

PROBLÈMES POSÉS PAR L'AMÉLIORATION DE LA FÉVEROLE D'HIVER

MALGRE TOUT L'INTERET QUE PRESENTE LA RICHESSE EN PROTEINES DE SA GRAINE, LA FEVEROLE DEMEURE PFU CULTIVEE. DE NOMBREUSES TENTATIVES D'EXTENSION DE sa culture ont été effectuées sans grand succès. Elle reste cantonnée dans les régions de cultures traditionnelles, à savoir : le Nord et l'Est de la France où l'on trouve les populations naturelles de printemps « *Picardie* » et « *Lorraine* », le Midi avec la population d'hiver du Gers; la Vendée avec ses deux populations locales intermédiaires entre les types d'hiver et de printemps et enfin la Côte-d'Or où s'est implantée une population d'hiver caractéristique et résistante au froid.

D'une façon assez générale, on trouve donc des cultures de printemps dans les régions continentales et des cultures d'hiver ou alternatives sous les climats plus méridionaux ou maritimes. Ceci se vérifie à l'échelle européenne, puisque la Belgique, la Hollande, l'Allemagne, la Pologne produisent des variétés de printemps tandis que l'on rencontre des types d'hiver en Grande-Bretagne, en Italie, en France et en Afrique du Nord.

L'aire de culture de la Féverole et l'échec de toutes les tentatives d'extension trouvent explication dans les principales caractéristiques écologiques de l'espèce :

— La plus visible est certainement la sensibilité aux *puçerons noirs* (*Aphis fabae* Scop). Elle se manifeste dans les régions relativement sèches dès la fin du printemps et peut avoir des conséquences très néfastes sur les rendements.

— Plus important encore est le *besoin élevé en eau à la nouaison*. Celui-ci présente un réel obstacle à l'introduction des variétés de printemps dans le Midi et dans les régions de faible pluviométrie.

— D'autre part, le seuil de résistance au froid assez peu élevé des types d'hiver interdit leur extension vers les pays de l'intérieur alors que leur sensibilité au *Botrytis fabae* (Sard) pose, comme nous le verrons plus loin, un problème d'adaptation au climat maritime.

La lutte directe contre les pucerons peut être envisagée avec succès grâce aux insecticides systémiques. Mais la hauteur de la végétation en rend souvent difficile la réalisation pratique.

En fait, le véritable problème réside dans les besoins importants en eau de la plante à la floraison et à la formation des gousses. Une carence dans cette alimentation abaisse si fortement les rendements que la culture de la Féverole de printemps ne peut offrir aux agriculteurs la sécurité indispensable à son introduction dans les régions où ces risques sont à craindre.

Le choix de variétés précoces et la réalisation de semis dès la fin de février permettent dans une certaine mesure d'échapper à ces inconvénients; mais il est souvent impossible d'effectuer des semis très précoces dans les terres lourdes et argileuses qui conviennent particulièrement bien à la Féverole.

Les Féveroles d'hiver, semées dans le courant du mois d'octobre, ont une avance de végétation de trois semaines environ sur celles de printemps. Cela est suffisant pour les préserver pratiquement des attaques de pucerons. D'autre part, leur enracinement beaucoup plus profond à cette époque leur permet de mieux supporter une éventuelle sécheresse des mois de mai et juin et, par cela même, d'avoir des rendements plus réguliers.

Cependant, l'introduction des Féveroles d'hiver dans les régions continentales exige une résistance au froid élevée et leur culture en climat maritime pose un problème de résistance à une maladie cryptogamique due au *Botrytis fabae* (Sard).

PROGRAMME ET OBJECTIFS D'AMELIORATION

Compte tenu des impératifs mentionnés ci-dessus, et averti des grandes difficultés d'améliorer la résistance d'une espèce à la sécheresse et aux parasites animaux, il m'a paru utile d'orienter les travaux d'amélioration de la Féverole vers la création de variétés d'hiver. Ceci nécessite l'étude préliminaire des caractères d'adaptation les plus importants et de leur transmission héréditaire: résistances au froid et au *Botrytis*, facteurs de la productivité. Leur regroupement dans une même variété stable et homogène a été notre premier

objectif. C'est pourquoi nous avons d'abord utilisé les méthodes simples, basées sur l'autogamie prépondérante de l'espèce, permettant l'obtention de lignées pures.

