

## Projet de Recherche sur les Politiques de Sécurité Alimentaire au Mali

### L'IMPACT ECONOMIQUE POTENTIEL DES VARIETES HYBRIDES DE RACE GUINEENNE AU MALI: UNE COMPARAISON DES PARADIGMES DE RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT

Par

Alpha Kergna, Melinda Smale, Amidou Assima,  
Abdoulaye Diallo, Eva Weltzien et Fred Rattunde



## **Politiques de Sécurité Alimentaires: *Articles de Recherche***

Cette série d'articles de recherche vise à faire connaître rapidement les résultats de recherche et d'analyses politiques réalisés par "Feed the Future" du Innovation Lab for Food Security Policy (FSP) et ses associés, financé par USAID. Le projet FSP est coordonné par le Food Security Group (FSG) du Department of Agricultural, Food, and Resource Economics (AFRE) de Michigan State University (MSU), et est mis en place en partenariat avec l'International Food Policy Research Institute (IFPRI) et l'University of Pretoria (UP). Ensemble, le groupe de recherche MSU-IFPRI-UP travaille avec les gouvernements, les scientifiques et les parties prenantes du secteur privé dans les pays ciblés par "Feed the Future" en Afrique et en Asie, pour augmenter la productivité agricole, améliorer la diversité des régimes alimentaires, et construire une plus grande résistance face aux défis du changement climatique qui affectent nos moyens de subsistance.

Ces articles de recherche s'adressent à des chercheurs, des décideurs politiques, des agences de financements, des enseignants, et à tous ceux impliqués dans le développement international. Certains articles seront traduits en Français, Portugais ou d'autres langues.

Tous les articles de recherche et les brèves politiques sont téléchargeables gratuitement en format pdf depuis ce site internet : <http://foodsecuritypolicy.msu.edu/>

Tous les articles de recherche et les brèves politiques sont aussi envoyés au département de USAID Development Experience Clearing House (DEC): <http://dec.usaid.gov/>

## AUTEURS

Les deux premiers auteurs, cités sur la liste qui suit, sont les principaux auteurs.

**Alpha Kergna** ([akergna@yahoo.fr](mailto:akergna@yahoo.fr)) est chercheur au programme Economie des filières (ECOFIL) de l'Institut d'Economie Rurale (IER), Bamako, Mali.

**Melinda Smale** ([msmale@msu.edu](mailto:msmale@msu.edu)) est Professeur de développement international du Département d'économie agricole, alimentaire et des ressources naturelles à l'Université d'Etat de Michigan (MSU), East Lansing, MI, USA.

**Amidou Assima** ([amidou.assima@gmail.com](mailto:amidou.assima@gmail.com)) est assistant de recherche, statisticien basé au Bureau de l'Université d'Etat de Michigan à Bamako, Mali.

**Abdoulaye Diallo** ([dialloabdoulayeier@gmail.com](mailto:dialloabdoulayeier@gmail.com)) est un sélectionneur du programme Sorgho, Institut d'Economie Rurale, Bamako, Mali.

**Institut d'Economie Rurale (IER).** Créé le 29 novembre 1960, l'IER est le principal institut de recherche agricole au Mali avec près de 800 agents dont 250 chercheurs de différentes disciplines. Il comprend 6 centres régionaux de recherche agronomique, 9 stations et 13 sous-stations. Le portefeuille scientifique comprend 17 programmes.

**Michigan State University (MSU).** Etablie au Michigan, MSU est la plus vieille des universités agricoles « US Land Grant » aux Etats-Unis, avec une longue histoire de recherche en politique agricole et alimentaire en Afrique, Asie et Amérique latine.

**Assemblée permanente des chambres d'agriculture du Mali (APCAM).** L'APCAM est l'organe de coordination des activités des Chambres Régionales d'Agriculture (CRA). Créées par la loi n° 93-044/AN-RM du 04 août 1993, les CRA et l'APCAM sont des établissements à caractère professionnel dotés de la personnalité morale et de l'autonomie financière. Elles ont pour ressortissants les professionnels évoluant dans les domaines de l'agriculture, de l'élevage, de la pêche et de l'exploitation forestière. Elles sont des organes consultatifs auprès des pouvoirs publics.

*Cette étude a été réalisée avec le généreux soutien des Américains par une bourse de recherche de United States Agency for International Development (USAID) pour le programme "Feed the Future". Le contenu de cette publication est sous la responsabilité de ses auteurs, et ne reflète pas nécessairement le point de vue de USAID ou du gouvernement américain.*

Copyright © 2016, Michigan State University. Tous droits réservés. Ce document peut être reproduit sans permission pour une utilisation personnelle ou à but non lucratif, en mentionnant MSU.

**Publié par le Department of Agricultural, Food, and Resource Economics, Michigan State University, Justin S. Morrill Hall of Agriculture, 446 West Circle Dr., Room 202, East Lansing, Michigan 48824, USA**

## **REMERCIEMENTS**

Les auteurs tiennent à remercier l'équipe de recherche et de terrain de l'ICRISAT pour le soutien technique (Hermann Some, Mamourou Sidibé, Ibrahim Sissokho, Bocar Diallo, Abocar Touré), les animateurs et les paysans-testeurs de l'AOPP, l'ULPC et l'AMEDD ; l'équipe d'ECOFIL/IER (Naman Keita et Moumouni Sidibé), les paysans qui ont bien voulu participer aux interviews ainsi que les enquêteurs. Les travaux de recherche de base de la présente étude ont été financés par l'ICRISAT et Michigan State University grâce aux subventions accordées par la Fondation Bill et Melinda Gates par le biais du projet « Guiding Sustainable Agricultural Investments in Africa (GISAIA) » et par le Laboratoire d'innovation en politique de sécurité alimentaire (FSP) de l'USAID (sous le contrat référencié AID-OAA-L-13-00001).

## Résumé

Les paysans maliens, cultivant sur des terres arides, dépendent du sorgho comme principale culture servant d'aliment de base. La réalisation, au niveau national, d'importants surplus de rendements de sorgho dans les conditions environnementales maliennes complexes et variables, constitue un enjeu malgré les fortes avancées de la recherche sur le sorgho.

Depuis 2000, le programme malien de recherche sur le sorgho est passé de la sélection variétale formelle, caractérisée par un système semencier contrôlé par l'Etat (FPB-S) à une approche participative caractérisée par des expérimentations et essais aux champs et la fourniture décentralisée de semences contrôlées par les associations de producteurs (PPB-F). Récemment, le programme a homologué les premières variétés hybrides de sorgho de race guinéenne développées au Mali et issues, pour la plupart, du germoplasme des variétés locales. Sur les cinq races de sorgho cultivées en Afrique subsaharienne, la race guinéenne domine dans la Savane Ouest Africaine où la majorité du sorgho est cultivée. Hormis sa sensibilité à la photopériode, les caractéristiques qui définissent la race guinéenne sont la forme des graines et le fait qu'elles se replient dans les épis lorsqu'elles arrivent à maturité, laissant ces derniers ouverts avec les panicules relâchées, ce qui permet ainsi d'atténuer les dégâts causés par les insectes et les moisissures.

Dans cette étude, nous évaluons l'impact économique potentiel des premières variétés hybrides de sorgho de race guinéenne, produites et diffusées, en appliquant le nouveau paradigme de recherche et développement (FPB-F) et en le comparant avec les résultats qu'on aurait obtenus en appliquant l'ancienne approche (PPB-S). Afin d'intégrer le risque dans notre analyse, nous amplifions le modèle de surplus économique en appliquant un échantillonnage Monte Carlo pour simuler les distributions des paramètres du modèle. Ainsi, plutôt que de fournir une seule estimation du surplus économique total, de la valeur actuelle nette et du taux de rentabilité interne, l'analyse génère un éventail de valeurs estimatives, leurs minimums, maximums, moyennes et modes. Ensuite, nous explorons les facteurs qui influent plus sur la variation des avantages économiques ; ceux-ci nous permettent de dégager des implications politiques.

Une enquête de recensement des variétés de sorgho, réalisée auprès de 2430 producteurs dans 58 villages de la Savane Soudanienne, sert de point de référence d'adoption. Les superficies emblavées en variétés de sorgho améliorées ont augmenté de 2009 à 2013, plus rapidement pour les variétés améliorées que pour les variétés locales et encore plus rapidement pour les variétés hybrides bien que les producteurs de ces variétés représentent encore une petite minorité pendant cette phase pilote du programme des variétés hybrides. Regroupées, toutes les variétés améliorées et hybrides représentaient 24,3% de la superficie emblavée en sorgho en 2013 dont 2,3% pour les variétés de race guinéenne.

Nos résultats indiquent que la recherche sur les hybrides de sorgho est un bon investissement lorsqu'il est accompagné d'une distribution de semences au niveau local. Du point de vue de l'investisseur, la comparaison entre deux investissements dépend le plus souvent seulement du calcul de deux paramètres: le TRI et la VAN. En tenant compte de ces deux paramètres, les résultats ex-ante de notre simulation de Monte Carlo montrent que le potentiel économique des hybrides de

sorgho développées à travers le système de sélection variétale participative est clairement supérieur à celui des variétés améliorées (de lignée pure) développées par le biais du système de sélection variétale formelle qui était la principale approche appliquée au Mali avant 2000. La courbe de fonction de distribution cumulative de la valeur actuelle nette (VAN), obtenue en investissant dans l'amélioration du sorgho, se déplace vers des valeurs plus élevées avec le PPB-F qu'avec le FPB-S. Le taux de rentabilité interne est bien plus faible avec le FPB-S qu'avec le PPB-F : le mode de la densité des valeurs simulées pour le TRI potentiel avec le FPB-S est près de la moitié de celui du PPB-F et 90% des valeurs varient de 11% à 43% contre 14% à 154%. Etant donné que les flux des coûts pour les deux scénarios comportent les dépenses récurrentes du programme national et que l'échelle des bénéfices ne comprend que les régions de Koulikoro et de Sikasso, les présentes conclusions sont conservatrices.

L'analyse de sensibilité souligne l'importance des avantages-coûts associés aux nouvelles hybrides de sorgho et qui sont liés aux gains de rendements et aux coûts des intrants. Des investissements complémentaires pour soutenir la gestion des sols et de l'eau peuvent aider à maintenir ces avantages. Toutefois, les surplus de rendements des hybrides de sorgho de race guinéenne obtenus au niveau de plusieurs environnements ne sont pas, en eux-mêmes, suffisants pour garantir que les résultats encourageants du projet-pilote se traduisent en grande échelle à des gains de productivité réels et généralisés. Malgré plusieurs années d'efforts consacrés à régler le secteur semencier au Mali, le système semencier du sorgho est toujours largement contrôlé par le système traditionnel paysans. Pour une diffusion efficace des hybrides, les acteurs publics et privés doivent continuer à investir dans des méthodes innovantes qui permettent de développer le système semencier du sorgho et de renforcer sa capacité à fournir des semences de bonne qualité et à des prix abordables. La sensibilité des résultats à l'élasticité-prix de l'offre suggère que le fait d'associer l'offre de semences avec les incitatifs pour la commercialisation des produits à base de sorgho pourrait également appuyer la diffusion.

