

HAPLOÏDES DIPLOÏDISÉS ET OBTENTION DE GÉNOTYPES HOMOZYGOTES FERTILES CHEZ LES CACAOYERS CULTIVÉS (*THEOBROMA CACAO*)

P. DUBLIN (*)

Directeur de recherches ORSTOM
Ancien chef de la division de biologie cellulaire de l'IFCC en Côte d'Ivoire

INTRODUCTION

Dans la pratique courante de l'amélioration des cacaoyers cultivés en Afrique, on distingue trois groupes : les Amelonado africains, les Trinitario et les Haut-Amazoniens.

Les Amelonado africains, groupe homogène et autocompatible, forment l'essentiel de la cacaoyère de l'Afrique occidentale ; les Trinitario, moins répandus, constituent un groupe hybride, polymorphe, quelquefois entaché d'auto-incompatibilité ; quant aux Haut-Amazoniens (UPA), introduits récemment (1944) en Afrique, ils constituent un ensemble hétérogène presque toujours auto-incompatible.

L'amélioration de ces cacaoyers est basée essentiellement sur l'exploitation d'une hétérosis qui apparaît dans toute combinaison d'un Haut-Amazonien avec un géniteur de l'un quelconque des deux autres groupes.

Les Amelonado, dépourvus de gènes d'incompatibilité et introduits de longue date en Afrique, où ils ont subi toutes les pressions de sélection locale, se révèlent souvent meilleurs géniteurs que les Trinitario, dans les associations avec un Haut-Amazonien (Lockwood, 1976).

Les hybrides dits amazoniens, et qui sont vulgarisés à l'heure actuelle, proviennent de deux types de combinaisons : UPA \times Amelonado et UPA \times Trinitario. Ces hybrides vigoureux et précoces sont cependant très hétérogènes, cette hétérogénéité se manifestant au niveau de tous les caractères utiles : taille des fruits et des graines, rendements individuels des arbres, période de maturation, etc.

Les conséquences néfastes de cette hétérogénéité sont multiples ; l'étalement de la maturation chez ces hybrides amazoniens favorise notamment les attaques de *Phytophthora*.

Cette variabilité des hybrides amazoniens est due à l'hétérozygotie des géniteurs parentaux et plus particulièrement à celle du géniteur Haut-Amazonien.

L'amélioration des hybrides amazoniens actuels implique donc l'emploi de géniteurs homozygotes.

L'épuration génétique, par les méthodes classiques d'autofécondation ou de croisements frères \times sœurs, se heurte malheureusement chez le cacaoyer à deux difficultés majeures : l'existence de barrières d'incompatibilité et la longueur du cycle de végétation.

Dans un tel contexte, l'emploi d'haploïdes diploïdisés nous est apparu comme la voie la plus indiquée pour obtenir des géniteurs homozygotes de cacaoyers dans un délai acceptable, et à moindre frais.

Les recherches sur l'haploïdie chez le cacaoyer ont été entreprises en 1972. Il s'agissait tout d'abord de vérifier que cet état d'haploïdie existait chez ces végétaux et que toutes les phases d'un schéma de sélection basé sur l'emploi de leurs haploïdes étaient effectivement réalisables.

Les travaux poursuivis pendant cinq années démontrèrent, successivement, l'existence des haploïdes chez les cacaoyers cultivés, la possibilité de transformer ceux-ci en diploïdes homozygotes et parfaitement fertiles, donc utilisables au plan pratique.

L'amélioration des techniques d'isolement et de diploïdisation des haploïdes, la découverte de génotypes amazoniens à taux de monoploïdie élevé permettent désormais d'obtenir des cacaoyers homozygotes diploïdes, fertiles, en nombre pratiquement illimité et de diversité génétique suffisante.

La voie de l'utilisation des haploïdes dans l'amélioration et l'étude génétique des cacaoyers cultivés est donc réellement ouverte.

Ce sont les principales étapes qui jalonnent ce tournant de l'histoire de l'amélioration des cacaoyers qui sont exposées dans les pages qui suivent.

(*) Adresse actuelle : Laboratoire de culture *in vitro*, Gerdat, Montpellier

OBTENTION DE PLANTULES HAPLOÏDES DE CACAOYERS (*T. CACAO*)

Les recherches entreprises depuis 1972 en Côte d'Ivoire sur l'haploïdie chez les cacaoyers furent les premières du genre. Les résultats obtenus revêtent, encore à ce jour, un caractère unique et exemplaire dans le cadre de l'amélioration des plantes tropicales arbustives.

Les premiers cacaoyers haploïdes ($n = 10$) connus furent découverts par Dublin en 1972 (7). Ceux-ci avaient été obtenus par triage d'un lot de plantules issues de graines polyembryonnées; le taux moyen d'haploïdie liée à la polyembryonie était alors de $4,1 \cdot 10^{-4}$.

Plusieurs cas d'haploïdie non liée à la gemellité furent ensuite découverts, aussi bien parmi les plantules issues de fèves plates (9) que parmi celles issues de pollinisation retardée et avec un pollen porteur d'un marqueur génétique (10).

L'existence d'une haploïdie non gemellaire étant acquise, des recherches systématiques d'haploïdes furent alors entreprises sur plantules de Haut-Amazoniens issues de graines monoembryonnées, obtenues par fécondation libre.

