

# GUIDE D'ELABORATION DES PROJETS

## A. Identification du projet

---

- **Titre du projet** : COMPREHENSION DU ROLE DE L'ARCHITECTURE RACINAIRE EN CONDITIONS DE SECHERESSE POUR UNE AMELIORATION EFFICIENTE DU SORGHO EN ZONE SEMI-ARIDE
- **Zones d'exécution** : Vallée du fleuve Sénégal, Bassin Arachidier, Haute Casamance
- **Type de recherche** : Stratégique
- **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 -- Tolérance aux stress abiotiques
- **Nom du coordonnateur de l'équipe de recherche** : Dr Bassirou Sine
- **Structure de tutelle du coordonnateur de l'équipe de recherche** : Centre d'Etude Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse / Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (CERAAS/ISRA)
- **Institutions partenaires** :
  - Centre d'Etude Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse (CERAAS) de l'ISRA, Thiès
  - Centre National de Recherches Agronomiques (CNRA) de l'ISRA, Bambey
  - Centre de Recherches Agricoles (CRA) de l'ISRA de Saint-Louis
- **Institutions partenaires associées**:
  - UMR Amélioration génétique et adaptation des plantes méditerranéennes et tropicales (AGAP) du CIRAD, France
  - Crop Physiology Laboratory (CPL) de l'ICRISAT, Inde
  - Centre for Plant Science (CPS), Université de Queensland, Australie
- **Coût du projet (XOF)** : 74 250 000 F CFA
- **Durée** : 3 ans

## B. Renseignements administratifs (Une page par partenaire)

---

Nom de l'organisation partenaire : ISRA (CERAAS, CNRA, CRA)

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 : BP 3320, Thiès Escale, Thiès, Sénégal

Téléphone : +221 33 951 49 93 / 94

Fax : +221 33 951 49 95

Adresse électronique : [ceraas@orange.sn](mailto:ceraas@orange.sn)

### NOM DU RESPONSABLE SCIENTIFIQUE DU PROJET

DANS LA STRUCTURE PARTICIPANTE : Dr BASSIROU SINE

TITRE : Chargé de Recherches en Ecophysiologie

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

*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 : **Compréhension du rôle de l'architecture racinaire en conditions de sécheresse pour une amélioration efficiente du sorgho en zone semi-aride.***

Personne autorisée à signer : Dr Ndiaga Cissé

Position dans l'organisation : Directeur du CERAAS et Coordinateur du CNS

Prénom & Nom  
Ndiaga Cissé

Date  
29 mars 2013

Signature



## 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 GÉNÉRALES SUR LE PROJET (2 pages)**

---

1.1. Titre du projet : **Compréhension du rôle de l'architecture racinaire en conditions de sécheresse pour une amélioration efficiente du sorgho en zone semi-aride**

1.2. Domaine concerné : Recherche stratégique

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

1.4. Sous-thème du WAAPP : Tolérance aux stress abiotiques

1.5. Résumé :

L'essentiel des prévisions sur le changement climatique prédit une accentuation de la sécheresse en zone semi-aride et subhumide d'Afrique de l'Ouest. Pour l'agriculture, des dispositions devraient donc être prises, pour mettre à la disposition des paysans, des variétés plus tolérantes et productives en conditions de sécheresse. Le sorgho réputé tolérant à la sécheresse est en Afrique la deuxième céréale après le maïs. Son architecture racinaire joue un rôle majeur dans sa tolérance intrinsèque à la sécheresse et offre des possibilités d'amélioration certaines de l'adaptation du sorgho à cette contrainte abiotique. Ainsi, ce projet ambitionne de contribuer à la compréhension et à l'amélioration de l'adaptation du sorgho au déficit hydrique en mettant un accent particulier sur la validation de traits racinaires d'adaptations à la sécheresse. Par un phénotypage fin d'un matériel végétal contrasté conduit dans diverses conditions hydriques, la contribution de chacun des caractères d'adaptation ciblés au maintien des performances du sorgho en conditions de contraintes hydriques sera quantifiée. Au sortir de ce projet i) les relations entre caractères racinaires et aériens du sorgho dans différentes conditions hydriques de cultures seront établies, ii) la part de chacun des caractères cibles dans la tolérance du sorgho aux contraintes hydriques sera connue, et iii) des critères de sélection seront identifiés et des recommandations faites pour les programmes d'amélioration variétale. Pour l'Institution

1, ce travail contribuera également à assurer une veille scientifique sur la problématique des racines et au développement d'une plateforme de phénotypage sous régionale pour l'adaptation à la sécheresse.

1.6. Mots clés (8 au maximum) : sécheresse ; sorgho ; architecture racinaire ; densité de longueur racinaire ; critères d'adaptation ; phénotypage ; rendement

1.7. Durée : 3 ans

## 2. CONTEXTE & JUSTIFICATION (3 pages)

---

Indiquez les motivations scientifiques de la recherche proposée, justifiez l'intérêt de la recherche pour le développement, articulez la recherche avec les priorités nationales et les priorités dans le cadre du WAAPP. Cette partie prendra en charge l'état de l'art sur les questions soulevées.

Le changement global du climat se traduira probablement par des températures plus élevées, une plus grande évapotranspiration, une distribution plus aléatoire des pluies et une incidence plus grande de la sécheresse (Amigues et al., 2006). Il accentuera dans un futur proche la fréquence des sécheresses sévères en zone semi-aride et subhumide d'Afrique de l'Ouest (IPCC, 2007 ; Salack et al., 2012). Il est ainsi certain, que la sécheresse, qui est la contrainte majeure à la productivité des cultures en zones sahélienne et soudanienne, va s'aggraver. Pour remédier aux conséquences que cela pourrait engendrer pour l'agriculture, les efforts dans le développement de variétés tolérantes à la sécheresse devront être accentués.

Le sorgho, réputé tolérant aux sécheresses prononcées par son efficacité d'utilisation de l'eau et sa capacité à utiliser l'eau résiduel du sol, est l'une des grandes cultures en zones semi-aride et tropicale. Avec une production mondiale de 60 millions de tonnes et une superficie cultivée de 43 millions d'hectares, le sorgho se classe au cinquième rang des céréales, après le blé, le riz, le maïs et l'orge (FAO, 2009). Cependant, aussi bien la production que les superficies emblavées à travers le monde ont décru régulièrement de 1980 à maintenant. En Afrique où la production atteint 25 millions de tonnes, il arrive en deuxième position après le maïs. Sous les tropiques semi-arides, le sorgho est considéré comme une culture vivrière importante, essentiellement destinée à l'autoconsommation. Il constitue également un aliment de base dans de nombreux pays tropicaux subhumides. Dans les pays développés, le grain de sorgho est réservé généralement à l'alimentation animale (Chantereau et al., 1997 ; Awika et Rooney, 2004; Dicko et al., 2006).

Dans les régions semi-arides, malgré sa réputation, son développement est souvent limité par le déficit pluviométrique au même titre que les autres spéculations. En Afrique de l'Ouest, dans la zone soudano-sahélienne, la variabilité pluviométrique a une grande part dans l'irrégularité des rendements des cultures. Au Sénégal, par exemple, c'est ainsi que la mauvaise répartition et le déficit pluviométriques observés durant la campagne agricole de 2011, ont été à l'origine de la chute drastique des rendements et de la production de la totalité des grandes cultures pluviales (DAPS, 2012). En particulier, pour le sorgho il a été constaté des baisses de 25 %, 49 % et 30 % respectivement pour le rendement, la production et la totalité des superficies emblavées par rapport aux moyennes des 5 dernières années. Cela démontre la nécessité de sélectionner des génotypes plus tolérants, capables de produire significativement en année moins pluvieuse. En outre, les écarts de production entre l'Afrique et

l'Amérique, allant de 966 kg ha<sup>-1</sup> à 3499 kg ha<sup>-1</sup> (FAO, 2009), plaident pour le développement de génotypes à haut potentiel de rendement, adaptés à nos conditions agro-écologiques.

