

Contribution à l'amélioration génétique de la fructification du Tournesol (*Helianthus annuus* L.). Variation du taux de fructification des fleurs selon leur emplacement et leur orientation

G. PIQUEMAL et J. Cl. MOURET

Station d'Amélioration des Plantes, I.N.R.A.,
Centre de Recherches agronomiques de Montpellier
34060 Montpellier Cedex

Résumé

Une fois la fécondation accomplie, la fructification reste dépendante du développement des embryons soumis à de nombreux facteurs incontrôlables des milieux interne et externe.

Pour que se réalise une meilleure fructification, le sélectionneur pourrait s'efforcer d'obtenir la formation des fleurs en certains sites abrités des conditions défavorables.

C'est dans ce but que nous avons étudié la variation du taux de fructification et de certains indices de bonne maturité des akènes selon leur place sur le capitule et selon les orientations données à celui-ci dès la fin de la floraison.

Introduction

Un mauvais taux de fructification chez le Tournesol est souvent attribué à un échange insuffisant de pollen entre les plantes de cette espèce allogame.

L'autoincompatibilité pollinique est généralement appréciée par la comparaison des résultats d'autofécondations de capitules ensachés à ceux des capitules pollinisés librement ou fécondés par du pollen étranger. Procédant ainsi, SEGALA *et al.* (1980) ont montré que 50 p. 100 de la variation du degré d'autogamie dépendait de la variation du degré d'autocompatibilité pollinique. Il restait donc une bonne part de variation mal expliquée par les autres caractères du pollen. En fait l'observation correcte et précise de l'autocompatibilité exigerait des conditions de milieu très favorables à l'allongement du tube pollinique, à la fécondation de l'ovule puis à la croissance de l'embryon. Pour cette raison, peut-être, certains auteurs ont été amenés à conclure que « le système d'inhibition du pollen est très affecté par les conditions climatiques pendant la floraison et spécialement par la température » (VRANCEANU, 1974).

Dans l'échec de la fructification, il convient de séparer la part qui revient au défaut de fécondation et celle qui revient à un mauvais développement de l'embryon.

Les variations dans l'espace et dans le temps des milieux interne et externe qui interviennent après la fécondation vont se traduire par des variations du taux de fructification et aussi de la qualité des akènes en différents points du capitule.

De nombreuses expérimentations l'ont mis en évidence en faisant jouer l'alimentation minérale ou hydrique. Citons, parmi les plus récentes, celles rapportées par SINDAGI (1978) concernant les effets sur la fructification des macro et micro-éléments minéraux, des déficits en eau, ainsi que des applications de régulateurs de croissance.

Du point de vue du sélectionneur appelé à adapter un cultivar à des milieux qu'il ne peut pas maîtriser, un intérêt particulier est porté aux données mettant en évidence, plutôt que des effets globaux, des effets localisés sur la plante. Il en tiendra compte alors pour s'imaginer un idéotype.

Au sujet de la fructification, beaucoup d'observateurs ont été enclins à comparer entre elles les zones concentriques du capitule. Ainsi LENCEROT *et al.* (1977) ont montré que les akènes, vers le centre du capitule, d'un âge physiologique moins avancé que ceux de la partie marginale, avaient des teneurs moindres en huile et en protéines. La présence d'un centre stérile du capitule plus fréquente

