



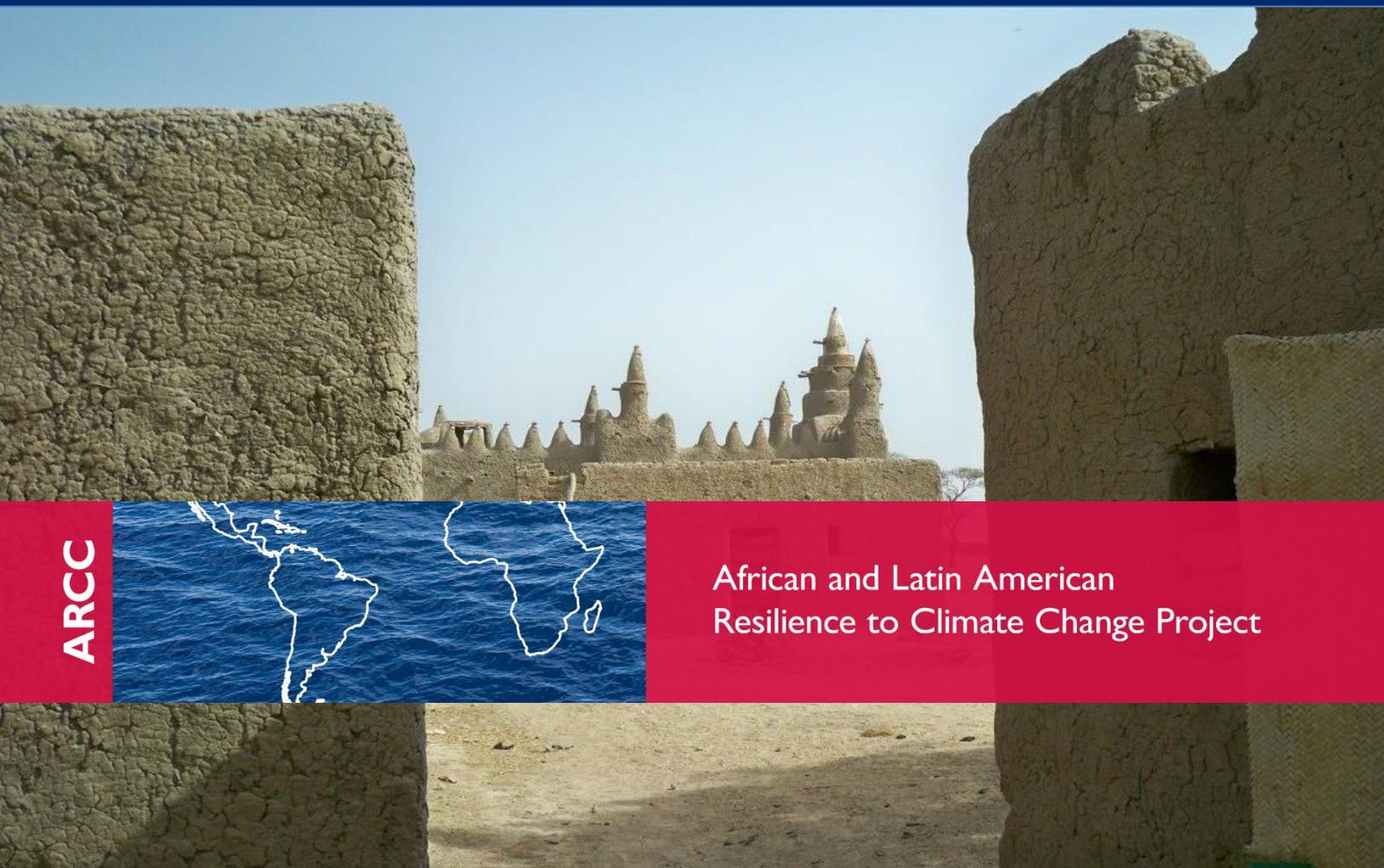
USAID
FROM THE AMERICAN PEOPLE

ADAPTATION DE L'AGRICULTURE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE AU SAHEL :

PROFILS AGRONOMIQUES DE QUINZE CULTURES DOMINANTES AU SAHEL

AOÛT 2014

La rédaction du présent rapport a été rendue possible grâce au soutien du peuple américain par le biais de l'Agence des Etats-Unis pour le développement international (USAID). Le contenu du présent document relève de la seule responsabilité de Tetra Tech ARD et ne représente pas nécessairement les points de vue de l'USAID ou du gouvernement américain.



ARCC



African and Latin American
Resilience to Climate Change Project

Ont contribué au présent rapport, dans l'ordre alphabétique : Alfonso del Rio¹ et Brent M. Simpson²

¹ L'université du Wisconsin – Madison

² Michigan State University

Photo de couverture : Mopti, Mali, Crédit photo : Tjeu Van den Berg, 2010.

La présente publication a été réalisée pour l'Agence des Etats-Unis pour le développement international par Tetra Tech ARD dans le cadre du Contrat à Quantité Indéterminée Prospérité, Moyens de subsistance et Conservation des écosystèmes [Prosperity, Livelihoods, and Conserving Ecosystems (PLACE)], contrat USAID No. AID-EPP-I-00-06-00008, ordre de service No. AID-OAA-TO-11-00064).

Contacts Tetra Tech ARD :

Patricia Caffrey

Chef de mission

Résilience africaine et latino-américaine au changement climatique (ARCC)

Burlington, Vermont

Tél. : 802-658-3890

Patricia.Caffrey@tetratech.com

Anna Farmer

Chef de projet

Burlington, Vermont

Tél. : 802-658-3890

Anna.Farmer@tetratech.com

ADAPTATION DE L'AGRICULTURE AU CHANGEMENT
CLIMATIQUE AU SAHEL :

PROFILS AGRONOMIQUES DE QUINZE CULTURES DOMINANTES AU SAHEL

RESILIENCE AFRICAINE ET LATINO-AMERICAINE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE
(ARCC)

AOÛT 2014

TABLE DES MATIERES

ACRONYMES ET ABREVIATIONS	vi
A PROPOS DE CETTE SERIE	vii
1.0 INTRODUCTION	1
2.0 LE MAÏS	4
2.1 BREF APERÇU DE LA CULTURE	4
2.2 REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET NIVEAU GENERAL D'IMPORTANCE.....	4
2.3 CYCLE DE VIE.....	4
2.4 PARAMETRES DE PRODUCTION.....	5
2.5 SOURCES.....	7
3.0 LE MILLET PERLÉ	8
3.1 BREF APERÇU DE LA CULTURE	8
3.2 REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET NIVEAU D'IMPORTANCE GENERAL.....	8
3.3 CYCLE DE VIE.....	8
3.4 PARAMETRES DE PRODUCTION.....	10
3.5 SOURCES.....	11
4.0 LE RIZ	13
4.1 BREF APERÇU DE LA CULTURE	13
4.2 REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET NIVEAU GENERAL D'IMPORTANCE.....	13
4.3 LE CYCLE DE VIE.....	13
4.4 PARAMETRES DE PRODUCTION.....	15
4.5 SOURCES.....	16
5.0 LE SORGHO	18
5.1 BREF APERÇU DE LA CULTURE	18
5.2 REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET NIVEAU GENERAL D'IMPORTANCE.....	18
5.3 CYCLE DE VIE.....	18
5.4 PARAMETRES DE PRODUCTION.....	20
5.5 SOURCES.....	22
6.0 LE COTON	23

6.1	BREF APERÇU DE LA CULTURE	23
6.2	REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET NIVEAU GENERAL D'IMPORTANCE.....	23
6.3	CYCLE DE VIE.....	23
6.4	PARAMETRES DE PRODUCTION.....	24
6.5	SOURCES.....	26
7.0	L'ANACARDIER.....	27
7.1	BREF APERÇU DE LA CULTURE	27
7.2	REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET NIVEAU GENERAL D'IMPORTANCE.....	27
7.3	CYCLE DE VIE.....	27
7.4	PARAMETRES DE PRODUCTION.....	29
7.5	SOURCES.....	30
8.0	LA MANGUE	31
8.1	BREF APERÇU DE LA CULTURE	31
8.2	REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET NIVEAU GENERAL D'IMPORTANCE.....	31
8.3	CYCLE DE VIE.....	31
8.4	PARAMETRES DE PRODUCTION.....	33
8.5	SOURCES.....	34
9.0	LE KARITÉ	36
9.1	BREF APERÇU DE LA CULTURE	36
9.2	REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET NIVEAU GENERAL D'IMPORTANCE.....	36
9.3	CYCLE DE VIE.....	36
9.4	PARAMETRES DE PRODUCTION.....	38
9.5	SOURCES.....	39
10.0	LE BOURGOU	40
10.1	BREF APERÇU DE LA CULTURE	40
10.2	REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET NIVEAU GENERAL D'IMPORTANCE.....	40
10.3	CYCLE DE VIE.....	40
10.4	PARAMETRES DE PRODUCTION.....	41
10.5	SOURCES.....	42
11.0	PARKIA BIGLOBOSA (NERE).....	43
11.1	BREF APERÇU DE LA CULTURE	43

11.2 REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET NIVEAU GENERAL D'IMPORTANCE DANS LE PAYS.....	43
11.3 CYCLE DE VIE.....	43
11.4 PARAMETRES DE PRODUCTION.....	45
11.5 SOURCES.....	45
12.0 LE NIÉBÉ	47
12.1 BREF APERÇU DE LA CULTURE	47
12.2 REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET NIVEAU GENERAL D'IMPORTANCE DANS LE PAYS.....	47
12.3 CYCLE DE VIE.....	47
12.4 PARAMETRES DE PRODUCTION.....	49
12.5 SOURCES.....	50
13.0 L'ARACHIDE.....	52
13.1 BREF APERÇU DE LA CULTURE	52
13.2 REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET NIVEAU GENERAL D'IMPORTANCE DANS LE PAYS.....	52
13.3 CYCLE DE VIE.....	52
13.4 PARAMETRES DE PRODUCTION.....	53
13.5 SOURCES.....	55
14.0 LE SESAME.....	56
14.1 BREF APERÇU DE LA CULTURE	56
14.2 REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET NIVEAU GENERAL D'IMPORTANCE DANS LE PAYS.....	56
14.3 CYCLE DE VIE.....	56
14.4 PARAMETRES DE PRODUCTION.....	57
14.5 SOURCES.....	59
15.0 LE MANIOC	60
15.1 BREF APERÇU DE LA CULTURE	60
15.2 REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET NIVEAU GENERAL D'IMPORTANCE.....	60
15.3 CYCLE DE VIE.....	60
15.4 PARAMETRES DE PRODUCTION.....	62
15.5 SOURCES.....	64
16.0 LA PATATE DOUCE	65
16.1 BREF APERÇU DE LA CULTURE	65
16.2 REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET NIVEAU GENERAL D'IMPORTANCE.....	65

16.3 CYCLE DE VIE.....	65
16.4 PARAMETRES DE PRODUCTION.....	66
16.5 SOURCES.....	68
ANNEXE I. SOURCES SUPPLEMENTAIRES SUR LES BESOINS HYDRIQUES ET LES PARAMETRES DES SOLS	69
ANNEXE II. LES BESOINS EN EAU PAR PHENOPHASE	71
ANNEXE III. BESOINS EN PRECIPITATIONS ANNUELLES OPTIMALES	80
ANNEXE IV. LIMITES ABSOLUES DE PRECIPITATIONS ANNUELLES.....	81
ANNEXE V. PARAMETRES DES SOLS SELECTIONNES POUR LES CULTURES ETUDIEES.....	82
ANNEXE VI. ETUDE DES CARACTERISTIQUES PHENOLOGIQUES DES MODELES DE CULTURES COURANTES.....	85

ACRONYMES ET ABREVIATIONS

APSIM	Simulateur de systèmes de production agricole
ARCC	Résilience africaine et latino-américaine au changement climatique
CROPSYST	Modèle de systèmes de simulation de la production agricole
CERES	Estimation des cultures à travers une synthèse des ressources et de l'environnement
CNR	Conseil national de recherches
CSM	Modèle de système de culture
DVS	Stade de développement
EGF	Remplissage efficace des grains
GPD	Point de différenciation croissante
GS	Stade de croissance
CropSyst	Modèle de simulation de systèmes de culture
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)
ICRISAT	Institut international de recherches sur les cultures des zones tropicales semi-arides
IER	Institut d'Economie Rurale
IP	Initiation paniculaire
RECAP	Capture des ressources et efficacité de l'utilisation des ressources
SPOTCOMS	Simulation informatique sur la patate douce
USAID	Agence des Etats-Unis pour le développement international
WOFOST	Etudes alimentaires mondiales

A PROPOS DE CETTE SERIE

ETUDES SUR LA VULNERABILITE ET L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE EN AFRIQUE DE L'OUEST

Le présent document fait partie d'une série d'études publiées par le projet Résilience africaine et latino-américaine au changement climatique (ARCC) visant à répondre aux besoins d'adaptation au changement climatique en Afrique de l'Ouest. Dans le cadre des études ARCC pour l'Afrique de l'Ouest, le présent document fait partie de la sous-série portant sur l'Adaptation de l'agriculture au changement climatique dans le Sahel. L'ARCC a également produit une sous-série sur le Changement climatique et les ressources en eau d'Afrique de l'Ouest, le Changement climatique et les conflits en Afrique de l'Ouest et le Changement climatique au Mali.

SOUS-SERIE SUR L'ADAPTATION DE L'AGRICULTURE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE AU SAHEL :

A la demande de l'Agence des Etats-Unis pour le développement international (USAID), l'ARCC a entrepris une série d'études sur le Sahel en vue d'améliorer la compréhension des effets éventuels du changement climatique sur la productivité agricole dans cette région et d'identifier des moyens de favoriser l'adaptation à ces impacts. Parmi les documents sur l'Adaptation de l'agriculture au changement climatique au Sahel figurent Une approche de la sélection phénologique, Une approche de l'évaluation de la performance des pratiques agricoles, Profils des pratiques de gestion agricoles, Les impacts prévus sur les ravageurs et les maladies des cultures et Les impacts prévus sur les ravageurs et les maladies du bétail.

I.0 INTRODUCTION

Les profils suivants ont été élaborés dans le cadre du projet de la Résilience africaine et latino-américaine au changement climatique (ARCC), à la demande de l'Agence des Etats-Unis pour le développement international (USAID). Ce travail est une étape de l'approche de la sélection phénologique des cultures importantes pour la région du Sahel. Dans cette perspective, les paramètres de croissance présentés dans le présent document doivent être utilisés comme une « protection » contre les tendances des caractéristiques climatiques intrasaisonnières observées afin de déterminer le moment où les seuils critiques de résistance des cultures risquent d'être franchis. (Le processus et le raisonnement sont décrits dans leur intégralité dans le document en annexe, « Une approche de la sélection phénologique »).

Les 15 cultures sont présentées par type : les céréales (le maïs, le millet perlé, le riz, le sorgho) ; les fibres (le coton) ; les fruits (la noix de cajou, la mangue, la noix de karité) ; les graminées (le bourgou [*Enchinochloa stagnima*]) ; les légumineuses (le néré [*parkia biglobosa*], le niébé, l'arachide) ; les graines oléagineuses (le sésame) ; et les tubercules (le manioc, la patate douce). La présentation offre un bref aperçu et une description de la répartition géographique et de l'importance des cultures. Vient ensuite une présentation du cycle de vie de la culture, accompagnée d'un graphe illustrant les besoins pluviométriques connus ainsi que les besoins en température à différents stades du développement physiologique. La présentation se poursuit avec d'autres détails sur les seuils de croissance liés aux conditions des sols, à la disponibilité de l'eau ainsi qu'à la température. Enfin, chaque profil se termine sur une discussion sur l'adaptabilité de la culture à un climat changeant, présentant des références supplémentaires sur le comportement de la culture dans des conditions différentes ainsi qu'en fonction d'une variation des paramètres chez d'autres espèces. Des citations choisies sont fournies pour chaque profil.

Les profils ci-dessous reposent sur l'analyse de documentation de recherches et sont axés sur les cultures et conditions rencontrées dans le Sahel, en particulier au Niger, au Burkina Faso, au Mali et au Sénégal. En outre, des entretiens auprès de chercheurs, experts en matière de cultures alimentaires et économiques essentielles, ont été menés en vue de compléter et d'affiner les conclusions initiales de l'étude de la documentation électronique. Les personnes interviewées incluent le personnel de l'Institut international de recherches sur les cultures dans les tropiques semi-arides (ICRISAT) et, au Mali, des chercheurs à l'Institut d'économie rurale (IER). Des informations spécifiques sur le Mali sont présentées tout au long du document.

Sous un format accessible et mis à jour, le présent document rassemble des informations essentielles, nécessaires à la compréhension des menaces climatiques potentielles pesant sur les cultures indispensables à la sécurité alimentaire et à l'économie des pays du Sahel. Au-delà de son application éventuelle dans la sélection phénologique, le présent document est un outil de référence utile dans l'évaluation des menaces climatiques pesant sur les cultures de l'ensemble du Sahel, lorsque des informations climatiques spécifiques sont disponibles. A ce titre, il contribue à l'effort plus global visant à proposer aux décideurs une approche fondée sur les preuves permettant de définir des stratégies d'adaptation agricole, lesquelles peuvent être soutenues ou élargies par le gouvernement, les organisations non-gouvernementales (ONG.) et autres partenaires concernés. Ainsi, il représente un élément de l'initiative globale de la communauté visant à favoriser une meilleure compréhension des impacts éventuels du changement climatique sur l'ensemble de la productivité agricole au Sahel.

Besoins en températures. Les valeurs de température présentées ci-dessous sont à utiliser comme recommandations d'ordre général concernant les seuils supérieurs et inférieurs propices au développement des cultures. Les cultures ont des besoins de base pour parvenir à une étape phénologique donnée. La croissance et le développement de la culture, et par conséquent, son rendement, peuvent être gravement compromis si la température se situe en dehors de ces seuils. Toutefois, dans certains cas, une culture peut encore être viable au-delà des seuils prévus si les autres conditions sont favorables. Par exemple, des niveaux élevés d'humidité du sol peuvent corriger une chaleur excessive et permettre à une plante de neutraliser une forte évapotranspiration. Les valeurs illustrées dans le présent document ont été établies à partir d'informations recueillies d'un grand nombre de rapports sur le comportement des cultures dans des situations diverses. Dans la plupart des cas, les valeurs présentées reflètent la concordance de plusieurs rapports, les observations aberrantes ayant été exclues. Elles représentent les températures auxquelles la culture est encore viable dans des conditions normales.

Besoins en précipitations. Le lecteur doit faire preuve de vigilance quant à l'interprétation des seuils pluviométriques. Les chercheurs ont publié peu de documentation et encore moins de données sur ce sujet, et tout particulièrement sur l'agriculture au Sahel. En dehors d'un contexte contrôlé tel un champ irrigué, il est extrêmement difficile de corréler les besoins en eau dans chaque phase et les apports externes en eau, à cause de nombreux facteurs qui influent sur l'humidité disponible pour les plantes. Par exemple, les plantes cultivées sur des sols à moindre capacité de rétention d'humidité ou sur des pentes raides à partir desquelles l'humidité s'écoule rapidement nécessitent plus de précipitations. Après la germination, les niveaux d'évapotranspiration, lesquels sont fonction de la température, du rayonnement solaire ainsi que de la structure de la plante, influent également sur la quantité d'humidité disponible pour les plantes. Même la végétation environnante peut avoir un impact et limiter la quantité d'eau disponible. En raison de l'impact de ces interactions et de la variabilité qui en découle en termes de seuils pluviométriques, les illustrations dans la partie principale du présent document n'indiquent pas en détail les conditions de précipitations nécessaires par phénophase.

Afin de donner au lecteur une indication des besoins en eau par phase, des illustrations à l'Annexe II fournissent des estimations des besoins en eau (pas de pluies) à chaque étape du développement. Ces valeurs proviennent d'études de modélisation et d'expériences contrôlées. Elles sont recalculées en utilisant des coefficients établis à partir des taux d'évapotranspiration dans la région sahélienne. Ainsi, ces valeurs tiennent compte de la capacité d'absorption de la plante, des niveaux de transpiration ainsi que du taux d'évaporation, mais ne tiennent pas compte d'autres interactions, telles que celles avec le sol, les pentes ou la végétation environnante.

Pour fournir au lecteur des indications plus précises sur les seuils pluviométriques, les illustrations en annexe III et IV présentent les besoins pluviométriques optima annuels recueillis de la base de données EcoCrop de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), laquelle est établie à partir de rapports de croissance des cultures à travers le monde. Ces rapports couvrent un large éventail de génotypes et ne se limitent pas aux seules variétés cultivées dans le Sahel.

Besoins en sol. Chaque profil inclut une discussion sur les sols et indique les rapports entre la culture, les types de sols et autres paramètres de croissance, l'attention étant portée sur l'humidité et la température. Les interactions entre ces différents facteurs varient en fonction des sols. En général, les sols argileux et les sols à teneur plus élevée en matières organiques ont une capacité de rétention d'eau plus élevée que les sols sablonneux. De telles caractéristiques de rétention d'eau atténuent les impacts de la baisse des précipitations, des séquences sèches et des températures élevées. Inversement, les sols ayant une capacité de rétention d'eau limitée protègent moins bien des conditions prévues au fur et à mesure du changement climatique au Sahel. Par conséquent, les besoins en humidité et température d'une culture varient pour chacun des sols complexes et variés sur l'ensemble du Sahel.

Bien que les chercheurs continuent à explorer la complexité des réactions au niveau des interactions entre l'humidité des sols et le climat, ils proposent très peu d'observations sur la caractérisation des processus concernés. Des informations plus précises sur les facteurs influençant la disponibilité de l'eau pour les plantes, la capacité de drainage des sols et de rétention d'eau, les niveaux d'aération et d'érosion, la capacité de protection et la capacité d'échange ionique sont nécessaires en vue d'une meilleure compréhension de ces interactions.

Afin de fournir au lecteur une vue d'ensemble des besoins en sol, l'Annexe V présente les paramètres spécifiques suivants pour les cultures sélectionnées : le pH des sols, la profondeur, les types et textures préférentiels, la fertilité, la salinité et le drainage.

Besoins des variétés culturales. Dans tous les cas, les profils présentent des informations sur les principaux types de cultures et sur l'ensemble des variétés cultivées au Sahel, et non sur des variétés spécifiques. Un profil phénologique par variété nécessiterait des données spécifiques vastes sur les performances variétales, le patrimoine génétique, le pedigree reproductif, et les caractéristiques agronomiques. La littérature de recherche ne comprend pas, à l'heure actuelle, ces informations spécifiques sur les variétés cultivées au Sahel.

Modélisation des cultures. Cette étude offre une vue d'ensemble des spécificités des cultures développées dans une vaste région géographique diversifiée pouvant servir de document de référence et comme outil d'étude pour l'ensemble du Sahel. Différentes approches ont été développées en vue de mesurer les interactions complexes entre les cultures, les sols, les températures et les précipitations, la mise en œuvre de ces approches étant à l'origine, en grande partie, du manque de précision concernant les besoins présentés ici. L'annexe VI offre un aperçu des 21 stratégies de modélisation de la croissance des cultures. Cette annexe inclut une présentation générale de chaque modèle, laquelle met l'accent sur le traitement des paramètres phénologiques. Afin d'estimer la croissance de façon précise, ce logiciel requiert les particularités de la variété étudiée aussi bien que les paramètres pédologiques, météorologiques et autres facteurs spécifiques au site. Cette approche produit des résultats au niveau des parcelles de terrain. La modélisation des effets des changements climatiques sur les cultures au Sahel est limitée par un manque de données indispensables. Le document de l'ARCC, Une approche de la sélection phénologique, décrit plus en détail les différences entre la sélection phénologique et la modélisation des cultures ainsi que la manière dont elles pourraient être utilisées.

2.0 LE MAÏS

2.1 BREF APERÇU DE LA CULTURE

Le maïs est une graminée annuelle pouvant atteindre jusqu'à 4 m de hauteur. Cultivé en climat chaud, le maïs est doté d'un système profond de racines nécessitant beaucoup d'humidité pour un développement optimal. Le maïs est largement cultivé partout dans le monde en milieux agroécologiques variés. A l'échelle mondiale, la production annuelle de maïs est supérieure à celle de n'importe quelle autre céréale. Le maïs a été introduit en Afrique au XVI^e siècle et il représente aujourd'hui une des cultures de céréale les plus importantes du continent (Bonavia, 2013). Il se consomme frais comme un légume, bien qu'une grande partie soit conservée en grains secs. Les grains secs stockés sont susceptibles de contamination à l'aflatoxine et doivent par conséquent être conservés dans un endroit avec un taux d'humidité inférieur à 16 pourcent. Les grains sont riches en vitamines A, C, et E, en glucides ainsi qu'en minéraux essentiels. Ils contiennent 9 pourcent de protéines. La production de maïs en Afrique est essentiellement pluviale. L'utilisation limitée d'engrais azotés et une baisse de la fertilité naturelle des sols sont un problème pour la production de maïs en Afrique sub-saharienne. Le maïs est sensible à la sécheresse, à l'engorgement ainsi qu'aux températures extrêmes.

2.2 REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET NIVEAU GENERAL D'IMPORTANCE

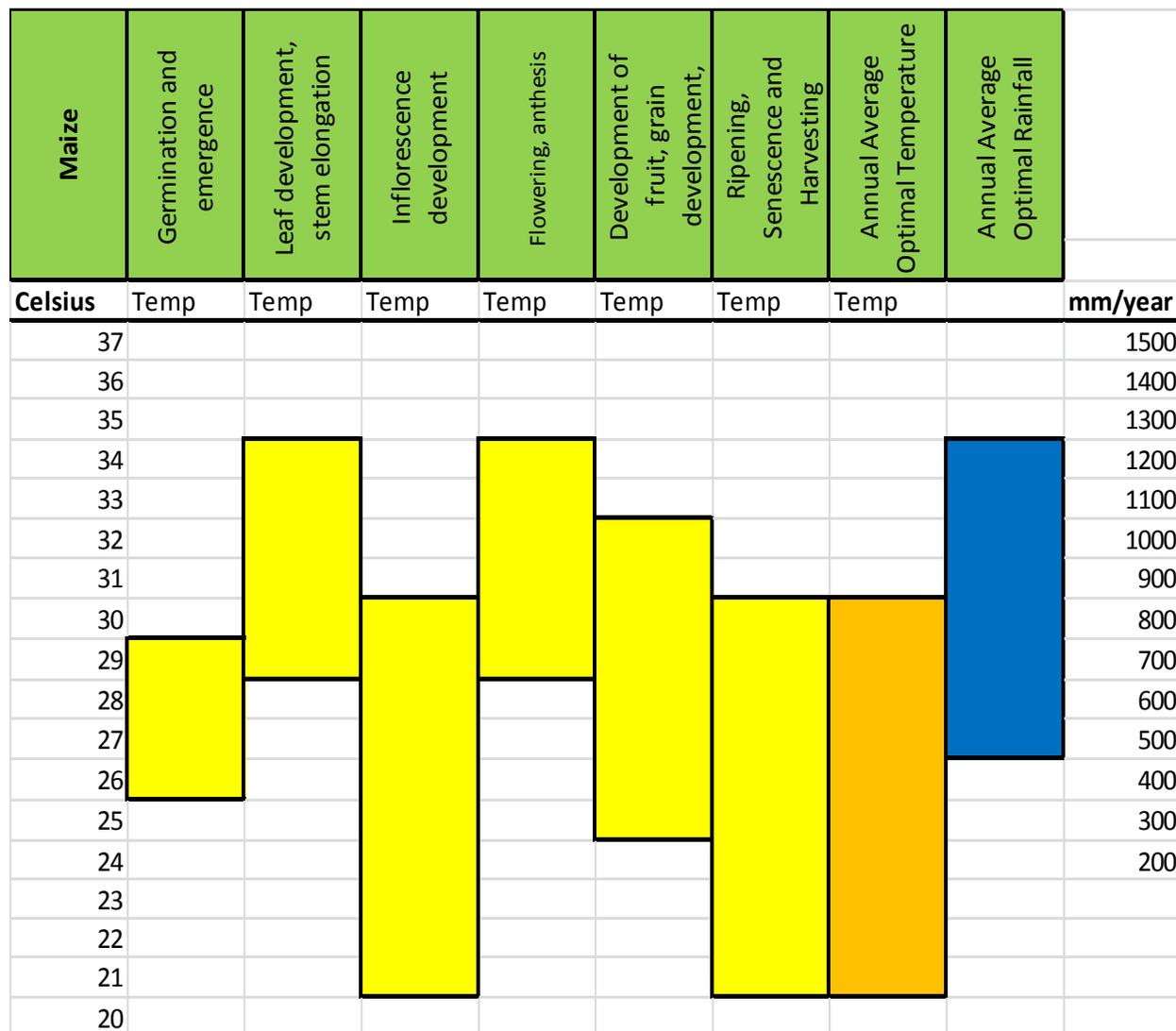
Le maïs est une culture adaptable, développée dans diverses zones agroclimatiques. De fait, l'adaptabilité du maïs aux différents environnements est incomparable à celle de n'importe quelle autre culture. Le maïs pousse à des latitudes comprises entre 58 °N et 40 °S, à des altitudes allant d'un niveau en dessous de la mer à plus de 3 000 m dans des régions recevant des précipitations annuelles de 250 mm à plus de 5 000 mm (Shaw, 1988 ; Dowswell et. al., 1996) et présente un cycle de croissance allant de trois à 13 mois (Shaw, 1988). Toutefois, les principales zones de production du maïs sont situées dans les régions tempérées du globe. Les Etats-Unis, la Chine, le Brésil, et le Mexique représentent 70 pourcent de la production mondiale. Le maïs est une céréale de premier rang en Afrique de l'Ouest et centrale, représentant un peu plus de 20 pourcent de la production alimentaire nationale du continent. Son importance a augmenté car il a remplacé les autres denrées, en particulier le sorgho et le millet (Smith et al., 1994). En Afrique subsaharienne, le maïs est la plupart du temps cultivé par de petits exploitants agricoles, généralement comme culture vivrière dans le cadre d'un système agricole mixte (Smale et al., 2011).

2.3 CYCLE DE VIE

Le système de classification divise le développement du maïs en phases végétative et reproductive. La phase végétative comprend la levée des semis, la montaison, la formation de l'épi et de la panicule, l'allongement de la tige et l'initiation paniculaire. La phase reproductive inclut l'apparition des soies, le mûrissement et la maturation. L'apparition des soies (maturation du pistil) est largement considérée comme la phase de développement la plus importante puisqu'elle influence fortement la qualité de la culture et le rendement du grain (Bennetzen et Hake, 2009). Selon leur patrimoine génétique, les plantes de maïs peuvent produire 20 ou 21 feuilles au total. Les soies se développent pendant environ 65 jours après leur apparition. La plupart des variétés mettent entre 100 à 140 jours à partir de l'ensemencement au mûrissement des grains, mais certains types mûrissent en 80 jours ou moins (Bennetzen et Hake, 2009). Le maïs est très sensible à la gelée, tout particulièrement pendant la phase des semis, mais il

tolère des conditions atmosphériques chaudes et sèches du moment qu'il y a suffisamment d'eau et que les températures pendant les phases de préfloraison sont inférieures à 45 °C.

FIGURE I. BESOINS EN TEMPERATURES ET EN PRECIPITATIONS DU MAÏS A DIFFERENTS STADES DU DEVELOPPEMENT



2.4 PARAMETRES DE PRODUCTION

Les sols

Les plantes de maïs se portent bien dans la plupart des sols mais se développent mal dans des sols argileux, très lourds et denses ou les sols arénacés et stériles. Idéalement, le sol doit être bien aéré et bien drainé car la culture est sensible à l'engorgement. Les besoins des sols par rapport à la fertilité pour la production de grains sont relativement élevés, et chez les variétés à fort rendement, jusqu'à environ 200 kg/ha d'azote, 50 à 80 kg/ha de phosphore, et 60 à 100 kg/ha de potassium disponible sont nécessaires. En général, le maïs peut continuer à pousser sans interruption à un endroit tant que le sol

est fertile. Il est modérément sensible à la salinité et, les rendements baissent avec une augmentation de la salinité des sols. En outre, le maïs tolère mal les sols acides, il se porte mieux dans des sols à pH 6 ou 7 ou plus.

L'eau

Le maïs a besoin de beaucoup d'humidité pour se développer. Entre 500 et 700 mm de précipitations bien réparties favorisent une bonne croissance. Dans le cas du Mali, ces conditions correspondent à la ligne isohyète des 800 à 1 000 mm qui représente la principale région de production du pays. Le maïs utilise l'eau de manière efficace et peut ainsi être considéré comme une culture relativement résistante à la sécheresse, bien qu'il ne supporte pas des périodes sèches de 10 jours ou plus, et de sept jours si les réserves d'humidité des sols sont faibles. Les plantes sont particulièrement sensibles aux effets de la sécheresse pendant les phases de germination et de semis. Après la germination et jusqu'à la phase d'apparition de la soie, la culture peut se développer avec moins d'humidité. De manière générale, la plante requiert plus d'eau pendant la période de reproduction et a besoin de moins d'humidité pendant la phase de maturation. Le maïs est sensible à l'engorgement tout au long de son développement, davantage qu'à la sécheresse, en particulier jusqu'à la phase de remplissage des grains. De façon générale, la floraison est la phase la plus critique de la culture en termes de stress abiotiques.

Les températures

Le maïs est une culture de saison chaude principalement cultivée dans les zones où les moyennes de température varient entre 21 et 30 °C, des températures entre 25 à 30 °C étant considérées comme optimales. La plante requiert des moyennes de température d'environ 22 °C, des températures nocturnes supérieures à 15 °C, et en particulier, des températures douces de la germination à la floraison. La culture n'est pas viable à des températures diurnes inférieures à 19 °C. Elle arrête de se développer à des températures inférieures à 10 °C. Pendant la période de floraison, des températures atteignant 35 °C ou plus à la mi-journée pendant plusieurs jours peuvent détruire le pollen et compromettre les rendements de façon considérable. Les effets de la température sont amplifiés par une faible humidité du sol et par le vent.

L'adaptabilité

L'adaptabilité des variétés de maïs aux différentes conditions climatiques varie considérablement (Fischer et al., 1983). Toutefois, il est essentiel de sélectionner des variétés dont la période de croissance coïncide avec la saison de croissance et pour lesquelles la maturation précoce est une caractéristique essentielle leur permettant d'éviter la sécheresse. Dans les initiatives d'amélioration et d'extension au Mali, les variétés qui mûrissent en moins de 82 jours (de la semence à la récolte) sont dites extrêmement précoces. Elles doivent idéalement être cultivées dans la zone où les précipitations sont comprises entre 200 à 500 mm. Les variétés qui mûrissent entre 83 à 95 jours sont dites précoces et il est recommandé de les cultiver dans la zone où les précipitations sont comprises entre 500 à 700 mm. Les variétés qui mûrissent entre 96 à 120 jours sont dites intermédiaires, et, celles qui mûrissent au-delà de 120 jours sont des variétés traditionnelles tardives. Ces deux dernières variétés sont à cultiver dans des zones recevant de 800 à 1 000 mm et plus de précipitations. Il est recommandé aux agriculteurs de planter après un cumul de précipitations de 20 mm pendant la saison des semences. Le pays est divisé en trois zones de sécheresse successives, où la période de plantation commence généralement au mois de mai dans la zone méridionale (Sikasso, Bougouni) ; en juin dans la zone centrale (Bamako, Kita, Kéniéba, Ségou et Kolokani) et en juillet (Mopti et Nara) dans la zone septentrionale. Les variétés à maturation

plus rapide sont recommandées dans les zones du nord où les saisons de croissance sont plus courtes et les précipitations annuelles plus faibles.

La maturation de la culture est sensible à la température : des températures plus fraîches prolongent le processus de maturation. Par exemple, la durée normale de maturation est de 80 à 100 jours pour les variétés de grain précoces. Toutefois, lorsque les températures journalières moyennes pendant la saison de croissance sont inférieures à 20 °C, la durée de maturation augmente de 10 à 20 jours pour chaque baisse de 0.5 °C, selon la variété. A 15 °C, le maïs peut mettre entre 200 à 300 jours pour arriver à maturation. Avec des températures journalières moyennes comprises entre 10 à 15 °C, le maïs est le plus souvent cultivé comme culture fourragère en raison des problèmes de grenaison et de maturation des grains, lorsque les températures sont fraîches. Dans ce cas, la température journalière moyenne la plus basse doit être de l'ordre de 10 °C, pour la germination, des températures de 18 à 20 °C étant optimales.

2.5 SOURCES

- Abraha, M.G. & Savage, M.J. (2006). Potential impacts of climate change on the grain yield of maize for the midlands of KwaZulu-Natal, South Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 115, 150-160.
- Bennetzen, J. L., & Hake, S. (2009). *Handbook of maize: its biology*. New York: Springer.
- Bonavia, D. (2013). *Maize: Origin, Domestication, and Its Role in the Development of Culture*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Burke M.B., Lobell D.B., & Guarino L. (2009). Shifts in African crop climates by 2050, and the implications for crop improvement and genetic resources conservation. *Global Environmental Change*, 19(3), 317-325
- Chipanshi, A. C., Chanda, R., & Totolo, O. (2003). Vulnerability Assessment of the Maize and Sorghum Crops to Climate change in Botswana. *Climate Change* 61(3), 339-360.
- Dowswell, C. R., Paliwal, R.L. & Cantrell, R.P. (1996). *Maize in the Third World*. Westview Press, Boulder, CO, USA.
- Fischer, K. S, Johnson, E. C, & Edmeades, G. O. (1983). Breeding and selection for drought resistance in tropical maize. México, D.F., México: International Maize and Wheat Improvement Center.
- Sileshi, G., Akinnifesi, F. K., Debusho, L. K., Beedy, T., Ajayi, O. C., & Mong'omba, S. (2010). Variation in maize yield gaps with plant nutrient inputs, soil type and climate across sub-Saharan Africa. *Field Crops Research*, 116(1-2), 1-13.
- Shaw, R. H. (1988). Climate requirement. In: Sprague G. F., & Dudley, J. W., (Eds.). *Corn and Corn Improvement*, 3rd Ed., Madison, WI: ASA 609.
- Smale, M., Byerlee, D., & Jayne, T. (2011). *Maize Revolutions in Sub-Saharan Africa*. Washington, D.C.: Banque Mondiale.
- Smith, J., Barau, A.D., Goldman, A, & Mareck, J. H. (1994). The role of technology in agricultural intensification: the evolution of maize production in the northern Guinea savanna of Nigeria. *Economic Development and Cultural Change*, 42, 537-554.

