RÉACTION À LA SÉCHERESSE DE JEUNES CAFÉIERS *COFFEA CANEPHORA* DE CÔTE-D'IVOIRE APPARTENANT À DIFFÉRENTS GROUPES GÉNÉTIQUES

C. MONTAGNON, T. LEROY (*)

Résumé : La réaction à la sécheresse de caféiers *Coffea canephora* au jeune âge a été évaluée par différentes observations : notation visuelle de l'incidence de la sécheresse, taux de mortalité, forme et aspect des feuilles. Les comportements des groupes Guinéens, sous-groupes 1 et 2 (SG1 et SG2) Congolais et des hybrides intergroupes entre Guinéens et Congolais (SG2) s'avèrent très différents. L'impact de la sécheresse est particulièrement important pour le sous-groupe 2 Congolais. Une étude diallèle montre l'importance de l'Aptitude Générale à la Combinaison pour la transmission de la tolérance à la sécheresse estimée par la notation visuelle globale. La vigueur des hybrides intergroupes semble cependant masquer la transmission de la tolérance à la sécheresse. Une sélection de génotypes adaptés à la sécheresse est possible à l'intérieur de chaque groupe, même si la variabilité au sein du sous-groupe 2 Congolais est faible. Concernant l'évaluation de l'incidence de la sécheresse, la notation utilisée est simple, rapide et satisfait les conditions de l'analyse de la variance. Elle permet une bonne discrimination des objets comparés et la précision de l'analyse est améliorée en utilisant la moyenne des plus proches voisins comme covariable. La note visuelle de l'incidence de la sécheresse est liée au taux de la mortalité due à la sécheresse et est corrélée négativement avec les premières productions. Son utilisation systématique les années de forte sécheresse devrait donc s'avérer très efficace.

INTRODUCTION

En Afrique de l'Ouest, et en particulier dans le nord de la zone forestière de Côte-d'Ivoire, les saisons sèches sont de plus en plus sévères depuis la moitié du siècle, ce qui entraîne une augmentation du déficit hydrique (IRHO, 1989 ; Malezieux, 1990). Un stress hydrique est nécessaire pour lever la dormance des boutons floraux chez le caféier et aboutir à la floraison (Portères, 1934), mais ce stress devient néfaste à la production s'il est trop sévère (Portères, 1938 ; Boyer, 1969). En Côte-d'Ivoire, près de Yamoussoukro, Snoeck (1977) observe des chutes de rendement de 44 % et 53 % pour des clones de caféier commerciaux non irrigués par rapport à ces mêmes clones irrigués.

Chez *Coffea canephora,* il a été remarqué depuis longtemps qu'une variabilité pour la résistance à la sécheresse existe chez les types Kouilou et Robusta décrits par Portères (1959) à l'aide de critères morphologiques. Des études de Lebrun (1962, 1963) indiquent que les indices de surface foliaire et de rétraction foliaire traduisent le caractère plus xéromorphe d'une variété de type Kouilou par rapport à une variété de type Robusta. A partir de la comparaison de deux variétés, Lemée et Boyer (1960) et Boyer (1965) établissent les conclusions suivantes : 1) la variété de type Kouilou garde ses stomates suffisamment ouverts pour poursuivre son activité photosynthétique, même dans le cas de stress hydriques importants, contrairement à la variété de type Robusta, qui ferme complètement ses stomates, 2) la transpiration cuticulaire est plus forte chez la variété de type Robusta, 3) l'absorption racinaire et l'acheminement de l'eau à travers la plante sont certainement plus efficaces pour la variété de type Kouilou, qui ne présente qu'un faible déficit hydrique malgré l'ouverture de ses stomates.

Du point de vue anatomique, les différences les plus nettes se situent au niveau du bois secondaire (Mariaux, 1954), qui joue un rôle important dans le transport de la sève. Toutes ces études reposent toutefois sur une quantité limitée de matériel végétal ; les résultats sont donc difficiles à généraliser. Depuis les années soixante, très peu de travaux ont été réalisés

(*) CIRAD/CP, B.P. 5035, 34032 Montpellier Cedex 1.

sur la physiologie de *Coffea canephora,* aussi la discussion de nos résultats génétiques sera-t-elle limitée par une base physiologique restreinte.

Des études génétiques et morphologiques ont permis de distinguer, au sein de l'espèce *C. canephora,* les groupes Guinéen et Congolais (Berthaud, 1986). A partir de ces deux groupes, un programme de sélection récurrente et réciproque a été mis en place (Leroy et Charrier, 1989). Le groupe Congolais comprend deux sous-groupes, SG1 et SG2 (Montagnon *et al.*, 1991). La description morphologique du type Kouilou correspond aux groupes Guinéen et SG1 Congolais et celle du type Robusta au SG2 Congolais (Montagnon *et al.*, 1991 ; Leroy *et al.*, 1993). Le but de la présente étude est de décrire le comportement des différents groupes génétiques de *C. canephora* vis-à-vis de la sécheresse.

L'évaluation visuelle est la méthode la plus simple pour comparer la réaction d'un grand nombre de génotypes à la sécheresse (Blum, 1988). La morphologie des feuilles, facile à observer, témoigne souvent des capacités d'adaptation des plantes à un stress hydrique (Begg, 1980). L'enroulement des feuilles est corrélé au potentiel hydrique foliaire pour le riz (O'Toole *et al.,* 1984 ; Jones, 1979a) ou à la turgescence relative chez le maïs (Downey et Miller, 1971). Pour le caféier *C. arabica,* la discrimination d'hybrides de première génération ou de premiers rétrocroisements par notation visuelle n'est pas très bonne (Mazzafera et Carvalho, 1987). Ceci peut s'expliquer par le faible nombre de répétitions (six à neuf) de ces hybrides. Pour les mêmes raisons, les résultats de l'étude de Castaño et Robledo (1978) sur *C. arabica* et *C. canephora* ne sont pas très précis.

Il a été tenté dans le présent travail d'évaluer visuellement l'incidence de la sécheresse sur *C. canephora* dans les conditions des essais de Côte-d'Ivoire. Différents types de réaction sont décrits et une analyse génétique est réalisée dans trois essais, dont un diallèle.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Matériel végétal

Trois essais ont été étudiés :

— Un essai clonal de vingt et un génotypes Guinéens comparés à deux témoins clonaux hybrides intergroupes (126 et 461) et à un clone Congolais du groupe SG2. Chaque clone est représenté par quinze répétitions.

— Un essai clonal de trente et un génotypes Congolais, dont le clone témoin Congolais de l'essai clonal Guinéen, comparés aux deux témoins clonaux hybrides intergroupes (126 et 461). Cet essai permet de comparer dans un même essai des clones Congolais des deux sous-groupes SG1 (six clones) et SG2 (vingt-cinq clones). Chaque clone est représenté par vingt répétitions.

— Un essai diallèle triangulaire sans autofécondation à sept géniteurs dont quatre Guinéens et trois Congolais. Cet essai permet, en plus de l'analyse diallèle, de comparer des hybrides Guinéens (six croisements), Congolais (trois croisements) et intergroupes (douze croisements). Les géniteurs Congolais de ce diallèle font partie du sous-groupe SG2. Chaque combinaison hybride est représentée par vingt-neuf semenceaux.

Ces trois essais ont été plantés en 1988, selon un dispositif de randomisation de parcelles mono-arbres.