Deux phases du cycle de développement du sorgho sont susceptibles d'être affectées par un stress hydrique : les phases de préfloraison et de post-floraison. Les sorghos sont différemment affectés par ces types de stress, mais dans tous les cas un génotype tolérant à la sécheresse répond par une bonne stabilité de son rendement par rapport aux conditions optimales (Xu et al., 2000 ; Sine, 2009 ; Schaffert et al., 2012). Tout critère de sélection pour l'adaptation à la sécheresse sans rapport avec le rendement risque d'avoir un intérêt limité voire nul.

La plus grande partie des travaux de recherche sur la sécheresse ont concerné jusqu'ici la phase floraison à la maturité, si bien que des indications suggèrent que les phases précédant la floraison pourraient être devenues aussi limitantes que les phases ultérieures (Bruce et al., 2002). Ils ont le plus porté sur le stay-green, ou retardement de la sénescence foliaire (Tuinstra et al., 1997 ; Crasta et al., 1999 ; Tao et al., 2000 ; Xu et al., 2000 ; Haussmann et al., 2003 ; Borrell et al., 2003). Il permet de conserver une activité photosynthétique prolongée en fin de cycle. Des QTLs qui améliorent nettement ce caractère ont été identifiés, et quelques études ont pu établir une relation claire entre le stay-green et le rendement en conditions de stress hydrique (Borrell et al., 2000 ; Tuinstra et al., 1998). D'ailleurs l'essentiel des QTLs d'adaptation au stress hydrique identifiés chez le sorgho, est lié au stay-green (Schaffert et al., 2012).

Dans le cas où la plante subit l'occurrence du stress hydrique, deux mécanismes d'adaptation s'offrent à elle : l'évitement et/ou la tolérance à la déshydratation (Blum, 2004). L'évitement de la déshydratation est la capacité de la plante à maintenir ses organes et son milieu intracellulaire hydratés et la tolérance de la déshydratation consiste à maintenir les fonctions de la plante malgré le déficit hydrique. Cependant, l'évitement de la déshydratation semble privilégié par la sélection. La plante évite la déshydratation par : i) l'amélioration de sa capacité à extraire l'eau, ii) la limitation de ses pertes en eau, et iii) le maintien de la turgescence cellulaire malgré la baisse du potentiel hydrique (Schaffert et al., 2012). L'amélioration de l'extraction de l'eau, fondamentalement liée à l'extension et à la profondeur racinaire est l'option qui favorise le plus un meilleur rendement.

L'architecture du système racinaire, ainsi que des propriétés intrinsèques d'absorption des racines expliquent en grande partie la tolérance du sorgho à la sécheresse (Lemaire et al., 2005 ; James et Richards, 2005 ; Gonzalez Dugo, 2006). En effet, la capacité de tolérance du sorgho supérieure à celle du maïs est attribuée à un enracinement efficace, qui lui permet de maintenir son activité photosynthétique pour une gamme étendue d'états hydriques du sol (Welcker et Rami, 2008, Amigues et al., 2006). Les paramètres racinaires les plus associés au stress hydrique chez le sorgho sont la

profondeur et la densité de longueur racinaire. Ces caractères racinaires expriment une grande variabilité phénotypique et sont très sensibles aux conditions édapho-climatiques. Ainsi, les facteurs favorisant le développement racinaire, tels le labour, la tolérance à la toxicité aluminique dans les sols acides, ou un système racinaire intrinsèquement important, facilitent l'extraction de l'eau du sol par la plante (Jordan et al., 1979 ; Chopart, 1999 ; Blum, 2004 ; Schaffert et al., 2012). D'après Maertens et al. (1974), lorsque le sol est bien colonisé par les racines, celles-ci peuvent utiliser les réserves jusqu'à une humidité faible correspondant à de l'eau fortement retenue par le sol, tandis que, lorsque le sol est moins bien colonisé les profils d'assèchement maximum correspondent à des humidités nettement plus élevées.

Des caractéristiques racinaires tardivement affectées par le stress hydrique jouent également un rôle dans l'adaptation du sorgho à la sécheresse. Il s'agit du nombre de racines nodales, du nombre de rangs de racines nodales et du nombre de racines nodales (Tsuji et al., 2005 ; Sine, 2009).

Cependant, l'importance du système racinaire dans le fonctionnement hydrique de la plante ne l'est que relativement à l'envergure de la partie aérienne. Klepper (1991) évoque le concept de l'interdépendance entre appareils racinaire et aérien, qui semble s'exprimer le mieux sous la forme d'un équilibre fonctionnel. Kaitaniemi (1999) souligne à ce sujet que l'architecture de la plante est fondamentale pour l'acquisition et l'allocation des ressources, la compétition avec les autres plantes, la résistance culturale, etc. Toute étude du système racinaire doit donc impérativement s'intéresser également à la partie aérienne.

D'autres caractères physiologiques toujours en rapport avec le fonctionnement hydrique du sorgho sont aussi mis en avant. Il s'agit de la photosynthèse nette, de la transpiration et de la température du couvert, mais aussi de l'efficacité d'utilisation de l'eau et du crop water stress index calculés à partir des premières cités (Blum et al., 1982; Jackson, 1982 ; Schaffert et al., 2012). Il y a aussi le taux de cire qui améliore l'efficacité d'utilisation de l'eau en réduisant les pertes nocturnes (Burow et al., 2008). Vadez et al., (2011) ont établi que la transpiration efficace et la transpiration totale expliquent une part du rendement, chez le sorgho en conditions de stress post-floral. Des températures de couvert frais en conditions de sécheresse ont été associées aux rendements élevés ou stables chez le maïs (Gardner et al., 1986), le blé (Blum et al., 1989), le sorgho (Chaudhuri et Kanemasu, 1982), le soja (Harris et al., 1984) et la pomme de terre (Stark et Pavek, 1987).

Sur la base des travaux de Sine (2009) effectués sur trois variétés de sorgho ayant différentes stratégies d'adaptation à la sécheresse, des caractères racinaires importants pour l'adaptation de cette culture aux conditions de stress hydriques ont été identifiés. Cependant l'intégration de ces traits racinaires dans des programmes de sélection nécessiterait au préalable leur validation. Pour cela un

phénotypage fin sur une gamme élargie de génotypes devra être effectué et l'adéquation de ces traits racinaires avec les caractères majeurs d'adaptation à la sécheresse du sorgho, tels la gestion de la transpiration et le Stay-green, vérifiée. L'utilisation de génotypes d'intérêts dans ce contexte (haut rendement, qualité du grain, tolérance aux contraintes abiotiques, parents de populations de lignées recombinantes pour l'étude de caractères d'adaptation à la sécheresse) est aussi recommandée pour abréger le processus de transfert des traits prometteurs au matériel végétal défaillant.

### 3. OBJECTIFS (1 page)

---

Préciser le(s) objectif(s) général(aux) et les objectifs spécifiques du projet.

#### **Objectif général**

Ce projet vise à contribuer à la compréhension et à l'amélioration de l'adaptation du sorgho au déficit hydrique en zone semi-aride et en particulier dans les scénarios de l'Afrique de l'Ouest. Il s'agira de valider des traits racinaires d'adaptations à la sécheresse sur un matériel végétal diversifié et de vérifier leur adéquation avec les caractères majeurs d'adaptation à la sécheresse du sorgho déjà établis. Ainsi, le travail proposé devra garder une synergie avec les recherches en cours à travers le monde sur la tolérance du sorgho à la sécheresse.

