

UN REGARD SUR QUARANTE ANS D'AMELIORATION GENETIQUE DU PALMIER A HUILE (*ELÆIS guineensis*) ET SON IMPACT SUR LA FILIERE.

T. DURAND-GASSELIN, B. COCHARD, P. AMBLARD, H. de FRANQUEVILLE.

Résumé.

La pulpe du fruit de palmier contient environ 50 % d'une huile riche en carotène. Très tôt, l'Homme a su l'utiliser en même temps que celle contenue dans l'amande du fruit. L'Homme utilise également la sève qui fermente spontanément (vin de palme), les feuilles pour la confection de toitures ou de cloisons, et enfin les très jeunes feuilles (le chou palmiste) qu'il est possible de consommer.

L'huile de palme est en passe de devenir la première source de corps gras végétal du monde. Le palmier à huile est cultivé sur presque 7 millions d'hectares situés dans la zone intertropicale humide. Les programmes de replantation du verger et son extension, qui demeure très vive, suscitent un marché d'environ 120 millions de graines par an et la concurrence entre les obtenteurs est vive.

Cependant, le palmier à huile est une plante dont l'amélioration génétique est relativement récente. Les plantations subspontanées exploitées entre les deux guerres mondiales en Afrique ne produisaient que 0,5 tonne d'huile par hectare et par an. Aujourd'hui, il est possible de proposer un matériel qui dans les écologies favorables produit 7 à 8 tonnes d'huile par hectare par an.

L'amélioration génétique du palmier à huile a connu plusieurs étapes importantes. Avant la première guerre mondiale, des sélections massales étaient réalisées, essentiellement en Asie. Vers 1955, l'hétérosis existante dans les croisements entre les sélections réalisées en Asie et celles réalisées en Afrique a été mise en évidence. Pour l'exploiter, un schéma de sélection récurrente réciproque a été adopté, et deux cycles de sélection ont été menés entre 1960 et aujourd'hui. Les programmes de sortie variétale permettent d'intégrer dans les semences vulgarisées le progrès génétique réalisé en expérimentation. Il est estimé à un peu plus de 40 % depuis 1960.

Les semences de palmier à huile sont des hybrides de familles de pleins frères. Cela pose notamment les deux problèmes suivants :

1 - la biologie florale du palmier à huile, plante monoïque temporelle, impose la réalisation de croisements par fécondations contrôlées. Un défaut de légitimité fait chuter la production de plus de 50 %.

2 - les graines de palmier à huile sont semi-récalcitrantes et leur germination est difficile à obtenir : elles doivent être fournies germées, aux planteurs ce qui rend leur distribution bien particulière.

Enfin, s'agissant d'une plante pérenne, des stratégies d'amélioration durable pour la résistance aux maladies sont recherchées. L'exemple de la réussite obtenue pour la résistance à la fusariose est présenté. En Afrique, où cette maladie est endémique, l'investissement palmier des planteurs est ainsi mieux sécurisé.

Le renouvellement du verger étant réalisé sur 30 ans, l'impact de nouvelles sélections sur la filière ne peut être que très lent même si le temps nécessaire à l'adaptation des champs semenciers à ces nouvelles obtentions est très réduit.

I. - Introduction

L'aire de répartition du palmier à huile se situe dans la ceinture intertropicale. Il est originaire d'Afrique, Golfe de Guinée et Bassin du Congo, où il est encore exploité de manière traditionnelle. Très tôt, l'Homme a su l'utiliser en même temps que celle contenue dans l'amande du fruit (Photo 2). L'Homme utilise également la sève qui fermente spontanément (vin de palme), les feuilles pour la confection de toitures ou de cloisons, et enfin il est possible de consommer les très jeunes feuilles (le chou palmiste) (Jannot, 2001). Peut-être faut-il attribuer au roi d'Abomey (aujourd'hui Bénin) Guézo (1818-1858), le premier développement d'une palmeraie à des fins commerciales. (Jannot, 2001). La production d'huile de palme au 19^{ème} siècle reste dominée par l'Afrique, elle

est réalisée principalement à partir de palmeraies subspontanées (au développement favorisé par l'Homme). Cependant, c'est véritablement en Asie du Sud-Est, Malaisie et Indonésie, que la culture intensive du palmier à huile s'est d'abord développée dès le début du 20^e siècle pour devenir la zone principale de production d'huile de palme. Entre les deux guerres, son intensification débute lentement en Afrique. Depuis les années 1960, cette culture se développe également en Amérique Latine. Actuellement, la culture du palmier à huile occupe presque 7 millions d'hectares. La production d'huile de palme est passée d'environ 4 millions de tonnes en 1980 à 11 millions de tonnes en 1990. Les prévisions s'établissent à plus de 21 millions de tonnes en 2000.

Cette forte augmentation de la production devrait placer l'huile de palme au premier rang du marché des corps gras d'autant plus que l'extension du verger et les replantations demeurent très vives. Le palmier à huile est principalement cultivé par de grandes plantations industrielles de statut privé ou public mais on compte un nombre croissant de petits planteurs en Afrique comme en Asie.

La productivité du palmier à huile a également connu une croissance importante au cours du siècle passé. L'amélioration génétique y a pris une large part. Elle a connu un rythme de croissance assez comparable à celle obtenue pour des plantes annuelles de pays tempérés : elle a été de l'ordre de 1 % par an. Il est possible de dégager les étapes importantes qui ont marqué l'histoire de l'amélioration. Après une assez longue période de sélection massale, l'exploitation du gène « shell », dont l'hérédité a été découverte par Beirnaert en 1939, a apporté une amélioration de 30 % (voir encadré) (Beirnaert et Vanderweyen, 1941). Vers 1960, l'exploitation de l'hétérosis des croisements inter-origines apporte une nouvelle amélioration de 10 % environ (Gascon et de Berchoux, 1964). Enfin, deux cycles de sélection récurrente ont été achevés par différentes équipes et chacun a apporté 12 à 18 % d'amélioration de la productivité.

En 1991, la valeur moyenne des semences commerciales, plantées dans de bonnes conditions, était proche de 6,7 tonnes d'huile par hectare et par an (Nouy et al., 1991). Aujourd'hui, elle est de l'ordre de 7,4 t/ha/an (Durand-Gasselin et al., 1999 a). Ces gains quantitatifs ont été accompagnés de progrès qualitatifs importants comme la diminution de la vitesse de croissance, l'augmentation du pourcentage d'huile dans les régimes ou l'acquisition d'une forte résistance à la fusariose en Afrique de l'Ouest (de Franqueville et Renard, 1990).

