



A. Identification du projet

— **Titre du projet : Caractérisation du potentiel de sorghos multi-usages au Sénégal et évaluation par les agriculteurs**

— **Zones d'exécution** : bassin arachidier (Nioro du Rip, Bambey)

— **Type de recherche** : recherche stratégique (et adaptative)

— **Thèmes prioritaires cibles et activités prévues** :

Développement de variétés de céréales adaptées aux conditions agro-écologiques en Afrique de l'Ouest et répondant aux besoins des utilisateurs (Thème 1). Sous-thèmes 2 (Résistance aux stress biotiques), 3 (Tolérance aux stress abiotiques) et 4 (Amélioration de la qualité)

Activités : analyse des fonctionnements et performances de sorghos multi-usages (nouveaux au Sénégal), évaluation par agriculteurs et promotion auprès agriculteurs et agro-industriels

— **Nom du coordonnateur de l'équipe** : Dr Bertrand MULLER (CERAAS/CIRAD)

— **Structure de tutelle du coordonnateur de l'équipe de recherche** :

ISRA-CERAAS : Centre d'Etude Régionale pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse, laboratoire de l'Institut Sénégalais de Recherche Agricole.

— **Institutions partenaires** :

CIRAD ; ICRISAT ; Organisations paysannes, sous couvert CERAAS ; IER et INERA par le biais ICRISAT

— **Coût du projet (XOF) 76 224 500 FCFA**

(soixante seize millions deux cent vingt quatre mille cinq cents francs CFA)

— **Durée : 3 ans** (Juin 2013 - Mai 2016)

B. Renseignements administratifs (Une page par partenaire)

Nom de l'organisation partenaire : CERAAS

Type d'organisation (cocher la case correspondante)

Institut de recherche	Université	Institut d'enseignement	Association	ONG	Autre (à préciser)
X					

Coordonnées de l'organisation

Adresse : BP3320 Thiès Escale, Thiès, Sénégal

Téléphone : +(221) 33 951 49 93/94

Fax : +(221) 33 951 49 95

Adresse électronique : ceraas@orange.sn

**NOM DU RESPONSABLE SCIENTIFIQUE DU PROJET
DANS LA STRUCTURE PARTICIPANTE : Dr Bertrand MULLER**

TITRE : Chercheur agronome, modélisateur, écophysiologiste

MONTANT DE LA CONTRIBUTION DEMANDEE PAR LA STRUCTURE (XOF) :

69 635 500 FCFA

*Je déclare que les renseignements fournis ci-dessus sont conformes et que le CERAAS
marque son accord pour participer à l'exécution du projet : Caractérisation du potentiel de
sorghos multi-usages au Sénégal et évaluation par les agriculteurs*

Personne autorisée à signer : Dr Ndiaga Cissé

Position dans l'organisation : Directeur

Prénom & Nom
Dr Ndiaga Cissé

Date
28 mars 2013

Signature



B. Renseignements administratifs (Une page par partenaire)

Nom de l'organisation partenaire : CIRAD

Type d'organisation (cocher la case correspondante)

Institut de recherche	Université	Institut d'enseignement	Association	ONG	Autre (à préciser)
X					

Coordonnées de l'organisation

Adresse : Av. Agropolis -TA A-108/01 - 34398 Montpellier Cédex 5 – France

Téléphone : +33 4 67 61 49 57

Fax : +33 4 67 61 57 42

Adresse électronique : myriam.adam@cirad.fr

NOM DU RESPONSABLE SCIENTIFIQUE DU PROJET
DANS LA STRUCTURE PARTICIPANTE : Myriam ADAM

TITRE : Chercheur agro-ecophysio modélisateur

MONTANT DE LA CONTRIBUTION DEMANDEE PAR LA STRUCTURE (XOF) :

3 256 000 FCA

Je déclare que les renseignements fournis ci-dessus sont conformes et que (Nom de l'organisation en toutes lettres) marque son accord pour participer à l'exécution du projet : (intitulé du projet).

Personne autorisée à signer : Daniel Barthélemy

Position dans l'organisation : Directeur du département BIOS du CIRAD, Montpellier, FRANCE

Prénom & Nom
Daniel Barthélemy



Date
27 Mars 2013

Signature



B. Renseignements administratifs (Une page par partenaire)

Nom de l'organisation partenaire : ICRISAT

Type d'organisation (cocher la case correspondante)

Institut de recherche	Université	Institut d'enseignement	Association	ONG	Autre (à préciser)
x					

Coordonnées de l'organisation

Adresse : Patancheru, Andhra Pradesh 502324, India

Téléphone : +91 40 30713071

Fax : +91 40 30713074

Adresse électronique : ICRISAT@cgiar.org

NOM DU RESPONSABLE SCIENTIFIQUE DU PROJET
DANS LA STRUCTURE PARTICIPANTE : Eva Weltzien

TITRE : Principal Scientist (sorghum Breeding and Genetic Resources)

MONTANT DE LA CONTRIBUTION DEMANDEE PAR LA STRUCTURE (XOF) : 5.000 Euro

Je déclare que les renseignements fournis ci-dessus sont conformes et que (Nom de l'organisation en toutes lettres) marque son accord pour participer à l'exécution du projet :

Personne autorisée à signer : Dr. G. Okwach

Position dans l'organisation : Principal Scientist and Officer in charge for the Regional Director, West and Central Africa

Prénom & Nom

Date

Signature

Dr. George Okwach

22 Mars 2013



C. Plan de rédaction des projets recherche stratégique

La police Arial Narrow taille 12, une interligne 1,5 ainsi que le nombre de pages indiquées par partie doivent être strictement respectés)

PARTIE ANONYME

Les points 1 à 9 devront être présentés sans mention ni de l'identité des scientifiques impliqués dans l'exécution du projet ni de leurs institutions. Au besoin, mentionner Institution 1, Institution 2, Institution 3, etc.).

1. INFORMATIONS GENERALES SUR LE PROJET (2 pages)

1.1. Titre du projet : Caractérisation des potentiels de sorgho multi-usages au Sénégal et évaluation par les agriculteurs

1.2. Domaine concerné : Ecophysiologie, Agronomie, Biochimie

1.3. Thème du WAAPP : Développement de variétés de céréales adaptées aux conditions agro-écologiques en Afrique de l'Ouest et répondant aux besoins des utilisateurs (Thème 1)

1.4. Sous-thème(s) du WAAPP : Résistance aux stress biotiques (sous-thème 2), Tolérance aux stress abiotiques (sous-thème 3) et Amélioration de la qualité (sous-thème 4)

1.5. Résumé :

Le sorgho est relativement moins cultivé au Sénégal que dans d'autres pays tels que Mali et Burkina Faso où il domine les zones nord et sud-soudaniennes dans lesquelles les producteurs cultivent une grande diversité de variétés locales. De nouvelles variétés de sorgho, aux avantages multiples, pourraient certainement être d'intérêt pour les populations locales et les industries agroalimentaires en développement au Sénégal.

En combinant des connaissances éco-physiologiques et biochimiques et les résultats des programmes de sélection du sorgho en Afrique de l'Ouest, nous nous proposons donc d'évaluer au Sénégal le potentiel de sorghos multi-usages, de comprendre leur fonctionnement pour appuyer les programmes de sélection, et de les faire connaître et évaluer par les agriculteurs.

Nous examinerons plus particulièrement le potentiel de ces différentes variétés à produire à la fois de la biomasse tige et grain de qualité intéressante. Nous collecterons des données agro-morphologiques dans le cadre d'essais agronomiques et nous procéderons à des analyses au laboratoire. Nous nous intéresserons à différents caractères d'intérêt tels que la longueur d'entre-nœud, les productions de biomasses tige, feuille et grain, ainsi que les compositions et qualités des tiges et des grains.

Suite à cette collecte de données, nous utiliserons un modèle de culture pour la définition d'idéotypes, i.e. sorgho multi-usages, combinant des traits d'intérêt tels que la production de grains de qualité (pour l'alimentation humaine et animale, et l'utilisation en agro-industrie) et la digestibilité des tiges, adaptés aux environnements cibles du Sénégal.

Les mêmes travaux seront conduits en réseau (avec nos partenaires) au Mali et au Burkina Faso afin de mieux caractériser les fonctionnements variétaux dans différents environnements.

Le projet permettra des progrès scientifiques et en termes de formation des ressources humaines locales, notamment en matière d'étude des interactions génotype-environnement (G*E) en appui à la sélection. Les formations d'un thésard sénégalais et de 3 masters sont prévues.

Le projet permettra aussi la promotion des sorghos multi-usages auprès des paysans et d'autres acteurs techniques et économiques, dont les agro-industriels.

1.6. Mots clés (8 au maximum) : sorgho multi-usages, productivité, modélisation, stress abiotiques, sécurité alimentaire, diversification, qualité, Sénégal

1.7. Durée : 3 ans à partir du démarrage du projet. Normalement : juin 2013 – mai 2016

2. CONTEXTE & JUSTIFICATION (3 pages)

Contexte général

Les zones soudano-sahéliennes d'Afrique de l'Ouest sont depuis toujours affectées par la variabilité importante inter- et intra-annuelle de la pluviométrie (Sivakumar, 1988). Les impacts se sont aggravés à partir de 1970 avec la diminution des précipitations, qui s'est traduit par une descente des isohyètes de près de 200 km et a bouleversé les systèmes et choix variétaux (Diop, 1996 ; Traoré et *al.*, 2000). Depuis plus de 15 années on assiste cependant à une remontée des précipitations, qui toutefois n'atteint pas les niveaux antérieurs, ni ne se traduit par un allongement de la saison des pluies, mais plutôt par une mauvaise répartition des pluies (Salack et *al.*, 2011). Même s'il est difficile de prédire si cette tendance perdurera, le changement climatique global se traduira par une variabilité tout aussi forte des précipitations, accompagnée de températures plus élevées (IPCC, 2007), conjecturant des risques importants de sécheresse et des incertitudes à gérer pour les cultures (Sultan et *al.*, 2013).

