

Contributions possibles des innovations génétiques pour l'amélioration de la compétitivité des filières cotonnières africaines

Guy Mergeai

Unité de Phytotechnie tropicale et d'Horticulture. Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux. Passage des Déportés, 2. B-5030 Gembloux (Belgique). E-mail : mergeai.g@fsagx.ac.be

Les 3 composantes de la rentabilité des filières cotonnières qui peuvent être améliorées suite au développement d'innovations génétiques concernent : (i) le coût de production du coton-graine, grâce à l'introduction chez les variétés cultivées de gènes permettant de diminuer l'impact des contraintes biotiques (adventices, ravageurs, maladies) et abiotiques (pauvreté, acidité et salinité des sols, sécheresse), (ii) le coût de l'usinage du coton-graine en fibre et (iii) la qualité des différents produits du cotonnier (fibre, tourteaux, huile). Les priorités à retenir pour l'Afrique au niveau de ces 3 composantes doivent absolument tenir compte des caractéristiques des systèmes de production que l'on rencontre sur ce continent. L'essentiel du coton y est produit dans des exploitations de relativement petite taille avec un faible niveau de mécanisation des opérations culturales et un recours à des quantités d'engrais et de pesticides nettement moins élevées qu'ailleurs dans le monde alors que les niveaux de contraintes biotiques et abiotiques y sont élevés. Dans ce contexte, les réponses prioritaires à apporter par les programmes d'amélioration génétique aux contraintes existantes en Afrique devraient viser à développer des variétés à fibres de haute qualité, multi-résistantes aux adversités biotiques et abiotiques, au rendement à l'égrenage le plus élevé possible et présentant une inhibition de la synthèse du gossypol uniquement au niveau de l'amande des graines. En fonction des priorités locales et des ressources disponibles, le développement des nouvelles variétés devrait idéalement se faire en combinant les approches de l'amélioration génétique classique assistée par l'emploi de marqueurs de l'ADN et de la génomique fonctionnelle pour orienter la mise en œuvre de transformations génétiques ciblées. Ceci ne sera possible que grâce au maintien de structures d'amélioration génétique fortes directement en contact avec les réalités du terrain spécifiques à chaque grande zone de production. L'exploitation de l'immense réservoir de variabilité que constituent les espèces diploïdes sauvages de cotonnier devrait jouer un rôle clé pour atteindre ces objectifs.

Mots-clés. Innovations génétiques, coton, *Gossypium hirsutum* L., rentabilité, Afrique.

Possible contributions of genetic innovations to improvement in the competitiveness of the cotton production and marketing chains in Africa. The 3 components of the profitability of the cotton production and marketing chains which can be improved following the development of genetic innovations concern: (i) the production cost of the cottonseed, thanks to the introduction in the cultivated varieties of genes allowing to decrease the impact of the biotic (weeds, pests and diseases) and abiotic (drought, soil poverty, acidity and salinity) constraints, (ii) the cost of the ginning of the cottonseed and (iii) the quality of the various products of the cotton plant (fiber, cakes, oil). The priorities to be retained for Africa regarding these 3 components must absolutely take into account the characteristics of the local farming systems. In Africa, most of cotton is produced in farms of relatively small size with a low level of mechanization of the farming operations and a recourse to quantities of manure and pesticides definitely lower than elsewhere in the world whereas the levels of biotic and abiotic constraints are at least as high there as in the other continents. In this context, the priority of the genetic improvement programs should aim at developing varieties with high quality fiber, multi-resistant to the biotic and abiotic adversities, with the highest possible ginning outturn and presenting an inhibition of the synthesis of the gossypol only at seed level. According to the local priorities and resources available, the development of the new varieties should ideally be done by combining the approaches of the traditional genetic improvement assisted by the use of DNA markers and the functional genomics tools to direct the implementation of targeted genetic transformations. This will not be possible without the maintenance of strong structures of genetic improvement directly in contact with the field realities specific to each great zone of production. The exploitation of the immense reserve of variability constituted by the wild diploid cotton species should play a key role to achieve these goals.