Une technique de culture et d'isolement rapide

de plantules haploïdes fût mise au point. Les graines débarrassées de leur enveloppe sont trempées dans une solution de Difolatan à 3% pendant cinq minutes, puis semées à 4 cm en tous sens dans des claies de $100 \times 50 \times 10$ cm remplies de sable de lagune.

L'extrémité de la graine opposée à la radicule est coupée de façon à faciliter la bonne orientation de celle-ci lors des semis et à accélérer l'écartement des cotylédons au moment des levées.

Les claies, posées sur des supports de 60 cm de haut sont protégées de l'ensoleillement et des pluies par un lattis en bois recouvert de polyéthylène transparent et situé à 2,50 m au-dessus des claies.

Le substrat est maintenu humide par des arrosages périodiques dont le rythme varie de un à trois selon les saisons.

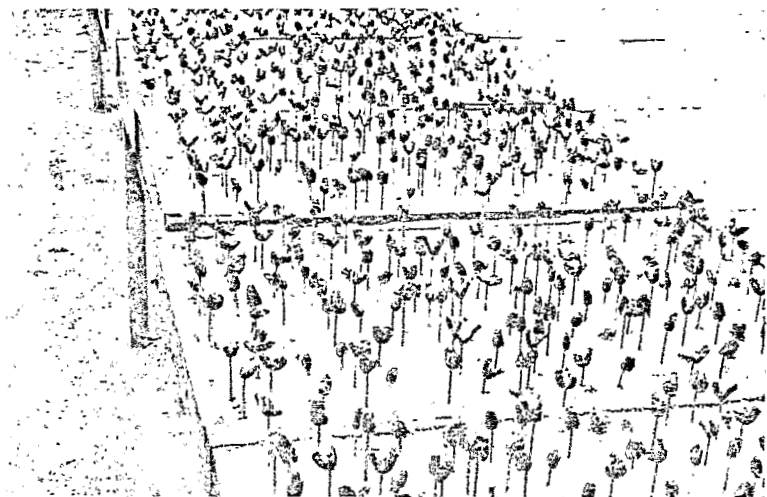
Dans de telles conditions, la levée se fait au bout de huit à dix jours et le taux de réussite est de 100%. Grâce à ses réserves cotylédonaire, la plantule de cacaoyer se développe alors normalement pendant toute la durée (quatre-cinq semaines) nécessaire au triage des plantules haploïdes.

TABLEAU I

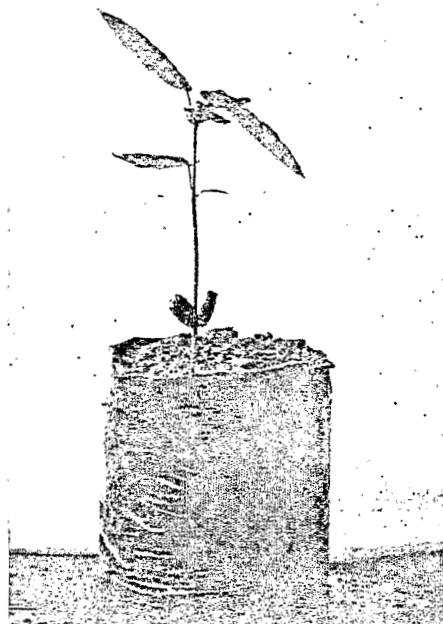
Theobroma cacao. Taux d'haploïdie spontanée chez quelques origines du groupe Haut-Amazonien

Origine	Date de semis	Nombre total de plantules examinées	Nombre de plantules haploïdes	Taux de monoploïdie
UPA - 603	19/11/76	5.543	13	$2,34 \cdot 10^{-3}$
UPA - 603	26/11/76	2.590	3	$1,15 \cdot 10^{-3}$
UPA - 603	14/12/76	5.788	27	$4,66 \cdot 10^{-3}$
UPA - 603	23/12/76	4.434	18	$4,05 \cdot 10^{-3}$
UPA - 603	27/01/77	7.923	46	$5,80 \cdot 10^{-3}$
UPA - 603	08/02/77	7.590	25	$3,29 \cdot 10^{-3}$
UPA - 603	18/02/77	10.924	71	$6,49 \cdot 10^{-3}$
UPA - 608	15/11/77	2.557	3	$1,17 \cdot 10^{-3}$
UPA - 608	30/11/76	1.955	17	$8,69 \cdot 10^{-3}$
UPA - 608	09/12/76	2.894	8	$2,76 \cdot 10^{-3}$
UPA - 608	22/12/76	2.109	6	$2,84 \cdot 10^{-3}$
C - 312	10/01/77	5.959	20	$3,35 \cdot 10^{-3}$
C - 312	28/02/77	9.801	59	$6,01 \cdot 10^{-3}$
C - 316	20/01/77	5.550	99	$17,83 \cdot 10^{-3}$
UPA - 405	08/03/77	9.311	1	$0,1 \cdot 10^{-3}$
UPA - 413	11/03/77	2.894	1	$0,3 \cdot 10^{-3}$
Total		87.822	417	$4,74 \cdot 10^{-3}$