Les agriculteurs se sont adaptés aux risques par des systèmes naturellement « résilients » (Kouressy et *al.*, 2008 ; Tittonell et Giller, 2013), reposant sur des variétés de mil et sorgho adaptées aux faibles pluviométries, à leur variabilité (de par leur caractère photopériodique), à des sols pauvres, et ce avec une gestion prudente de la fertilité pour ne pas s'exposer trop fortement aux risques hydriques. Ces variétés sont robustes, de hautes tailles en général, et avec des indices de récolte faibles. L'amélioration variétale a cherché à répondre à la baisse des précipitations par le raccourcissement des cycles et la résistance à la sécheresse (Dingkuhn et *al.*, 2006), et en voulant augmenter la productivité des systèmes. Cependant les paysans ont faiblement adopté les variétés de la recherche et peu intensifié les cultures céréalières pluviales (Weltzien et *al.*, 2008).

Pourtant l'augmentation de la productivité est inéluctable, ce malgré le contexte climatique incertain et risqué, car la population africaine va croître d'un facteur 2,5 environ d'ici 2050. Les développements récents du maraîchage, du maïs et du riz, en lien avec la remontée de la pluviométrie, les tensions sur les marchés internationaux et l'évolution des demandes urbaines et des industries agroalimentaires, témoignent du dynamisme des agriculteurs.

Dans ce contexte risqué et changeant, le sorgho a une place plus importante à prendre au Sénégal où il est relativement peu cultivé comparativement au Mali et au Burkina Faso. Présent en Afrique de l'Ouest entre les isohyètes 400 et 1200mm, sa culture est concentrée au Sénégal dans le Centre-Sud et le Sud-Est, avec des superficies qui ont varié ces cinq dernières années entre 140.000 et 250.00 hectares pour des productions nationales allant de 90.000 à 250.000 tonnes (DAPS, 2012). De nouvelles variétés de sorgho, aux avantages multiples, pourraient certainement être d'intérêt pour les populations et les industries agroalimentaires. Elles contribueraient à la diversification des ressources possibles pour les

paysans, en particulier dans les zones recevant moins de 800 mm où elles représenteraient une solution moins risquée et moins exigeante en intrants que le maïs tout en restant assez productive, et apparaîtraient comme une stratégie d'adaptation pour les agriculteurs à la variation et au changement climatiques. Le développement de sorghos multi-usages contribuerait aussi à la « diversification et au développement de l'entreprenariat agricole pour répondre aux demandes alimentaires nationale et internationale » tel que cela est souhaité par l'Etat sénégalais avec la Grande offensive Agricole pour la Nourriture et l'Abondance (GOANA) lancée en 2008, et aux objectifs « d'amélioration de la sécurité alimentaire et des revenus des populations rurales » mis en avant dans la Loi d'Orientation Agro-Sylvo-Pastorale (LOASP) de 2004.

Etat de l'art

La variabilité phénotypique élevée du sorgho permet son utilisation pour des usages très divers. Le sorgho peut à la fois être utilisé pour l'alimentation humaine, ou animale, et sa paille (feuilles et tiges) valorisée pour l'alimentation animale et d'autres usages (Rattunde et al., 2011). De plus, depuis peu, la filière met aussi l'accent sur l'utilisation de la biomasse à des fins énergiques, essentiellement via le développement de nouveaux sorghos sucrés. L'intérêt du sorgho réside dans le fait que ces usages font intervenir différents organes de la plante, et donc le développement de variétés combinant la production de grains et de tiges permet aux paysans de valoriser cette culture pour leur subsistance ainsi que de diversifier leurs sources de revenus (Dicko et al., 2006). Les programmes de sélection du sorgho en Afrique de l'Ouest ont introduit des variétés améliorées de sorgho ayant différentes caractéristiques appréciées. Des variétés photopériodiques *guinée* de taille réduite et à indice de récolte amélioré furent développées pour répondre à l'intensification des zones cotonnières au Sud Mali (Weltzien et al., 2008) ; des variétés précoces (*i.e.* évitement de la contrainte hydrique) *caudatum* et *guinée* double usage (grain+fourrage) pour les zones agro-pastorales du Nord Burkina (vom Brocke et al., 2008 et 2010) et également au Sénégal ; et enfin des variétés semi-précoces *guinée* double usage (grain+fourrage ou autres usages) pour la zone nord-cotonnière à l'Ouest Burkina (Barro-Kondombo et al., 2008). Des sorghos multi-usages « sucrés-fourragers » ont aussi été développés au Mali, et diverses résistances (ravageurs) et adaptations aux stress sont intégrées dans des variétés élites du Mali (BC-NAM, Borrell et al., 2010). Au Sénégal des travaux sont en cours sur des sorghos de cycle court pour améliorer leur résistance aux moisissures paniculaires ainsi que la qualité de grains. On cherche en particulier à diminuer leur teneur en tanins afin de les rendre plus acceptables pour les consommations humaine et animale et l'agro-industrie (Cissé, com. pers.).

La diversification des productions du sorgho par la valorisation de différents organes de la plante (feuilles, tiges, grains) et de leurs composés biochimiques (cellulose, lignine, sucres), repose sur des mécanismes d'allocation des ressources carbonées entre ces compartiments et leur régulation par

l'environnement (par exemple déficit hydrique post-floral). La sélection de variétés dédiées à une ou plusieurs productions revient à sélectionner pour la capacité d'allouer la ressource carbonée aux compartiments cibles dans un environnement donné. Chez le sorgho, la hauteur de la plante, résultat du nombre et de la taille des entre-nœuds, caractère clé de la production de biomasse, met en jeu de tels mécanismes (Gutjahr et al., 2013b).

La compréhension des processus orchestrant ces allocations est essentielle pour expliquer le fonctionnement et la diversité des phénotypes et appuyer ainsi les recommandations de variétés en relation à l'environnement, et la conception de variétés à sélectionner pour l'avenir. Ainsi nous proposons d'étudier des géotypes contrastés en termes de sensibilité à la photopériode, de production de biomasses et de qualité des grains, afin de représenter la diversité existante et de mieux comprendre les mécanismes qui les déterminent. Dans ce cadre, une thèse est déjà en cours au Sénégal (Tovignan, 2012), faisant suite aux études de Gutjahr et al. (2013 a&b), pour caractériser l'effet de la photopériode et du déficit hydrique sur l'accumulation de sucres dans les sorghos sucrés.

Recherche pour le développement

Dans ce projet, nous proposons de compléter ce travail en étudiant des géotypes multi-usages plus centrés sur l'aspect qualité de fourrage et grain. L'objectif finalisé de cette caractérisation des sorghos multi-usages est de contribuer aux programmes d'amélioration variétale du sorgho au Sénégal pour répondre à une demande du secteur agricole pour la diversification des productions. En combinant des connaissances éco-physiologiques et les résultats des programmes de sélection du sorgho en Afrique de l'Ouest, nous proposons de caractériser au Sénégal le potentiel de variétés de sorgho multi-usages déjà connues en zone soudano sahélienne, de comprendre leur fonctionnement pour appuyer la sélection, de les faire évaluer par les agriculteurs et connaître des agro-industriels.

Nous adopterons une approche pluridisciplinaire associant étroitement l'agronomie, la physiologie, la biochimie, la sélection, et la modélisation, afin de l'intégrer dans les programmes de sélection des équipes des SNRA (Hammer and al., 2005). Ces recherches s'intégreront au sein d'un réseau d'expérimentations en Afrique de l'Ouest (ayant les mêmes protocoles et analyses implémentés dans les institutions partenaires) qui permettra d'étudier les interactions génotype-environnement (G*E). La caractérisation des variétés de sorghos s'appuiera à la fois sur des expérimentations et des outils de modélisation, afin de mettre en place un phénotypage performant.

Cette démarche offrira un potentiel de formation et un dynamisme importants dans le domaine de l'écophysiologie en appui à la sélection sur lequel l'institution porteuse voudrait investir plus. Les collaborations avec les autres équipes, en France et en Afrique de l'Ouest, permettront de renforcer sa dimension régionale, tout en investissant dans la formation et les structures présentes au Sénégal.

3. OBJECTIFS (1 page)

Nous proposons d'évaluer au Sénégal le potentiel de sorghos multi-usages, de comprendre leur fonctionnement pour appuyer les programmes de sélection, et de les faire connaître et évaluer par les agriculteurs. Nous évaluerons les performances des génotypes considérés en station (expérimentations en milieu contrôlé) et en milieu paysan (conditions semi-contrôlées). Nous étudierons des génotypes de sorgho multi-usages issues de programmes de sélection réalisés en Afrique de l'ouest. Ces génotypes seront des sorghos contrastés en termes de sensibilité à la photopériode, de biomasses, de qualité des grains, afin de représenter la diversité existante et de mieux comprendre les mécanismes qui les déterminent. Les mêmes travaux seront conduits en réseau (avec nos partenaires) au Mali et au Burkina Faso afin de mieux caractériser les fonctionnements variétaux dans différents environnements.

