

Variabilité génétique de soja pour la résistance à la sclérotiniose (*Sclerotinia sclerotiorum* Lib de Bary). Liaisons statistiques avec certains caractères de la culture

J Gondran, P Leclercq

avec la collaboration de MF Pissard, A Faye

INRA, station d'amélioration des plantes fourragères, 86600 Lusignan, France

(Reçu le 18 juin 1991; accepté le 16 novembre 1992)

Résumé — Pour de nombreux chercheurs, le classement des cultivars de soja pour la résistance à la sclérotiniose ne donne pas des résultats constants. Pour étudier ce problème, nous avons entrepris une expérimentation qui a duré 4 ans. Nous avons notamment mis en évidence que certains cultivars de soja, comme Labrador et Kingsoy, sont constamment et significativement moins attaqués que d'autres, tels que Dom et Messidor. Grâce à une technique d'infection par des scléroties initiées, nous avons trouvé, sur les 31 cultivars étudiés, une corrélation significative entre la sensibilité à la sclérotiniose et la hauteur de la plante ($r = +0,54$). Sur 17 cultivars les plus précoces parmi ces 31, il existe une liaison du même ordre avec la date de maturité des gousses ($r = +0,57$). Par contre, nous n'avons trouvé aucune corrélation significative avec d'autres caractères de la culture (date de fermeture du couvert végétal, date de floraison, nombre d'apothécies par m^2 , etc). Ces résultats sont discutés afin d'avoir une meilleure approche de la résistance du soja à la sclérotiniose.

***Sclerotinia sclerotiorum* / soja / résistance aux maladies / corrélation**

Summary — Genetic variability of soybean for resistance to *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib) de Bary. Statistical relationship with some traits of the crop. The ranking of the cultivars of soybean for stem rot resistance in many cases does not provide consistent results. To study this problem, we undertook a 4-yr experimental study. It was found that some cultivars such as Labrador and Kingsoy were less susceptible than others, eg Dom and Messidor. Using a new infection method of the soil via sclerotia, a significant correlation was found in 31 cultivars between the percentage of diseased plants and height at maturity ($r = +0.54$). A significant correlation was also found with the susceptibility to stem rot and the date of pod maturity for the 17 earlier maturing cultivars ($r = +0.57$). There was no significant correlation with the date of full canopy, the date of 50% flowering, or the number of apothecia per m^2 . These results are discussed and a viable approach regarding resistance of soybean to *S sclerotiorum* is proposed.

***Sclerotinia sclerotiorum* / soybean / disease resistance / correlation**

* Correspondance et tirés à part

INTRODUCTION

La sclérotiniose est la plus grave maladie du soja dans les régions du monde correspondant aux limites septentrionales de cette culture : Amérique du Nord, Chine du Nord et Europe (Grau et Radke, 1984; Chun *et al*, 1987; Boland et Hall, 1988; Li Hanching et Fu Chunyan, 1981; Ganya, 1981).

La récolte en graine peut être réduite dans des proportions supérieures à 40% (Grau et Radke, 1984; Chun *et al*, 1987; Gondran et Leclercq, 1991).

Dans nos climats, les symptômes de flétrissements causés par *S sclerotiorum* peuvent apparaître dans les champs de soja 15 j après la fermeture du couvert végétal (interligne cessant de recevoir au sol la lumière directe du soleil) (figs 1 et 2). Sur les tiges atteintes, on peut remarquer des sclérotés, d'abord blancs puis noirs (fig 5). Ces organes permettent la conservation dans le sol du champignon vivant durant 4 à 7 ans (Purdy, 1979). Ils se forment le plus souvent à l'intérieur de la cavité médullaire des tiges de soja (Gondran et Leclercq, 1990). L'année qui suit la récolte, ces sclérotés différencient à la surface du sol des apothécies (figs 3 et 4) émettrices d'ascospores, qui sont responsables des infections. *S sclerotiorum* infecte plus de 380 espèces de plantes, dont de mauvaises herbes et d'importantes cultures : tournesol, colza, pois, tabac, lupins, etc (Purdy, 1979). L'extension depuis 15 ans des cultures sensibles de tournesol, pois et colza, rend donc ce champignon phytopathogène encore plus redoutable. En effet, la multiplication et l'accumulation des sclérotés dans le sol augmentent chaque année. On peut estimer que dans 20 ans, plus du quart des terres labourées françaises sera infesté par des sclérotés de *S sclerotiorum*. Soulignons que



Fig 1. Flétrissement causé par *S sclerotiorum* dans une parcelle de soja.



Fig 2. À gauche, une plante flétrie à la suite d'une attaque de *S sclerotiorum*. À droite, une plante saine au même stade de développement.



