

ICARDA-101 N

AMELIORATION DES LEGUMINEUSES ALIMENTAIRES EN AFRIQUE DU NORD

Synthèse des Travaux du Stage de Formation
Tunis, 15 - 20 Avril 1986



Amélioration des Légumineuses Alimentaires en Afrique du Nord

**Synthèse des Travaux du Stage de Formation
Tunis, 13 - 20 Avril 1986**

**Centre International de Recherches Agricoles
dans les Régions Sèches (ICARDA)
B.P. 5466, Alep, Syrie**

**Institut National de la Recherche Agronomique
de Tunisie (INRAT)
Avenue de l'Indépendance
2080 Ariana, Tunisie**

Rédaction française:
Tarif Cheikh Amine
Mona Shayya
Joyce Bendki

TABLE DES MATIERES

Préface

Les légumineuses alimentaires en Tunisie: Situation actuelle et perspectives d'amélioration H.M. HALILA	1
Légumineuses alimentaires au Maroc M. SIDDIKI	10
Rapport national sur les légumineuses en Algérie M. LABDI	17
Les méthodes d'amélioration des espèces autogames A. DAALOUL	25
Amélioration des légumineuses: Plantes allogames H. BEN SALAH	40
Conduite de la culture du pois et de la féverole B. ELHAJ	48
Fixation biologique de l'azote par les légumineuses alimentaires A.B.K. DAHMANE	66
Plant diseases: General concepts with special emphasis on chickpeas M. HARRABI	78
Lutte contre les mauvaises herbes: Cas des légumineuses à graines H.M. HALILA	88
Introduction aux statistiques M. BEJI	95
Analyse de variance A. HAMROUNI	106

Préface

Le Programme de l'Amélioration des Légumineuses Alimentaires (FLIP) au Centre International de Recherches Agricoles dans les Régions Sèches (ICARDA) a donné une haute priorité à la formation des jeunes chercheurs dans les institutions nationales de recherche, situées dans les régions où exerce ICARDA, étant donné que ceci est une condition préalable pour le développement de fortes équipes de recherche pour l'amélioration des cultures de légumineuses alimentaires. La formation donnée dans les pays mêmes attire un intérêt croissant, vu sa rentabilité, sa pertinence vis-à-vis des besoins locaux et la participation plus engagée des cadres supérieurs scientifiques nationaux.

En collaboration avec l'INRAT, FLIP a pris en charge son second séminaire de formation en Afrique du Nord, à Tunis, du 13 au 20 avril 1986. Bien que la majorité des participants soit de Tunisie, le séminaire avait un caractère régional puisque des stagiaires d'Algérie et du Maroc y avaient aussi assisté. L'équipe de formation comportait aussi des enseignants d'Algérie et du Maroc, mais la majorité provenait de Tunisie. La langue de travail était principalement le français afin d'assurer la communication avec les participants. Le séminaire a été encadré par Mr Habib Halila, Chef du Laboratoire des Légumineuses Alimentaires à l'INRAT, et par le Dr Habib Ibrahim, scientifique responsable de la formation (FLIP), ce dont je les remercie sincèrement. Notre reconnaissance s'adresse aussi au Dr Ahmed Kamel, représentant d'ICARDA en Afrique du Nord, ainsi que le Dr Howard Gridley, anciennement spécialiste FLIP pour l'amélioration génétique des légumineuses en Tunisie.

Dans ce volume, on a recueilli les textes des exposés pour constituer les actes du séminaire. Nous espérons que cette synthèse sera une source de référence utile pour les stagiaires ainsi que pour les futurs cours de formation en Afrique du Nord. Son édition représente un effort coopératif entre l'INRAT et l'ICARDA.

Mohan C. Saxena
Chef du Programme de
l'Amélioration des
Légumineuses Alimentaires
(FLIP)

Les Légumineuses Alimentaires en Tunisie: Situation Actuelle et Perspectives d'Amélioration

Habib M. Halila
Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie
Tunis, Tunisie

En termes de superficie et comparées aux autres grandes cultures, les légumineuses alimentaires sont d'une importance relative. Elles sont, par contre, considérées comme des cultures, socialement, très ancrées dans les traditions de l'agriculture tunisienne. De plus, culinairement, elles sont présentées quotidiennement dans le régime alimentaire de la population. Dans ce contexte, une espèce comme la lentille mériterait un meilleur sort dans la nutrition de la famille tunisienne.

Agronomiquement, les légumineuses alimentaires ne sont pas en train de jouer pleinement le rôle qu'on aime tant leur attribuer, i.e. laisser une sole riche et propre à la céréale qui les suit dans la rotation, puisqu'elles n'occupent que 4,5% des terres labourables (moyenne du IIIe plan 84-85) et 8,5% des superficies emblavées en grandes cultures (moyenne du IVe plan 81-86).

La culture des légumineuses alimentaires est essentiellement limitée aux zones du Nord du pays, recevant entre 400 mm et 700 mm de pluie.

DONNEES STATISTIQUES NATIONALES

Superficies emblavées

L'évolution des emblavures au cours de la période 1972-1985 se caractérise par une fluctuation annuelle assez importante, variant de 67 000 ha en 1972 à 103 693 ha en 1980. La moyenne calculée pour la période est de 85 835 ha.

Cette fluctuation est observée également au niveau de chacune des espèces des légumineuses. La magnitude de cette fluctuation varie toutefois en fonction de l'espèce comme l'indique tableau 1.

Tableau 1. Superficies (ha) emblavées par différentes espèces de légumineuses en Tunisie.

	Fève et fêverole	Pois chiche	Petit pois	Lentille	Haricot
Superficie maximale	61 200	37 830	9 470	7 000	3 670
Superficie minimale	30 000	19 800	5 351	477	1 094
Superficie moyenne	47 925	28 330	7 061	2 239	2 036
Tendance	variable	hausse	variable	baisse	baisse

C'est ainsi que, par exemple, l'évolution de la superficie du pois chiche de printemps s'est caractérisée, à partir de 1977, par une tendance vers la hausse. L'année 1977 a vu une demande accrue du pois chiche en raison de son incorporation dans le café. Cette demande était accompagnée d'une forte hausse des prix. Par contre, la tendance de l'évolution des superficies de la lentille et de l'haricot est nettement vers la baisse. Le coût de la production de la lentille, le manque de mécanisation de cette culture ainsi que sa disparition progressive de l'alimentation humaine y ont été pour quelque chose.

Quant à la superficie des légumineuses d'automne telles que la fève, la fêverole et le petit pois, elle varie d'une année à l'autre. Cette fluctuation annuelle est, à notre avis, liée à l'évolution annuelle de la campagne céréalière, car étant des cultures d'automne, les légumineuses sont semées au cours de la même période que les céréales. Il est toutefois très rare de les voir bénéficier de la priorité au niveau du calendrier d'exécution des travaux agricoles, les céréales passant toujours en premier lieu. Ceci est d'autant plus aberrant que, techniquement, la fève, la fêverole et le petit pois doivent bénéficier d'un semis précoce, avant même les céréales, puisque le semis tardif entraîne des réductions considérables au niveau des rendements.

Rendements

A l'image des superficies, les rendements se caractérisent par une faiblesse et une fluctuation importantes. On notera cependant une tendance vers une baisse inexplicable des rendements du pois chiche.

Cette irrégularité dans les rendements est inhérente, en premier lieu, au manque de matériel génétique adéquat permettant d'assurer, bon an mal an, une certaine stabilité de la production. Elle est également due aux conditions climatiques, à la manière avec laquelle les agriculteurs conduisent la culture des légumineuses et aux conditions de culture. Ainsi, en observant par exemple, l'évolution des rendements de la fève et de la féverole, on notera que les chutes les plus importantes dans les rendements ont eu lieu au cours des années 1977 et 1983, où des maladies dévastatrices pour ces espèces - telle que le Botrytis fabae - ont pratiquement détruit la culture.

Le rendement moyen de chaque espèce est en deça du rendement potentiel. Une marge importante dans l'amélioration de ces rendements existe réellement tant au niveau de l'amélioration des techniques culturales qu'au niveau de l'amélioration génétique (Tableau 2).

Tableau 2. Rendements moyens (kg/ha) des différentes espèces de légumineuses.

	Fève et féverole	Pois chiche	Petit pois	Lentille	Haricot
Rendement maximal	1 005	1 100	860	1 060	1 010
Rendement minimal	420	430	370	430	570
Rendement moyen	822	793	671	794	757
Tendance	variable	baisse	variable	hausse	baisse

FACTEURS LIMITANT ET PROBLÈMES DE PRODUCTION

Les facteurs et problèmes limitant dans une large mesure le développement des légumineuses sont présentés brièvement ci-après. Ils sont repris et hiérarchisés dans les figures 1, 2 et 3. Les solutions disponibles, s'il y a lieu y sont également indiquées.

A. Zones Climatiquement Favorables

Petits agriculteurs

1. Facteurs socio-économiques

- Régime foncier ne permettant pas l'accès des agriculteurs aux nouvelles techniques.
- Assimilation lente des nouvelles techniques de production.
- Manque de moyens financiers et matériels (accès difficile aux crédits de campagne et éloignement des exploitations).

2. Facteurs techniques

- Absence de variétés à haut rendement pour toutes les espèces et des techniques culturales appropriées.
- Fertilisation insuffisante.
- Désherbage très limitée (choix restreint de désherbants, application difficile).
- Impossibilité de mécaniser à cause de l'absence de matériel adapté aux petites exploitations.
- Problèmes de sol (érosion, terres accidentées et partagées).

Moyens et gros agriculteurs

1. Facteurs socio-économiques

- Manque d'une politique agricole claire pour le secteur des légumineuses tant au niveau de la commercialisation intérieure ou extérieure de la récolte, qu'au niveau de la politique des prix. De plus, le secteur de la production des semences souffre d'un manque d'organisation et de législation.

2. Facteurs techniques

- Absence de variétés à haut rendement.
- Sensibilité des populations locales cultivées aux différents parasites et maladies.
- Techniques culturales non connues ou peu maîtrisées (désherbage, date et densité de semis).

- Impossibilité de mécaniser complètement les cultures des légumineuses due à l'utilisation de matériel végétal non adapté à la mécanisation.
- Absence de semences certifiées et sélectionnées de haute qualité.

B. Zones Climatiquement Moins Favorables

On signale ici les mêmes facteurs socio-économiques mentionnés plus haut, mais aggravés par des conditions climatiques peu favorables. Il y a lieu de signaler aussi une absence complète des légumineuses à cause d'un manque d'information quant à l'opportunité de ces cultures dans ces zones.

Nous savons toutefois que, pour certaines espèces telles que le pois chiche d'hiver (cultivé parallèlement aux céréales), la lentille et le petit pois, des possibilités réelles d'introduction et d'intensification dans ces zones climatiquement défavorisées existent.

Ces espèces peuvent très bien trouver une place dans un assolement équilibré. Non seulement elles permettent d'améliorer les revenus des agriculteurs mais aussi d'enrichir le sol et de limiter l'épuisement et la dégradation de la terre due à une utilisation non rationnelle du capital sol.

PERSPECTIVES D'INTENSIFICATION DES LEGUMINEUSES

L'importance du secteur des légumineuses est perçue à travers les quelques rôles essentiels suivants:

1. L'alimentation et la nutrition humaine et animale.
2. Rôle économique et social par une contribution dans la trésorerie de l'agriculteur (vente locale) et par l'amélioration de la balance commerciale du pays par le biais de l'exportation.
3. Rôle agronomique permettant le maintien de la fertilité et l'amélioration des sols dans le cadre des assolements céréaliers pratiqués dans le nord et donc, une contribution indirecte à l'amélioration de la production céréalière du pays.
4. Transformation industrielle (haricot, petit pois ... etc). Ce rôle est important à deux points de vue: nutritionnel et économique (de part l'intérêt des autres fonctions résultant de cette industrie).

Les perspectives de développement des légumineuses sont à notre avis très prometteuses. La production globale des légumineuses pourrait être augmentée grâce à: (1) l'augmentation et la stabilisation des rendements dans les zones où les emblavures sont déjà à un niveau acceptable, et (2) leur introduction dans des zones moins favorables, théoriquement non productrices de légumineuses telles que certaines zones du Kef, Siliana, Tunis et Zaghouan et ceci par:

- L'attribution, dans le cadre d'un assolement judicieux, d'une partie de la superficie réservée à la jachère aux légumineuses (petit pois, lentille).

- La récupération de la jachère dans les zones marginales et son remplacement par un pois chiche d'hiver (pois chiche semé en hiver au lieu du printemps). Ce système permet l'obtention d'une récolte de pois chiche dans les zones caractérisées par un assolement biennal stricte jachère-blé.

- L'adoption et l'utilisation d'assolement plus équilibré, permettant de profiter au maximum de l'effet bénéfique apporté au sol par la culture des légumineuses dans les zones favorables où l'extension des emblavures réservées aux légumineuses est encore possible.

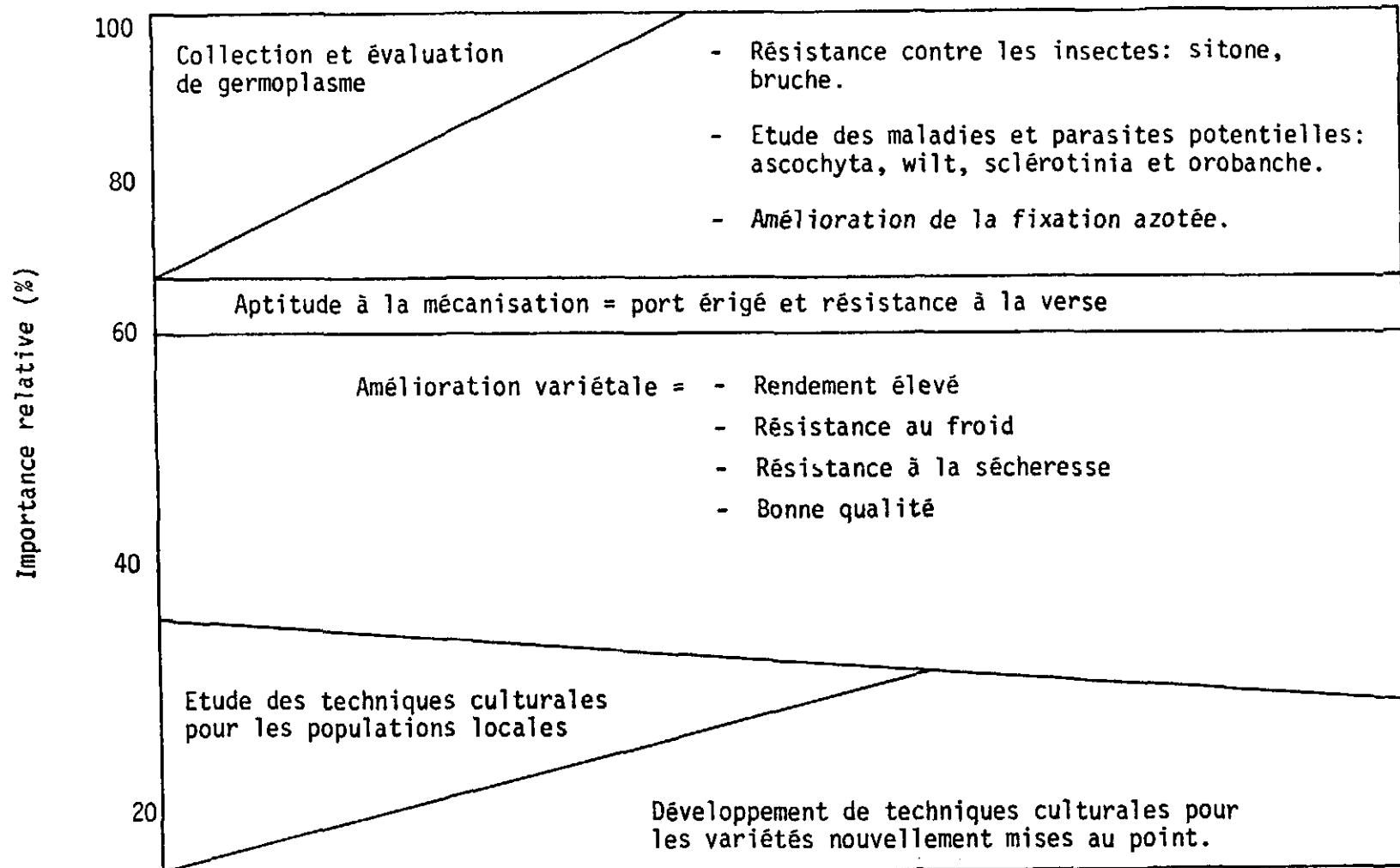


Figure 1. Amélioration de la culture de la lentille.

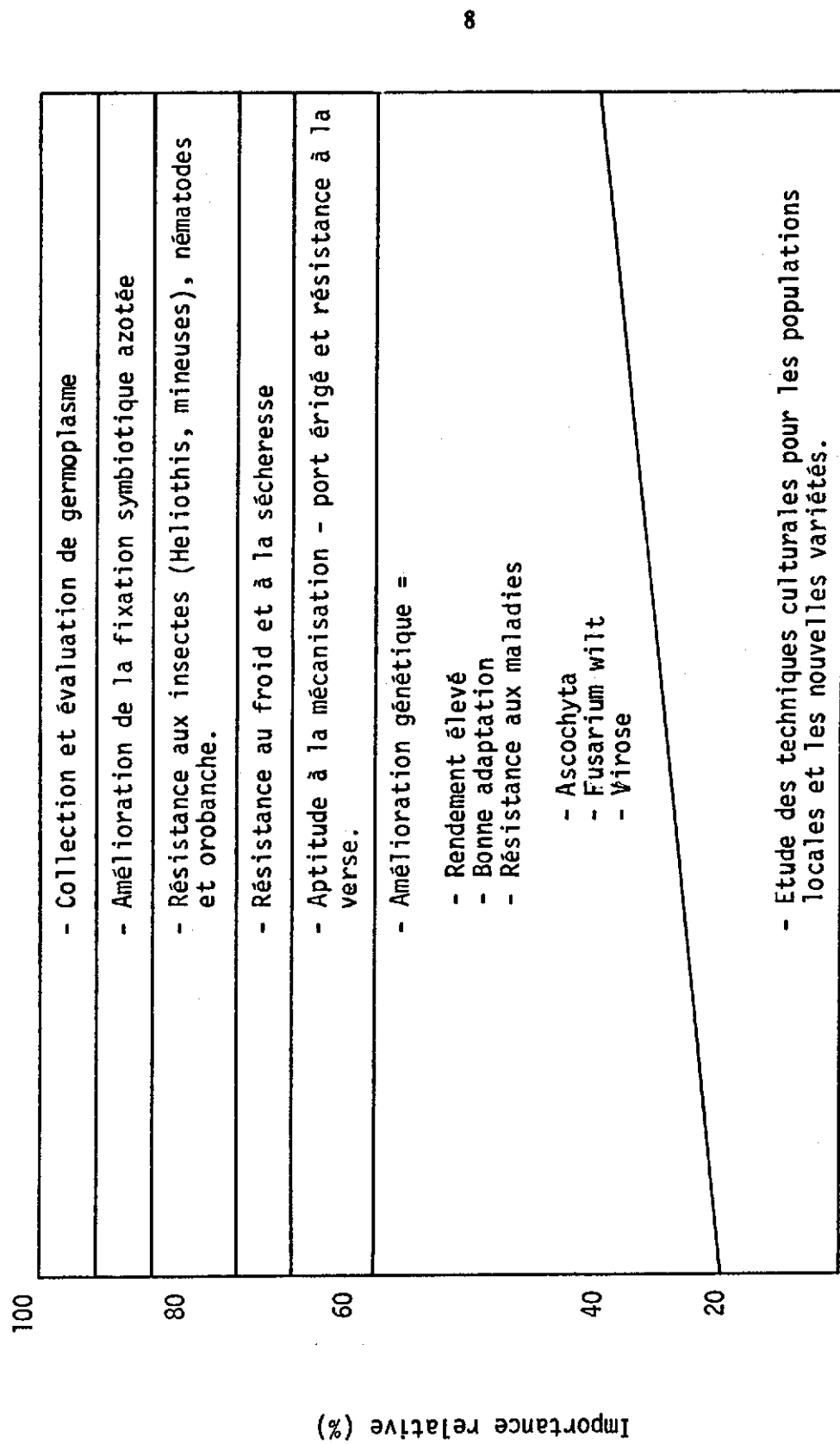


Figure 2. Amélioration de la culture du pois chiche.

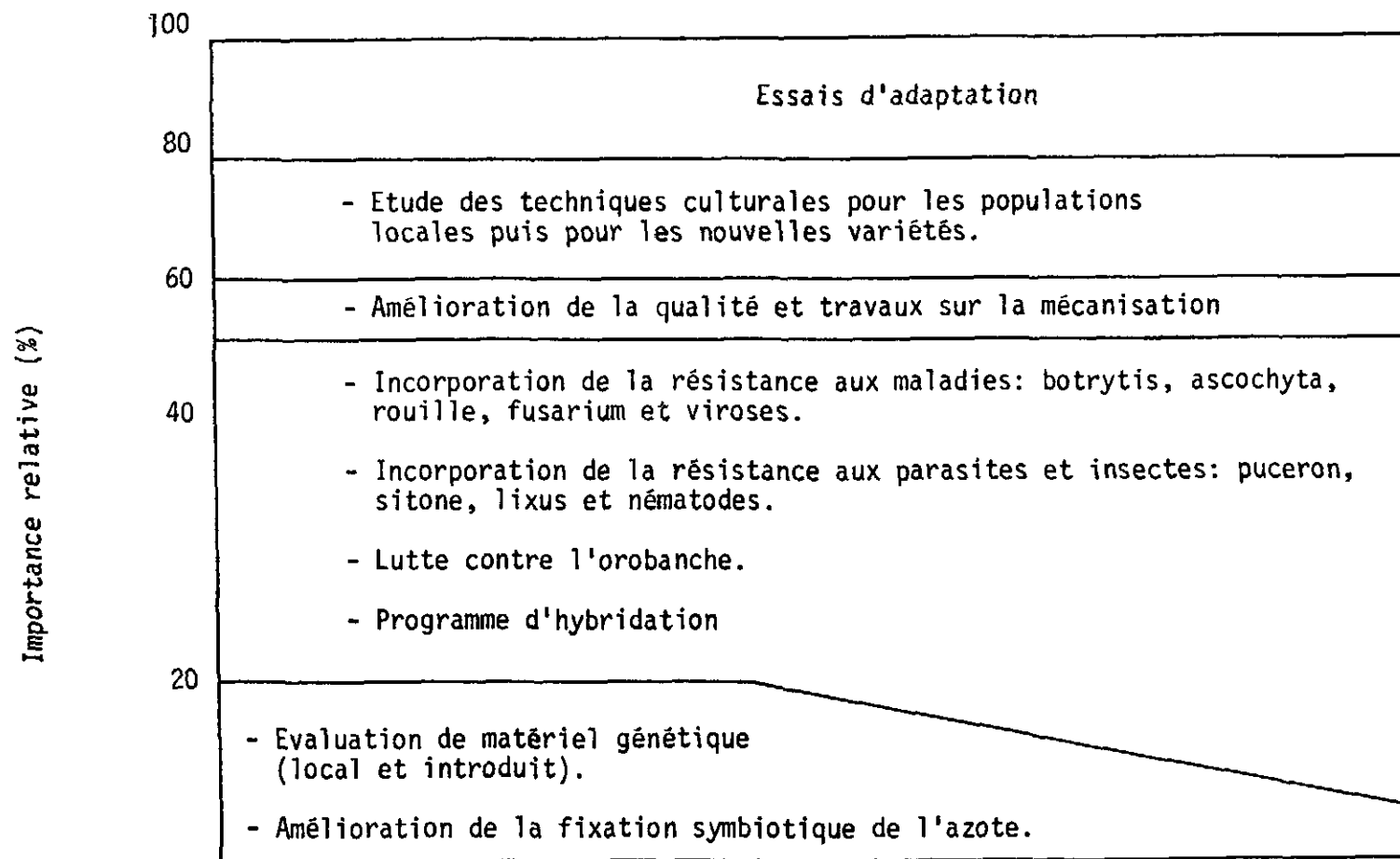


Figure 3. Amélioration de la culture de fève et de la féverole.

Les Légumineuses Alimentaires au Maroc

Mohamed Siddiki
Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II
Rabat, Maroc

LA SITUATION DES LEGUMINEUSES A GRAINES

La culture des légumineuses alimentaires est connue depuis très longtemps au Maroc. Elle occupe une superficie moyenne fluctuant entre 400 000 à 600 000 ha, soit environ 7 à 9% des terres cultivables. De ce fait, ce secteur occupe la deuxième position, mais loin derrière les céréales.

Quatre principales espèces sont cultivées et sont, par ordre d'importance, la fève, le petit pois, le pois chiche et la lentille. On trouve d'autres espèces (haricot en irrigué, lupin, etc...) mais de moindre importance et constituent la catégorie des légumineuses secondaires.

Localisation de la culture des légumineuses

Les limites des zones de culture des quatre légumineuses principales sont diffusées. Cependant elles se trouvent répandues surtout dans les parties Nord et Nord-Ouest du pays. Il s'agit de régions à pluviométrie dépassant 400 mm, où un axe principal définit la physionomie de ces cultures. C'est l'axe qui relie Taza au plateau central en longeant la bordure nord du moyen Atlas. Cette zone correspond aux provinces de Fès, Taounate, Boulemane, Kénitra, Khémisset, Meknès, Taza, Ben Slimane et Settat. Les légumineuses occupent une place appréciable dépassant 20% des superficiesensemencées. Les moyennes de plusieurs années montrent que plus de 78% des superficies des légumineuses et 82% de la production nationale sont réalisées dans ces régions. La culture n'est pas irriguée. On trouve aussi les légumineuses dans les périmètres aménagés où elles sont souvent irriguées.

LA FEVE: CULTURE ET PRODUCTION

Au Maroc, la fève est la principale légumineuse à graine, aussi bien du point de vue superficie, que du point de vue production. En effet, elle couvre environ la moitié des superficies en légumineuses à l'échelle nationale, soit 200 000 à 300 000 ha. De ce fait le Maroc occupe la seconde place parmi les pays du Maghreb et du Proche Orient, après l'Ethiopie.

Les Zones de Culture

Globalement, la culture de la fève se situe dans les zones limitées par l'isophète de 300 mm et l'isotherme de température minimale du mois le plus froid de $+3^{\circ}\text{C}$. On trouve aussi la fève sous forme de culture irriguée dans les régions à pluviométrie insuffisante, en particulier dans le Haouz et le Maroc Oriental.

Sur le plan régional, les provinces de Fès, Meknès, Taounate et Khémisset concentrent à elles seules plus de 65% des superficies emblavées en fève.

Plusieurs zones homogènes peuvent être distinguées sur la base des caractéristiques pédoclimatiques, de la physionomie de la culture et l'importance des superficies emblavées en légumineuses.

Zone 1: C'est la bande constituée par les provinces de Fès, Meknès, Khémisset, Kénitra et Ben Slimane. On note une forte concentration des légumineuses et une prédominance des rotations céréales-légumineuses. La pluviométrie est importante. Les superficies emblavées en fève varient entre 5 et 10% des superficies totales cultivées selon les années.

Zone 2: Elle correspond aux plaines atlantiques (régions de Doukkala, Chaouia et Abda). La culture de la fève y est très hétérogène et sa répartition se fait en fonction des types de sols. Elle est concentrée sur des sols calcaires profonds, et devient rare sur les sols en pente. Les superficies en fève sont très fluctuantes suivant les années et représentent entre 5 et 20% des superficies totales cultivées.

Zone 3: Elle comprend le prérf, le rif occidental, et s'étend sur les provinces de Taza, Taounate, El Hoceima, Chaouen, Tetouan et Tanger. Les légumineuses sont cultivées en sec et destinées à la production de graines. Cependant, dans les régions proches des centres urbains, on trouve de la fève destinée à la production en vert et cultivée en conditions irriguées mais sur de faibles superficies, concentrées autour des points d'eau, essentiellement des sources et des rivières.

La nature accidentée de la topographie constitue de sérieux obstacles à l'emploi des techniques d'intensification. Les cultures sont pratiquées sur de petites parcelles dispersées, souvent aménagées en banquettes. Cette zone est assez bien arrosée, la pluviométrie est de 450 mm en moyenne et se répartit entre octobre et avril.

La fève occupe une place appréciable dans les provinces de Taounate et Taza: 10 à 30% des superficies nationales en fèves se

trouvent chaque année dans cette région. Mais globalement, l'importance des légumineuses chute dans les provinces de Tanger Chaouen et Tetouan, malgré la forte pluviométrie (650 à 800 mm/année), et leur superficie ne dépasse pas 5 à 6%.

Zone 4: Elle regroupe les régions montagneuses du moyen Atlas et les zones irriguées, notamment les périmètres aménagés et les oasis du sud marocain. La superficie en légumineuses est d'environ 4% avec une faible proportion en fève.

Evolution des Superficies

Le tableau 1 montre l'évolution des superficies des quatre principales légumineuses depuis l'année 1960. On remarque une forte variation interannuelle des superficies emblavées, surtout dans les années 1980. Avant 1970, la superficie en fève était relativement constante et s'évaluait en moyenne à 180 000 ha. La campagne 1971-72 a été caractérisée par une extension brutale de la culture de fève. La superficie maximale occupée par la fève a été enregistrée en 1973 (environ 300 000 ha). Deux facteurs se conjuguent pour expliquer cette évolution, d'abord les récoltes des années 1967, 1968, et 1969 ont donné de bonnes productions, ensuite l'effort déployé par les services de vulgarisation pour promouvoir les rotations biennales céréales-légumineuses pour remplacer les rotations céréales-jachère qui dominaient. Cette augmentation ne s'est pas maintenue et dès 1974 la superficie de la fève commence à chuter pour retrouver en 1980 son niveau moyen. Cette chute est due, entre autre, à un retard des pluies et à une faiblesse des précipitations. Deux tiers des provinces ont été touchées par cette baisse des superficies. Cependant certaines autres ont connu une augmentation.

Rendements et Productions

L'évolution des rendements et des productions des quatre principales légumineuses, est représentée dans les figures 1 et 2 respectivement. Les rendements des légumineuses restent en général faibles. La fève donne les rendements les plus élevés (1000 kg/ha en moyenne). Le rendement maximal a été obtenu en 1974 (1510 kg/ha). A l'opposé, le rendement minimal a été enregistré en 1961 (400 kg/ha).

L'analyse de l'évolution des rendements sur 20 ans (Figure 2) montre: (1) une forte variabilité interannuelle, due en majeure partie aux variations interannuelles des conditions climatiques du printemps au moment de la floraison et de la formation des gousses (chute des fleurs), et aux problèmes phytosanitaires (l'orobanche sur fève en particulier, et l'antracnose sur pois chiche, (2) que

la gamme de variation est constante, et il n'y a pas de tendance globale à la progression au cours de cette période, et (3) une similarité entre les fluctuations des rendements de la fève, du petit pois et de la lentille, qui sont toutes des cultures d'automne. Les problèmes en cause seraient de même nature. Le pois chiche est une culture de printemps et l'évolution de ses rendements est légèrement différente.

