

Choix et risques de stratégies de gestion du calendrier agricole: application à la culture du maïs au Sud-Bénin

[Choice and risks of management strategies of agricultural calendar: application to the maize cultivation in south Benin]

C.S. Ulrich. Y. Allé¹, Christian Baron², Hervé Guibert², Euloge K. Agbossou³, and Abel A. Afouda¹

¹Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi, Benin

²Centre de Coopération Internationale de Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD),
Montpellier, France

³Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, Benin

Copyright © 2014 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study analyzes the different levels of risk linked to the choice of management of agricultural calendar for maize production in southern Benin. For this purpose a series of simulations of potential yields of the variety DMR-ESR-W of maize was carried out with the model SARRA-H V3.2 by shifting of an decade (10 days), from February to November, the automatic search of the sowing date between 1971 and 2010. Thus, it has been possible to show the seasonal dynamics of the percentage of successful sowing, of potential yield and of grain desiccation date depending on the sowing date. It appears that the maximums of percentage of successful sowing and of potential yield are obtained when it sow at the start of the rainy season. However, considering biotic constraints on the choice of the sowing date, it appears that the sowing date becomes: the first half of May for the long rainy season and the first half of September for the short rainy season. However, between the dates of onset of rains (early April) and sowing date (early May) for the long rainy season, there is a lag of about one month, which raises the question of the relevance of adopting varieties maize 90 days for long rainy season as an Adaptation.

KEYWORDS: Maize SARRA-H, agricultural calendar, yield potential, Sowing successful, Plateau of Allada.

RESUME: La présente étude analyse les différents niveaux de risques liés au choix de gestion du calendrier agricole relatif à la maïsiculture au Sud-Bénin. A cet effet, une série de simulations du rendement potentiel de la variété DMR-ESR-W du maïs a été réalisée avec le modèle SARRA-H V3.2 en décalant d'une décennie, de février à novembre, la recherche automatique de la date de semis entre 1971 et 2010. Ainsi, il a été possible de mettre en lumière les dynamiques saisonnières du pourcentage de semis réussis, du rendement potentiel et de la date de dessiccation des grains en fonction de la date de semis. Il apparaît que les maximums de pourcentage de semis réussis et de rendement potentiel sont obtenus en semant au moment du démarrage des saisons des pluies. Cependant, en intégrant les contraintes biotiques dans le choix de la période de semis, il ressort que la période de moindre risque pour semer est la première moitié de mai pour la grande saison des pluies et la première moitié de septembre pour la petite saison des pluies. Toutefois, entre les dates de démarrage des pluies (début avril) et de semis (début mai) pour la grande saison des pluies, il existe un décalage d'un mois environ qui soulève la question de la pertinence de l'adoption des variétés de maïs de 90 jours pour la grande saison des pluies comme mesure d'adaptation.

MOTS-CLEFS: Maïs, SARRA-H, Calendrier agricole, rendement potentiel, Semis réussis, Plateau d'Allada.

1 INTRODUCTION

Le climat a une influence très forte sur la production agricole [1], en particulier en Afrique subsaharienne où l'agriculture pluviale représente près de 93% des terres cultivées [2]. De fait, l'évolution climatique récente sur cette région de l'Afrique, marquée par les sécheresses des années 1970 et 1980 [3], a provoqué des vagues de famines (perte des récoltes, décimation du cheptel, migrations des populations) et fragilisé davantage l'économie des pays subsahariens. Pour lutter contre les aléas climatiques, qui sont loin d'être des phénomènes nouveaux en Afrique, les populations rurales ont adopté diverses mesures d'adaptation [4], [5], [6], [7], [8]. Cependant, si ces stratégies sont efficaces pour assurer leur survie, elles limitent fortement le développement en entretenant un potentiel de production faible, même quand les conditions pluviométriques sont bonnes ce qui maintient ces populations rurales dans la pauvreté [9]. Le recours à l'information climatique peut contribuer efficacement à réduire les conséquences des aléas climatiques. C'est un avis unanimement partagé par les agriculteurs subsahariens qui estiment que le poids des facteurs climatiques pèse entre 30 et 50% dans le déclin de leur production agricole pluviale [10]. De fait, ils montrent un réel intérêt pour l'information climatique, en premier lieu les dates de démarrage et de fin des saisons des pluies, comme aide à la prise de décision [11], [12]. Cet intérêt peut s'expliquer par le fait que si les agriculteurs connaissaient à l'avance ces dates, ils pourraient augmenter leurs rendements en calant mieux le cycle cultural à la saison des pluies et de fait réduire les pertes de semences et de temps de travail liées aux semis ratés. En Afrique de l'Ouest, depuis la fin des années 1990, un système de prévision opérationnel fournit chaque année des prévisions, des mois à l'avance, sur la qualité de la saison des pluies à venir (le système PRESAO, Prévision saisonnière en Afrique de l'Ouest [13], [14]). Toutefois, ces prévisions restent encore très incertaines, voire erronées au regard de leur faible performance à reproduire correctement la réalité [13]. En outre, elles ne renseignent que le cumul pluviométrique saisonnier. Or, la connaissance du cumul pluviométrique saisonnier à venir n'est pas l'information primordiale qui intéresse les agriculteurs pour l'orientation de leurs stratégies agricoles [11]. S'il apparaît donc difficile de répondre correctement aux besoins des agriculteurs en utilisant les prévisions saisonnières on peut cependant se baser sur les chroniques historiques de précipitations pour fournir l'information climatique nécessaire aux agriculteurs pour gérer le calendrier agricole. La présente étude vise à analyser à *postériori* différents choix de gestion du calendrier agricole pour la culture du maïs et les niveaux de risques agroclimatiques associés dans un contexte climatique guinéen, en l'occurrence le Sud-Bénin.