Fig 3. Apothécies se formant sur un sclérote.

cette extension probable n'est valable que pour l'Europe.

La lutte chimique est quelquefois recommandée (Penaud, 1991). Mais nous pensons qu'elle est trop aléatoire. Par ailleurs, elle nous paraît actuellement trop onéreuse pour l'agriculteur, du fait de la nouvelle politique agricole commune, qui diminue beaucoup le revenu brut des cultures. Enfin, la formation et l'accumulation des résidus rend l'utilisation de la lutte chimique de plus en plus difficile.

Les études réalisées depuis 10 ans par les chercheurs américains pour trouver une variabilité



Fig 4. Apothécie se formant à la surface d'un sol infesté.



Fig 5. Sclérotés sur une tige de soja attaquée par la sclérotiniose.

té génétique pour la résistance, ont abouti à mettre en évidence certains cultivars plus résistants que d'autres. Mais cette variabilité nous paraît faible (Nelson *et al*, 1991a) et donne rarement des résultats constants (Nelson *et al*, 1991b). Nous avons donc entrepris une étude pour rechercher une plus large variabilité entre les cultivars ou obtentions de soja, pour essayer d'obtenir des classements constants et pour tenter d'expliquer cette résistance par des liaisons avec d'autres caractères de la culture de soja.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Des cultivars de soja appartenant aux groupes de précocité 000 à I (tableau I) et d'autres obtentions et va-

riétés appartenant aux groupes plus tardifs (tableau II) sont semés dans les conditions naturelles à la densité de 500 000 graines/ha.

Le sol est naturellement ou artificiellement infecté par des sclérotés de *S sclerotiorum*.

Sols naturellement infestés

Essais réalisés à Savarit en 1988–1990

Dans la parcelle d'un agriculteur des Charentes-Maritimes, mis à notre disposition par le CETIOM, le soja a été précédé par une culture de tournesol très atteinte par *S sclerotiorum*. De cette façon, de nombreux sclérotés sont présents dans le sol, et nous pouvions espérer une infection homogène du soja dans les conditions naturelles. En 1988, la surface de chaque parcelle était de 14,4 m². Il y avait 7 variétés réparties en 4 blocs. En 1989 et en 1990, 12 cultivars étaient semés dans des parcelles élémentaires de 22 m² disposées en 3 blocs. Afin de favoriser la maladie, des arrosages par aspersion sont réalisés sitôt l'apparition des premières apothécies. Les notations de maladie ont lieu les 31 août 1988, 30 août 1989 et 25 août 1990. Les plantes malades situées sur la ligne médiane de la parcelle élémentaire, soit sur une longueur de 8 m pour l'essai de 1988, et une longueur de 12 m pour les essais de 1989 et 1990, sont dénombrées. Les plantes atteintes de sclérotiniose sont aisément distinguées des plantes saines par la couleur plus claire de l'épiderme et par la présence de sclérotés à l'intérieur de la cavité médullaire des tiges (Gondran et Leclercq, 1990).

Les résultats sont exprimés en pourcentage de plantes malades par rapport aux plantes dénombrées sur la ligne médiane de la parcelle.

Essais réalisés à Villemur en 1989, à Montauban en 1990 et à Agen en 1991

Les sclérotés infestant le sol proviennent d'un précédent de culture de soja malade. Les arrosages, toujours par aspersion, commencent début juin, sitôt l'apparition des premières apothécies, et sont poursuivis jusqu'à la fin août.

Dans le premier essai installé dans le domaine de Carles à Villemur (31), appartenant à la firme Protopsem, les parcelles ont une surface de 120 m². Les notations sont réalisées le 12 sept 1989 en dénombrant le pourcentage de plantes malades sur la ligne centrale de la parcelle qui a 60 m de long.

Le terrain de l'essai situé en 1990 à Montauban (82) avait été loué à un agriculteur par la firme Rustica-Semences. Chaque parcelle avait une surface de 13,5 m². La notation a été réalisée le 12 sept 1990 en dénombrant des plantes malades sur la longueur de 7,5 m de la ligne centrale de chaque parcelle.

Tableau I. Infection par la sclérotiniose de cultivars précoces de soja.

