

Evolution des caractéristiques de la graine et du capitule chez le tournesol au cours de la maturation

B. Chervet et F. Vear

INRA, Station d'amélioration des plantes, Domaine de Crouelle, 63039 Clermont-Ferrand Cedex, France

(reçu le 13-6-1988, accepté le 19-12-1988)

Résumé — L'évolution de l'humidité du capitule et des graines de 25 variétés de tournesol (*Helianthus annuus* L.), de la teneur en huile de 13 d'entre elles et du poids sec de 100 grains, pour 10 d'entre elles, ont été suivies de la floraison jusqu'à la maturité complète. L'humidité des graines diminue régulièrement au cours des 7 semaines d'étude à des vitesses différentes suivant les variétés. L'humidité du capitule ne varie pas pendant les 6 premières semaines après la floraison (70 à 80% d'eau), puis décroît de façon plus ou moins importante suivant les variétés. Un certain nombre de corrélations entre différents caractères et l'humidité au 2 septembre sont établies. Le contenu maximal en huile varie, suivant les variétés, de 44 à 52% du poids sec du grain. Il est élaboré, en moyenne, dans les 40 premiers jours après la floraison, la matière sèche du grain l'étant dans les 45 premiers jours après la floraison. Les vitesses d'évolution des teneurs en huile et en matière sèche varient en fonction des génotypes.

dessèchement – matière sèche – teneur en huile – maturité physiologique

Summary — **Changes in characteristics of sunflower seed and capitula during ripening.** *Changes in the humidity of capitula and seed of 25 sunflower (*Helianthus annuus* L.) varieties were followed from flowering to maturity, the oil content evolution was studied for 13 varieties and the 100 grain weight evolution for 10. The water content of seeds diminished regularly during the 7 weeks of the study, with significant varietal rate differences. The capitulum humidity did not vary during the six first weeks after flowering (70 to 80%) but then was reduced to a variable extent according to variety. Correlation between different characters and humidity on 02/09/87 were established. The maximum oil content of the seed varied between varieties from 44 to 52% of dry weight. It was generally produced during the 40 days after flowering, comparable with the dry weight, maximum 45 days after flowering days. The rates of increase of both these characteristics varied according to genotype.*

drying – dry matter – oil content – physiological maturity

Introduction

Chez le tournesol, les principales caractéristiques conduisant à la maturité sont : la diminution de la teneur en eau des graines et du capitule, l'élaboration de la teneur en huile et l'acquisition du poids de 1 000 grains. Cette phase de maturation peut être divisée en 2 étapes. L'une va de la floraison à la maturité physiologique, définie par Harrington (1972) comme le maximum de poids sec du grain. L'autre va de la maturité physiologique à la récolte, qui intervient généralement aux alentours de 10% d'humidité du grain. En France, peu de travaux ont été réalisés sur la

maturation chez le tournesol, qui est pourtant d'un intérêt capital pour la prévision de la récolte avec un rendement de bonne qualité en grain et en huile. En 1976, Rollier *et al.* ont effectué une étude de l'évolution de l'humidité et de la matière sèche des graines avec des variétés inscrites au catalogue officiel à cette époque, mais aucune n'est actuellement cultivée. D'autres travaux analogues ont été réalisés sur différentes variétés par des auteurs américains (Anderson, 1975; Browne, 1978; Robertson *et al.*, 1978; Goyne *et al.*, 1979; Robinson, 1983).

Le but de l'étude entreprise à Clermont-Ferrand était de connaître les différentes caractéris-

tiques de l'akène et du capitule (teneur en eau, accumulation de matière sèche, teneur en huile de la graine) au cours de la maturation, pour un grand nombre de variétés commercialisées représentant une large gamme de précocité. Nous avons aussi voulu préciser les caractéristiques du stade de maturité physiologique. Cette étape est en effet importante puisqu'elle constitue la fin de la vie active de la plante et peut déterminer la date éventuelle de défoliation ou la disparition des résistances aux pathogènes.

Matériel et Méthodes

Le dispositif expérimental utilisé était un système bloc avec une seule répétition et 25 variétés commercialisées (Aphasol, Vitaflor, Isomax, 293 D (Pinto), IBH 166, Primasol, Sunking, Frankasol, Rodéo, Prestiflor, DKS 39, Mirasol, Viki, Cargisol, Sirio, Cerflor, Maryflor, Siou, Mikaflor, Vérafleur, IS7111, Elia, Pariou, Flamme, Sémira). Chaque parcelle était constituée de 4 lignes de 30 mètres avec un écartement de 60 cm entre 2 lignes; seules les 2 lignes centrales ont été utilisées pour les prélèvements. Il n'y a eu aucune irrigation sur les parcelles.

La date de 50% de floraison de chaque parcelle a été notée. Afin de suivre l'évolution de la maturation des graines et des capitules, nous avons effectué des prélèvements chaque semaine pendant 7 semaines, les premiers étant réalisés environ 20 jours après la floraison, les derniers correspondant à un stade de récolte. Trois prélèvements par capitule ont été effectués, avec un emporte-pièce de 2,5 cm de diamètre, sur 4 plantes par variété. Ils ont été faits suivant un angle de 120° sur les capitules. On avait ainsi 3 échantillons de 20 à 30 graines des rangs du milieu du capitule. Les plantes ont été choisies au hasard lors des premiers prélèvements, puis de façon à être représentatives de la parcelle. Le poids frais et le poids sec, après étuvage pendant 48 h à 80°C, des graines et du capitule ont été déterminés. Le poids sec de 100 graines a été déterminé pour 10 variétés. La teneur en huile des graines sèches a été mesurée, pour 13 variétés, par résonance magnétique nucléaire (Gradlung et Zimmerman, 1975). Pour l'humidité, nous avons fait la moyenne des 3 échantillons de chaque

capitule, pour les 2 autres paramètres nous avons regroupé les échantillons. L'humidité est calculée de 2 façons. D'une part sur le poids frais de l'ensemble de la graine (eau+huile+fraction protéique+coque) pour les 25 variétés, d'autre part sur la fraction non lipidique de la graine pour les 10 variétés pour lesquelles on dispose du poids de 100 graines.

