

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

I. - Variabilité des localités

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

Institut des Savanes, département des cultures industrielles, BP 604, Bouaké, Côte-d'Ivoire.

Résumé

Une expérience de croisements diallèles entre quatre géniteurs a été mise en place dans quatre stations de sélection cotonnière du réseau africain de l'IRCT*. L'ensemble de ces résultats est présenté dans une série de cinq articles. Cette première partie décrit le dispositif mis en place dans chaque localité, ainsi que la variabilité du milieu de l'expérience.

L'effet de la localité est significatif pour les vingt-neuf caractéristiques mesurées. On retiendra surtout son impact sur la production portée par les branches fructifères ou par les branches

végétatives. L'effet localité influe aussi sur l'uniformité, l'indice de jaune et, résultat surprenant, la finesse de la fibre, sur les paramètres de régularité du fil (points gros, nepposité, uniformité) et sur le rendement à l'égrenage.

Cette variabilité géographique se structure selon deux axes. Le premier rend compte de la différence entre les deux stations de sélection d'Afrique centrale, d'une part, et les deux stations d'Afrique de l'Ouest, d'autre part. Le second axe distingue le semis précoce du semis tardif (Togo).

MOTS-CLES : coton, *Gossypium hirsutum*, influence du milieu, Cameroun, Côte-d'Ivoire, Tchad, Togo.

Introduction

L'objectif initial de cette expérimentation était d'approfondir la connaissance du matériel génétique utilisé par l'IRCT en Afrique et de permettre une discussion sur les stratégies à adopter pour une meilleure utilisation de ce fonds en sélection.

En réponse à cette double interrogation, la division de génétique de l'IRCT-CIRAD a coordonné, en 1987 et en 1988, une expérimentation multilocale mettant à contribution les équipes de sélectionneurs de l'Institut de recherche agronomique du Cameroun (IRA), de l'Institut des Savanes de Côte-d'Ivoire (IDESSA) et de l'IRCT au Tchad et au Togo.

Ainsi, un diallèle 4x4 a été mis en place dans chacun des quatre pays participants, à raison d'un géniteur désigné pour chacun des pays.

La synthèse des résultats de cette expérience est présentée en cinq parties : I. - Variabilité du milieu ; II. - Variabilité parentale ; III. - Structure des corrélations entre variables ; IV. - Hétérosis et homéostasie ; V. - Effets génétiques.

La prise en compte des effets d'interaction entre génotypes et milieux constitue l'originalité du dispositif expérimental. La première partie de cet article est donc consacrée à la description des différentes localités, préalable nécessaire à l'interprétation de ces effets d'interaction.

(*) 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).

Chacune des localités est le siège unique ou principal des activités de sélection pour une zone cotonnière. Néanmoins, cette particularité ne constitue pas une garantie de représentativité. Au contraire, l'influence de l'année et celle de l'itinéraire technique choisi pour conduire cette expérimentation (densité, degré d'intensification) nous obligent à considérer chaque localité comme une entité

non représentative de l'ensemble de la zone de culture correspondante.

On se gardera donc de généraliser à l'ensemble d'un pays les résultats concernant la production cotonnière d'une localité.

Matériel et méthode

Dispositif expérimental et modèle statistique

Dans quatre pays (fig. 1), au Cameroun (station de Maroua), en Côte-d'Ivoire (station de Bouaké), au Tchad

(station de Bébédjia) et au Togo (station d'Anié-Mono), un diallèle à quatre parents a été réalisé ; chaque pays a désigné un des parents. Le dispositif statistique mis en place comprend donc seize traitements (les quatre parents



Figure 1
Localisation des quatre stations participantes (•).
Location of the four participating stations (•).

et les douze F1), répétés dans quatre blocs randomisés. Arbitrairement, les lieux sont considérés comme représentatifs des milieux contrôlés de notre aire d'activité en Afrique, et, d'autre part, les variétés sont représentatives du matériel génétique travaillé. Par conséquent, les effets seront aléatoires aussi bien pour les variétés que pour les lieux.

Traitements

L'effet de chacune des localités est calculé en considérant :

- l'ensemble des seize génotypes (quatre parents et leurs hybrides) pour l'analyse de la variance ;

- les seuls génotypes parentaux pour les deux analyses en composantes principales.

Variables étudiées

Toutes les mesures et cotations au champ ont, lorsque c'était possible, été effectuées sur cinq plants par parcelle élémentaire dans trois localités ; mais sur trois plants seulement au Tchad.

La récolte de cinq plants (trois pour le Tchad) par parcelle élémentaire est égrenée, dans chacun des pays, sur un appareil de laboratoire à rouleau (type Porter Morrison 8'). Du produit de l'égrenage, un échantillon d'environ 100 g de graines et un autre de 100 à 150 g de fibre sont prélevés pour les analyses.

Les caractéristiques physiques de la graine sont analysées dans chacun des laboratoires de station. A l'IDESSA (Bouaké, Côte-d'Ivoire), le laboratoire d'analyse technologique de la fibre a réalisé les analyses de fibre et la filature, et, d'autre part, le laboratoire de technologie de la graine a déterminé les taux d'huile des graines.

Caractéristiques agronomiques

Nous avons considéré les caractéristiques suivantes (moyennes de cinq plantes par parcelle élémentaire) :

HTOT (cm) : hauteur totale d'une plante ;

D1F (jours après la levée) : temps moyen pour l'apparition de la première fleur. Dès leur apparition, les fleurs sont comptées et lorsque leur nombre total est égal ou supérieur au nombre de plantes sur la ligne, on note le nombre de jours depuis la levée ;

PCG (g) : production d'une plante en coton-graine ;

RDT (g/m²) : rendement moyen en coton-graine pour une parcelle de 1 m² ;

PMC (g) : poids moyen d'une capsule, calculé par PCG/(CBF+CBV) ;

CBV : nombre moyen de capsules récoltées sur l'ensemble des branches végétatives (monopodes) d'une plante ;

CBF : nombre moyen de capsules récoltées sur l'ensemble des branches fructifères (sympodes) d'une plante.