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 ZONE D'ÉTUDE

La zone d'étude est le plateau d'Allada (Figure 1). Il est situé au sud du Bénin entre les longitudes 1,5°E et 2,3°E et les latitudes 6,2°N et 7°N. Le régime pluviométrique de la région est directement associé au déplacement de la zone de convergence intertropicale (ZCIT) sur le continent africain entre deux positions de quasi-équilibre à 5°N et 10°N [15]. Deux saisons des pluies sont dès lors distinguées sur la région d'étude. La première saison des pluies s'étend entre mars et juillet et présente un pic de pluie centré sur mi-juin. Le saut de mousson [15] entraîne une récession pluviométrique sur la région d'étude centrée sur le mois d'août. La seconde saison des pluies, liée au retour de la ZCIT vers les latitudes méridionales, s'étend entre septembre et novembre et culmine en début octobre. La pluviométrie moyenne interannuelle sur la région d'étude est de 1100 mm entre 1951 et 2010. L'agriculture pluviale est l'activité économique dominante dans la zone d'étude. Les exploitations agricoles sont morcelées en petites parcelles en raison de problèmes fonciers.

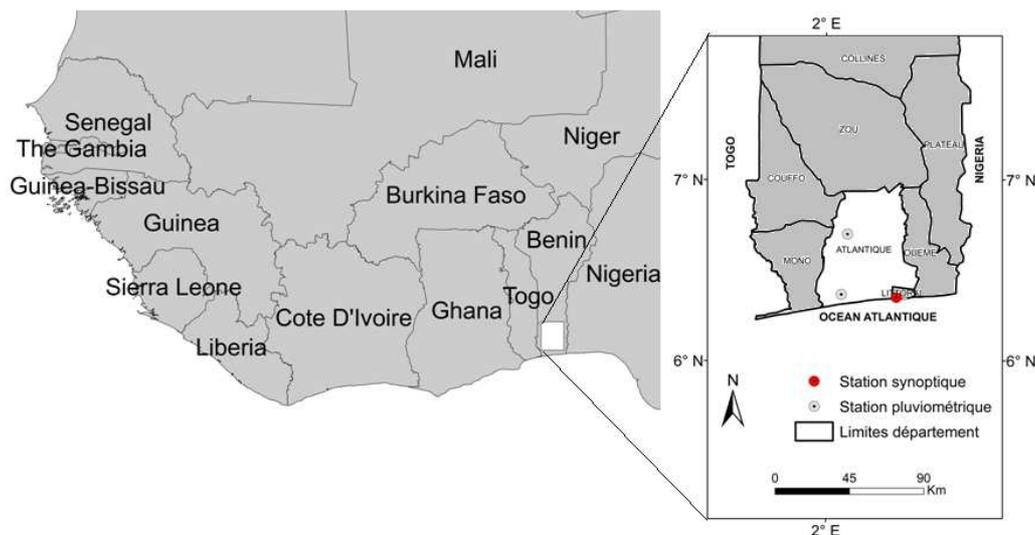


Fig. 1. Localisation du plateau d'Alida dans le Sud-Bénin et des stations de Niaouli, Ouidah et Cotonou

2.2 DONNÉES UTILISÉES

Les données agricoles correspondent aux rendements de maïs pour la période 1971-2010. Il ne s'agit pas de rendements observés mais de rendements simulés à partir du modèle agronomique SARRA-H.

Les données climatiques sont constituées en données journalières de précipitation, d'insolation, de température, d'humidité et de vitesse moyenne de vents pour la période 1971-2010. Elles sont fournies par la Direction de la Météorologie Nationale (DMN) du Bénin. Ces données sont utilisées par le modèle SARRA-H pour calculer la demande hydrique et l'accumulation de chaleur nécessaire au développement de la plante. Les données de précipitations proviennent des stations pluviométriques de Niaouli et de Ouidah installées sur la région d'étude et les autres données climatiques proviennent de la station synoptique de Cotonou située à proximité (à environ 40 km) de la zone d'étude (Tableau 1).

Table 1. Caractéristiques des stations et données utilisées

Stations	Longitude	Latitude	Données fournies par la station	Nombre d'années manquantes (1971-2010)
Niaouli	2,11°E	6,70°N	Pluies journalières	0
Ouidah	2,00°E	6,36°N	Pluies journalières	1
Cotonou	2,38°E	6,35°N	Humidité, température, insolation, vitesses moyenne du vent	0

2.3 LE MODÈLE DE CULTURE SARRA-H

Le modèle agro-climatique SARRA-H, développé par le Cirad (Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement), est un simulateur de la croissance et du rendement des cultures céréalières. Il est particulièrement adapté pour l'analyse de l'impact du climat sur la croissance et le rendement des céréales en milieu tropical [16], [17]. SARRA-H est un modèle déterministe et relativement simple qui fonctionne au pas de temps journalier, il est accessible sur le site <http://sarra-h.teledetection.fr> qui est dédié à ce modèle. Trois types de processus sont pris en compte dans SARRA-H: (i) la croissance de la plante au sein d'une culture, (ii) la phénologie de la plante et (iii) le bilan d'eau intégrant les demandes du sol, de la plante et de l'atmosphère. Ces processus sont largement présentés dans la littérature [16], [17], [18], [19], [20].

2.3.1 PHÉNOLOGIE ET PHOTOPÉRIODISME

Le modèle SARRA-H subdivise le cycle végétatif des graminées en six phases : (i) la levée, (ii) la phase juvénile, (iii) la phase sensible à la photopériode, (iv) la phase reproductive, (v) la phase de remplissage des grains et (vi) la phase de dessiccation des grains. La durée de chaque phase est contrôlée par des constantes génétiques photothermiques (degrés-jours), où seule

la phase photosensible est variable, en se fondant sur une réaction de type seuil qui permet de simuler des variétés hautement sensibles à peu sensibles [17].