Les objectifs spécifiques sont :

1. Mettre en place au niveau régional ouest africain un réseau d'expérimentations coordonnées et complémentaires et une dynamique scientifique pour étudier les interactions génotype-environnement (G*E) des sorghos multi-usages;
2. Acquérir une meilleure compréhension du fonctionnement et des potentialités de sorghos multi-usages sous différentes conditions (potentiels, interactions « génotype-environnement », plasticité), notamment dans les régions cibles du Sénégal;
3. Contribuer à l'amélioration variétale du sorgho au Sénégal à travers une méthodologie intégrant expérimentation, compréhension des mécanismes, et modélisation, pour la définition d'idéotypes;
4. Contribuer à promouvoir le développement des sorghos multi-usages : les faire connaître des paysans et autres acteurs techniques et économiques (e.g. agro-industriels), et faire apprécier leur qualité (alimentation humaine, fourrage, autres usages);
5. Contribuer au développement des capacités humaines pour la recherche en sélection sorgho au Sénégal grâce aux retombées en termes de formation (doctorant, masters, chercheurs).

4. RESULTATS ATTENDUS (2 pages)

Le projet contribuera à une meilleure connaissance des sorghos multi-usages, tant sur les plans agronomique et scientifique, que de façon générale auprès des paysans et autres acteurs de la filière agricole, tels que les agents techniques de l'Etat, les responsables agricoles et des agro-industriels. La meilleure connaissance de leur fonctionnement et performances apportera des éléments utiles aux programmes de sélection variétale ainsi qu'aux programmes de développement agricole.

Plus spécifiquement, pour atteindre l'objectif 1 nous allons créer ou renforcer les interactions entre chercheurs travaillant autour de la problématique sorgho multi usages en Afrique de l'Ouest via la mise en place d'un réseau d'expérimentations et analyses similaires (R1.1) pour évaluer la variabilité du comportement de différents géotypes dans différents milieux via des protocoles cohérents.

L'objectif 2 concerne le fonctionnement de la plante. Sur la base des expérimentations de terrain et des analyses de laboratoire (cf. R1.1), on construira une base de données associant les caractères d'intérêt étudiés avec les informations sur les sols, les pratiques et les conditions climatiques (R2.1). De cette base de données, et notamment des informations sur les qualités et quantités des biomasses, nous établirons des courbes de réponse et relations entre longueurs d'entrenœuds, sensibilité à la photopériode, digestibilité des tiges, rendements en biomasses et grains, et qualité des grains (R2.2). On améliorera ainsi la connaissance des comportements et potentiels des sorghos multi-usages (R2.3).

Ces courbes de réponses (cf. R2.2) seront intégrées au sein de modèle de culture à base écophysologique afin de mieux rendre compte de la diversité variétale et de la plasticité phénotypique des sorghos multi-usages (R3.1). Via la calibration, validation et analyse de sensibilité des différents paramètres du modèle, nous pourrons évaluer des phénotypes virtuels par simulation et ainsi répondre à l'objectif 3 du projet, en identifiant des géotypes ayant des caractères combinant des caractères d'intérêt optimaux dans un environnement donné (définition d'idéotypes, R3.2).

Via la mise en place de champs de démonstration en milieu paysan nous pourrons recueillir les appréciations des agriculteurs et évaluer l'intérêt, de leurs points de vue, des différents géotypes. Nous communiquerons également sur les caractéristiques des sorghos avec les autres acteurs. Nous répondrons donc à l'objectif 4 qui vise à faire connaître ces nouvelles variétés de sorghos des paysans (R4.1) et autres acteurs techniques et économiques via des ateliers et autres communications sur la

qualité des pailles et grains, notamment pour l'agro-industrie (R4.2). En tenant compte des avis des paysans et autres acteurs, et des résultats scientifiques, nous pourrons faire des recommandations concernant les choix variétaux de sorgho multi-usages (R4.3) au Sénégal.

Enfin, nous pourrons remplir l'objectif 5 de renforcement des capacités humaines en recherche dédiée à la sélection au Sénégal via l'encadrement et l'implication de jeunes chercheurs au sein du projet (R5.1) et les formations dispensées (R5.2).

En synthèse les différents résultats attendus sont :

- Réseau de sites expérimentaux adaptés et dynamique scientifique régionale pour caractériser les performances des sorghos multi-usages (R1.1)
- Base de données contenant des informations sur les fonctionnements et les caractères d'intérêt étudiés, mises en relation avec les informations sur les sols, pratiques et conditions climatiques (R2.1)
- Etablissement des courbes de réponse et des relations entre caractéristiques (R2.2)
- Meilleure connaissance des comportements et potentiels des sorghos multi-usages (R2.3)
- Prise en compte des données, courbes de réponse et relations dans la modélisation pour valider le modèle et lui permettre de rendre compte de la diversité variétale et de la plasticité phénotypique des sorghos multi-usage (R.3.1)
- Evaluation des phénotypes et recherche des caractères d'intérêt optimaux pour différents environnements en appui à la sélection (définition d'idéotypes, R3.2)
- Connaissance des sorghos multi-usages par les paysans (R4.1)
- Connaissance des sorghos multi-usages par les acteurs techniques et économiques, dont les agro-industriels (R4.2)
- Recommandations de choix variétaux de sorghos multi-usages (R4.3)
- Formation approfondie d'un doctorant dans une démarche couplant la caractérisation fine des fonctionnements (écophysiologie et biochimie) et la modélisation au service de la sélection (R5.1)
- Formation de Masters, chercheurs et techniciens sur différentes techniques et formation/sensibilisation à la démarche couplant la caractérisation fine des fonctionnements (écophysiologie et biochimie) et la modélisation au service de la sélection (R5.2).
- Publications scientifiques (R5.3).

5. BENEFICIAIRES (1 page)

Préciser les bénéficiaires potentiels qui bénéficieront des résultats attendus du projet. On précisera également comment ils bénéficieront des résultats du projet. Cela résultera de la démultiplication et de la promotion des procédés, des systèmes ou des technologies développés par le projet.

Ce projet s'inscrit à l'interface des recherches stratégiques et adaptatives, ayant l'ambition de faire progresser les connaissances scientifiques tout en cherchant à promouvoir de nouvelles variétés de sorgho à usages multiples pour le bénéfice des agriculteurs et des filières agricoles.

En ce sens les principaux bénéficiaires finaux visés du projet sont les paysans des zones Soudano-Sahéliennes du Sénégal et des pays partenaires d'Afrique de l'Ouest (Mali, Burkina Faso).

En effet le projet apportera des connaissances de base sur les comportements et potentiels des sorghos multi-usages, utiles dès aujourd'hui pour conseiller le monde agricole et utiles également pour aider les programmes de sélection variétale, et fera connaître ces sorghos des paysans et des autres acteurs techniques et économiques susceptibles d'utiliser et promouvoir ces sorghos.

Les services de vulgarisation et d'appui bénéficieront donc aussi du projet, ainsi que les agro-industries.

Les autres bénéficiaires du projet seront les instituts de recherches locaux. La communauté scientifique bénéficiera des nouveaux savoirs générés sur la meilleure compréhension du fonctionnement du sorgho multi-usages, identifiant des caractères d'intérêt complémentaires ou opposés, en fonction de l'utilisation du sorgho. Ces traits seront aussi reliés à des caractérisations du milieu, qui donc nous permettra d'identifier dans quelles conditions un caractère s'exprime le mieux.

Enfin, le projet contribuera aussi à la formation et à l'encadrement d'étudiants locaux en les associant aux travaux de recherche : formation d'un thésard sénégalais et de 3 masters sénégalais.

6. DESCRIPTION DES ACTIVITES DU PROJET (maximum 1 page par activité)

Le programme du projet est structuré en six (6) activités principales, dont trois (3) scientifiques, une (1) de promotion, une (1) de formation et une (1) de coordination et management du projet, nécessaire à la bonne conduite du projet et à sa dimension régionale. Les trois activités scientifiques répondent à des objectifs spécifiques. Elles sont complémentaires, basées sur des expertises spécifiques, et permettent une organisation structurée des différentes tâches. Les deux premières activités scientifiques sont consacrées à l'acquisition de données, la troisième à l'analyse des données et synthèse de l'information.

Les 6 activités sont :

1. Essais agronomiques pour l'étude des comportements et potentiels variétaux
2. Analyses de laboratoire pour l'évaluation des qualités des biomasses
3. Synthèse et modélisation
4. Evaluation et promotion des variétés
5. Formation et renforcement des capacités humaines
6. Coordination et management du projet

1. Essais agronomiques pour l'étude des comportements et potentiels variétaux

Cette activité a pour objectif de réaliser des expérimentations au Sénégal, en parallèle à celles qui seront menées au Mali et au Burkina Faso, pour caractériser les comportements et potentiels de sorghos multi-usages. Au Sénégal deux essais seront mis en place en station (milieu contrôlé) : à Bambey et à Nioro du Rip et/ou Darou Pakhatiar à côté de Nioro.

Le choix des variétés se fera par/avec les programmes de sélection des NARS des 3 pays, pour avoir une base commune dans l'ensemble des expérimentations mises en place en Afrique de l'Ouest.

La mise en place des expérimentations et la collecte des données seront coordonnées par l'institution 1, en lien avec les équipes des institutions 2 et 3. Il y aura des missions d'échange sur le terrain pour maintenir une cohérence entre les différentes expérimentations mises en place au Sénégal, Mali et Burkina Faso.

En parallèle, une bonne caractérisation du milieu sera nécessaire, impliquant des analyses de sol et de bons suivis météorologiques.

Nous effectuerons des mesures de phénologie (nombre de feuilles, date de floraison, date de récolte), de suivi du développement foliaire via des mesures de LAI (leaf area index), ainsi que des mesures

destructives pour déterminer les biomasses au cours des cycles de culture. De cela découlera le calcul de l'efficacité d'utilisation du rayonnement. Selon les possibilités nous pourrions aller plus loin avec des mesures des paramètres de photosynthèse. Le but sera (i) d'étudier la variabilité des paramètres impliqués dans les processus de photosynthèse, au sein d'une population de sorgho contrastée et (ii) d'améliorer la prédiction des modèles de culture en apportant une meilleure connaissance des paramètres clés de la photosynthèse.

