



**Service International pour  
l'Utilisation des  
Applications de la  
Biotechnologie végétale**

Document publié parallèlement  
au résumé de la lettre 39 de l'ISAAA – 2008

**Tolérance à la sécheresse chez le maïs : une nouvelle réalité**

par

**Dr. Greg O. Edmeades**

<b>Co-sponsors :</b>	<p>Fondazione Bussolera-Branca, Italie</p> <p>Ibercaja, Espagne</p> <p>ISAAA</p> <p>L'ISAAA remercie la Fondation Bussolera-Branca et Ibercaja qui ont soutenu financièrement la préparation de ce supplément à la lettre 39 sur «<i>Tolérance à la sécheresse chez le maïs : une nouvelle réalité</i>» par Dr. Greg O. Edmeades et sa distribution gratuite pour les pays en voie de développement. L'objectif est de fournir des informations et des connaissances à la communauté scientifique et à la société concernant les plantes biotech/GM pour faciliter une discussion mieux informée et plus transparente concernant leur rôle potentiel dans la contribution à l'alimentation mondiale, la sécurité en fibres et en fioul et à une agriculture plus durable. L'auteur, et pas les co-sponsors, prend l'entière responsabilité des points de vue exprimés dans cette publication et des erreurs d'omissions ou de mauvaise interprétation.</p>
<b>Publié par :</b>	<p>Le Service International pour l'Utilisation des Applications de la Biotechnologie Végétale (ISAAA).</p>
<b>Copyright :</b>	<p>ISAAA 2008. Tous droits réservés. Bien que l'ISAAA encourage le partage mondial des informations dans la Lettre 39, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite sous quelque forme que ce soit ou par quelque moyens que ce soit, électroniquement, mécaniquement, par photocopie, enregistrement ou autre sans l'autorisation du détenteur des droits. La reproduction de cette publication, ou de parties de celle-ci, dans des buts éducatifs et non commerciaux est encouragée avec les indications d'origine et après autorisation de l'ISAAA.</p>
<b>Citation :</b>	<p>Edmeades, Greg O. 2008. Tolérance à la sécheresse chez le maïs : une nouvelle réalité. Dans : James, Clive. 2008. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2008. <i>ISAAA Brief</i> No. 39. ISAAA: Ithaca, NY.</p>
<b>ISBN :</b>	<p>978-1-892456-44-3</p>

<p><b>Commande des publications et prix :</b></p>	<p>Veillez contacter le centre d'Asie du sud-est de l'ISAAA pour obtenir une copie à <a href="mailto:publications@isaaa.org">publications@isaaa.org</a>. Il est possible d'acheter une copie en ligne à <a href="http://www.isaaa.org">http://www.isaaa.org</a> pour 50 \$US. Les coûts pour obtenir une copie papier de la version complète de la Lettre 39, Résumé et point spécial sur «<i>Tolérance à la sécheresse chez le maïs : une nouvelle réalité</i>» de Dr. Greg O. Edmeades, est de 50 \$US y compris les frais de port pour une livraison express. La publication est gratuite pour les nationaux des pays en voie de développement.</p> <p>ISAAA SEAsiaCenter c/o IRRI DAPO Box 7777 Metro Manila, Philippines</p>
<p><b>Informations à propos de l'ISAAA:</b></p>	<p>Pour obtenir des informations sur l'ISAAA, veuillez contacter le centre le plus proche de vous:</p> <p>ISAAA AmeriCenter 417 Bradfield Hall Cornell University Ithaca NY 14853, U.S.A.</p> <p>ISAAA AfriCenter c/o CIP PO 25171 Nairobi Kenya</p> <p>ISAAA SEAsiaCenter c/o IRRI DAPO Box 7777 Metro Manila Philippines</p> <p>Ou envoyer un mël à <a href="mailto:info@isaaa.org">info@isaaa.org</a></p>
<p><b>Electroniquement :</b></p>	<p>Pour les résumés de toutes les Lettres de l'ISAAA, allez sur <a href="http://www.isaaa.org">http://www.isaaa.org</a></p>

## **Introduction au dossier : Tolérance à la sécheresse chez le maïs**

L'ISAAA a le plaisir de présenter un dossier spécial sur l'état de la tolérance à la sécheresse dans les variétés de maïs traditionnelles et biotech réalisé par le Dr. Greg O. Edmeades.

Le proverbe «L'eau est indispensable à la vie» nous rappelle que l'eau est importante et précieuse. L'agriculture utilise actuellement plus de 70% (86% dans les pays en voie de développement) de l'eau douce dans le monde. Les nappes phréatiques diminuent rapidement dans les pays comme la Chine et les provisions en eau vont continuer à fondre dans le monde puisque la population mondiale passera de 6,7 milliards actuellement à plus de 9 milliards de personnes d'ici 2050. Alors que les personnes boivent seulement 1 ou 2 litres d'eau par jour, la production des aliments et des viandes que nous mangeons dans une journée typique nécessite 2 à 3'000 litres. Les deux approches, traditionnelle et biotechnologique, sont nécessaires pour développer des plantes qui utiliseront l'eau plus efficacement et qui seront plus tolérantes à la sécheresse. Étant donné le manque d'eau et son rôle central dans la production végétale, il en découle qu'il faut

attribuer une priorité élevée au développement de plantes tolérantes à la sécheresse qui utiliseront l'eau efficacement. La situation s'aggraverait avec le réchauffement climatique qui fait des ravages, le climat qui devrait devenir plus sec et plus chaud ainsi que l'intensification de la compétition pour l'eau entre les personnes et les cultures.