2.3.2 BILAN HYDRIQUE

SARRA-H simule le bilan hydrique sur la base d'un système de réservoirs, où seuls les flux verticaux et descendants sont pris en compte. Ce système est constitué de deux réservoirs : un réservoir de surface de taille fixe (20 cm de profondeur) et un second réservoir de taille variable en fonction du front d'humectation. Le réservoir de surface est soumis aux processus d'évaporation alors que le second réservoir n'est soumis qu'aux processus de transpiration. Les processus de transpiration et d'évaporation dépendent (i) de la demande climatique (ET_o, [21]), (ii) de la couverture foliaire du sol (LAI) et (iii) des phases phénologiques de la plante. L'évaporation et la transpiration sont respectivement limitées par l'eau disponible dans le réservoir de surface (Fraction Évaporable Soil Water (FESW)) et celle disponible pour les racines (Fraction Transpirable Soil Water (FTSW)). Le rapport entre la consommation réelle et la demande potentielle de la plante permet de définir un indice de satisfaction des besoins en eau qui intervient comme frein hydrique au processus d'élaboration des biomasses.

2.3.3 BILAN CARBONÉ

Le bilan carboné repose sur une simulation explicite de l'interception du rayonnement (ϵ_a) et du taux de conversion maximum de l'énergie en matière sèche (ϵ_b). Ce coefficient génétique de conversion est modulé par un frein hydrique lié à la transpiration relative (transpiration potentielle/transpiration réelle). Une fraction de la production de sucre (amidon) est allouée à la respiration de maintenance en fonction de la biomasse présente et de la température, le reste étant attribué à l'augmentation de la biomasse totale qui est alors répartie vers les racines, les tiges et les feuilles. Pour la répartition des biomasses, des relations allométriques empiriques sont utilisées. Dans le cas des céréales, ces relations ne sont appliquées que lors de la phase végétative et reproductive ; lors de l'apparition des grains et de la phase de maturation, il n'y a plus de croissance foliaire et racinaire. L'estimation du rendement est simulée en deux étapes permettant de définir la taille du puits (nombre de grains), puis le remplissage des grains. Durant la phase de remplissage, la demande est fonction de la taille du puits et de l'offre, la quantité de sucre produite est fonction de l'interception du rayonnement sous contrainte hydrique. Si la demande est supérieure à l'offre, ce manque est partiellement satisfait par réallocation des assimilés au niveau des tiges et des feuilles, ce qui entraîne la sénescence des feuilles et se traduit par une diminution de la biomasse verte et ainsi du LAI.

2.3.4 DATE DE SEMIS

La date de semis est une variable calculée par le modèle selon une méthode de seuil adaptée de la pratique paysanne locale qui combine des informations climatologiques et agronomiques [17]. Lorsqu'aucune date de semis n'est fixée par l'utilisateur (comme c'est le cas dans la présente étude), celle-ci est déterminée automatiquement par le modèle en fonction d'un seuil d'eau disponible dans le sol à la fin de la journée assurant ainsi une disponibilité en eau suffisante pour l'émergence de la plante, le seuil de 10mm a été retenu dans le cas du maïs. Le modèle considère le semis réussi dans le cas où sur les vingt jours suivants le semis, dix sont caractérisés par une croissance de la biomasse. Dans le cas contraire, le modèle suppose le semis non réussi et recherche une autre date permettant de ressemer.

2.4 EXPÉRIMENTATIONS AGRICOLES

La calibration du modèle SARRA-H a été effectuée sur sa version 3.2. Lors de la calibration, plusieurs paramètres, généralement traduits en coefficients pour prendre en compte les différents aspects du développement de la plante, ont été intégrés dans le modèle SARRA-H. Ces paramètres ont soit été calculés sur la base des données expérimentales collectées sur des expérimentations agricoles réalisées en conditions d'approvisionnement en eau et de fertilité du sol non limitantes, soit ajustés dans les limites des intervalles de variation définis pour les céréales telle que le maïs dans la littérature [21], [22], [23].

En vue de calibrer le modèle SARRA-H, une expérimentation agricole a été conduite en 2012 au Centre de Recherches Agricoles Plantes Pérennes (CRAPP) de Pobè (6°56N ; 2°40E). La variété de maïs retenue pour cette étude est le DMR-ESR-W de 90 jours, cette variété non photopériodique étant largement adoptée par les agriculteurs sur la région d'étude. Les semences ont été préalablement certifiées par la Direction de la Promotion de la Qualité et du Conditionnement des produits agricole (DPQC). Le semis a été mis en place le 09 mai et le dispositif expérimental était constitué en blocs aléatoires complets avec trois répétitions. Chaque bloc mesurait 12 m x 10 m, incluant un carré de rendement (4 m x 4 m) au centre, des carrés de mesures destructives (biomasse aérienne, surface foliaire) et des carrés de suivis phénologiques (dates des

stades phénologiques). La culture a bénéficié d'une irrigation d'appoint de cinq mm/j, cette dose correspondant au maximum de l'évapotranspiration journalière maximale (ETM) durant le cycle de développement de la variété de maïs considérée. La densité de semis est de 0.80 m x 0.40 m, soit 62 500 plants par hectare à raison de deux plants par poquets. La dose de fertilisation a été de 100 Kg/ha de NPK et 50 kg/ha d'urée. Le NPK a été apporté aux plants 14 jours après le semis et l'Urée deux semaines plus tard.

Parallèlement à cette première expérimentation, une deuxième expérimentation a été mise en place sur le même site en vue de vérifier la capacité prédictive du modèle. A cet effet, le dispositif expérimental était constitué en bloc aléatoire complet avec trois répétitions et trois dates de semis (14 avril, 9 mai et 2 juin) et la culture était strictement pluviale sans aucune irrigation d'appoint. Le choix de ces différentes dates et la restriction à une culture strictement pluviale avaient pour objectif d'obtenir des situations contrastées impactant les processus de développement et de croissance de la culture du maïs. Les dimensions des blocs, les mesures effectuées, la densité et la fertilisation du sol étaient identiques à celles de la première expérimentation.

2.5 PROTOCOLE DE SIMULATION DES RENDEMENTS POTENTIELS

Les simulations ont concerné uniquement les stations de Niaouli et de Ouidah qui représentent la zone d'étude. Pour chaque année (1971-2010), une série de simulations a été réalisée en décalant d'une décade, de février à novembre, la recherche automatique de la date de semis. Nous avons ainsi obtenu 40 séries temporelles de rendements potentiels entre février et novembre. Cette expérience a également permis d'identifier à posteriori, pour la grande saison pluvieuse (de février à juillet) et pour la petite saison pluvieuse (d'août à novembre), le rendement potentiel maximal sous contrainte hydrique atteint chaque année.