Cette activité aura lieu durant les 3 années du projet.

Pour son bon déroulement, nous encadrerons un doctorant qui supervisera la mise en place des expérimentations et la collecte des données au cours des trois saisons de pluie.

2. Analyses de laboratoire pour l'évaluation des qualités des biomasses

Cette activité a pour objectif principal de caractériser la composition biochimique des biomasses (tiges et grains) en termes de composition de la fibre ainsi que de la fraction soluble, teneur en protéines, tanin et autres. Dans cette optique des analyses en spectroscopie proche infra-rouge (SPIR) seront effectuées ainsi que d'autres en chimie humide. Sur le terrain des mesures destructives seront mises en place afin de prélever des échantillons destinés ensuite aux analyses SPIR. Ces échantillons seront séchés et broyés sur place. Dans un premier temps, les échantillons seront envoyés chez le partenaire 2 pour y réaliser les analyses car il possède déjà des équations de calibrations et pourra compléter par des analyses de référence. Il est envisagé de former ensuite des agents de l'institution 1 sur cette technique (matériel existant ou à acheter). D'autres échantillons seront prélevés et lyophilisés pour réaliser l'analyse des substances non structurales (carbohydrates, acides organiques...) par chimie humide sur place en étroite collaboration avec le partenaire 2.

Cette activité permettra de développer des capacités dans l'institution 1 pour réaliser des analyses SPIR et de référence. Cette activité engendrera des actions de formation sur les méthodologies à mettre en œuvre. La collecte des échantillons s'effectuera durant les trois saisons d'expérimentation, suivi de l'analyse des échantillons et des données (essentiellement la troisième année). La formation à la méthodologie à mettre en place s'effectuera en fin de la première année, voire début de la deuxième.

3. Synthèse et modélisation

Cette activité répondra à l'objectif 3. Elle aura pour principaux objectifs de faire la synthèse des résultats obtenus et de calibrer et adapter des modèles de cultures ayant une description fine des processus physiologique de la plante, pour définir des idéotypes de sorghos multi-usages. La calibration et validation du modèle permettra une analyse intégrative des données collectées dans les activités 1 et 2 et l'adaptation/amélioration du modèle de culture pour le sorgho multi-usages. Ayant défini la sensibilité

du modèle à différents paramètres, correspondant à des traits d'intérêt identifiés dans les expérimentations, il sera possible d'analyser des « trade-off » entre types de production pour définir des idéotypes mieux adaptés à la région. Un doctorant écophysiologiste-modélisateur analysera les données acquises lors des activités 1 et 2, et procèdera aux paramétrages du modèle. Il est prévu que ce doctorant, originaire du Sénégal, et qui reste à être identifié, soit financé par ce projet. Il effectuera l'analyse des données au fur et à mesure des collectes des données, mais se focalisera plus sur l'activité de modélisation lors de la deuxième et troisième année du projet. Cependant, une formation à la modélisation de culture, et plus particulièrement la prise en main du modèle à utiliser s'effectuera en première année, pour une meilleure compréhension des données à collecter.

NB : les rédacteurs ne dévoilent pas le nom du modèle principalement envisagé afin de respecter les conditions d'anonymats

4. Evaluation et promotion des variétés

Cette activité répondra à l'objectif 4. Elle aura pour principale tâche d'effectuer des évaluations des variétés avec les producteurs pour connaître leur intérêt pour les variétés proposées et, pouvoir alors les promouvoir, du moins certaines. Cela s'effectuera en lien direct avec les organisations paysannes et en concertation avec les sélectionneurs sorgho, experts de la sélection participative. Des « journée-ateliers » d'évaluation en fin de saison de culture seront mis en place, et avec les agriculteurs nous déciderons de différentes variétés à ressemer l'année suivante.

Aussi des réunions réunissant les différents acteurs de la filière agro-industriels seront mises en place, pour communiquer les résultats des recherches et notamment informer les industriels de la qualité à la fois du grain, mais aussi des pailles des différentes variétés caractérisées. Ces actions se dérouleront essentiellement en année 2 et 3 du projet.

5. Formation et renforcement des capacités humaines

Cette activité découlera naturellement des autres, tout au long du projet.

Elle se concrétisera par :

- la formation d'un doctorant sénégalais aux méthodes et outils techniques, écophysiologiques, biochimiques et de modélisation développés dans le projet ;
- l'acquisition par les chercheurs de l'institution 1 de ces mêmes méthodes et outils ;
- la formation à la recherche de différents étudiants en Master de science et/ou d'agronomie ;
- l'amélioration des connaissances sur les potentialités des sorghos par les agents du développement agricole ;

6. Coordination et management du projet

Cette activité permettra la coordination globale du projet et facilitera donc l'échange d'informations entre les différents partenaires responsables de différentes tâches, tout au long du projet. Elle assurera le respect de la programmation des différentes activités. Elle permettra de relever les difficultés quand elles se présentent et d'y pallier au plus vite pour une bonne exécution de l'ensemble des tâches qui en découleraient.

Cette activité s'appuiera sur le cadre logique et le chronogramme du projet. Elle favorisera : (i) l'échange d'information, (ii) l'établissement de besoin de formation technique ou scientifique, (iii) la discussion sur les méthodologies à partager entre les différents sites d'expérimentations, et enfin (iv) la planification les activités de l'année à suivre.

7. METHODOLOGIE (1 page par activité)

Activité 1 : Essais agronomiques pour l'étude des comportements et potentiels variétaux

Un dispositif expérimental tenant compte de deux dates de semis et de 6 à 8 génotypes sera mis en place au Sénégal (et dans les autres pays), à Bambey en conditions optimale et avec irrigation, et à Nioro ou Darou Pakhatiar (milieu semi-contrôlé). Les génotypes seront choisis selon leur expression phénotypique contrastée connue (longueur d'entrenœud, sensibilité à la photopériode, digestibilité des tiges), en concertation avec les sélectionneurs sorgho. Une dizaine de variétés ont déjà été pré-identifiées. Ces expérimentations suivront des protocoles statistiques rédigés avec les institutions 2 et 3 qui mettront en place des essais similaires au Burkina Faso et Mali. Les dispositifs se déclineront en blocs avec 4 répétitions, et les parcelles élémentaires seront constituées de 7 lignes de 8 m de long, avec un écartement de 0,80 m entre lignes et de 0,20 m entre poquets. On appliquera la fumure recommandée, à savoir 100 kg/ha NPK au semis, et 50 kg/ha urée à montaison. Un démariage à 1 plante par poquet une dizaine de jours après la levée sera effectué.

Les données pluviométriques et météorologiques seront collectées sur place grâce aux équipements déjà présents. Des prélèvements de sols seront effectués pour déterminer les paramètres de base (texture, teneur en azote et en matière organique). Les humidités du sol seront suivies via des sondes Diviner tout au long des cycles.

Nous collecterons au cours des cycles des données agro-morphologiques correspondant à différents caractères d'intérêt tels que la longueur du cycle (dates floraison et maturité), longueur d'entrenœud, nombre de feuilles (tige principale), les biomasses tiges, feuilles et enfin les biomasses « grains » pour déterminer les rendements. Nous relèverons 1 fois par semaine sur 4 plantes suivies par parcelle : i. phyllochrone (nombre de feuilles apparues, ligulées vertes), ii. tallage (apparition, rang, mortalité), iii. taille des feuilles (longueur largeur de limbe de la dernière feuille ligulée en notant son rang).

Les rayonnements PAR incidents et transmis seront mesurés sur chaque placette à l'aide du SunScan (et capteur Externe BF5 pour PAR incident). Le SunScan sera positionné diagonalement sur l'interligne de 4 plantes par parcelle qui seront ensuite prélevées pour déterminer la biomasse de la plante pour le calcul d'efficacité d'utilisation du rayonnement (RUE). Les mesures d'interception étant ponctuelles (1fois/semaine), sans enregistrement continu, nous considérerons par simplification que le rayonnement absorbé est égal au rayonnement intercepté $((1-LTR) * PAR)$.

Les mesures de photosynthèse seront réalisées avec le Li-Cor 6400 basé à l'institution 1. Les paramètres directement en lien avec le potentiel photosynthétique (V_{cmax} , J_{max} , TPU, $G_m...$) seront relevés. Ces mesures seront couplées à des données de fluorescence chlorophyllienne acquises

simultanément, permettant d'avoir des renseignements complémentaires sur le fonctionnement de l'appareil photosynthétique.

En complément des mesures non-destructives, nous prélèverons donc 4 plantes par parcelles (plantes où le PAR a été mesuré) sur un rythme hebdomadaire. Cela permettra la caractérisation de la croissance des plantes et les calculs des RUE. Les « placettes » de 4 plantes auront été identifiées au départ. Les données de rayonnement solaire fournies par la station météo seront utilisées pour déterminer les cumuls de rayonnements absorbés sur les périodes de mesures (en principe 1 semaine). La biomasse sèche (g/m^2) sera obtenue par séchage à l'étuve (72h à 70°C). La RUE (g/MJ) sera estimée par la pente de la régression entre le PAR cumulé et l'augmentation de matière sèche aérienne par unité de surface au sol sur une période entre T1 et T2 (ici une semaine).