Observations effectuées

— **Taux de mortalité due à la sécheresse de 1989-1990 :** essai clonal Congolais, dont les arbres sont alors âgés de deux ans.

— **Notation visuelle de l'incidence de la sécheresse 1990 (janvier et mars), 1992 (mars) :** essais clonaux Guinéen et Congolais et essai diallèle. Cette note prend en compte l'aspect général végétatif de l'arbre dans les trois essais. La note 1 correspond à un arbre qui ne souffre apparemment pas de la sécheresse. La note 5 est attribuée à des arbres dont les feuilles et les rameaux sont totalement noircis. Les notes intermédiaires sont données en fonction de l'aspect global de l'arbre comprenant la forme et l'aspect des feuilles ainsi que le degré de défoliation.

— **Réaction foliaire :** essai clonal Congolais et essai diallèle. Le degré de repliement des feuilles et l'aspect des feuilles ont été notés séparément et qualitativement de la façon suivante :

Forme
1 = feuille étalée
2 = feuille moyennement repliée
3 = feuille repliée
Aspect
1 = feuille turgescente
2 = feuille moyennement desséchée
3 = feuille desséchée

La forme repliée des feuilles s'accompagne généralement du passage d'une orientation horizontale à une orientation verticale.

Ces notations ont eu lieu au début de l'année 1992, aux dates suivantes : 3, 17 et 31 janvier, 14 et 24 février, 16 mars. Pour des contraintes matérielles, seul l'aspect des feuilles du diallèle a pu être noté le 14 février.

Dans les trois essais, la vigueur des arbres a été estimée par le diamètre au collet à dix-huit mois, observé en janvier 1990.

Méthodes d'analyse

Afin de vérifier la pertinence de l'utilisation de la notation visuelle d'incidence de la sécheresse comme variable quantitative pour des analyses de la variance, les conditions d'application de celles-ci doivent être strictement respectées. L'homogénéité des variances, la distribution normale des résidus et l'absence de corrélation entre moyennes et variances ont donc systématiquement été vérifiées. Les moyennes ont été comparées à l'aide du test de Newman et Keuls au seuil de 5 %, modifié par Kramer (1956) pour des effectifs inégaux.

Comportement des groupes génétiques

Des analyses de la variance des notes visuelles d'incidence de la sécheresse ont été effectuées ; les hybrides Guinéens, Congolais et intergroupes ont été comparés dans l'essai diallèle et les deux sous-groupes ont été comparés dans l'essai clonal Congolais.

La répartition (en pourcentage) des individus de chaque groupe génétique dans les classes des notations foliaires (forme et aspect) a été étudiée. Les résultats sont présentés sous forme de diagrammes.

Analyse de la variabilité intragroupe

Afin de comparer les génotypes à l'intérieur de chacun des groupes Guinéen et Congolais en tenant compte de l'hétérogénéité du terrain, une analyse de la covariance, selon la méthode de Papadakis (1937), a été effectuée sur le facteur clone pour la notation visuelle d'incidence de la sécheresse de mars 1990. L'analyse de la covariance décrite par Papadakis permet d'utiliser la moyenne des plus proches voisins comme covariable. Cette méthode s'avère efficace dans les dispositifs en randomisation de parcelles mono-arbres (Lotodé et Lachenaud, 1988).

Les témoins communs aux deux essais ont permis de comparer la valeur moyenne des deux groupes.

Analyse de l'essai diallèle

Les Aptitudes Générales à la Combinaison (AGC) des géniteurs ont été comparées avec le test de Newman et Keuls à 5 %. Les effectifs des descendances ont été égalisés à vingt-neuf par tirage aléatoire. Le logiciel du CIRAD, CSTAT, a été utilisé.

Une analyse factorielle a également été réalisée sur les géniteurs Guinéens et Congolais. Dans cette analyse, seuls les hybrides intergroupes ont été pris en compte.

Relation entre l'incidence de la sécheresse, la vigueur et la production

Dans l'essai de clones Guinéens, les corrélations phénotypiques, génétiques et environnementales entre l'incidence de la sécheresse, la vigueur des plants (estimée par le diamètre au collet à six, dix-huit et trente mois) et le cumul des deux premières récoltes ont été estimées. Le logiciel OPEP (Baradat, 1989) a été utilisé.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Différents types de réaction

Taux de mortalité et notation de l'incidence de la sécheresse

Les résultats des observations concernant le taux de mortalité due à la sécheresse et la notation de l'incidence de la sécheresse sont reportés dans le tableau I, p. 182. Pour chaque date de notation, l'incidence de la sécheresse est significativement plus forte dans le sous-groupe 2 Congolais que dans le sous-groupe 1. Le taux de mortalité en 1990 du sous-groupe 2 est très supérieur à celui du sous-groupe 1.

Il existe également des différences significatives entre les groupes du diallèle pour la notation visuelle d'incidence de la sécheresse. Toutefois, le classement varie en fonction de la période de notation. En janvier 1990, la notation indique une incidence plus forte sur les Guinéens. En mars 1990, alors que la saison sèche est plus avancée, le classement est inversé : l'incidence de la sécheresse est la moins prononcée pour les Guinéens. L'incidence de la sécheresse est alors très forte pour les Congolais et intermédiaire pour les hybrides intergroupes. Ce classement correspond à celui de mars 1992.

Il existe donc une évolution différente des plants du diallèle en fonction des groupes génétiques à mesure que la saison sèche avance. Les notations périodiques de réaction foliaire ont été effectuées pour mieux comprendre ce phénomène.

Forme et aspect des feuilles

Les pourcentages d'arbres à feuilles repliées et à feuilles desséchées suffisent pour illustrer les résultats importants concernant les réactions foliaires. Seuls les diagrammes correspondants sont donc présentés.

TABLEAU I

Incidence de la sécheresse estimée par une note visuelle (note de 1 à 5) en janvier 1990 (SE190), mars 1990 (SE390) et mars 1992 (SE392) et par le taux de la mortalité due à la sécheresse en 1990 pour différents groupes de clones et d'hybrides de *C. canephora* en Côte-d'Ivoire

Drought incidence estimated by visual classification (on a scale of 1 to 5) in January 1990 (SE190), March 1990 (SE390) and March 1992 (SE392) and by the rate of mortality due to drought in 1990 for different groups of C. canephora *clones and hybrids in the Côte-d'Ivoire*

Essai	Groupe (effectif)	SE190 (*)	SE390 (*)	SE392 (**) (nouveaux effectifs) (+)	Taux (***) mortalité 1990 due à la sécheresse
Clonal (Congolais)	SG1 (117)	1,86 a	3,09 a	1,79 a (116)	0,01 a
	SG2 (488)	2,55 b	4,31 b	2,68 b (206)	0,42 b
Hybride (diallèle)	Guinéen G (305)	2,50 b	2,78 a	1,40 a (240)	—
	Congolais C (143)	2,10 a	3,85 c	2,01 c (142)	—
	Hybride C × G (658)	2,13 a	3,13 b	1,58 b (658)	—

(*) Comparaison de moyennes suivant le test de Newman et Keuls au seuil de 5 %.
(**) Pour l'essai diallèle, la transformation logarithmique a été utilisée pour l'analyse de la variance.
(***) Comparaison de proportions par le test du χ^2 au seuil de 5 %.
(+) Les nouveaux effectifs tiennent compte de la mortalité due à la sécheresse ou à d'autres facteurs.