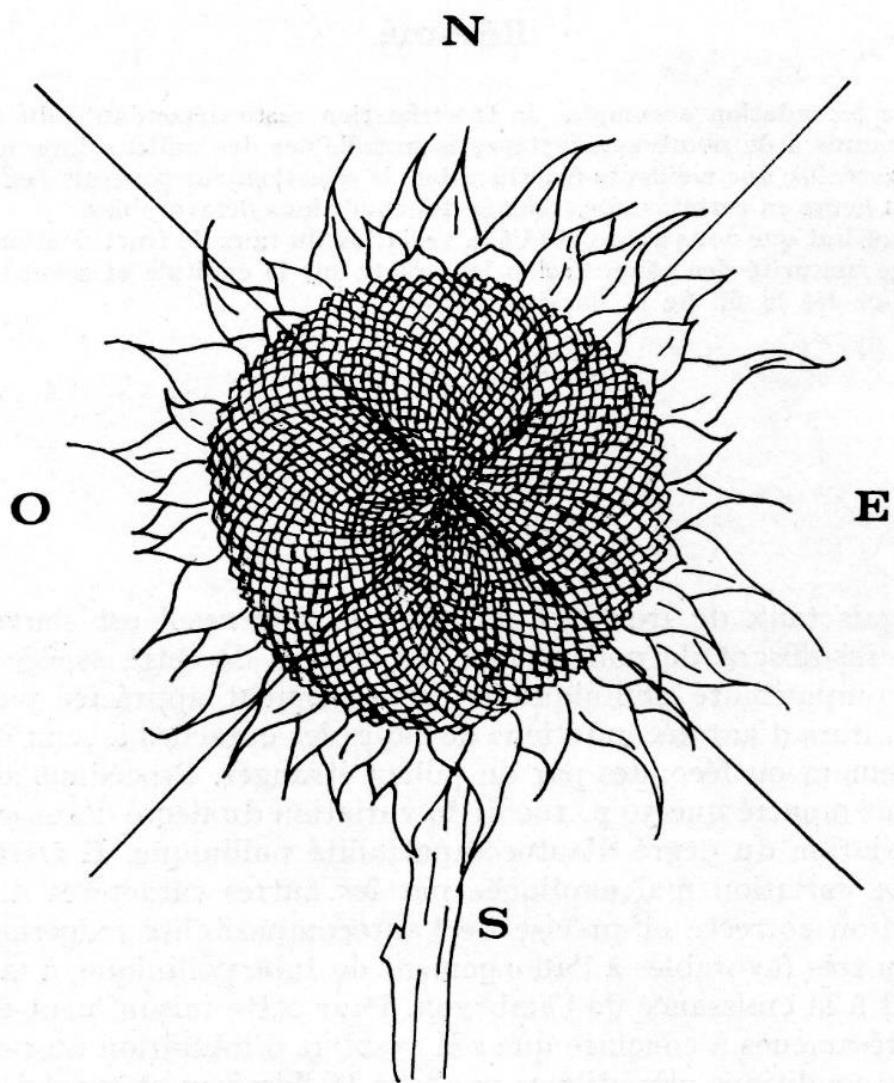


FIG. 1. — Définition des quadrants du capitule

chez certains cultivars et contrôlée génétiquement (VRANCEANU, 1974) traduit certainement des conditions physiologiques particulières en cet emplacement. Celles-ci pourraient résulter d'une concurrence de la part des akènes plus âgée. D'ailleurs une compétition entre akènes, en plusieurs point du capitule, a été montrée par PATIL *et al.* (1976).

Plutôt qu'à une variation centripète, facilement prévisible et sans doute impossible à contrarier, nous avons préféré étudier une variation selon certains quartiers du capitule. Tout sélectionneur ayant eu à ensacher des capitules en vue de leur autofécondation aura constaté chez certaines lignées des échecs plus fréquents dans le quart supérieur du disque florifère.

En est-il de même sur des capitules pollinisés librement ? Les changements d'orientation ou certains traitements appliqués aux capitules seraient-ils capables de modifier la fructification ? Pourra-t-on en tirer des conclusions quant à une conformation et un port idéal du capitule à réaliser par la sélection ? C'est pour répondre à ces questions que nous avons conduit durant l'été 1978, au domaine de Lavalette (Montpellier), deux essais qui seront rapportés ci-après.

Le premier de ces essais visait à comparer, sur 5 cultivars, les taux de fructification sur 4 quadrants de capitule (fig. 1).

Le second essai se proposait d'observer chez un hybride simple la variation du taux de fructification sur deux de ces emplacements opposés, les capitules étant soumis à divers changements d'orientation.

Matériel et méthode

Dans le premier essai, nous avons utilisé 5 cultivars demi-tardifs :

- « Mirasol », hybride simple à cytoplasme CMS,
- « Balkan » et « Pérédrovik », cultivars riches en huile d'origines bulgare et russe,
- « Stadium », variété bulgare à grosse graine destinée à la consommation de bouche,
- « Gizeh », variété égyptienne à akènes blancs, de coque épaisse.

Chacun de ces cultivars nous a fourni 3 lots comparables de 10 plantes destinées à recevoir l'un des 3 traitements suivants :

T = lot témoin pollinisé librement par les insectes,

A = pollinisation assistée quotidienne de chaque capitule par son propre pollen, les capitules étant placés sous des sacs de papier blanc sulfurisé.

B = les capitules, également ensachés, ont été pollinisés par un mélange de pollen de tous les cultivars.

A la fin de la floraison, un échantillon de 25 fleurs a été repéré à l'aide d'épingles à tête colorée dans chacune des 4 zones du capitule désignées par les lettres : N, S, E, O (fig. 1 et 2).

A maturité nous avons compté le nombre de grains pleins produits par les fleurs marquées initialement.

Dans le deuxième essai, nous avons utilisé un hybride simple de cytoplasme CMS. Nous avons constitué 6 lots de 5 plantes. Ces lots ont reçu dès le début de la floraison l'un des 6 traitements principaux suivants (fig. 3) :

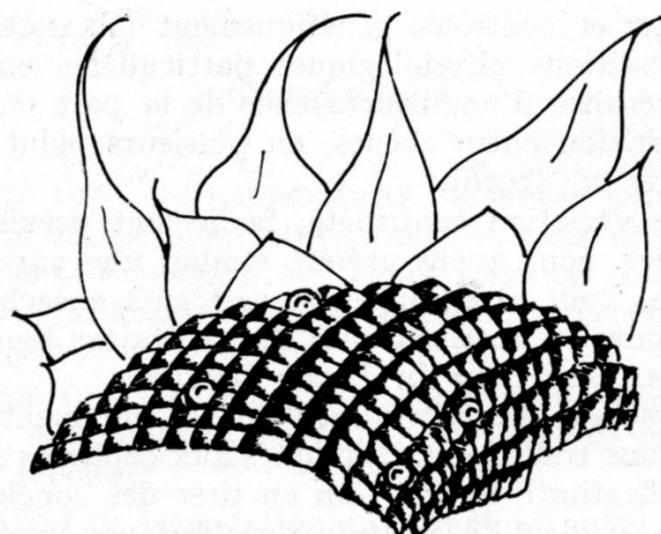


FIG. 2. — *Repérage des échantillons de 25 fleurs et de leurs akènes*

T = témoin pollinisé librement,

A = le capitule est redressé et lié à un tuteur afin d'exposer ses fleurs dans un plan vertical face au Sud-Est,

a = l'orientation du capitule est la même que pour A, mais, à la fin de la floraison, une incision profonde d'1 cm a été pratiquée dans la courbe interne de la tige, du papier cartonné étant glissé dans cette incision,

B = le capitule reçoit une orientation opposée à celle de A,

b = le dos du capitule traité comme B est protégé de l'action du soleil par une plaque de carton,

C = nous nous sommes efforcés de tourner vers le sol la face fructifère du capitule. Cette disposition, naturelle chez beaucoup de cultivars, se développe en réalité peu à peu au cours de la maturation. Elle s'explique par le poids croissant du capitule porté par une tige relativement mince et souple. Quelques sélectionneurs l'ont parfois recommandée (indice de bonne productivité, protection contre les oiseaux, etc...), mais plus généralement, on cherche à l'éviter pour réduire les risques de verse. Les hybrides actuellement offerts aux cultivateurs, ont une taille assez basse, une tige raide et un capitule bien redressé.