2.6 SENSIBILITÉ DES RENDEMENTS POTENTIELS À LA DATE DE SEMIS

Une étude de sensibilité des rendements potentiels à la date de semis a été menée afin de mettre en relief l'impact de la variabilité intrasaisonnière des pluies sur les rendements potentiels. A cet effet, nous avons, dans un premier temps, moyenné les 40 séries temporelles (1971-2010) de rendements potentiels simulés de manière à obtenir une série composite de rendements potentiels entre février et novembre. Dans un deuxième temps, nous avons constitué une série composite des dates de début de dessiccation des grains en adoptant la même démarche ayant conduit à la réalisation de la série composite des rendements potentiels.

2.7 CALCUL DES DATES DÉBUT ET DE FIN DES SAISONS DES PLUIES

Les dates de début et de fin des saisons des pluies ont été calculées à partir de la méthode élaborée par Erpicum et al. [24]. Ces auteurs ont montré que, selon des critères climatiques, la saison des pluies commence au moment où la probabilité d'avoir un jour de pluie (pluie ≥ 1 mm) au cours d'une pentade (période de cinq jours) déterminée est supérieure à celle d'avoir un jour sec appartenant à un épisode de plus de sept jours. De même, la fin de la saison des pluies est fixée dès que la probabilité d'avoir un jour sec appartenant à un épisode de sept jours est supérieure à celle d'avoir un jour de pluie au cours d'une pentade.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 CALIBRATION ET VÉRIFICATION DU MODÈLE SARRA-H

La Figure 2 présente les résultats de la calibration et de la vérification du modèle SARRA-H pour le maïs DMR-ESR-W de 90 jours. Les résultats de calibration montrent que le modèle arrive bien à reproduire les différentes dynamiques de biomasses aériennes, foliaires et du LAI (leaf area index) ainsi que l'estimation du rendement final. En effet, les courbes des valeurs simulées passent généralement à l'intérieur des marges d'erreur (écart-type) calculées à partir des observations. La vérification de la capacité prédictive du modèle dans des situations contrastées, les rendements et biomasses variant presque du simple au double, est bien montrée dans la série des autres essais et permet de conclure sur sa capacité à simuler les rendements potentiels agricoles du maïs dans les contextes du Sud-Bénin.