Résultats

Evolution du poids sec de 100 graines

L'évolution du poids sec de 100 graines au cours du temps pour 4 variétés est représentée par la Figure 1. L'allure des courbes varie suivant les génotypes. Dans certains cas, on constate une augmentation à partir du début des mesures jusqu'à un maximum, ensuite la courbe diminue. Frankasol (Fig. 1a), Alphasol (Fig. 1b) et IBH 166 présentent ce type de comportement. Dans d'autres cas, on obtient un palier qui se maintient lors des dernières mesures. Ceci est observé pour Mirasol (Fig. 1a), Pinto (Fig. 1b), Vérafleur, Rodéo, et Viki. La quantité de matière sèche au début des mesures (environ 20 jours après la floraison) varie suivant les variétés (Tableau I). Par exemple Mirasol a formé 1,86 gramme de matière sèche pour 100 graines, IBH 166 2,21, Sémira 2,83, Pinto 1,32. Cependant, chez Mirasol et Sémira, cela représente 55% du poids sec final de 100 grains et, respectivement, 38 et 30% pour IBH 166 et Pinto. On observe une corrélation hautement significative ($r=0,70$, 8 ddl) entre la taille de la graine à ce stade et la taille finale de la graine à maturité. La vitesse d'accumulation de matière sèche dans la graine (Tableau I) varie de 0,09 g/100 graines/jour pour Mirasol à 0,220 pour IBH 166. A partir du 21^e jour après la floraison, la vitesse maximale se maintient pendant 2 semaines chez Frankasol et Pariou, 3 semaines chez Mirasol, Rodéo, Pinto, IBH 166, Vérafleur, Sémira et Viki, 4 semaines chez Alphasol. Il ne

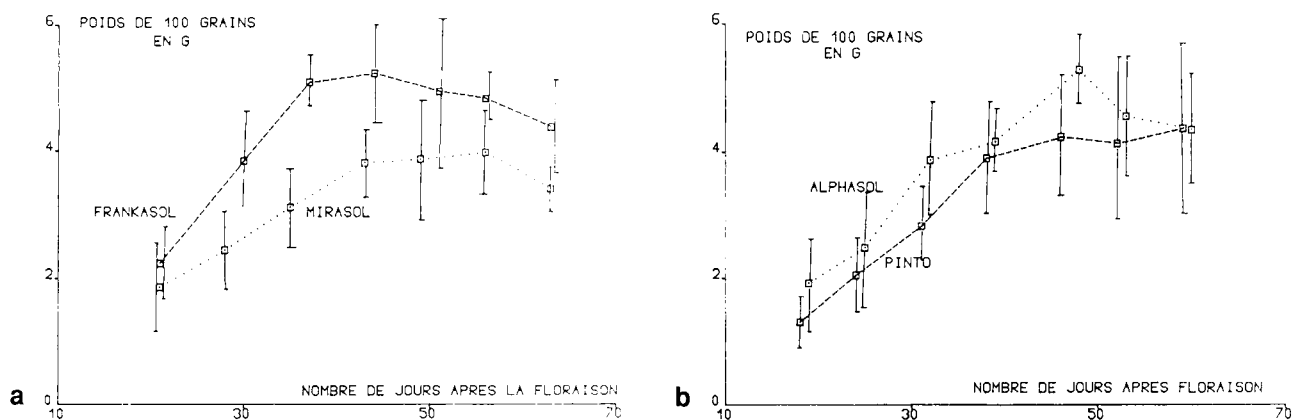


Fig. 1 a et b. Evolution de la matière sèche de 100 graines au cours du temps (intervalle de confiance pour un coefficient de sécurité de 95%).

Tableau I. Valeurs des paramètres étudiés relatifs au poids sec des grains.

	<i>Poids de 100 graines en g, 20 j. après floraison</i>	<i>Nb. j. après floraison pour max. poids sec</i>	<i>Humidité au maximum de poids sec</i>	<i>Vitesse maximale** de remplissage en g de MS/100 graines/j</i>	<i>Poids de 100 graines à la dernière observation Moyenne groupes homogènes (Newmann-Keuls à 5%)</i>	
IBH 166	2,21	42	34	0,220	5,75	a
Pariou	2,55	52	28	0,180	5,38	ab
Sémira	2,83	44	35	0,123	5,18	ab
Pinto	1,32	46	35	0,128	4,37	bc
Frankasol	2,23	44	30	0,180	4,36	bc
Alphasol	1,92	48	18	0,119	4,34	bc
Rodéo	1,55	44	28	0,120	3,73	c
Viki	1,94	41	33	0,100	3,69	c
Mirasol	1,86	43	36,5	0,090	3,42	c
Véraflor	1,42	43	41	0,100	3,33	c

** : La vitesse maximale de remplissage est calculée sur la période de croissance linéaire

semble pas y avoir de relation entre la durée et la vitesse de remplissage.

Le maximum du poids sec de 100 graines est atteint au plus tôt 42 jours après floraison, chez Frankasol, au plus tard 52 jours après floraison, chez Alphasol, et la moyenne des 10 variétés est de 45 jours (Tableau I). La teneur en eau du grain pour laquelle le maximum de poids sec est atteint varie de 18% pour Alphasol à 41% pour Véraflor, et la moyenne pour les 10 variétés est de 32%.