La tolérance à la sécheresse apportée par les plantes biotech est perçue comme le caractère le plus important qui sera commercialisé durant la seconde décennie, 2006-2015, et après car c'est de loin la contrainte la plus importante pour la productivité végétale dans le monde entier. Le maïs biotech/transgénique tolérant à la sécheresse est la plus avancée des plantes tolérantes à la sécheresse en développement. Il devrait être commercialisé aux USA en 2012 au plus tard. Entre autres, un partenariat des secteurs public et privé espère diffuser le premier maïs biotech tolérant à la sécheresse d'ici 2017 en Afrique sub-saharienne où les besoins pour la tolérance à la sécheresse sont les plus grands.

Étant donné l'importance centrale de la tolérance à la sécheresse, l'ISAAA a invité le Dr. Greg O. Edmeades, ancien directeur du programme sécheresse du maïs au CIMMYT, à contribuer une étude détaillée d'actualité sur l'état de la tolérance à la sécheresse chez le maïs tant dans les approches traditionnelles que biotech, dans le secteur privé comme le secteur public et à discuter des perspectives futures à court, moyen et long terme. La contribution de G.O. Edmeades « *Tolérance à la sécheresse chez le maïs : une nouvelle réalité* », accompagnée par des références clés, a été ajoutée à la Lettre 39 en tant que point particulier pour mettre en avant l'immense importance au niveau mondial du caractère de tolérance à la

sécheresse, sans lequel, virtuellement, aucun fermier ne peut travailler. Utiliser l'eau au rythme actuel, alors que le monde comptera 9 milliards de personnes au moins en 2050 n'est tout simplement pas viable à long terme. De manière à fournir une plus large distribution à la contribution de G.O. Edmeades, une version résumé non référencée est annexée comme document d'accompagnement du résumé de la Lettre 39 avec un recentrage sur les approches biotechnologiques plutôt que traditionnelles, sur les activités du secteur privé plutôt que sur celles du secteur public et sur l'Afrique sub-saharienne, où il y a, actuellement, un travail considérable sur la sécheresse à cause des besoins humanitaires urgents pour augmenter les rendements du maïs, aliment de base pour plus de 300 millions de personnes, dont une forte proportion souffre de la faim et de la malnutrition.

# **Tolérance à la sécheresse chez le maïs : une nouvelle réalité**

**par G.O. Edmeades**

## **1. Sécheresse et maïs : l'ampleur du problème**

Le maïs est la troisième céréale cultivée dans le monde par ordre d'importance, après le blé et le riz. La moyenne mondiale des rendements de maïs dans les pays industrialisés tempérés est de 8,2 tonnes par hectares contre 3,5 t/ha dans les pays tropicaux moins développés. Dans les deux environnements de production, la sécheresse est la contrainte de stress abiotique la plus importante et la plus déstabilisante pour la production de maïs. C'est une des nombreuses raisons expliquant les différences dans les moyennes de production entre les régions tempérées et tropicales. Dans les deux régions, des déficits en eau se produisent de manière non prévisible tout au long de la saison. Des variabilités à l'intérieur des champs dans la texture et la profondeur du sol impliquent que la disponibilité en eau du sol varie. Cela peut entraîner des variations de rendement allant jusqu'à un facteur 10 lors d'une année sèche. Puisque les fermiers utilisent généralement une seule variété dans un champ donné, cela implique qu'une grande parité des hybrides et des variétés cultivés sous des conditions de culture sous pluie doit avoir un bon niveau de tolérance à la sécheresse.

La plupart des 160 m ha de maïs cultivés dans le monde l'est en condition de culture sous pluie et la moyenne des pertes annuelles de rendement dues à la sécheresse sont estimées environ 15% du rendement potentiel sur une base mondiale. Des déficits en eau transitoires agissent comme une limitation importante pour le

rendement dans la ceinture du maïs aux USA dans 20% des années. Les pertes sont encore plus importantes dans les pays tropicaux qui dépendent d'une saison des pluies relativement non prévisible pour la croissance des plantes, et moins importantes dans les zones tempérées où l'irrigation est plus commune et où les pluies sont mieux distribuées tout au long de la saison.

La production dans les régions sujettes à la sécheresse, comme la partie sud et est de l'Afrique ou en Afrique de l'ouest, montre une forte dépendance vis-à-vis de la quantité de pluie saisonnière. Le maïs est l'aliment de base de plus de 300 millions de personnes en Afrique sub-saharienne et un certain nombre de pays dans ces régions géographiques ont souvent une sécheresse durant la même saison, créant ainsi une pénurie régionale d'aliments qui ne peut pas facilement être diminuée par le commerce transfrontalier. La production de maïs dans le sud de l'Afrique varie de 12,5 millions de tonnes en 1992 (une année de sécheresse) à 23,5 millions de tonnes en 1993. Ainsi, entre 2003 et 2005, le Programme Alimentaire Mondial a dépensé 1,5 milliards de dollars US pour diminuer les pénuries alimentaires causées par la sécheresse et les pertes de récoltes dans la seule zone d'Afrique sub-saharienne. La tolérance à la sécheresse du maïs peut jouer un rôle important pour atteindre les Objectifs de Développement du Millénaire de «réduire de moitié d'ici 2015 la proportion de personnes souffrant de pauvreté extrême et de la faim».