Caractéristiques technologiques de la fibre

Les analyses sont effectuées sur un échantillon de 35 g de fibre récoltée par parcelle élémentaire.

Les paramètres de longueur ont été mesurés sur un fibrographe Spinlab 530 (quatre mesures par échantillon), la résistance et l'allongement sur un stélomètre Spinlab 154 M (quatre casses), la couleur sur un colorimètre Spinlab 830 (une mesure), la maturité et la finesse sur un maturimètre anglais IIC FMT 2 (deux mesures).

L25 (mm) : longueur 2,5 % S.L.

L50 (mm) : longueur 50 % S.L.

LUR (%) : uniformité, calculée par $(L50/L25) \times 100$

MIM : indice micronaire

MFM (%) : pourcentage de fibres mûres

MHS (mtex) : finesse standard

ST1 (g/tex) : ténacité stéométrique

SE1 (%) : allongement

CRD (%) : réflectance

CPB : indice de jaune

Caractéristiques technologiques du fil

Elles sont déterminées à partir d'un échantillon de 100 g de fil par parcelle élémentaire.

Une filature complète (quatre broches) en Côte-d'Ivoire ou une filature simplifiée (une broche) dans les trois autres pays a été réalisée sur une microfilature à anneaux Shirley Platt, après un passage de carde et trois étirages. Sur 350 m de fil par broche (20 tex et 840 tours/m de torsion), les irrégularités ont été mesurées par un régularimètre Uster B, la résistance et l'allongement par un Dynamat Uster UDY-II (vingt casses). Les déchets de carde et les casses en filature ont également été notés mais pas exploités dans cette analyse.

RKM (km) : résistance kilométrique

DAL (%) : allongement à la rupture

FIN, GRO, NEP : nombre de points par 1000 m de fil, classés comme tels lors de l'analyse réalisée par le régularimètre Uster

UPC (%) : régularité du fil

GRD : grade

Les essais de Côte-d'Ivoire et du Togo ont été effectués en atmosphère contrôlée selon les normes internationales. Ceux du Cameroun et du Tchad n'ont pas pu bénéficier des mêmes conditions : ils ont eu lieu à température et à humidité ambiantes durant la saison sèche (février et mars 1991).

Caractéristiques technologiques de la graine

Elles sont obtenues à partir d'un échantillon de 50 g de graines par parcelle élémentaire. Le pourcentage de fibre (complément à 100 du pourcentage de graine) a été placé aussi dans cette catégorie.

RFR (%) : pourcentage de fibre

GSI (g/100) : poids frais de 100 graines non délintées

LID (g/100) : indice de fibre («lint index»), poids de fibre porté par 100 graines

$$LID = (RFR \times GSI) / (100 - RFR)$$

GHL (%) : taux d'huile dans la graine délintée et déshydratée

Dispositifs particuliers et leurs conséquences

Chacune des quatre localités se caractérise par un ensemble de paramètres cultureux (tabl.1), adaptés aux conditions écologiques de chaque station, qui constituent l'effet localité :

- les croisements et les semis ont été réalisés suivant un calendrier propre à chacune des stations ;

- les analyses technologiques ont été effectuées par le laboratoire de Bouaké, à différentes années ;

- le dispositif au champ a été adapté en fonction des possibilités et des objectifs de chacun. Il y a deux fois plus de plantes par parcelle élémentaire au Cameroun qu'au Tchad ; la densité est plus faible, mais la surface des parcelles élémentaires est plus grande en Côte-d'Ivoire et au Togo.

L'interprétation des effets des localités ou des interactions entre effets génétiques et localités ne sera donc pas simple.

TABLEAU 1

Dispositifs expérimentaux.

Experimental designs.

Pays	Date de réalisation			Parcelles élémentaires		
	Croisement	Semis	Analyse	Surface (m ²)	Ecart (m)	Plantes (n)
Cameroun	1987	1988	1989	5,0	0,5 x 1,0	10
Côte-d'Ivoire	1986	1987	1988	7,0	1,0 x 1,0	7
Tchad	1986	1987	1989	2,5	0,5 x 1,0	5
Togo	1987	1988	1989	7,0	1,0 x 1,0	7

Pour vingt-deux variables sur les vingt-cinq prises en considération dans toutes les localités, le test de Bartlett indique une hétérogénéité des variances résiduelles suivant les lieux.

L'hétérogénéité des variables agronomiques est principalement due aux données du Tchad, où seulement trois plantes sont analysées par parcelle élémentaire, au lieu de cinq dans les autres localités. Les variances résiduelles y sont donc plus élevées.

L'hétérogénéité des variables technologiques provient presque toujours des données de Côte-d'Ivoire, qui dans certains cas présentent une variance résiduelle supérieure à celle des autres lieux (pourcentage de fibre, finesse et «seed index»). Dans d'autres cas, la variance est, au contraire, significativement plus faible (paramètres de longueur de la fibre, résistance, points fins et uniformité du fil). En dehors des variables de microfilature dont la plus

grande précision s'explique par une augmentation du nombre de mesures (quatre broches au lieu d'une seule dans les autres localités), il n'a pas été possible d'expliquer la cause du comportement particulier en Côte-d'Ivoire.

L'irrégularité des filés au Cameroun et au Tchad se traduit pour les paramètres correspondants (points gros, neps, uniformité) non seulement par des valeurs moyennes supérieures, mais également par des variances résiduelles beaucoup plus fortes que pour les autres emplacements.

En règle générale, lorsqu'il n'a pas été possible d'identifier une raison objective pour éliminer l'une des localités, toutes les données ont été prises en compte dans l'analyse multilocale. Cette stratégie a été privilégiée après avoir vérifié que, dans la grande majorité des cas, l'élimination d'une localité sur la base d'une variance résiduelle hors norme ne modifie pas les conclusions de l'expérience mais tend à en affaiblir la portée.