Cultivars	Groupe de précocité	Pourcentage de plantes malades					
		1988 Savarit (N)	1989 Savarit (N)	1990 Savarit (N)	1990 Lusignan (A)	1991 Agen (N)	1991 Lusignan (A)
Chandor	0	51 ^b	3 ^a	0 ^a	4 ^a	77 ^a	—
Pelvoux	00	—	—	0 ^a	6 ^a	—	—
Maple-Arrow	00	28 ^a	—	0 ^a	6 ^a	—	—
Maple-Glen	00	—	2 ^a	—	8 ^a	—	—
Ultra	000	—	—	—	10 ^a	—	—
Labrador	00	28 ^a	0 ^a	0 ^a	10 ^a	—	13 ^a
Effi	00	—	—	0 ^a	15 ^{ab}	—	—
Kalmit	00	—	4 ^a	0 ^a	25 ^{abc}	—	—
Apache	0-00	—	2 ^a	0 ^a	40 ^{bcd}	—	—
Cervin	00	—	—	0 ^a	40 ^{bcd}	—	—
Perla	0-1	—	6 ^a	—	45 ^{cde}	—	—
Dawson	0	54 ^b	1 ^a	3 ^b	54 ^{dc}	—	—
Sakura	0	—	2 ^a	—	63 ^{de}	—	—
Crusader	0	—	4 ^a	—	65 ^{de}	—	—
Swift	0	55 ^b	6 ^a	1 ^a	71 ^e	—	—
Weber	1	60 ^b	22 ^b	5 ^c	72 ^e	—	—
Dom	0	62 ^b	5 ^a	3 ^b	74 ^e	75 ^a	48 ^b
mm d'eau	(irrigations)	157*	135*	160*	795*	145**	312*
	(pluies)	120*	73*	81*	37*	161**	55*

* Durant les mois de juillet et août; ** durant les mois de juin, juillet et août; N : infection naturelle dans les conditions naturelles; A : infection artificielle par sclérotés dans des conditions naturelles. a, b, c, d, e : différences significatives selon le test de Duncan ($P < 0,05$).

À Agen (47) en 1991, le CETIOM avait réalisé un essai qui comprenait 7 variétés de soja réparties en 4 blocs. Les plantes malades et saines ont été comptées sur une longueur de 8 m le 2 sept 1991 sur la ligne centrale de chaque parcelle, dont la surface était de 36 m².

Sols artificiellement infestés

Pour mieux surveiller le développement de la maladie et celui des plantes, nous avons installé à Lusignan à proximité de notre Laboratoire un essai en 1990 et un autre en 1991. Comme le sol était dépourvu de sclérotés de *S sclerotiorum*, nous avons expérimenté le procédé d'infection suivant. Des sclérotés récoltés sur tournesol malade sont induits par un séjour préalable sous 5 cm de terre dans les conditions extérieures en période froide (de novembre à avril), selon la méthode de Lamarque (1976). Les sclérotés ainsi induits sont épanchés 1 mois après la levée, sur une longueur de 2 m à 5 cm de la ligne centrale. Ils sont recouverts de terre. Nous avons utilisé 44 g de sclérotés secs par parcelle élémentaire en 1990 et 60 g en 1991. Ces parcelles sont constituées par 3 lignes de 4 m de long

espacées de 40 cm, soit une surface de 4,8 m². Trois répétitions sont réalisées. Les obtentions et cultivars de soja comparés s'élevaient à 31 en 1990 et ont été réduits au nombre de 4 en 1991. En effet, nous avons choisi en 1991 ceux qui s'étaient révélés très différents des années précédentes pour leur résistance à la sclérotiniose.

Les notations sont faites le 17 sept 1990 pour le 1^{er} essai et le 24 sept 1991 pour le 2^e en dénombrant le nombre de plantes atteintes de sclérotiniose sur la longueur de 2 m de la ligne centrale ayant reçu auparavant les sclérotés. Les résultats sont exprimés en pourcentage de plantes malades par rapport au nombre total de plantes comptées sur cette longueur de ligne.

En 1990, de nombreuses caractéristiques de la plante et de la culture sont notées (tableaux III, IV, V). Ce sont : la date de fermeture du couvert végétal, la hauteur de la plante à la floraison, la longueur de la 2^e feuille trifoliée le 6 juin 1990, le nombre de ramifications à la floraison, la date de la 1^{re} fleur, la date de floraison, le nombre d'apothécies par m², la date de maturité des gousses, la hauteur de la plante à la maturité. L'étude de leur liaison statistique avec le pourcentage de plantes malades est réalisée en calculant les coefficients de corrélation.

Tableau II. Infection par la sclérotiniose de cultivars tardifs de soja.

