

Le progrès génétique chez la canne à sucre : bilan, enseignements et perspectives

R. Domaingue¹, J. Y. Hoarau², P. Oriol², D. Roques²

¹CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement), UPR Multiplication Végétative, Avenue Agropolis, 34398 Montpellier Cedex 5, France. robert.domaingue@cirad.fr. ²CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement), Station de Roujol, UPR Multiplication Végétative, Petit-Bourg, Guadeloupe, F-97170 France.

RESUME

L'amélioration variétale est une voie privilégiée pour accroître la durabilité des productions agricoles. Elle répond aux attentes des agriculteurs pour faire face aux contraintes biotiques, abiotiques et socio-économiques. Elle contribue à la pérennisation et à l'intensification des productions et permet de répondre à une compétitivité croissante sur les marchés. L'estimation de l'augmentation de la productivité qui résulte des travaux d'amélioration génétique est généralement fondée sur la mesure de l'évolution de l'ensemble de la production agricole d'un pays (ou zone) sur plusieurs années. Des mesures plus fines permettent de préciser la part du progrès génétique contenue dans les gains agricoles en éliminant les facteurs environnementaux.

Chez la canne à sucre un gain de productivité en sucre de 0.64 % par an, à Barbades, entre 1940 et 1975, a été estimé par Simmonds (1979). Heinz (1987) cite des gains annuels moyens de 1% à Hawaii et en Australie pour des périodes équivalentes. De 1947 à 2000, le gain moyen annuel approche 0,57 % à Maurice. De 1968 à 2000, une augmentation de 47 % a été observée en Floride (Edme et al., 2005) soit un gain annuel de 0,1 t/ha. Cox et al., 2005 cite des gains moyens de 20M AUS\$ par an de 1980 à 2000. Si le gain agricole se situe entre 1 % à 2 % par an, la part qui revient aux nouvelles variétés varie entre 0,5 % et 1,0 % (Hogarth, 1976 ; Edme et al., 2005)

L'essentiel de ce progrès génétique repose sur l'augmentation des rendements en tonnage de canne. Celle de la richesse a été plus modeste, voire nulle dans certains cas (Simmonds 1979, Hogarth et al. 1997, Kennedy 2000, Jackson, 2005). Ce constat suscite des interrogations compte tenu des estimations élevées d'héritabilité pour la teneur en saccharose (Milligan et al., 1990, Mamet et al., 1996, Rao et Kennedy, 2004).

Le papier traite des progrès génétiques accomplis dans le domaine de la sélection de la canne à sucre, aborde les freins qui y sont associés et les perspectives d'amélioration.

Mots clés : gain de productivité, amélioration génétique

INTRODUCTION

L'amélioration de la productivité et de la compétitivité sont des objectifs majeurs des agro-industries de la canne à sucre. Elles dépendent d'une part, des systèmes de production, (itinéraires techniques, gestion de la ressource en eau, contrôle des bio-agresseurs, disponibilité de nouvelles variétés), et d'autre part, des méthodes de transformation de la canne et du sucre, et de la mise en marché des produits.

Le facteur variétal est souvent cité comme étant une des composantes majeures, si ce n'est la composante majeure qui permet d'accroître la productivité des systèmes de production (Hogarth et Berding, 2006). Il participe à améliorer la compétitivité de la filière et à pérenniser la culture. L'innovation variétale apporte de meilleurs rendements, des richesses sucrières supérieures, des tolérances accrues aux contraintes biotiques (maladies et insectes nuisibles) et abiotiques (stress hydriques), et de meilleures adaptations aux diverses conditions agro-écologiques de culture. D'autres facteurs, tels le port de la canne, le couvert végétal, la capacité germinative, l'aptitude à la récolte mécanique contribuent à l'amélioration des rendements et à la réduction des coûts de production. Ainsi la demande pour de nouvelles variétés est forte.

Une meilleure évaluation de l'amélioration de la productivité qui est attribuable à de nouvelles variétés est utile pour quantifier le rôle que jouent les programmes d'amélioration génétique et leurs impacts. Elle aide ainsi la mise en place de nouvelles stratégies en fonction des objectifs ciblés. Ce papier fait le point sur la part de l'augmentation de la productivité qui revient aux variétés de canne à sucre, les progrès génétiques accomplis et aborde les freins qui y sont associés, de même que les perspectives d'amélioration.