Résultats et discussion

Effet des localités sur chacune des variables mesurées

Pour les vingt-neuf caractéristiques présentées au tableau 2, les résultats des tests de F montrent, presque toujours, que l'effet du lieu est très hautement significatif.

Ils soulignent ainsi l'importance de la part expliquée par les différences entre localités dans l'ensemble de la variabilité.

Une modification de l'écartement entre plantes induit d'importants changements dans l'architecture du cotonnier. On retrouve, dans cette expérience, les résultats de HAU et GOEBEL (1986 et 1987). Une augmentation de la densité de culture provoque une diminution du nombre de branches végétatives et, par conséquent, un abaissement du niveau d'apparition de la première branche fructifère, une plus grande précocité de floraison et une augmentation de la part de production en coton-graine assurée par les branches fructifères. Lorsque, respectivement, la fertilité

et les itinéraires techniques sont comparables, l'effet des localités est moins important sur la hauteur des plantes, le poids moyen capsulaire ou le rendement.

Parmi l'ensemble des variables technologiques de la fibre et de la graine, l'indice de jaune, l'uniformité, la longueur 50 % S.L. et aussi la finesse standard réagissent le plus fortement au milieu. Il semble que la finesse standard soit meilleure dans les localités où la fibre présente une maturité plus avancée.

TABLEAU 2

Valeurs moyennes des caractéristiques par localité. Effet lieu (valeur du F [3,45] et signification).
Mean values for characteristics per site. Site effect (F [3,45] value and significance).

Variable	Lieux / génétique x lieu	Cameroun	Côte- d'Ivoire	Tchad	Togo	
Plante						
HTOT	cm	42,67 ***	148	141	164	146
D1F	jas	110,12 ***	56,3	61,6	61,0	62,6
PCG	g/plant	164,62 ***	151	320	187	183
RDT	g/m ²	64,68 ***	302	320	374	183
PMC	g	24,86 ***	4,85	5,91	5,91	4,79
CBV		87,20 ***	4,1	17,3	6,9	16,1
CBF		166,02 ***	26,7	37,1	24,9	18,7
Fibre						
L25	mm	17,02 ***	29,0	30,0	28,7	29,7
L50	mm	109,95 ***	14,6	15,4	13,1	15,4
LUR	%	191,41 ***	50,3	51,4	45,6	52,0
MIM		7,70 ***	4,13	4,34	3,99	4,16
MFm	%	6,56 ***	85,7	82,2	85,3	83,7
MHS	mtex	96,48 ***	164	192	159	174
ST1	g/tex	9,02 ***	22,2	22,4	23,0	23,4
SE1	%	39,75 ***	7,09	6,72	7,43	7,01
CRD		34,04 ***	71,5	73,0	72,3	73,9
CPB		222,78 ***	10,6	9,2	10,6	11,7
Fil						
RKM	km	68,78 ***	15,48	17,74	14,75	17,19
DAL	%	17,66 ***	6,40	6,50	6,31	5,90
FIN	/km	74,64 ***	104	41	256	66
GRO	/km	236,20 ***	493	144	771	169
NEP	/km	91,79 ***	547	357	838	231
UPC	%	181,19 ***	16,2	14,2	17,8	14,6
GRD		66,35 ***	117,8	129,2	98,7	131,8
Graine						
RFR	%	55,11 ***	44,1	44,3	42,7	41,8
GSI	g/100	4,36 **	8,62	9,14	9,08	8,93
LID	g/100	18,34 ***	6,79	7,28	6,75	6,41
GHL	%	22,29 ***	25,3	26,1	27,8	26,2

A l'inverse, le «seed index», la maturité, l'indice micronaire, la ténacité stéométrique, la longueur 2,5 % S.L. et l'indice de fibre sont moins affectés par les différences entre localités.

Toutes les caractéristiques du fil et, plus encore, celles décrivant sa régularité sont très sensibles au milieu. Cependant, il faut interpréter les différences entre localités avec prudence, car la réalisation de l'égrenage et le

conditionnement des échantillons destinés à la filature n'ont pas été identiques pour chacune des localités.

Schématiquement, la fibre produite dans les conditions de cette expérimentation est un peu plus mûre et plus fine à Maroua (Cameroun) et à Bébedjia (Tchad). Elle est plus résistante à Bébedjia et à Anié (Togo), plus élastique à Bébedjia. La fibre présente une longueur, une uniformité et une brillance supérieures à Bouaké (Côte-d'Ivoire) et à

Anié. L'indice de jaune est plus faible à Bouaké. Avec les réserves déjà exprimées, les filés produits par les stations de Bouaké et d'Anié semblent plus résistants et plus uniformes.

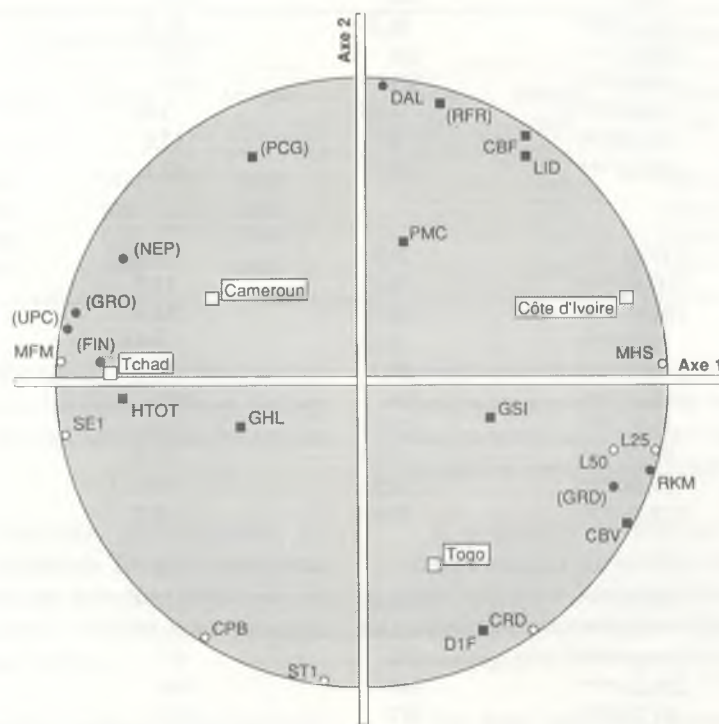
Représentation des localités par une analyse en composantes principales

Une analyse en composantes principales est pratiquée, par localité, sur les moyennes des dix-huit caractéristiques non liées entre elles, auxquelles s'ajoutent sept variables considérées comme supplémentaires. Ce procédé permet de synthétiser les principales différences entre localités et de visualiser les corrélations entre variables dues aux effets des localités. Les indicatrices des localités ont aussi été retenues comme variables supplémentaires, ce qui permet de représenter les localités sur le cercle des corrélations. Les paramètres d'uniformité en filature n'ont pas été retenus comme variables principales.

