

**LES HYBRIDES
INTERSPÉCIFIQUES HEXAPLOÏDES
COFFEA ARABICA X C. CANEPHORA :**
**Influence du milieu et de la structure génétique
sur les potentialités agronomiques**

D. LE PIERRÈS, F. ANTHONY

Action conjointe IFCC-ORSTOM

B.P. 808, Divo, Côte d'Ivoire

Le croisement entre les deux espèces cultivées *C. arabica* ($2n = 44$ chromosomes) et *C. canephora* ($2n = 22$) conduit à des hybrides triploïdes vigoureux et stériles. On peut cependant obtenir des combinaisons hybrides fertiles, soit au niveau tétraploïde (CRAMER 1957, MONACO et CARVALHO 1975, CAPOT 1972), soit au niveau hexaploïde (OROZCO 1975, BERTHAUD 1977). Nos hybrides hexaploïdes de départ sont issus du doublement chromosomique des triploïdes selon la technique de BERTHOU (1975). Ils présentent des caractéristiques de qualité proche de *C. arabica* ainsi qu'un mauvais comportement en basse altitude (vigueur déficiente, architecture défavorable, faible production).

Quels sont les facteurs responsables du comportement des hybrides hexaploïdes : la préférence écologique du parent *C. arabica* pour l'altitude ? L'homozygotie de la structure hexaploïde induite par duplication chromosomique ? Les interactions géniques à ce niveau élevé de ploïdie ?

Nous avons testé ces différentes hypothèses, d'une part en comparant le comportement d'hybrides hexaploïdes de départ cultivés en altitude et en basse altitude, d'autre part en étudiant l'évolution de la structure génétique des descendance hexaploïdes de première génération. Nous présenterons les premières informations acquises au cours de ces expérimentations.

MATERIEL ET METHODES

Nous mentionnons dans le tableau I les différents types de matériel végétal étudié et les lieux d'essai. Dans ces lieux d'essai les conditions écologiques sont les suivantes :

15 NOV. 1983

O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire

N° : 3733

Cote : B

ASIC, 9^e Colloque, Londres, 1980

B3733

- au Mont Tonkoui : altitude 1100m, pluviométrie 1800mm, une longue saison sèche de 5 mois ;
- à la Station ORSTOM de Man : altitude 300m, pluviométrie 1800mm, température moyenne 25°C, une longue saison sèche ;
- à la Station IFCC de Divo : altitude 200m, pluviométrie 1400mm, température moyenne 26°C, deux saisons sèches bien marquées.

Nomenclature	Généalogie	Lieux d'essai
Parents	<i>C. arabica</i> x <i>C. canephora</i> (2n = 44) (2n = 22)	
Hybrides F ₁	↓ F ₁ (2n = 33)	Man/Divo
Hybrides H ₀	↓ Hybrides hexaploïdes (génération de départ 2 n = 66)	Man Mont Tonkoui
Hybrides H ₁	↓ Hybrides hexaploïdes (1ère génération)	Man Divo

Tableau I : Obtention des hybrides hexaploïdes.

Deux types d'hybrides hexaploïdes seront examinés : d'une part les hexaploïdes de départ H₀ cultivés en altitude et en basse altitude à Man, d'autre part les hexaploïdes de première génération H₁ implantés en pépinière et au champ à Man et à Divo. Les hybrides H₀, âgés de 2 ans sont constitués de 75 combinaisons issues de 22 origines de *C. arabica* dont la variété "Caturra", et de 19 souches de *C. canephora*. Les hybrides H₁ proviennent des H₀ par autofécondation, fécondation libre ou croisement contrôlé.