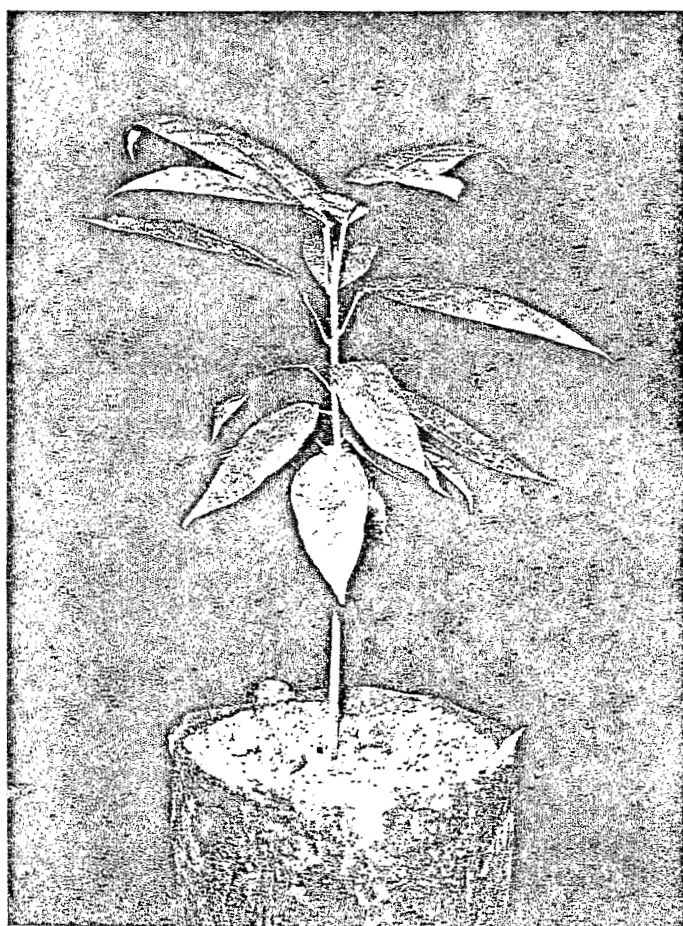
UPA - 603 = I 79/378 X T 72/1433
 UPA - 608 = I 79/378 X T 72/1433
 UPA - 405 = I 87/1329 X T 87/1211
 UPA - 413 = T 87/1329 X T 87/1211



1



2



3



4

I. — Obtention et caractéristiques des plantules haploïdes

Fig. 1. — *Theobroma cacao*. Levée, dix jours après un semis de graines monoembryonnées en claies, sur sable de lagune en vue d'un triage de plantules haploïdes

Fig. 2. — *Theobroma cacao*. Plantule haploïde ($n = 10$) âgée de quatre semaines encore munie de ses cotylédons et apte à la diploïdisation

Fig. 3. — *Theobroma cacao*. Plantule haploïde âgée de six mois.
A noter : feuilles petites, à pétiole érigé et limbe orné d'invaginations

Fig. 4. — *Theobroma cacao*.
Plant haploïde à l'âge de trois ans obtenu grâce à un greffage sur porte-greffe diploïde de cacaoyer

Trois à quatre semaines après le semis, les plantules haploïdes dont le phénotype est maintenant bien connu, sont arrachées et repiquées dans des pots en cythène remplis de terre de forêt et mises sous ombrière en attente de leur diploïdisation.

Ces plantules haploïdes de graines monoembryonnées ont, grâce à des réserves cotylédonaire plus importantes que celles des plantules issues de polyembryons, une croissance plus rapide.

Le contrôle du niveau de ploïdie de ces plantules est effectué sur jeunes feuilles suivant une technique déjà décrite (7).

On constate (tableau I, p. 276) que le taux de monoploïdie spontanée varie d'une descendance à une autre, et, pour une même descendance, d'un lot de graines à un autre.

L'époque de la récolte semble également être en liaison avec la fréquence de l'haploïdie spontanée.

Chez certains génotypes Haut-Amazoniens, le taux de monoploïdie non gemellaire atteint $1,7 \cdot 10^{-2}$, soit plus de vingt fois le taux moyen obtenu par polyembryonie.

CARACTÈRES PHÉNOTYPIQUES DES HAPLOÏDES DE CACAOYERS (*T. CACAO*)

Chez le cacaoyer, comparativement à la plantule diploïde ($2n = 2x = 20$), l'haploïde ($n = x = 10$) de même âge se caractérise par une taille plus réduite et une croissance très lente.

Les feuilles, de contour irrégulier (du moins en ce qui concerne les premières), présentent un limbe garni d'invaginations plus ou moins accentuées qui confèrent à celui-ci un aspect particulier, spécifique de l'haploïde du cacaoyer.

Ces invaginations, d'intensité variable d'un haploïde à un autre, s'atténuent généralement chez les feuilles des étages supérieurs, sans jamais disparaître complètement. La feuille prend alors un « aspect chagrin » qui contraste tout à fait avec la texture lisse de la feuille diploïde.

Chez l'haploïde, les pigmentations anthocyaniques des jeunes feuilles sont moins accentuées que chez le diploïde et varient d'une plantule à une autre.

Au terme de leur développement, cinquante feuilles prélevées sur un haploïde de trois ans mesu-

raient 6,5 cm de long et 2,4 cm de large en moyenne.

La plantule haploïde, toujours chétive d'aspect, a une croissance lente, qui diminue encore très régulièrement après la chute des cotylédons ; les entrenœuds se raccourcissent, le rythme de renouvellement des feuilles diminue, la plantule dépérit et meurt, très généralement à l'âge de cinq à dix mois.

La vigueur et la durée de vie des plantules haploïdes de cacaoyers sont variables suivant les génotypes ; ainsi les haploïdes de certains Amazoniens tels que le C-316 sont toujours d'une vigueur exceptionnelle comparativement à celle des autres origines.