#### **Objectifs spécifiques (Os)**

Os1. Initier dans la sous région la mise en place d'une plateforme de phénotypage du sorgho pour l'adaptation à la sécheresse ;

Os2. Dans une optique intégrative, étudier conjointement le développement et la croissance des parties aériennes et souterraines du sorgho, afin de mettre en évidence les coordinations éventuelles entre ces deux compartiments qui pourraient être important pour la tolérance à la sécheresse ;

Os3. Quantifier la contribution des différents caractères d'adaptation ciblés, particulièrement racinaire, au maintien des performances du sorgho dans des conditions contrastées d'alimentation hydrique ;

Os4. Définir des idéotypes racinaires pour différentes zones agro-écologiques, identifier les meilleurs donneurs de caractères racinaires d'adaptation à la sécheresse pour les programmes de sélection, ainsi que les meilleurs parents de populations de lignées recombinantes pour la recherche de QTLs liés aux racines et proposer certaines variétés étudiées à des tests d'adaptabilité pour leur introduction dans des zones qui leurs sont propices et où elles ne sont pas encore connues.

#### 4. RESULTATS ATTENDUS (2 pages)

---

Indiquer les résultats attendus du projet par rapports aux questions posées et aux contraintes à lever

La démarche proposée devrait permettre de fournir à la fin du projet les résultats suivant :

Os1. R1. a) Une équipe sous régionale pluridisciplinaire travaillant sur des protocoles communs de phénotypage pour l'amélioration de l'adaptation du sorgho à la sécheresse est mise en place ;

b) une collection de sorghos d'intérêt est établie et partagée ;

c) des techniques innovantes de phénotypage (entre autre du système racinaire) sont développées et partagées avec les collègues.

Os2. R2. Les relations entre caractères racinaires et aériens du sorgho dans différentes conditions hydriques de cultures sont établies.

Os3. R3. La part de chacun des caractères cibles dans la tolérance du sorgho aux contraintes hydriques est connue.

Os4. R4. a) Les interactions génotype x régime hydrique sont étudiées ;

b) des idéotypes racinaires pour différents environnements agro-écologiques sont proposés ;

c) des critères de sélection sont identifiés et des recommandations sont faites pour les programmes d'amélioration variétale.

R5. Cinq masters et une thèse sont soutenus.

## 5. BENEFCIAIRES (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.

---

Les premiers bénéficiaires sont les instituts de recherche de l'Afrique de l'Ouest et la communauté scientifique en générale. La mise en place de la plate forme sous régionale de phénotypage constitue une opportunité pour coordonner les actions et accélérer la recherche sur le sorgho dans la sous région. Les connaissances qui seront générées seront également accessibles à la communauté scientifique internationale par le biais de publications.

Les populations paysannes de la sous région sont les bénéficiaires indirectes de ce projet qui proposera des variétés à introduire et diffuser dans des zones différentes de leur zone initiale. Grace aux résultats de ce projet, l'amélioration de variétés d'intérêt pour leur adaptation à la sécheresse pourra être initiée et profiter à terme aux paysans dans leur globalité.

## **6. DESCRIPTION DES ACTIVITÉS DU PROJET** (maximum 1 page par activité)

---

Identifier et faire une description des activités du projet. La description doit tenir compte des actions opérationnelles, des actions de formation, des actions de communication... Elle précisera également le chronogramme d'exécution des activités.

Les activités du projet sont complémentaires et concourent à répondre à la fois à plusieurs objectifs spécifiques. Elles seront pilotées avec cohérence pour l'atteinte des objectifs.

**A1. Mise en place pour la sous région d'une plateforme de phénotypage du sorgho pour l'adaptation à la sécheresse**

Cette activité est principalement liée à l'atteinte de l'Os1. Elle permettra de créer un cadre de concertation et de réflexion pour les acteurs du projet et ceux intervenant sur le sorgho en général. Elle servira à piloter les activités du projet, mais aussi à jeter les bases de la future plateforme. De manière concrète, des réunions seront régulièrement organisées, durant lesquelles les résultats scientifiques et les contraintes d'ordre technique et opérationnel seront exposés. Ainsi, les capacités et les limites techniques des différents acteurs seront connues, ce qui permettra une meilleure répartition des tâches dans le cadre de projets régionaux. Les variétés de sorgho ayant un intérêt pour le paysan et la recherche seront recensées dans une collection commune dont tous les acteurs pourront disposer. Les protocoles seront discutés et affinés. Les techniques de phénotypage nouvelles ou non maîtrisées seront explicitées aux collègues et étudiants pour une amélioration des techniques d'observation. A terme, les différents spécialistes intervenant sur l'amélioration du sorgho dans la sous région seront invités à participer à la plateforme.

**A2. Phénotypage au champ dans des conditions hydriques contrastées**

Cette activité répondra en partie aux Os2, Os3 et Os4. Le sorgho au Sénégal est cultivé en conditions pluviales, mais aussi de décrue. Ainsi, les scénarios de sécheresse sont multiples, quant à leur calendrier et leur sévérité. Le sorgho est en général confronté à deux types de stress hydriques qui surgissent en phase de préfloraison ou post-floraison. Le stress hydrique en phase de préfloraison peut se manifester durant la phase juvénile ou plus tard avant la floraison. Tenant compte de ces différents scénarios, les variétés seront évaluées en conditions pluviales stricts ou de stress hydriques non létaux, mimant ceux observés en zones semi-arides. Suivant le type d'essais la caractérisation des conditions climatiques, le pilotage et le suivi de la disponibilité en eau dans le sol seront effectués.

Des essais concernant tout le cycle de la plante seront mis en place au champ en station. Bambey, Sinthio Malème et Kolda avec un gradient pluviométrique variant de moins de 500 mm à plus de 800 mm d'eau de pluies, recevrons les essais en conditions pluvieuses qui se tiendront sur 2 ans. Un essai

biennuel en condition de décrue se fera dans la vallée du fleuve Sénégal. Les essais en conditions semi-contrôlés seront conduits durant deux contre-saisons froides (mi-septembre à février) à Bambeby où un dispositif d'irrigation approprié existe. Tous les compartiments de la plante seront étudiés, mais un accent sera mis sur les développements foliaire (dont le stay-green) et racinaire et les composantes du rendement. Pour les essais en contre saison des mesures physiologiques, utilisant les appareils biophysiques, pour caractériser le fonctionnement de la plante seront également effectuées en supplément.

### **A3. Phénotypage en conditions de sol remanié avec contrôle strict de l'alimentation hydrique**

Cette activité est complémentaire de l'A2 et renseignera aussi les Os2, Os3 et Os4. Pour un phénotypage pointu en conformité avec nos objectifs, un certains nombres d'essais complémentaires seront effectués en conditions contrôlées et semi-contrôlées, en conditions de sol remanié (pots, tubes, sacs gravats, ou rhizotrons).

Elle traitera surtout des aspects non accessibles par l'activité 2. Les observations racinaires et physiologiques seront accentuées. L'essentiel des tâches de cette activité se dérouleront à l'Institut 1 disposant de l'équipement et de la technicité nécessaire pour un phénotypage fin. Les tâches seront déroulées tout au long de l'année car leur exécution ne souffre pas de contraintes climatiques. Elles se dérouleront sur un total de 2 ans et demi.

### **A4. Analyse des données**

L'analyse des données est une activité transversale sur les 2 précédentes activités. Elle se fera au fur et à mesure que les données seront acquises, mais un accent particulier sera mis à la dernière année du projet. Les essais individuels seront analysés dès la fin de chaque expérimentation pour rendre compte des résultats parcellaires obtenus. Cependant, les données seront collectées régulièrement auprès des partenaires pour constituer une base de données conséquente. Celle-ci servira à la dernière année à une analyse poussée de l'interaction génotype x environnement, qui permettra de mettre en lumière l'importance pour le sorgho des différentes variables observées pour le maintien d'un haut rendement dans les situations de contraintes hydriques.