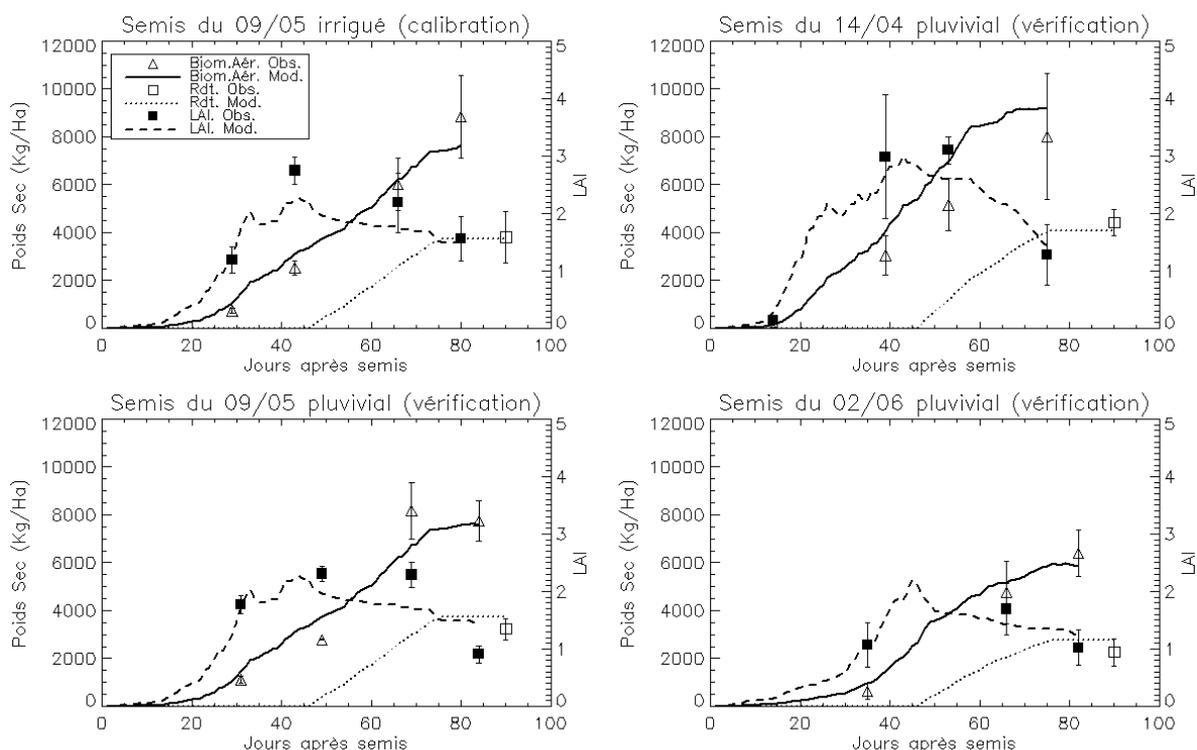


Fig. 2. Calibration et vérification du modèle SARRA-H

3.2 STRATÉGIES DE SEMIS ET RISQUES DE PERTES DE SEMIS

Les Figures 3 et 4 présentent la dynamique saisonnière du pourcentage de semis réussis sur la période d'étude (1971-2010) respectivement sur les stations de Niaouli et de Ouidah. Il est intéressant de noter que les pourcentages de semis réussis progressent avec l'installation des pluies et que les pourcentages de semis réussis les plus performants (au-delà de 90%) sont atteints dès 20 jours après la date de démarrage des pluies, quelles que soient la saison des pluies et la station considérées. On peut également observer que la méthode traditionnelle des agriculteurs qui consiste à semer le plus tôt possible en choisissant un seuil de pluie comme critère de décision pour le choix de la date de semis [25], comporte d'importants risques d'échec de semis (Figures 3 et 4). Marteau et al. [26] ont ainsi montré qu'au Niger, 22 % des semis ont été perdus à cause de l'occurrence d'un épisode sec prolongé (supérieur à 7 jours) juste après le semis. En effet, nombre de ces événements pluvieux isolés peuvent être associés à l'instabilité induite par le passage du front intertropical (FIT) sur la région d'étude au mois de mars avec une forte probabilité de faux départ de la saison des pluies. Il en est de même pour la petite saison des pluies où le semis est fortement hypothéqué lorsqu'il est réalisé avant septembre. Ainsi, dans un contexte où pour la culture de céréales, les populations rurales d'Afrique subsaharienne sont soumises à de fortes pressions financières du fait de l'absence de subventions et de crédits agricoles, de régulations des coûts (intrants, engrais, mécanisation...) et d'organisation du réseau [27], il apparaît très préjudiciable de semer avant le démarrage effectif de la saison des pluies. Ce résultat confirme l'importance de la date de démarrage des pluies pour l'agriculture [17], [26] et qui a été soulignée très justement par les agriculteurs comme la priorité en termes d'indicateur climatique à être inclus dans les systèmes de prévision actuels [11].

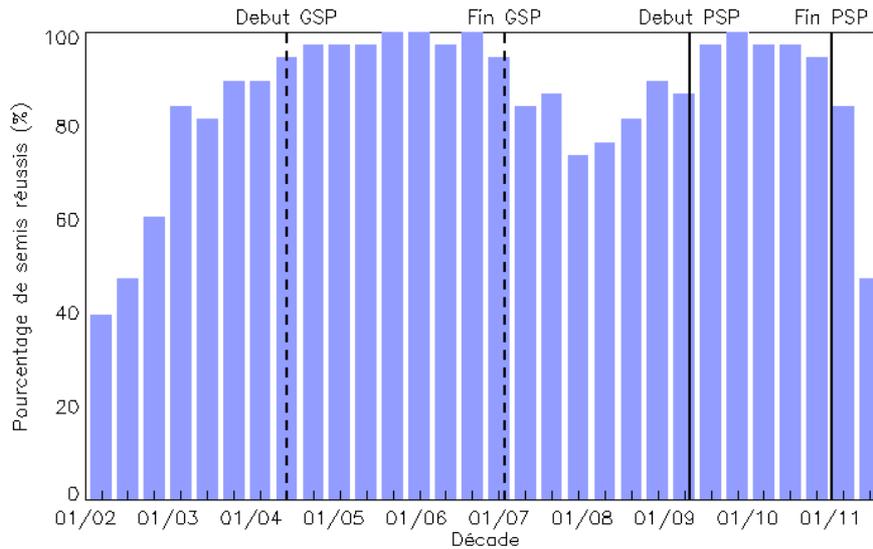


Fig. 3. Pourcentage de semis réussis entre février et Novembre sur la station de Niaouli. (GSP=grande saison des pluies, PSP=petite saison des pluies).

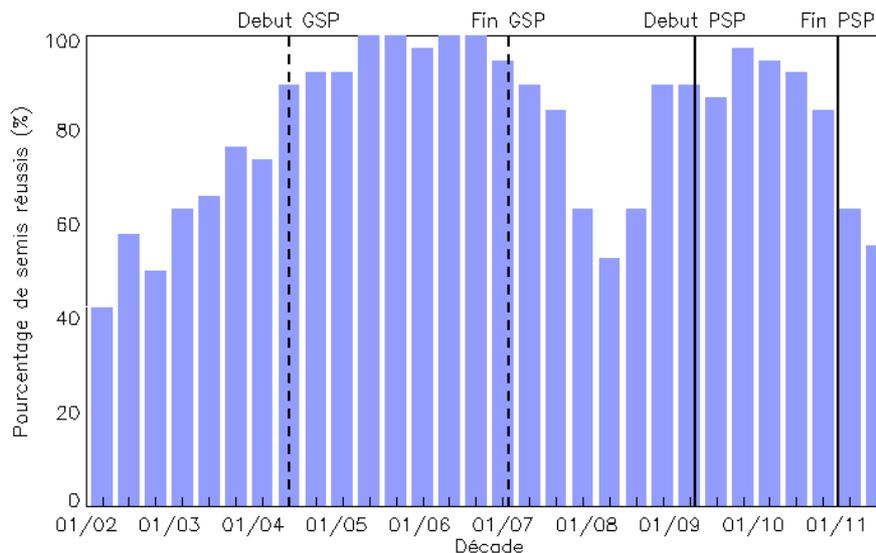


Fig. 4. Pourcentage de semis réussis entre février et Novembre sur la station de Ouidah. (GSP=grande saison des pluies, PSP=petite saison des pluies).

3.3 FENÊTRES DE SEMIS ET OPTIMISATION DES RENDEMENTS POUR UNE DOUBLE SAISON DES PLUIES

Les Figures 5 et 6 présentent la série composite des rendements potentiels simulés en fonction de la date de semis respectivement pour les stations de Niaouli et de Ouidah. Ces figures montrent une progression saisonnière des rendements au fur et à mesure que la date de semis se rapproche de mi-avril, où les rendements atteignent un premier pic (90%). Ensuite, selon que la date de semis s'éloigne de mi-avril, les rendements diminuent progressivement pour atteindre un minimum en fin juin (60%). La dynamique saisonnière de la petite saison des pluies est également caractérisée par une progression des rendements au fur et à mesure que la date de semis se rapproche de la première décennie de septembre où les rendements atteignent un deuxième pic (95%). Dès que la date de semis s'éloigne de la première décennie de septembre, les rendements chutent brutalement jusqu'à fin novembre ce qui s'explique par la courte durée de cette saison au regard de la durée du cycle de la plante cultivée (90 jours). On observe une certaine stabilité des rendements potentiels autour des pics. Cette stabilité au sommet peut s'expliquer en partie par la faible sensibilité du rendement aux stress hydriques qui

surviennent au cours des premiers stades phénologiques de développement des cultures [28]. Il apparaît donc que les dates de semis situées autour de mi-avril et de début septembre sont celles qui généralement offrent les rendements potentiels les plus élevés respectivement pour la grande saison des pluies et la petite saison des pluies.