Pourquoi ne pas simplement irriguer les cultures ? Les perspectives d'augmenter la superficie de terres irriguées sur lesquelles le maïs est cultivé sont plutôt sombres étant donné qu'elle devrait augmenter à un taux proche de celui de la



croissance démographique. L'augmentation de la superficie des terres irriguées se produira principalement en Asie et sera, en majorité, destinée à des cultures de grande valeur. Les coûts énergétiques pour pomper l'eau souterraine ont récemment doublé dans quelques pays. De plus, une production supplémentaire de maïs sera nécessaire dans les zones «marginales» sujettes à la sécheresse des pays tempérés et tropicaux, mais tout particulièrement en Afrique sub-saharienne. Étant donné la récente augmentation des prix internationaux du maïs et des engrais, il y a une pression croissante pour augmenter les rendements et leur stabilité dans les environnements où il existe de réels risques de production dus à la sécheresse.

La variabilité des précipitations (et donc la sécheresse) devrait augmenter puisque les effets des changements climatiques se font de plus en plus sentir. Puisque les températures augmentent et que les précipitations changent, les pertes de récoltes supplémentaires de maïs devraient atteindre 10 millions de tonnes par an, ce qui équivaut actuellement à une perte de 5 milliards de dollars US. Ces tendances peuvent aussi être observées en Amérique Centrale où les précipitations pourraient diminuer de moitié durant le prochain siècle. Les plantes tolérantes à la sécheresse et à la chaleur auront un rôle de plus en plus important pour s'adapter à ces variations et à la tendance à long terme pour un environnement de production de plus en plus chaud et probablement sec. En règle générale, il a été estimé que 25 % des pertes dues à la sécheresse pourraient être éliminées par l'amélioration génétique de la tolérance à la sécheresse et que 25 % supplémentaires le seraient aussi en utilisant des pratiques agronomiques de conservation de l'eau, les 50 % restant ne

peuvent être atteints que par l'irrigation.

## **2. Développement de produits biotech dans le secteur privé**

Une étude détaillée de la littérature publiée et des sites Internet des industries a été entreprise, mais elle n'a pas révélé le détail et l'étendue des investissements du secteur privé dans la recherche en biotechnologie pour la tolérance à la sécheresse. Ce qui suit est une idée générale du niveau d'activité d'un petit nombre d'industries tête de file basée sur leurs déclarations publiques. La tolérance à la sécheresse est un caractère complexe et une stratégie transgénique appropriée doit se baser sur les facteurs de transcription qui affectent un certain nombre de gènes ou plusieurs transgènes dans la même construction.

Monsanto est considéré comme le chef de file dans la recherche pour la tolérance à la sécheresse chez le maïs. Il est prévu que les ventes commerciales de produits transgéniques tolérants à la sécheresse commencent en 2012. Le caractère est actuellement au stade III des tests. Les articles publiés suggèrent que ce transgène a été identifié chez *Arabidopsis* et que son homologue chez le maïs soit surexprimé afin de fournir un gène qui offre une augmentation de rendement de 8-22% (moyenne 15%) dans des conditions de sécheresse qui réduisent le rendement de 50% environ. Des déclarations plus récentes ont légèrement diminué ce gain de rendements. Le niveau d'amélioration dépend du contexte génétique de l'hybride récepteur et varie, probablement, avec l'environnement. Il ne semble pas réduire les rendements dans des conditions sans stress, une condition importante pour que le transgène ait du succès en Amérique du Nord, étant donné que la

grande majorité des transgènes testés ont un handicap de rendement. Une publication récente de Nelson *et al.* (2007) décrit la procédure que Monsanto a généralement suivi pour la découverte du gène, bien qu'il semble improbable que le gène décrit (*At NF-YB1*) soit le candidat commercial. Le principal gène candidat affecte, presque certainement, la force de la source (c.-à-d. la photosynthèse) plutôt que le puit (mise en place du grain, floraison). Le processus d'autorisation légale pour l'Amérique du Nord, le Japon et l'Union Européenne est en cours et la permission de tester cet évènement a été donnée en Afrique du Sud. Des classes supplémentaires de transgènes conférant des tolérances aux stress abiotiques sont actuellement examinées par Monsanto y compris les protéines chaperons appartenant à la famille des protéines de stress au froid, CspA et CspB. Il est très probable que la seconde génération de transgènes pour la sécheresse de Monsanto, déjà dans leur réserve de caractères, comprenne des candidats venant de cette classe générale de gènes. Monsanto a récemment signé un accord avec BASF pour continuer à développer des germplasmés tolérants à la sécheresse et il semble que BASF distribue tous ces candidats de transgènes résistants à la sécheresse via le système de distribution des graines de Monsanto.

Pioneer Hi-bred a réalisé un programme de recherches actives pour la tolérance à la sécheresse basée sur des transgènes. En 2003-04, Pioneer a déclaré avoir identifié un transgène efficace qui augmente la mise en place des grains lorsque le stress se produit au moment de la floraison mais cette ligne de produit a été abandonnée. Pioneer teste maintenant un candidat potentiel pour une libération en 2013. Le mode d'action de ce transgène

n'est pas connu. Pioneer a de bons sites de tests avec un stress géré au Chili et en Californie mais n'a pas de localisations développées de la même manière en Afrique sub-saharienne. Il peut, cependant, distribuer des semences améliorées efficacement dans cette région. La compagnie décrit les trois stades dans cette procédure de libération pour les germplasmés tolérants à la sécheresse. Le stade 1 est un tri attentif des hybrides élite montrant une tolérance exceptionnelle à la sécheresse (exemple : 33D11) dont les produits sont disponibles actuellement. Un deuxième stade se base sur les gènes natifs sélectionnés en utilisant des MAS dirigées, avec des produits prêts en 2-3 ans. La troisième génération combinerait la sélection traditionnelle avec un ou plusieurs transgènes et délivrerait un produit en plus de 5 ans. Cette approche nécessite une complémentarité entre les mécanismes de tolérance à la sécheresse dans la sélection traditionnelle et transgénique. Les nouvelles techniques d'amélioration qui peuvent réduire les cycles de sélection et accélérer le progrès comprennent une analyse non destructive de l'ADN d'un fragment prélevé par laser sur la graine. Pioneer collabore avec Evogene, une compagnie israélienne spécialisée dans la génomique quantitative pour identifier des gènes putatifs ayant une tolérance à la sécheresse.