## Table des Matières

I.	Introduction .....	2
II.	Méthodologie .....	4
	Enquête de recensement villageois .....	4
	Cadre d'estimation du surplus économique .....	4
	Simulation stochastique.....	6
	Valeurs des paramètres.....	7
III.	Résultats.....	12
	Taux d'adoption .....	12
	Résultats de la simulation.....	13
IV.	Conclusions.....	15
V.	Implications en termes de politique .....	16
	Bibliographie.....	18

## I. Introduction

Les populations rurales maliennes dépendent, depuis longtemps, du sorgho comme culture servant d'aliment de base. Depuis les sécheresses des années 1970-80 qui ont dévasté la région, le Gouvernement du Mali (GM) a tenté d'augmenter la productivité du sorgho, avec l'appui de bailleurs de fonds et d'organisations internationales de recherche. Malgré plusieurs décennies de recherche et développement, les rendements de sorgho enregistrés de 1961 à 2012 par la Cellule de Planification et de Statistiques du Secteur du Développement Rural (CPS-SDR) au Mali n'ont connu qu'une hausse moyenne de 0.49% sur l'ensemble du territoire national. Dans cette région, les efforts visant à augmenter la productivité du sorgho à travers l'amélioration génétique se sont basés, initialement, sur l'utilisation des variétés locales de race guinéenne et la priorité a été, par la suite, donnée à l'introduction de matériaux exotiques de sélection variétale de race presque exclusivement *Caudatum*. Cinq principaux types morphologiques ou « races » de sorgho sont reconnus à travers le monde (Harlan et de Wet, 1972; Olsen 2012), à savoir la race *Caudatum* (originaire d'Afrique de l'Est), la race *durra* (qu'on retrouve dans la Corne de l'Afrique et dans les régions arides), la race *kafir* (originaire de l'Afrique de l'Est, au sud de l'Equateur) et le sorgho colorant (largement distribué). La cinquième catégorie est la race guinéenne qui est prédominante dans la Savane Ouest-Africaine allant du Sénégal vers l'Est en passant par le Mali et le Burkina Faso.

Les caractéristiques qui définissent la race guinéenne sont particulièrement la forme des graines et le fait qu'elles se replient dans les épis lorsqu'elles arrivent à maturité, laissant ces derniers ouverts et les panicules relâchées ; ceux-ci permettent de minimiser les dégâts causés au grain par les insectes et les moisissures (Rattunde et al. 2013; Barro-Kondombo et al. 2008; Haussmann et al. 2012). Les variétés locales maliennes de race guinéenne ont plusieurs caractéristiques qui contribuent à leur adaptation. L'une d'entre elles est la sensibilité à la photopériode, qui est extrêmement utile aux paysans dans les environnements à risques (Soumaré et al. 2008). La sensibilité à la photopériode permet à la plante d'ajuster son cycle de croissance afin que la floraison puisse se faire à une date prévisible sur le calendrier, vers la fin de l'hivernage, quelle que soit la date de semis.

Depuis 2000, le programme malien d'amélioration du sorgho s'est lancé dans le développement de variétés hybrides de race guinéenne ainsi que des hybrides et variétés de race *Caudatum*-guinéenne. En collaboration avec les chercheurs de l'Institut International de Recherche sur les Cultures en Zones Tropicales Semi-arides (ICRISAT), les sélectionneurs de sorgho ont conçu des approches de recherche impliquant directement les agriculteurs dans leurs initiatives de sélection variétale, à savoir la définition collective des priorités, la sélection en champs et l'expérimentation des variétés. Afin d'appuyer l'approche de la diffusion des semences axée sur l'offre, le Programme national malien et l'ICRISAT ont mis un accent plus fort sur la promotion d'un système semencier local géré en collaboration avec les paysans (Diakité et al. 2008, Christinck et al. 2014). Cette approche comprenait également l'expérimentation et la multiplication de la semence par les associations de producteurs et les petites entreprises de semences.

Même avec une homologation stable des variétés améliorées et bien adaptées de sorgho au Mali, un gain marginal de rendements (10%) n'a pas été obtenu facilement. En 1999, le programme a initié le développement des hybrides souches à partir du germoplasme de race guinéenne adaptée

localement comme moyen de répondre à la préoccupation des paysans pour des rendements plus élevés. Les chercheurs ont tenté de tester s'il était possible de créer des variétés hybrides capables à la fois de générer des rendements exceptionnels et de fournir des graines et panicules ayant les caractéristiques préférées des paysans. Les évaluations de performance de rendement de ces hybrides ont montré des avantages importants par rapport aux variétés locales de meilleure qualité qui sont cultivées dans des conditions agricoles à la fois très bonnes ou moins bonnes (Rattunde et al. 2013). Cette validation expérimentale du concept, conjuguée à l'intérêt croissant des organisations paysannes pour la production de semences hybrides, semble justifier la mise en place d'un programme complet pour la Savane Soudanienne de l'Afrique de l'Ouest. Cependant, aucune analyse économique systématique n'a encore été réalisée pour confirmer l'impact économique potentiel d'une telle stratégie.

En outre, le programme national de sorgho applique, depuis plusieurs décennies, deux approches divergentes de recherche pour le développement que nous appelons ici paradigmes. Le premier, un système de sélection variétale formelle désignée FPB-S, était une approche centralisée qui utilisait principalement la photopériode de manière intensive, introduisait le germoplasme, ciblait la zone géographique la plus vaste possible et s'appuyait sur un système national de diffusion des variétés. Le second, une approche participative de sélection variétale désignée PPB-F, utilisait le germoplasme ayant comme caractéristiques de la sensibilité à la photopériode ainsi que la graine, l'épi et la panicule préférés par les paysans dans la zone prédominante de production de sorgho au Mali (la Savane soudanienne). Ce paradigme fait la promotion des systèmes de diffusion variétale gérés par les paysans et d'un réseau décentralisé d'expérimentation collaborative par les paysans et les chercheurs. Des variétés de lignée pure, fruits de ces deux approches, sont actuellement cultivées par les paysans maliens.

A ce jour, aucune comparaison des retours sur investissement potentiels de ces approches divergentes n'a été tentée. Cette analyse a pour contribution de mettre en évidence les différences de retours sur investissements entre les deux paradigmes de recherche et développement. De plus, l'analyse comprend une analyse *ex ante* de l'impact économique potentiel des hybrides de sorgho de race guinéenne produites et diffusées au Mali. Le cadre de surplus économique sert de base analytique. Afin de mieux refléter la nature stochastique de la production agricole et de garantir une analyse solide dans un contexte *ex ante*, nous amplifions le cadre en appliquant l'échantillonnage Monte Carlo pour simuler les distributions de probabilité pour les paramètres du modèle.

Nous ne connaissons aucune comparaison du genre dans la littérature économique publiée. Plusieurs articles ont exploré les aspects économiques de la recherche participative des agriculteurs (Johnston et al. 2003; Smale et al. 2013; Dalton et al. 2011), mais ceux-ci n'ont pas explicitement comparé les paradigmes de recherche et développement. Atlin et al. (2001) ont comparé les conditions de réalisation d'avantages génétiques avec la sélection végétale participative ou formelle. Les auteurs ont conclu que la sélection variétale participative était plus susceptible d'être plus performante que la sélection variétale formelle dans les environnements à faibles rendements. Sur l'échelle mondiale, l'environnement du Mali est clairement un environnement à faibles rendements.

## II. Méthodologie

### Enquête de recensement villageois

Un recensement des ménages producteurs de sorgho a été réalisé en 2014 dans 58 villages des Cercles de Dioila et Kati (région de Koulikoro) et de Koutiala (région de Sikasso) où l'IER et l'ICRISAT ont, pendant longtemps, mené des activités de sélection variétale de sorgho. Les équipes composées d'un *animateur* et d'enquêteurs ont utilisé un instrument d'enquête dans chaque ménage, pour un nombre total de 2430 *exploitations agricoles familiales* (ou EAF). Cet instrument était composé (a) d'une liste de tous les membres du ménage avec leurs données sociodémographiques; (b) d'une liste de toutes les parcelles gérées par les membres de l'exploitation avec les informations sur la plante cultivée et la taille de la parcelle selon les estimations des paysans et (c) d'une liste de toutes les variétés de sorgho cultivées de 2009 à 2013 avec des informations sur la source des semences, leur mode d'acquisition, les changements dans la zone emblavée pendant les cinq dernières années et les justifications de ces changements. L'enquête réalisée pour la présente étude était utilisée pour mesurer les taux d'adoption des variétés de sorgho et documenter les modèles d'utilisation des semences. Les noms de variétés ont été vérifiés en concertation avec les techniciens et sélectionneurs de sorgho de l'ICRISAT.

### Cadre d'estimation du surplus économique

La littérature économique reposant sur l'utilisation du modèle de surplus économique pour évaluer les taux de rentabilité économique des investissements dans la recherche agricole est immense. On peut citer parmi les exemples récents l'application d'une approche *ex ante* pour évaluer les taux de rentabilité potentielle des investissements dans les systèmes d'information et de connaissances agricoles (AKIS) par Horstkotte-Wessler et al. (2000) et d'autres exemples se rapportant aux impacts des cultures biotechnologiques dans les pays en voie de développement (par ex, Hareau et al. 2006; Falck-Zepeda et al., 2008; Horna et al. 2007; Rudi et al. 2010). En Afrique sub-saharienne, Alene et Coulibaly (2009) ont appliqué l'approche *ex post* pour évaluer les impacts de la recherche agricole sur la productivité et la pauvreté.

Au Mali, Yapi et al. (2000) ont appliqué l'approche du surplus économique afin d'estimer les impacts économiques de la recherche sur le sorgho et le mil pendant les premières décennies de mise en œuvre du programme national. En comparaison avec Yapi et al. (2000), qui ont distingué les taux de retour sur investissements de deux catégories de produits de recherche, nous distinguons les taux de retour sur investissements de deux paradigmes de recherche et développement. A cet égard, notre approche est identique à celle de Rudi et al. (2010), qui ont comparé la sélection variétale conventionnelle et celle assistée par marqueurs moléculaires dans l'amélioration du manioc. Nous introduisons également les éléments des approches stochastiques et *ex ante* appliquées par Falck-Zepeda et al. (2008) et Horna et al. (2007) pour analyser les plantes biotechnologiques.

