

Etude multilocale d'un diallèle à quatre géniteurs d'élite sélectionnés au sein du réseau coton africain

III - Corrélations entre variables

J. Lançon, E. Gozé, B. Hau, B. Bachelier, J.-L. Chanselme,
D. Dessaux, C. Klassou, E. N'Guessan, T.B. Nguyen, E. Ousmane

J. Lançon, E. N'Guessan : IDESSA, BP 604, Bouaké 01, Côte-d'Ivoire ;
B. Bachelier, C. Klassou : IRA Nord, BP 22, Maroua, Cameroun ;
J.-L. Chanselme, E. Ousmane : CIRAD-CA, BP 764, N' Djamena, Tchad ;
D. Dessaux : Ambassade de France, Avenida España 676, Asunción, Paraguay ;
E. Gozé, B. Hau : CIRAD-CA, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 01, France ;
T.B. Nguyen : Kasetsart University, Pakchong district, Nakorn Ratchasima 30320, Thaïlande.

Résumé

Au sein d'un groupe de génotypes, constitué de quatre lignées et de leurs douze hybrides observés dans quatre lieux avec quatre répétitions par lieu, l'on a pu étudier les corrélations simples entre six variables agronomiques et dix variables technologiques de la fibre ou de la graine.

Les corrélations phénotypiques sont décomposées en corrélations entre composantes génétiques, environnementales et d'interaction entre génotypes et milieu. La comparaison des structures de corrélations obtenues permet de décrire les effets indirects d'une pression de sélection portant sur un caractère. Elle permet également de montrer les limites des études multivariées portant sur des corrélations phénotypiques entre caractères.

L'on retiendra surtout la liaison génétique entre la productivité et la production des branches fructifères, entre la longueur 50 % S.L. et la ténacité ou la maturité, la finesse ou l'allongement, ou bien entre la finesse et la maturité. Il n'existe pas de liaison entre la longueur 2,5 % S.L. et la longueur 50 % S.L.

Les corrélations environnementales et génétiques diffèrent sensiblement dans plusieurs cas, par exemple entre la précocité et la production des branches végétatives, entre le rendement à l'égrenage et la finesse standard, entre la longueur 50 % S.L. et la ténacité ou la finesse, entre la ténacité et l'allongement, entre la finesse et le poids des graines.

MOTS-CLES : coton, *Gossypium hirsutum*, corrélations génétiques, corrélations environnementales, corrélations entre interactions.

Introduction

La division de génétique de l'Institut de recherche du coton et des textiles exotiques (IRCT*), département du CIRAD, a réalisé, en 1987 et 1988, une expérimentation multilocale mettant à contribution les équipes de sélectionneurs de l'Institut de recherche agronomique (IRA) du Cameroun, de l'Institut des Savanes (IDESSA) de Côte-d'Ivoire, et de l'IRCT du Tchad et du Togo.

Un diallèle 4x4 a été constitué et mis en place dans chacun des quatre pays participants.

Au sein de ce dispositif, on discerne plusieurs sources de variabilité potentielle : le matériel génétique utilisé, la localité (le lieu et l'année) et les répétitions dans chaque lieu.

Les deux premières parties de cet article (LANÇON *et al.*, 1992) ont décrit une part de cette variabilité, celle des localités et celle des parents ; nous avons considéré chaque variable ou facteur indépendamment. Cette première approche est essentielle pour pouvoir exprimer, ensuite, les interactions entre les effets génétiques et le milieu.

Pour continuer la description de la variabilité générée par cette expérience, afin d'en avoir une vision plus dynamique, nous avons recherché les couples de variables qui réagissent ensemble aux modifications du milieu ou du patrimoine.

Les études de corrélations entre variables sont peu nombreuses et rarement spécifiques. Elles sont parfois réalisées sur un ensemble indifférencié de variabilité phénotypique, au sein duquel plusieurs sources de variation opèrent simultanément. Or, pour le généticien, il est primordial de connaître la structure des corrélations entre variables ; il pourra utiliser les corrélations génétiques (sélection indirecte ou sur index), mais pas celles liées au milieu.

L'objet de cet article est de décomposer les corrélations entre variables, en fonction des sources de variations décrites plus haut, et de comparer les résultats obtenus selon la nature de cette variation.

* Nota : l'IRCT, l'IRAT et le programme oléagineux annuels de l'IRHO ont fusionné, le 1er juillet 1992, sous le nom de CIRAD-CA (département des cultures annuelles du Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement).

Matériel et méthode

Dispositif expérimental et variables étudiées

Le dispositif expérimental, les variables étudiées et le matériel parental ont été décrits précédemment (LANÇON *et al.*, 1992).

Le matériel génétique considéré dans cette partie comprend les quatre parents et leurs douze hybrides, soit un ensemble de seize génotypes. Les parents et les hybrides étant issus d'un même ensemble génétique, nous les avons traités simultanément.