Deux axes principaux expliquent environ 80 % de la variabilité entre ces lieux. Leurs corrélations avec les différentes variables sont représentées figure 2.

L'axe 1 est bien corrélé avec deux variables agronomiques (taille et production de branches végétatives) et six variables technologiques (longueur, maturité, finesse standard et allongement de la fibre, et résistance du fil). Il oppose les deux pays d'Afrique centrale aux deux pays d'Afrique de l'Ouest et semble, pour la partie agronomique, attribuable aux différences entre les écartements pratiqués dans chaque groupe de pays.

Les cotonniers observés en Côte-d'Ivoire et, à un degré moindre, au Togo apparaissent plus petits ; ils portent plus de capsules sur les branches végétatives (effet de densité) ; ils ont une fibre plus longue, plus uniforme mais moins fine, moins mûre et d'allongement plus faible qui produit un fil plus résistant.



Variables principales

■ Caractères agronomiques : temps de formation de la première fleur (D1F), production des sympodes (CBF), production des monopodes (CBV), poids capsulaire (PMC), taille (HTOT), «seed-index» (GSI) et indice de fibre (LID).

○ Caractéristiques de la fibre : 50 % S.L. (L50), 2,5 % S.L. (L25), ténacité (ST1), allongement (SE1), maturité (MFM), finesse standard (MHS), réflectance (CRD) et indice de jaune (CPB).

● Caractéristiques du fil : allongement (DAL) et résistance à la rupture (RKM).

Variables supplémentaires

■ Caractères agronomiques : pourcentage de fibre (RFR) et production du plant (PCG).

● Caractéristiques du fil : neps (NEP), points gros (GRO), points fins (FIN), uniformité Uster (UPC) et grade (GRD).

Principal variables

■ Agronomic characteristics: time taken for the first flower to appear (D1F), sympod production (CBF), monopod production (CBV), boll weight (PMC), height (HTOT), seed index (GSI) and fibre (LID).

○ Fibre characteristics: 50% S.L. (L50), 2.5% S.L. (L25), tenacity (ST1), elongation (SE1), maturity (MFM), standard fineness (MHS), reflectance (CRD) and yellow index (CPB).

● Yarn characteristics: elongation (DAL) and resistance to breakage (RKM).

Additional variables

■ Agronomic characteristics: fibre percentage (RFR) and plant production (PCG).

● Yarn characteristics: neps (NEP), thick places (GRO), thin places (FIN), Uster uniformity (UPC) and grade (GRD).

Figure 2

Analyse en composantes principales sur les localités. Cercle des corrélations.
Principal components analysis of sites. Circle of correlations.

Le second axe oppose le Togo aux trois autres pays et plus particulièrement au Cameroun et à la Côte-d'Ivoire. On peut considérer qu'il traduit une différence de dates de semis. La production des branches fructifères et, par conséquent, le rendement des cotonniers au Togo sont inférieurs, le pourcentage et l'indice de fibre sont plus faibles, la fibre est plus tenace, plus brillante mais également plus jaune. Le fil a un bon allongement.

Homogénéité des variances résiduelles et interactions

Une seconde analyse en composantes principales est réalisée à partir des données parcellaires, dans les quatre localités. Le nuage de points appartenant à une même localité est d'autant plus étendu que les variétés se comportent de façon différente dans ce lieu. Son extension est aussi affectée par l'importance des variations résiduelles. Le fait que les nuages de points des différents lieux ne

soient pas superposables, aux erreurs résiduelles près, montre une interaction entre lieux et variétés.

Trois axes permettent d'expliquer 65% de la variabilité observée. Les corrélations des variables avec les deux premiers axes sont représentées figure 3. Le premier axe prend en compte la variabilité créée par la taille des cotonniers, la production des branches fructifères, la longueur de la fibre, sa couleur, sa maturité et sa finesse. Le second axe décrit la production des branches végétatives, la longueur moyenne, la ténacité et l'allongement de la fibre. Ces axes ne correspondent pas tout à fait à ceux décrits par la première analyse en composantes principales. La position des points sur le plan constitué par les deux premiers axes a été représentée. Pour une meilleure compréhension du graphique, celui-ci a été scindé en deux (fig. 4 a et b).