Cultivars	Groupe de précocité	Pourcentage de plantes malades				
		1989*** Villemur (N)	1990 Montauban (N)	1990 Lusignan (A)	1991 Agen (N)	1991 Lusignan (A)
Kingsoy	II	0	18 ab	24 a	62 ab	13 a
Exp 2	II	—	12 a	25 ab	—	—
Frisco	II	—	26 abc	31 ab	—	—
Alaric	II	5	30 abcd	33 ab	—	—
Argenta	I	—	26 abcd	43 abc	91 bc	—
Spot	I	—	16 ab	46 abc	—	—
Fuji	I	6	20 ab	50 abc	—	—
Canton	I	0	31 abcd	60 abcd	60 a	—
15-7	I	4	20 ab	62 abcd	—	—
Eszter	I	3	32 abcd	65 abcd	—	—
Exp 1	I	—	47 cd	65 abcd	—	—
Kushiro	I	—	50 cd	66 bcd	92 c	—
Messidor	I	7	40 bcd	93 d	—	25 b
Kador	II	—	31 abcd	76 cd	76 bc	—
Weber	I	0	53 d	72 cd	—	—
mm d'eau						
Irrigations		270**	270**	795*	145**	312*
Pluies		91**	122*	37*	161**	55*

* Durant les mois de juillet et d'août; ** durant les mois de juin, juillet et août; *** résultats non significatifs par le test de F ($P < 0,05$); N : infection naturelle dans les conditions naturelles; A : infection artificielle par scléroties dans les conditions naturelles; a, b, c, d : différence significative ($P < 0,05$) par le test de Duncan.

RÉSULTATS

Différences de sensibilité pour la résistance à la sclérotiniose des cultivars du soja

Les pourcentages de plantes malades notées sur les cultivars précoces sont rassemblés dans le tableau I. Ceux concernant les obtentions plus tardives sont représentés dans le tableau II. Dans les 2 cas, nous constatons que certaines variétés sont très différentes pour leur résistance à la sclérotiniose. Ainsi, Labrador est toujours moins attaqué que Dom et Kingsoy est classé plus résistant que Messidor.

En revanche, le cultivar Chandor n'a pas un classement constant. Il est sensible à Savarit en 1988 et à Agen en 1991. Il est résistant à Lusignan en 1990. Le caractère artificiel de l'infection pourrait être responsable de cette différence de classement.

Notons que pour certains essais, l'infection est très faible (Savarit, 1989 et 1990; Villemur, 1989).

Ces faibles attaques sont explicables par une humidité insuffisante pour le développement des apothécies et pour la contamination par les ascospores. En effet, à Villemur le sol était caillouteux et très filtrant. L'eau restait peu de temps à la surface du sol pour permettre le développement des apothécies qui étaient trop rares. L'infection a été fortement hétérogène et les différences variétales n'ont pu être décelées (test de F non significatif). À Savarit en 1989 et 1990, par suite des pannes dans le système d'irrigation, les apports d'eau ont été insuffisants. Nous pouvons dire qu'un terrain peu filtrant et que l'apport en juin, juillet et août de 300 mm d'eau sont nécessaires pour assurer une infection permettant de classer les cultivars de soja pour leur résistance à la sclérotiniose.

La méthode d'infection du sol par l'apport de scléroties induits est efficace, puisque les infections sont en bonne correspondance avec les infections naturelles. Notamment, les coefficients de corrélation entre le classement des variétés lors de l'infection artificielle à Lusignan en 1990 et des infections artificielles dans différents lieux et années sont :

Tableau III. Résistance du soja à la sclérotiniose pouvant être expliquée par plusieurs caractères (essai à Lusignan en 1990).

<i>Cultivars</i>	<i>Pourcentage de plantes malades</i>	<i>Hauteur en cm à la maturité des gousses</i>	<i>Date de maturité des gousses *</i>	<i>Couleur des fleurs</i>	<i>Résidus indépendants de la hauteur et de la date de maturité de gousses</i>
Chandor	4 ^a	120	24	B	- 42 ^a
Pelvoux	6 ^a	103	17	V	- 19 ^{abc}
Maple-Arrow	6 ^a	120	17	V	- 36 ^{ab}
Maple-Glen	7 ^{ab}	107	17	V	- 21 ^{abc}
Ultra	10 ^{abc}	100	5	V	- 4 ^{abc}
Labrador	10 ^{abc}	108	18	V	- 21 ^{abc}
Effi	15 ^{abcd}	110	12	V	- 16 ^{abc}
Kingsoy	24 ^{abcde}	130	39	V	- 42 ^a
Kalmit	25 ^{abcde}	112	11	V	- 5 ^{abc}
Exp 2	25 ^{abcde}	128	41	B	- 40 ^a
Frisco	31 ^{abcde}	115	28	V	- 13 ^{abc}
Alaric	33 ^{abcdef}	102	28	V	- 3 ^{acc}
Apache	39 ^{abcdef}	115	11	V	+ 7 ^{abc}
Cervin	40 ^{abcdef}	108	12	V	+ 15 ^{abc}
Argenta	43 ^{abcdef}	128	32	V	- 16 ^{abc}
Spot	46 ^{abcdef}	110	36	V	+ 2 ^{abc}
Perla	48 ^{abcdef}	130	20	V	- 9 ^{abc}
Fuji	50 ^{abcdef}	122	31	V	- 3 ^{abc}
Dawson	54 ^{abcdef}	120	15	V	+ 13 ^{abc}
Canton	60 ^{bcdef}	122	31	V	- 4 ^{abc}
15.7	62 ^{bcdef}	133	25	V	+ 2 ^{abc}
Sakura	63 ^{cdef}	130	27	B	+ 4 ^{abc}
Eszter	65 ^{cdef}	112	25	V	+ 26 ^c
Crusader	65 ^{cdef}	120	22	B	+ 20 ^{bc}
Exp 1	65 ^{cdef}	115	39	B	+ 15 ^{abc}
Kushiro	66 ^{def}	105	24	V	+ 35 ^c
Swift	71 ^{ef}	132	24	B	+ 12 ^{abc}
Weber	72 ^{ef}	127	35	B	+ 12 ^{abc}
Dom	73 ^{ef}	125	24	B	+ 22 ^c
Kador	76 ^{ef}	125	32	V	+ 20 ^{bc}
Messidor	93 ^f	140	20	V	+ 29 ^c