Méthodologie

Les variables étudiées simultanément dans les quatre lieux et mesurées directement ont été scindées en deux groupes :

- les variables agronomiques et morphologiques au nombre de cinq plus une (DIF, HTOT, PCG, CBF, CBV et RFR) ;

- les variables technologiques de la fibre et de la graine au nombre de neuf plus une (RFR, L25, L50, ST1, SE1, MFM, MHS, CRD, CPB et GSI).

Rappelons les abréviations utilisées :

DIF (jours après la levée) : durée pour l'apparition de la première fleur ;

HTOT (cm) : hauteur totale d'une plante ;
PCG (g) : production d'une plante en coton-graine ;
CBF : nombre moyen de capsules récoltées sur l'ensemble des branches fructifères d'une plante ;
CBV : nombre moyen de capsules récoltées sur l'ensemble des branches végétatives d'une plante ;
RFR (%) : pourcentage de fibre ;
L25 (mm) : longueur 2,5 % «span length» ;
L50 (mm) : longueur 50 % «span length» ;
ST1 (g/tex) : ténacité stélométrique ;
SE1 (%) : allongement ;
MFM (%) : pourcentage de fibres mûres ;
MHS (mtex) : finesse standard ;
CRD (%) : réflectance ;
CPB : indice de jaune ;
GSI (g/100) : poids frais de 100 graines non délintées ("seed index" ou S.I.).

Au sein de chacun des groupes de variables agronomiques ou technologiques, trois types de corrélations ont été calculées :

- les corrélations entre effets dus au milieu (blocs ou lieux) ;

- les corrélations entre interactions (résidus ou génotypes x lieux) ;

- les corrélations génétiques.

Résultats et discussion

Corrélations entre effets simples du milieu

Corrélations entre effets lieux

Seules les corrélations très fortes ont une chance d'être révélées, car le nombre de localités prises en compte est faible, ainsi que le nombre de degrés de liberté avec lequel ces corrélations sont testées.

L'effet de la localité recouvre trois types d'effets liés aux différences de sol, de climat ou d'itinéraire technique entre les quatre stations. L'interprétation des effets ou des corrélations entre variables doit donc rester prudente.

Au sein du groupe des variables agronomiques, aucune des corrélations n'est significative. Cependant, parmi les corrélations fortes ($> 0,60$), on note les suivantes :

- entre la production par plante et le nombre de capsules portées soit par les branches fructifères (+ 0,82), soit par les branches végétatives (+ 0,71) ;

- entre la précocité de floraison et le nombre de capsules

portées par les branches végétatives (corrélation négative) ou le pourcentage de fibre (corrélation positive) ;

- entre le nombre de capsules par branche fructifère et le pourcentage de fibre (+ 0,89).

On remarque, en outre, l'absence de corrélation forte avec la taille de la plante.

Le lieu induit des corrélations significatives entre les variables technologiques suivantes (tabl.1) :

- RFR et ST1 : la ténacité diminue lorsque le pourcentage de fibre augmente ;

- L25 et L50, SE1, MFM ou MHS : lorsque le milieu favorise une augmentation de la longueur 2,5 % S.L., il a corrélativement une incidence favorable sur la longueur 50 % S.L. mais défavorable sur l'allongement, la maturité et la finesse standard ;

- MHS et SE1 ou MFM : une amélioration de la finesse standard due au milieu a également une incidence favorable sur l'allongement ou sur la maturité de la fibre.

Le S.I. ou la couleur de la fibre ne sont significativement corrélés avec aucune autre variable.

TABLEAU 1

Variables technologiques : corrélations entre effets dus aux lieux.

Technological variables: correlations between environment-related effects.

Variable	RFR	L25	MHS
L50		0,91	
ST1	- 0,99		
SE1		- 0,92	- 0,93
MFM		- 0,93	- 0,97
MHS		0,95	

(4 données, 3 degrés de liberté).
(4 items of data, 3 degrees of freedom).

Corrélations entre effets dus aux blocs dans les lieux
(tabl. 2 et 3)

La production par plante varie dans le même sens que la taille de la plante à la récolte, ou du nombre de capsules portées par les branches fructifères ou par les branches végétatives. La taille est également corrélée avec le nombre de capsules portées par les branches fructifères, qui est une mesure indirecte du nombre de branches fructifères.

Le pourcentage de fibre et la date de floraison semblent peu ou pas liés aux variables de productivité.

TABLEAU 2

Variables morphologiques et agronomiques : corrélations entre effets dus aux blocs dans les lieux.
Morphological and agronomical variables: correlations between effects due to blocks at the sites.

Variable	HTOT	PCG
PCG	0,80	
CBV		0,70
CBF	0,85	0,81

(16 données, 12 degrés de liberté).
(16 items of data, 12 degrees of freedom).

TABLEAU 3

Variables technologiques : corrélations entre effets dus aux blocs dans les lieux.
Technological variables: correlations between effects due to blocks at the sites.

Variable	L50
L25	+ 0,91
SE1	- 0,59
MFM	+ 0,69
GSI	+ 0,66

(16 données, 12 degrés de liberté).
(16 items of data, 12 degrees of freedom).