En terme de production, la fève est toujours la culture la plus importante. En effet, l'importance relative de la fève dans la production nationale des légumineuses à graines n'a jamais chuté au dessous de 40%. On note un parallélisme dans la variation inter-annuelle de la production de la fève et celle des autres légumineuses (Figure 2).

Tableau 1. Evolution des superficies, rendements et productions des légumineuses (fève, lentille, pois chiche et petit pois) au cours des différentes campagnes agricoles au Maroc¹.

Campagne Agricole	Superficie (1000 ha)	Rendement (kg/ha)	Production (1000 tonnes)
1928-29	112,0	620	69,53
1929-30	124,0	400	50,22
1930-31	104,0	520	53,95
1931-32	91,9	450	41,72
1932-33	106,6	440	46,77
1933-34	114,6	650	74,64
1934-35	143,7	300	43,49
1935-36	136,0	400	53,93
1936-37	145,4	400	58,70
1937-38	148,5	370	55,05
1938-39	176,7	660	116,47
1939-40	219,4	400	86,97
1940-41	226,9	680	153,36
1941-42	249,0	550	137,95
1942-43	218,3	420	92,03
1943-44	184,0	400	73,63
1944-45	172,5	130	21,75
1945-46	120,6	630	75,96
1946-47	143,1	520	74,78
1947-48	194,9	600	118,00
1948-49	249,1	400	99,15
1949-50	245,9	430	105,74
1950-51	192,7	530	101,95
1951-52	230,5	530	121,05
1952-53	233,5	520	121,04
1953-54	270,2	530	142,90
1954-55	251,5	440	109,75
1955-56	195,5	330	49,08
1956-57	142,4	290	40,68
1957-58	182,3	510	93,67
1958-59	259,5	560	144,17
1959-60	286,2	550	157,27
1960-61	265,5	300	79,73
1961-62	268,0	630	167,63
1962-63	294,2	540	160,23

1963-64	315,5	680	214,97
1964-65	298,4	800	239,84
1965-66	349,4	400	138,89
1966-67	297,2	580	171,87
1967-68	288,8	880	254,48
1968-69	286,5	680	195,74
1969-70	440,9	710	314,17
1970-71	401,7	780	314,17
1971-72	445,1	870	385,37
1972-73	499,9	640	319,37
1973-74	545,5	1240	674,64
1974-75	516,1	820	425,68
1975-76	561,2	840	469,79
1976-77	433,1	360	155,90
1977-78	500,0	530	264,89
1978-79	434,9	600	262,55
1979-80	384,0	600	231,01
1980-81	303,9	220	66,59
1981-82	294,8	750	221,64
1982-83	411,4	840	345,23
1983-84	450,0	580	261,00
1984-85	500,0	770	385,00

(1) Source: De 1929 à 1937 : Renseignements généraux de statistique
 De 1938 à 1960 : O N I C L
 De 1961 à 1985 : M.A.R.A.

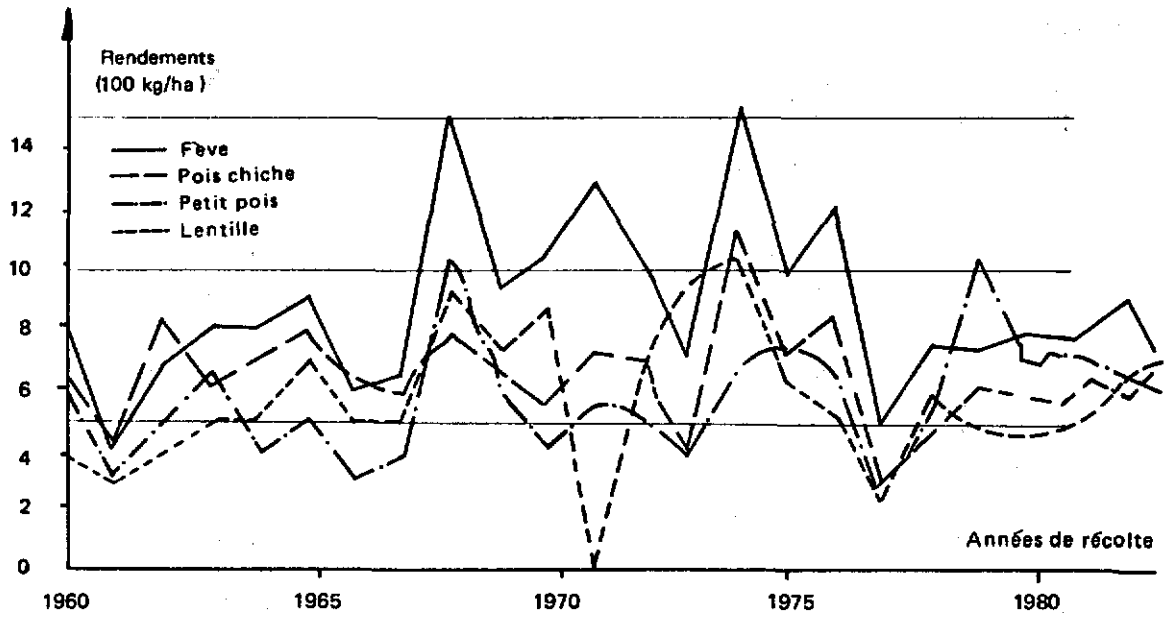


Figure 1. Evolution des rendements (moyennes nationales) des légumineuses alimentaires au Maroc.

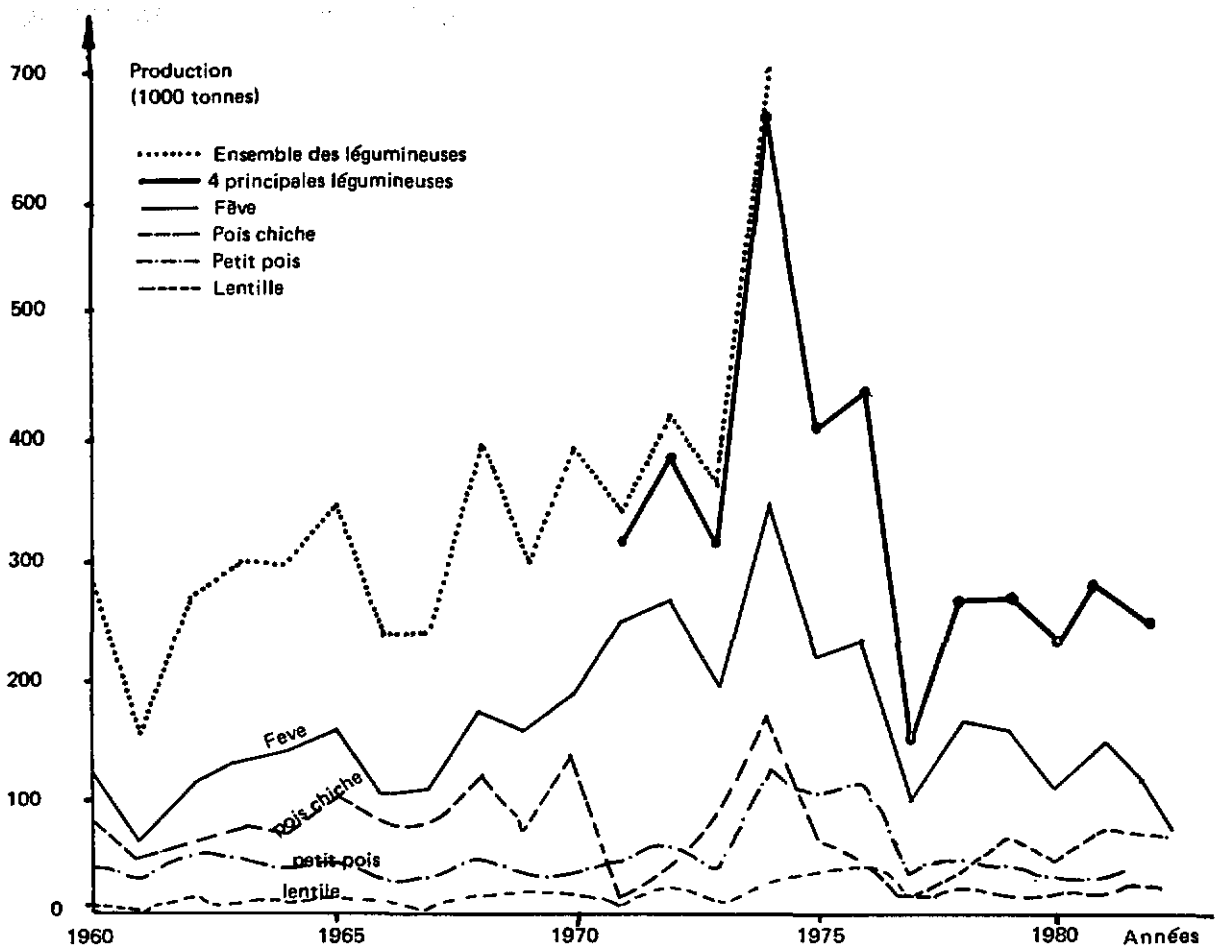


Figure 2. Variations annuelles de la production des quatre principales légumineuses alimentaires au Maroc.

Rapport National sur les Légumineuses en Algérie

Mohamed Labdi
Institut de Développement des Grandes Cultures
Station Sidi Bel Abbès
Algérie

Les légumes secs en Algérie occupent quelques 120 000 ha soit 2% de la superficie agricole utile (S.A.U). Ils sont cultivés principalement dans les régions céréalières. Leur large consommation par la population explique le fait qu'ils jouissent actuellement de la même importance que les cultures dites de "bases". Cet intérêt se justifie par les besoins croissants et par la place qu'ils peuvent occuper dans l'intensification des assolements.

En vue d'atteindre cet objectif, la culture mécanisée a été introduite ces dernières années. Elle se généralise au fur et à mesure que les unités de production renforcent leur équipement en matériel et forment leur personnel.

Cependant, le développement de ces cultures reste lié à la résolution d'un certain nombre de questions relatifs à la technologie de production et aux moyens mis à sa disposition.

CLIMAT

Le climat des grandes zones de production de légumes secs est caractérisé par un hiver pluvieux et froid. La pluviométrie annuelle varie de 350 à 500 mm avec une répartition irrégulière dans laquelle l'établissement de périodes sèches au cours du cycle végétatif est probable. La phase de remplissage - maturité coïncide généralement avec l'apparition des vents chauds provenant du sud appelé "sirocco".

PRODUCTION DES LEGUMES SECS

Evolution des légumes secs

Pendant longtemps, les légumes secs étaient cultivés sous la forme traditionnelle sur de petites superficies pour les besoins familiaux dont le surplus était cédé pour le marché local.

La demande de ces produits s'étant accentuée, la culture s'est étendue sur les jachères nues jugées non économiquement intéressantes.

La pratique de la jachère cultivée devenait donc une opération satisfaisante, dans la mesure où les objectifs qui lui sont assignés étaient plus ou moins restreints, et les frais destinés à son entretien, amortis par la vente des produits récoltés.

La réduction de la jachère dictée par des impératifs nationaux (croissance des besoins et stagnation de la production avec des ressources en terre agricole limitée) au cours de cette dernière décennie a permis aux cultures des légumineuses d'être enfin réhabilitées en tant que telles. C'est à travers cet historique qu'actuellement nous retrouvons les trois formes de cultures:

- La culture traditionnelle. Elle reste prédominante dans les zones montagneuses et principalement dans le secteur privé.
- La culture semi-mécanisée. Elle concerne la grande partie des superficies réservées aux légumes secs.
- La culture mécanisée est pratiquée dans les unités de production modernes qui se trouvent localisées surtout dans les plaines.

Superficie

La culture des légumes secs a pris un développement important à partir de la première crise mondiale de 1929 où l'on a pu enregistrer plus de 90 000 ha de terres cultivées. Depuis, si cette culture connaît certaines extensions, les superficies emblavées annuellement fluctuent en fonction de l'intérêt accordé à ces espèces, de leur rentabilité et des conditions économiques du moment. C'est ainsi qu'à la veille de la deuxième guerre mondiale, ce chiffre tombe à 58 000 ha puis remonte à 84 000 ha pour atteindre 122 000 ha en 1955. Les besoins s'étant stabilisés jusqu'en 1971, les superficies varient entre 60 000 ha et 90 000 ha. Après cette date, les objectifs planifiés deviennent de plus en plus importants sans pour autant arriver à réaliser les 130 000 ha (Tableau 1).

Les espèces les plus cultivées en 1980 sont la fève (*Vicia faba*) avec 52 000 ha, et le pois chiche (*Cicer arietinum*) avec 40 000 ha (Tableau 3).

Tableau 3. Pourcentage des superficies occupées par les différentes espèces de légumineuses en Algérie pour l'année 1980.

Espèces	Pourcentage
Fève	42
Pois chiche	33
Lentille	13
Pois sec	7,5
Haricot sec	1,5
Autres	3,5

Production et rendements

La production des légumineuses alimentaires n'a pas connu d'amélioration en général, malgré l'extension des superficies. Les années 1975 et 1976 sont celles dont la production nationale a enregistré un record de 75 000 tonnes (Tableau 2).

Le rendement moyen pour toutes espèces confondues pour plus d'une dizaine d'années est de 520 kg/ha. Les écarts de rendement varient entre 100 kg/ha pour les plus faibles et 1000 kg/ha pour les pointes. Cette variation est moindre pour la fève et très marquée pour la lentille.

Besoins

Pour une ration moyenne de 6 kg/ha/personne, les besoins globaux en légumes secs sont estimés à 132 000 tonnes. Cette quantité représente plus de deux fois la production nationale de l'année 1980. Ce déficit fait que notre pays procède à des importations massives. Les espèces importées sont le pois chiche, la lentille et le haricot sec.

TECHNIQUE DE PRODUCTION

En Algérie, il existe trois systèmes de production de légumes secs: traditionnel, semi-mécanisé et mécanisé.

La culture traditionnelle

Elle concerne les petites superficies appartenant à des privés dans des zones assez difficiles à mécaniser. Les travaux sont réalisés

à l'aide d'animaux, surtout ânes et mulets. Du semis à la récolte, les opérations sont faites manuellement. Les espèces cultivées sont la fève, le pois et le haricot.

La culture semi-mécanisée

Une grande partie de la superficie attribuée aux légumes secs est conduite sous cette forme. Les travaux du sol et du desherbage sont réalisés mécaniquement. Le semis se fait soit à la main, soit à l'aide d'un semoir en ligne, avec un écartement entre les rangs variant de 0,70 m à 3 m permettant le contrôle des adventices entre les lignes pour le passage d'un outil tracté.

La récolte est manuelle et se fait en deux opérations: l'arrachage et l'andainage, ensuite le battage. Ce dernier se fait soit sur une plate-forme battue ou bétonnée à l'aide d'animaux ou d'engins, soit par l'alimentation d'une moissonneuse batteuse en position de stationnement ou d'une batteuse à poste fixe.

La culture mécanisée

C'est la technique préconisée par l'Institut de Développement des Grandes Cultures (IDGC). Elle a l'avantage d'utiliser les mêmes facteurs de production utilisés pour les céréales, d'optimiser leur rentabilité et de faire une économie en main d'oeuvre et en temps.

Le sol est mieux exploité par un peuplement/m² plus important et un écartement réduit entre les lignes (de 0,20 m à 0,70 m selon les espèces). Le contrôle des mauvaises herbes est fait par la pulvérisation d'un herbicide en pré-semis (trifluraline) ou en pré-levée (metobromuron). La récolte est réalisée en coupe directe par une moissonneuse-batteuse munie d'une barre de coupe réduite de 3 m.

CONTRAINTES ET PERSPECTIVES D'AMELIORATION

La culture des légumes secs en Algérie est en train de subir une véritable mutation dans la mesure où elle passe d'une forme traditionnelle consacrée à l'auto-subsistance à une forme plus évoluée devant répondre à des besoins de plus en plus importants du marché national.

Cependant, cette mutation se fait par étapes transitoires logiques à la mesure de l'évolution de notre agriculture. Si toutefois cette transformation ne s'est pas traduite par une amélioration des rendements, c'est que certaines contraintes se posent à trois différents niveaux qui sont le végétal, la conduite, et les machines.

Le végétal

Les anciennes variétés cultivées jusqu'à présent ne sont pas adaptées aux techniques modernes de production à cause de certains de leurs caractères jugés négatifs, tels que le port semi-prostré, la hauteur réduite, la sensibilité à l'égrenage, la susceptibilité aux maladies, et le potentiel de production faible.

L'Institut de Développement des Grandes Cultures, par le biais de ses sept stations et en collaboration avec des organisations internationales et surtout "Le Centre International de Recherches Agricoles dans les Régions Sèches (ICARDA)" travaille à résoudre ces problèmes.

Les programmes d'amélioration initiés, il y a plusieurs années, se sont fixés des objectifs propres à chaque espèce. C'est ainsi que pour:

1. La lentille

Le travail a porté tout d'abord sur la réduction de l'égrenage trop important, le port érigé ou semi-érigé et la hauteur (25 cm au moins). Pour ce dernier caractère, il est connu que la variabilité génétique chez la lentille est très limitée. Cependant des lignées allant jusqu'à 45 cm ont été sélectionnées.

Dans le cadre d'adaptation à de nouvelles zones de production, l'extension de la lentille à d'autres zones de cultures a permis d'engager des sélections portant sur des traits particuliers tels que la précocité, le développement végétatif et la tolérance au froid.

Pour un rendement supérieur et régulier, les lignées testées actuellement ont des rendements très supérieurs à celui du témoin Large Blonde du Chili conduite en grand culture. Pour la campagne 1984/85, le niveau de rendement obtenu avec ces lignées est en moyenne deux fois celui du témoin.

Du point de vue maladie, aucune n'est signalée, mis à part qu'en 1979 nous avons pu observer quelques cas de rouille (Uromyces ervi).

2. Le pois chiche

En matière de pois chiche, le programme a été principalement axé sur la mise au point de la technique de la sélection contre l'anthracnose (Ascochyta rabiei), maladie qui cause des dégâts très importants. Au cours de la campagne 1984/85, des champs entiers ont été détruits par cette maladie dans différentes zones. Le travail initié en 1987 a permis de sélectionner des lignées dites résistantes. Cependant, durant les campagnes 1983-84 et 1984-85, ce matériel est devenu susceptible, ce qui laisse supposer la présence de différentes races physiologiques. Notons que la sélection porte aussi ici sur le port de plante.

3. La fève

La fève connaît moins de problèmes que les autres espèces. Cependant, il est à signaler que deux maladies ont été enregistrées au cours des années humides: la rouille (*Uromyces* sp.), et le botrytis (*Botrytis fabae*).

4. Le pois

Le pois est moins cultivé que les autres espèces, et peu d'attention lui est accordée en amélioration à cause de sa maturité très étalée entraînant des risques d'égrenage des gousses de la base (cas des pois secs), et sa susceptibilité aux maladies (*Erysiphe* spp.) et (*Ascochyta pisi*) et à la verse en bonnes conditions d'humidité.

En plus de ces problèmes liés à la plante, nous pouvons citer dans le cadre du parasitisme les principaux insectes ravageurs inféodés à ces cultures:

- la lentille: la bruche
- le pois chiche: le vers gris ou noctuelle et la mineuse
- la fève: la sitone, la bruche et les pucerons
- le pois: la mineuse, la bruche et les pucerons

La Conduite

L'obtention d'un bon rendement passe par le respect d'un itinéraire technique élaboré en fonction du système de production, de l'espèce cultivée et de la zone de culture.

Dans le cadre de ce séminaire, nous retiendrons trois paramètres qui affectent grandement le rendement.

1. La date de semis

Dans la mise en place du plan de production, les légumes secs sont relégués en dernière place. Cette attitude a été héritée de l'ancien système, où ces cultures devaient occuper les parcelles qui n'ont pu être emblavées pour des raisons multiples ou par esprit de rentabilisation des terres laissées en jachère.

Les dates de semis pratiqués actuellement vont de décembre pour les espèces comme la fève ou le pois à fin-mars pour le pois chiche. Ces dates sont considérées comme tardives si l'on juge les résultats de nombreuses années d'expérimentation en station desquels il ressort une corrélation négative entre la date de semis et le rendement.

Ce manque à gagner est estimé entre 300 à 600 kg/ha en grande culture selon les espèces pour des semis plus précoces. Cependant, pour le pois chiche, nous devons signaler qu'avec les variétés actuelles le risque de dégâts sur la culture par l'antracnose est grand pour les semis avancés.

2. Le contrôle des mauvaises herbes

Les légumineuses alimentaires sont très sensibles à la compétition des adventices et le contrôle de celles-ci est déterminant. La lutte est réalisée selon les modes retenus, soit par le passage d'outils entre les rangs, soit par la pulvérisation d'herbicides lors de la mise en place.

- Mode mécanique. Le mode mécanique exige que la culture soit réalisée en grands écartements, ce qui ne permet pas d'exploiter toutes les potentialités du sol et rend difficile la récolte mécanisée. Cette pratique ne permet pas un contrôle dans le rang.
- Mode chimique. Les quelques produits disponibles ne permettent pas un contrôle adéquat de la flore adventice existante.
 - a. Le trifluraline. Ce produit utilisé en pré-semis a une rémanence de deux à trois mois. Il ne contrôle pas les crucifères (moutardes) qui prédominent. Il a l'inconvénient aussi d'être phytotoxique aux cultures d'avoines qui peuvent suivre.
 - b. Le metobromuron. Ce produit est utilisé après semis avant la levée. Son action est aussi réduite par sa faible rémanence. Il peut être phytotoxique à la culture s'il est pulvérisé un peu tardivement (lentille surtout).

3. La récolte

Une partie de la récolte est perdue par égrenage, car elle est généralement réalisée tardivement. Plusieurs raisons sont invoquées, dont les plus importantes sont:

- La maturité de ces espèces qui n'est pas homogène.
- La récolte des légumes secs qui coïncide avec celle des céréales.
- La progression de la récolte qui est plus lente et demande la mobilisation de tous les moyens pour la réaliser.

Les Machines

La conception des machines a été faite surtout pour les céréales et a besoin de certains aménagements pour pouvoir être mieux utilisées aux légumes secs.

- a. Le semoir. Le semoir fait les petites graines, mais non les grosses graines du type de la fève.
- b. La moissonneuse-batteuse. C'est l'outil qui doit être le plus amélioré pour les raisons suivantes. D'abord, la barre de coupe actuelle n'est pas adaptée aux légumes secs, car dans les conditions de travail de beaucoup de parcelles, elle ne coupe guère au dessous de 15 cm. Ensuite, le taux de casse du produit de la récolte est assez important pour le pois chiche (12 à 20%) et la fève (jusqu'à 50% et plus). Ces pertes importantes sont dues à la vitesse de rotation du batteur (600 tours/minute au moins) et à l'ouverture réduite du batteur contre batteur. La température élevée au moment de la récolte ne requiert pas une aussi grande énergie. Enfin, la coupe étant très basse, le prélèvement du sol de pierres et d'objets durs entraînent des dommages aux organes de battage. Un système de captage de ces objets est souhaitable à l'arrière de la barre de coupe.

CONCLUSION

Les légumes secs étant une source de protéines végétales appréciables, doivent nécessairement être produites en quantité suffisante pour palier au déséquilibre nutritionnel de la ration alimentaire. Pour ce faire, des mesures ont été prises en vue d'intégrer beaucoup plus ces cultures dans l'activité économique de l'unité de production.

Un programme d'intensification de ces cultures a été élaboré et lancé au cours de cette campagne pour permettre d'élever les rendements à l'hectare: investissement en matière d'intrants plus conséquent, et augmentation très sensible des prix à la production.

Les Méthodes d'Amélioration des Espèces Autogames

Abderrazak Daaloul
Institut National Agronomique de Tunisie (INAT)
Tunis, Tunisie

La connaissance du régime de reproduction est fondamentale pour envisager un programme d'amélioration d'une espèce donnée. En effet, les méthodes d'amélioration varient selon que l'espèce est autogame ou allogame. Les légumineuses à graines sont pour la plupart classées comme plantes autogames (Allard 1960) quoique pour certaines d'entre elles le taux d'allogamie dépasse fréquemment les 10% (Vicia faba).

L'objet de ce cours est l'étude des méthodes d'amélioration des légumineuses à graines considérées comme autogames telles que le pois chiche, la lentille, le pois etc. (Allard 1960). Afin de bien illustrer ces méthodes, il est nécessaire d'introduire les conséquences génétiques de l'autogamie, la notion de la lignée pure et les structures des populations autogames.

MECANISMES ET CONSEQUENCES GENETIQUES DE L'AUTOGAMIE

L'autogamie est le régime de reproduction où l'autofécondation a lieu dans les fleurs hermaphrodites. Elle est obtenue par:

- Cleistogamie: où l'autofécondation est stricte ou lorsque la fleur hermaphrodite ne s'ouvre jamais.
- Chasmogamie: où l'autofécondation a lieu avant ou simultanément à l'ouverture de la fleur.
- Des mécanismes particuliers, tels que les cas des légumineuses ou des tomates où la pollinisation suit l'ouverture de la fleur, mais les étamines forment un tube chez les légumineuses ou un cône chez les tomates qui contiennent les stigmates de manière à ce que l'autofécondation soit assurée.

La conséquence génétique de l'autogamie est principalement l'augmentation du taux d'homozygotie aux dépens de l'hétérozygotie. Pour illustrer cela, considérons un couple d'allèles A, a. Soit le croisement entre:

	AA	x	aa	
F1		A a		(toutes les plantes sont hétérozygotes)
F2	$\frac{1}{4}$ AA	$\frac{1}{2}$ Aa	$\frac{1}{4}$ aa	(50% des plantes sont homozygotes, 50% hétérozygotes)
F3	AA		aa	(75% des plantes sont homozygotes, 25% hétérozygotes)
	$\frac{1}{4}$ AA	$\frac{1}{2}$ Aa	$\frac{1}{4}$ aa	

L'autofécondation des plantes F_1 donne en F_2 une disjonction avec 50% des plantes homozygotes et 50% des plantes hétérozygotes. L'autofécondation des plantes F_2 donne en F_3 le maintien des 75% des loci homozygotes auxquels s'ajoutent 25% à partir de la disjonction des hétérozygotes. Ainsi, l'hétérozygotie disparaît très rapidement au profit de l'homozygotie (Fig. 1).

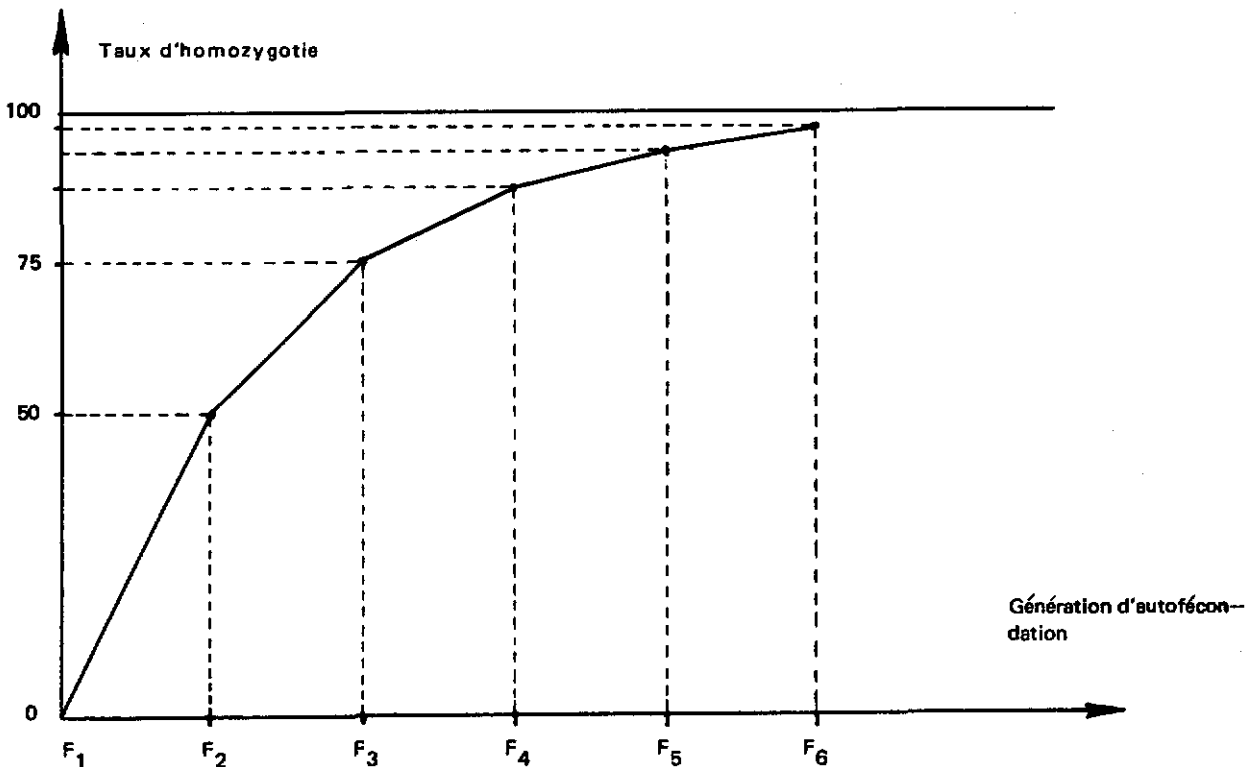


Figure 1. Augmentation de l'homozygotie avec les autofécondations.

L'accumulation des loci homozygotes au fur et à mesure des générations d'autofécondation conduit au développement de génotypes homozygotes donc une population végétale autogame est normalement constituée d'individus homozygotes. Cela est de nature à empêcher les nouvelles recombinaisons de gènes car toute hybridation accidentelle (allogamie) est suivie d'autofécondations répétées et les loci hétérozygotes qui en résultent disparaissent très vite au profit des loci homozygotes.

Il est bien entendu que cela est vrai seulement dans les cas où les taux d'allogamie restent très faible et ne dépassent pas les 4%.

NOTION DE LIGNEE PURE ET STRUCTURE GENETIQUE DES POPULATIONS AUTOGAMES

Théorie de la lignée pure

Tout individu homozygote se reproduisant par autogamie ne peut donner que des individus identiques à lui-même et identiques entre eux et qui se reproduiront de la même manière. C'est à une telle descendance constituée d'individus identiques entre eux à l'intérieur d'une génération comme d'une génération à une autre qu'on donne le nom de lignée pure.

Une population autogame peut être composée: d'individus homozygotes identiques entre eux, il s'agit là d'une lignée pure. Elle peut être également composée d'individus homozygotes différents, il s'agit là d'un mélange de lignées pures.