Cependant, le choix d'une période de semis ne peut se faire uniquement sur la base des seuls stress hydriques. Des pertes de rendement peuvent être aussi imputées à de nombreuses contraintes biotiques (maladies, attaque des rongeurs et oiseaux) liées au fait que la phase de dessiccation des grains débute avant la fin des saisons des pluies [25]. Ainsi, les agriculteurs au Sud-Bénin enregistrent chaque année des pertes post-récoltes allant de 20 à 50 % seulement après 6 mois de stockage [29]. Pour la grande saison des pluies, lorsqu'on sème avant fin avril, la phase de dessiccation des grains débute avant la fin de la grande saison des pluies dans le cas d'une variété de 90 jours (Figures 5 et 6). On s'affranchit de ce risque en semant en mai. Cependant, l'on perd en rendement, quoique faiblement. Toutefois, d'après De Rouw [30], la priorité des paysans n'est pas d'obtenir le plus fort rendement une année donnée, mais de réduire les risques afin d'être garantis d'un rendement minimal chaque année. Quant aux semis effectués en septembre, la phase de dessiccation des grains ne débute qu'après la fin de la petite saison des pluies. Ainsi, le mois de septembre apparaît comme une période favorable pour le semis de la deuxième saison des pluies, en l'occurrence sa première décade. Cette dernière coïncide avec le démarrage de la petite saison des pluies, montrant ainsi que la variété du maïs de 90 jours semble bien adaptée à la durée de ladite saison.

En revanche, en comparant le démarrage de la grande saison des pluies (première décade d'avril) avec la période de semis optimale de cette saison pour la variété DMR-ESR-W du maïs dans la région d'étude (première moitié de mai), il apparaît que les pluies débutent un mois environ avant la période de semis. Ce décalage montre que malgré son rétrécissement, après 1970 [8], la durée de la grande saison des pluies ne constitue pas un facteur restrictif pour la maïsiculture de cycle long (120 jours) dans la région d'étude. Un constat similaire a été fait par Noufé et al. [31] en Côte d'Ivoire. En effet, l'utilisation d'une variété de maïs de 120 jours pour la grande saison des pluies peut reculer la période de semis optimale d'environ un mois, coïncidant de fait avec la date de démarrage des pluies où le pourcentage de semis réussis devient très performant. En outre, cela correspondrait davantage à la stratégie des agriculteurs qui consiste à semer le plus tôt possible [25]. Par ailleurs l'utilisation d'une variété à cycle long (120 jours) peut également réduire la perte d'azote dans le sol induit par les processus de lessivage et de dénitrification [32] et maîtriser les adventices [33], [34] à l'inverse de la variété de 90 jours du fait du décalage entre le début de la grande saison des pluies et la période de semis optimale de cette saison pour ladite variété.

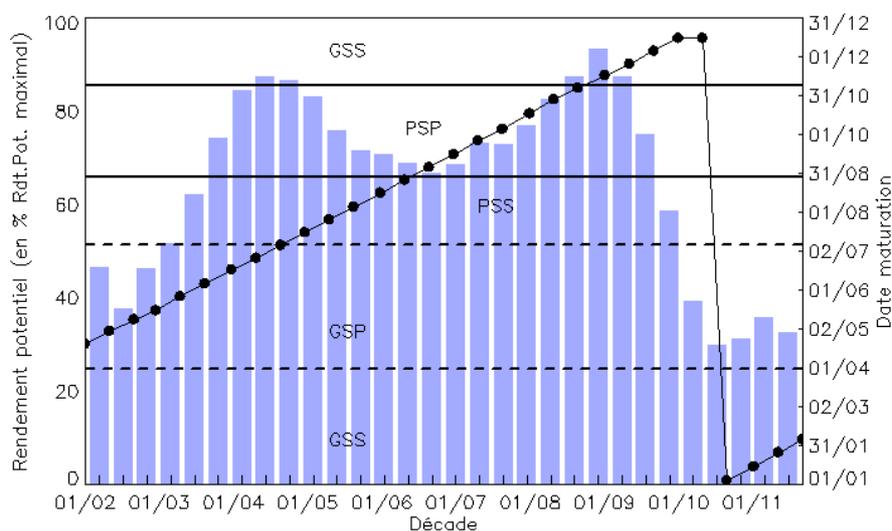


Fig. 5. Évolution des rendements potentiels (histogrammes, exprimés en pourcentage de rendements potentiels maximaux) et des dates de début de la phase de dessiccation des grains (points) en fonction de la date de semis à la station de Niaouli pour la période 1971-2010. Lignes discontinues = début et fin de la grande saison des pluies (GSP) ; Lignes continues = début et fin de la petite saison des pluies (PSP).