A. — Résistance au froid

1°) Manifestation et facteurs de variation

La diversité des dégâts sur les différents organes de la plante met en évidence une zone de plus forte résistance au-dessus du collet, là où naissent les ramifications, et une zone plus sensible sur la racine, au-dessous de l'insertion des cotylédons.

Le stade de développement influe également sur l'importance des dégâts : celui qui détermine la meilleure résistance correspond au début de croissance des ramifications et se situe au moment du développement de la cinquième feuille.

L'ensemble des résultats nous a permis de déterminer la *date optimale de semis* pour nos régions (15 octobre) ainsi que la *profondeur du semis* (6 cm). Il a également contribué à la définition d'une *échelle de résistance au froid* :

TABLEAU I

ECHELLE DE RESISTANCE AU FROID

Seuil de résistance : température mortelle à 2 m sous abri

Population de Côte-d'Or	— 15°
Populations anglaises	— 12°
Population d'hiver méridionale	— 8°
Variétés et populations de printemps	— 6°

2°) Amélioration génétique de la résistance au froid

a) Hybridation Hiver × Printemps :

Le seul géniteur valable étant *Côte-d'Or*, des croisements ont été réalisés entre cette population et diverses variétés de printemps beaucoup plus productives quelle (*Strube, Rinal, Picardie*). L'examen des disjonctions en F₂ fait apparaître une forte liaison génétique entre la résistance au froid de *Côte-d'Or* et son manque de productivité.

b) Back-crosses :

Nous avons pensé rompre ces liaisons en effectuant des croisements de retour avec le parent récurrent de printemps, tout en sélectionnant pour la

*Amélioration de la
Féverole d'hiver*

résistance au froid. En effectuant ces back-crosses à la quatrième génération (après un échec sur des hybrides en deuxième génération), nous avons obtenu une amélioration de la productivité des hybrides résistants.

c) *Croisements multiples :*

Dans l'espoir de découvrir des transgressions pour la résistance au froid et, en outre, pour améliorer plus rapidement la productivité, nous avons également recroisé des F4 résistantes avec des populations anglaises à gros grains. Malgré l'absence de transgressions, pourtant très souhaitables, la sélection effectuée par l'hiver 1962-63 a prouvé que cette méthode était également valable, ainsi que l'attestent les résultats du tableau II.

TABLEAU II
AMELIORATION DE LA RESISTANCE AU FROID
ET DE LA GROSSEUR DU GRAIN

<i>Type de croisement</i>	<i>Résistance au froid % de Côte-d'Or</i>	<i>Poids de 1.000 grains % de Côte-d'Or</i>
<i>Printemps × Hiver :</i>		
(Rinal × Co) 29-5-3	142	115
» 29-5-3-1	115	116
(Picardie × Co) 972-8-4	85	133
» 972-8-4-7-3	77	129
» 23-8-9	68	152
<i>Back-crosses en F4 :</i>		
[Strube × (Côte-d'Or × Printemps)]		
1-1-5	140	186
3-3-2	110	136
3-3-6	94	172
[Picardie × (Picardie × Côte-d'Or)]		
11-1-6-4	109	184
11-1-6-11	109	156
<i>Croisements multiples :</i>		
[Anglaise × (Côte-d'Or × Printemps)]		
3-1-2-7	110	154
» 8	82	189
6-7-9-2	110	165
» 6	110	174

B. — Les composantes de la productivité

Les différentes composantes du rendement peuvent être subdivisées de la façon suivante : grosseur du grain, nombre de grains par gousse, nombre de gousses par tige, nombre de tiges par plante et nombre de plantes par unité de surface.