NB : les rédacteurs s'excusent de la longueur relative du texte décrivant l'activité 1 (supérieure à 1 page), mais il s'agit de l'activité de base dont beaucoup d'éléments découlent, et la plus lourde sur le plan expérimental. En contrepartie la description des autres activités est beaucoup plus courte et l'ensemble est bien inférieur au possible autorisé.

Activité 2 : Analyses de laboratoire pour l'évaluation des qualités des biomasses

Dans cette activité, nous examinerons plus particulièrement la composition des tissus des entrenœuds pour les différents génotypes testés, ainsi que la qualité des grains. Pour cela, nous collecterons des données biochimiques au cours du cycle de culture et à la récolte, correspondant à différents caractères d'intérêt tels que la digestibilité de la tige via des indicateurs tels que la composition en fibres, ou la teneur en équivalent « bioéthanol » par la détermination de la composition en sucres solubles ou de réserves.

Les prélèvements se feront sur les plantes coupées pour les mesures de biomasse. Sur chacune 2 entrenœuds (a priori rangs 12 et 16) seront prélevés de façon distincte : ils permettront d'individualiser par répétition et par entre nœud un échantillon pour l'analyse SPIR qui sera mis à l'étuve 72h à 65°C et l'autre pour les glucides non structuraux et autres molécules solubles qui sera lyophilisé sur place. Les échantillons SPIR seront broyés (1 mm) à l'aide d'un broyeur à couteau. L'acquisition des spectres proche infra-rouge à partir des poudres sera ensuite réalisée par le partenaire 2. Actuellement un certain nombre de calibrations, modèle reliant certaines caractéristiques spectrales et la teneur en molécules cibles, sont disponibles. Cependant pour optimiser et valider la calibration dans le cadre de cette expérience quelques analyses de composition de fibre type Van Soest en chimie humide seront nécessaires. Les calibrations disponibles principalement concernent la teneur en fibres totales, en cellulose et hemicelluloses et en lignines. Concernant les échantillons lyophilisés analysés sur place, après broyage, l'extraction des molécules solubles sera réalisée par de l'éthanol à 70°C . Après

évaporation du solvant et réhydratation avec de l'eau ultrapure la détermination des molécules d'intérêt sera réalisée. Les méthodes utilisées font appel à la spectrophotométrie UV/Visible par colorimétrie ou par voies enzymatiques indirectes (il s'agit par des réactions successives de produire une molécule absorbante qui sera reliée à la quantité de molécule initiale d'intérêt non absorbante). Les méthodes de chromatographie liquide haute performance (HPLC) pourront également être employées avec les colonnes et les détecteurs adéquates en fonctions des molécules étudiées. Concernant les carbohydrates non structuraux (mono et di-sacharides, amidon, acides organiques...) les deux types de méthodologies pourront être utilisées.

Pour ce qui concerne les grains, nous étudierons leurs teneurs en tanins, en protéines (azote), matières grasses, fibres brutes et amidon, ainsi que leur dureté.

Activité 3 : Synthèse et modélisation

Suite à cette collecte de données, nous analyserons les données pour identifier des relations entre les différents caractères mesurés pour avoir une meilleure compréhension éco-physiologique du fonctionnement de la plante. Cette analyse, nous conduira à la définition de courbes de réponse des traits d'intérêt et à la caractérisation de la diversité génotypique de ces traits. A terme, nous identifierons s'il existe des proxys de la digestibilité comme la longueur et la circonférence des entre-nœuds individuels, ou encore le taux de recouvrement des entre-nœuds par les gaines.

La modélisation permettra de formaliser, dans un modèle de culture simulant les productions ciblées du sorgho, différentes courbes de réponse définies par l'écophysiologie et la biochimie à différentes échelles biologiques afin d'intégrer leurs effets à l'échelle du couvert (ou de la plante entière) et sur la période d'intérêt (cycle de culture). De plus, ces données nous permettront de calibrer, valider et donc aussi améliorer un modèle de culture intégrant ces différents caractères mesurés.

En utilisant le modèle, les conséquences des interactions G x E seront prédites. Le modèle permettra d'expliquer la variabilité des phénotypes de sorgho en termes d'allocation, production et composition des biomasses. A partir d'une analyse de sensibilité de paramètres clés, correspondant à des traits d'intérêt identifiés dans les expérimentations, il sera possible d'analyser des « trade-off » entre types de production pour définir des idéotypes mieux adaptés aux environnements. Ainsi nous définirons des génotypes ayant des caractères combinant des traits d'intérêt pour le sorgho multi-usages, tels que la production et la qualité des biomasses.

NB : les rédacteurs ne dévoilent pas le nom du modèle principalement envisagé afin de respecter les conditions d'anonymat.

Activité 4 : Evaluation et promotion des variétés

L'introduction de ces variétés en milieu paysan contribuera à promouvoir leur développement, à faire connaître et apprécier leur qualité (alimentation humaine, fourrage, autres usages). La zone d'intervention retenue sera la zone « Centre Nord » du Sénégal, entre Nioro et Kaolack, sur un gradient pluviométrique de 700 à 800 mm.

Les modalités de mise en place des parcelles de démonstration seront discutées avec les OPs présentes sur place, et les sélectionneurs sorgho spécialistes de la sélection participative.

Des journées de visite des essais et des parcelles de démonstration seront organisées. Les évaluations permettront de savoir quelles variétés il faudra ressemer en milieu paysan l'année suivante.

Les agents locaux du développement agricole et rural (SDDR, ANCAR) seront invités.

Le projet communiquera aussi avec les agro-industries de Dakar au sujet des caractéristiques physico-chimiques des grains et biomasses. Des contacts seront également établis avec d'autres projets et initiatives visant à développer les filières locales et l'agro-industrie à base des productions locales.

Un atelier final sera organisé pour communiquer, échanger et débattre au sujet des informations développées par le projet et des perspectives qu'elles pourraient ouvrir.

Ces actions se dérouleront essentiellement en années 2 et 3 du projet.

Activité 5 : Formation et renforcement des capacités humaines

Cette activité engendrera à la fois la formation d'étudiants Sénégalais, et l'acquisition d'outils et de méthodologies par les chercheurs de l'institution 1.

Dès l'annonce de la possibilité de développer le projet on lancera une campagne de recherche d'un bon candidat sénégalais pour la thèse pressentie. Cela se fera au Sénégal et à l'international. La sélection se fera sur des critères d'excellence.

Le candidat sera basé dans les locaux du partenaire 1.

Les étudiants en Master seront sélectionnés chaque année auprès des écoles d'agronomie et/ou universités (biologie végétale).

Pour le renforcement des capacités scientifique de l'institution 1 nous envisageons des missions dans l'institution 2 pour la meilleure compréhension des méthodologies à mettre en place.

Il y aura également des missions d'appui et formation d'experts de l'institution 2 vers l'institution 1.

Activité 6 : Coordination et management du projet

Des réunions régulières (avant la mise en place des expérimentations, à mi saison de culture et après la récolte) devront être planifiées pour assurer le bon déroulement du projet. Le responsable de cette activité sera en charge : i. de l'administration du projet, ii. de la consolidation des rapports annuels du

projet, iii. de l'assistance aux différents partenaires du projet sur les différentes tâches inhérentes au projet, iv. la communication interne au sein du projet.

De plus, un atelier chaque année (Nov-Dec-Jan) sera mise en place, avec les différents partenaires des différents sites, pour faire le point sur la saison passée, présenter l'analyse des résultats préliminaires, et planifier (i.e. ajuster les protocoles) les activités à venir pour la saison qui suit.

Cette activité permettra la cohésion globale du projet, mettant en avant sa dimension régionale par une co-coordination avec les différents responsables de sites.

8. VALORISATION ET DIFFUSION DES RESULTATS (1 page)

Préciser comment les résultats du projet seront valorisés et diffusés en identifiant les activités, les cibles, les supports et les mesures d'accompagnement.

La valorisation et la diffusion des activités se fera essentiellement par :

- La rédaction et la publication d'articles scientifiques : ils porteront sur des problématiques développées dans le cadre du projet. De plus, plusieurs communications seront présentées lors d'ateliers, séminaires et colloques nationaux et internationaux.
- La formation : d'une part, la formation à différents techniques de mesures en écophysiologie et en biochimie valorisera et renforcera les capacités humaines et techniques déjà en place dans l'institution 1. D'autre part, l'encadrement d'un doctorant et de stagiaires en masters (issus idéalement de l'ENSA) consolidera la capacité en recherche au Sénégal.
- L'information de paysans et représentants d'organisations paysannes (OPs). Les OPs auront pour principal rôle de diffuser les connaissances acquises lors du déroulement du projet à la majorité de ses membres et des autres organisations de producteurs. Cela se fera lors des journées d'évaluation et lors de l'atelier final.
- L'information des agents du développement agricole (SDDR, ANCAR). Lors des journées d'évaluation et lors de l'atelier final.
- L'information d'agro-industriels au sujet des caractéristiques des grains et biomasses. Par des contacts, réunions, et lors de l'atelier final.

9. ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE ET SOCIALE DU PROJET (1 page)

Résumer les impacts environnementaux et sociaux majeurs positifs et négatifs ; résumer les mesures de gestion environnementale et sociale prévues (sous forme de recherche additionnelle ou de façon inclusive dans le projet de recherche), les besoins en capacités, les responsabilités institutionnelles et les coûts y afférents.

Le projet ne devrait pas avoir d'impact environnemental négatif, en particulier en termes de pollution ou dégradation.

Par contre sur le plan de la biodiversité il ne peut potentiellement qu'être positif puisqu'il contribuera à introduire de nouveaux génotypes, déjà cultivés ailleurs en Afrique de l'Ouest, et qui ne présentent aucun danger particulier (en particulier ce ne sont pas des OGMs).