L'hybride que nous avons utilisé présentait ces caractéristiques. Leur modification artificielle a été très contraignante pour les plantes. Il nous a fallu intervenir dès le début de la floraison afin de réaliser la courbure des tiges. Les plantes traitées ont été pénalisées aussi car elles se trouvaient à l'ombre de leur voisin au feuillage plus élevé.

En définitive nous avons eu à comparer 12 traitements élémentaires combinant les 2 zones, N et S, et les 6 manipulations décrites ci-dessus que nous qualifierons du terme *d'orientation*.

Comme pour la première expérience, 25 fleurs ont été repérées en chaque emplacement N et S, soit 125 fleurs par traitement élémentaire : cet effectif trop réduit ne permettant pas de mettre en évidence des différences souvent minimes, nous avons été amenés à faire des comparaisons à partir des récoltes entières des quartiers N et S.

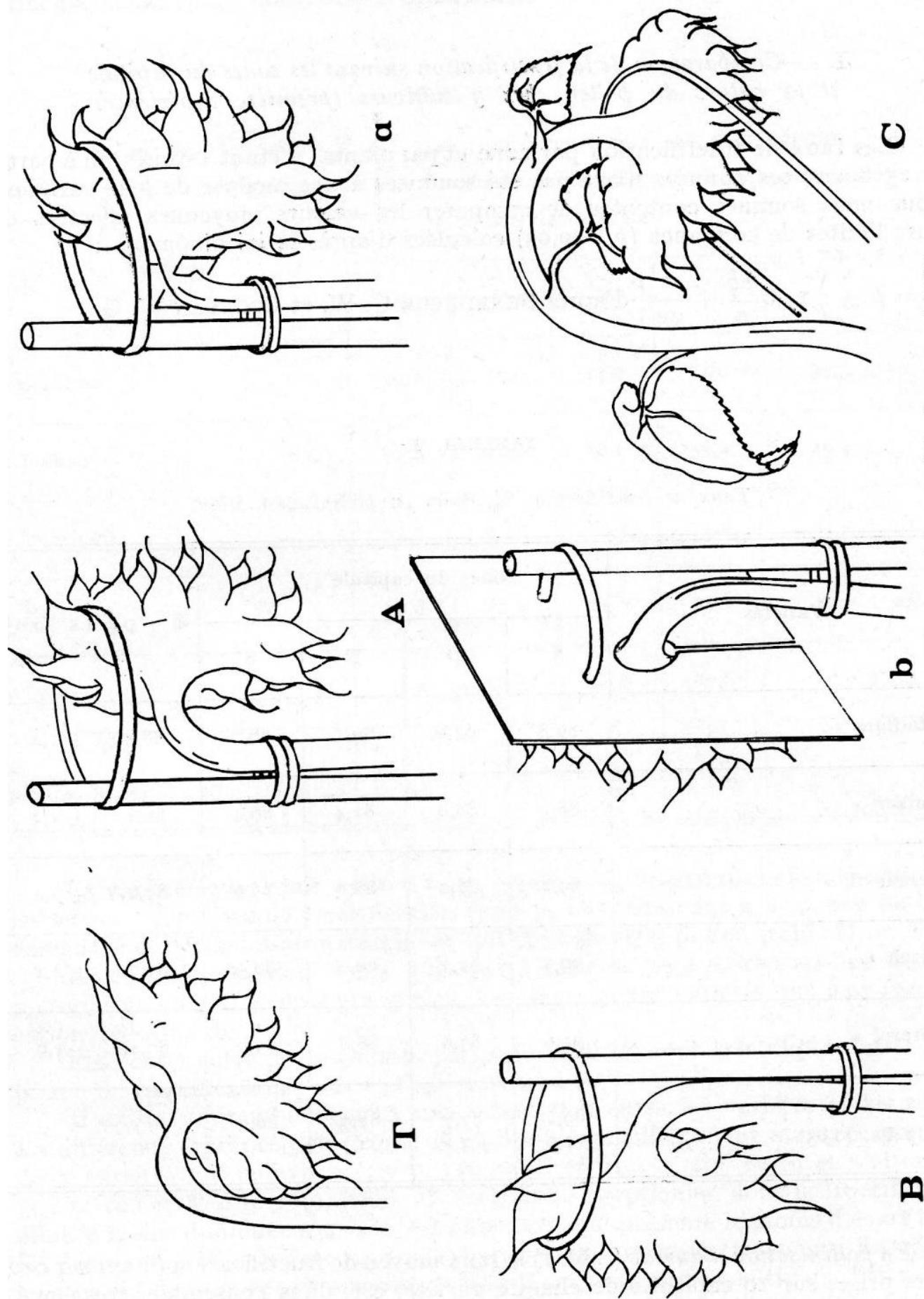


FIG. 3. — *Les différents traitements « orientation » appliqués aux capitules*

Résultats

I. — Comparaison de la fructification suivant les zones du capitule et la nature du pollen chez 5 cultivars (première expérience)

Les taux de fructification par zone et par plante, n'étant estimés qu'à partir de 25 fleurs, ces données n'ont pas été soumises à une analyse de leur variance. Nous nous sommes contentés de comparer les valeurs moyennes affectées de leurs limites de confiance ($p = 0,05$) calculées d'après la loi binômiale :

$$\bar{m} = p \pm \left\{ 1,96 \frac{\hat{p}\hat{q}}{n} + \frac{1}{2n} \right\} \text{ d'après SENEDECOR G. W. et COCHRAN W. G.}$$