Keywords. Genetic innovations, cotton, *Gossypium hirsutum* L., profitability, Africa.

1. INTRODUCTION

Les progrès considérables enregistrés dans les domaines de la biologie moléculaire, du génie génétique et de la bio-informatique au cours des 20 dernières années ouvrent des perspectives pour l'amélioration de toutes les plantes cultivées dont il est difficile d'appréhender les limites (Wilkins *et al.*, 2000). On peut maintenant inventorier, déterminer la fonction, comprendre la régulation et les interactions des gènes de tout organisme vivant. Sur base de ces connaissances nouvelles, on peut modifier le fonctionnement intime des plantes au bénéfice de l'homme en y insérant et en y faisant s'exprimer des gènes de toutes origines. Grâce aux cartes génétiques de plus en plus précises et à l'emploi de marqueurs moléculaires de l'ADN, on peut également orienter beaucoup plus efficacement que par le passé l'accumulation de caractères d'intérêt agronomique dans une variété en allant chercher ces caractères soit dans les variétés existantes de l'espèce végétale elle-même ou dans les espèces sauvages qui lui sont apparentées (Lacape, Nguyen, 2005). On peut dire qu'actuellement le temps et les ressources matérielles et humaines nécessaires sont les seules contraintes qui limitent l'ampleur du remodelage des plantes cultivées pour qu'elles rencontrent mieux les besoins des sociétés humaines. Le développement de variétés résistantes aux contraintes biotiques et abiotiques qui limitent la production d'une culture constitue une des solutions les mieux adaptées au contexte des pays en développement. Dans ces derniers, il est en effet souvent difficile pour les agriculteurs de se procurer les intrants nécessaires à l'augmentation des rendements de leurs cultures.

L'objet de la présente communication est d'évaluer quelles sont les contributions possibles des innovations génétiques suite au progrès récents des sciences du vivant sur la compétitivité des filières cotonnières africaines.

2. PRINCIPALES CONTRIBUTIONS POSSIBLES DES INNOVATIONS GÉNÉTIQUES POUR AMÉLIORER LA COMPÉTITIVITÉ DES FILIÈRES COTONNIÈRES

Les innovations génétiques sont susceptibles d'améliorer 3 des composantes principales de la compétitivité de la production cotonnière : le coût de production par kg de fibre, la qualité et donc le prix de vente de la fibre et la valorisation des sous-produits de la graine. Concernant ce dernier point, il faut toujours garder à l'esprit que le cotonnier est non seulement la première plante productrice de fibres à l'échelle mondiale, mais également la deuxième source de protéines végétales

et la cinquième source d'huile comestible (Khan *et al.*, 1999 ; Kulkarni *et al.*, 2002).

Les caractères génétiques qui permettent de produire plus pour un coût moindre sont d'abord ceux qui permettent de lever les contraintes abiotiques et biotiques qui limitent la production (Mendez del Villar *et al.*, 2006) ; à savoir la résistance à la sécheresse, au froid, aux très fortes chaleurs, à la salinité, à la pauvreté chimique et à l'acidité des sols ainsi que les caractères qui permettent d'améliorer l'efficacité photosynthétique des plantes. Viennent ensuite les résistances aux très nombreux ennemis du cotonnier et tous les caractères qui facilitent le contrôle de ces ennemis. Enfin, la fibre représentant à elle seule en moyenne 85 % de la valeur de la récolte de coton, l'augmentation de la proportion de fibre dans le coton-graine permet en général de gagner plus d'argent par kg de coton produit.

La qualité de la fibre est une composante majeure de la compétitivité de la culture cotonnière. Sur les marchés internationaux, le prix du coton dépend en effet de sa propreté, de sa couleur, de sa brillance, de l'absence d'impuretés, de sa longueur, de sa finesse, de sa résistance et de sa maturité. Améliorer ces propriétés ou, à tout le moins, les empêcher de tomber en dessous de seuils de qualité minimaux, permet normalement d'obtenir un meilleur prix pour la fibre produite.