Expérience de Johannsen

W.L. Johannsen, biologiste danois a conduit une expérience simple qui constitue la fondation de la sélection chez les plantes autogames. Il a travaillé sur une population de plantes d'haricots issues d'une variété commerciale "Princesse". Il a récolté cette population des plantes et a obtenu un lot de grains de poids différents. Il a ensuite choisi la plus petite et la plus grosse graine et les a semées. Le résultat a été que la plus petite graine a donné des graines plus petites que celles issues de la plus grosse graine. Il en a conclu que cette première sélection était efficace.

Il a refait l'expérience à partir de la descendance de chaque plante. La sélection était inefficace car la plus petite et la plus grosse graine de chacun des lots ont donné des descendance semblables et se répartissant comme les lots d'origine.

Johannsen a conclu que le premier lot est constitué par un mélange de lignées pures; la variabilité était génétique et environnementale; tandis que les deuxièmes lots étaient des lignées pures homogènes et la variabilité observée dans ces lots était tout à fait environnementale.

En conséquence, la sélection est efficace quand la population autogame est hétérogène et elle devient inefficace chaque fois qu'on est en présence d'une lignée pure.

Sources de variabilité dans une lignée pure

Si la lignée pure qui dériverait par autogamie rigoureuse d'un individu homozygote, était théoriquement immuable, elle pourrait en réalité être soumise à des variations qui résulteraient des différentes pressions de diversification (Allard 1960):

- a) Les mutations. La fréquence des mutations pour un couple d'allèles est très faible, elle est de l'ordre de 10^{-7} . Cependant, chez les végétaux supérieurs la plante possède plusieurs milliers de gènes ainsi que de nombreux milliards de cellules, ce qui fait que l'homozygotie absolue est pratiquement inexistante.
- b) Les hybridations et recombinaisons de gènes. Quand l'autogamie n'est pas stricte, il peut y avoir fécondation croisée suivie de plusieurs recombinaisons de gènes. L'autogamie tendrait à éliminer ces loci hétérozygotes, mais vu le flux continu quoique faible de pollen étranger, l'hétérozygotie se maintient à un degré proportionnel aux taux d'allogamie. Lorsque le taux d'allogamie est supérieur à 4%, le maintien de l'hétérozygotie devient tellement important que l'espèce doit être traitée comme une plante allogame, sauf si l'allogamie est empêchée artificiellement par des cultures sous cage ou en isolement.
- c) Recombinaisons de gènes dues au crossing over. Au cours de la méiose, la formation de chiasma entre les chromatides des chromosomes dédoublés, résulte de l'échange de segments chromosomiques entre les éléments homologues. Cet échange peut être à l'origine de recombinaisons génétiques au sein d'une lignée pure. Les effets du crossing over sont accentués en cas de mutations.
- d) Les migrations zygotiques. Il s'agit des mélanges mécaniques entre différentes lignées pures; d'où l'intérêt de l'utilisation des semences certifiées.

LES METHODES D'AMELIORATION DES PLANTES AUTOGAMES

Les populations végétales autogames sont: soit hétérogènes, c'est-à-dire composées d'un mélange de lignées pures, ce qui permet à la sélection d'être pratiquée efficacement; soit homogènes, c'est-à-dire composées de lignées pures au sein desquelles la sélection est inefficace. Dans ce cas, on procède à des hybridations entre différentes lignées pures et à la sélection dans les populations en ségrégation ainsi créées.

Méthode de sélection dans un mélange de lignées pures

Une amélioration substantielle peut être obtenue par sélection au sein des populations locales "land races" ou au sein des accessions de germoplasme "germplasme accessions". Cela constitue généralement la première étape dans l'exploitation de la variabilité existante.

Les méthodes utilisées sont:

- 1) La sélection massale. Elle consiste en un choix des types favorables suivi d'une identification à l'aide d'étiquettes et une récolte en masse (mélange de la descendance des meilleures plantes). Elle a abouti à un nouveau mélange amélioré, où la fréquence des génotypes désirables est augmentée aux dépens de celle des génotypes indésirables qui ont été éliminés. La sélection massale peut être accomplie par simple élimination des individus indésirables et par la récolte en masse du reste de la population. La sélection massale est rapide et simple, et permet la réalisation de progrès à court terme. Elle est aussi utilisée dans l'épuration au cours de la multiplication des semences. La sélection massale peut être menée avec succès, lorsque les critères de sélection ne sont pas très nombreux et ne sont pas corrélés négativement.
- 2) La sélection généalogique "Pure-line selection". Comme son nom anglosaxon l'indique, la sélection généalogique est basée sur les performances des descendances et permet l'obtention de différentes lignées pures à partir d'un mélange de lignées pures. En effet, les meilleures plantes choisies sont identifiées par des étiquettes et sont récoltées séparément. L'année suivante, les descendances de ces plantes sont semées en lignes séparées. Généralement, ces lignes représentent des plantes homogènes et on procède au choix entre les lignes pour aboutir à des lignées pures. Les lots de semences obtenus à partir de ces lignées sont utilisés dans les essais de rendement.

Comme la sélection massale, la sélection généalogique est simple et rapide; elle permet l'obtention de lignées performantes pour des programmes de court terme. Aussi, le succès de cette sélection généalogique réside dans le nombre limité de critères.

La sélection massale et la sélection généalogique ont été largement utilisées pour le développement de lignées pures homozygotes de pois chiche et de lentille. Les nouvelles lignées obtenues sont utilisées soit pour l'agriculture, soit en croisement.

Méthodes de sélection après hybridations entre différentes lignées pures

Les sélections massales et généalogiques ne peuvent qu'exploiter la variabilité existante dans les mélanges de lignées pures, mais elles ne peuvent pas changer les combinaisons de gènes dans la balance interne de la population en question surtout chez les espèces où l'autogamie est très forte (lentille, pois chiche). Le recours aux hybridations entre différentes lignées pures permet de nouvelles combinaisons de gènes et la sélection de nouveaux génotypes intéressants.

Chaque fois qu'on procède à l'amélioration par sélection après hybridations, on doit penser aux trois aspects suivants:

- Les limites et la nature de la variabilité génétique qu'on va obtenir en première génération en disjonction (la F_2).
- L'évolution des populations hybrides vers l'homozygotie complète.
- La nature des recombinaisons de gènes à réussir.

A. Les facteurs qui influencent les recombinaisons de gènes en F_2 se répartissent en 3 catégories:

1. Le nombre de gènes différenciant les deux parents détermine le nombre de génotypes et de phénotypes qui peuvent résulter du croisement. En effet, pour n gènes, le nombre de génotypes possibles en F_2 est de 3^n et le nombre de phénotypes est de 2^n . Ceci montre le nombre infini de génotypes possibles en F_2 (pour $n = 10$, le nombre de génotypes est égal à 54040). En conséquence, il est conseillé soit d'utiliser des effectifs F_2 aussi élevés que possible afin d'augmenter les chances d'obtention de nouvelles combinaisons; soit de sélectionner avec le maximum d'efficacité au sein d'une F_2 .

2. Les relations de linkage. Lorsque les deux variétés parentales se différencient par un très grand nombre de gènes, il est certain que quelques gènes sont en linkage. Le linkage a pour effet d'obtenir des combinaisons de gènes se rapprochant beaucoup des parents. Il entraîne donc une réduction de la fréquence de nouvelles combinaisons. Cependant, le linkage n'influence pas l'évolution vers l'homozygotie.
 3. Le nombre d'allèles pour chaque locus. Plus ce nombre est élevé plus on augmente le nombre de génotypes possibles en F₂. Cependant, lorsque le croisement est fait entre deux lignées pures, chaque locus aura deux allèles différents.
- B. L'évolution des populations hybrides vers l'homozygotie.

On peut la mesurer par:

1. La proportion de loci homozygotes. Vu que l'effet de l'autofécondation sur un locus hétérozygote est de réduire l'hétérozygotie de 50% à chaque génération, le taux d'homozygotie pour les loci est égal à

$$\text{proportion de loci homozygotes} = \frac{2^m - 1}{2^m} \quad \text{où } m = \begin{array}{l} \text{le nombre de généra-} \\ \text{tions en ségrégation} \\ \text{après la } F_1 \end{array}$$

2. La proportion de génotypes homozygotes. Elle est fonction du nombre de gènes qui différencient les deux parents et du nombre de générations d'autofécondation. Elle est obtenue comme suit:

$$\text{proportion de génotypes homozygotes} = \left(\frac{2^m - 1}{2^m} \right)^n$$

où m = nombre de générations après la F_1

n = nombre de loci hétérozygotes en F_1

En cas de linkage, le nombre n est réduit; c'est pourquoi les individus possédant des gènes liés et les homozygotes seront plus fréquents.

C. Conditions de réussite

La réussite d'un programme de sélection après hybridations nécessite:

1. Des objectifs bien définis. En fait, on doit étudier les problèmes limitant la production de la culture chez les agriculteurs et aussi les caractéristiques désirables pour le consommateur de l'industriel. Par exemple, pour le pois chiche, les objectifs comprennent l'augmentation directe du rendement, la résistance aux diverses maladies telles que l'anthracnose et le wilt, la grosseur de la graine et l'aptitude à la récolte mécanisée.
 2. Un bon choix des géniteurs qui interviennent dans le croisement. Pour cela une tenue judicieuse du livre du crossing bloc est nécessaire pour le choix de parents ayant des chances de complémentarité. Par exemple, on peut croiser la variété locale avec la variété ILC 191 de pois chiche pour avoir la grosseur de la graine combinée à la résistance à l'anthracnose.
 3. L'utilisation de méthodes appropriées pour la réalisation du croisement d'où la nécessité de connaître la biologie florale de l'espèce.
 4. La bonne manipulation des populations hybrides après le croisement.
- D. Description des méthodes de sélection après croisements..

1. La méthode de sélection pedigree. Elle consiste à choisir les individus les plus intéressants chaque fois qu'on est en présence d'une ségrégation, et à vérifier que leurs caractères sont transmis à l'ensemble de leurs descendants.

La F_1 d'un croisement entre 2 lignées pures P_1 et P_2 sera homogène et ne peut faire l'objet de sélection, elle est donc multipliée en masse (Fig.2).

A la F_2 , la sélection commence puisqu'on est en présence d'une ségrégation. Toute plante retenue est récoltée séparément et sa descendance est semée séparément en une seule ligne.

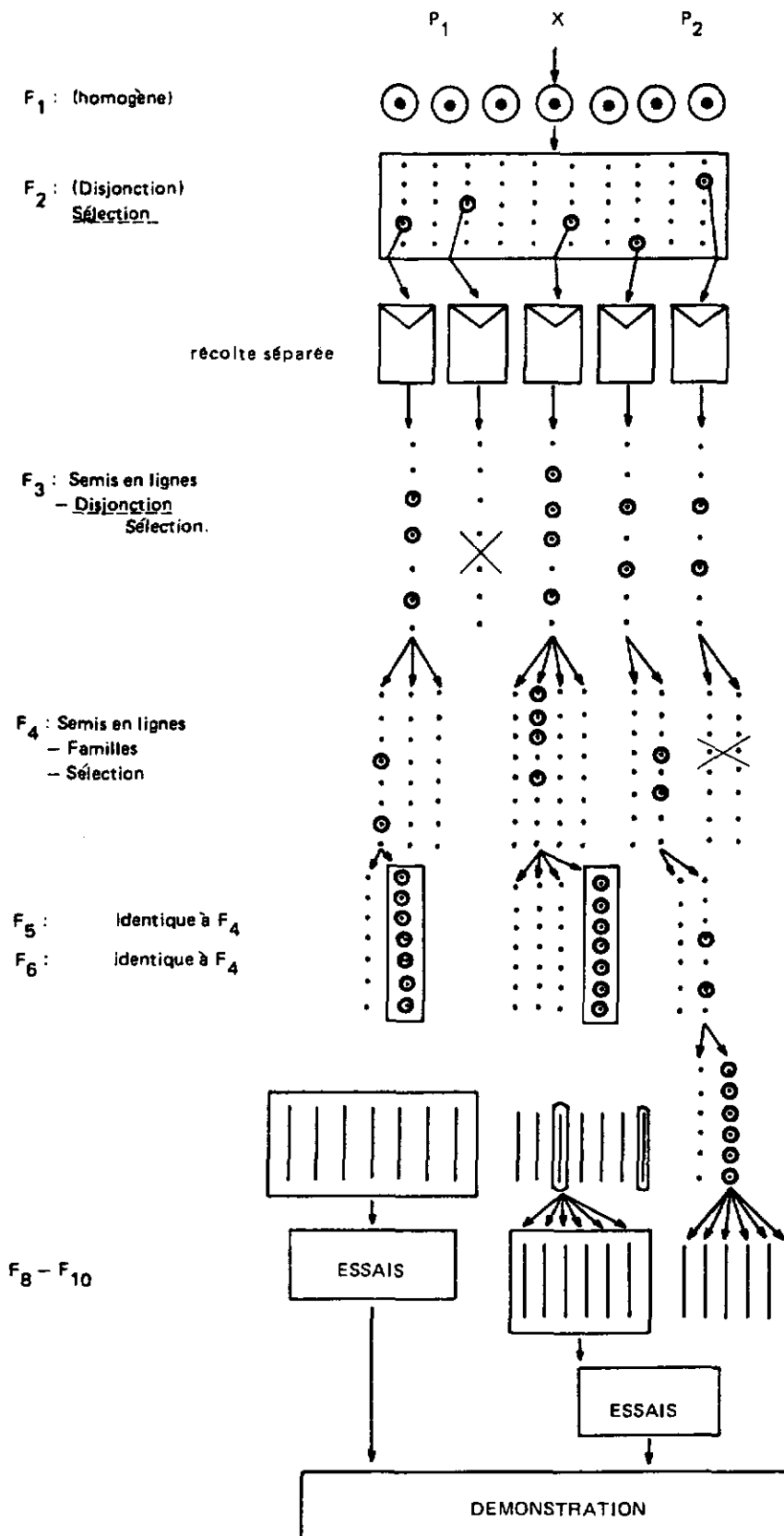


Figure 2. Schéma de la sélection Pedigree.

La F_2 est généralement bien conduite avec les entretiens nécessaires (fertilisation, arrosage ... etc). Afin de produire une pression de sélection pour la résistance aux maladies, on provoque les infections artificiellement.

A la F_3 les lignes sont encore en disjonction. Les meilleures plantes sont traitées comme en F_2 (récolte séparée et semis à la F_4 en lignes séparées).

A la F_4 on prend soin de grouper les lignes en familles issues chacune d'une même plante F_2 .

A la F_4 et à la F_5 on répète la même sélection lorsqu'on est en présence de ségrégation.

Au fur et à mesure qu'on avance il se produit qu'une ligne de plantes soit homogène. Cette ligne est alors retenue ou rejetée en bloc. Au cas où elle est retenue, les plantes sont récoltées séparément et semées en lignes séparées mais obligatoirement groupées en familles.

Pour les familles, trois cas d'espèces peuvent se présenter:

- a) Si la famille ne présente plus de disjonction entre les lignes, et à l'intérieur des lignes on admet que la plante-mère soit homozygote et sa descendance sera considérée comme une lignée pure. Cette lignée pure est récoltée en masse et comparée avec les autres lignées disponibles et des variétés témoins de grande culture.
- b) Si au semis de la famille il y a des disjonctions entre les lignes on choisit les lignes intéressantes et on les sème en famille dans la génération suivante.
- c) Si l'hétérogénéité persiste entre les lignes et à l'intérieur des lignes on continue la sélection.

Les avantages de cette méthode sont:

- L'évaluation des sélections pendant plusieurs années.
- L'élimination rapide en premières générations du matériel indésirable.
- Les lignées nouvelles ont un pedigree bien connu et peuvent être utilisées pour des études génétiques.

Les inconvénients de la méthode de sélection pedigree sont:

- On a besoin de beaucoup de temps, d'espace et de moyens pour évaluer chaque plante, la récolter et la semer séparément.
 - La probabilité de sélection de plantes hétérozygotes qui seront plus vigoureuses à cause de l'hétérosis est un inconvénient majeur, car l'hétérosis tend à disparaître avec l'augmentation des loci homozygotes.
 - Généralement, on sème les populations F_2 espacées. Cela peut être un inconvénient pour certaines espèces (lentille) plastiques dont les performances en semis espacé sont différentes de celles en semis commercial.
2. La méthode des populations hybrides appelée encore "Bulk method"

Dans cette méthode, on sème une grande population F_2 (plusieurs milliers de plantes) et à maturité, on n'effectue pas de sélection, mais on récolte toute la F_2 en masse. Un échantillon représentatif de cette population en masse est semé pour produire la génération suivante. Cette procédure est répétée pendant plusieurs générations jusqu'à l'obtention d'une proportion élevée de génotypes homozygotes. A ce moment là, on intervient pour sélectionner des plantes individuelles (comme en F_2 de la méthode pedigree) qu'on récolte séparément et qu'on sème séparément au cours de la génération suivante. Généralement les lignes issues de ces sélections sont homogènes, vu le niveau élevé d'homozygotie. Les lignes retenues seront récoltées plante par plante et semées en lignes séparées mais groupées en famille.

Toute famille présentant une homogénéité inter- et intra-ligne sera considérée comme une lignée pure et sera évaluée l'année suivante en essais de rendement (Fig.3).

Les avantages de cette méthode résident dans sa simplicité et son coût réduit. Elle présente également l'avantage de permettre à la sélection naturelle d'agir, ce qui donne lieu à des nouvelles lignées adaptées au milieu sous lequel la multiplication des populations hybrides a été effectuée.

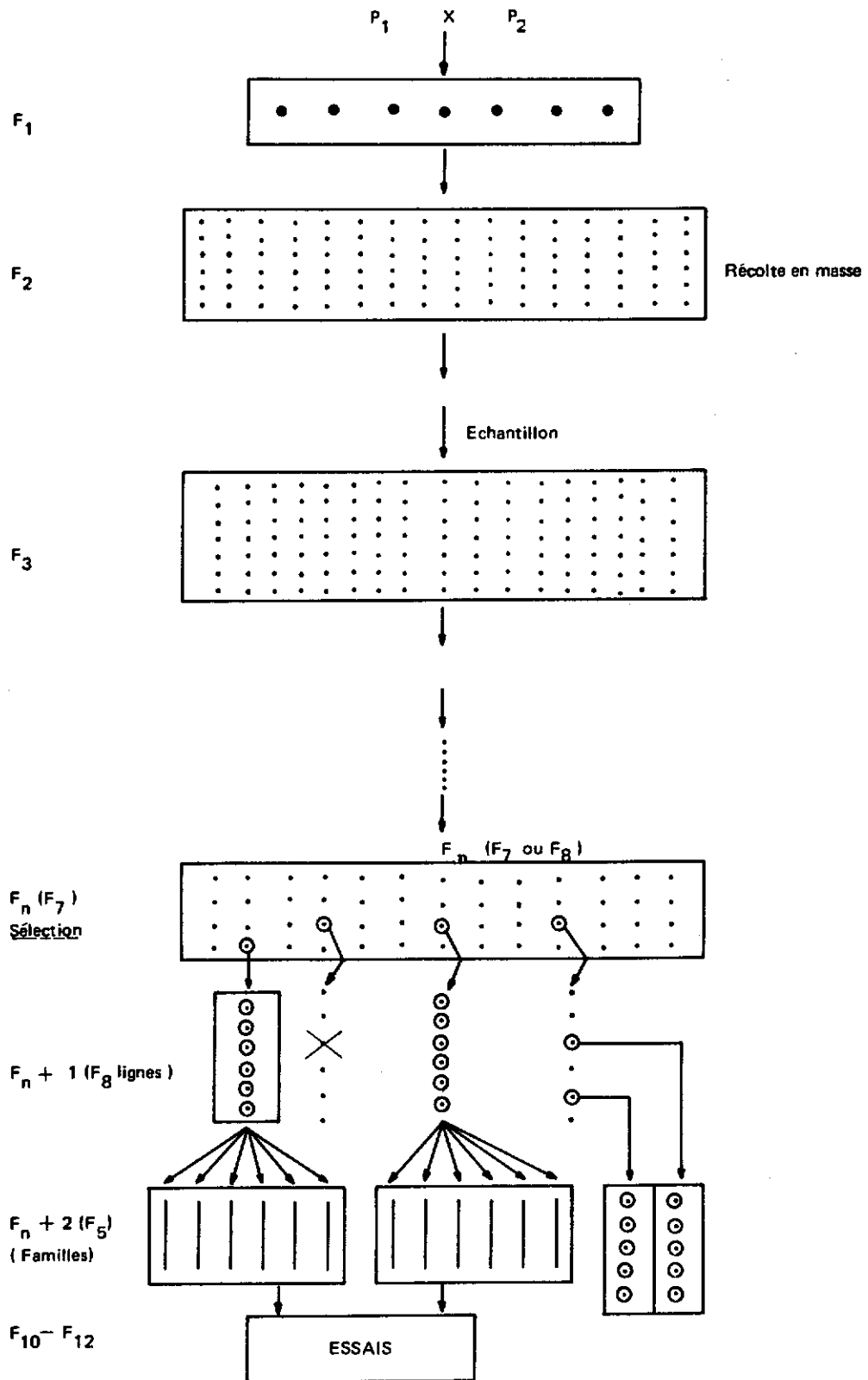


Figure 3. Schéma de la "Bulk Method"

L'inconvénient majeur de cette méthode réside dans la possibilité de faire des changements génétiques "genetic shift" au niveau des populations qui peuvent résulter d'un mauvais échantillonnage. Pour éviter cet inconvénient, des modifications ont été apportées à cette méthode grâce aux nouvelles techniques du "modified bulk" et du "single seed descent". En outre, la méthode du "bulk" ne produit pas de lignées à pédigree connu pour les études génétiques.

3. La méthode du "single seed descent"

Elle peut être traduite comme la méthode de la descendance monograine. Au lieu de multiplier toutes les graines des plantes de la population, on utilise une seule graine pour chaque plante pour obtenir la génération suivante. Cette méthode commence en F_2 et continue jusqu'à F_5 ou F_6 quand l'homozygotie des génotypes est essentiellement atteinte. A la F_6 , plusieurs lignées pures peuvent être issues des plantes de la population et seront comparées en essais avec les lignées de grande culture.

L'avantage essentiel de cette méthode c'est le maintien de toute la variabilité de la F_2 jusqu'à la F_6 sans avoir recours à l'échantillonnage. Elle permet d'obtenir un nombre plus important de lignées nouvelles que la méthode pedigree ou celle du bulk. En outre, elle n'est pas affectée par le milieu de culture et elle peut être accélérée par l'utilisation des serres et des chambres de culture.

Cette méthode est moins coûteuse et nécessite moins de travail que les autres techniques, surtout pour les légumineuses où il suffit de récolter une seule gousse pour n'en prélever qu'une seule graine; en effet, elle est très utilisée pour l'amélioration de la lentille et du pois chiche.

L'inconvénient majeur de cette technique réside dans la perte de plantes à la suite de mauvaise germination ou des accidents de végétation. Afin d'y remédier, certains chercheurs proposent la récolte de 2 graines par plante.

4. La méthode du "back-cross"

Cette méthode est utilisée pour transférer des caractéristiques à contrôle génétique simple et à héritabilité élevée. Ce transfert allant d'une variété donatrice (source) à une variété bien connue pour son aptitude agronomique et son adaptation. Elle est généralement utilisée pour le transfert de gènes majeurs de résistance aux maladies et de caractères qualitatifs tels que la grosseur de la graine.

Elle consiste en un premier croisement entre la variété donatrice et la variété adaptée suivi de back-cross successifs à la variété adaptée, d'où le nom de "variété récurrente". La sélection de plantes qui se rapprochent de la variété récurrente et qui possèdent la caractéristique en question se fait après chaque croisement.

Par exemple, en Tunisie on peut améliorer la variété locale de pois chiche pour la résistance à l'antracnose en la croisant avec une des lignées qui possèdent des gènes majeurs dominants de résistance à cette maladie telles que la ILC 72 ou la ILC 191 (Haddad 1985). Après le premier croisement, la F_1 est recroisée avec la variété locale pendant 5 à 6 générations. Cela permet l'obtention d'une variété locale bien adaptée qui possède le gène de résistance en question.

L'avantage de cette méthode se révèle par sa simplicité ainsi que par la possibilité de prédiction des résultats. Elle produit aussi une variété acceptée par les agriculteurs sans effort de vulgarisation.

L'inconvénient du back-cross est le maintien du rendement potentiel de la variété améliorée sans progrès directs.

AUTRES METHODES D'AMELIORATION DES ESPECES AUTOGAMES

Plusieurs autres méthodes basées sur la création d'une nouvelle variabilité génétique par mutagenèse, par polyploidie ou par hybridation interspécifique ont été essayées sur les légumineuses à graines.

La mutagenèse est induite par des traitements radioactifs ou chimiques. On produit généralement des mutations récessives et le criblage des mutants se fera par la suite.

La polyploidie est induite par la colchicine et les polyploïdes sont sélectionnés pour la vigueur, la grosseur des graines et le rendement plus élevé.

Quant aux croisements interspécifiques, ils sont plus difficiles et doivent être assistés par la culture des embryons, mais peuvent avoir un avenir dans l'introgression (le transfert d'une espèce à une autre) de quelques caractères désirables.

Références

- Allard, R.W. 1960. Principles of Plant Breeding. John Wiley and Sons, New York, USA. 485 pp.
- Haddad, A. 1985. Variabilité de l'*Ascochyta rabiei* (Pass.). Lab. en Tunisie et hérédité de la résistance à la maladie chez quelques variétés de pois chiche. Mémoire de fin d'études de 3ème cycle. INAT, Tunisie.
- Halila, H. 1985. Rapport d'activités du laboratoire des légumineuses à graines. INRAT, Ariana, Tunisie.
- Poehlman, J.H. 1978. Breeding field crops. AVI Publishing Co. Westport, USA. 483 pp.
- Webb, C. and G. Hawtin. 1981. Lentils. Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough, U.K. 216 pp.

Amélioration des légumineuses: Plantes allogames

H. Ben Salah
Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie
Tunis, Tunisie

A travers l'histoire, la fève a subi deux types de sélections par la nature et par l'homme sous des environnements différents de culture. Cela a donné lieu à une gamme de populations génétiquement variables. Malgré la longue histoire de culture, la fève a gardé certains vestiges de son ancêtre. Ce fait pourrait être assimilé à une incomplète domestication de cette espèce. En outre, la fève fait exception aux autres légumineuses (autogames) par un taux variable d'allogamie. En Europe par exemple, le taux de croisement entre les plantes se situe entre 5 et 80%. Kambal (1969) avait rapporté un taux de croisement de 35% dans la fève cultivée à Khartoum, Soudan. Par contre, El-Sherbeeney (1970) avait rapporté un taux de 55 à 71% à Gaza en Egypte.

L'amélioration des fèves a comme but principal de créer de nouvelles variétés avec un rendement élevé et stable. Ces variétés doivent avoir une certaine résistance aux maladies (botrytis, alternaria, anthracnose etc...) et aux ravageurs (bruche, sitone etc...).

LES METHODES DE SELECTION

La sélection massale

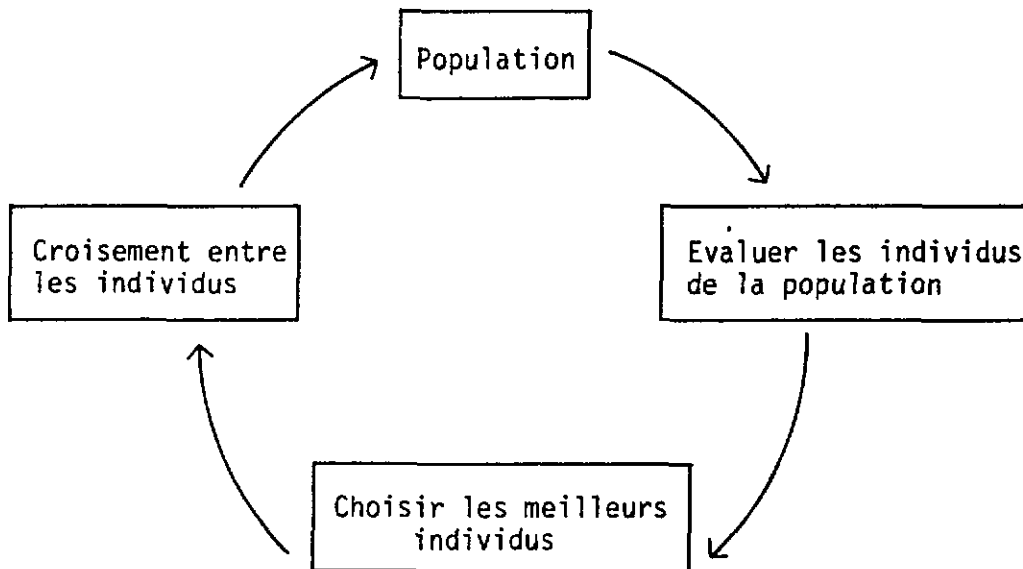
La sélection massale est la méthode la plus ancienne qui consiste à choisir dans une population locale ou en ségrégation (provenant de plusieurs croisements) les meilleurs individus et les mélanger pour former une nouvelle population. Dans le cas de la fève, on a montré qu'un peu de progrès était réalisé au niveau du rendement par la sélection massale. Par contre, la sélection massale avait une valeur importante pour améliorer les caractères qui ont une grande héritabilité, spécialement pour ceux qui ont une grande corrélation avec le rendement.

Les avantages de cette méthode sont qu'elle est rapide et peu coûteuse, et elle cause peu de changement dans la population de départ.

Les inconvénients de cette méthode sont qu'elle ne peut être utilisée que pour les caractères qui ont une très grande héritabilité, et aussi par le fait que la sélection ne pourrait se faire que dans les conditions où les caractères se manifestent.

La sélection récurrente

Cette sélection s'est montrée très importante dans l'amélioration de plusieurs espèces allogames (maïs). La procédure envisagée pourrait être assimilée à un cercle d'amélioration.



Le cycle de la sélection récurrente est complété chaque fois qu'une nouvelle population est formée. La population de base à partir de laquelle s'était développée une nouvelle population est appelée cycle 1, la population formée à la fin du deuxième cycle de sélection est appelée cycle 2 etc...

Le but de la sélection récurrente est l'amélioration d'une population pour un ou plusieurs caractères (exemple: teneur des graines en huile) (Fig.1). La population améliorée pourrait être utilisée pour la création des variétés hybrides, variétés clonales, ou comme parents pour les variétés synthétiques. Le succès de la sélection récurrente réside dans le fait que la population améliorée est meilleure que la population d'origine et qu'elle-même pourrait être encore améliorée. Ainsi la sélection récurrente pourrait produire de nouvelles variétés pour la multiplication ou pour la production d'une nouvelle variété à travers un autre cycle de sélection.

Un système de la sélection récurrente utilisant les abeilles sous cage à l'ICARDA (Nassib et al. 1979), et Nassib 1981 ont utilisé un système parallèle en Égypte pour l'amélioration de la fève.