3.0 LE MILLET PERLÉ

3.1 BREF APERÇU DE LA CULTURE

Le millet perlé (*Pennisetum glaucum* L.) est une graine céréalière annuelle à haute valeur nutritive, populaire chez les éleveurs de bétail et utilisée pour le pâturage, l'ensilage, le foin, et les fourrages verts. Le millet perlé est une culture annuelle diploïde à fécondation libre (à plus de 85 pourcent exogame) cultivée sur environ 26 millions d'hectares dans des zones tropicales chaudes réparties équitablement entre l'Afrique, plus précisément dans la région sahélienne de l'Afrique de l'Ouest, et le sous-continent indien. Dans ces zones, le millet perlé est cultivé presque exclusivement pour la consommation humaine. Le millet perlé est la céréale de base de 90 millions de personnes vivant dans des zones climatiques où d'importants stress abiotiques limitent la production végétale à cause de la chaleur, de la rareté et de l'irrégularité des précipitations ainsi que de la pauvreté des sols. L'engrais n'est pas d'utilisation courante et la culture est effectuée à la main ou à l'aide d'animaux. Dans de telles conditions, les rendements réels en grains sont faibles (environ 500 à 600 kg/ha), mais ils sont plus élevés et plus fiables que ceux d'autres cultures des zones arides comme le sorgho ou le maïs. Le millet perlé est la seule céréale cultivée sans irrigation dans les régions recevant moins de 400 mm de précipitations. La production du grain est toujours l'objectif principal de la culture, mais le fourrage est important pour l'alimentation du bétail. Les tiges peuvent être utilisées comme carburant et matériau de clôture et de toiture.

3.2 REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET NIVEAU D'IMPORTANCE GENERAL

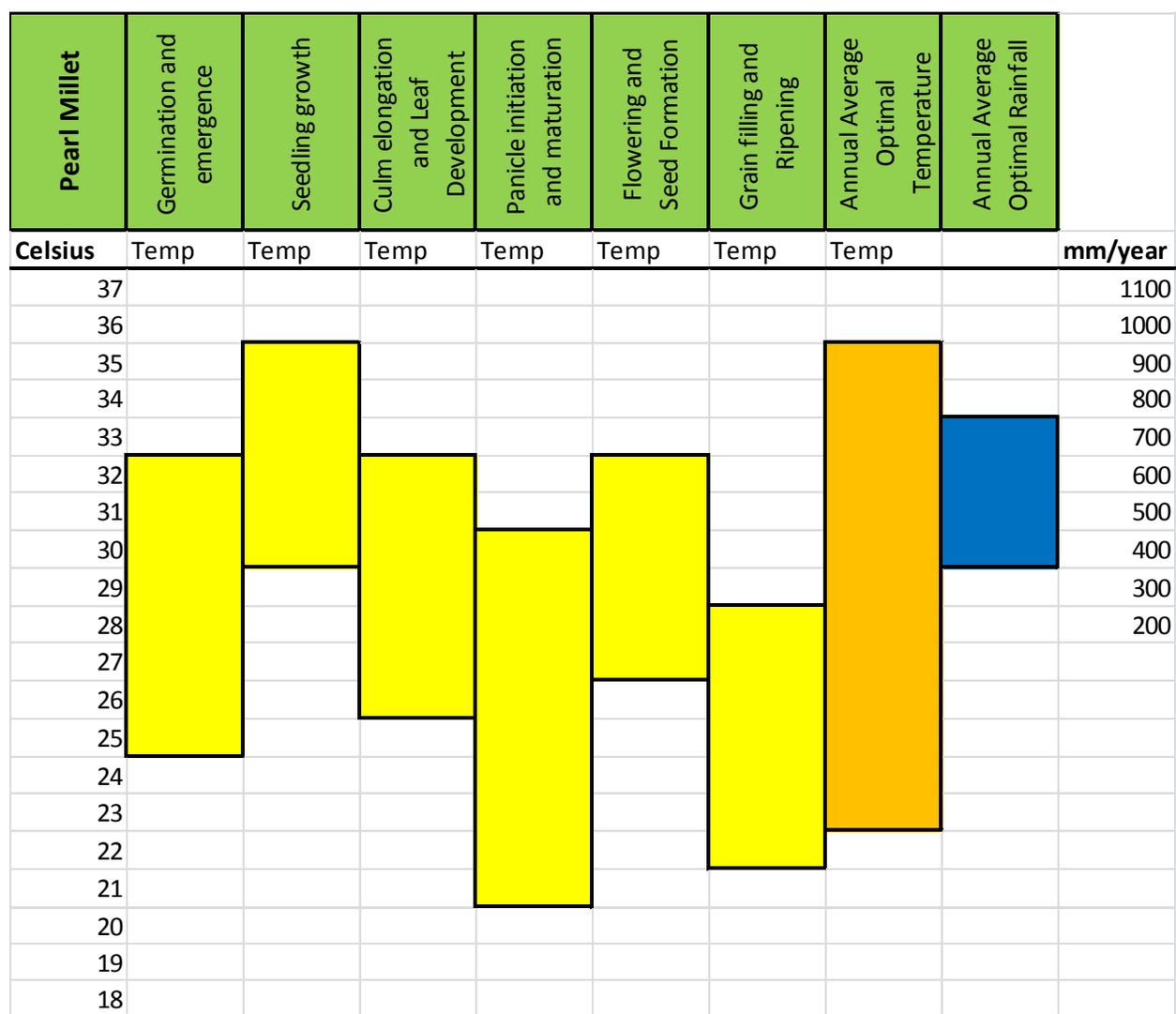
Le millet perlé est une culture tropicale largement développée dans le Vieux monde. Il s'adapte bien aux régions arides de l'Afrique et du sous-continent indien, où environ 26 millions d'hectares sont cultivés. Les indices archéologiques laissent supposer que le millet perlé a été domestiqué pour la première fois dans les prairies et prairies boisées au bord de la zone entre la savane et le désert du Sahel en Afrique de l'Ouest, 2.500 ans av. J.C., puis s'est rapidement répandu. Aujourd'hui, c'est une plante fourragère riche en valeur nutritive cultivée en Afrique, en Inde, et, à moindre échelle, en Océanie, en Amérique du Nord et en Amérique du Sud (Dakheel et al., 2009 ; Maiti et Rodriguez, 2010). En Afrique, la majorité du millet perlé est cultivée dans les régions semi-arides de culture extensive, s'étendant sur plus de 7 000 kilomètres, du Sénégal jusqu'en Somalie.

3.3 CYCLE DE VIE

Le millet perlé est une plante annuelle érigée pouvant atteindre une hauteur de 50 cm à 4 m. Il produit plusieurs fleurs serrées étroitement autour d'une hampe cylindrique (appelée rachis). L'inflorescence a une couleur jaune-verdâtre caractéristique. Les fleurs peuvent être allogames ou autogames. La partie femelle (stigmate) émerge avant que la partie mâle ne commence à perdre son pollen, favorisant ainsi l'allogamie. Toutefois, lorsque ces cycles se chevauchent, un certain degré d'autogamie est possible. Le grain se développe dès lors que la fertilisation a lieu et arrive à maturation, en 20 à 30 jours. Tout le processus, de la floraison au mûrissement du grain, dure 30 à 50 jours. La couleur des graines varie (de blanc à brun, bleu, voire pourpre). Le poids moyen de la graine est d'environ 8 mg. Certaines graines se débarrassent de leurs glumes, tandis que d'autres ont besoin d'être décortiquées. Les graines germent rapidement dans des conditions favorables et peuvent éclore en cinq jours environ. Une période de dormance de plusieurs semaines après la récolte a été constatée, ainsi, les graines récemment récoltées sont susceptibles de ne pas germer immédiatement.

Encore plus que le sorgho, la grande majorité des variétés de millet perlé cultivée en Afrique de l'Ouest est de type traditionnel. Presque toutes les plantes sont sensibles à la photopériode c'est-à-dire que la diminution de la longueur de la journée déclenche un changement physiologique dans leur développement, de la croissance végétative à la floraison. Indépendamment de la date des semis et des conditions saisonnières (précipitations ou températures), diverses variétés commencent à fleurir lorsque la longueur du jour franchit un seuil spécifique. Les longueurs saisonnières du jour sont fonction de la latitude, ainsi la même variété plantée à la même date commencera à fleurir à des dates différentes, selon la latitude de l'endroit où elle est plantée. Cette caractéristique physiologique du millet perlé offre un immense potentiel quant à la capacité d'adaptation aux changements climatiques, mais elle rend la classification habituelle de maturation des variétés – précoce, intermédiaire, et tardive – difficile, sinon inadaptée dans le contexte des agriculteurs. Les différentes variétés de millet perlé mûrissent entre 60 à 180 jours après l'ensemencement. Dans le cadre du programme d'amélioration du millet perlé au Mali, les chercheurs classifient généralement les variétés mûrissant entre 90 à 100 jours comme précoces, entre 110 à 120 jours comme intermédiaires et au-delà de 120 jours, comme tardives.

FIGURE 2. BESOINS EN TEMPERATURES ET EN PRECIPITATIONS DU MILLET PERLÉ A DIFFERENTS STADES DU DEVELOPPEMENT



3.4 PARAMETRES DE PRODUCTION

Les sols

Le millet perlé se porte mieux dans des sols légers et bien drainés, alors que le sorgho préfère des sols un peu plus lourds. Le millet perlé réagit bien aux sols fertiles, mais tolère mal les sols argileux à cause de la possibilité de rétention excessive d'humidité. Il tolère bien les sous-sols acides (avec un pH compris entre 4 et 5) à teneur élevée en aluminium.

L'eau

Les besoins pluviométriques optima du millet perlé se situent entre 400 et 700 mm, mais la plante peut être cultivée dans des zones recevant bien moins de 300 mm de précipitations annuelles (par exemple, un rendement de 1,5 MT/ha avec 150 mm de précipitations) si celles-ci sont réparties de façon homogène. Avec une fertilité des sols et des précipitations adéquates, le millet perlé peut donner un rendement pouvant aller jusqu'à 6 MT/ha. Les très jeunes plantes sont vulnérables aux séquences sèches prolongées. Des périodes de sécheresse pendant la phase de remplissage des grains peuvent entraîner des baisses de rendement. En dehors de ces périodes, le millet perlé peut résister à des séquences sèches pouvant durer un mois sans mourir. Les plantes ont la capacité de récupérer des nutriments à partir de vieilles pousses pour soutenir des souches plus jeunes jusqu'au retour des pluies. Au Mali, comme pour d'autres cultures de céréales, des différentes catégories de maturation sont ciblées en fonction de différentes zones de précipitations particulières : les variétés précoces dans les zones qui reçoivent entre 400 à 600 mm de précipitations, les variétés intermédiaires dans les zones qui reçoivent entre 600 à 800 mm et les variétés tardives dans les zones qui reçoivent plus de 800 mm de précipitations. La principale région du millet perlé est la ligne isohyète de 400 à 600 mm. Comme pour le sorgho, il est conseillé aux agriculteurs de planter après un cumul de précipitations de 20 mm dans leurs régions respectives. Bien que relativement plus résistant que le maïs, le millet perlé ne tolère pas l'engorgement ou l'immersion.

Les températures

Le millet perlé est une plante de climat chaud qui pousse mieux à des températures supérieures à 20 °C. La germination de la graine nécessite des températures comprises entre 23 à 32 °C. Les graines de millet perlé ont du mal à germer et à se développer dans les sols frais. Planter les graines avant que la température du sol n'atteigne 23 °C peut entraîner une mauvaise levée et une mauvaise croissance des semis. En Afrique de l'Ouest, le millet perlé est habituellement cultivé dans des régions où les températures varient entre 30 à 45 °C, des températures entre 30 à 35 °C étant considérées comme optimales. Singh et al. (1998) ont indiqué que des températures de 10 °C ou moins arrêtent la croissance du millet perlé. De la même manière, aucun développement n'est possible à des températures supérieures à 46 °C (42 °C pendant la floraison).

L'adaptabilité

Le millet perlé est probablement plus résistant aux températures élevées que n'importe quelle autre plante céréalière. Bien que la culture puisse pousser dans les zones recevant entre 200 à 1 500 mm de précipitations, la plupart des régions cultivées reçoivent entre 250 à 700 mm. Les variétés à maturation précoce sont cultivées dans les régions où les précipitations sont les plus faibles. Cependant, le millet perlé nécessite des précipitations réparties de façon homogène sur la durée de la saison de croissance (contrairement au sorgho, le millet perlé ne peut entrer en dormance pendant les périodes de

sécheresse). A l'inverse, un excès de pluies lors de la floraison peut aboutir à de mauvaises récoltes. La plante est généralement sensible aux basses températures lors des semis et de la floraison. Winkel et al. (1997) ont signalé que des déficits en eau avant et au début de la floraison pourraient entraîner le retard, voire même, l'inhibition du développement des pousses. Des températures diurnes élevées sont nécessaires au développement des grains.

La capacité du millet perlé à pousser dans des conditions de sécheresse est due à un certain nombre de caractéristiques physiologiques et morphologiques. Par exemple, la pénétration des racines est rapide et profonde (des profondeurs de 3,6 m ont été constatées). Le système de racines possède des parois cellulaires qui empêchent la dessiccation (Payne et al., 1990). La capacité de tallage du millet perlé compense la diminution d'éléments qui favorisent le rendement, tels que le nombre de têtes et leur longueur, le poids des grains, etc.

Le millet perlé est une céréale ou une culture d'ensilage de haute qualité, potentiellement productive, et qui semble supérieure au sorgho en termes d'implantation et de production dans des conditions d'humidité de sol limitées (Serraj et Sinclair, 2002 ; Purcell et al., 2002 ; Dakheel et al., 2009). C'est pourquoi les chercheurs du monde entier sont déterminés à introduire cette culture dans les régions arides et semi-arides de leurs pays. Dans des conditions climatiques favorables, les plantes du millet perlé peuvent développer un réseau racinaire solide et étendu, permettant aux agriculteurs de récolter jusqu'à deux ou trois coupes de fourrage vert (Maiti et Rodriguez, 2010).

3.5 SOURCES

- Dakheel, A. J., Shabbir, G., & Al-Gailani, A. Q. (2009). Yield stability of pearl millet genotypes under irrigation with different salinity levels. *European Journal of Scientific Research*, 37, 288-301.
- Hausmann, B. I. G., Fred Rattunde, H., Weltzien-Rattunde, E., Traoré, P. S. C., vom Brocke, K., & Parzies, H. K. (2012). Breeding Strategies for Adaptation of Pearl Millet and Sorghum to Climate Variability and Change in West Africa. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 198(5), 327–339.
- Ismail, S. M. (2012). Optimizing productivity and irrigation water use efficiency of pearl millet as a forage crop in arid regions under different irrigation methods and stress. *African Journal of Agricultural Research*, 7(16), 2509-2518.
- Jarvis, A., Lau, C., Cook, S., Wollenberg, E., Hansen, J., Bonilla, O., & Challinor, A. (2011). An integrated adaptation and mitigation framework for developing agricultural research: synergies and trade-offs. *Experimental Agriculture*, 47(2), 185-203.
- Knox, J. W. T., Hess, T. M., Daccache, A., & Perez Ortola, M. (2011). What are the projected impacts of climate change on food crop productivity in Africa and S Asia? Rapport final d'évaluation systématique DFID. Université de Cranfield.
- Maiti R., & Rodriguez H. G. (2010). Pearl millet: potential alternative for grain and forage for livestock in semi-arid regions of Mexico. *International Journal of Bio-Resource and Stress Management*, 1(1), 45-47.
- Nelson, G. C., Rosegrant, M. W., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., & Lee, D. (2009). Climate Change Impact on Agriculture and Costs of Adaptation. Institut de recherche internationale sur la politique alimentaire, Rapport de politique alimentaire, 30 p. Washington, D.C.
- Serraj, R., & Sinclair, T. R. (2002). Osmolyte accumulation: Can it really help increase crop yield under drought conditions? *Plant, Cell and Environment*, 25, 333-341.

- Payne, W. A., Wendt, C. W., Lascano, R. J. (1990). Root zone water balance of three low-input millet fields in Niger, West Africa. *Agronomy Journal*, 82(4), 813-819.
- Purcell, L.C., Keisling, T. C., Sneller, C. H. (2002). Soybean yield and water extraction in response to deep tillage and high soil aluminum. *Communications in soil science and plant analysis*, 33(19/20), 3723-3735.
- Singh, R. S., Joshi, N. L., & Singh, H. P. (1998) Pearl Millet Phenology and Growth in Relation to Thermal Time under Arid Environment. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 180(2), 83–91.
- Winkel, T., Renno, J., F., & Payne, W. A. (1997). Effect of the timing of water deficit on growth, phenology and yield of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) grown in Sahelian conditions. *Journal of Experimental Botany*, 48(310), 1001-1009..

4.0 LE RIZ

4.1 BREF APERÇU DE LA CULTURE

Le riz (*Oryza sativa*) est l'une des cultures les plus anciennes d'après d'anciennes archives et des excavations archéologiques montrant qu'il est cultivé en Inde et en Chine depuis des milliers d'années. Près de 90 pourcent de la surface mondiale cultivée de riz se trouve en Asie et, environ 90 pourcent du riz cultivé dans le monde est produit et consommé en Asie. Toutefois, le riz est également cultivé dans plus de 100 pays. L'Afrique sub-saharienne en produit environ 19 millions de tonnes, et l'Amérique latine à peu près 25 millions de tonnes. En Asie et en Afrique sub-saharienne, presque tout le riz produit est cultivé sur de petites exploitations agricoles de 0,5 à 3 hectares. Le rendement du riz va de moins de 1 tonne/hectare dans les exploitations pluviales, à plus de 10 t/ha dans les systèmes agricoles irrigués intensifs et tempérés. La petite taille et, dans certaines régions, la réduction de la taille des exploitations agricoles expliquent les faibles revenus des cultivateurs de riz. Le riz pousse dans des environnements variés et prolifère dans des conditions où d'autres cultures ne se développeraieent pas. Les environnements favorables à la croissance du riz dépendent de leurs caractéristiques hydrologiques. Ces environnements incluent les plaines et hautes terres pluviales irriguées.

4.2 REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET NIVEAU GENERAL D'IMPORTANCE

L'*Oryza sativa* a été cultivée pour la première fois en Asie du Sud-Est, en Inde, et en Chine il y a 8 000 à 15 000 ans (Normile, 2004). L'*Oryza sativa* est cultivée dans le monde à des latitudes comprises entre 35° Sud (Nouvelles-Galles du Sud et Argentine) et 50° Nord (Chine du nord) dans 110 pays. 90 pourcent du riz sont cultivés et consommés en Asie. Les régions de culture représentent environ 10 pourcent des terres cultivables disponibles au niveau mondial (144 millions d'ha), le blé étant la culture qui couvre une superficie plus grande. Le riz pousse à des altitudes allant du niveau de la mer à 3 000 m, dans des climats tempérés aussi bien que tropicaux. Il est cultivé dans la plupart des pays de l'Afrique de l'Ouest et du Nord (Egypte), ainsi qu'en Afrique Centrale et de l'Est. Il est également cultivé dans les pays d'Amérique Centrale (Amérique latine), en Australie, aux Etats-Unis ainsi que dans les pays du sud de l'Europe tels que l'Espagne, l'Italie, et la France. Le riz s'adapte facilement et peut pousser dans des endroits à climat chaud et humide disposant de peu d'eaux profondes. Aujourd'hui, la culture du riz joue un rôle de plus en plus important en Afrique. En Afrique Centrale et de l'Ouest, le riz est cultivé par environ 20 millions de petits exploitants agricoles comme moyen de subsistance. Les statistiques de la FAO montrent que la demande en riz dans ces régions augmente de 6 pourcent par an, faisant de ces régions les endroits où la demande en riz progresse le plus rapidement dans le monde. Les systèmes d'irrigation dans le Sahel fournissent aux agriculteurs un approvisionnement en eau fiable fortement apprécié dans une région où les précipitations sont rares et incertaines (Connor et al., 2008). La production de riz (*Oryza sativa*) dans ces régions est l'une des activités les plus importantes et représente 50 000 hectares de culture au Sénégal (SAED, 2007).

4.3 LE CYCLE DE VIE

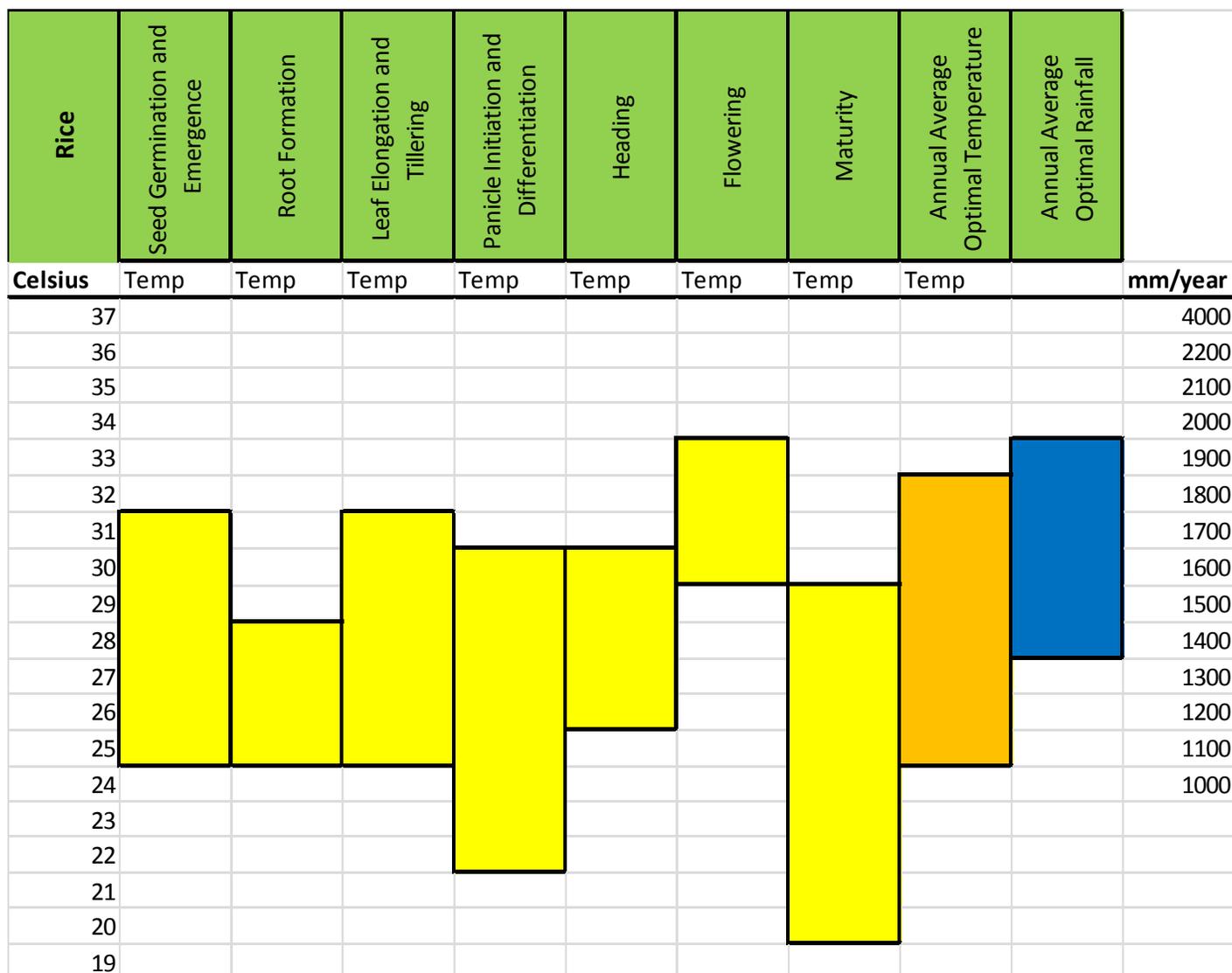
Le riz est une graminée typique avec un système racinaire fibreux formé de tiges érigées et de longues feuilles plates. C'est une plante semi-aquatique qui nécessite de l'eau surtout pendant la phase reproductive. En général, la culture du riz présente trois principales phases de développement : la germination/croissance végétative, le développement reproductif et le mûrissement du grain.

La germination commence avec l'émergence du coleorhiza et du coléoptile à partir du péricarpe. La radicule donne naissance à un système racinaire séminale doté de peu de ramifications. La germination peut se faire dans des conditions aérobiques ou anaérobiques (Moldenhauer et Gibbons, 2003). Les racines fibreuses se forment à partir de nœuds souterrains. Le coléoptile s'allonge en même temps que l'épicotyle et, lorsque le coléoptile atteint la surface du sol ou de l'eau, il s'ouvre et la feuille primaire apparaît (McDonald, 1979). Pendant cette phase initiale de développement, la plante peut produire une feuille tous les quatre à cinq jours alors que le chaume primaire se développe. Au fur et à mesure de la croissance du riz, les pousses primaires commencent à émerger des nœuds axiaux des feuilles basses. Les pousses donnent naissance à des pousses secondaires à partir desquelles des bourgeons tertiaires peuvent également se développer. Les entrenœuds commencent à s'allonger au moment ou aux alentours de l'initiation paniculaire (Moldenhauer et Gibbons, 2003).

La phase reproductive commence par l'initiation paniculaire. Cette phase peut être liée à des photopériodes précises et dépend largement d'un cultivar (McDonald, 1979). L'initiation paniculaire se produit au niveau du sommet de l'extrémité en croissance de la pousse. La croissance de la panicule se fait parallèlement au début du processus de sénescence des feuilles basses. La panicule peut émerger partiellement ou totalement et, une plus grande émergence de la panicule est sélectionnée pour les cultivars afin de diminuer le risque de survenue de maladies (Moldenhauer et Gibbons, 2003). La floraison commence un jour après l'épiaison et continue vers la panicule jusqu'à l'ouverture de tous ses fleurons. L'anthèse commence avec l'éclosion des fleurons suivie de l'allongement de l'étamine. Puisque l'émission du pollen se produit généralement dans les minutes qui suivent l'ouverture des fleurons (Oka, 1988), le pollen tombe en général sur les fleurons de la même panicule, entraînant ainsi l'autofécondation. La fécondation peut être achevée en quelques heures. C'est à ce stade que le riz est le plus sensible aux températures froides (McDonald, 1979).

Le mûrissement des grains débute lorsque les fleurons sont fécondés et les ovaires commencent à se transformer en grains. Au début, le grain se remplit d'un liquide blanc laiteux alors que des dépôts d'amidon commencent à se former. La panicule est encore verte à ce stade et commence à se courber vers le bas. La sénescence des feuilles continue à partir de la base des pousses, mais la feuille paniculaire et les deux feuilles basses voisines restent photosynthétiquement actives. Le grain commence alors à durcir et à se transformer en une pâte moelleuse. La couleur des cosses commence à changer du vert au jaune et les feuilles et les pousses sont à un stade avancé de sénescence. Pendant la phase finale, le grain mûrit et devient dur et sec. La plante entière commence à jaunir et à se dessécher. Le grain peut alors être récolté.

FIGURE 3. BESOINS EN TEMPERATURES ET EN PRECIPITATIONS DU RIZ A DIFFERENTS STADES DU DEVELOPPEMENT



4.4 PARAMETRES DE PRODUCTION

Les sols

Le riz peut être cultivé dans tous les types de sols, de légers à lourds, mais pas dans les sols très arénacés. Les sols argileux sont considérés comme les plus adaptés à la culture du riz grâce à une grande capacité de rétention d'eau. En outre, une surface plane et lisse se prête mieux à la culture du riz car elle facilite une répartition uniforme et équitable de l'eau. Les types de sols adaptés à la culture de riz en rizière incluent les sols argileux, les sols limoneux ainsi que les sols argilo-limoneux. La culture du riz nécessite des sols légèrement acides de pH compris entre 6,0 et 7,0. Cependant, il a été rapporté que le riz peut se développer dans des sols avec un pH allant de 4,0 à 8,0.

L'eau

Le riz nécessite environ 400 à 800 millimètres d'eau par an.

Les températures

Les températures ont un impact considérable sur la croissance et le développement des plantes de riz. La culture du riz nécessite des températures relativement élevées pour une croissance et un développement des plus favorables. Les besoins en températures varient en fonction des différents stades du développement. La culture du riz peut être réussie lorsque la température moyenne de l'air est de 21 °C ou plus élevée pendant cinq à six mois de l'année. La température moyenne critique pour la floraison et la fertilisation se situe entre 16 et 20 °C. Pour la croissance végétative, il a été rapporté qu'une température ambiante entre 25 à 30 °C est la plus adaptée et, pour le remplissage des grains et le mûrissement, une température ambiante entre 20 à 25 °C. Pour un rendement plus important, une température diurne entre 25 et 32 °C et nocturne entre 15 à 20 °C est préférable.

L'adaptabilité

La culture du riz nécessite un climat chaud et humide. Le riz s'adapte mieux aux zones à humidité élevée, ensoleillement prolongé et où l'approvisionnement en eau est garanti. La température moyenne requise tout au long de la durée de vie de la culture varie entre 21 et 37 °C. Au moment du tallage, des températures plus élevées sont nécessaires. En période de floraison, les températures doivent se situer entre 26,5 et 29,5 °C tandis qu'en période de mûrissement, entre 20 et 25 °C. Le riz est une plante de jours courts. Toutefois, il existe des variétés indifférentes.

Des températures nocturnes élevées peuvent entraîner une déperdition des réserves de nutriments due à une respiration accrue. Des températures supérieures à 35 °C compromettraient non seulement l'émission du pollen, mais également le remplissage des grains. Une moyenne de température plus élevée réduirait la durée de croissance et accélérerait la floraison, tandis qu'une température moyenne de 15 °C ou moins, ralentirait la croissance végétative et empêcherait ainsi la floraison des plantes. Des températures nocturnes douces et des journées dégagées et ensoleillées favoriseraient des rendements élevés. Néanmoins, une température de 15 °C ou moins nuit à l'initiation paniculaire.

Un temps dégagé et ensoleillé, pendant la période de mûrissement, et humide, pendant la phase végétative, est idéal pour la culture du riz. Un rayonnement solaire faible perturberait la maturation des grains et augmenterait de manière conséquente la production de glume. Le riz se porte mieux dans des conditions d'ensoleillement prolongé, pour une activité photosynthétique améliorée et un rendement plus élevé. Plus de 300 heures de lumière lui sont nécessaires pendant les 45 derniers jours avant la moisson. En termes d'humidité, un temps humide pendant la croissance végétative et sec et ensoleillé pendant la période de mûrissement est idéal. Une relative humidité de 60 à 80 pourcent serait optimale. Des vents violents et tempêtes ne sont pas souhaitables car ils causent la verse ou l'égrenage en fonction du stade de croissance de la culture. Des vents modérés conviennent mieux à la culture du riz grâce à un meilleur approvisionnement en dioxyde de carbone (CO₂) et à sa meilleure utilisation.

4.5 SOURCES

Connor, D., Comas, J., Macpherson, H.-G. & Mateos, L. (2008). Impact of small-holder irrigation on the agricultural production, food supply and economic prosperity of a representative village beside the Senegal River, Mauritania. *Agricultural Systems*, 96, 1–15.

- de Vries, M. E., Rodenburg, J., Bado, B. V., Sow, A., Leffelaar, P. A., & Giller, K. E. (2010). Rice production with less irrigation water is possible in a Sahelian environment. *Field Crops Research*, 116, 154–164.
- McDonald, D. J. (1979). Rice. Chapitre 3. In: *Australian field crops Vol 2: Tropical cereals, oilseeds, grain legumes and other crops*. Angus et Robertson, Londres. pp 70-94.
- Moldenhauer, K. A. K. & Gibbons, J. H. (2003). Rice Morphology and Development. Chapitre 2.1. In: CW Smith, RH Dilday, eds. *Rice. Origin, History, Technology, and Production*. John Wiley et Fils, Inc., Hoboken, New Jersey. pp 103-127.
- Normile, D. (2004). Yangtze seen as earliest rice site. *Science*, 275, 309.
- SAED. (2007). *Superficies et productions de riz dans la VFS entre 1990 et 2006*. Saint Louis, Sénégal: SAED/DDAR/CSE.

5.0 LE SORGHO

5.1 BREF APERÇU DE LA CULTURE

Le sorgho est la contribution de l'Afrique à la production des meilleures cultures mondiales. Il appartient à une poignée de plantes élites, qui, ensemble, fournissent plus de 85 pourcent de l'énergie humaine, et aujourd'hui, c'est l'alimentation de base de plus de 500 millions de personnes dans plus de 30 pays. Seuls le riz, le blé, le maïs, et les pommes de terre dépassent le sorgho quant à sa participation à l'alimentation de l'espèce humaine (Smith et al., 2000). Le sorgho est une herbacée semblable au maïs dans son aspect végétatif, bien qu'il ait plus de pousses et de racines finement ramifiées que le maïs (Doggett, 1988 ; Smith et al., 2000). La croissance et le développement du sorgho sont, dans l'ensemble, similaires à ceux du maïs et autres céréales. Avant les années 40, la plupart des céréales de sorgho atteignaient une taille de 2 à 3 m de haut, ce qui créait des problèmes au moment de la moisson. Des croisements utilisant des gènes rabougrissants ont depuis donné lieu à des variétés d'une hauteur de 1 à 1,5 m. Même s'il existe plusieurs groupes génétiques, la plupart des hybrides courants du sorgho grain ont été obtenus par croisement du milo avec des variétés de kafir. Les autres groupes incluent les Hegari, Feterita, Durra, Shallu, and Kaoliang (Doggett, 1988). La tête de sorgho est une panicule avec des épillets disposés par rangées de deux. Il est le plus souvent allogame mais peut également être à pollinisation croisée. Les fleurs du sorgho commencent à s'ouvrir et à polliniser peu après que la panicule est entièrement sortie de la gaine. Le sorgho peut se ramifier à partir des nœuds supérieurs de la tige. Si la panicule principale est endommagée par la sécheresse et la chaleur, les branches peuvent porter des panicules et produire des grains. La couleur des graines varie entre le jaune, le blanc, le marron, et autres sortes de mélanges. Les variétés à graines brunâtres ont une teneur en tannin élevée diminuant ainsi son appétence.

5.2 REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET NIVEAU GENERAL D'IMPORTANCE

Le sorgho est cultivé sur 40 millions d'ha dans 105 pays d'Afrique, d'Asie, d'Océanie, et des Amériques. Les Etats-Unis, l'Inde, le Mexique, le Nigéria, le Soudan et l'Ethiopie en sont les producteurs principaux. Il est généralement cultivé entre le 40 °N et le 40 °S de l'équateur dans les pays chauds et tempérés, typiques d'un environnement semi-aride, mais il peut être cultivé dans diverses conditions et à des altitudes pouvant aller jusqu'à 2 300 m dans les tropiques. Le sorgho et le millet sont les céréales les plus importantes dans les régions semi-arides d'Afrique. En règle générale, la surface cultivée en sorgho et millet en Afrique a augmenté de façon constante au cours des années, mais les moyennes des rendements baissent (Matlon et Adesina, 1991).

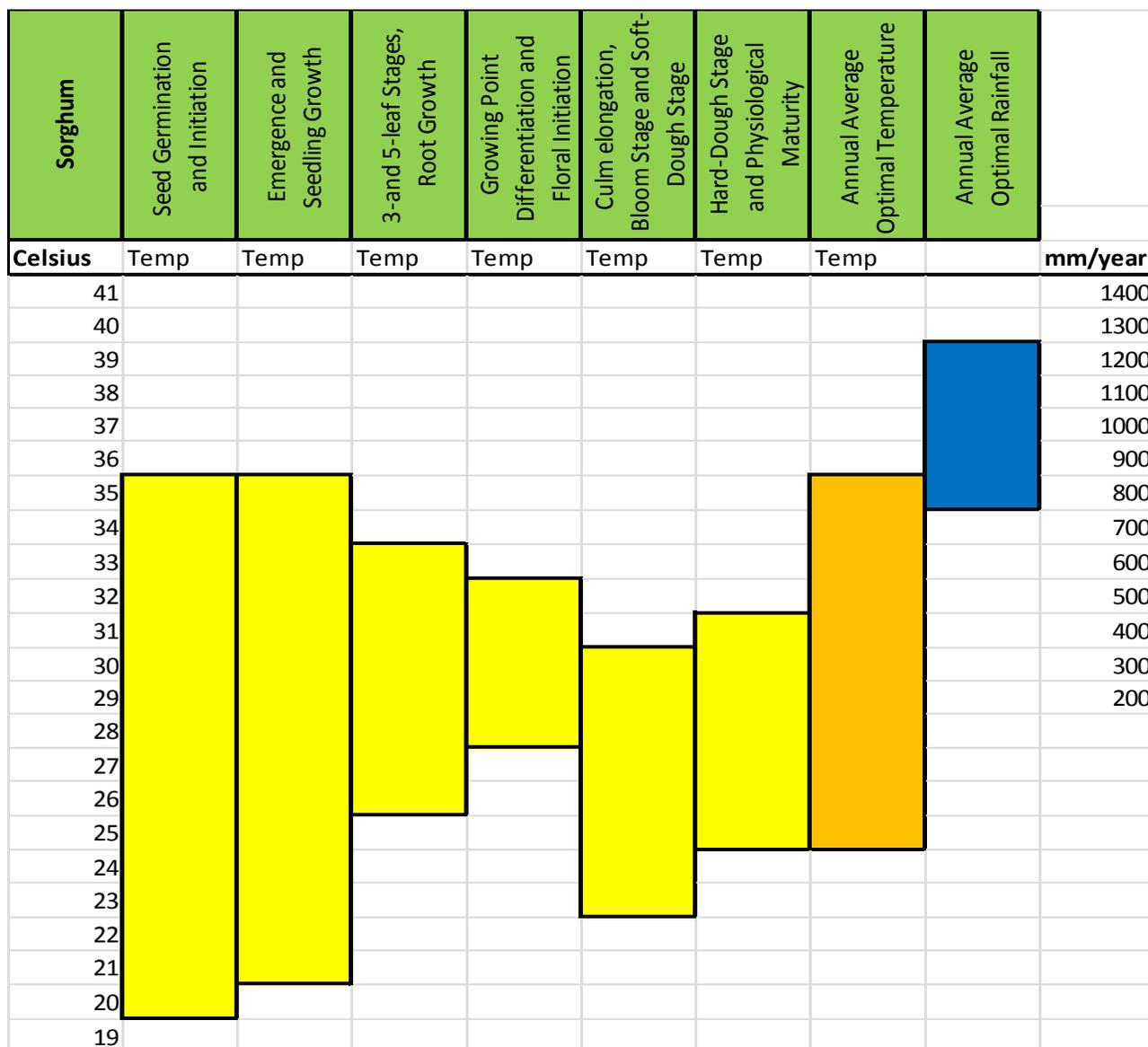
5.3 CYCLE DE VIE

Les stades phénologiques du sorgho commencent au moment de la levée. Avant la levée, la plante dépend entièrement des réserves de nutriments de l'endosperme à l'intérieur de la graine pour sa survie. Les plantes à levée lente sont susceptibles d'épuiser ces réserves nécessaires à une croissance précoce des plantes. Une fois que le grain est levé, la plante se développe de façon prévisible, caractérisée par trois étapes distinctes de croissance. Cette première étape de croissance est caractérisée par une croissance végétative. La plante développe ses structures végétatives, les feuilles et les pousses, qui assurent la formation et la croissance du grain. La deuxième étape de croissance inclut une période où les structures reproductives de la panicule se forment et le nombre maximum de graines par plante est établi. C'est la période la plus critique de la production de grains, car le nombre de graines

par plante représente 70 pourcent du rendement total en grains. La troisième et dernière étape de croissance est le remplissage du grain, lequel commence par la floraison et continue jusqu'à l'arrêt de l'accumulation de matière sèche dans le grain. En général et, selon la variété, l'accumulation de la matière sèche est achevée environ 100 jours après la levée (Quinby, 1974).