En comparaison avec les résultats précédents, le nombre de corrélations significatives entre les variables

technologiques est plus faible (malgré un nombre de degrés de liberté 4 fois plus important) que pour les effets dûs aux localités. Ce n'est pas très étonnant puisque l'effet statistique bloc recouvre moins de sources de variation que l'effet localité.

C'est la longueur 50 % S.L., et non plus la longueur 2,5 % S.L., qui se trouve la plus fortement corrélée avec les autres variables : un effet bloc favorable à la longueur 50 % S.L. induit également une amélioration de la longueur 2,5 % S.L., de la maturité ou du S.I., mais une diminution de l'allongement de la fibre.

De nombreuses variables ne sont significativement corrélées avec aucune autre : le pourcentage de fibre, la ténacité, la finesse standard, la réflectance et l'indice de jaune.

Corrélations entre interactions génotypes x milieu

Corrélations entre effets d'interaction génotypes x lieu
(tabl. 4 et 5)

Dans certains cas, une interaction génotype x milieu pour une variable, par exemple la précocité, s'accompagne d'interactions proportionnelles pour une autre variable, par exemple la productivité (tabl. 4 et 5).

TABLEAU 4

Variables agronomiques : corrélations entre effets d'interaction génotypes x lieu.
Agronomical variables: correlations between the effects of genotype x site interactions.

Variable	D1F	HTOT	PCG
HTOT	- 0,38		
PCG	- 0,43	0,57	
CBV			0,34
CBF	- 0,39	0,37	0,53

(16 données ; 9 degrés de liberté).
(16 items of data, 9 degrees of freedom).

TABLEAU 5

Variables technologiques : corrélations entre effets d'interaction génotypes x lieu.
Technological variables: correlations between the effects of genotype x site interaction.

Variable	L50	ST1	MFM	GSI
RFR			- 0,37	
L25	0,82	0,43		0,36
L50			0,31	0,33
ST1			0,33	
SE1			- 0,31	
CRD			- 0,45	
CPB			0,34	- 0,31
MFM				0,38
MHS		- 0,37	- 0,59	

(16 données, 9 degrés de liberté).
(16 items of data, 9 degrees of freedom).

Ainsi, un génotype mieux épanoui dans un lieu donné sera plus grand, plus productif (surtout par ses branches fructifères) et plus précoce. De même, une interaction pour la maturité s'accompagne d'une interaction de même signe pour la longueur 50 % S.L., la ténacité, l'indice de jaune et le poids des graines, et d'une interaction de signe opposé pour le pourcentage de fibre, l'allongement, la réflectance et la finesse standard.

Corrélations entre résidus (tabl. 6 et 7)

Ces résidus sont le résultat de l'erreur expérimentale, de variations de fertilité internes aux blocs, et de l'interaction entre fertilité du bloc et génotype. A la différence des interactions génotype x lieu, n'interviennent pas les variations de climat et de conduite de la culture. La comparaison des structures de corrélations entre résidus et entre interactions génotype x lieu permet de mieux comprendre la signification des corrélations entre résidus.

Les résidus varient dans le même sens pour la taille et la production par plante ou le nombre de capsules, pour le poids de coton-graine et le nombre de capsules, pour le nombre de capsules sur les branches fructifères et celui porté par les branches végétatives.

Ils varient en sens inverse pour la date de première fleur, d'une part, et les paramètres de productivité ou le pourcentage de fibre, d'autre part.

En schématisant, les plantes qui se trouvent dans des conditions favorables sont plus développées et plus précoces ; elles produisent plus de capsules sur les deux types de branches et, en définitive, plus de coton-graine. Ce résultat est confirmé par LEFORT et SCHWENDIMAN (1974) qui, de plus, trouvent une liaison forte et positive entre la taille de la graine et la taille de la capsule.

Les résidus ne sont pas indépendants pour L25 et L50 (la longueur 2,5% S.L. augmente avec la longueur 50 % S.L.), MFM et MHS (la finesse diminue avec la maturité) et, à un degré moindre, ils varient dans le même sens pour MFM et GSI (la taille de la graine et la maturité de la fibre évoluent ensemble, résultat confirmé par LEFORT et SCHWENDIMAN, 1974), et en sens contraire pour RFR et GSI : un génotype placé dans des conditions d'alimentation favorables pour la graine subira parallèlement une baisse de son rendement en fibre, mais présentera une fibre légèrement plus longue et plus mûre.

Corrélations génétiques (tabl. 8 et 9)

Certaines des nombreuses corrélations génétiques observées sont favorables, en ce sens que l'amélioration par sélection sur un caractère améliorera aussi l'autre caractère. De telles corrélations existent entre le nombre de capsules portées par les branches fructifères et la précocité de floraison, la taille ou la production d'une plante.

TABLEAU 6

Variables agronomiques : corrélations entre résidus. Agricultural variables: correlations between residues.