L'EVOLUTION DE LA PRODUCTIVITE EN SUCRE

La méthode la plus communément utilisée pour évaluer l'amélioration de la productivité consiste à mesurer l'évolution des rendements de canne ou de sucre. Des données fiables sont obtenues lorsque cette évolution est analysée sur une vingtaine d'années ou plus, sur la base de moyennes mobiles de 4 à 5 ans. L'évaluation peut s'effectuer soit sur une zone de culture donnée, soit sur une zone géographique, soit à l'échelle d'un pays, en fonction de l'information recherchée, générant ainsi les tendances de productivité au fil du temps.

Parmi les diverses sources d'information, celles disponibles des bases de données de la FAO montrent des tendances en fonction des pays (www.fao.org). Citons quelques exemples par catégories de pays producteurs, parmi les pays continentaux ou parmi les petits pays insulaires. Ainsi, dans la première catégorie de pays, depuis 1961 le Brésil et la Thaïlande enregistrent des améliorations sensibles de la productivité (Figure 1), mais celles-ci sont moins élevées en Australie pour la même période. En revanche les données concernant l'Afrique du Sud montrent des baisses sensibles de productivité au cours des 45 dernières années. Ces tendances sont le résultat d'un ensemble de facteurs biologiques, physiques et environnementaux, qui peuvent contribuer soit à améliorer la productivité soit en occasionner des réductions sensibles. C'est le cas, par exemple de l'extension des cultures dans des zones marginales où les rendements sont plus faibles en raison des conditions de culture plus contraignantes, et du fait que souvent les variétés qui y sont cultivées ne sont pas adaptées, n'ayant pas été développées pour ces zones spécifiques de culture (Edme et al., 2005).