La majorité des variétés de sorgho (et du millet) cultivées en Afrique de l'Ouest sont des variétés traditionnelles, sensibles à la photopériode, ce qui veut dire que (la diminution de) la longueur du jour déclenche un changement physiologique du développement, de la croissance végétative de la plante à la floraison. Indépendamment de l'âge des semis et des conditions météorologiques (précipitations ou températures), certaines variétés commencent à fleurir lorsque la longueur du jour franchit un seuil spécifique. La longueur saisonnière du jour est fonction de la latitude, par conséquent, une même variété semée à la même date commencera sa floraison à des dates différentes en fonction de la latitude de l'endroit où elle est plantée. Cette caractéristique physiologique du sorgho représente un immense potentiel quant à l'adaptation au changement climatique., mais elle rend également la classification habituelle de maturation des variétés, - précoce, intermédiaire - et tardive, difficile sinon d'aucune utilité dans la pratique. Au Mali, dans le cadre du programme d'amélioration du sorgho, les chercheurs classifient normalement les variétés mûrissant entre 90 à 110 jours comme précoces, entre 110 à 120 jours comme intermédiaires et, celles qui mûrissent au-delà de 120 jours comme tardives. La culture de variétés très précoces, celles qui mûrissent à 65 jours, a été abandonnée à cause des dégâts des oiseaux considérables. En pratique, les agriculteurs exploiteraient la sensibilité à la photopériode du sorgho en la plantant après avoir semé d'autres cultures insensibles à la photopériode, puisque ces cultures arrivent à maturité à une période donnée du développement qui doit être synchronisée avec la durée de la saison des pluies.

FIGURE 4. BESOINS EN TEMPÉRATURES ET EN PRÉCIPITATIONS DU SORGHO À DIFFÉRENTS STADES DU DÉVELOPPEMENT



5.4 PARAMETRES DE PRODUCTION

Les sols

Le sorgho se porte bien dans la plupart des sols, mais se porte mieux dans des sols à texture légère à moyenne. Les sols bien aérés et bien drainés offrent des conditions optimales. Le sorgho résiste relativement bien à de courtes périodes d'engorgement. La composition requise des engrais peut aller jusqu'à 180kg/ha N, de 20 à 45 kg/ha P, et entre 35 à 80 kg/ha K. Le sorgho a une résistance moyenne à la salinité des sols et peut tolérer un pH aussi bas que 4,5 ainsi que des niveaux d'aluminium élevés.

L'eau

Les conditions optimales de croissance des plantes du sorgho incluent des précipitations moyennes à bonnes et relativement stables pendant la saison de croissance. Il s'adapte mieux aux régions à précipitations moyennes annuelles bien réparties entre 450 à 650 mm. Au Mali, la zone principale de production du sorgho est située dans la ligne isohyète de 700 à 900 mm. Toutefois, cette zone de production serait plus représentative de l'existence de sols plus lourds qui retiennent mieux l'humidité que du niveau des précipitations. Il est recommandé aux agriculteurs de commencer l'ensemencement après un cumul de précipitations de 20 mm pendant une période de 30 jours après le 1er mai.

Le sorgho est l'une des cultures les plus résistantes à la sécheresse, d'où sa grande popularité dans les régions où le temps est particulièrement imprévisible. La résistance du sorgho à la sécheresse peut être attribuée à (a) un système racinaire particulièrement bien développé ; (b) une petite surface foliaire qui limite la transpiration; (c) des feuilles qui s'enroulent plus efficacement pendant les périodes chaudes et sèches ; (d) un taux de transpiration efficace; (e) un épiderme de texture semblable à celle du liège et une couche cireuse qui protègent la plante contre la dessiccation ; (f) des stomates qui se referment rapidement ; et (g) une capacité à rester dans un état de quasi-dormance pendant des périodes de stress d'humidité, pour ensuite reprendre la croissance lorsque les conditions s'améliorent. Le sorgho a des besoins en humidité les plus élevés et est le plus vulnérable au stress d'humidité après la floraison, pendant le remplissage du grain où des intervalles de deux semaines ou plus entre les précipitations peuvent avoir un impact néfaste considérable sur les rendements. Selon la variété et, en dehors de l'étape de tallage, le sorgho résiste également à l'engorgement, voire même aux immersions partielles pendant des périodes de deux semaines sans de réels impacts sur le rendement ou risques de mort.

Les températures

Le sorgho est une culture des zones tempérées à chaudes (20 à 40 °C) qui nécessite une période sans gel pendant environ 120 à 140 jours. La plante peut résister à des températures élevées tout au long de son cycle de vie, mieux que n'importe quelle autre culture. Au Mali, des températures d'environ 35 °C sont considérées comme optimales pour la production du sorgho, mais la culture tolère également des températures allant jusqu'à 44 °C sans s'abîmer. Les températures minimales pour la germination de la graine de sorgho varient entre 7 à 10 °C. Le sorgho grain ne germe pas et ne se développe pas bien dans les sols frais. Planter la graine de sorgho avant que la température du sol n'atteigne 35 °C peut entraîner une mauvaise levée ainsi qu'une mauvaise croissance du semis.

L'adaptabilité

Le sorgho possède des caractéristiques diverses qui lui confèrent une grande résistance à la sécheresse. La culture du sorgho est essentiellement pluviale, une méthode adaptée à la production de grains et de fourrage (Leuschner et Manthe, 1996). Dans les régions sèches recevant peu de précipitations et/ou des précipitations irrégulières, le sorgho réagit bien à une irrigation supplémentaire. Néanmoins, d'importantes différences sont observées chez différentes variétés quant à leur réaction à une irrigation supplémentaire. Les variétés et cultivars traditionnels hautement résistants à la sécheresse réagissent modérément à l'irrigation, alors que d'autres variétés peuvent avoir des rendements élevés lorsqu'elles sont irriguées. En revanche, ces dernières ont un faible rendement lorsqu'il y a une contrainte d'eau.

La température reste un facteur d'une importance capitale dans le choix et la culture des variétés. Les températures optimales pour les variétés à rendement élevé sont supérieures à 25 °C, mais certaines variétés s'adaptent à des températures plus basses et ont un rendement correct. Lorsque les températures sont inférieures à 20 °C, la période de croissance est prolongée de 10 à 20 jours environ pour chaque baisse de température de 0,5 °C, selon la variété et, à 15 °C, les grains de sorgho

mettraient entre 250 à 300 jours pour arriver à maturation. En outre, des températures élevées (>35°C) peuvent conduire à une mauvaise grenaison, des problèmes de mûrissement, ainsi qu'à de faibles rendements.

5.5 SOURCES

- Chipanshi, A. C., Chanda, R., & Totolo, O. (2003). Vulnerability Assessment of the Maize and Sorghum Crops to Climate change in Botswana. *Climate Change* 61(3), 339-360.
- Doggett, H. (1988). *Sorghum*. 2nd ed. Burnt Mill, Harlow, Essex, Angleterre : Longman Scientific & Technical.
- Knox, J. W. T., Hess, T. M., Daccache, A., & Perez Ortola, M. (2011). What are the projected impacts of climate change on food crop productivity in Africa and S Asia? Rapport final d'évaluation systématique DFID. Université de Cranfield.
- Leuschner, K., & Manthe, C. S. (1996). *Drought-tolerant crops for southern Africa: proceedings of the SADC/ICRISAT Regional Sorghum and Pearl Millet Workshop, 25-29 Jul 1994, Gaborone, Botswana*. Patancheru, Andhra Pradesh, Inde : L'institut de recherche internationale sur les cultures des zones tropicales semi-arides.
- Matlon, P. J., & Adesina, A. A. (1991). Prospects for sustainable improvements in sorghum and millet productivity in West Africa. In *Agricultural Sustainability, Growth, and Poverty Alleviation: Issues and Policies*. Vosti, S., & Reardon, T. (Eds.). Washington, D.C. : Institut de recherche internes sur la politique alimentaire et Fondation allemande pour le développement international.
- Quinby, J. R. (1974). *Sorghum improvement and the genetics of growth*. College Station : Station agricole d'expérience du Texas.

6.0 LE COTON

6.1 BREF APERÇU DE LA CULTURE

Le coton est la principale fibre végétale dans le monde. Il est cultivé à des fins commerciale dans les régions tempérées et tropicales de plus de 50 pays sur plus de 32 millions d'hectares et dans des conditions environnementales très variées (Khadi et al., 2010). La production mondiale de coton représente 20 milliards de dollars par an (Saranga et al., 2001). En tant que principale fibre végétale textile dans le monde, le coton est un élément essentiel de l'agriculture mondiale et un pilier de l'économie de bon nombre de pays développés et en développement. Le coton (*Gossypium hirsutum*) est cultivé pour sa fibre et sa graine. La production mondiale à l'heure actuelle est d'environ 21 millions de tonnes (de linters) provenant de 59,7 millions de tonnes de graines de coton.

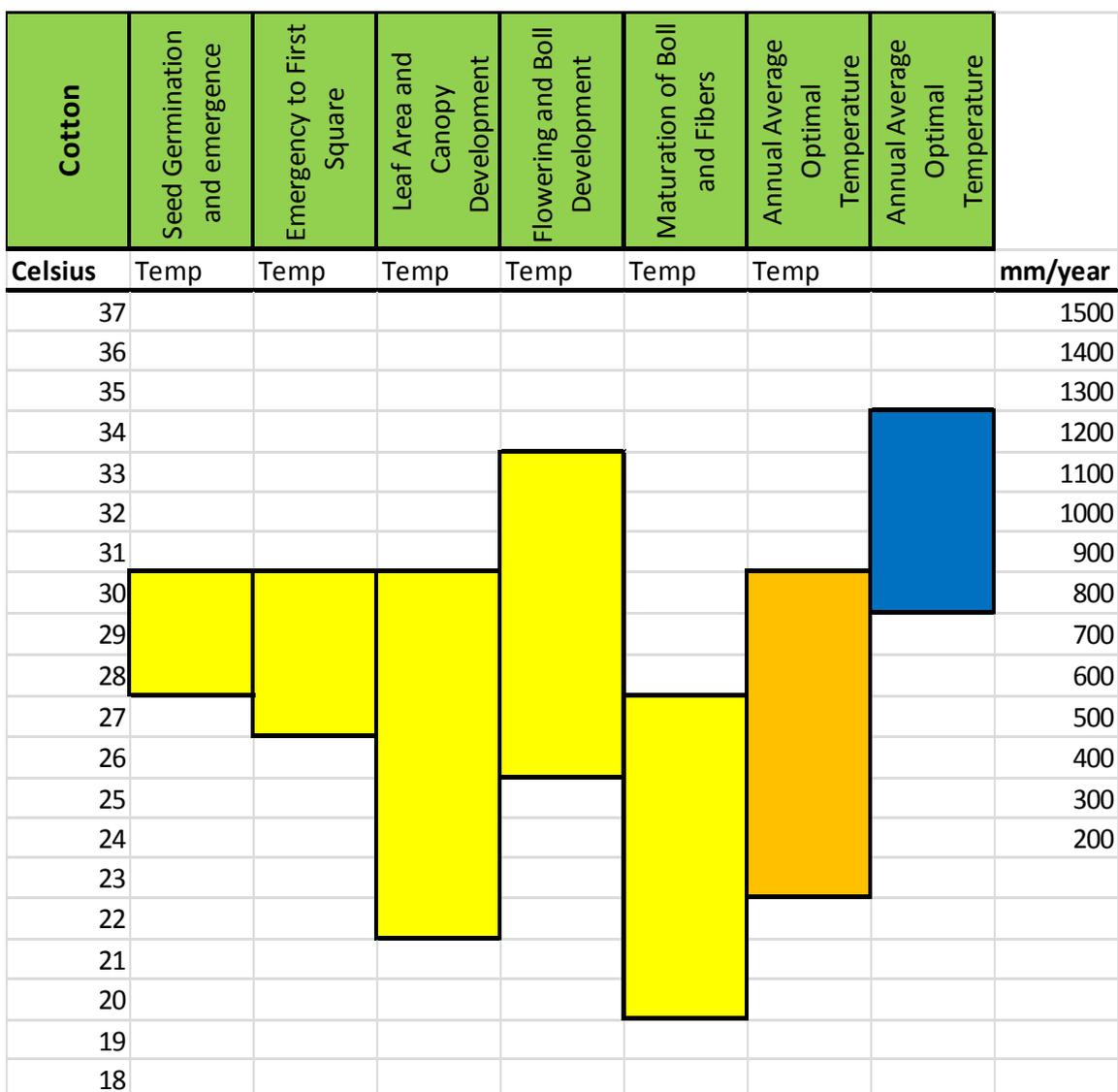
6.2 REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET NIVEAU GENERAL D'IMPORTANCE

Le coton est considéré comme une culture des régions chaudes et semi-arides du monde, mais c'est également une culture importante dans les terres arides irriguées, et se cultive jusque dans les zones tropicales semi-humides. Les régions de culture pluviale du coton changent en fonction des pays. Environ 65 pourcent des régions de culture du coton dans le monde se situent entre les latitudes 30 °S et 37 °N. Cette répartition géographique comprend les Etats-Unis, certaines parties de l'ancienne Union Soviétique et la Chine. Environ 25 pourcent de la production totale viennent du nord des tropiques. Aucun pays de l'Afrique de l'Ouest ne joue un rôle important dans la production ou le commerce international du coton. Cependant, en tant qu'entité régionale, l'Afrique de l'Ouest est le troisième exportateur mondial de coton, derrière les Etats-Unis et l'Asie centrale (Baffes, 2004).

6.3 CYCLE DE VIE

Le cycle biologique du coton peut être divisé en cinq phases. Le cycle commence par la germination qui va de la période d'ensemencement à celle de l'émergence, lorsque l'hypocotyle et les cotylédons percent la surface du sol. La germination dure normalement quatre à sept jours, mais dans des conditions peu favorables, cette phase est susceptible de durer plus longtemps. La phase suivante correspond au développement foliaire jusqu'à l'apparition des premiers boutons floraux (huit à 10 jours) en fonction des variétés et des conditions météorologiques. Cette phase est suivie de l'apparition de l'inflorescence. L'intervalle entre la formation des bulbes et l'apparition des premières fleurs est de 55 à 60 jours. Vient ensuite la floraison et le développement des fruits. Cette phase commence avec l'ouverture des premières fleurs (la reproduction dure cinq à sept jours) et se termine lorsque presque toutes les capsules ont atteint leur taille définitive. Cette phase dure entre 55 et 60 jours selon la variété et les conditions météorologiques. Le coton est sensible à la température. Les nuits fraîches et des basses températures diurnes nuisent à la croissance végétative et conduisent à un faible développement de branches fruitières. Le coton est particulièrement sensible à la gelée. Aucune distinction nette ne peut être établie entre les périodes de croissance de la culture puisque la croissance végétative se poursuit lors de la floraison et de la formation des capsules et, la floraison continue pendant la formation des capsules. Au Mali, la durée du cycle végétatif des cinq variétés cultivées varie entre 120 à 130 jours, de la germination à la récolte, la qualité de la fibre étant la différence principale entre elles.

FIGURE 5. BESOINS EN TEMPERATURES ET EN PRECIPITATIONS DU COTON A DIFFERENTS STADES DU DEVELOPPEMENT



6.4 PARAMETRES DE PRODUCTION

Les sols

Le coton se cultive sur des sols très variés, mais préfère les sols profonds, à texture moyenne ou lourde, ayant de bonnes propriétés de rétention d'eau. Les sous-sols acides et épais limitent la pénétration des racines. Le pH se situe entre 5 et 8, les valeurs comprises entre 7 et 8 étant considérées comme optimales. Pour la culture de coton irriguée, la composition requise pour l'engrais est de 100 à 180 kg/ha N, 20 à 60 kg/ha P, et 50 à 80 kg/ha K. Deux-tiers des nutriments sont absorbés pendant les 60 premiers jours de la période de croissance. L'absence de fertilisation prolonge toutes les étapes du développement de la plante. La culture est relativement résistante à la salinité des sols, mais ne résiste pas aux déficits de micronutriments, tel que le bore.

L'eau

En fonction du climat et de la durée totale de la période de croissance, les besoins en précipitations du coton varient entre 700 et 1 300 mm. Au Mali, 800 à 1 200 mm de précipitations bien réparties sont considérées comme optimales. Au début de la période végétative, les besoins en eau de la culture sont faibles (10 pourcent de la quantité totale). Les besoins en eau sont au plus élevé pendant la période de floraison, soit environ 50 à 60 pourcent de la quantité totale, et lors du développement de la capsule. Plus tard, lors de la période de croissance, les besoins diminuent. Le coton peut survivre jusqu'à 20 jours sans pluie, et jusqu'à 10 jours dans des conditions d'inondation.

Au Mali, la période de plantation recommandée est du 15 au 30 mai dans les régions du sud et du 1er au 10 juin dans les régions du nord, puis à n'importe quel moment jusqu'au 20 juin après un cumul de précipitations de 15 mm.

Les températures

Le coton est une plante de jours courts, mais il existe également des variétés indifférentes. Néanmoins, l'effet de la longueur de la journée sur la floraison est influencé par les températures. La germination est optimale à des températures entre 18 à 30 °C, avec un minimum de 14°C et un maximum de 40 °C. Une germination retardée expose les graines aux infections fongueuses du sol (Mills et al., 2005). Une croissance végétative précoce nécessite une température supérieure à 20 °C, mais la température idéale est de 30 °C. Pour assurer une formation adéquate des bourgeons et la floraison, la température diurne doit être supérieure à 20 °C et la température nocturne supérieure à 12 °C, mais elle ne doit pas dépasser 40 et 27 °C, respectivement. Les températures entre 27 et 32 °C sont optimales pour le développement et la maturation des capsules, mais les rendements baissent au-dessus de 38 °C.

L'adaptabilité

Des vents forts et/ou froids peuvent avoir des incidences graves sur les jeunes pousses fragiles et, à la maturation, ils peuvent disperser les fibres provenant des capsules ouvertes et les salir de poussière. Le coton est une culture extensive qui se pratique en régime pluvial. Bien qu'il résiste relativement bien à de courtes périodes d'engorgement, de fortes précipitations peuvent entraîner la verse. Des pluies continues pendant la floraison et l'ouverture des capsules empêchent la pollinisation et font baisser la qualité de la fibre. Des fortes pluies pendant la floraison font tomber les bourgeons de fleurs et les jeunes capsules.

En général, les températures supérieures à 35 °C ne sont pas idéales (Lu et al., 1997 ; Mauney, 1966). Toutefois, avec des niveaux d'humidité adéquats, le coton peut supporter des températures très élevées (43 à 45 °C) pendant des courtes périodes sans souffrir de dégâts permanents. La persistance pendant plusieurs jours de ces températures compromet les rendements. Pendant la maturation des capsules et des fibres, qui est essentiellement un processus de séchage, des températures relativement élevées sont préférables avec une moyenne journalière de 22 °C. Les capsules mettent 68 jours pour arriver à maturation. Lorsque la température moyenne journalière est de 38 °C, la durée de la maturation est raccourcie davantage, mais les capsules sont de plus petite taille, les fibres ne se développent pas complètement et les rendements sont faibles (Pettigrew 2008 ; Reddy et al., 1995). Des journées chaudes et dégagées sont nécessaires pour assurer un développement optimal et une bonne qualité de la fibre. Dans ces conditions, la quantité de fibres par capsule augmente et la fibre est légèrement plus courte mais plus épaisse et plus solide, à condition que l'apport en humidité soit suffisant.

Lorsque la température du sol tombe en dessous de 20 °C, même pendant de courtes périodes, l'absorption d'eau est ralentie et les plantes peuvent se faner même lorsque le sol est suffisamment

humide. Des températures de sol plus basses (en dessous de 10 °C) perturbent le géotropisme des racines du coton, entraînant une croissance anormale des racines. Des températures du sol excessivement élevées (>40 °C) ont également des effets néfastes.

Une intensité lumineuse élevée tout au long de la période de croissance est essentielle pour assurer un développement végétatif satisfaisant et une perte minimale des bourgeons et des capsules, par conséquent, un meilleur rendement. Une faible intensité lumineuse due à un temps nuageux diminue le taux de formation des capsules et entraîne un développement végétatif excessif. Une perte accrue des fibres, souvent observée après la pluie pendant la période de croissance du coton, peut sans doute être attribuée à la diminution de l'intensité lumineuse plutôt qu'aux effets des précipitations. Une faible intensité lumineuse peut diminuer le rendement du coton jusqu'à 47 pourcent (Zhao et Oosterhuis, 1998). Toutes les espèces sauvages du *Gossypium* sont des plantes de jours courts qui ne fleurissent pas tant que la longueur du jour dépasse 12 heures.

6.5 SOURCES

- Baffes, J. (2004). Cotton. Market setting, trade policies, and issues. Recherche de politique de la Banque mondiale, Document de travail No. 3218, février 2004, Washington, D.C.
- Khadi, B. M., Santhy, M., & Yadav, M. S. (2010). Cotton: an introduction. In : Zehr, U. Barwale. (2010). Cotton. Dordrecht: Springer.
- Lu, Z. M., Chen, J., Percy, R. G., & Zeiger, E. (1997). Photosynthesis rate, stomatal conductance and leaf area in two cotton species (*G. barbadense* and *G. hirsutum*) and their relation to heat resistance and yield. *Australian Journal of Plant Physiology*, 24(5), 693–700.
- Mauney, J. R. (1966). Floral initiation of upland cotton *Gossypium hirsutum* L. in response to temperatures. *Journal of Experimental Botany*, 17(3), 452–459.
- Mills, N. B., Oosterhuis, D. M., & McMichael, B. (2005). Genotypic root response of cotton at suboptimal temperature environments. Abstrait No. 240. Réunion annuelle de la Société américaine internationale d'agronomie (du 6 au 10 novembre 2005). Société américaine d'agronomie,, Madison, WI.
- Pettigrew, W. T. (2008). The effect of higher temperature on cotton lint yield production and fiber quality. *Crop Science*, 48, 278-285.
- Reddy, K. R., Hodges, H. F., & McKinion, J. M. (1995). Carbon dioxide and temperature effects on Pima cotton development. *Agronomy Journal*, 87(1-2), 820–826.
- Saranga, Y., Jiang, C. X., Wright, R. J., Yakir, D., & Paterson, A. H. (2004). Genetic dissection of cotton physiological responses to arid conditions and their inter - relationships with productivity. *Plant, Cell, & Environment* 27, 263–277.
- Zhao, D. and Oosterhuis, D.M. (1998) Cotton responses to shade at different growth stages: Nonstructural carbohydrate composition. *Crop Sci.* 38, 1196-1203.

7.0 L'ANACARDIER

7.1 BREF APERÇU DE LA CULTURE

L'anacardier, *Anacardium occidentale L.*, appartient à la famille des anacardiacees. Le cajou est une importante culture de noix qui assure l'alimentation, l'emploi, et la croissance économique dans nombreux pays en développement. La FAO signale que le cajou est cultivé à des fins commerciales dans 32 pays, sur plus de 7,5 millions d'acres. Selon la FAO, l'anacardier est maintenant la culture de noix la plus importante dans le monde, dès lors que sa production a dépassé celle de l'amande en 2003. Le Vietnam, l'Inde, le Nigéria, et le Brésil sont aujourd'hui les quatre plus grands producteurs de cajou. La plupart des terres d'anacardes appartiennent à de petits agriculteurs qui représentent 97 pourcent de la production de cajou (Rosengarten, 1984). L'alliance africaine de cajou (2012) a indiqué qu'en Afrique, 2 millions d'agriculteurs cultivent de nos jours, environ 48 pourcent du cajou dans le monde. La plante produit non seulement le cajou bien connu, mais également un faux-fruit appelé « pomme » de cajou, qui est utilisé à des fins industrielles et médicinales. L'anacardier est également utilisé pour le reboisement, dans le cadre de la prévention contre la désertification et comme arbre tampon des bords de route.

L'anacardier a été planté en Inde vers le XVII^e siècle afin d'empêcher l'érosion sur la côte (Morton, 1960). Le bois de l'arbre est employé en menuiserie, comme bois de chauffage et charbon de bois. L'arbre exsude une gomme appelée cashawa, qui peut être utilisée dans les vernis. Composée d'environ 9 pourcent de tannin, l'écorce de l'anacardier est employée dans la teinture du cuir. L'arbre possède un système racinaire étendu qui lui permet de tolérer divers taux d'humidité et de types de sols. La plupart des anacardiens commencent à porter des fruits à partir de la troisième ou quatrième année et peuvent atteindre leur rendement maximum dès la septième année dans des conditions favorables. Bien que l'anacardier puisse vivre entre 50 et 60 ans, la plupart des arbres produisent des noix pendant seulement 15 à 20 ans (Ohler, 1979).

7.2 REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET NIVEAU GENERAL D'IMPORTANCE

Le cajou est originaire du Brésil, mais il s'est répandu dans d'autres parties tropicales d'Amérique du Sud et d'Amérique Centrale, au Mexique et aux Antilles. Au XVII^e siècle, les commerçants portugais ont introduit l'anacardier en Inde et en Afrique pour empêcher l'érosion des sols. Il est maintenant largement cultivé pour ses noix et autres produits dans les régions côtières de l'Afrique du Sud, de Madagascar, et de la Tanzanie, ainsi qu'en Asie du Sud, du Sri Lanka aux Philippines. Le traitement manuel du cajou a commencé en Inde dans la première moitié du XX^e siècle. Il était exporté vers les marchés occidentaux, en particulier les Etats-Unis. Dans les années 60, certains pays producteurs en Afrique de l'Est ont commencé à traiter les noix localement plutôt que de les envoyer en Inde pour être traitées, leur permettant ainsi de tirer profit de la vente des noix traitées ainsi que du liquide extrait des coques de noix de cajou.

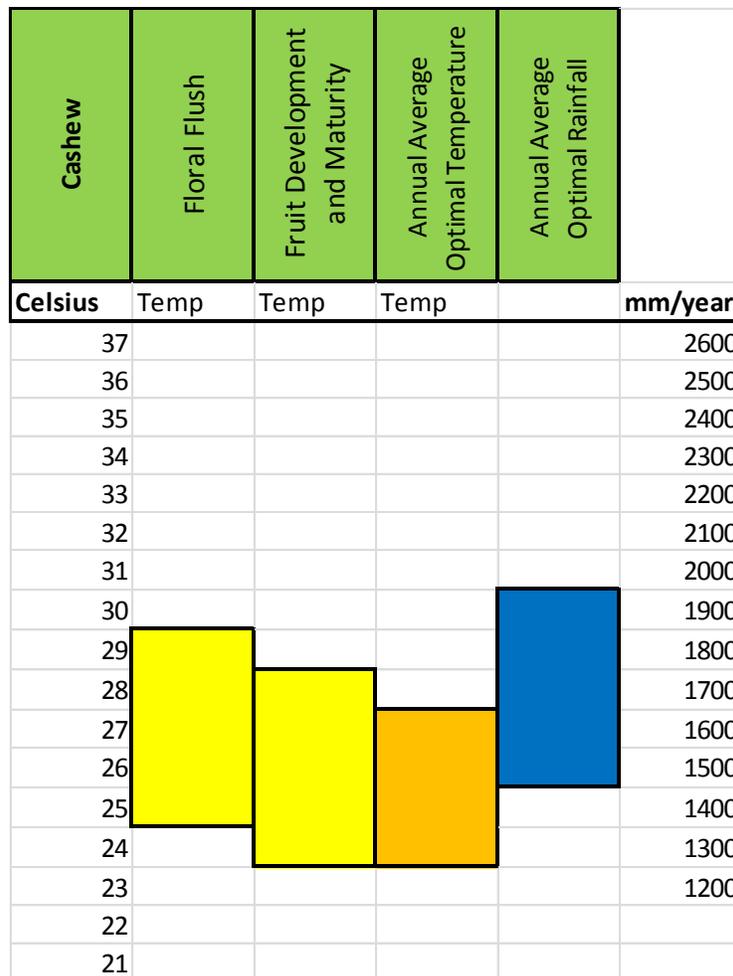
7.3 CYCLE DE VIE

Le cycle de la croissance végétative et reproductive de l'anacardier mature suit un modèle distinct dans lequel le calendrier mensuel de chaque phase dépend des conditions climatiques régionales, en particulier, de la température et de la disponibilité de l'eau. Dans les zones tropicales, jusqu'à trois poussées végétatives peuvent se produire au cours de l'année. La floraison, le développement du fruit et

la récolte se font pendant la saison sèche. Les noix et les pommes tombent par terre lorsqu'elles sont mûres. La première poussée végétative (également appelée poussée végétative post-récolte) a lieu après la récolte. La deuxième poussée végétative (durant la saison des pluies) se produit pendant la principale saison de l'hivernage et, la plus importante croissance végétative a lieu à ce moment-là. La poussée végétative finale (pré-florale) se produit peu après le début de la saison sèche. L'anacardier produit des fleurs mâles et hermaphrodites sur la même panicule. Davantage de fleurs mâles sont produites que de fleurs hermaphrodites (le rapport est de 10 fleurs mâles pour une fleur hermaphrodite). Cependant, ce rapport peut changer en fonction de la variété, et aussi pendant la floraison. Plus de 80 pourcent des fleurs hermaphrodites tombent avant qu'elles ne produisent une noix mature. Les fleurs mâles s'ouvrent normalement plus tôt dans la journée, alors que les fleurs hermaphrodites s'ouvrent plus tard dans l'après-midi. La partie femelle de la fleur hermaphrodite est réceptive au pollen de la fleur mâle pendant environ six heures.

L'anacardier est pollinisé par des insectes (abeilles indigènes, abeilles domestiques, mouches, guêpes). Bien qu'un grand nombre de fleurs soient produites sur une panicule, la nouaison est relativement faible en raison d'un faible sexe-ratio et d'une mauvaise pollinisation. Parfois, une mauvaise pollinisation est due à un manque d'insectes pollinisateurs. La nutrition, la disponibilité de l'eau ainsi que les dégâts causés par les insectes ravageurs peuvent avoir une incidence sur la nouaison.

FIGURE 6. BESOINS EN TEMPERATURES ET EN PRECIPITATIONS DU CAJOU A DIFFERENTS STADES DU DEVELOPPEMENT



7.4 PARAMETRES DE PRODUCTION

Les sols

Les sols rouges bien drainés, arénacés et latéritiques sont propices à une bonne croissance et un bon rendement de la noix de cajou. L'anacardier est une plante solide, connue pour pousser dans les sols qui ne sont généralement pas adaptés à d'autres arbres fruitiers. Ainsi, pour une production optimale, un sol profond, arénacé ou limoneux-sablonneux et bien drainé est recommandé. Les anacardiers ne peuvent pas se développer dans des sols mal drainés, densément argileux, engorgés ou bien des sols salins.

L'eau

L'anacardier est résistant à la sécheresse et peut pousser dans des régions recevant des précipitations annuelles de 600 à 4 500 mm. La nouaison de l'anacardier est facilitée si les pluies ne sont pas abondantes pendant la période de floraison et si les noix arrivent à maturation au cours d'une période sèche. L'anacardier a un système racinaire bien développé qui lui permet de supporter la sécheresse.

Les températures

L'anacardier est un arbre véritablement tropical et particulièrement sensible à la gelée. Il pousse dans des régions climatiques très variées. Bien que l'anacardier puisse supporter des températures élevées, une moyenne mensuelle de 25 °C est considérée comme optimale. L'anacardier est un arbre qui aime le soleil et ne supporte pas trop d'ombre. Il peut résister aux températures de plus de 36 °C pendant une période plus courte, mais les conditions ambiantes les plus favorables varient entre 24 à 28 °C. Les régions où les températures sont extrêmement basses (moins de 18 °C) et élevées (plus de 40 °C) pendant des périodes prolongées ne sont pas adaptées à la culture de l'anacardier.

L'adaptabilité

L'anacardier est essentiellement une culture tropicale et pousse mieux dans des climats chauds, moites, et en général, des climats tropicaux avec une saison sèche bien distincte d'au moins quatre à cinq mois, suivie d'une saison des pluies de quatre à cinq mois. La répartition de l'anacardier est limitée aux altitudes inférieures à 700 m où la température ne tombe pas en dessous de 20 °C pendant des périodes prolongées, bien qu'on le rencontre à des altitudes pouvant aller jusqu'à 1 200 m. L'anacardier est robuste et résistant à la sécheresse (Blaikie et Chacko, 1998), mais peut être endommagé par la gelée (Hubbard, 2008). Les facteurs climatiques influençant la croissance et la production de l'anacardier sont les suivants : (a) des séquences sèches pendant la période de floraison et de nouaison assurent une meilleure récolte, (b) un temps nuageux pendant la floraison augmente les risques de détérioration des fleurs en cas d'infestation du moustique de thé ; (c) de fortes pluies pendant les périodes de floraison et de nouaison peuvent endommager la production ; et (d) des températures élevées (39 à 42 °C) lors de la nouaison peuvent entraîner la chute des fruits. Les dégâts aux jeunes arbres ou aux fleurs se produisent à une température minimale inférieure à 7 °C et maximale supérieure à 45 °C. Seulement des températures fraîches prolongées causent des dégâts aux arbres matures. L'anacardier peut survivre à des températures d'environ 0 °C sur une courte période (Ohler, 1979).

L'anacardier peut survivre à de longues périodes de faible humidité, mais il est sensible aux longues périodes d'humidité relative élevée (supérieure à 80 pourcent) pendant la floraison et la nouaison, ce qui peut compromettre la quantité et la qualité. Dans des conditions d'humidité élevée, l'arbre devient vulnérable aux attaques du moustique *Helopeltis antonii* ainsi qu'à une infection de dépérissement

secondaire causée par un champignon. Au contraire, dans les zones de précipitations optimales, des taux d'humidité élevés pendant la saison sèche permettent à la plante d'équilibrer sa demande en eau. En cas de sécheresse prolongée en période de floraison, les fleurs tendres peuvent se faner. Une humidité relative inférieure à 60 pourcent dans certaines zones compromet la croissance et la productivité de l'anacardier de façon considérable.

Les vents violents ou les tempêtes nuisent aux fleurs et aux fruits immatures, mais un vent modéré joue un rôle important dans la dispersion du pollen et favorise la pollinisation allogame. Des vents secs continus augmentent l'évaporation de l'eau et causent un déséquilibre physiologique pouvant entraîner la chute des fleurs et des fruits. Des vents à grande vitesse pendant la période de fructification ainsi que des vents excessivement chauds ne sont pas souhaitables et sont certainement nocifs. La vitesse de vent optimale favorable à la croissance de l'anacardier peut être estimée aux alentours de 20 km/heure. L'air salé peut entraîner une brûlure des feuilles et des bourgeons tendres.

La nouaison de l'anacardier peut être perturbée par des pluies abondantes pendant la floraison. Certaines régions où l'anacardier a été introduit ont une pluviométrie annuelle moyenne de seulement 600 mm. De fortes pluies pendant la floraison sont nocives car elles emportent le pollen, compromettant ainsi la nouaison tout en favorisant l'apparition de la maladie de dépérissement.

L'anacardier ne résiste pas à l'excès d'ombre. Il se porte mieux avec un nombre élevé d'heures d'ensoleillement tout au long de l'année. Il a besoin de beaucoup de lumière du soleil uniformément répartie sur l'ensemble de son feuillage pour compléter son cycle reproducteur et donner un rendement satisfaisant. C'est une culture qui nécessite beaucoup de lumière, en particulier pendant les poussées végétatives et les périodes de fructification. L'anacardier peut tolérer des pH très variés, voire même les dégâts causés par la salinité.

7.5 SOURCES

African Cashew Alliance. (2012). Rapport annuel 2012 de l'ACA. ACA, Accra, Ghana.

Blaikie, S. J., & Chacko, E. K. (1998). Sap flow, leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence of container-grown cashew (*anacardium occidentale* L.) trees subjected to repeated cycles of soil drying. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 38(3), 305-311.

Hubbard, M. (2008). Introduction to fruit crops. *NACTA Journal*, 52(1), 72.

Morton, J. (1960). "New Outlook for the Cashew (*Anacardium occidentale*) in Tropical America." Démarches de la Société américaine pour la science horticole.

Ohler, J. G. (1979). *Cashew*. Amsterdam: Koninklijk Instituut voor de Tropen.

Rosengarten, F. (1984). *The Book of Edible Nuts*. Walker et Companie, New York.

8.0 LA MANGUE

8.1 BREF APERÇU DE LA CULTURE

La mangue est le fruit tropical du manguier appartenant à la famille des anacardiées. Originaire de l'est de l'Inde et de la Birmanie, la mangue présente plusieurs centaines de variétés, mais seulement quelques-unes d'entre elles ont une forte valeur marchande. Après la banane, la mangue est le fruit tropical le plus consommé dans le monde. Elle est cultivée dans plus de 90 pays. Le fruit offre des avantages nutritionnels substantiels grâce à une teneur élevée en minéraux, fibres, vitamines A, B, et C ainsi qu'en provitamines. Le manguier est un arbre érigé de 10 à 30 m de haut, disposant soit d'une canopée étendue ou arrondie, qui avec l'âge peut atteindre 30 à 38 m de large, soit d'une couronne plutôt verticale, ovale, et relativement fuselée. Dans un sol profond, la racine pivotante peut descendre jusqu'à 6 m de profondeur. Son système racinaire abondant et étendu envoie des racines d'ancrage qui s'étalent sur plusieurs mètres en profondeur. L'arbre vit longtemps. Certains spécimens dont l'âge est estimé à 300 ans produisent encore des fruits (Singh, 1978).

8.2 REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET NIVEAU GENERAL D'IMPORTANCE

Il est généralement admis que la culture de la mangue a commencé dans le Sud-Est asiatique et que le fruit est cultivé en Asie méridionale depuis presque 6 000 ans. La production mondiale de mangue a doublé au cours des 30 dernières années. L'Asie est le plus grand producteur de mangues, représentant 77 pourcent de la production mondiale, suivie des Amériques avec 13 pourcent et de l'Afrique avec 10 pourcent. Le principal producteur de mangues en Afrique est le Nigéria, suivi de l'Egypte. Le manguier est l'un des arbres domestiqués les plus familiers qu'on retrouve dans les arrière-cours des maisons ou dans de petites ou grandes plantations commerciales, sur toutes les terres humides et semi-arides des plaines du monde tropical ainsi que dans certaines régions à proximité des tropiques tels que le bassin méditerranéen, l'Afrique australe et le sud de la Floride.

