



HYBRIDATION INTERSPÉCIFIQUE  
ET AMÉLIORATION DES PLANTES

III. — AMPHIPLOÏDES ET FORMES INTROGRESSIVES

par André Charrier (\*) et Michel Bernard (\*\*)

Directeur de Recherches

Chargé de Recherches

En raison de l'absence d'homologie entre les chromosomes de leurs parents, certains hybrides interspécifiques manifestent une forte stérilité. L'amphiploïde, réunissant les génomes diploïdes des deux espèces parentes, permet alors d'obtenir des formes fertiles. De telles structures naturelles ont été identifiées dès la première moitié de ce siècle, et il a paru d'un grand intérêt de chercher à les reproduire (annexe I). En outre, on a cherché à créer de nouvelles structures amphiploïdes, principalement dans des groupes d'intérêt agronomique (annexes II et III). Si le nombre d'amphiploïdes rapportés dans la littérature paraît considérable, surtout dans la sous-tribu des Triticinae, il est manifeste que bien peu ont été directement exploités par la sélection.

ANNEXE I

AMPHIPLOÏDES REPRODUISANT DES ESPÈCES EXISTANTES

*Nicotiana*: *sylvestris* (2N = 24) × *tomentosiformis* (2N = 24) = *N. tabacum* (2N = 48) Kostoff, 1938.

*Brassica*: *oleracea* (2N = 18) × *campestris* (2N = 20) = *B. napus* (2N = 38) U. Nogahru, 1934/35.

*Galeopsis*: *pubescens* (2N = 16) × *speciosa* (2N = 16) = *G. tetrahit* (2N = 32) Muntzing, 1932.

*Triticum*: *turgidum* (2N = 28) × *Aegilops squarrosa* (2N = 14) = *T. spelta* (2N = 42) Mc. Fadden and Sears, 1946.

*Gossypium*: *arborescens* (2N = 26) × *thurberi* (2N = 26) = *G. hirsutum* (2N = 52) Harland, 1940-Beasley, 1940/42.

O.R.S.T.O.M.

(\*) O.R.S.T.O.M., B.P. V51, Abidjan (Côte-d'Ivoire).

(\*\*) I.N.R.A., Domaine de Crouelle, 63100 Clermont-Ferrand

Fonds Documentaire

N° : 1790

Cote B

Date : 9 AOUT 1982

ANNEXE II

AMPHIPLOÏDES OBTENUS DANS DES GROUPES D'INTÉRÊT AGRONOMIQUE  
(Autres que *Triticae*)

- Gossypium*: Beasley (1940), Harland (1940), Brown (1949), Stephens (1942/49), Gerstel (1956).  
*Nicotiana*: Clausen et Goospeed (1925), Gerstel (1960).  
*Festulolium*: Buckner *et al.* (1961), Evans and Macefield (1973), Sulinowski (1973).  
*Raphano-Brassica*: Karpechenko (1927), Kondo (1942), Chopinet (1942).  
*Autres groupes*: Solanum, Cucurbita, Trifolium, Ribes.

ANNEXE III

QUELQUES AMPHIPLOÏDES OBTENUS DANS LES TRITICINAE

Triticum 4X × T. monococcum (et autres 2X)	(6X)	Thompson (1931), Riley (1959).
Triticum 4X × T. timopheevi	(8X)	Zhebrak (1939/1957), Riley (1959).
Aegilops sp. × T. timopheevi	4X, 6X	Cité par Riley (1959).
Aegilops sp. × Triticum 4X	6X, 8X	Cité par Riley.
Aegilops Ventricosa × Triticum 4X	8X	Simonet (1957), Riley (1959), Y. Cauderon (1959), in Simonet.
Triticum 4X × Agropyron 4X et 6X	8X, 10X	Riley (1959).
— × Agropyron elongatum 6X	6X	Jenkins <i>et al.</i> (1957).
— × Agropyron glaucum	12X	Peto & Boyes (1940).
Triticum 6X × Agropyron 10X	(amphi partiel)	Simonet (1957).
— × Agropyron 6X	8X	Y. Cauderon (1958).
Triticum 6X × Secale cereale	8X	Muntzing (1939), Pissarev (1957), Riley (1959) Y. Cauderon (1961).
— × Haynaldia villosa	8X	Sears (1953).
Triticum 4X × Secale cereale	6X	Derzhavin (1938), O'Mara (1948), Nakajima (1942), Sanchez-Monge (1959).
Triticum 6X × Elymus	8X	Pissarev <i>et al.</i> (1944).
Aegilops umbellulata × Haynaldia villosa	4X	Sears (1941).