Aucune mesure préventive ou de protection ne sont donc à considérer.

Sur le plan social le projet ne pourra avoir que des retombées directes positives, que ce soit par les emplois temporaires générés (main d'œuvre temporaire en station et en milieu paysan), les formations diplômantes, le renforcement des capacités humaines, et la diffusion d'informations utiles auprès des agriculteurs, agents du développement, agro-industriels et scientifiques.

A moyen et longs termes les retombées attendues sont positives puisqu'il s'agit d'élargir les options culturelles des agriculteurs pour leur permettre de diversifier leurs ressources. Parallèlement l'ambition du projet est de convaincre les agro-industries des intérêts de certains sorghos et cela ne pourra que contribuer à améliorer la balance commerciale du Sénégal (et des autres pays).

PARTIE IDENTIFIEE

10. ÉCHEANCIER ET PLAN D'EXECUTION TECHNIQUE (5 pages)

Décrire les activités planifiées avec leur durée et un chronogramme; faire apparaître la répartition des tâches entre les partenaires associés ; préciser les travaux en collaboration avec les utilisateurs ; indiquer les stratégies de diffusion et de valorisation des résultats ; indiquer les stages, voyages d'étude, formations de courte durée,...).

Dans cette partie, on indiquera également les mécanismes pour la collaboration entre tous les partenaires. Les aspects comme la planification, le suivi, les responsabilités, les rôles et le rapportage doivent être expliqués.

Le projet sera coordonné par Dr Bertrand Muller (CERAAS/CIRAD).

Le coordinateur sera responsable de la bonne exécution du projet, des rapports à rendre et de la communication auprès du bailleur et des instances d'évaluation.

Le fonctionnement général du projet bénéficiera de la participation de Dr Ndiaga Cissé (Directeur CERAAS) compte tenu de son importante expérience du sorgho au Sénégal et à l'international.

Le déroulement prévu des activités est décrit dans les 2 pages suivantes dans un « tableau-chronogramme ». Les différentes tâches des activités sont détaillées. Les institutions impliquées pour chaque tâche sont indiquées, sachant que la première citée est l'institution responsable.

Les échanges annuels prévus sur l'Afrique de l'Ouest (du Sénégal vers le Mali et/ou Burkina Faso, et inversement) seront l'occasion de réunions de travail (mini-ateliers) pour coordonner le projet et renforcer les dynamiques scientifiques régionales autour de la problématique des sorghos multi usages et également en écophysiologie, biochimie et modélisation au service de la sélection variétale.

Les 3 stages prévus d'étudiants en Master sont indiqués dans le tableau-chronogramme. Les étudiants stagiaires seront supervisés par le doctorant et les chercheurs responsables.

Les actions de formation correspondent aux tâches 5.3, 5.4 et 5.5. Il est prévu 2 missions du doctorant au CIRAD pour acquérir auprès de Anne Clément Vidal et Denis Fabre les compétences nécessaires en écophysiologie et biochimie. Il pourra également échanger avec d'autres scientifiques. Il y aura aussi 1 mission de Denis Fabre au Sénégal qui permettra de former différentes personnes (doctorant, techniciens, chercheurs) sur des mesures écophysiologiques fines et de vérifier les bons

fonctionnements des équipements. Il y aura enfin une mission de Myriam Adam pour former le doctorant en modélisation.

L'activité d'évaluation et promotion des variétés (activité 4) sera développée en s'appuyant sur les expériences passées de l'ISRA et du CERAAS de collaboration avec des organisations paysannes (OPs) et les organismes du développement agricole et rural : RESOPP, SDDR, ANCAR, COPROSA (Coopératives semencières), etc. De même l'ISRA et le CERAAS ont déjà établi des contacts avec des agro-industriels, que ce soit pour le mil (travaux sur le Thialack) ou le sorgho (com. pers. Cissé). Des contacts seront pris également avec le Projet Croissance Economique de l'USAID (USAID-PCE) qui travaille à développer les filières locales et l'agro-industrie à base des productions locales.

Tableau-chronogramme des activités et tâches du projet (activités scientifiques) :

Activités	Tâches		Institutions en charge	2013			2014				2015		2016
				MAI-JUIN	TRIM 3	TRIM 4	TRIM 1	TRIM 2	TRIM 3	TRIM 4	SEM 1	SEM 2	SEM 1
1. Essais agronomiques pour l'étude des comportements et potentiels variétaux	1.1	définition des protocoles	CERAAS/CIRAD/IC RISAT										
	1.2	vérification des équipements	CERAAS										
	1.3	prélèvements sol	CERAAS										
	1.4	mise en place des essais	CERAAS										
	1.5	mise en place tubes DIVINER	CERAAS										
	1.6	suivi des essais (observations, mesures)	CERAAS										
	1.7	mise au propre des données	CERAAS										
2. Analyses de laboratoire pour l'évaluation des qualités des biomasses	2.1	collecte des échantillons	CERAAS										
	2.2	Analyses laboratoire	CIRAD/CERAAS										
	2.3	mise au propre des données	CERAAS										
3. Synthèse et modélisation	3.1	constitution de la base de données	CERAAS/CIRAD/IC RISAT										
	3.2	analyse (courbes de réponse)	CERAAS/CIRAD										
	3.3	ajustement du modèle	CERAAS/CIRAD										
	3.4	calibration/validation du modèle	CERAAS/CIRAD										
	3.5	exploration d'idéotypes	CERAAS/CIRAD										
	3.6	rédaction de publications	CERAAS/CIRAD/IC RISAT										

Suite tableau-chronogramme (activités promotion, formation et coordination) :

Activités	Tâches	Institutions en charge	2013			2014				2015		2016
			MAI-JUIN	TRIM 3	TRIM 4	TRIM 1	TRIM 2	TRIM 3	TRIM 4	SEM 1	SEM 2	SEM 1
4. Evaluation et promotion des variétés	4.1 choix des variétés	CERAAS/ICRISAT/CIRAD										
	4.2 définition des protocoles avec les OPs	CERAAS/ICRISAT										
	4.3 mise en place et suivi des parcelles	CERAAS										
	4.4 journées de visite	CERAAS										
	4.5 évaluation des variétés par les paysans	CERAAS/ICRISAT										
	4.6 communication aux agro-industries	CERAAS										
	4.7 atelier de restitution des résultats	CERAAS/ICRISAT/OPs										
5. Formation et renforcement des capacités humaines	5.1 recherche et sélection du doctorant	CERAAS/CIRAD										
	5.2 encadrement stagiaires MSc	CERAAS										
	5.3 missions France du doctorant	CERAAS										
	5.4 formation NIRS+ photosynthèse	CIRAD										
	5.5 formation modèle	CIRAD										
6. Coordination et management du projet	6.1 suivi et coordination des activités	CERAAS										
	6.2 rédaction des rapports annuels	CERAAS/CIRAD/ICRISAT										
	6.3 échanges Sénégal -> AO (cohérence régionale)	CERAAS										
	6.4 échanges AO -> Sénégal (cohérence régionale)	ICRISAT										
	6.5 RAPPORT FINAL	CERAAS/ICRISAT/CIRAD										

11. CADRE LOGIQUE (2 pages)

Logique d'intervention	Indicateurs Objectivement Vérifiables	Sources de Vérification	Hypothèses & Risques
<p>Objectifs global Caractériser fonctionnements et potentiels et évaluation par agriculteurs de sorghos multi-usages au Centre-Nord du Sénégal, en lien avec des travaux similaires menés au Burkina Faso et au Mali</p>	<p>Meilleure connaissance scientifique des sorghos multi-usages Connaissance par les agriculteurs et autres acteurs</p>	<p>Rapports Publications</p> <p>Rapports Atelier Notes d'information</p>	<p>Disponibilité adéquate des budgets (DAB) Bonne coordination entre partenaires (BCP)</p>
<p>Objectif Spécifique 1. Mettre en place réseau régional d'expérimentations et dynamique scientifique ;</p> <p>2. Acquérir compréhension du fonctionnement et des potentialités des sorghos multi-usages ;</p> <p>3. Contribuer à l'amélioration variétale du sorgho au Sénégal à travers une méthodologie intégrant expérimentation et modélisation, pour la définition d'idéotypes ;</p> <p>4. Contribuer à promouvoir le développement des sorghos multi-usages ;</p> <p>5. Contribuer au développement des capacités humaines ;</p>	<p>Expérimentations selon protocoles communs Echanges scientifiques</p> <p>Meilleure connaissance scientifique des sorghos multi-usages</p> <p>Méthodologie mise en pratique et acquise Recommandations de variétés</p> <p>Connaissance par les agriculteurs Connaissance par les agents du développement Connaissance par les agro-industriels</p> <p>Etudiant en thèse impliqué dans le projet et formé Masters impliqués et formés Techniciens et chercheurs formés</p>	<p>Protocoles Visites terrains et laboratoires Rapports Publications</p> <p>Rapports Publications</p> <p>Rapports Publications Chercheurs et techniciens formés</p> <p>Rapports Atelier Notes d'information</p> <p>Inscription en thèse Rapports Publications</p>	<p>DAB BCP</p> <p>DAB, BCP Pas d'aléas durant les essais</p> <p>DAB, BCP Pas d'aléas durant les essais</p> <p>DAB, BCP Pas d'aléas durant les essais</p> <p>DAB, BCP Pas d'aléas durant les essais</p>
Résultats			
<p>R1.1 Réseau d'expérimentations et dynamique régionale</p>	<p>Expérimentations selon protocoles communs Echanges scientifiques</p>	<p>Protocoles Visites terrains et laboratoires Rapports Publications</p>	<p>DAB BCP</p>