À côté de l'amélioration des caractéristiques technologiques classiques de la fibre de coton, des recherches sont également menées pour développer des propriétés particulières encore inconnues à ce jour sur base de l'utilisation de seules fibres de coton (Wilkins *et al.*, 2000, Arpat *et al.*, 2004 ; Wilkins, Arpat, 2005). De telles propriétés seraient le résultat de la combinaison de modifications génétiques de la nature des fibres et de traitements chimiques spécifiques pouvant faire l'objet de brevets industriels. Les propriétés des tissus visées par ces recherches sont : l'infroissabilité, la résistance au feu, une plus grande sensation de confort, la résistance au rétrécissement, le contrôle des contaminations microbiennes et des mauvaises odeurs.

Une meilleure valorisation des sous-produits du coton-graine peut passer par l'inhibition de la synthèse du gossypol dans la graine mais en maintenant la présence de glandes à gossypol dans le reste de la plante (Vroh Bi *et al.*, 1999). Ces glandes contiennent un poison très toxique pour l'homme et tous les animaux monogastriques. L'élimination de ce poison des tourteaux de coton se fait habituellement par chauffage de ceux-ci à de hautes températures ce qui se traduit par une chute importante de leur qualité nutritionnelle car le gossypol se fixe lors de cette opération à plusieurs acides aminés essentiels. Le maintien de glandes à gossypol dans les organes aériens de la plante est important car elles constituent un moyen de défense naturel du cotonnier contre certains de ses nombreux ravageurs (Brubaker *et al.*, 1996).

Une meilleure valorisation des sous-produits du coton-graine pourrait également passer par l'augmentation de la teneur des amandes en protéines et en huile, la modification de la composition des protéines en acides aminés et de l'huile en acides gras pour développer des aliments fonctionnels. Des travaux sont déjà en cours dans différentes parties du monde pour atteindre ces objectifs (Chapman *et al.*, 2001 ; Sunilkumar *et al.*, 2005).

3. QUELLES PRIORITÉS POUR L'AFRIQUE ?

3.1. Tenir compte des caractéristiques des systèmes de production

Les priorités à retenir pour l'Afrique doivent absolument tenir compte des caractéristiques des systèmes de production que l'on rencontre sur ce continent où l'essentiel du coton est produit dans des exploitations de relativement petite taille avec un faible niveau de mécanisation des opérations culturales et un recours à des quantités d'engrais et de pesticides nettement moins élevées qu'ailleurs dans le monde pour des niveaux de contraintes biotiques et abiotiques au moins aussi importants. Les filières cotonnières africaines se caractérisent également par un coût de transformation du coton-graine qui est généralement plus élevé que dans les autres pays en développement (Mendez del Villar *et al.*, 2006).

Compte tenu de ces contraintes, les réponses prioritaires à apporter par les programmes d'amélioration génétique pour améliorer la compétitivité des filières cotonnières africaines se situent selon nous à 3 niveaux :

- au niveau de la production, par la mise au point de variétés à fibres de haute qualité multi-résistantes aux adversités biotiques et abiotiques ;
- au niveau de la transformation du coton-graine par le développement de variétés à plus haut rendement à l'égrenage ;
- au niveau d'une meilleure valorisation des sous-produits du coton graine, par le développement de variétés présentant une inhibition de la synthèse du gossypol uniquement dans la graine.

3.2. Sélection de variétés à fibre de haute qualité multi-résistantes aux adversités biotiques et abiotiques

Il est important pour améliorer la production de coton dans des systèmes de culture caractérisés par un relativement faible niveau d'application d'intrants d'essayer de cumuler dans une même variété le plus grand nombre de caractères de rusticité et de résistance possible tout en maintenant une haute qualité de fibre.

Différentes méthodes peuvent être utilisées pour améliorer le niveau de résistance des cotonniers aux différentes contraintes biotiques et abiotiques qui affectent sa culture (El-Zik, Thaxton, 2001).