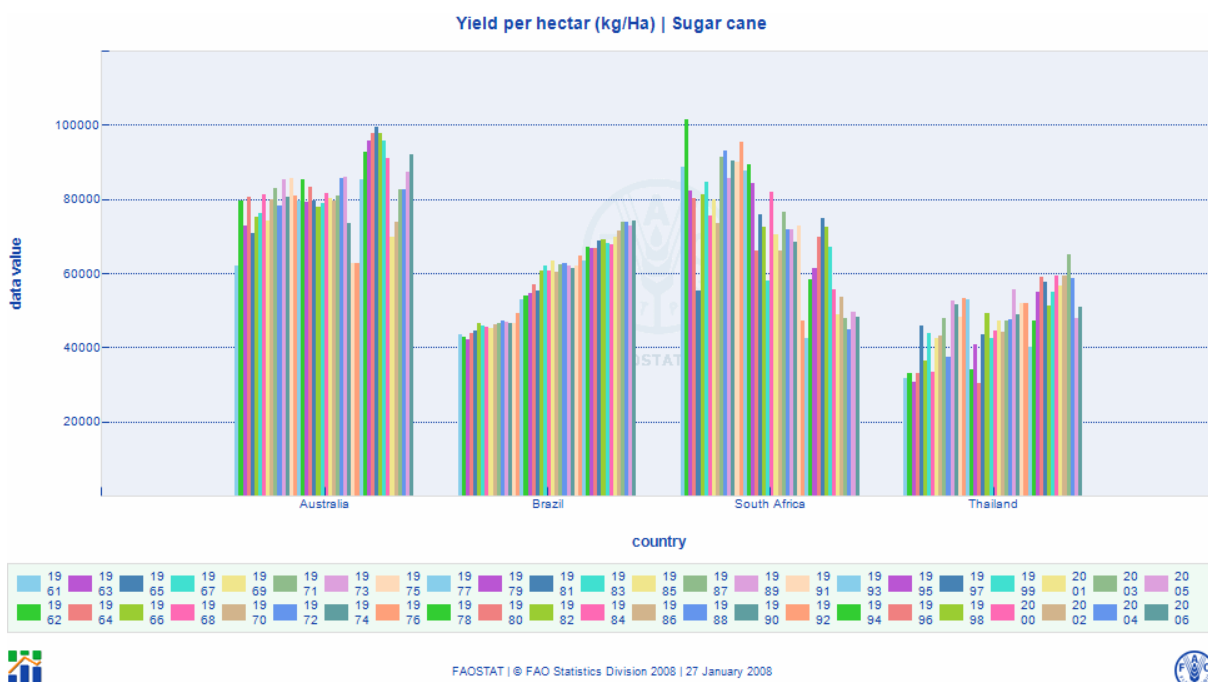


Figure 1: Evolution des rendements en canne en zones continentales; 1961-2006

Dans les zones insulaires, nous notons aussi des améliorations ou des baisses de productivité au fil du temps selon les pays et les situations. Ainsi, des améliorations constantes de productivité ont été obtenues à La Réunion et à Maurice, tandis qu’aux îles Fidji et à Barbade des baisses étaient constatées. En Guadeloupe, après plusieurs années où les rendements s’étaient stabilisés à un niveau relativement bas, une hausse est constatée (Figure 2). Les mêmes facteurs techniques que ceux cités plus haut ont contribué à ces évolutions de la productivité, mais on pourrait aussi ajouter les décisions socio-économiques, voire politique qui auront contribué à de fortes variations en termes de surfaces cultivées ou de politique agricole, influant ainsi les rendements.

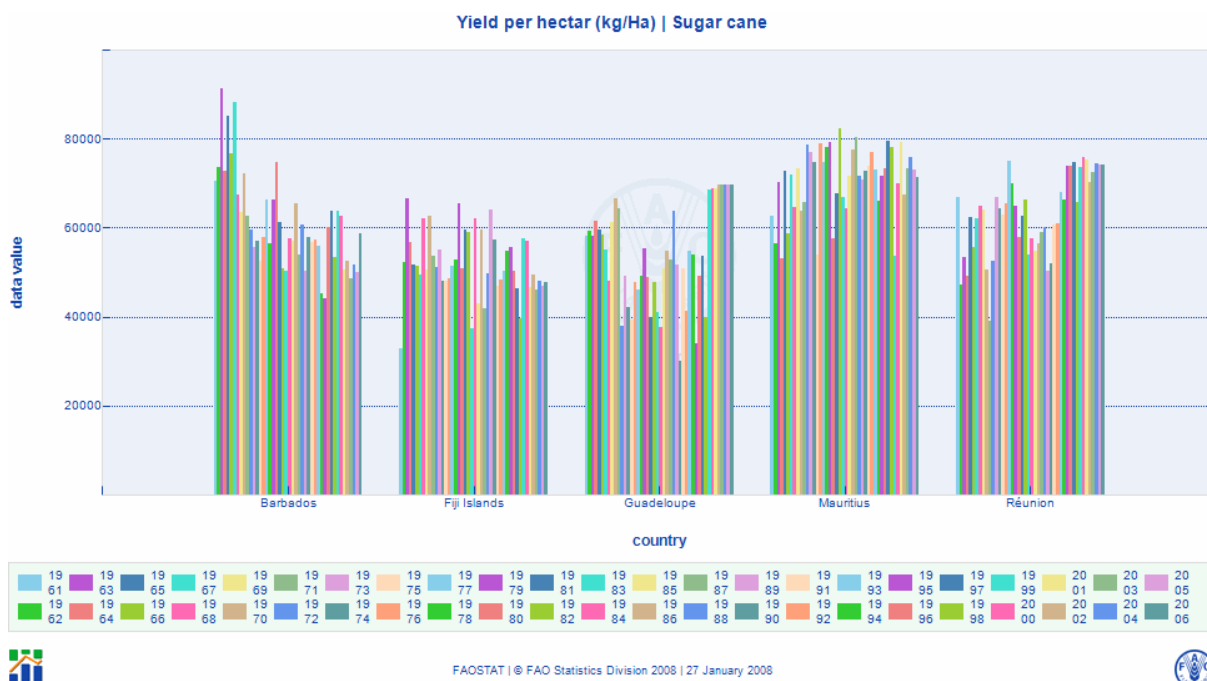


Figure 2: Evolution des rendements en canne en zones insulaires : 1961-2006

Des analyses et des études plus fines ont permis de préciser les gains de productivité. Celle entreprise par Simmonds (1979) à Barbades sur l'évolution des rendements en canne et en sucre par unité de surface, et celle de la richesse saccharine, indiquait des gains annuels de productivité de sucre de 0,64 % entre de 1940 à 1975. Heinz (1987) citait des gains annuels de 1 % à Hawaii et en Australie sur des périodes équivalentes. De 1947 à 2000, l'évolution de la productivité approchait 0,57 % à Maurice (Anon, 2005), tandis qu'en Floride elle était de 47 % de 1968 à 2000, soit un gain annuel de 0,1 t/ha (Edme et al., 2005).