Variable	DIF	HTOT	PCG	CVB
HTOT	- 0,24			0,25
PCG	- 0,46	0,61		0,57
CBF	- 0,38	0,47	0,68	0,21
RFR	- 0,16			

Seules figurent les corrélations significatives au seuil 0,05 ; (256 données, 180 degrés de liberté).

Only correlations that were significant at the 0.05 threshold are shown (256 items of data, 180 degrees of freedom).

TABLEAU 7

Variables technologiques : corrélations entre résidus. Technological variables: correlations between residues.

Variable	RFR	L25	CRD	MFM
L50		0,71		
ST1		0,17		
MFM			- 0,24	
MHS			0,15	- 0,70
GSI	- 0,27	0,15		0,34

(256 données, 180 degrés de liberté).

(256 items of data, 180 degrees of freedom).

TABLEAU 8

Variables morphologiques et agronomiques : corrélations génétiques.

Morphological and agronomical variables: genetic correlations.

Variable	DIF	HTOT	PCG
CBV	0,57		
CBF	- 0,78	0,55	0,50

(16 données, 15 degrés de liberté).

(16 items of data, 15 degrees of freedom).

TABLEAU 9

Variables technologiques : corrélations génétiques. Technological variables: genetic correlations.

Variable	RFR	L50	ST1	SE1	MHS
ST1		0,56			
SE1	0,65	- 0,61	- 0,70		
MFM		0,74	0,71	- 0,72	- 0,95
MHS	0,51	- 0,72	- 0,87	0,80	
GSI	- 0,53	0,55	0,64		- 0,55

(16 données, 15 degrés de liberté).

(16 items of data, 15 degrees of freedom).

A l'intérieur d'un échantillon de 9 lignées d'origine H.A.R., LEFORT et SCHWENDIMAN (1974) ont rapporté des corrélations génétiques identiques :

- entre le pourcentage de fibre et l'allongement ;
- entre la longueur 50 % S.L. et la ténacité stélométrique, la maturité, la finesse standard ou le S.I. ;

- entre la ténacité et la maturité, la finesse standard ou le S.I. ;
- entre la finesse standard et la maturité ou le S.I.

LEFORT et SCHWENDIMAN (1974), par l'étude d'une autre population, concluent aussi en montrant que la longueur et l'uniformité de la fibre sont génétiquement et positivement liées avec sa ténacité, l'indice micronaire l'est avec la ténacité et avec l'uniformité.

D'autres corrélations génétiques sont défavorables :

- entre le nombre de capsules portées par les branches végétatives et la précocité de floraison ;
- entre le pourcentage de fibre et la finesse standard ou le S.I. ;
- entre la longueur 50 % S.L. et l'allongement ;
- entre la ténacité et l'allongement ;
- entre l'allongement et la maturité ou la finesse standard.

De leur côté, LEFORT et SCHWENDIMAN (1974) confirment la relation génétique inverse entre l'allongement et la ténacité ou la longueur.

Conclusion

Corrélations phénotypiques

La structure des corrélations entre les effets d'interaction génotypes x localités est sensiblement la même que la structure des corrélations entre résidus. Les résidus ont donc vraisemblablement pour origine principale un effet du milieu : interaction génotype x bloc ou effets résiduels «terrain». En effet, des erreurs vraies (d'échantillonnage ou de manipulation) auraient certainement une autre structure de corrélation. On peut donc penser que ces erreurs sont négligeables devant les variations dues au terrain.

L'effet de blocs prend en compte l'hétérogénéité du terrain lorsque celle-ci se manifeste à une échelle suffisamment grande. Tous les blocs situés dans un lieu donné se trouvent soumis à un climat et à des techniques culturales sensiblement homogènes. C'est donc plutôt l'influence des variations de terrain (facteur sol et topographie) qui est prise en compte.

L'influence de l'écartement, source de variation incluse dans la localité, est considérée comme négligeable en comparaison des autres effets liés à la localité tant sur les variables technologiques elles-mêmes, que sur leurs corrélations (CHANSELME *et al.*, 1988). On peut donc penser que les corrélations trouvées pour les lieux et perdues pour les blocs reflètent assez largement l'influence des effets climatiques (y compris la date de semis qui peut être considérée comme une composante de la variation du climat subi par la plante).

Ainsi en est-il des corrélations entre le pourcentage de fibre et la ténacité, entre la finesse standard et l'allongement, ou entre la maturité et la finesse standard. On sait que la pluviométrie et la température conditionnent fortement la maturation de la fibre (LANÇON *et al.*, 1989). Or, une fibre plus mûre sera également mieux remplie, plus lourde (RFR) mais moins tenace (ST1).

L'effet du climat induit également une variation corrélative très forte entre la maturité et la finesse standard. La prise en compte de la maturité, facteur de correction de la finesse linéique pour estimer la finesse standard, tendrait

donc à surestimer ce dernier paramètre pour les fibres bien mûres et, en conséquence, à le sous-estimer pour les fibres immatures.