Les bases de l'approche du surplus économique peuvent être établies à partir des formules présentées dans Alston et al. (1995). En postulant une économie nationale fermée, comme appropriée dans le contexte du secteur du sorgho au Mali, le changement technique est représenté par un déplacement parallèle de la courbe de l'offre résultant de l'adoption d'hybrides

de sorgho visant à améliorer les rendements. Ce déplacement génère (a) une variation du surplus économique ( $\Delta ES$ ), qui est composée (b) d'une variation du surplus du consommateur ( $\Delta CS$ ) et (c) d'une variation du surplus du producteur ( $\Delta PS$ ). Le surplus du producteur mesure, théoriquement, combien de producteurs supplémentaires pourraient payer pour leurs semences et arriver à financer leur coûts. Le surplus du consommateur exprime combien de consommateurs supplémentaires seraient disposés à payer pour l'achat des quantités qu'ils consomment. Le surplus économique total est égal au surplus du producteur plus le surplus du consommateur.

La formule algébrique est représentée comme suit:

$$(1) \Delta ES = P_0 Q_0 K_t (1 + 0.5 Z_t \eta)$$

$$(2) \Delta CS = P_0 Q_0 Z_t (1 + 0.5 Z_t \eta)$$

$$(3) \Delta PS = (K_t - Z_t) P_0 Q_0 (1 + 0.5 Z_t \eta)$$

Sur le plan conceptuel, dans ces formules,  $K_t$  est la variation de l'offre. Avant la variation de l'offre,  $P_0$  représente le prix du sorgho et  $Q_0$  représente la quantité produite. Le paramètre  $\eta$  représente l'élasticité-prix de la demande.  $Z_t$  est la baisse relative du prix au temps  $t$ , qui est calculée comme étant  $Z_t = K_t \varepsilon / (\varepsilon + \eta)$ , où  $\varepsilon$  est l'élasticité-prix de l'offre. La variation de productivité est représentée en termes de produit de la baisse de coûts par tonne de production comme proportion du prix du produit ( $K$ ) et de l'adoption de la technologie à un temps  $t$  ( $A_t$ ). Ainsi,

$$(4) K_t = [((\Delta Y/Y)/\varepsilon - (\Delta C/C))/(1 + (\Delta Y/Y))] \times A_t$$

où  $\Delta Y/Y$  est l'augmentation proportionnelle moyenne du rendement par hectare,  $\varepsilon$  désigne l'élasticité de la demande;  $\Delta C/C$  est la variation proportionnelle moyenne des coûts variables par hectare nécessaire pour obtenir une hausse de rendement; et  $A_t$  est le taux d'adoption de la technologie améliorée au temps  $t$ . Ici, le taux d'adoption est défini comme le rapport de la superficie totale faisant l'objet de la nouvelle technologie sur la superficie totale cultivée.

Pour estimer la valeur économique de ces variations, du point de vue de l'investisseur, nous invoquons deux mesures synthétiques standards: (1) la valeur actuelle nette (VAN) et (2) le taux de rentabilité interne. Les bénéfices et coûts de la technologie sont actualisés à un taux d'actualisation réel et social ( $r$ ) annuel pour déterminer les valeurs nettes actuelles (VAN) de l'investissement sur les années prises en compte ( $t=1, \dots, k$ ). La VAN totale est calculée comme suit:

$$(5) VAN = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{B_{t+k} - C_{t+k}}{(1+r)^k};$$

où  $B$  représente la série de bénéfices correspondant au changement du surplus économique et  $C$  la série représentant les coûts d'investissement. Plutôt que de supposer un taux d'actualisation, le taux de rentabilité interne total (TRI) qui rend le taux d'actualisation « endogène » est calculé comme le taux assimilant la valeur actuelle nette totale (VAN) à zéro:

$$(6) \text{VAN} = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{B_{t+k} - C_{t+k}}{(1+IRR)^k} = 0$$

Pour une VAN=0, la valeur actuelle nette du coût de l'investissement est exactement égale à la valeur actuelle nette du profit généré par l'investissement. Si le TRI est supérieur à 0, alors l'investissement dans la recherche de sorgho hybride est profitable pour la société; s'il est inférieur à 0, alors l'investissement dans la recherche de variétés hybrides n'est pas profitable à la société.

### **Simulation stochastique**

Le risque et l'incertitude circonscrivent le contexte de prise de décision des petits producteurs de sorgho de la Savane Soudanienne du Mali. Les pluies fortes, arrivant trop tard dans la saison, les insectes et les moisissures peuvent également causer des pertes de céréales énormes. Le sorgho est une culture produite au Mali avec un nombre et un volume d'intrants externes relativement faible. L'usage d'intrants achetés, qui est rare, est principalement constitué de petites quantités d'engrais minéraux. Toujours est-il que la variation des périodes de pluies et de leur distribution pendant la saison agricole complique le choix du calendrier d'utilisation des intrants même pour les agriculteurs les plus expérimentés. Selon les politiques publiques et la vigueur des institutions commerciales et non commerciales, les risques et incertitudes liés à la production peuvent également influencer la répartition des avantages entre les consommateurs et les producteurs par la volatilité des prix fictifs des grains observés.

L'une des limites du modèle de surplus économique classique est qu'il est caractérisé par des valeurs déterministiques pour les paramètres clé. Pour combler cette lacune, les experts en recherche appliquée utilisent souvent l'analyse de sensibilité pour tester la robustesse de leurs résultats. Dans les études récentes, les chercheurs ont utilisé des méthodes de simulation stochastique, afin d'exploiter la distribution de probabilité complète des valeurs. Par exemple, Hareau et al. (2006) ont utilisé une simulation stochastique pour évaluer les avantages potentiels du riz transgénique résistant aux herbicides en Uruguay. Falck-Zepeda et al. (2008) ont appliqué le modèle du surplus économique amplifié par le logiciel @Risk pour évaluer les potentiels avantages et risques économiques de l'adoption du coton transgénique dans cinq pays de l'Afrique de l'Ouest.

Ici, nous utilisons également le logiciel @Risk (Palisade Corporation, [www.palisade.com/risk/](http://www.palisade.com/risk/)) qui est un outil de simulation sur tableur qui effectue des analyses de risques en appliquant les méthodes de simulation de Monte Carlo. Par exemple, le logiciel nous permet d'explorer la sensibilité des résultats aux changements de paramètres en exécutant une régression de chaque variable de sortie en fonction des paramètres inclus dans la simulation. Nous appliquons la distribution triangulaire pour la plupart de nos variables d'intrants. Les distributions triangulaires ont été largement utilisées comme outil de prise de décision dans les analyses de risque et d'incertitude où les données sont éparses (Hardaker et al. 2004). La distribution triangulaire donne une distribution normale approximative avec seulement trois valeurs : le minimum, le maximum et le mode.

## Valeurs des paramètres

### *Scénarios*

Pour rendre notre modèle fonctionnel, nous définissons les valeurs du paramètre selon deux scénarios qui représentent deux paradigmes différents explorés par les programmes d'amélioration du sorgho au Mali et ailleurs en Afrique de l'Ouest.

En termes d'estimation des indicateurs synthétiques de l'impact économique, les principales différences entre les deux paradigmes ont trait aux décalages temporels de la recherche et développement avant l'homologation d'un nouveau produit et la forme de la structure des coûts qui reflète le transfert des coûts de vulgarisation aux paysans eux-mêmes (voir par exemple Smale et al. 2003). S'agissant des bénéfices, il existe d'autres types d'impact liés à la sélection en champs et à l'offre au niveau locale de semences, tels que ceux en rapport avec l'obtention d'informations et de connaissances par les paysans et d'autres agents pendant le processus de changement technique (Weltzien et al. 2003). Cependant, nous ne les avons pas mesurés ici (voir Dalton et al. 2011 pour un exemple).

Dans leur représentation stylisée des répartitions temporelles des coûts et avantages de la recherche au fil du temps, Alston et al. (1995: 30) prennent cinq années de décalage de la recherche, qu'ils définissent comme les connaissances « pré-technologie », suivi par quatre années de décalage dans le développement avant homologation du produit et démarrage de l'adoption. Une autre période de six ans suit jusqu'à ce que l'adoption atteigne son niveau maximum. Ces exemples ne sont qu'à titre illustratif ; le décalage temporel de la recherche et développement dépend des facteurs suivants : quel type de recherche mener, à quel point la recherche de base est nécessaire contrairement à la recherche appliquée, la qualité des infrastructures de recherche et l'appui financier. Les auteurs indiquent que les « programmes conventionnels de sélection variétale destinés aux céréales prennent généralement six à dix ans pour développer une nouvelle variété » (p. 177); les programmes de recherche jouissant d'une expérience limitée prendront plus de temps. D'autre part, les travaux appliqués dans l'environnement des pays en voie de développement pourraient nécessiter moins de temps en cas de recherche fondamentale plus approfondie ailleurs et si les variétés sont finalisées et adaptées localement.

Dans la Figure 1a, nous avons adapté la figure originale d'Alston et al. (1995) afin de représenter la distribution temporelle des bénéfices et coûts. L'adoption commence l'année consécutive à l'homologation de la variété, pendant la 10<sup>ème</sup> année. Nous rajoutons un second flux de bénéfices pour indiquer un processus d'adoption caractérisé par un décalage supplémentaire de 5 ans avant le démarrage de l'adoption et un taux d'adoption maximale plus faible (plafond) en raison des contraintes institutionnelles, politiques et autres. Dans cette analyse qui suit, nous désignons « le décalage temporel de l'adoption » comme l'intervalle de temps entre l'homologation de la variété et la première année d'adoption.

Le fait que le plafond cumulatif d'adoption pour toutes les variétés améliorées ne pourrait jamais atteindre 100% de la superficie emblavée est, sans doute, d'autant plus important pour la recherche appliquée sur les variétés de céréales améliorées dans les environnements pluvieux des économies agricoles en voie de développement. Le « plafond » est mieux compris soit comme un

pourcentage de la superficie totale emblavée, qui représente la zone-cible pour laquelle la variété est multipliée soit comme son potentiel entier. Le potentiel d'adoption pour la plupart des variétés dans l'agriculture pluviale n'atteindra pas les 100% de la superficie nationale emblavée car chacune d'elles a été multipliée pour des environnements et des objectifs agricoles spécifiques. Au Mali, on ne s'attend pas à ce que l'adoption totale d'une seule variété ou de n'importe quel type de variété (hybrides uniquement) améliore, à un moment donné, le bien-être des petits producteurs. Dès lors, elle ne devrait pas constituer un objectif de politique nationale souhaitable (Bazile et al. 2008). Le flux de bénéficiaires en déclin décrit par Alston et al. (1995:30), indiqué dans la Figure 1a, reflète le fait qu'ils reconnaissent que les variétés deviendront obsolètes et que les paysans les remplaceront.

Le scénario réel pour les hybrides de sorgho de race guinéenne est présenté dans la Figure 1b, sur la base des séries de coûts fournies par l'ICRISAT pour le programme des hybrides 2000-2013 et les coûts de maintien du programme de sélection variétale fournis par l'IER. Ici, nous avons postulé que le système de recherche engendre des dépenses récurrentes constantes pour lesquelles des investissements spécifiques ciblés, tels que le développement de variétés mâles stériles cytoplasmiques comme souches femelles dans le nouveau programme d'hybrides, constituent des dépenses supplémentaires. Pour représenter les dépenses récurrentes du programme général, nous nous sommes référés à celles fournies par Yapi et al. (2000) fondés sur des interviews avec les principaux chercheurs du programme national (voir annexe du document). Ces séries ont été ensuite converties en dollars nominaux actuels. En tenant compte de ces dépenses dans notre scénario d'hybrides, nous postulons de manière implicite que le programme des hybrides dépend des activités du programme général, qui exagère probablement les coûts de ce dernier.