### **A5. Formation diplômante et modulaire**

Les expérimentations prévues dans ce projet de par leurs aspects novateurs pourront servir de support à la formation pédagogique. Il est prévu de mettre sur un certain nombre d'essais des étudiants en masters ou de niveau inférieur. Une thèse coiffera une large part des activités et contribuera à valoriser les résultats.

Deux formations modulaires sur la caractérisation de l'état physiologique et biochimique de la plante et sur la caractérisation du système racinaire sont prévues en collaboration avec les partenaires du Nord. Elles permettront de renforcer les capacités des collègues de la sous-région et des étudiants associés ou non au projet. Elle contribuera ainsi à l'atteinte de l'Os1 en renforçant la capacité des acteurs de la plateforme. Ces formations auront pour support technique les expérimentations du projet.

## 7. METHODOLOGIE (1 page par activité)

---

Préciser de la façon la plus exhaustive la démarche méthodologique, le matériel et les outils utilisés pour la réalisation des travaux envisagés.

### **A1. Mise en place pour la sous région d'une plateforme de phénotypage du sorgho pour l'adaptation à la sécheresse**

Cette activité débutera par une réunion de lancement du projet où tous les acteurs seront conviés, de même qu'un certain nombre de scientifiques nationaux et sous régionaux. Cette rencontre se tiendra sur 2 jours et permettra aux acteurs une meilleure compréhension du projet et informera le reste de l'assistance de notre action. Le premier jour le projet sera présenté et les discussions qui suivront, pourront permettre de le parfaire. Différents intervenant sur le sorgho feront aussi des présentations en vue d'établir un état des lieux de la recherche sur le sorgho pour Afrique de l'Ouest en particulier et les zones semi-arides en général. Cette première rencontre permettra aussi de faire le point sur les atouts et faiblesses de chaque acteur par rapport au travail qui est prévu. L'équipement technique ainsi que le matériel végétal qui seront utilisés pour cette étude seront passés en revue.

Au deuxième jour, seuls les acteurs du projet se retrouveront pour discuter en profondeur des différents protocoles qui seront mis en œuvre et particulièrement ceux qui le seront durant la première année du projet afin de les ajuster au mieux. Le mode d'administration du projet sera défini en cohérence avec les exigences du bailleur pour permettre une exécution fluide des activités grâce à une interaction fonctionnelle des différents acteurs.

Trois autres réunions suivront à raison d'une par an pour faire le bilan de l'année écoulée et préparer la suivante. Les résultats partiels obtenus seront présentés et les corrections nécessaires seront apportées. La troisième réunion sera la réunion de clôture du projet où les résultats seront présentés à un public élargi. Chacune de ces rencontres durera deux jours. Les acteurs et invités seront pris en charge par le projet.

En dehors de ces rencontres conventionnelles, des moyens sont prévus pour accueillir de futurs acteurs de la plateforme, non Sénégalais, pour leur formation ou pour leur apporter un appui technique ou se former auprès d'eux. Cette mobilité permettra de mieux connaître les atouts des institutions de la sous région et facilitera à l'avenir la répartition des tâches entre les partenaires. Cela contribuera à terme à asseoir la plateforme, qui pourra poursuivre les perspectives et pérenniser les acquis du projet.

## **A2. Phénotypage au champ dans des conditions hydriques contrastées**

Le matériel végétal qui sera utilisé sera composé de 50 variétés de sorgho qui seront constituées ainsi :

1) 15 variétés provenant d'une core collection de sorghos traditionnels provenant de la collection mondiale maintenue à l'ICRISAT (Inde) et dont les comportements en conditions de stress hydriques sont contrastées ; 2) 10 variétés traditionnelles contrastées pour leurs taux de transpiration différent en condition de haut déficit de pression de vapeur (VPD) ; 3) 10 parents de lignées recombinantes conçues pour l'étude de différents caractères d'adaptation à la sécheresse ; 4) 7 variétés d'intérêt cultivées au Sénégal, 5 du Burkina et 3 du Mali.

Pour tous les essais, le dispositif sera en alpha bloc à 3 répétitions. Les écartements au semis seront de 60 cm entre lignes et de 0,15 cm sur la ligne entre les poquets, soit 21 poquets pour une ligne de 3 m pour viser une densité de 100000 à 150000 plantes à l'hectare. L'alpha plan contiendra les 50 variétés réparties en 5 blocs de 10 parcelles, le tout répété 3 fois. La surface d'un essai est ainsi estimée à environ 500 m<sup>2</sup>.

En général un sachet de 10 grammes de semence par accession sera suffisant pour chacun des essais. Le traitement au Furadan au semis et éventuellement tous les 15 jours dans le cornet des plantes est prévu, si besoin est. Un démariage à 1 plant/poquet une dizaine de jours après la levée sera effectué. Les activités de labour avant les semis et de désherbage durant la culture, ainsi que l'apport de la fertilisation minérale et l'application des traitements phytosanitaires se feront tel que préconisé.

Au niveau de la plante, des caractères agro-morphologiques aériens impliqués dans les mécanismes d'adaptation à la sécheresse, seront suivis. Il s'agit de la morphologie foliaire (surface, enroulement et érection), de la quantité de cire, du stay-green, du nombre de feuille, de la hauteur, de la biomasse, de la phénologie (durées semis floraison, semis maturité), et des composantes du rendement (nombre de grains et poids grains par pied, poids mille grains). Les caractères de l'architecture racinaire que sont le nombre de racines nodales, le nombre de rangs de racines nodales et le nombre de racines nodales par rang seront également observés. Suivant le type d'essais un certain nombre de mesures biophysiques seront effectués pour appréhender le fonctionnement interne de la plante. Cependant quelque soit l'essai, la température du couvert (ou foliaire) sera suivie avant et durant la période critique.

Les conditions climatiques, essentiellement la température et l'humidité relative, seront relevées. Le stock hydrique du sol sera suivi par un DIVINER et son potentiel hydrique par des Equitensiomètres.

Les essais en conditions de contre saison froide recevront un traitement un peut particulier. Ils seront conduits en station au CNRA de Bambey à partir de fin septembre (fin de la saison des pluies), de façon

à pouvoir contrôler l'apport d'eau par irrigation. Ce semis en jour court permet aussi d'avoir les cycles les plus courts possibles chez les sorghos photopériodiques. Un contrôle de la phénologie est nécessaire pour arriver à une floraison relativement groupée, afin d'appliquer un stress hydrique de fin de cycle. Trois conditions seront testées : une alimentation hydrique non limitante, un stress hydrique en phase de préfloraison et un stress hydrique en phase de remplissage-maturation des grains. L'irrigation sera pilotée par un modèle de bilan hydrique alimenté par les données climatiques, le Kc du sorgho et la profondeur racinaire.

### **A3. Phénotypage en conditions de sol remanié avec contrôle strict de l'alimentation hydrique**

Le matériel végétal est constitué des mêmes 50 variétés expérimentées au champ.

Les dispositifs expérimentaux seront en blocs complets randomisés avec 5 blocs par essai. La taille de l'unité expérimentale sera de 1 à 4 plants suivant le type d'expérimentation.

Ce sera l'occasion de suivre un certain nombre de paramètres biophysiques (température du couvert, fluorescence chlorophyllienne, SPAD, conductance stomatique, photosynthèse nette, potentiel hydrique ou transpiration) suivant le type d'essais. La morphologie foliaire (surface, enroulement et érection), le nombre de feuille, et la biomasse seront suivis. Les caractères de l'architecture racinaire que sont le nombre de racines nodales, le nombre de rangs de racines nodales et le nombre de racines nodales par rang seront également observés. La profondeur et la densité de longueur racinaire seront particulièrement ciblées dans ces essais, car non accessibles dans les conditions d'essais au champ.