Syngenta fait un effort de recherche relativement similaire dans le domaine de la tolérance à la sécheresse. Ils ont récemment signé un accord de recherche avec Performance Plants Inc. pour avoir accès à leur technologie de protection du rendement (YYPT). Leur site Internet ne donne pas de détail sur la date de lancement d'un produit avec une tolérance à la sécheresse due à un transgène mais il est probable que ce soit après 2014. Leurs sites de test

avec gestion du stress sont significativement moins développés que ceux de Monsanto et Pioneer. Syngenta a un réseau de distribution de graines très faible en Afrique sub-saharienne.

D'autres fournisseurs de gènes candidats comprennent BASF qui a un accord de recherche avec Monsanto. BASF a acheté la compagnie belge CropDesign en 2005 et cela lui donne accès aux gènes de tolérance à la sécheresse pour le riz. Dow s'est allié avec Syngenta et devrait fournir des variants de gènes de stabilisation du rendement codant pour l'ADP glucose pyrophosphorylase à Syngenta pour les tests. Dow a aussi des accords avec Monsanto sur la technologie de transformation multi-gènes (jusqu'à 8 transgènes à la fois). Bayer cherche des gènes qui réduisent les oxydants chargés induits par la sécheresse qui endommagent les tissus (par ex. PARP). La manière dont ce produit sera commercialisé n'est pas claire. En général, ces trois compagnies dépendent des principales compagnies de graines pour fournir des introgressions, des essais en champs et des services réglementaires. Evogene Ltd a signé des accords de licence avec Pioneer et Monsanto. Performance Plants Inc. (PPI) est une petite compagnie canadienne qui a récemment breveté sa technologie de protection du rendement (YPT) basée sur des versions modifiées des gènes farnésyl transférase d'*Arabidopsis*. Elle augmente la sensibilité à l'acide abscissique (ABA), responsable de la fermeture rapide des stomates lorsque la plante stresse. Cette technologie a montré une bonne activité chez le colza mais n'a que de modestes effets chez le maïs dans des conditions de sécheresse. PPI a des accords de recherches avec Syngenta et Pioneer et déclare qu'une variété de maïs tolérante à la sécheresse a été testée durant deux ans. D'autres candidats comprennent les membres de la famille

des facteurs de transcription DREB/CBF. Alors qu'ils apparaissent efficaces au stade de la plantule, leur valeur pour augmenter le rendement en grain chez le maïs ou le blé dans le champ n'a pas été démontrée de manière claire et leur surexpression conduit à un retard de développement.

De nombreux autres gènes putatifs pour la sécheresse existent. La plupart ont été essayés chez le maïs par des compagnies semencières internationales et ils se sont montrés inefficaces en condition de sécheresse pour des plantes adultes cultivées en champ où ils leur confèrent un handicap au niveau du rendement dans des conditions optimales inacceptable. Très peu ont des ensembles réglementaires associés. L'identification des qualités commerciales des transgènes qui améliorent tant la survie dans des conditions de sécheresse que la production dans des conditions d'humidité adéquate reste un processus long, fastidieux et coûteux mais dont le taux de succès s'améliore rapidement avec la génomique et la biologie quantitative qui commencent à apporter des nouveaux outils d'analyse. Malheureusement, le progrès permettant de mesurer rapidement et à moindre coût des phénotypes est beaucoup plus lent.

### **3. Diffusion du produit : ses défis et ses opportunités**

La distribution et l'adoption d'un germplasma tolérant à la sécheresse sont des étapes évidentes pour avoir une influence dans les champs des fermiers. Actuellement, c'est souvent une contrainte majeure pour utiliser ces technologies. Dans les pays en voie de développement, l'adoption dépendra principalement du prix des semences, de la supériorité et de la stabilité du rendement en cas de sécheresse se produisant à n'importe quelle

période durant la saison de croissance et de la compétitivité du rendement dans des conditions sans stress. Le prix des semences et la facilité pour les obtenir sont particulièrement importants pour les fermiers à faibles ressources qui ont une faible capacité à prendre des risques même si ils ont parfaitement conscients des considérations de profits. L'apparition d'une sécheresse est en elle-même un risque important et toute nouvelle technologie qui nécessite une dépense supplémentaire pour des semences au début de la saison peut imposer un risque inacceptable pour les ressources familiales de la ferme. D'un autre côté, la perte de rendement potentielle dans des conditions de bonne humidité est de moindre importance pour les fermes des économies industrialisées. Là où un fermier peut acheter les graines de variétés à pollinisation ouverte (OPV) d'un voisin ou garder des graines de sa précédente récolte, les coûts des graines sont minimisés et dans des environnements susceptibles de sécheresse, c'est souvent la technique utilisée. L'achat de graines hybrides chaque saison est un exemple de coût que de nombreux petits fermiers dans des zones de production à risques sont incapables de justifier, même si il peut être démontré que les risques de pertes de récolte sont réduits de manière importante en utilisant des variétés ou des hybrides tolérants aux stress.