Le progrès génétique disponible en expérimentation doit être intégré dans les semences vulgarisées au plus vite et en quantité suffisante. De nombreux obtenteurs, centres publics de recherches ou structures privées, localisés sur les principales zones de cultures couvrent le marché. Dans tous les cas et c'est assez original, les obtenteurs sont aussi les multiplicateurs de leurs créations variétales. Seule la germination des graines, opération délicate qui demande des installations particulières peut être confiée à un intervenant extérieur. Le matériel amélioré est fourni à l'utilisateur final sous différentes formes : la graine généralement germée, la plantule ou le plant prêt à planter. Le matériel est exporté d'un continent à l'autre uniquement sous forme de graines dans le respect des normes phytosanitaires de chaque pays.

La qualité du futur matériel végétal devrait être sensiblement améliorée par l'utilisation d'une base génétique élargie dans les programmes d'amélioration (Durand-Gasselin et al., 1999 b). En effet, les stations de recherche disposent d'une bonne diversité génétique rassemblée lors de nombreuses prospections réalisées en Afrique (pour *Elaeis guineensis*) et sur une espèce apparentée en Amérique latine (*Elaeis oleifera*). Ces collections apportent de nouveaux caractères de qualité de l'huile, de résistance à la fusariose, ou encore à une pourriture du cœur qui sévit en Amérique Latine.

2 - Historique rapide de l'amélioration génétique.

Il ne s'agit pas de reprendre en détail l'histoire de l'amélioration génétique du palmier à huile (Rosenquist, 1985, Hartley, 1988) mais de donner les points essentiels qui expliquent la genèse des principales étapes de la sélection. Pour chaque époque, on aura ainsi une idée de la qualité de l'offre en matériel végétal amélioré.

Hérédité de l'épaisseur de la coque.

L'épaisseur de la coque du fruit du palmier à huile est gouvernée par un gène (sh) de déterminisme de type Mendélien (Beirnaert et Wanderweyen, 1941). Il est codominant. Trois types de palmiers existent (photo 1 et figure 1) :

- le *dura* : homozygote sh⁺ dont l'épaisseur de la coque est supérieure à 2 mm,
- le *pisifera* : homozygote sh⁻ caractérisé par une absence de coque. Les arbres *pisifera* ont potentiellement le fruit le plus riche en pulpe et donc en huile, mais présentent des inflorescences femelles généralement stériles.
- le *tenera* : (sh⁺ sh⁻) dont l'épaisseur de la coque est inférieure à 2 mm. Les arbres *tenera* produisent 25 % d'huile en plus que les homozygotes *dura*. N'étant pas femelle stériles, ils sont les plus intéressants en plantation.

Les semences commerciales sont donc toujours des croisements du type *dura* x *pisifera*

2.1 - Les sélections massales.

Dans les années 1920, des sélections massales étaient effectuées en Asie du Sud-Est par les grandes plantations, au Congo Belge par l'INEAC et en Afrique Occidentale Française par quelques planteurs. Ces sélections ont donné, après deux à cinq générations, ce que Rosenquist (1985) appelle des « breeding populations of restricted origin » (BPRO)¹. En Asie, ces sélections ont été assez efficaces et ont permis l'installation de relativement grandes plantations pour l'époque. En Afrique, elles ont été perturbées par la disjonction d'un caractère contrôlant l'épaisseur de la coque (voir encadré). Les sélectionneurs réalisaient des croisements *tenera* par *tenera* qui étaient malheureusement fort peu intéressants car il y avait 25 % de palmier à fruits *pisifera* abortifs et 25 % de *dura* moins productifs. En Asie, où seuls des palmiers *dura* avaient été introduit en 1848 (Rosenquist, 1985), ce problème ne se posait pas.

La compréhension de l'hérédité de ce caractère marque la fin de cette époque (Beirnarert et Vanderweyen, 1941). C'est aussi à ce moment que sont développées les premières techniques efficaces de fécondations contrôlées. La forte dépression de consanguinité dans les autofécondations sera bientôt évoquée (fin des années 40).

2.2 - Expérience Internationale (après guerre 1946, plantée de 1950 à 1953)

A l'initiative de l'IRHO², cinq plantations échangent et inter-croisent leurs meilleurs géniteurs, issus de leurs propres sélections, dans le cadre de ce que l'on a appelé l'« Expérience Internationale ». Elle a donné des résultats tout à fait intéressants (Gascon et de Berchoux, 1964):

- La mise en évidence d'une variabilité importante entre les différentes populations étudiées
- Le caractère additif de l'hérédité du nombre et du poids moyen des régimes produits par les palmiers, composantes essentielles de la production.
- La supériorité des croisements inter origines sur les croisements intra origines en particulier lorsqu'il y a complémentarité. (Typiquement l'origine Deli³, développée en Asie, qui produit un petit nombre de gros régimes se combine bien avec l'origine la Mé, développée en Côte d'Ivoire, qui produit un grand nombre de petits régimes). Ce résultat a été exploité pour la production de semences (Bénard et Malingraux, 1965)

2.3 - Le premier cycle de sélection

Pour exploiter l'hétérosis existant dans les croisements réalisés entre certaines origines et les contraintes dues à la dépression de consanguinité, l'IRHO adopte dès 1957 un schéma de sélection récurrente réciproque inspiré des travaux réalisés sur le maïs (Comstock et *al.*, 1949). Le matériel est divisé en deux groupes hétérotiques A et B selon la complémentarité des caractères et son aptitude à bien se combiner avec le groupe réciproque. (Meunier et Gascon, 1972)

Schématiquement, le groupe A inclut les origines à petit nombre de gros régimes (le matériel initialement développé en Asie : Deli Socfin, Deli Guthrie, Deli Dabou et quelques populations africaines : Angola, ..) et le groupe B les origines à grand nombre de petits régimes (Origines d'Afrique centrale : Yangambi (RDC ex Zaïre), Sibiti (Congo) ou de l'ouest : la Mé (Côte d'Ivoire), Pobè (Bénin), Nigeria..).