Il existe naturellement des interactions très complexes entre ces différents facteurs, mais nous pouvons, dans une certaine mesure, les classer en trois catégories :

- *facteurs à hérédité relativement simple* : grosseur du grain et « tal-lage ». C'est surtout sur le premier que notre sélection a porté : nous avons choisi comme géniteur de productivité des variétés de printemps à gros grains telles que *Strube*, *Rinal* et la population de *Picardie* ;
- *facteurs à hérédité plus complexe* : le nombre de grains par gousse et le nombre de gousses par plante sont davantage sous la dépendance des conditions de milieu. D'autre part, ils sont également contrôlés par l'efficacité de la pollinisation, comme nous le verrons plus tard ;
- *facteur d'ordre cultural* : le nombre de plantes à l'unité de surface a naturellement une répercussion importante sur les autres facteurs. Compte tenu des risques de verse, son optimum semble se situer pour les Féveroles d'hiver, dans nos régions de l'Ouest, vers 30 plantes au mètre carré.

C. — Résistance au *Botrytis fabae*

Au cours de notre sélection, il s'est avéré que les Féveroles d'hiver étaient très exposées aux attaques d'une maladie cryptogamique : le *Botrytis fabae* (Sard), déjà connue en Grande-Bretagne sous le nom de « Chocolate spot disease ». L'étude du parasite nous a permis de confirmer un stade latent pendant l'hiver (taches foliaires) et un stade virulent au cours du printemps, quand les conditions d'humidité et de température sont favorables à son développement. La verse, qui contribue à créer un micro-climat voisin de la saturation en humidité, favorise considérablement le développement rapide du parasite.

Au stade virulent, les feuilles sont complètement flétries, les tiges et les fleurs sont atteintes de nécroses et, à un stade plus avancé, les gousses elles-mêmes peuvent être attaquées. Il en résulte un échaudage et une infection directe du grain qui peuvent réduire considérablement les rendements.

On peut combattre le *Botrytis* à l'aide de produits antifongiques à base de cuivre micronisé ou d'oxychlorure de cuivre, mais la difficulté d'application et la faible remanence des traitements les interdit dans la pratique. Seule une solution génétique peut être envisagée : la création de variétés résistantes. Or, à l'intérieur de l'espèce, n'existe qu'une très faible amplitude de variation du caractère résistance; ce dernier étant d'ailleurs souvent masqué par d'autres, tout à fait indépendants, comme la résistance à la verse.

Aussi il nous paraît indispensable d'augmenter cette variation par l'obtention de mutants moins sensibles. Nous espérons en provoquer l'apparition à l'aide de substances mutagènes telles que le Sulfate neutre d'Ethyle ou le Méthane-Sulfonate d'Ethyle. Le tri des mutants résistants sera d'autant plus aisé que la multiplication du parasite et son inoculation en serre, que nous avons déjà expérimentées sur nos lignées, s'avèrent relativement faciles à réaliser.

D. — Autres caractères d'adaptation et objectifs spéciaux

Dans un travail de sélection, il est difficile de scinder les différents objectifs recherchés. En fait, c'est l'aptitude agronomique d'une espèce que l'on tente d'améliorer. Il est donc nécessaire d'ajouter à ces facteurs primordiaux d'adaptation des facteurs secondaires comme la résistance à diverses maladies moins redoutables que le *Botrytis* : (Rouille - *Fusarium* - *Sclerotinia*); la résistance à la verse, la tolérance aux désherbants du groupe des triazines dont l'emploi se généralise dans la culture de la Féverole, en Angleterre notamment.

LES METHODES DE SELECTION

Le choix d'une méthode de sélection étant basé sur le mode de reproduction de l'espèce, des études tant bibliographiques que personnelles ont été entreprises sur la biologie florale.

La Féverole est une plante diploïde, à pollinisation entomophile (*Bombus*). Le taux d'allogamie a été déterminé par divers auteurs : il varie de 99

20 à 60 % suivant les populations et les conditions climatiques. Cependant, il est plus faible et plus constant chez les Féveroles d'hiver (30 %). L'autogamie importante qui en résulte (70 %) a, dans un premier temps, orienté nos recherches vers la création de lignées pures.

A. — Création de lignées pures

Afin d'accroître l'autogamie existante et nécessaire à l'obtention de lignées pures, nous avons entrepris l'étude des divers facteurs d'autofertilité.