Chez le cacaoyer l'état d'haploïdie peut être conservé par greffage. C'est ainsi qu'ont été obtenus des haploïdes de cacaoyer greffés sur diploïdes de la même espèce et qui sont aujourd'hui âgés de plus de trois ans. Le taux de réussite des greffes reste cependant faible, quelles que soient les techniques utilisées ; les soudures entre haploïde et diploïde se font mal par suite des vitesses de croissance trop différentes des tissus correspondants.

DIPLOÏDISATION DES HAPLOÏDES DE CACAOYERS (*T. CACAO*)

Les haploïdes présentent, au plan pratique, l'avantage de conduire directement, et en une seule étape, à une homozygotie complète.

Chez le cacaoyer, l'état haploïde représente une étape transitoire, sans intérêt pratique, qu'il est utile de raccourcir autant que possible.

Afin de déterminer les doses, durées et modalités d'application de la colchicine, dans le cadre de la diploïdisation d'haploïdes, divers travaux d'appro-

che ont tout d'abord été effectués sur plantules diploïdes. Ces essais préliminaires ont montré que le cacaoyer réagissait bien à une gamme de concentrations de colchicine allant de 1 à 4 %.

Les premières diploïdisations d'haploïdes de cacaoyers ont été entreprises sur tige haploïde greffée sur un fragment diploïde orthotrope et dont on avait provoqué l'enracinement par un séjour en bac de bouturage.

On avait utilisé dans ces cas de la colchicine à 0,25 % en suspension dans de l'agar-agar à 1,50 ‰ additionné de gibbérelline à 1.10^{-5} . Le produit était appliqué sur bourgeons axillaires activés à la suite d'un recépage du méristème terminal quelques semaines avant traitement. Le taux de réussite était alors de 60 à 70 %.

La technique de diploïdisation utilisée à l'heure actuelle est beaucoup plus simple. Elle consiste à déposer une petite boule de coton imbibée d'une solution aqueuse de colchicine à 1,5 ‰ sur le méristème terminal d'une très jeune plantule haploïde, encore munie de ses cotylédons. Avant traitement, le méristème est débarrassé des premières feuilles et des stipules qui l'entourent.

On fait deux applications de cette solution de colchicine, à vingt-quatre heures d'intervalle. Pendant toute la durée du traitement, les plantules traitées sont maintenues à l'obscurité et en chambres humides constituées par de simples bacs de bouturage recouverts d'un châssis.

Après traitement, on observe une période de latence de durée variable et le débourrement du méristème diploïdisé se fait généralement dans les quinze à trente jours qui suivent la première application de colchicine.

La diploïdisation du méristème peut être constatée très rapidement ; elle s'accompagne en effet de toute une série de modifications morphologiques au niveau du jeune bourgeon : stipules plus grandes, coloration plus abondante...

Les premières feuilles du bourgeon diploïdisé sont souvent déformées et présentent parfois des plages d'un vert plus accentué, qui correspondent à des zones chimériques de niveaux de ploïdies différents.

Très rapidement les feuilles suivantes reprennent un contour régulier, une coloration homogène, une taille et un aspect typique et sans ambiguïté de la feuille diploïde classique de cacaoyer.

Le taux de diploïdisation est pratiquement de 100 % dès les premiers traitements. Dans les cas, très rares, de plantules rebelles, un deuxième traitement peut-être effectué un à deux mois après le premier.

A l'heure actuelle, les diploïdisations sont effectuées sur plantules haploïdes âgées de cinq à six semaines et encore munies de leurs cotylédons, car les débournements de méristèmes diploïdisés sont en effet d'autant plus rapides que les plantules sont plus jeunes.

Dans les cas de diploïdisation méristématique partielle, on obtient des plantes chimériques dont les secteurs diploïdisés sont plus ou moins importants. Chez ces plantes chimériques, les feuilles prennent très souvent des formes en faucille, quand les différents secteurs sont situés de part et d'autre d'une nervure principale.

Il est très facile chez les plantes présentant un secteur diploïde contigu à un autre resté haploïde, de provoquer la formation d'une tige uniformément diploïde. Il suffit pour cela de recéper la tige chimérique au niveau du secteur diploïde ; le bourgeon latent situé sur ce secteur se développe alors en gourmand orthotrope diploïde. Très souvent d'ailleurs, les tiges diploïdes se forment spontanément.

Chez le cacaoyer, en effet, les tissus diploïdes ont une vitesse de croissance supérieure à celle des tissus de tout autre niveau de ploïdie.

L'expérience montre que les diploïdisations sont toujours plus uniformes quand elles sont faites sur plantule jeune (cinq à six semaines) et que les chimères apparaissent surtout dans les cas de traitements effectués sur plantules âgées.

La diploïdisation d'une plantule haploïde de cacaoyer entraîne des modifications morphologiques qui affectent profondément l'aspect de celle-ci ; les nouvelles feuilles diploïdes, grandes, avec leur limbe lisse et à port décombant classique, contrastent fortement avec les feuilles haploïdes, petites, érigées et d'aspect chagrin.