Corrélations génétiques

L'étude des corrélations génétiques s'applique à une population de génotypes bien définie. Or, l'échantillon génétique de cette expérience est de petite dimension et les résultats peuvent être biaisés par rapport à la population de référence qui est celle constituée par les géniteurs d'élite d'Afrique francophone. Il convient, donc, de les examiner avec prudence et en particulier de les confronter avec les résultats comparables obtenus par d'autres auteurs.

L'examen des corrélations génétiques entre variables agronomiques montre :

- qu'une sélection pour la précocité de floraison s'accompagnera d'une diminution de la production des branches végétatives et d'une augmentation de celle portée par les branches fructifères ;
- que l'on peut accroître l'efficacité d'une sélection dirigée vers l'amélioration de la productivité en tenant compte de la production portée par les seules branches fructifères (corrélation phénotypique).

De même, l'étude des corrélations génétiques entre les variables technologiques permet de dégager les enseignements suivants :

- l'amélioration génétique de la longueur 2,5 % S.L. ne s'accompagne pas automatiquement du maintien de l'uniformité de la fibre (il n'y a pas de corrélation entre L 50 et L 25) ;
- une pression de sélection exercée sur le pourcentage de fibre entraîne une amélioration de l'allongement, mais une dégradation de la finesse standard ou du S.I. Il faut signaler que ce dernier résultat n'est pas encore signalé par LEFORT et SCHWENDIMAN, en 1974 ;
- une pression de sélection exercée sur la longueur 50 %

S.L. entraîne une amélioration conjointe de la ténacité, de la maturité, de la finesse standard et du seed index, mais une perte d'allongement ;

- une pression de sélection exercée sur la ténacité entraîne une amélioration conjointe de la maturité, de la finesse standard et du seed index, mais une perte d'allongement ;

- une pression de sélection exercée sur l'allongement a un effet défavorable sur la maturité et sur la finesse standard ;

- une pression de sélection exercée sur la finesse standard entraîne une amélioration conjointe de la maturité et du seed index.

C'est la comparaison des structures des corrélations génétiques et environnementales qui montre l'intérêt d'une sélection sur index. En effet, lorsqu'elle porte sur des caractéristiques entre lesquelles s'est établie une corrélation génétique forte, accompagnée d'une corrélation

phénotypique faible ou (mieux) de sens contraire, la valeur génétique d'un individu sera beaucoup mieux estimée en prenant en compte cette corrélation. A l'inverse, cette démarche est inutile lorsque les corrélations génétiques et phénotypiques sont de même amplitude.

En résumé, parmi les corrélations génétiques décrites précédemment, un petit nombre seulement diffère sensiblement des corrélations environnementales. Ce sont celles qui associent :

- la précocité de floraison et la production des branches végétatives ;

- le pourcentage de fibre et l'allongement ou la finesse standard ;

- la longueur 50 % S.L. et la ténacité ou la finesse standard ;

- la ténacité stélométrique et l'allongement, la finesse standard ou le seed index ;

- l'allongement et la finesse standard ;

- la finesse standard et le seed index.

Références bibliographiques

CHANSELME J.-L., LANÇON J., KLASSOU C., 1988.- Amélioration variétale et technologie cotonnière. *Rapport annuel, IRA Maroua, MESIRES-IRCT-CIRAD* (doc. non publié).

GALLAIS A., 1990.- Théorie de la sélection en amélioration des plantes. *Masson*, Paris, 588 p.

LANÇON J., BACHELIER B., CHANSELME J.-L., DESSAUW D., KLASSOU C., N'GUESSAN E., NGUYEN T.B., OUSMANE E., 1992.- Etude multilocale d'un diallèle à quatre géniteurs d'élite sélectionnés au sein du réseau coton africain.

I - Variabilité des localités. *Coton Fibres Trop.*, 47, 4, 251-263.

II - Variabilité des parents. *Coton Fibres Trop.*, 47, 4, 265-276.

LANÇON J., KLASSOU C., CHANSELME J.-L., 1989.- Influence de la date de semis sur certaines caractéristiques technologiques de la fibre et de la graine de coton (*G. hirsutum* L.) au Nord-Cameroun. In Actes de la première conférence de la recherche cotonnière africaine, Lomé, Togo, 31 janvier-2 février 1989. Tome I, 241-251. *Montpellier, France, IRCT*.

LEFORT P. L., SCHWENDIMAN J., 1974.- Etude d'un matériel d'origine triple hybride *Gossypium hirsutum* x *G. arboreum* x *G. raimondii*. 1.- Application de l'analyse multivariable à la description des lignées de base. *Coton Fibres Trop.*, 29, 405-413.

Multi-site trial of a diallel with four elite parents bred within the cotton research African network

III - Correlations between variables

J. Lançon, E. Gozé, B. Hau, M. Bachelier, J.-L. Chanselme, D. Dessaux,
C. Klassou, E. N'Guessan, T.B. Nguyen, E. Ousmane

Summary

A group of genotypes made up of four lines and their twelve hybrids was monitored at four different sites with four repetitions per site in order to study the simple correlations that exist between six agronomical variables and ten technological variables of the fiber or the seed.