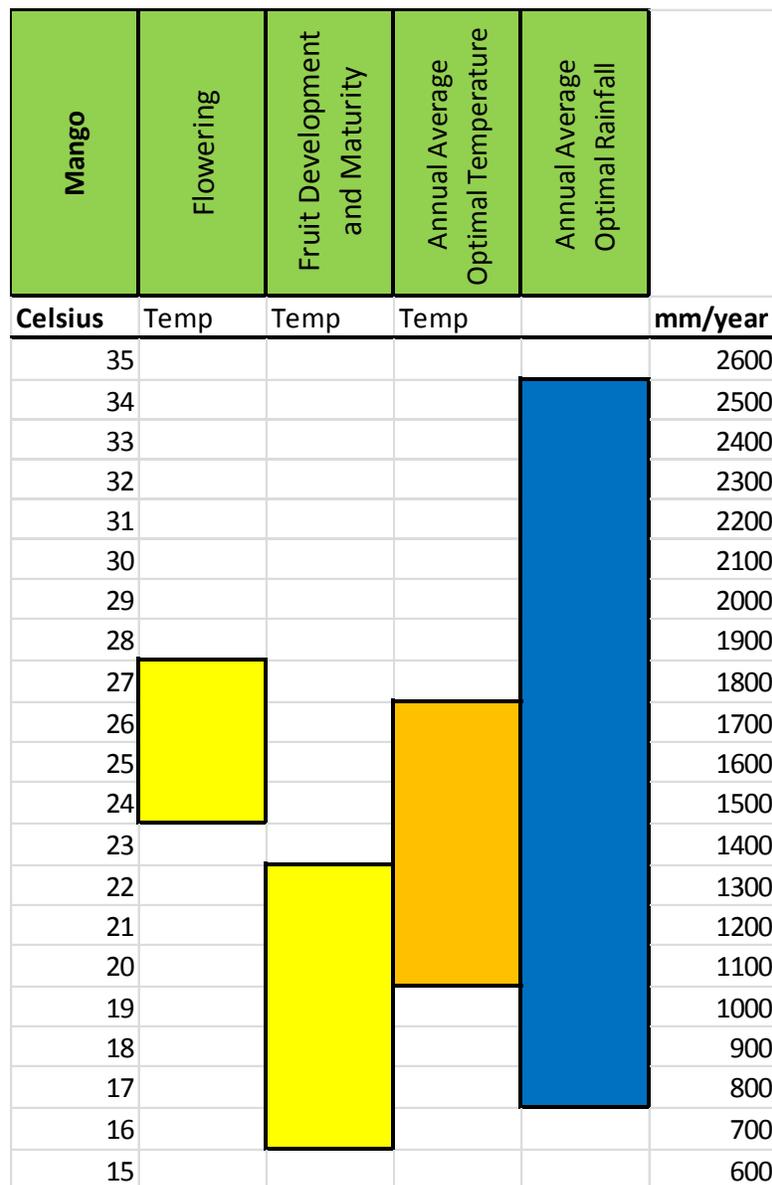
8.3 CYCLE DE VIE

La floraison est la première étape parmi d'autres qui prépare le terrain à la production de mangues tous les ans. Lorsque des conditions favorables de croissance sont réunies, la période et l'intensité de la floraison déterminent largement le moment de la fructification et la quantité de fruits produits lors d'une saison donnée. La croissance végétative n'est jamais continue mais donne plutôt des signes de dormance intermittente (Chacko, 1986). Ce phénomène de croissance cyclique s'appelle poussée végétative. Chaque poussée se termine lorsque toutes les nouvelles feuilles sont complètement ouvertes. La croissance reproductive se déroule généralement à un moment différent de celui de la croissance des pousses, réduisant de ce fait la concurrence entre les sinks (végétatifs vs reproductifs) pendant les périodes de demande nutritionnelle importante. La floraison suit en général une période de « dormance » végétative continue après la croissance des pousses estivales.

Le manguier est un arbre quasi-sempervirent. Les feuilles alternées se trouvent, pour la plupart, dans des rosettes aux extrémités des branches et de nombreuses brindilles à partir desquelles elles tombent comme des rubans sur de fines pétioles. Les nouvelles feuilles apparaissent périodiquement et irrégulièrement sur quelques branches à la fois. Les feuilles adultes peuvent atteindre 10 à 32 cm de long et 2 à 5,4 cm de large. Des centaines, voire même 3 000 à 4 000 petites fleurs, jaunâtres ou rougeâtres,

dont 25 à 98 pourcent mâles, et les autres hermaphrodites, se trouvent dans des amas de ramifications pyramidales érigées, visibles et abondantes (Ramirez et Davenport, 2010). Une grande variation est constatée au niveau de la forme, de la taille, de la couleur, ainsi que de la qualité des fruits. Ils peuvent être soit, presque ronds, ovales, ovoïdes-oblongues, soit en forme de rein, souvent avec une fente au niveau de l'apex. La peau peut avoir un aspect de cuir ou elle peut être cireuse, lisse, ou assez épaisse et afficher des couleurs différentes. Certaines mangues ont une odeur et une saveur de térébenthine alors que d'autres sont richement et agréablement parfumées. Dans le noyau se trouve une semence amidonnée monoembryonnée (généralement à germination unique) ou polyembryonnée (qui produit généralement plus d'une semence).

FIGURE 7. BESOINS EN TEMPERATURES ET EN PRECIPITATIONS DE LA MANGUE A DIFFERENTS STADES DU DEVELOPPEMENT



8.4 PARAMETRES DE PRODUCTION

Les sols

La mangue pousse bien dans tous les types de sols, à condition que ceux-ci soient profonds et bien drainés. Les variétés de sols glaiseux rouges sont idéales. Les sols alcalins ou mal drainés ainsi que les sols avec un substrat rocheux ne sont pas propices à une culture réussie de la mangue. Les sols rocailloux ou très pauvres, ainsi que les sols avec un substrat dur sont à éviter. La typologie du sol influe sur la vigueur et le comportement cultural du manguiers. Dans les sols peu profonds des pentes de colline, les manguiers sont de grande taille, mais les rendements ne sont pas satisfaisants. Les sols noirs profonds argileux sont généralement considérés inadaptés à la culture de la mangue. Ces sols doivent être réhabilités et lixivés pour en extraire les sels avec de l'eau de bonne qualité, en remplaçant le sodium nocif des sols avec du calcium, ou en effectuant un drainage efficace afin d'éviter l'accumulation des sels. Les sols favorables à la croissance de la mangue devraient, de préférence, avoir une teneur totale en sels hydrosolubles très faible, de 0,04 à 0,05 pourcent. Le manguiers est considéré comme étant modérément résistant aux sels.

L'eau

En ce qui concerne la culture de la mangue, l'important n'est pas la quantité des précipitations mais les périodes auxquelles elles surviennent. Le manguiers pousse aussi bien dans des conditions pluviométriques faibles qu'élevées variant entre 250 à 2 500 mm par an. Avec des précipitations annuelles de 750 mm ou plus, il peut être cultivé avec peu d'irrigation ou pas du tout. Une des conditions pour la croissance efficace de la mangue est l'absence de pluies pendant la floraison. La pluie en période de floraison non seulement enlève le pollen, ce qui a des impacts néfastes sur la nouaison, mais elle favorise également les sauterelles de la mangue, les cochenilles ainsi que les maladies, telles que l'oïdium pulvérulente ou l'anthracnose qui risquent d'endommager la culture, voire même de la détruire complètement. Un temps nuageux avec une humidité accrue dans l'atmosphère augmente également les risques de tels ravageurs et maladies et perturbe par ailleurs l'activité des insectes pollinisateurs, mettant ainsi en péril la nouaison. Dans les zones de précipitations excessives et d'humidité élevée, même durant la période de maturation du fruit, la culture commerciale de la mangue risque de ne pas être rentable à cause de l'attaque de la mouche à fruits. Lorsque des températures élevées, des précipitations, et de l'humidité persistent tout au long de l'année, les phases de croissance végétative et de floraison du manguiers ne sont pas clairement différenciées, entraînant une mauvaise fructification.

Les températures

Les conditions climatiques, en particulier, les températures, déterminent également les périodes de floraison et de maturation des fruits. La température moyenne annuelle à laquelle la mangue prospère le mieux se situe aux alentours de 27 °C. La température optimale de croissance varie entre 24 et 27 °C. Les manguiers offrent un bon rendement dans des conditions climatiques à la fois tropicales et subtropicales. Les arbres peuvent survivre à des températures comprises entre 10 et 65 °C. Les températures influent directement sur la floraison, la nouaison et le développement de la mangue. Lorsque la température atmosphérique est élevée, les fruits exposés directement à la lumière du soleil peuvent être atteints du trouble du tissu spongieux. Des températures de l'air supérieures à 41°C entraînent le développement de tissu spongieux chez les mangues. Bien que l'éclatement du fruit soit un phénomène rare, il est associé à des variations de températures maximales et minimales, ainsi qu'à des différences relatives en humidité entre le jour et la nuit.

L'adaptabilité

La mangue peut souffrir de la gelée et du gel si l'arbre n'est pas convenablement protégé. La sévérité des dégâts dépend de plusieurs facteurs, tels que l'âge de l'arbre, la teneur en humidité du sol, la condition de croissance de l'arbre, le moment de survenue, la sévérité ainsi que la durée de la gelée. De manière générale, les jeunes arbres au bois immature et ceux en croissance active sont plus sévèrement touchés que les arbres bien développés au bois mature et ceux en état de dormance. Des arbres semblables en termes de croissance et en âge physiologique cultivés sur des sols secs peuvent être gravement endommagés par rapport à ceux qui poussent dans des sols humides (Nadler et al., 2006). L'humidité augmente la température des sols et assure la protection contre les gelées modérées.

Il a été signalé que les gelées précoces et tardives peuvent causer davantage de dégâts que les gelées de mi-saison de même intensité (Sharma et al., 1991). Il semblerait que des manguiers soient plus sévèrement touchés par la gelée précoce parce qu'ils ne sont pas en état de dormance complet. Les dégâts de la gelée causent des fissures dans l'écorce, mais ces fissures ne sont pas manifestes sur les jeunes pousses. L'on compte parmi les autres symptômes de dégâts de la gelée, une sécrétion de la texture du latex s'écoulant de l'écorce, la mort de jeunes pousses, un aspect carbonisé des feuilles, un aspect brûlé des bourgeons de fruits. Des températures inférieures à 1,0 °C nuisent au manguiers et, une courte période de température à -3,0 °C ainsi que les vagues de froid qui en résultent entraînent le dessèchement des pousses et des feuilles, tuant l'arbre du sommet vers le bas. Les jeunes manguiers en phase dynamique de croissance peuvent être gravement atteints à 0 °C. Des températures de -0,6 à 0 °C pendant une heure, deux jours de suite à l'endroit de culture peuvent causer des dégâts conséquents aux manguiers (Naphrom et al., 2004 ; Sharma et al., 1991 ; Zhao et al., 2006).

Les manguiers sont plus productifs dans des climats qui ont une saison sèche bien distincte et relativement fraîche, avec une accumulation de fortes chaleurs pendant la floraison et la période de fructification (Rameshwar, 1989). Les zones où la production de fruits de qualité est la plus importante sont celles qui présentent des périodes de fraîcheur distinctes sans gel, de longues périodes sèches avant la phase de floraison, des températures chaudes pendant la fructification ainsi que des niveaux d'eau suffisants de la floraison à la récolte. Une sécheresse pendant la nouaison et la fructification peut entraîner une baisse de rendement et une diminution de la taille des fruits.

Un autre facteur défavorable est l'exposition aux vents fort. Indépendamment des conditions climatiques, les vents peuvent être nocifs à la culture de la mangue. Les vents forts peuvent nuire aux manguiers de plusieurs manières. Ils entraînent l'évaporation rapide de l'eau du sol, réduisant ainsi la disponibilité d'humidité nécessaire pour assurer une croissance et un développement optima du manguiers. La grêle est un phénomène naturel pouvant entraîner la perte partielle ou totale des récoltes de mangues. Les dégâts causés aux fruits se produisent lorsque ces derniers sont physiquement touchés par la grêle, ce qui entraîne une rupture des tissus, une meurtrissure, une décoloration ainsi que la putréfaction des endroits meurtris du fruit. Ces fruits endommagés ne mûrissent pas et sont impropres à la consommation. Les pluies, la rosée abondante ou le brouillard pendant la saison de floraison peuvent également causer des dégâts, parce qu'ils risquent non seulement de stimuler la croissance des arbres mais aussi de compromettre la production de fleurs, tout en favorisant les maladies fongueuses dans l'inflorescence et les fruits. Dans la plupart des cas, la quantité des précipitations n'est pas aussi vitale que le moment de leur survenue.

8.5 SOURCES

Nadler, A., Raveh, E., Yermiyahu, U., & Green, S. (2006). Stress induced water content variations in mango stem by time domain reflectometry. *Soil Science Society of America Journal*, 70(2), 510-520.

- Naphrom, D., Sruamsiri, P., Hegele, M., Boonplod, N., Bangerth, F., & Manochai, P. (2004). Hormonal changes in various tissues of mango trees during flower induction following cold temperatures. *Acta Horticulturae*. 645, 453-457.
- Rameshwar, A. (1989). Mango flowering--stress induced. *Acta Horticulturae*., 231, 433-439.
- Ramírez, F., & Davenport, T. L. (2010). Mango (*mangifera indica* L.) flowering physiology. *Scientia Horticulturae*., 126(2), 65-72.
- Sharma, K. K., Sidhu, P. S., & Singh, O. S. (1991). Protection of mango "*mangifera indica*" from frost injury by foliar spray of a clay suspension. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 61(9), 653
- Singh, R. N. (1978). *Mango*. New Delhi: Le conseil indien sur la recherche agricole.
- Zhao, Z., Jiang, W., Cao, J., Zhao, Y., & Gut, Y. (2006). Effect of cold-shock treatment on chilling injury in mango (*mangifera indica* L. cv. Vachengl) fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(14), 2458-2462.

9.0 LE KARITÉ

9.1 BREF APERÇU DE LA CULTURE

Le karité (*Vitellaria paradoxa*) n'est peut-être pas une espèce bien connue au niveau mondial, mais elle est certainement bien connue en Afrique de l'Ouest. Dans cette région, le karité constitue l'arbre principal dans une zone de savane de près de mille kilomètres de long. Traditionnellement, cette espèce, qui ressemble au chêne dans son aspect global, fournissait la principale graisse végétale comestible aux habitants de prairies boisées d'une superficie de 1 million km² environ. Presque chaque partie de l'arbre a une utilisation : le fruit se mange, et les feuilles sont utilisées comme fourrage et servent d'ingrédients dans la fabrication d'alcalis et de peintures (Lovett et Haq, 2000). Actuellement, le karité est exporté vers la France, la Grande-Bretagne, les Pays-Bas, le Danemark, l'Amérique du Nord, et le Japon (Elias et Carney, 2007).

9.2 REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET NIVEAU GENERAL D'IMPORTANCE

Le karité est produit dans les parties les plus au sud du Sahel ainsi que dans les savanes adjacentes du Soudan et de la Guinée. Le Sénégal est la partie la plus à l'ouest de cette étendue. Une population dense est rencontrée de la Guinée au Mali, en passant par le Burkina Faso et le Niger. Des arbres sont aussi cultivés en Guinée-Bissau, au Sierra Léone, en Côte d'Ivoire, au Ghana, au Togo, et au Bénin ainsi qu'au Nigéria et au Cameroun. A l'est de cette région, il existe des populations dispersées à travers l'Afrique centrale, du Tchad au Soudan, en passant par l'ouest de l'Ethiopie, l'Ouganda et le Congo. Typiquement, le karité pousse dans les régions à précipitations annuelles de 600 à 1 400 mm.

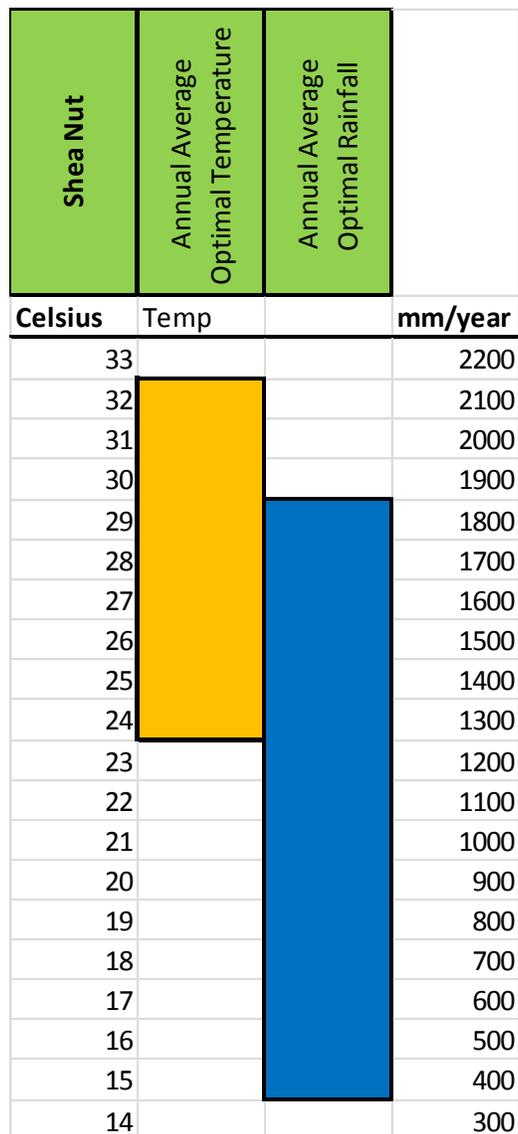
9.3 CYCLE DE VIE

En dépit de toutes ces applications et avantages économiques, il n'existe encore aucun régime établi de plantation de *Vitellaria paradoxa*. On connaît peu de choses sur l'agronomie de cet arbre (Ugese, 2010). La production de la noix de karité repose largement sur la cueillette de fruits tombés dans la nature. L'arbre produit des fleurs de décembre à mars, et les fruits sont récoltés de mai à septembre (Awoloye, 1996), ce qui coïncide avec la plantation des cultures principales et crée inévitablement une concurrence quant à la main-d'œuvre. La biologie et la physiologie de cet arbre sont également très peu connues. Par exemple, on ne sait rien quant au cycle fruitier irrégulier du karité. Il est possible que les feux de brousse et les vents de sable chauds appelés *harmattan* contribuent à la mort prématurée des fleurs et des boutures. La sécheresse peut également être un facteur. Cependant, aucune de ces explications ne se suffit à elle-même. Une recherche fondamentale sur l'influence du climat et des sols sur la productivité de l'arbre, sa croissance et sa fructification irrégulière est nécessaire.

La semence fraîche germe facilement. Cependant, une baisse significative de la viabilité a été constatée en à peu près une semaine, sauf si la graine a été refroidie. Les racines profondes des semis ont du mal à s'implanter lorsqu'elles sont transplantées. On a connu un certain succès avec le marcottage aérien et le greffage de clones améliorés, ainsi qu'avec la culture tissulaire. Toutefois, plus d'expériences sont nécessaires pour que des techniques normalisées soient entièrement développées et validées. La longue période requise pour atteindre l'âge de fructification constitue un obstacle particulier. Il est généralement admis que le karité met environ 20 ans pour porter des fruits, et atteint sa pleine capacité de production après environ 50 ans. Cependant, certains arbres produisent des fruits après une

douzaine d'années. L'on ne sait pas si une telle différence est liée à la génétique ou à l'environnement. Néanmoins, elle offre d'importantes perspectives en matière de domestication et de multiplication végétative. Il y a également une grande variabilité de rendements entre les différents types d'arbres. Des matériaux issus de la multiplication végétative peuvent réduire la fructification initiale à un ou deux ans. Les semis développent une longue racine pivotante qui offre une bonne résistance à la sécheresse mais qui les rend difficiles à transplanter. Les arbres cultivés à partir d'une semence mûrissent très lentement. Un insecte important pour l'arbre de karité comme pour beaucoup d'autres arbres, est l'abeille, responsable de la pollinisation des fruits (Dwomoh, 2003).

FIGURE 8. BESOINS EN TEMPERATURES ET EN PRECIPITATIONS DU KARITÉ



9.4 PARAMETRES DE PRODUCTION

Les sols

On trouve le karité naturellement sur les versants secs de la savane, mais pas dans les cavités ni les terres alluviales sujettes aux inondations. On le rencontre sur divers types de sols, il semble préférer des sols de terre glaise sèche avec une bonne couche d'humus. Néanmoins, il supporte des sites rocailloux et des sous-sols de latérite, bien que les rendements soient susceptibles d'être moins bons dans de telles conditions.

L'eau

Le karité pousse dans les zones de précipitations annuelles de 400 à 1 800 mm. Toutefois, les arbres sont plus nombreux et sains là où ils reçoivent entre 600 à 1 200 mm de précipitations et où la saison sèche ne dure pas plus de huit mois.

Les températures

Le karité pousse dans des zones caractérisées par des températures moyennes annuelles de 24 à 32 °C. Le minimum serait de 21 °C. Les températures dans les zones où l'on rencontre le karité se situent vers les 40 °C.

L'adaptabilité

Le karité pousse dans les forêts et la savane arides ayant une saison sèche bien marquée pendant six à huit mois et des périodes de sécheresse qui durent plusieurs années. Il est également dispersé dans les forêts sèches, sur toute la région soudano-sahélienne, mais ne s'étend pas jusqu'aux zones côtières. Il appartient aux espèces des sites ouverts nécessitant de la lumière et est, pour la plupart, solitaire. L'arbre de karité se développe généralement à basse altitude. Néanmoins, dans le plateau de l'Adamaoua au Cameroun, on le trouve à 1 200 m au-dessus du niveau de la mer.

Une des difficultés concernant l'implantation du *Vitellaria paradoxa* est la faible longévité de la graine ainsi qu'un succès modeste dans l'utilisation des méthodes de reproduction végétative en vue de la production de semis. La noix a une courte période de viabilité. Les graines de cette espèce sont récalcitrantes et doivent maintenir une teneur élevée en humidité. La viabilité des graines diminue rapidement lorsqu'elles sont séchées. Lorsque les noix sont plantées immédiatement après la cueillette, la culture présente une période de dormance prolongée pendant laquelle les pousses mettent entre 51 et 79 jours pour émerger du sol (Jackson, 1968 ; Ugese, 2010).

Une humidité excessive peut être nuisible au karité, et l'arbre ne se développe pas dans les endroits à précipitations et humidité élevées. Les raisons de ce phénomène sont inconnues. Bien que l'arbre semble pouvoir se développer dans des conditions pluviométriques adéquates, il semble peu probable que les précipitations soient une ressource viable dans les endroits où l'huile de palme, d'autres graines oléagineuses ou le cacao poussent bien. La croissance dans les zones sèches est qualifiée de moyenne à bonne et c'est dans ces zones climatiques que l'arbre trouve sa plus grande utilité. Dans les régions sèches d'Afrique de l'Ouest, il a un potentiel commercial raisonnable. En revanche, la culture dans les hautes terres est mauvaise ou limitée. Le karité peut se développer à une altitude de 1 200 m au Cameroun, mais il existe des alternatives plus fiables dans la plupart des hautes terres d'Afrique pour la production des mêmes types de produits qu'offre cet arbre.

Les feux de brousse, la présence d'insectes et de parasites peuvent avoir des impacts considérables sur le rendement des arbres (Dwomoh, 2004). Selon Dwomoh (2004), les sécheresses peuvent entraîner la formation de rides sur la graine, voire même l'échec de la fructification du karité. Les vents forts ou les fortes pluies peuvent entraîner le détachement et la chute des fleurs.

9.5 SOURCES

- Awolaye, F. (1996). Growth of *Vitellaria paradoxa*. *Nigeria journal of botany*, 8, 64-68.
- Dwomoh, E., Akrofi, A., & Ahadzi, S. (2004), Natural enemies of the shea defoliator, *Cirina forda*. *Tropical Science*, 44(3), 124-127.
- Elias, M. and Carney, J.A. (2007) African Shea Butter: A Feminized Subsidy from Nature. *Africa: The Journal of the International African Institute* 77(1), 37-62.
- Jackson, G. (1968). The seedling morphology of *Butyrospermy paradoxa*. *Journal of the West African Science Association*, 13, 215-222.
- Lovett, P. N. & Haq, N. (2000). Evidence for anthropic selection of the Sheanut tree (*Vitellaria paradoxa*). *Agroforestry Systems* 48(3), 273-288.
- Maranz, S. & Wiesman, Z. (2003). Evidence for indigenous selection and distribution of the shea tree, *Vitellaria paradoxa*, and its potential significance to prevailing parkland savanna tree patterns in sub-Saharan Africa north of the equator. *Journal of Biogeography*, 30(10), 1505-1516.
- Ugese, F. D., Baiyeri, K. P., & Mbah, B. N. (2010). Determination of growth stages and seedling structures associated with slow emergence of shea butter trees (*Vitellaria paradoxa* CF. Gaertn) seedlings. *Journal of Animal and Plant Science*, 8(2), 993-998.

10.0 LE BOURGOU

10.1 BREF APERÇU DE LA CULTURE

Echinochloa stagnina, “le bourgou” or “borgou,” se rencontre à travers toute l'Afrique tropicale ainsi qu'en Asie tropicale, où il aurait été introduit. De temps en temps, il est naturalisé dans d'autres régions tropicales. C'est une graminée tropicale pérenne ou parfois annuelle et semi-aquatique. Elle peut atteindre une hauteur de 10 m lorsqu'elle est submergée, la plus grande partie de la plante étant sous l'eau (elle possède de gros rhizomes flottants). Le bourgou peut être utilisé pour l'alimentation – les fines chaumes sont séchées au soleil pour en extraire le sucre et, les graines sont consommées en période de disette. Cependant, le bourgou est utilisé principalement comme fourrage et, les pâturages de bourgou sur les plaines inondables, fournissent le fourrage pour le bétail pendant la saison sèche. Ibiwoye et Okaeme (1991) ont indiqué que cette plante contenait suffisamment de nutriments pour rentrer dans la catégorie d'aliment pour animaux. La plante contient 6,78 pourcent de protéine brute, 33,7 pourcent de fibre brute, 2,60 pourcent d'extrait d'éther, 51,82 pourcent d'extrait sans azote, 5,10 pourcent de cendre, et 22,94 kg/MJ d'énergie brute. Elle peut être transformée en foin. Les tiges sont utilisées comme matériau de toiture et de fabrication des nattes, les feuilles pour le calfatage des bateaux. La cendre des feuilles brûlées a été utilisée dans la fabrication de savon et comme mordant pour la teinture à l'indigo.

10.2 REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET NIVEAU GENERAL D'IMPORTANCE

Le bourgou est répandu dans les régions tropicales d'Afrique et d'Asie, où il a été probablement introduit. Il pousse le long des fleuves, dans les lacs et les lagunes pouvant atteindre 3 à 10 m de profondeur. Il peut pousser à des altitudes allant jusqu'à 2 000 m en Tanzanie. Dans le delta central du Niger, *Echinochloa stagnina* couvrait auparavant plus de 250 000 ha mais les cultures ont été remplacées par des champs de riz (Conseil national de recherches [CNR], 1996). Les plaines d'*Echinochloa stagnina* (appelées « bourgoutières ») sont des zones importantes de pâturage pour les communautés pastorales d'Afrique de l'Ouest pendant la saison sèche (Baclbasa-Dobrovici, 1971). Au Tchad, le bourgou est semé pour améliorer les pâturages. En Egypte, il est planté comme fourrage.

10.3 CYCLE DE VIE

La propagation de *Echinochloa stagnina* peut se faire par reproduction sexuée, par bouturage de la tige, ou par division de la plante. Dans des conditions normales, les graines sont dispersées dans l'eau. Dans des expériences, des graines stockées sous l'eau dans l'obscurité à une température de 20 °C, n'ont montré aucune dormance et ont affiché un pourcentage de germination de presque 100 pourcent, tandis que les graines gardées dans des conditions sèches ont eu une période de dormance, de six à sept mois. Enlever les glumes interrompt la dormance, mais entraîne une baisse rapide de viabilité. Une enquête a montré que des variations dans le développement du sac embryonnaire ainsi que les sacs embryonnaires apospories désorganisés contribuent à l'échec de la grenaison (Muniyamma, 1978). Les graines germent une semaine après l'ensemencement. Dans le cadre des programmes de régénération, les semis ou les boutures racinées sont plantés dans les champs à une densité de 10 000 à 16 000 plants/ha.

Le bourgou est une herbacée aquatique pérenne pouvant atteindre jusqu'à 2,5 m de hauteur ou plus (jusqu'à 10 m) lorsqu'elle est submergée. La tige (chaume) est décombante, souvent spongieuse,

développant des racines ou des branches au niveau des nœuds inférieurs. Les feuilles sont alternées, simples et entières avec des gaines de feuilles de 15 à 25 cm de long. L'inflorescence est composée de racèmes le long d'un axe central, avec des épillets disposés par paires. Les épillets sont étroitement ovés avec des poils épineux sur les veines. Le fruit est de type caryopse (grain). L'allongement de la tige du bourgou lui permet de supporter une augmentation du niveau d'eau de 4 cm par jour et il peut pousser dans des profondeurs d'eau allant jusqu'à 4 m. Les tiges sont foulées par des animaux et couvertes de la terre provenant des racines, au niveau des nœuds, un mode important de régénération naturelle. Le bourgou est une espèce autogame avec une photosynthèse en C₄. Dans le delta du Niger central au Mali, la récolte des grains d'*Echinochloa stagnina* se fait traditionnellement par bateau. Les inflorescences sont ensuite battues au-dessus d'un filet. Les graines se brisent facilement, ainsi, elles sont récoltées à un stade précoce. La phase végétative de l'*Echinochloa stagnina* a lieu durant l'hiver, le printemps et l'été, tandis que la floraison et la fructification ont lieu pendant l'automne (Shaltout et al., 2009).

10.4 PARAMETRES DE PRODUCTION

Les sols

En Afrique tropicale, l'*Echinochloa stagnina* pousse à des altitudes allant du niveau de la mer jusqu'à 2 300 m, dans les eaux peu profondes, les marais, et sur les sols argileux périodiquement inondés. Le bourgou pousse mieux dans les zones humides inondées, sur des sols argileux bien préparés, à teneur élevée en chaux. Souvent, il forme de grandes nattes flottantes qui s'enracinent dans la boue. Le bourgou est fréquemment l'espèce naturelle dominante des plaines inondées de la partie centrale du delta du Niger central, et des rivages du lac Tchad. Il peut constituer une quasi monoculture en peuplements massifs, parfois assez importants pour obstruer les cours d'eau.

L'eau

Grâce à sa croissance très rapide dans l'eau, l'*Echinochloa stagnina* peut survivre dans des plaines inondées qui restent engorgées ou submergées pendant des mois (et de trois à 10m de haut). A la fin de la saison des pluies et après la récolte du chaume, les graines du bourgou germent à nouveau rapidement et fournissent de nouveaux pâturages au bétail (NRC, 1996).

Les températures

L'éventail des besoins en températures est très vaste, étant donné que cette espèce est largement cultivée dans différentes régions d'Afrique.

L'adaptabilité

Le bourgou tolère les sols sodiques et non-salins que l'on rencontre souvent sur les rives des fleuves. Il est quelque peu résistant à la sécheresse. Cependant, les sécheresses qui ont sévi entre 1968 et 1985 ont détruit de nombreuses bourgoutières dans le delta intérieur du Niger. Vers la fin des années 90, des programmes de réintroduction ont permis de constituer 4 000 ha de pâturages d'*Echinochloa stagnina* dans cette région (NRC, 1996). Le bourgou joue un rôle de substrat pour les bactéries hétérotrophes qui débarrassent l'eau des polluants tels que les nitrates, l'ammonium et les phosphates des systèmes de canaux d'irrigation et de drainage (Haroon et Daboor, 2009). Il peut également être employé dans la dépollution de sols alcalins et sodiques (Helalia et al., 1992). Malheureusement, à cause du déficit hydrique, du surpâturage, de l'exploitation des touffes d'herbe (l'herbe est utilisée pour l'engraissement d'animaux domestiques qui sont ensuite vendus sur les marchés), de la culture extensive du riz, et de la

culture sur les rives de fleuve, on constate qu'un recul net des bourgoutières a entraîné une réduction considérable de l'alimentation pour le bétail. Asuquo Obot (1985) a indiqué que la culture sur pied varie en fonction de l'état phénologique de la plante, et subit un impact négatif lié à la température de l'eau du lac.

Les rizières font la concurrence aux pâturages de bourgou, ainsi, de nombreux champs de bourgou ont été convertis en parcelles de riz à cause d'une baisse des inondations due à la sécheresse et au développement de l'hydro-électricité. Le bourgou pousse dans des eaux plus profondes que le riz, et lorsque le niveau de l'eau baisse, les champs de riz tendent à envahir ceux du bourgou, affaiblissant une ressource clé et des réserves de pâturage pour les pastoralistes pendant la saison sèche (Pedersen et Benjaminsen, 2008).

10.5 SOURCES

- Asuquo Obot, E. (1985). Seasonal variation in herbage accumulation, growth rate, nitrogen and phosphorus concentration of *echinochloa stagnina* (retz.) P. beauv. in Lake Kainji, Nigeria. *Biologia Africana*, 2(2), 8-13.
- Baclbasa-Dobrovici, N. (1971). The economic importance of the burgu (*echinochloa stagnina* P.beauv.) on the middle Niger in the Niger republic. *Hidrobiologia*, 12, 41-46.
- Haroon, A. M., & Daboor, S. M. (2009). The role of different macrophytes groups in water quality, sediment chemistry and microbial flora of both irrigation and drainage canals. *World Applied Sciences Journal*, 6(9), 1221-1230.
- Helalia, A. M., El-Amir, S., Abou-Zeid, S. T., & Zaghoul, K. F. (1992). Bio-reclamation of saline-sodic soil by Amshot grass in Northern Egypt. *Soil & Tillage Research* 22(1-2), 109-115.
- Ibiwoye, T., & Okaeme, A. N. (1991). Nutritive evaluation of *echinochloa stagnina* and its potential use in sheep-fish integrated farming. *Bioscience Research Communications*, 3(1), 7-14.
- Muniyamma, M. (1978). Variations in microsporogenesis and the development of embryo sacs in *Echinochloa stagnina* (retz.) P. beauv. (gramineae). *Botanical Gazette*, (1), 87-94.
- NRC. 1996. *Lost Crops of Africa. Volume I: Grains*. National Academy Press : Washington, D.C.
- Pedersen, J., & Benjaminsen, T. A. (2008). One leg or two? Food security and pastoralism in the Northern Sahel. *Human Ecology*, 36(1), 43-57.
- Shaltout, K. H., Galal, T. M., & El-Komi, T. (2009). Evaluation of the nutrient status of some hydrophytes in the water courses of Nile delta, Egypt. *Journal of Botany* (2009), 1-12.

11.0 PARKIA BIGLOBOSA (NERE)

11.1 BREF APERÇU DE LA CULTURE

Le néré (*Parkia biglobosa*) est une légumineuse traditionnelle et économique dont les multiples usages sont d'une importance considérable. Il est destiné à l'alimentation humaine, fournit du fourrage, du bois de chauffage, du bois de construction et de l'engrais vert. Il sert également de remède et fournit de l'ombre pour les plantes fourragères et le bétail. Il protège les terres contre la chaleur et joue un rôle important dans le cycle nutritif des sols. La graine fermentée (dawadawa ou soumbala) est un condiment populaire et riche en protéines dans de nombreux pays d'Afrique de l'Ouest (Teklehaimanot, 2004). Le *Parkia biglobosa* est un grand arbre doté d'une couronne étendue, pouvant atteindre jusqu'à 20 m de haut. Les agriculteurs conservent volontairement ces arbres sur leurs terres pour leurs fruits et noix. En dépit de ses nombreux usages, les populations de néré sont en déclin et il est encore semi-cultivé voire non-cultivé (Hopkins, 1986 ; Nchoutpouen et al., 2009 ; Tee, 2009).

11.2 REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET NIVEAU GENERAL D'IMPORTANCE DANS LE PAYS

La répartition naturelle du *Parkia biglobosa* s'étend du Sénégal et de la Guinée en Afrique de l'Ouest et se poursuit vers l'est en Ouganda. Dans la partie occidentale de son étendue, il se développe dans à peu près tout le secteur, mais à l'est du Cameroun, sa répartition est plus dispersée et limitée. Les espèces poussent dans des zones climatiques diverses où les précipitations annuelles varient entre 600 et 2 500 mm.

11.3 CYCLE DE VIE

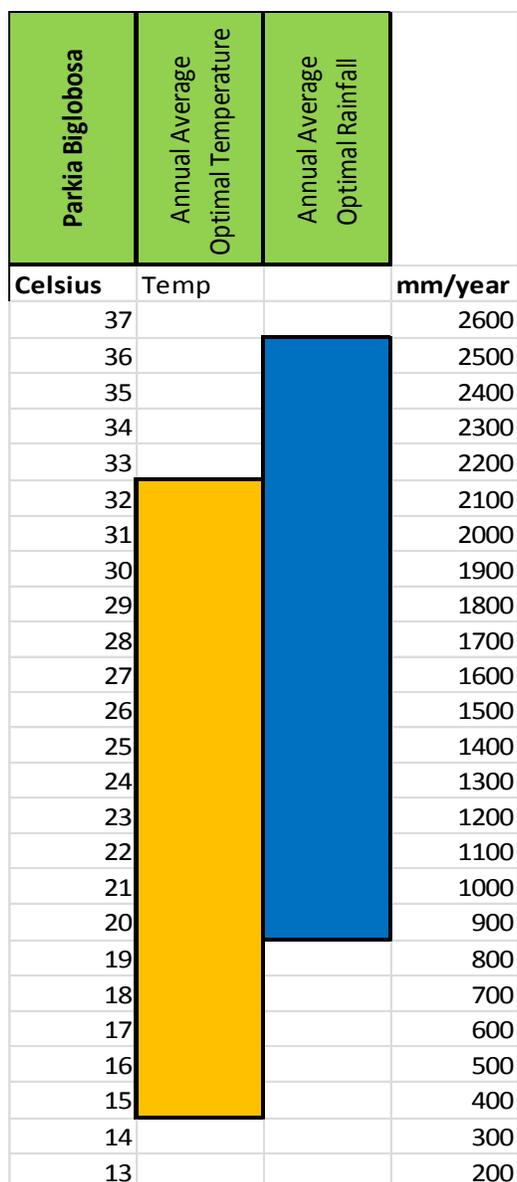
Les semis dévoilent une germination demi-hypogée. La tête se fend mais reste attachée aux cotylédons charnus et vert pâle. La première feuille est une cataphylle et les feuilles juvéniles suivantes sont bipennées. La racine pivotante se développe d'abord pendant la germination et donne naissance aux racines latérales. Les plants se développent relativement vite et peuvent atteindre 1 m de haut en un an. Les jeunes arbres d'origine supérieure peuvent atteindre 7 m de haut dans les plantations de six ans. Au cours du développement de l'arbre, le tronc est constitué d'une superposition de pousses qui se renouvellent à partir des bourgeons latéraux. Au début, les nouvelles pousses sont orthotropiques, puis elles deviennent plagiotropiques. Les arbres commencent à fleurir au bout de cinq à sept ans lorsqu'ils sont encore relativement petits. Ils n'atteignent leur hauteur maximale qu'après 30 à 50 ans et peuvent vivre jusqu'à 100 ans.

L'arbre fleurit durant la saison sèche dans la région du Sahel de décembre à avril, et légèrement plus tôt dans les régions moins sèches. La floraison coïncide avec une perte des feuilles. Un nouveau feuillage se développe après la pleine floraison. La période fleurissante dure trois à huit semaines, selon la région. Les fruits mûrs se développent d'avril à mai. Toutefois, deux périodes de floraison et de fructification par an sont possibles.. L'anthèse se produit au crépuscule pendant la production de grandes quantités de nectar et de pollen. Le capitulum peut dégager une odeur de putréfaction fruitée, comme celle de la bouse de vache. La pollinisation est effectuée par des espèces différentes de chauves-souris, mais la grenaison peut également s'effectuer en l'absence de celles-ci. D'autres pollinisateurs comme les abeilles, les mouches, les guêpes, les fourmis, les coléoptères ténébrionidés et les tettigometra peuvent également effectuer la pollinisation. Un certain type de passereaux (Souimanga) peut également visiter

les capitules, mais leur rôle dans la pollinisation est négligeable. La raison évoquée est une possible auto-incompatibilité.