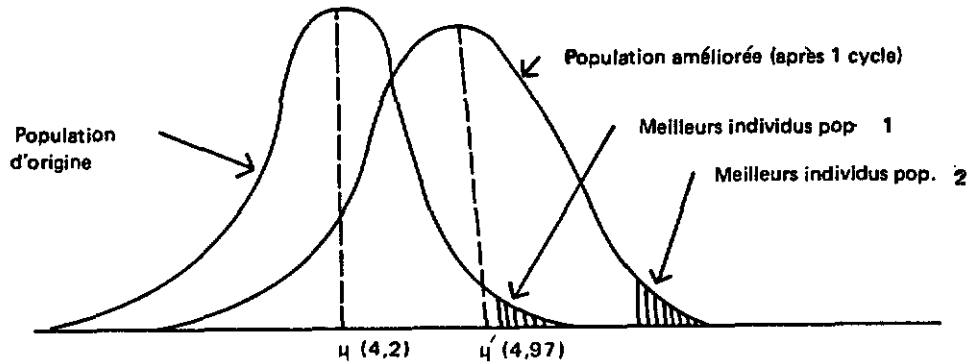
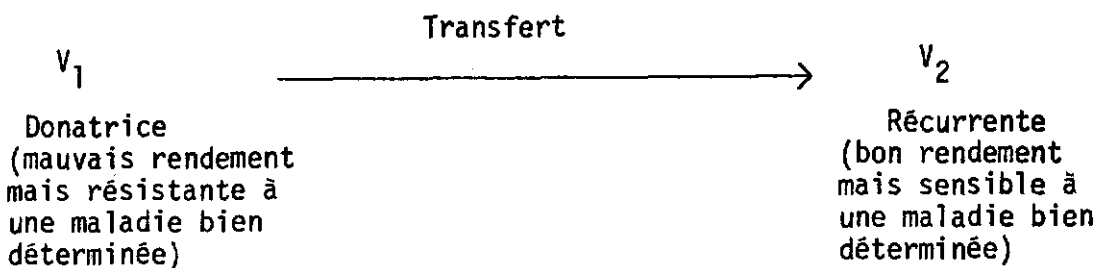


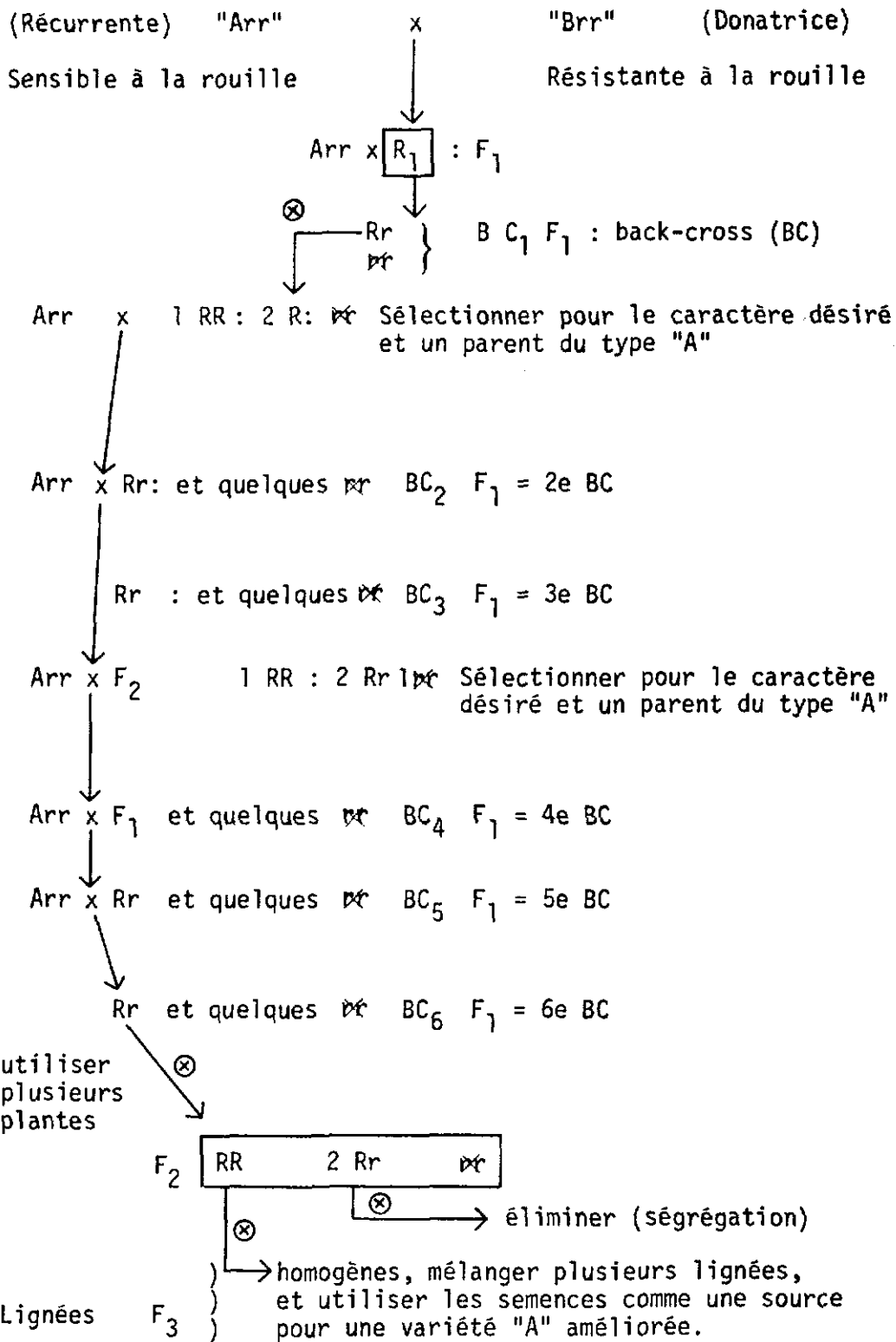
Figure 1. Un exemple simplifié utilisant la sélection récurrente pour améliorer la teneur en huile du maïs (D'après Sprau et al. 1952).

Méthode d'amélioration par back cross

On se propose de transférer certaines caractéristiques d'une variété (donatrice) à une autre variété (récurrente). Cette méthode ne permet de transférer que des caractères du type qualitatif.



Transfert d'un caractère dominant



Hybridation

Pour réussir une hybridation entre deux parents, les plantes doivent être semées dans un milieu isolé afin d'empêcher les insectes de transporter du pollen d'une plante à une autre. En outre, les deux parents (mâle et femelle) doivent fleurir en même temps. Pour cela, il faut éviter de semer deux plantes de maturité (floraison) différente à la même date.

In-breeding

Choisir des plantes, les cultiver dans un milieu isolé à l'abri des insectes, les graines obtenues sous ces conditions sont produites dans des conditions d'inbreeding. L'inbreeding dans les fèves se traduit par une diminution de la vigueur. En effet, Monti et Fruscrate (1981) ont montré une diminution du rendement de la fève cultivée sous des conditions d'isolation (à l'abri des insectes pollinisateurs) (Fig.2).

Les causes de diminution du rendement dans des conditions de culture isolée sont:

- Le manque d'insectes pollinisateurs se traduit par un manque de pollinisation des fleurs, et par conséquent, les fleurs non-fécondées tombent.
- Une diminution directe du rendement dans les générations qui suivent par suite d'autofécondation.
- Par suite d'autofécondation, même la fertilité des plantes autofertiles diminue.

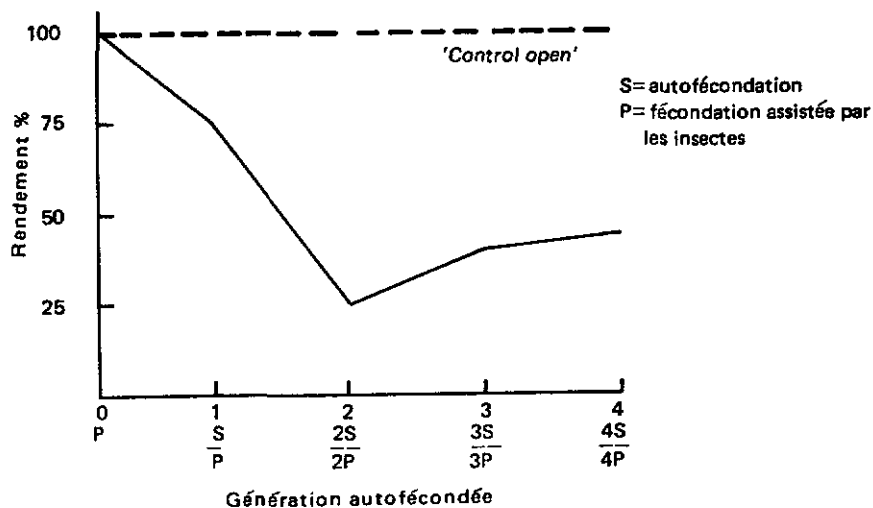


Figure 2. Diminution du rendement de la fève cultivée sous des conditions d'isolation.

Les variétés hybrides

On appelle variété hybride une population F_1 obtenue à partir de croisement de deux lignées pures et utilisées à l'échelle commerciale. Une telle population pourrait être obtenue par des croisements entre des clones, des variétés allogames, des lignées pures ou des populations qui sont génétiquement différentes. Quand les variétés hybrides sont possibles, ceci se traduit par l'effet positif de l'hétérosis.

Dans le cas de la fève, la stérilité mâle est une condition nécessaire pour produire des variétés hybrides. Deux types de la stérilité mâle ont été rapportés par Bond et al. (1964 a, b).

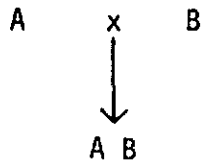
- a) Stérilité mâle contrôlée par le noyau seulement (stérilité mâle génétique).
- b) Stérilité mâle contrôlée par l'interaction du noyau et du cytoplasme (stérilité mâle g nocytoplasmique, généralement stérilité mâle cytoplasmique : CMS).

Cette stérilité mâle était utilisée à l'échelle expérimentale pour montrer la vigueur des hybrides dans la fève. La production des semences hybrides reste encore difficile à l'état actuel parce que l'utilisation de la stérilité mâle n'est pas bien maîtrisée. La difficulté principale est de faire retourner la stérilité mâle à une fertilité normale. De ce fait, il est difficile de produire commercialement des lignées de stérilité mâle, i.e. avec un pourcentage élevé de plantes et avec stérilité mâle afin de faire valoir la vigueur de l'hybride.

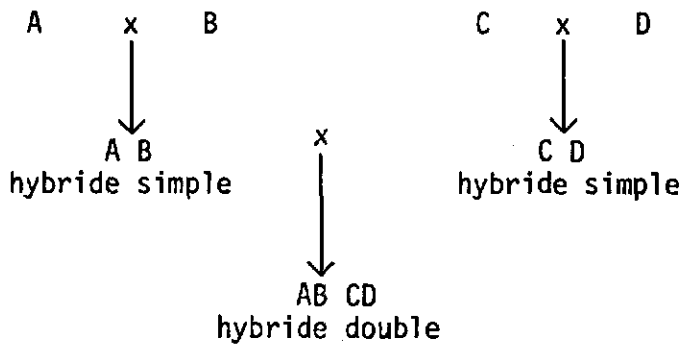
Dans le cas du maïs, la production des variétés hybrides se fait comme suit:

- 1 re étape: Choisir les plantes ayant des caractères désirables: longueur de l' pi, nombre d' pi par plante etc...
- 2 me étape: Laisser les plantes s'autoféconder pendant plusieurs générations afin d'obtenir des lignées homozygotes.
- 3 me étape: Faire un croisement entre les lignées choisies.

hybride simple



hybride double



Les variétés synthétiques

Une variété synthétique est un mélange de semences de plusieurs lignées pures ayant une bonne aptitude générale à la combinaison. Le but des variétés synthétiques est d'augmenter la fréquence des gènes désirables dans une population et leur combinaison en évitant la dépression génétique.

Dans le cas de la fève, une autre définition doit s'appliquer parce que (a) tous les croisements qui ne sont pas réalisés sont pollinisés par les insectes pollinisateurs (des autofécondations se font et ceci est inévitable); et (b) que les parents ne sont pas ultérieurement testés pour leur aptitude à la combinaison.

Le rendement des variétés synthétiques est plus faible que le rendement des F_1 hybrides en utilisant les mêmes parents. Dans le cas des synthétiques, le nombre de croisement est limité (à cause de l'autofécondation). Dans le cas de la fève, les variétés synthétiques constituent une alternative importante dans l'amélioration du rendement.

Références

- Bond, D.A., I.M. Drayner, I.L. Fyfe and C. Toynba-Clarke. 1964. A male sterile bean (*V. faba* L.) inherited as a Mendelian recessive character. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 63:229-239.
- Bond, D.A., I.M. Drayer, I.L. Fyfe and C. Toynba-Clarke. 1964. Yield trials of F₁ hybrid winter beans produced with the aid of male sterility. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 63:235-243.
- El-Sherbeeney, M.H. 1970. Studies on pollination, fertilization and pod-setting in the field bean and their bearing on breeding the crop. M.Sc. thesis. University of Cairo, Egypt.
- Kambal, A.E. 1969. Flower drop and fruit set in field beans (*Vicia faba* L.). *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 72:131-138.
- Monti, L.M. and L. Frusciante. 1981. Pollination studies on faba beans. Pages 33-39 in *Faba Bean Improvement* (Hawtin G. and C. Webb, eds.). *Proceedings of the Faba Bean Conference, Mar 7-11, 1981, Cairo, Egypt. Martinus Nijhoff. The Hague. 398 pp.*
- Nassib, A.M., A.A. Ibrahim and S.A. Khalil. 1979. Methods of population improvement in broad bean breeding in Egypt. Pages 176-178 in *Food Legume Improvement and Development* (Hawtin, G. and G.J. Chancellor, eds.). *Proceedings of a workshop at the University of Aleppo, 2-7 May 1978, Aleppo, Syria. International Development Research Center, Ottawa, Canada. 216 pp.*
- Nassib, A.M. and S.A. Khalil. 1981. Population improvement in faba bean. Pages 71-74 in *Faba Bean Improvement* (Hawtin, G. and C. Webb). *Proceedings of the Faba Bean Conference, Mar 7-11, 1981, Cairo, Egypt. Martinus Nijhoff. The Hague. 398 pp.*
- Spraue, G.P., P.A. Miller and B. Brimhall. 1952. Additional studies on the effectiveness of two systems of selection for oil content of the corn kernel. *Agronomy Journal* 44:329-331.

Conduite de la Culture du Pois et de la Féverole

Brahim Elhaj
Laboratoire d'Agronomie
Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie
Ariana, Tunisie

La féverole (Vicia faba minor) et le pois protéagineux (Pisum sativum) figurent parmi les espèces capables de subvenir à une partie des besoins en énergie et en matières azotées pour les rations alimentaires des animaux.

En Tunisie, les surfaces cultivées en féverole sont de l'ordre de 60 000 ha dont 90% de la production sont destinés à l'alimentation animale. Les emblavures de pois sont nettement moins importantes: 7 000 ha pour toutes les catégories de pois cultivés (pois protéagineux, pois fourrager, pois potager, etc...). Bien que traditionnellement cultivées en Tunisie, ces deux espèces, comme d'autres légumineuses à graines d'ailleurs (fève, pois chiche, lentille, haricot) n'ont été introduites que récemment dans les programmes d'amélioration nationaux. Les travaux qui sont en cours visent bien entendu l'augmentation du rendement potentiel de la culture et l'amélioration de sa régularité. Deux voies de recherche sont appliquées dans ces objectifs:

- Sélection de types variétaux privilégiés par certaines caractéristiques telles que la productivité, la stabilité du rendement, la qualité et la résistance aux maladies.

- Etude de la réponse de l'espèce à la diversité des conditions édaphiques, climatiques et biologiques et établissement de références techniques permettant d'optimiser les rendements tout en minimisant le coût de la production.

Nous nous placerons au niveau du second volet de recherche dans une perspective d'une meilleure maîtrise de la culture tout en signalant que les travaux agronomiques dans ce domaine ne sont pas suffisamment avancés et que la plupart des problèmes liés aux techniques culturales restent à résoudre.

Nous tenterons dans cette note de définir, sur la base des connaissances acquises, un "itinéraire technique" pour ces deux cultures tout en précisant, à chaque étape, les exigences particulières de chaque espèce.

CARACTERISTIQUES AGRONOMIQUES

Comme toutes les légumineuses alimentaires, le pois et la féverole ont la particularité de s'approvisionner en azote (60 à 80% de leurs besoins) en fixant le N atmosphérique au niveau des racines (nodosités) par l'intermédiaire d'une bactérie, le Rhizobium leguminosarum. Cette fixation symbiotique peut toutefois cesser ou être ralentie si les conditions environnantes lui sont défavorables: absence d'inoculum, niveau élevé du N minéral, sécheresse, etc... Signalons également que la présence de certains parasites de sol peut également entraver la nodulation¹.

Bien qu'elles aient des fleurs constituées selon le même schéma, ces deux espèces diffèrent par leur mode de reproduction. Strictement autogame chez le pois, il est largement intermédiaire entre autogamie et allogamie chez la féverole. Le taux de fécondation croisée peut varier pour cette espèce de 10 à 80% selon l'année, le lieu et l'abondance des pollinisateurs (abeilles et bourdons). Au fait, la présence de pollinisateurs naturels sur la féverole rend difficile la lutte contre les ravageurs de cette espèce.

Chez les légumineuses, le nombre de gousses arrivant à maturité est de loin inférieur au nombre de fleurs formées: 10 à 15% chez la féverole, et 45 à 50% chez le pois.

La féverole et le pois, à un moindre degré, sont sensibles aux régimes hydriques. Une déficience en eau surtout pendant la phase floraison - formation des gousses et des graines peut entraîner des chutes de rendement appréciables.

Par ailleurs, la formation du rendement apparaît comme la résultante d'ajustements successifs liés principalement à l'architecture de la plante (nombre de ramifications, hauteur d'insertion des gousses, nombre de gousses, etc...) d'où l'importance du choix des techniques culturales telles que la date de semis qui influe sur la taille des plantes et la densité de peuplement qui influe sur la structure de la plante.

-
1. Au cours de la première décade d'avril 1986, nous avons noté dans des champs de fève et de féverole (Mateur, Béja et Bou Salem), la présence de larves de sitone (Sitona sp.) dévorant les nodosités.

PLACE DANS LA ROTATION

Les légumineuses peuvent constituer des têtes d'assolement avantageux particulièrement dans un système céréalier. En plus de leur capacité d'améliorer la structure du sol permettant une meilleure implantation de la culture suivante, elles laissent derrière elles des reliquats d'azote élevés dont la majeure partie se situe à plus de 60 cm de profondeur. Elles ont également un rôle privilégié en tant que précédents du blé permettant, à objectif de rendement égal, une diminution notable des frais de production. Il est déconseillé de les semer après une légumineuse afin d'éviter les risques d'excès d'azote et le développement de certains parasites.

De nombreux travaux montrent que le retour fréquent d'une légumineuse sur une même sole tend à favoriser les populations d'adventices (les désherbants sélectifs tendent à épargner les espèces de la même famille) et le développement d'orobanche (féverole), d'anthracnose, de mildiou, etc... Pour ces raisons, il est recommandé d'observer un délai minimum de 4 à 5 ans entre deux cultures de pois ou de féverole.

FERTILISATION MINERALE

Azote

Les protéagineux mobilisent des quantités importantes d'azote qui varient selon l'espèce et les conditions de culture:

- Féverole: 200 à 300 unités N/ha (dont 80% par le grain)
- Pois : 150 à 250 unités N/ha (dont 70% par le grain)

La couverture de ces besoins par la fixation symbiotique (60 à 80%) et les réserves du sol fait que la culture ne nécessite aucun apport complémentaire d'azote. Les résidus de récolte peuvent restituer au sol 20 à 30 unités d'azote sous une forme rapidement minéralisable.

Fumure phospho-potassique

Les protéagineux ont des besoins élevés en phosphore et surtout en potassium, mais une large part des quantités mobilisées est restituée au sol dans les résidus de récolte sous une forme facilement soluble (Tableau 1).

La stratégie de fumure phospho-potassique devra s'appuyer à la fois sur:

1. Le niveau initial des réserves du sol contrôlé au moyen d'analyses de terre.
2. La couverture des besoins de la plante selon le rendement escompté (les quantités à apporter doivent au moins être équivalentes aux exportations par le grain).
3. La position particulière des protéagineux dans la rotation. Sachant qu'ils précèdent généralement une céréale, des apports phospho-potassiques relativement importants sur ces cultures consistent un investissement à long terme pour la rotation.

Tableau 1. Quantités de phosphore et de potassium mobilisées et besoins pour la féverole et le pois protéagineux (d'après diverses publications).

	P_2O_5 (unités/ha)		K_2O (unités/ha)	
	Féverole	Pois	Féverole	Pois
Quantités absorbées par les parties aériennes	70-110	50-70	170-270	150-220
Quantités exportées par le grain	50-90	40-50	60-80	40-60
Apports	45-90	45-90	50-100	50-100

MISE EN PLACE

Le succès d'une culture dépend en grande partie de son implantation. Il faudra donc y consacrer le maximum de soins, car en cas d'erreurs de mise en place, on ne disposera pas de beaucoup de moyens pour y remédier.

Préparation du sol

Comme toutes les espèces cultivées, les protéagineux exigent un sol profond, aéré et présentant un profil avec le minimum d'obstacles en surface (croûtes de battance, grosses mottes) et en profondeur (zones compactées, pierres, etc...) pour la croissance de la jeune plantule et le développement ultérieur du système racinaire. Le profil cultural souhaitable est présenté dans la figure 1.

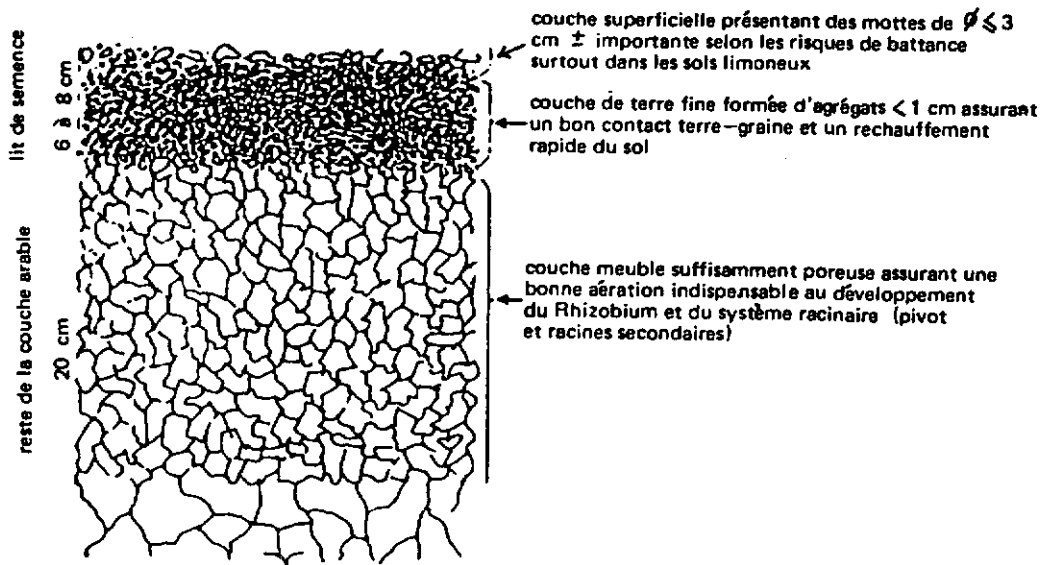


Figure 1. Etat souhaitable du profil cultural pour l'implantation de la féverole et du pois protéagineux.

On ne peut pas proposer une recette universelle pour la préparation des terres à légumineuses. Les techniques à adopter doivent toujours être raisonnées en fonction du comportement des sols vis-à-vis des agents climatiques (battance, réchauffement, etc...), des possibilités offertes par le matériel de l'exploitation et des journées de travail disponibles. Le tableau 2 décrit les opérations qui peuvent être retenues.

Tableau 2. Techniques de préparation du sol pour l'implantation de la féverole et du pois protéagineux.

Outils et époque de réalisation	Déchaumage	Labour	Façons superficielles
	Sitôt l'enlèvement de la culture précédente . Chisel si débris abondants . Pulvérisateur lourd ou cover-crop . Cultivateur rotatif.	Fin été à la faveur des premières pluies . Charrue à soc.	Dans la période précédant de peu les semailles . Outils à dents (cultivateur léger, herse, etc...) . Outils de tassement si nécessaire (croskill léger, rouleau spirale,...)
Objectifs	- incorporer superficiellement les résidus de récolte pour hâter leur décomposition - créer un mulch superficiel limitant l'évaporation et favorisant l'infiltration des pluies éventuelles. - provoquer la levée des graines de mauvaises herbes. - exposer au soleil et aux oiseaux bon nombre de larves nuisibles.	- ameublir le sol en lui donnant une structure grumeleuse. - exposer le sol aux alternances bénéfiques de dessiccation et d'humectation. - enfouir les résidus de récoltes, les engrais phospho-potassiques et les mauvaises herbes. - favoriser l'humidification profonde du sol par les pluies et éviter les phénomènes de ruissellement. - permettre un enracinement profond du pivot.	tout en complétant le travail du labour, elles sont destinées à : - homogénéiser la structure et la composition organo-minérale du profil. - obtenir un lit de semence fin et légèrement tassé.
Conditions de réalisation	doit être grossier car l'abondance de terre fine risque de gêner le labour surtout en terres battantes (taux d'argile <15 %). Dans ce dernier cas, il peut même être déconseillé de déchaumer afin d'éviter la dégradation de la structure du sol.	profondeur : 25 à 30 cm pratiquer un labour "jeté" (verso cylindrique et vitesse élevée) en sol léger ou faiblement argileux et un labour motteux en sol battant.	limiter la profondeur de travail à 5 ou 6 cm et limiter autant que possible le nombre de passages.

Semis

1. Traitement des semences

Le traitement des semences est une opération indispensable pour assurer une levée régulière et une bonne implantation de la culture. Il est pratiqué pour prévenir les fontes de semis. Ces maladies qui affectent les semences en germination et les jeunes plantules sont provoquées par des champignons de deux types: ceux qui sont portés par la semence comme l'antracnose (Ascochyta sp.), et ceux qui, présents dans le sol, peuvent provoquer des manques à la levée ou des disparitions de plantules surtout si les conditions de croissance sont défavorables. C'est le cas de certains Pythium sp., Fusarium sp. et Sclerotinia sp.

Il est à noter que ce complexe de parasites est parfois à l'origine du "pied noir" de la féverole qui provoque la disparition de plantules.

Les moyens de lutte chimique sont exposés au tableau 5.

2. Date de semis

En semis très précoces (début octobre), le pois et surtout la féverole peuvent être exposés à l'action dépressive du froid survenant en hiver sur une végétation assez avancée et à certaines maladies comme l'antracnose et le botrytis dont la forme non agressive peut exploser au printemps. Ces maladies sont favorisées par les températures douces de l'automne souvent accompagnées de conditions humides.

En revanche, des semis tardifs (fin décembre) diminuent le nombre de ramifications, abaissent les étages de nouaison et réduisent le nombre de gousses, ce qui se traduit, en général, par une baisse de rendement.

Les résultats du Laboratoire des Légumineuses Alimentaires de l'INRAT, tirés d'expérimentations effectuées dans la région de Béja (sub-humide) et d'El Kef (semi-aride) tendent à montrer que la période optimale de semis se situe entre le 20 octobre et le 15 novembre.

3. Ecartement des lignes

La féverole peut s'accommoder d'écartements pouvant atteindre 60 cm, ce facteur n'agissant pas d'une façon déterminante sur le rendement. Les essais montrent cependant que les écartements trop faibles peuvent engendrer une mauvaise aération de la végétation (développement de maladies et sénescence précoce des feuilles) et une forte

tendance à la vesce, alors que les grands écartements favorisent le développement des mauvaises herbes. On peut préconiser pour la féverole, selon le type de semoir, des écartements de 35 à 45 cm.

Pour le pois, les écartements doivent être plus réduits (18 à 20 cm) en raison de la fragilité de la tige et du taux de ramification élevé qui risquent de favoriser l'affaissement de la végétation et d'entraver la récolte.

4. Densités de semis

L'écartement des lignes étant fixé, le choix de la densité de semis (nombre de grains optimum à semer au m^2) est étroitement dépendant de l'objectif de peuplement (nombre de plantes viables au m^2) qu'on doit rechercher.

Il s'agit en fait d'obtenir la structure de peuplement (écartement entre les lignes et densité sur la ligne) qui répond le mieux aux objectifs suivants:

- Diminuer les effets de compétition entre individus afin d'assurer la meilleure exploitation des ressources du milieu tant pour l'activité photosynthétique (eau, lumière) que pour l'activité racinaire (eau, éléments minéraux).
- Prévoir les possibilités d'intervention ultérieures: protection sanitaire et récolte.

En réalité, la meilleure disposition théorique des plantes (vérifiée expérimentalement) est obtenue avec un semis hexagonal ou en quinconce: chaque grain est au centre de l'hexagone régulier formé par ses plus proches voisins. Toutefois, cette disposition n'est pas réalisable dans la pratique et l'écartement entre lignes est toujours supérieur à l'espacement sur la ligne.

Les doses de semis à utiliser doivent concilier entre le souci d'aboutir à l'objectif de peuplement fixé et le désir de réduire la quantité de semence à l'hectare. On considère qu'il faut obtenir à la levée, 25 à 35 plantes au m^2 pour la féverole et 70 à 80 plantes au m^2 pour le pois.

Compte tenu des pertes à la levée qui sont plus ou moins importantes selon la qualité du lot de semence (pouvoir germinatif) et les conditions d'implantation (état du sol, conditions climatiques, parasites, profondeur de semis, etc...), ces densités doivent être majorées comme suit:

Exemple

	<u>Féverole</u>	<u>Pois</u>
Densité souhaitée (plantes/m ²)	28	80
Faculté germinative (%)	85	85
Taux de perte à la levée (%)	10	10
Taux de majoration (%)	25	25
Densité de semis (grains/m ²)	35	100

Les quantités de semence à utiliser varient avec la densité de semis fixée et le poids de 1 000 grains (Tableau 3).

Tableau 3. Doses de semis (kg/ha) en fonction de la densité de semis (grains/m²) et du poids de 1000 grains (grammes).

Densité de semis (grains/m ²) \ Poids de 1000 grains (g)	100	200	300	400	500	600
<u>Féverole</u>						
30	30	60	90	120	150	180
35	35	70	105	140	175	210
40	40	80	120	160	200	240
45	45	90	135	180	225	270
<u>Pois</u>						
85	85	170	255	Les doses encadrées sont les plus courantes dans la pratique agricole.		
90	90	180	270			
95	95	190	285			
100	100	200	300			

$$\text{Dose de semis: } \frac{\text{Densité (grains/m}^2\text{)} \times \text{Poids de 1 000 grains (g)}}{100}$$

5. Réalisation du semis

Les semoirs à céréales peuvent convenir au semis du pois et de la féverole. Ils ont l'avantage de garantir des peuplements suffisamment élevés mais la répartition des grains est le plus souvent irrégulière. Pour ce type de semoir, il ne faut pas hésiter à tendre au maximum les ressorts de terrage. On peut également utiliser des semoirs de précision (semoirs à maïs) pour la féverole moyennant quelques modifications mais avec des écartements de l'ordre de 45 à 50 cm.