Nos études portent sur l'analyse des caractères suivants :

- le déficit de fertilité femelle estimé par le taux de graines caracolis et le taux de loges vides. Le premier exprime une stérilité ovulaire et/ou une stérilité zygotique précoce, alors que le second traduit une faillite plus tardive du développement de l'albumen qui peut être d'ordre génétique et/ou physiologique ;
- le mode de reproduction, jugé d'après les taux de réussite de la pollinisation libre et de l'autopollinisation ;
- les caractères de vigueur (diamètre au collet, hauteur, vitesse de croissance), et l'architecture (longueur des entre-noeuds, longueur des rameaux plagiotropes) ;
- les caractéristiques technologiques et de production : le rendement marchand, le poids de 100 grains à 10% d'humidité, et la production par arbre de cerises fraîches (C.F.).

RESULTATS

I. LES HYBRIDES HEXAPLOIDES Ho

1. Effets de l'altitude sur la fertilité femelle

Le tableau II résume les pourcentages moyens de caracolis et de loges vides de *C. arabica*, des hexaploïdes et de l'Arabusta en altitude et en basse altitude.

	% de caracolis		% de loges vides	
	Altitude	Basse altitude	Altitude	Basse altitude
<i>C. arabica</i>	10	14	6	11
Hexaploïdes Ho	36	56	16	31
Arabusta	-	55	-	16

Tableau II : Variation des paramètres de la fertilité femelle avec les conditions de milieu.

On constate que l'effet de l'altitude sur le comportement des hexaploïdes se traduit, comme chez *C. arabica*, par une diminution du taux de caracolis et de loges vides. On remarque aussi qu'en basse altitude les hexaploïdes ont le même taux de caracolis que l'Arabusta (56%), mais un taux de loges vides très supérieur (31%) ; ce qui démontre bien leur mauvaise adaptation physiologique. Par contre le taux de loges vides des hexaploïdes est amélioré avec l'altitude, et atteint le même niveau que celui des arabusta de basse altitude (16%). La fertilité femelle des hexaploïdes est donc nettement améliorée avec l'altitude, et donne une proportion de fruits normaux supérieure à celle des Arabusta de basse altitude.

Quand on compare les paramètres de la fertilité femelle de différentes combinaisons génétiques hexaploïdes au Mont Tonkouï, on remarque de faibles variations intracombinaisons et intercombinaisons (tableau III).

Combinaison	Nombre d'arbres	% de caracolis	% de loges vides
(8 x 86) H	29	34 ± 9	20 ± 10
(17 x 86) H	15	38 ± 9	14 ± 10
(10 x 60) H	16	34 ± 10	15 ± 10
(14 x 30) H	14	38 ± 7	13 ± 8
(59 x 471)H	11	35 ± 6	16 ± 11

Tableau III : Caractéristiques de la fertilité femelle dans 5 combinaisons hexaploïdes de départ.

Ces résultats confirment le haut niveau de fertilité ovulaire et la bonne adaptation physiologique à l'altitude de la population des hybrides hexaploïdes H₀ étudiés.

2. Effets génétiques sur les caractères végétatifs et de production

L'observation des caractères de croissance orthotrope et de développement des rameaux porte sur une population de 300 hybrides H₀ âgés de 2 ans et cultivés au Mont Tonkoui. Ils manifestent un comportement similaire à de jeunes *C. arabica*. Il existe des différences intercombinaisons très hautement significatives et de faibles coefficients de variation intracombinaisons.

L'analyse en composantes principales de ces mêmes caractères auxquels nous avons adjoint la production, mesurés chez 8 combinaisons hybrides de 7 individus de la population d'hexaploïdes H₀, est représentée dans la figure I. Les deux premiers axes expriment 58,9% de la variation totale.