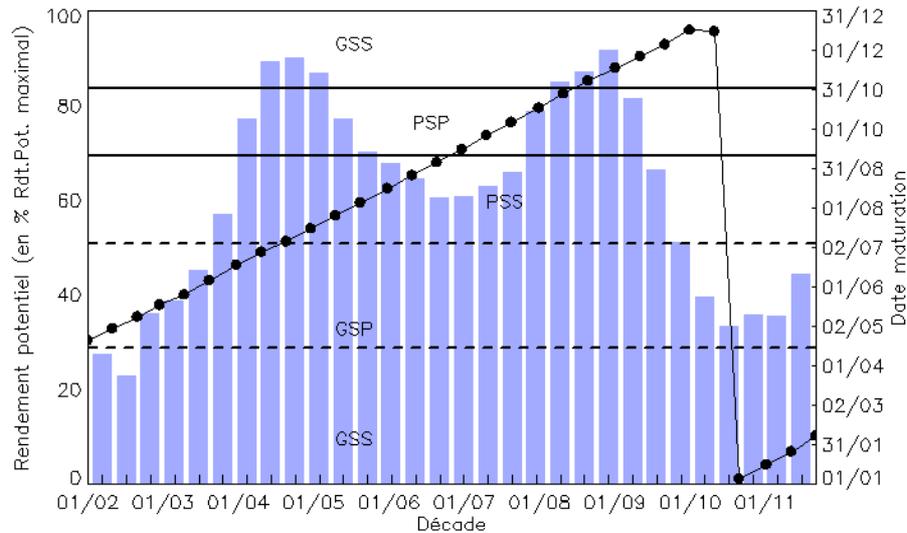


Fig. 6. Évolution des rendements potentiels (histogrammes, exprimés en pourcentage de rendements potentiels maximaux) et des dates de début de la phase de dessiccation des grains (points) en fonction de la date de semis à la station de Ouidah pour la période 1971-2010. Lignes discontinues = début et fin de la grande saison des pluies (GSP) ; Lignes continues = début et fin de la petite saison des pluies (PSP).

4 CONCLUSION

Cette étude s'attache à mettre en évidence les différents niveaux de risques liés à la gestion du calendrier agricole. Elle ouvre ainsi tout un ensemble d'opportunités de stratégies agricoles en fonction des choix de risques et/ou de contraintes de gestion d'une exploitation. Elle permet également une analyse plus adaptée des fenêtres de semis et de récolte en intégrant au-delà d'une analyse purement climatique les relations Eau-Sol-Plante. Les pourcentages de semis réussis les plus performants (au-delà de 90%) sont atteints avec la date de démarrage des pluies montrant ainsi l'importance de la date de démarrage des pluies pour l'agriculture. Quant aux rendements potentiels, ils sont maximums en semant dans la deuxième décennie d'avril et la première décennie de septembre respectivement pour la grande saison des pluies et la petite saison des pluies. Cependant, en considérant les contraintes biotiques dans le choix de la période de semis, il apparaît que la période de moindre risque pour semer est la première moitié de mai relativement à la grande saison des pluies et la première moitié de septembre relativement à la petite saison des pluies. Toutefois, en comparant le démarrage des pluies (début avril) avec la période de semis de la grande saison des pluies (première moitié de mai), on se rend compte que les pluies débutent un mois environ avant la période de semis. Ce décalage soulève donc la question de l'adaptation des variétés de maïs à cycle court (90 jours à 75 jours) à la grande saison des pluies. En effet, il est probable qu'une variété de maïs à cycle plus long (120 jours à 110 jours), où la principale différence de longueur de cycle se situe sur les premières phases phénologiques, soit plus adaptée à la grande saison des pluies. Toutefois, des études supplémentaires sont nécessaires pour corroborer cette hypothèse. Quant à la petite saison des pluies, la variété de cycle de 90 jours semble bien adaptée à cette saison.

REFERENCES

- [1] J. W. Hansen, "Realizing the potential benefits of climate prediction to agriculture: issues, approaches, challenges", *Agricultural Systems*, no. 74, pp. 309-330, 2002.
- [2] B. Sultan, A. Alhassane, B. Barbier, C. Baron, M. Bella-Medjo Tsogo, A. Berg, M. Dingkuhn, J. Fortilus, M. Kouressy, A. Lebouis, R. Marteau, B. Muller, P. Oettli, P. Quirion, P. Roudier, S. B. Traoré and M. Vaksman, "la question de la vulnérabilité et de l'adaptation de l'agriculture sahélienne au climat au sein du programme AMMA", *La Météorologie, Spécial AMMA*, pp. 64-72, 2012.
- [3] Y. L'hôte, G. Mahe, B. Some, and J. Triboulet, "Analysis of a sahelian rainfall index from 1896 to 2000: the drought continues," *Hydrological Sciences Journal*, vol. 47, pp. 563-572, 2002.