D'un point de vue économique les gains de productivité obtenus en Australie représentaient 20 million de dollars sur la période allant de 1980 à 2000, (Cox et al., 2005), soit environ 1 M AUD par an.

L'ensemble de ces études et de ces évaluations indiquent une augmentation annuelle de la productivité pouvant aller jusqu'à 2,0 %, selon les cas.

Une des questions consiste à identifier la part de ces augmentations qui est attribuable à chacune des deux composantes du rendement en sucre, soit le rendement en canne et la richesse saccharine. Plusieurs études se basant sur des données industrielles et entreprises par Simmonds (1979), Hogarth et al (1997), Kennedy (2000) indiquent que les améliorations de productivité en sucre sont attribuables majoritairement à une augmentation de biomasse, c'est à dire les rendements en canne. Dans une étude plus récente en Australie, Jackson (2005) compara la performance de 12 cultivars récents avec celle d'une variété témoin Q124 (variété la plus cultivée à l'époque de l'étude) dans des essais variétaux entre 1995 à 1998 dans la région d'Herbert sur 4 à 6 sites et en vierge et première repousse. A l'aide de ce dispositif expérimental, peu de différence en termes de richesse saccharine ressortait entre les nouvelles variétés et les anciennes. En revanche, des différences significatives en termes de rendements en canne furent obtenues entre les deux groupes de cultivars, montrant ainsi que l'augmentation du rendement en canne a été un facteur déterminant de l'amélioration de la productivité en sucre au cours des années. Même s'il est reconnu que la différence entre les variétés en essais est plus accentuée qu'à l'échelle industrielle (Skinner, 1983) et que ces mesures ignorent des changements qu'auraient connus les anciennes variétés en termes de sensibilité aux pathogènes ou d'évolution des systèmes de culture et de production, ces résultats confirment la part importante attribuable à l'augmentation des rendements en canne. Deux autres exemples illustrés par Jackson (2005), confirment que l'amélioration de la productivité en sucre résultait majoritairement de l'amélioration des rendements en canne, la richesse ayant peu évolué au cours des périodes équivalentes.

Des études effectuées en Australie (Cox et al., 2005) sur les variétés cultivées de 1973 à 2003 confirment cette tendance, même si les données industrielles sont quelque peu fragmentées.

En revanche, Edme et al. (2005) ont analysé les données de production fournies par le Florida Sugarcane League pour la période allant de 1968 à 2000, soit couvrant 33 années. Les auteurs ont regroupé les données provenant des différentes variétés (CP et CL), à travers les cycles (vierge, première et deuxième repousses) et les catégories de sols (organique et sablonneux). Ils ont aussi analysé les données par tranches de dix années successives.

Une augmentation de la richesse saccharine de 24 %, a été obtenue globalement à l'échelle industrielle. Celle du rendement en canne a été de 15,5 % et celle du rendement en sucre avoisinait 47 %. Ces progressions moyennes fluctuaient selon les périodes. Ainsi, la richesse avait peu évolué entre 1968 et 1980, mais elle avait connu des augmentations très fortes au cours des 10 années suivantes. De même l'augmentation du rendement en canne au cours des dix premières années était faible. Aucune augmentation n'était constatée au cours des dix années suivantes (1980-1990). Mais des augmentations sensibles furent enregistrées pour la période 1990-2000. Les auteurs attribuèrent ces fluctuations à plusieurs facteurs dont les priorités de sélection variétales pour le rendement en canne au cours de la période 1968-1980,

une réorientation des stratégies variétales privilégiant le choix de variétés plus riches au cours des années 1980-1990, l'extension de la culture dans des zones de culture pour lesquelles les variétés n'avaient pas été sélectionnées à l'origine.