* En jours à partir du 1^{er} septembre 1990; a, b, c, d, e, f : différences significatives par le test de Newman-Keuls ($P < 0,05$); B : fleurs blanches; V : fleurs violettes.

- Savarit, 1988 : $r = +0,81$ ($P < 0,05$);
- Savarit, 1989 : $r = +0,76$ ($P < 0,01$);
- Montauban, 1990 : $r = +0,69$ ($P < 0,01$).

Caractères de la culture de soja pouvant expliquer la résistance à la sclérotiniose

Dans l'essai réalisé à Lusignan en 1990, nous remarquons que la date de maturité des gousses et la hauteur de la plante à la maturité sont liées significativement à la sensibilité de la plante, sur-

tout pour les cultivars plus précoces (tableaux III et V). Nous avons calculé l'équation de régression double avec les variables suivantes : Y : pourcentage de plantes atteintes par la sclérotiniose; X : hauteur des plantes à la maturité; Z : date de maturité des gousses. Nous trouvons :

$$Y = 1,01 X + 0,63 Z - 90,18.$$

Nous pouvons donc calculer le résidu statistique R :

$$R = Y - 1,01 X - 0,63 Z + 90,18$$

Tableau IV. Données de la culture de soja n'expliquant pas la résistance à la sclérotiniose (Lusignan 90).

Cultivars	Date de de fermeture couvert végétal	Hauteur plante à la floraison (en cm)	Longueur 2 ^e feuille trifoliée (en cm) 6 juin 1990	Nombre ramification à la floraison	Nombre ramification à maturité	Date de la 1 ^{re} fleur	Date de floraison	Nombre d'apothécies	
								1988 Savarit	1990 Lusignan
Chandor	31	47	13	1,9	1,2	22	28	4	43
Pelvoux	39	50	13	2,1	1,5	22	29	—	143
Maple-Arow	36	46	14	1,3	1,1	19	27	8	90
Maple-Glen	43	37	13	1,2	1,3	19	25	—	224
Ultra	34	47	13	0,8	0,4	20	27	—	43
Labrador	44	44	11	2,1	1,4	18	25	4	53
Effi	27	95	14	1,7	1,1	33	46	—	239
Kingsoy	28	93	16	3,0	3,1	53	55	—	29
Kalmit	36	66	13	2,3	1,1	23	32	—	300
Exp 2	38	75	16	3,0	2,4	55	55	—	43
Frisco	29	67	14	2,0	1,7	28	39	—	153
Alaric	27	77	18	2,5	2,7	47	55	—	43
Apache	46	41	12	1,1	0,5	21	28	—	186
Cervin	36	44	12	0,8	0,6	20	28	—	96
Argenta	33	52	15	3,1	2,2	24	32	—	329
Spot	39	77	17	2,2	2,4	51	53	—	61
Perla	33	43	12	1,9	1,9	27	29	—	81
Fuji	23	50	14	0,8	0,6	26	30	—	76
Dawson	33	48	14	1,5	1,0	23	28	3	171
Canton	32	80	13	0,9	1,1	29	46	—	14
15.7	33	68	15	3,7	3,3	47	55	—	143
Sakura	43	54	11	1,5	1,5	27	32	—	200
Eszter	32	52	16	1,5	2,1	24	29	—	47
Crusader	35	48	10	1,0	0,6	25	28	—	43
Exp 1	42	95	16	2,3	3,6	50	53	—	114
Kushiro	23	58	15	1,9	1,7	29	34	—	147
Swift	32	89	15	1,7	0,9	25	44	4	261
Weber	43	89	10	2,1	1,6	29	50	5	0
Dom	40	46	13	1,8	1,5	25	28	5	14
Kador	43	89	14	2,7	3,8	36	55	—	90
Messidor	43	10	15	2,3	1,7	28	47	—	61

* Sur une portion de la surface de parcelles de 2,8 m²; ** sur une portion de la surface de la parcelle de 0,07 m².