En fait, à partir de ce matériel, et pour se rapprocher des types cultivés, les cytogénéticiens ont créé toute une gamme de lignées d'addition et de substitution chromosomique, par recroisement des amphiploïdes avec le parent cultivé. Ce genre de travail a massivement été fait autour du Blé tendre, auquel on a apporté des chromosomes de Seigle, d'Agropyron, d'Aegilops, etc. (annexe IV). Quelques auteurs sont allés plus loin dans la réduction de l'apport génétique étranger, et son insertion dans le patrimoine génétique de l'accepteur : par action au

## ANNEXE IV

### QUELQUES LIGNÉES D'INTROGRESSION

#### LIGNÉES D'ADDITION :

- Blé-Agropyron*: Y. Cauderon (1958-1966), Wienhues *et al.* (1963).  
*Blé-Seigle*: Riley *et al.* (1958), Evans et Jenkins (1963), Bernard (1976).  
*Blé-Aegilops*: Maan (1975), Dosba (1978), Endo (1979).  
*Blé-Haynaldia*: Hyde (1953).  
*Blé-Orge*: Islam *et al.* (1979).

#### LIGNÉES DE SUBSTITUTION

- Blé-Agropyron*: Schlehuber *et al.* (1959), Hurd (1959), Knott (1964), Wienhues (1966), Anderson *et al.* (1967), Larson *et al.* (1973).  
*Blé-Seigle*: Katterman (1938), O'Mara (1946), Jenkins (1957-1966), Sears (1968), Driscoll (1968).  
*Blé-Aegilops*: Riley *et al.* (1966).

#### LIGNÉES DE TRANSLOCATION

- Blé-Agropyron*: Elliott (1957), Knott (1964-1968), Driscoll (1968), Sears (1972), Wienhues (1973).  
*Blé-Aegilops*: Sears (1956), Riley *et al.* (1968), Dosba et Doussinault (1973), Delibes et Garcia-Olmedo (1973).  
*Blé-Seigle*: Driscoll (1968), Bartos *et al.*, Zeller, Mettin, *etc.* (1973).

niveau des systèmes génétiques contrôlant les appariements chromosomiques, ou par utilisation des techniques d'irradiation, ils ont créé des lignées dites de « translocation ».

Il s'agit là de démarches principalement destinées à évaluer la validité de certaines méthodes et hypothèses, et elles correspondent indubitablement à une réussite sur le plan scientifique. Ces travaux ont montré qu'il est possible d'intégrer dans une espèce un élément génétique d'une autre espèce et de le faire fonctionner ; ils ont aussi démontré la réalité d'affinités génétiques entre paires chromosomiques appartenant à des espèces voisines mais nettement différentes. Cependant, dans la grande majorité des cas, les lignées obtenues n'ont pas fait l'objet d'une exploitation agronomique directe. En effet, elles présentent fréquemment soit une insuffisance de stabilité chromosomique, soit une insuffisance de productivité, les rendant impropres à ce genre d'exploitation.

Pourtant, il existe des formes introgressives — que l'on peut qualifier de « spontanées » — qui correspondent à des réussites agronomiques. On connaît des cultivars de Blé qui ont incorporé dans leur patrimoine génétique un chromosome — ou un fragment de chromosome — de Seigle ou d'Agropyron. Sur le plan méthodologique, elles diffèrent des précédentes en ce sens qu'elles ont été obtenues à la suite d'une cascade d'hybri-

dations, qui ont favorisé les recombinaisons et le modelage des génotypes par sélection « naturelle » ou « dirigée ».

En France, la variété I.N.R.A. de Blé tendre Roazon a été sélectionnée dans les descendance du croisement VPM\* × Moisson (Doussinault et al., 1978) : sa résistance au Piétin verse provient de *Aegilops ventricosa*, par introgression de gènes du génome D<sup>v</sup> de l'*Aegilops* au génome D du Blé tendre. De même, dans le genre *Helianthus*, la lignée HIR 34 ( $2n = 34$ ), qui a été isolée dans les descendance d'une lignée d'addition Topinambour-Tournesol ( $2n = 36$ ), porte un gène de résistance provenant du Topinambour (Leclercq et al., 1971).

En fait, de nombreuses situations analogues, appartenant aux deux types introgressifs précédemment cités, peuvent être retrouvées dans un certain nombre de groupes végétaux (*Gosypium* - *Coffea* - *Helianthus*).

Les réflexions nées de ce genre de travail ont conduit à tenter de développer les travaux de sélection sur certains amphiploïdes. Nous allons illustrer les perspectives d'amélioration génétique qu'offrent l'amphiploïdie et l'introgression grâce à deux exemples concernant des groupes très différents : le Triticale et les *Coffea*.

## Exemple 1 : LE TRITICALE

### a) Historique

L'hybridation Blé × Seigle a naturellement été tentée dans les zones où le Blé et le Seigle sont sympatriques et cultivés (voisinage du 50° parallèle de latitude Nord) : elle a donc impliqué le Blé tendre (*Triticum aestivum*,  $2n = 42$ ), espèce autogame, et le Seigle (*Secale cereale* L.  $2n = 14$ ), espèce allogame et très sensible à la consanguinité. L'optique était d'obtenir un Blé qui aurait incorporé dans son patrimoine héréditaire la « rusticité » du Seigle — résistance au froid, aptitude à pousser en sols pauvres — et conservé l'aptitude du Blé tendre à la panification.