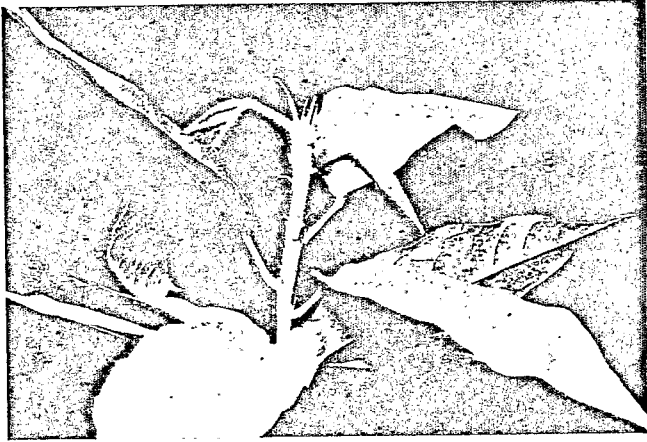
Ces modifications morphologiques sont nettes et ne laissent aucune ambiguïté. Un contrôle chromosomique, bien que souvent inutile, peut cependant être effectué sur jeunes feuilles, pour confirmation.

Le passage du méristème d'un niveau haploïde à un niveau diploïde entraîne une brusque augmentation du diamètre de la tige. Il en résulte une sorte de rétrécissement qui disparaît totalement huit à dix mois après diploïdisation chez les plantules traitées à un stade jeune (cinq semaines). Dans le cas de diploïdisation faite sur plantules plus âgées (trois mois), ce rétrécissement peut persister plus longtemps et affecter la rigidité et la croissance de la plante.

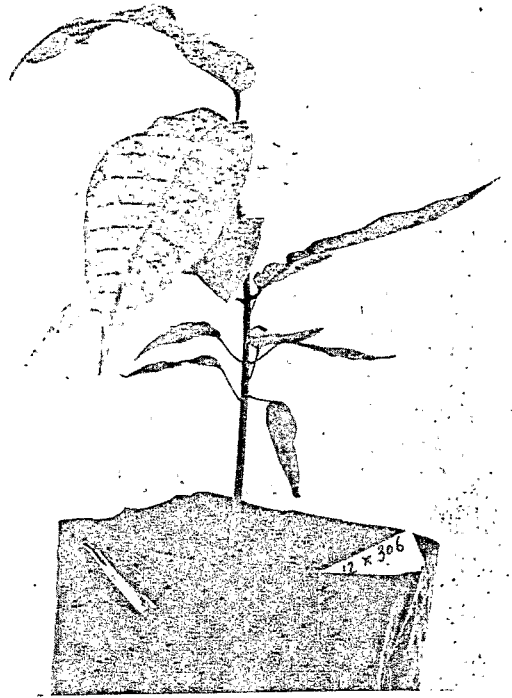
Les plantules haploïdes de cacaoyer ayant subi une diploïdisation précoce donnent au bout de dix à douze mois une plante d'aspect normal, comparable à un « seedling » diploïde quelconque, et de développement suffisant pour affronter les aléas d'une mise en plein champ. Leur développement, comparativement à celui d'un « seedling » normal, présente cependant un retard dû aux deux niveaux de ploïdie superposés que présentent les haploïdes diploïdisés, du moins pendant un certain temps.

Par bouturage de la partie supérieure diploïdisée de ces plantes on peut ainsi obtenir une plante normale, dont système racinaire et appareil végétatif ont un même niveau de ploïdie. Ce bouturage permet, en même temps, de supprimer chez la nouvelle plante toute chimère éventuelle qui pourrait exister au niveau des zones d'applications antérieures de colchicine du pied mère.

II. — Diploïdisation des haploïdes de cacaoyers (*T. cacao*)



5



6



7



8



9

Fig. 5. — *Theobroma cacao*. Débourrement d'un méristème diploïdisé quinze jours après l'application de la colchicine. A noter : les augmentations du diamètre de la tige, de la pilosité, de la longueur des stipules ; la forme en faucille de la première feuille diploïde et dont le port décombant contraste avec l'allure érigée des feuilles haploïdes situées en dessous

Fig. 6. — *Theobroma cacao*. Haploïde diploïdisé deux mois après application de la colchicine. A noter : la taille et la forme régulière des premières feuilles diploïdes comparativement à celles des feuilles haploïdes situées en dessous

Fig. 7. — *Theobroma cacao*. Haploïde diploïdisé avec secteur chimérique haploïde de vitesse de croissance moindre, d'où la forme en faucille de la feuille. On note également la disparition progressive du secteur haploïde avec apparition de feuilles diploïdes à contour régulier

Fig. 8. — *Theobroma cacao*. Haploïde diploïdisé âgé de dix mois. A noter : le développement spontané d'un gourmand diploïde à la suite d'un arrêt de croissance du méristème terminal chimérique

Fig. 9. — *Theobroma cacao*. Haploïdes diploïdisés âgés de douze mois et aptes à la mise en plein champ

Par ailleurs, chez les cacaoyers Haut-Amazoniens hétérozygotes, chaque haploïde diploïdisé représente, en fait, un génotype unique, qu'il est important de reproduire végétativement pour éviter tout risque de perte définitive.

Le prélèvement des boutures terminales sur

l'haploïde diploïdisé peut être effectué dix à douze mois après le traitement à la colchicine. Ces boutures (orthotropes de « seedling » jeune) s'enracinent très facilement et les taux d'enracinement et de reprise après transplantation en pot sont de 100 %.