Diallèle

Dès les premières notations, les Guinéens présentent une proportion de feuilles repliées plus importante que celle des hybrides et des Congolais (fig. 1). De plus, cette proportion augmente très rapidement pour les Guinéens alors qu'il faut attendre le 24 février pour que celle des autres groupes s'accroisse. Les feuilles des Congolais et des hybrides se replient moins et plus lentement. A la suite des pluies entre le 24 février et le 16 mars, toutes les feuilles de tous les groupes se sont dépliées témoignant de la faculté de reprise du caféier en général.

La proportion des feuilles desséchées et noircies de chaque groupe augmente durant le mois de janvier. La pluie de début février permet une baisse temporaire de cette proportion. Cette baisse peut être due à l'accélération de la chute des feuilles desséchées par l'action mécanique de la pluie et du vent qui l'accompagne souvent. La pluie de 67 mm, après le 24 février, ne semble pas bénéficier aux arbres Congolais. Il est probable que les jeunes feuilles de ce groupe ne peuvent plus se développer, contrairement à celle des deux autres groupes. En début de notation, la proportion de feuilles desséchées est la plus faible pour les Congolais. Par la suite, la proportion de feuilles desséchées des Congolais augmente plus fortement et dépasse, à partir de février, celle des deux autres groupes. Lors de la dernière notation, la proportion de feuilles desséchées des Congolais est très supérieure à celle des Guinéens et représente plus du double de celle des hybrides intergroupes.

Essai clonal Congolais

L'amplitude de variation de la forme et de l'aspect des feuilles est faible pour le sous-groupe 1 Congolais (fig. 2, p. 184). La diminution régulière de la proportion d'arbres à feuilles desséchées est spécifique de ce sous-groupe. A l'inverse, le pourcentage d'arbres à feuilles desséchées du sous-groupe 2 augmente et atteint 40 % le 16 mars, alors que la proportion correspondante du sous-groupe 1 est inférieure à 5 %. La proportion d'arbres à feuilles repliées du sous-groupe 2 diminue rapidement et fortement.

Discussion

Le repliement, ou l'enroulement, des feuilles et la chute de feuilles sont considérés comme un facteur d'adaptation à la sécheresse pour bon nombre de plantes (Begg, 1980). Ces deux phénomènes conduisent en effet à une diminution de la surface d'évaporation et à une baisse de la réception de radiations des plantes. L'utilisation de ces caractéristiques morphologiques pour l'évaluation de céréales peut cependant entraîner des confusions, en particulier si l'on compare des origines génétiques éloignées (Jones, 1979a). Il est clair que les réactions foliaires décrites peuvent traduire, soit un mécanisme de tolérance à la sécheresse, soit une absence de tolérance à la sécheresse. Les résultats de la présente étude illustrent cette confusion pour des années où la sécheresse a été très sévère (tabl. II, p. 185).

Les caféiers du groupe Guinéen replient précocement leurs feuilles et les orientent verticalement. Comparés aux caféiers Congolais du sous-groupe 2, seul sous-groupe Congolais dans l'essai diallèle, et aux hybrides intergroupes, ils paraissent fanés et semblent souffrir de la sécheresse. La notation de janvier 1990 reflète la grande incidence de la sécheresse sur le groupe Guinéen. A mesure que la saison sèche avance, le repliement des feuilles apparaît chez les Congolais, mais il s'accompagne d'un noircissement, puis de la mort des feuilles dans leur ensemble. Ce qui est un mécanisme préventif précoce chez les Guinéens est la conséquence tardive d'une mauvaise adaptation chez les Congolais du sous-groupe 2. La forme des feuilles des hybrides intergroupes évolue comme celle

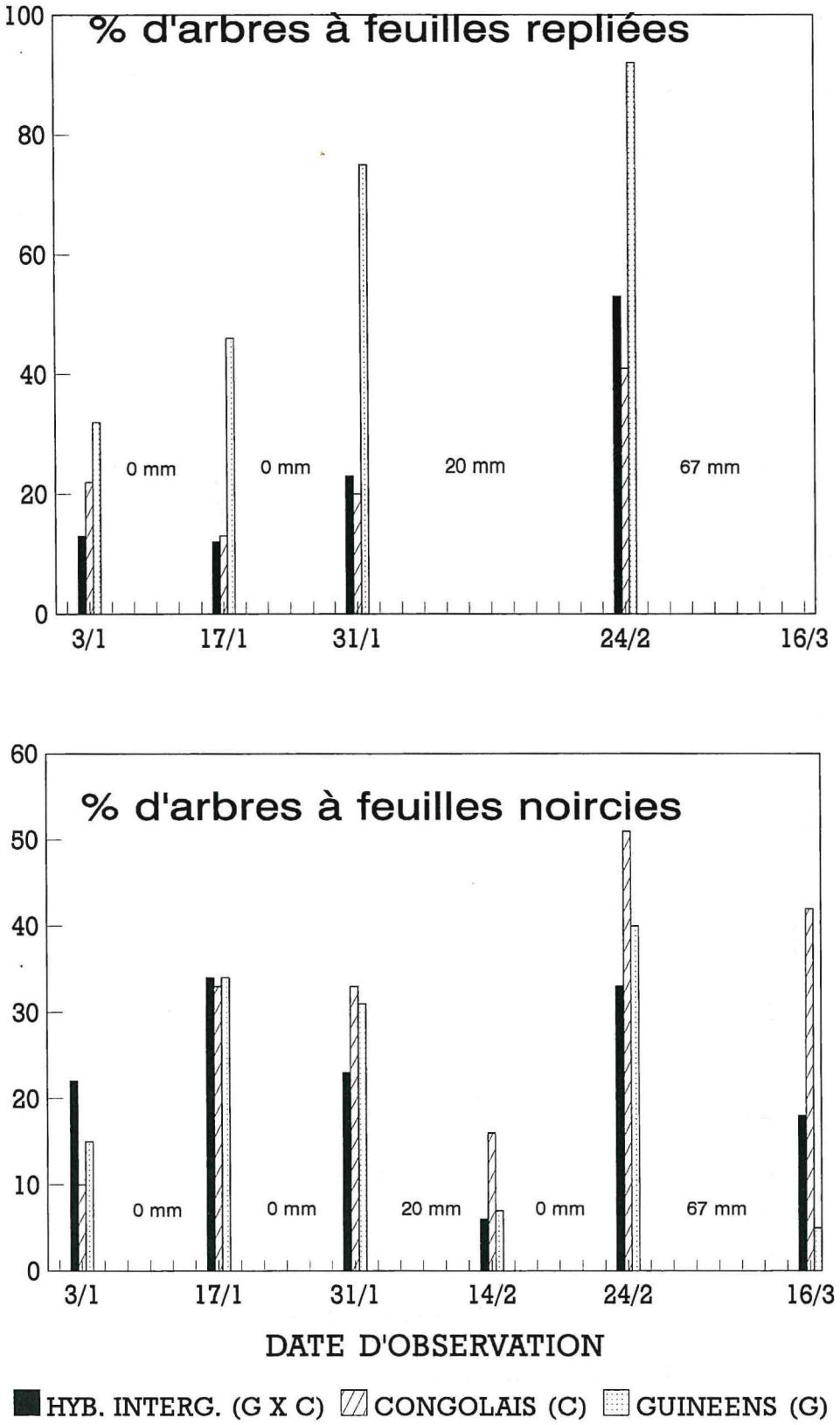

Fig. 1. — Comparaison du pourcentage d'arbres à feuilles repliées et desséchées pendant la saison sèche pour différents groupes d'hybrides de *C. canephora* en Côte-d'Ivoire (la pluviosité, en mm, entre chaque date d'observation apparaît sur les diagrammes)