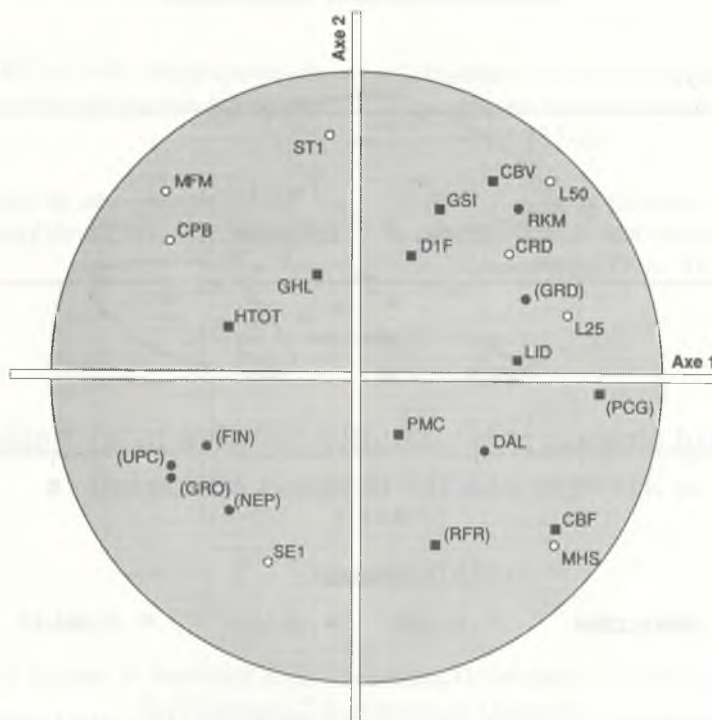
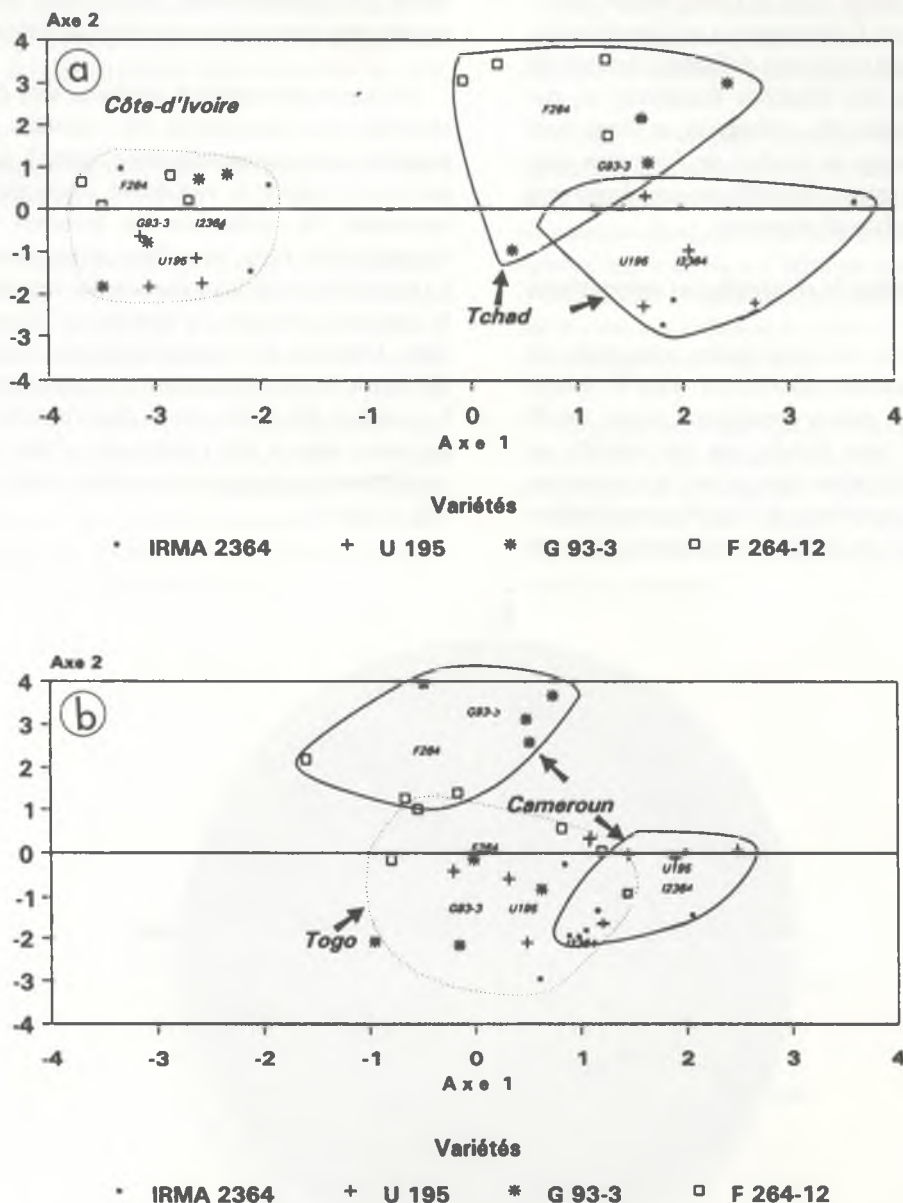


Figure 3
Analyse en composantes principales sur les données parcellaires. Corrélations des variables avec les composantes principales.
Principal components analysis of plot data. Correlations between variables and principal components.

Pour un génotype parental donné, les nuages de points regroupant les caractéristiques pour une même localité sont aisément individualisés. Les variations dues aux lieux (inter lieux) sont donc plus importantes que les variations entre blocs (intra lieux).

Le nuage de points pour le Tchad est globalement plus dispersé le long des deux premiers axes que ceux des trois autres pays. Les effets blocs et les résidus y sont plus élevés. Ainsi, les points d'une même variété sont plus dispersés pour les données du Tchad que pour celles des autres pays (fig. 4a).

Les différences entre parents pour les variables décrites par le premier axe apparaissent beaucoup plus fortement dans les deux pays d'Afrique centrale que dans les deux pays d'Afrique occidentale. En particulier, le nuage représentant les valeurs du Cameroun est nettement scindé en deux parties opposant les variétés IRMA 2364 et U 195, d'une part, et F 264-12 et G 93-3, d'autre part (fig.4b). Pour certaines des variables décrites par ces axes, pour la production des branches fructifères par exemple, une interaction avec la densité de semis interviendrait. Pour les variables qui participent au premier axe, on peut penser plutôt à une interaction entre variétés et climat.



Conclusion

De la variabilité d'origine environnementale, on retiendra une relative homogénéité de comportement entre les deux stations d'Afrique de l'Ouest, d'une part, et entre les deux stations d'Afrique centrale, d'autre part. La proximité géographique explique partiellement le phénomène.