Cette valeur R correspond à la sensibilité à la sclérotiniose après élimination des effets concernant à la fois la hauteur des plantes à maturité et aux dates de maturité des gousses. Les 31 variétés de soja sont donc classées suivant des grandeurs négatives, si les variétés sont plus résistantes que la droite de régression double l'indique, et positives si elles sont plus sensibles que cette droite l'exprime (tableau III).

Nous avons calculé le coefficient de corrélation r , entre le pourcentage de plantes malades de sclérotiniose et le résidu statistique :

$$r = +0,85 (P < 0,001).$$

La résistance à la sclérotiniose des 31 variétés est donc largement exprimée par une valeur qui ne dépend ni de la hauteur des plantes à maturité, ni de la date de maturité des gousses.

Nous nous sommes alors demandé si la couleur des fleurs pouvait expliquer la sensibilité des plantes à la sclérotiniose. En effet, dans le tableau III, nous pouvons remarquer que les variétés à fleurs blanches sont plus fréquemment sensibles que les variétés à fleurs violettes qui

Tableau V. Coefficient de corrélation entre le pourcentage des plantes malades et divers autres caractères de la culture de soja (Lusignan 1990).

	<i>Cultivars précoces</i> *	<i>Cultivars tardifs</i> **	<i>Total des cultivars</i> ***
Date de la fermeture du couvert végétal	+ 0,09 NS	+ 0,49 NS	+ 0,11 NS
Hauteur de la plante à la floraison	+ 0,28 NS	- 0,36 NS	+ 0,08 NS
Longueur de la 2 ^e feuille trifoliée le 6 juin 1990 en cm	- 0,22 NS	- 0,37 NS	+ 0,88 NS
Nombre de ramifications à la floraison	+ 0,00 NS	- 0,19 NS	+ 0,09 NS
Nombre de ramifications à la maturité	+ 0,08 NS	- 0,07 NS	- 0,27 NS
Date de la 1 ^{re} fleur	+ 0,48 NS	- 0,45 NS	+ 0,16 NS
Date de floraison	+ 0,38 NS	- 0,09 NS	+ 0,32 NS
Nombre d'apothécies par m ² (Savarit, 1988)	-	-	- 0,45 NS ****
Nombre d'apothécies par m ² (Lusignan, 1991)	- 0,10 NS	- 0,21 NS	- 0,15 NS
Date de maturité des gousses	+ 0,57*	- 0,51 NS	+ 0,35 NS
Hauteur de la plante à la maturité	+ 0,75**	+ 0,24 NS	+ 0,54**

* 13 degrés de liberté; ** 15 degrés de liberté; *** 29 degrés de liberté; **** 5 degrés de liberté. * Significatif $P < 0,05$; ** significatif $P < 0,01$; NS: non significatif $P > 0,05$.

sont le plus souvent résistantes. La moyenne d'attaque des 8 variétés à fleurs blanches est égale à 55% de plantes malades alors que la moyenne des 23 variétés à fleurs violettes correspond à 40% de plantes malades. Or le test de t n'est pas significatif ($0,70 > P > 0,60$). Par conséquent, les variétés à fleurs violettes ne sont pas significativement moins attaquées que les variétés à fleurs blanches.

Caractères de la culture de soja n'étant pas liés à la sensibilité à la sclérotiniose

Sensibilité à la sclérotiniose et développement de la plante

En 1988 à Savarit, nous avons montré qu'un couvert végétal dense favorise la sclérotiniose (Gondran, Leclercq, 1990). En effet, en maintenant l'humidité au sol, le couvert végétal favorise la formation des apothécies et par suite le développement de la maladie. On pourrait donc craindre que les différences variétales puissent être masquées par la date de fermeture du couvert végétal (interligne cessant de recevoir au sol la lumière directe au soleil). Cependant, le coefficient de corrélation entre le pourcentage de plantes malades et les dates de fermeture du couvert n'est pas significatif (tableau V). Par conséquent, le classement des obtentions suivant leur sensibilité n'est pas affecté par les

dates différentes de fermeture du couvert végétal. Soulignons que ces dates correspondent à une interaction complexe entre notamment le développement des variétés, les dates de semis, la richesse du sol en fumure azotée et les disponibilités en eau du sol.