Comparison of the percentage of trees with folded, dried out leaves during the dry season for different C. canephora *hybrid groups in the Côte-d'Ivoire (rainfall, in mm, between each observation date is given in the diagrams)*

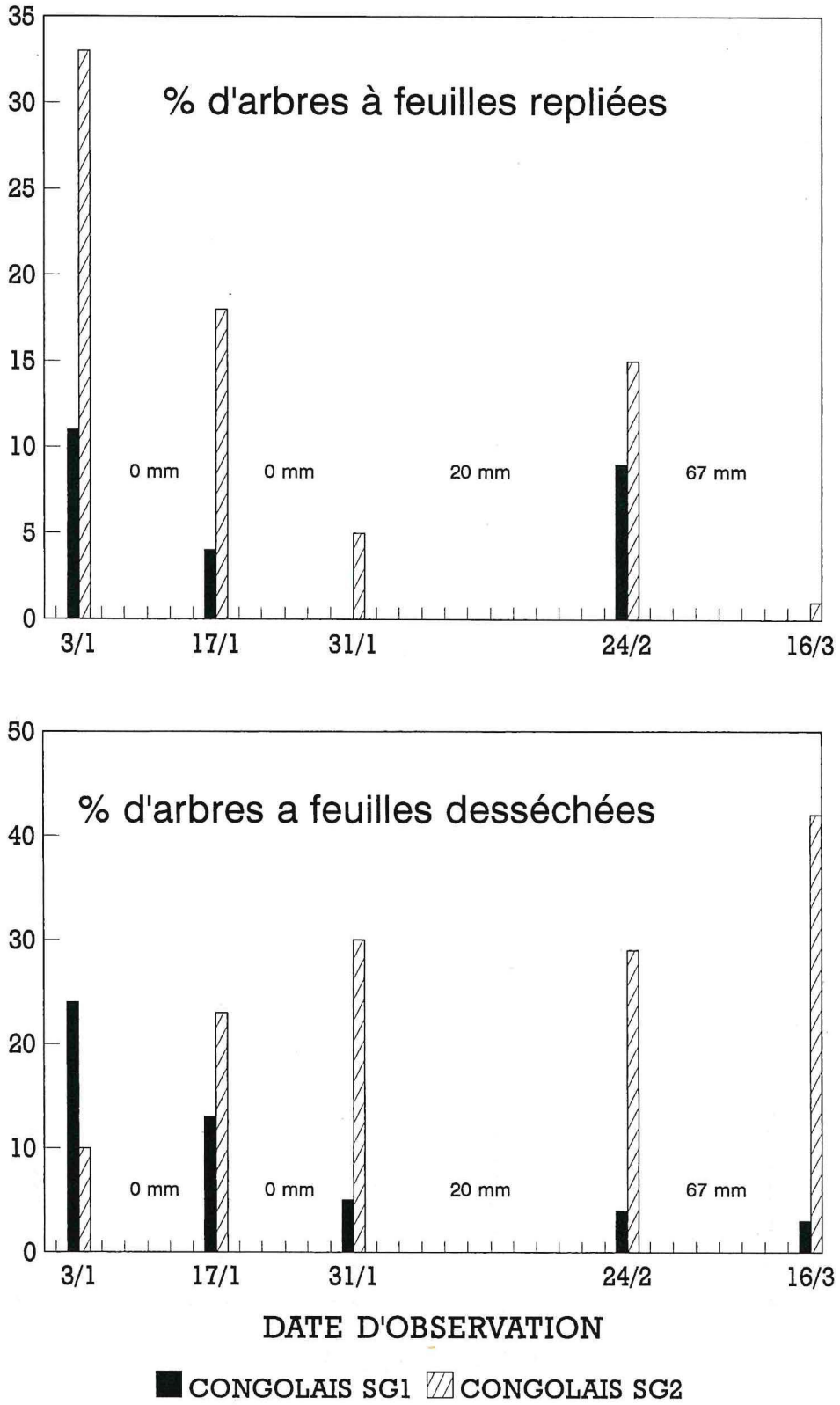

Fig. 2. — Comparaison du pourcentage d'arbres à feuilles repliées et desséchées pendant la saison sèche pour des clones de *C. canephora* appartenant aux deux sous-groupes Congolais dans un essai en Côte-d'Ivoire (la pluviosité, en mm, entre chaque date d'observation apparaît sur les diagrammes)

Comparison of the percentage of trees with folded, dried out leaves during the dry season for C. canephora *clones from the two Congolese sub-groups in a trial in the Côte-d'Ivoire (rainfall, in mm, between each observation date, is given in the diagrams)*

TABLEAU II

Pluviosité (en mm) pour les mois de saison sèche des années 1989-1990 et 1991-1992 à Divo, Côte-d'Ivoire, et moyennes sur les trente dernières années

Rainfall (in mm) for the dry season months in 1989-1990 and 1991-1992 at Divo, Côte-d'Ivoire and means for the past thirty years

Année	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Total
1989-1990	40,1	15,9	2,6	4,3	45,2	108,1
1991-1992	138,7	5,1	0	32,5	100,1	276,3
Moyenne 1960-1990	96,6	43,3	18	59,9	135,8	353,6

des Congolais, mais des mécanismes physiologiques, probablement hérités des Guinéens, évitent à ces hybrides une destinée identique à celle des Congolais.

Les caféiers du sous-groupe 1 Congolais, comparés aux autres groupes, présentent peu de réactions foliaires (fig. 2). Le repliement des feuilles est faible pour ce sous-groupe. Sa particularité réside dans la diminution continue du pourcentage d'arbres à feuilles desséchées, qui est cependant plus élevé que celui du sous-groupe 2 lors de la première notation. L'interprétation de la chute des feuilles est différente selon qu'elle est précoce et limitée (cas du sous-groupe 1) ou tardive et massive (cas du sous-groupe 2). Dans le premier cas, c'est un mécanisme préventif d'économie d'eau, dans le deuxième cas, c'est une conséquence d'une mauvaise adaptation à la sécheresse.

Si l'on admet qu'autrefois les variétés du type morphologique Kouilou (Portères, 1959) recouvraient à la fois le groupe Guinéen et le sous-groupe 2 Congolais séparés récemment d'après des bases génétiques (Montagnon *et al.*, 1991), les résultats de cette étude sont en accord avec de précédents travaux (Lemée et Boyer, 1960 ; Boyer, 1965). En utilisant les définitions de Levitt (1972) concernant la stratégie des végétaux vis-à-vis de stress hydriques, les conclusions suivantes peuvent être tirées :

— Les caféiers de l'espèce *C. canephora* « évitent » la sécheresse.

— Le sous-groupe 2 Congolais économise l'eau en arrêtant tout échange gazeux avec l'extérieur. C'est un comportement de « water saver ».

— Le groupe Guinéen et le sous-groupe 1 Congolais conservent une activité photosynthétique grâce à la poursuite d'échanges gazeux. C'est un comportement de « water spender ».