Les compagnies de semences privées restent le moyen de choix pour distribuer les germplasmés tolérants à la sécheresse, à condition qu'un profit suffisant soit obtenu avec des hybrides commercialisés avec des rendements plus faibles et plus risqués dans les régions sujettes à la sécheresse. Idéalement, les hybrides dont le coût de graines est plus élevé doivent cibler les zones où le rendement moyen est d'au moins 2-4 tonnes/ha, laissant les

zones à plus faibles rendements aux OPV. Cependant, la moyenne des rendements en maïs en Afrique sub-saharienne est de 1,6 tonnes/ha, suggérant que les hybrides seront utilisés dans les zones à rendement potentiel élevé sujettes seulement à des stress modérés. Jusqu'à ce que le niveau du rendement moyen ait augmenté de manière importante, il reste important d'avoir un éventail de système de distribution de semences qui offrent des germplasmés tolérants à la sécheresse, y compris les ONG, les agences gouvernementales, les universités et les compagnies semencières privées.

Le déploiement de la tolérance à la sécheresse sous forme d'hybrides a plusieurs avantages : la qualité des semences commerciales et le traitement des graines sont généralement meilleurs que ceux des graines stockées à la maison, réduisant ainsi le risque de perte des semis ; l'hétérosis est une forme de tolérance au stress en elle-même, ainsi les hybrides sont généralement plus tolérants à la sécheresse que les OPV. La fabrication et la vente de semences de maïs hybrides, contrairement aux graines des OPV, a fournit une base pour une industrie des semences viable et stable dans de nombreux pays en voie de développement et elle est considérée comme une étape essentielle dans le développement d'une industrie semencière stable.

Les compagnies de semences publiques et privées des pays les moins développés sont entravées par le manque de personnel qualifié et de compétition basée sur la qualité, les contraintes des crédits, une faible infrastructure pour la distribution et la commercialisation du produit ainsi qu'une réglementation



inappropriée concernant les graines. En conséquence, l'industrie des graines de maïs dans la plupart de l'Afrique sub-saharienne est encore incapable d'offrir des options de semences hybrides constantes et bien testées aux petits fermiers.

La tolérance à la sécheresse apportée par un transgène est susceptible de rencontrer des défis d'adoption supplémentaires dans les pays les moins développés. La contrainte immédiate est l'absence de cadre législatif établi dans de nombreux pays en voie de développement. Actuellement, les plantes transgéniques peuvent être testées en champ et commercialisées dans seulement trois pays de la zone sub-saharienne à cause des réglementations régissant la sécurité des essais en champ et la gestion des plantes transgéniques n'est pas encore en place partout. L'ISAAA considère que le manque de réglementation appropriée, efficace question coût et responsable, basée sur une approche sensée des risques actuels est la contrainte la plus importante pour le déploiement de plantes génétiquement modifiées. L'expérience a montré que les risques prévus dans les systèmes actuels sont surestimés. Ces systèmes sont onéreux, lourds à mettre en œuvre et hors de portée pour l'immense majorité des institutions semencières privées et publiques des pays en voie de développement. Ainsi le principe de précaution de la réglementation concernant les plantes transgéniques dans sa forme actuelle est préjudiciable aux familles des fermiers pauvres, personnes qu'elle devrait protéger.

Un deuxième défi réside dans l'adoption lorsque les plantes transgéniques ont le même aspect que leur contre partie en terme de graines et de produit. Si l'hybride est généralement supérieur

du point de vue agronomique, l'adoption se fait usuellement par le bouche à oreille et pas nécessairement parce que le produit est tolérant à la sécheresse. Si sa supériorité est évidente seulement durant les années sèches, cela va nécessiter une approche de stratégie de marque, une action que l'industrie des semences est habilitée à exécuter. La complexité de la gestion, de l'amélioration et l'exercice de gestion concernant les plantes transgéniques suggère que l'approvisionnement en graines est hors des capacités de nombreuses agences de semences gouvernementales dans les pays les moins développés. Quelques-uns ont conclu que les investissements dans la biotechnologie publique doivent être assortis de politiques qui encouragent le système de développement commercial des graines qui donne aux fermiers les pouvoirs d'utiliser pleinement cette nouvelle technologie via les semences améliorées et une information détaillée sur les produits. Pour que les maïs transgéniques résistants à la sécheresse déploient tout leur potentiel en Afrique sub-saharienne où ils sont absolument nécessaires, le rythme de ces changements doit s'accélérer.

***a. Secteur public***

Alors que le petit secteur privé des semences gagne en expérience et en confiance en Afrique sub-saharienne, des approches innovantes sont nécessaires pour s'assurer que les graines des variétés et les hybrides de maïs tolérants aux stress atteignent ceux qui en ont le plus besoin. Comme étape intermédiaire permettant de générer de la confiance parmi les fermiers, le CIMMYT, les programmes nationaux de coopération et les compagnies de semences ont utilisé avec