- [4] C. T. West, C. Roncoli, and F. Ouattara, "Local perceptions and regional climate trends on the Central Plateau of Burkina Faso," *Land Degradation & Development*, vol. 19, 289-304, 2008.
- [5] O. Mertz, C. Mbow, A. Reenberg et A. Diouf, "Farmers' Perceptions of Climate Change and Agricultural Adaptation Strategies in Rural Sahel," *Environmental Management*, vol. 43, pp. 804-816, 2009.
- [6] M. Ouedraogo, Y. Dembele, et L. Some, "Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements des précipitations : cas des paysans du Burkina Faso," *Sécheresse*, vol. 21, pp. 87-96, 2010.
- [7] A. J. Tambo, et T. Abdoulaye, "Smallholder farmers' perceptions of and adaptations to climate change in the Nigerian savanna," *Regional Environmental Change*, Vol. 13, no. 2, pp. 375-388, 2012.
- [8] C. S. U. Y. Allé, P. V. Vissoh, H. Guibert, E. K. Agbossou et A. A. Afouda, "Relation entre perceptions paysannes de la variabilité climatique et observations climatiques au Sud-Bénin", *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne]*, Vol. 13, no. 3, 2013.
- [9] Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR), *Climate, agriculture and food security: A strategy for change*, Alliance of the CGIAR Centers, 2009.
- [10] O. Mertz, C. Mbow, J. Nielsen, A. Maiga, D. Diallo, A. Reenberg, A. Diouf, B. Barbier, I. Bouzou Moussa, M. Zorom, I. Ouattara, and D. D., "Climate factors play a limited role for past adaptation strategies in West Africa," *Ecology and Society*, vol. 15, 2010.
- [11] K. T. Ingram, M. C. Roncoli et P. H. Kirshen, "Opportunities and constraints for farmers of West Africa to use seasonal precipitation forecasts with Burkina Faso as a case study," *Agricultural Systems*, no. 74, pp. 331-349, 2002.
- [12] E. Klopper, C. Vogel and W. Landman, "Seasonal Climate Forecasts – Potential Agricultural-Risk Management Tools?," *Climatic Change*, vol. 76, pp. 73-90, 2006.
- [13] M. Hamatan, G. Mahé, E. Servat, J. E. Paturel and A. Amani, "Synthèse et évaluation des prévisions saisonnières en Afrique de l'Ouest," *Sécheresse*, vol. 15, pp. 279-286, 2004.
- [14] N. Ward, K. Cook, A. Diedhiou, B. Fontaine, A. Giannini, A. Kamga, P. J. Lamb, A. Ben Mohamed, A. Nasseur and C. Thorncroft, "Seasonal-to-decadal predictability and prediction of West African climate," *CLIVAR Exchanges*, vol. 9, no 3, pp. 14-20, 2004.
- [15] B. Sultan and S. Janicot, "The West African monsoon dynamics. Part II: The "preonset" and "onset" of the summer monsoon," *J. Climate*, vol. 16, pp. 3407-3427, 2003.
- [16] C. Baron, B. Sultan, M. Balme, B. Sarr, S. Traore, T. Lebel, S. Janicot and M. Dingkuhn, "From GCM grid cell to agricultural plot: scale issues affecting modelling of climate impact," *Phil. Trans. Roy. Soc.*, vol. 360, no. 1463, pp. 2095-2108, 2005.
- [17] B. Sultan, C. Baron, M. Dingkuhn, B. Saar et S. Janicot, "Agricultural impacts of large-scale variability of the West African monsoon," *Agr. Forest Meteorol.*, vol. 128 no 1-2, pp. 93-110, 2005.
- [18] M. Dingkuhn, C. Baron, V. Bonnal, F. Maraux, B. Sarr, B. Sultan, A. Clopes and F. Forest, *Decision support tools for rainfed crops in the Sahel at the plot and regional scales. In Decision support tools for smallholder agriculture in sub-Saharan Africa—a practical guide*, ed. T. E. Struif Bontkes & M. C. S. Wopereis, The Netherlands : CTA Wageningen, 2003.
- [19] M. Kouressy, M. Dingkuhn, M. Vaksman and A. B. Heinemann, "Adaptation to diverse semiarid environments of sorghum genotypes having different plant type and sensitivity to photoperiod," *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 148, pp. 357-371, 2008.
- [20] S. Traore, A. Alhassane, B. Muller, M. Kouressy, L. Some, B. Sultan, P. Oettli, A. C. S. Laope, S. Sangare, M. Vaksman, Mbaye Diop, M. Dingkuhn and C. Baron, "Characterizing and modeling the diversity of cropping situations under climatic constraints in West Africa," *Atmospheric science letters*, vol. 12, 2011.
- [21] R. G. Allen, L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith, *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements*, In : FAO (Eds.), FAO Irrigation and drainage, paper no 56, 1998.
- [22] J. L. Monteith, A. K. S. Huda and D. Midya, *RESCAP : a ressource capture model for sorghum and Pearl millet*, In: ICRISAT (Eds.), Modelling the growth and the development of sorghum and Pearl Millet, Research Bulletin no 12, pp. 30-34, 1989.
- [23] J. R. Kiniry, C. A. Jones, J. C. O'Toole, R. Blanchet, M. Cabelguenne and D. A. Spanel, "Radiation use efficiency in biomass accumulation prior to grain –filling for five grain-crop species," *Field Crops Res.*, vol. 20, pp. 51-64, 1989.
- [24] M. Erpicum, M. Binard, J.P. Peters and J. Alexandre, *Une méthode d'analyse des caractéristiques de la saison des pluies en région sahélienne (Exemples pris au Sénégal)*, In : Erpicum (Eds.), Actes des Journées de Climatologie, Mont-Rigi, Belgique : Presses Universitaires de Liege, pp. 43-56, 1988.
- [25] M. Kouressy, M. Dingkuhn, M. Vaksman and A. B. Heinemann, "Adaptation to diverse semiarid environments of sorghum genotypes having different plant type and sensitivity to photoperiod," *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 148, pp. 357-371, 2008.
- [26] R. Marteau, B. Sultan, V. Moron, A. Alhassane, C. Baron and S. B. Traoré, "The onset of the rainy season and farmers' sowing strategy for pearl millet cultivation in Southwest Niger," *Agr. Forest Meteorol.*, vol. 151, pp. 1356-1369, 2011.

- [27] F. Forest and A. Clopes, *Contribution à l'explication de la variabilité du rendement d'une culture de maïs plus ou moins intensifiée à l'aide d'un modèle de bilan hydrique amélioré*, In : F.N. Reyniers, L. Netoyo, (Eds.), *Bilan hydrique agricole et sécheresse en Afrique Tropicale*, Paris : John Libbey Eurotext, pp. 3-15, 1994.
- [28] J. Rockström and A. de Rouw, "Water, nutrients and slope position in on-farm pearl millet cultivation in the Sahel," *Plant and Soil*, vol. 195, pp. 311-327, 1997.
- [29] Y.P. Adégbola, A. Arouna, and R.C. Houedjissin, "Analyse des perceptions paysannes des problèmes et des systèmes de stockage du maïs au Sud-Bénin," *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, Numéro spécial 2, pp. 33-42, 2011.
- [30] A. de Rouw, "Improving yields and reducing risks in pearl millet farming in the African Sahel," *Agricultural Systems*, vol.81, pp. 73-93, 2004.
- [31] D. Noufé, B. Lidon, G. Mahé, E. Servat, Y. T. Brou, Bi Z. Koli, and J.L. Chaléard, "Variabilité climatique et production de maïs en culture pluviale dans l'est Ivoirien," *Hydrol. Sci. J.* vol. 56, no 1, pp. 152-167.
- [32] D. Blondel, "Contribution à la connaissance de la dynamique de l'azote minéral : en sol sableux au Sénégal," *Agronomie Tropicale*, vol. 26, pp. 1303-1333, 1971.
- [33] D. J. Andrews and P. Bramel-Cox, *Breeding cultivars for sustainable crop production in low input dry land agriculture in the tropics*. In : D.A. Buxton (Eds.), *International Crop Science I*, Madison, WI, USA : CSSA pp. 211-222, 1994.
- [34] M. Vaksman, S. B. Traoré, and O. Niangado, "Le photopériodisme des sorghos africains," *Agriculture et Développement*, vol. 9, pp. 13-18, 1996.