Un enfouissement régulier des graines et un semis profond (3 à 5 cm pour le pois et 6 à 8 cm pour la féverole) constituent une règle qu'il faut appliquer aux légumineuses à grosses graines, car elle assure une protection convenable contre les éventuels dégâts d'oiseaux et permet au système racinaire de se développer sous le film de l'herbicide de pré-levée.

L'utilisation d'appareils combinés (herse alternative + semoir) est souhaitable car elle permet de limiter le nombre de passages. Après le semis, on peut conseiller un roulage pour bien niveler le terrain, enfouir les cailloux et faciliter la récolte. Cette opération est toutefois à éviter en terrain humide et battant. Avant d'effectuer l'opération du semis, il est vivement conseillé de contrôler le débit du semoir comme indiqué au tableau 4.

Le contrôle du débit réel des éléments semeurs peut se faire de la façon suivante:

- semer quelques mètres sur une surface plane
- compter le nombre de grains tombés par mètre linéaire
- vérifier à l'aide de la formule ci-dessous si cette densité linéaire correspond à la densité de semis souhaitée.

$$\text{Nombre de grains par mètre linéaire} = \frac{\text{Densité de semis (en grains/m}^2\text{)} \times \text{Ecartement entre lignes (en cm)}}{100}$$

Tableau 4. Contrôle du débit du semoir

Densité de semis (grains/m ²)	Nombre de grains au mètre linéaire en fonction de l'écartement entre lignes de semis			
	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm
Féverole				
30	6	9	12	15
35	7	10-11	14	17-18
40	8	12	16	20
45	9	13-14	18	22-23
Pois				
85	17			
90	18			
95	19			
100	20			

DESHERBAGE

La féverole et le pois, à un moindre degré, sont des cultures lentes à s'installer. La couverture du sol par la végétation n'est totale qu'après une période assez longue qui peut durer 4 à 5 mois après le semis. Au cours de cette période, la culture est peu compétitive vis-à-vis des mauvaises herbes qui peuvent être la source d'une concurrence évidente provoquant des baisses de rendement pouvant atteindre 80 à 90% de la production escomptée.

En plus, la présence d'adventices dans une culture prête à la récolte peut gêner cette opération (bourrage des machines de récolte) et provoquer le salissement du produit récolté. En Tunisie, le salissement des terres, aggravé par les mauvaises pratiques culturales, nous impose de considérer la destruction des mauvaises herbes comme un des garants de la production.

En culture traditionnelle, les légumineuses à graines classées dans la catégorie des "plantes sarclées" reçoivent des binages mécaniques ou manuels. En dépit de leur avantage, ces façons culturales deviennent de plus en plus discutables: coût élevé, altération des racines par les outils de binage, interventions limitées ne pouvant pas toujours assurer la destruction des mauvaises herbes au moment où elles sont les plus compétitives.

Actuellement, grâce à la mise au point de désherbants et malgré les possibilités réduites d'intervention qu'ils offrent, la lutte chimique peut avoir un intérêt économique certain pour ces cultures. Il faut toutefois signaler que le désherbage chimique reste toujours une technique délicate imposant à son utilisateur le respect de nombreux critères agronomiques avant toute intervention.

Le choix du produit à appliquer et l'époque d'intervention doivent toujours être raisonnés selon le type de flore à éliminer, le stade de développement de la mauvaise herbe, la nature du sol (réduire les doses sur sol à pH élevé), l'état du sol (efficacité moindre sur sol sec, et motteux), l'implantation de la culture (l'application d'herbicide peut nuire à une végétation peu vigoureuse) et les conditions climatiques qui suivent le traitement.

Les désherbants actuellement utilisables sur protéagineux permettent trois interventions:

1. Pré-semis

Les traitements de pré-semis sont généralement destinés à prévenir l'envahissement des jeunes semis par les graminées adventices pendant une période de 6 à 8 semaines. Les produits de faible rémanence (triallate, trifluraline), doivent être réservés à des situations particulières pour lesquelles des levées importantes de graminées sont à craindre.

Les produits appliqués doivent être incorporés au sol sur une profondeur de 5 à 10 cm.

2. Pré-levée

Les traitements de pré-levée, conseillés pour les terres très infestées, ont l'avantage de fournir une gamme d'activité herbicide relativement large et d'être efficaces sur un grand nombre de graminées et de dicotylédones à l'exception de la folle-avoine et du gaillet qui peuvent être maîtrisés par un désherbage de post-levée.

La plupart des produits (ou associations) conseillés sont également utilisés sur les céréales: triallate (Avadex BW granulé), méthabenzthiazuron (Tribunil), terbutryne (Igrane), etc...

Il faut toutefois signaler que l'efficacité de ces traitements est très réduite en terrains secs et mal nivelés. En outre, ils peuvent présenter des risques de phytotoxicité si le semis est superficiel.

3. Post-levée

Les produits utilisables en post-levée permettent de compléter l'action des herbicides de pré-levée ou de servir comme solution de rattrapage.

Les spécialités, généralement spécifiques (anti-graminées ou anti-dicotylédones), sont très sensibles aux conditions climatiques et doivent être utilisées à des stades précis de la culture.

Désherbage anti-dicotylédones

La lutte contre les dicotylédones en post-levée reste aléatoire en raison du nombre limité de produits efficaces.

Dinosèbe ou D N B P: A utiliser au stade 6-8 cm du pois ou à partir du stade 2 feuilles vraies de la féverole lorsque les mauvaises herbes sont au stade plantule.

Bentazone (Basagran): Herbicide de contact efficace par températures élevées de l'ordre de 12°C et par forte luminosité.

Ces produits d'emploi difficile (10°C à 25°C) manquent de persistance d'action et nécessitent le plus souvent une intervention complémentaire.

Désherbage anti-graminées

- . Diclofop méthyl (Illoxan): Principalement actif sur folle-avoine et ray-grass. Cet herbicide doit être utilisé pendant le tallage des graminées adventices et au stade 3-4 feuilles du pois et de la féverole. Par ailleurs, il faut éviter de le mélanger avec un autre herbicide.
- . Carbétamide (Legurame PM): A appliquer au stade 3 feuilles vraies de la féverole ou au stade 8-10 cm du pois. Son action herbicide est généralement lente (3 à 8 semaines après le traitement).
- . Flamprop-isopropyl(Suffix): Ce produit est uniquement utilisable sur féverole pour lutter contre la folle-avoine.
- . Alloxydime Na (Fervin), fluazifop-butyl (Fusilade): Ces produits peuvent être utilisés sur pois et féverole quel que soit le stade de la culture.

PROTECTION PHYTOSANITAIRE

Les espèces protéagineuses sont constamment exposées aux attaques de plusieurs parasites et champignons pathogènes dont le développement va de pair avec l'intensification de la culture. L'action de ces parasites qui s'exerce du semis jusqu'à la fin de la végétation, est d'autant plus virulente que les conditions climatiques et culturales favorisant leur dissémination sont réunies.

Certaines maladies comme l'antracnose, le botrytis et dans une moindre mesure, le mildiou sont reconnues comme étant les plus importantes sur le plan économique. D'autres champignons apportés par les semences ou présents dans le sol peuvent également affecter la culture par la disparition ou l'affaiblissement des jeunes plantes (fontes de semis).

En ce qui concerne les ravageurs, (à part les oiseaux qui peuvent occasionnellement provoquer des dégâts importants), les ennemis les plus préoccupants sont: le sitone du pois, les pucerons, la tordeuse du pois et les bruches.

La protection sanitaire doit donc être l'une des préoccupations majeures de l'agriculteur qui dispose de deux moyens de protection:

- Une protection culturale qui consiste à adopter les techniques qui permettent à la plante d'être moins vulnérable aux préjudices du parasitisme.
- Une lutte chimique raisonnée dans laquelle l'intervention est basée sur une connaissance préalable des ennemis à combattre, une estimation économique des dégâts éventuels et le stade optimal de développement de la culture et de la maladie.

Les moyens de lutte contre les principaux ennemis du pois et de la féverole sont indiqués dans les tableaux 5 et 6.

RECOLTE

La récolte de la féverole et surtout celle du pois est sans aucun doute une opération toujours difficile à réaliser. Les pertes de grains à la récolte peuvent être considérables si certaines précautions ne sont pas envisagées dès l'installation même de la culture:

- Choix de la parcelle: Dans le cas particulier du pois, éviter les sols caillouteux qui gênent la récolte et les parcelles hétérogènes qui risquent d'induire un décalage de maturité entravant la récolte à la moissonneuse-batteuse.
- Etat du lit de semence: sol bien nivelé.
- Désherbage: la présence d'adventices peut provoquer des bourrages aux releveurs ou un encrassement des grilles si elles sont encore vertes au moment de la récolte.
- Protection phytosanitaire: lorsque les plantes sont indemnes de maladies, elles ont une meilleure "tenue" avant la récolte.
- Densité: une végétation épaisse est généralement favorable à la récolte mécanique mais la densité ne doit pas dépasser un seuil au delà duquel le rendement chute et le coût de semence augmente.
- Réglage des machines de récolte surtout pour le pois qui possède l'inconvénient de présenter une tige fragile et une végétation qui se plaque facilement au sol.

Choix de la date de récolte

La récolte de la féverole se fait à maturité complète lorsque les gousses et les tiges sont noires et desséchées. Bien que le risque d'égrenage est faible pour la féverole, il convient de récolter tôt le matin à la faveur d'une rosée pour réduire le taux d'égrenage et de grains cassés.

En ce qui concerne le pois, on sait que le grain est physiologiquement mûr (palier du poids de 1 000 grains) à partir d'une teneur en eau voisine de 35 à 40%. La dessiccation étant très rapide après ce stade (chute de 4 à 5 points par jour), on pourra récolter aisément à une humidité permettant une bonne conservation du grain (10 à 15%).

Modes de récolte

1. Andainage

Ce procédé très courant en Tunisie, consiste à faucher la culture avant dessiccation complète et la disposer en andains; le battage se fait ultérieurement lorsque le grain aura été jugé suffisamment sec. Cette méthode n'est pas sans risques car en cas de pluie, la végétation réhumidifiée s'échauffe et pourrit, rendant la reprise difficile.

2. Défoliage

Le défoliage consiste à traiter la végétation au diquat quelques jours avant la récolte pour dessécher les feuilles et faciliter le ramassage des gousses.

En dépit de son avantage dans certaines situations particulières (enherbement excessif de la parcelle, maturité hétérogène), cette méthode présente le risque de rendre la culture plus sensible aux intempéries.

3. Adaptation de la moissonneuse-batteuse

La récolte du pois et de la féverole peut se faire aisément à la moissonneuse-batteuse à condition de veiller aux réglages suivants:

Pois

- La barre de coupe doit être équipée de releveurs d'épis placés tous les 3 ou 4 doigts afin de réduire les pertes de grains et de gousses et le ramassage de terre et de cailloux.

- Les rabatteurs ne doivent pas arracher la végétation mais la pousser vers la vis d'alimentation. Ils doivent être utilisés pour dégager les doigts releveurs et la lame. Leur vitesse doit être légèrement plus rapide que la vitesse d'avancement.
- L'ouverture batteur - contre batteur doit être grande et adaptée aux grosses graines du pois: 15 à 20 mm à l'entrée (6 à 10 pour les céréales) et 5 à 10 mm à la sortie (4 à 5 pour les céréales) et la vitesse du batteur réduite (500 tours/mm environ).
- La ventilation doit être assez importante et les grilles de dimensions suffisamment grandes.
- Féverole
 - Ramener la vitesse du batteur à celle utilisée pour les céréales (environ 500 t/mn) et la réduire davantage si le grain est trop sec et la récolte faite en temps chaud.
 - Desserer le contre-batteur en fonction de la grosseur du grain et du taux d'humidité.
 - Utiliser des grilles à gros trous (trous ronds de 15 à 20 mm selon la grosseur du grain).
 - Régler la ventilation au maximum.

Pertes à la récolte

Les pertes à la récolte sont inévitables mais on peut en réduire l'importance par l'adoption d'une bonne conduite de la culture. Elles sont de deux ordres:

Pertes d'ordre qualitatif: grains endommagés par les outils de récolte lorsque ceux-ci ne sont pas convenablement réglés. Un taux de casse élevé est à éviter en production de semence.

Pertes d'ordre quantitatif: elles constituent l'écart entre le rendement potentiel de la culture à la récolte et la quantité réellement récoltée par la machine.

- pertes avant récolte: grains et gousses tombés au sol.
- pertes au niveau de la barre de coupe.
- pertes se retrouvant dans les andains.

Tableau 5. Lutte chimique contre les principales maladies du pois et de la féverole
(Source: Synthèse de diverses publications dont I.T.C.F)

Maladie	Symptômes	Conditions et sources de développement	Matières actives et concentration	Spécialités Commerciales	Dose de la spécialité	Epoque d'intervention
Pontes de semis <u>Ascochyta</u> sp. <u>Pythium</u> sp. <u>Fusarium</u> sp. <u>Botrytis</u> sp. <u>Sclerotinia</u> sp.	Manques à la levée ou disparition de plantules "Pied noir" de la féverole	- Conditions défavorables à la croissance des jeunes plantes. - Champignons présents dans le sol ou portés par les semences.	carbendazime (50 %)	Nombreuses	2 g/kg	Semences
			bénomyl (50 %)	Benlate	2 g/kg	
			méthylthiophanate (70%)	Pelt 44	1 g/kg	
			thirame (80 %)	Nombreuses	2 g/kg	
			captane (83 %)			
			manèbe (80 %)	Nombreuses	1,6 g/kg	
Anthracnose : <u>Ascochyta</u> <u>pinodes</u> <u>A. pisi</u> <u>A. pinodella</u> <u>A. fabae</u>	. Criblures brunes sur feuillage pouvant s'étendre aux tiges, fleurs et gousses (<u>A. pinodes</u>) . Taches brunes entièrement ou claires au centre avec ponctuations noires sur feuilles tiges et gousses (<u>A. pisi</u>) . Taches brun noir ("pied noir") à la base des tiges (<u>A. pinodella</u>). . Nécroses circulaires marron avec points noirs sur le feuillage (<u>A. fabae</u>).	- Hygrométrie élevée et températures situées entre 5 et 20° C. - Débris végétaux de récoltes précédentes ou inoculum apporté par les graines.	méthylthiophanate (25%) + manèbe (50 %)	Peltar	3 kg/ha	La période la plus sensible se situe au moment de la floraison car la maladie peut contaminer les fleurs et les gousses. Traiter dès l'apparition des premières fleurs - et réaliser une deuxième application à la fin floraison si les attaques redémarrent.
			carbendazime (100 g/l) + chlorothalonil (550 g/l)	Bravo plus	2 l/ha	
			carbendazime + manèbe ou mancozèbe	Bavistine M	Selon prescription du fabricant.	
Botrytis : <u>Botrytis</u> <u>cinerea</u> <u>B. fabae</u>	Taches rondes de couleur marron - chocolat sur le feuillage et parfois sur les gousses.	- Hygrométrie élevée et températures élevées voisines de 25° C. Le pollen favorise considérablement le Botrytis dont les attaques peuvent être parfois fulgurantes (destruction totale de la culture en quelques jours) - Débris végétaux à la surface du sol.		Peltar	3 kg/ha	Traiter à partir de la floraison en conditions chaudes et humides. ces produits sont conseillés essentiellement pour la féverole.
				Bavistine M	Selon indications du fabricant	
			iprodione (50 %)	Rovral	1,5 kg/ha	
			vinchlozoline (50 %)	Ronilan	1,5 kg/ha	
Mildiou : <u>Peronospora</u> <u>pisi</u> <u>P. viciae</u>	- Chlorose jaunâtre sur face supérieure des feuilles et feuillage gris blanc uniquement sur face inférieure. Déformation des gousses et nanisme des plantes.	- Hygrométrie élevée et températures basses (8-12°C) - Débris végétaux enfouis dans le sol et semences.	manèbe (80 %) ou mancozèbe (80 %)	Nombreuses	1500 à 2000 g. de m.a./ha	Levée jusqu'à début floraison.
			soufre (80 %)	Nombreuses	8000 g de m.a./ha	

Tableau 6. Lutte chimique contre les principaux ravageurs du pois et de la féverole
(Source: Synthèse de diverses publications dont I.T.C.P)

Ravageurs	Symptômes	Conditions et sources de développement	Matières actives et concentration	Spécialités Commerciales	Dose de la spécialité	Epoque d'application et observations
Sitone du pois <i>Sitona lineatus</i> Petit charançon grisâtre (4 à 5 mm)	Bord du limbe découpé en encoches semi-circulaires (adultes) Destruction des racines et nodosités (larves).	- Jeune plantule - L'incidence économique des attaques d'adultes est limitée mais les attaques larvaires peuvent être dangereuses.	phosalone (500 g/l) parathion deltaméthrine (25g/l)	Zolone Nombreuses Decis CE	1,75 l/ha 250 g/ha de m. a. 0,5 l/ha	Traitement rarement nécessaire sauf en cas de dégâts importants sur végétation peu vigoureuse Préférer le poudrage à la pulvérisation.
Puceron vert du pois <i>Acyrtosiphon pisum</i> Puceron vert clair (5 à 7mm) avec de longues antennes (3 mm)	- Feuilles intérieures, boutons floraux et tiges couvertes de colonies de pucerons. - Exuvies nombreuses sur le sol (restes de mues).	- En cours de végétation - Ponction de sève et production de miellat qui entrave les échanges gazeux. - Avortement de fleurs et de gousses. - Diminution du poids de 1000 grains. - Transmission de viroses.	pyrimicarbe (50 %) bromophos (250 g/l) phosalone (500 g/l) endosulfan (350 g/l)	Pirimor G. Nombreuses Zolone Thiodan 35 CE	0,75kg/ha 500 g/ha de m. a. 1,75 l/ha 1,75 l/ha	Pendant la floraison lorsque le seuil de nuisibilité est atteint (30 pucerons par plante). Ces produits sont reconnus non dangereux pour les abeilles.
Puceron noir de la Fève <i>Aphis fabae</i> puceron de 1,8 à 2,5 mm de long et de couleur noir mat à verdâtre.	- Colonies compactes de pucerons sur les tiges provoquant des crispations des feuilles très caractéristiques.	- La croissance de la plante est entravée. - Le miellat des pucerons provoque des brûlures sur les feuilles. - Avortement de fleurs et de gousses. - Transmission de viroses.	Les mêmes produits que ceux utilisés contre le puceron vert du pois.			Avant la floraison, le soir et quand (sur environ 200 plantes) 3 % sont porteuses de pucerons ailés (en fin de vol de colonisation). Une application en bordure du champ est suffisante.
Tordeuse du pois <i>Lasioevresia nigricana</i> Chenille jaunâtre à tête brune (15 à 18 mm) Papillon couleur brun-ocre	- Vol du papillon - Grains en maturation rouges	- Gousses vertes - Pertes de grains et dépréciation du produit récolté en vert.	phosalone (500 g/l) bromophos (250 g/l)	Zolone Nombreuses	1,75 l/ha 500 g/ha de m. a.	Début formation des gousses.
Bruche Pois : <i>Bruchus pisorum</i> (4-4,5 mm) Féverole : <i>B. rufimanus</i> (3,5-5 mm).	Espèce annuelle. les adultes qui se nourrissent de pollen et de pétales, pondent leurs œufs sur les gousses vertes. La larve pénètre dans le grain pour se nourrir. Au bout de 3 mois environ sa croissance est terminée. Elle découpe alors un opercule dans le grain et se nymphose.	- Jeunes gousses - La bruche n'étant pas un insecte des denrées stockées, ses dégâts sur le produit récolté sont limités mais les adultes de la nouvelle génération vont parasiter de nouvelles cultures l'année suivante.	deltaméthrine (25g/l) endosulfan (350 g/l)	Decis CE Thiodan 35 CE	0,5 l/ha 1,75 l/ha	Avant floraison. Pendant la floraison.
			La lutte chimique contre la Bruche reste aléatoire en raison de la biologie de l'insecte et de la présence de pollinisateurs nécessaires à la fructification des gousses pendant la période propice au traitement. On peut toutefois précociser le traitement des grains stockés par des insecticides appropriés.			

Fixation Biologique de l'Azote par les Légumineuses Alimentaires

A.B.K. Dahmane
Institut National Agronomique de Tunisie
Tunis, Tunisie

L'azote est l'un des éléments majeurs essentiels pour la croissance des végétaux. Il constitue 1 à 5% de la matière sèche des plantes alors que le phosphore ne constitue que 0,1 à 0,8% de la matière sèche d'origine végétale. L'azote entre dans la composition des protéines et des composés qui règlent et contrôlent l'activité métabolique chez les végétaux. Cependant, bien que les plantes vivent dans une atmosphère constituée de 79% d'azote moléculaire (N_2), leur croissance est grandement limitée presque universellement par la déficience des sols en azote sous une forme qu'elles peuvent directement utiliser. Heureusement, il existe dans le règne végétal un groupe d'espèces appelé "légumineuses" qui profitent de la richesse de l'atmosphère en azote pour satisfaire leur besoin azoté d'une manière particulière et spécifique. Il s'agit de la symbiose que les légumineuses peuvent développer en s'associant avec des rhizobiums spécifiques à chaque espèce de légumineuse ou parfois à plusieurs espèces.

DEFINITION DE LA SYMBIOSE

Symbiose veut dire vivre ensemble. De ce fait, elle caractérise un état d'association où chaque partenaire a besoin de l'autre pour vivre et persister dans un milieu donné.

L'avantage de l'association est exprimé en terme de nutrition. La légumineuse fournit des glucides (saccharose) aux rhizobiums (bactéroïdes) présents dans les nodules des racines, et en contrepartie le rhizobium transforme l'azote moléculaire de l'air en ammoniac (NH_3) directement utilisable par la plante.

CARACTERISTIQUES SYMBIOTIQUES

Généralités sur la Symbiose Rhizobium/Légumineuses

La réduction de l'azote moléculaire (N_2) nécessite de l'énergie, donc les systèmes biologiques de fixation d'azote les plus importants dans la nature sont ceux qui assurent un couplage de cette réaction avec la photosynthèse (fournisseur d'énergie).

Il y a trois groupes de micro-organismes symbiotiques:

- Les actinomycètes sur racines de dicotylédones.
- Les cyanobactéries sur hôtes très variés.
- Les rhizobiums sur légumineuses dont Vincent (1974) recense 13 000 espèces.

Les symbioses rhizobiums-légumineuses fixent près de la moitié de l'azote biologique fixé annuellement (Hardy et Havelka 1975). Les rhizobiums et les légumineuses ne peuvent utiliser l'azote atmosphérique qu'en étant associés (en symbiose). Dans cette association, très schématiquement, la légumineuse ou plante hôte, fournit au rhizobium l'énergie nécessaire sous forme de produits de la photosynthèse qui lui sert à la fixation de l'azote atmosphérique, qu'il introduit dans un cycle biochimique et, par biosynthèse, il produit des acides aminés qui sont cédés à la plante hôte pour la fabrication de ses protéines.

L'enzyme responsable de cette transformation chimique chez le rhizobium est la nitrogénase qui travaille à pression et température ambiantes en utilisant l'énergie photosynthétique fournie par la plante hôte.

Le rendement énergétique de la nitrogénase est environ le double de celui de la synthèse chimique de l'azote engrais. Le rendement global de la symbiose dépend du rendement de chacun des deux organismes associés. Les légumineuses cultivées sans rhizobium doivent recourir à l'utilisation de l'azote du sol comme toute autre plante.

Les légumineuses utilisent l'azote du sol, des engrais, et de l'air (symbiose) et avec l'utilisation de l'azote marqué (^{15}N) on a pu estimer l'azote fixé biologiquement comme le montre figure 1. (Danson et Eskew 1983).

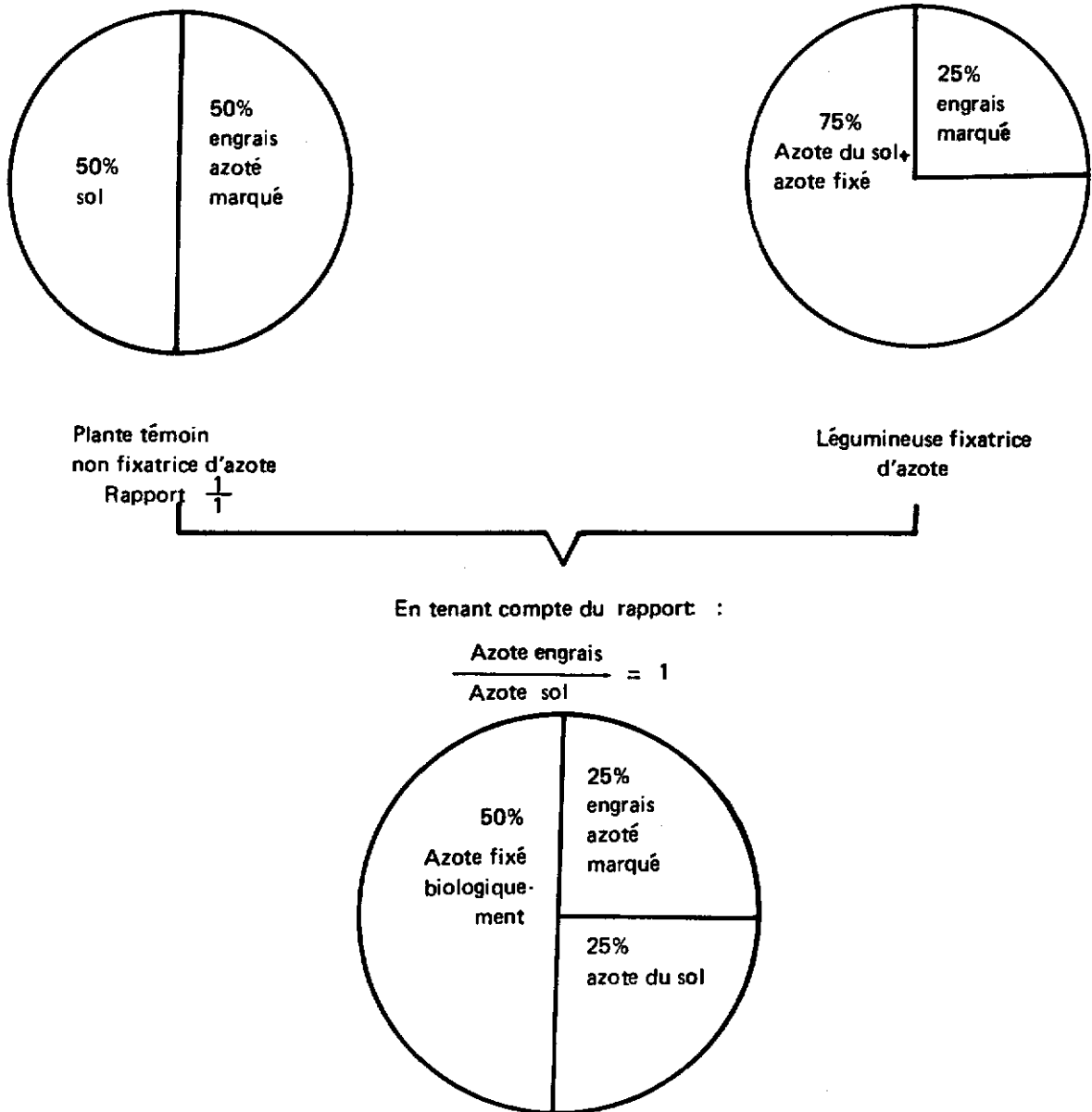


Figure 1 Méthode d'utilisation de l'isotope ^{15}N pour l'estimation de la fixation biologique de l'azote atmosphérique.

Il est à noter par ailleurs que l'azote atmosphérique ne peut être fixé que par les symbioses efficaces qui permettent une économie considérable en engrais azoté dont le prix d'achat, de transport et de manipulation deviennent de plus en plus chers.

Efficience de la symbiose

Selon tous les auteurs et particulièrement Goodchild (1977), toutes les phases de la symbiose depuis l'établissement du rhizobium dans les racines de la légumineuse jusqu'à la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique sont groupées sous le nom d'efficience de la symbiose.

Les rhizobiums ont deux propriétés majeures vis-à-vis de la plante hôte:

1. Infectivité

Une souche de rhizobium est infective ou virulente quand elle peut coloniser les racines. En cas d'infectivité, les rhizobiums se multiplient activement dans la rhizosphère par les excréments racinaires de l'hôte légumineuse (oses, vitamines, acides aminés) et, aux dépens du tryptophane, produisent de l'acide indol 3 acétique (AI 3A) qui infléchit les poils radiculaires. Par leurs polysaccharides, les rhizobiums induisent la production de polygalacturonase par la plante hôte qui facilite la pénétration ou l'adsorption du rhizobium par la modification de la plasticité de la paroi cellulaire des poils absorbants. La courbure spécifique de l'extrémité des poils absorbants semble intervenir dans la reconnaissance entre rhizobium et plante hôte. L'adsorption spécifique du rhizobium par les racines de la plante est due à une glycoprotéine synthétisée par cette dernière et des polysaccharides du rhizobium. La glycoprotéine est appelée communément lectine (Dazzo 1980).

On a constaté par ailleurs que ces polysaccharides se fixent sélectivement à l'extrémité des poils absorbants des racines de trèfle et que l'addition de nitrate ou d'ammonium provoque une diminution de la quantité de lectine et du nombre de rhizobiums adsorbés par les poils absorbants.

Les rhizobiums sont des bactéries endophytes gram-négatif qui, en cas d'infectivité, se trouvent d'abord enfermés dans des cordons d'infection qui se développent dans les poils absorbants de la plante hôte, puis dans le parenchyme cortical, ces cordons transpercent les cellules corticales ou passent entre elles. Jusqu'à ce stade, les rhizobiums sont enrobés d'un mucilage et séparés du cytoplasme de la légumineuse par une couche cellulosique et le plasmalemma. Le nodule se met en place grâce à

l'activité d'un méristème néoformé dans le parenchyme cortical de la plante puis, à partir des boursouflures terminales des cordons d'infection, les rhizobiums entrent dans les cellules végétales par endocytose; là, ils se trouvent entourés chacun par une enveloppe dérivant du plasmalemme végétal et deviennent ainsi des bactéroïdes capables de fixer l'azote atmosphérique après avoir cessé de se diviser et subir des déformations morphologiques et une augmentation de volume (de 1 à 30) selon Bergersen (1974).

Du point de vue de la croissance des rhizobiums, on distingue:

- Des rhizobiums à croissance lente: ex. R. japonicum, R. lupini.
- Des rhizobiums à croissance rapide: ex. R. leguminosarum, R. trifolii, R. phaseoli du haricot, R. meliloti etc...