Dans le scénario PPB-F (A), nous postulons que les décalages temporels de la recherche et développement sont plus courtes que dans le schéma idéal présenté dans la figure 1a car l'expérimentation de la variété se fait à travers des essais en champs qui sont utilisés pour justifier l'homologation. En outre, les décalage temporel de l'adoption sont plus courts que prévues, dans la situation décrite pour l'amélioration des céréales dans la plupart des pays en voie de développement, et bien plus court encore que ce ne fut le cas pendant les premières années de mise en œuvre du programme d'amélioration du sorgho car les paysans connaissaient déjà les variétés et la production de semences était initiée avant l'homologation.

Les dépenses de la recherche prises en compte dans le scénario PPB-F (A), comprennent les financements de la Fondation Rockefeller, pendant la période 2000-2008, pour le développement de souches hybrides et l'expérimentation des premières variétés hybrides. De 2000 à 2004, les sélectionneurs de sorgho maliens ont choisi des souches à partir des matériaux destinés à la sélection végétale et ont pu résoudre le défi particulier qui consistait à créer des souches femelles pour le sorgho nécessaires pour développer des variétés hybrides. Les hybrides n'ont été testés en station que pendant deux ans avant le démarrage de leur expérimentation en milieu réel par les paysans en 2007 et leur homologation formelle auprès de ces derniers en 2009, ce qui correspondait à la première année prise en compte dans notre recensement au niveau des 58 villages. Les coûts représentant les financements de la Fondation McKnight pendant la période 2007-2013, destinés à développer des systèmes semenciers gérés par les paysans, sont également pris en compte. Le nombre de souches femelles du programme reste limité ; la période initiale qui faisait l'objet de notre analyse ici représente la phase de « validation de principe » avant que

le programme ne se lance dans une initiative plus vaste d'exploitation de la diversité génétique, de maintien d'une collection d'hybrides dont la performance a été prouvée et d'accélération de la fourniture de semences.

Les coûts du programme des hybrides sont rajoutés aux coûts de recherche et de maintenance du programme national, comme indiqués par Yapi et al. (2000), majorés du taux en vigueur en 2011-2012 (0.03%) pour obtenir leurs valeurs (nominales) actuelles. Le délai jusqu'au démarrage de l'adoption n'est que d'un an au minimum et l'adoption maximale intervient sur une période de 10 ans. Les avantages et coûts font l'objet d'une simulation sur une période de 20 ans compte tenu du délai réduit entre l'homologation de la variété et sa diffusion.

Le scénario B (FPB-S) représente l'approche nationale appliquée pendant les premières années du programme national de sorgho qui a été mis à jour ; soit, en quelque sorte, un « contrefactuel » du Scénario A. Afin de générer ces séries de coûts, nous avons utilisé celles compilées par Yapi et al. (2000) dont les montants actuels ont été majorés (comme ci-dessus) et auxquels nous avons rajouté les mêmes investissements totaux pour le programme d'hybrides mais qui sont répartis sur une période plus longue (25 ans) pour représenter un paradigme différent avec la même contrainte d'investissement. Globalement, les séries de coûts recueillies dans Yapi et al. (2000) affichent une forme identique à celle observée dans la Figure 1a. Cependant, nous nous attendons à ce que le délai jusqu'au démarrage de l'adoption soit beaucoup plus long que dans le scénario A (PPB-F). Dans le scénario B (FPB-S), les variétés n'ont pas été testées en champs avant leur homologation et les préférences des paysans n'ont pas été explicitement prises en comptes dans le processus de recherche. Nous représentons cela en rajoutant 5 ans d'intervalle avant l'adoption, le délai d'adoption maximale pouvant aller jusqu'à 15 ans après homologation officielle de l'hybride. Comme l'a indiqué Yapi et al. (2000), les coûts sont au départ plus bas, atteignent leur maximum avant de baisser progressivement.

La zone emblavée en sorgho des régions de Koulikoro et Sikasso représentent notre zone d'étude, estimée à environ 500.000 ha, selon la Cellule de Planification Statistique du Secteur du Développement Rural (CPS-SDR) en 2013 (294.196 ha et 205.904 ha par région, respectivement). Ces deux régions ont les plus grandes proportions de terres situées dans la Savane Soudanienne et sont, ainsi, les zones-cibles prioritaires de sélection végétale du sorgho et, notamment, de développement des variétés hybrides au Mali. Dans le classement des superficies emblavées et de la production totale, elles sont les premières régions productrices de sorgho. Jusqu'à la saison 2012-2013, ces deux régions représentaient plus de 51% de la superficie totale emblavée en sorgho du pays (31% à Koulikoro et 20% à Sikasso).

Nous limitons notre analyse à cette zone afin de comparer les deux approches de recherche et développement à la même échelle. Néanmoins, il convient de reconnaître que l'ampleur absolue des bénéfices (à la fois totaux et nets) générés par l'une ou l'autre approche serait considérée comme étant plus grande si ces derniers étaient projetés sur une échelle plus large.

#### *Valeurs de paramètres*

Le Tableau I présente les définitions de paramètres et les valeurs qui leur ont été assignées afin de simuler les impacts des hybrides de sorgho diffusés récemment. Afin de faire des prévisions d'impacts, nous comparons les deux scénarios. Le scénario A (PPB-F) est la principale approche

actuelle d'amélioration du sorgho au Mali. Le scénario B est le contrefactuel et l'approche principale précédente (FPB-S). Hormis les superficies totales, les investissements totaux et les années totales de simulation pour lesquels une valeur de paramètre ou des séries temporelles ont été assignées par scénario, chaque paramètre est associé à une distribution triangulaire de trois valeurs (le minimum, le maximum et le mode) par scénario.

Contextuellement, nous postulons qu'il s'agit d'une économie fermée où le sorgho n'est pas officiellement vendu sur les marchés internationaux. Nous postulons également que la demande et l'offre sont relativement inélastiques. Malgré l'évolution des marchés des céréales dans les zones urbaines (par ex., Bessler et Kergna 2002), les chaînes d'approvisionnement en semences et en céréales ne sont pas verticalement intégrées comme c'est le cas pour le riz, le coton et les cultures horticoles.

Les paramètres agronomiques et de recherche varient selon les scénarios (gain de rendement, avantage de coûts, taux d'adoption, nombre d'années jusqu'au démarrage de l'adoption, durée totale des flux de coûts et bénéfiques), alors que les paramètres du marché (prix du sorgho, élasticité-prix de l'offre, élasticité-prix de la demande et taux d'actualisation) restent les mêmes dans les deux scénarios.

*Gain de rendements (%)*. Rattunde et al. (2013) ont trouvé qu'indépendamment, les variétés hybrides de sorgho de race guinéenne ont généré des rendements de 17% à 47% par rapport aux variétés locales, avec une moyenne de 30% pour les trois premières hybrides selon les essais en champs réalisés par les paysans. Pour le scénario PPB-F (A), appliqué à la zone cible de la Savane Soudanienne, nous avons suivi Rattunde et al. (2013) avec un minimum de 17%, un mode de 30%, et un maximum de 47% lorsque les paysans cultivent les hybrides de sorgho de race guinéenne comparées aux variétés locales. Pour le scénario FPB-S (B), nous avons suivi Yapi et al. (2000), en supposant un minimum de 5%, un mode de 20%, un maximum de 30%. En effet, les gains de rendements peuvent être négatifs en raison de la susceptibilité des variétés améliorées précoces aux moisissures de la graine, aux punaises des panicules et à la striga.

*Taux d'adoption (%)*: Nous utilisons l'estimation de 5% présentée par Malton en 1987 pour définir le minimum dans le scénario B (FPB-S). Notre maximum (33%) est basé sur l'estimation du taux d'adoption national par Ndjeunga et al. (2012). Nous utilisons un mode de 20%. Des estimations plus élevées ont été rapportées par Yapi et al. (2000) et par notre analyse de base mais ces études étaient géographiquement ciblées. Néanmoins, il est important de reconnaître que les matériaux pris en compte dans les estimations de Matlon et de Yapi et al comprenaient des variétés locales sélectionnées à nouveau (« purifiées ») en plus des matériaux nouvellement créés ; une comparaison proche ne tiendrait compte que du nouveau germoplasme. En outre, le taux d'adoption minimale est probablement proche de 0% s'il reflète les expériences de la période précédente. Ainsi, nos estimations sont susceptibles d'être généreuses pour l'approche FPB-S.

Dans le scénario A (PPB-F), nous utilisons le minimum de 3% que nous avons observé dans le recensement de base. Pour le maximum, puisque nous n'avons pas d'exemple local, nous nous appuyons sur l'exemple des hybrides de petit mil en Inde. En 2006, les hybrides ont couvert plus de 60% de la superficie plantée en petit mil (Pray et Nagarajan 2010); historiquement, les taux d'adoption les plus élevés de mil à haut rendement, dont la plupart était des hybrides, ont été

enregistrés à Gujarat et à Maharashtra (99% et 94%, respectivement en 1994, selon Deb, Bantilan et Rai 2005). Nous postulons que le maximum est de 80%, comme point médian entre ces deux estimations, et que le mode est de 50%. Ces estimations sont également généreuses et reflètent le rôle de l'industrie indienne des semences qui est dynamique en matière de facilitation de l'adoption à grande échelle.

*Nombre d'années avant le début de l'adoption:* Dans le scénario A (PPB-F), où les systèmes semenciers sont plus décentralisés, nous supposons un délai d'un an au minimum jusqu'aux premières adoptions mais nous réservons du temps pour la sensibilisation et l'apprentissage (mode de 3 ans) avec un maximum de 5 ans avant que l'adoption ne soit initiée. En reflétant le système semencier plus centralisé et nationalisé, décrit pour le scénario B (FPB-S), nous supposons un minimum de 5 ans, un mode de 8 ans et un maximum de 10 ans. Alene et Coulibaly (2009) ont également supposé une période de 8 ans pour l'ensemble de l'Afrique subsaharienne et Yapi et al. (2000) ont rapporté une période de 10 ans pour le sorgho du Mali.

*Période totale des flux de coûts et d'avantages:* Dans le scénario B (FPB-S), comme dans Yapi et al. (2000), les coûts et les avantages font l'objet d'une simulation sur une période de 25 ans, ce qui reflétait un programme de sélection variétale nationale et centralisé. Dans le scénario A (PPB-F), nous prévoyons qu'après 20 ans d'utilisation des variétés hybrides les plus performantes, les paysans, guidés par leurs objectifs d'optimisation de leurs profits, abandonneront les variétés locales au profit de variétés hybrides plus récentes.