Les variations de milieu enregistrées dans le cadre de cette expérience ont eu une influence sur toutes les caractéristiques mesurées, tant agronomiques que technologiques. La variabilité exprimée relève de conditions qui sont

généralement rencontrées en station de sélection : la quantité d'intrants est élevée et, sauf au Togo, les semis sont précoces. Ce préalable n'est pas gênant puisque les conclusions de cette expérience seront appliquées à l'organisation d'un dispositif multilocal de création variétale qui se déroulera en station, dans des conditions le plus souvent voisines de celles décrites.

L'originalité de cette expérience tient à son aspect multilocal et au fait qu'elle offre une possibilité

d'investigation relativement poussée dans le domaine des interactions entre les effets génétiques et les milieux.

On aurait pu élargir davantage son champ d'application en l'installant dans une variabilité artificiellement générée par l'utilisation de deux ou plusieurs itinéraires techniques contrastés dans chacune des localités. Parmi les facteurs culturels aisément contrôlables, on peut citer :

- la date de semis qui est principalement affectée par le régime de pluviométrie (facteur climatique) ;

- la quantité d'intrants qui modifie le régime d'intensification (facteur cultural) ;

- la densité qui joue sur la disponibilité des éléments nutritifs. Elle affecte l'indice de production d'une culture en modifiant ses paramètres architecturaux (HAU et GOEBEL, 1988). Son rôle est primordial dans l'étude des interactions entre individus au sein d'une parcelle. L'examen des modifications de variances intraparcellaires, en fonction de variations de la densité, permet de quantifier les phénomènes de compétition et de modéliser le comportement de structures génétiques (lignées pures, hybrides F1, F2 ou variétés composites) en peuplements.

Des résultats obtenus dans une gamme de situations plus variées auraient pu être plus facilement extrapolés aux conditions moins favorables qui sont celles du milieu réel.

Références bibliographiques

Hau B., Goebel S., 1986, 1987 et 1988.- Modifications du comportement du cotonnier en fonction de l'écartement.

1. Evolution de l'architecture de neuf variétés semées à trois écartements. *Coton Fibres Trop.*, 41, 3, 165-176.

2. Evolution des paramètres de productivité de neuf variétés semées à trois écartements. *Coton Fibres Trop.*, 42, 2, 117-125.

3. Evolution de la floraison et de la chute des organes fructifères de neuf variétés semées à trois écartements. *Coton Fibres Trop.*, 43, 3, 11-19.

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

I. - Site variability

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

Abstract

A trial of diallel crosses between four parents was set up at four cotton breeding stations in the cotton research African network led by IRCT*. The results are given in a series of five articles. This first part describes the trial set up at each site and the variability of the experimental environment.

There was a significant site effect for the twenty-nine characteristics measured. The site had a particularly strong impact on the proportion of total production produced by fruiting

branches and that produced by vegetative branches. The site also affects uniformity, yellow index and, surprisingly, fibre fineness, yarn regularity parameters (thick places, neppiness, uniformity) and ginning yields.

This geographical variability takes two main forms: the difference between the two breeding stations in central Africa and those in West Africa and early sowing compared to late sowing (Togo).

KEY WORDS: cotton, *Gossypium hirsutum*, environment effect, Cameroon, Chad, Côte-d'Ivoire, Togo.

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

Introduction

The initial aim of the experiment was to increase knowledge of the genetic material used by IRCT in Africa and enable a discussion of the strategies to be adopted for better use of these resources in breeding operations.

In response to this dual task, the IRCT-CIRAD Genetics Division coordinated a multi-site trial in 1987 and 1988, involving breeding teams from the Institut de Recherche Agronomique du Cameroun (IRA), the Institut des Savanes in Côte-d'Ivoire (IDESSA) and IRCT in Chad and Togo.

A 4x4 diallel cross was set up in each of the four participating countries, with a specific parent designated for each country.

The results of the experiment are given in five parts: I. Environmental variability ; II. Parental variability ; III. Structure of correlations between variables ; IV. Heterosis and homeostasis ; V. Genetic effects.

The experimental design was innovative in that it took account of the effects of genotype/environment interactions. The first part of this article describes the different sites, a prerequisite for interpreting these interaction effects.

Each of the sites was the main or the only breeding centre for a cotton-growing region. However, this did not guarantee that the trial would be representative. On the contrary, the effect of the year and the technical approach chosen for the experiment (density, degree of intensification) obliged us to consider each site as non-representative of the corresponding growing zone as a whole.

Care should therefore be taken not to generalize the results for cotton production at a given site to the country as a whole.

Material and methods

Experimental design and statistical model

A diallel with four parents was carried out in four countries (fig. 1): Cameroon (Maroua Station), Chad (Bébedjia Station), Côte-d'Ivoire (Bouaké Station) and Togo (Anié-Mono Station), with each country designating one of the parents. The statistical design set up comprised sixteen treatments (the four parents and twelve F1 crosses), replicated in four randomized blocks. Arbitrarily, the sites were considered to be representative of the area in which we are involved in Africa, and the varieties were representative of the genetic material worked with. The effects should therefore be random for both the varieties and the sites.

Treatments

The effect of each site was calculated considering:

- the sixteen genotypes (four parents and their hybrids) for the analysis of variance ;
- parental genotypes alone for the two principal components analyses.

Variables studied

As far as possible, all the field measurements and assessments were carried out on five plants per elementary plot at three sites, except in Chad (three plants only).

The harvest from five plants (three in the case of Chad) per elementary plot was ginned in each country on a laboratory roller gin (Porter Morrison 8' type). Samples of around 100 g of seeds and 100 to 150 g of fibre per plot were taken, for analysis.

Physical seed characteristics were analyzed in each of the station laboratories. At IDESSA (Bouaké, Côte-d'Ivoire), the fibre technology laboratory carried out fibre analysis and spinning, whilst the seed technology laboratory determined the oil content of the seeds.