Le Tableau I donne le classement des variétés, à la dernière mesure, pour le poids de 100 graines. IBH 166 a les graines les plus grosses, 5,75 grammes, Véraflor les plus petites, 3,33 grammes. On note une corrélation hautement significative ($r=0,82$, 8 ddl) entre le poids de 100 graines et leur vitesse de remplissage.

Evolution de la teneur en huile

Le Tableau II présente les différents paramètres relatifs à la teneur en huile. Les modalités d'établissement de cette teneur varient en fonction des variétés (Fig. 2). On observe des différences dans la proportion d'huile au début des mesures. Vitaflor a déjà une teneur en huile de 30% du poids sec 21 jours après floraison, alors que Véraflor est à 10% (Tableau II).

La teneur en huile augmente plus ou moins rapidement pour atteindre un palier qui varie en fonction des variétés. Alphasol et Pinto atteignent le palier brusquement (Fig. 2a). Pour Pariou (Fig. 2b), il y a un ralentissement avant d'atteindre le palier. Ce dernier est atteint au plus tôt

32 jours après floraison, pour Alphasol, au plus tard 49 jours après floraison, pour Véraflor (Tableau II). La moyenne des 13 variétés est de 40 jours après floraison. Le maximum d'huile est atteint pour 33% de l'humidité de la graine chez Viki, 50% chez Alphasol et 40% pour la moyenne des variétés (Tableau II).

La vitesse maximale d'évolution de la teneur en huile est atteinte par Sunking, qui forme 3,2 points d'huile par jour entre le 21^e et le 27^e jour après floraison, ensuite par Viki avec 2,9 points d'huile entre le 19^e et le 26^e. IS7111 a la vitesse d'évolution la plus faible, 1,3 point d'huile par jour entre le 21^e et le 40^e jours après floraison.

Parmi les variétés étudiées, la teneur maximale en huile varie de 52,1% chez Viki à 44,4% chez Rodéo (Tableau II). Cependant, la différence de 4,3 points d'huile entre Viki et Alphasol n'est pas significative.

Dessèchement des graines et du capitule

Les Figures 3a, 3b, 3c, 3d montrent les courbes de dessèchement des capitules (1), des graines entières (2), et de la fraction non lipidique des graines (3).

Nous avons comparé l'évolution du pourcentage d'humidité dans la graine entière et dans la fraction non lipidique, afin de déterminer si une partie du dessèchement observé pouvait être expliquée par l'augmentation de l'huile, composé hydrophobe. L'allure des courbes étant sensiblement la même, la diminution d'humidité est donc bien réelle. Ainsi, dans la suite des résultats, nous utiliserons les humidités calculées avec le

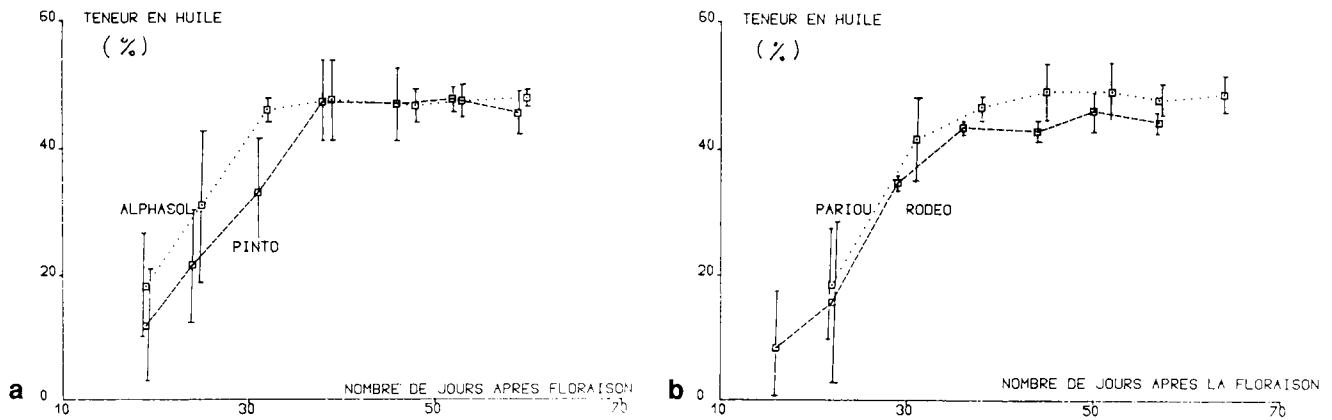


Fig. 2a et b. Evolution, au cours du temps, de la teneur en huile (intervalle pour un coefficient de sécurité de 95%).

Tableau II. Valeurs des paramètres étudiés relatifs à la teneur en huile.

	<i>Teneur en huile 20 j. après floraison en % poids sec</i>	<i>Nb. j. après floraison pour max. teneur huile</i>	<i>Humidité au maximum de teneur en huile</i>	<i>Vitesse d'évolution** de la teneur en huile en point d'huile/jour</i>	<i>Teneur en huile à la dernière observation en % poids sec Moyenne groupes homogènes (Newmann-Keuls à 5%)</i>	
Viki	18	41	33	2,91	52,10	a
Véraflor	10	49	35	2,41	51,81	a
Vitaflor	31	35	45	1,44	51,39	a
Mirasol	13	43	37	2,46	51,01	a
Sémira	26	38	40	1,64	50,76	a
Sunking	21	41	35	3,20	50,25	a
IBH 166	26	42	34	2,81	49,08	a
Pariou	18	45	36	2,58	48,68	a
Frankasol	21	37	39	1,79	48,58	a
IS 7111	9	39	44	1,33	48,13	a
Alphasol	18	32	50	2,15	47,80	ab
Pinto	12	38	45	1,24	45,40	bc
Rodéo	8	36	46	1,85	44,37	c

** : La vitesse d'évolution est calculée sur la période d'augmentation linéaire de la teneur en huile.

poids frais de la graine, incluant tous ses composants.