Les F1 étant stériles, la solution de l'amphiploïdisation — rendue possible au laboratoire par l'utilisation de la colchicine — semblait la seule praticable. Entre 1933 et 1950, la création d'amphiploïdes primaires Blé tendre × Seigle = Triticale octoploïde ( $2n = 8x = 56$ ) a été réalisée plus ou moins intensivement dans un certain nombre de pays : Suède, U.R.S.S., Suisse. Généralement, ces amphiploïdes primaires ont été recroisés entre eux, et leurs descendance examinées et sélectionnées

suivant un schéma « plante autogame ». De tels travaux ont permis à Müntzig (Suède) et Pissarev (U.R.S.S.) (Lund, 1963) de mentionner l'obtention de lignées dont le niveau de rendement était assez proche de celui du Blé.

Déjà à cette époque, sont apparues dans les pépinières des formes de Triticale hexaploïde ( $6x, 2n = 42$ ), provenant de croisements entre le groupe des Blés durs (*T. turgidum*,  $2n = 28$ ) et le Seigle (*S. cereale*...) (Nakajima, 1942, Derzhavin, 1938, Sanchez-Monge, 1956). Les hybrides ont généralement été obtenus grâce à la culture d'embryons. Présentant le travail déjà réalisé en Espagne, Sanchez-Monge (1959) pense que les potentialités de production de la forme hexaploïde sont supérieures à celles de la forme octoploïde : la plante semble plus vigoureuse, et l'épi plus important. Il avance deux raisons :

- un niveau de ploïdie plus « convenable » ( $6x$  au lieu de  $8x$ );
- l'élimination du génome D, supposé peu intéressant sur le plan morphogénétique (Shebeski, 1959).

De plus, certains auteurs (Jenkins, Kiss, Pissarev) ont alors entrepris des travaux d'hybridations entre l'« ancien » matériel octoploïde et le « nouveau » matériel hexaploïde, et obtenu des formes dites secondaires de Triticale hexaploïde, issues de ce genre d'hybridation.

Ces différents travaux montrent que l'on a mis à profit les phénomènes de « recombinaison ». Par contre, une controverse est apparue quant à l'intérêt de l'utilisation de Seigles consanguins en croisement avec les Blés. Certains auteurs (Müntzig, Pissarev) pensent que l'utilisation de Seigles « préparés à l'homozygote » doit faciliter les progrès ultérieurs. D'autres (notamment Sanchez-Monge, 1959) ont montré que, au niveau des amphiploïdes primaires, l'utilisation de lignées de Seigle consanguines ne détermine pas une amélioration significative de la fertilité.

#### b) Travaux français

Pour ce qui concerne les recherches françaises en matière de Triticale, le schéma suivi est analogue à celui que nous venons d'esquisser au niveau international.

#### b1) Obtention du matériel de premier cycle

Au cours de la période 1958-1966, un effort important de création de *Triticale octoploïdes primaires* a été entrepris à Clermont-Ferrand par M<sup>me</sup> Cauderon. Dans ce travail, l'utilisation

de lignées consanguines de Seigle ne donne pas systématiquement des Triticales présentant une bonne fertilité de l'épi. Les résultats obtenus à partir du plan de croisement réalisé ont montré qu'il est très difficile de mettre en évidence, au niveau des parents Blé et Seigle, une aptitude « générale » à la combinaison quant à la valeur des Triticales primaires obtenus. Ceci souligne le caractère aléatoire de ce que l'on peut appeler une « aptitude à la combinaison interspécifique ». En 1969, une partie du matériel octoploïde français obtenu dans cette première phase a été combinée avec quelques lignées hexaploïdes américaines sélectionnées par Jenkins (Y. Cauderon, 1970). Ce dernier type de matériel apportait une fertilité d'épi intéressante : néanmoins, son niveau de rendement ne dépassait pas 50 qx dans les conditions de Clermont-Ferrand. Le matériel français apportait sa précocité, une taille courte, son adaptation aux conditions climatiques locales.

Les descendances des croisements réalisés se sont stabilisées en F3/F4 au niveau hexaploïde. Dans certaines d'entre elles, nous avons sélectionné des lignées offrant des combinaisons de caractères compatibles avec une utilisation agronomique : taille raisonnable (120-140 cm), avec une résistance à la verse correcte ; épi offrant une bonne fertilité ; grain de qualité acceptable.

Grâce aux réseaux d'essais I.N.R.A. et I.T.C.F. nous avons pu isoler à partir de 1976-1977 des lignées susceptibles d'offrir un comportement agronomique réellement satisfaisant. Deux

#### ANNEXE V

##### RÉSULTATS DES ESSAIS COMPARATIFS ITCF\* : BLÉ-SEIGLE-TRITICALE (qx/ha)

	1978	1979	1980
Blé . . . . .	55,2	53	55,8
Seigle . . . . .	59	57,6	56,8
Triticale . . . . .	59,4	57,6	58,5
Nombre d'essais . .	15	16	16

Régression des rendements (qx/ha) Triticale/Blé :  $Y_T = 0,67 \times B + 20,3$   
( $r = 0,73$ ).