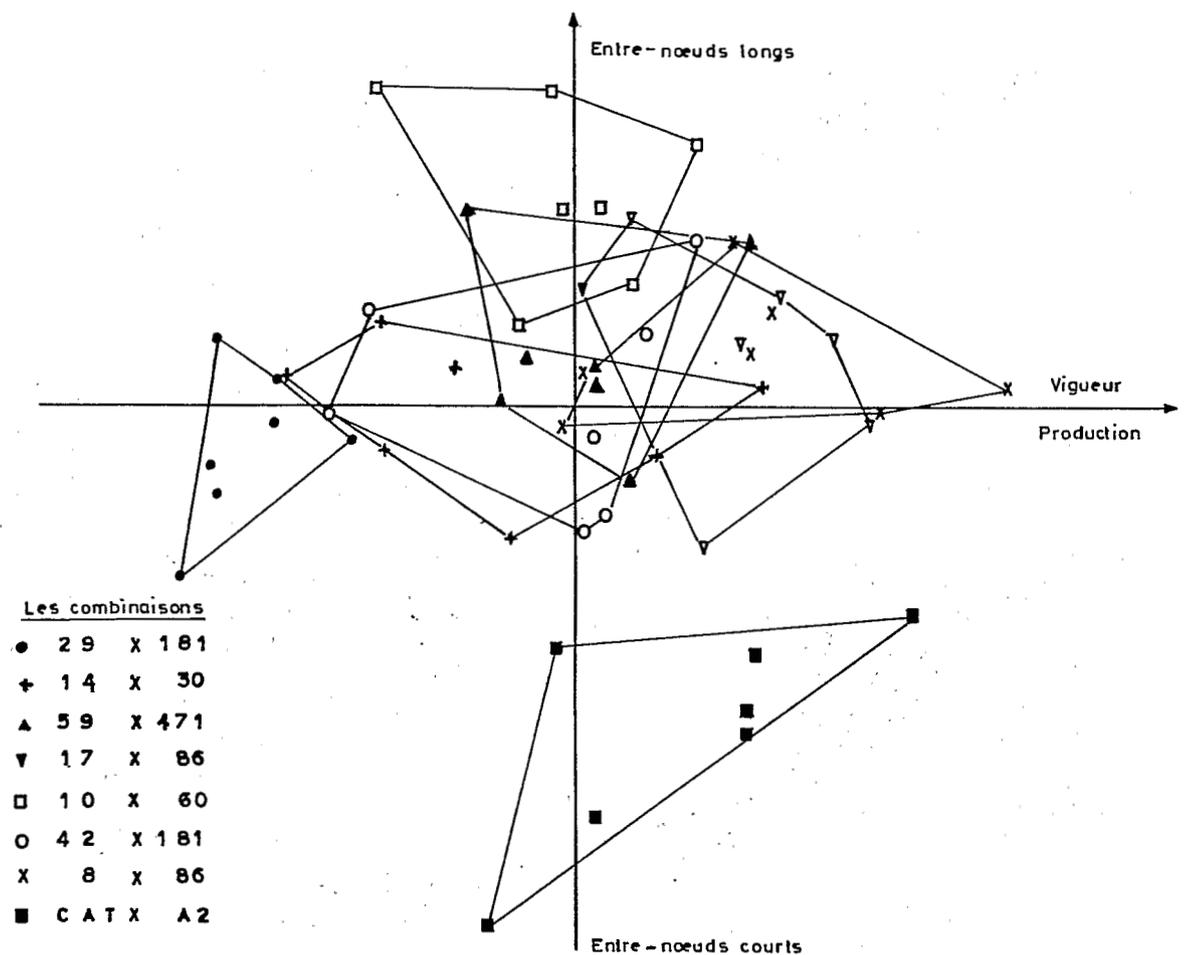


Figure I : Analyse en composantes principales - Représentation graphique des combinaisons génétiques dans le plan des axes 1 et 2.

Le premier axe définit principalement les caractères de vigueur végétative associés à la forte production. Le deuxième axe représente des caractères de développement : entre-noeuds et rameaux plagiotropes longs. L'analyse de la variance des données d'après leurs nouvelles coordonnées sur ces deux axes donne, comme auparavant, un effet combinaison très hautement significatif. On remarque la position particulière de la combinaison "Cat x A2" issue du parent *C. arabica* "Caturra": elle exprime de façon uniforme son caractère dominant "entre-noeuds courts".