*Avantage de coûts (CFA/kg):* Rattunde et al. (2013) ont trouvé qu'avec un rendement maximum de 3 tonnes /ha, le coût de production de céréales par kg était inférieur de 62% pour une variété hybride de sorgho par rapport à la meilleure variété locale. Avec un rendement de 1,5 tonnes /ha, l'avantage de coûts des hybrides de sorgho était de 24% et, dans les conditions les plus défavorables, 1 tonnes /ha, était de -16%. Nous utilisons ces valeurs pour la distribution triangulaire du scénario A (PPB-F). S'agissant des variétés améliorées, une analyse parallèle menée par l'ICRISAT qui repose sur les données d'essais en milieu réel a montré qu'avec un rendement maximum de 1,3 tonne/ha, leur avantage-coût par rapport aux variétés locales était de 18%. Le rendement moyen de 0,7 tonnes/ha a généré une réduction de coût de 10% et le rendement minimum de 350kg/ha uniquement était associé à un avantage de coût de -3%. Pour le scénario B (FPB-S), nous appliquons ces estimations.

*Taux d'actualisation(%):* Plusieurs études portant sur les investissements publics ont utilisé un taux d'actualisation minimum de 5% dans leur analyse (Alene et Coulibaly, 2009). Pour cette analyse, le taux d'actualisation maximum est fixé à 15%, compte tenu du potentiel d'investissements privés dans les hybrides de sorgho, avec un mode de 10%. Une étude de la Banque Mondiale réalisée dans neuf pays d'Amérique Latine, Lopez (2008) a utilisé une marge de 5-7% pour des projets de 20 à 25 ans. Nous utilisons une distribution triangulaire de 5%, 10%, et 15% pour les deux scénarios.

*Prix du sorgho (CFA/tonne):* Nous assignons au prix une moyenne de 334 dollars par tonne et un écart-type de 45,9 de dollars américains par tonne, selon les séries temporelles de l'*Observatoire du Marché Agricole* (OMA) pour la période 2000 – 2012. La même source fournit un prix maximum de 600 dollars par tonne avec un mode de 300 dollars américains par tonne pendant

cette période. Les distributions des prix agricoles ne changent pas par scénario. Ces prix sont bien plus élevés que ceux enregistrés pendant la période étudiée par Yapi et al. (2000).

*Elasticité-prix de l'offre:* Masters et al. (2003) et Alston et al. (1995) suggèrent que dans les analyses ex ante, lorsque les données sont rares, l'élasticité-prix de l'offre peut être fixée à 1. En notant que l'élasticité de la superficie est souvent utilisée comme substitution pour la réponse à l'offre car les paysans ont plus de contrôle sur la superficie des terres que sur la production, Rao (1989) ont trouvé que dans les pays en voie de développement, les élasticités de superficie variaient de 0 à 0,8 à court terme et de 0,3 à 1,2 dans le long terme. Yapi et al., 2000 ont appliqué une valeur d'élasticité de 0,40 dans leur analyse de sensibilité sur la base du fait que le sorgho reste une culture vivrière produite principalement pour la consommation domestique. Dans les zones de production du coton du Mali, Vitale et al. (2009) ont obtenu une élasticité de superficie par rapport au prix du sorgho de 0,285 en réponse à l'offre. Sur la base de ces résultats, nous supposons une distribution triangulaire avec un maximum de 1, un mode de 0,4 et un minimum de 0,285 dans l'un ou l'autre scénario.

*Elasticité-prix de la demande:* Masters et al. (2003) et Yapi et al. (2000) ont obtenu une élasticité de la demande par rapport au prix de (-0.75) pour être consistant avec les conditions typiques aux gros grains de l'Afrique de l'ouest et de l'Afrique centrale. Encore une fois, ceci reflète le fait que la demande est relativement inélastique (entre -1 et 0). Comme plus haut, nous postulons que la demande est inélastique par rapport aux prix et appliquons les mêmes valeurs dans l'un ou l'autre scénario avec une valeur absolue allant d'un minimum de (-1), d'un mode de (-0,7) et d'un maximum de (-0,4). Diao et al. (2008) indiquent une valeur absolue de 0,424 pour l'élasticité-prix de la demande dans 17 pays de l'Afrique sub-saharienne, dont le Mali. Depuis la flambée des prix alimentaires et bien que tous les prix des céréales aient augmenté, le sorgho reste tout de même moins cher que le riz ou le maïs. L'inélasticité relative de la demande par rapport aux prix exprime le fait que le sorgho reste une plante utilisée comme aliment de base.

### **III. Résultats**

#### **Taux d'adoption**

Le tableau 2 présente la superficie totale et le pourcentage de superficie totale emblavée par chaque type de variété en tenant compte de l'ensemble des producteurs de la plante ou le « degré » total d'utilisation en tenant compte de tous les 58 villages et de toutes les exploitations familiales productrices de sorgho (2430) retenues dans l'analyse de base. Nous l'appelons taux de diffusion de la zone.

Les zones emblavées en types de sorgho améliorées ont augmenté de 2009 à 2013, plus rapidement pour les hybrides, bien que les producteurs d'hybrides représentent toujours une minorité pendant les premières étapes de leur expérimentation (Tableau 2). Cinq ans après leur introduction auprès des paysans, pendant la phase pilote du programme de développement des variétés hybrides, les hybrides de sorgho de race guinéenne ont représenté 2,3% de la zone totale emblavée en sorgho dans les 58 villages enquêtés. Toutes les variétés améliorées et les hybrides représentent ensemble 24,3% de la superficie totale emblavée en sorgho en 2013.

En interprétant les résultats, il est important de tenir compte de la définition opérationnelle du statut d'amélioration de la variété que nous appelons *type de variété*. Les enquêteurs ont obtenu les noms de toutes les variétés cultivées entre 2009 et 2013. Ces noms ont ensuite été vérifiés et classés par type de variété (locale, améliorée, hybride). Les variétés améliorées prises en compte ici sont les lignées pures. Des focus groupes et des interviews avec les informateurs clé ont été menés afin de vérifier certains noms indiqués. La liste finale est composée de 137 noms bien que tous n'aient pas pu être identifiés selon leur statut d'amélioration. Ainsi, parmi un total de 3496 parcelles emblavées, associées aux variétés citées, 3487 ont pu être catégorisées par type de variété. Alors que l'équipe est certaine que toutes les parcelles catégorisées comme « type améliorée » étaient en fait emblavées en variétés améliorées, il est possible que les paysans aient donné des noms locaux aux variétés améliorées qu'ils cultivent depuis des années. Nous postulons que les estimations de base pour l'adoption sont, dès lors conservatrices. Puisque les données représentent un recensement plutôt qu'un échantillon, les estimations pourraient inclure les erreurs de calcul mais non d'échantillonnage.

## Résultats de la simulation

Les tableaux 3 et 4 présentent les statistiques sommaires des résultats de la simulation Monte Carlo obtenue en appliquant @risk aux équations du modèle et les valeurs de paramètre indiqués dans le Tableau 1 pour le scénario A (PPB-F) et le scénario B (FPB-S) avec 50.000 itérations. Le surplus total (ST) et la valeur actuelle nette (VAN) sont exprimés en millions de dollars américains. Le surplus du consommateur (SC) et le surplus du producteur (SP) sont définis en termes de millions de dollars américains et part (%) du surplus total.

### (1) Statistiques sommaires

Nous estimons un surplus total (ST) allant de -48 millions à 206 millions de dollars avec un mode de 17 millions de dollars obtenu en investissant dans les hybrides de sorgho à travers la sélection variétale participative accompagnée d'un système semencier géré par les paysans (Scénario A, PPB-F, indiqué dans le Tableau 3). Le taux de rentabilité interne (TRI) varie de 0% à 410% avec un mode de 50% par an. Le surplus du consommateur (CS) varie de -24 millions à 83 millions de dollars avec un mode de 7 millions de dollars. Le surplus du producteur (SP) varie de -24 millions à 123 millions de dollars avec un mode de 2 millions de dollars. Dans la zone de notre étude, la plupart des exploitations agricoles familiales sont également des familles consommatrices. Dans les meilleures conditions du Scénario A (PPB-F), les résultats suggèrent que tout le secteur du sorgho des régions de Koulikoro et Sikasso pourrait réaliser un gain pouvant aller jusqu'à 206 millions de dollars à partir de cet investissement.

Les valeurs de surplus maximum (total, producteur, consommateur) dans leur ensemble sont légèrement plus faibles avec la sélection variétale formelle (Scénario B, FPB-S) qu'avec le scénario PPB-F bien que les minimums soient identiques (tableau 4). Les valeurs modales sont identiques et les valeurs moyennes sont légèrement inférieures en termes de magnitude. Les simulations de Monte Carlo suggèrent que l'investissement dans l'amélioration du sorgho dans la zone de l'étude en appliquant l'approche FPB-S donnerait une marge de surplus total variant de -9 millions à 194 millions de dollars avec un mode d'environ 10 millions de dollars. Le surplus du consommateur est comprise entre -4 millions et 60 millions de dollars, avec un mode d'environ 4 millions \$. Le surplus du producteur varie entre -4 millions et 136 millions de dollars avec un

mode de 4 millions de dollars. Le taux de rendement interne est bien plus faible pour le FPB-S que pour le PPB-F, avec une valeur moyenne de 26% (par rapport à 65%) et un mode de 26% (par rapport à 50%).

## **(2) Comparaison des distributions**

La partie gauche de la figure 2 montre une fonction de densité de probabilité de 50.000 itérations de valeurs générées pour un surplus total (ST) basé sur les valeurs de paramètre du scénario PPB-F. Environ 90% de la densité figure dans la marge positive et en dessous de 80 millions de dollars américains. La partie droite de la figure 2 illustre la sensibilité des résultats de la simulation aux paramètres pris en compte dans le modèle de surplus économique. Les principaux déterminants de la variation du ST sont l'élasticité-prix de l'offre, suivie de l'avantage de coût des hybrides. En troisième place, se retrouve les gains de rendements dans les champs des paysans et en quatrième place, le taux d'actualisation ou la valeur temps de l'argent.

De même que pour la situation que nous avons observée avec le PPB-F, les fonctions de densité de probabilité simulées par @risk suggèrent une forte probabilité de changement positif chez les populations de la Savane soudanienne (Figure 3). 90% des valeurs comparables figurent également dans la marge positive mais en dessous de 48 millions de dollars américains.

L'avantage de coûts des hybrides semble jouer un rôle mineur dans l'explication de la variation du surplus total du FPB-S par rapport au PPB-F qui arrive en sixième place. Cependant, comme dans le scénario PPB-F, les gains de rendements, l'élasticité-prix de l'offre et le taux d'actualisation sont les 4 principaux déterminants de la variation du surplus du producteur dans le scénario FPB-S.