Phenotypic correlations were broken down into correlations between genetic and environmental factors and interactions between genotypes and environment. The comparison of the resulting correlation structures produced a description of the indirect effects of selective pressure on a given character. It also demonstrated the limitations of multivarietal trials in the investigation of phenotypic correlations between characters.

Of particular interest were the genetic relations between productivity and the production of fruit-bearing branches, between 50% S.L. and strength or maturity, fineness or elongation, and also between fineness and maturity. There was no correlation between 2.5% S.L. and 50% S.L.

The environmental and genetic correlations were appreciably different in several cases, e.g. between earliness and the production of vegetative branches, between ginning output and standard fineness, between 50% S.L. and strength or fineness, between strength and elongation, between fineness and seed weight.

KEY WORDS: cotton, *Gossypium hirsutum*, genetic correlations, environmental correlations, correlations between interactions.

Introduction

The genetic division at the Institut de recherche du coton et des textiles exotiques (IRCT*), a department within CIRAD, performed a multisite trial in 1987 and 1988 using the selector teams stationed at the Institut de recherche agronomique (IRA) in Cameroon, the Institut des Savanes (IDESSA) in Côte-d'Ivoire and the IRCT in Chad and in Togo.

A 4x4 diallel was produced and planted in each of the participating countries.

Several potential sources of variability were therefore inherent to the study: the genetic material used, the location (site + year) and the repetitions at each site.

The preliminary sections of the resulting publication (LANÇON *et al.*, 1992) described part of this variability, that of the locations and the parents; we have now considered each variable or factor independently. This initial approach is primordial if we wish to subsequently express the interactions between the genetic and environmental effects.

To continue with the description of the variability generated within this experiment, in order to produce a more dynamic picture, we searched out those pairs of variables that reacted together to modifications in the environment or in genetic inheritance.

Studies of inter-variable correlations are few and rarely specific. Some have been performed on an undifferentiated set of phenotypic variables subject to several sources of variation operating simultaneously, whereas it is primordial for the geneticist to know the structure of the inter-variable correlations. He can use these genetic correlations (indirect selection or index selection), but not those related to the environment.

The aim of this paper is to describe the correlations between variables in relation to the sources of variation described above, and to compare the results obtained depending on the nature of this variation.

* NB: IRCT, IRAT and the IRHO annual oil crops programme were merged on July 1, 1992 under the name of CIRAD-CA (annual crops department of the Center for International Cooperation in Development-Oriented Agricultural Research).

Materials and methods

Experimental methods and variables examined

The experimental methods, the variables examined and the parent plants used have already been described elsewhere (LANÇON *et al.*, 1992).

The genetic material considered in this section comprised the four parents and their twelve hybrids, i.e. a set of 16 genotypes. As the parents and hybrids were derived from the same genetic pool, we examined them simultaneously.

Methodology

The variables examined simultaneously in all four sites and measured directly were split into two groups:

- agronomical and morphological variables which represented five plus one (D1F, HTOT, PCG, CFB, CVB and RFR);
- fiber and seed technology variables which represented nine plus one (RFR, L25, L50, ST1, SE1, MFM, MHS, CRD, CPB and GSI).

The following abbreviations are employed:
D1F (days after emergence) time to first flower;
HTOT (cm): plant's total height;

PCG (g): seed-cotton production per plant;
CBF: mean number of bolls harvested from the fruit-bearing branches of a plant;
CBV: mean number of bolls harvested from the vegetative branches of a plant;
RFR (%): fibre percentage;
L25 (mm): 2.5% span length;
L50 (mm): 50% span length;
ST1 (g/tex): stelometric strength;
SE1 (%): elongation;
MFM (%): percentage of mature fibres;
MHS (mtex): standard fineness;
CRD (%): reflectance;
CPB: yellow index;
GSI (g/100): fresh weight of 100 undelinted seeds (seed index or S.I.).

Three types of correlation were calculated within each group of agricultural or technological variables:

- correlations between effects due to the environment (blocks or sites);
- correlations between interactions (residues or genotypes x sites);
- genetic correlations.

Results and discussion

Correlations between simple environmental effects

Correlations between site effects

Only very strong correlations had a chance of being revealed because of the small number of locations involved and the small number of degrees of freedom with which the correlations were tested.

The location effect covered three types of effects related to differences in the soil, the climate and the technical process taken at the four stations. The effects and correlations between the variables must therefore be interpreted with caution.

None of the correlations within the group of agricultural variables was significant. However, the following strong correlations (> 0.60) were recorded:

- between individual plant production and the number of bolls on either the fruit-bearing (+ 0.82) or vegetative (+ 0.71) branches;
- between flowering earliness, and the number of bolls on the vegetative branches (negative correlation) or fiber percentage (positive correlation);
- between the number of bolls per fruit-bearing branch and the fiber percentage (+ 0.89).

It can be seen, moreover, that there is no strong correlation with plant height.