Pour approfondir cette constatation, nous avons étudié d'autres facteurs qui pourraient jouer sur la densité du couvert : longueur de la 2^e feuille trifoliée, hauteur de la plante à la floraison, nombre de ramifications à la floraison, nombre de ramifications à la maturité. Or nous constatons qu'aucun de ces caractères n'est lié au classement des cultivars pour la résistance à la sclérotiniose (tableau V).

Nous pouvons dire que la sensibilité du soja à la sclérotiniose n'est influencée dans notre expérimentation ni par la date de fermeture du couvert, ni par d'autres caractères descriptifs du développement de la plante.

Sensibilité à la sclérotiniose et apparition des fleurs

L'apparition des fleurs de colza est très importante dans le développement de l'épidémie de sclérotiniose (Turkington *et al*, 1991).

Nous nous sommes demandé si la sensibilité à la sclérotiniose pouvait être liée à la date de floraison des variétés de soja et aux dates d'apparition de la première fleur. Le tableau V montre

l'absence de corrélation de ces caractères avec le pourcentage de plantes malades notées sur les différents cultivars ou obtentions. Donc, à l'inverse des résultats constatés pour la culture de colza, nous n'avons pas mis en évidence l'influence de la floraison sur la sensibilité à la sclérotiniose des cultivars de soja.

Sensibilité à la sclérotiniose et développement des apothécies

Les apothécies sont émettrices d'ascospores, qui assurent l'infection des plantes. Nous avons donc pensé que certaines variétés pouvaient peut-être favoriser le développement des apothécies.

Nous avons donc compté le nombre des apothécies aux dates correspondant approximativement aux moments de leur plus forte sortie.

Ces dates étaient le 28 juillet 1988 à Savarit et le 10 juillet 1990 à Lusignan. À Savarit, les apothécies ont été dénombrées dans l'interligne large de 35 cm et long de 8 m (surface de 2,8 m²), correspondant à la ligne centrale de chaque parcelle. À Lusignan, les apothécies ont été comptées dans l'interligne sur une longueur de 20 cm de long de la ligne de 2 m, où les sclérototes avait été disposées. Cela correspondait à une surface de 0,07 m².

Nous avons calculé les coefficients de corrélation entre le pourcentage de plantes malades et le nombre d'apothécies par m². Nous constatons (tableau V) qu'il n'y a aucune liaison entre ces 2 caractères. Par conséquent, à Lusignan comme à Savarit, les apothécies se formant dans chaque essai sont en nombre suffisant pour émettre des ascospores permettant de classer les variétés de soja suivant leur résistance à la sclérotiniose. En effet, il y a une bonne corrélation ($r = 0,81$ pour 5dl, $P < 0,05$) entre le classement des 7 variétés installées à Savarit et des mêmes installées en 1990 à Lusignan.

En outre, nous pensons que les apothécies de toutes les parcelles de surface de 4,8 m² de l'essai installé à Lusignan en 1990 forment un seul nuage d'ascospores. En effet, les parcelles qui n'ont pas d'apothécie, comme celles correspondant à «Weber», sont néanmoins fortement attaquées par la sclérotiniose.

CONCLUSION ET DISCUSSION

Nous avons pu mettre en évidence entre les variétés Labrador et Dom une différence significa-

tive de résistance à la sclérotiniose de 64% de plantes malades et de 69% entre Kingsoy et Messidor. L'index de maladie utilisé par les chercheurs américains enregistre rarement de tels écarts (Nelson *et al*, 1991a). C'est grâce à la création et à l'utilisation d'une technique d'infection au champ par des sclérototes induits à la carpogénèse que nous avons pu réaliser une étude assez précise dans les conditions naturelles pour étudier la résistance du soja à *S sclerotiorum*. Du fait de l'absence de cette technique, les auteurs américains n'ont pas réalisé suffisamment d'expérimentation au champ avant d'entreprendre des essais d'infection artificielle. C'est une des raisons pour lesquelles ils ne trouvent pas de corrélation significative entre les tests de laboratoire et les évaluations au champ (Nelson *et al*, 1991a). D'une façon plus générale, nous ne pouvons juger du comportement variétal du soja que si le niveau d'attaque moyen est élevé (ce que permet l'utilisation de notre protocole) et les conditions d'hygrométrie nécessaires à l'infection sont assurées durant une longue période, ce qui a pour effet de limiter les effets liés aux différences de précocité du matériel étudié.