De 1959 à 1970, 529 croisements A x B sont plantés en Côte d'Ivoire à la Mé et au Cameroun à Mondoni. Ces croisements exploitent une bonne partie du matériel réuni lors de l'Expérience Internationale et quelques introductions ultérieures. Ils sont réalisés sur une base génétique relativement large.

Les principaux résultats ont été :

- Le calcul de l'héritabilité des caractères dont une synthèse a été faite par Meunier et *al.* (1970).
- L'exploitation du premier cycle pour la sortie variétale qui a retenu quinze croisements (Gascon et *al.*, 1981).

Le progrès génétique réalisé au cours de ce cycle de sélection a été entièrement valorisé dans la sortie variétale à partir de 1976 (Gascon et *al.*, 1988). Alors que la moyenne des croisements issus de l'Expérience Internationale produisait environ 2 tonnes d'huile par hectare dans les conditions de Côte d'Ivoire, la moyenne des croisements du premier cycle produisait 3,3 tonnes d'huile par hectare et ceux sélectionnés 3,6 tonnes d'huile par hectare. Les conditions climatiques de Côte d'Ivoire se sont dégradées depuis (augmentation du déficit hydrique) et ces valeurs seraient aujourd'hui respectivement de 3,0 et 3,3 tonnes d'huile par hectare. (Tableau 1)

Dans le cycle de sélection suivant, on a cherché à renforcer cet acquis important.

1 populations améliorées à base génétique étroite (Par exemple: Marihat, Dolok Sinumbah, Bah Lias en Indonésie; Elmina, Chemara, Socfin en Malaisie; Yangambi, Ekona, la Mé en Afrique et bien d'autres encore)

2 Institut de Recherches pour les Huiles et Oléagineux.

3 Deli est une région de Nord Sumatra (Indonésie).

2.4 - Le deuxième cycle de sélection

Une grande partie du second cycle de sélection avait pour but d'exploiter la variation intra-familiale des autofécondations (voir encadré). Un cycle de sélection généalogique est réalisé à partir d'un croisement $A \times B$. Typiquement on compare des croisements réalisés entre les arbres issus de l'autofécondation de A et ceux issus de l'autofécondation de B. On est assuré d'un progrès génétique important tout en restant proche d'un matériel dont le comportement agronomique est bien connu. Dans la mesure où on dispose des autofécondations pour la sortie variétale, ce cycle de sélection peut être mis en place avant un cycle normal avec recombinaisons.

Par extension et puisque la sortie variétale l'utilisait aussi (figure 4) (Gascon et *al.*, 1981), des essais ont été plantés pour améliorer des ensembles du type $(A_1 \times A_2) \times B_{AF}$ ou encore $A_{AF} \times (B_1 \times B_2)$. Plus rarement, on a réalisé des essais $(A_1 \times A_2) \times (B_1 \times B_2)$. Ces quelques recombinaisons s'appuyaient cependant sur une base génétique assez étroite. De plus, elles étaient presque toujours intra « BPRO ». Au total à fin 1992, le second cycle comprenait plus de 1300 croisements (presque autant d'hectares) plantés dans un réseau d'essais répartis en Afrique et en Asie. Pour être plus complet, il faudrait ajouter des essais à but particulier qui ont été plantés au même moment dans le but d'étudier certains paramètres génétiques (Cao, 1995).

Note sur la biologie florale du palmier à huile.

Le palmier à huile est une plante monoïque temporelle. L'arbre émet alternativement des séries d'inflorescences mâles ou femelles : c'est une plante naturellement allogame (Beirnaert, 1935, Henry, 1957). Les arbres utilisés dans les programmes d'amélioration sont très hétérozygotes et il subsiste dans leur autofécondation une variance génétique importante

2.5 – Conclusion partielle

La figure 2 résume pour les quarante dernières années le progrès génétique réalisé pour la production en huile par hectare. Bien sûr, la valeur absolue est très variable d'une écologie à l'autre et en Asie, dans de bonnes conditions pédoclimatiques, les rendements sont le double de ceux observés en Afrique.

L'augmentation du rendement en huile par hectare n'a pas été le seul objectif poursuivi. La croissance en hauteur a également été largement réduite ce qui, à âge égal, facilite la récolte. L'âge de replantation étant généralement déterminé par la taille des arbres, il devient aussi possible de prolonger la durée d'exploitation de 5 à 7 ans environ et surtout de disposer d'une plus grande souplesse pour décider du moment de la replantation en fonction de critères économiques extérieurs (cours de l'huile de palme par exemple).

La production d'huile de palme est le produit d'une production de régimes par leur teneur en huile (taux d'extraction). Ce dernier augmente l'efficacité de la première transformation et permet une meilleure valorisation des investissements.

La résistance aux maladies est également un objectif prioritaire. Dans chaque continent sévit une maladie grave et des facteurs de résistance génétiques sont recherchés pour chacune d'elle.

Dans certaines régions d'Amérique Latine, des pourritures du cœur d'étiologie encore inconnue compromettent gravement la culture du palmier à huile (*Elæis guineensis*). Il existe des résistances dans un palmier du même complexe d'espèce (*Elæis oleifera*). Elles sont exploitées directement dans l'hybride interspécifique mais un programme de back cross est également en cours pour introgresser ces caractères de résistance dans le palmier à huile (*E. Guineensis*).

En Asie, une pourriture basale du stipe du palmier à huile (*Basal stem rot*), provoquée par *Ganoderma* sp., entraîne des pertes importantes dans certaines palmeraies d'Asie du Sud-Est, en particulier en replantation.

On commence à disposer de résultats et d'observations recueillis sur le terrain, sur du matériel végétal dont les origines sont rigoureusement connues, qui semblent confirmer l'existence de différences de comportement d'une origine à l'autre. Ces résultats pourraient être exploités, dans un premier temps, pour écarter les sources de sensibilité marquée et, dans un deuxième temps, pour élaborer une stratégie de sélection pour la résistance (de Franqueville et *al.* 2001). Cette maladie est également présente sporadiquement en Afrique et en Amérique Latine, où elle provoque moins de perte qu'en Asie du Sud-Est.