Une des approches les plus performantes est celle mise au point au Texas par Bird (1982). Elle se base sur une modification du schéma de sélection récurrente classique en partant d'une population à large base génétique dans laquelle des génotypes présentant des caractères de résistance aux principales contraintes biotiques et abiotiques d'une région particulière sont inclus (**Figure 1**). Chaque cycle de sélection aboutit à une ou plusieurs variétés multi-résistantes aux adversités identifiées par le numéro du cycle concerné. Ces variétés sont systématiquement réintroduites dans le processus comme parents avec d'autres génotypes susceptibles d'apporter les gènes qui compléteront ou renforceront les résistances déjà accumulées. La clé du succès réside dans la qualité du système de test et de tri mis en place pour choisir au niveau des graines, des plantules puis des plantes adultes quels sont les génotypes qui présentent les meilleures combinaisons de résistance aux maladies, aux ravageurs et aux stress abiotiques associées à une bonne précocité, un haut niveau de rendement et une bonne qualité de graines et de fibres. Au Texas, la réalisation de différents cycles d'amélioration successifs selon le schéma présenté à la **figure 1** a abouti à la sélection de variétés présentant de hauts niveaux de résistance à la fusariose et à la verticilliose, aux thrips, aux pucerons, aux lygus, aux vers de capsule, à la mouche blanche et aux araignées rouges (**Tableau 1**). Ces variétés sont également résistantes au froid et au stress hydrique. La mise en place d'un tel programme à l'échelle de l'Afrique de l'Ouest devrait permettre d'obtenir des variétés adaptées aux contraintes qui limitent la production de coton dans les différentes zones cotonnières du sous-continent. Ces variétés pourraient être testées par la suite dans les autres zones cotonnières africaines ne disposant pas de structures de recherches agronomiques suffisamment développées.

3.3. Améliorer le rendement à l'égrenage

Les résultats des travaux d'amélioration interspécifiques menés dans le passé en République Démocratique du Congo par l'INEAC puis l'INERA en collaboration avec la FUSAGx (**Tableau 2**) montrent qu'il est possible de rompre la corrélation négative qui existe entre le poids de la graine et la quantité de fibres qu'elle produit (Mergeai *et al.*, 1994). Le développement de nouvelles variétés à très haut rendement à l'égrenage, dont les graines seraient suffisamment grosses pour ne pas passer entre les scies des égreneuses devrait donc être possible soit en exploitant la diversité génétique existante chez les espèces sauvages de cotonnier, com-