The site induced significant correlations between the following technological variables:

- RFR and ST1: strength decreased as fiber percentage increased;
- L25 and L50, SE1, MFM or MHS: when the environment favored an increase in 2.5% S.L., there was a correlatively favorable incidence on 50% S.L. but unfavorable incidence on elongation, maturity and standard fineness;
- MHS and SE1 or MFM: an environment-related improvement in standard fineness also produced a favorable incidence on elongation and on fiber maturity.

S.I. and fiber color were not significantly correlated with any other variable.

Correlations between effects due to blocks in the sites (tables 2 and 3)

Individual plant production varied in the same direction as plant height at harvesting, or the number of bolls on the fruit-bearing branches, or on the vegetative branches. Height was also correlated with the number of bolls on the

fruit-bearing branches, which is an indirect measurement of the number of fruit-bearing branches.

Fiber percentage and flowering time seemed to be little or not at all related to productivity variables.

In comparison with the previous results, the number of significant correlations between the technological variables was lower (despite a 4 fold increase in the number of degrees of freedom) than for the effects due to location. This is not so surprising as the statistical effect of the block covers less sources of variation than the effect of the location.

Here it was the 50% S.L. and no longer the 2.5% S.L. that was the most strongly correlated with the other variables: a favorable block effect on 50% S.L. also induced an improvement in 2.5% S.L., in maturity and in S.I., but a decrease in fiber elongation.

Numerous other variables did not demonstrate any significant correlation with any other variable: fiber percentage, strength, standard fineness, reflectance and yellow index.

Correlations between genotype x environment interactions

Correlations between the effects of genotype x site interactions (tables 4 and 5)

Certain cases showed a genotype x site interaction for a given variable, e.g. for earliness, which was accompanied by proportional interactions for another variable, e.g. productivity (tables 4 and 5).

Thus, a better blooming genotype at a given site will be taller, more productive (particularly on fruit-bearing branches) and earlier. Similarly, an interaction for maturity is accompanied by an index and seed weight, and an interaction in the opposite direction for fiber percentage, elongation, reflectance and standard fineness.

Correlations between residues (tables 6 and 7)

These residues are the result of experimental error, fertility variations within the blocks and the interaction between block fertility and genotype. Unlike genotype x site interactions, here the variations in climate and growing techniques do not intervene. A comparison of correlation structures between residues and between the effects of genotype x site interactions allows the significance of correlations between the residues to be better understood.

The residues varied in the same direction for height and production per individual plant or number of bolls, for seed-grain weight and number of bolls, for number of bolls on the fruit-bearing branches and those on the vegetative branches.

They varied in an opposing fashion for date of the first flower and both productivity parameters and fiber percentage.

Briefly, the plants that were growing in favorable conditions were better developed and earlier; they produced more bolls on both types of branches and, in the end, more seed cotton. This result confirms that reached by LEFORT and SCHWENDIMAN (1974) who, in addition, found a strong positive correlation between seed size and boll size.

The following residues were not independent: L25 and L50 (2.5% S.L. increased with 50% S.L.), MFM and MHS (fineness decreased with maturity) and, to a lesser extent, they varied in the same direction for MFM and GSI (seed size and fibre maturity changed together, this result being confirmed by LEFORT and SCHWENDIMAN, 1974), and in opposing directions for RFR and GSI: a genotype planted in nutrient conditions that are favourable for the seed will undergo a reduction in its fibre output, but will produce a fibre which is slightly longer and more mature.

Genetic correlations (tables 8 and 9)

Some of the numerous genetic correlations observed were favourable in that the improvement of a character through selection also improved the other character. Such correlations were observed between the number of bolls on the fruit-bearing branches and flowering earliness, height and the production of an individual plant.

LEFORT and SCHWENDIMAN (1974) reported the following identical genetic correlations within a sample of nine lines of H.A.R. origin:

- between fiber percentage and elongation;
- between 50% S.L. and stelometric strength, maturity, standard fineness or S.I.;
- between strength and maturity, standard fineness or S.I.;
- between standard fineness and maturity or S.I.

LEFORT and SCHWENDIMAN (1974) concluded in the study of another population by demonstrating that fiber length and uniformity were genetically and positively related with its strength, and that micronaire index was related to strength and to uniformity.

- Other genetic correlations were unfavourable:
- between the number of bolls on the vegetative branches and flowering earliness;
 - between fiber percentage and standard fineness or S.I.;
 - between 50% S.L. and elongation;
 - between strength and elongation;
 - between elongation and maturity or standard fineness.

LEFORT and SCHWENDIMAN (1974) confirmed the inverse genetic relation between elongation and strength or length.

Conclusion

Phenotypic correlations

The structure of the correlations between the effects of genotype x location interactions is practically the same as the structure of the correlations between residues. The residues are therefore very likely derived from an environmental effect: genotype x block interaction or residual «field» effects. This is supported by the fact that true errors (of sample or handling) would certainly possess another correlation structure. It can therefore be considered that these errors are negligible in comparison with variations due to field conditions.

The block effect takes field heterogeneity into account when this is present on a sufficiently large scale. As all the blocks at a particular site are subjected to practically the same climate and culture techniques, it is rather the field effects (soil and topography) that are taken into account.