La teneur en eau des graines commence à diminuer dès le début des observations. En revanche, quelle que soit la variété, l'humidité du capitule ne varie pas pendant au moins 6 semaines après la floraison, sa teneur en eau se situant entre 70 et 80%. Ensuite, elle décroît de façon différente suivant les variétés. En fonction du comportement pour le dessèchement des 2 organes, on peut établir 4 groupes de variétés :

Groupe I. Variétés présentant un décrochement dans la dessiccation des graines et un fort dessèchement du capitule (humidité inférieure à

50%) entre le 40^e et le 50^e jour après la floraison (Fig. 3a) : Alphasol, Pinto, Primasol, Vitaflor).

Groupe II. Variétés présentant une dessiccation très progressive des graines et un fort dessèchement du capitule 50 jours après la floraison (humidité inférieure à 50% (Fig. 3b) : Frankasol, Maryflor, Mirasol, Cargisol, Sirio, Viki, Prestiflor, DKS 39, Sémira).

Groupe III. Variétés présentant une dessiccation progressive des graines et un faible et tardif dessèchement du capitule (humidité comprise entre 50 et 75% (Fig. 3c) : Isomax, IBH 166, Elia, Flamme, Pariou, Rodéo, Sunking, Véraflor).

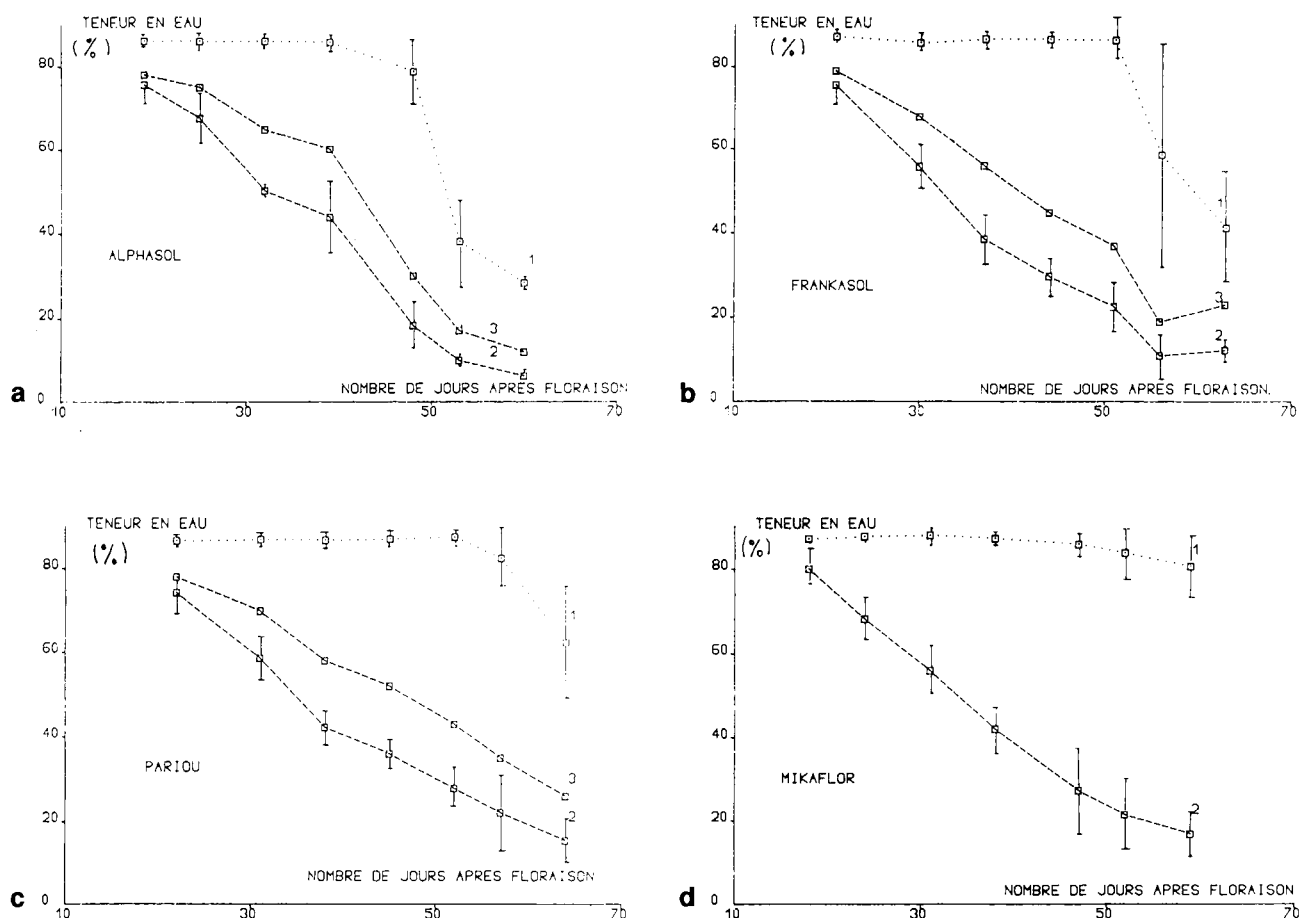


Fig. 3a, b, c et d. Evolution de l'humidité des capitules (1), des graines entières (2), et de la fraction non lipidique des graines (3) (intervalle de confiance pour un coefficient de sécurité de 95%). a : groupe I, précoce avec décrochement de l'humidité des graines; b : groupe II, forte diminution de l'humidité du capitule; c : groupe III, faible diminution de l'humidité du capitule; d : groupe IV, pas de diminution de l'humidité du capitule.