— Le groupe Guinéen et le sous-groupe 1 Congolais se protègent précocement contre la sécheresse : par repliement des feuilles pour le premier, par chute (limitée) de feuilles pour le second. Ces deux réactions interviennent plus tardivement et plus massivement chez le sous-groupe 2 Congolais et sont consécutives à leur mauvaise adaptation.

Ainsi, comme cela a été remarqué chez les plantes annuelles en général (Kramer, 1980) et chez certaines plantes pérennes tropicales (Carr, 1977 ; Hirsch, 1978 ; Rajagopal *et al.*, 1990 ; Gururaja *et al.*, 1990 ; Rejeb *et al.*, 1991), deux comportements très distincts face à la sécheresse coexistent dans l'espèce *C. canephora.*

La réaction des stomates conduisant à un arrêt total des échanges gazeux est souvent caractéristique d'une adaptation à une saison sèche de courte durée (Jones, 1979 b), sauf dans le cas particulier des xérophytes (Kramer, 1980). Ceci est en accord avec les conditions climatiques de l'Afrique centrale, aire d'origine des Congolais (Berthaud, 1986). L'aire de répartition des Guinéens, Côte-d'Ivoire et Guinée (Berthaud, 1986), présente une plus faible pluviosité et des saisons sèches plus marquées. La bonne adaptation des caféiers du sous-groupe 1 Congolais pourrait être le fruit d'une pression de sélection importante pour la résistance à la sécheresse, subie lorsqu'ils étaient cultivés au Togo et au Bénin, dans des zones marginales de caféiculture, avant d'être introduits en Côte-d'Ivoire par des particuliers (Bertrand, Comm. pers.).

Analyse génétique et relation avec la vigueur et la production

Variabilité des clones Congolais et Guinéens

Clones Congolais

Les coefficients de détermination entre variable et covariable des analyses de la covariance selon Papadakis sont hautement significatifs. L'hétérogénéité du terrain influence l'expression de l'incidence de la sécheresse sur les arbres. Le coefficient de l'essai clonal Congolais est plus élevé que celui de l'essai clonal Guinéen (0,21 contre 0,07). Ceci reflète la plus grande sensibilité des clones Congolais du sous-groupe 2 aux conditions édaphiques.

La comparaison des clones Congolais illustre la supériorité des caféiers du sous-groupe 1 sur ceux du sous-groupe 2 (tabl. III, p. 186). Seul le clone 072 du sous-groupe 1 ne fait pas partie du premier ensemble de moyennes. La faible variabilité au sein du sous-groupe 2, comptant pourtant vingt-cinq clones, est remarquable. Les clones des rangs 9 et 30 font partie du même ensemble de moyennes. Aucun des vingt-cinq clones du sous-groupe 2 ne fait partie du premier ensemble de moyennes et cinq clones seulement (057,

TABLEAU III

Comparaison de clones de *C. canephora* de type Congolais pour la notation visuelle (1-5) de l'impact de la sécheresse en mars 1990 et pourcentage de la mortalité due à la sécheresse en 1990, en Côte-d'Ivoire

Comparison of Congolese type C. canephora *clones for visual classification (1-5) of drought impact in March 1990 and percentage mortality due to drought in 1990 in the Côte-d'Ivoire*

Clone (+)	Groupes homogènes (++) F = 19,65	Notation visuelle Moyenne	Mortalité 1990 (%)
461 (*)	A	2,75	0
307 (**)	A	2,80	0
477 (**)	A	2,85	0
077 (**)	A	2,84	0
387 (**)	A	2,84	0
314 (**)	AB	3,32	5
057	BC	3,50	0
126 (*)	BCD	3,50	5
308	BCDE	3,75	20
02513	BCDE	3,75	30
072 (**)	BCDEF	3,85	0
02518	BCDEF	3,87	0
202	CDEFG	3,95	25
02544	CDEFGH	4,00	13
032	CDEFGH	4,10	40
054	CDEFGH	4,10	45
069	CDEFGH	4,05	45
A25	CDEFGH	4,11	32
178	DEFGH	4,32	60
464	DEFGH	4,45	10
444	DEFGH	4,30	74
115	EFGH	4,30	55
392	EFGH	4,45	70
02576	EFGH	4,60	70
02543	EFGH	4,60	70
222	EFGH	4,65	50
037	EFGH	4,70	70
345	H	4,75	79
204	H	4,74	65
02504	H	4,75	30

(+*) = Témoin hybride intergroupe, (**) = Congolais sous-groupe 1.
(++) Comparaison des moyennes suivant le test de Newman et Keuls au seuil de 5 %, après analyse de la covariance de Papadakis (1937). La valeur du coefficient de détermination entre la variable et la covariable est de 0,21.

202, 308, 02513 et 02518) ne font pas partie du dernier ensemble de moyennes. C'est le clone 461, témoin hybride intergroupe, qui occupe le premier rang. Ce clone est le clone le plus producteur dans la majeure partie de la zone de caféiculture de Côte-d'Ivoire.

Le taux de mortalité dû à la sécheresse apparaît très lié à la note visuelle d'incidence de la sécheresse.

Clones Guinéens

Tous les clones Guinéens sont statistiquement équivalents au clone 461 (tabl. IV). Trois d'entre eux sont significativement mieux notés que le clone 126. Le clone 202, qui est l'un des clones Congolais du sous-

TABLEAU IV

Comparaison de clones de *C. canephora* de type Guinéen pour la notation visuelle (1-5) de l'impact de la sécheresse en mars 1990, en Côte-d'Ivoire

Comparison of Guinean type C. canephora *clones for visual classification (1-5) of drought impact in March 1990 in the Côte-d'Ivoire*

Clone (+)	Groupes homogènes (++)	Notation visuelle Moyenne
02189	A	1,87
02292	A	1,93
02210	AB	2,00
02255	ABC	2,13
410	ABCD	2,20
02244	ABCD	2,31
02222	ABCD	2,33
02040	ABCDE	2,47
461 (*)	ABCDE	2,53
02071	ABCDE	2,67
02138	ABCDE	2,67
02215	BCDE	2,79
02239	BCDE	2,80
02224	CDE	2,80
02286	CDE	2,80
155	CDE	2,87
414	CDEF	2,93
02116	CDEF	2,93
126 (*)	CDEF	3,07
02213	DEF	3,07
416	DEF	3,08
02121	EF	3,27
02169	EF	3,27
202 (**)	F	3,85

(+*) = Témoin hybride intergroupe, (**) = Congolais sous-groupe 2.
(++) Comparaison des moyennes suivant le test de Newman et Keuls au seuil de 5 %, après analyse de la covariance de Papadakis (1937). La valeur du coefficient de détermination entre la variable et la covariable est de 0,07.

groupe 2 les mieux classés (tabl. III), est le clone le plus mal classé de cet essai.

Les différences significatives observées entre les clones Guinéens témoignent d'une variabilité à l'intérieur du groupe pour la réaction à la sécheresse.

Analyse de l'essai diallèle

L'analyse diallèle sur la notation visuelle de l'incidence de la sécheresse de mars 1990 montre un effet hautement significatif de l'Aptitude Générale à la Combinaison (AGC) et non significatif de l'Aptitude Spécifique à la Combinaison (ASC) (tabl. V). Le classement des clones montre l'intérêt du géniteur 410, suivi du géniteur 155. Ce sont deux géniteurs Guinéens. Pour des valeurs moyennes de l'AGC, on trouve un groupe homogène constitué des deux autres géniteurs Guinéens, 414 et 416, et du géniteur Congolais 069. Statistiquement identiques, les géniteurs Congolais 444 et 464 possèdent l'AGC la plus forte pour l'incidence de la sécheresse.