R2.1 Base de données (fonctionnements, caractères d'intérêt, info sols, climat, etc.)	Base de Données	Rapports Fichier(s) informatique(s)	DAB BCP Pas d'aléas durant les essais
R2.2 Courbes de réponse et relations	Résultats scientifiques	Rapports Publications	
R2.3 Meilleure connaissance des sorghos multi-usages	Données, informations, analyses décrivant et expliquant les fonctionnements des sorghos	Rapports Publications	
R3.1 Modèle calibré et validé pour les sorghos multi-usages	Modèle simulant correctement les situations étudiées	Rapports Publications Modèle paramétré	
R3.2 Définition d'idéotypes	Propositions d'idéotypes	Rapports Publications	
R4.1 Connaissance des sorghos multi-usages par les paysans	Des paysans ont pu connaître et évaluer des sorghos multi-usages	Rapports Entretiens avec paysans	Bonne collaboration des paysans
R4.2 Connaissance des sorghos multi-usages par les autres acteurs et agro-industriels	Les acteurs du développement et agro-industriels sont informés des fonctionnements et qualités des biomasses des sorghos multi-usages	Rapports Atelier Notes d'information Entretiens avec acteurs	
R4.3 Recommandations de sorghos multi-usages	Des variétés et idéotypes sont recommandés	Rapports	
R5.1 Formation d'un doctorant	Etudiant en thèse impliqué dans le projet et formé	Inscription en thèse Publications	
R5.2 Formation de Masters, chercheurs et techniciens	Masters impliqués et formés Techniciens et chercheurs formés	Mémoires de Master Rapports Supports de formation	
R5.3 Publications scientifiques	Publications scientifiques	Publications scientifiques	

12. COMPOSITION ET EXPERTISE DE L'ÉQUIPE (2 pages)

Donner la liste et les CV des scientifiques impliqués dans le projet ; joindre une demi-page résumée de l'expérience des membres de l'équipe de recherche et la liste de leurs publications ayant un rapport direct avec la proposition de recherche.

Prénom & nom	Institution	Discipline	Diplôme le plus élevé
Bertrand Muller	CERAAS/CIRAD	Agronomie, agroclimatologie, modélisation, écophysiologie	Doctorat
Ndiaga Cissé	ISRA-CERAAS	Amélioration des plantes, génétique, agronomie	Doctorat
Bassirou Sine	ISRA-CERAAS	Ecophysiologie, agronomie	Doctorat
Myriam Adam	CIRAD/ICRISAT	Agronomie, modélisation écophysiologie	Doctorat
Denis Fabre	CIRAD	Ecophysiologie	Master
Anne Clément-Vidal	CIRAD	Biochimie	Ingénieur CNAM
Eva Weltzien	ICRISAT	Amélioration des plantes, génétique	Doctorat
Denis Bastianelli	CIRAD	Biochimie	Doctorat
Thésard à recruter	ISRA-CERAAS	Ecophysiologie, modélisation	Master

Le projet sera coordonné par Dr Bertrand Muller (CERAAS/CIRAD), qui sera assisté et conseillé par Dr Ndiaga Cissé (Directeur CERAAS). Le partenariat en réseau Afrique de l'Ouest sera géré via l'ICRISAT avec Dr Eva Weltzien (ICRISAT, Mali) et Dr Myriam Adam (CIRAD/ICRISAT, Burkina Faso).

Dr Ndiaga Cissé (Directeur CERAAS) est depuis longtemps le responsable de la sélection sorgho au Sénégal, et il est parfaitement inséré dans les circuits internationaux (réseaux ICRISAT, Challenge Program, etc..) où il est reconnu pour ses compétences. Il a de nombreuses publications à son actif. Lui et son équipe possèdent une grande expérience en matière expérimentale. Il développe déjà des activités visant à mieux satisfaire les attentes des consommateurs et agro-industriels.

Dr Bertrand Muller (CERAAS/CIRAD) est agronome-agroclimatologue et modélisateur à la base, et a développé des activités en écophysiologie. Il travaille au CERAAS depuis 2005 et y a développé différentes études et encadré différents thésards dans les domaines de l'agroclimatologie/modélisation (Seyni Salack, 4 publications), l'écophysiologie (Bassirou Sine, 1 publication ; Ambroise Siéné, 2 publications) et l'agronomie/modélisation (Patrice Kouakou, 3 publications en cours ; Paul-Martial Kouakou, démarrage). Il a une longue expérience de conduite d'essais et de gestion de projets..

Dr Eva Weltzien (ICRISAT, Mali) est tout comme Dr Ndiaga Cissé une experte reconnue à l'international en matière de sélection et d'étude des fonctionnements des sorghos. Elle a développé de nombreuses activités en réseau dans la région avec les différents NARS (ISRA, IER, INERA, etc.). Elle développera des travaux similaires sur sorghos multi-usages à ceux envisagés pour le Sénégal.

Dr Myriam Adam (CIRAD/ICRISAT, Burkina Faso) est agro-modélisatrice et écophysiologiste et travaille à la compréhension des fonctionnements des végétaux afin de pouvoir mieux définir les caractères d'intérêts pour la sélection. Elle développera des travaux similaires sur sorghos multi-usages à ceux envisagés pour le Sénégal. Elle a déjà effectué une mission d'appui en agro-modélisation au CERAAS.

Dr Bassirou Sine (CERAAS) interviendra pour superviser les mesures en écophysiologie compte tenu de son expertise dans ce domaine et en particulier sur sorgho. Il a développé en effet différentes études sur cette espèce ces dernières années et a l'ambition de poursuivre dans cette voie pour mieux comprendre les caractères d'adaptation des sorghos aux environnements soudano-sahéliens.

Anne-Clément Vidal interviendra sur la partie analyses biochimiques, directement (réalisation de certaines analyses) et indirectement (formation-encadrement du thésard). C'est son domaine d'expertise reconnue internationalement depuis de longues années, avec l'encadrement de nombreux thésards et la participation à de nombreux projets internationaux. Elle a déjà effectué différentes missions d'appui et de formation au CERAAS.

Certaines analyses seront réalisées en collaboration avec Denis Bastianelli du Cirad qui est plus expert en analyses NIRS. Lui aussi a une longue expérience de projets internationaux de recherche. Il sera en charge des analyses en spectroscopie proche infra rouge et commencera à transférer cette méthodologie au Partenaire 1. Son laboratoire a une grande expertise de caractérisation de la biomasse sur sorgho avec une bibliothèque de spectres importante qui permettra d'aboutir rapidement à une calibration des caractères d'intérêt en lien avec la qualité de la biomasse ligno-cellulosique.

Denis Fabre interviendra en formation et appui aux mesures écophysiologiques, sur Montpellier lors de la visite du thésard, et au Sénégal pour encadrer et former le thésard et autres chercheurs et techniciens. C'est son domaine d'expertise reconnue internationalement depuis de longues années, avec l'encadrement de nombreux thésards et la participation à de nombreux projets internationaux. Il a déjà effectué différentes missions d'appui et de formation au CERAAS.

Voir en annexe une sélection des publications des membres de l'équipe ayant un rapport avec la proposition de recherche, et voir également les CVs joints.

13. BUDGET (1 page)

DESIGNATION DES POSTES DE DEPENSE	REPARTITION DU BUDGET			TOTAL (F CFA)
	CERAAS	CIRAD	ICRISAT	
I – INVESTISSEMENTS				
— Matériel et Outillage agricole				
— Matériel Informatique				
— Matériel de Laboratoire				
— Mobilier et Matériel de Bureau				
— Matériel de Transport (Motos, Vélos...)				
II FONCTIONNEMENT				
1. Achats et variations de stocks				
2. Achat de matières premières				
— petit matériel de laboratoire ou agricole	1 000 000			1 000 000
— produits chimiques	1 000 000			1 000 000
— fournitures de bureau	1 000 000			1 000 000
— carburant et lubrifiant	2 650 000			2 650 000
— autres Achats de fournitures et Matériels	1 000 000			1 000 000
2. Frais de voyage et de déplacement				
— Frais de transport	2 800 000	1 200 000	1 600 000	5 600 000
3. Autres Services Extérieurs A :				
— Documentation et Information scientifique	500 000			
— Frais d'études et Recherches				
— Frais de séminaire, Atelier	4 400 000			
— Publicité, Publications et relations publiques				
— Frais bancaires	500 000			
4. Autres Services Extérieurs B :				
— Frais d'analyse	6 000 000			6 000 000
— Frais de mission	9 635 000	1 760 000	1 430 000	12 825 000
— Honoraire et prestations de Service				
— Frais de Formation, Stage	2 520 000			2 520 000
— Autres	1 500 000			1 500 000
5. Frais de Personnel				
— Charges Salariales du personnel	28 800 000			28 800 000
Sous-total	63 305 000	2 960 000	3 030 000	69 295 000
Coûts indirects (10 %)	6 330 500	296 000	303 000	6 929 500
TOTAL	69 635 500	3 256 000	3 333 000	76 224 500

14. NOTE EXPLICATIVE DU BUDGET (2 pages)

(Expliquer et justifier les différentes rubriques du budget, particulièrement celles les plus élevées).

Le budget sera logé à 91% au CERAAS, à 4.5% au CIRAD et 4.5% à l'ICRISAT.

Nous justifierons les différents postes budgétaires en fonction de leur importance.

« charges salariales du personnel » : les dépenses prévues correspondent

- au salaire d'un technicien supérieur qui sera engagé pour gérer les expérimentations de terrain, réaliser certaines mesures, et participer à la mise au propre des données. Nous avons considéré 3 années avec un coût salarial mensuel de 350.000 FCFA. Total : 12.600.000 FCFA.