Groupe IV. Variétés chez qui l'humidité du capitule ne diminue presque pas (Fig. 3d) : Cerflor, Mikaflo, Siou, IS7111.

On peut, sur les courbes, déterminer la date de diminution de la teneur en eau du capitule et la teneur en eau de la graine correspondante (Tableau III). La relation pourcentage d'humidité de la graine et date entre 3 et 10 semaines après floraison peut être ajustée à une régression linéaire hautement significative dans tous les cas. Les pentes des droites obtenues représentent les vitesses de dessiccation qui sont portées dans le Tableau III. Les variétés présentent des vitesses de dessèchement différentes. Ainsi, Alphasol perd 1,84 point d'eau par jour, Sémira 1,39. La floraison tardive de Sémira est associée à une vitesse de dessiccation faible, alors que la floraison précoce de Pinto est associée à une vitesse plus élevée, 1,81. Cependant, pour une même date de floraison, la vitesse de dessiccation peut être différente.

D'après le Tableau III, on peut voir que la variété la plus précoce à la floraison est Sunking,

qui fleurit le 2 juillet, la plus tardive est Sémira qui fleurit le 13 juillet, soit une différence de 11 jours. Pour l'humidité au 2 septembre les variétés les plus précoces sont Alphasol (6,21%) et Vitaflor (6,64%), la plus tardive est Sémira (26,62%), soit une différence de 20%. Il y a cependant une grande variabilité intragénotypes qui fait qu'une différence de 10 points n'est pas significative (test de Neuman-Keuls à 5%).

Le nombre de jours après floraison pour lequel la teneur en eau du capitule diminue va de 40 jours, pour Alphasol et Primasol, à 57 jours, pour Véraflo et Elia. Pour certains génotypes, il n'y a pas de diminution. Ces valeurs correspondent à une humidité de la graine de 40% pour les 2 premières variétés et de 20% pour les 2 autres.

La régression (date de floraison) - (humidité au 2 septembre) est significative, cependant le coefficient de corrélation est faible ($r=0,42$, 23 ddl); ainsi, pour une même date de floraison, le 8 juillet, l'humidité varie de 7 à 20%. La régression (vitesse de dessiccation) - (humidité au 2 septembre) est hautement significative ($r=0,71$,

23 ddl). L'humidité des graines à cette date est donc fonction de leur vitesse de dessèchement. La régression (nombre de jours après floraison pour la diminution en eau du capitule) - (humidité de la graine au 2 septembre) est hautement significative ($r=0,62$, 23 ddl). Cependant, chez Sémira et Frankasol, la teneur en eau du capitule diminue 50 jours après floraison alors qu'il y a 16 points d'humidité d'écart entre les 2 variétés. Entre la teneur en eau du capitule au 2 septembre et la teneur en eau des graines à la même date, on obtient une régression exponentielle très hautement significative ($r=0,96$, 23 ddl).

Relation entre les différents paramètres

Les régressions linéaires totales entre l'humidité au 2 septembre, la teneur en huile et le poids de 100 graines ne sont pas significatives.

On a les résultats suivants :

– huile-humidité : $r= 0,30$ (11 ddl);

– huile-poids de 100 graines : $r= -0,14$ (8 ddl);

– poids de 100 graines-humidité : $r= 0,10$ (8 ddl).

Le maximum de teneur en huile est atteint, en moyenne, 8 jours avant le maximum de poids sec.

Discussion

Evolution du poids sec de 100 graines

Pour l'évolution du poids sec de 100 graines, les variétés diffèrent en durée mais surtout en vitesse. On doit rappeler que les mesures ont été effectuées sur un échantillon et non sur le capitule entier. Les différences pourraient être liées au nombre de graines par capitule à alimenter et aussi à des différences de quantité d'assimilats. Rollier *et al.* (1976) ont montré, sur le tournesol, que le poids de 1 000 graines s'accroît régulièrement, au cours de la phase de formation

Tableau III. Valeur des différents paramètres relatifs à l'humidité des graines et des capitules.

	Date de floraison en juillet	Humidité des graines au 2/09/87 en %		Vitesse de dessiccation de la graine en % par jour entre 3 et 10 semaines après la floraison	Nombre de jours après floraison pour diminution en eau capitule	Humidité de la graine en % pour diminution graines/capitule	Groupe pour la dessiccation
		Moyenne groupes homogènes N-K à 5%					
Alphasol	4	6,21	a	1,84	40	40	1
Vitaflor	8	6,64	a	1,76	43	35	1
Isomax	8	9,27	ab	1,64	49	20	3
Pinto	5	9,46	ab	1,81	46	35	1
IBH 166	9	9,79	ab	1,66	48	23	3
Primasol	4	10,10	ab	1,76	40	40	1
Sunking	2	10,58	ab	1,40	55	28	3
Frankasol	8	10,97	ab	1,56	50	25	2
Rodéo	7	11,87	abc	1,70	50	30	3
Prestiflor	8	12,04	abc	1,62	50	25	2
DKS 39	9	13,06	abc	1,66	48	25	2
Mirasol	8	13,11	abc	1,63	50	29	2
Viki	10	13,94	abc	1,53	47	29	2
Cargisol	7	14,26	abc	1,63	50	30	2
Sirio	9	14,26	abc	1,63	50	30	2
Cerflor	6	15,26	abc	1,66	*	/	4
Maryflor	9	15,82	abc	1,61	50	29	2
Siou	7	16,44	abc	1,44	*	/	4
Mikaflor	5	16,53	abc	1,60	*	/	4
Véraflor	9	17,22	bcd	1,53	57	20	3
IS 7111	4	19,26	bcd	1,61	*	/	4
Elia	8	19,34	bcd	1,57	57	21	3
Pariou	7	22,12	bcd	1,39	52	30	3
Flamme	10	22,93	cd	1,50	55	23	3
Sémira	13	26,62	d	1,39	50	30	2