La courbe de fonction de distribution cumulative de la VAN se déplace vers des valeurs inférieures dans le scénario FPB-S mais avec une possibilité plus faible de VAN négative (Figure 4). La simulation du FPB-S montre une baisse de 90% de valeurs VAN en dessous de 43.0 millions de dollars américains par rapport au maximum de 74,4 millions de dollars américains pour le PPB-F.

La figure 5 montre que la courbe de fonction de distribution cumulative se déplace également vers des valeurs plus faibles dans le scénario de gestion centralisée et nationalisée avec les variétés améliorées que dans le scénario de sélection végétale participative avec les hybrides. Alors que 90% des valeurs TRI du scénario PPB-F varient entre 14,4% et 154,4%, ceux du FPB-S varient entre 11,3% et 42% (Figure 5).

Du point de vue de l'investisseur, la comparaison entre les deux investissements ne dépend, le plus souvent, que de deux paramètres, la VAN, qui représente le critère de choix des investisseurs et de définition des priorités ex post, et le TRI qui sert à définir des priorités en menant des évaluations ex ante (Alston et al. 1995). En tenant compte de l'un des deux paramètres, les résultats ex ante de notre simulation de Monte Carlo indiquent que le scénario PPB-F avec les hybrides de sorgho est clairement supérieur au scénario FPB-S avec les variétés améliorées.

#### IV. Conclusions

Nous avons réalisé une évaluation *ex ante* de l'impact économique potentiel des premières variétés hybrides de sorgho de race guinéenne introduites auprès des paysans de la Savane Soudanienne au Mali. Sur la base du modèle du surplus économique, nous avons comparé deux scénarios. Dans le premier, nos paramètres supposés sont conçus pour refléter l'approche de la sélection agricole en champs et de l'offre de semences gérée par les paysans qui est entreprise au Mali depuis l'année 2000. Deuxièmement, nous présentons l'approche de la recherche gérée par l'Etat qui prédominait auparavant.

Nos conclusions indiquent que le PPB-F sur les variétés hybrides de sorgho est un bon investissement non seulement en raison des gains de rendements évidents réalisés mais également de la réduction des décalage temporel de la recherche et de l'adoption obtenue lors des processus antérieurs de sélection en champs, d'expérimentation en milieu réel et de diffusion de semences contrôlée par les paysans. Elles suggèrent que le programme national de sorgho a fait des progrès remarquables dans l'ensemble de l'approche pendant ces dernières décennies.

Les résultats de la simulation prédisent une sensibilité des avantages économiques totaux aux avantages de coûts des semences d'hybrides. L'avantage de coût est étroitement lié à l'avantage de rendement obtenu avec les hybrides qui occupe une place moins importante comme déterminant de la variabilité des avantages dans le paradigme PPB-F. Puisque l'avantage de coût dépend du niveau de productivité auquel la comparaison est faite, ce résultat indique que l'appui aux paysans pour une meilleure fertilité des sols et, donc, pour une meilleure productivité, pourrait avoir un impact positif énorme sur les avantages économiques totaux de l'amélioration variétale du sorgho.

Outre le rôle central des gains de rendements, la variabilité du surplus total semble dépendre beaucoup de l'élasticité-prix de l'offre dans l'un ou l'autre paradigme et, donc, de la performance des matériaux introduits mais également de la réactivité des producteurs aux signaux de prix du marché.

La supériorité du paradigme actuel, grâce au critère VAN ou TRI, reflète une réalité contextuelle, non seulement des gains de rendements des hybrides de sorgho dans plusieurs environnements mais un développement, une introduction et une adoption tous plus rapides. Malgré plusieurs années d'efforts axés sur la formalisation et la réglementation des systèmes semenciers au Mali, celui du sorgho est toujours considérablement contrôlé par les paysans. Le développement et l'introduction de nouveaux matériaux par le programme national de recherche ont été une réussite et ont été assez fréquents, mais les paysans ont tendance à adopter ces nouveaux matériaux dans leur propre système et mutualisent leurs efforts plutôt que de compter sur des sources externes.

Ce processus ne sera pas simple pour le cas des hybrides de sorgho pour lesquelles les paysans et associations paysannes, qui produisent les semences, auront besoin de semences souches. L'intérêt des associations et coopératives paysannes dans la production et la commercialisation des semences et la diversité des acteurs maintenant engagés dans le système formel de distribution des semences suggèrent que les approches décentralisées ont le potentiel de fournir de la semence améliorée de manière efficace et de la diffuser plus largement auprès des petits

producteurs (Christinck et al. 2014; Coulibaly et al. 2014; Haggblade et al. 2015; ICRISAT 2015).

## **V. Implications en termes de politique**

En comparant les avantages et inconvénients de la sélection végétale formelle et participative, Atlin et al. (2001) recommandent que les systèmes participatifs élaborent absolument des modèles robustes destinés à des expérimentations environnementales multiples afin de pouvoir continuer à faire des contributions importantes sur une échelle globale. Nos conclusions confirment celles de Rattunde et al. (2013) selon lesquelles le système utilisé pour l'identification des hybrides est efficace.

Selon notre analyse, l'avantage de coût des hybrides qui est en rapport avec les gains de rendements et les facteurs prix, explique la plupart de la variabilité des bénéfices accumulés du paradigme de recherche actuel. D'une part, les données agricoles indiquent que les variétés hybrides de sorgho développées par le programme national malien ont réalisé une bonne performance avec ou sans engrais par rapport aux variétés locales. D'autre part, le maintien des surplus de rendements de sorgho obtenus dépendra de la bonne gestion des sols et de l'eau dans le temps. Nos conclusions, en termes de gains de rendements et d'avantages de coûts, soutiennent les investissements en pratiques complémentaires de gestion des sols et de l'eau.

L'élasticité-prix de l'offre, qui exprime la variation du pourcentage de sorgho vendu sur les marchés par rapport à la variation du pourcentage du prix unitaire, est également un déterminant clé de la variation des avantages du producteur et de retours sur investissement totaux. Fournir des incitatifs aux paysans pour commercialiser leur cultures, à travers le renforcement des marchés de céréales et d'autres produits à base de sorgho, est essentiel pour répondre à l'offre mais, historiquement, ce type d'investissement au Mali a favorisé d'autres céréales (le riz et le maïs, cultivé en rotation avec le coton).

L'expérimentation en champs, la sélection de la variété et la multiplication de la semence par les paysans pourraient faciliter une diffusion et une adoption plus rapides des hybrides et d'autres variétés améliorées mais cette approche exige une attention particulière à la formation, aux activités de surveillance et au suivi. Les interviews avec les paysans confirment que bien que les semences certifiées soient plus à leur portée maintenant par rapport à avant et qu'ils les achètent plus souvent, ils trouvent que les coûts sont quelque fois élevés pour les petits producteurs. Produire suffisamment de quantités de semences de qualité et garantir leur accessibilité aux petits producteurs sont des enjeux importants. Les opportunités d'élargir davantage l'éventail d'acteurs impliqués dans la fourniture des semences doivent être plus explorées, y compris celles qui permettraient de renforcer les capacités des producteurs de semences commerciales, les coopératives et les entreprises communautaires à fournir plus de semences de base et à mieux commercialiser les semences certifiées. Les approches efficaces ont plus de chance d'impliquer la poursuite d'une stratégie impliquant plusieurs cultures (Christinck et al. 2014 ; ICRISAT 2015).

Notre étude n'a pas pris en compte la valeur des fourrages et leur utilisation potentielle comme aliments pour animaux, dans la projection des avantages économiques. La plupart des hybrides combinent des rendements céréaliers plus élevés et des fourrages de meilleure qualité,

encourageant les paysans à stocker ces fourrages comme aliments pour animaux destinés notamment aux bêtes affectées par les sécheresses. De même, la valeur nutritionnelle de la graine n'a pas été prise en compte ici. Certaines variétés hybrides ont été identifiées comme ayant des propriétés minérales supérieures à la moyenne (Fe et Zn), fournissant ainsi des avantages supplémentaires au système alimentaire.

L'analyse présentée ici, fondée sur les éléments de preuve d'un projet pilote et d'une modélisation *ex-ante*, met en évidence le potentiel économique de l'investissement dans les programmes de sélection végétale bien ciblés conjugués à une diffusion de semences efficace. En outre, les résultats indiquent que les avantages totaux peuvent être améliorés en appuyant les paysans de façon intégrée afin qu'ils puissent utiliser les stratégies de gestion de la fertilité des sols les plus efficaces avec les variétés et hybrides appropriées. La diffusion continue et élargie des variétés hybrides à travers la Savane soudanienne dépendra de l'appui durable pour un système semencier décentralisé et géré par les paysans, accompagné d'une collaboration dans la recherche. Élargir le réseau d'associations paysannes engagées dans la production et la diffusion de semences sera important pour garantir qu'un plus grand nombre de paysans puisse accéder aux semences de nouvelles variétés et d'hybrides dont ils ont confiance. Il est important d'améliorer l'échange et la coordination entre les producteurs de semences, qui sont de plus en plus nombreux, afin d'augmenter les gains futurs et garantir des impacts positifs pour un plus grand nombre de petits producteurs de sorgho y compris les femmes.

## Bibliographie

- Alene, A. D., et O. Coulibaly. 2009. The impact of agricultural research on productivity and poverty in sub-Saharan Africa. *Food Policy* 34(2): 198–209.
- Alston, J.M., Norton, G.W., Pardey, P.G. 1995. *Science under Scarcity: Principles and Practice for Agricultural Evaluation and Priority Setting*. Cornell University Press, New York.
- Atlin, G.N., M. Cooper et Å Bjørnstad. 2001. A comparison of formal and participatory breeding approaches using selection theory. *Euphytica* 122: 463-275.
- Barro-Kondombo, C.P., K. vomBrocke, J. Chatereau, F. Sagnard, et J.D. Zongo. 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.
- Bessler, D.A. et A. Kergna. 2002. Price discovery: The case of millet in Bamako, Mali, *Journal of African Economies*, Centre for the Study of African Economies (CSAE), vol. 11(4), pages 472-502, Décembre.
- Bazile, D., S. Dembélé, M. Soumaré, D. Dembélé. 2008. Utilisation de la diversité variétale du sorgho pour valoriser la diversité des sols du Mali. *Cahiers Agricultures* 17(2) : 86-94.
- Cellule de Planification Statistique du Secteur du Développement Rural (CPS-SDR). 2013. Bamako, Mali: CPS-SDR.
- Christinck, A., M. Diarra, G. Horneber. 2014. Innovations in seed systems: Lessons from the CCRP-funded Project “Sustaining farmer-managed seed initiatives in Mali, Niger, and Burkina Faso.” La Fondation McKnight, Minneapolis, USA. 68 pp.
- Coulibaly, H., D. Bazile, A. Sidibé et G. Abrami, 2014. Les systèmes d’approvisionnement en semences de mil et sorgho au Mali: production, diffusion et conservation des variétés en milieu paysan. *AGRIDAPE* 30 (1): Mars, 14-15.
- Dalton, T.J., N.K. Lilja, N. Johnson et R. Howeler. 2011. Farmer participatory research and conservation in Southeast Asian Cassava Systems. *World Development* 39 (12): 2176-2186.
- Deb, U. K., M. C. S. Bantilan, et K. N. Rai. 2005. Impacts of Improved Pearl Millet Cultivars in India. In P. K. Joshi, S. Pal, P. S. Birthal, and M. C. S. Bantilan (eds.), *Impact of Agricultural Research: Post-Green Revolution Evidence from India*. New Delhi, India: National Centre for Agricultural Economics and Policy Research, 85–99.
- Diakité, L., A. Sidibé, M. Smale, et M. Grum. 2008. *Seed Value Chains for Sorghum and millet in Mali: a state-based system in transition*. IFPRI Discussion Paper No. 749, Division de l’environnement et de la technologie de production, Institut de recherche sur les politiques alimentaires (IFPRI), Washington, D.C.
- Diao, X., S. Fan, D. Headey, M. Johnson, A. Nin-Pratt, B. Yu. 2008. Accelerating Africa’s Food Production in Response to Rising Food Prices: Impacts and Requisite Actions. IFPRI Discussion Paper No. 00825, Institut de recherche sur les politiques alimentaires (IFPRI), Washington, DC.
- FAOSTAT. Accédée le 3 juin 2016 à l’adresse suivante: <http://faostat.fao.org/>.