TABLEAU I

Taux de fructification % fleurs en pollinisation libre

| Variétés | Zones du capitule | | | | $\bar{m} \pm \text{p.p.d.s. (0,05)}$ |
|--|-------------------|-----------|-----------|-----------|--------------------------------------|
| | E | O | N | S | |
| « Stadium » | 86,8 | 92,0 | 89,2 | 86,0 | 88,5 % $\pm 2,2$ |
| « Balkan » | 88,0 | 88,8 | 82,4 | 86,4 | 86,4 $\pm 2,2$ |
| « Peredovik » | 89,2 | 88,0 | 88,0 | 83,6 | 87,2 $\pm 2,4$ |
| « Gizeh » | 90,2 | 82,2 | 90,2 | 88,9 | 87,9 $\pm 2,1$ |
| « Mirasol » | 91,6 | 87,6 | 88,8 | 89,6 | 89,4 $\pm 1,9$ |
| \bar{m} | 89,2 | 87,7 | 87,7 | 86,9 | |
| $\pm \text{p.p.d.s. (0,05)}$ | $\pm 1,9$ | $\pm 2,1$ | $\pm 2,1$ | $\pm 2,1$ | |

En pollinisation naturelle (tabl. I) le taux moyen de fructification (d'après 1 000 fleurs prises sur 10 capitules de chaque variété) est, dans l'ensemble, très élevé. Il a varié entre 86,4 p. 100 et 89,4 p. 100, pour les variétés; l'écart entre ces extrêmes étant significatif. La comparaison entre les 4 zones du capitule ne montre pas de différence.

En pollinisation manuelle sous sac avec un mélange de pollens très divers (tabl. 2) nous constatons une nette réduction du taux de fructification due principalement aux conditions créées par le sac.

TABLEAU 2

Taux de fructification % fleurs, en fécondation croisée sous sac de papier

| Variétés | Zones de capitule | | | | $\bar{m} \pm p.p.d.s. (0,05)$ |
|---------------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------------------------------|
| | E | O | N | S | |
| « Stadium » | 39,6 | 34,8 | 14,8 | 52,0 | 35,3 ± 3,1 |
| « Balkan » | 50,4 | 44,0 | 38,0 | 53,2 | 46,4 ± 3,1 |
| « Peredovik » | 53,2 | 42,0 | 7,2 | 71,2 | 43,4 ± 3,1 |
| « Gizeh » | 78,8 | 72,4 | 64,8 | 75,2 | 72,8 ± 2,8 |
| « Mirasol » | 31,2 | 65,8 | 3,2 | 87,6 | 47,0 ± 3,1 |
| \bar{m} | 50,6 | 51,8 | 25,6 | 67,8 | |
| p.p.d.s. (0,05) | ± 2,8 | ± 2,8 | ± 1,9 | ± 2,6 | |

La variété égyptienne « Gizeh » est, cependant, beaucoup moins affectée que les autres : son taux de fructification (72,8 p. 100) équivaut à 83 p. 100 de celui enregistré en fécondation naturelle et qui était de 87,9 p. 100 (tabl. 1).

La variété « Stadium » n'a plus qu'un taux de 35,3 p. 100 au lieu de 88,5 p. 100, soit 40 p. 100 du taux initial. Les deux autres variétés ont leur fructification réduites de 50 p. 100.

Les écarts entre les moyennes par zone (tabl. 2) sont très importants : 25,6 p. 100 de fructification en N et 67,8 p. 100 en S.

Il existe vraisemblablement une interaction entre les variétés et les zones. La différence entre les deux zones N et S est particulièrement marquée pour les deux variétés « Peredovik » (7,2 p. 100 en N et 71,2 p. 100 en S) et « Mirasol » (3,2 p. 100 et 87,6 p. 100), (tabl. 2). La variété égyptienne, dont la fructification était le moins diminuée sous sac, est aussi celle qui présente le moins d'écart entre les deux zones N et S avec 64,8 p. 100 et 75,2 p. 100 respectivement. La variété « Gizeh » a fleuri avec une semaine de retard sur les 4 autres cultivars. Les relevés météorologiques ont montré cependant que dans tous les cas, les conditions étaient semblables : températures journalières moyennes de 20 à 23 °C fin juillet et courant août.

TABLEAU 3

Taux de fructification % fleurs, en autofécondation assistée, sous sac de papier

| Variétés | Zones de capitule | | | | $\bar{m} + 2\sigma$ |
|-------------------------|-------------------|-------|-------|-------|---------------------|
| | E | O | N | S | |
| « Stadium » | 12,8 | 15,6 | 2,0 | 19,6 | 12,5 ± 2,1 |
| « Balkan » | 11,2 | 15,6 | 9,2 | 26,8 | 15,7 ± 2,3 |
| « Peredovik » | 26,4 | 24,4 | 21,6 | 31,6 | 27,1 ± 2,8 |
| « Gizeh » | 53,6 | 54,4 | 44,8 | 48,8 | 50,4 ± 3,1 |
| « Mirasol » | 58,0 | 75,6 | 3,2 | 86,4 | 55,8 ± 3,1 |
| \bar{m} | 32,4 | 37,1 | 16,2 | 42,6 | |
| $\pm 2\sigma$ | ± 2,6 | ± 2,7 | ± 2,1 | ± 2,8 | |

En autofécondation assistée, sous sac (tabl. 3), nous voyons que la mauvaise fécondation déjà observée avec du pollen étranger est ici accentuée; les variations vont dans le même sens, si l'on confronte les moyennes en marge des tableaux 2 et 3. La réduction supplémentaire des taux de fructification en autofécondation s'explique par l'intervention du facteur « pollen », aux deux niveaux que nous avons déjà signalés. D'abord, sûrement, au moment de la germination des grains de pollen sur le stigmate (autocompatibilité), mais vraisemblablement aussi, après la fécondation. On peut penser que l'embryon venu d'autofécondation ne bénéficie pas d'une vigueur hybride comparable à celle de l'embryon venu d'une fécondation croisée : ses chances de complet développement seront moindres (*). Il est difficile de séparer les causes qui, avant et après l'autopollinisation, amènent une réduction du taux de fructification, nous devons les confondre en un « effet pollen ». Celui-ci peut être mesuré par les écarts entre les taux de fructification enregistrés avec les deux natures de pollen (colonne 5 du tabl. 4).