Selon Dart (1977), les rhizobiums à croissance lente, après invasion du cytoplasme cellulaire, continuent à se diviser à l'intérieur de la membrane de séquestration et dans ce cas, les bactéroïdes conservent une forme de batonnet et un volume réduit.

L'organogénèse des nodules est induite à partir des cordons d'infection, la présence de bactéries dans le cytoplasme de l'hôte semble être indispensable pour l'induction de la différenciation du tissu central des nodules. L'infectivité est la spécificité d'hôte pour la formation des nodosités.

2. Effectivité

C'est le pouvoir du rhizobium installé dans les racines, de fixer l'azote atmosphérique et de rentrer en symbiose avec la plante hôte.

Généralement, tous les auteurs considèrent que toute l'efficacité d'une souche de rhizobium est déterminée par ce pouvoir de fixer l'azote symbiotiquement avec sa plante hôte.

En cas d'efficacité, les nodosités ont une coloration rose ou rouge foncé qui est due à la leghémoglobine. La leghémoglobine (pigment rouge) est une hémoprotéique qui intervient dans la régulation de la pénétration de l'oxygène vers les bactéroïdes. Sa partie protéique serait contrôlée génétiquement par la plante hôte et l'hème serait synthétisé par le rhizobium.

Les critères de l'efficacité

Parmi les nombreux critères de l'efficacité des nodules, on cite principalement:

- La coloration rose ou rouge due à la leghémoglobine.
- Les nodules efficients sont relativement peu nombreux, situés en majorité sur les racines primaires, assez volumineux de surface lisse ou rugueuse.
- Critères génétiques: Les travaux sur Rhizobium meliloti et R. phaseoli ont montré la présence de plasmide chez une souche de Rhizobium phaseoli spécifique du haricot et la perte d'un tel plasmide correspond à une perte d'infectivité de ces bactéries et si ce plasmide qui est de taille importante est transféré à ces mêmes souches à partir de donneurs infectieux, elles retrouvent leur pouvoir d'infection. Alors, il se peut que le gène qui contrôle l'infection réside dans le plasmide.

Pour les gènes Nif qui contrôlent la formation de la nitrogénase, responsable de la fixation et de la réduction de l'azote atmosphérique, ils sont transférables par conjugaison comme l'ont montré des travaux sur le Rhizobium meliloti, mais leur localisation au niveau du matériel génétique n'est pas encore déterminée.

La spécificité de l'hôte: Selon Vincent (1974), une spécificité entre rhizobium et plante hôte est généralement admise à ce jour. Elle intervient probablement à des degrés divers au cours des étapes qui conduisent à la formation des nodosités fonctionnelles:

- Prolifération du rhizobium dans la rhizosphère des légumineuses.
- Courbures des poils absorbants.
- Formation et progression des cordons d'infection.
- Différenciation des cellules corticales et initiation du méristème nodulaire.
- Libération des bactéries hors des cordons d'infection.
- Multiplication des bactéries dans le cytoplasme des cellules de l'hôte.
- Différenciation des bactéries en bactéroïdes.
- Etablissement d'une nodosité fonctionnelle capable de fixer et d'assimiler l'azote.

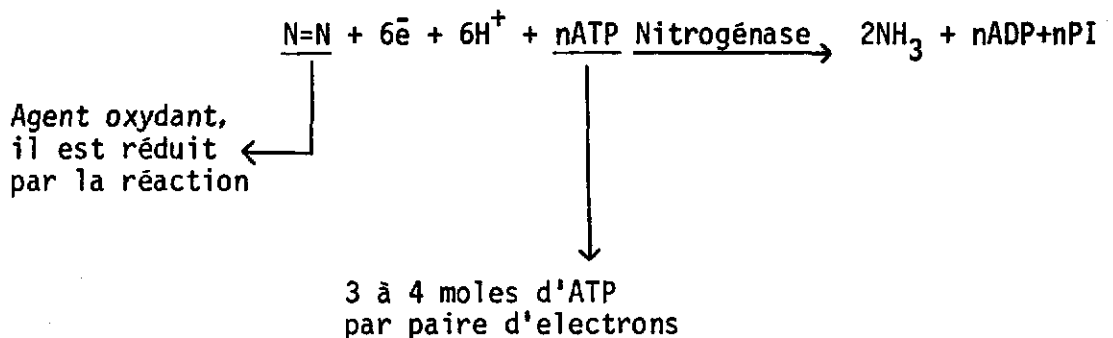
Dans la seconde étape, la courbure des poils absorbants est presque aussi spécifique que la formation des nodosités. En conséquence, la reconnaissance spécifique semble intervenir à un stade très précoce.

Actuellement, on admet les spécialités suivantes:

<u>Rhizobiums</u>	<u>Légumineuses hôtes</u>
<u>R. leguminosarum</u>	Fève, pois, lentille
<u>R. phaseoli</u>	Haricot
<u>R. trifolii</u>	Les trèfles
<u>R. meliloti</u>	Médicago annuel, luzerne, mélilot, fenu-grec
<u>R. japonicum</u>	Soja
<u>R. lupini</u>	Lupin, <u>Ornithopus sativum</u>

ASPECTS BIOCHIMIQUES DE LA FIXATION BIOLOGIQUE DE L'AZOTE (FBN)

La réaction impliquée dans le FBN est la suivante: elle est la même chez tous les organismes fixateurs d'azote.



L'énergie qui est dérivée de la dégradation du glucose ou d'autres sucres est fournie sous forme d'adénosine triphosphaté (ATP). Donc la fixation biologique et l'N est essentiellement une réduction effectuée au prix de l'oxydation d'un substrat. Cette réduction est couplée à la respiration.

Cette réaction ne peut avoir lieu qu'en présence d'une:

- Enzyme: Nitrogénase (N-ase)
- Les donneurs d'électrons peuvent être: la ferredoxine, la flavodoxine, le transporteur d'électron est le NADPH.

Assimilation de l'ammoniac: L'ammoniac (NH_3) produit par les bactéroïdes se combine avec les composés carbonés provenant de la photosynthèse pour donner des acides aminés qui sont ensuite incorporés dans les protéines de la plante (Figure 2).

Taux de fixation d'azote par diverses symbioses

Les taux de fixation par ha de certaines symbioses sont les suivants:

Luzerne	: 217 kg	Fève	: 100 kg
Trèfle	: 105 à 200 kg	Vesce	: 89 kg
Soja	: 65 kg	Medicago annuel:	50 à 300 kg
Pois	: 80 kg	Haricot	: 24 à 65 kg

ECOPHYSIOLOGIE DE LA SYMBIOSE

Caractéristiques des rhizobiums

Ce sont des cordons gram-négatif de 0,5 à 0,9 micron de large et 1,2 à 3 microns de long. Ils ne produisent pas d'endospores mais les cellules âgées sont remplies de granules de polymérique B hydroxy-butirate (P.H.B). Ils sont pléomorphes, généralement mobiles, grâce à des flagelles polaires ou sous-polaires.

Sur milieu riche en carbohydrates, ils s'accompagnent d'un abondant mucilage extracellulaire (polysaccharide).

Généralement, on les classe en deux groupes d'après leur production d'acides ou de bases qui est d'ailleurs liée à leur rapidité de développement:

Groupe 1: à développement rapide, formant des colonies larges de 2 à 4 mm de diamètre après 3 à 5 jours d'incubation. Ce sont des rhizobiums acidifiant les milieux de culture à des températures variant avec les espèces.

Groupe 2: à développement lent, formant des colonies inférieures ou égales à 1 mm de diamètre après 7 à 10 jours d'incubation. Ce sont des rhizobiums alcalinisant les milieux de culture à des températures variant avec les espèces.

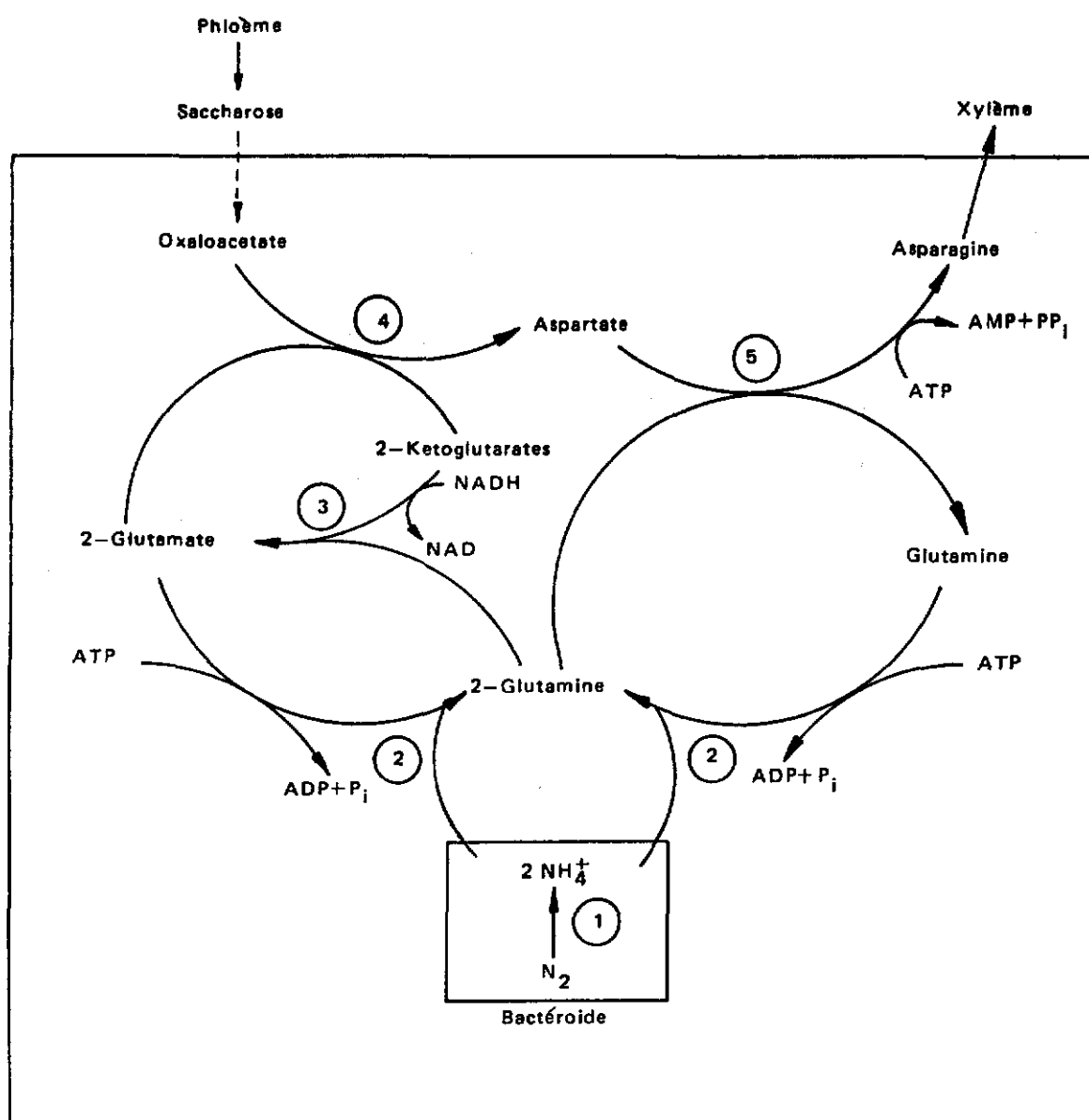


Figure 2. Assimilation de l'ammonia dans les nodosités de lupin.
 1: nitrogénase, 2: glutamine synthétase, 3: glutamate synthétase,
 4: transaminase (aspartate aminotransférase), et 5: asparagine synthétase.

Actions des conditions ambiantes

1. Le gaz carbonique CO₂

Une augmentation du CO₂ atmosphérique semble stimuler la fixation d'azote.

2. La température

Selon Vincent (1965), il existe une adaptation des souches de rhizobium aux températures de leur milieu de vie. Cette adaptation est due à la sélection naturelle. On a montré que la réponse du rhizobium à la température est souvent liée à l'humidité du sol. Dans les sols humides, les souches de rhizobium sont moins tolérantes aux hautes températures que dans les sols secs.

Pour la nodulation, l'action de la température est souvent très localisée. Quand une racine ou une partie des racines est exposée à une température compatible avec la nodulation, les nodules n'apparaissent que sur cette partie.

L'optimum de température de nodulation varie avec les espèces. On a trouvé que la température optimale de nodulation est souvent inférieure à la température optimale de croissance de la plante.

Dart et al. (1980) travaillant sur le soja, constatent que la formation des nodules se situe à une température de 27°C et qu'à 33°C les nodules se ferment avec un léger retard. Cependant, ils observent une sévère carence en azote sur les feuilles à 21°C qui serait due à un ralentissement de la nodulation et à une faible activité de la nitrogénase.

Selon d'autres auteurs, la nodulation chez les plantes tropicales est sensible aux températures radiculaires peu élevées, elle est faible ou absente entre 18 et 21°C mais bonne à 24°C.

Certains travaux sur l'hybridation du pois ont montré que la dépendance de la nodulation à la température est un caractère héréditaire codé par un gène de la plante hôte. Selon les mêmes auteurs, la température agit aussi sur la fixation d'azote; elle dépend du cultivar et de la souche de rhizobium utilisée et elle porte sur la quantité du tissu nodulaire produite, le développement et la dégénérescence des bactéroïdes dans les cellules hôtes et la teneur des nodules en leghémoglobine.

3. L'azote et la lumière

Le maintien de l'azote à un taux assez élevé dans le sol inhibe ou déprime profondément la fixation. Divers travaux dont ceux de Virtanen (1955) soutiennent qu'un rapport carbone/azote de l'hôte trop élevé ou trop bas inhibe la fixation.

En effet, une photosynthèse déficiente ou excessive déséquilibre ce rapport et conduit à une diminution progressive et marquée de la fixation.

L'inactivation du système fixateur d'azote par l'obscurité est liée à la diminution du taux de leghémoglobine par conversion en pigment vert et, un rapport C/N excessif est inhibiteur à la formation ou au maintien du N pigment rouge. Il y a un rapport optimal du végétal pour la fixation. Ce rapport varie selon les races de rhizobium.

4. Les autres éléments minéraux

L'efficience de la symbiose dépend d'une quantité adéquate surtout de F, Ca, P, K, Mg, S, Cu, Co, et Mo.

Le Fe, le Mo et le S sont des éléments minéraux essentiels car la nitrogénase est constituée de 2 protéines: l'azofer contenant du Fe et du S et l'azofermo contenant du Fe, S et du Mo. Certains travaux confirment la nécessité de Mo pour les plantes symbiotiques. Par la suite, on a montré la nécessité du soufre. Par un travail sur le trèfle, on a constaté que l'addition de sulfates à des sols déficients augmente la croissance, le taux de nodulation et le pouvoir de fixation symbiotique.

5. Le pH

Quelques travaux ont montré que pour le trèfle, la formation des nodules se situe à pH 4 à 5, que pour la luzerne, elle est à un pH 7 à 8,5.

6. La compétition

La présence naturelle dans le sol de diverses races bactériennes capables d'infecter la même plante hôte pose le problème de compétition entre ces races.

Plusieurs travaux notent l'existence de ce pouvoir de compétition des races de rhizobium entre elles pour la nodulation, et que l'effectivité dans le sol est liée à un équilibre entre populations ineffectives et celles effectives.

Ainsi, en cas de fixation déficiente due à la présence d'une abondante population ineffective, tout essai d'inoculation doit se faire avec des races effectives sélectionnées pour leurs grandes capacités compétitives vis-à-vis de la population autochtone.

7. L'adaptation locale

Les travaux sur l'efficiencia de la symbiose entre rhizobiums isolés du trèfle dans différentes localités d'Australie, ont mis en évidence un phénomène d'adaptation nette entre bactéries et plante hôte d'une même aire.

Références

- Bergersen, F.J. 1974. Formation and function of bacteroids. Pages 473-498 in *The Biology of Nitrogen Fixation* (Quispel A., ed.) North Holland Publishing Co. Amsterdam, The Netherlands.
- Dart, P. 1977. Infection and development of leguminous nodules. Pages 367-472 in *A Treatise on Dinitrogen Fixation, Section III* (Newton, W. and W. Orme-Johnston, eds.). University of Park Press, USA.
- Danso, S.K.A; Eskew, D.L. 1983 . Comment renforcer la fixation biologique de l'azote. AIEA Bulletin, Vol. 26, No. 2. Page 30.
- Dazzo, F.B. 1980. Determination of host specificity in the Rhizobium-clover symbiosis. Pages 165-187 in *Nitrogen Fixation, Section II* (Newton, W. and W. Orme-Johnston, eds.). University Park Press, USA.
- Goodchild, D.G. 1977. The ultrastructure of root nodules in relation to nitrogen fixation. *International Review of Cytology*. Supplement 6:235-288.
- Hardy, R.W. and U.D. Havelka. 1975. Photosynthates as a major factor limiting N_2 fixation by field grown legumes with emphasis on soybeans. Pages 421-439 in *Symbiotic Nitrogen Fixation in Plants* (Nutman, P.S. ed.). Cambridge University Press, London, UK.
- Vincent, J.M. 1965. Environmental factors in the fixation of nitrogen by the legume. Pages 384-435 in *Soil Nitrogen Agronomic Monograph No. 10* (Bartholomew, W. and F.C. Clark, eds.). American Society of Agronomy, Madison, USA.
- Vincent, J.M. 1974. Root nodule symbiosis with Rhizobium. Pages 265-341 in *The Biology of Nitrogen Fixation* (Quispel, A., ed.). North Holland Publishing Co. Amsterdam, The Netherlands.
- Virtanen, A.T. 1955. Biological nitrogen fixation. Pages 426-433 in *Proceedings of the Third International Congress of Biochemistry* (Liebecq, C., ed.). Brussels, Belgium.

Plant Diseases: General Concepts with Special Emphasis on Chickpeas

Moncef Harrabi
Institut National Agronomique de Tunisie (INAT)
Tunis, Tunisie

Most famines of historical significance have resulted from drought, floods and other environmental extreme factors, or from damage caused by plant pathogens. Effective control of plant diseases is an essential prerequisite for maximal crop productivity. In addition to causing famines (e.g. potato blight in Europe in 1845 where one million people died and two million emigrated) epidemics, in many cases, have eliminated industry and made it unprofitable to grow certain crops in some areas unless expensive control procedures were practiced. In some cases the pathogens have caused poisoning to man and animals (e.g. Claviceps purpurea and Fusarium graminearum).

It is not possible to estimate accurately the damage caused by plant diseases, but the literature indicates losses in the order of 30% on a world-wide basis. This figure varies according to country, season and pathogen.

GENERAL CONCEPTS

Definition of Plant Diseases

Stakman and Harrar (1957) defined disease as "any deviation from normal growth and structure of plants that is sufficiently pronounced and permanent to produce visible symptoms or impair quality or economic value". Some authors consider disease as any deviation from normal functioning of physiological processes to cause disturbance or cessation of vital activities.

A disease therefore can result from an attack by parasites (fungi, bacteria, viruses, arthropods etc...) or from the effects of unfavorable environmental conditions including nutrient deficiencies.

Symptoms of Plant Diseases

Symptoms of diseases can be divided into four categories:

1. Death and destruction of host tissue

Most plant pathogens cause death or destruction of the host tissue. Some parasites secrete toxins or enzymes which cause death of the plant tissue, e.g. Cochliobolus victoriae which attacks the susceptible cultivars of oats that secretes a toxin called victorin. Similarly periconin is produced by the milo disease fungus of sorghum

(*Periconia circinata*) which causes seedling blight of susceptible sorghum cultivars. Rhynchosporoside is another toxin produced by *Rhynchosporium secalis* a pathogen of barley. The systemic wilt producing fungus *Fusarium lycopersici* produces lycomarasonin resulting in necrosis at the tips and periphery of tomato leaves. Two other toxins are also produced by this fungus, fusaric acid and vasinifucarin. Both of these substances seem to induce vascular browning in plant tissues. *Alternaria solani* produces alternaric acid which is highly toxic and inhibits the germination of seeds members of the Solanaceae family.

2. Wilting, dieback and associated symptoms

Wilting is a term used to denote a loss of turgidity of plant cells of the above ground parts. A plant wilts when water loss is greater than water uptake. Wilting, therefore, can be a result of one or a combination of the following factors, (a) water deficiency in the soil caused by drought, (b) interference with water conduction of the plant due to destruction of the vascular system by parasites or malfunction of water conduction resulting from pathogenic invasion, and (c) loss of control of transpiration, e.g. rust pathogens have been shown to interfere with the plant's ability to regulate the rate of transpiration.

Die-back symptoms start at the tip of plant parts and spread downward. Dieback is usually caused by the interference with the water balance of plants resulting from tissue desintegration, especially the roots, or the blocking of the xylem vessels.

3. Abnormal growth and differentiation

Some pathogens have the ability to alter the balanced hormonal activities of the host leading to an abnormal increase in the size of cells (hypertrophy) or to an increase in cell number (hyperplasia). Such changes are commonly referred to as galls, nodules or callus tissue, e.g. nematodes (*Meloidogyne* spp.) are known to produce knots on host tissue, *Plasmodiophora brassicae* is the causal agent of club root of crucifers, *Agrobacterium tumefaciens* causes crown gall of some fruit trees.

4. Discoloration of host tissue

Chlorosis is a common type of discoloration that occurs in plant following invasion by a pathogen. This is usually the result of the cessation of chlorophyll production. Chlorosis can also result from deficiencies in mineral nutrients like nitrogen, magnesium, iron and others and from genetic causes (albinos).

Establishing the Cause of a Plant Disease

Most often plant disease diagnosis cannot be established on the basis of symptoms alone, and laboratory investigations are needed to confirm the causal agents. Access to reference books and checklists of plant diseases can further facilitate disease diagnosis. If this is not available and if there is any doubt as to whether the organism is associated with the disease, then one should attempt to prove a causal relationship by the application of Koch's postulates.

Principles of control

All pathogenic diseases result from an interaction between a host, a parasite and the environment, which is referred to as the disease triangle. Thus the control of any disease can be achieved by:

1. Eradiction of the parasite

Attempts should be made to prevent the introduction of a new pathogen into an area. This, however, is hard to achieve especially with the introduction and exchange of germplasm and visitors.

2. Protection of the host from the parasite

Genetic protection is the most economic mean of control. The production of genetically resistant cultivars requires a cooperation between breeders and pathologists. Two types of genetic resistance have been proposed, major gene resistance and minor gene resistance. The former has received the main effort but the latter is believed to offer more durability. Most breeding programs are using the race-specific type of resistance (major gene resistance) to control the major diseases due to the ease of incorporating major genes into newly developed cultivars. The main drawback of this type of resistance is its non-durability. As new major genes are identified and incorporated, the pathogens also change their corresponding virulence genes. The incorporation of genes and the loss of their effectiveness is well documented as the "boom and bust cycle". This is virtually a race between two breeding programs, one for the host and the other for the pathogen.

3. Modification of the environment

Genetics of Host - Pathogen Interactions

Biffen (1905) working with wheat yellow stripe rust (*Puccinia striiformis*) was the first to show that resistance to plant diseases follows the Mendelian laws of inheritance. Many research papers have followed this pioneer investigation and most of them have shown that the inheritance of disease reaction in plants is simply inherited and is controlled by a small number of genes. Others have clearly shown that resistance can be controlled by a more complex genetic system. The second

era was that of the finding of Flor who concluded that the interaction between the host and the pathogen is conditioned by a gene-for-gene system. In other words each genetic locus that conditions resistance or susceptibility in the host is matched with a corresponding locus conditioning virulence or avirulence in the pathogen. This magnificent research finding suggest that for each gene in the host capable of mutating to give resistance, there exists a gene in the pathogen capable of mutating to overcome that particular resistance gene. This relationship explains the breakdown of resistance of cultivars under field conditions: a variety can be immune for a certain number of years and then becomes susceptible. Recent evidence has shown that this relationship (gene-for-gene) can cover pathogens causing diseases such as rusts, smuts, powdery mildew, ascochyta blight etc. Recent evidence indicates that this relationship can be extended to other groups of pathogens including insects.

CHICKPEA DISEASES

Chickpeas (Cicer arietinum L.) are an important source of protein for a large number of the population in North Africa, the Middle East and South East Asia. In Tunisia, 30 000 ha are cultivated each year, with a production of 21 000 tonnes and a yield of 700 kg/ha.

One of the major constraints to higher production are diseases which can reduce yield up to 30% when climatic conditions are favorable for their development. Numerous diseases affect chickpeas of which some are more important than the others. In this paper, chickpea diseases with a potential to cause severe yield losses will be discussed.

Fungal Diseases

Ascochyta blight

Butler in 1918 was the first to report this disease in the North West Frontier Province of India (now Pakistan). It has now been reported in many countries of the world including North America, Southern Europe, North and East Africa, USSR, West Asia and Sudan. The losses caused by this disease range from 25-100% when climatic factors are favorable, infection being quite sensitive to environmental conditions.

Symptoms

Spots or lesions develop on leaves and stems at all stages of plant development and then to pods at maturity. The lesions are round on leaves and pods and are oval or elongated on the stem. The margin of the lesion is dark brown and the center is light brown. Eventually, the lesions coalesce and may cover a large part of the stem. The leaves often become dry. Pycnidia appear as small black specks within the lesions. In severe cases and when the cultivar is susceptible, the lesions surround the stem causing stem breakage and blighting of the plant parts above the lesion.

The fungus: Ascochyta rabiei

Ascochyta rabiei (Pass.) Lab. is the imperfect state of the ascochyta blight pathogen. It produces pycnidia on the host and in pure culture, the pycniospores being hyaline and two-celled. Germination of the spores of A. rabiei is favored by high acidity together with the presence of a carbon source. Two percent glucose with either HNO_3 , HCl , H_2SO_4 or oxalic acid give the best spore germination. Growth and sporulation are optimal in the temperature range of $15^\circ - 20^\circ\text{C}$ and cease at temperatures around 30°C . Uniform light also increases mycelial growth and conidial production, whereas zonation occurs when the fungus culture is exposed to alternating light and dark periods. No clear evidence exists on the presence of physiological races of the pathogen.

Disease development

The pathogen is carried in infected seeds and overwinters in infected plant debris. It can survive over two years in naturally infected chickpea tissues at temperatures of $10-35^\circ\text{C}$, and relative humidity of 0-30%. It loses its viability at 65-100% relative humidity and at soil depths of 10-45 cm. Primary infection arises from inoculum in infected debris or on seed surface, and secondary infection comes from newly produced conidia. Rain splash is responsible for plant to plant dissemination. Moisture, therefore, is required for spore discharge and infection.

Control

Many approaches can be used to control the disease:

Cultural practices. Eradication can be achieved by proper rotation and cultural practices. Turning-under infected straw at 40 cm depth can reduce primary inoculum.

Elimination of seed-borne inoculum. This can be largely achieved by producing seeds in areas with no disease incidence or in areas with low rainfall during the growing season.

Resistant varieties. Most kabuli types are susceptible, however, some cultivars are more tolerant than the others. Haddad et al. (1985), using an isolate from Tunisia, identified at least three different resistance genes, two being dominant and one recessive.

Wilt complex

The wilt complex was first reported in 1918, however, its causes were not clear. Fusarium oxysporum f. sp. ciceri was believed to be the major causal agent and other various pathogens were also responsible

for the wilt symptoms namely Rhizoctonia solani and Rhizoctonia bataticola. Halila and Harrabi (unpublished) reported evidence of Verticillium albo-atrum as a pathogen causing wilt-like symptoms on chickpeas; they were able to isolate it from soils previously believed to be infested with Fusarium spp.

Symptoms

The symptoms usually start with chlorosis, stunting and vascular discoloration, and later, wilt and total collapse of the plant occurs. The disease effects might appear prior to the fungus: the plant might die and the pathogen being confined to the lower part of the stem. Once the soil becomes infested with Fusarium spp. it will remain so indefinitely. Infested soils become unfit for production of chickpeas unless resistant varieties are available. Yield losses vary from 10% to higher percentages depending on the time of disease establishment.

The fungus: Fusarium oxysporum f.sp. ciceri

The genus Fusarium comprises many species and many forms within species. All Fusarium spp. have a saprophytic stage, but many are facultative parasites. The most highly developed pathogens are those within the species of F. oxysporum which are referred to as the vascular fusarial diseases, invading the xylem vessels of their hosts.

Fusarium oxysporum f.sp. ciceri produces septate mycelia which grow well on many medias. They are colorless at first, in some isolates they are cream-colored, and in others pink pigments are produced which are characteristic of the fungus. It produces microconidia in abundance and rarely macroconidia which are fusiform, hyaline with mostly three to five septa. The fungus also produces chlamydospores which are one or two-celled and thickwalled, produced terminally or intercalary on older mycelium. All three types of spores are produced in the soil and in cultures of the fungus. Many races of the fungus have been reported.

Disease development

The fungus becomes established readily in many soils which remain infested almost indefinitely. It overwinters in the soil as mycelia and most commonly as chlamydospores. The dissemination over short distances is achieved mainly by irrigation water and contaminated farm equipment, over long distances primarily via infected seeds or plant debris. Once inside the vascular system of the plant, the mycelium branches and produces micro conidia which are detached and carried upward in the sap. The clogging of the xylem vessels restricts

the passage of water to the upper parts of the infected plant. As a result, the stomata close, the leaves wilt and finally die. The fungus then invades the parenchymatous tissues of the plant extensively, reaches the surface of the dead tissue where it sporulates profusely. The new spores form the secondary inoculum and are distributed to new plants by wind or water.

Control

Varietal resistance remains the only effective control measure against the disease. Several resistant chickpea varieties are available today. Crop rotation will not provide good control due to the persistence of the fungus in the soil.

Verticillium wilt

Symptoms

The symptoms of *verticillium* wilts are almost identical to those of *fusarium* wilts. Only laboratory examination can help in distinguishing between the two pathogens. *Verticillium* sp. induces wilting at lower temperature than *Fusarium* sp. In Tunisia, *verticillium* wilt was only recently established as a disease of chickpeas, previously believed to be of fusarial origin. Halila and Harrabi (unpublished) have shown that *Verticillium albo-atrum* is responsible for many wilted chickpea fields in Tunisia. At times, both pathogens were isolated from the same field. Since *Fusarium* sp. is more saprophytic than *Verticillium* sp., it is believed that the major wilting pathogen is *Verticillium* sp. rather than *Fusarium* sp.

The fungus: *Verticillium albo-atrum*, and disease development

The fungus produces small conidia and micro-sclerotia which can overwinter within plant debris. It penetrates the host through wounds in the roots and spreads by contaminated seeds, wind and surface ground water and by soil itself.

Control

Similar to *fusarium* wilt control, resistant varieties are the most efficient means of *verticillium* wilt control. Some local genotypes of chickpeas appear to be resistant to this pathogen.

Root rot (*Rhizoctonia solani*)

Symptoms

The most common symptoms caused by *Rhizoctonia solani* are damping off of seedlings and root rot, stem rot or stem canker. On chickpeas

the disease occurs often at the seedling stage in wet and cold soils. The fungus attacks the stem and makes it water soaked, soft, and incapable of supporting the seedling which falls over and dies. Older seedlings show somehow different symptoms in which the fungus produces elongate, tan to reddish-brown lesions on the outer tissues of the stem that may girdle the stem and cause plant death.