3. Caractéristiques technologiques et de production

Le rendement moyen en café marchand par rapport aux cerises fraîches de 27 arbres est de 10,7%, avec une étendue de variation de 7,7 à 14,1%. Le poids de 100 grains de 61 génotypes bons producteurs varie de 10,3 à 22 g, et la moyenne est de 16,9 g. La première production a été analysée sur 290 génotypes : 11% des caféiers ont donné plus de 2 kg de cerises fraîches (CF), et 3% d'entre eux plus de 3 kg CF. Le meilleur arbre a produit à sa première récolte 3,2 kg de cerises fraîches, avec un rendement en café marchand de 12,7% et un poids de 100 grains de 22 g. Il est nécessaire de confirmer ces résultats encourageants sur plusieurs années de production. On remarque que certaines combinaisons sont plus aptes que d'autres à fournir des pieds hauts producteurs. Elles font intervenir en particulier deux souches de *C. canephora* non sélectionnées pour leur production (IF 86 et IF 200), et deux origines de *C. arabica* (Ar 8 et Ar 10). 84% des descendants du géniteur *C. canephora* haut producteur IF 107 n'ont rien produit. Il apparaît donc aléatoire de faire un choix à priori dans les souches parentales pour réaliser des hybrides hexaploïdes.

4. Le mode de reproduction

Nous avons étudié les caractères de reproduction sur 84 génotypes H_0 . Les taux de nouaison en fécondation libre varient de 21 à 88%, et sont en moyenne de 60%, ce qui confirme leur bon comportement en altitude. Les taux de nouaison en autofécondation contrôlée sous manchon sont en moyenne de 30%, avec une étendue de variation de 4 à 77%. Ces arbres présentent donc à des degrés divers, le caractère autofertile hérité de *C. arabica*. En conséquence, dans une descendance issue de fécondation libre d'un hybride hexaploïde, il n'y a en moyenne que 50% d'individus issus d'autofécondation. Nous avons confirmé ce résultat pour un hexaploïde H_0 isolé dans une parcelle de *C. arabica* : dans sa descendance libre, on a dénombré autant d'hexaploïdes issus de l'autofécondation, que d'hybrides pentaploïdes venant du croisement avec *C. arabica*.

II. LES HYBRIDES HEXAPLOIDES H_1

On a comparé le comportement en basse altitude des descendance hexaploïdes H_1 obtenues suivant différentes modalités : en autofécondation en croisements contrôlés, et en fécondation libre.

1. Observation au stade jeune en pépinière

Pour 26 descendance de 25 individus provenant de 6 géniteurs H_0 , on a testé les effets "combinaisons de départ et types de descendance" d'après des caractères de croissance mesurés à 5 et 9 mois.

Avant 5 mois, on détecte quelques anomalies de la forme des feuilles et le blocage de la croissance sur environ 10 % des effectifs. A 5 mois, on constate une grande hétérogénéité de croissance qui s'estompe à 9 mois : les coefficients de variation intradescendance passent ainsi de 50 à 20%. A ces deux dates, l'analyse de la variance révèle des différences significatives interdescendance, mais le classement des moyennes ne permet pas de séparer nettement les descendance en fonction de leur mode d'obtention. On distingue une combinaison particulière constituée d'individus à l'aspect trapu provenant du croisement avec un géniteur mâle H_0 porteur du gène "Caturra" de *C. arabica*. Ce gène, dont nous avons déjà parlé, est dominant en hybridation interspécifique car il affecte uniformément les 25 hybrides de la combinaison.

A 15 mois, nous avons observé une grande hétérogénéité parmi les 1400 hexaploïdes H_1 issus de fécondation libre : on retrouve à la fois des individus vigoureux ou chétifs ou morts. Le pourcentage d'hexaploïdes H_1 ramifiés varie selon les descendance de 46 à 86%, alors qu'une descendance témoin de *C. arabica* de même âge est ramifiée à 100%.