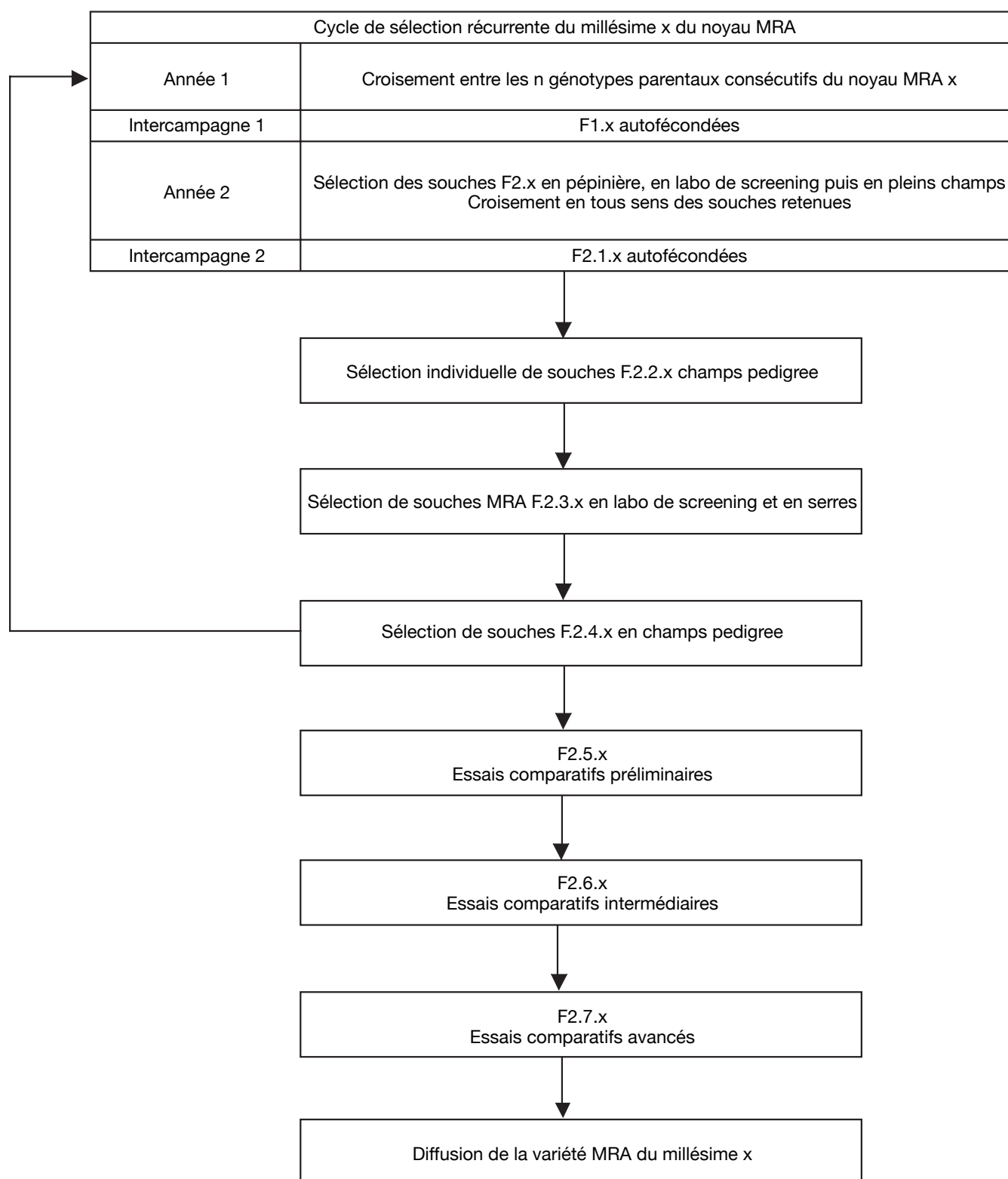


Figure 1. Schéma d'amélioration menant à la production de lignées multi-résistantes aux adversités (MRA) — *Multi-adversity resistance (MAR) breeding scheme* (El-Zik, Thaxton, 2001).

me cela a déjà été fait en République Démocratique du Congo, soit en agissant directement au niveau des gènes contrôlant la formation des fibres.

3.4. Produire des variétés de cotonnier aux graines exemptes de gossypol

Les résultats obtenus à Gembloux en créant et en exploitant l'hybride trispécifique *G. hirsutum* x *G. raimondii* x *G. sturtianum* montrent qu'il devrait être possible d'obtenir bientôt des variétés de cotonnier présentant une inhibition de la synthèse du gossypol uniquement dans la graine tout en maintenant la présence de glandes à gossypol dans les parties aériennes de la plante (Vroh bi *et al.*, 1999). Des travaux visant à atteindre le même objectif mais en bloquant par transgénèse le

fonctionnement de gènes intervenant dans la synthèse du gossypol uniquement au niveau de l'amande de la graine sont en cours aux USA (Martin *et al.*, 2003). La pleine valorisation de cette innovation nécessitera la recherche de nouveaux débouchés pour les tourteaux de coton au niveau des filières d'élevage d'animaux monogastriques.