La fusariose, maladie fongique provoquée par *Fusarium oxysporum* f.sp. *elaeidis* (Foe), est l'un des principaux facteurs susceptibles de limiter la production du palmier à huile. Elle n'a jamais été observée en Asie, mais a été signalée au Brésil (Van de Lande, 1983) puis en Equateur où le foyer décelé demeure très peu actif. En Afrique par contre elle est présente à l'état endémique du Cameroun au Zaïre et du Zaïre à la Côte d'Ivoire (Meunier et *al.*, 1979; de Franqueville et Renard, 1990). En zone infestée, la fusariose peut détruire 25 % à 80 % des palmiers selon la nature du sol et du matériel végétal planté (Guldentops, 1962; de Franqueville, 1984).

La sélection de matériel résistant à la fusariose est actuellement la seule méthode de lutte satisfaisante. Il s'agit donc d'un objectif important pour l'Afrique, et en trente ans des progrès décisifs ont été réalisés. Nous en présentons ci dessous un cours résumé.

3 – Quarante ans d'amélioration génétique pour la résistance à la fusariose.

La fusariose est une maladie tellurique pour laquelle on observe deux types de symptômes (de Franqueville, 1984): une forme chronique, caractérisée par un fort ralentissement du développement du palmier qui peut végéter ainsi plusieurs années et une forme aiguë, qui entraîne en quelques mois la mort de l'arbre.

Un palmier sain d'apparence et produisant normalement peut abriter le pathogène; on parle alors de fusariose latente. Enfin on observe des rémission (guérisons), les palmiers retrouvant peu à peu un niveau normal de production (Renard *et al.*, 1993).

3.1 – Mise au point d'un test précoce de résistance dans les années 1970.

Un test précoce de la sensibilité du palmier à huile a été développé par Prendergast (1963) puis par Renard au début des années 1970 (Renard *et al.*, 1972). Ce test, basé sur l'inoculation de l'agent pathogène, a d'abord été développé en pépinière sur des plants âgés de cinq à treize mois puis a été appliqué en prépépinière sur des plants âgés de sept semaines. Il n'a subi depuis que des aménagements mineurs.

La corrélation entre le comportement des descendance dans le test précoce et en plantation a été vérifiée (Renard *et al.*, 1972; de Franqueville, 1984). Elle est élevée (0.7 à 0.8)(de Franqueville, 1984), et ce résultat est obtenu malgré un environnement forcément assez variable en plantation (facteurs cultureux, répartition de l'inoculum). Cependant, des différences de comportement ayant pu être observées chez quelques descendance entre le test et le champ, il est nécessaire de vérifier cette corrélation chaque fois qu'un type de matériel nouveau est testé.

Ce test est relativement lourd dans la mesure où il faut environ 200 graines germées par descendance à tester. Après inoculation, le développement de la fusariose est suivi par des relevés réguliers des symptômes externes, ce qui permet d'attribuer la mort d'un plant à la fusariose ou à une autre cause. Une lecture finale du test est faite en disséquant les plants pour rechercher les symptômes internes (fusariose latente).

Il est important de mener ces tests avec une souche de *FOE* suffisamment discriminante. Les souches que nous utilisons sont parmi les plus agressives (Flood *et al.*, 1993). A l'issue du test, un indice fusariose est attribué à chaque descendance. L'intervalle de confiance de cet indice étant élevé il est nécessaire de multiplier les tests.

La mise au point de ce test précoce a néanmoins permis de réaliser des avancées spectaculaires pour la sélection de matériel résistant à la fusariose.

3.2 – Nature de la résistance du palmier à huile à la fusariose.

Renard (Renard *et al.*, 1972; Renard et Meunier, 1983) considère que la résistance du palmier à huile au *Fusarium oxysporum* est bien de type horizontal ; aujourd'hui on parlerait plus de résistances partielles. En effet, le nombre de palmiers atteints augmente avec le temps et le test mesure un délai de survie, tous les plants étant destinés à devenir fusariés. D'ailleurs, de Franqueville a montré qu'une modification de la méthode d'inoculation conduit 100 % des plants à exprimer la fusariose y compris pour du matériel considéré comme résistant (de Franqueville, communication personnelle). Un autre argument est que l'on observe les mêmes résistances envers plusieurs souches de *FOE* d'origines différentes et donc, une absence d'interactions significatives entre souches et génotypes (Renard *et al.*, 1972; de Franqueville, 1991; Flood *et al.*, 1993).

Si tel est le cas, on peut penser que la résistance génétique ne sera que difficilement surmontée ce qui est important dans le cas du palmier à huile qui est une plante pérenne à cycle long.

3.3 – Sélection pour la résistance du palmier à huile à la fusariose.

3.3.1 - Principes généraux.

Les étapes de la sélection de matériel tolérant à la fusariose pendant la période 1960 - 1990 ont été décrites par de Franqueville et Renard. Elles sont résumées par le tableau 2 (de Franqueville et Renard, 1990).

La réunion sur un génotype d'un grand nombre de résistances partielles peut être inadapté pour les conditions de l'agriculture s'il y a un conflit avec la productivité ou encore la qualité du produit. Bien sûr, l'association de

résistances partielles avec une résistance totale, serait une solution très efficace mais, chez le palmier à huile il serait quasiment impossible de construire de tels génotypes qui, de plus, doivent rester hauts producteurs. En fait le manque de flexibilité de l'hôte (Palmier) nous impose la recherche de résistances partielles.

Conserver ces résistances partielles sur le long terme suppose que l'on maintienne dans les générations futures une pression de sélection importante.

3.3.2 - Résultats.

Le résultat de cette politique a pu être jugé à travers l'exemple de la replantation d'une palmeraie de 4000 ha située en zone infestée (Plantation R. Michaux, CNRA Côte d'Ivoire). Au fur et à mesure de l'obtention des résultats le matériel jugé tolérant a été utilisé en replantation. Les plantations de 1964-65 présentaient environ 25 % de fusariose (avec des croisements à plus de 70 %) celles de 1980-82 n'en ont plus que 2 à 3 %. (figure 3) Parallèlement, on observe des rémissions sur plus de 90 % des palmiers atteints alors que ce taux n'était que de 25 % en 1965.

Ce résultat a été généralisé à toutes les plantations qui ont utilisé du matériel sélectionné résistant. Ainsi la fusariose n'est désormais plus un problème majeur en Afrique, mais elle le reste potentiellement.

Une autre question concerne la nature des résistances partielles : sont-elles identiques d'une population à l'autre ? Quelques indications nous donnent à penser qu'elles sont parfois de nature différente ou tout au moins que les associations de facteurs de résistance sont différentes. Par exemple deux croisements d'origines différentes mais dont l'indice fusariose (degrés de résistance) est identique peuvent présenter des proportions de fusariose exprimé/ fusariose interne bien différentes (de Franqueville et Diabaté, communication personnelle).