L'étude de la variation de la taille des hybrides hexaploïdes H_1 ramifiés suivant un modèle hiérarchisé met en évidence des différences significatives entre les combinaisons H_0 et entre leurs descendance. D'après l'estimation des variances génétiques, on montre que l'effet génétique est deux fois plus grand entre les combinaisons H_0 qu'à l'intérieur de ces combinaisons.

La hauteur des hexaploïdes ramifiés est légèrement plus grande que celle des *C. arabica*, et les coefficients de variation sont proches.

2. Comportement au champ des H_1 à Divo

Nous avons planté, sans possibilité de sélection en pépinière, 4500 hybrides hexaploïdes H_1 âgés de 6 mois et issus de 80 hybrides H_0 en fécondation libre. Après une année au champ, plus de la moitié de l'effectif de départ avait un développement anormal ou était mort. Leur mauvaise adaptation se caractérise par la vigueur dépressive, peu de plagiotropes, des axes et rameaux souples, des floraisons étoilées et très fréquentes, une production nulle. Après deux ans, nous n'avons retenu qu'une vingtaine d'arbres à comportement végétatif et reproducteur normal.

La mortalité est importante dans les hybrides H_1 issus d'auto-fécondation (de 28 à 53%) et assez forte pour les croisements (de 11 à 33%).

Nous présentons dans le tableau IV simultanément les moyennes et les écarts types du diamètre au collet mesurés sur des hybrides H_1 issus d'autofécondations et de croisements, âgés de 18 mois.

La comparaison des variances des "types de descendance" venant du même géniteur par le test de BARTLETT, montre que les descendance sont aussi homogènes en autofécondation qu'en croisement.

Hybrides H ₀	Hybrides H ₁	
	Descendances d'autofécondation	Descendances de croisement
H27	16,9 ± 3,7 [⊗]	18,9 ± 4,6 [⊗]
H166	15,8 ± 5,4	20,2 ± 4,7
H198	17,5 ± 4,8	23,2 ± 4,1
H206	17,4 ± 3,8	20,8 ± 4,5
H204	18,1 ± 4,9	17,6 ± 4,3

([⊗]) écart type de la descendance

Tableau IV : Diamètre au collet des hybrides H₁ (en cm).

Les descendances d'autofécondation sont un peu plus dépressives que celles issues de croisements. Elles sont de toute façon beaucoup moins vigoureuses qu'une combinaison particulière Arabusta 8 x 181T prise pour témoin.

CONCLUSION

Les résultats des observations effectuées sur les différents hybrides hexaploïdes *C. arabica* x *C. canephora* ont permis de dégager les informations suivantes :

- 1°) Le comportement et le fonctionnement biologique des hybrides de départ H₀ sont fortement influencés par les conditions pédoclimatiques. Ces caféiers ont une bonne adaptation aux zones de culture de *C. arabica*, mais ne conviennent pas, tout au moins dans leur formule actuelle, à des plantations de basse altitude.
- 2°) Les difficultés de sélection tiennent au fait qu'une prédiction de la valeur des hexaploïdes H₀ en fonction de celle des parents n'est pas possible, et que la sélection précoce n'est pas opérante. La sélection n'est efficace qu'après les observations individuelles pendant plusieurs années au champ.
- 3°) Dans les conditions de basse altitude la vigueur des hexaploïdes de la génération suivante H₁ est limitée par rapport à celle attendue de véritables hybrides F₁. Cependant ces hybrides sont plus vigoureux que les lignées obtenues en autofécondation.

Chez les hybrides hexaploïdes constitués par l'addition d'un génome complet de *C. arabica* et de *C. canephora* existe une structure génétique favorable à l'expression de la vigueur hybride, mais les interactions géniques à ce niveau de ploïdie sont complexes. Pour les hybrides H₀ de départ obtenus par duplication chromosomique et leurs descendances issues d'autofécondation qui sont homozygotes, il n'y a que des effets

d'additivité et d'épistasie cis. Dans les hexaploïdes H₁ issus de croisements entre H₀, s'y ajoutent les effets d'épistasie trans.