The fungus: Rhizoctonia solani

Rhizoctonia solani exists primarily as a sterile mycelium that is colorless at early stages and later turns yellowish or light brown. The mycelium consists of long cells and produces branches that grow at right angles to the main hypha and have a cross wall near the junction. The right angle branching is characteristic of this fungus. A perfect stage of R. solani is known to occur under high humidity conditions.

Disease development

The pathogen overwinters as mycelia or sclerotia in the soil or on infected plant debris. Once a soil is infested it remains so indefinitely.

Control

The use of disease-free seeds or seeds treated with chemicals can provide a control measure. Poorly drained soils should be avoided for chickpea cultivation.

Dry root rot (Rhizoctonia bataticola)

This disease doesn't appear to be as serious as other chickpea diseases, although it has been reported to cause major yield losses in India.

Symptoms

Sudden drying of the whole plant without drooping of leaves and petioles is a typical symptom of the disease. When plants are pulled, the lower portion of the tap root remains in the soil and appears dry and devoid of lateral roots.

The fungus: Rhizoctonia bataticola

The pathogen overwinters usually as mycelia or sclerotia in the soil or in infected perennial plants. The fungus spreads with rain, irrigation water or with tools. The optimum temperature for infestation is about 15° to 18°C.

Control

Poorly drained areas should be avoided and good spacing between rows for better aeration is recommended. No specific sources of resistance is known which might be due to the scarcity of work done on the genetics of resistance to this fungus.

Collar rot (*Sclerotium rolfsii*)

The disease has been reported in few countries and is likely to exist in countries of North Africa and the Middle East as well. The collar rot, a specific symptom of the disease is seen mostly in the seedling stage although it may occur at any stage of plant growth provided temperatures are not low. Affected seedlings will show rotting at the collar region and downwards. The infected plants usually occur in small patches in the field.

Stem rot (*Sclerotinia sclerotiorum*)

This disease is known to occur in India and Iran and may exist in other countries as well. It appears on adult plants and requires relatively wet soil and the presence of dew. Heavy rates of seeding increase disease incidence.

Foot rot (*Operculella padwickii*)

The first report on this disease was made in India in 1941. The symptoms of this disease are similar to those of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceri* with drooping petioles and rachis. Internal discoloration appears above the rotten portion but the discoloration is brown and does not reach the vascular system as in fusarium or verticillium wilt.

Viral Diseases

Stunt

Nene (1976) reported that stunt might be caused by pea leaf roll virus. It is known to occur in many countries of the Middle East, North Africa and Asia. Under certain conditions the disease can cause serious damage to the chickpea crop. Affected plants show stunting and yellow to orange or brown discoloration. This discoloration is more pronounced in desi types (browning) than in kabuli types (yellowing). Other symptoms include proliferation and phloem browning in the collar region.

The virus is transmitted by several aphid species, which inject the viral particles into the phloem. The virus is not mechanically transmitted and has a wide host range. Early control of aphids may reduce disease incidence. No other specific control measures are known.

Alfalfa mosaic virus (A M V)

This disease is not considered serious at present, probably because little research has been done to it. The symptoms include twisting of the terminal buds followed by necrosis. The new branches have smaller leaflets with a mild mottle. The virus consists of five components with varying sizes when seen under an electron microscope.

Other Diseases

Seedling rot/blight. It is caused by a bacteria (Xanthomonas cassiae) and is known at present in India only where it can cause serious damage especially when chickpeas are planted early and the temperature is high.

Root-knot. This is caused by a nematode (Meloidogyne incognita) and the symptoms are typical galls on roots which later turn black.

References

- Biffen, R.H. 1906. Mendel's laws of inheritance and wheat breeding. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 1:4-48.
- Butler, J. 1918. *Fungi and diseases in plants.* Thacker Spink Co. Calcutta, India.
- Haddad, A., M.M. Harrabi and M.H. Halila 1985. Variabilité de l'Ascochyta rabiei (Pass.) Lab. en Tunisie et hérédité de la résistance à la maladie chez quelques variétés de pois chiche. *Mémoire de 3ème cycle.* INAT.
- Halila, M. and M.M. Harrabi. 1986. Wilt of chickpea in Tunisia caused by Verticillium albo-altrum. *Plant Disease* 71:101.
- Nene, Y.L. and M.V. Reddy. 1976. Preliminary information on chick-pea stunt. *Tropical Grain Legume Bulletin* 5:31-32.
- Stakman, E.C. and J.G. Harrar. 1957. *Principles of Plant Pathology.* Ronald Press. New York, USA. 581 pp.

Lutte contre les Mauvaises Herbes Cas des Légumineuses à Graines

Habib M. Halila
Laboratoire des Légumineuses à Graines
Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie
Tunis, Tunisie

Une mauvaise herbe se définit comme étant une plante indésirable là où elle se trouve. Les mauvaises herbes constituent l'un des facteurs limitant l'extension des légumineuses alimentaires. Et comme, en général, ce sont des plantes basses, elles sont extrêmement sensibles à la concurrence adventice. Le désherbage mécanique et manuel, n'a pas pu améliorer le développement de ces cultures dont l'importance reste liée essentiellement à la main d'œuvre disponible à l'époque du désherbage. Il est intéressant de noter que le cortège floristique diffère d'une région à l'autre sous l'influence du climat et du type de sol.

Les infestations sont en général assez importantes et on peut citer parmi les espèces les plus communes à ces cultures dans ces régions et les plus abondantes:

Papaver rhoeas, Fumaria parviflora, Avena sterilis, Phalaris paradoxa, Lolium multiflorum, Vaccaria pyramidata, Sinapis arvensis, Capsella bursa-pastoris, Convolvulus arvensis, Antirrhinum orontium, Amaranthus spp., Astragalus baeticus.

Il ressort de cette liste, dont la majorité des espèces constituant sont des messicoles, qu'il y a un problème de graminées et de dicotylédones.

La nuisibilité des mauvaises herbes réside dans la diminution des rendements à la récolte. C'est le résultat d'un effet de compétition entre plante cultivée et mauvaise herbe. Il y a donc concurrence pour l'eau, les éléments nutritifs, la lumière et l'espace aussi bien aérien que souterrain.

Des efforts considérables de mise au point des techniques de désherbage et de leur vulgarisation sont indispensables pour le développement des cultures des légumineuses alimentaires.

DEGATS DUS AUX MAUVAISES HERBES

Les pertes de récoltes occasionnées par les mauvaises herbes, comme l'ont montré plusieurs études et recherches, sont considérables. On estime que ces pertes peuvent être égales à la somme des pertes dues aux parasites, aux maladies et aux prédateurs.

Toutefois, les dégâts dus à la concurrence adventice sont liés à l'abondance des mauvaises herbes dans les cultures. Une perte totale de la culture peut avoir lieu comme le montre les résultats obtenus avec une culture de pois chiche au Kef en 1984 (Tableau 1).

Tableau 1. Dégâts dans les rendements (kg/ha) d'une culture de pois chiche dus à la concurrence adventice avec les mauvaises herbes au Kef, 1984.

Traitement	Rendement en kg/ha
Parcelle maintenue propre	703
Parcelle binée 2 fois à 45 jours d'intervalle	666
Parcelle témoin	0

Les pertes de rendement occasionnées par les mauvaises herbes peuvent donc être très importantes. Tableau 2 montre l'amplitude de cette perte. Il est important de noter que deux binages à 45 jours d'intervalle permettent de réduire considérablement les pertes, lorsqu'ils sont effectués en temps opportun. La lentille toutefois doit bénéficier d'un autre passage précoce puisqu'elle se révèle non compétitive avec les mauvaises herbes lorsqu'elle est à un stade jeune.

Tableau 2. Réduction du rendement exprimée en % du témoin T1 pour les féverole, pois chiche, lentille et petit pois (moyenne des deux stations Béja et Kef).

Traitement	Féverole	Pois chiche	Lentille	Petit pois
T ₁ : Parcelle maintenue toujours propre	0	0	0	0
T ₂ : Témoins toujours enherbés	87	85	71	77
T ₃ : Deux binages à 45 jours d'intervalle	22	22	32	36

Les essais conduits à l'INRAT montrent que les légumineuses qui restent non désherbées pendant les 2-12 semaines suivant la levée subissent des pertes énormes dans le rendement (Tableau 3). Ces pertes ont été évaluées également à 8,6 kg par jour pour la féverole et peuvent atteindre 9,2 kg par jour pour la lentille en cas de forte infestation.

Les mêmes essais ont aussi montré que le fait de biner une culture de légumineuses pendant les 12 premières semaines après la levée puis la laisser s'enherber de nouveau peut résulter en une perte de la récolte (Tableau 4). A ce propos, le pois chiche se révèle plus sensible que les autres espèces à un enherbement tardif surtout si le printemps est pluvieux.

Tableau 3. Perte dans le rendement (kg/ha/jour) d'une culture non désherbée pendant 12 semaines après la levée.

Culture	Béja	Kef
Féverole	8,5	8,8
Lentille	3,2	9,2
Pois chiche	5,6	6,0
Petit pois	8,4	3,5

Tableau 4. Perte dans le rendement (kg/ha) d'une culture désherbée pendant 12 semaines puis abandonnée aux mauvaises herbes:

Culture	Béja	Kef
Féverole	311	312
Lentille	241	480
Pois chiche	469	365
Petit pois	128	27

Il est donc impératif d'assurer un contrôle des mauvaises herbes aussi bien au début du développement végétatif de la culture que durant la période précédant la maturité.

LUTTE CONTRE LES MAUVAISES HERBES

1. Binage mécanique

Cette méthode utilisant la traction mécanique et animale, présente certains inconvénients. Elle n'est pas possible lorsque le sol est mouillé. D'autre part, elle ne permet pas l'élimination des mauvaises herbes qui sont sur la ligne. De plus, les cultures doivent être semées en lignes assez espacées permettant le passage des animaux ou des tracteurs avec les outils de travail. Certaines cultures telle que la lentille est très sensible au binage mécanique qui peut provoquer des dégâts sur les plantes et entraîner même des réductions dans le rendement.

2. Désherbage chimique

Ce moyen de lutte consiste à utiliser des désherbants chimiques. Les produits les plus utilisés sont le Treflan en pré-semis combiné avec le Gesatop en pré-levée. Cette combinaison a permis un bon contrôle de la plupart des mauvaises herbes. Les produits et les doses sont donnés ci-après:

Produit	Dose
Treflan	2 l/ha de C P en incorporation
Gesatop	2 l/ha de C P en pré-émergence

L'application de ces produits nécessite toutefois une mécanisation au niveau de l'agriculteur ainsi qu'une certaine connaissance de manipulation de produits chimiques. Un surdosage peut avoir des effets phytotoxiques sur la culture, et les produits notamment à base de simazine peuvent avoir des effets résiduels néfastes qui se manifestent sur la culture qui suit les légumineuses et notamment sur les céréales. C'est une méthode qui n'est finalement utilisée que par les gros agriculteurs.

Le problème reste donc posé en entier. L'objectif est de dénicher un produit qui pourrait être appliqué en pré-levée pour remplacer le Treflan, dont l'application est compliquée et nécessite un matériel de précision, ce qui pourrait permettre d'arriver au moins au même résultat obtenu par deux binages espacés de 45 jours.

Plusieurs désherbants ayant ces caractéristiques ont été essayés par le laboratoire des légumineuses de l'INRAT. Les résultats n'ont été que partiellement satisfaisants. Certains sont mieux que d'autres mais ils sont tous inefficaces en cas de forte infestation (Tableau 5).

Tableau 5. Les trois relativement meilleurs formules d'herbicides identifiées au bout de trois années d'expérimentation à l'INRAT.

Féverole		Lentille		Pois chiche		Petit pois	
Herbicide (s)	Dose kg M.A./ha	Herbicide(s)	Dose kg M.A./ha	Herbicide(s)	Dose kg M.A./ha	Herbicide(s)	Dose kg M.A./ha
Igran	2,5	Tribunil + Kerb	1,5 0,5	Tribunil + Kerb	1,5 0,5	Tribunil + Kerb	2,0 1,5
Igran + Kerb	2,5 0,5	Gesagard + Kerb	1,5 0,5	Igran + Kerb	2,5 0,5	Maloran + Kerb	1,5 0,5
Maloran + Kerb	1,5 0,5	Maloran + Kerb	1,5 0,5	Maloran Kerb	1,5 0,5	Bladex	0,5

LE PROBLEME DE L'OROBANCHE DES FEVES ET FEVEROLE

(Orobanche crenata Forsk)

L'Orobanche crenata est un parasite obligatoire de racines, sans chlorophylle, et produit de 40 000 à 500 000 graines de semences/plante.

Moyens de lutte

1. Lutte par techniques culturales

- Arracher et bruler: inefficace et incompatible avec l'agriculteur moderne.
- Utilisation d'une culture "piège".
- Date de semis appropriée: semis tardif de variétés précoces.

2. Lutte biologique

- Inoculation de l'orobanche par Phytomyza orobanchiae Kalt qui est un insecte parasite de l'orobanche (larves s'alimentant sur les semences).
- Inoculation de l'orobanche par Fusarium orobanches (tabac et melon).

3. Lutte chimique

Par l'herbicide Glyphosate dont l'application dans différents lieux a été:

- Une à deux applications durant la floraison des fèves à la dose de 60 ml M.A./500 l d'eau/ha au Maroc.
- Une à trois applications en Espagne selon la date de semis.
- Une à quatre applications à la dose de 72-108 g de M.A./500 l/ha à 2-3 semaines d'intervalles en Egypte.

Des essais en grande culture ont été effectués à la station de l'INRAT à Béja pour voir l'efficacité du glyphosate. Les résultats ont été très encourageants et une seule application de 60 cc de matière active de glyphosate par ha au stade floraison de la culture a permis d'éliminer presque complètement le parasite (Tableau 6).

Tableau 6. Utilisation du glyphosate sur féverole, Station de Bêja, 1983/84.

	Témoin	Dose 1 60 cc M.A./ha	Dose 2 120 cc M.A./ha
Nombre d'orobanche par plante	7.2	0.2	0.4
Nombre de gousse par plante	4.8	23.8	23.5

4. Lutte par la résistance génétique de la plante hôte

Les Egyptiens ont été les premiers à observer que certaines populations de fèves sont moins attaquées que d'autres par l'orobanche. Des études plus poussées ont confirmé l'existence de résistance génétique au parasite chez cette culture. Le mécanisme de cette résistance est actuellement très peu connu mais le travail des Egyptiens a ouvert la porte à des recherches poussées dans les pays où sévit ce fléau et notamment en Espagne.

Le travail de sélection pour cette résistance a permis d'identifier une "famille" Egyptienne de fève (F 402) qui est tolérante à l'*Orobanche crenata*. Comparée à l'une des variétés la plus cultivées en Egypte (Giza 2), la F 402 s'est montrée nettement plus résistante à l'infestation par l'orobanche comme le montre tableau 7.

Tableau 7. Résistance des deux variétés de fève F 402 et Giza 2 à l'orobanche.

Variétés	Nombre d'orobanche ⁽¹⁾ par plante	Hauteur maximum de l'orobanche (cm)	% de plantes indemnes
F 402	2.2	1.8	53.9
Giza 2	11.4	10.6	0.0

1) Les variétés ont été cultivées dans des conditions d'infestation artificielles par l'orobanche.

Introduction aux Statistiques

M. Beji
Institut National Agronomique de Tunisie
Tunis, Tunisie

Le but de cet exposé est de présenter, d'une manière simple et sans formalisme mathématique, quelques concepts et principes statistiques. L'accent est mis sur l'aspect logique des sujets abordés et notre approche est purement intuitive. Après tout, beaucoup de ces concepts et principes sont intuitifs à l'origine.

ROLE ET DOMAINE D'APPLICATION DES STATISTIQUES

Les statistiques sont un ensemble de techniques qui permettent de prendre des décisions ou de tirer des conclusions dans des conditions incertaines. D'où vient l'incertitude ? Pour essayer de répondre à cette question, nous allons considérer deux exemples.

Exemple 1

Supposons qu'un sélectionneur de variétés de blé désire connaître la proportion p des agriculteurs d'une région qui cultivent une variété donnée. Pratiquement il est impossible d'enquêter tous les agriculteurs de la région pour connaître la valeur exacte de p .

Le sélectionneur devra alors se contenter d'enquêter quelques agriculteurs seulement de la région c'est-à-dire un échantillon d'agriculteurs. Supposons alors que parmi 100 agriculteurs enquêtés 25 aient déclaré qu'ils utilisent la variété en question. Le rapport $\hat{p} = \frac{25}{100} = \frac{1}{4}$ est une approximation, on dit une estimation de la valeur exacte de p qui reste inconnue.

Il est clair que si l'agriculteur fait une autre enquête la valeur $\hat{p}$ sera vraisemblablement différente de $1/4$. Ainsi, notre approximation est incertaine dans le sens qu'elle dépend de l'échantillon (les agriculteurs enquêtés) choisi.

Il ne faut pas s'attendre à ce que les statistiques nous permettent de connaître la valeur exacte de p . En revanche, on peut:

1. Mesurer l'incertitude qu'on a sur p .
2. Déterminer le nombre d'agriculteurs à enquêter pour estimer p avec un degré de précision fixé.

Exemple 2

Un agronome veut étudier l'effet de l'azote sur une variété de pomme de terre. Pour ce faire, deux parcelles de 28 m² chacune, ont été plantées et à l'une d'elles 60 unités d'azote ont été apportées.

Supposons que les rendements étaient de 115 kg et 120 kg pour la parcelle sans apport d'azote et la parcelle avec apport d'azote respectivement; soit une différence de 5 kg en faveur de l'apport d'azote. Ici aussi, il est clair que si l'expérience est répétée une seconde fois les rendements seraient différents. On ne peut déterminer exactement les rendements de la variété étudiée avec et sans apport d'azote.

Beaucoup de facteurs climatiques, pédologiques, expérimentaux, etc... interviennent, et les rendements obtenus par l'agronome ne sont qu'un échantillon de tous les rendements possibles qu'on peut obtenir. Ils sont donc incertains.

Par des méthodes statistiques on peut:

1. Choisir un protocole expérimental de façon à ce que les résultats de l'expérience soient utilisables et aient une précision satisfaisante.
2. Tester si l'azote a un effet sur le rendement.

Dans les deux exemples présentés, l'origine de l'incertitude est la même: il s'agit de tirer des conclusions à propos de toute une population (population des agriculteurs dans le premier exemple, population de tous les rendements possibles dans le second) en se basant sur les résultats d'un échantillon de cette population.

Les statistiques apparaissent donc comme une science inductive.

QUELQUES CONCEPTS STATISTIQUES

Lorsque les données ont été recueillies, quelques caractéristiques sont calculées afin de résumer l'information contenue dans ces données.

1. La moyenne (caractéristique de tendance centrale)

Les 5 valeurs suivantes représentent cinq déterminations de la teneur (en g/ha) en fer d'un sol.

$$x_1 = 5 \quad x_2 = 10 \quad x_3 = 12 \quad x_4 = 10 \quad x_5 = 13$$

La moyenne de ces 4 déterminations est:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5}{5} = \frac{5 + 10 + 12 + 10 + 13}{5} = \frac{48}{5} = 9,6$$

On peut aussi l'écrire sous la forme:

$$\bar{x} = \frac{1}{5} x_1 + \frac{1}{5} x_2 + \frac{1}{5} x_3 + \frac{1}{5} x_4 + \frac{1}{5} x_5$$

qui montre que $\bar{x}$ est la somme des 5 observations individuelles chacune étant affectée du poids $1/5$. La raison en est qu'a priori, toutes les 5 observations ont la même importance. En fait la valeur 10 est affectée du poids $2/5$ car elle a été obtenue deux fois. On peut choisir d'autres poids pour affecter les observations, la seule condition étant que leur somme soit égale à l'unité.

On peut avoir quelques doutes au sujet de la première observation et l'affecter d'un poids moins important. Ainsi, les poids

$$\frac{1}{9} \quad \frac{2}{9} \quad \frac{2}{9} \quad \frac{2}{9} \quad \frac{2}{9}$$

donnent une autre moyenne pour les mêmes observations:

$$\bar{x}^* = \frac{1}{9} 5 + \frac{2}{9} 10 + \frac{2}{9} 12 + \frac{2}{9} 20 + \frac{2}{9} 13 = 10,67$$

qui est plus proche des valeurs des 4 dernières observations. Éliminer la première observation consiste à lui affecter un poids égal à zéro. Notons toutefois que le choix de ces poids reste arbitraire.

2. La variance (caractéristique de dispersion)

Parfois la moyenne est une pauvre représentation des observations individuelles. Les valeurs 9 et 11 ont une moyenne de 10 de même que les valeurs 2 et 18. Mais si les deux premières valeurs sont proches de 10, les deux dernières en sont plutôt éloignées. Si on se contente de reproduire la moyenne uniquement, on risque de donner une image inexacte des valeurs observées. On est ainsi amené à mesurer la variabilité des valeurs individuelles. Cette mesure est appelée variance. Pour la calculer on fait la moyenne des carrés des écarts de chaque observation à la moyenne.

Ainsi la variance des 5 déterminations de la teneur en fer est:

$$s^2 = \frac{(5 - 9,6)^2 + (10 - 9,6)^2 + (12 - 9,6)^2 + (10 - 9,6)^2 + (13 - 9,6)^2}{5}$$

$$= \frac{38,8}{5} = 7,76$$

Généralement, avec n observations, la variance est définie par la formule:

$$s^2 = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{(n-1)}$$

On divise par (n-1) et non par n car il y a (n-1) degrés de liberté. En effet, il y a dans l'expression de s^2 n termes à additionner, mais il y a une relation entre ces termes puisque leur somme est nulle.

$$(x_1 - \bar{x}) + (x_2 - \bar{x}) + \dots + (x_n - \bar{x}) = 0$$

Dans notre exemple en divisant par 4 au lieu de 5 la somme des carrés des écarts à la moyenne on obtient:

$$s^2 = 9,70$$

Remarquons que pour n observations la quantité:

$$(x_1 - a)^2 + (x_2 - a)^2 + \dots + (x_n - a)^2$$

est minimale lorsque $a = \bar{x}$ la moyenne des observations. C'est dans ce sens que l'on dit que la moyenne est la meilleure représentation des observations individuelles. La variance de la moyenne est s^2/n .

L'écart-type S est défini comme étant la racine carrée de la variance. L'idée étant de se ramener à l'échelle d'origine.

Dans notre exemple:

$$S = \sqrt{9,70} = 3,115$$

Le coefficient de variance C.V est défini par la formule:

$$C.V = \frac{S}{\bar{x}} \times 100$$

Dans notre exemple:

$$C.V = \frac{3,115}{9,6} \times 100 = 32,45\%$$

3. Le coefficient de corrélation (caractéristique de relation)

Sur 5 pommiers on a déterminé le nombre total de fruits ainsi que le pourcentage de fruits vereux (Tableau 1).

Tableau 1. Le nombre total de fruits et pourcentage de fruits vereux sur cinq pommiers.

Arbre	1	2	3	4	5	moyenne	écart-type
Nombre total de fruits X	60	140	240	300	400	228	133,12
% de fruits vereux Y	58	50	42	40	27	43,4	11,61

Ces données, ainsi que le graphique qui les accompagne (Figure 1), suggèrent une relation entre le nombre total de fruits récoltés X et le pourcentage de fruits vereux Y. Lorsque X est grand Y est petit et inversement. Le coefficient de corrélation est une mesure de cette relation.

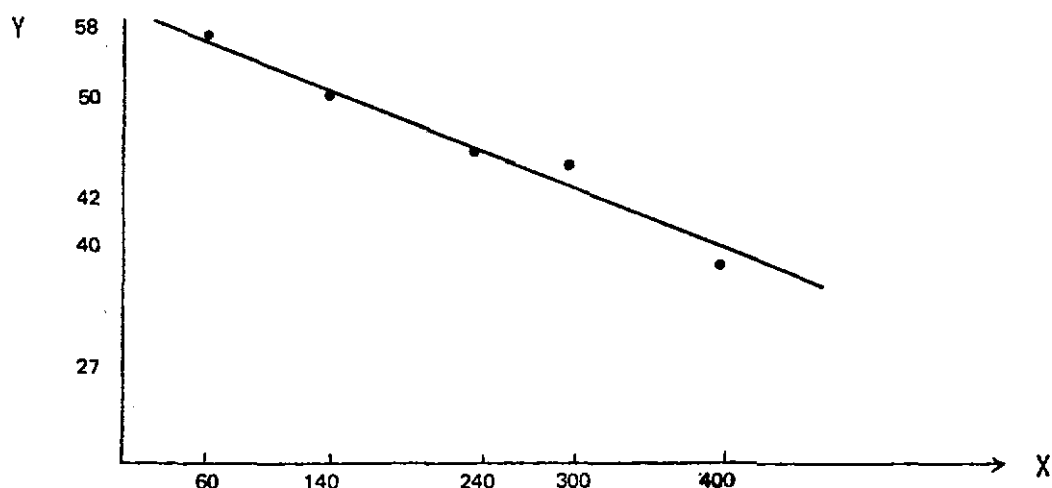


Figure 1. Relation entre le nombre total de fruits récoltés et pourcentage de fruits vereux sur cinq pommiers.

La formule de calcul du coefficient de corrélation dans le cas où il y a n couples d'observations est:

$$r = \frac{\frac{1}{(n-1)} \times [(X_1 - \bar{X})(Y_1 - \bar{Y}) + \dots + (X_n - \bar{X})(Y - \bar{Y})]}{S_X S_Y}$$

où S_X est l'écart-type de X et S_Y celui de Y (Tableau 2).

Tableau 2. Calculs du coefficient de corrélation r pour l'exemple du pommier où $n = 5$.

Arbre	1	2	3	4	5	Total
$X - \bar{X}$	-168	-88	12	72	172	0
$Y - \bar{Y}$	14,6	6,6	-1,4	-3,4	-16,4	0
$(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})$	-2452,8	-580,8	-16,8	-244,8	-2820,8	-6116

$$r = \frac{\frac{1}{4} \times (-6116)}{(133,12) \times (11,61)} = -0,989$$

Le coefficient de corrélation r est compris entre -1 et 1. Plus il est proche de -1 ou de 1 plus la relation entre les grandeurs X et Y est forte. En particulier, $r = 1$ si pour tous les couples de points $(X - \bar{X}) = (Y - \bar{Y})$. La quantité r^2 mesure la proportion de variabilité d'une variable expliquée par l'autre variable. Dans notre exemple, $r^2 = 0,978$ montre que 97,8% de la variabilité du pourcentage de fruits vereux peut être expliquée par le nombre de fruits récoltés.

Toutefois, il faut se garder d'interpréter la relation mesurée par le coefficient de corrélation comme une relation du type cause à effet.

L'ESTIMATION

Les données suivantes sont les concentrations (en mg/100 g) en vitamine C de 10 pots de jus d'orange.

Pot	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Concentration	16	22	21	20	23	21	19	15	13	23

Moyenne : $\bar{x} = 19,3$

Ecart-type : $S = 3,50$

On peut considérer ces données comme un échantillon pris au hasard de la population de tous les pots de jus d'orange. Cette population ayant une moyenne m inconnue, nous allons chercher une estimation de m c'est-à-dire une valeur qui en soit la plus proche, dans un sens précis, possible.

Plusieurs méthodes d'estimation sont possibles. Nous nous proposons d'illustrer l'une d'elles avec cet exemple.

Supposons que a soit une estimation de m . Il est possible d'écrire:

$$x_1 = a + e_1$$

$$x_2 = a + e_2$$

.....

$$x_{10} = a + e_{10}$$

c'est-à-dire:

valeur observée = estimation + erreur

Dès lors, il semble naturel de choisir a tel que les erreurs e_1 , e_2 ,, e_{10} soient en magnitude les plus petites possibles.

Actuellement on choisit a de sorte que la quantité:

$$Q = e_1^2 + e_2^2 + \dots + e_{10}^2$$

soit minimale.

Mais Q peut s'écrire sous la forme:

$$Q = (x_1 - a)^2 + (x_2 - a)^2 + \dots + (x_{10} - a)^2$$

et nous avons vu dans le paragraphe précédent que cette quantité est minimale lorsque $a = \bar{x}$. Donc, pour notre exemple une estimation de m est $\bar{x} = 19,3$.

Student a montré que, sous certaines hypothèses, que nous supposons vraies, la quantité

$$t = \frac{\bar{x} - m}{S / \sqrt{n}}$$

pour différents échantillons de taille n suit une certaine distribution symétrique autour de la valeur 0 dite distribution t à $(n-1)$ degrés de liberté (Figure 2).

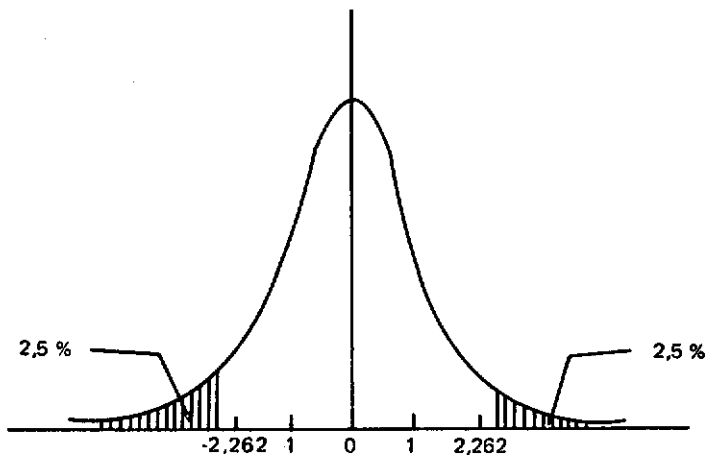


Figure 2. Distribution de t à 9 degrés de liberté.

On est 95% confiant que la valeur de t pour notre échantillon se trouve entre -2,262 et 2,262.

On est donc à 95% confiant que

$$-2,262 \leq \frac{19,3 - m}{3,50 / \sqrt{10}} \leq 2,262$$

ou que

$$16,80 \leq m \leq 21,80$$

On est 99% confiant que la valeur de t pour notre échantillon se trouve entre -3,25 et 3,25.

On est donc 99% confiant que

$$-3,25 \leq \frac{19,3 - m}{3,50 / \sqrt{10}} \leq 3,25$$

ou que

$$15,70 \leq m \leq 22,90$$

TESTS D'HYPOTHESE

Très souvent en agriculture on est amené à comparer des produits, des variétés ou des techniques culturales afin d'en choisir les mieux appropriés. Pour cela, on utilise des tests statistiques.

Le principe de ces tests est d'abord illustré par un exemple simple.

Dans certains pays, il est spécifié que le taux de matières grasses dans le beurre ne doit pas être inférieur à 80%. Le beurre d'une crèmerie a été analysé 25 fois. La moyenne et l'écart-type de ces 25 analyses sont $\bar{x} = 79,82$ et $S = 0,316$ respectivement. Doit-on pénaliser la crèmerie ?