Ces écarts, ou ces écarts relatifs (colonne 6) montrent que cet « effet pollen » est nul pour Misarol auquel convient son propre pollen.

L'« effet pollen » se retrouve aussi dans la comparaison des zones du capitule (colonne 5 du tabl. 5), mais les écarts relatifs (colonne 6) semblent indiquer que l'« effet pollen » est à peu près le même dans les quatres quadrants. Or nous savons que

(*) Des travaux récents de A. SEETHARAM, P. KUSUMAKUMARI et S. S. SINDAGI (1977) ainsi que ceux de T. E. THOMPSON, G. N. FICK et J. C. CEDENO (1978) laissent entrevoir quelques faits de « métaxenie » et d'hétérosis dès avant la germination des semences F_1 , dont la taille et la teneur en huile varieraient selon la lignée paternelle utilisée.

TABLEAU 4

Taux de fructification selon les variétés

| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |
|-------------------------|------------|------------|-----|------|------|------|
| « Stadium » | 88,5 ± 2,1 | 35,3 ± 3,1 | 40 | 12,5 | 22,8 | 64,6 |
| « Balkan » | 86,4 ± 2,2 | 46,4 ± 3,1 | 54 | 15,7 | 30,7 | 66,2 |
| « Peredovik » | 87,2 ± 2,4 | 43,4 ± 3,1 | 50 | 27,1 | 16,3 | 37,6 |
| « Gizeh » | 87,9 ± 2,1 | 72,8 ± 2,8 | 83 | 54,0 | 18,8 | 25,8 |
| « Mirasol » | 89,4 ± 1,9 | 47,0 ± 3,1 | 52 | 55,8 | 8,8 | 18,7 |

(1) : Pollinisation naturelle.

(2) : Pollinisation sous sac (allopollen).

(3) : Rapport $\frac{(2) \times 100}{(1)}$.

(4) : Pollinisation sous sac (autopollen).

(5) : Écart (2) — (4).

(6) : Écart relatif $\frac{(2) - (4)}{(2)} \times 100$.

TABLEAU 5

Taux de fructification selon les zones du capitule

| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |
|-------------|------------|------------|------|------------|------|------|
| E | 89,2 ± 1,9 | 50,6 ± 2,8 | 56,7 | 32,4 ± 2,6 | 18,2 | 36,0 |
| O | 87,7 ± 2,1 | 51,8 ± 2,8 | 59,1 | 37,1 ± 2,7 | 14,7 | 28,4 |
| N | 87,7 ± 2,1 | 25,6 ± 2,0 | 29,2 | 16,2 ± 2,1 | 9,4 | 36,7 |
| S | 86,9 ± 2,1 | 67,8 ± 2,6 | 78,0 | 42,6 ± 2,8 | 25,2 | 37,2 |

(1) : Pollinisation naturelle.

(2) : Pollinisation sous sac (allopollen).

(3) : Rapport $\frac{(2) \times 100}{(1)}$.

(4) : Pollinisation sous sac (autopollen).

(5) : Écart (2) — (4).

(6) : Écart relatif $\frac{(2) - (4)}{(2)} \times 100$.

les taux de fructification ne sont pas les mêmes en N et en S, où l'on doit supposer des microclimats différents. Si ceux-ci modifient les taux de fructification, sans variation concomitante de l'« effet pollen », c'est qu'ils n'affectent pas la germination du pollen et la croissance des tubes polliniques, mais bien plutôt la fécondation de l'ovule ou le développement ultérieur de l'embryon. Ce développement serait compromis sous des conditions climatiques très dures qui ne se rencontrent pas normalement dans notre pays, mais qui seraient réalisées dans les sacs de papier, surtout dans la partie supérieure. La variété égyptienne « Gizeh » est peut-être adaptée à de tels climats.

II. — *Les effets du port et des orientations du capitule sur la fructification (deuxième expérience)*

1) *Taux de fructification % fleurs* (tabl. 6) : les taux de fructification sont très élevés et les petites différences constatées ont peu de signification, les estimations étant basées sur 750 fleurs pour les moyennes des zones et 250 fleurs pour celles des traitements.

TABLEAU 6

Nombre de bons grains % fleurs selon les orientations et les zones

| Zones | Orientation | | | | | | $\bar{m} \pm p.p.d.s. (0,05)$ |
|---------------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------------------|
| | T | A | a | B | b | C | |
| N | 95,2 | 94,0 | 96,0 | 96,0 | 96,0 | 91,2 | 94,7 \pm 1,6 |
| S | 93,2 | 96,0 | 98,4 | 96,0 | 99,2 | 94,4 | 96,2 \pm 1,4 |
| \bar{m} | 94,2 | 95,0 | 97,2 | 96,0 | 97,6 | 92,8 | |
| $\pm p.p.d.s. (0,05)$ | $\pm 3,1$ | $\pm 2,9$ | $\pm 2,2$ | $\pm 2,6$ | $\pm 2,1$ | $\pm 3,4$ | |

On note cependant un avantage pour la partie S, (96,2 p. 100), sur la partie N, (94,7 p. 100). Quant à la part significative des orientations que nous a révélée une analyse de la variation totale, elle s'explique par le seul traitement, C, avec toutes les réserves que nous avons déjà formulées à son sujet.

2) *Rendement en grain par quartier* (en grammes de grains séchés à l'air). Les capitules classés d'après leur productivité ont été groupés en « blocs » de même rang afin d'analyser la variance des rendements par quartier. Les productions moyennes en grain ont été de 21,3 g pour le quart supérieur, N, d'un capitule et de 23,2 g pour le quart inférieur, S; la différence entre ces moyennes n'étant pas significative.