- aux indemnités du jeune thésard sénégalais qui sera impliqué dans le projet. Nous avons considéré 3 années avec un coût salarial mensuel de 200.000 FCFA. Total : 7.200.000 FCFA.

- aux coûts de main-d'œuvre temporaire (MOT) nécessaires à la bonne réalisation des expérimentations. Nous avons considéré 3.000.000 FCFA chaque année durant 3 années, sachant qu'il y aura des expérimentations à Bambey et à Nioro et/ou Darou Pakhatiar, avec une grosse charge de travail (en particulier pour la gestion des biomasses). Total : 9.000.000 FCFA.

« frais de mission » : les dépenses prévues correspondent

- aux perdiems pour les missions locales : nous avons estimé un nombre de 8 missions en moyenne chaque année sur chacun des 2 sites (Bambey et Nioro/Darou) et 3-4 missions sur Dakar. Nous avons compté la participation systématique à ces missions d'un chauffeur, d'un technicien et du thésard, et pour certaines d'un chercheur en plus. Sur cette base les montants annuels estimés des perdiems sont de 2.000.000 FCFA en 2013, 2014 et 2015, et 500.000 FCFA en 2016. Total : 6.500.000 FCFA.

- aux perdiems des missions internationales : ils concernent les perdiems du thésard lors de ses 2 missions en France (2 fois 15 jours, 1.650.000 FCFA) ; les déplacements prévus au Mali et/ou Burkina Faso (4 fois 7-8 jours, 1.485.000 FCFA) pour le thésard et/ou autre chercheur ; les déplacements prévus au Sénégal des chercheurs de l'ICRISAT (4 fois 6-7 jours, 1.430.000 FCFA) ; les missions de formation des chercheurs du CIRAD au Sénégal (2 fois 15-17 jours, 1.760.000 FCFA). Total : 6.325.000 FCFA.

« frais de transport » : les dépenses correspondent aux coûts des billets des missions internationales décrites précédemment. Total : 5.600.000 FCFA.

« frais d'analyses » : les dépenses correspondent aux coûts des analyses qui seront effectuées pour caractériser les biomasses, en particulier les analyses NIRS. Nous avons estimé un coût moyen de 2.000.000 FCFA chaque année. Total : 6.000.000 FCFA.

« frais de séminaire, atelier » : les dépenses correspondent aux coûts estimés des journées de démonstration et réunions (400.000 FCFA considérés en moyenne pour 2013, 2014 et 2015) et à celui de l'atelier final (3.200.000 FCFA). Total : 4.400.000 FCFA.

« frais de formation, stage » : les dépenses correspondent aux indemnités de stage des 3 étudiants en Master, en considérant à chaque fois 7 mois et 120.000 FCFA/mois. Total : 2.520.000 FCFA.

« carburant et lubrifiant » : les dépenses correspondent aux frais de carburant estimés nécessaires aux missions locales (décrites précédemment). 800.000 FCFA ont été budgétisés pour 2013, 2014 et 2015, et 250.000 FCFA pour 2016. Total : 2.650.000 FCFA.

Les autres postes sont les petites dépenses habituelles nécessaires à la réalisation des expérimentations et à l'entretien des véhicules et/ou équipements (sachant qu'il n'y avait pas de rubriques « intrants » et/ou « engrais » et/ou « semences » et/ou « entretien ») : petit matériel (1.000.000 FCFA), produits chimiques (1.000.000 FCFA), fournitures de bureau (1.000.000 FCFA), autres achats de fournitures et matériels (1.000.000 FCFA), et autres services extérieurs (1.500.000 FCFA).

15. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES (2 PAGES)

- Barro-Kondombo C.P., Vom Brocke K., Chantereau J., Sagnard F., Zongo J.D.. 2008. Variabilité phénotypique des sorghos locaux de deux régions du Burkina Faso : la Boucle du Mouhoun et le Centre-Ouest .Cahiers Agricultures, 17 (2) : 107-113.
- Borrell, Andrew, Paterson, Andrew H., Hash, C. Tom, Billot, Claire, Jordan, David R., Lespinasse, Denis, Weltzien, Eva, Rattunde, H. Fred W., Upadhyaya, Hari D., Glaszmann, Jean-Christophe, Rami, Jean-Francois, Vaksman, Michel, Teme, Niaba, Niangado, Oumar, Ramu, Punna, Senthilvel, S., Deshpande, Santosh P., Bouchet, Sophie and Kresovich, Stephen (2010). A GCP Challenge Initiative: Drought Tolerance Improvement for Sorghum in Africa. In: , Abstracts for the Plant & Animal Genome XVIII Conference. Plant & Animal Genome XVIII Conference, San Diego, CA, U.S.A., (). 9-13 January 2010.
- DAPS (Direction de l'Analyse, de la Prévision et des Statistiques), 2012. Note de synthèse sur les résultats définitifs de la campagne agricole 2011-2012. Division des Statistiques, de la Documentation et de l'Information Agricole. Ministère de l'Agriculture, Sénégal, 3 p.
- Dicko M.H., Gruppen H., Traore A.S., Voragen A., Berkel W., 2006. Sorghum grain as human food in Africa: relevance of content of starch and amylase activities. African Journal of Biotechnology 5:384-395.
- Dingkuhn M, Singh B B, Clerget B, Chantereau J and Sultan B 2006. Past, present and future criteria to breed crops for water-limited environments in West Africa Agric. Water Manag. 80 241–61
- Diop M., 1996 : A propos de la durée de la saison des pluies au Sénégal. Sécheresse, vol.1 n°1, 7-15.
- Gutjahr S, Clément-Vidal A, Soutiras A, Sonderegger N, Braconnier S, Dingkuhn M, Luquet D (2013a) Grain, sugar and biomass accumulation in photoperiod-sensitive sorghums. II. Biochemical processes at internode level and interaction with phenology. Functional Plant Biology Accepted.
- Gutjahr S, Vaksman M, Dingkuhn M, Thera K, Trouche G, Braconnier S, Luquet D (2013b) Grain, sugar and biomass accumulation in tropical sorghums. I. Trade-offs and effects of phenological plasticity. Functional Plant Biology Accepted.
- Hammer G., Chapman S., van Oosterom E., Podlich D., 2005. Trait physiology and crop modelling as a framework to link phenotypic complexity to underlying genetic systems. Australian Journal of Agricultural Research, 56:947-960.
- IPCC, 2007. Climate change: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, 996 p.

Kouressy, M., S. B. Traore, M. Vaksman, M. Grum, I. Maikano, M. Soumare, P. S. Traore, D. Bazile, M. Dingkuhn, et Sidibe Amadou. 2008. « Adaptation des sorghos du Mali a la variabilite climatique ». Cahiers Agricultures 17 (2): 95-100.

Rattunde H.F.W, Zerbini E, Chandra S, Flower D.J. 2001. Stover quality of dual-purpose sorghums: genetic and environmental sources of variation, Field Crops Research, Volume 71, Issue 1, Pages 1-8

Salack S, Giannini A., Diakhaté M., Gaye, A.T., Muller, B. 2013. Oceanic influence on the sub-seasonal to interannual timing and frequency of extreme dry spells over the West African Sahel. Climate Dynamics. ISSN 0930-7575. DOI 10.1007/s00382-013-1673-4

Salack S, Muller, B., Gaye, A.T. 2011. Rain-based factors of high agricultural impacts over Senegal. Part I: integration of local to sub-regional trends and variability. Theoretical and Applied Climatology, 2011, 106:1-22 (DOI 10.1007/s00704-011-0414-z)

Sivakumar, M.V.K. 1988. « Predicting rainy season potential from the onset of rains in southern sahelian and soudanian climatic zones of West Africa ». Agricultural and Forest Meteorology 42 (4): 295-305.

Sultan, B., Roudier, Ph., Quirion, P., Alhassane, A., Muller, B., Dingkuhn, M., Ciais, Ph., Guimberteau, M., Traore, S. and Baron, Ch. 2013. Assessing climate change impacts on sorghum and millet yields in the Sudanian and Sahelian savannas of West Africa. Environ. Res. Lett. 8 (2013) 014040 (9pp). (<http://iopscience.iop.org/1748-9326/8/1/014040>)

Tittonell P., Giller K. E., 2013. When yield gaps are poverty traps: The paradigm of ecological intensification in African smallholder agriculture, Field Crops Research, 143: 76-90

Tovignan T. 2012. Gestion des sucres en conditions de déficit hydrique post-floral chez le sorgho sucré. Projet de thèse, CERAAS.

Traoré, S. B., F. Reyniers, M. Vaksman, B. Kone, Sidibe Amadou, A. Yorote, K. Yattara, et M. Kouressy. 2000. Adaptation à la sécheresse des écotypes locaux de sorghos du Mali. Sécheresse 11 (4): 227-237.

Vom Brocke K., Trouche G., Zongo S., Abdramane B., Barro-Kondombo C.P., Weltzien E., Chantereau J.. 2008. Création et amélioration de populations de sorgho à base large avec les agriculteurs au Burkina Faso. Cahiers Agricultures, 17 (2) : 146-153.

Vom Brocke K., Trouche G., Weltzien E., Barro-Kondombo C.P., Gozé E., Chantereau J. 2010. Participatory variety development for sorghum in Burkina Faso: Farmers' selection and farmers' criteria. Field Crops Research, 119 (1): 183-194

Weltzien, E, Kanoute, M, Toure, A, Rattunde, F, Diallo, B , Sissoko, I, Sangare, A and Siart, S .2008. Sélection participative des variétés de sorgho à l'aide d'essais multilocaux dans deux zones cibles. Cahiers Agricultures, 17 (2). pp. 134-139.