La recherche de marqueurs moléculaires associés à des résistances partielles éclairerait en grande partie ce problème. C'est une des raisons, avec la sélection assistée par marqueur, pour laquelle nous avons entrepris la recherche de QTL de résistance à la fusariose.

3.3.3 - Développements.

Il a été possible de trouver, presque systématiquement, des facteurs de résistance dans chacune des populations utilisées en sélection ou présente dans les collections (Durand-Gasselien *et al.*, 2000). Cela présente de nombreux avantages et en particulier il est assez facile d'appliquer une pression de sélection pour la résistance à la fusariose à différents points du schéma de sélection récurrente réciproque que nous conduisons. Une sélection est appliquée pour le choix des géniteurs qui seront testés sur descendances ou encore pour ceux qui sont utilisés dans les recombinaisons intra groupe. Il faut simplement veiller à prendre en compte cet objectif dès la conception des plans de croisements pour ne pas altérer les dispositifs génétiques. Ainsi la résistance moyenne de tout le matériel utilisé en amélioration sera peu à peu améliorée, et le sélectionneur disposera d'un potentiel génétique large et diversifié pour réaliser ses objectifs de sélection sans être restreint aux seules populations les plus résistantes. Cela garantit un progrès génétique à long terme.

4 – La diffusion variétale.

La création de ces hybrides est faite suivant un schéma de sélection récurrente réciproque (Gascon *et al.*, 1964, Meunier et Gascon, 1972). Les meilleurs hybrides sont reproduits en croisant deux échantillons d'arbres provenant des parents autofécondés (Figure 4). La conformité de la reproduction au croisement initial est assurée en croisant un échantillon de parents *dura*, issu de l'autofécondation du parent *dura*, par un échantillon de parents *pisifera* issus de l'autofécondation du parent *tenera* (Jacquemard *et al.*, 1981).

Un défaut de légitimité fait chuter la production de plus de 50 %. De plus, les graines de palmier à huile sont de type semi-récalcitrantes et leur germination est difficile à obtenir. Cela rend leur distribution bien particulière puisqu'elles doivent être fournies germées, aux planteurs. (Photo 5)

4.1. - Pureté des semences commerciales

Les palmiers issus des semences commerciales sont tous de type *tenera* (figure 4). Cependant, il n'est pas rare de trouver chez les planteurs plusieurs types de palmiers en mélange en raison d'un certain taux de semences illégitimes. Bien souvent il s'agit de paysans qui ont récolté des graines tout venant au pied de palmiers sélectionnés : 25% des arbres plantés sont de type *dura* peu producteur et 25 % type *pisifera* non producteurs. La

perte en huile est alors de 31 % uniquement de ce fait. Il faut y ajouter une dépression de consanguinité à laquelle le palmier à huile, comme la plupart des plantes allogames, est très sensible. Dans les croisements entre pleins frères ou cousins elle est estimée entre 25% et 35 %.

En conséquence, la légitimité des fécondations réalisées sur le palmier à huile est un aspect fondamental de la qualité des semences commercialisées.

4. 2. - La qualité des fécondations

Du fait de l'importance de la légitimité du matériel, les fécondations contrôlées exigent un isolement complet des inflorescences. Les techniques de fécondation ont été développées par différents groupes (principalement le WAIFOR⁴ et l'IRHO⁵) et les procédures à mettre en œuvre ont été décrites avec précision dans les années 1960 à 1970.

Ces procédures portent sur :

- L'isolement des inflorescences
- La qualité du pollen et de son conditionnement.
- La fécondation (photos 3 et 4).
- La récolte des graines et l'identification.
- La préparation des semences
- Le stockage des graines
- La germination des graines (Photo 5)

Un ensemble de contrôles Qualité a donc été développé au cours des décennies passées qui est résumé dans le tableau 3. Toute anomalie observée lors d'un contrôle entraîne l'élimination du pollen ou de la fécondation ou du régime ou du lot de graines.

Les procédures décrites ici ont pour but de garantir la légitimité et la qualité du matériel végétal commercialisé. Plus encore pour les plantes pérennes à cycle long comme le palmier, que pour des plantes annuelles, la légitimité est en effet primordiale. Si elle n'est pas assurée, nous avons déjà souligné que le planteur peut avoir de cruelles déconvenues avec des pertes de production de plus de 50%.

Enfin le bon état physiologique des semences commercialisées doit également être garanti. Le pouvoir germinatif dans le cas de livraison de graines sèches ou préchauffées doit être supérieur à 85 %. Dans le cas de graines germées, la rigueur des tris pour éliminer les germes anormaux garantit une bonne reprise en pépinière.

Ces procédures sont simples, parfois de bon sens, mais nombreuses. Elles complexifient la multiplication et la diffusion des semences commerciales. Cependant, elles seules permettent de s'assurer de la légitimité du matériel et la qualité des graines commercialisées avec moins de 0,1% d'arbres illégitimes.

Conclusion et perspectives.

Le palmier à huile est du point de vue du sélectionneur une plante jeune. En sus de quelques cycles de sélection massale menés au début du siècle, il n'a véritablement subi que deux cycles d'amélioration. La variabilité disponible aussi bien que des taux de sélection finalement assez élevés expliquent l'importance des gains génétiques réalisés : + 42 % entre 1960 et aujourd'hui.

De plus ce progrès quantitatif a été accompagné de gains de productivité qualitatifs tout à fait significatifs. La réduction de la croissance en hauteur permet, pour un âge donné, de réduire les coûts de récolte. L'augmentation

4 West African Institute For Oil Palm Research, Nigeria.

5 Institut de Recherche pour les Huiles et Oléagineux.

du taux d'extraction, à production d'huile égale, augmente significativement la rentabilité de la première transformation. Enfin l'introduction de résistances durables aux maladies, en particulier à la fusariose en Afrique, sécurise l'investissement du planteur.

Dans le futur, il sera possible d'obtenir encore des gains substantiels en tirant profit de trois facteurs complémentaires :

- L'utilisation d'une variabilité importante obtenue par l'introduction de nouvelles populations dans les fonds génétiques travaillés.
- L'utilisation de la sélection assistée par marqueurs qui, pour certains caractères, rendra notre travail plus efficace par unité expérimentale.
- Enfin le développement des techniques de culture *in vitro* devrait permettre la production de clones qui tireront avantage de la variabilité importante encore disponible au sein des semences diffusées.