(\*) I.T.C.F. = Institut Technique des Céréales et des Fourrages.

de ces lignées sont actuellement en cours de multiplication (Clercal et Clervix) : l'une est offerte à la commercialisation depuis l'automne 1980.

Malgré une relative sensibilité au froid (liée à leur type de développement alternatif) et à certaines maladies, ces lignées présentent une production élevée et assez régulière. Ce comportement est mis en évidence par les résultats d'essais multiloceaux réalisés ces trois dernières années sur le territoire national par l'I.T.C.F. (annexe V).

### b2) Rétablissement de l'équilibre méiotique

Par rapport à ses parents, et plus généralement au matériel antérieur, le matériel hexaploïde français se caractérise par une excellente fertilité en autofécondation, et un comportement méiotique remarquablement régulier.

Cette régularisation des comportements méiotiques — sur laquelle la sélection n'a pu agir qu'indirectement — doit être soulignée. Elle représente un bon exemple d'un type possible d'évolution d'un système sous-jacent à la biologie de reproduction d'une structure amphiploïde. Un triticales primaire présente généralement un taux d'asyndèse assez élevé : cette asyndèse concerne essentiellement les chromosomes de Seigle (on dispose d'un certain nombre d'éléments tendant à le prouver). Par exemple, le comportement méiotique est fortement perturbé chez les Seigles consanguins, contrairement aux hétérozygotes où l'appariement est régulier.

Ce type d'observations apparaît très atténué au niveau du matériel sélectionné pour ses performances agronomiques : tout se passe comme si ce matériel avait retenu des génotypes « promoteurs d'appariement homologue à l'état homozygote » au niveau de la composante « Seigle ».

La sélection que cela suppose peut avoir porté soit sur la structure même des chromosomes constitutifs de ces génotypes, soit sur les systèmes génétiques contrôlant la méiose. La première hypothèse s'appuie sur la disparition de télomères, signalée par différents auteurs. La deuxième s'appuie sur l'observation des méioses d'hybrides Triticales  $\times$  Seigle. Sur des hybrides de ce type impliquant des lignées hexaploïdes françaises et des Seigles consanguins, nous avons régulièrement observé un appariement entre chromosomes homéologues (génomés A et B, parfois R du Seigle). Un tel appariement n'a généralement pas été observé sur d'autres types de matériel. Des réponses plus précises quant à l'existence, chez le Seigle, d'une varia-

bilité génétique pour le contrôle des appariements chromosomiques, et son évolution en fonction du régime de biologie florale, seront approuvées prochainement.

### b3) *Formes introgressives*

Le programme actuel de sélection poursuivi à l'I.N.R.A. a pour objectifs l'amélioration de certains caractères concernant la qualité du grain, le comportement vis-à-vis d'accidents climatiques et cultureux, la facilité de battage. Nous faisons largement appel aux rétrocroisements Triticale  $\times$  Blé et Triticale  $\times$  Seigle. Ces croisements permettent de créer des structures largement introgressives, par recombinaison intrachromosomique (principalement au niveau des génomes homologues) ou interchromosomique (au niveau de génomes homéologues). Des exemples de méthodologies favorisant les introgressions seront développés plus loin.

Les croisements entre Triticale et Seigle ont également permis (Krolow, 1973, Bernard, 1977) de faire apparaître une nouvelle « espèce » : il s'agit d'une structure à  $2n = 28$ , possédant le génome complet du Seigle, et un groupe de 7 paires de chromosomes provenant des génomes A et B du Blé. L'obtention directe d'une telle forme de Triticale, dite « tétraploïde », par croisement direct entre Blés diploïdes (groupe « aegiloploïdes ») et Seigle, n'a à ce jour pas été réalisée. Ces formes sont évidemment beaucoup moins productives que les Triticale  $6x$  actuels.

Des résultats récents ont montré que sur notre matériel les chromosomes d'origine Blé sont pour la plupart des « mixochromosomes » (partie A, partie B), donc qu'ils dérivent très directement des appariements homéologues qui sont intervenus au niveau des hybrides F1.

L'obtention de telles structures, et les observations qui sont et seront faites, peuvent éclairer un certain nombre de phénomènes au niveau de la polyploïdisation des Blés. Elles montrent déjà qu'il peut y avoir des phénomènes de polyploïdisation « en retour » : obtention de  $4x$  à partir de croisements ( $6x \times 2x$ ). Elles permettront peut-être d'apporter des éléments quant à l'origine du génome B, sa parenté génétique avec le génome A, et expliquer en quoi l'association  $A + B$  a été nécessaire pour l'élaboration des structures polyploïdes chez les Triticinae.