Les arbres donnent des fruits au bout de cinq à 10 ans. Leur précocité varie. Les fruits commencent à mûrir juste avant les premières pluies, et le mûrissement continue pendant presque toute la saison. Chaque fleur hermaphrodite est capable de produire une simple gousse, mais cela n'arrive pas. Chaque tête florale est capable de donner naissance à 20 gousses, mais le nombre réel est souvent inférieur. Les graines sont dispersées par les animaux et les oiseaux qui mangent les fruits et/ou les graines. Les gousses sont mangées par les chimpanzés (qui parfois crachent les graines), les babouins, les perroquets, voire les calaos. Les graines de néré ont une tête épaisse et résistante leur permettant de passer dans l'intestin de l'animal, intact et en état de dormance.

FIGURE 9. BESOINS EN TEMPERATURES ET EN PRECIPITATIONS DU PARKIA BIGLOBOSA



11.4 PARAMETRES DE PRODUCTION

Les sols

Les principaux sols incluent la savane Ochrosols, répertoriés sous les catégories Alfisols, Ultisols, et Inceptisols. La plupart de ces sols sont peu profonds et recouvrent des croûtes ferrugineuses. Ils ont généralement une faible teneur en matière organique, une faible capacité d'échange de cations ainsi qu'une faible fertilité (Quansah, 1990).

La matière organique des sols favorise la capacité d'échange cationique, régule la température et permet l'activité d'organismes tels que les vers de terre (Pelig-Ba, 2009). En général, au cours de sa décomposition, la matière organique fournit des nutriments au sol. Les sols dans cette région sont déficients en nutriments, particulièrement en phosphore et azote. Les rendements baissent à cause de la faible concentration en nutriments. Par exemple, la teneur moyenne en phosphore de ces sols est de 80 à 150 ppm, comparés aux sols tempérés dont la teneur moyenne est de 1 500 à 3 000 ppm.

L'eau

Le *Parkia biglobosa* pousse dans des zones climatiques diverses à précipitations annuelles variant entre 700 mm à 2 500 mm. Cette amplitude indique que les espèces peuvent pousser dans des conditions environnementales très différentes.

Les températures

La température moyenne annuelle normale de cet arbre se situe entre 15 à 32 °C, mais il tolère des températures pouvant aller jusqu'à 40 °C.

L'adaptabilité

Le *P. biglobosa* pousse dans des zones agroécologiques diverses allant de forêts tropicales à précipitations élevées et bien réparties aux zones arides où les précipitations annuelles moyennes peuvent être inférieures à 400 mm (Hopkins, 1986). Il résiste aux conditions de sécheresse grâce à son système de racines pivotantes profondes et sa capacité à limiter la transpiration (Teklehaimanot et al., 1998). L'espèce est en voie de disparition à l'heure actuelle dans la partie nord de la zone de production. Cette situation est due en partie à une baisse des précipitations depuis les années 70 (Ouedraogo et al., 2009). Toutefois, il existe de grandes différences génétiques entre les espèces de *P. biglobosa* en Afrique de l'Ouest, qui se manifestent à travers une capacité d'adaptation améliorée. Cette différence pourrait expliquer la capacité de l'espèce à se développer dans des conditions climatiques très différentes à travers l'Afrique de l'Ouest (Ouedraogo et al., 2012). Il a été observé que le traitement des graines à la chaleur humide entraîne la germination des graines dormantes, ainsi l'on pourrait utiliser ce traitement pour reproduire des semis en vue d'une multiplication au champ (Aliero, 2004).

11.5 SOURCES

Aliero, B. L. (2004). Effects of sulphuric acid, mechanical scarification and wet heat treatments on germination of seeds of African locust bean tree, *parkia biglobosa*. *African Journal of Biotechnology*, 3(3), 179-181.

Hopkins, H. C. F. (1986). *Parkia (Leguminosae-Mimosoideae)*. New York : édité pour l'organisation Flora Neotropica par le jardin botanique de New York.

- Nchoutpouen, C., Mapongmetsem, P. M., Zapfack, L., & Mpeck, M. (2009). Effects of land use on the population structure of *Parkia Biglobosa* (JACQ.) Benth (mimosaceae) in the periphery of Ngaoundere, Cameroon. *Forests, Trees and Livelihoods*, 19(1), 69-79.
- Ouedraogo, M., Raebild, A., Nikiema, A., & Kjaer, E. D. (2012). Evidence for important genetic differentiation between provenances of *Parkia biglobosa* from the Sudano-Sahelian zone of West Africa. *Agroforestry Systems*, 85(3).
- Ouedraogo M, Raebild A, & Dahl Kjær E. (2009) Climate Change: Global Risks, Challenges and Decisions. IOP Conf. Série s: Terre et science environnementale 6.
- Pelig-Ba, K. B. (2009). Effect of Ash, KOH and millet on the fermentation of *Parkia biglobosa* seeds to form a condiment. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(10), 1548-1554.
- Tee, T. N., J. A. Ogwuche, & Ikyaagba, E. T. (2009). The role of locust bean and ironwood trees in human nutrition and income in Nigeria. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(10), 1172-1177.
- Teklehaimanot, Z., Lanek, J., & Tomlinson, H. F. (1998). Provenance variation in morphology and leaflet anatomy of *Parkia biglobosa* and its relation to drought tolerance. *Trees: Structure and Function*, 13(2), 96-102.
- Teklehaimanot, Z. (2004). Exploiting the potential of indigenous agroforestry trees: *Parkia biglobosa* and *Vitellaria paradoxa* in sub-Saharan Africa. *Agroforestry Systems*, 61, 207-220.

12.0 LE NIÉBÉ

12.1 BREF APERÇU DE LA CULTURE

Le niébé (*Vigna unguiculata* L.) fait partie de la tribu des phaséolées de la famille des légumineuses. La tribu des phaséolées inclut plusieurs céréales et graines oléagineuses des saisons chaudes d'importance économique comme le soja, le haricot et le haricot mungo. Le niébé est une culture annuelle cultivée pour ses feuilles et ses graines. Le . A port grimpant, étalé ou érigé, le niébé est originaire d'Afrique, où il a été domestiqué il y a plus de 4 000 ans. La culture présente des variations quant au port de croissance, à la forme des feuilles, la couleur des fleurs, ainsi qu'à la taille des graines. Cultivé dans les zones tropicales semi-arides, le niébé est utilisé dans l'alimentation humaine et celle du bétail. Les grains contiennent jusqu'à 25 pourcent de protéines et plusieurs vitamines et minéraux. La culture s'adapte aux environnements difficiles, y compris des températures extrêmes et des conditions hydriques limitées. Le niébé résiste à la sécheresse et pousse bien dans des sols très variés, et comme c'est une légumineuse, il compense la faible fertilité des sols. Il est principalement cultivé par des agriculteurs à petite échelle dans des régions en développement souvent en association avec d'autres cultures car il aime l'ombre. Plus de 5,4 millions de tonnes de niébé secs sont produits dans le monde entier, dont près de 5,2 millions de tonnes en Afrique. Le Nigéria, le plus grand producteur et consommateur, représente 61 pourcent de la production en Afrique et 58 pourcent de la production mondiale (Ng et Monti, 1990 ; Singh et Rachie, 1985).

12.2 REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET NIVEAU GENERAL D'IMPORTANCE DANS LE PAYS

Le niébé a vu le jour dans les anciens systèmes agricoles d'Afrique de l'Ouest, il y a 5 000 à 6 000 ans. Il était étroitement associé à la domestication et à la culture du millet perlé et du sorgho. Aujourd'hui, il est produit commercialement dans 33 pays d'Asie, d'Afrique, et d'Amérique centrale et du Sud, aussi bien que dans certaines régions de l'Europe du Sud et aux Etats-Unis. Les agriculteurs d'Afrique subsaharienne qui pratiquent l'agriculture de subsistance intercalent généralement le niébé avec du maïs, du sorgho, du millet, et/ou du manioc. Le niébé peut être semé avant ou après une culture de riz afin d'augmenter la production alimentaire d'une surface cultivée. Dans ces systèmes, le niébé contribue à enrichir les sols en azote, à rompre le cycle des parasites et des maladies qui se produisent lors de cultures continues, ainsi qu'à assurer une source supplémentaire de revenu agricole.

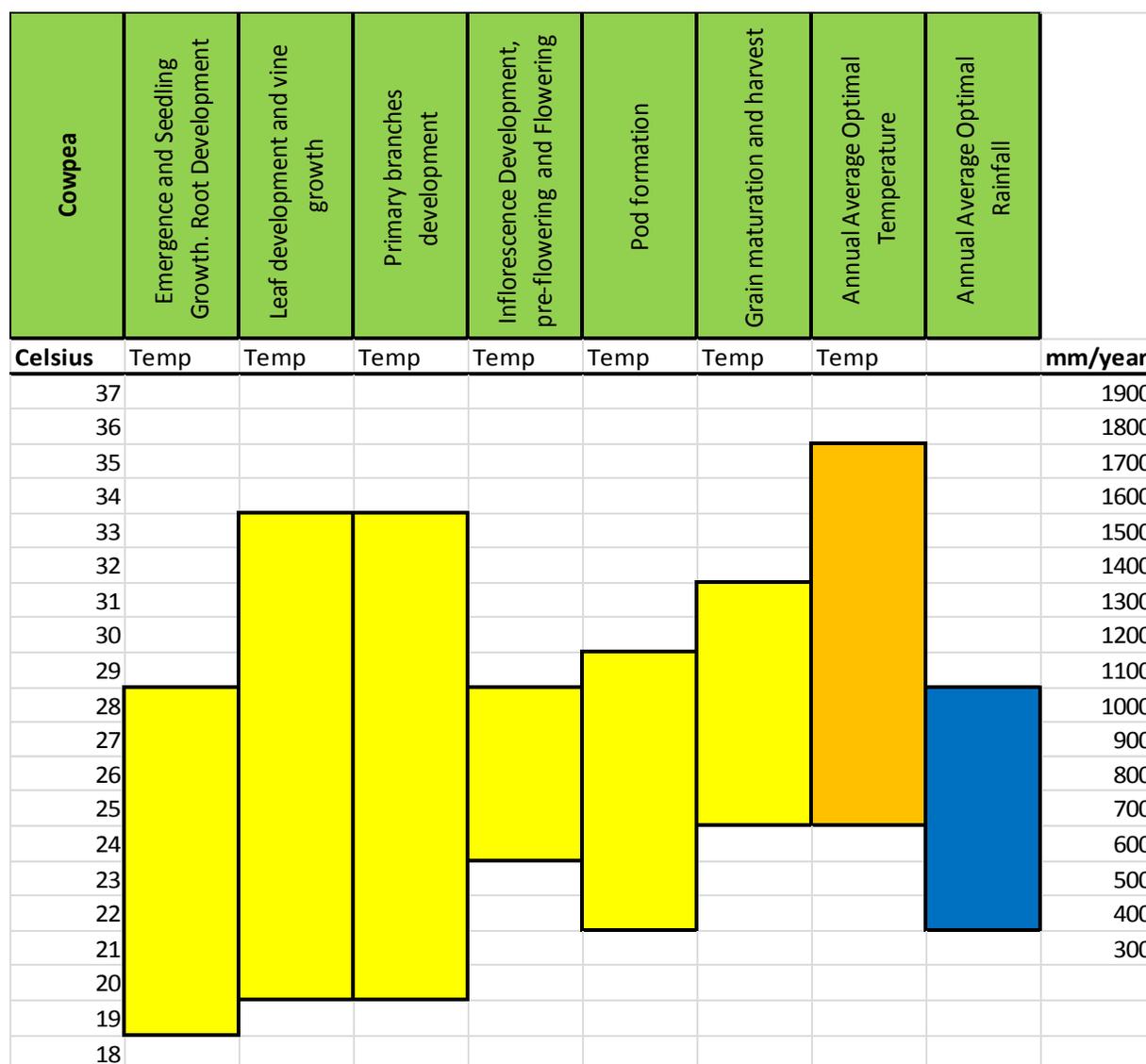
12.3 CYCLE DE VIE

Le niébé est une herbacée annuelle de saison chaude qui ressemble au haricot à la différence que ses feuilles sont généralement plus vertes, brillantes, et moins pubescentes. En outre, le niébé a en général un aspect plus robuste que le haricot et dispose d'un système racinaire plus développé ainsi que des tiges et des branches plus épaisses. La levée des semis est de type épigé (semblable à celles du haricot et du lupinus), où les cotylédons sortent de la terre lors de la germination. Cette forme de levée rend les pousses du niébé plus susceptibles aux dégâts, puisque la plante ne régénère pas de bourgeons au-dessous du nœud cotylédonnaire. Les feuilles sont lisses et rarement pubescentes. Les tailles et formes des feuilles sont très variées. Les fleurs se forment à partir de multiples racèmes. Il est courant de voir deux ou trois gousses par pédoncule, et souvent un seul pédoncule porte quatre gousses. La présence de ces longs pédoncules est un trait caractéristique du niébé qui facilite également la récolte. Le niébé est essentiellement autogame. Les gousses du niébé sont de six à 10 pouces de long, cylindriques et

recourbées. La floraison peut être modifiée par des conditions plus chaudes et humides entraînant une maturation asynchrone. Les cultures semées tôt ont tendance à avoir des entre-nœuds allongés, à être moins droits et à avoir un tallage plus important et un rendement plus faible que ceux semés au moment opportun.

Le niébé est l'une des cultures à maturation les plus rapides. Au Mali, les sélectionneurs distinguent les variétés extrêmement précoces, mûrissant entre 50 à 55 jours, les variétés précoces, mûrissant au bout de 60 à 65 jours ; les variétés intermédiaires, mûrissant au bout de 70 à 80 jours ; et les variétés tardives, mûrissant au bout de 90 à 120 jours, de la plantation à la récolte. Certaines variétés sont sensibles à la photopériode. Les différentes catégories de mûrissement sont destinées à des zones agroécologiques distinctes, les variétés les plus précoces étant réservées aux zones recevant le moins de précipitations (par exemple, les variétés extrêmement précoces et précoces dans la zone isohyète de 400 à 600 mm, les intermédiaires dans la zone de 700 à 800 mm et les tardives dans la zone de 900 à 1 000 mm).

FIGURE 10. BESOINS EN TEMPERATURES ET EN PRECIPITATIONS DU NIÉBÉ A DIFFERENTS STADES DU DEVELOPPEMENT



12.4 PARAMETRES DE PRODUCTION

Les sols

Le niébé s'adapte bien à diverses variétés et conditions de sol, mais il pousse mieux sur les loams sableux bien drainés ou les sols arénacés où le pH se situe entre 4,5 et 7. Une teneur en phosphore adéquate est essentielle à la croissance du niébé. Dans des sols très pauvres, une dose initiale d'azote peut servir « d'engrais de démarrage. ». Les sols arénacés freinent la croissance des racines. Sur des sols fertiles lourds, le niébé présente une croissance végétative vigoureuse, mais pas nécessairement de bons rendements en grains. Il s'adapte bien aux sols plus légers et à la sécheresse grâce à une croissance réduite des feuilles, donc à une baisse de la perte en eau par les stomates, et un mouvement végétatif plus faible, lesquels entraînent une diminution de la charge thermique et de la lumière dans des conditions de stress. Le niébé est beaucoup moins résistant aux sols froids que le haricot commun.

L'eau

Le niébé supporte des conditions de précipitations plus faibles davantage que n'importe quelle autre culture importante développée au Sahel. Il pousse bien dans des zones à précipitations annuelles de 400 à 700 mm mais peut également être productif avec une pluviométrie de 300 mm ou moins, bien qu'il préfère en général des pluies bien réparties pour assurer une croissance et un développement normaux. Le niébé tolère des périodes sèches de sept jusqu'à 10 à 15 jours sans subir de dégâts lors de la levée et du remplissage des grains, respectivement, mais il reste sensible aux périodes sèches de trois à cinq jours pendant la floraison. Le niébé résiste jusqu'à cinq jours d'engorgement pendant la croissance végétative.

Les températures

Au Mali, il a été observé que la température optimale pour une croissance et un développement adéquats du niébé se situe entre 30 et 35 °C pendant la journée et 25 et 30 °C la nuit. La littérature sur le niébé indique que la meilleure croissance végétative se produit lorsque les températures se situent entre 20 et 33 °C, alors que des températures plus élevées sont susceptibles d'entraîner une floraison précoce et une abscission des fleurs, ayant pour conséquence une mauvaise formation des gousses. La germination se produit plus rapidement à des températures supérieures à 19 °C, alors que des températures plus fraîches entraînent son ralentissement. Des conditions chaudes et humides peuvent prolonger la période de floraison, menant à une maturation asynchrone, voire même à la naissance de variétés à floraison précoce.

L'adaptabilité

Le niébé est une culture de saison chaude, bien adaptée à de nombreuses régions des zones tropicales humides et tempérées. Il tolère la chaleur et des conditions sèches, mais ne résiste pas au gel. Le niébé est plus résistant à la sécheresse que le haricot commun. Sa résistance à la sécheresse explique son importance culturale en Afrique sub-saharienne. Il pousse bien avec des précipitations aussi faibles que 300 mm. Son système de racines profondes lui permet de stabiliser l'équilibre hydrique, et les canopées qui couvrent le sol empêchent la déperdition d'humidité. Ces caractéristiques sont particulièrement importantes dans les régions les plus sèches. En termes de stress hygrométrique, la période la plus critique est juste avant et pendant la floraison.

Dans la région sahélienne, le niébé peut subir un stress à la fois thermique et hygrométrique, ce qui incite les agriculteurs à utiliser des variétés adaptées à ces conditions (Hall et al., 2002 ; Hall, 2004). Près de 1 000 kg/ha de grains secs ont été produits dans un environnement sahélien avec seulement 181 mm de précipitations et une évaporation élevée (Hall et Patel, 1985), mais en général, les variations de températures et de précipitations peuvent créer une éventuelle diminution modérée de la productivité, en particulier pendant les phases de levée et de croissance des semis, de développement des feuilles et des gousses. Une sélection sur le terrain pour la résistance à la chaleur est difficile au Sahel mais une sélection pour la résistance du niébé à la chaleur durant l'étape reproductive effectuée en abri de culture pendant la saison sèche a permis de déterminer que les températures minimales de l'air varient entre 24 à 27 °C, et que les températures maximales quotidiennes de l'air varient entre 38 à 42 °C. Des pratiques de production inadéquates comme le choix des cultivars, l'adaptabilité, tout comme le manque d'informations sur la date idéale d'ensemencement, ont contribué à une baisse de la productivité du niébé. Le niébé peut être récolté en trois étapes : lorsque les gousses sont jeunes et vertes, mûres et vertes, et sèches.

Le niébé est une plante de jours courts, et beaucoup de plantules présentent une sensibilité à la photopériode par rapport à l'initiation florale des bulbes et le développement floral (Ehlers et Hall, 1996 ; Craufurd et al., 1997). Dans certaines variétés le degré de sensibilité à la photopériode peut être modifié par la température (Wein et Summerfield, 1980 ; Ehlers et Hall, 1996). En Afrique de l'Ouest, une sélection pour différents degrés de photosensibilité s'est faite dans différentes zones climatiques, de telle manière que le mûrissement des gousses coïncide avec la fin de la saison des pluies dans un lieu donné, indépendamment de la date d'ensemencement (Steele et Mehra, 1980). Cet attribut permet aux gousses d'échapper aux dégâts liés à l'excès d'humidité et aux agents pathogènes. Le niébé est particulièrement susceptible à divers insectes et maladies et ne supporte pas bien les zones mal drainées et fraîches.

12.5 SOURCES

- Craufurd, P. Q., Summerfield, R. J., Ellis, R. H., & Roberts, E. H. (1997). Photoperiod, temperature and the growth and development of cowpea (*Vigna unguiculata*). In: Singh BB, Mohan Raj DR, Dashiell KE, Jackai LEN (Eds.) *Advances in Cowpea Research*. Institut international de l'agriculture tropicale (IITA) et Centre international de recherche du Japon pour les sciences agronomiques (JIRCAS). R-U, pp 75–86.
- Ehlers, J. D., & Hall, A. E. (1997). Cowpea. (*Vigna unguiculata* L.Walp). *Field Crops Research*, 53, 187–204.
- Ehlers, J. D., & Hall, A. E. (1996). Genotypic classification of cowpea based on responses to heat and photoperiod. *Crop Science*, 36(3), 673–679.
- Hall, A. E. (2004). Breeding for adaptation to drought and heat in cowpea. *European Journal of Agronomy*, 21(4), 447–454.
- Hall, A. E., Ismail, A. M., Ehlers, J. D., Marfo, K. O., Cisse, N., Thiaw, S., & Close, T. J. (2002). Breeding cowpeas for tolerance to temperature extremes and adaptation to drought. In: Fatokun, C. A., Tarawali, S. A., Singh, B. B., Kormawa, P. M., & Tamo, M. (Eds.). *Challenges and Opportunities for Enhancing Sustainable Cowpea Production*. Institut international d'agriculture tropicale, Ibadan, Nigéria, pp 14–21.
- Hall, A. E. & Patel, P. N. (1985). Breeding for resistance to drought and heat. In: Singh SR & Rachie KO (Eds.). *Cowpea Research, Production and Utilization*. Wiley, New York, pp 137–151.

- Ng, N. Q. & Monti, L. M. (1990). *Cowpea genetic resources: contributions in cowpea exploration, evaluation and research from Italy and the International Institute of Tropical Agriculture*. Ibadan, Nigéria: Institut international d'agriculture tropicale.
- Singh, S. R. & Rachie, K. O. (1985). *Cowpea research, production and utilization*. Chichester: Wiley.
- Steele, W. M. & Mehra, K. L. (1980). Structure, evolution and adaptation to farming systems and environments in *Vigna*. In: Summerfield, R. J. & Bunting A, H. (Eds.). *Advances in Legume Science*. Jardins botaniques royaux, Kew, R-U, pp 393-404.
- Timko, M. P., Ehlers, J. D., & Roberts, P. A. (2007). Cowpea. In: *Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants, Volume 3: Pulses, Sugar and Tuber Crops*. Kole, C. (Ed.) Springer, Verlag Berlin Heidelberg.
- Wein, H, C., & Summerfield, R. J. (1980). Adaptation of cowpeas in West Africa: Effects of photoperiod and temperature responses in cultivars of diverse origin. In: Summerfield, R. J., Bunting, A. H. (Eds.). *Advances in Legume Science*. Jardins botaniques royaux, Kew, R-U, pp 405-417.

13.0 L'ARACHIDE

13.1 BREF APERÇU DE LA CULTURE

L'arachide (*Arachis hypogaea* L.) est connue sous d'autres noms, y compris, la cacahouète, le pois de terre, la pistache de terre et la noix du pauvre. Bien que l'arachide soit originaire de l'Amérique du Sud, elle pousse très bien dans d'autres régions du monde, et est devenue une culture de graine oléagineuse et vivrière importante des régions tropicales, sub-tropicales et chaudes et tempérées. L'arachide est essentiellement cultivée en Inde et en Chine. Des millions de petits exploitants agricoles en Afrique subsaharienne cultivent également l'arachide pour l'alimentation et comme culture de rente. La majeure partie de la production mondiale d'arachide est écrasée pour l'huile qui est utilisée principalement en cuisine. Le tourteau résiduel de l'extraction d'huile est riche en protéines et sert à l'alimentation du bétail. L'arachide sert également à fabriquer de la farine d'arachide utilisée dans l'alimentation humaine. Les graines se mangent crues, bouillies, ou grillées, sont transformées pour la confiserie et les collations ou encore utilisées dans les potages ou pour faire des sauces avec des plats de viande et de riz. Les résidus de récolte constituent un excellent fourrage.

13.2 REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET NIVEAU GENERAL D'IMPORTANCE DANS LE PAYS

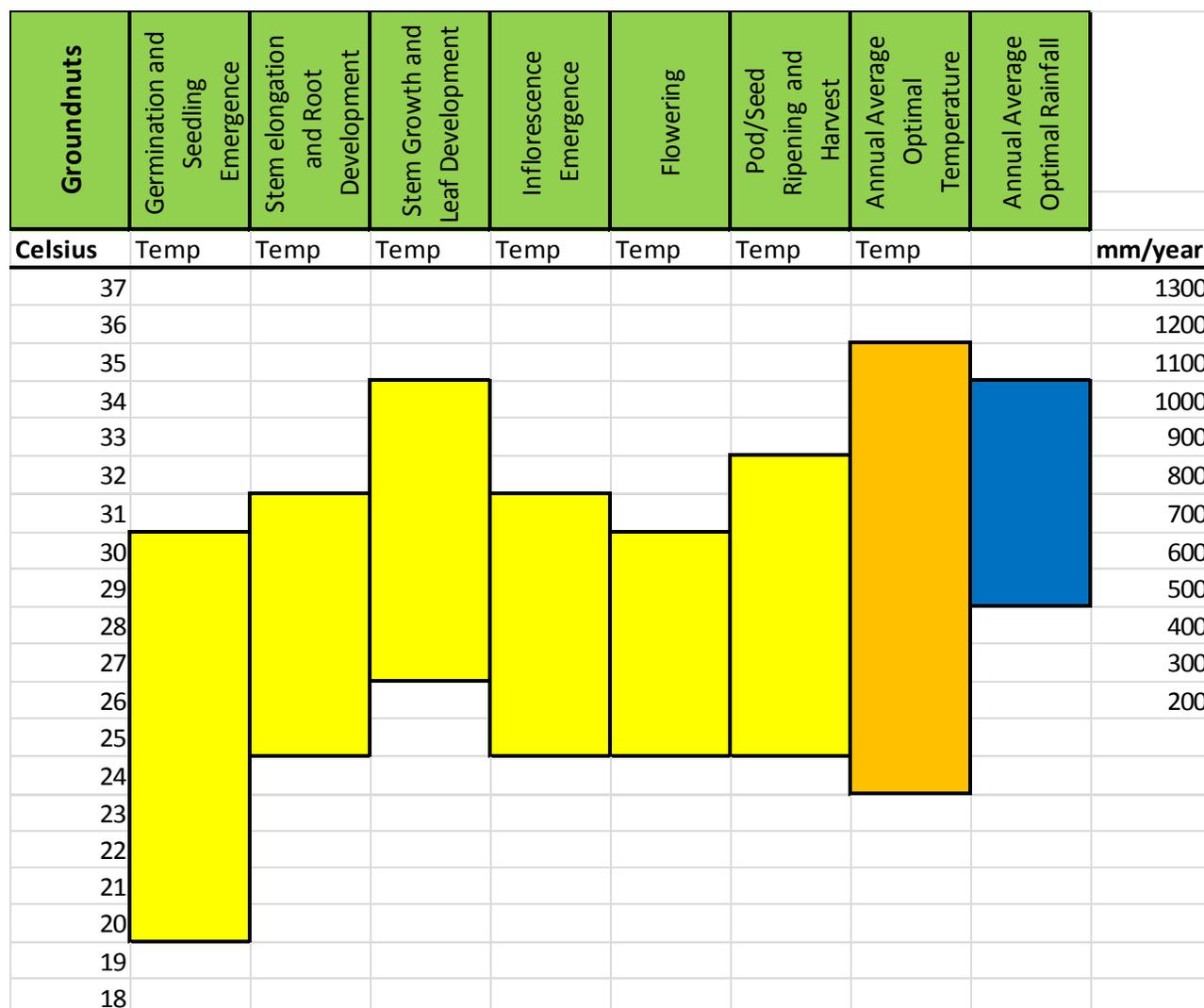
L'Asie et l'Afrique représentent 97 pourcent des zones de production de l'arachide. L'arachide est également cultivée dans une certaine mesure en Amérique du Nord et du Sud, en Europe et en Océanie. Les rendements moyens de l'arachide en Asie (1 600 kg/ha) et en Afrique (856 kg/ha) sont faibles, car elle est la plupart du temps cultivée en régime pluvial. En Afrique subsaharienne, l'arachide est une culture de base, cultivée principalement par de petits exploitants, à la fois comme culture de subsistance et de rente. C'est une source importante de protéines et autres nutriments. En Afrique, les rendements de l'arachide sont traditionnellement faibles. Cela est dû aux pluies incertaines, aux sols pauvres, à la présence de parasites et de maladies, à une mauvaise variété, ainsi qu'à une culture accrue sur des terres marginales.

13.3 CYCLE DE VIE

L'arachide est une petite légumineuse herbacée dressée ou rampante, d'environ 15 à 60 cm de haut. Le fruit est une gousse pouvant contenir une à cinq graines, qui se développe sous terre au sein d'une structure aciculaire appelée gynophore. Les graines sont riches en huile (38-50 pourcent), protéines, calcium, potassium, phosphore, magnésium, et vitamines. L'arachide présente cinq étapes phénologiques importantes : la levée et l'implantation, la croissance végétative, la floraison, la formation du rendement (qui inclut la formation et le remplissage des gousses), et le mûrissement. La levée de l'arachide s'effectue entre l'élongation de l'hypocotyle et l'apparition des cotylédons. L'élongation de l'hypocotyle doit s'arrêter pour permettre l'émergence des cotylédons. Les feuilles sont alternées et pennées. La plante d'arachide peut être érigée ou prostrée et elle dispose d'un système de racines pivotantes bien développé ainsi que de nombreuses racines et nodules latéraux. Les plantes développent trois tiges principales. Les fleurs sont jaunes, dotées de parties mâles et femelles placées sur des inflorescences ressemblant à des pointes. Chaque nœud peut comporter une ou plusieurs fleurs qui sont en général plus nombreuses sur les nœuds inférieurs. Les gynophores continuent à se développer pendant huit à 14 semaines après la pollinisation puis prennent une position horizontale en vue de la maturation en gousses. Les gousses atteignent leur taille maximale au bout de deux à trois semaines en terre, et leur

teneur optimale en huile entre six et huit semaines. La floraison continue pendant une partie de la formation du rendement, mais les gousses des fleurs formées tardivement n'arrivent pas à maturation. Au Mali, les sélectionneurs identifient trois catégories différentes : les variétés précoces mûrissant en moins de 90 jours (de l'ensemencement à la récolte), les variétés intermédiaires mûrissant entre 90 à 110 jours, et les variétés tardives mûrissant au bout de plus de 110 jours. La plupart sont des variétés espagnoles.

FIGURE 11. BESOINS EN TEMPERATURES ET EN PRECIPITATIONS DE L'ARACHIDE A DIFFERENTS STADES DU DEVELOPPEMENT



13.4 PARAMETRES DE PRODUCTION

Les sols

L'arachide se développe mieux dans des sols sableux bien drainés ou des loams arénacés. La culture est adaptée aux sols bien assainis, meubles, friables et à texture moyenne. Les textures lourdes rendent l'arrachage pendant la récolte difficile. La couche superficielle du sol doit également être meuble pour permettre aux gynophores (sur lesquels les fruits se forment) de pénétrer facilement dans la terre.

L'arachide étant une légumineuse, elle est capable de fixer l'azote de l'air (sauf dans les sols acides qui empêchent le développement des bactéries fixatrices d'azote). Toutefois, une application d'azote avant la plantation est souvent recommandée afin d'assurer une bonne implantation de la culture. Les besoins en phosphore sont de 15 à 40 kg/ha. L'absence de phosphore peut être un facteur limitant. Les besoins en potassium sont de 25 à 40 kg/ha. L'excès de potassium peut entraîner une baisse de rendement. Pour une formation des graines et un remplissage des gousses adéquats, 300 à 600 kg/ha de calcium sont nécessaires au début de la formation de celles-ci, au niveau de la couche superficielle des sols où les fruits se forment. Le calcaire est utilisé pour corriger l'acidité du sol et le gypse uniquement lorsque le niveau de Ca doit être augmenté. La culture n'est pas résistante aux sols salins ni à un pH faible. Elle préfère des sols à pH entre 6 à 7,5. A un pH inférieur à 6, un chaulage peut s'avérer nécessaire afin d'éviter toute toxicité à l'aluminium et au manganèse.

L'eau

Des précipitations suffisantes et bien réparties pendant la saison de croissance, en particulier, lors de la floraison, des phases de formation des gynophores et des gousses, sont essentielles pour un rendement et une qualité optima de l'arachide. Des précipitations de 500 à 1 000 mm pendant la période de croissance sont nécessaires pour assurer un bon rendement.. De façon générale, la répartition est plus importante que la quantité totale de précipitations pour assurer un bon rendement. L'arachide est considérée comme une culture modérément résistante à la sécheresse, capable de résister à des périodes sèches de 10 à 12 jours pendant la saison de croissance sans incidence négative sur le rendement. Comme toute autre culture, les plantes sont particulièrement vulnérables pendant les phases de germination et de floraison. Les étapes où un certain niveau de précipitations est nécessaire, sont : avant l'ensemencement - 100 mm ; à l'ensemencement - 150 mm ; et pendant la floraison et le développement des gousses - 400-500 mm. Des conditions plus sèches, 60 à 90 jours après la croissance sont favorables à l'arachide.

Au Mali, les variétés des saisons courtes sont ciblées dans les secteurs recevant 400 à 600 mm de précipitations et entre 800 à 1 200 mm pour les variétés à maturation tardive. Pour toutes les variétés, l'ensemencement est recommandé après un cumul de 25 mm de précipitations en début de saison, en fonction des variétés et des sites de plantation (par ex., du 15 au 30 juin pour les variétés précoces et du 30 juin au 15 juillet pour les variétés à maturation tardive). L'arachide ne tolère pas l'humidité excessive. La plante meurt après deux à quatre jours d'inondation.

Les températures

Les températures représentent un facteur important qui influent sur le taux de développement de la culture. La température moyenne optimale journalière pour assurer la croissance est de 30 °C, des températures comprises entre 28 et 35 °C étant considérées optimales en vue d'une croissance végétative au Mali, et 24 et 33 °C pour assurer la floraison et la fructification. La croissance s'arrête en dessous de 15 °C et au-dessus de 45 °C. La température optimale pour une germination et un développement plus rapides des semis est d'environ 30 °C, les températures idéales de germination au Mali étant comprises entre 32 et 34 °C. Un minimum de 100 jours de températures optimales pendant la saison de croissance est nécessaire pour assurer une production d'arachide réussie.

L'adaptabilité

Les conditions climatiques telles que les températures et les précipitations ont une influence significative sur la production d'arachide. Des conditions chaudes et humides sont plus favorables qu'un climat frais et humide, qui entraîne une germination et une émergence ralenties des semis, augmentant ainsi le

risque de pourrissement des semences et de maladies des semis. Des températures élevées et des périodes sans gel d'environ 160 jours sont nécessaires pour assurer un meilleur rendement (Cox, 1979 ; Clifford et al., 1995). L'arachide n'atteint pas une maturité optimale dans les régions avec moins d'unités thermiques pendant la saison de croissance. Il a été constaté que l'arachide est particulièrement sensible aux températures basses et, la plantation des graines est recommandée seulement lorsque la température minimale se stabilise au-dessus de 18 °C. Un taux de germination de 95 pourcent est possible lorsque les températures du sol sont entre 18 et 30 °C. Les températures adéquates pour une bonne croissance végétative se situent entre 20 et 30 °C. Cependant, à 33 °C le taux de croissance peut baisser jusqu'à 84 pourcent. Une température favorable à la floraison et la formation des gousses se situe vers 28 °C. Des altitudes plus élevées, avec des climats plus frais ou froids, ou encore, une plantation hors-saison sous irrigation ne sont pas adaptés à l'arachide. La plante est cultivée sur des latitudes comprises entre 40 °N et 40 °S. La croissance dure 90 à 115 jours pour les variétés séquentielles et ramifiées, et 120 à 140 jours pour les variétés à ramifications alternées.

L'eau est un facteur critique de développement de l'arachide. La plantation est recommandée dans des sols chauds et humides pour assurer un processus de germination adéquat. Des recherches ont montré que des sols plus secs donnaient lieu à une mauvaise germination (Kumar et al., 2012). L'arachide nécessite des précipitations annuelles minimales de 400 à 700 mm dans les climats plus secs (Dreyer et al., 1981). Keating et al. (2003) ont affirmé qu'une augmentation de température (et non une baisse des précipitations) aura l'impact le plus sévère sur les rendements de la culture d'arachide.

Les phases végétatives et reproductives montrent une réceptivité importante à la disponibilité hydrique. Cependant, un excès d'eau dans le sol est nocif car le manque d'oxygène dans le sol limite l'activité des bactéries fixatrices d'azote. Cette limitation entraîne une mauvaise croissance et un jaunissement des feuilles. Lorsqu'il y a un excès d'eau dans les sols lourds au moment de la récolte, les gousses peuvent se détacher facilement des gynophores en restant dans le sol. La floraison est la phase la plus sensible au déficit hydrique, suivie de la période de formation du rendement. En général, les déficits hydriques pendant la période végétative entraînent une floraison et une récolte tardives ainsi qu'une croissance et un rendement réduits. Les déficits hydriques pendant la floraison entraînent la chute des fleurs ou une mauvaise pollinisation et, un déficit hydrique pendant la période de formation du rendement entraîne une diminution du poids des gousses. Le début de la période de formation du rendement (formation des gousses) est particulièrement sensible aux déficits hydriques.

13.5 SOURCES

- Cox, F. R. (1979). Effect of temperature treatment on peanut vegetative and fruit growth. *Peanut Science*, 6(1), 114–117.
- Black, C. R., Roberts, J. A., Stronach, I. M., Singleton-Jones, P. R., Mohamed, A. D., & Azam-Ali, S. N. (1995). The effect of elevated atmospheric CO₂ and drought on stomatal frequency in groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Journal of Experimental Botany*, 46(7), 847–852.
- Dreyer, J., Duncan, W. G., & McCloud, D. E. (1981). Fruit Temperature, Growth Rates, and Yield of Peanuts. *Crop Science*, 21(5), 686–688.
- Keating, B. A., Carberry, P. S., Hammer, G. L., Probert, M. E., Robertson, M. J., Holzworth, D., ... & Smith, C. J. (2003). An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European Journal of Agronomy*, 18(3-4), 267–288.
- Kumar, U., Singh, P., & Poote, K. J. (2012). Effect of Climate Change Factors on Processes of Crop Growth and Development and Yield of Groundnut (*Arachis hypogaea* L.). In: *Advances in Agronomy*. Elsevier, pp. 41–69.

14.0 LE SESAME

14.1 BREF APERÇU DE LA CULTURE

Le sésame (*Sesamum indicum* L.) est l'une des plantes cultivées les plus anciennes du monde. C'est l'une des cultures de graines oléagineuses la plus ancienne connue de l'humanité et qui fut très prisée dans la production d'huile à Babylone et en Assyrie, il y a au moins 4 000 ans. Lorsque les capsules de sésame sont mûres, elles se dédoublent, libérant la graine (d'où l'expression, «ouvre-toi sésame»). En raison de cette caractéristique d'éclatement, le sésame a été cultivé principalement sur de petites parcelles de terre et récolté à la main. La découverte de Langham d'un mutant indéhiscent (qui ne s'éclate pas) en 1943 a initié le développement d'une variété à rendement élevé et résistante aux éclatements. Bien que les chercheurs aient accompli des progrès remarquables dans l'amélioration du sésame, les pertes de récolte dues aux éclatements continuent à limiter les productions nationales. De par sa productivité relativement faible, le sésame est seulement neuvième parmi les 13 cultures principales de graines oléagineuses qui représentent 90 pourcent de la production mondiale d'huile de table (Kinman, 1952 ; Singh, 1969 ; Weiss, 1971).