Pour répondre à cette question, nous allons être de bonne foi et supposer que la crèmerie produit du beurre avec un taux $m = 80\%$ de matières grasses. Nous avons vu au paragraphe précédent que la quantité

$$t = \frac{\bar{x} - m}{S / \sqrt{n}}$$

suit une distribution t à $(n - 1)$ degrés de liberté.

Dans notre exemple $n = 25$ et $t = \frac{79,82 - 80}{0,316/5} = -2,85$ (Figure 3)

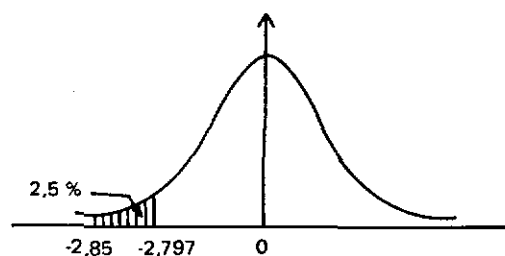


Figure 3. Distribution de t à 24 degrés de liberté.

La probabilité de trouver une valeur de t inférieure ou égale à $-2,85$ est plus petite que $0,005$.

On est donc amené à conclure que:

- ou bien le taux de matières grasses de la crèmerie est inférieur à 80%.
- ou bien que ce taux est de 80% et qu'un événement dont la probabilité est inférieure à 0,005 est arrivé.

Comme généralement on ne croit pas aux miracles, la première possibilité est retenue avec un risque de se tromper inférieur à 0,005. La démarche est donc la suivante:

1. On suppose qu'une hypothèse, généralement appelée hypothèse nulle, est vraie ($m = 80$).
2. Sur cette base, on calcule une quantité appelée test statistique ($t = -2,85$).
3. La valeur de la quantité calculée est comparée aux valeurs possibles qu'on aurait pu obtenir (la probabilité d'obtenir une valeur inférieure à $-2,85$ est plus petite que 0,005).
4. Si, à la suite, cette valeur calculée est jugée improbable, l'hypothèse nulle de départ est rejetée. Autrement, cette hypothèse n'est pas rejetée.

Nous allons suivre cette démarche pour l'exemple suivant:

On a relevé les rendements en blé exprimés en kg/ha obtenus par des cultivateurs ayant apporté respectivement 50 et 100 unités d'azote par ha au début du tallage.

avec 50 unités	4720	4310	3570	4700	4570	4260	4670	4240
avec 100 unités	4270	4890	4350	5080	5320	4610	4140	4300

La moyenne des rendements avec 50 unités est $\bar{x}_1 = 4380$ kg/ha et la variance est 148029.

La moyenne des rendements avec 100 unités est $\bar{x}_2 = 4620$ kg/ha et la variance est 186114.

Soit m_1 la moyenne théorique avec 50 unités d'azote et m_2 celle des rendements avec 100 unités d'azote.

L'hypothèse nulle à tester est $m_1 = m_2$ pour laquelle:

$$t = \frac{\bar{x}_2 - \bar{x}_1}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1) s_1^2 + (n_2 - 1) s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \times \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} =$$

$$\frac{46,20 - 43,80}{\sqrt{\frac{103,32 + 130,28}{14} \times \left(\frac{1}{8} + \frac{1}{8} \right)}} = 1,175$$

qui suit, sous certaines hypothèses que nous supposons vraies, une distribution t à $n_1 + n_2 - 2 = 4$ degrés de liberté.

La probabilité de trouver une valeur supérieure ou égale à 1,175 est plus grande que 0,1. On ne peut donc rejeter l'hypothèse nulle. Il est conseillé de refaire l'expérience.

Analyse de Variance

A. Hamrouni
Institut des Régions Arides
Medenine, Tunisie

NOTIONS GENERALES SUR L'ANALYSE DE LA VARIANCE

Comme son nom l'indique, l'analyse de variance consiste en la décomposition de la variance, ou l'inertie au nuage de points. De telles décompositions sont bien connues en mécanique (théorème de Huyghens) mais leur usage en statistique avec le dénombrement des degrés de liberté revient à Fisher (congrès de Toronto 1924).

Fisher a vu, le premier, qu'une analyse de la variance, en vue de laquelle doit être conçue l'expérimentation, permet, en mesurant l'importance relative de diverses causes, d'éprouver des hypothèses relatives à celle-ci. Rappelons ce qu'écrivait Fisher:

" Le principe essentiel qui régit notre analyse est que les erreurs dues à l'hétérogénéité du sol seront dans une expérience bien conçue séparées en 2 parts. La première aussi grande que possible sera complètement éliminée, grâce à l'arrangement adoptée, des comparaisons expérimentales, et disparaîtra dans les calculs du laboratoire de statistique de l'estimation de l'erreur. Quant au reste qui ne peut être ainsi traité, on ne tentera pas de l'éliminer sur le terrain, mais au contraire méticuleusement soumis à une permutation aléatoire, il fournira une estimation valable des erreurs auxquelles l'expérience est en but ".

Dans la méthode de Fisher, distinguons deux étapes: recueil systématique des données (plan d'expérience) et confrontation de celle-ci à une hypothèse (test statistique).

Il est commun de distinguer entre l'observation pure et simple des faits tels qu'ils se produisent et l'expérimentation ou observation de séries de fait provoquées par le chercheur pour décider des questions qu'il s'est posées pour accepter ou rejeter des hypothèses. En d'autres termes, l'observation porte sur un échantillon extrait d'une population naturelle finie; alors que l'expérimentation se donne pour objet, une population potentielle généralement infinie.

Interprétation des expériences planifiées

L'interprétation des résultats obtenus sur des expériences planifiées ne peut se faire correctement que si:

1. On a pris les précautions nécessaires lors de l'installation sur le terrain de l'expérience et pendant la cueillette des données.
2. On connaît l'analyse de variance. Celle-ci comprend une partie théorique assez difficile mais bien définie et bien structurée et une partie pratique faite d'exécution de calculs numériques.

Lorsque ces calculs encombrants se faisaient à la main, on a eu recours à une méthodologie importante de règles, de présentation de tableaux, or les "recettes" masque trop souvent les problèmes d'application que soulève la théorie. De ce fait, ils provoquent soit la méfiance des utilisateurs par son caractère à première vue empirique et par l'aridité et la lourdeur des calculs, soit qu'il engendre une confiance aveugle dans l'outil.

Il faut se rappeler que l'analyse de variance n'est pas une fin en soi, elle dépend étroitement du plan d'expérience qu'elle interprète. C'est au stade de l'élaboration du plan que les buts à atteindre doivent être définis et que les difficultés éventuelles doivent être cernées.

Définition de l'analyse de variance

L'analyse de variance a pour but de tester la non-influence d'effets sur un caractère y , à partir d'un dispositif expérimental mis en place pour déterminer l'action sur y de différents niveaux des facteurs A et B .

Elle consiste à décomposer la variance totale de y en une somme d'éléments indépendants entre eux, interprétables et testables:

$$\text{soit: } Y_{ij} = m + a_i + b_j + e_{ij}$$

Les hypothèses théoriques

1. Le modèle est linéaire
2. Les e_{ij} sont indépendants statistiquement
3. Les e_{ij} ont la même variance σ^2
4. Les e_{ij} suivant une distribution normale $(0, \sigma^2)$.

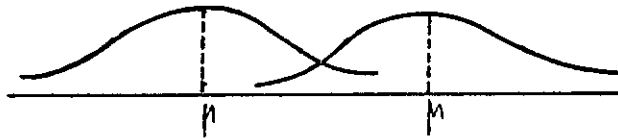
Les hypothèses de base

1. Normalité des erreurs

Les résultats qu'on obtiendrait en l'absence de tout traitement sont non pas identiques, mais (à cause de l'existence de facteurs fortuits de variabilité), dispersés suivant une loi normale. Celle-ci est entièrement spécifiée par deux nombres: sa moyenne et sa variance. Ces deux nombres ne sont pas connus mais estimés à partir d'une série de données.

2. Homogénéité de la variance

Les résultats obtenus sous l'action d'un traitement particulier sont dispersés suivant une loi analogue dont seule la moyenne μ a éventuellement changé. L'effet du traitement est donc de faire glisser la courbe parallèlement à elle-même en laissant sa forme inchangée:



Viol de cette hypothèse d'homogénéité des variances: Cette hypothèse n'est qu'approximativement vérifiée. Bien souvent, sous l'effet du traitement, la variance augmente. Cependant, les tests utilisés sont bien souvent peu perturbés. Toutefois, il est bien souvent utile de stabiliser la variance en effectuant un changement de variable.

3. Modèle linéaire

Le modèle choisi est bien souvent une affaire d'expérimentation et de connaissance préalables. Les modèles peuvent être multiplicatifs. D'ailleurs la théorie des modèles est largement controversée.

Précautions à prendre sur le terrain

Une expérience bien menée a pour objectif d'abaisser au maximum l'erreur expérimentale. On y arrive de plusieurs façons:

- en réduisant au maximum les facteurs de variation autres que ceux dont on peut mesurer les effets.

- en tenant compte dans le dispositif expérimental des facteurs de variations qui y sont maintenus. Au lieu de les répartir, on leur assigne une disposition convenable de façon à pouvoir les traiter comme "facteurs contrôlés", ce qui tend à diminuer l'erreur et à augmenter la sensibilité.
- augmenter le nombre des répétitions, ce n'est là qu'une illusion.

Parmi les facteurs aléatoires, citons le sol, le climat, le matériel végétal. Les précautions à prendre sont multiples:

- chaque parcelle appartient à un bloc et supporte une variété.
- il est nécessaire d'avoir des résultats sur plusieurs années.
- orienter la longueur de la parcelle dans le sens de la fertilité.
- effet bordure: laisser une ligne ou quelques centimètres.

Les connaissances nécessaires pour comprendre la théorie

La compréhension de la théorie de l'analyse de variance implique la connaissance de la théorie du risque et la connaissance des distributions; notamment la loi normale, la distribution du χ^2 et celle de Fisher Snedecor. Elle implique aussi la connaissance de la méthode des moindres carrés, le risque de première espèce qui consiste à une hypothèse alors qu'elle est vraie et le risque de deuxième espèce qui consiste à accepter une hypothèse alors qu'elle est fausse. Quoiqu'on dise, la statistique classique ne s'intéresse qu'au premier risque.

BLOCS COMPLETS AU HASARD

Généralités

Etudions l'effet de q traitements (3 doses d'engrais par exemple) sur le rendement d'une variété de blé dans une station expérimentale déterminée. Nous considérons q parcelles appelées "blocs" (4 par exemple) chacune étant subdivisée en p parcelles élémentaires appelées "plots". Nous aurons ainsi $p \times q$, rendements distincts y_{ij} (Tableau 1).

d_1	d_2	d_3
-------	-------	-------

d_1	d_3	d_2
-------	-------	-------

d_2	d_3	d_1
-------	-------	-------

Tableau 1. Effet de trois doses d'engrais (T_1, T_2, T_3) sur une variété de blé en 4 blocs complets au hasard.

		B_1	B_2	B_3	B_4	Totaux	Moyenne
P	T_1	y_{11}	y_{12}	y_{13}	y_{14}	$y_{1.}$	$\bar{y}_{1.}$
	T_2	y_{21}	y_{22}	y_{23}	y_{24}	$y_{2.}$	$\bar{y}_{2.}$
	T_3	y_{31}	y_{32}	y_{33}	y_{34}	$y_{3.}$	$\bar{y}_{3.}$
Totaux		$y_{.1}$	$y_{.2}$	$y_{.3}$	$y_{.4}$	$y_{..}$	
Moyenne		$y_{.1}$	$y_{.2}$	$y_{.3}$	$y_{.4}$		$\bar{y}_{..}$

Modèle: On suppose que les rendements observés suivent le modèle:

$$y_{ij} = m + a_i + b_j + e_{ij}$$

m = l'effet général

a_i étant l'effet traitement

b_j étant l'effet bloc.

On suppose que $e_{ij} \in N(0, \sigma^2)$

Comme e_{ij} sont de moyenne nulle

$$\sum_i \sum_j y_{ij} = \sum_i \sum_j m + \sum_{ij} a_i + \sum_i \sum_j b_j$$

$$\sum_j y_{ij} = \sum_j m + \sum_j a_i + \sum_j b_j$$

$$1) \sum_i \sum_j y_{ij} = pqm + p \sum_i a_i + q \sum_j b_j$$

$$2) \sum_j y_{ij} = qm + qa_i + \sum_j b_j \quad j = 1 - q$$

$$3) \sum_i y_{iq} = pm + \sum_i a_i + \sum_j b_j \quad i = 1 - p$$

Les hypothèses nécessaires

Nous avons $p + q + 1$ équations pour le même nombre de variables mais la somme de (2) donne (1) et la somme de (3) donne (1), donc il est nécessaire d'émettre d'autres hypothèses.

On suppose en outre que: a_i et b_j sont des résultats différentiels par rapport à un effet moyen général; dans ces conditions

$$\sum_i a_i = 0 \text{ et } \sum_j b_j = 0.$$

Les équations précédentes s'écrivent:

$$pqm = \sum_i \sum_j y_{ij} = m = y_{..}$$

$$a_i = \frac{1}{q} y_{i.} - \frac{1}{pq} y_{..} = \bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..}$$

$$b_j = \frac{1}{p} y_{.j} - \frac{1}{pq} y_{..} = \bar{y}_{.j} - \bar{y}_{..}$$

On démontre de plus que:

$$Q_o^2 = \sum_i \sum_j (y_{ij} - m - a_i - b_j)^2 \text{ suit une loi du } \chi^2$$

à $(p-1)(q-1)$ degré de liberté (ddl)

(1) H_1 : si on fait l'hypothèse que $A_1 = A_2 = \dots A_p = 0$
c'est-à-dire si on suppose qu'il n'y a pas de différence entre traitement.

Q_0^2 devient $(Q_0^2)_1$ on impose $(p-1)$ conditions

$$(Q_0^2)_1 - Q_0^2 = \frac{1}{q} \sum_i y_i^2 - \frac{1}{pq} y_{..}^2$$

suit une loi du $\chi^2 \propto 2$ à $(p-1)$ ddl

(2) H_2 : si $B_1 = B_2 = \dots B_q = 0$

$$(Q_0^2)_2 = \sum_i \sum_j y_{ij}^2 - \frac{1}{pq} \bar{y}_{..}^2$$

$(Q_0^2)_2$ suit une loi $\sum_i \chi^2 \sum_j \beta^2$ à $(q-1)$ ddl

(3) H_3 : si on admet $\alpha_1 - \alpha_p = 0 = \beta_1 - \beta_q = 0$

$$(Q_0^2)_3 = \sum y_{ij}^2 - \frac{1}{pq} \bar{y}_{..}^2$$

$(Q_0^2)_3$ suit une loi de $\chi^2 \propto 2$ à $(pq-1)$ ddl

Tableau résumé

On a l'habitude de présenter l'analyse précédents sous la forme de tableau tel que le suivant (Tableau 2).

$$\text{Posons } C = \frac{y_{..}^2}{pq}$$

Tableau 2. Analyse de la variance

Sources de la variation	Somme des carrés	Degré de liberté	Carrés moyens
Totale	$S_T^2 = \sum_{ij} y_{ij}^2 - C$	$pq - 1$	
Traitements	$S_A^2 = \frac{1}{q} \sum_i y_{i.}^2 - C$	$p - 1$	$S_A^2 / (p-1)$
Blocs	$S_B^2 = \frac{1}{p} \sum_j y_{.j}^2 - C$	$q - 1$	$S_B^2 / (q-1)$
Erreur	$S_e^2 = S_T^2 - (S_A^2 + S_B^2)$	$(p-1)(q-1)$	$S_e^2 / (p-1)(q-1)$

Etude du cas où l'une des hypothèses n'est pas vraie

On démontre que si l'hypothèse (1) n'est pas vérifiée:

$(Q_0^2)_1 - Q_0^2$ sera en moyenne plus grand que si H_1 était vraie.

Cette remarque justifie le test de Fisher Snedecor.

Test de Fisher Snedecor

On calcule $S_A^2 / S_e^2 = f_a$

$\frac{S_A^2}{S_e^2}$ est la valeur observée de $\left(\frac{(Q_0^2)_1 - Q_0^2}{\sigma^2(p-1)} \right) \frac{Q_0^2}{\sigma^2(pq-1)}$

qui, si H_0 est vrai, est une variable aléatoire.

$F(p-1, pq-1)$ et qui tiendra à augmenter si H_1 n'est pas vrai.

Soit F_1 la valeur limite au seuil de 5%, lire dans les tables de Snedecor.

Si $f_a > F_1$ on doit admettre qu'il y a une différence significative entre les modes d'actions des différents traitements.

Exemple

Exemple (fictif) de 5 variétés d'une céréale sur 3 blocs (Tableaux 3 et 4).

Tableau 3. Cinq variétés d'une céréale sur 3 blocs.

Variétés	Bloc I	Bloc II	Bloc III
V_1	27,0	24,2	17,5
V_2	15,4	11,0	11,5
V_3	16,8	16,4	14,6
V_4	5,4	3,9	8,4
V_5	18,0	18,3	15,0

Tableau 4. Analyse de la variance

Origine de la variation	Somme des carrés	Degré de liberté	Carrés moyens
Total	547,31	14	
Variété	468,13	4	117,03
Bloc	24,47	2	12,23
Erreur	54,71	8	6,84

$$F(2,8) = 4,46.$$

Donc il n'y a pas de différence significative entre blocs mais il y a des différences significatives des traitements.

Notion d'efficacité

Soit $(S_o^2)_1$ le carré moyen de l'erreur pour un plan expérimental p_1 et $(S_o^2)_2$ celui pour un plan p_2 .

Si nous considérons des rendements moyens portant sur k_1 mesures pour le plan p_1 , l'estimation de la variance entre deux rendements moyens sera:

$$(S^2_d)_1 = 2 \frac{(S^2_e)_1}{k_1}$$

Si le plan p_2 à k_2 mesure

$$(S^2_d)_2 = 2 \frac{(S^2_e)_2}{k_2}$$

Si nous voulons la même efficacité

$$(S^2_d)_1 = (S^2_d)_2$$

$$k_2 = k_1 \times I \text{ où } I = \frac{(S^2_e)_1}{(S^2_e)_2} \text{ est appelé efficacité}$$

CARRES LATINS

Les blocs nécessitent en général une grande superficie, il en résulte un manque d'homogénéité de la fertilité de chaque bloc et une diminution de la précision de l'expérience. Le but de la méthode du carré latin est d'essayer d'éliminer en déterminant sa contribution à la variation, le facteur hétérogénéité du sol.

Exemple

Si on a quatre traitements à comparer, le terrain d'expérience est divisé en quatre lignes et quatre colonnes soit 16 parcelles. Les traitements A_1, A_2, A_3, A_4 sont répartis au hasard de telle manière qu'ils figurent une fois et une seule dans chaque ligne et chaque colonne:

A_1	A_2	A_3	A_4
A_2	A_1	A_4	A_3
A_3	A_4	A_2	A_1
A_4	A_3	A_1	A_2

Les tables de Fisher et Yates donnent les formes.

Le modèle

Les facteurs contrôlés ici sont les lignes, les colonnes et les traitements. Les rendements seront donc désignés par y_{ijk} où $k = k(i, j)$ est fonction de i et de j . En effet, chaque fois que i et j sont connus, k est connu puisqu'à chaque parcelle a été attribuée à un traitement bien déterminé.

Posons: $y_{ijk} = m + a_i + b_j + t_k + z_{ij}$

ou e_{ij} sont des v.a $N(0, \sigma^2)$

$$\text{et } \sum_i a_i = \sum_j b_j = \sum_k t_k = 0$$

$i, k = 1, 2, \dots, P$

Tableau résumé

Comme précédemment, le nombre de degré de liberté de l'erreur est $p^2 - 1$ répartis en les lignes, les colonnes et les traitements.

(Tableaux 5, 6 et 7).

$$\text{Soit } C = \frac{y^2 \dots}{p^2}$$

Tableau 5. Analyse de la variance

Origine de variation	Somme des carrés	Degré de liberté	Carrés moyens
Total	$S_T^2 = \sum_i \sum_j \sum_h y_{ijk}^2 - C$	$p^2 - 1$	
Lignes	$S_L^2 = 1 \cdot y_i^2 \dots - C$	$p - 1$	$S_L^2 = S_L^2 / (p - 1)$
Colonnes	$S_C^2 = \frac{1}{p} y^2 \cdot j. - C$	$p - 1$	$S_e^2 = S_C^2 / (p - 1)$
Traitement	$S_t^2 = \frac{1}{p} y^2 \dots k - C$	$p - 1$	$S_t^2 = S_T^2 / (p - 1)$
Erreur	$S_E^2 = S_T^2 - S_L^2 - S_C^2 - S_t^2$	$(p-1) \times (p-2)$	

Tableau 6. Exemple de quatre traitements en carré latin à comparer.

Lignes	Colonnes			
	1	2	3	4
1	A ₁ 251	A ₂ 241	A ₄ 227	A ₃ 229
2	A ₄ 234	A ₃ 273	A ₂ 274	A ₁ 226
3	A ₃ 235	A ₄ 236	A ₂ 218	A ₁ 268
4	A ₂ 195	A ₁ 270	A ₃ 230	A ₄ 225

Tableau 7. Analyse de la variance de l'exemple.

Origine	Somme des carrés	Degré de liberté	Carrés moyens
Total	7 444	15	
Lignes	986,5	3	328,8
Colonnes	1 468,5	3	489,5
Traitement	4 621,5	3	1 540,5
Erreur	367,5	6	61,25

$$\text{d'où } s_L^2 / s_e^2 = 5,3$$

$$s_c^2 / s_e^2 = 7,9$$

$$s_t^2 / s_e^2 = 24,9$$

La valeur tabulée du F (3,6) à 5% est 4,76. On voit que les effets lignes et colonnes sont significativement différents, mais ce sont les effets traitements qui sont les plus différents. Le classement des traitements sera discuté plus loin.

Efficacité

En raison de la même manière que pour les blocs (par rapport à une répartition au hasard).

$$(p^2 - 1) (s_e^2)_1 = s_c^2 + s_L^2 + s_e^2 + (p - 1) (s_e^2)_1$$

Soit en reportant au tableau

$$(s_e^2)_2 = \frac{s_L^2 + s_e^2 + (p-1) (s_e^2)_1}{p + 1}$$

$$\text{d'où } I = \frac{(s_e^2)_2}{(s_e^2)_1} = \frac{s_L^2 + s_c^2 + (p-1) (s_e^2)_1}{(p+1) (s_e^2)_1}$$

AUTRES PLANS D'EXPERIENCE

Plusieurs plans d'expérience sont décrits dans la littérature.

Les blocs peuvent être incomplets, c'est-à-dire avoir un nombre de parcelles inférieur à celui des traitements: ces blocs incomplets sont équilibrés (balanced) si chaque traitement se retrouve avec le même nombre de fois dans l'ensemble de tous les blocs, ou non équilibrés dans le cas contraire.

Expérience Factorielles

Dans les expériences dites factorielles, on combine de toutes les manières possibles, les facteurs dont on désire étudier les effets. Par exemple si l'on veut connaître l'influence de trois types d'engrais E_1, E_2, E_3 sur 2 variétés de blé V_1 et V_2 on fera les combinaisons $V_1 E_1, V_1 E_2, V_1 E_3, V_2 E_1, V_2 E_2, V_2 E_3$.

De l'étude statistique des rendements obtenus on peut déduire une mesure de l'interaction possible d'un traitement sur un autre.

Si l'essai est fait en utilisant la méthode des blocs le modèle sera:

$$(1) \quad Y_{ijk} = m + a_i + t_j + (at)_{ij} + b_k + e_{ijk}$$

a_i est l'effet principal du traitement $A_i \quad i = 1 \dots p$

t_j " " " " " $B_j \quad j = 1 \dots q$

$(at)_{ij}$ est l'effet additionnel de l'interaction entre A_i et B_j

b_k est l'effet principal du block $B_k \quad k = 1 \dots r$.

Un tel essai nécessite la culture $p \times q \times r$ parcelles. Le modèle (1) est linéaire. Les méthodes d'analyse ne diffèrent pas fondamentalement de celles déjà faites.

Le split-plot

C'est un plan d'expérience dans lequel les traitements additionnels ou subsidiaires sont introduits en partageant chaque plot en deux ou plusieurs parties.

Partant du plan de blocs randomisés considérons le cas où:

- chaque plot peut être fractionné en split plot affecté chacun à un sous traitement différent (les mêmes ensembles de sous traitements pour tous les plots).

- l'affectation de sous traitement se fait en utilisant pour chaque plot, une permutation au hasard des split plots.

COMPARAISON DES MOYENS DES TRAITEMENTS

A cet effet, plusieurs méthodes sont utilisées, la plus connue est certainement celle fondée sur le t de student dont nous rappelons ci-après la procédure dans le cas du carré latin:

- les moyennes des traitements sont classées par ordre (décroissant ou croissant),

- différence $d = m_1 - m_2$ entre deux moyennes est la valeur observée d'une variable aléatoire D qui suit une loi normale $N(0, 2\sigma^2/p)$. Comme $12/\sigma^2$ est indépendante de D et suit de son côté une loi $\chi^2_{(p-1)(p-2)}$ la quantité:

$$\frac{d}{\sigma \sqrt{2/p}} \bigg/ \sqrt{\frac{s_0^2}{2}} = \frac{d}{s_0 \sqrt{2/p}}$$

est une variable distribuée suivant une loi de student à degrés de liberté (celui de l'erreur) soit $(p-1)(p-2)$ dans le cas du carré latin.

Soit t_1 la valeur limite de t de 5% la plus petite différence significative PPDS entre 2 moyennes sera donnée par:

$$d_0 = t_1 \times \sqrt{\frac{2 s^2}{p}}$$

Dans l'exemple du carré latin nous avons $v = 6$ $T_1 = 2,45$ d'où:

$$d_0 = 2,45 \sqrt{\frac{61,25}{2}} = 13,4$$

Toutes les méthodes utilisées pour comparer les moyennes sont sujettes à caution, celle de la PPDS est certainement la plus mauvaise lorsque nous avons à comparer plus que 2 moyennes puisque sa méthode est basée sur l'existence de 2 moyennes uniquement.

Il nous paraît préférable d'utiliser d'autres test tel celui de Duncan qui n'échappe pas cependant au phénomène de chainage;

A B C D E

CONCLUSION

L'avènement de l'ordinateur permet aujourd'hui de confronter et de mettre en ordre des ensembles immenses de données naguère vouées au feu et à la poussière. Expérimenter, c'est peut-être instaurer un système nouveau ayant pour objet l'examen exhaustif de toutes les éventualités, conditions nécessaire à toute démonstration expérimentale d'une hypothèse. Cela n'est d'ailleurs plus possible quand l'esprit a peine d'embrasser l'ensemble de variables. Avant de prétendre, il faut retrouver une hiérarchie de causes.

Il convient de reconnaître la structure du nuage et les axes sur lesquels se rangent les masses. Avec l'analyse des données c'est l'observation nécessaire à l'expérimentation qui apparaît présentement comme la méthode principale de nombreuses disciplines.

Aussi notre préférence va-t-elle vers les méthodes d'analyse des données.

REMARQUES

1. Le point de vue de l'économiste

Pour l'économiste, il ne suffit pas de détecter l'existence d'un effet réel d'un facteur, il souhaite s'assurer que cet effet soit intéressant sur le plan économique. Il suffit d'un exemple pour poser le problème.

Dans un essai où on teste l'effet de certaines doses d'azote par exemple, on constate qu'une ou plusieurs doses ont un effet significatif. L'économiste voudrait savoir si l'apport dû à telle dose d'azote par rapport à une autre plus faible est intéressant sur le plan économique. En se rappelant que le modèle de l'analyse de variance n'est en fait qu'un cas particulier de celui de la régression, il est possible de répondre à une telle préoccupation à condition bien sûr d'en admettre toutes les hypothèses de l'analyse de variance.

2. Difficulté d'utiliser cette méthode dans quelques expériences telles que les expériences pluriannuelles sur les rotations culturales qui présentent outre le problème du choix de critères de comparaison pertinents, celui des dispositifs expérimentaux, l'établissement et le traitement d'un modèle ainsi que la statistique appropriée.

En effet, la construction de plans d'expérience est rendue difficile par l'introduction de facteurs de variations sur lesquels l'expérimentation a peu ou pas de contrôle possible. Il s'agit de l'effet année et de l'effet parcelle, puisqu'il s'agit d'une succession de cultures sur une même parcelle.

Il faut noter en outre que, sur cet ensemble de parcelles, seules les observations qui porteront sur une année, la culture-test seront prises en compte. En plus, ces plans ne considèrent que le cas où les rotations sont les seuls traitements. Or, souvent l'expérimentateur désire faire intervenir d'autres traitements (fertilisation, travail du sol ...).

Ce genre de problèmes a poussé certains spécialistes tels ceux du Centre de Recherche Agronomique de Toulouse à adopter d'autres stratégies.

3. La complexité d'embrasser toute l'information

Ceux qui ont manipulé l'analyse de variance savent que cette méthode n'est pas en mesure d'embrasser toute l'information fournie par une expérience, elle se contente de traiter une partie. Ce faisant, il est à craindre que l'on ne soit dans la position de quelqu'un qui regarde un prisme d'un seul côté.

4. L'effet moyen

Parce qu'elle néglige l'effet individuel pour ne s'intéresser qu'à l'effet moyen, l'analyse de variance tronque l'information et à la limite opère sur des données qui n'existent pas dans la réalité. Citons quelques exemples pour éclaircir notre propos:

- Pour une essence forestière qui pousse à la fois en Europe et en Afrique, l'endroit moyen pourrait bien être la Méditerranée.
- Nous savons qu'étant donné deux céréales, il n'existe pas de cercle moyen qui ait à la fois, un rayon moyen et une surface moyenne.
- Etant donné deux hommes, l'homme moyen obtenu peut selon la méthode de calcul ne pas avoir la même tête.

5. La normalité des effets

Il semble que la loi normale n'existe pas dans la nature et que le biologiste appelle "loi normale" toute loi unimodale qui existe effectivement dans la nature. Or, la méthode des moindres carrés est fondée sur la distribution normale "Loi à laquelle tout le monde croit". Selon la boutade de l'astronome Lippman, "Les expérimentateurs s'imaginent que c'est un théorème de mathématiques, et les mathématiciens que c'est un fait expérimental".

AMELIORATION DES LEGUMINEUSES ALIMENTAIRES EN AFRIQUE DU NORD

Synthèse des Travaux du Stage de Formation
Tunis, 13 - 20 Avril 1986



CENTRE INTERNATIONAL DE RECHERCHES AGRICOLES
DANS LES REGIONS SECHES
B.P. 5466, Alep, Syrie

INTERNATIONAL CENTER FOR AGRICULTURAL
RESEARCH IN THE DRY AREAS
Box 5466, Aleppo, Syria