Seul le traitement C correspond à une réduction de rendement et aucune interaction entre zones et orientations n'a été mise en évidence.

Pour une analyse plus précise des résultats nous avons été amenés à rapporter, pour chaque capitule, les observations de la partie N à celles de la partie S. Ces rapports ont été exprimés en pourcentage et leurs valeurs moyennes seront comparées à la borne 100.

3) *Comparaison des rapports « N/S » pour la productivité, les nombres de grains pleins, de grains vides et de fleurs supposées fécondées (c'est-à-dire grains pleins plus grains vides).* Les valeurs moyennes de tous ces rapports sont réunies au tableau 7.

TABLEAU 7

Valeurs des rapports « N/S », pour diverses composantes de la productivité

| Caractères comparés | Traitements (orientations) | | | | | | F | p.p.d.s. (0,05) |
|----------------------------------|----------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|------|--------------------|
| | T | A | a | B | b | C | | |
| Poids de grain récolté (g) . . . | 92,4 | 86,2* | 89,2* | 102,8 | 107,4* | 90,8 | 3,65 | 15,16 |
| Nombre grains pleins . . . | 92,1 | 94,2 | 98,0 | 108,2 | 112,8 | 93,8 | 3,48 | 19,98 |
| Nombre de grains vides . . . | 92,0 | 143,2 | 133,6 | 126,6 | 133,0 | 160,8 | 0,40 | N.S. |
| Nombre de fleurs fécondées . | 76,6* | 96,4 | 98,8 | 108,4 | 112,8* | 95,4 | 5,21 | 4,30 |
| Poids de 1 000 grains (g) . . . | 103,2* | 92,2 | 93,6 | 91,2 | 90,2 | 95,6 | 1,44 | N.S. |

Comparaison à la borne 100 : *limite 0,05.

Nous voyons que, dans l'ensemble, toutes ces moyennes, inférieures à 100, sont en faveur de la partie S; sauf pour les traitements B et b pour lesquels les capitules présentaient le dos au soleil. Des différences significatives ont été enregistrées dans la comparaison des moyennes, deux à deux. Mais si l'on se rapporte à la borne 100, seuls les traitements A et a (capitules dressés face au soleil) ont entraîné une réduction significative de la production en grain dans le quartier supérieur.

Les *grains vides* étaient très peu nombreux et les rapports estimés pour ce caractère sont très aléatoires (troisième ligne du tabl. 7). Pour la même raison doivent être acceptés avec quelques réserves les résultats enregistrés pour le nombre de fleurs fécondées obtenus par l'addition des grains pleins et des grains vides.

4) *Comparaison du poids de 1 000 grains (d'après 100 grains choisis de taille moyenne).* Le tableau 8, nous montre les valeurs moyennes des poids de 1 000 grains, en grammes. L'analyse de la variance a fourni une valeur assez élevée de l'indice F, ($F = 3,5$), proche du seuil de certitude ($p = 0,05 \quad F = 4,22$), pour la part due aux zones. Les parts revenant aux orientations et à leur interaction avec les zones ne sont pas significatives.

TABLEAU 8
Poids de 1 000 grains en g

| Zones | Orientations | | | | | | \bar{m} |
|---------------------|--------------|------|------|------|------|------|-----------|
| | T | A | a | B | b | G | |
| N | 84,9 | 76,9 | 76,1 | 73,0 | 72,5 | 70,2 | 75,6 |
| S | 82,0 | 83,6 | 84,6 | 78,0 | 80,2 | 73,3 | 80,2 |
| \bar{m} | 83,5 | 80,3 | 80,3 | 75,4 | 76,4 | 71,7 | |

Il en est de même pour le rapport du poids des 1 000 grains de la partie N à celui de la partie S (ligne inférieure du tabl. 7). Ce rapport est cependant à l'avantage du quartier inférieur, sauf pour le témoin.

5) *Variation de la composition des akènes* (tabl. 9). Les akènes prélevés dans les deux zones, N et S, de chaque capitule ont été analysés pour en déterminer les pourcentages de coque, d'huile et de protéine (*). Les données recueillies en N ont été rapportées à celle obtenues en S et les variations de ces rapports ont été analysés.

Les valeurs enregistrées par le test F n'autorisent pas la comparaison des moyennes des traitements deux à deux, mais la comparaison de ces moyennes à la borne 100 est possible.

En règle générale, indépendamment des traitements qui ont été appliqués, nous voyons d'après les moyennes (deux dernières colonnes du tabl. 9) que les akènes de la partie N, déjà reconnus plus légers que ceux de la partie S, renferment moins d'amandes (rapport des coques, 106,3 p. 100) et pour cela aussi moins d'huile (rapport, 97 p. 100). En outre, les amandes seraient plus riches en protéine et moins pourvues d'huile.

Ces caractéristiques se retrouvent pour l'ensemble des traitements, mais elles sont plus accentuées pour le traitement « A » (capitule redressé face au soleil). Le sectionnement des vaisseaux conducteurs dans la partie interne du col, (traitement, « a ») a renversé la tendance générale en faveur des akènes de N.

(*) Nous avons utilisé un analyseur à réflexion dans l'infrarouge, NEOTEC, qui a fourni les teneurs en huile, protéine, eau et coque avec des erreurs relatives respectives de 4 p. 100, 4 p. 100, 6 p. 100 et 7 p. 100.