succès le système d'essais Mother-Baby en Afrique de l'est et du sud comme un moyen pour entraîner la participation des fermiers dans la sélection, l'adoption et la production de graines. Une collaboration systématique parmi les institutions pour la participation des fermiers dans la sélection des variétés a fourni une méthode efficace de production et de dissémination des variétés OPV améliorées, tolérantes au stress. Les programmes nationaux, le CIMMYT, l'IITA et les compagnies semencières privées ont collaboré pour évaluer puis diffuser les graines dans plusieurs pays et la plus prometteuse de ces nouvelles variétés tolérantes à la sécheresse, ZM521, est maintenant cultivée sur plus d'un million d'hectares en Afrique du sud et de l'est. Le succès de cette sélection combinée, du schéma d'évaluation et de distribution des graines a été la force motrice du développement et du financement du projet Maïs Tolérant à la Sécheresse pour l'Afrique (DTMA). Le projet a une vision ambitieuse : créer d'ici dix ans, un germplasm de maïs dont le rendement aura été augmenté d'une tonne/ha dans des conditions de sécheresse ; augmenter la productivité moyenne du maïs dans les conditions de culture des petites fermes de 20-30% dans les fermes qui l'utiliseront et atteindre 30-40 millions de personnes en Afrique sub-saharienne, ajoutant potentiellement un revenu annuel de 160-200 millions de dollars US pour les céréales dans les zones affectées par la sécheresse. Cela implique une coopération inter-instituts de grande ampleur dans les domaines de la politique de défense, la surveillance de l'impact, la formation, l'évaluation des variétés, la libération des graines et l'augmentation de la production des graines. Le projet améliore la tolérance à la

sécheresse d'un certain nombre de variétés largement utilisées tout en développant de nouvelles variétés. Les essais en champs sont réalisés dans environ 400 localisations avec des environnements définis. Un but essentiel est d'engager et de renforcer le nouveau secteur semencier national ou régional privé. Environ 80 compagnies de semences travaillant en Afrique sub-saharienne participent activement aux tests et à la commercialisation des variétés et des hybrides tolérants à la sécheresse créés dans le cadre du projet DTMA et développent la confiance de leurs clients. Le projet développera des consanguins et les rendra disponibles à tous ceux qui en font la demande, en se basant sur le principe que, si une compagnie a les droits exclusifs sur une lignée intéressante, elle ne devra pas se battre sur les autres facteurs importants pour les consommateurs et pour la survie à long terme de la compagnie. L'Afrique du Sud a une industrie des semences de maïs bien développée et elle donne des conseils aux nouvelles compagnies dans la région.

***b. Secteur privé***

Les compagnies de semences internationales (Monsanto, Pioneer, Syngenta et dans une moindre mesure Pannar, SeedCo et Pacific Seeds) sont représentées dans la plupart des plus grands marchés potentiels à haut potentiel de rendement dans les pays les moins développés. Elles ont un avantage sur les compagnies de semences nationales en ce sens qu'elles transfèrent un germplasma adapté d'une région à l'autre et réduisent les frais généraux de développement du produit. De plus, les plus grandes compagnies internationales

ont des budgets de recherches importants et des réseaux pour positionner leurs produits qui attirent les accords de recherche, comme les constructions de gènes potentielles. En résumé, elles sont positionnées de manière unique pour développer et distribuer des semences transgéniques de grande qualité et pour positionner ces hybrides sur les marchés appropriés. L'avantage comparatif des compagnies internationales ne diminuera que lorsque les exigences réglementaires seront moins lourdes, que les MAS et les MARS deviendront moins onéreuses et que les accords sur la propriété intellectuelle pourront être négociés plus facilement.

Cependant, puisque les compagnies de semences internationales opèrent seulement sur les marchés importants où les rendements sont relativement élevés, il existe une bonne opportunité pour les compagnies de semences nationales d'établir une niche de marché comprenant des portions de marchés plus petites et de répondre aux besoins réels grâce à une gamme équilibrée d'hybrides et d'OPV tolérants au stress.

### ***c. Partenariats privé/public***

Les partenariats entre les organisations de recherche du secteur public et privé sont une stratégie souvent proposée mais rarement mise en pratique. Plusieurs partenariats fructueux ont été négociés et gérés par l'ISAAA. Une fusion importante de cette nature a récemment été lancée en Afrique de l'est et du sud avec Monsanto comme principal fournisseur de technologie, le CIMMYT comme source de principaux sites de tests de phénotypes et de germplasmes de maïs adaptés

ainsi que les programmes nationaux et les compagnies de semences comme partenaires pour les tests et la diffusion des hybrides de maïs tolérants à la sécheresse. Le projet Maïs utilisant efficacement l'eau pour l'Afrique (WEMA) est financé par la Fondation Bill et Melinda Gates. Il en est actuellement à la fin de sa première année de travail. La Fondation Africaine de Technologies Agricoles (AATF), organisation à but non lucratif basée à Nairobi, sera l'agence de mise en œuvre et supervisera les efforts pour s'assurer de la conformité légale du transgène de tolérance à la sécheresse de Monsanto dans les pays visés. Le projet de cinq ans déploie une combinaison élégante de nouvelles technologies visant à améliorer la tolérance à la sécheresse dans les germplasmes de maïs adaptés aux régions sujettes aux sécheresses d'Afrique de l'est et du sud. Il repose sur l'efficacité de la sélection traditionnelle pour la tolérance à la sécheresse chez le maïs telle qu'elle est pratiquée au CIMMYT et dans les co-opérateurs nationaux, utilisant les MAS pour augmenter les taux de gain génétique et le principal transgène de Monsanto construit pour fournir une augmentation du rendement en grains d'environ 15% en conditions de sécheresse. La technologie MAS de Monsanto, basée sur la sélection de tout le génome, est utilisée et elle pourrait permettre de doubler le gain génétique pour la tolérance à la sécheresse. Les croisements entre les lignées portant les évènements et les lignées tropicales du CIMMYT sont en cours. Les effets du transgène doivent simplement s'ajouter à ce qui a été obtenu par le CIMMYT via la sélection traditionnelle, bien qu'il n'ait pas été testé dans le contexte des maïs tropicaux. Le transgène devrait être distribué en Afrique sub-saharienne en 2017. Monsanto fournit des contributions