* Pas de diminution.

des akènes, jusqu'à la maturité. Cependant, Rodrigues Pereira (1978), Browne (1978) et Ortegon Morales (1980) ont montré, comme dans notre étude, que la matière sèche de la graine atteint un maximum entre 30 et 50 jours après la floraison. D'après Anderson (1975) et Unger et Thompson (1982), le mode d'accumulation de la matière sèche varie en fonction de la date de semis et des conditions environnementales. Ce schéma d'évolution de la matière sèche, qui présente un palier en fin de cycle, s'observe aussi chez le soja (Crookston et Hill, 1978; Swank *et al.*, 1987) et le maïs (Verdier, 1983; Bloc *et al.*, 1983).

Nous avons observé, chez le tournesol, que la taille de la graine est en relation avec sa vitesse de croissance. Chez le soja, la taille de la graine est déterminée par la vitesse et la durée de remplissage, les 2 étant sous contrôle génétique (Egli, 1975; Egli *et al.*, 1981; Egli *et al.*, 1984), bien qu'ils puissent varier en fonction des conditions du milieu (Egli et Wardlaw, 1980). Les mêmes résultats ont été observés chez le blé (Bruckner et Froberg, 1987). Cependant, dans certains cas, seule la vitesse de croissance détermine la taille de la graine : exemples du soja (Egli *et al.*, 1981) et du riz (Jones *et al.*, 1979).

La taille de la graine est associée au taux d'accumulation de la matière sèche et au nombre de cellules de l'embryon ou de l'albumen chez un certain nombre d'espèces. Brocklehurst (1977) a montré, chez deux cultivars de blé, que le taux de croissance de la graine et sa taille finale sont liés au nombre de cellules de l'albumen. De la même façon, Reddy et Daynard (1983) ont montré que le nombre de cellules de l'albumen, le nombre de granules d'amidon, le taux de croissance et la taille de la graine sont positivement corrélés chez 3 hybrides de maïs. Les travaux de Jones *et al.* (1985) sur le maïs vont dans le même sens. Chez le pois, il existe une relation positive entre le nombre de cellules des cotylédons et la matière sèche finale de la graine (Davies, 1975). Chez le soja, Egli *et al.* (1981) ont montré que les différences génétiques dans le taux de croissance de la graine sont liées au nombre de cellules des cotylédons.

Chez le tournesol, aucune étude de ce genre n'a été menée jusqu'à présent. Cependant, il est vraisemblable que 2 systèmes différents soient à considérer : la coque et l'amande.

Teneur en huile

Nous avons trouvé une évolution presque sigmoïdale de la teneur en huile qui est en accord avec les résultats des autres auteurs (Anderson, 1975; Simpson et Radford, 1976; Robertson

et al., 1978; Rodrigues Pereira, 1978; Ortegon Moralès, 1980; Unger et Thompson, 1982). Ainsi, la quantité totale d'huile est formée, suivant les variétés, entre 30 et 50 jours après floraison, ce qui correspond à une humidité de la graine de 33 à 50%. Les résultats d'Anderson (1975) ont montré que la teneur maximale est atteinte pour des durées après floraison différentes suivant la date de semis; Simpson et Radford (1976) ont montré que ce palier est atteint entre 35 et 50 jours après la floraison suivant la date de semis; pour Ortegon Morales (1980), il est atteint vers 30 jours après la floraison et pour une humidité de la graine de 24%. Grewal *et al.* (1978) ont montré qu'il y a une synthèse importante d'huile entre 10 et 30 jours après fécondation, avec un pic entre 20 et 30 jours. D'après Sukhija *et al.* (1980) et Monga *et al.* (1983), le pic se situe entre 10 et 20 jours. Ces derniers auteurs ont étudié les graines des 3 rangs extérieurs alors que nous avons étudié les rangs médians du capitule. Ce type de biosynthèse des lipides qui présente un palier a été retrouvé chez le colza (Norton et Harris, 1975) et le carthame (Ichihara et Noda, 1980).

Humidité

Chez le tournesol, les auteurs trouvent des modes de dessèchement de la graine différents. Ainsi, Anderson (1975) et Rollier *et al.* (1976) ont montré que la dessiccation du grain est régulière au cours du temps. Cependant, Rodrigues Pereira (1978) a trouvé, en conditions contrôlées, que la vitesse de dessèchement est d'abord lente pendant les 2 premières semaines après la fécondation, puis l'humidité se met à décroître plus rapidement. A partir de 30% d'eau, soit 52 à 70 jours après floraison, suivant les conditions, il y a une diminution beaucoup plus importante, jusqu'à 10% d'eau. Un comportement non régulier n'a été trouvé, dans notre étude, que pour le groupe I, où il y a un décrochement dans l'humidité des graines entre le 40^e et 50^e jour après la floraison. Chez le triticale (Bishnoi, 1974) et le blé (Sofield *et al.*, 1977), la vitesse de dessiccation du grain augmente après la maturité physiologique.

En conditions non irriguées, Rollier *et al.* (1976) ont trouvé des diminutions de teneur en eau de 0,88 point par jour en 1973, de 1,45 en 1974 et de 1,25 en 1975, sans qu'il y ait de différences significatives entre les variétés. C'est un exemple de la forte influence des conditions climatiques sur la vitesse de dessiccation. Les conditions très sèches de 1987 ont conduit à des vitesses de dessèchement élevées (entre 1,84 et 1,39).