Une expérimentation de dry down sera conduite en pot. Il consiste à suivre la variation de la transpiration des plants en fonction d'un niveau de stress hydrique croissant. La quantité d'eau transpirable du sol (ou FTSW) permettra de piloter l'arrosage. La quantité d'eau transpirée sera mesurée par pesée et les ajustements hydriques nécessaires seront apportés après calcul. Trois essais seront mis en place : alimentation hydrique normale, stress hydrique en phase de préfloraison et un stress hydrique en phase de post-floraison. Ces essais iront jusqu'à maturité, ce qui permettra d'avoir aussi les composantes du rendement.

Une expérimentation en sacs gravats avec observations destructives permettra d'étudier les composantes de l'architecture racinaire des variétés en phase de préfloraison. La densité de longueur racinaire sera observée par horizon de profondeur ; cela en disséquant les sacs par horizon au lavage. Un essai en conditions de stress hydrique et un autre en phase de post-floraison seront mis en place. Les prélèvements s'effectueront avant et après le stress hydrique. Un plant par variété sera maintenu jusqu'à maturité. Le stock hydrique dans les sacs gravats sera évalué par sonde TDR et le potentiel hydrique par mesure du potentiel de base tôt le matin, avant prélèvement des plants.

Un dispositif particulier en rhizotrons permettant d'apporter l'eau d'irrigation directement en profondeur tout en asséchant les horizons supérieurs, sera mis en place. Cela pour avoir une idée plus nette de la gestion par les variétés de l'élongation racinaire à la recherche de l'eau résiduelle, compte tenu du signal de sécheresse perçu dans les horizons supérieurs. Les quantités d'eau seront contrôlées par pesée. Cette expérimentation s'arrêtera quand les racines atteindront le fond du rhizotron.

#### **A4. Analyse des données**

L'analyse des données se fera à la suite de chaque expérimentation. Des analyses de variance, des corrélations entre variables, des analyses multivariées seront effectuées pour les essais individuels. Cependant, la compilation des données pour répondre aux questions cruciales, permettra l'analyse de l'interaction génotype x environnement. Elle se fera avec GenStat et R et nécessitera l'intervention d'un biométricien et le renforcement de capacité des acteurs auprès d'équipes plus dotées et expérimentées pour l'analyse et l'interprétation de ce type de données. L'importance des différents caractères suivis dans l'élaboration du rendement dans les différents scénarios sera décortiquée.

#### **A5. Formation diplômante et modulaire**

Le nombre important d'activités prévues sera l'occasion d'accueillir des étudiants en Master pour la préparation de leur mémoire de fin de cycle. Chaque expérimentation pourra accueillir un étudiant. Ainsi, au minimum cinq mémoires de master seront réalisés de même qu'un certain nombre de mémoires d'Ingénieurs des Travaux Agricoles. Une thèse coiffera ce travail et contribuera à sa valorisation. Les bourses des étudiants en master seront prises en charge par le volet formation du WAAPP, mais pour les niveaux inférieurs et pour la thèse, une part du budget sera dégagée pour leur prise en charge.

Les formations modulaires sur la caractérisation de l'état physiologique et biochimique de la plante (ECOBIO) et sur la caractérisation du système racinaire (Racine-Situ) seront organisées à l'Institution 1. Les partenaires du Nord seront responsables de cette activité, qui sera financée en partie par ce projet, mais qui bénéficiera de fonds complémentaires provenant d'un autre bailleur. Chacune des formations se tiendra sur 10 jours. Racine-Situ se fera en mai 2014 et ECOBIO en octobre 2014. Chacune de ces formations est située à une période où les expérimentations en cours serviront de supports techniques. Les collègues et étudiants nationaux ou de la sous-région démontrant dans le cadre de leurs travaux un intérêt pour les techniques qui seront exposées seront conviés à ces ateliers de formation. Les participants de la sous-région seront pris en charge par les mécanismes sous-régionaux mis en place par le WAAPP 2A dans le cadre du renforcement de capacité des chercheurs.

## **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.

Les premiers bénéficiaires de ce projet sont les membres de la communauté scientifique nationale et sous-régionale d'abord et internationale ensuite. La diffusion des résultats se fera en différentes étapes :

- 1) Présentation des résultats partiels durant les réunions annuelles de restitution et les rencontres scientifiques internes, nationales ou sous régionales ;
- 2) Rédaction de rapports d'activités pour informer le bailleur et les partenaires, mais aussi à diffuser au sein de l'Institut ;
- 3) Rédaction de mémoires et thèse accessibles aux étudiants et scientifiques dans les bibliothèques des universités et écoles et des portails d'internet ;
- 4) valorisation scientifiquement des résultats du projet sous forme de communications dans des rencontres scientifiques internationales (congrès, séminaires, etc.) ;
- 5) publications dans des revues scientifiques afin de rendre les résultats obtenus accessible à l'ensemble de la communauté scientifique ;
- 6) utilisation des activités et résultats du projet comme support lors des formations modulaires sur la caractérisation de l'état physiologique et biochimique de la plante et sur la caractérisation du système racinaire.

Une collaboration étroite se fera avec les sélectionneurs pour la diffusion du premier résultat du projet accessible aux paysans que sont les variétés intéressantes qui seront identifiées. Cela se fera par le billet de projets de diffusion.

## **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.

Une utilisation modérée des engrais et pesticides sera effectuée. Seuls les produits autorisés seront employés aux normes et doses recommandées pour la fertilisation et la protection des cultures. Ceci rendra leurs impacts négatifs sur l'environnement moindre.

Quand au matériel végétal provenant de la sous région ou en dehors, les semences seront traitées avant envoi, limitant tout risque de propagation de microorganismes nuisibles. Le matériel végétal sera constitué exclusivement de variétés de sorgho traditionnelles ou améliorées par la sélection classique. Ces interactions avec l'environnement ne présenteront donc pas un risque particulier.

Ce projet vise à terme à accroître la biodiversité du sorgho et à offrir aux populations des variétés plus tolérantes à la sécheresse. Ceci permettra de mettre en valeur des terres qui seraient vouées à l'abandon à cause du risque de sécheresse. L'amélioration des rendements aidera aussi à lutter contre la malnutrition et la pauvreté en augmentant les gains. Cette démarche contribuera à augmenter la résilience des populations aux changements climatiques.

Les impacts environnementaux et sociaux de ce projet seront donc pour l'essentiel positifs. Ainsi, il ne nécessitera pas de mesures de gestion environnementale et sociale spécifiques.

## **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 chronogramme décrit sommairement dans la partie 6 (description des activités du projet), est détaillé ici dans le tableau ci-dessous. Les activités de terrain sont partagées entre le CERAAS, le CNRA de Bambey et le CERA de St-Louis comme explicité dans le tableau.

Dr Bassirou Sine, en tant que responsable du projet sera chargé en plus de ses tâches scientifiques de l'administration du projet et du rapportage. Il lui reviendra la tâche de synthétiser les contributions des partenaires en vu de produire les rapports et rendre compte aux bailleurs.

L'encadrement des étudiants en Master ou diplôme inférieur se fera par les scientifiques locaux de l'équipe de recherche en collaboration avec les enseignants des écoles et universités. Chaque accueil d'étudiant fera l'objet d'une convention entre l'ISRA et son université ou école d'origine. Le thésard sera suivi par un comité de thèse constitué d'une équipe scientifique internationale impliquant tous les partenaires associés au projet. Tout au long du déroulement des activités, le projet accueillera des étudiants pour appuyer l'équipe scientifique et technique, tout en se formant.

Les partenaires comme le CIRAD, L'ICRISAT et le CPS joueront un rôle de conseil et participeront dans l'exploitation des données et leur valorisation. Cela se fera à l'occasion de stages dans ces institutions ou de visites de travail de des partenaires au CERAAS, mais aussi par les moyens de communication modernes. Le thésard en particulier se rendra à plusieurs occasions dans ces institutions pour se former et profiter de leurs facilités.