La variabilité des hybrides hexaploïdes H₀ et H₁ dépend essentiellement d'aptitudes spécifiques à la combinaison des géniteurs représentant la diversité des espèces parentales. Ces hexaploïdes H₀ et H₁ possèdent une variabilité cachée importante ; celle-ci s'extériorisera par croisement en provoquant des recombinaisons au niveau de la deuxième génération (F₂) et des suivantes. C'est dans ces générations successives qu'il y a le plus de chance de sélectionner des individus élités utilisables en caféiculture.

Une autre source d'amélioration des hexaploïdes est fournie par l'emploi des géniteurs de *C. arabica* sélectionnés pour leur adaptation à la basse altitude. Il est également possible de diversifier les types hexaploïdes obtenus en remplaçant dans cet hybride interspécifique l'espèce *C. canephora* par d'autres espèces diploïdes. Déjà les premiers hybrides hexaploïdes faisant intervenir *C. liberica* et *C. perrieri* semblent intéressants.

BIBLIOGRAPHIE

- BERTHAUD (J.) - 1977 - L'hybridation interspécifique entre *Coffea arabica* L. et *Coffea canephora* Pierre. Obtention et comparaison des hybrides triploïdes, Arabusta et hexaploïdes. Thèse de 3^{ème} cycle, ORSAY, 51 p.. Café, Cacao, Thé (Paris), Vol XXII, n° 1, janv.-mars 1978, pp. 3-12, n° 2, avril-juin 1978, pp. 87-109.
- BERTHAUD (J.), 1977 - Caractéristiques comparées des hybrides interspécifiques tétraploïdes et hexaploïdes *Coffea arabica* L. x *C. canephora* Pierre. In : 8^{ème} Colloque Scientifique International sur le Café, ASIC, Abidjan, pp. 393-397.
- BERTHOU (F.), 1975 - Méthode d'obtention de polyploïdes dans le genre *Coffea* par traitements localisés de bourgeons à la colchicine. Café, Cacao, Thé (Paris), vol. 19, n° 3, pp. 197-202.
- CAPOT (J.), 1972 - L'amélioration du caféier en Côte d'Ivoire. Les hybrides Arabusta. Café, Cacao, Thé (Paris), vol. XVI, n° 1, pp. 3-18.
- CAPOT (J.), 1975 - Obtention et perspectives d'un nouvel hybride de caféier en Côte d'Ivoire : l'Arabusta. In : 7^{ème} Colloque Scientifique International sur le Café, ASIC, Hambourg, pp. 449-457.
- CRAMER (P.J.S.), 1957 - Review of literature of coffee research in Indonesia. Turrialba (Costa Rica), Interamerican Institute of Agricultural Sciences, 262 p. (Miscellaneous publ. n° 15).
- MONACO (L.C.), CARVALHO (A.), 1975 - Coffee breeding for leaf rust resistance. In : 7^{ème} Colloque Scientifique International sur le Café, ASIC, Hambourg, pp. 437-445.
- OROZCO (F.J.), CASSALETT (C.), 1975 - La fertilidad y el diametro de los granos de polen en un híbrido interespecifico de café. Cenicafé (Chinchina) vol. 26, n° 1, pp 38-48.

entrés en floraison est de 54 ± 15 %. Les premiers hybrides ont une fertilité limitée caractérisée par un taux de grains caracolis supérieur à 47 %.

Les hybrides F_1 montrent un comportement méiotique de type diploïde subnormal, avec une variation importante au sein d'une même descendance de seize arbres (44 ± 10 % des cellules à onze bivalents). Les viabilités polliniques, les cellules mères à onze bivalents et les disjonctions chromosomiques normales en anaphase I sont étroitement corrélées.