### Exemple 2 : LES CAFÉIERS

L'hybridation interspécifique a été utilisée dans l'amélioration des caféiers cultivés dès le début du vingtième siècle, en même

temps que les méthodes habituelles de sélection intraspécifique, sous l'impulsion des Hollandais à Java (1).

Ce n'est qu'au cours de ces deux dernières décennies qu'un regain d'intérêt pour l'hybridation interspécifique des caféiers s'est manifesté au Brésil, en Inde, au Kenya, au Cameroun, mais surtout à Madagascar et en Côte-d'Ivoire, sous l'égide de l'O.R.S.T.O.M. (\*) et de l'I.F.C.C. (\*\*), organismes français de recherche dont le rôle international en ce domaine est largement reconnu.

Les chercheurs ont eu recours à l'hybridation interspécifique entre les deux espèces de caféiers cultivés (*Coffea arabica* et *C. canephora*) ainsi qu'aux croisements avec les espèces sauvages afin de conférer aux premières des caractères intéressants qui leur font défaut. Ainsi, les consommateurs s'accordent à reconnaître la qualité du café Arabica produit par l'espèce *C. arabica*, mais sa sensibilité aux maladies et son adaptation stricte aux zones tropicales humides d'altitude à climat contrasté sont autant de facteurs limitants de sa production et de son extension géographique. De ce fait, la culture de l'espèce *C. canephora*, plus tolérante à la plupart des aléas, s'est développée dans les régions tropicales de basse altitude, bien qu'elle produise un café de moindre qualité gustative et aromatique, avec une teneur en caféine élevée, connu sous le nom de café Robusta.

Je m'attacherai à présenter les réalisations les plus significatives obtenues chez les caféiers par l'amphiploïdie et l'introgression après un rappel succinct de nos connaissances sur l'organisation évolutive et les affinités cytogénétiques dans le genre *Coffea* (2).

Le genre *Coffea* est constitué d'une vingtaine d'espèces originaires d'Afrique — les *Eucoffea* — et d'une cinquantaine d'espèces de la région malgache, réputées sans caféine — les *Mascarocoffea*. On constate d'emblée la place particulière et l'originalité biologique de la principale espèce cultivée *C. arabica* : c'est la seule espèce tétraploïde ( $2n = 44$ ) à autogamie préférentielle dans le genre *Coffea* ; les autres caféiers étudiés sont diploïdes ( $2n = 22$ ) et généralement autostériles. Ces derniers ont conservé des structures chromosomiques homosequentielles et dériveraient du même génome de base A, avec des modifications limitées comme des remaniements chromosomiques.

L'espèce *C. arabica* a un comportement génétique et cyto-

\*) ORSTOM : Office de la recherche scientifique et technique outre-mer.

(\*\*) IFCC : Institut français du café, du cacao et autres plantes stimulantes.

gique de plante allotétraploïde. Ses deux sous-génomés constitutifs A' et A'' possèdent une certaine homéologie qui se traduit par la présence occasionnelle de multivalents et la formation de quelques bivalents chez les dihaploïdes de *C. arabica*. Sa synthèse a été envisagée avec des caféiers diploïdes d'origine africaine et plus précisément avec les formes spontanées apparentées à l'espèce-pivot *C. eugenioïdes* en croisement avec *C. canephora*, *C. congensis* ou *C. liberica*. Cette hypothèse a été confortée par la parenté des ADN mitochondriaux et la complémentarité des marqueurs enzymatiques (3).

a) *Les allopolyploïdes de caféiers*

Chez les caféiers diploïdes, l'absence de barrières reproductives marquées permet d'obtenir une infinité d'allodiploïdes par croisement des espèces prises 2 à 2. Les chromosomes des deux espèces parentales sont capables de s'apparier plus ou moins complètement et l'utilisation de ces allodiploïdes dépend de leur fertilité. Par exemple, les hybrides *Congusta* issus du croisement *C. congensis* × *C. canephora* se comportent comme des caféiers diploïdes. Par contre, les allodiploïdes à fertilité partielle comme les hybrides F1 *C. canephora* × *C. eugenioïdes* et *C. liberica* étudiés par Louarn n'ont d'intérêt pratique pour l'amélioration de l'espèce cultivée *C. canephora* qu'après restauration de leur fertilité.