L'analyse factorielle aboutit à des résultats sensiblement différents (tabl. VI). Il n'y a pas de différence entre les géniteurs Congolais et une interaction apparaît entre géniteurs Guinéens et Congolais. Il semble donc que l'additivité décelée dans l'analyse diallèle soit essentiellement due aux croisements intragroupes Guinéens et Congolais. La séparation des géniteurs Guinéens reste toutefois comparable à celle de l'analyse diallèle.

Relation entre l'incidence de la sécheresse, la vigueur et la production du groupe Guinéen

Les corrélations phénotypiques, environnementales et génétiques sont reportées dans le tableau VII, p. 188. Les corrélations environnementales sont très faibles. Une forte corrélation génétique négative entre la productivité et l'incidence de la sécheresse au jeune âge est observée.

Discussion

Hurd (1971) insiste sur la nécessité d'utiliser une base génétique très large pour la sélection de génotypes tolérants à la sécheresse. En effet, il suppose que la tolérance à la sécheresse implique beaucoup de gènes ayant peu d'effets. Chez *C. canephora,* une grande variabilité génétique a été décrite et est disponible pour la sélection. De plus, les résultats présentés ici montrent que les grands groupes génétiques ont des comportements sensiblement différents face à un stress hydrique. Une variabilité existe également à l'intérieur de ces groupes, en particulier du sous-groupe 2 Congolais, qui semble le moins adapté aux conditions sèches. Les résultats de l'analyse diallèle indiquent l'importance de l'AGC pour la transmission du caractère d'incidence de la sécheresse. L'effet de l'ASC n'est pas significatif. Ainsi, si beaucoup de gènes sont impliqués dans la tolérance à la sécheresse, leur transmission paraît être de type additif. Au niveau

TABLEAU V

Tableau de l'analyse de la variance des aptitudes à la combinaison d'un essai diallèle de *C. canephora* en Côte-d'Ivoire pour la notation visuelle de l'incidence de la sécheresse (1-5) effectuée en mars 1990 et classement des géniteurs pour leur AGC

Table of the analysis of variance of combining abilities in a C. canephora *diallel trial in the Côte-d'Ivoire for visual classification of drought incidence (1-5) carried out in March 1990 and parent classification for GCA*

Source de variation	Somme des carrés des écarts	Degrés de liberté	Carré moyen	F de Fisher	Seuil de signification
AGC	129,44	6	21,57	25,88	0,0000
ASC	12,93	14	0,92	1,108	0,3466
Résiduelle	490,14	588	0,83		

CV = 43 %

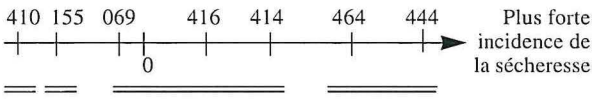

TABLEAU VI

Tableau de l'analyse factorielle de la variance de l'incidence de la sécheresse dans un essai d'hybrides de *C. canephora* en Côte-d'Ivoire et classement des géniteurs Guinéens

Table of the factorial analysis of the variance of drought incidence in a C. canephora *hybrid trial in the Côte-d'Ivoire and classification of Guinean parents*

Source de variation	Somme des carrés des écarts	Degrés de liberté	Carré moyen	F de Fisher	Seuil de signification
Totale	352,33	347			
Géniteur Congolais	4,90	2	2,45	2,83	0,06
Géniteur Guinéen	28,82	3	9,61	11,07	0,00
Interaction	27,10	6	4,52	5,21	0,00
Résiduelle	291,52	336	0,87		

CV = 43 %

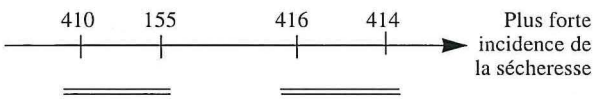

TABLEAU VII

Corrélations entre l'incidence de la sécheresse (notée en mars 1990), différents paramètres de vigueur et la productivité de clones Guinéens de *C. canephora* en Côte-d'Ivoire

Correlations between drought incidence (recorded in March 1990), different vigour parameters and the productivity of Guinean C. canephora *clones in the Côte-d'Ivoire*

Type de corrélation	Diamètre au collet à 6 mois	Diamètre au collet à 18 mois	Diamètre au collet à 30 mois	Productivité cumulée 1990-1991
Phénotypique	0,00	− 0,03	− 0,10	− 0,23 (**)
Environnementale	0,09	0,09	− 0,09	0,00
Génétique	− 0,43 (*)	− 0,39 (*)	− 0,37	− 0,74 (**)

(*) Significatif au seuil de 5 % ; (**) significatif au seuil de 1 %.

des hybrides intergroupes, l'effet de vigueur hybride pourrait masquer les effets additifs de la sensibilité à la sécheresse. Les clones 155 et 414 sont très proches en valeur propre (tabl. IV), leurs valeurs différentes en tant que géniteurs pour la sensibilité à la sécheresse paraissent en relation avec leur valeur en croisement pour la vigueur (données non publiées).

Le caféier se développe végétativement pendant deux ou trois ans avant de produire : c'est la phase d'installation qui précède la phase de production, qui comporte différents cycles entrecoupés de recépages. Il faut que le caféier survive avant de produire. Chez les plantes pérennes sauvages, la capacité de survie est généralement corrélée négativement à la capacité de production (Blum, 1988). Pour les plantes pérennes cultivées, les opinions divergent comme cela est discuté par Johnson (1980). Pour l'espèce *C. canephora,* les taux de mortalité au jeune âge sont si élevés et variables (tabl. III) qu'ils ne peuvent qu'influencer la production future. Comme cela a été remarqué pour le palmier à huile (Houssou, 1985), la mortalité est forte et variable pour des stress hydriques très élevés et prolongés. En étant très liée à la mortalité, la notation visuelle d'incidence de la sécheresse donne une première idée de la chute de production ultérieure. Par ailleurs, concernant les caféiers qui survivent, la corrélation génétique entre l'incidence de la sécheresse au jeune âge et les deux premières productions est fortement négative pour les clones Guinéens. Si de nouvelles données de production confirmaient ce résultat, le risque de contre-sélectionner des individus productifs en sélectionnant pour la sécheresse pourrait donc être considéré comme très faible.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Evaluation et stratégies de résistance à la sécheresse

La notation visuelle de l'incidence de la sécheresse effectuée au mois de mars (en fin de saison sèche) peut être utilisée pour réaliser des choix en sélection. En effet, elle est rapide, satisfait les conditions de l'analyse de la variance, sépare bien les objets comparés et est bien reliée au taux de mortalité et à la production au jeune âge. La moyenne des voisins utilisée comme covariable améliore la précision de l'analyse et devra donc être utilisée dans les dispositifs en randomisation de parcelles mono-arbres.