1°) Déclenchement de la colonne staminale

Il a été confirmé que si l'on empêche la visite des insectes, le pourcentage de nouaison se trouve, de façon générale, fortement abaissé. Cependant, le déclenchement artificiel de la colonne staminale permet de recouvrer une partie de la fertilité naturelle. Le déclenchement, qui semble nécessaire à la fécondation, a non seulement pour effet de mettre en contact l'autopollen et le style, mais aussi de léser la surface des papilles stigmatiques et ainsi de permettre la croissance des tubes polliniques.

2°) Auto-incompatibilité

Un auteur anglais, D. A. BOND, en utilisant des gènes marqueurs du pollen, n'a pu mettre en évidence une supériorité du pollen étranger, amené par l'insecte pollinisateur, vis-à-vis de l'autopollen. Des études *in vitro* de croissance de pollen, en présence d'extrait de style de la même plante ou d'une plante étrangère, ont confirmé cette absence d'auto-incompatibilité (D. G. ROWLANDS).

3°) Héritéité de l'autofertilité

Les études en cours à Rennes, et confirmées par les travaux anglais, ont mis en évidence l'existence de lignées possédant une faculté de déclenchement spontané et une plus forte autofertilité. Les résultats mentionnés dans le tableau III illustrent l'autofertilité de quelques lignées suivies à Rennes. La possibilité de sélectionner des lignées autofertiles confirme donc le bien-fondé de l'orientation première de notre sélection.

TABLEAU III

EFFICACITE DE LA SELECTION
POUR L'AUTOFERTILITE NATURELLE

Nombre de gousses par étage florifère exprimé en %
de la fécondation libre des mêmes lignées

Lignées	1963	1964		
	Autofécondée		Autofécondée	Déclenchée
29-5-2-1	138	—	94	92
29-5-2-2	91	1 2	60 106	158 154
29-5-5-1	128	1 2	141 123	128 123
29-5-7-1	122	—	123	141
29-5-7-4	41	1 2	37 29	103 71
29-5-7-6	12	—	43	77
29-5-7-7	106	1 2	115 100	120 92

4°) Effet d'inbreeding

L'autofécondation produit en règle générale, chez les plantes allogames, une baisse de vigueur due à la consanguinité, encore appelée effet d'inbreeding.

Sur Féverole de printemps, J. PICARD a trouvé une baisse de vigueur assez importante puisque sur 70 comparaisons « lignées Inbreds-Population », 21 différences sont négatives.

Chez les Féveroles d'hiver, où l'allogamie est moins fréquente, et sur des lignées sélectionnées pour leur autofertilité, l'effet d'inbreeding s'est révélé beaucoup moins important, ainsi que l'indiquent les résultats du tableau IV.

TABLEAU IV
EFFET D'INBREEDING EVALUE PAR LA VARIATION
DES RENDEMENTS EN % DE COTE-D'OR

<i>Lignées</i>	1958 (1 4)	1959 (1 5)	1960 (1 6)	1962 (1 8)
972	236	148	141	122
29	229	170	114	123
47	261	154	170	121
23		194	128	116
13		161	164	115
Valeur de 100 en qx/ha.	15	36	28	48

Nota : Inbred ayant subi une année de multiplication en croisement frère-sœur.

Les lignées issues de ce premier cycle de sélection, basé sur le maintien de l'autogamie, présentent un certain progrès par rapport au matériel de départ. Cependant il est utile de savoir si une amélioration supplémentaire peut être apportée par la vigueur hybride.

B. — Utilisation de la vigueur hybride

L'existence de 30 % d'allogamie chez la Féverole d'hiver permet de penser qu'un certain hétérosis peut exister chez cette espèce et être utilisé en sélection.

1°) Estimation de l'hétérosis potentiel

a) Réalisation de tests de « Top-crosses » :

Un croisement de ce type a été réalisé par fécondation naturelle de trois lignées (n° 972, 29 et 23) avec une même quatrième (n° 13). Les rendements des synthétiques obtenus (cf. tableau V) ne font apparaître qu'une seule différence significativement positive avec un gain de 20 % par rapport au parent moyen. La faiblesse de l'hétérosis peut s'expliquer, dans ce cas, par le fait que seulement 30 % environ des descendants sont effectivement hybrides.