CROISSANCE ET DÉVELOPPEMENT DES HAPLOÏDES DIPLOÏDISÉS DE CACAOYERS (*T. CACAO*)

Sauf mutations liées aux traitements de colchicine, l'haploïde diploïdisé constitue un individu homozygote complet.

Les premiers cacaoyers diploïdes homozygotes ont été obtenus, en décembre 1973, par traitement à la colchicine de tiges haploïdes préalablement greffées sur un fragment orthotrope diploïde d'un très jeune cacaoyer et dont l'enracinement avait été provoqué par un séjour en bac de bouturage.

Mis en place en juin 1974, ces cacaoyers homozygotes eurent un développement végétatif normal et produisirent leurs premières cabosses en octobre 1976, à la suite de pollinisations manuelles faites avec un pollen prélevé sur un authentique Amelonado diploïde.

Le semis des graines provenant de ces cabosses fournit des plantules qui se révélèrent toutes être diploïdes avec $2n = 20$.

On peut donc conclure que ces cacaoyers issus d'haploïdes diploïdisés sont fertiles, exempts de chimères polyploïdes et produisent une descendance uniformément diploïde.

Dans un cas, cependant, l'examen du pollen de fleurs prélevées sur le tronc d'un haploïde diploïdisé

révéla la présence de grains de pollen anormalement gros ; celle-ci était vraisemblablement liée à l'existence d'une zone chimérique polyploïde au niveau de la zone de prélèvement. D'autres examens de pollen effectués sur des fleurs du même arbre, mais prélevées plus haut sur le tronc et sur les ramifications plagiotropes, ne montrèrent plus aucune anomalie dans leurs dimensions ; la chimère responsable des anomalies précédentes n'existait donc plus dans les parties supérieures de la plante.

Donc, même en cas de chimères polyploïdes, celles-ci demeurent toujours localisées, et peuvent être éliminées facilement par un clonage des parties supérieures de l'haploïde diploïdisé. Cet affranchissement rapide des zones diploïdes chez les haploïdes diploïdisés de cacaoyer est dû au fait que les tissus diploïdes ont une vitesse de croissance supérieure à celle de tout autre tissu d'un niveau de ploïdie différent.

Le bouturage de la partie supérieure des jeunes haploïdes diploïdisés, dix mois après le traitement à la colchicine, a pour objet d'éliminer justement ces éventuelles zones chimériques qui peuvent persister au niveau de la zone d'application de la colchicine.

L'expérience montre que les plantules haploïdes non greffées, dont les méristèmes avaient été traités à la colchicine, sont parfaitement viables.

Plusieurs de ces haploïdes diploïdisés, mis en pleine terre en juin 1975, produisirent en effet leurs premières fleurs fertiles en 1977. Ces plantes à deux niveaux de ploïdie superposés, du moins

pendant les premiers stades de leur développement, présentent quelquefois un rétrécissement à la base, qui peut persister pendant assez longtemps et qui correspond à la zone d'application de la colchicine.

La preuve de la fertilité des cacaoyers homozygotes issus d'haploïdes diploïdisés est donc maintenant bien établie.



10



11

III. — Croissance et développement des haploïdes diploïdisés de cacaoyers (*T. cacao*)

Fig. 10. — *Theobroma cacao*. Jeunes cacaoyers homozygotes âgés de vingt mois issus de la diploïdisation d'une tige haploïde préalablement greffée sur porte-greffe diploïde de cacaoyer.

Fig. 11. — *Theobroma cacao*. Fructification sur cacaoyer homozygote issu d'haploïde diploïdisé

CONCLUSION ET DISCUSSION

Les recherches sur l'haploïdie ont été effectuées jusqu'à maintenant principalement chez les plantes herbacées annuelles des pays tempérés. Ce sont pourtant les plantes arbustives pérennes, qui nécessitent le plus ces types de recherches destinées à raccourcir leur cycle de sélection et à faciliter leurs études génétiques.

L'obtention de génotypes homozygotes présentent un intérêt tout particulier pour l'amélioration génétique des cacaoyers. L'emploi de géniteurs homozygotes permettra, en effet, une meilleure exploitation de l'hétérosis de groupes qui existe chez ces végétaux.

Les données qui précèdent ont apporté les preuves de l'existence d'haploïdes chez le cacaoyer et de la possibilité de les transformer en diploïdes homozygotes fertiles utilisables au plan pratique.

La voie de l'utilisation des haploïdes dans l'amélioration génétique des cacaoyers cultivés est donc désormais ouverte.

Grâce aux améliorations qui ont été apportées aux techniques de triage des haploïdes, aux procédés de doublement chromosomique de ceux-ci, grâce aussi à la découverte de génotypes amazoniens à taux d'haploïdie élevé, il est désormais possible d'obtenir des cacaoyers Haut-Amazoniens

homozygotes en nombre pratiquement illimité et de grande diversité génétique.

Les croisements entre géniteurs homozygotes Haut-Amazoniens et géniteurs homozygotes de l'un quelconque des deux autres pools Amelonado ou Trinitario devraient conduire à des hybrides doués d'une hétérosis supérieure à celle des hybrides actuels et parmi lesquels un choix judicieux devrait déboucher sur les hybrides amazoniens nouveaux dont les potentialités de production et l'homogénéité seront supérieures à celles des hybrides hétérogènes actuels. Plus de cinq cents génotypes homozygotes de ce groupe ont ainsi été mis en collection en Côte d'Ivoire.