Différents types de réactions, décrits précédemment (cf. Discussion, p. 182), coexistent dans l'espèce *C. canephora.* Les réactions foliaires sont toutefois les témoins visibles de mécanismes physiologiques certainement complexes. Il est absolument nécessaire de mieux connaître ces mécanismes. L'étude des caractéristiques racinaires ou de l'évolution des concentrations de différentes molécules intervenant dans l'ajustement osmotique serait intéressante. Les différences anatomiques du xylème entre les variétés des types Kouilou et Robusta (Mariaux, 1954) laissent à penser qu'il existe des différences quant à la facilité de transport de la sève brute en relation avec les phénomènes d'embolies, liés à la cavitation (Cruiziat et Tyree, 1990). Les clones utilisés dans ce travail pourront servir de base à de futures études.

Conséquences pour la sélection

Pour différents auteurs (Hurd, 1971 ; Johnson, 1980 ; Blum, 1988), c'est au niveau parental que la sélection pour la tolérance à la sécheresse est la plus efficace. Dans le cas de *C. canephora,* en se replaçant dans le cadre du schéma de sélection récurrente et réciproque, plusieurs conclusions peuvent être tirées.

Sorties variétales d'hybrides ou de clones dans des zones non marginales pour la caféiculture : l'effet de vigueur hybride existant entre les groupes Guinéens et Congolais (Leroy *et al.,* 1993) semble

permettre de surmonter l'éventuelle absence de tolérance à la sécheresse. L'accent doit donc être mis sur la valeur des géniteurs en croisement pour la vigueur et la production.

Sorties variétales d'hybrides ou de clones dans des zones marginales pour la caféiculture : il est probable que dans ce cas la tolérance à la sécheresse soit nécessaire en plus de la vigueur hybride. Le choix des géniteurs devra donc prendre en compte leur valeur en croisement pour ce caractère. L'analyse diallèle et factorielle de cette étude montre que de tels choix sont possibles.

Amélioration des populations de base : dans ce domaine, la prise en compte de la tolérance à la sécheresse est primordiale. La variabilité intragroupe observée et la transmission additive de la tolérance à la sécheresse au niveau intragroupe devraient permettre des gains génétiques importants pour les populations de base.

Depuis leur description par Berthaud, les Congolais ont été supposés sensibles à la sécheresse. L'étude des deux sous-groupes montre que les Congolais du sous-groupe 1 ont en fait un bon niveau de tolérance. En revanche les Congolais du sous-groupe 2 constituent une meilleure source de résistance à la rouille orangée que ceux du sous-groupe 1 (Leroy *et al.*, 1993). Il sera donc intéressant de croiser des génotypes de ces deux sous-groupes pour profiter de leurs qualités respectives recombinées. Les hybrides intergroupes entre des Guinéens et des Congolais recombinés entre les deux sous-groupes devront être testés.

BIBLIOGRAPHIE

BARADAT (P.). — Amélioration génétique des arbres forestiers, éléments méthodologiques. INRA-Recherches forestières (Cestac) 1989, 186 p.

BEGG (J. E.). — Morphological adaptations of leaves to water stress. *In :* Adaptation of plants to water and high temperature stress, ed. N. C. Turner et P. J. Kramer. Wiley Interscience (New York), 1980, p. 33-42.

BERTHAUD (J.). — Les ressources génétiques pour l'amélioration des caféiers africains diploïdes. Evaluation de la richesse génétique des populations sylvestres et de ses mécanismes organisateurs. Conséquences pour l'application. ORSTOM (Paris), Travaux et documents, n° 188, 1986, 379 p.

BIERHUIZEN (J. F.), NUNES (M. A.), PLOEGMAN (C.). — Studies on productivity of coffee. II. Effect of soil moisture on photosynthesis and transpiration of *C. arabica. Acta Botanica Neerlandica* (Leiden), vol. 18, n° 2, 1969, p. 367-374.

BLUM (A.). — Plant breeding for stress environments. CRC Press (Boca Raton), 1988, 223 p.

BOYER (J.). — Comportement hydrique de deux grands groupes de *Coffea canephora* de Côte d'Ivoire. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. 9, n° 4, 1965, p. 263-282.

BOYER (J.). — Etude expérimentale des effets du régime d'humidité du sol sur la croissance végétative, la floraison et la fructification des caféiers Robusta. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. 13, n° 3, 1969, p. 187-200.

CARR (M. K. V.). — Changes in the water status of tea clones during dry weather in Kenya. *Journal of Agricultural Science* (Londres), vol. 89, n° 2, 1977, p. 297-307.

CRUIZIAT (P.), TYREE (M. T.). — La montée de la sève dans les arbres. *La Recherche* (Paris), vol. 21, n° 220, 1990, p. 406-414.

DOWNEY (L. A.), MILLER (J. W.). — Rapid measurements of relative turgidity in maize (*Zea mays* L.). *New Physiologist* (Oxford), vol. 70, 1971, p. 555-560.

GURARAJA (R. G.), SANJEEVA (P. R.), RAJAGOPAL (R.), DEVAKUMAR (A. S.), VIJAYAKUMAR (K. R.), SETHURAJ (M. R.). — Influence of soil, plant and meteorological factors on water relations and yield in *Hevea brasiliensis. International Journal of Biometeorology* (Amsterdam), vol. 34, n° 3, 1990, p. 175-180.

HIRSCH (P. J.). — Angle de divergence des feuilles du palmier à huile. *Oléagineux* (Paris), vol. 33, n° 3, 1978, p. 109-111.

HOUSSOU (M.). — Amélioration du palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.) en zone peu humide. Résultats récents obtenus au Bénin. Thèse de Docteur Ingénieur, Université de Paris Sud, Centre d'Orsay, 2 oct. 1985, 119 p.

HURD (E. A.). — Can we breed for drought resistance ? *In :* Drought injury and resistance in crops. Crop Science Society of America (Madison), Special publication 2, 1971, p. 77-88.

IRHO. — Connaissance, utilisation et conservation du milieu naturel. *In :* Rapport d'activité, *Oléagineux* (Montpellier), vol. 44, n° 4, 1989, p. 37-41.

JOHNSON (D. A.). — Improvement of perennial herbaceous plants for drought-stressed western rangelands. *In :* Adaptation of plants to water and high temperature stress, ed. N. C. Turner et P. J. Kramer, Wiley Interscience (New York), 1980, p. 419-433.

JONES (H. G.). — Visual estimation of plant water status in cereals. *Journal of Agricultural Science* (Londres), vol. 92, n° 1, 1979a, p. 83-89.

JONES (H. G.). — Stomatal behaviour and breeding for drought resistance. *In :* Stress physiology in crops plants, ed. M. Mussel et R. C. Strapels, Wiley Interscience (New York), 1979b, p. 407-428.

KRAMER (C. Y.). — Extension of multiple range tests to group means with unequal number of replications. *Biometrics* (Tucson), sept. 1956, p. 307-309.

KRAMER (P. J.). — Drought, stress, and the origin of adaptation. *In :* Adaptation of plants to water and high temperature stress, ed. N. C. Turner et P. J. Kramer. Wiley Interscience (New York), 1980, p. 7-20.

LEBRUN (J.). — Sur quelques paramètres des limbes foliaires par rapport à leurs propriétés hydriques, chez diverses espèces du genre *Coffea* L. *Bulletin de l'Académie Royale de Belgique, Classe des Sciences* (Bruxelles), vol. 48, n° 10, 1962, p. 1041-1053.

LEBRUN (J.). — Déshydratation et retrait des limbes foliaires chez diverses espèces du genre *Coffea* L. *Bulletin de l'Académie Royale de Belgique, Classe des Sciences* (Bruxelles), vol. 49, n° 10, 1963, p. 1059-1073.