TABLEAU V
RENDEMENTS DE VARIETES SYNTHETIQUES ET DES LIGNEES
PARENTES EXPRIMES EN % DU PARENT MOYEN

<i>Croisement</i>	<i>Lignée 13</i>	<i>Autre lignée</i>	<i>Synthétique</i>	<i>Synthétique réciproque</i>	<i>Valeur de 100 en qx/ha</i>	<i>d. 0,05</i>
972 × 13	98	102	119	126	43,5	10
29 × 13	93	107	102	110	45,9	9
23 × 13	93	107	104	106	45,9	9

b) *Réalisation de variétés-hybrides F1 :*

Seule la création d'hybrides F1 pourrait nous donner une indication de l'hétérosis potentiel chez la Féverole d'hiver.

De tels hybrides réalisés par castration et pollinisation manuelles, manifestent un hétérosis beaucoup plus important, ainsi que l'attestent les résultats obtenus par D. A. BOND en Angleterre (tableau VI).

TABLEAU VI
RENDEMENTS DES LIGNEES INBREDS ET DE LEURS HYBRIDES
EN % D'UN TEMOIN COMMUN

	<i>1956-57</i>	<i>1957-58</i>	<i>1958-59</i>
Hybrides	152	186	113
Inbreds	83	43	97

2°) **Contrôle plus parfait de la pollinisation : utilisation de la stérilité mâle.**

L'utilisation pratique de l'hétérosis potentiel nécessite un contrôle aussi parfait que possible de la pollinisation. Celui-ci peut être obtenu par sélection de lignées à fort besoin de déclenchement, donc particulièrement peu auto-fertiles. Cependant, même dans ce cas, la *variété synthétique* obtenue ne mani-

festera pas un hétérosis maximum. En effet, en l'absence de phénomène d'incompatibilité, les fleurs visitées par les bourdons ne pourront en moyenne fournir plus de 50 % de grains hybrides. Un contrôle plus important de la pollinisation peut être réalisé par utilisation de la stérilité mâle.

a) *Utilisation de la stérilité mâle génétique :*

D. A. BOND, de l'Institut d'Amélioration des Plantes de Cambridge, a découvert une lignée mâle-stérile dont le déterminisme est génétique. Les plantes homozygotes récessives pour le caractère ms sont mâle-stériles. Cependant la disjonction de ce caractère réduit à 50 % l'utilisation de l'hétérosis potentiel. Il n'est pas pensable d'éliminer les 50 % de plantes totalement fertiles. Aussi, cet auteur a tenté de lier de façon très étroite au locus de la stérilité mâle un caractère léthal récessif (déficience chlorophyllienne). Ce gène, placé en répulsion par rapport au précédent, effectuerait automatiquement l'élimination des plantes mâle-fertiles de la lignée devant servir de femelle dans le croisement fournissant la semence hybride commerciale.

b) *Utilisation de la stérilité mâle génétique et cytoplasmique :*

Le même auteur a également isolé une lignée dont la stérilité mâle est d'origine génétique et cytoplasmique. Son avantage sur le type précédent est de déterminer une stérilité mâle presque absolue. Elle est caractérisée par les gènes récessifs ms.ms. dans le cytoplasme « stérile » (S). Son maintien nécessite l'existence d'une lignée sœur non restauratrice de fertilité et ne différant de la première que par un cytoplasme fertile (F).

Pour la réalisation de la semence hybride commerciale, il sera nécessaire que la lignée pollinisatrice restaure complètement la fertilité de l'hybride obtenu; cette lignée devra donc être homozygote pour le gène MS restaurateur de la fertilité; ce qui est le cas général. Dans ces conditions, sera produite une semence 100 % hybride et parfaitement fertile qui pourra extérioriser complètement l'hétérosis potentiel.

Le choix des lignées devant entrer dans ce croisement sera basé non seulement sur leur valeur agronomique propre, mais aussi sur leur aptitude à la combinaison provoquant la vigueur hybride la plus importante.