The influence of spacing, which is a source of variation included in the location, is considered as negligible in comparison with the other effects related to location, and this both for the technological variables themselves and also for their correlations (CHANSELME *et al.*, 1988). It can therefore be considered that the correlations observed for location but lost for the blocks are a fairly broad reflection of the influence of climatic effects (including sowing date which can be considered as a component of the climatic variations which the plant undergoes).

The same can be said for the correlations between fibre percentage and strength, between standard fineness and elongation, and between maturity and standard fineness. We already know that rainfall and temperature have a considerable impact on fibre maturity (LANÇON *et al.*, 1989), and now can state that a more mature fibre will also be better filled, heavier (RFR) but will be weaker (ST1).

The effect of the climate also induces a very strong correlative variation between maturity and standard fineness. The consideration of maturity - corrective factor on linear fineness to estimate standard fineness - would therefore tend to overestimate the latter parameter in mature fibres and consequently underestimate it for immature fibres.

Genetic correlations

Genetic correlations should be studied in populations of well-defined genotypes. However, the genetic sample used in the present experiment was small and the results could therefore be biased in relation to the reference population made up of elite parents from French-speaking Africa. Care must therefore be taken when examining the results, particularly when confronted with results that are comparable to those obtained by other authors.

The study of genetic correlations between agricultural variables showed that:

- an early flowering selection was accompanied by a decrease in vegetative branch production and an increase in fruit-bearing branch production;
- the efficacy of selection aimed at improving productivity could be enhanced by considering only production by the fruit-bearing branches (phenotypic correlation).

Similarly, the examination of the genetic correlations between technological variables resulted in the following:

- the genetic improvement in 2.5% S.L. was not automatically accompanied by stable fibre uniformity (there was no correlation between L50 and L25);
- selective pressure on fibre percentage led to an improvement in elongation, but a deterioration in standard fineness and in S.I. It should be noted that the latter result had not yet been reported by LEFORT and SCHWENDIMAN in 1974;
- selective pressure on 50% S.L. led to a concomitant improvement in strength, maturity, standard fineness and seed index, but a loss of elongation;
- selective pressure on strength led to a concomitant improvement in maturity, standard fineness and seed index, but a loss of elongation;
- selective pressure on elongation produced an unfavorable effect on maturity and on standard fineness;
- selective pressure on standard fineness led to a concomitant improvement in maturity and seed index.

The comparison between the structures of genetic and environmental correlations shows the importance of index selection. When selection concentrated on characters which were related by a strong genetic correlation but a weak phenotypic correlation or (even better) the opposite, the genetic value of an individual was far better estimated by taking account of this correlation. By contrast, this approach was not applicable when the genetic and phenotypic correlations were of the same magnitude.

To summarize, of all the genetic correlations described above, only a small number differ appreciably from the environmental correlations, i.e. those that associate:

- flowering earliness and the production of vegetative branches;
- fibre percentage and elongation or standard fineness;
- 50% S.L. and strength or standard fineness;
- stelometric strength and elongation, standard fineness or seed index;
- elongation and standard fineness;
- standard fineness and seed index.

Estudio en varios sitios de un dialelo con cuatro genitores selectos procedentes de la red algodонера africana

III - Correlaciones entre variables

J. Lançon, E. Gozé, B. Hau, B. Bachelier, J.-L. Chanselme,
D. Dessauw, C. Klassou, E. N'Guessan, T.B. Nguyen, E. Ousmane

Resumen

En el seno de un grupo de genotipos constituido por cuatro líneas y sus doce híbridos y, observados en cuatro lugares con cuatro repeticiones por lugar, se han podido estudiar las correlaciones simples entre seis variables agronómicas y diez variables tecnológicas de la fibra o del grano.

Las correlaciones fenotípicas se descomponen en correlaciones entre componentes genéticos, medioambientales y de interacción entre genotipos y medio. La comparación de las estructuras de correlaciones obtenidas permite describir los efectos indirectos de una presión de selección relativa a un carácter y, por otro lado, pone de relieve los estudios variados referentes a las correlaciones fenotípicas entre caracteres.

Se tomará en cuenta sobre todo el vínculo genético entre la productividad y la producción de las ramas fructíferas, entre la longitud 50% S.L. y la tenacidad o la madurez, la fineza o el alargamiento, o entre la fineza y la madurez. No existe enlace entre la longitud 2,5% S.L. y la longitud 50% S.L.

Las correlaciones medioambientales y genéticas difieren perceptiblemente en varios casos, por ejemplo entre la precocidad y la producción de las ramas vegetativas, entre el rendimiento al desgrane y la fineza estándar, entre la longitud 50% S.L. y la tenacidad o la fineza, entre la tenacidad y el alargamiento, entre la fineza y el peso de los granos.

PALABRAS CLAVE: algodón, *Gossypium hirsutum*, correlaciones genéticas, correlaciones medioambientales, correlaciones entre interacciones.