Remerciements : Nous adressons nos remerciements à tous nos nombreux prédécesseurs qui ont participé au développement de l'ensemble de ces recherches tant au niveau académique que technique.

BIBLIOGRAPHIE

- Beirnaert, A. (1935). Introduction à la biologie florale du palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Publication de l'Institut National pour l'Etude Agronomique du Congo belge. (INEAC)* **5**, 1-42.
- Beirnaert, A., and Vanderweyen, R. (1941). Contribution à l'étude génétique et biométrique des variétés d'*Elaeis guineensis* Jacq.. *Publication de l'I.N.E.A.C., série scientifique*.
- Bénard, G., and Malingraux, C. (1965). La production de semences sélectionnées de palmier à huile à l'I.R.H.O. - Principe et réalisation. *Oléagineux* **20**, 297-302.
- Cao, T. T. V. (1995). Organisation de la variabilité génétique chez le palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.). Conséquences pour l'amélioration des populations et la création variétale., Thèse, Institut National Agronomique, Paris Grignon.
- Comstock, R. E., Robinson, H. F., and H., H. P. (1949). A breeding procedure designed to make maximum use of both general and specific combining ability. *Agronomy Journal*, p. 360.
- Durand-Gasselin, T., Noiret, J. M., Kouamé Kouamé, R., Cochard, B., and Adon, B. (1999 a). Disponibilité de pollen performant pour la production de semences améliorées de palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Plantation, Recherche, Développement (PRD)* **6**, 264-276.
- Durand-Gasselin, T., Baudouin, L., Cochard, B., Adon, B., and Cao, T. V. (1999 b). Stratégies d'amélioration du palmier à huile. *Plantation, Recherche, Développement (PRD)* **6**, 344-360.
- Durand-Gasselin, T., Diabaté, S., de Franqueville, H., Cochard, B., and Adon, B. (2000). Assessing and utilizing sources of resistance to Fusarium wilt in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) genetic resources. In "International Symposium on Oil Palm Genetic Resources and Utilization", pp. U1-U25. Malaysian Palm Oil Board (MPOB). Ministry of Primary Industries.
- Franqueville (de), H. (1984). La fusariose vasculaire du palmier à huile : relation entre la résistance en pépinière et la résistance en champ. *Oléagineux* **39**, 513-518.
- Franqueville (de), H., et Renard, J. L. (1990). Bilan de l'amélioration du niveau de tolérance du palmier à huile à la fusariose. Evolution de la maladie sur la Plantation R. Michaux. *Oléagineux* **45**, 399-405.
- Franqueville (de), H. (1991). Antécédent savane ou antécédent forêt : influence des isolats du pathogène sur le comportement des lignées de palmier à huile vis-à-vis de la fusariose. *Oléagineux* **46**, 179-186.
- Franqueville (de), H., Asmady, H., Jacquemard, J. C., Hayun, Z., and Durand-Gasselin, T. (2001). Indications on sources of Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) genetic resistance and susceptibility to *Ganoderma* sp., the Cause of Basal Stem Rot. In "Cutting-Edge Technologies for sustained Competitiveness". Malaysian Palm Oil Board (MPOB), Mutiara Kuala Lumpur, Malaysia.
- Gascon, J. P., and Berchoux (de), C. (1964). Caractéristiques de la production d'*Elaeis guineensis* (Jacq.) de diverses origines et de leurs croisements - Application à la sélection du palmier à huile. *Oléagineux* **19**, 75-84.
- Gascon, J. P., Jacquemard, J. C., Houssou, M., Boutin, D., Chaillard, H., and Kamga Fondjo, F. (1981). La production de semences sélectionnées de palmier à huile *Elaeis guineensis*. *Oléagineux* **36**, 475-486.
- Gascon, J. P., Le Guen, V., Nouy, B., Asmady, and Kamga, F. (1988). Résultats d'essais de second cycle de sélection récurrente réciproque chez le palmier à huile *Elaeis guineensis* Jacq. *Oléagineux* **43**, 1-7.
- Guldentops, R. E. (1962). Contribution à l'étude de la Trachéomycose du palmier à huile. *Parasitica* **18**, 244-263.
- Hartley, C. W. S. (1988). "The Oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.)," Third Edition/Ed. Longman Scientific & Technical., Essex.
- Henry, P. (1957). Recherches sur la croissance et le développement chez *Elaeis guineensis* Jacq. et chez *Cocos nucifera* L., comparaison avec quelques autres palmiers. Faculté des sciences. Paris, Thèse, Université de Paris: 154 p.
- Jacquemard, J. C., Meunier, J., and Bonnot, F. (1981). Etude génétique de la reproduction d'un croisement chez le palmier à huile *Elaeis guineensis* - Application à la production de semences sélectionnées et à l'amélioration. *Oléagineux* **36**, 343-352.

- Jannot, C. (2001). Entre filière artisanale et agro-industrie. Quel avenir pour le palmier à huile en Afrique ? In "Avenir des Cultures Pérennes". 5 au 9 Novembre Yamoussoukro, Côte d'Ivoire.
- Meunier, J., Gascon, J. P., and Noiret, J. M. (1970). Hérité des caractéristiques du régime d'*Elaeis guineensis* Jacq. en Côte d'Ivoire - hérité - Aptitude à la combinaison. *Oléagineux* **25**, 377-382.
- Meunier, J., and Gascon, J. P. (1972). Le schéma général d'amélioration du palmier à huile à l'IRHO. *Oléagineux* **27**, 1-12.
- Meunier, J., Renard, J. L., and Quillec, G. (1979). Hérité de la résistance à la fusariose chez le palmier à huile *Elaeis guineensis* Jacq. *Oléagineux* **34**, 555-559.
- Nouy, B., Lubis, R. A., Kusnadi, T. T., Akiyat, and Samaritaan, G. (1991). Potentiel de production chez le palmier à huile *Elaeis guineensis*. *Oléagineux* **46**, 91-99.
- Prendergast, A. G. (1963). A method of testing oil palm progenies at the nursey stage for résistance to vascular wilt disease caused by *Fusarium oxysporum* Schl..J. W. *African Institute for Oil Palm Research*, **4**, 156.
- Renard, J. L., Gascon, J. P., and Bachy, A. (1972). Recherches sur la fusariose du palmier à huile. *Oléagineux* **27**, 581.
- Renard, J. L., and Meunier, J. (1983). Research for durable resistance to vascular wilt disease (*Fusarium oxysporum* f. sp. *elaedis*) of oil palm (*Elaeis guineensis*). In "Durable resistance in crops" (F. Lamberti, J. M. Waller and V. d. Graaff, eds.), pp. 287-290. Plenum Publishing Corporation.
- Renard, J. L., Franqueville (de), H., Diabaté, S., and Ouvrier, M. (1993). Etude de l'incidence de la fusariose vasculaire sur la production de régimes chez le palmier à huile. *Oléagineux* **48**, 495-504.
- Rosenquist, E. A. (1985). The genetic base of oil palm breeding populations. In "Workshop on oil palm germplasm and utilisation" (Porim, ed.), Vol. 10, pp. 27-56. Palm Oil Research Institute of Malaysia, Selengor, Malaysia.
- Van de Lande, H. L. (1983). News item : vascular wilt of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Brazil. *Oil Palm News*. **27**, 3.