- Falck-Zepeda, J., D. Horna et M. Smale. 2008. Betting on cotton: Potential payoffs and economic risks of adopting transgenic cotton in West Africa. *African Journal of Agriculture and Resource Economics* 2(2): 188-207.
- Hagblade, S., B. Diallo, M. Smale, L. Diakité, et B. Teme. Revue du Système Semencier au Mali. Document de Travail No. Mali-2015-3. Laboratoire d'Innovation FSP. East Lansing, Michigan State University.
- Hareau, G.G., B.F. Mills, G.W. Norton. 2006. The potential benefits of herbicide-resistant transgenic rice in Uruguay: Lessons for small developing countries. *Food Policy* 31:162–179.
- Harlan, J.R., et de Wet, J.M.J. 1972. A simplified classification of cultivated sorghum. *Crop Science* 12(2):172-176.
- Horstkotte-Wesseler, G., M. Maredia, D. Byerlee, et G. Alex. *Ex Ante Economic Analysis in AKIS Projects*. Banque Mondiale, Washington, DC, March, 2000.
- Hardaker, J. B., R.B.M. Huirne, J. R. Anderson, et G. Lien. 2004. *Coping with Risk in Agriculture*. Wallingford, UK: CAB International.
- Johnston, N., N. Lilja, et J.A. Ashby. 2003. Measuring the impact of user participation in agricultural and natural resource management research. *Agricultural Systems* 78, 287-306.
- Kelly, V., L. Diakité, et B. Témé. 2015. Sorghum Productivity in Mali: Past, Present and Future. International Development Working Paper 138/. East Lansing, MI: Michigan State University, Department of Agricultural, Food and Resource Economics.
- Lopez, H. 2008. The Social Discount Rate: Estimate for Nine Latin American Countries. Policy Research Working Paper 4639. *Banque Mondiale*, Washington, DC. Juin.
- Masters, W. et S. Ly. 2003. *L'Impact Economique de la Recherche Agricole: Un Guide Pratique*. Purdue University, West Lafayette, Indiana.
- Matlon, P.J. 1987. The West African Semi-Arid Tropics. In J.W. Mellor, C.L. Delgado, and M.J. Blackie (eds.). *Accelerating Food Production in Sub-Saharan Africa*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Ndjeunga, J., Hash, C.T., Faye, I., Sanogo, M., Echekwu, C.A., Yeye, M., Moutari, A., Kodio, O., Toure, A., Cisse, O., Naino, J., Magagi, A., Zangre, A., Minougou, A., Ibro, A. and Kassari, A. 2012. *Assessing the Effectiveness of Agricultural R&D in West Africa: Cases of Pearl Millet, Sorghum and Groundnut Crop Improvement Programs. Diffusion and Impact of Improved Varieties in Africa (DIIVA) Project, Objective 1 Report*. Institut international de recherche sur les cultures des zones tropicales semi-arides International: Niamey, Niger.
- Olsen, K.M. 2012. One gene's shattering effects. *Nature Genetics* 44(6): 616-617.
- Pray, C. E., and L. Nagarajan. 2010. Improving crops for arid lands: Pearl millet and sorghum in India. In D. J Spielman and R. Pandya-Lorch (eds), *Proven Successes in Agricultural Development: A Technical Compendium to Millions Fed*. Ed. by. Washington, DC, USA.; Institut de recherche sur les politiques alimentaires.
- Rao, J.M., 1989. Agricultural supply response: a survey. *Agricultural Economics* 3, 1–22.
- Rattunde, H.F.W., E. Weltzien, B. Diallo, A.G. Diallo, M. Sidibe, A.O. Touré, A. Rathore, R.R. Das, W.L. Leiser, and Al. Touré. 2013. Yield of photoperiod-sensitive sorghum hybrids based on Guinea-race germplasm under farmers' field conditions in Mali. *Crop Science* 53 (Novembre-Décembre): 1-8.

- Rudi, N, G. Norton, J. Alwang, and G. Asumugha. 2010. Economic impact analysis of marker-assisted breeding for resistance to pests and postharvest deterioration in cassava. *African Journal of Agriculture and Resource Economics* 4(2): 111-122.
- Smale, M., M.R. Bellon, J.A. Aguirre, I. Manuel Rosas, J. Mendoza, A.M. Solano, R. Martinez, A. Ramirez, J. Berthaud. 2003. The economic costs and benefits of a participatory project to conserve maize landraces on farms in Oaxaca, Mexico. *Agricultural Economics* 29 (2003) 265-275.
- Vitale, J.D., H. Djourra, A. Sidibe. 2009. Estimating the supply response of cotton and cereal crops in small holder production systems: recent evidence from Mali. *Agricultural Economics* 40: 519–533.
- Yapi, A.M., A.O. Kergna, S.K. Debrah, A. Sidibe, and O. Sanogo. 2000. *Analysis of the Economic Impact of Sorghum and Millet Research in Mali*. Impact Series no. 8. Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: l'Institut international de recherche sur les cultures des zones tropicales semi-arides International.

**Tableau 1 : Valeurs de paramètre utilisées pour estimer les retours sur investissement des hybrides de sorgho par paradigme de recherche**

Paramètre	Scénario <sup>1</sup>		Source
	A (PPB-F)	B (FPB-S)	
Hausse de rendement (%)	17%, 30%, 47%	5%, 20%, 30%	Rattunde et al. (2013), Yapi et al (2000)
Avantage-coût (%)	62%, 24%, -16%	18%, 10%, -3%	Auteurs sur la base des essais en champs menés par l'ICRISAT (Rattunde et al. 2013)
Taux d'adoption plafond (%)	3%, 50%, 80%	5%, 20%, 33%	Matlon (1987), Ndjeungaet al. (2012), Yapi et al., (2000), Smale et al. 2014
Nombre d'années jusqu'au début de l'adoption	1, 3, 5	5, 8, 10	Discussion avec le chef de programme du sorgho à l'IER-Mali; ICRISAT.
Nombre d'années jusqu'au niveau d'adoption maximal	5, 8, 10	8,10, 15	Expérience des auteurs; Yap et al., 2000
Elasticité-prix de l'offre	0.258, 0.4, 1	0.258, 0.4, 1	Rao (1989); Masters and Ly (2003); Yapi et al. (2002), Vitale et al. (2009)
Elasticité-prix de la demande	1, 0.7, 0.4	1, 0.7, 0.4	Yapi et al. (2000); Vitale and Sanders (2005)
Taux d'actualisation (%)	5%, 10%,15%	5%, 10%,15%	Lopez H. (2008)
Investissement total (US\$ M nominal)	9641618	11730273	Yapi et al.(2000); ICRISAT; IER-Mali
Nombre d'années total de simulation	20	25	Expérience des auteurs; Yapi et al., (2000)
Prix du sorgho \$/tonne	200, 300, 600	200, 300, 600	Prix du marché du sorgho indiqué par l'OMA, 2000-2014

Source : Auteurs

<sup>1</sup>PPB-F=sélection végétale participative avec des systèmes semenciers contrôlés par les paysans; FPB-S=sélection végétale formelle avec les systèmes semenciers contrôlés par l'Etat.

**Tableau 2 : Superficie totale et pourcentage de zone emblavée en sorgho par type de variété**

	Superficie totale emblavée (ha)				
	2009	2010	2011	2012	2013
Hybrides	74.6	71.4	98.5	95.7	166
variétés améliorées	1143	1167	1290	1356	1605
variétés locales	4953	4999	5290	5375	5516
toutes variétés de sorgho	6171	6238	6678	6827	7287
	Pourcentage de la superficie totale emblavée en sorgho (%)				
Hybrides	1.21	1.14	1.48	1.40	2.28
variétés améliorées	18.5	18.7	19.3	19.9	22.0
variétés locales	80.3	80.1	79.2	78.7	75.7
toutes variétés de sorgho	100	100	100	100	100

Source : Auteurs, basés sur le recensement de toutes les variétés de sorgho rapporté par 2430 exploitations agricoles familiales de 58 villages de la Savane soudanaise du Mali (décrit dans le texte)

**Tableau 3 : Statistiques sommaires des résultats de simulation sous le scénario A  
(million de dollars américains)**

	ST	TRI	SC		SP		VAN
			valeur	part	valeur	part	
Maximum	206	410%	83	40%	123	60%	201
Minimum	-48	0%	-24	-50%	-24	-50%	-53
Mode	17	50%	7.5	44%	2.5	14%	14
Ecart-type	26	45%	10	38%	16	62%	26
Moyenne	30	65%	12	40%	18	60%	25

Source: Auteurs

Remarque : Scénario A = système de sélection végétale participative (voir texte). ST = surplus total. TRI= taux de rentabilité interne. SC= Surplus du consommateur. SP=surplus du producteur. VAN= Valeur actuelle nette

**Tableau 4 : Statistiques sommaires des résultats de simulation sous le scénario B (en million de dollars américains)**

	ST	TRI	SC		SP		VAN
			valeur	part	valeur	part	
Maximum	194	126%	60	31%	136	69%	187
Minimum	-9	0%	-4	44%	-4	56%	-15
Mode	10	26%	4	40%	4	60%	5
Ecart-type	14	9%	5	36%	9	64%	14
Moyenne	19	26%	8	42%	11	58%	15

Source: Auteurs

Remarque : Scénario B = système de sélection végétale formelle (voir texte). ST = surplus économique total. TRI= taux de rentabilité interne. SC= Surplus du consommateur. SP=surplus du producteur. VAN= Valeur actuelle nette