Agronomic characteristics

The following characteristics were considered (means for the five plants per elementary plot):

- HTOT (cm): total plant height;
- D1F (days after emergence): average time taken for the first flower to appear. As soon as they appeared, the flowers were counted, and once the number of flowers equalled or exceeded the number of plants in the row, the number of days since emergence was noted;
- PCG (g): seed cotton yield per plant;
- RDT (g/m²): mean seed cotton yield for a 1-m² plot;
- PMC (g): mean boll weight, calculated by $PCG/(CBF + CBV)$;
- CBV: mean number of bolls harvested from the vegetative branches (monopods) of a plant;
- CBF: mean number of bolls harvested from the fruiting branches (sympods) of a plant.

Technological fibre characteristics

The analyses were carried out on a 35-g fibre sample per elementary plot.

Length parameters were measured on a Spinlab 530 fibrograph (four measurements per sample), resistance and elongation on a Spinlab 154 M stelometer (four breakages), colour on a Spinlab 830 (one measurement) and maturity and fineness on an English IIC FMT 2

maturimeter (two measurements).
 L25 (mm): 2.5% S.L. length
 L50 (mm): 50% S.L. length
 LUR (%): uniformity, calculated by $(L50/L25) \times 100$
 MIM: micronaire index
 MFM (%): mature fibre percentage
 MHS (mtex): standard fineness
 ST1 (g/tex): stelometric tenacity
 SE1 (%): elongation
 CRD (%): reflectance
 CPB: yellow index.

Technological yarn characteristics

These were determined on a 100-g yarn sample per elementary plot.

Complete spinning (four spindles) was carried out in Côte-d'Ivoire, and simplified spinning (one spindle) in the other three countries, using a Shirley Platt ring microspinner, after carding and three drawing operations. Irregularities were measured on 350 m of yarn per spindle (20 tex and 840 twists/m of torsion), using an Uster B regularimeter, with resistance and elongation measured on an Uster UDY-II Dynamat (twenty breakages). The carding scraps and spinning breakages were also noted, but not used in the analysis.

RKM (km): kilometric resistance
 DAL (%): elongation before breakage
 FIN, GRO, NEP: number of places per 1000 m of yarn, classed as such during the Uster regularimeter analysis
 UPC (%): yarn regularity
 GRD: grade.

The trials for Côte-d'Ivoire and Togo were carried out in a controlled atmosphere, as per international norms. This was not possible for Cameroon and Chad: the trials were carried out at ambient temperature and relative humidity during the dry season (February and March 1991).

Technological seed characteristics

These were obtained on a 50-g seed sample per elementary plot. The fibre percentage (difference between seed percentage and 100) was also placed in this category.
 RFR (%): fibre percentage
 GSI (g/100): fresh weight of 100 non-delinted seeds
 LID (g/100): lint index, weight of fibre per 100 seeds, calculated as $LID = (RFR \times GSI) / (100 - RFR)$
 GHL (%): oil content in delinted, dehydrated seeds.

Specific designs and their consequences

Each of the four sites was characterized by a set of cropping parameters (table 1), adapted to the ecological conditions at each station, to judge the site effect:

- the crosses and sowing were carried out according to a calendar specific to each station;
- the technological analyses were carried out by the Bouaké laboratory in different years;
- the field design was adapted according to the possibilities and aims of each station. There were twice as many plants per elementary plot in Cameroon than in Chad; the density was lower but the elementary plots larger in Côte-d'Ivoire than in Togo.

This therefore complicated the interpretation of site effects or genetic effect/site interactions.

For twenty-two of the twenty-five variables considered at all the sites, Bartlett's test showed heterogeneous residual variances depending on the sites.

Values from Chad were responsible for this heterogeneity as far as agronomic variables were concerned, as it only analyzed three plants per elementary plot rather than five for the other sites. Residual variances were therefore higher there.

Values from Côte-d'Ivoire were almost always at the root of the heterogeneity seen for technological variables. In certain cases, it had higher residual variance than the other sites (fibre percentage, fineness and seed index). In others, however, it had much lower variance (fibre length, resistance, than places and yarn uniformity). Besides microspinning variables, whose greater accuracy is due to an increase in the number of measurements (four spindles rather than just one at the other sites), no explanation was found for the Côte d'Ivoire's unusual performance.

The irregularity of the yarns spun in Cameroon and Chad was not only reflected in higher mean values for the corresponding parameters (thick places, neps, uniformity), but also in much higher residual variances than for the other sites.

As a general rule, if no objective reason could be found for eliminating one of the sites, all the data were taken into account in the multi-site analysis. This strategy was adopted after checking that in the vast majority of cases, eliminating a site on the basis of its exceptional residual variance did not affect the conclusions of the experiment, but tended to reduce its scope.

Results and discussion

Effect of sites on each of the variables measured

Almost without exception, the results of F tests showed that the site effect was very highly significant for the

twenty-five characteristics in table 2. They therefore highlight the degree of overall variability that can be put down to differences between sites.

Changing the spacing between plants significantly changed cotton plant architecture. This experiment bore out the results obtained by HAU and GOEBEL (1986 and 1987). Increasing the cropping density led to a reduction in the number of vegetative branches and, as a result, a drop in the level at which the first fruiting branch appears, greater flowering precocity and an increase in the proportion of seed cotton produced by fruiting branches. If fertility levels and technical approaches were comparable, the site had less impact on plant height, mean boll weight and yields.

Of all the technical variables for fibre and seed, yellow index, uniformity, 50% S.L. length and standard fineness reacted most strongly to the environment. It would appear that sites where the fibre was more mature also had a better standard fineness value.

Conversely, seed index, maturity, micronaire index, stelometric tenacity, 2.5% S.L. length and fibre index were less affected by differences between sites.

All yarn characteristics, but particularly those relating to regularity, were very sensitive to the environment. However, the differences between sites should be interpreted with caution, as ginning and packing of samples destined for spinning were not identical for all the sites.

Generally speaking, the fibre produced under the conditions of the experiment was a little more mature and finer at Maroua (Cameroon) and Bebedjia (Chad). It was more resistant at Bebedjia and Anié (Togo) and more elastic at Bebedjia. The fibre was longer, more uniform and had more sheen at Bouaké (Côte-d'Ivoire) and Anié. The yellow index was lower at Bouaké. Barring the reservations already mentioned, the yarns produced at Bouaké and Anié seem to be more resistant and more uniform.