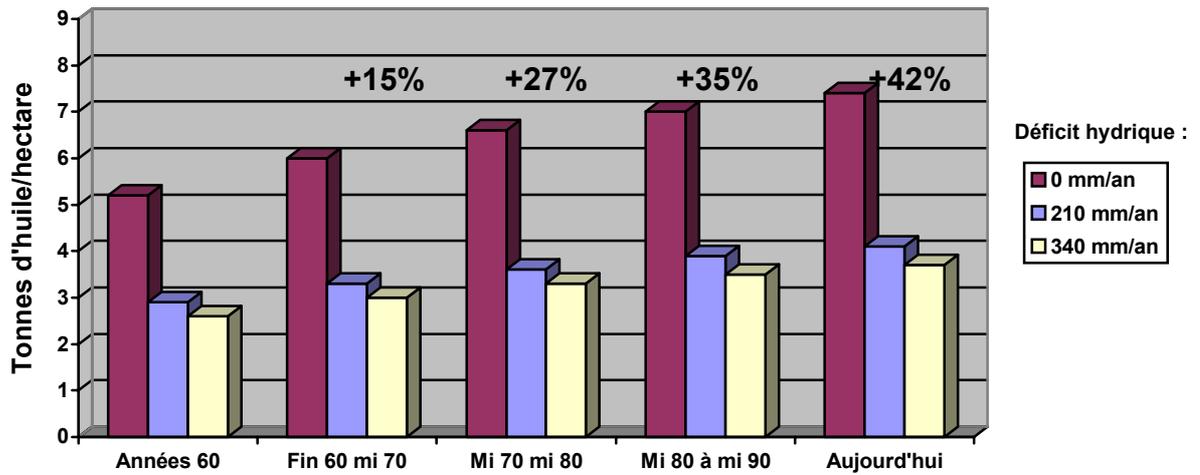


Figure 2 : évolution du potentiel de production des semences de palmier à huile vulgarisées.

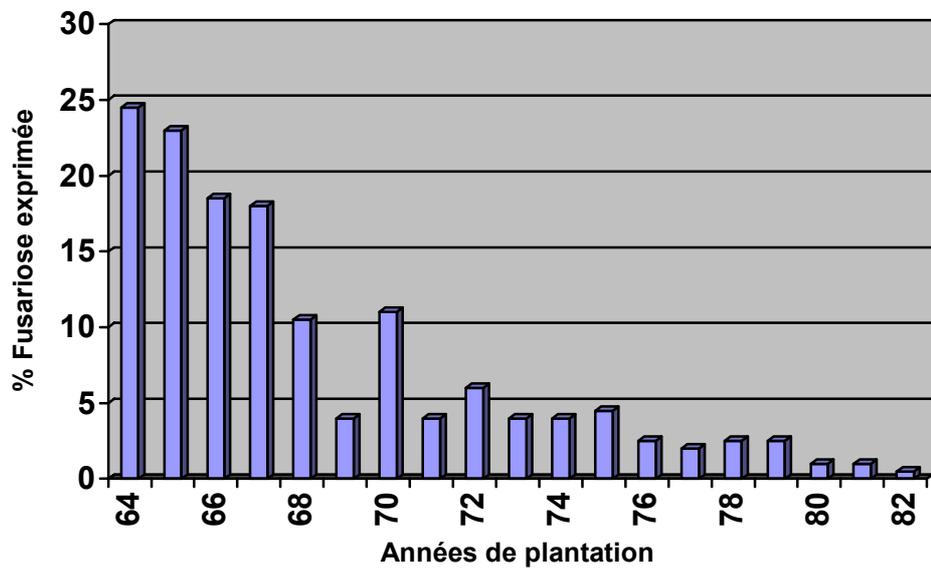


Figure 3 : évolution du taux de fusariose exprimée en fonction des années de culture. (D'après de Franqueville et Renard, 1990)

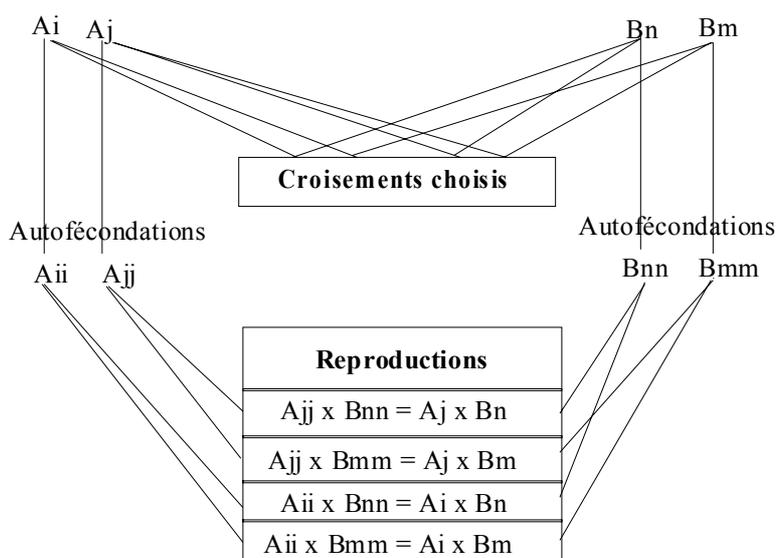


Figure 4 : Reproductions des meilleurs croisements pour la diffusion variétale.