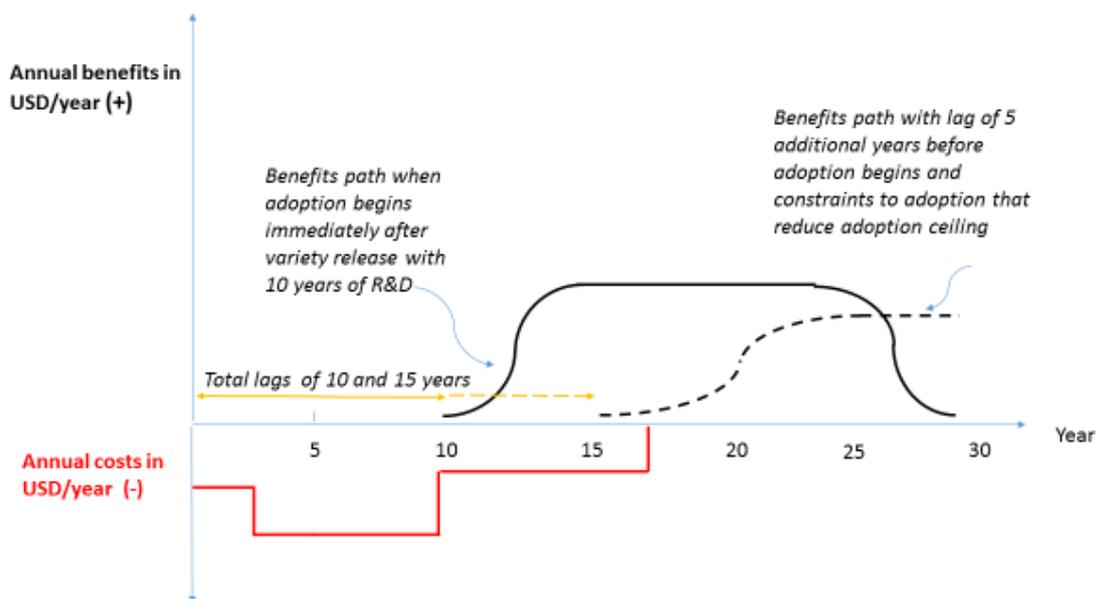


Figure 1a. Description de la distribution temporelle des coûts et avantages  
 Source: Auteurs, adapté d'Alston et al. (1995)

**Traduction des figures :**

Annual benefits in USD/year (+) : bénéfices annuels en dollars américains (+)

Annual costs in USD/year (-) : coûts annuels en dollars américains (-)

Benefits path when adoption begins immediately after variety release with 10 years of R&D : flux d'avantages lorsque l'adoption démarre juste après homologation de la variété avec une lenteur de recherche et développement de 10 ans

Total lags of 10 and 15 years : Délais totaux de 10 à 15 ans

Benefits path with lag of 5 additional years before adoption begins and constraints to adoption that reduce adoption ceiling : flux de bénéfices avec un délai supplémentaire de 5 ans avant le démarrage de l'adoption et les contraintes d'adoption qui réduisent le plafond d'adoption

Year : an

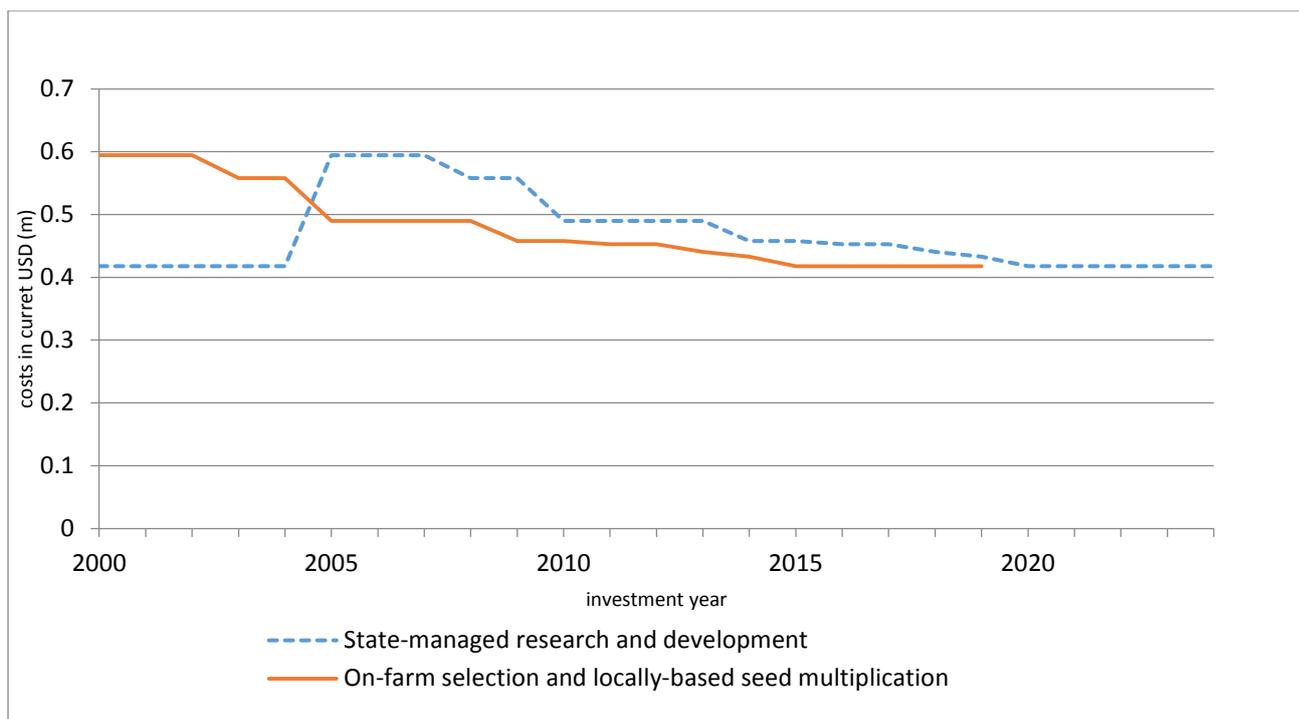


Figure 1b. Distribution des coûts

Source : Auteurs, selon les données fournies par l'ICRISAT et IER, et Yapi et al. (2000)

**Traduction des figures :**

Cost in current USD: coûts en dollars américains actuels

State-managed research and development: Recherche et développement géré par l'Etat

Investment year: année d'investissement

On-farm selection and locally based seed multiplication: Sélection en champs et multiplication locale de semences

Figure 2:

Scénario A : Distribution de la probabilité du surplus économique et les paramètres qui influencent sa variation

(a) Surplus économique total

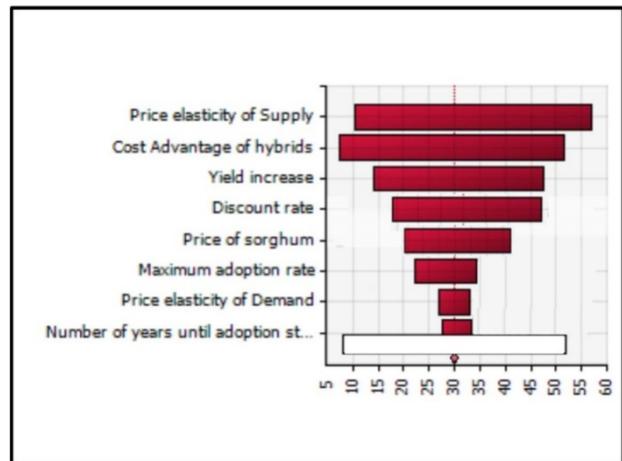
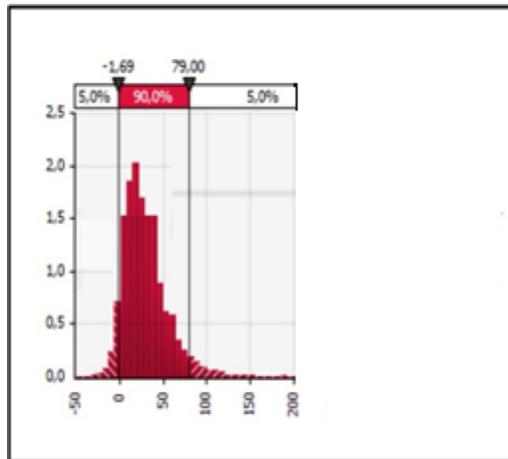


Figure 3 : Scénario B : Distribution de probabilité du surplus économique et les paramètres qui influencent sa variation

(a) Surplus économique total

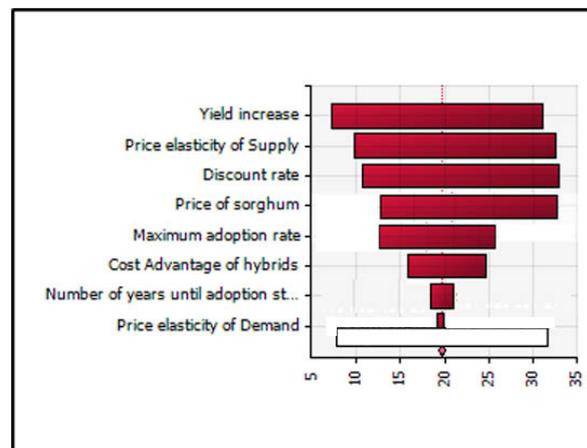
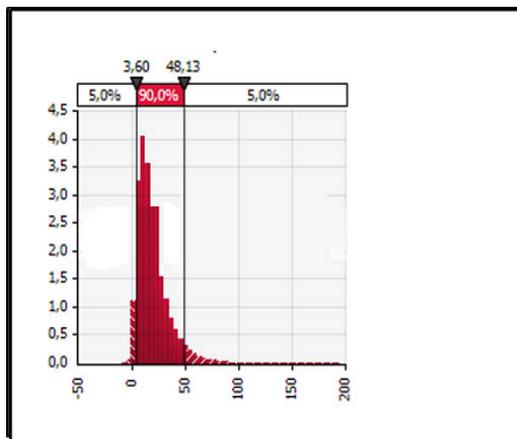
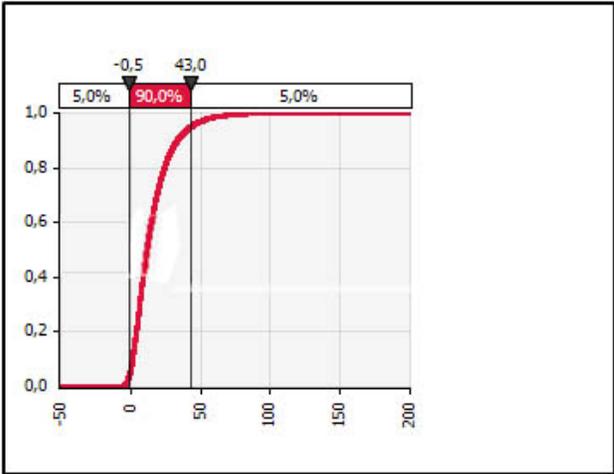


Figure 4: Comparaison des fonctions de distribution cumulative de la VAN, Scénarios A et B

(a) Scénario A



(b) Scénario B