Assessment of sites by principal components analysis

A principal components analysis was carried out on the means per site for eighteen unrelated characteristics, in addition to seven variables considered as additional. This procedure made it possible to synthesize the main differences between sites and visualize the correlations between variables due to site effects. The site indicators were also chosen as additional variables, making it possible to place the sites on the circle of correlations. Spinning uniformity characters were not chosen as principal variables.

Two main axes account for around 80% of the variability between sites. Their correlations with the different variables are shown in figure 2.

Axis 1 is closely correlated with two agronomic variables (vegetative branch size and production) and six technological variables (fibre length, maturity, standard fineness and elongation and yarn resistance). It splits the

two central African countries from the two in West Africa, and as far as the agronomic variables are concerned, can be put down to differences in spacing between the two pairs of countries.

The cotton plants observed in Côte-d'Ivoire and, to a lesser extent, in Togo seemed to be smaller; they had more bolls on vegetative branches (density effect); their fibre was longer and more uniform but it was not as fine, less mature and had a lower elongation value, producing more resistant yarn.

The second axis splits Togo from the other three countries, particularly Cameroon and Côte-d'Ivoire. This can be put down to differences in sowing date. Fruiting branch production and, consequently, yields from cotton plants in Togo were lower, the fibre percentage and index were lower, fibre tenacity was better and the fibre had more sheen but the yellow index was also higher. Yarn elongation was good.

Homogeneity of residual variances and interactions

A second principal components analysis was carried out on plot data for the four sites. The cluster of dots for a given site is more widely scattered the greater the difference in varietal performance at the site. It is also affected by the extent of residual variance. The fact that the clusters of dots for the different sites cannot be superimposed, barring residual errors, indicates an interaction between sites and varieties.

Three axes account for 65% of the variability observed. The correlation of variables with the first two axes are shown in figure 3. The first axis takes account of the variability created by cotton plant size, fruiting branch production, fibre length, colour, maturity and fineness. The second plots vegetative branch production and mean fibre length, tenacity and elongation. These axes do not at all correspond to those produced by the first principal components analysis. The position of the dots on the plane marked out by the first two axes is shown. To make the graph easier to understand, it has been split in two (fig. 4a and b).

For a given parental genotype, the clusters of dots regrouping the characteristics for a given site are easily individualized. The variations due to site (between sites) are therefore more significant than the variations between blocks (within-site).

Overall, the cluster of dots for Chad is more scattered along the first two axes than those for the other three countries. Block effects and residues are higher. The dots for a given variety are therefore more scattered for Chad than for the other countries (fig. 4a).

The differences between parents for the variables plotted by the first axis are much clearer for the two central African countries than for those in West Africa. In particular, the

cluster for Cameroon is split clearly into two parts, separating varieties IRMA 2364 and U 195 on the one hand from F 264-12 and G 93-3 on the other (fig. 4b). For certain of the variables plotted by the axes, for example

fruiting branch production, there would seem to be an interaction with sowing density. For the variables involved in the first axis, there is more likely to be an interaction between varieties and climate.

Conclusion

As regards the variability of environmental origin, the relatively homogeneous performance of the two stations in West Africa on one hand and those in central Africa on the other hand is worth noting. Their geographical proximity partly explains the phenomenon.

The environmental variations observed in this trial affected all the characteristics measured, both agronomic and technological. The variability expressed can be put down to the conditions that generally prevail at breeding stations: the amount of inputs was high and sowing was early, except in Togo. This factor is not a problem, since the conclusions of the experiment will be applied to organizing a multi-site varietal creation structure based at stations, usually under similar conditions to those described.

This experiment is original in that it is multi-site and offers the possibility of examining the interactions between genetic and environmental effects quite closely.

Its field of application could have been further widened by setting it up with a degree of variability artificially

generated by using two or more contrasted technical approaches at each site. The following cropping factors are easy to control:

- sowing date, which is mainly affected by rainfall patterns (climatic factor)
- the amount of inputs, which affects the degree of intensification (cropping factor)
- density, which affects nutrient availability. It has an impact on crop production indexes, by modifying architectural parameters (HAU and GOEBEL, 1988). It plays a predominant role in the study of interactions between individuals within the same plot. An examination of within-plot variance, according to changes in density, makes it possible to quantify competition phenomena and model the performance of genetic structures (pure lines, F1 or F2 hybrids or composite varieties) in stands.

Results obtained at a wider range of sites could more easily have been extrapolated to the less favourable conditions found in the actual environment.

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

I. - Variabilidad de las localidades

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

Resumen

Un experimento de cruzamientos dialelos entre cuatro genitores, fue conducido en cuatro estaciones de selección algodonera de la red africana del IRCT*. Se presenta el conjunto de los resultados conseguidos en una serie de cinco artículos. En esta primera parte se describe el dispositivo establecido en cada localidad, así como la variabilidad del medio del experimento.

El efecto de la localidad es significativo para las veintinueve características medidas. Destaca sobre todo su impacto sobre la producción de las ramas fructíferas o la de las ramas vegetativas.

El efecto localidad también influye en la uniformidad, el índice de amarillo y - resultado asombroso - en la finura de la fibra, los parámetros de regularidad del hilo (puntos gordos, neposidad, uniformidad), y en el rendimiento de desmotación.

Esta variabilidad geográfica se estructura según dos ejes. El primero traduce la diferencia entre las dos estaciones de selección de África central, por una parte, y las dos estaciones de África occidental, por otra parte. El segundo eje distingue la siembra precoz de la siembra tardía (Togo).

PALABRAS CLAVES : algodón, *Gossypium hirsutum*, influencia ambiental, Camerún, Côte-d'Ivoire, Chad, Togo.

(*) El IRCT, el IRAT y el programa oleaginosos anuales del IRHO han fusionado el 1 de Julio de 1992 bajo el nombre de CIRAD-CA (departamento de los cultivos anuales del Centro de cooperación internacional en investigación agronómica para el desarrollo).