Celle-ci a été tentée par duplication chromosomique des hybrides F1 : les chercheurs de l'O.R.S.T.O.M. ont obtenu dix combinaisons allotétraploïdes différentes par traitement à la colchicine soit des allodiploïdes, soit des espèces parentales avant croisement. Ces plantes auto- et allotétraploïdes présentent des caractéristiques communes : des cellules et des organes de grande taille, une croissance lente, une viabilité incomplète des gamètes bien que restaurée par rapport aux allodiploïdes peu fertiles, une faible production de fruits. Comme on pouvait s'y attendre les structures allotétraploïdes ainsi créées manifestent une tendance à l'appariement des chromosomes d'origine spécifique différente (3 à 5 associations multivalentes par CMP) qui s'apparente plutôt au comportement d'un organisme allotétraploïde. De plus, ces allotétraploïdes artificiels tolèrent mal l'homozygotie induite par le doublement chromosomique de génotypes diploïdes fortement hétérozygotes. Il faudrait modifier les effets géniques pour rendre ces systèmes équilibrés et fertiles par plusieurs générations de sélection. Par exemple, Capot (4) évoque les réelles possibilités d'amélioration de la vigueur

hybride et de la fertilité des autotétraploïdes de *C. canephora* après trois générations de sélection. Nous appliquons ce schéma aux allotétraploïdes obtenus en cherchant à maximiser l'hétérozygotie par des croisements à quatre voies.

Un autre caféier tétraploïde a été étudié en Côte-d'Ivoire pour améliorer la qualité du café Robusta. Il s'agit d'un hybride F1 appelé *C. arabusta* obtenu par croisement de *C. arabica* avec des souches de *C. canephora* autotétraploïdes (4). Cette nouvelle structure amphiploïde particulière se caractérise par sa vigueur, un gain qualitatif significatif, une fertilité moyenne et une structure génétique non-fixée. Celle-ci se manifeste par une hétérogénéité extrême des descendances issues soit de croisements entre Arabusta, soit de leur recroisement par les espèces parentales. Néanmoins, la structure génomique et la fertilité des premiers hybrides Arabusta ne sont pas entièrement satisfaisantes. Ils présentent en effet des répartitions chromosomiques déséquilibrées résultant d'appariements irréguliers dans la structure A1 A1 A' A'' et aussi des phénomènes de régulation de la méiose. Plusieurs voies d'amélioration sont à l'étude.

- 1) La vigueur hybride résultant de la confrontation de génomes et de génotypes différents chez l'Arabusta peut être modulée en accroissant la diversité allélique par le croisement d'autotétraploïdes de *C. canephora* à structure tétragénique avec des souches hétérozygotes F1 ou F2 de *C. arabica*; le choix des géniteurs des deux espèces parentales paraît primordial car la valeur des descendants dépend avant tout de leur aptitude spécifique à la combinaison.
- 2) Toutes ces actions ne permettent pas de lever les barrières liées aux affinités partielles des génomes confrontés. Ne pourrait-on pas trouver dans la diversité des caféiers diploïdes un génome Ai manifestant une meilleure affinité avec *C. arabica*? Cette question est à l'étude grâce à la création d'une multitude d'hybrides de type Arabusta dans lesquels *C. canephora* est remplacé par diverses espèces de caféiers diploïdes tétraploïdisés ou leurs allotétraploïdes.

Une dernière structure allopolyploïde fertile, de niveau hexaploïde, a été obtenue par duplication chromosomique des hybrides triploïdes stériles issus du croisement de *C. arabica* avec les caféiers diploïdes. La première étude cytologique d'un hybride hexaploïde *C. arabica* × *C. resinosa* (*Mascarocoffea*)

indique un appariement diploïde des trois génomes en présence, c'est-à-dire un comportement chromosomique plus régulier que chez les Arabusta. Il est certain que les inconvénients liés à l'homozygotie des structures issues du doublement chromosomique se retrouvent chez tous les hybrides hexaploïdes. En outre, ils possèdent un dosage prédominant du parent *C. arabica* qui se traduit chez les hybrides *C. arabica* × *C. canephora* étudiés par Berthaud, Le Pierres et Anthony par les caractéristiques suivantes : autofertilité, bonne qualité du café, mauvais comportement en basse altitude.

b) *Les formes introgressives chez les caféiers*

La plupart des allopolyploïdes du genre *Coffea* dont nous venons de parler présentent des irrégularités méiotiques et des défauts de fertilité. Outre l'amélioration de ces structures hybrides, il a paru dans certains cas plus judicieux de restaurer la fertilité des hybrides par une série de croisements en retour par le parent cultivé qui aboutissent à des formes introgressées diverses.

Dans les pays de culture de *C. arabica* comme le Brésil, le Kenya et l'Inde, l'hybride Arabusta n'ayant pas d'intérêt par lui-même, sert de relais au transfert des caractères de tolérance à *Hemileia* spp. et au *Colletotrichum coffeanum* de *C. canephora* qui font défaut aux cultivars de *C. arabica*. Après quatre/cinq cycles de rétrocroisements par le parent récurrent *C. arabica* avec sélection des individus équilibrés et résistants, les chercheurs brésiliens ont créé la population tétraploïde fertile nommée ICATU qui répond à l'objectif fixé (5). Tout autre caféier diploïde porteur d'une caractéristique intéressante pourrait entrer dans un tel schéma de sélection (fig. 1).