D'autres auteurs ont démontré que le gain sur la richesse saccharine en milieu de la saison de récolte est faible. En revanche, les progrès étaient plus élevés lorsque l'on considère des cycles de cultures calés sur des récoltes précoces (Mariotti, 1977, Cox et al., 1996, Mamet et Domaingue, 1999). Cette plus forte augmentation de la richesse est attribuée à une variabilité génétique plus élevée de ce caractère en début de campagne sucrière (Hogarth et al., 1981; Mamet et Domaingue, 1999)

Ainsi, ces études ont permis de préciser que l'essentiel des améliorations de productivité au fil du temps repose sur une augmentation des rendements en canne plutôt que sur l'amélioration de la richesse, même si des augmentations ont été constatées dans plusieurs cas, notamment en ce qui concerne la précocité. L'amélioration des rendements a été particulièrement forte en repousses. D'autre part, Jackson (2005) fit état des projections pour les prochaines années et concluait que le rendement en canne serait le facteur déterminant de l'augmentation de la productivité.

L'APPORT DES NOUVELLES VARIETES

Plusieurs études ont été menées en vue de distinguer le progrès attribuable aux nouvelles variétés de celui d'autres facteurs, tels l'amélioration des pratiques culturales, une amélioration de la gestion des ressources (intrants, eau...), un meilleur contrôle des bio-agresseurs (Bull et al., 1993)

En effet, plusieurs méthodes permettent de différencier la contribution spécifique des nouvelles variétés de celle des autres facteurs qui contribuent aux gains de productivité. Les différences en termes de productivité entre des anciennes et des nouvelles variétés indiquent le progrès réalisé en amélioration génétique sur la période de temps qui sépare soit les dates ou les années de création de ces variétés, ou d'homologation ou de développement à l'échelle industrielle. Ces évolutions peuvent donc être ramenées sur une base annuelle. D'autres méthodes consistent à comparer des nouvelles variétés aux précédentes pendant les périodes de transitions variétales. Ainsi, Simmonds (1979) a estimé un progrès génétique de 0.64% annuellement entre 1940 et 1975 à Barbade. Par le biais de cette méthode, il a été possible de préciser l'apport de l'amélioration génétique et le distinguer de celui d'autres facteurs non génétiques.

Dans le cadre de leur étude en Floride et cité plus haut, Edme et al. (2005) ont comparé la performance de variétés cultivées à l'échelle industrielle avec des variétés témoins dans les essais de sélection (stade IV), pour des années équivalentes. Dans ce cas, le gain génétique se mesure par l'évolution de la production agricole en comparant la contribution des nouvelles variétés par rapport aux anciennes dans les périodes de transitions variétales. La variété de référence pour la période 1968-1980 était CP 63-0588. Les variétés CP 70-1133, CP 72-1210, CP 72-2086, CP 73-1547 et CP 80-1827 étaient choisies pour la période 1981-1990, et les variétés CP 78-1628, CP 80-1743, CP 88-1762 et CP 89-2143 pour la période 1991-2000. Les résultats obtenus indiquaient une amélioration de la productivité en sucre de 1,09 % par an à l'échelle industrielle pour les 33 années. Cette amélioration était de 0,75 % par an dans les essais. Ils attribuèrent 69 % de l'amélioration de la productivité globale au facteur variétal, et ils estimèrent le gain économique à 99 millions de dollars. Ce progrès génétique se situe dans les intervalles de 50 à 75 % que citait Heinz (1987).

Jackson (2005), tout en précisant la rareté des études conduites sur le progrès génétique chez la canne à sucre, rapportait des études faites en Australie. En comparant dans les mêmes

essais des variétés nobles (Badila et Korpi) cultivées au début du 20^{ème} siècle, trois hybrides interspécifiques issus des premiers programmes de création (POJ 2878, Trojan et Pindar), et deux variétés plus récentes (Triton et Cassius), il démontra que les rendements en sucre de la canne vierge avaient doublés sur les 80 années qui séparaient les variétés nobles des variétés modernes récentes. Les rendements en sucre qui avoisinaient 4 à 7 tonnes à l'hectare au début du 20^{ème} siècle avaient plus que doublé pour atteindre 12 à 13 tonnes. En repousse ils avaient été multipliés par 3 (de 2 - 4 t/ha comparé à 8 - 11 t/ha).