Tableau 1: Historique du matériel végétal disponible pour les planteurs et indication de sa valeur relative (En pratique, on passe progressivement d'une étape à l'autre).

Cycles (Années de plantation)	Valeur en Station (résultats 9 ans après plantation)	Valeur de la sortie variétale (en Côte d'Ivoire)		Diffusion
		Conditions climatiques avant 1970 ¹	Conditions climatiques actuelles ²	
Expérience Internationale (1950-1953)	2 tonnes d'huile à l'hectare environ	Croisements inter- origines : 2,9 t/h/ha	Croisements inter- origines : 2,6 t/h/ha	Utilisé jusque vers 1968 ³
Premier cycle de sélection (1959-1968)	3,3 t/h/ha	Premiers résultats : 3,3 t/h/ha Derniers résultats : 3,6 t/h/ha	Premiers résultats : 3,0 t/h/ha Derniers résultats : 3,3 t/h/ha	Diffusé à partir de fin des années 60 Diffusé à partir de 1976
Second cycle de sélection (1975-1986)	3,6 t/h/ha	Premiers résultats : 3,9 t/h/ha. Nulle sélection : 4,1 t/h/ha	Premiers résultats : 3,5 t/h/ha Nulle sélection : 3,7 t/h/ha	Diffusé à partir de 1984-85 Diffusé à partir de 1998

¹Déficit hydrique de 210 mm/ an en moyenne

²Déficit hydrique de 340 mm/ an en moyenne

³Quelques croisements *dura x tenera* étaient encore diffusés à la demande des clients.

Tableau 2 : Etapes de la sélection de matériel tolérant à la fusariose. (D'après de Franqueville et Renard, 1990) (La décennie 1990/2000 a été ajoutée par les auteurs)

1960	-Comportement individuel des croisements au champ - Evaluation des dégâts - Mise en place d'un test en pépinière
1965	- Recherche de sources de résistances
1970	- Développement du test de pré-péinière - Nouvelles introductions - Caractérisation des hybrides
1975	- Introduction au champ des descendances issues de la sélection réciproque
1980	- Elimination des reproductions les plus sensibles
1985	- Caractérisation du 2nd cycle de sélection réciproque - Biochimie de la résistance - Caractérisation des premiers clones
1990/2000	- Caractérisation du matériel parental - Différentiation intra origines - Utilisation de testeurs

Tableau 3: Principales étapes de contrôle de la qualité des semences de palmier à huile.

Etapes	Qualité	Contrôles
Préparation du pollen • Ensachage • Récolte • Conditionnement	Isolement Identité du géniteur Isolement Vide Viabilité Humidité Durée de conservation	Absence d'insectes, pose du sac, ligature du sac Correspondance étiquette et identité de l'arbre Pression résiduelle de 5 cm de mercure Pourcentage de germination du pollen > 70 Comprise entre 3 et 8 % Maximum 6 mois (en général)
Fécondation • Ensachage • Pollinisation • Enlèvement du sac	Isolement Identité du géniteur Isolement Identité du pollen Isolement	Absence d'insectes, pose du sac, ligature du sac Correspondance étiquette et identité de l'arbre Date pose du sac par rapport à la date d'anthèse Pollinisation à blanc Correspondance étiquette du pollen et étiquette du régime Date enlèvement par rapport à la date d'anthèse
Récolte des graines	Légitimité	Ancrage de l'étiquette dans le régime Elimination des fruits tombés Elimination des régimes ayant moins de 300 fruits
Préparation des graines	Finition Embryon Identité	Elimination graines blanches, petites, cassées Absence de résidus de pulpe 90% des embryons doivent être normaux Correspondances des étiquettes de stockage et de l'étiquette de fécondation
Germination	Taux de germination	Humidité des graines Température de chauffage
Livraison des graines	Qualité du produit	Graines sèches et graines préchauffées Germination du lot témoin Graines germées Tri graine à graine – Elimination des graines à germes anormaux

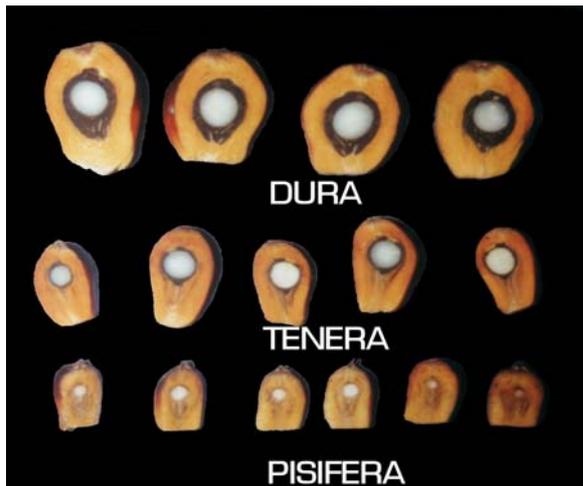


Photo 1 : Types de graines

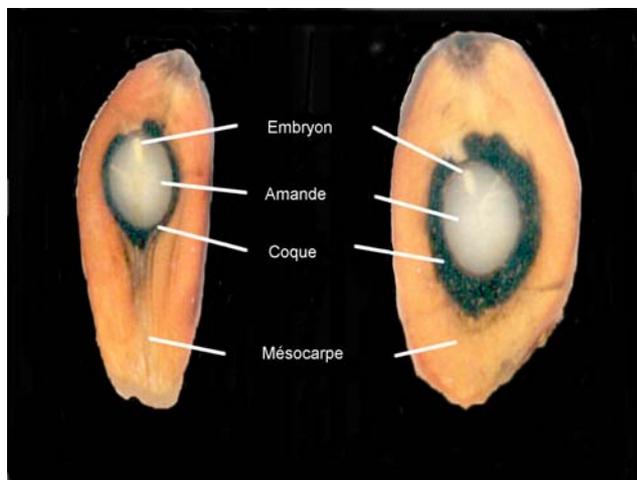


Photo 2 : Coupe longitudinale d'une graine *tenera*



Photo 3 : Géniteur *dura* (parent femelle)



Photo 4 : sacs de fécondation et régime obtenu par pollinisation contrôlée



Photo 5 : Graines germées