TABLEAU 9

Valeurs des rapports N/S pour quelques constituants des akènes

| Caractères comparés | Traitements (orientations) | | | | | | moyennes | $100 + 2\sigma \bar{m}$ ou $100 - 2\sigma \bar{m}$ |
|--------------------------------|----------------------------|----------|----------|-------|----------|----------|----------|--|
| | T | A | a | B | b | C | | |
| % de coque . . . | 108,0 | 111,8(*) | 109,0 | 95,6 | 108,2 | 105,2 | 106,3 | 104,6 |
| Huile dans l'akène . | 95,8 | 94,8(*) | 99,6 | 99,6 | 96,0 | 96,2 | 97,0 | 97,8 |
| Huile dans l'amande | 98,6 | 99,8 | 104,0(*) | 98,4 | 99,8 | 98,2 | 99,8 | 98,7 |
| Protéine dans l'amande | 106,2(*) | 108,6(*) | 100,6 | 101,0 | 106,6(*) | 105,2(*) | 104,7 | 102,9 |

(*) Moyennes des traitements significativement différentes de la borne 100.

Trois caractères sont associés au développement plus ou moins achevé de l'akène : la proportion de coque, le poids de 1 000 grains et la teneur en huile dans les amandes. Nous avons calculé les coefficients de corrélation entre les deux derniers caractères et le premier.

Poids de 1 000 grains et pourcentage de coques : à partir des 60 données, nous n'avons trouvé aucune corrélation, ($R = 0,012$). Mais après avoir séparé les données relatives aux deux zones, nous avons obtenu les coefficients :

$$r_N = -0,567 \quad (t = 3,64 \text{ très significatif})$$

$$r_S = +0,235 \quad (t = 1,28 \text{ non significatif})$$

Dans la partie N, la réduction du poids des akènes est donc associée à une réduction de la proportion d'amande.

Dans la partie S, les akènes les moins lourds doivent être d'un volume plus petit sans que leur remplissage ne soit en cause.

Pourcentage d'huile dans l'amande et pourcentage de coque : les coefficients de régressions ont été les suivants :

$$R = -0,245 \quad (t = 1,92)$$

$$r_N = -0,341 \quad (t = 1,91)$$

$$r_S = -0,169 \quad (t = 0,91)$$

Les deux premiers coefficients, très proches du seuil admis pour $\rho = 0,05$, indiquent qu'un développement incomplet de l'amande est associé à une accumulation d'huile plus réduite. Ce fait est plus marqué dans la partie N qu'en S.

Conclusions

Au cours de l'été 1978, les températures moyennes journalières, plus basses qu'à l'ordinaire, nous ont permis d'enregistrer des taux de fructification élevés, allant de 87 à 98 akènes formés pour 100 fleurs. Dans ces conditions nous n'avons observé que de faibles variations du taux de fructification entre divers points des capitules.

Au contraire une fructification très défectueuse a été remarquée dans la partie supérieure, N, des capitules placés dans des sacs de papier pendant la floraison et jusqu'à la récolte.

Plus qu'à un défaut de fécondation ou à quelque autre « effet pollen », nous pensons que le taux de fructification a été affecté par un mauvais développement des embryons. A ce sujet des différences variétales ont été mises en évidence montrant pour la variété égyptienne « Gizeh » une bonne tolérance aux conditions difficiles. Cette tolérance s'expliquerait par l'origine géographique et peut-être aussi par la coloration blanche des akènes de cette variété; ce qui protègerait l'embryon d'un excès de rayonnement solaire.

Davantage que le taux de fructification, ce sont les caractères des akènes qui rendent le mieux compte de la productivité moindre du quartier supérieur du capitule réduite à 90 p. 100 de celle du quartier inférieur. Dans cette dernière partie, les akènes sont plus lourds, mieux remplis et leurs amandes sont plus riches en huile.

Ces faits, peu modifiés par les divers traitements que nous avons appliqués, ont été surtout accusés par l'exposition des capitules aux rayonnements solaires (traitement A et a). Ils ne sont que légèrement atténués par une orientation opposée.

Du point de vue pratique, et surtout dans les pays chauds et secs, la recherche de capitules situés dans un plan parfaitement vertical ne semble pas devoir être recommandée. Une légère inclination, en réduisant l'angle d'incidence des rayons du soleil, serait préférable.

L'obtention de cultivars présentant les dos des capitules au soleil nécessiterait un effort de sélection sans doute disproportionné avec l'avantage à en attendre (*). Par contre un développement plus harmonieux de tous les akènes d'un même capitule pourrait s'acquérir par une réduction du diamètre de celui-ci. Cette réduction de taille serait alors à compenser par le nombre de capitules au mètre carré de surface cultivée. Nous pensons là à des formes nouvelles « multicapitées », ou à tête unique mais adaptées à des peuplements très denses.

Reçu pour publication en octobre 1979.

(*) Une telle sélection ne paraîtra pas sérieuse aux esprits dépourvus d'originalité. Elle aurait cependant été entreprise avec quelques succès aux États-Unis par un sélectionneur de la firme Northrup King (propos recueillis auprès du Dr Low, C.S.I.R.O. à Griffith, Australie).

Summary

*Studies of genetical means of improving the fructification of sunflower (*Helianthus annuus* L.)*

Variation of the fructification rate according to the site of the floret and the orientation of the head

Successful fructification depends not only on pollination but also on a satisfactory growth of the embryo up to the ripe achene. This growth varies with variation of the internal and external environments. Two experiments concerning this are presented here.

Experiment n° 1 : Variation of the fructification rate with the site of the floret on the head : five cultivars (« Mirasol », « Balkan », « Peredovik », « Stadium » and « Gizeh ») received the three following treatments (10 plants/treat./var.) :

- T, (control), open pollinated,
- A, daily aided selfing under paper bags,
- B, daily aided crossing with a mixture of foreign pollen, under paper bags.

Table 1 shows the high p. 100 fructification in open pollination and little difference between cultivars and between zones (zones indicated in fig. 1).