Nous avons commencé dès cette année à introduire les gènes et le cytoplasme de stérilité mâle dans notre matériel en sélection. Parallèlement, nous

pensable à la conservation de notre lignée mâle-stérile. Ce travail nécessitera de nombreuses manipulations et plusieurs années de croisements successifs. Son aboutissement ne pourra être envisagé qu'à longue échéance.

CONCLUSION

Cette revue rapide des problèmes soulevés par l'amélioration de la Févérole, et en particulier de la Févérole d'hiver, nous indique assez nettement que beaucoup de travail reste à faire avant de pouvoir assurer la généralisation souhaitable de sa culture.

Le niveau actuel d'amélioration que nous avons pu atteindre au cours du premier cycle de sélection peut être concrétisé par un accroissement de 20 à 30 % des rendements par rapport à la population de Côte-d'Or. Ceci représente une possibilité de production de 50 qx de grain à l'hectare comparable à celle des meilleures variétés de printemps. Le niveau de la résistance au froid a pu être en général maintenu et une certaine tolérance au *Botrytis* a été obtenue chez une lignée, issue du croisement des populations d'Afrique du Nord et de Côte-d'Or, grâce à sa résistance à la verse.

Cependant la fréquence de cette maladie dans les régions océaniques présente un tel obstacle à la régularité des rendements qu'il s'avère absolument indispensable de rechercher des géniteurs de résistance réelle.

D'autre part, il serait également utile d'augmenter le seuil de résistance au froid qui paraît assez bas pour les régions continentales et même lors d'hivers très rigoureux en régions océaniques. La découverte d'une lignée productive et possédant ces deux caractères contribuerait déjà beaucoup à améliorer les possibilités de l'espèce.

Nos connaissances actuelles des méthodes de sélection pourraient permettre de l'utiliser immédiatement sous forme de variété synthétique. Dans un programme à échéance plus lointaine, son introduction sous forme mâle-stérile dans une variété F1 devrait permettre d'accroître encore les rendements et d'exploiter ainsi au mieux l'hétérosis potentiel chez la Févérole d'hiver.

P. BERTHELEM,

*Chargé de Recherches,
Station d'Amélioration des Plantes de Rennes.*

BIBLIOGRAPHIE :

- BERTHELEM P. (1955). — Observations préliminaires sur les effets du froid sur la Féverole. — *Annales de l'Amélioration des Plantes*, 4, p. 615-631.
- BERTHELEM P. — (1962). Rapport annuel. — *Station d'Amélioration des Plantes de Rennes*, p. 14-19.
- BOND D. A. and FYFE J. L. (1961). — Annual Report. — *Plant Breeding Institute Cambridge*, p. 4-26.
- FYFE J. L. and BAILEY N. T. J. (1951). — Plant breeding studies in leguminous forage crops. I. Natural Cross breeding in winter-beans. — *J. Agric. Sci.*, 41, p. 371-378.
- FYFE J. L. (1954). — Plant breeding studies in leguminous forage crops. II. Further observations on natural cross-breeding in winter-beans. — *J. Agric. Sci.*, 45, p. 141-147.
- HOLDEN J. H. W. and BOND D. A. (1960). — Studies on the breeding system of the field bean (*Vicia faba*. L.). — *Heredity*, 15, p. 175-192.
- PICARD J. (1953). — Recherches sur la Féverole. — *Annales de l'Amélioration des Plantes*, 3, p. 57-106.
- PICARD J. (1960). — Données sur l'amélioration de la Féverole de printemps (*Vicia faba*. L.). — *Annales de l'Amélioration des Plantes*, 10, p. 121-153.
- ROWLANDS D. G. (1958). — The nature of the breeding system in the field bean (*V. faba*) and its relationship to breeding for yield. — *Heredity*, 12, p. 113-125.
- ROWLANDS D. G. (1960). — Fertility studies in the field bean (*V. faba* L.). I. Cross- and self-fertility. — *Heredity*, 15, p. 161-173.
- ROWLANDS D. G. (1961). — Fertility studies in the field bean (*V. faba* L.). II. Inbreeding. — *Heredity*, 16, p. 497-508.
- 106 THOMAS H. T. (1961). — Report of the Welsh Plant Breeding Station, p. 66-68.