majeures par le biais de techniques de pointe en MAS et une concession sans droits aux entreprises de semences qui souhaitent utiliser le caractère transgénique. Les pays cibles en Afrique de l'est et l'ouest sont l'Afrique du Sud, le Mozambique, le Kenya, l'Ouganda et la Tanzanie. L'impact du germplasm amélioré par les MAS devrait se faire sentir d'ici 5 ans et, en ce qui concerne les hybrides transgéniques tolérants à la sécheresse, d'ici 2017. Ce projet est une opportunité unique et importante pour apporter la technologie moderne afin de résoudre le problème de la tolérance à la sécheresse dans les pays pauvres et d'aider à mettre en place les procédures réglementaires nécessaires pour apporter d'autres transgènes à cette région qui en a besoin.

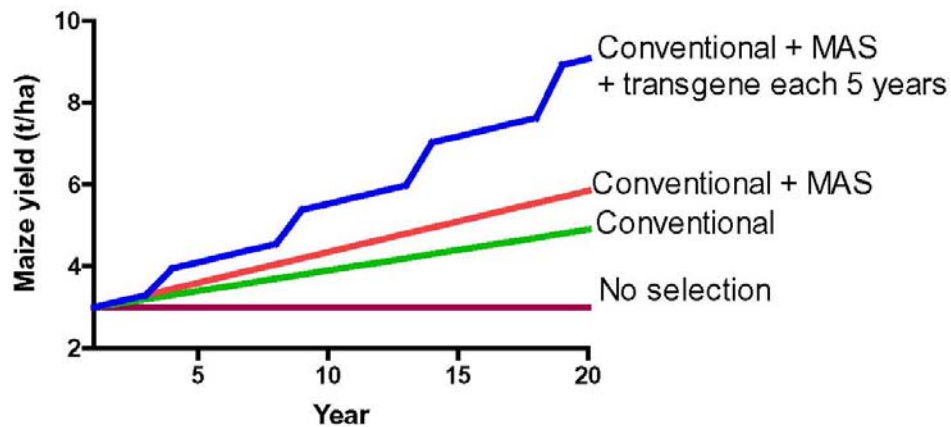
#### **4. L'avenir**

##### ***a. Taux attendus de progrès :***

L'investissement important et récent de la Fondation Gates pour développer et diffuser des maïs tolérants à la sécheresse en Afrique sub-saharienne a fourni un formidable élan pour stabiliser et améliorer la production de maïs dans une région sujette aux sécheresses où le maïs représente une partie importante de la diète. Il s'appuie sur un grand effort de recherche dirigé par le CIMMYT durant 35 ans. Ce type de recherches est un processus relativement lent mais les chances d'augmenter le taux d'amélioration en utilisant les nouvelles techniques sont réelles. L'utilisation des MAS pour augmenter le gain génétique tant dans les projets DTMA que WEMA pourrait permettre de doubler le taux de gains génétiques et la disponibilité d'un transgène pour accélérer le rendement en

grains en conditions de sécheresse durant la saison de culture ouvre des perspectives très intéressantes. Ces trois approches, sélection conventionnelle, MAS et modification génétique, auront probablement un effet additif. Les deux premières fournissent la perspective d'une amélioration constante dans le temps et les 15% d'améliorations offertes par le transgène de Monsanto pourraient être compensées par 3-5 ans de sélection traditionnelle et de sélection assistée par marqueurs. Le transgène permet d'avoir en une fois les gains obtenus par les MAS. Cependant, si les fournisseurs de technologie comme Monsanto, Pioneer, Syngenta ou BASF sont persuadés de délivrer des transgènes nouvellement développés fournissant une amélioration similaire du rendement en grain tous les 5 ans ou presque, et que les effets soient aussi additifs (une bonne possibilité avec un caractère complexe comme la tolérance à la sécheresse), alors les effets cumulatifs des transgènes, des MAS et de la sélection traditionnelle pour la tolérance à la sécheresse pourraient générer des améliorations très importantes du rendement en grain (fig.1). De grands investissements sont faits pour le développement de plantes génétiquement modifiées par le secteur privé aux USA et en Europe et ils sont jumelés avec les investissements du secteur public en Chine, Inde, Brésil et aux USA. L'annonce récente d'un investissement de 3,5 milliards de dollars US dans le domaine des plantes génétiquement modifiées en Chine durant la prochaine décennie est l'exemple tangible le plus récent de cet engagement.





In figure 1 please change	to
Conventional + MAS+ transgene each 5 years	Traditionnel +MAS + transgène chaque 5 ans
Conventional + MAS	Traditionnel +MAS
Conventional	Traditionnel
No Selection	Pas de sélection
Maize yield (t/ha)	Rendement de maïs (t/ha)
Year	Année

Figure 1. Gain génétique cumulé estimé sur 20 ans pour le maïs sélectionné pour la tolérance à la sécheresse en utilisant les méthodes traditionnelles de sélection (100 kg/ha/an), les méthodes traditionnelles plus la sélection assistée par marqueurs (MAS) (150 kg/ha/an) et traditionnelle plus MAS plus un transgène introduit chaque 5 ans. Chaque transgène augmente le rendement en grain de 15% supplémentaire. L'effet de chaque intervention est considéré comme additif.