Under paper bags, with either kind of pollen, the fructification is sharply reduced but chiefly in the N part of the heads (tables 2 and 3). It clearly appears that the egyptian cultivar, « Gizeh », suffers most the difficult climate inside the bag (tables 2 and 3). Table 4 gives the p. 100 fructification under bags with foreign pollen (col. 2) and self pollen (col. 4). The relative differences (col. 6) show a very good self compatibility of « Mirasol ».

Table 5 shows opposite results for the N and S parts with foreign pollen (col. 2) as with self pollen (col. 4). The opposite results independent of the kind of pollen, might indicate that the bag condition troubles the fructification mainly through embryo growth : the relative differences due to the pollen are the same in all parts of the head (col. 6 and 5).

Experiment n° 2 : The fructification according to the angle and the orientation of the head.

A male sterile F₁ hybrid was used giving 6 similar groups of 5 plants. Each group received the treatments given in fig. 3, and were allowed to be open pollinated. The N and S parts of the head were compared in each case.

The p. 100 fructification after counting of the flowers was exceptionally high (table 6). Nevertheless, the light difference between N and S is significant. As to the treatments, the variation is chiefly due to « C », a too great constraining treatment.

Dividing the results from quarter N by those from quarter S, for each head, gives comparisons as percentages. Table 7 gives such percentage for yield and its components. The control, T, yields less in the N part than in the S part because of less fertile flowers. This tendency is accentuated for treatment « A » and « a », (head facing the sun) chiefly by reducing the weight of the achene and increasing the number of empty achenes in part N. Treatment « B » and « b », (back facing the sun) gives in the N part the same yields as in the S part, although with lighter achenes. In any case, (except, « T »), the achenes from S are heavier (table 8).

The mean weights of the achenes for each treatment (tabl. 8) do not differ significantly.

The achenes from the two opposite sides of the head were also compared, (table 9), for some characters p. 100 husk, oil p. 100 achene, oil p. 100 kernel, and protein content. On average, in the N part, the achenes are lighter with less p. 100 kernel and oil content. This general tendency is accentuated for treatment « A » (facing the sun). But sectioning of some of the vessels (treatment « a ») reduces oil content in the kernels from the S part.

Correlation coefficients were calculated for 100 achene-weight; p. 100 husk, and p. 100 oil in the kernel. It appears that, in the N part, the decrease of 100 achene-weight is due to the increase of p. 100 husk ($r = -0,567$ H.S.). In the S part. ($r = +0,235$ N.S.) the weight of the achene is related to its size.

Références bibliographiques

- LENCREROT P., DECAU J., PUECH J., 1977. Évolution des teneurs en huile et en protéines des grains de Tournesol (*Helianthus annuus* L.) diversement alimentés en azote, selon leur position sur le capitule et leur âge physiologique. *C. R. Séances Acad. Sci., D*, **284** (11), 907-910.
- PATIL V. A., BANGAL D. B., GOSWAMI P. B., 1976. A note on interfloret competition in sunflower. *Indian J. Plant. Physiol.*, **19** (1), 28-31.
- SEGALA A., SEGALA Martine, PIQUEMAL G., 1980. Recherches en vue d'améliorer le degré d'autogamie des cultivars de Tournesol (*Helianthus annuus* L.) : I. L'autogamie et l'auto-compatibilité pollinique. *Ann. Amélior. Plantes*, **30** (2), 151-159.
- SEETHARAM A. S., KUSUMAKUMARI P., SINDAGI S. S., 1977. Note on the immediate influence of pollen on seed weight and oil content in sunflower. *Indian J. agric. Sci.*, **47** (5), 262-263.
- SINDAGI S. S., 1978. Poor seed set in sunflowers and mean to alleviate it. *Sunflower-Newsletter*, **2** (3), 10-13.
- THOMSON T. E., FICK G. N., CEDENO J. R. Maternal control of seed oil percentage in sunflower (à publier).
- VRANCEANU A., 1974. *Floarea-soarelui*. Edit. Ac. R. Soc. România.

PIQUEMAL G, MOURET JC. 1980 Contribution à l'amélioration génétique de la fructification du tournesol (*Helianthus annuus*). Variation du taux de fructification des fleurs selon leur emplacement et leur orientation. Ann. Amélior. Pl. 30: 175-190. (in French)

Studies of genetic means of improving fructification of sunflower: Variation according to floret position and capitulum orientation (fructification = seed set)

Extended English summary page 188

Seed set depends not only on self compatibility but also environmental factors. Studies were made on one oilseed hybrid, 2 oilseed open pollinated varieties and two confectionary OPV/landraces with large seed. seed set under hot, dry conditions). Seed set on the lower part of the capitulum was better than on the top, most exposed to the sun. The Egyptian variety Gizeh showed the best seed set in hot dry conditions. For hot conditions an overturned head, with seed in the shade, should be best. It would also be better to have many small capitula to give more regular seed set and size.

Figure 1: Definition of the 4 quadrants on a capitulum.

Figure 2: Marking of samples of 25 florets and akenes per capitulum.

Figure 3: The orientation treatments applied in experiment 2.

Table 1: Percent of florets setting seed after open pollination.

Table 2: Percent of florets setting seed after cross pollination under paper bags.

Table 3: Percent of florets setting seed after assisted self pollination under paper bags (by rubbing the paper against the florets)

Table 4: Difference in mean percent seed set according to variety and to type of pollination.

Table 5: Percent of florets setting seed according to capitulum quadrant

Table 6: Numbers of seed set according to capitulum orientation and quadrant.

Table 7: Ratios of upper part/lower part of capitulum for seed production components (seed weight, number of filled seed, number of empty seed, number of pollinated florets, 1000 seed weight).

Table 8 : 1000 seed weight according to capitulum orientation and quadrant.

Table 9: Ratios of upper part/lower part of capitulum for seed characteristics (seed oil content, kernel oil content, kernel protein content)