14.2 REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET NIVEAU GENERAL D'IMPORTANCE DANS LE PAYS

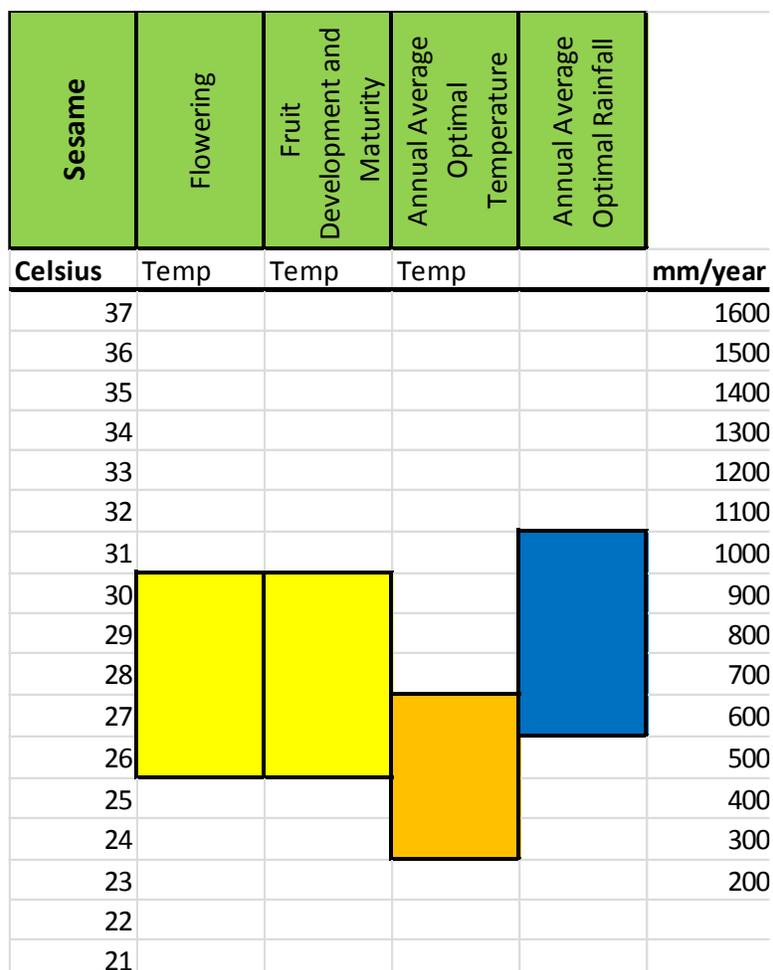
Aujourd'hui, l'Inde et la Chine sont les plus grands producteurs mondiaux de sésame, suivis de la Birmanie, du Soudan, du Mexique, du Nigéria, du Venezuela, de la Turquie, de l'Ouganda, et de l'Ethiopie. Le sésame a été introduit aux Etats-Unis dans les années 30. Les discussions se poursuivent au sujet de l'origine exacte du sésame. Il a été souvent affirmé que le sésame a vu le jour en Afrique et s'est vite répandu en Asie de l'Ouest, en Chine et au Japon, qui eux-mêmes sont devenus des centres secondaires de diversité. Toutes les espèces sauvages de *sésamum* sont rencontrées en Afrique (Purseglove, 1977). Cette variabilité et l'importance économique du sésame dans plusieurs pays africains confirme davantage que le continent africain est le véritable point de départ du sésame (Pham et al., 2010 ; Weiss, 1971).

14.3 CYCLE DE VIE

Le sésame est une plante annuelle qui se développe en touffe ou en mode érigé en fonction de la variété. La plante peut atteindre entre 60 et 120 cm de haut et porte beaucoup de fleurs digitales de couleur blanc-rosé. Pendant la différenciation florale des bulbes, les sépales apparaissent d'abord, suivis des pétales et des étamines. Ensuite, les carpelles apparaissent, formant un ovaire supérieur bi-carpellé et biloculaire doté de plusieurs ovules anatropés. Les fleurs naissent au niveau des aisselles des feuilles de la tige et des branches supérieures. Le nombre de nœuds présents sur la pousse principale sur laquelle la première fleur naît est une caractéristique hautement génétique du cultivar (Furat et Uzun, 2010). La gousse ou le fruit forment une capsule déhiscente, située près de la tige, à l'intérieur de laquelle apparaissent des graines blanches, brunes ou noires, selon le type de cultivar, disposées en rangées. Chaque gousse (2 à 5 cm de long) est une longue capsule rectangulaire ressemblant à une boîte avec de profondes cannelures sur ses côtés, pouvant contenir jusqu'à 100 graines ou plus. Lorsqu'elle est mûre, la capsule éclate pour libérer un certain nombre de petites graines. Les graines sont protégées par une coque ou peau fibreuse, blanchâtre, brune ou noire selon la variété, avec près de 1 000 graines pesant aux alentours de 4 à 8 g. Les variétés de sésame présentent des grandes différences au niveau des ramifications. Certains cultivars ont de nombreuses branches, d'autres seulement quelques-unes, et

d'autres encore n'en ont aucune. L'emplacement des branches varie. Elles peuvent se développer à la base ou vers le haut de la plante. L'environnement et la structure génétique ont une influence sur le niveau de ramification.

FIGURE 12. BESOINS EN TEMPERATURES ET EN PRECIPITATIONS DU SESAME A DIFFERENTS STADES DU DEVELOPPEMENT



14.4 PARAMETRES DE PRODUCTION

Les sols

Le sésame peut être planté dans des sols très variés, mais il pousse mieux dans des sols bien drainés, meubles, fertiles, alluviaux et sableux avec un pH compris entre 5,4 et 6,75. Des valeurs de pH très basses ont un effet néfaste sur la croissance, alors que certaines variétés peuvent tolérer un pH allant jusqu'à 8,0. Un bon drainage est essentiel, car le sésame est très vulnérable aux courtes périodes d'engorgement. Il ne tolère pas les sols excessivement acides ou salins (Chakraborti et Ghosh, 2010 ; Hack, 1980 ; Ramirez et al., 2005 ; Yol et al., 2010).

L'eau

La quantité d'eau totale nécessaire pour développer une culture de sésame est comprise entre 600 et 1 000 mm, selon le cultivar et les conditions climatiques (Muhamman et al., 2010 ; Yol et al., 2010). Des bonnes récoltes peuvent être obtenues lorsque des précipitations de 300 à 600 mm sont idéalement réparties tout au long de la période végétative.

Les températures

Les variétés commerciales du sésame nécessitent entre 90 à 120 jours sans gel. Des températures diurnes de 25 °C à 27 °C sont optimales. La croissance est réduite en dessous de 20 °C. Le sésame nécessite de longues périodes de soleil et c'est généralement une plante de jours courts. Il existe des variétés non sensibles à la photopériode. Le sésame a besoin d'une température élevée constante, les températures optimales pour la croissance, la floraison, et le mûrissement des fruits se situant entre 26 et 30 °C. La température minimale de germination se situe aux alentours de 12 °C, mais parfois des températures inférieures à 18 °C peuvent avoir un effet négatif pendant la germination. La pollinisation et la formation des capsules peuvent être inhibées lors de périodes de vagues de chaleur avec des températures supérieures à 40 °C.

L'adaptabilité

Le *S. indicum* est doté d'un vaste système de racines pivotantes pouvant atteindre jusqu'à 990 cm de long, ainsi qu'un tapis extérieur dense de radicelles qui assure la résistance de la plante à la sécheresse. Par ailleurs, en fonction des conditions édaphiques et hygrométriques, les plantes peuvent développer un système de racines pivotantes ou un groupe de racines fibreuses plus solides. Les racines de cultivars monocaules à cycle court ont une vitesse d'élongation plus rapide que celle des racines ramifiées à cycle long. Au cours de chacune de ses étapes de développement, la plante est hautement sensible aux engorgements, ainsi, elle peut survivre uniquement dans des conditions de précipitations modérées ou lorsque l'irrigation est soigneusement contrôlée dans les régions plus sèches. Les besoins hydriques peuvent être satisfaits par l'humidité disponible dans le sol au moment de l'ensemencement, des précipitations pendant la saison de croissance, et l'irrigation. Une fois irrigué, ou lors des précipitations pendant l'hivernage, le sésame pousse mieux dans les sols sableux que les sols lourds à cause de sa sensibilité à une humidité élevée du sol.

Les niveaux d'humidité avant la plantation et la floraison ont le plus grand impact sur le rendement. Des précipitations en fin de saison prolongent la durée de croissance et augmentent les pertes liées aux éclatements. Le vent peut provoquer des éclatements à la récolte et a été cité comme étant l'une des raisons de l'échec de la production commerciale du sésame en France.

Dans les régions à vents forts et chauds, les plantes forment uniquement des graines plus petites avec une teneur moindre en huile. Le sésame est sensible aux vents forts lorsque la tige principale est entièrement développée. Les variétés à grande taille ne doivent pas être plantées dans les régions à vents forts pendant la saison des récoltes. Le comportement du sésame face aux températures et à la longueur du jour indique qu'il doit être cultivé uniquement pendant l'hivernage dans les tropiques ou l'été dans les régions tempérées plus chaudes (Yol et Uzun, 2012). Bien qu'il y ait une certaine variation entre les cultivars, la température de base pour assurer la germination est d'environ 16 °C. Le sésame est principalement adapté aux zones ayant de longues saisons de croissance et des sols bien drainés. L'initiation florale est sensible à la photopériode et diffère selon les variétés. La teneur en huile des graines a tendance à augmenter avec l'augmentation de la photopériode.

14.5 SOURCES

- Chakraborti, P., & Ghosh, A. (2010). Differential seedling performance of sesame genotypes in na-salts. *Environment and Ecology*, 28(3), 1971–1974.
- Furat, S., & Uzun, B. (2010). The use of agro-morphological characters for the assessment of genetic diversity in sesame (*sesamum indicum* L). *Plant Omics*, 3(3), 85–91.
- Hack, H. R. B. (1980). Effects of pre-sowing flooding, rainfall, irrigation and drainage on sesame in the central Sudan rain lands. *Experimental Agriculture*, 16(2), 137.
- Kinman, M. L. (1952). *Sesame*. [Le Texas ?] : Le département américain de l'agriculture, administration de recherche agricole.
- Muhamman, M. A., Mohammed, S. G., Lado, A., & Belel, M. D. (2010). Interrelationship and path coefficient analysis of some growth and yield characteristics in sesame (*sesamum indicum* L.). *Journal of Agricultural Science*, 2(4), 100–105.
- Pham, T. D., Nguyen, T. T., Carlsson, A. S., & Bui, T. M. (2010). Morphological evaluation of sesame (*sesamum indicum* L.) varieties from different origins. *Australian Journal of Crop Science*, 4(7), 498–504.
- Purseglove, J.W. (1977). *Tropical Crops: Dicotyledons*. Longman Group, Londres, Troisième édition, Londres, 719p. [Monographie des cultures tropicales appartenant aux dicotylédones, y compris l'écologie du sésame, la structure, l'exploitation agricole et les principales maladies].
- Ramirez, R., Gutierrez, D., Villafane, R., & Lizaso, J. I. (2005). Salt tolerance of sesame genotypes at germination, vegetative, and maturity stages. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36(17–18), 2405–2419.
- Singh, D. (1969). *Sesame cultivation in India*. Hyderabad : comité central indien des graines oléagineuses.
- Weiss, E. A. (1971). *Castor, sesame and safflower*. New York: Barnes & Noble.
- Yol, E., Karaman, E., Furat, S., & Uzun, B. (2010). Assessment of selection criteria in sesame by using correlation coefficients, path and factor analyses. *Australian Journal of Crop Science*, 4(8), 598–602.
- Yol, E., & Uzun, B. (2012). Geographical patterns of sesame accessions grown under Mediterranean environmental conditions, and establishment of a core collection. *Crop Science*, 52(5), 2206–2214.

15.0 LE MANIOC

15.1 BREF APERÇU DE LA CULTURE

Le manioc est un arbrisseau pérenne ligneux doté d'une racine comestible. Cette culture pousse dans les régions tropicales et sub-tropicales du monde. Le manioc a vu le jour en Amérique tropicale et a été introduit la première fois en Afrique, au Congo vers 1558. Aujourd'hui, c'est un aliment de base dans plusieurs pays d'Afrique tropicale. C'est la quatrième source alimentaire de glucides la plus importante - après le riz, la canne à sucre, et le maïs – pour plus de 500 millions de personnes dans les pays en développement des tropiques et sous-tropiques. Il est également riche en calcium, vitamines B et C, et en minéraux essentiels. Toutefois, la composition nutritive diffère selon les variétés et l'âge de la récolte ainsi que les conditions des sols, le climat, et autres facteurs environnementaux présents durant la culture. Dans certaines régions où la culture est développée, en particulier en Afrique, les jeunes feuilles sont aussi récoltées et destinées à la consommation humaine en tant que légume ou comme ingrédient dans les sauces consommées avec les principaux plats de base (Hillocks et a., 2002 ; Lancaster et Brooks, 1982).

15.2 REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET NIVEAU GENERAL D'IMPORTANCE

Le manioc est originaire d'Amérique du Sud. Les indigènes d'Amazonie consommaient le manioc en plus du riz, de la pomme de terre, et du maïs. Les explorateurs portugais ont introduit le manioc en Afrique, au cours des 16^e et 17^e siècles à travers leur commerce avec les côtes africaines et les îles voisines. Les Africains l'ont ensuite répandu davantage, et aujourd'hui, on trouve le manioc dans presque toutes les régions d'Afrique tropicale. Le Nigéria et la République Démocratique du Congo sont les plus grands producteurs de manioc, après le Brésil et la Thaïlande. Le manioc est largement cultivé pour l'alimentation humaine de base et l'alimentation de bétail dans les pays des zones tropicales et sub-tropicales entre les latitudes 30 °N et 30 °S, sur une surface totale de plus de 13 millions d'hectares - dont plus de 70 pourcent en Afrique et en Asie (EL-Sharkawy, 1993). L'Afrique produit aujourd'hui plus de manioc que le reste du monde réuni. La production de manioc en Afrique de l'Ouest a doublé de 25,8 millions de tonnes en 1990 à 52,3 millions de tonnes en 2004 (Hillocks et al., 2002).

15.3 CYCLE DE VIE

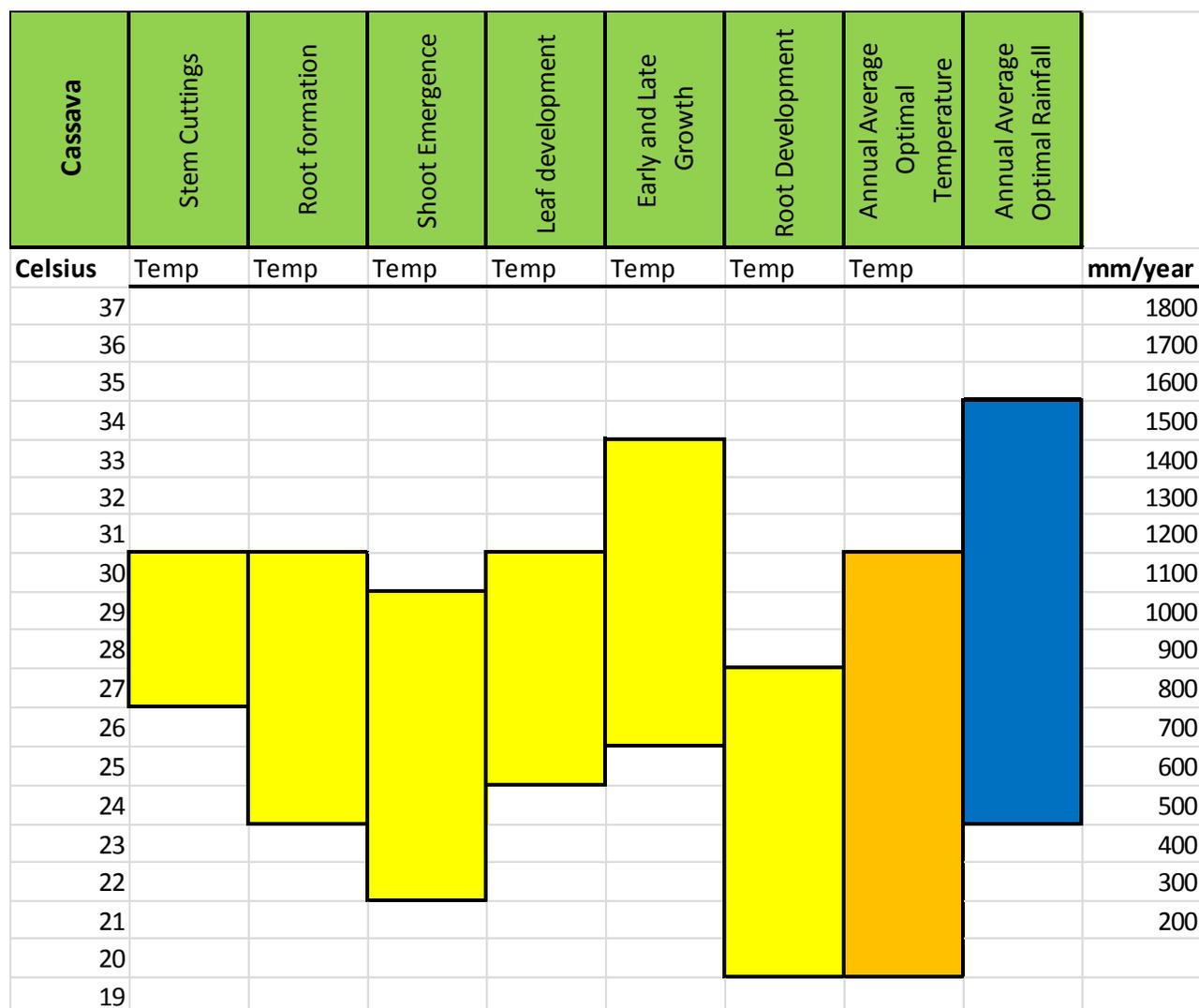
A la différence de beaucoup d'autres cultures, les feuilles et les racines de réserve du manioc se développent simultanément et, le schéma de croissance typique d'une plante de manioc comprend deux étapes : la production de matière sèche et la croissance végétative. La production de matière sèche implique l'accumulation d'amidon au niveau des racines pendant le cycle de vie de la culture. L'étape végétative comporte une séquence de phases de croissance pour les cultures récoltées après 12 mois, et cinq phases de croissance pour les cultures récoltées après 18 mois dans une zone à courte saison sèche (deux à trois mois). Les étapes sont décrites ci-après :

1. La phase d'implantation débute lorsque les boutures germent. Les feuilles se forment et la croissance végétative commence.
2. La phase d'initiation des racines de réserve commence dès leur apparition et formation. Les racines font la course aux nutriments.

3. Au cours de la première phase de renflement des racines de réserve, celles-ci s'élargissent alors que la surface foliaire atteint une taille maximale. Lorsque la culture est exposée à une période sèche dans la dernière partie de cette phase, la surface foliaire diminue et la croissance de la culture ralentit.
4. Durant la phase de reconstitution, le manioc germe à nouveau et produit une nouvelle canopée. La croissance des racines de réserve et la concurrence pour les nutriments continuent.
5. La seconde phase de renflement des racines de réserve suit la phase de reconstitution. A ce stade, les racines de réserve sont le sink dominant.

La croissance reproductive et la croissance végétative du manioc ont lieu simultanément pendant la majeure partie du cycle de vie. La croissance reproductive commence avec la première ramification reproductive ou bifurcation. Les inflorescences se forment au point de division de la tige principale en deux ou trois branches. En fonction du génotype, la bifurcation peut se faire six semaines après la plantation et peut varier d'une ramification clairsemée à abondante. La bifurcation est également susceptible aux stimuli environnementaux (par exemple, la température) et aux pratiques de gestion des cultures comme l'espacement et les dates des semis. La formation des ramifications et des inflorescences a lieu tout au long du cycle de croissance par division ultérieure des branches primaires.

FIGURE 13. BESOINS EN TEMPERATURES ET EN PRECIPITATIONS DU MANIOC A DIFFERENTS STADES DU DEVELOPPEMENT



15.4 PARAMETRES DE PRODUCTION

Les sols

Le manioc pousse mieux avec de la lumière, dans des loams sableux ou des sables graveleux, moites, fertiles et profonds, mais il pousse également bien dans des sols à texture sablonneuse, argileuse et à fertilité relativement faible. En pratique, il est cultivé sur des sols très variés, à condition que la texture soit suffisamment friable pour permettre le développement des tubercules. Les sols salins, hautement alcalins et rocailloux, ainsi que les sols sujets à la stagnation, sont peu favorables à la culture du manioc (Florchinger et al., 2000). Les sols rocailloux entravent la formation des racines. Le manioc peut produire une culture économique sur des sols tellement appauvris par des cultures répétées qu'ils sont devenus impropres à la culture d'autres plantes. Même sur les sols acides tout à fait inadaptés à d'autres cultures, le manioc peut quand même fournir un rendement relativement correct. Sur des sols très riches, la plante peut produire des tiges et des feuilles aux dépens des tubercules. Dans certaines

régions d'Afrique, les sols de forêts fraîchement défrichés sont considérés comme hautement favorables après avoir été utilisés pour la culture de céréales.

L'eau

La plante donne une meilleure récolte lorsque les pluies sont assez abondantes. Cependant, elle peut être cultivée là où les précipitations annuelles sont entre 500 à 5 000 mm, mais elles doivent être bien réparties. La plante peut supporter des périodes prolongées de sécheresse, là où la plupart d'autres cultures vivrières périraient. Cette caractéristique en fait une culture importante dans les régions où les précipitations annuelles sont faibles ou encore, là où la répartition saisonnière est irrégulière. Dans les climats tropicaux, la saison sèche a à peu près les mêmes effets sur le manioc, qu'une basse température sur les plantes vivaces à feuilles caduques d'autres régions du monde. La période de dormance dure deux à trois mois, et la croissance reprend au retour des pluies. Le manioc est une culture précieuse dans les régions où les précipitations sont aléatoires. Lorsque la teneur en humidité diminue, la plante cesse de croître et perd ses feuilles les plus anciennes, réduisant ainsi la surface de transpiration. Lorsque l'humidité est de nouveau disponible, la croissance reprend et la plante produit de nouvelles feuilles.

Les températures

Le manioc nécessite un climat chaud et humide, les températures pour assurer une bonne croissance se situant entre 25 et 29 °C. La température est un facteur important au développement de la culture. La croissance s'arrête à environ 10 °C. En général, le manioc est cultivé dans les zones où il ne gèle pas tout au long de l'année. La production la plus élevée peut être obtenue dans les plaines tropicales, en dessous de 150 m d'altitude, où les températures moyennes sont comprises entre 25 °C et 29 °C. Cependant, quelques variétés se développent à des altitudes pouvant atteindre 1 500 m. La germination est plus rapide à des températures du sol comprises entre 28 et 30 °C mais s'arrête lorsque les températures sont supérieures à 37 °C et inférieures à 17 °C (Keating et Evenson, 1979).

L'adaptabilité

Le développement du manioc peut être compromis par les jours longs (12 heures de lumière ou plus) au début de la période de croissance, ce qui peut avoir comme conséquence une diminution du rendement. Les basses températures (inférieures à 19 °C) et les températures élevées (supérieures à 42 °C) compromettent aussi le développement et retardent la croissance des racines de réserve et la sécheresse. Le manioc est néanmoins doté d'une très grande capacité d'adaptation et peut être cultivé dans des régions avec des précipitations annuelles aussi faibles que 500 mm. Il peut survivre dans les régions où les saisons sèches durent jusqu'à huit mois. A cause d'une telle vigueur, les agriculteurs des régions semi-arides comptent sur le manioc comme une « culture de famine ». Le manioc survit aux conditions extrêmes car la plante conserve l'eau à travers plusieurs mécanismes. Par exemple, au début d'une saison sèche, la plante produit moins de feuilles et le surplus de feuilles tombe. Toutefois, le manioc a la capacité de produire de nouvelles feuilles au cours de la chute autres feuilles tombent. La mort de l'apex contribue également à la diminution de la surface foliaire pendant la saison sèche, entraînant une réduction de la transpiration de la canopée. En outre, les stomates du manioc sont extrêmement sensibles aux variations des vapeurs d'eau. Une résistance stomatique élevée réduit la perte hydrique durant la saison sèche. La diminution de la surface foliaire ainsi que la fermeture stomatique diminuent également la photosynthèse et la production de racines.

D'autres mécanismes assurent que la sécheresse ne met pas la croissance des plantes en péril. Par exemple, les plantes de manioc sont dotées d'un mécanisme photosensible qui permet aux feuilles

d'intercepter le maximum de lumière lorsque la transpiration est faible. Le matin et en fin d'après-midi, les feuilles se tournent vers le soleil par le mouvement des pétioles. Le manioc est également doté d'un mécanisme qui provoque l'enroulement et l'affaissement des feuilles lorsque leur taux de transpiration est trop élevé. Une canopée enroulée conserve l'humidité au sein de son microenvironnement. Un plus grand partage de la matière sèche avec le système racinaire fibreux pendant les périodes de sécheresse améliore l'accès à l'humidité du sol et la capacité d'absorption des racines (Luo et Huang, 2012).

A des températures élevées (24 à 30 °C), le développement foliaire dure deux semaines ; à des températures plus basses (15 à 22 °C), il dure trois à cinq semaines. La taille des feuilles augmente entre quatre à cinq mois après la plantation, puis diminue. Des conditions environnementales défavorables comme une faible disponibilité de nutriments, le stress hydrique et des températures basses entraînent une diminution de la taille des feuilles. La floraison peut fortement être influencée par des facteurs environnementaux. Un clone particulier peut ne produire aucune fleur dans un environnement donné, ne fournir que des fleurs avortées ou être incapable de produire des graines viables dans un autre cadre et pourtant, il peut fleurir abondamment et produire des graines dans un troisième. La chaleur sèche et l'obscurité totale favorisent la germination des graines. La germination a lieu le plus souvent lorsque les températures dépassent 30 °C pendant une partie de la journée, avec une température moyenne d'au moins 24 °C. Des cultures en laboratoire ont montré qu'un régime alternatif de 30 °C pendant huit heures et 38 °C pendant 16 heures, pendant au moins 21 jours, est le plus favorable à la viabilité des graines du manioc.

Un bon drainage est essentiel à la culture du manioc, qui ne tolère pas les engorgements. Une lumière intense est idéale. La croissance et le rendement du manioc sont considérablement réduits sur des sols salins et alcalins avec un pH plus élevé que 8,0. Le pH optimal est compris entre 5,5 et 7,5, mais il existe des cultivars qui tolèrent un pH aussi bas que 4,6 ou aussi élevé que 8,0. Il existe également des cultivars relativement résistants aux sels. Les sols très fertiles favorisent la croissance d'un feuillage excessif aux dépens des racines de réserve.

15.5 SOURCES

Cock, J.H. (1985). *Cassava: new potential for a neglected crop*. Westview Presse: Boulder, CO.

El-Sharkawy, M.A. (1993). Drought tolerant cassava for Africa, Asia, and Latin America: breeding projects work to stabilize productivity without increasing pressures on limited natural resources. *Bioscience* 43(7), 441–451.

Florchinger, F. A., Leihner, D. E., Steinmuller, N., Muller-Samann, K., & El-Sharkawy, M. (2000). Effects of artificial topsoil removal on sorghum, peanut, and cassava yield. *Journal of Soil and Water Conservation*, 55(3), 334–339.

Hillocks, R. J., Thresh, J. M., & Bellotti, A. (2002). *Cassava: biology, production and utilization*. Wallingford, R-U : Pub. CABI

Lancaster, P.A., & Brooks, J.E. (1983). Cassava leaves as human food. *Economic Botany*, 37(3), 331–348.

Luo, X., & Huang, Q. (2012). Studies on the cold resistance of cassava. *Journal of Agricultural Science*, 4(6), 104-119.

16.0 LA PATATE DOUCE

16.1 BREF APERÇU DE LA CULTURE

La patate douce est un tubercule originaire des tropiques qui nécessite des températures diurnes et nocturnes chaudes pour assurer une croissance et un développement optima des tubercules. La patate douce est considérée comme une culture de sécurité alimentaire principalement à cause de la fiabilité de ses rendements. C'est une culture que l'on peut facilement multiplier et qui se développe sans ajout d'intrants sur des sols pauvres et dans diverses conditions pluviométriques. A l'échelle mondiale, la patate douce est la sixième culture vivrière la plus importante après le riz, le blé, la pomme de terre, le maïs, et le manioc. Plus de 105 millions de tonnes sont produites dans le monde tous les ans, dont 95 pourcent dans les pays en développement. L'importance de la patate douce comme culture vivrière augmente rapidement dans certaines parties du monde. En Afrique sub-saharienne, son taux de croissance dépasse celui d'autres cultures de base. L'Afrique sub-saharienne produit plus de 7 millions de tonnes de patates douces par an, environ 5 pourcent de la production mondiale. Il convient de noter que 50 pourcent de la production mondiale est destinée à la consommation humaine et 30 pourcent au fourrage du bétail, le reste étant destiné aux semences et autres applications agricoles (CIP, 1994 ; Woolfe, 1992).

16.2 REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET NIVEAU GENERAL D'IMPORTANCE

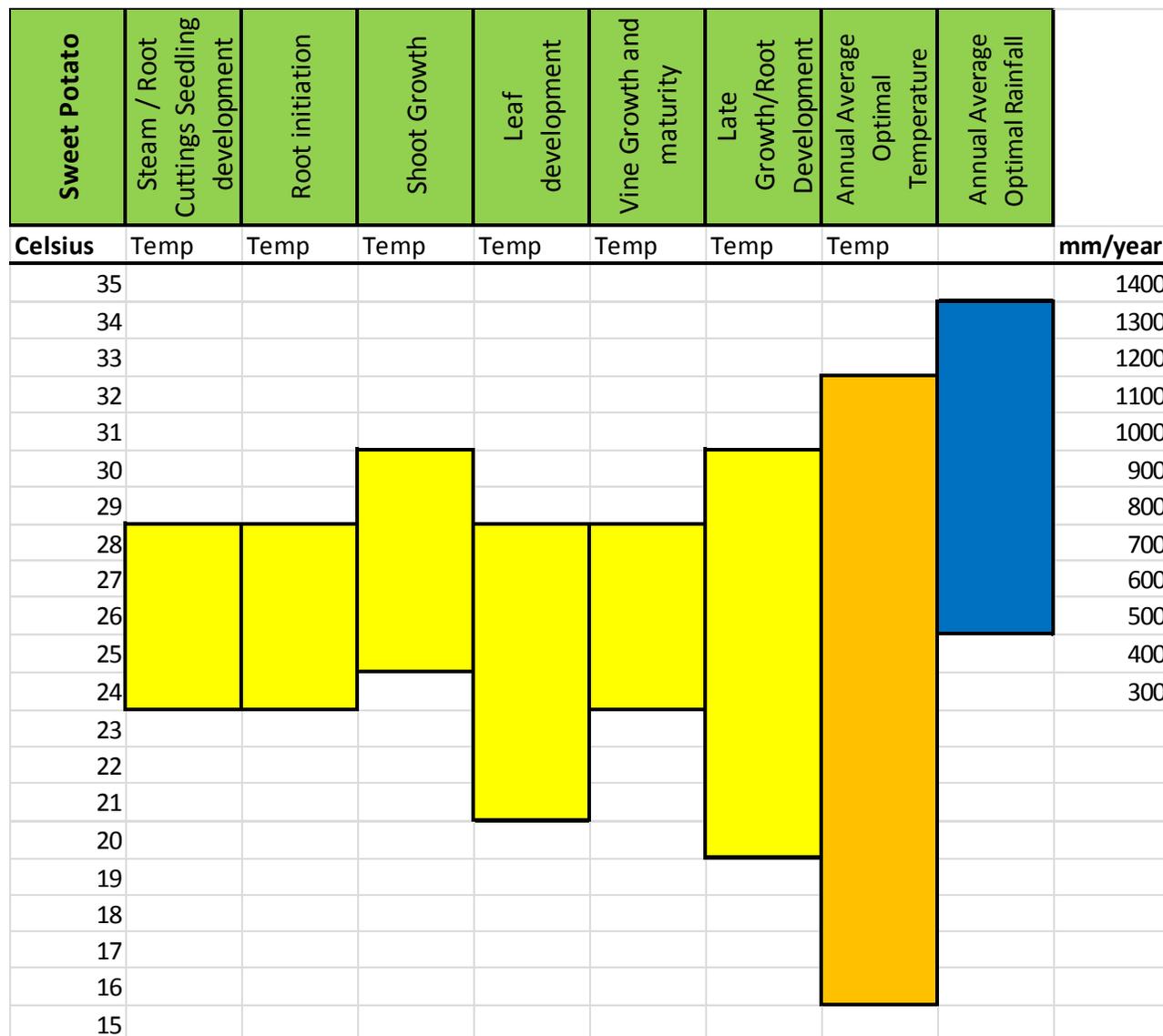
La patate douce est l'une des cultures vivrières les plus importantes au monde, en termes de consommation humaine, en particulier en Afrique sub-saharienne, dans certaines régions d'Asie ainsi que dans les îles du Pacifique. Domestiquée pour la première fois il y a plus de 5 000 ans en Amérique latine, la patate douce est cultivée dans plus de pays en développement que n'importe quelle autre tubercule. La majeure partie de la patate douce est cultivée dans des zones tempérées. 70 pourcent des zones cultivées se trouvent à des latitudes comprises entre 20 °N et 40 °N. Sa production est largement concentrée dans quelques régions, notamment dans les plaines de la Chine et dans les régions de moyenne altitude autour du lac Victoria en Afrique. Environ la moitié de la production mondiale de patates douces provient d'endroits où c'est une culture saisonnière obligatoire à cause de la présence de basses températures pendant une partie de l'année (Hijmans et al., 2001).

16.3 CYCLE DE VIE

La patate douce peut se développer à des altitudes allant du niveau de la mer à 2 500 m. Elle nécessite moins d'intrants et moins de travail que d'autres cultures comme le maïs. La patate douce se développe par propagation végétative. Les agriculteurs utilisent des bouturages de tige qui prennent racine et forment de nouvelles racines réserve. Dans certains climats plus froids où les ramifications ne se développent pas bien, les producteurs plantent des racines. La graine botanique est utilisée dans des programmes de multiplication. Le système racinaire de la plante s'étend rapidement, horizontalement par terre et le matériel de plantation peut être multiplié facilement et rapidement à partir de très peu de racines. De grandes racines de réserve charnues, comestibles se forment sur les nœuds souterrains de la tige. Du latex se forme sur toutes les parties de la plante. Les racines mûrissent en moyenne quatre mois après la plantation. Certaines variétés précoces mûrissent en deux mois. Les formes et les tailles des racines de réserve varient en fonction des cultivars ainsi que des types de sol et des sites de plantation. La couleur de la peau peut varier de crème-blanchâtre à jaune-orangée en passant du rose à

un pourpre-rougeâtre, voire violet très foncé. La chair peut être de couleur blanche, crème, jaune, orange, ou pourpre. Certains cultivars ont une couleur chair de base avec des petites taches ou des stries dans une couleur plus foncée.

FIGURE 14. BESOINS EN TEMPERATURES ET EN PRECIPITATIONS DE LA PATATE DOUCE A DIFFERENTS STADES DU DEVELOPPEMENT



16.4 PARAMETRES DE PRODUCTION

Les sols

Les patates douces poussent mieux dans les sols graveleux. Les sols bien drainés et finement sableux ou les loams argileux sont les meilleurs types de sols. En général, les sols légers et limoneux donnent des racines de meilleure forme que les sols lourds ou argileux, qui eux produisent des racines rugueuses et irrégulières. Des sols hautement organiques (2 pourcent ou plus) peuvent réduire la production. Les sols à texture grossière, profonds, arénacés sont généralement peu fertiles, sujets au stress hydrique et ont

ainsi besoin d'irrigation et de fertilisation pour assurer une bonne culture. Une mauvaise aération due à un mauvais drainage diminue les rendements. Les cultivars sensibles présentent une acidification (dégradation du tissu des racines de réserve) lorsque le drainage est sévèrement compromis ou encore des cloques d'eau (élargissement des lenticelles sur le périoderme) lorsque le problème de drainage est moins grave. Les patates douces peuvent pousser dans un sol à pH entre 5 et 7,5, les valeurs comprises entre 5,8 et 6,2 étant optimales.

L'eau

Les patates douces poussent mieux avec des précipitations annuelles bien réparties de 600 à 1 600 mm pendant la saison de croissance. Un temps sec favorise la formation et le développement des racines de réserve. La patate douce est relativement résistante à la sécheresse. Toutefois, elle ne résiste pas à de longues périodes de sécheresse. Le rendement est considérablement réduit lorsque la sécheresse se produit à peu près au moment de la plantation ou de l'initiation des racines. La culture a besoin de presque 25 mm d'eau par semaine, uniformément répartie tout au long de la saison de croissance pour une production optimale. Les conditions après la sixième à la septième semaine de plantation sont particulièrement cruciales dans le développement des racines de réserve.

Les températures

Des températures supérieures à 25 °C favorisent une bonne croissance. Des températures inférieures à 12 °C ou supérieures à 35 °C retardent la croissance et compromettent le rendement. Au Sénégal, la patate douce pousse la plupart du temps dans des conditions marginales. Les températures optimales indiquées pour une bonne production se situent entre 21 et 29 °C. Les racines de réserve sont sensibles aux changements de température des sols et, selon l'étape du développement des racines, une petite possibilité de diminution de la productivité est envisageable.

L'adaptabilité

Les patates douces peuvent être cultivées à des endroits avec une longue période sans gel et des températures chaudes pendant la saison de croissance. La plupart des cultivars ont besoin d'une période sans gel d'au moins 100 à 125 jours. Les variétés de patate douce développées en Afrique sont des cultivars traditionnels sélectionnés pour l'adaptation aux environnements locaux et leur goût. Les variétés à chair blanche, beige ou jaune sont fréquentes, alors que celles à chair orange sont encore relativement rares. Les normes locales prévoient un taux de matière sèche de 28 à 35 pourcent. La maturation est variable (trois à huit mois) et il y a une forte préférence pour les variétés à lianes vigoureuses qui peuvent survivre à la saison sèche. La production de patate douce se fait toute l'année au Sénégal. Les conditions de production sont meilleures vers la fin de la saison sèche (de mars à mai). Néanmoins, le froid peut compromettre les rendements.

Les patates douces s'adaptent très bien aux climats chauds et poussent mieux en été. La plupart des étapes de développement résistent bien aux changements climatiques. Ringler et al. (2010) indiquent cependant que la patate douce pourrait être, après le blé, la culture la plus atteinte par les changements climatiques en Afrique sub-saharienne. Des niveaux d'ensoleillement importants et des températures inférieures à 13 °C pendant plusieurs jours ou de 3 °C pendant un jour peuvent endommager les plantes de patate douce. Biswas et al. (1996) ont notamment constaté que les augmentations de CO₂ dans l'atmosphère peuvent en fait entraîner des augmentations de croissance et de rendement chez la patate douce, ce qui constituerait un impact positif du changement climatique à l'avenir.