Ces nouveaux hybrides constitueront alors des ensembles homogènes au niveau de tous leurs caractères utiles. Les fruits et graines de taille et de qualité identique faciliteront les traitements technologiques et l'obtention d'un produit de qualité commerciale homogène.

Chez le cacaoyer, l'étalement des floraisons et de la maturation des fruits est lié au climat, mais aussi au génotype. C'est un fait courant que de voir des cacaoyers Amelonado à maturation groupée à côté d'hybrides amazoniens portant des fruits de tailles diverses et dont la récolte s'étale sur une très longue période, favorisant ainsi les attaques de *Phytophthora*.

Grâce à l'emploi de géniteurs homozygotes, il sera possible de sélectionner des hybrides, dont la maturation pourra coïncider avec les périodes les moins favorables au développement et aux attaques du *Phytophthora*.

Les semences hybrides actuelles proviennent de champs semenciers clonaux dont les coûts d'installation sont toujours élevés.

Il est possible à partir de géniteurs homozygotes des différents pools génétiques Haut-Amazoniens, Amelonado et Trinitario, de concevoir des schémas de production de semences hybrides issues de champs semenciers établis eux aussi à partir de graines.

Dès lors ces champs semenciers issus de graines auront une mobilité plus grande et pourront être installés à proximité même des zones nouvelles d'extension de la cacaoculture. Le coût de leur installation sera également moindre.

La mise à la disposition des agronomes, des entomologistes, etc... d'un matériel génétique homogène, leur permettra de mieux préciser le rôle de tels ou tels facteurs externes.

Au plan expérimentation, les essais comparatifs d'hybrides amazoniens pourront être réalisés sur des surfaces moindres, du fait de la variabilité génétique nulle qui existera à l'intérieur de chaque hybride ; ceci permettra alors de réduire de façon considérable les dimensions des parcelles élémentaires actuelles.

Au plan fondamental enfin, les études génétiques sur l'incompatibilité, sur la résistance aux maladies, sur la transmission des caractères utiles, sur les phénomènes d'hétérosis chez cette plante, seront grandement facilitées par l'emploi de géniteurs homozygotes.

BIBLIOGRAPHIE

1. ATANDA (O. A.), 1973. — Heterosis in crosses of *Theobroma cacao*. *Exp. Agric.* (Londres), vol. 9, n° 1, p. 23-29.
2. BARTLEY (B. G.), 1971. — First generation inbreds as parents in hybrids of *Theobroma cacao*. *Trop. Agric.* (Londres), vol. 18, n° 1, p. 79-84.
3. BRAUDEAU (J.), 1969. — Le cacaoyer. Maisonneuve & Larose (Paris), 304 p.
4. CHASE (S. S.), 1969. — Monoploids and monoploid derivatives of maize (*Zea mays* L.) *The Botanical Review* (Bronx), vol. 35, p. 117-167.
5. CHEESMAN (E. E.), 1927. — Fertilization and embryogeny in *Theobroma cacao* L. *Annals of Botany* (Oxford), vol. XLI, n° 161, p. 107-125.
6. DUBLIN (P.), 1972. — Technique de polyploïdisation chez *T. cacao*. *Rap. Ann. IFCC Côte d'Ivoire*, p. 20.
7. DUBLIN (P.), 1972. — Polyembryonie et haploïdie chez *Theobroma cacao* L. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. 16, n° 4, p. 295-311.
8. DUBLIN (P.), 1973. — Haploïdie chez *Theobroma cacao*. *C. R. Acad. Sci. Paris, Série D*, 276, p. 757-759.
9. DUBLIN (P.), 1973. — Les « fèves plates » : une nouvelle source d'haploïdie chez le cacaoyer (*Theobroma cacao*). *Café Cacao Thé* (Paris), vol. 17, n° 1, p. 25-36.
10. DUBLIN (P.), 1973. — Note sur l'utilisation d'un marqueur génétique dans les recherches d'haploïdes chez le cacaoyer (*Theobroma cacao* L.). *Café Cacao Thé* (Paris), vol. 17, n° 3, p. 205-209.
11. DUBLIN (P.), 1974. — Les haploïdes de *Theobroma cacao* L. Diploïdisation et obtention d'individus homozygotes. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. 18, n° 2, p. 83-95.
12. HARLAND (S. C.), FRECHVILLE (G. E.), 1927. — Natural crossing and genetics of axil spot in cacao. *Genetica* (La Haye), p. 279-289.
13. KIMBER (G.), RILEY (R.), 1963. — Haploid angiosperms. *Bot. Review* (Bronx), p. 480-531.
14. KIRILLOVA (G.), 1966. — The phenomenon of haploidy in angiosperms. *Genetika* (Moscou), vol. 2, p. 137-147.
15. KNIGHT (R.), 1957. — Induced polyploidy in *Theobroma cacao* L. and related species. *J. Hort. Sci.* (Londres), vol. 32, n° 1, p. 1-8.
16. LOCKWOOD (G.), 1976. — A comparison of the growth and yield during a 20 year period of Amelonado and Upper Amazon hybrid cocoa in Ghana. *Euphytica* (Wageningen), vol. 25, n° 3, p. 647-658.
17. MAGOON (M. L.), KHANNA (K. R.), 1963. — Haploids. *Caryologia* (Florence), vol. 16, n° 1, p. 191-235.
18. NITZSCHE (W.), WENZEL (G.). — Haploids in plant breeding. Springer Verlag 1977.
19. THEVENIN (L.), 1968. — Les problèmes d'amélioration chez *Asparagus officinalis* L. (1) Haploïdie et amélioration. *Ann. Améi. Plantes* (Paris), vol. 18, n° 4, p. 327-365.
20. Haploids in higher plants. Advances and potential. Proceedings of the First International Symposium, 10-14 juin 1974, Univ. Guelph (Canada), 420 p.