Les structures triploïdes et hexaploïdes de l'hybride *C. arabica* × *C. canephora* en recroisement par *C. arabica* donnent des descendance hybrides possédant différents niveaux de ploïdie, différents dosages géniques et des fertilités variées. On a obtenu des descendance de 2<sup>e</sup> génération à partir des hybrides triploïdes *C. arabica* × *C. canephora* et *C. arabica* × *Mascarocoffea* constituées d'individus tétraploïdes, pentaploïdes et aneuploïdes mettant en jeu des gamètes non-réduits. L'étude de deux hybrides pentaploïdes, de fertilité moyenne, appartenant à la combinaison (*C. arabica* × *C. resinosa*). *C. arabica* indique un comportement méiotique irrégulier, avec un fort taux d'asyn-

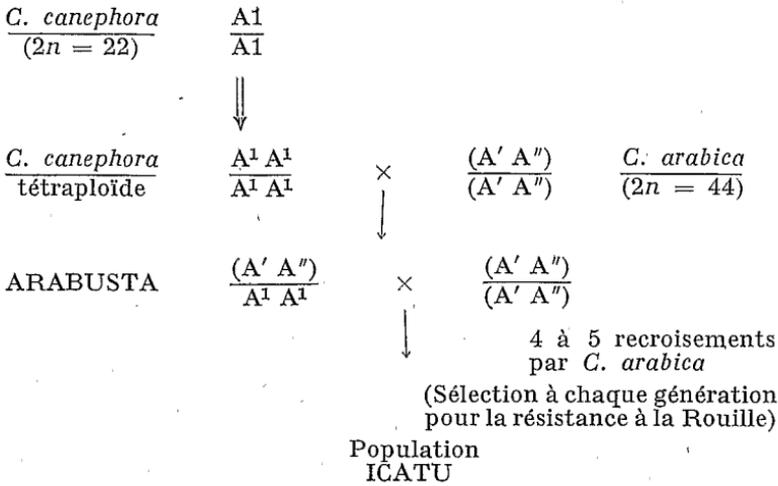


FIG. 1. — Obtention des hybrides Arabusta et de lignées introgressives de *C. arabica*.

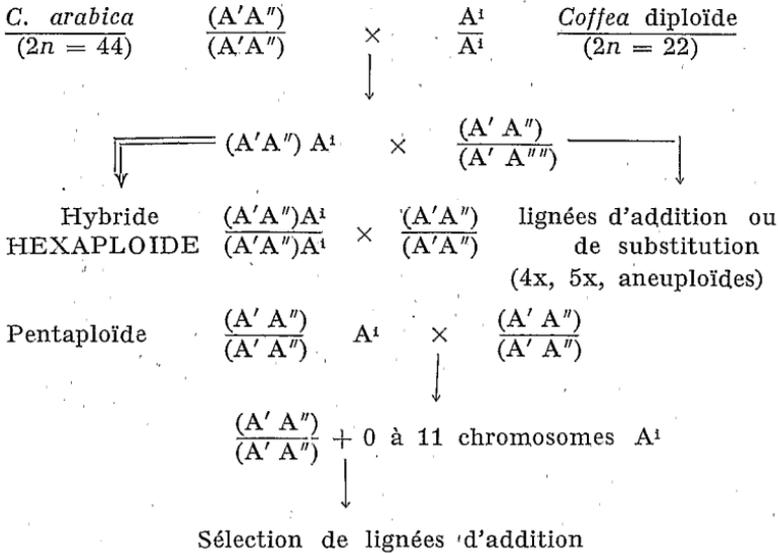


FIG. 2. — Obtention des hybrides hexaploïdes et de lignées d'addition ou de substitution.

dèse. Des lignées d'addition et de substitution sont en cours d'obtention selon les schémas de la figure 2.

Il est aussi possible d'obtenir des formes introgressives chez les caféiers diploïdes par recombinaison ou transfert d'un élément chromosomique de l'espèce sauvage dans le génome de l'espèce cultivée *C. canephora*. Les descendances de 2<sup>e</sup> génération issues des croisements entre allodiploïdes et des recroisements par *C. canephora* sont actuellement à l'étude: on obtient quelques individus fertiles ayant introgressé des caractéristiques du parent sauvage.

Les différentes voies d'amélioration des caféiers cultivés par hybridation interspécifique que nous venons d'envisager succinctement, aboutissent à leurs premières applications.

Citons d'abord l'amélioration de *C. arabica* par le transfert de tolérances aux principales maladies. L'intérêt porté à cet objectif a été amplifié depuis une décennie par l'extension rapide de la rouille foliaire due à *Hemileia vastatrix* en Amérique et de l'anthracnose des baies due à *Colletotricum coffeanum* en Afrique. Les premiers cultivars possédant des résistances issues de *C. canephora* comme Catimor et Icatu font actuellement l'objet d'essais multilocaux d'adaptation au Brésil, au Kenya (5, 6), et leur vulgarisation est entreprise.