## 11. CADRE LOGIQUE (2 pages)

Logique d'intervention	Indicateurs Objectivement Vérifiables	Sources de Vérification	Hypothèses & Risques
<p><b>Objectifs global</b></p> <p>Contribuer à la compréhension et l'amélioration de l'adaptation du sorgho au déficit hydrique en zone semi-aride</p>	<p>Des variétés de sorgho tolérantes à la sécheresse sont proposées pour des tests d'adaptabilité et de vulgarisation</p> <p>Des programmes d'amélioration du sorgho à la sécheresse sont initiés</p>	<p>Rapports suivi-évaluation du WAAPP</p> <p>Rapports ISRA CEDEAO, CORAF/WECARD, UEMOA, CILSS, etc.</p>	<p>Forte implication des acteurs ;</p> <p>Mise à disposition des fonds à temps ;</p> <p>Blocages institutionnels</p>
<p><b>Objectif Spécifique</b></p> <p>Valider des traits racinaires d'adaptations à la sécheresse sur un matériel végétal diversifié et vérifier leur adéquation avec les caractères majeurs d'adaptation à la sécheresse du sorgho</p>	<p>L'importance des traits racinaires dans l'adaptation du sorgho à la sécheresse est connue</p> <p>Des idéotypes racinaires sont proposés pour différents scénarios</p> <p>Des variétés porteuses des caractères d'adaptation sont identifiées</p>	<p>Rapports suivi-évaluation du WAAPP</p> <p>Rapports du projet</p> <p>Rapport de stage</p> <p>Mémoires et thèses</p> <p>Publications scientifiques</p>	<p>Fléau naturel ;</p> <p>Blocages institutionnels</p> <p>Fonctionnalité du partenariat entre instituts</p>
<b>Résultats</b>			
<p><b>R1.</b> Mise en place d'une plateforme de phénotypage du sorgho initiée</p>	<p>Mobilité des chercheurs dans la sous-région autour de la problématique du sorgho</p> <p>Existence de projets collaboratifs sur le sorgho dans la sous-région</p>	<p>Rapports suivi-évaluation du WAAPP</p> <p>Rapports du projet</p> <p>Rapports ISRA CEDEAO, CORAF/WECARD, UEMOA, CILSS, etc.</p>	<p>Appui des dirigeants de la recherche et du WAAPP dans la sous-région</p>
<p><b>R2.</b> Relations établies entre caractères racinaires et aériens du sorgho dans différentes conditions hydriques de cultures</p>	<p>Connaissances scientifiques sur le rôle du rapport parties aériennes / parties racinaires dans l'adaptation du sorgho à la sécheresse</p>	<p>Rapports suivi-évaluation du WAAPP</p> <p>Rapports du projet</p> <p>Rapport de stage</p> <p>Mémoires et thèses</p>	<p>tenu et suivi des essais</p>

		Publications scientifiques	
<b>R3.</b> Contribution des caractères cibles dans la tolérance du sorgho aux contraintes hydriques connue	Connaissances scientifiques sur les facteurs explicatifs du rendement	Rapports suivi-évaluation du WAAPP Rapports du projet Rapport de stage Mémoires et thèses Publications scientifiques	Tenue et suivi des essais
<b>R4.</b> Interactions génotype x régime hydrique étudiées ; critères de sélection identifiés et idéotypes racinaires proposés	Types et nombre de critères de sélection pertinents retenus  Différents idéotypes racinaires pour différents scénarios de sécheresse	Rapports suivi-évaluation du WAAPP Rapports du projet Rapport de stage Mémoires et thèses Publications scientifiques	Fonctionnalité du partenariat entre instituts
<b>R5.</b> Cinq masters et une thèse sont soutenus	Nombre de mémoire et thèse	Rapports suivi-évaluation du WAAPP Mémoires et thèses	Stabilité du système éducatif

## 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
Bassirou Sine	CERAAS	Ecophysiologiste	Thèse
Ndiaga Cissé	CERAAS / CNRA	Sélectionneur	Thèse
Mamadou Ndiaye	CRA	Agronome	Thèse
Abdoulaye Fofana	CNRA	Sélectionneur	Master
Vincent Vadez	ICRISAT	Ecophysiologiste	Thèse
Andrew Borrell	CPS / Univ. Queensland	Ecophysiologiste	Thèse
Myriam Adam	CIRAD	Agronomie, modélisateur	Thèse
Denis Fabre	CIRAD	Ecophysiologie	Master
Bertrand Muller	CIRAD	Agroclimatologie, modélisateur	Thèse
Jean-Louis Chopart	CIRAD	Agronome, Pédologue	Thèse

### Résumée de l'expérience

L'équipe de recherche est pluridisciplinaire et dispose d'une longue expérience dans la recherche sur le sorgho. Elle est composée comme suit :

- Bassirou Sine a effectuée sa thèse et son DEA sur la problématique de l'adaptation du sorgho à la sécheresse. Il a eu à s'intéresser sur les aspects de criblage variétal et l'identification de critères racinaires d'adaptation à la sécheresse. D'ailleurs un certain nombre de critères ont été identifiés.
- Ndiaga Cissé a consacré une grande part de sa carrière scientifique au sorgho en s'occupant de sa sélection au CNRA/ISRA. Il a récemment homologué un certain nombre de variétés d'intérêt, dont des sorghos sans tanin utilisable dans la formulation de l'aliment de volaille.
- Mamadou Ndiaye a eu dans le WAAPP1A, à piloter un projet sur le sorgho de décrue. Il a pu introduire et faire adopter aux paysans de nouvelles variétés et des techniques culturales permettant d'améliorer substantiellement le rendement en milieu réel.

- Abdoulaye Fofana a eu une longue expérience de sélection sur les céréales. Il a eu à s'occuper de la sélection du mil, du sorgho et du fonio dans le Sénégal Oriental et la haute Casamance.
- Vincent Vadez est Ecophysiologiste à l'ICRISAT. Il s'intéresse particulièrement à l'adaptation du sorgho à la sécheresse. Actuellement, il s'intéresse particulièrement à la gestion de l'eau par le sorgho avant l'occurrence du stress hydrique terminal.
- Andrew Borrell est Ecophysiologiste dans l'équipe du CPS de l'Université de Queensland en Australie. Ils ont eu à faire d'énorme progrès sur l'étude du caractère stay-green du sorgho et l'application des connaissances par la création de variétés tolérantes au stress hydrique terminal.
- Myriam Adam est agronome et modélisateur au CIRAD. Elle a un grand recule sur l'analyse de l'interaction génotype x environnement.
- Denis Fabre est Ecophysiologiste au CIRAD. Elle maîtrise les approches écophysiologiques et a une grande expérience dans le transfert de ces techniques et approches scientifiques par la formation modulaire.
- Bertrand Muller est Agroclimatologue au CIRAD/CERAAS, rodé dans les aspects de bilan hydrique. Il a une longue collaboration dans l'amélioration des modèles écophysiologiques d'estimation des rendements.
- Jean-Louis Chopart est Agro-Pédologue au CIRAD. Il a consacré la majeure partie de sa carrière à l'étude de l'alimentation hydrique des plantes, des systèmes racinaires, de la gestion durable de l'eau agricole (pluie et irrigation) et des transferts hydriques dans le sol.

### Liste des publications avec en rapport avec la proposition de recherche

- Sine B.**, 2009. Evaluation agro-morphologique d'une core collection de sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) et caractérisation racinaire de variétés contrastées pour la détermination de critères racinaires d'adaptation à la sécheresse. Thèse de Troisième Cycle. UCAD, Dakar, 156 p + Annexes.
- Chopart J.L., Sine B., Dao A., Muller B.**, 2008. Root orientation of four sorghum cultivars: application to estimate root length density from root counts in soil profiles. *Plant Root* 2: 67-75.
- Chopart J.L.**, 1999. Relation entre état physique du sol, système racinaires et fonctionnement hydrique du peuplement végétal : outils d'analyse in situ et exemple d'études en milieu tropical à risque climatique élevé. Thèse de Doctorat, Tome I & II. Université Joseph Fourier-Grenoble 1, Grenoble, France, 114 p.
- Vadez V., Krishnamurthy L., Hash C.T., Upadhyaya H.D., Borrell A.K.**, 2011. Yield, transpiration efficiency, and water transpiration and their interrelationships in the sorghum reference collection. *Crop & Pasture Science* 62:645-655.
- Borrell A.K., Hammer G., Oosterom E., van Oosterom E.**, 2003. Stay-green: a consequence of the balance between supply and demand for nitrogen during grain filling? *Annals of Applied Biology* 138:91-95.