DUBLIN (P.). — Haploïdes diploïdisés et obtention de génotypes homozygotes fertiles chez les cacaoyers cultivés (*Theobroma cacao*). *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XXII, n° 4, oct.-déc. 1978, p. 275-284, tabl., photos, réf.

L'amélioration des cacaoyers cultivés en Afrique et qui appartiennent aux groupes Amelonado africains Trinitario et Haut-Amazoniens est basée essentiellement sur l'exploitation d'une hétérosis, qui apparaît dans toutes les combinaisons d'un Haut-Amazonien avec un géniteur de l'un quelconque des deux autres types.

Les hybrides amazoniens vulgarisés à l'heure actuelle sont vigoureux, précoces, mais très hétérogènes et leur amélioration implique l'emploi de géniteurs homozygotes ; les haploïdes diploïdisés sont apparus la voie la plus indiquée pour obtenir ceux-ci.

L'auteur présente ici un rappel des recherches effectuées depuis 1972 en Côte d'Ivoire sur l'haploïdie chez les cacaoyers, décrit les caractères phénotypiques de ces haploïdes puis les travaux qui ont permis d'aboutir à leur diploïdisation. L'obtention de cacaoyers homozygotes diploïdes, fertiles, en nombre pratiquement illimité et de diversité génétique suffisante apparaît désormais possible.

DUBLIN (P.). — Diploidierte Haploïden und Erhaltung von fruchtbaren homozygoten Genotypen bei den kultivierten Kakaobäumen. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XXII, n° 4, oct.-déc. 1978, p. 275-284, tabl., photos, réf.

Die Veredlung der in Afrika kultivierten und den Gruppen afrikanische Amelonado, Trinitario und Oberamazonier angehörenden Kakaobäumen beruht im wesentlichen auf der Auswertung einer Heterosis die in allen Verbindungen eines Oberamazoniers mit einem Erzeuger eines der beiden anderen Typen zum Ausdruck kommt.

Die gegenwärtig allgemein verbreiteten Amazonierhybriden sind kräftig, frühzeitig, aber sehr heterogen und ihre veredlung schliesst den Gebrauch von homozygoten Erzeugern ein. Die diploidierte Haploïden scheinen als das geeignetste Mittel um diese zu erhalten.

Der Autor weist in anliegendem Artikel auf die seit 1972 in der Elfenbeinküste vorgenommenen Nachforschungen über die Haploïdie bei den Kakaobäumen hin, beschreibt die phenotypischen Charakter dieser Haploïden sowie die Arbeiten welche zu ihrer Diploidierung führten. Die Erhaltung von homozygoten diploïden fruchtbaren in ihrer Zahl praktisch unbegrenzten und genetisch genügend verschiedenartigen Kakaobäumen scheint nunmehr möglich.

DUBLIN (P.). — Diploidised haploïds and production of fertile homozygous genotypes in cultivated cocoa trees (*Theobroma cacao*). *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XXII, n° 4, oct.-déc. 1978, p. 275-284, tabl., photos, réf.

The improvement of cocoa trees belonging to the African Amelonado, Trinitario and Upper Amazonian groups cultivated in Africa, is based essentially on the exploitation of heterosis which appears in all Upper Amazonian combinations with either parent of the other two types.

The Amazonian hybrids commonly used at present are vigorous and early, but very heterogeneous ; their improvement involves the utilization of homozygous parents. Diploidised haploïds are the best ways of obtaining these.

The author reviews the research on haploïdy in cocoa trees carried out in Ivory Coast since 1972, describes the phenotypical characters of these haploïds and the studies which enabled their diploidisation to be achieved. The obtention of fertile homozygous diploïd cocoa trees in practically unlimited numbers and of sufficient genetic diversity is now possible.

DUBLIN (P.). — Haploïdes diploïdizados y obtención de genótipos homocigotos fertiles de los cacaos cultivados (*Theobroma cacao*). *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XXII, n° 4, oct.-déc. 1978, p. 275-284, tabl., photos, réf.

La mejora de los cacaos cultivados en Africa y que pertenecen a los grupos Amelonado africanos, Trinitario y Alto Amazónicos se funda básicamente en el aprovechamiento de una heterosis que aparece en todas las combinaciones de un Alto Amazónico con un genitor de cualquier de los otros dos tipos.

Los híbridos Amazónicos vulgarizados actualmente son vigorosos, precoces pero muy heterogéneos y su mejora presupone el empleo de genitores homocigotos ; los haploïdes diploïdizados parecen constituir la vía la más indicada para obtener estos últimos.

El autor presenta en este artículo un resumen de las investigaciones llevadas a cabo desde 1972 en Costa de Marfil acerca de la haploïdia de los cacaos, describe las características fenotípicas de estos haploïdes y, después, los trabajos que han permitido llegar a su diploïdización. La obtención de cacaos homocigotos diploïdes, fertiles, en número prácticamente ilimitado y de diversidad genética suficiente, parece actualmente constituir una posibilidad efectiva.