Ces résultats indiquent une faible différenciation chromosomique entre C. canephora et C. liberica ainsi que leur appartenance à un même génome de base. Ceci est confirmé par la présence de nombreux multivalents chez les amphidiploïdes artificiels issus du doublement chromosomique des hybrides F_1 .

LOUARN (J.).- Interspecific hybrids between Coffea canephora Pierre and C. liberica Bull. ex Hiern. Preliminary results with F_1 hybrids. IX^e Colloque Scientifique International sur le Café, Londres, 16-20 juin 1980. ASIC (Paris), 1981, 8 p., 3 fig., 4 tabl., 6 réf.

This interspecific crossing between African diploid coffee trees was effected to combine the agronomic properties of C. canephora with some interesting characteristics of C. liberica.

Between F_1 hybrid progenies, there is a "crossing effect" for the vigour. The influence of the C. liberica parent is preponderant. The average pollen viability was 54 ± 15 % for 155 hybrids F_1 that had started to flower. The first hybrids have a limited fertility characterized by a peaberry seed proportion greater than 47 %.

The behaviour of the F_1 hybrids during meiosis was of a diploid subnormal type, with a great variation in the same progeny of sixteen trees (44 ± 10 % of the cells with eleven bivalents). The pollen viabilities, the mother cells with eleven bivalents and the normal chromosome disjunctions in anaphase I were found to be closely correlated.

These results show a low level of chromosomal differentiation between C. canephora and C. liberica, as well as the fact that they belong to the same basic genome. This is confirmed by the presence of numerous multivalents in the artificial amphidiploids obtained by doubling the chromosome number of the F_1 hybrids.

LE PIERRES (D.), ANTHONY (F.).- Les hybrides interspécifiques hexaploïdes Coffea arabica x C. canephora : influence du milieu et de la structure génétique sur les potentialités agronomiques. IX^e Colloque Scientifique International sur le Café, Londres, 16-20 juin 1980. ASIC (Paris), 1981, 8 p., 1 fig., 4 tabl., 8 réf.

Les hybrides hexaploïdes de départ plantés au Mont Tonkoui en Côte d'Ivoire (1.100 m) manifestent une bonne adaptation. L'altitude influence favorablement les caractéristiques de fertilité des arbres, leur production et la qualité du café.

Au contraire, les descendance de première génération des hybrides hexaploïdes cultivées en basse altitude à Divo ont un mauvais fonctionnement et une faible vigueur quasi-générale.

La mauvaise adaptation de ces hybrides hexaploïdes aux conditions de la caféiculture ivoirienne s'apparente à celle de leur parent C. arabica. Des solutions génétiques sont recherchées.

LE PIERRES (D.), ANTHONY (F.).- Interspecific hexaploid hybrids Coffea arabica x C. canephora : influence of environment and of genetic structure on the agronomic potentialities. IX^e Colloque Scientifique International sur le Café, Londres, 16-20 juin 1980. ASIC (Paris), 1981, 8 p., 1 fig., 4 tabl., 8 réf.

The original hexaploid hybrids planted on Mount Tonkoui in Ivory Coast (1.100 m) showed good adaptability. Altitude favourably influences the fertility characteristics of the trees, their production and the quality of the coffee.

On the other hand, the progenies of the first generation of hexaploid hybrids cultivated at low altitude at Divo had poor properties and almost generally little vigour.

The poor adaptability of these hexaploid hybrids to the Ivory Coast coffee culture conditions is very similar to that of their parent C. arabica. Genetic solutions to this problem are being sought.

Ruffon



NEUVIÈME COLLOQUE SCIENTIFIQUE INTERNATIONAL SUR LE CAFÉ

Londres, 16-20 juin 1980

2 Volumes //

B3729 → 3734

B3729 → B3734

Association Scientifique Internationale du Café
(ASIC)
42, rue Scheffer, 75016 Paris

D.L. Paris 1981