La résistance que nous avons mise en évidence dans les conditions naturelles peut être partiellement expliquée par la hauteur de la plante à maturité et par la date de maturité des gousses. Lorsqu'on enlève ces effets, l'écart entre les variétés reste significatif, mais diminue à 43% entre Labrador et Dom. Par contre, il augmente à 71% entre Kingsoy et Messidor. Un caractère indépendant de la hauteur de la plante à maturité et de la date de maturité des gousses explique donc la résistance. Ce caractère n'est pas lié à la date de fermeture du couvert végétal, ni à d'autres nombreux caractères intervenant dans le développement de la plante. Il ne semble être lié ni à la couleur des fleurs, ni à la date d'apparition de la première fleur, ni à la date de floraison. Or, certains auteurs (Favaron *et al*, 1988; Sutton et Deverall, 1984) ont montré que la plante de soja réagit à l'infection de nombreux pathogènes et notamment à celle de *S sclerotiorum* par la production de glyceollines. Cette réaction cellulaire de défense n'a été mise en évidence que sur les cultivars Canton ou Lee. Nous n'avons aucune donnée sur la sensibilité à la sclérotiniose de Lee, mais nous savons que Canton a une sensibilité moyenne située entre celle de Kingsoy résistant et de Messidor sensible. Il serait donc souhaitable de savoir si le classement des cultivars suivant la résistance à la sclérotiniose, établi par nos

soins, pourrait être lié à la production de glyceolines. Si tel était le cas, l'aptitude de la plante à produire plus ou moins de cette phytoalexine expliquerait la résistance du soja à *S sclerotiorum*.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Mme MJ Villeger, de la firme Rustica-Semences, d'avoir mis à notre disposition des parcelles de soja infectées près de Montauban, d'avoir assuré semis et désherbage et de nous avoir aidé dans les notations.

Nous remercions MM A Pouzet et Y Regnault du CETIOM, d'avoir mis à notre disposition des parcelles infectées par *S sclerotiorum* à Savarit (17) et à Agen (47) ainsi que M G Arjaure et M Segura et leur équipe pour leur aide technique.

Nous remercions M G Laurens de la firme Protosem d'avoir mis à notre disposition des parcelles infectées par *S sclerotiorum* à Villemur (31), ainsi que Mme F Gaignard-Labalette et son équipe pour leur aide technique.

RÉFÉRENCES

- Boland GJ, Hall R (1988) Epidemiology of *sclerotinia* stem rot of soybean in Ontario. *Phytopathology* 9, 1241-1245
- Chun D, Kao LB, Lockwood JL, Isleib TG (1987) Laboratory and field assessment of resistance in soybean to stem rot caused by *Sclerotinia sclerotiorum*. *Plant Dis* 71, 811-815
- Favaron F, Alghisi P, Marciano P, Magro P (1988) Polylacturonase isoenzymes and oxalic acid produced by *Sclerotinia sclerotiorum* in soybean hypocotyls as elicitors of glyceollin. *Physiol Mol Plant Pathol* 33, 385-395
- Ganya AI (1981) Principales mycoses du soja en Moldavie (en Russe). *Mikol Fitopatol* 15, 1, 37-43
- Gondran J, Leclercq P (1990) La sclérotiniose du soja. *Phytoma* 423, 49-51
- Gondran J, Leclercq P (1991) Pertes de rendements provoquées par la sclérotiniose du soja. ANPP. Proc 3^e Conf Int Mal Plantes, Bordeaux (France), 1, 303-310
- Grau CR, Radke VL (1984) Effects of cultivars and cultural practices on sclerotinia stem rot of soybean. *Plant Dis* 68, 56-58
- Li Hanching, Fu Chunyan (1981) Étude sur la sclérotiniose du soja (en chinois). *Acta Phytopathol Sin* 11, 3, 20-24
- Lamarque C (1976) Éléments de biologie de *Sclerotinia sclerotiorum* sur tournesol en France. *Inf Tech CETIOM* 46, 21-25
- Nelson BD, Helms TC, Kural I (1991a) Effects of temperature and pathogen isolate on laboratory screening of soybean for resistance to *Sclerotinia sclerotiorum*. *Can J Plant Sci* 71, 2, 347-352
- Nelson BD, Helms TC, Olson MA (1991b) Comparison of laboratory and field evaluations of resistance in soybean to *Sclerotinia sclerotiorum*. *Plant Dis* 75, 662-665
- Penaud A (1991) Sclerotinia du soja : lutte chimique avant tout. *Cultivar* 300, 87-88
- Purdy LH (1979) *Sclerotinia sclerotiorum*: history, diseases, symptomatology, host range, geographic distribution, and impact. *Phytopathology* 69, 875-880
- Sutton DC, Deverall BJK (1984) Phytoalexin accumulation during infection of bean and soybean by ascospores and mycelium of *Sclerotinia sclerotiorum*. *Plant Pathol* 33, 377-383
- Turkington TK, Morrall RAA, Gugel RK (1991) Use of petal infestation to forecast sclerotinia stem rot of canola : evaluation of early bloom sampling 1985-1990. *Can J Plant Pathol* 13, 50-59