***b. Environnements permettant une gestion du stress à la sécheresse, MSE :***

Caractériser des phénotypes fiables pour la sécheresse nécessite des MSE dans lesquels le stress dû à la sécheresse est contrôlé et appliqué au moment voulu avec l'intensité choisie. La valeur des MSE pour une sélection efficace pour la sécheresse chez le maïs a été régulièrement démontrée durant les vingt dernières années. Des progrès peuvent être faits en

utilisant les tests multi-localisations sur des sites choisis au hasard dans un ensemble d'environnements ciblés mais seulement sur une très grande échelle. Pour les pays les moins développés, ce n'est pas un moyen efficace d'améliorer le rendement dans les conditions où l'eau est limitée. Un investissement ultérieur dans des centres d'excellence pour la caractérisation des phénotypes pour la tolérance à la sécheresse dans les pays les moins développés semble pleinement justifié. Cela ouvre la possibilité d'améliorer un éventail de plantes pour la tolérance à la sécheresse en plus du maïs sur le même site. C'est une initiative qui augmenterait l'efficacité opérationnelle et devrait être considérée attentivement par la communauté des bailleurs de fonds.

***c. Nouvelle variation génétique, nouvelles méthodes :***

Le manque de variation génétique intraspécifique pour rester vert en période de sécheresse et pour la gestion de la profondeur de racines chez le maïs a été documenté. Les sources transgéniques de nouvelles variations pour ces caractères seraient nécessaires en même temps qu'une évaluation physiologique attentive des effets sur toute la plante de tels transgènes. Les gènes multiples contenus dans une seule construction permettent un empilement efficace des caractères. De nouvelles méthodes moléculaires sont en cours d'expérimentation, comme l'utilisation de mini-chromosomes où une seule pièce héréditaire de la plante contenant son propre ADN y compris la région du centromère, sont utilisées pour délivrer simultanément plusieurs gènes. Des petits fragments d'ARN se profilent comme éléments de contrôle puissants de la réponse au stress chez les plantes.

***d. Interventions agronomiques :***

Des méthodes d'amélioration de la gestion des cultures peuvent compléter l'utilisation des hybrides tolérants à la sécheresse et contribuer de manière importante à l'augmentation et à la stabilisation des rendements dans des conditions pluviales ou d'irrigation lorsque l'approvisionnement en eau est limité. S'assurer que les densités de plantation sont optimales, que le labourage est minimal, que les mauvaises herbes sont contrôlées et que l'engrais adéquat est utilisé au bon stade de croissance augmente l'efficacité de l'utilisation de l'eau (WUE). L'approvisionnement en eau de la culture peut être contrôlé avec des méthodes de récolte de l'eau et l'utilisation de paillis. Là où l'irrigation est insuffisante, où il existe un déficit d'irrigation ou que l'application de l'eau est inférieure au taux potentiel d'évapotranspiration, l'augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau (WUE) peut augmenter le rendement à moindre coût. Un dessèchement partiel des racines lorsque les régimes secs et humides sont alternés en conditions d'irrigation pour réduire l'eau utilisée peut provoquer une réponse adaptative à la sécheresse et économiser jusqu'à 25% de l'eau utilisée habituellement.

***e. Réglementation régionale et initiatives de dissémination :***

Le potentiel pour une harmonisation régionale des procédures réglementaires dans des régions comme l'Afrique sub-saharienne est important. Si la déréglementation d'un transgène donné a été autorisée par un pays en se basant sur

une évaluation approfondie en utilisant le protocole standard, cela devrait normalement être suffisant pour déréglementer la même construction/événement lorsqu'elle est utilisée dans la même espèce dans d'autres pays de la région. La dissémination de variétés et d'hybrides améliorés peut être harmonisée de manière similaire dans des pays partageant des agro-écologies communes comme par exemple l'Afrique de l'ouest.

## **5. Conclusions**

Des progrès considérables ont été faits durant les 35 dernières années dans la sélection dirigée pour la tolérance à la sécheresse chez le maïs, basée sur les gains dans ce caractère provenant des essais multi localisations durant la sélection. La disponibilité en environnements de qualité élevée où le stress est géré dans lesquels de petites différences phénotypiques peuvent être détectées de manière répétitive a coïncidé avec la venue de la sélection moléculaire. Le succès de la sélection assistée par marqueurs et de la modification génétique dépend fortement de la précision des tests de phénotype. Ces outils offrent de réelles opportunités pour «accélérer la sélection» mais ils ont un coût. Heureusement, des fournisseurs de technologies bien équipés sous forme de compagnies de semences internationales, ont montré leur volonté de partager cette technologie, quelque fois sans droits d'auteurs. Les liens entre les fournisseurs et les utilisateurs de ces techniques de pointe en sélection ont été facilités par le soutien de généreux donateurs et ceci a été étendu à l'industrie des semences qui fait son apparition dans les zones moins développées comme l'Afrique sub-saharienne. Nous avons

une confluence de plusieurs processus clés qui sont des composants essentiels pour apporter des plantes à rendement élevés et stables aux fermiers à faibles ressources. C'est une opportunité unique que ne doit pas être gaspillée.



i s a a a

**Service International  
Pour l'Acquisition  
des Utilisations de  
l'agro-biotechnologie**

ISAAA *SEAsia*Center  
c/o IRRI, DAPO Box 7777  
Metro Manila, Philippines

ISAAA Africenter  
ILRI Campus, P O Box 25171  
Nairobi, Kenya

Tél.: +63 2 5805600 ext. 2234/2845 • fax: +63 49 5367216 ;  
+254 20 422 3618 ; Fax : + 254 4223600

URL: <http://www.isaaa.org>