4. COMMENT Y ARRIVER ?

Le développement des différentes innovations génétiques prioritaires pour l'Afrique nécessitera des efforts considérables pour les cumuler dans de nouvelles variétés de cotonnier et il faudra du temps pour arriver à ce résultat. Il ne faut donc pas attendre que la conjoncture s'améliore pour commencer à travailler dans ce sens car c'est dès à présent que l'avenir se prépare. Compte tenu de l'importance de l'enjeu et des moyens nécessaires pour atteindre les objectifs prioritaires fixés, la création de programmes d'amélioration génétiques transnationaux à l'échelle des différentes grandes régions du continent africain (Afrique de l'Ouest, Afrique Centrale, Afrique de l'Est, Afrique du Sud) nous paraît indispensable. De tels programmes devraient pouvoir bénéficier du soutien des bailleurs de fonds internationaux afin de permettre la création de variétés toujours plus résistantes aux contraintes biotiques et abiotiques qui entravent la production de coton, tout en présentant des caractéristiques permettant une valorisation optimale de la fibre et des sous-produits de la graine. La création de tels programmes transnationaux devra s'accompagner du renforcement des structures locales d'amélioration génétique existante qui sont directement en contact avec les réalités du terrain spécifiques à chaque grande zone de production. Le renforcement de ces structures devrait s'accompagner de la réactivation des réseaux internationaux d'expérimentation variétale fonctionnant dans le cadre des organisations faîtières régionales de la recherche agronomique africaine (CORAF). En fonction des priorités locales et des ressources disponibles le développement des nouvelles variétés de cotonnier devra idéalement se faire en

Tableau 1. Niveaux de résistance aux adversités obtenus au Texas dans les populations MRA 1 à MRA 8 — *Levels of resistance to adversities in the MAR 1 to MAR 8 gene pools* (El Zik, Thaxton, 2001).

Adversités	Populations MRA					
	1	2	4	5	6	7
<i>Maladies</i>						
Fusariose	RI	R	R	R	R	HR
Verticilliose	RP	RI	RI	R	RI	HR
Bactériose	HR	HR	HR	HR	HR	HR
<i>Ravageurs</i>						
Thrips	HS	HS	RP	RI	RI	R
Pucerons	HS	S	RP	RI	R	HR
Lygus	HS	S	RP	RI	RI	R
Vers de capsule	HS	R	R	R	R	R
Mouche blanche	S	RP	IR	R	R	HR
Araignée rouge	S	RP	RP	RI	RI	R
<i>Stress environnementaux</i>						
Résistance au froid		RP	RI	R	R	R
Stress hydrique	S	RP	RI	R	R	R

Échelle de résistance : IM = immune — *immune*; HR = hautement résistant — *highly resistant*; R = résistant — *resistant*; RI = résistance intermédiaire — *intermediate resistance*; RP = résistance partielle — *partial resistance*; S = sensible — *susceptible*; HS = hautement sensible — *highly susceptible*.

Tableau 2. Progrès obtenus au niveau de l'amélioration de la production de fibres et du rendement à l'égrenage dans des programmes d'hybridation interspécifique impliquant *G. arboreum*, *G. thurberi*, *G. anomalum* et *G. raimondii* — *Progress obtained for the improvement of the fiber yield and the ginning outturn in interspecific breeding programmes involving G. arboreum, G. thurberi, G. anomalum and G. raimondii* (Mergeai *et al.*, 1994).

Caractéristiques comparées	Témoin Cultivar NC8	Cultivar (ATH)	Cultivar SCG 471-149
Rendement en coton-graine (% témoin)	100	141	152
Rendement en fibre (% témoin)	100	147	165
Rendement à l'épargne (%)	37,2	38,8	42,1
Poids moyen capsulaire (g)	5,7	6,4	6,9
Poids de 100 graines (g)	10,3	11,4	12,8

combinant les approches de l'amélioration génétique classique assistée par l'emploi de marqueurs de l'ADN et de la génomique fonctionnelle pour orienter la mise en œuvre de transformations génétiques ciblées. À ce niveau, l'exploitation de l'immense réservoir de variabilité que constituent les espèces diploïdes sauvages de cotonnier devrait jouer un rôle primordial (Mergeai, 2006). En cas de création de cotonniers génétiquement modifiés, il faudra mettre en place des procédures de contrôle efficace des risques potentiels liés à la diffusion de ce matériel transgénique.