Mentionnons aussi l'intérêt de l'hybride Arabusta pour l'amélioration qualitative de la caféiculture des régions où la production de café Robusta est la seule possible. Les premiers clones créés par l'I.F.C.C. sont actuellement expérimentés en Côte-d'Ivoire sur 500 ha au centre d'étude de l'Arabusta qui permet la mise au point des méthodes agronomiques et technologiques, l'observation du comportement des caféiers, la production de café Arabusta destiné à la promotion du produit. En 1981, 300 tonnes de ce nouveau café ont été commercialisées. La Côte-d'Ivoire a prévu un programme de plantation de 25 000 ha de caféiers Arabusta au cours des prochaines années et la sélection de clones plus productifs est activement poursuivie.

Par contre, les applications possibles des programmes d'hybridation interspécifique au niveau diploïde développés plus récemment ne pourront être jugées avant 1985.

Ces travaux de l'O.R.S.T.O.M. et de l'I.F.C.C. sur les caféiers sont sous-tendus par l'étude et l'emploi de la diversité génétique des espèces sauvages aussi bien que cultivées, grâce à un effort de prospection, avec mise en collection de plusieurs milliers de génotypes (7).

## CONCLUSION

A la lumière des travaux présentés et compte tenu de la réussite agronomique de quelques amphiploïdes et formes introgressives pour lesquels un effort réel de sélection a été entrepris, d'autres succès paraissent possibles sur la base des principes généraux suivants :

- 1) Une meilleure connaissance des mécanismes évolutifs et des relations génétiques existant au sein du complexe d'espèces concerné ;
- 2) Le modelage des types nouvellement créés par le jeu de la recombinaison et de la sélection naturelle ou dirigée au cours des générations ;
- 3) L'accroissement de la diversité génétique du matériel végétal cultivé et sauvage utilisé dans les programmes d'hybridation interspécifique.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

### A. — *Coffea*

- (1) CRAMER (P. J. S.), 1957. — Sic Editorial, IIAS, Turrialba, Costa Rica; 262 p.
- (2) CHARRIER (A.), 1976. — Mémoires ORSTOM n° 87, ORSTOM Paris, 304 p., 22 fig., 54 tabl., 15 pl., multigr.
- (3) BERTHOU (F.), TROUSLOT (P.), HAMON (S.), VEDEL (F.), QUETIER (F.), 1980. — *Café, Cacao, Thé*, XXIV, 4, 313-326.
- (4) CAPOT (J.), 1975. — ASIC, 7° Colloque, pp. 449-457.
- (5) MONACO (L. C.), CARVALHO (A.), 1975. — ASIC, 7° Colloque, 497-504.
- (6) VAN DER VOSSEN (Ham), WALYARO (D. J.), 1980. — *Euphytica*, 29, 777-791.
- (7) GUILLAUMET (J. L.), BERTHAUD (J.), LE PIERRES (D.), LOURD (M.), — ASIC, 1977.

### B. — *Triticale*

- CAUDERON (Y.), SAIGNE (B.), 1961. — *Ann. Amélior. Plantes*, 11 (3), 369-373.  
CAUDERON (Y.), 1981. — *Industries des céréales*, 10, 3-9.  
MUNTZING (A.), 1963. — Proc. 2nd Int. *Wheat Genet. Symp.*, LUND, Hereditas, suppl., 2, 291-300.  
PISSAREV (V.), 1963. — Proc. 2nd Int. *Wheat. Genet. Symp.*, LUND, Hereditas, suppl., 2, 279-290.  
SANCHEZ-MONGE (E.), 1959. — Proc. 1st Int. *Wheat. Genet. Symp.*, WINNIPEG, 1958 (181-194).

### C. — *Triticinae* (Introgression)

- BERNARD (M.), 1976. — *Ann. Amélior. Plantes*, 26, 1, 67-91.  
CAUDERON (Y.), 1966. — *Ann. Amélior. Plantes*, 16, 43-70.  
DOSBA (F.), DOUSSINAULT (G.), 1978. — Proc. 8th Eucarpia Congress, Madrid, Spain, 1977.

- DRISCOLL (C. J.), 1968. — *Proc. 3rd Inter. Wheat. Genet. Symp.*, Camberra, 1968.
- EVANS (L. F.), JENKINS (B. C.), 1960. — *Can. J. Genet. Cytol.*, **2**, 205-215.
- KNOTT (D. R.), 1979. — *Proc. 5th Inter. Wheat. Genet. Symp.*, New-Delhi, 1978.
- RILEY (R.), 1960. — *Heredity*, **14**, 89-100.
- RILEY (R.), CHAPMAN (V.), JOHNSON (R.), 1968. — *Genet. Res. Camb.*, **12**, 199-219.
- SEARS (M.), 1957. — *Ann. Amélior. Plantes*, **4**, 395-411.
- SIMONET (M.), 1957. — *Ann. Amélior. Plantes*, **4**, 395-411.
- WIENHUES (A.), 1963. — *Proc. 2nd Int. Wheat. Genet. Symp.*, Lund 1963.