16.5 SOURCES

- Biswas, P. K., Hileman, D. R., Ghosh, P. P., Bhattacharya, N. C., & McCrimmon, J. N. (1996) Growth and yield responses of field-grown sweet potatoes to elevated carbon dioxide. *Crop Science*. 36(5), 1234–1239.
- CIP. (1994). Recherche de localisation et de priorités sur la patate douce en Afrique de l'ouest : publication des travaux de l'atelier tenus à Douala, Cameroun, du 27 au 29 juillet, 1992. Centre international de la pomme de terre (CIP) : Lima, Pérou.
- Hijmans, R. J., Huaccho, L, & Zangh, D. P. (2001). Global distribution of Sweetpotato. Rapport du programme du CIP 1999-2000. Centre international de la pomme de terre (CIP) : Lima, Pérou.
- Ringler, C., Zhu, T., Cai, X., Koo, J., & Wang, D. (2010). Climate Change Impacts on Food Security in Sub-Saharan Africa: Insights from Comprehensive Climate Change Scenarios. IFPRI document de réflexion no. 1042. Washington, D.C. : institut de recherche internationale sur la politique alimentaire, rapport de politique alimentaire, 2010.
- Woolfe, J. A. (1992). *Sweet potato: an untapped food resource*. Cambridge [Angleterre] : Cambridge University Press.

ANNEXE I. SOURCES SUPPLEMENTAIRES SUR LES BESOINS HYDRIQUES ET LES PARAMETRES DES SOLS

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. & Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration – Guidelines for Computing Crop Water Requirements Irrigation et drainage, document 56 de la FAO, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture : Rome.
- Allen, R.G. (2000). Using the FAO-56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evapotranspiration inter-comparison study. *Journal of Hydrology*, 229, 27-41.
- Anonymous. (s.d.) Soil pH for Field Crops. Séries de fiches techniques sur l'agronomie. Fiche technique informat 5. University Cooperative Extension de l'université de Cornell.
- Carter, M. R. (2002). Soil Quality for Sustainable Land Management: Organic Matter and Aggregation Interactions That Maintain Soil Functions. *Agronomy Journal*, 94(1), 38.
- Doorenbos, J. and Pruitt, W. O. (1975). Guidelines for predicting crop water requirements. Irrigation et drainage, document 24 de la FAO, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture : Rome.
- ECOCROP. (2013). Base de données de l'ECOCROP. FAO : Rome, Italie.
- Follett, R. F. (2001). Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. *Soil and Tillage Research*, 61(1), 77.
- Lal, R. (1998). Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 17(4), 319-464.
- Mattar, M.A. (2007). Irrigation systems effect on growth and productivity in mango orchard. *Misr J. Ag. Eng.*, 24(1): 103-121.
- Omotosho, JB. (1992). Long-range prediction of the onset and end of the rainy season in the West African Sahel. *International Journal of Climatology* 12, 369–382.
- Piccinni, G., Ko, J., Marek, T. & Howell, T.A. (2009). Determination of growth stage-specific crop coefficients (KC) of maize and sorghum. *Agric. Water Management*. 96(12), 1698–1704.
- Ray, S.S. & Dadhwal, V.K. (2001). Estimation of crop evapotranspiration of irrigation command area using remote sensing and GIS. *Agricultural Water Management*, 49, 239–249.

- Snyder, R.L., Lanini B.J., Shaw, D.A., & Pruitt, W.O. (1989). Using reference evapotranspiration (ET_o) and crop coefficients to estimate crop evapotranspiration (ET) for agronomic crops, grasses and vegetable crops. Cooperative Extension University of California, Berkeley, Ca, Feuillet no. 21427, 12 pp.
- Stern, R.D. & Coe, R. (1982). The use of rainfall models in agricultural planning. *Agricultural Meteorology* 26, 35–50.
- Tesfaye, K.F. & Walker S. (2003). Matching of crop and environment for optimal water use: the case of Ethiopia. 4ème Colloque de WaterNet/Warfa : eau, science, technologie et politique. Convergence et action par tous. Du 15 au 17 octobre 2003.
- Wilhelm, W. W., Johnson, J. M. F., Hatfield, J. L., Voorhees, W. B., & Linden, D. R. (2004). Crop and Soil Productivity Response to Corn Residue Removal: A Literature Review. *Agronomy Journal*, 96(1), 1-17.
- Wright, J. L. (1982). New evapotranspiration crop coefficients. *J. Irrig. Drain. Div.* 108(1): 57–74.

ANNEXE II. LES BESOINS EN EAU PAR PHENOPHASE

Les figures ci-après indiquent les estimations des besoins en humidité (et non de précipitations) à chaque étape du développement. Les valeurs sont tirées d'études de modélisation et d'expérimentations effectuées en milieux contrôlés et qui sont recalculées en utilisant des coefficients reposant sur les taux d'évapotranspiration au Sahel. Ces valeurs prennent en compte la capacité d'absorption d'eau de la plante, les niveaux de transpiration et les taux d'évapotranspiration. Toutefois, elles ne tiennent pas compte d'autres interactions comme celles avec les sols, les pentes ou la végétation environnante.

FIGURE AII.1 BESOINS EN EAU DU MAÏS PAR PHENOPHASE

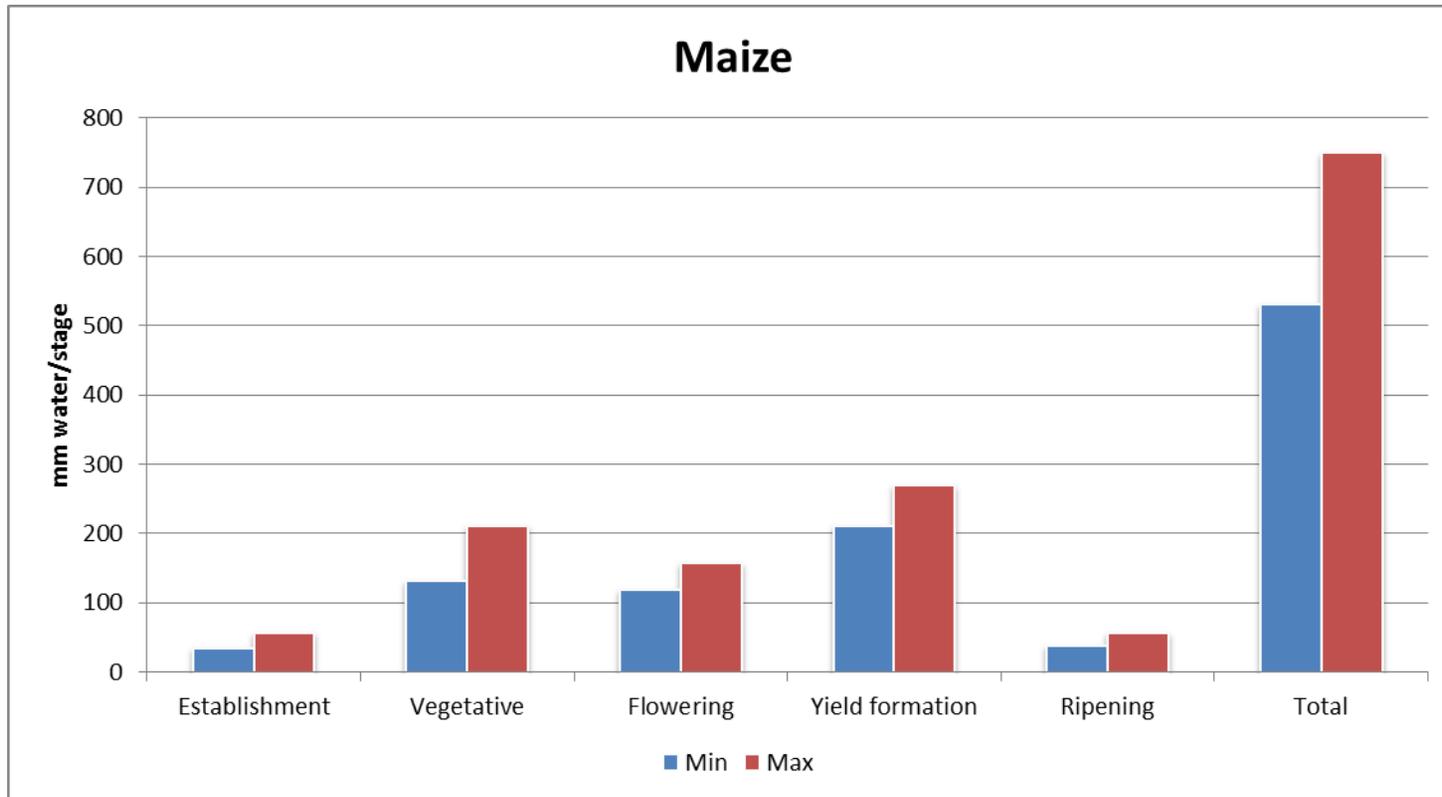


FIGURE AII.2 BESOINS EN EAU DU MILLET PERLÉ PAR PHENOPHASE

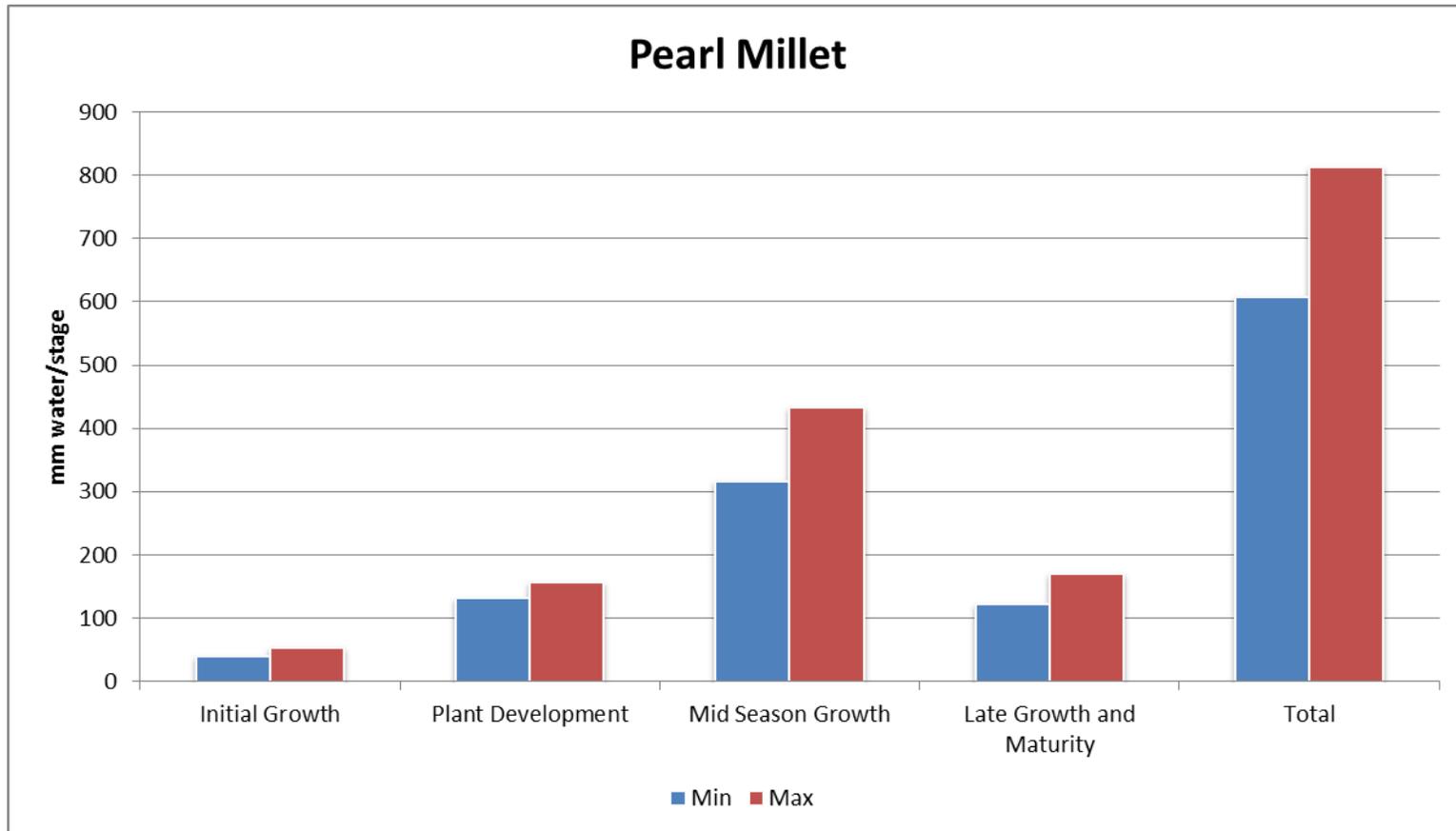


FIGURE AII.3 BESOINS EN EAU DU RIZ PAR PHENOPHASE

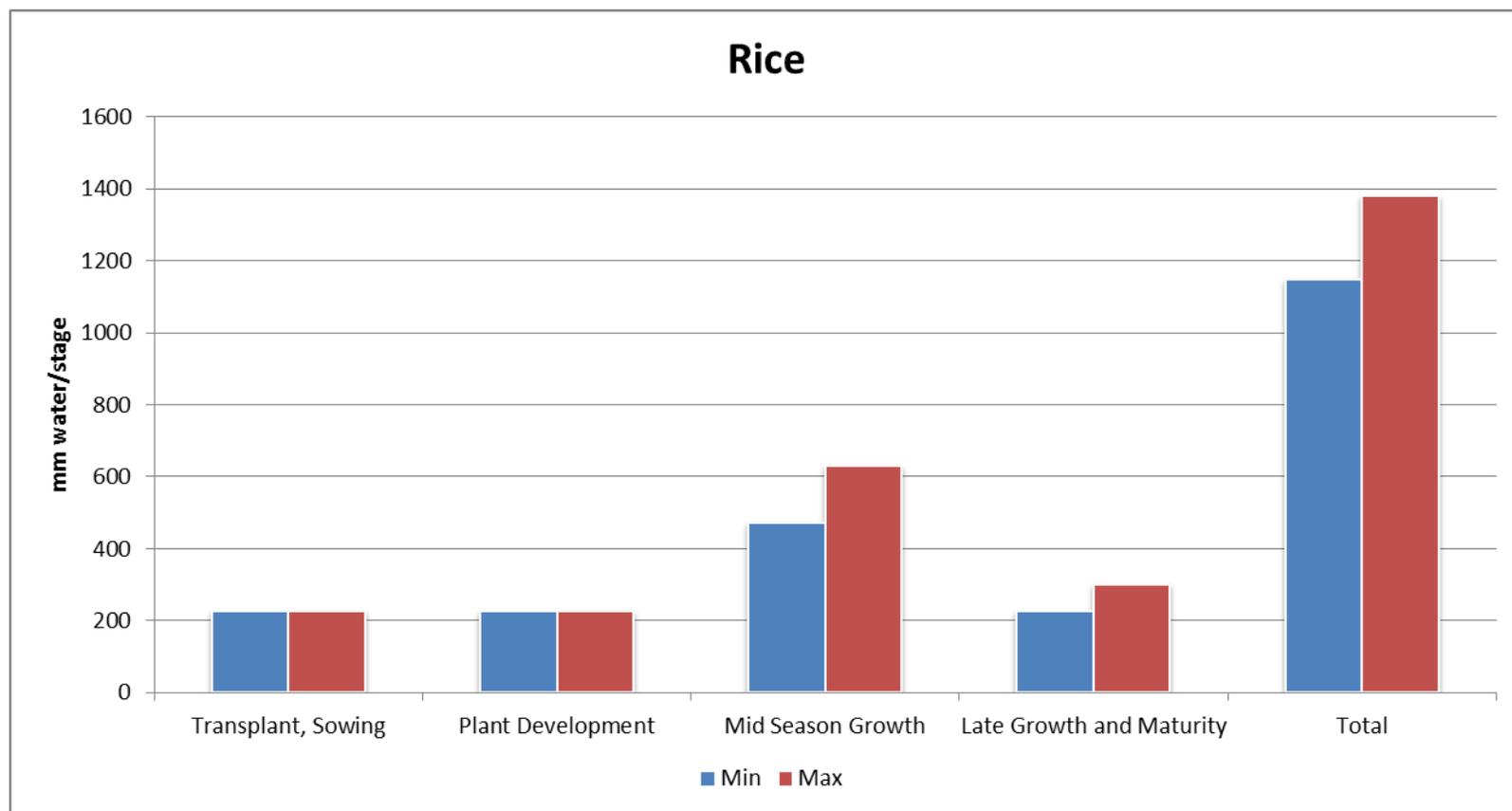


FIGURE AII.4 BESOINS EN EAU DU SORGHO PAR PHENOPHASE

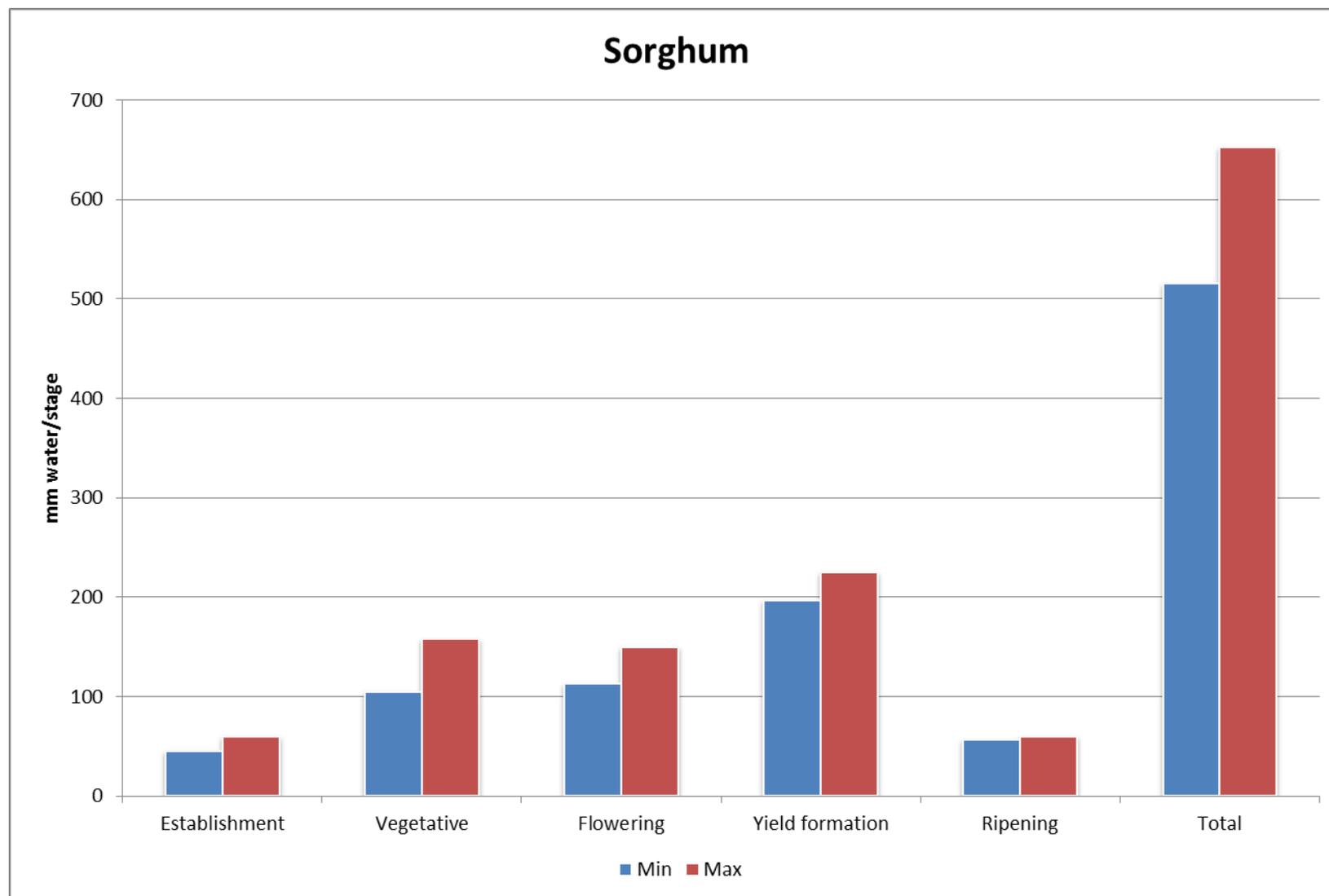


FIGURE AII.5 BESOINS EN EAU DU COTON PAR PHENOPHASE

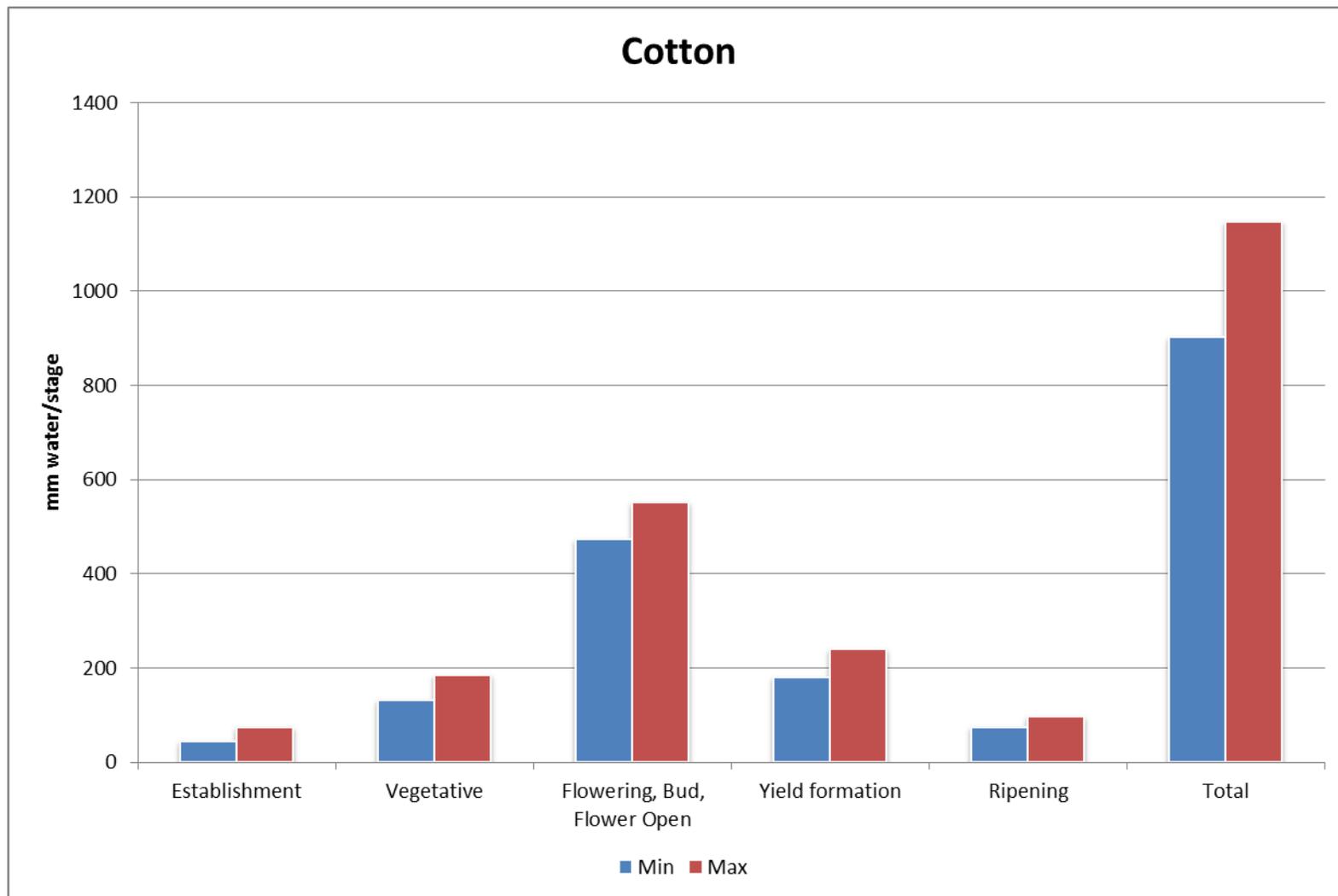


FIGURE AII.6 BESOINS EN EAU DE LA MANGUE PAR PHENOPHASE

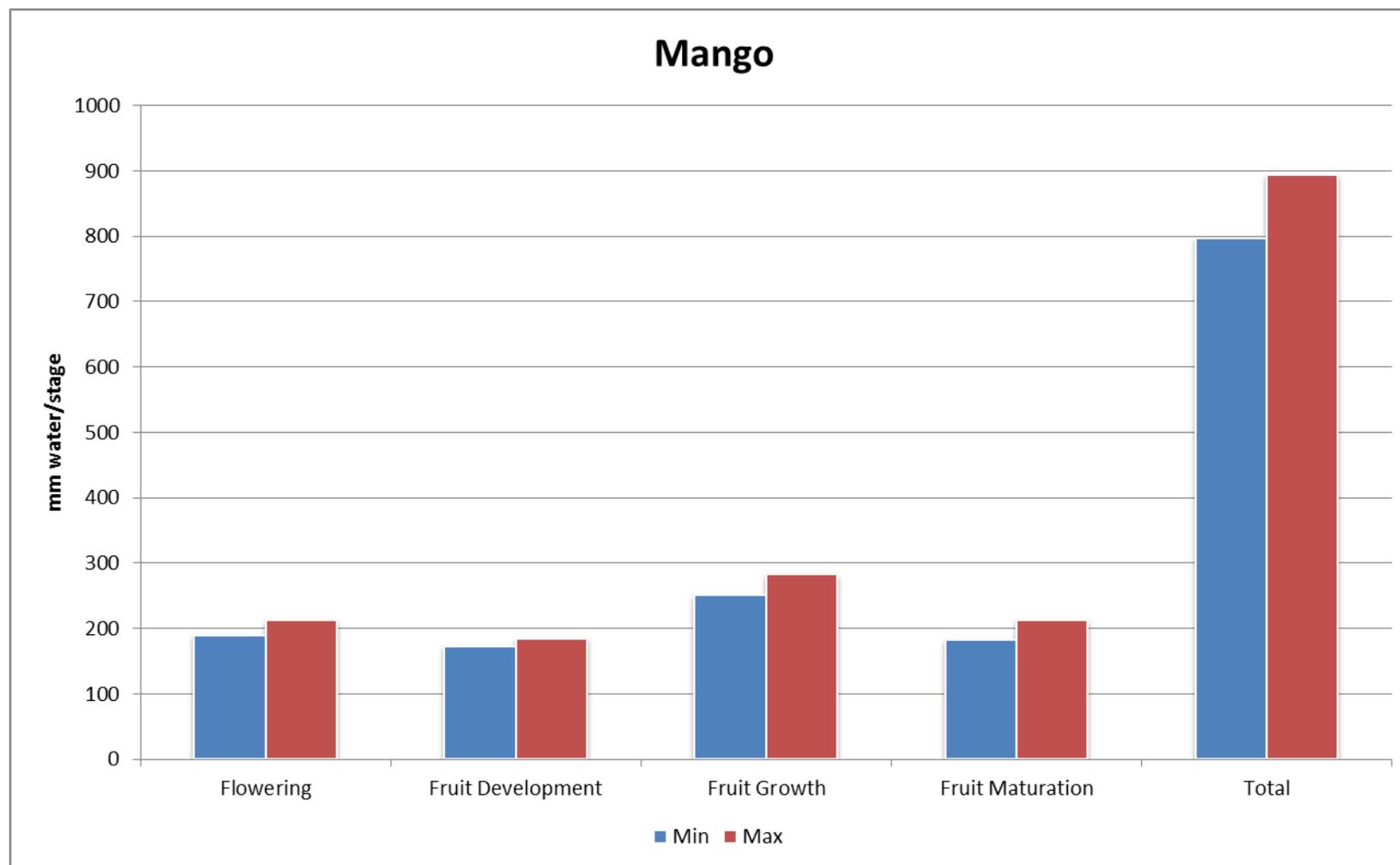


FIGURE AII.7 BESOINS EN EAU DU NIÉBÉ PAR PHENOPHASE

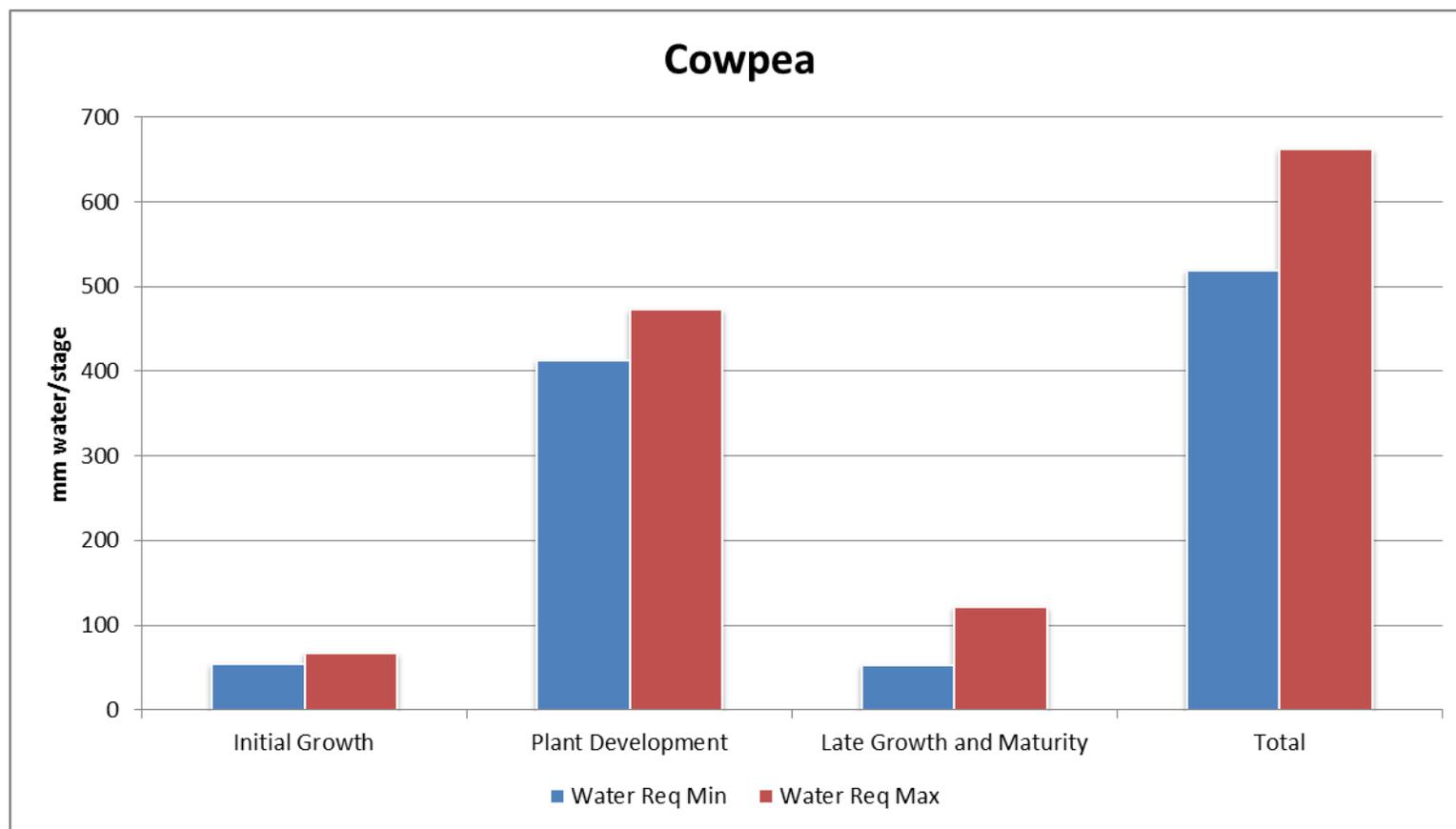
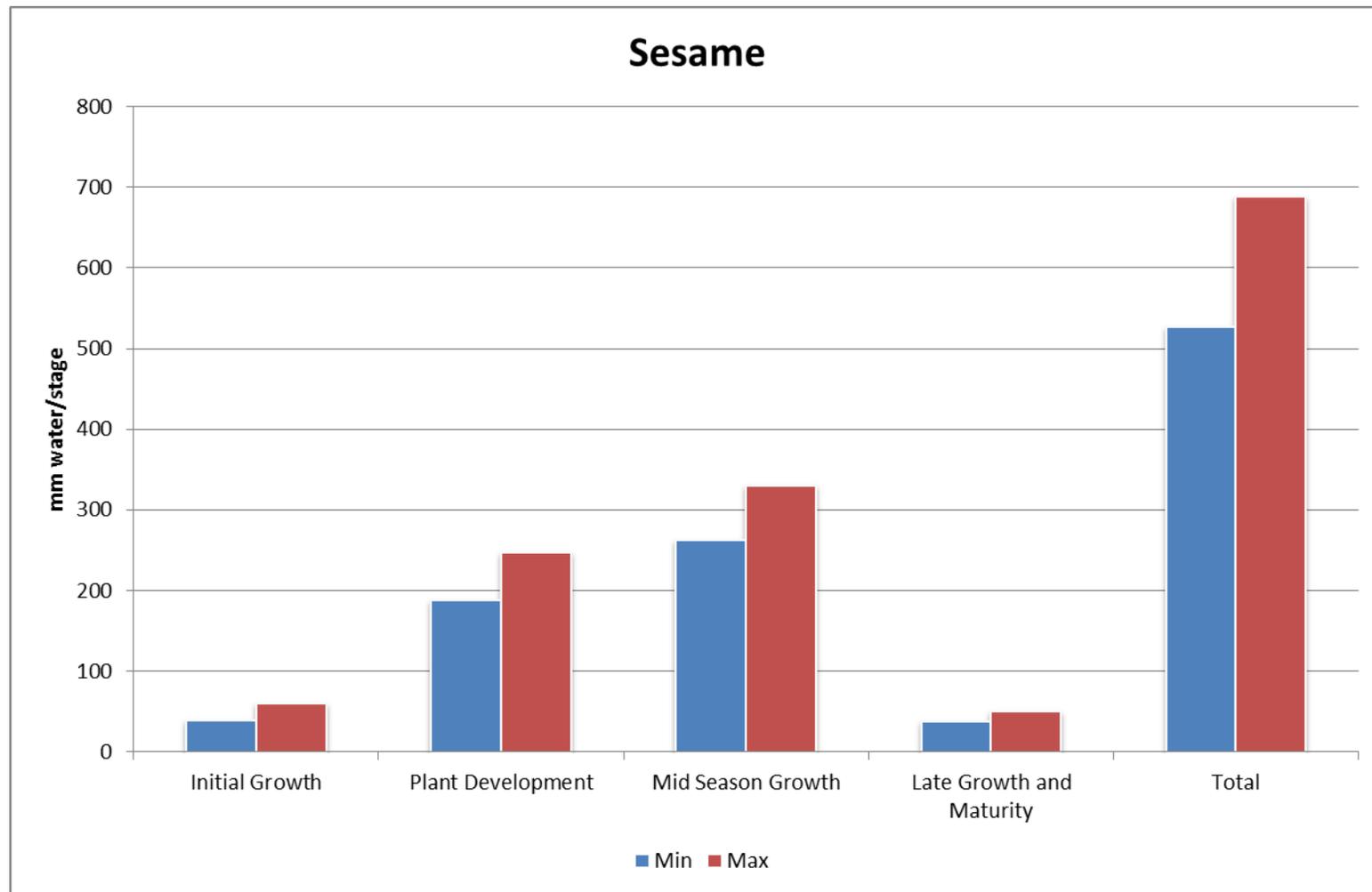
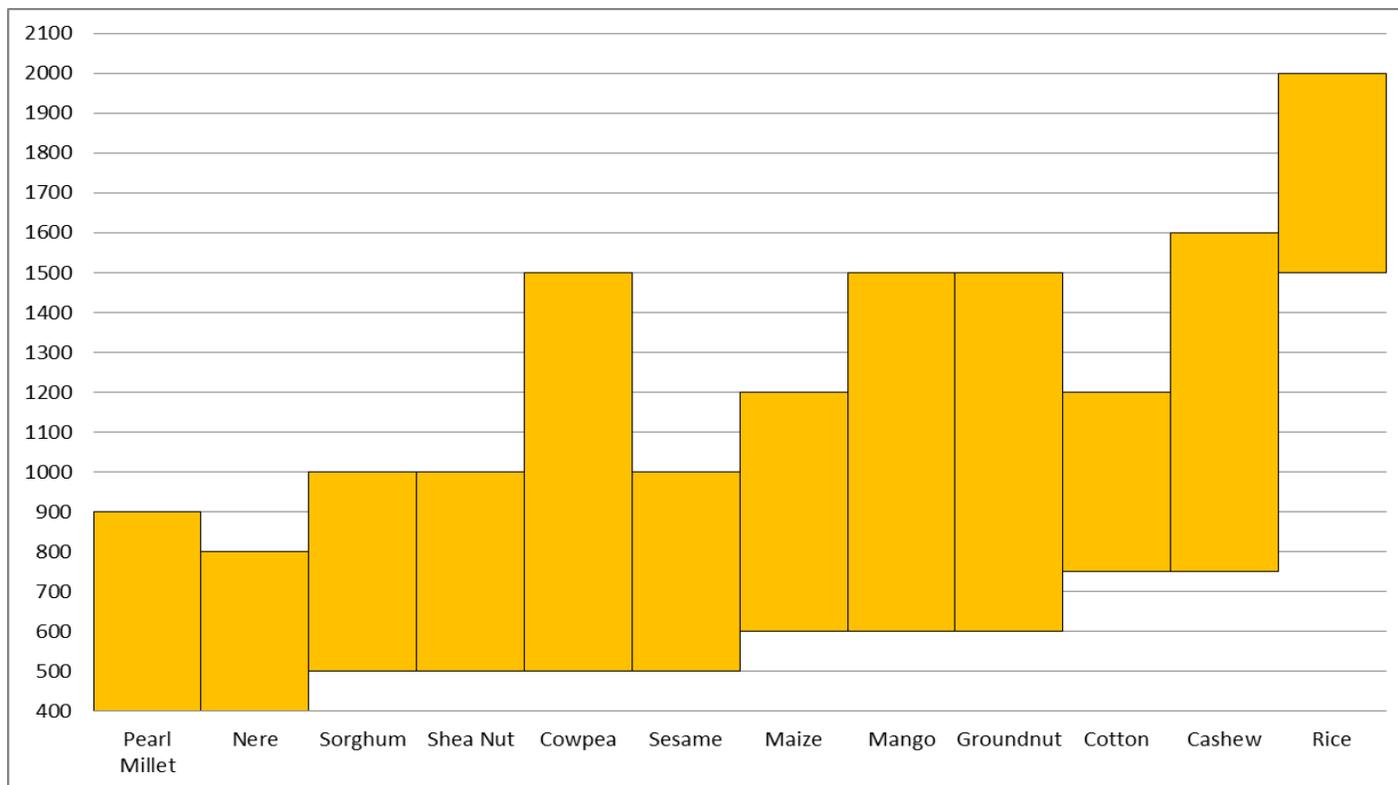