Références

- Arpat AB., Waugh M., Sullivan JP., Gonzales M., Frisch D., Main D., Wood T., Leslie A., Wing RA., Wilkins TA. (2004). Functional genomics of cell elongation in developing cotton fibers. *Plant Mol. Biol.* **54**, p. 911–929.
- Bird LS. (1982). The MAR (multi-adversity resistance) system for genetic improvement of cotton. *Plant Dis.* **66**, p. 172–176.
- Brubaker CL., Benson CG., Miller C., Leach DN. (1996). Occurrence of terpenoid aldehydes and *Lysigenous* cavities in the « Glandless » seeds of Australian *Gossypium* species. *Aust. J. Bot.* **44**, p. 601–612.
- Chapman KD., Austin-Brown S., Sparace SA., Kinney AJ., Ripp KG., Pirtle IL., Pirtle RM. (2001). Transgenic cotton plants with increased seed oleic acid content. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **78**, p. 941–947.
- El-Zik KM., Thaxton PM. (2001). Improving insect and diseases resistance utilizing the Multi-Adversity Resistance (MAR) system. In Jenkins JN., Saha S. (eds). *Genetic improvement of cotton : emerging technologies*. Enfield, USA: Science Publishers Inc., p. 17–41.
- Khan MA., Stewart JD., Murphy JB. (1999). Evaluation of the *Gossypium* gene pool for foliar terpenoid aldehydes. *Crop Sci.* **39**, p. 253–258.
- Kulkarni VN., Khadi BM., Sangam VS. (2002). Pre-breeding efforts for low gossypol seed and high gossypol plant in *G. herbaceum* L. cotton utilizing *G. australe* Mueller. *Curr. Sci.* **82** (4), p. 434–439.
- Lacape JM., Nguyen TB. (2005). Mapping quantitative trait loci associated with leaf and stem pubescence in cotton. *J. Hered.* **96**, p. 441–444.
- Martin GS., Liu JG., Benedict CR., Stipanovic RD., Magill CW. (2003). Reduced levels of cadinane sesquiterpenoids in cotton plants expressing antisense (+)-delta-cadinene. *Phytochemistry* **62**, p. 31–38.
- Mendez del Villar P., Alvez RA., Keita MS. (2006). Facteurs de performance et de compétitivité des exploitations cotonnières au Brésil, aux États-Unis et au Mali. *Cah. Agric.* **15**, p. 23–34.
- Mergeai G. (2006). Introgression interspécifiques chez le cotonnier. *Cah. Agric.* **15**, p. 135–143.
- Mergeai G., Ndungo V., Follo A., Delhove G., Hofs JL., Baudoin JP. (1994). Choix d'une nouvelle variété pour les zones cotonnières méridionales du Zaïre. Résultats des essais variétaux préliminaires. *Bull. Rech. Agron. Gembloux* **29**, p. 423–447.
- Sunilkumar G., Campbell LM., Hossen M., Connell JP., Hernandez E., Reddy AS., Smith CW., Rathore KS. (2005). A comprehensive study of the use of a homologous promoter in antisense cotton lines exhibiting a high seed oleic acid phenotype. *Plant Biotechnol. J.* **3**, p. 319–330.
- Vroh bi I., Maquet A., Baudoin JP., du Jardin P., Jacquemin JM., Mergeai G. (1999). Breeding for « low-gossypol seed and high-gossypol plants » in upland cotton. Analysis of tri-species hybrids and back-cross progenies using AFLP and mapped RFLPs. *Theor. Appl. Genet.* **99**, p. 1233–1244.
- Wilkins TA., Arpat AB. (2005) The cotton fiber transcriptome. *Physiol. Plant.* **124**, p. 295–300.
- Wilkins TA., Rajasekaran K., Anderson DM. (2000). Cotton biotechnology. *Crit. Rev. Plant Sci.* **19**, p. 1–511.

(16 réf.)