LEMÉE (G.), BOYER (J.). — Influence de l'humidité du sol sur l'économie d'eau et la croissance de caféiers du groupe Canephora cultivés en Côte d'Ivoire. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. 4, n° 2, 1960, p. 55-63.

LEROY (T.), CHARRIER (A.). — Mise en place d'un programme de sélection récurrente et réciproque chez

Coffea canephora Pierre. 13e Colloque Scientifique International sur le Café, Paipa, 21-25 août 1989, ASIC (Paris), 1990, p. 457-465.

LEROY (T.), MONTAGNON (C.), CHARRIER (A.), ESKES (A. B.). — Reciprocal recurrent selection applied to *C. canephora* Pierre. I. Characterization and evaluation of breeding populations and value of intergroup hybrids. *Euphytica* (Wageningen), vol. 67, 1993, p. 113-125.

LEVITT (J.). — Responses to environmental stresses. Academic Press (New York), 1972, 697 p.

LOTODE (R.), LACHENAUD (Ph.). — Méthodologie destinée aux essais de sélection du cacaoyer. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. 32, n° 4, 1988, p. 275-292.

MALEZIEUX (E.). — Répartition et évolution du déficit hydrique dans le sud-est de la Côte-d'Ivoire. Application à la culture de l'ananas. *Fruits* (Paris), vol. 45, n° 5, 1990, p. 457-468.

MARIAUX (A.). — Anatomie du bois secondaire de trois caféiers. *Bull. Scientifique de la France d'Outre-Mer* (Paris), n° 5, 1954, p. 178-180.

MAZZAFERA (P.), CARVALHO (A.). — Produção e tolerancia à seca de cafeeiros. *Bragantia* (São Paulo), vol. 46, n° 2, 1987, p. 403-415.

MONTAGNON (C.), LEROY (T.), YAPO (A.). — Etude complémentaire de la diversité génotypique et phénotypique des caféiers de l'espèce *Coffea canephora* en collection en Côte d'Ivoire. 14e Colloque Scientifique International sur le Café, San Francisco, 14-19 juillet 1991, ASIC (Paris), 1992, p. 444-450.

OROZCO (C. F. J.), JARAMILLO (R. A.). — Comportamiento de introducciones de *Coffea* sometidas a condiciones de deficit de humidad en el suelo. *Cenicafé* (Chinchiná), vol. 29, n° 4, 1978, p. 59-93.

O'TOOLE (J. C.), TURNER (N. C.), NAMUCO (O. P.), DING-KUHN (M.), GOMEZ (K. A.). — Comparison of some crop water stress measurement methods. *Crop Science* (Madison), vol. 24, n° 6, 1984, p. 1121-1128.

PAPADAKIS (J. S.). — Méthode statistique pour les expériences en champ. Institut d'amélioration des plantes (Thessalonique, Grèce), *Bulletin Scientifique*, n° 23, 1937, 30 p.

PORTÈRES (R.). — La pluie, cause première du déclenchement des floraisons du caféier. *Bulletin du Comité d'Etudes Historiques et Scientifiques de l'A.O.F.*, vol. 17, n° 3, 1934, p. 428-432.

PORTÈRES (R.). — Sur les effets de la saison sèche dans les plantations industrielles de la Côte-d'Ivoire. *Annales Agricoles de l'Afrique Occidentale Française et Etrangère* (Paris), t. 2, n° 1, 1938, p. 12-30.

PORTÈRES (R.). — Valeur agronomique des caféiers de type Kouilou et Robusta cultivés en Côte d'Ivoire. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. 3, n° 1, 1959, p. 3-13.

RAJAGOPAL (V.), KASTURIBAI (K. V.), VOLETI (S. R.). — Screening of coconut genotypes for drought resistance. *Oléagineux* (Montpellier), vol. 45, n° 5, 1990, p. 215-223.

REJEB (M. N.), LAFFRAY (D.), LOUGUET (P.). — Modification de la conductance stomatique de diverses origines tunisiennes de caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) soumises à une contrainte hydrique prolongée. *In :* L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides, ed. N. Chalbi et Y. Demarly, John Libbey Eurotext (Paris), 1991, p. 149-158.

SNOECK (J.). — Essai d'irrigation du caféier Robusta. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. 21, n° 2, 1977, p. 111-128.

MONTAGNON (C.), LEROY (T.). — **Response to drought of young *Coffea canephora* coffee trees from different genetic groups in the Côte-d'Ivoire.** *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XXXVII, n° 3, juil.-sept. 1993, p. 179-190, 7 tabl., 2 fig., 40 réf.

The response of young *Coffea canephora* trees to drought was assessed through different observations : visual classification of drought incidence, mortality rate, leaf shape and appearance. The performances of Guinean groups, Congolese sub-groups 1 and 2 (SG1 and SG2) and between-group Guinean-(SG2) Congolese hybrids proved to be very different. Drought had a particularly significant impact on Congolese sub-group 2. A diallel study showed the importance of General Combining Ability for drought tolerance transmission, estimated by overall visual classification. However, the vigour of the between-group hybrids seems to mask drought tolerance transmission. It is possible to breed genotypes adapted to drought within each group, despite the low variability within Congolese sub-group 2. The classification system used to assess drought incidence is simple, rapid and satisfies the conditions for analysis of variance. It discriminates clearly between the objects compared and the accuracy of the analysis is improved by using the mean of the nearest neighbours as a covariable. The visual drought incidence classification is linked to the rate of mortality due to drought and is negatively correlated with initial production. Its routine use in years with severe drought should therefore prove very effective.

MONTAGNON (C.), LEROY (T.). — **Reacción a la sequía de jovenes cafetos *Coffea canephora* que pertenecen a diferentes grupos genéticos en Côte-d'Ivoire.** *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XXXVII, n° 3, juil.-sept. 1993, p. 179-190, 7 tabl., 2 fig., 40 réf.

Se ha estimado la reacción a la sequía de los cafetos *Coffea canephora* en la edad joven mediante diferentes observaciones : notación visual de la incidencia de la sequía, tasa de mortalidad, forma y aspecto de las hojas. Se revelan muy diferentes los comportamientos de los grupos Guineanos, de los subgrupos 1 y 2 (SG1 y SG2) Congoleños y de los híbridos intergrupos entre Guineanos y Congoleños (SG2). El impacto de la sequía es especialmente importante para el sub-grupo 2 Congoleño. Un estudio dialelo muestra la importancia de la Aptitud General a la Combinación para transmitir la tolerancia a la sequía apreciada por notación visual global. El vigor de los híbridos intergrupos parece por supuesto ocultar la transmisión de la tolerancia a la sequía. Se puede seleccionar genotipos adaptados a la sequía dentro de cada grupo, incluso si la variabilidad dentro del subgrupo 2 Congoleño es baja. En lo que concierne a la evaluación de la incidencia de la sequía, la notación empleada es sencilla, rápida y satisface las condiciones del análisis de la variancia. Permite discriminar claramente los objetos comparados y agudizarse la precisión del análisis al emplear el promedio de los vecinos más cercanos que sirve de covariable. La nota visual de la incidencia de la sequía está vinculada con la tasa de mortalidad debida a la sequía y está en correlación negativa con las primeras producciones. Por lo tanto debería revelarse muy eficiente su empleo sistemático en años de fuerte sequía.