FIGURE AII.8 BESOINS EN EAU DU SESAME PAR PHENOPHASE



ANNEXE III. BESOINS EN PRECIPITATIONS ANNUELLES OPTIMALES

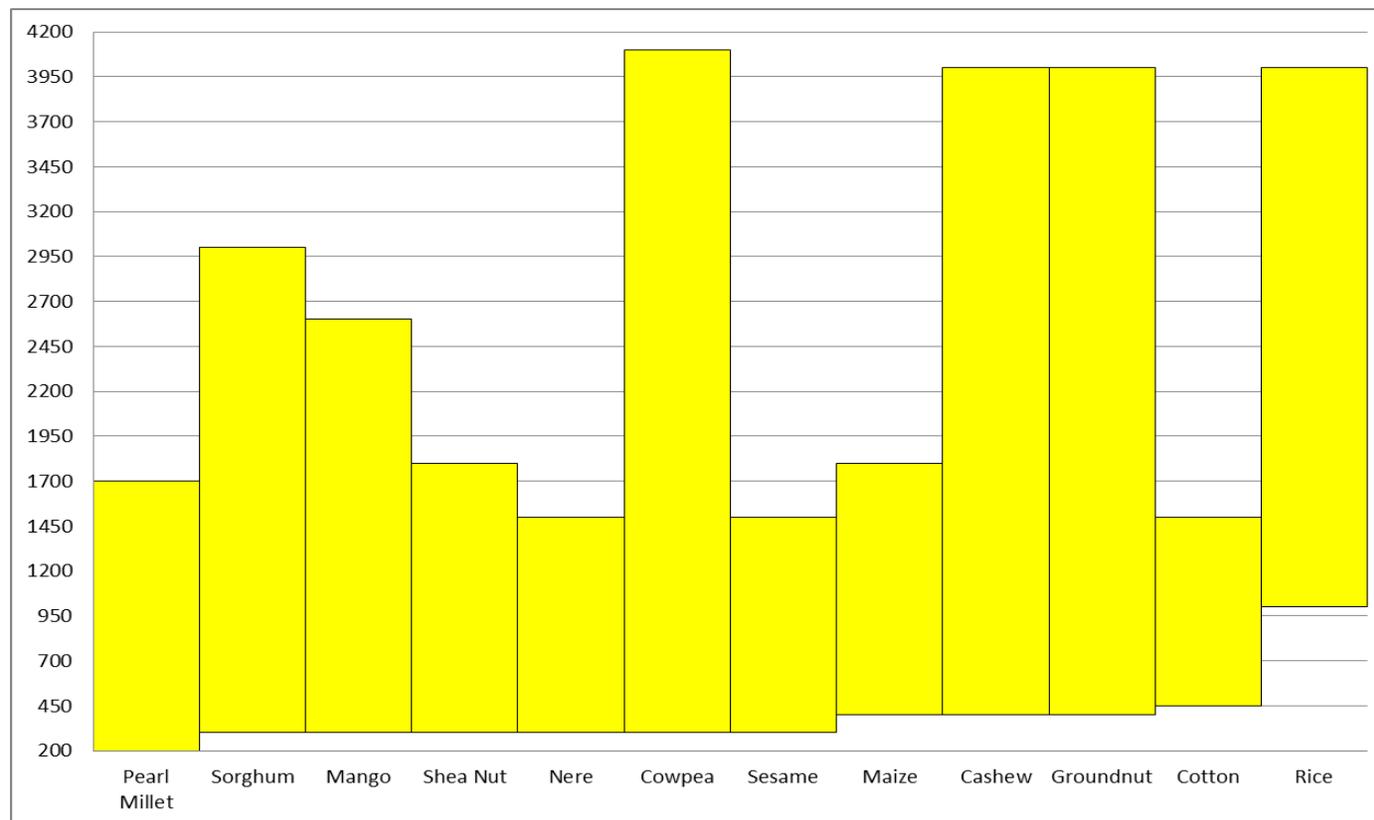
FIGURE AIII.1 BESOINS MINIMUM ET MAXIMUM EN PRECIPITATIONS ANNUELLES OPTIMALES EN MILLIMETRES PAR AN



Source : EcoCrop

ANNEXE IV. LIMITES ABSOLUES DE PRECIPITATIONS ANNUELLES

FIGURE AIV.1 LES LIMITES MINIMUM ET MAXIMUM DE PRECIPITATIONS ANNUELLES EN MILLIMETRES PAR AN



Source : EcoCrop

ANNEXE V. PARAMETRES DES SOLS

SELECTIONNES POUR LES CULTURES ETUDIEES

TABLEAU AV.I PARAMETRES DES SOLS

CROPS		Maize	Pearl Millet	Rice	Sorghum	Cotton	Cashew	Mango	Shea Nut	Nere	Cowpea	Groundnut	Sesame	
Soil ph	Optimal	Min	5.0	5.0	5.5	6.0	6.0	4.5	5.5	6.0	4.5	5.5	5.5	
		Max	7.0	6.5	7.0	7.0	7.5	6.5	7.5	7.0	5.5	7.5	6.5	7.5
	Absolute	Min	4.5	4.5	4.5	5.0	5.0	3.8	4.3	5.5	4.0	4.0	4.5	4.5
		Max	8.5	8.3	9.0	8.5	9.5	8.7	8.5	8.0	6.0	8.8	8.5	8.0
Soil Depth (cm)	Optimal	Min	50	>150	50	50	>150	>150	>150	>150	>150	50	50	>150
		Max	150	>150	150	150	>150	>150	>150	>150	>150	150	150	>150
	Absolute	Min	20	50	20	50	50	50	50	50	20	20	50	50
		Max	150	150	50	150	150	150	150	150	50	50	150	150

CROPS		Maize	Pearl Millet	Rice	Sorghum	Cotton	Cashew	Mango	Shea Nut	Nere	Cowpea	Groundnut	Sesame
Soil Type/Texture	Optimal	clay, sandy, loam	sandy, loam	wide	sand, loam	heavy, loam	loam, clay	loam, clay	sandy, loam, clay, wide, organic	loam, clay	loam, clay	loam	loam
	Absolute	clay	sandy, loam	wide	sandy, loam, clay	sandy, loam, clay, organic	sandy, loam, clay	sandy, loam, clay	sandy, loam, clay, wide, organic	loam, clay	sandy, loam, clay, wide	sandy, loam, clay, organic	sandy, loam, clay
Soil Fertility	Optimal	high	moderate	high	moderate	moderate	moderate	moderate	low	moderate	moderate	high	moderate
	Absolute	low	low	moderate	low	moderate	low	low	low	low	low	moderate	low

CROPS		Maize	Pearl Millet	Rice	Sorghum	Cotton	Cashew	Mango	Shea Nut	Nere	Cowpea	Groundnut	Sesame
Soil Salinity (ds/m)	Optimal	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4
	Absolute	4 to 10	4 to 10	<4	4 to 10	4 to 10	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4
Soil Drainage	Optimal	well (dry spells)	well (dry spells)	poorly (saturated >50% of year)	well (dry spells)	well (dry spells)	well (dry spells)	well (dry spells)	well (dry spells)	well (dry spells)	well (dry spells)	well (dry spells)	well (dry spells)
	Absolute	well (dry spells)	well (dry spells), excessive (dry/moderately dry)	poorly (saturated >50% of year)	poorly (saturated >50% of year), well (dry spells), excessive (dry/moderately dry)	well (dry spells)	well (dry spells), excessive (dry/moderately dry)	well (dry spells), excessive (dry/moderately dry)	well (dry spells), excessive (dry/moderately dry)	well (dry spells)	well (dry spells), excessive (dry/moderately dry)	well (dry spells)	well (dry spells), excessive (dry/moderately dry)

ANNEXE VI. ETUDE DES CARACTERISTIQUES PHENOLOGIQUES DES MODELES DE CULTURES COURANTES

Le tableau ci-dessous présente un aperçu de 21 modèles organisés selon les cultures pour lesquelles ils sont conçus, bien que certains soient applicables à plusieurs cultures. Les cultures incluses dans cette étude sont le maïs, le sorgho, le niébé, la patate douce, le millet perlé, l'arachide, et le coton. Pour chaque modèle, les colonnes présentent le nom, les paramètres phénologiques, les caractéristiques générales et le type. Une dernière colonne inclut des sources d'informations plus détaillées sur les modèles. Une plus grande quantité d'informations plus spécifiques sur les principales cultures comme le maïs sont disponibles. Il y a moins d'informations disponibles sur les cultures relativement moins importantes comme la patate douce. Dans certains cas, les modèles sont très rudimentaires.

Les étapes phénologiques sont généralement stockées dans des modules à part, où les données sur des unités de plantes (génotypes) caractérisées dans le contexte de leur processus de développement sont recueillies. Le plus souvent, ces données sont composées de mesures des périodes de croissance au cours d'une période phénologique donnée. Ces points de données (mesures) sont utilisés en vue d'établir les prévisions des modèles en association avec des modules supplémentaires qui comprennent des variations climatiques, des données des sols, etc. Une étude de la documentation décrivant ces modèles suggère que, dans la plupart des cas, la façon la plus efficace d'augmenter la capacité de prédiction du modèle est d'utiliser des informations phénologiques plus précises et plus détaillées. Par exemple, une plus grande spécificité concernant les matériels de plantation développés dans les régions cibles et des données climatiques améliorées permettent l'élaboration de prévisions plus précises. Cependant, l'amélioration de la modélisation des cultures dans les pays africains nécessitera l'ajout d'ensembles de données supplémentaires actuellement non disponibles, comme les schémas de sols dans des contextes géographiques et des systèmes très variés.

TABLEAU AVI.I CARACTERISTIQUES PHENOLOGIQUES DU MAÏS

LE MAÏS				
Modèle de culture	Description générale du modèle	Type de modèle	Paramètres phénologiques	Sources
HYBRID-MAIZE	Hybrid-Maize est un programme informatique qui simule la croissance d'une culture de maïs (<i>Zea mays</i> L.) en conditions hydriques non-limitantes ou hydriques limitantes (pluviale ou irriguée) à partir de données météorologiques journalières.	Fondé sur le processus	<p>Quatre étapes de croissance sont légèrement différentes de celui du modèle CERES-Maize (Jones et Kiniry, 1986), plus précisément en ce qui concerne la fusion des étapes 1 et 2, en une étape. Les quatre périodes utilisées dans le modèle Hybrid-Maize sont les suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Etape 1 : de la levée à l'initiation paniculaire • Etape 2 : de l'initiation paniculaire à l'apparition des soies • Etape 3 : de l'apparition des soies au remplissage effectif des grains • Etape 4 : du remplissage effectif des grains à la maturité physiologique <p><u>Données supplémentaires</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Croissance foliaire et sénescence <p>Croissance du nombre et de la surface totale jusqu'à la floraison.</p>	<p>University of Nebraska-Lincoln. (2004). <i>Field Crops Research</i>, 87, 131–154.</p> <p>Jones, C.A., & Kiniry, J.R. (1986). <i>CERES-Maize: A Simulation. Model of Maize Growth and Development</i>. Texas A&M University Press: College Station, TX.</p>

LE MAÏS				
Modèle de culture	Description générale du modèle	Type de modèle	Paramètres phénologiques	Sources
			<ul style="list-style-type: none"> • Croissance de la tige et de l'épi Le modèle part du principe que la croissance de la tige commence au début de l'étape 2 jusqu'à la fin de l'étape 3, au début du remplissage effectif des grains. • Croissance des racines De l'émergence à la croissance des racines jusqu'à l'arrêt de croissance de celles-ci, peu après l'apparition des soies. • Remplissage des grains Le remplissage des grains est considéré comme un processus actif dans lequel les températures contrôlent le taux de remplissage quotidien. 	
Estimation des cultures par synthèse des ressources et de l'environnement (CERES)-MAIZE	Le modèle CERES-Maize est destiné à la simulation dynamique de croissance du maïs lorsqu'elle est influencée par les conditions climatiques, végétales et édaphiques ainsi que par certaines pratiques de gestion agricole.	Fondé sur le processus	<p>Les périodes de croissance générales étudiées dans les étapes phénologiques du modèle CERES sont les suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • l'ensemencement • la levée • l'initiation paniculaire 	<p>Carberry, P.S., Muchow, R. C. & McCown, R.L. (1989). Testing the CERES-Maize Simulation Model in a Semi-arid Tropical Environment. <i>Field Crops Research</i>, 20: 297-315.</p> <p>Soler, C. M. T., Sentelhas, P. C., & Hoogenboom, G. (2007).</p>

LE MAÏS				
Modèle de culture	Description générale du modèle	Type de modèle	Paramètres phénologiques	Sources
			<ul style="list-style-type: none"> • l'apparition des soies • la maturation <p>De façon plus spécifique, la phénologie de ce modèle est composée de neuf étapes :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. l'ensemencement 2. la germination 3. la levée 4. de la levée à la fin de la phase juvénile 5. de la fin de la phase juvénile à l'initiation paniculaire 6. de l'initiation paniculaire à la fin de la croissance foliaire et de l'apparition des soies 7. de l'apparition des soies au remplissage effectif des grains 8. remplissage effectif des grains 9. de la fin du remplissage des grains à la maturation physiologique 	<p>Application of the CSM-CERES-Maize model for planting date evaluation and yield forecasting for maize grown off-season in a subtropical environment. <i>Eur. J. Agron.</i> 27, 165–177.</p>

LE MAÏS

Modèle de culture	Description générale du modèle	Type de modèle	Paramètres phénologiques	Sources
AQUACROP¹ de la FAO	Le modèle projette une production végétale selon différents modes de gestion des ressources en eau (y compris régime pluvial, régime d'irrigation supplémentaire, déficitaire ou plein régime d'irrigation) dans des contextes de changements climatiques, actuels et futurs.	Modèle de processus	<p>AquaCrop présente les étapes phénologiques suivantes dans le modèle :</p> <ul style="list-style-type: none"> • levée et implantation • croissance végétative (allongement de la tige) • floraison (initiation paniculaire et apparition des soies) • formation du rendement • mûrissement <p>Il mesure également le développement de la zone racinaire (profondeur minimale et maximale et expansion des racines).</p> <p>Les valeurs normales de la température sont les suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Valeur de température inférieure (° C) = 8 	<p>Hsiao, T. C., Heng, L., Steduto, P., Rojas-Lara, B., Raes, D., & Fereres, E. (2009). AquaCrop-the FAO crop model to simulate yield response to water: III. parameterization and testing for maize. <i>Agronomy Journal</i>, 101(3), 448-459.</p> <p>FAO. (2010). Reference Manual, Annexes – AquaCrop, January 2010.</p>

¹ AquaCrop est un modèle général étant donné qu'il est conçu pour une vaste gamme de cultures herbacées, y compris le fourrage, les cultures de légumes, céréalières, fruitières, oléagineuses, ainsi que les racines et les tubercules.

LE MAÏS

Modèle de culture	Description générale du modèle	Type de modèle	Paramètres phénologiques	Sources
			<ul style="list-style-type: none"> • Valeur de température supérieure (° C) = 30 • Température minimale de l'air en dessous de laquelle la pollinisation commence à échouer (stress au froid) (° C) = 10 • Température maximale de l'air au-dessus de laquelle la pollinisation commence à échouer (stress à la chaleur) (° C) = 40 	
Modèle de simulation des systèmes de culture (CROPSYST)	CropSyst est un modèle de simulation pluriannuelle et multiculture de croissance à pas de temps journalier conçu comme un outil analytique permettant d'étudier les effets de la gestion des systèmes de culture sur la productivité et l'environnement.	Modèle de processus	<p>Les étapes phénologiques de croissance dans CropSyst sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> • la levée • la profondeur maximale des racines (à peu près en même temps que « la fin de la croissance végétative ») • la fin de la croissance végétative • le début de la sénescence (normalement légèrement plus tard que la « fin de la croissance végétative ») 	Stöckle, C.O., Martin, S., & Campbell, G.S. (1994). CropSyst, a cropping systems model: water/nitrogen budgets and crop yield. <i>Agric. Syst.</i> , 46, 335-339.

LE MAÏS				
Modèle de culture	Description générale du modèle	Type de modèle	Paramètres phénologiques	Sources
			<ul style="list-style-type: none"> la fin de la floraison le début du remplissage des grains la maturation physiologique 	
Simulateur de systèmes de production agricole (APSIM) - MAÏS	<p>Le modèle APSIM est un modèle de biomasse qui utilise l'efficacité d'interception de rayonnement pour déterminer l'accumulation quotidienne de biomasse.</p> <p>Le module APSIM-sorgho simule la croissance d'une culture de sorgho à pas de temps journalier (à partir d'une superficie de plantes et non pas de plantes uniques).</p>	Modèle de processus	<p>Les étapes phénologiques utilisées dans le modèle APSIM sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> l'ensemencement la germination la levée la fin de la phase juvénile l'initiation florale le développement des feuilles étandard (maïs et sorgho) le début du remplissage des grains la fin du remplissage des grains la maturation physiologique la récolte 	<p>Wang, E., Robertson, M., Hammer, G.L., Carberry, P., Holzworth D., Meinke, H., Chapman, SC., Hargreaves, J., Huth, N., & Campbell, G.S. (2002). Development of a generic crop model template in the cropping system model APSIM. <i>European Journal of Agronomy</i> 18, 121-140.</p> <p>Keating, B.A., Carberry, P.S., Hammer, G.L., Probert, M.E., Robertson, M.J., Holzworth, D., Huth, N.I., et al. (2003). An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. <i>European Journal of Agronomy</i> 18, 267-288.</p>
	Le modèle WOFOST simule la croissance journalière	Modèle de processus	Dans le modèle WOFOST, la phénologie est exprimée comme	Hijmans, R.J., Guiking-Lens, I.M., & van Diepen, C.A. (1994).

LE MAÏS

Modèle de culture	Description générale du modèle	Type de modèle	Paramètres phénologiques	Sources
Etudes alimentaires mondiales (WOFOST)	<p>d'une culture à laquelle on a assigné des données météorologiques et édaphiques spécifiques. Chaque simulation est réalisée dans des conditions limites sélectionnées et spécifiques qui prennent en compte le calendrier de la culture ainsi que la teneur en eau et en nutriments du sol.</p> <p>Ce modèle peut être utilisé pour estimer le rendement de la culture, indiquer la variabilité du rendement, évaluer les effets des changements climatiques ou des changements dans la fertilité des sols et déterminer les facteurs biophysiques limitants.</p>		<p>la phase de développement à variable sans dimension (DVS).</p> <p>Dans la plupart des cultures annuelles, le DVS est paramétré selon la numérotation suivante :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0 à la levée des semis • 1 à la floraison (céréales) • 2 à la maturation <p>Le taux de développement est cultivar/culture-spécifique et fonction de la température ambiante, probablement modifié par la photopériode.</p>	<p>WOFOST 6.0: User's Guide for the WOFOST 6.0 Crop Growth Simulation Model. Document technique 12.</p> <p>DLO Winand Staring Centre, Wageningen, Les Pays-Bas.</p>

TABLEAU AVI.2 CARACTERISTIQUES PHENOLOGIQUES, DU SORGHO

LE SORGHO				
Modèle de culture	Description générale du modèle	Type de modèle	Paramètres phénologiques	Sources
SORKAM	Le modèle SORKAM est un modèle de croissance des cultures fondé sur l'interception du rayonnement et qui crée un cloisonnement entre la biomasse et la surface foliaire en fonction des stades du développement de la plante. Le modèle simule le tallage du sorgho, la quantité de graines par talle et la masse moyenne par graine.	Modèle de processus	<p>Les étapes phénologiques étudiées dans le modèle SORKAM sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> • de la levée à la phase de différenciation de la croissance (GPD) • de la phase de différenciation de la croissance (GPD) à la fin du développement foliaire • de la fin du développement foliaire à l'anthèse • de l'anthèse à la maturation physiologique • après la maturation physiologique 	Rosenthal, W.D., Vanderlip RL, Jackson, B.S., & Arkin, A.F. (1989) SORKAM: A Grain Sorghum Crop Growth Model, TAES, Séries de documentation de logiciels, MP 16-69, Texas A & M University: College Station, TX.
LE CERES-SORGHUM	Le modèle Cérès-sorghum est un modèle de biomasse qui utilise l'efficacité d'interception du rayonnement pour déterminer l'accumulation journalière de biomasse.	Modèle de processus	<p>Les étapes de croissance du sorgho définies par le modèle CERES-SORGHUM sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> • avant l'ensemencement • de l'ensemencement à la germination • de la germination à l'apparition des semis 	<p>Jones, C.A., & Kiniry, J.R. (ed.) (1986) CERES-Maize: A simulation model of maize growth and development. Texas A&M Univ. Presse, College Station.</p> <p>Xie, Y., Kiniry, J.R., Nedbalek, V., & Rosenthal, W.D. (2001). Maize and Sorghum Simulations with CERES-Maize, SORKAM, and ALMANAC under Water-Limiting Conditions</p>

LE SORGHO

Modèle de culture	Description générale du modèle	Type de modèle	Paramètres phénologiques	Sources
			<ul style="list-style-type: none"> • de l'apparition des semis à la fin de la phase juvénile • de la fin de la phase juvénile à l'initiation paniculaire (IP) • de l'IP à la fin du développement foliaire • de la fin du développement foliaire au début du remplissage effectif des grains (EGF) • du remplissage effectif des grains à la maturation physiologique • de la maturation physiologique à la récolte 	<i>Agron. J.</i> , 93, 1148–1155., 1148-1155.
CROPSYST	CropSyst est un modèle de simulation pluriannuelle et multiculture de croissance à pas de temps journalier conçu comme un outil analytique permettant d'étudier les effets de la gestion des systèmes de culture sur la productivité et l'environnement.	Modèle de processus	<p>La phénologie observée de la culture sert de base à la détermination des conditions de temps thermique nécessaire à chaque étape phénologique.</p> <p>Les étapes phénologiques de croissance dans CropSyst sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> • la levée • la profondeur maximale des racines (normalement à peu 	Stöckle, C.O., Martin, S., & Campbell, G.S. (1994). CropSyst, a cropping systems model: water/nitrogen budgets and crop yield. <i>Agric. Syst.</i> , 46, 335-339.

LE SORGHO				
Modèle de culture	Description générale du modèle	Type de modèle	Paramètres phénologiques	Sources
			<p>près en même temps que « la fin de la croissance végétative »)</p> <ul style="list-style-type: none"> • la fin de la croissance végétative • le début de la sénescence • la fin de la floraison • le début du remplissage des grains • la maturation physiologique 	
APSIM-SORGHUM	<p>Le module APSIM-sorghum est un modèle de biomasse qui utilise l'efficacité d'interception du rayonnement pour déterminer l'accumulation journalière de biomasse.</p> <p>Le module APSIM-sorghum simule la croissance d'une culture de sorgho à pas de temps journalier (à partir d'une superficie de la plante et non pas d'une plante unique).</p>	Modèle de processus	<p>Les étapes phénologiques utilisées dans le modèle APSIM sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> • l'ensemencement • la germination • la levée • la fin de la phase juvénile • l'initiation florale • le développement des feuilles étendard (maïs et sorgho) • le début du remplissage des grains 	<p>Wang, E., Robertson, M., Hammer, G.L., Carberry, P., Holzworth, D., Meinke, H., Chapman, S.C., Hargreaves, J., Huth, N., Campbell, G.S. (2002). Development of a generic crop model template in the cropping system model APSIM. <i>European Journal of Agronomy</i> 18, 121-140.</p> <p>Keating, B.A., Carberry, P.S., Hammer, G.L., Probert, M.E., Robertson, M.J., Holzworth, D., Huth, N.I., et al. (2003). An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. <i>European Journal of</i></p>

LE SORGHO

Modèle de culture	Description générale du modèle	Type de modèle	Paramètres phénologiques	Sources
			<ul style="list-style-type: none">• la fin du remplissage des grains• la maturation physiologique la récolte	<i>Agronomy 18, 267-288.</i>

TABLEAU AVI.3 CARACTERISTIQUES PHENOLOGIQUES DU NIEBE

LE NIEBE				
Modèle de culture	Description générale du modèle	Type de modèle	Paramètres phénologiques requis	Sources
APSIM-NIÉBÉ	Le modèle APSIM a été développé en vue de simuler le processus biophysique des systèmes agricoles, en particulier lorsqu'ils influent sur les impacts économiques et écologiques des pratiques de gestion face aux risques climatiques. Il n'existe aucun document décrivant la validation du modèle APSIM-NIEBE.	Modèle de processus	<p>Les étapes phénologiques énumérées dans le modèle APSIM sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> • la germination • l'émergence des semis • la fin de la phase juvénile • l'initiation florale • le début de la phase linéaire du remplissage des grains • la fin de la phase linéaire du remplissage des grains • la maturation physiologique • la récolte <p>Ces étapes sont spécifiques à ce modèle. Elles doivent ainsi être adaptées au niébé.</p>	<p>Keating, B.A., Carberry, P.S., Hammer, G.L., Probert, M.E., Robertson, M.J., Holzworth, D., Huth, N.I., et al. (2003). An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. <i>European Journal of Agronomy</i> 18, 267-288.</p> <p>Carberry, P.S., Adiku, S.G.K., McCown, R.L. & Keating, B.A. (1996). Application of the APSIM cropping systems model to intercropping systems. In: O Ito, C Johansen, JJ Adu-Gyamfi, K Katayama, JVDK Kumar Rao, and TJ Rego (Eds.) Dynamics of Roots and Nitrogen in Cropping Systems of the Semi-Arid Tropics, pp. 637-648. Centre international de recherches des sciences agronomiques du Japon.</p>
CROPGRO-NIÉBÉ	Le modèle CROPGRO-NIEBE a été conçu pour stimuler la croissance et le développement de la culture du niébé.	Modèle de processus	<p>Le modèle CROPGRO est lancé avant ou au moment de la plantation. Le modèle étudie les étapes suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • la germination et la levée 	<p>Boote, K.J., Jones, J.W., Hoogenboom, G., et Pickering, N.B. (1998). Simulation of crop growth: CROPGRO model. In: G. Y. Tsuji, G. Hoogenboom, et P. K. Thornton, eds. Understanding</p>

LE NIEBE

Modèle de culture	Description générale du modèle	Type de modèle	Paramètres phénologiques requis	Sources
	<p>Ce modèle utilise les codes et la structure de CROPGRO, mais les paramètres d'entrée caractéristiques des dossiers de cultivars et d'écotypes ont été changés pour caractériser le niébé.</p>		<ul style="list-style-type: none"> • l'apparition de la première fleur • l'apparition de la première gousse • l'apparition de la première graine • la maturation physiologique • la récolte 	<p>Options for Agricultural Production, pp. 99–128. Kluwer Academic Publishers: Londres.</p>

TABLEAU AVI.4 CARACTERISTIQUES PHENOLOGIQUES DE LA PATATE DOUCE

LA PATATE DOUCE				
Modèle de culture	Description générale du modèle	Type de modèle	Paramètres phénologiques	Sources
MADHURAM	<p>Le modèle MADHURAM est un modèle de simulation de croissance développé pour la patate douce qui projette la phénologie de la culture en réponse aux facteurs environnementaux et calcule la production totale de matière sèche.</p> <p>Ce modèle peut être utilisé en vue de comprendre la performance de la culture dans de diverses conditions édaphiques et environnementales.</p>	Modèle de processus	<p>Ce modèle montre que les phases de croissance de la patate douce sont différentes de celles d'autres cultures à fleurs. La croissance est ainsi divisée en trois phases :</p> <p><u>La phase initiale</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • croissance abondante de racines fibreuses • dans cette phase, les lianes ont un taux de croissance modéré <p><u>La phase intermédiaire</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • les lianes se développent abondamment et rapidement • initiation des tubercules • augmentation très importante de la surface foliaire <p><u>La phase finale</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • grossissement des tubercules • croissance très faible des lianes et des racines fibreuses • au début, la surface foliaire reste constante, puis diminue 	Somasundaram, K., & Santhosh Mithra, V.S. (2008). Madhuram: A Simulation Model for Sweet Potato Growth. <i>World Journal of Agricultural Sciences</i> 4 (2), 241-254.

LA PATATE DOUCE				
Modèle de culture	Description générale du modèle	Type de modèle	Paramètres phénologiques	Sources
			<p>Ce modèle définit la température optimale de croissance de la patate douce à 25 °C.</p> <p>La température de base est calculée à 8,1 °C.</p> <p>La température la plus élevée à laquelle la patate douce se développe est estimée à 38 °C.</p>	
Simulation informatique de la patate douce (SPOTCOMS)	<p>Ce modèle est utilisé pour projeter la performance de la patate douce dans diverses conditions édaphiques et environnementales.</p> <p>Il projette la phénologie de la culture en réponse aux facteurs environnementaux, au stress hydrique, et au déficit ou à la carence potassique et azoté (e).</p>	Modèle de processus	<p>La croissance de la culture est divisée en trois phases :</p> <ul style="list-style-type: none"> • la première phase : de la plantation à l'initiation des racines • la phase intermédiaire : de l'initiation des racines au début de leur grossissement • la phase finale : du début du grossissement des tubercules à la récolte <p>Ce modèle définit la température optimale de croissance de la patate douce à 25 °C. La température de base est calculée à 8,1 °C.</p>	Santhosh Mithra, V.S. & Somasundaram, K. (2008). A Model to Simulate Sweet Potato Growth. <i>World Applied Sciences Journal</i> 4 (4), 568-577.

TABLEAU AVI.5 CARACTERISTIQUES PHENOLOGIQUES DU MILLET PERLE

LE MILLET PERLÉ				
Modèle de culture	Description générale du modèle	Type de modèle	Paramètres phénologiques	Sources
CERES-MILLET	<p>Le modèle CERES-Millet est un modèle de simulation de cultures qui évalue la croissance et le développement du millet (<i>Pennisetum spp.</i>).</p> <p>Le modèle peut être utilisé en vue d'estimer la production de millet pendant les saisons contrastées et ainsi d'établir des prévisions d'anomalies de la production.</p>	Modèle de processus	<p>Le modèle CERES-MILLET suit le modèle standard des étapes phénologiques du modèle CERES :</p> <ul style="list-style-type: none"> • avant l'ensemencement • de l'ensemencement à la germination • de la germination à l'apparition des semis • de l'apparition des semis à la fin de la phase juvénile • de la fin de la phase juvénile à l'IP • de l'IP à la fin de la croissance foliaire • de la fin de la croissance foliaire au début du remplissage effectif des grains • du remplissage effectif des grains à la maturation physiologique • de la maturation physiologique à la récolte 	<p>Thorntonay, P.K., Bowen, W.T., Ravelo, A.C., Wilkens, P.W., Farmer, G., Brock, J., & Brink, J.E. (1997). Estimating millet production for famine early warning: an application of crop simulation modeling using satellite and ground-based data in Burkina Faso. <i>Agricultural and Forest Meteorology</i> 83, 95-112.</p>

<p>Capture des ressources et efficacité de leur utilisation (RESCAP)</p>	<p>Le Modèle RESCAP a été développé principalement en vue de projeter la croissance et le rendement du millet perlé et du sorgho, prenant en compte un ensemble de données environnementales et de coefficients génétiques appropriés. Toutefois, il pourrait être facilement adapté à n'importe quelle céréale, ainsi qu'à n'importe quelle culture à graines.</p>	<p>Modèle de processus</p>	<p>Le calendrier phénologique dans le modèle RESCAP est divisé en trois étapes de croissance (GS) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • GS1 : de la levée à l'initiation paniculaire • GS2 : de l'initiation paniculaire à l'anthèse • GS3 : de l'anthèse à la maturation <p><u>Les valeurs normales de température sont les suivantes :</u></p> <p>La durée de chaque étape est indiquée en temps thermique (unités de degrés-jours) au-dessus d'une température de base de 7 °C.</p> <p>On estime la température moyenne journalière comme la moyenne des températures maximale et minimale, minutieusement rapportées - sauf lorsque la T maximum dépasse 38 °C, auquel cas il lui est assigné une valeur de 38 °C.</p>	<p>Virmani, S.M., Tandon, H.L.S., & Alagarswamy, G. (1989). <i>Modeling the Growth and Development of Sorghum and Pearl Millet</i>. Rapport technique. Institut de recherche internationale sur les cultures des zones tropicales semi-arides.</p>
---	---	----------------------------	--	--

TABLEAU AVI.6 CARACTERISTIQUES PHENOLOGIQUES DE L'ARACHIDE

L'ARACHIDE				
Modèle de culture	Description générale du modèle	Type de modèle	Paramètres phénologiques	Sources
PNUTGRO	<p>Le modèle PNUTGRO valide les effets du stress hygrométrique sur l'arachide ainsi que ses répercussions ultérieures sur les rendements.</p> <p>Le modèle PNUTGRO projette également les effets extrêmes du stress sur les autres caractéristiques biométriques de la culture.</p>	Modèle de processus	<p>Le modèle PNUTGRO décrit les étapes suivantes dans le modèle :</p> <ul style="list-style-type: none"> • la période de germination, de la plantation à la levée • la première pleine expansion foliaire • le début de la floraison • l'apparition de la première gousse • le début du remplissage des semences • la fin de la croissance et de l'expansion foliaire • la fin de la croissance et de l'expansion des gousses • la maturation physiologique • la maturation de la récolte <p>Les prévisions de stades de croissance au-delà de la formation des gousses seraient moins exactes car il est difficile d'observer les stades de croissance une fois que les</p>	<p>Singh, P., Boote, K.J., Rao, A.Y., Iruthayara, D., Sheikh, A.M., Hundal, S.S., Narang, R.S., & Singh, P.H. (1994). Evaluation of the groundnut model PNUTGRO for crop response to water availability, sowing dates, and seasons. <i>Field Crops Research</i>, 39 (2-3), 147-162.</p> <p>Boote, K.J., Jones, J.W. & Singh, P. (1992). <i>Modeling growth and yield of groundnut</i>. In: <i>Groundnut- A global Perspective: Proceedings of an International Workshop</i>, 25-29 Nov 1991, ICRISAT: Centre d'Asie, Patancheru.</p>

L'ARACHIDE				
Modèle de culture	Description générale du modèle	Type de modèle	Paramètres phénologiques	Sources
			<p>gousses ont commencé à se développer sous terre à cause de la nature indéterminée de la culture.</p> <p>Ce modèle propose les plages de températures ambiantes de suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • pendant les phases végétatives, une température de base de 13,5 °C, une plage de températures optimales de 28,0 à 35 °C, et des températures maximales de 55 °C. • de la levée à la floraison, Tbase = 9,5 °C et Topt = 27,2 °C. • de la floraison à l'initiation de gousses, Tbase = 9,5 °C et Topt = 25,8 °C. • du début de la croissance des semences à la maturation physiologique, Topt = 5,0 °C et Topt = 25,9 °C. <p>Cependant, il est important de noter que les températures de base et optimales sont étalonnées en utilisant des données phénologiques d'expériences précédentes ou d'autres bases de données.</p>	

L'ARACHIDE				
Modèle de culture	Description générale du modèle	Type de modèle	Paramètres phénologiques	Sources
PNUTMOD	Le modèle PNUTMOD simule à pas de temps journalier, l'accumulation de biomasse, la surface foliaire, la phénologie, et l'équilibre hydrique des sols d'une culture d'arachide, en dehors de toute limitation en nutriments.	Fondé sur les statistiques	Le modèle PNUTMOD est un modèle très simple qui utilise seulement trois phénophases : <ul style="list-style-type: none"> • l'expansion • la formation des gousses • le remplissage des gousses 	Boote, K.J., Jones, J.W., Hoogenboom, G., Wilkerson, G.G., Jagtap, S.S. (1989). PNUTGRO v. 1.02. Peanut Crop Growth Simulation Model Le Guide de l'utilisateur. Expérience agricole station de Floride séries du Journal No. 8420. Université de la Floride : Gainesville, FL., FL.
Modèle de systèmes de culture (CSM)-CROPGRO-PEANUT	Le modèle CSM-CROPGRO-Peanut a été développé en vue d'évaluer la performance du rendement et la stabilité des lignées d'arachide. Il peut être utilisé pour l'arachide.	Modèle de processus	Le modèle utilise le modèle de simulation des légumineuses CROPGRO. Le modèle CROPGRO est lancé avant ou au moment de la plantation. Le modèle étudie : <ul style="list-style-type: none"> • la germination et la levée • l'apparition de la première fleur • l'apparition de la première gousse • l'apparition de la première graine 	Suriharn, B., Patanothai, A., Pannangpetch, K., Jogloy, S., & Hoogenboom, G. (2006). Derivation of cultivar coefficients of peanut lines for breeding applications of the CSM-CROPGRO-Peanut model. <i>Crop Sci</i> 47, 605-619.

L'ARACHIDE				
Modèle de culture	Description générale du modèle	Type de modèle	Paramètres phénologiques	Sources
			<ul style="list-style-type: none"> • la maturation physiologique • la récolte 	

TABLEAU AVI.7 CARACTERISTIQUES PHENOLOGIQUES DU COTON

LE COTON				
Modèle de culture	Description générale du modèle	Type de modèle	Paramètres phénologiques	Sources
SUCROS-Cotton	Le modèle SUCROS-Cotton simule le développement et la croissance du coton sous l'influence de la température et du rayonnement.	Modèle de processus	<p>Le modèle SUCROS-Cotton décrit les étapes suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • de l'ensemencement à la levée • de la levée à la floraison • de la floraison à l'ouverture de la capsule <p>en plus des étapes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • de l'ensemencement à la floraison • de l'ensemencement à l'ouverture de la capsule 	Zhang, L., Van Der Werf, W., Cao, W., Li, B., Pan, X., Spiertz, J.H.J. (2008). Development and validation of SUCROS-Cotton: a potential crop growth simulation model for cotton. <i>NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences</i> 56 ½, 59-83.
GOSSYM/COMAX	Ce modèle simule la croissance du coton en fonction de conditions météorologiques, édaphiques, et de pratiques de gestion spécifiques. Les options de gestion incluent des stratégies de	Modèle de processus	<p>Le modèle GOSSYM/COMAX décrit les phases phénologiques suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • l'émergence de la plante • l'apparition des boutons floraux • la floraison 	<p>McKinion, J.M., Baker, D.N., Whisler, F.D., & Lambert, J.R. (1989). Application of GOSSYM/COMAX system to cotton crop management. <i>Agricultural Systems</i> 31, 55-65.</p> <p>Reddy, K.R., Kakani, V.G., McKinion, J.M., & Baker, D.N. (2002). Applications of a cotton simulation model, GOSSYM, for crop management, economic</p>

LE COTON				
Modèle de culture	Description générale du modèle	Type de modèle	Paramètres phénologiques	Sources
	fertilisation et d'irrigation.		<ul style="list-style-type: none"> le développement des capsules 	and policy decisions. In: L.R. Ahuja et al., editors, <i>Agricultural System Models in Field Research and Technology Transfer</i> . CRC Presse: Boca Raton, FL. p. 33–73.p. 33–73.
CROPGRO	CROPGRO est un modèle de culture de processus pouvant simuler les caractéristiques principales de la croissance et de la gestion du coton.	Modèle de processus	<p>Le modèle CROPGRO est lancé avant ou au moment de la plantation. Le modèle étudie :</p> <ul style="list-style-type: none"> la germination et la levée l'apparition de la première fleur l'apparition de la première graine la maturation physiologique la récolte 	<p>Gérardeaux, E., Sultan, B., Palai, O., Guiziou, C., Oettli, P., Naudin, K. (2013). Positive effect of climate change on cotton in 2050 by CO₂ enrichment and conservation agriculture in Cameroon. <i>Agronomy for sustainable development</i>, 33(3), 485-495.</p> <p>Messina, C., Ramkrishnan, P.B., Jones, J.W., Boote, K.J., Hoogenboom, G., Ritchie, J.T. (2004). A simulation model of cotton growth and development for CSM. In: Proc. Conférence sur la simulation des systèmes biologiques. Université de la Floride, Gainesville, FL, pp. 54–55.</p>

U.S. Agency for International Development

1300 Pennsylvania Avenue, NW

Washington, DC 20523

Tel: (202) 712-0000

Fax: (202) 216-3524

www.usaid.gov