**Borrell A.K., Hammer G.L., Douglas A.C.L., 2000. Does maintaining green leaf area in sorghum improve yield under drought? II. Dry matter production and yield. Crop Science 40:1037-1048.**

### 13. BUDGET (1 page)

DESIGNATION DES POSTES DE DEPENSE	REPARTITION DU BUDGET			TOTAL (F CFA)
	CERAAS	CNRA	CRA	
<b>I – INVESTISSEMENTS</b>				
— Matériel et Outillage agricole				
— Matériel Informatique				
— Matériel de Laboratoire				
— Mobilier et Matériel de Bureau				
— Matériel de Transport (Motos, Vélos...)				
<b>II FONCTIONNEMENT</b>				
1. Achats et variations de stocks				
— achat de matières premières				
— petit matériel de laboratoire ou agricole	5 000 000			5 000 000
— produits chimiques	500 000			500 000
— fournitures de bureau	1 000 000	200 000	200 000	1 400 000
— carburant et lubrifiant	1 500 000	700 000	350 000	2 550 000
— autres Achats de fournitures et Matériels	1 000 000			1 000 000
2. Frais de voyage et de déplacement				
— Frais de transport	4 000 000			4 000 000
3. Autres Services Extérieurs A :				
— Documentation et Information scientifique	350 000			350 000
— Frais d'études et Recherches				
— Frais de séminaire, Atelier	5 000 000			5 000 000
— Publicité, Publications et relations publiques	500 000			500 000
— Frais bancaires	500 000	100 000	100 000	700 000
4. Autres Services Extérieurs B :				
— Frais d'analyse				
— Frais de mission	5 000 000	1 500 000	1 000 000	7 500 000
— Honoraire et prestations de Service	1 000 000			1 000 000
— Frais de Formation, Stage	4 000 000			4 000 000
— Autres	1 000 000			1 000 000
5. Frais de Personnel				
— Charges Salariales du personnel	30 000 000	1 500 000	1 500 000	33 000 000
<b>Sous-total</b>	<b>60 350 000</b>	<b>4 000 000</b>	<b>3 150 000</b>	<b>67 500 000</b>
<b>Coûts indirects (10 %)</b>	<b>6 035 000</b>	<b>400 000</b>	<b>315 000</b>	<b>6 750 000</b>
<b>TOTAL</b>	<b>66 385 000</b>	<b>4 400 000</b>	<b>3 465 000</b>	<b>74 250 000</b>

#### **14. NOTE EXPLICATIVE DU BUDGET (2 pages)**

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

Les dépenses budgétisées correspondent seulement à celle liée au fonctionnement du projet. Ainsi, les différents postes budgétaires se justifient comme suit :

##### **Achats et variations de stocks**

Le petit matériel de laboratoire ou agricole (6 000 000 F CFA) permettra d'acquérir tout le nécessaire pour les essais en sol remanié. Des tubes PVC de 30 cm de diamètre, des verres plexiglas, des seaux de 10 l et de 15 l, des sacs gravats, des balances avec enregistrement automatique, etc. seront nécessaires pour la bonne tenue des essais. Ce matériel comprendra aussi des produits à usage unique.

Les produits chimiques (500 000 F CFA) seront constitués pour l'essentiel par les engrais minéraux et les pesticides, mais aussi des réactifs de laboratoire pour le dosage des indicateurs biochimique de stress hydrique. Les autres dépenses sont les fournitures de bureau (1 400 000 F CFA), le carburant et lubrifiant (2 550 000 F CFA) et les autres Achats de fournitures et Matériels (1 000 000 F CFA)

##### **Frais de voyage et de déplacement**

Les frais de déplacement de 4 000 000 F CFA comprennent les billets d'avions pour accueillir les partenaires de la sous régions invités aux réunions annuelles du projet ou accueillis en stage. Ils permettront aussi aux acteurs du projet de visiter les collègues de la sous régions pour des échanges dans le cadre de la mobilité des scientifiques.

##### **Autres Services Extérieurs A**

La principale ligne budgétaire de cette rubrique constituée par les frais de séminaire et atelier (5 500 000 F CFA) servira à l'organisation de l'atelier de lancement et des ateliers annuels de restitutions des résultats et de planification. Ils financeront aussi la participation des acteurs du projet à d'autres séminaires et ateliers. Les autres lignes budgétaires sont d'un montant total de 1 450 000 F CFA et couvrent les frais bancaires, la publicité, les publications et les relations publiques.

##### **Autres Services Extérieurs B**

Les frais de mission (7 500 000 F CFA) assureront les prises en charge des acteurs du projet lors de leurs déplacements dans le cadre du projet sur le territoire national et à l'étranger. Les Frais de formation et stage (4 000 000 F CFA) prendront en charge une partie des dépenses que requerront les formations prévues et qui contribueront à vulgariser les techniques et résultats acquis. Les autres frais afférant à l'organisation de ces formations seront fournis par des sources extérieures de financement.

Ces fonds serviront aussi au financement des acteurs du projet pour profiter de formations et stages, qui contribueraient à l'atteinte des objectifs du programme.

### **Frais de Personnel**

Les charges salariales du personnel (33 000 000 F CFA) qui sont les plus lourdes pour le projet, s'expliquent par les besoins de recruter un personnel technique d'un niveau Bac + 3 ans, dédié exclusivement au projet. Il sera chargé de la majeure partie des tâches techniques et de la bonne tenue des essais, mais pourra aussi aider à la supervision des stagiaires. Dans cette ligne budgétaire nous avons aussi les salaires de la MOT et les bourses des étudiants de niveau inférieur au Master.

## 15. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES (2 PAGES)

- Amigues J.P., Debaeke P., Itier B., Lemaire G., Seguin B., Tardieu F., Thomas A., 2006. Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, INRA (Paris). 72 p.
- Awika J.M., Rooney L.W., 2004. Sorghum phytochemicals and their potential aspects on human health. *Phytochemistry* 65:1199-1221.
- Blum A., 2004. Sorghum physiology. In: H.T. Nguyen and A. Blum (Eds). *Physiology and biotechnology integration for plant breeding*. Marcel Dekker, New York, USA, pp 141-223.
- Blum A., Mayer J., Gozlan G., 1982. Infrared thermal sensing of plant canopies as a screening technique for dehydration avoidance in wheat. *Field Crops Research* 5:137-146.
- Blum A., Shipiler L., Golan G., Mayer J., 1989. Yield stability and canopy temperature of wheat genotypes under drought stress. *Field Crops Research* 22:289-296.
- Borrell A.K., Hammer G., Oosterom E., van Oosterom E., 2003. Stay-green: a consequence of the balance between supply and demand for nitrogen during grain filling? *Annals of Applied Biology* 138:91-95.
- Borrell A.K., Hammer G.L., Douglas A.C.L., 2000. Does maintaining green leaf area in sorghum improve yield under drought? II. Dry matter production and yield. *Crop Science* 40:1037-1048.
- Bruce W.B., Edmeades G.O., Barker T.C., 2002. Molecular and physiological approaches to maize improvement for drought tolerance. *Journal of Experimental Botany* 53:13-25.
- Burow G.B., Franks C.D., Xin Z., 2008. Genetic and physiological analysis of an irradiated bloomless mutant (epicuticular wax mutant) of sorghum. *Crop Science* 48:41-48.
- Chantereau J., Trouche G., Deu M., Hamon P., 1997. Le sorgho. In: A. Charier, M. Jacquot, S. Hamon, D. Nicolas (Eds). *L'amélioration des plantes tropicales*. Service des éditions CIRAD, CIRAD et ORSTOM, pp. 565-590.
- Chaudhuri U.N., Kanemasu E.T., 1982. Effect of water gradient on sorghum growth, water relations and yield. *Canadian Journal of Plant Science* 62:599-607.
- Chopart J.L., 1999. Relation entre état physique du sol, système racinaires et fonctionnement hydrique du peuplement végétal : outils d'analyse in situ et exemple d'études en milieu tropical à risque climatique élevé. Thèse de Doctorat, Tome I & II. Université Joseph Fourier-Grenoble 1, Grenoble, France, 114 p.