En accord avec nos résultats, Anderson (1975) et Rollier *et al.* (1976) ont mis en évidence que la teneur en eau du capitule ne variait pas pendant un certain temps et diminuait ensuite. La diminution se situe vers 40 jours après floraison pour la variété étudiée par Anderson. Pour les variétés que nous avons étudiées, elle a lieu entre 40 et 57 jours après la floraison. Rollier *et al.* (1976) ont montré que la teneur en eau du capitule commence à diminuer lorsque la graine atteint 18% d'eau chez le cv. Pérédovick et 10% chez les autres variétés.

Ainsi, au travers des variétés, il ne semble pas exister de relation entre les dessèchements du capitule et des graines, dans la mesure où ces dernières sèchent à la même vitesse, quel que soit l'état physiologique du capitule, et que leur teneur en eau peut diminuer sans variation de la teneur en eau du capitule. Cependant, les variétés les plus précoces au 2 septembre sont celles qui possèdent le capitule le moins riche en eau.

Nous avons voulu savoir si la diminution d'humidité que l'on observe était une dessiccation réelle ou était due à l'augmentation de la teneur en huile sans perte d'eau. Nos résultats montrent qu'il y a une perte d'eau réelle dès le 20^e jour après la floraison.

Chez le maïs, Purdy et Crane (1967) ont montré que la vitesse de dessèchement du grain est en relation avec l'épaisseur du péricarpe. Chez le tournesol, la coque, qui représente 10 à 40% du poids sec, doit avoir un rôle non négligeable dans la déshydratation de l'akène. Il serait intéressant de déterminer s'il y a une relation entre son épaisseur et la vitesse de dessiccation.

Maturité physiologique

Pour Anderson (1975), la maturité physiologique est atteinte lorsque le poids des graines et la teneur en huile sont maximaux. Dans notre étude, le poids sec maximal du grain est atteint environ une semaine après le maximum de teneur en huile. D'après Anderson (1975) et Ortegon Morales (1980), les 2 sont atteints en même temps. Il est à noter que nous avons trouvé une variabilité beaucoup plus importante pour le poids de 100 graines que pour la teneur en huile. Pour différents génotypes et différentes conditions d'expérimentation, les auteurs ont trouvé que la date de maturité physiologique et la teneur en eau correspondante variaient : 31 jours après la floraison avec une teneur en eau de 30% pour Vniimk 6540 (Browne, 1978); 35 jours après floraison avec 36% d'eau pour Sungro (Roberston *et al.*, 1978); respectivement 32% et 34% pour Sunfola 68-2 et Hysun 30 (Goyne *et al.*, 1979).

Le maximum de poids sec du grain est atteint à 40% d'humidité chez le blé (Scott *et al.*, 1957), à 23-30% chez le sorgho (Kersing *et al.*, 1961), à 30-37% chez le maïs (Daynard, 1972) et à 54-62% chez le soja (Tekrony *et al.*, 1979). Cependant, la teneur en eau du grain n'est pas un critère très fiable pour déterminer la maturité physiologique, car cette dernière est fonction des conditions climatiques. C'est pourquoi des critères visuels ont été recherchés. Ainsi, chez le maïs (Daynard et Duncan, 1969) et le sorgho (Eastin *et al.*, 1973), il se forme à la maturité physiologique une zone de subérisation ou *black layer*. Chez le soja, ce stade est atteint lorsque la graine est complètement jaune (Crookston et Hill, 1978; Tekrony *et al.*, 1979). Chez l'avoine (Lee *et al.*, 1979) et l'orge (Copeland et Crookston, 1985), la maturité physiologique correspond au brunissement des glumes. Chez le tournesol, ce stade se repère par une couleur jaune du capitule et brune des bractées. Chez le maïs, la formation du *black layer* stoppe les migrations d'assimilats vers les graines. Chez le tournesol, il serait intéressant de préciser les processus mis en jeu.

Conclusion

Cette étude décrit les phénomènes qui interviennent lors de la maturation des akènes de tournesol : augmentation de la matière sèche et de la teneur en huile des graines et diminution de teneur en eau des graines et du capitule. Nous n'avons que des hypothèses pour expliquer les différences variétales. De nombreux travaux restent nécessaires. Il serait intéressant d'étudier entre autres le rôle possible de la coque dans ce processus.

Remerciements

Nous tenons à remercier la coopérative Dom-Agri pour sa coopération dans le suivi de cette expérimentation.

Références

- Anderson W.K. (1975) Maturation of sunflower. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 15, 833-838
- Bloc D., Gay J.P. & Gouet J.P. (1983) Evolution de la teneur en eau et du poids de 1 000 grains pendant la maturation du maïs. *Colloque Physiologie du maïs, Royan (France), 17 mars 1983*. INRA
- Bishnoi V.R. (1974) Physiological maturity of seeds in *Triticale hexaploid L.* *Crop Sci.* 14, 819-821
- Brocklehurst P.A. (1977) Factor controlling grain weight in wheat. *Nature* 266, 348-349