DISCUSSIONS

Les études d'évolution de la productivité dans le temps permettent de mesurer l'impact cumulé de la recherche, des nouvelles technologies et des pratiques culturales. Toutefois, elles ne permettent pas de différencier l'effet spécifique des différents facteurs qui interviennent, même si l'impact variétal est souvent cité comme étant majeur (Cox et al., 2005, Hogarth, 1976 ; Edme et al., 2005). Pour cela, des comparaisons plus fines entre les variétés nouvelles et anciennes permettent de préciser le progrès génétique accompli.

Diverses études indiquent que le gain agricole se situe entre 1 % et 2 % annuellement, et que la part qui revient aux nouvelles variétés se situe entre 0,5 % et 1,0 % (Hogarth, 1976 ; Edme et al., 2005)

Pour la recherche, les connaissances acquises sur l'évaluation du gain génétique mesuré soit par le biais d'essais variétaux soit à l'aide de données industrielles sont fort utiles au-delà de la seule information qu'elles procurent (Lawes et Lawn, 2005). La plus forte contribution qu'apportent les améliorations du rendement en canne comparées à celles de la richesse interpelle. En effet, malgré la disponibilité de variétés plus riches donc économiquement plus intéressantes, les efforts aux niveaux agronomiques et génétiques ont porté sur l'amélioration des rendements en canne, notamment en repousses. Or nous savons que la richesse saccharine est un caractère fortement héritable (Mariotti, 1977, Mamet et Domaingue, 1999, Milligan et al., 1990) et de ce fait des progrès génétiques significatifs sont prévisibles. C'est à partir de ces éléments que plusieurs centres de recherche ont lancé des programmes de création ciblés ou ont réorienté leurs programmes en cours pour une meilleure prise en compte de ce caractère.

De façon plus spécifique, des programmes d'amélioration ou de sélection récurrente pour la richesse saccharine ont été initiés dans plusieurs pays (Jackson, 2005, Kennedy, 2006, Mamet et al., 1996). L'exemple de Barbade est le plus frappant avec une augmentation de la teneur en sucre allant jusqu'à 20% à l'issue de trois cycles de sélection récurrente. Au niveau des méthodes de sélection, la combinaison de la forte héritabilité au sens large de la teneur en saccharose, les corrélations génétiques élevées entre la mesure de la richesse sur des parcelles et en champ, et la valeur économique liée à des richesses plus élevées permet la mise en place d'indices de sélection (Jackson, 2005). Par ce biais il est possible de favoriser un ou plusieurs caractères en fonction des objectifs ciblés.

De façon plus globale, les études ont permis de préciser le gain génétique et de dégager des stratégies pour l'améliorer. Au-delà des aspects d'ordre génétique (ex. choix de parents, héritabilité...) et de l'adoption d'indices de sélection, le raccourcissement des schémas de sélection mérite une attention particulière (Mamet et Domaingue, 1999). En effet, cet aspect n'est que rarement considéré comme un élément clé permettant un meilleur gain génétique dans le temps. Les schémas de sélection s'étalent sur 10 à 15 ans selon les situations et les pays. Les meilleures variétés issues de ces schémas sont cultivées à l'échelle industrielle pour

un ou plusieurs cycles, soit pendant 5 à 15 années. Un raccourcissement des schémas de sélection et une adoption plus rapide des variétés sont des moyens non négligeable d'accélérer le gain génétique dans le temps par la mise en culture des meilleures variétés en réduisant l'intervalle entre les cycles d'amélioration (hybridation/sélection) successifs.

En conclusion, une meilleure évaluation du progrès génétique permet de mieux comprendre les aspects des programmes d'amélioration qui contribuent le plus à l'amélioration de la productivité. Elle permet ainsi une meilleure orientation des objectifs de création, voire des conceptions de stratégies d'amélioration innovantes. Elle permet ainsi d'investir dans de nouveaux champs de recherche ou d'en abandonner d'autres.

