la Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, 16 (18) : 300-316.
- Siéné L. A. C., M. Doumbouya, M. S. Traoré, M. Condé, T. V. F. N'Guettia et M. Koné. 2020b. Effet de quatre types de fertilisants sur la croissance et la productivité de deux génotypes de maïs (*Zea mays* L.) en cas d'un semis tardif à Korhogo au Centre-Nord de la Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 14(1): 55-68.
- Siéné L. A. C., M. S. Traoré, M. Doumbouya, L. F. Coulibaly, T. V. F. N'guettia, M. Condé, B. J-M. Drogba, A. F. B. Kouadio et A. K. M-L. Kouamé. 2021a. Combined influence of sowing dates and fertilization on phenology and growth parameters of a late variety of millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), grown in Korhogo (Côte d'Ivoire). *Int. J. Biosci.* <http://dx.doi.org/10.12692/ijb/4.12.1-8>. *International Journal of Biosciences* (*Int. J. Biosci.*), Vol. 19, No. 6, p. 210-218, 2021, ISSN: 2220-6655 (Print) 2222-5234 (Online) <http://www.innspub.net>. DOI: <http://dx.doi.org/10.12692/ijb/19.6.210-218>
- Siéné L. A. C., M. S. Traoré, M. Doumbouya, A. F. B. Kouadio, M. Condé et T. V. F. N'guettia. 2021b. Behaviour of a traditional variety of fonio (*Digitaria exilis* (Kippist) Stapf) sowed following five densities of pot seeds in the municipality of Korhogo (Côte d'Ivoire). *Journal of Environmental Science, Computer Science and Engineering and Technology*. Vol.10. Issues 3 : pp 405-416
- Sivakumar M. V. K. 1991. Durée et fréquence des saisons sèches en Afrique de l'Ouest, Bulletin de recherche n°13, ICRISAT, Patancheru, Inde, IBlp.
- Tostain S. 1998. Le Mil, une longue histoire : hypothèses sur sa domestication et ses migrations. In : Plantes et paysages d'Afrique : une histoire à explorer, Chastanet M. Ed. Paris, France, Karthala-CRA : pp 461-490p.
- Upadhyaya H. D., K. N. Reddy et D. V. S. S. R. Sastry. 2008. Directives pour la régénération: mil à chandelles. In: Crop specific regeneration guidelines [CD-ROM]: CGIAR System-wide Genetic Resource Programme (SGRP), Dulloo ME, Thormann I, Jorge MA, Hanson J (ed). Italy, Rome : pp 1-10.
- Vaksmann M., S. B. Traoré et O. Niangado. 1996. Le photopériodisme des sorghos africains. *Agriculture et développement*, n° 9 : 13-18.
- Yang J. and J. Zhang. 2006. Grain filling of cereals under soil drying. *New Phytologist*, 169: 223-236.