- Crasta O.R., Xu W.W., Rosenow D.T., Mullet J., Nguyen H.T., 1999. Mapping of post-flowering drought resistance traits in sorghum: association between QTLs influencing premature senescence and maturity. *Molecular and General Genetics* 262:579-588.
- 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.
- FAO, 2009. FAOSTAT: FAO Statistical Databases, production data. <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>.
- Gardner B.R., Blad B.L., Wilson G.D., 1986. Characterizing corn hybrid moisture stress sensitivity using canopy temperature measurements. *Remote Sensing of Environment* 19:207-211.
- Gonzalez D., 2006. Effet du déficit hydrique sur l'état de nutrition azotée chez les graminées fourragères. Thèse de doctorat. Université de Poitiers, 164 p. + annexes.
- 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.
- Harris D.S., Schapaugh Jr. W.T., Kanemasu E.T., 1984. Genetic diversity in soybean for leaf canopy temperature and the association of leaf temperature and yield. *Crop Science* 24:839-842.
- Hausmann B., Mahalakshmi V., Reddy B., Seetharama N., Hash C., Geiger H., 2003. QTL mapping of stay-green in two sorghum recombinant inbred populations. *Theoretical and Applied Genetics* 106:133-142.
- 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.
- Jackson R.D., 1982. Canopy temperature and crop water stress. *Advanced Irrigation* 1:43-85.
- James J.J., Richard J.H., 2005. Plant N capture from pulses: effects of pulse size, growth rate, and other soil resources. *Oecologia* 145:113-122.

- Jordan W.R., Miller F.R., Moms D.E., 1979. Genetic variation in root and shoot growth of sorghum in hydroponics. *Crop Sci.* 19:468-472.
- Kaitaniemi P., Room P.M., Hanan J.S., 1999. Architecture and morphogenesis of grain sorghum, *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Field Crops Research* 61:51-60.
- Klepper B., 1991. Root-shoot relationships. In: Y. Waisel, A. Eshel, U. Kafkafi (Eds). *Plant roots: the hidden half*. Marcel Dekker, Inc., New York, USA, pp. 265-281.
- Lemaire G., Recous S., Mary B., 2005. Managing residues and nitrogen in intensive cropping systems. New understanding for efficient recovery by crops. Proceeding of the 4th International Crop Science Congress. Brisbane. [http://www.cropscience.org.au/icsc2004/symposia/2/6/936\\_lemaireg.htm](http://www.cropscience.org.au/icsc2004/symposia/2/6/936_lemaireg.htm).
- Maertens C., Blanchet R., Bosc M., 1974. Influence de différents régimes hydriques sur l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la culture. I : régimes hydriques, systèmes racinaires et modalités d'alimentation en eau. *Ann. Agron.* 25:575-586.
- Osmont K.S., Richard S., Hardtke C., 2007. Hidden branches: developments in root system architecture. *Annu. Rev. Plant Biol.* 58:93-113.
- Paterson A.H., Bowers J.E., Bruggmann R., Dubchak I., Grimwood J., Gundlach H., Haberer G., Hellsten U., Mitros T., Poliakov A., Schmutz J., Spannag M., Tang H., Wang X., Wicker T., Bharti A.K., Chapman J., Feltus F.A., Gowik U., Grigoriev IV, Lyons E., Maher C.A., Martis M., Narechania A., Otiillar R.P., Penning B.W., Salamov A.A., Wang Y., Zhang L., Carpita N.C., Freeling M., Gingle A.R., Hash C.T., Keller B., Klein P., Kresovich S., McCann M.C., Ming R., Peterson D.G., ur-Rahman M., Ware D., Westhoff P., Mayer K.F.X., Messing J., Rokhsar D.S., 2009. The *Sorghum bicolor* genome and the diversification of grasses. *Nature* 457:551-556.
- Salack S., Muller B., Gaye A. T., Hourdin F., Cisse N., 2012. Analyses multi-échelles des pauses pluviométriques au Niger et au Sénégal. *Sécheresse* 23:3-13.
- Schaffert R. E., Albuquerque P. E. P., O Duarte J., Garcia J. C., Gomide R. L., Guimarães C. T., Magalhães P. C., Magalhães J. V., Queiroz V. A. V., 2010. Phenotyping sorghum for adaptation to drought. In: P. Monneveux and J.M. Ribaut (Eds). *Drought phenotyping in crops: from theory to practice*. Generation Challenge Programme, Mexico, pp. 287-299.
- Sine B., 2009. Evaluation agro-morphologique d'une core collection de sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) et caractérisation racinaire de variétés contrastées pour la détermination de critères

racinaires d'adaptation à la sécheresse. Thèse de Troisième Cycle. UCAD, Dakar, 156 p + Annexes.

- Stark J.C., Pavek J.J., 1987. Selection of drought tolerant potato clones using foliage temperature measurements. In: N.E. Foldo, S.E. Hansen, N.K. Nielsen and R. Ramsussen (Eds). Proceedings, 10th Triennial Conference of the European Association for Potato Research. Aalborg, Denmark, pp. 26-27.
- Tao YZ, Henzell R.G., Jordan D.R., Butler D.G., Kelly A.M., Mc Intyre C.I., 2000. Identification of genomic regions associated with stay green in sorghum by testing RILs in multiple environments. *Theoretical and Applied Genetics* 100:1225-1232.
- Tardieu F., 2003. Virtual Plants: modelling as a tool for the genomics of tolerance to water deficit. *Trends in Plant Science* 8:9-14.
- Tsuji W., Inanaga S., Araki H., Morita S., An P., Sonobe K., 2005. Development and distribution of root system in two grain sorghum cultivars originated from Sudan under drought stress. *Plant Production Science* 8:553-556.
- Tuinstra M.R., Ejeta G., Goldsbrough P., 1998. Evaluation of near-isogenic sorghum lines contrasting for QTL markers associated with drought tolerance. *Crop Science* 38:835-842.
- Tuinstra M.R., Grote E.M., Goldsbrough P.B., Ejeta G., 1997. Genetic analysis of post-flowering drought tolerance and components of grain development in *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Molecular Breeding* 3:439-448.
- Vadez V., Krishnamurthy L., Hash C.T., Upadhyaya H.D., Borrell A.K., 2011. Yield, transpiration efficiency, and water transpiration and their interrelationships in the sorghum reference collection. *Crop & Pasture Science* 62:645-655.
- Welcker C., Rami J.F., 2008. Améliorer la tolérance du maïs à la sécheresse ou la productivité du sorgho : enjeux et limites. *Innovations Agronomiques* 2:125-130.
- Wu Y.Q., Huang Y.H., 2007. An SSR genetic map of *Sorghum bicolor* (L.) Moench and its comparison to a published genetic map. *Genome* 50:84-89.
- Xu W., Subudhi P.K., Crasta O.R., Rosenow D.T., Mullet J.E., Nguyen H.T., 2000. Molecular mapping of QTLs conferring stay-green in grain sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Genome* 43:461-469.