Une meilleure connaissance de l'impact variétal permet d'améliorer la conduite des pratiques agronomiques et technologiques par une meilleure valorisation du potentiel génétique des nouvelles variétés. Selon Jackson (2005), « pour les décideurs la mesure du progrès génétique permet d'évaluer la rentabilité des investissements engagés dans cette voie de recherche »

BIBLIOGRAPHIE

Anon, (2005). Annual Report, Msiri, Ile Maurice

Bull, J. K; Mungomery, V. E., Hogarth, D. M. (1993). Realisation of genetic gain for yield in commercial production. Proceedings Tenth Australian Plant Breeding Conference Vol. 1.: 92-103.

Cox, M. C., Mc Rae, T. A., Bull, J. K., Hogarth, D. M. (1996). Family selection improves the efficiency and effectiveness of a sugarcane improvement program. Sugar 2000 Symposium: Sugarcane: research towards efficient and sustainable production. 42-43.

Cox, M. C., Stringer, J. K., Cervellin, R. J. (2005). Productivity increases from new varieties in the Queensland sugar industry. Proc. Conf. Australian Society of Sugar Cane Technologists. 124-132.

Edme, S. J., Miller, J. D., Glaz, B., Tai, P. Y. P., Comstock, J. C. (2005). Genetic Contribution to Yield Gains in the Florida Sugarcane Industry across 33 Years. Crop Sci. 45 (1): 92-97.

FAO, statistiques 2008. www.fao.org

Heinz, D. J. (1987). Sugarcane improvement through breeding. Developments in Crop Science 11. Elsevier, Amsterdam 603 pp

Hogarth, D. M. (1976). Producers Review, Australie.

Hogarth, D. M., Wu, K; K., Heinz, D. J. (1981). Estimating genetic variance in sugarcane using a factorial cross design. Crop Science, 21: 21-25.

Hogarth, D. M., Cox, M. C., Bull, J. K. (1997). Sugarcane improvement/ Past achievements and future prospects. Dans Kang, M. S. Crop improvement for the 21st Century, Baton Rouge, Louisiana State University. 29-56.

Hogarth, D. M., Berding, N. 2006. Breeding for a better industry: conventional breeding. *Sugar Cane International*, 24(2): 26-31

Jackson, P. A. (2005). Breeding for improved sugar content in sugarcane. *Field Crops Research*. 92 : 277-290.

Kennedy, A. (2000). Rapport annuel 1998-1999, West Indies Central Sugar Cane Breeding Station, Barbados. 10-15.

Kennedy, A. (2006). Rapport Annuel 2004-205, West Indies Central Sugar Cane Breeding Station, Barbados

Lawes, R.A., Lawn, R. J. (2005). Applications of industry information in sugarcane production systems. *Field Crops Research* 92: 353–363

Mamet, L. D., Julien, M. H. R., Galwey, N. (1996). Earliness of ripening in sugar cane (*Saccharum* spp L.) in Mauritius: variation and inheritance studies. *Sugar Cane* (4): 3-11.

Mamet, L. D., Domaigne, R. (1999). Shortening of the selection process for sugarcane. *Experimental Agriculture*. 35(4): 391-405

Mariotti, J. A. (1977). Sugarcane clonal selection research in Argentina: a review of experimental results. *Proceedings of International Society of Sugar Cane Technologists*. 16: 121-136.

Milligan, S.B., Gravois, K. A., Bischoff, K. P., Martin, F. A. (1990). Crop effects on broad-sense heritabilities and genetic variances of sugarcane yield components. *Crop science*, 30(2): 344-349.

Rao, P. S. et Kennedy A. (2004). Genetic improvement of sugarcane for sugar, fibre and biomass. *Proceedings national Agricultural Conference*. Ministry of Agriculture and Rural Development, Barbados (http://www.agriculture.gov.bb/default.asp?V_DOC_ID=1639)

Simmonds, N. J. (1979). The impact of plant breeding on sugarcane yields in Barbados. *Tropical Agriculture, Trinidad*, 56(4), 289-300.

Skinner, J. C. (1983). Performance of varieties in trials and in agriculture. *Journal of Australian Institute of Agricultural Science*, 49:133-138.