- Browne C.L. (1978) Identification of physiological maturity in sunflower (*Helianthus annuus*). *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 18, 282-286
- Bruckner P.L. & Froberg R.C. (1987) Rate and duration of grain fill in spring wheat. *Crop Sci.* 27, 451-455
- Copeland P.J. & Crookston R.K. (1985) Visible indicators of physiological maturity in barley. *Crop Sci.* 25, 843-847
- Crookston R.K. & Hill D.S. (1978) A visual indicator of the physiological maturity of soybean seed. *Crop Sci.* 18, 867-870
- Davies D.R. (1975) Studies of seed development in *Pisum sativum*. I. Seed size. *Planta* 124, 297-302
- Daynard T.B. & Duncan W.G. (1969) The black layer and grain maturity in corn. *Crop Sci.* 9, 473-476
- Daynard, T.B. (1972) Relationships among black layer formation, grain moisture percentage, and heat unit accumulation in corn. *Agron. J.* 64, 716-719
- Eastin J.D., Hultquist J.H. & Sullivan C.Y. (1973) Physiological maturity in grain sorghum. *Crop Sci.* 9, 473-476
- Egli D.B. (1975) Rate of accumulation of dry weight in seed of soybeans and its relationship to yield. *Can. J. Plant Sci.* 55, 215-219
- Egli D.B. & Wardlaw I.F. (1980) Temperature response of seed growth characteristics of soybeans. *Agron. J.* 72, 560-564
- Egli D.B., Fraser J., Legett J.E. & Poneleit C.G. (1981) Control of seed growth in soya beans (*Glycine max* (L.) Merrill). *Ann. Bot.* 48, 176-181
- Egli D.B., ORF J.H. & Pfeiffer T.W. (1984) Genotypic variation for duration of seedfill in soybean. *Crop Sci.* 24, 587-592
- Goynes P.J., Simpson B.W., Woodruff D.R. & Churchett J.D. (1979) Environmental influence on sunflower achene growth, oil content and oil quality. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 19, 82-88
- Gradlung H. & Zimmerman D.C. (1975) Effect of drying conditions on oil content of sunflower seeds as determined by wide-line nuclear magnetic resonance. *N. Dakota Acad. Sci. Proc.* 27, 2, 128-132
- Grewal S.S., Sukhija P.S. & Bathia I.S. (1978) Polar lipid composition in sunflower (*Helianthus annuus*) seed development. *Biochem. Physiol. Pflanzen* 173, 11-16
- Harrington J.F. (1972) Seed storage and longevity. In: *Seed Biology*. Vol. 3, (T.T. Kozlowski, ed.) Academic Press, New York
- Ichihara K.I. & Noda M. (1980) Fatty acid composition and lipid synthesis in developing safflower seeds. *Phytochemistry* 19, 49-54
- Jones D.B., Petterson M.C. & Geng S. (1979) Association between grain filling rate and yield components in rice. *Crop Sci.* 19, 641-644
- Jones R.J., Roessler J. & Ouattar S. (1985) Thermal environment during endosperm cell division in maize : effects on number of endosperm cells and starch granules. *Crop Sci.* 25, 830-834
- Kersting J.F., Stickler F.C. & Pauli A.W. (1961) Grain sorghum caryopsis development. 1-Changes in dry weight, moisture percentage and viability. *Agron. J.* 53, 36-38
- Lee H.J., McKee G.W. & Knievel D.D. (1979) Determination of physiological maturity in oat. *Agron. J.* 71, 931-935
- Monga P.K., Munshi S.K. & Sukhija P.S. (1983) Lipid biosynthesis in the developing sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds. *Plant Sci. Lett.* 31, 311-321
- Northon G. & Harris F.J. (1975) Compositional changes in developing rape seeds (*Brassica napus* L.). *Planta* 123, 163-174
- Ortegon Morales A.S. (1980) Etapa de la madurez fisiologica del girasol (*Helianthus annuus*). *Agric. Tec. Mex.* 6, 1, 29-33
- Purdy J.L. & Crane P.L. (1967) Influence of pericarp on differential drying rate in mature corn (*Zea mays* L.). *Crop Sci.* 7, 379-381
- Reddy V.M. & Daynard T.B. (1983) Endosperm characteristics associated with rate of grain filling and kernel size in corn. *Maydica* 28, 339-355
- Robertson J.A., Chapman G.W., Jr. & Wilson R.L., Jr. (1978) Relation of days after flowering to chemical composition and physiological maturity of sunflower seed. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 55, 266-269
- Robinson R.G. (1983) Maturation of sunflower and sector sampling of heads of monitor maturation. *Field Crops Res.* 7, 31-39
- Rodrigues Pereira A.S. (1978) Influence of temperature on seed growth and seed ripening in sunflower. *8th Int. Sunflower Conference Minneapolis, USA.* 199-211
- Rollier M., Bughart P. & Chanet M. (1976) Evolution des caractéristiques de la graine et du capitule au cours de la maturation. *7e Conférence Internationale sur le Tournesol, Krasnodar, URSS.* 276-284
- Scott G.E., Heyne E.G. & Finney K.F. (1957) Development of the hard red winter wheat kernel in relation to yield, kernel weight, moisture content and milling and baking quality. *Agron. J.* 49, 509-513
- Simpson B.W. & Radford B.J. (1976) Levels of moisture, oil, nitrogen and fatty acid in the maturing seed of sunflower (*Helianthus annuus*). *Queensl. J. Agric. Anim. Sci.* 33, 2, 189-201
- Sofield I., Wardlaw I.F., Evans L.T. & Zee S.Y. (1977) Nitrogen, phosphorus and water contents during grain development and maturation in wheat. *Aust. J. Plant Physiol.* 4, 799-810
- Sukhija P.S., Borthakur A. & Bathia I. (1980) Effect of irrigation on lipid biosynthesis in maturing sunflower seeds. *J. Sci. Food Agric.* 31, 225-228
- Swank J.C., Egli D.B. & Pfeiffer T.W. (1987) Seed growth characteristics of soybean genotypes differing in duration of seed fill. *Crop Sci.* 27, 85-89
- Tekrony D.M., Egli D.B., Balles J., Pfeiffer T. & Fellows R.J. (1979) Physiological maturity in soybean. *Agron. J.* 71, 771-775
- Unger P.W. & Thompson T.E. (1982) Planting date effect on sunflower head and seed development. *Agron. J.* 74, 389-395
- Vedrier P. (1983) *Approche écophysologique de la sélection du maïs précoce*. Thèse de doctorat, Université de Clermont-II