

---

**AMELIORATION DES  
LEGUMINEUSES ALIMENTAIRES**

Synthèse des Travaux du Stage de Formation  
Rabat, 15-16 Février 1985



**AMELIORATION DES LEGUMINEUSES ALIMENTAIRES**

**Synthèse des Travaux du Stage de Formation**

**Rabat, 11 - 16 Février 1985**

---

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

Rédaction française:  
Tarif Cheikh Amine, Mona Shayya  
et Joyce Bendki

## TABLE DES MATIERES

Préface	
Importance des légumineuses alimentaires au Maroc B. SAKR .....	7
Food legumes in Tunisia: Status and improvement H. GRIDLEY .....	13
L'expérimentation agronomique des légumineuses alimentaires à l'INRA: Quelques résultats R. DAHAN .....	28
Evolution, domestication and conservation of crop plants, with special reference to fababeans, chickpeas and lentils H. GRIDLEY .....	38
Amélioration de la résistance des végétaux aux maladies et ravageurs R. PIETERS .....	47
L'antracnose du pois chiche E.A. AMEZIANE .....	55
Les insectes nuisibles aux cultures des légumineuses alimentaires au Maroc M. LAHMAR.....	60
La mineuse du pois chiche: Biologie et moyens de lutte M. LAHMAR .....	63
Les mauvaises herbes et le désherbage des légumineuses alimentaires M. EL-ANTRI .....	66
Le contrôle chimique de l'Orobanche E.A. AMEZIANE .....	75
Introduction à la statistique, avec exemples d'analyse et d'interprétation B. HRIDA .....	79
Quelques notions fondamentales en expérimentation B. HRIDA .....	92

## Préface

Le Programme de l'Amélioration des Légumineuses Alimentaires (FLIP) au Centre International de Recherches Agricoles dans les Régions Sèches (ICARDA) a organisé des stages de formation dans différents pays de la région d'ICARDA, en vue de renforcer les aptitudes professionnelles disponibles dans les institutions nationales de recherches et d'augmenter le niveau d'auto-suffisance dans la recherche sur l'amélioration des cultures; ceci avec l'objectif d'intensifier la productivité des légumineuses alimentaires importantes. Ces stages de formation ont été animés par les scientifiques de FLIP en collaboration avec les cadres supérieurs scientifiques des institutions nationales concernées. Donc ces stages jouent aussi un rôle important dans la formation des formateurs.

FLIP a pris en charge son premier séminaire de formation en Afrique du Nord, à Rabat (Maroc) du 11 au 16 février 1985. Compte tenu des besoins des participants, on a utilisé le français comme langue de travail. Le séminaire consistait aussi bien en des exposés magistraux qu'en des travaux pratiques de laboratoire. Les participants étaient munis de moyens d'instruction, des textes des exposés et des travaux pratiques en français. Considérant que les exposés et les travaux pratiques seront utiles à d'autres jeunes chercheurs et constitueront une source de référence précieuse pour les futurs stages de formation en Afrique du Nord, ils ont été recueillis dans ce volume comme synthèse du séminaire. Cette publication représente la première d'une série de travaux de formation qu'ICARDA se propose de développer en langue française.

Plusieurs personnes ont contribué à rendre cette publication possible. Les plus importantes sont les instructeurs des pays maghrébins qui ont largement contribué à assumer la responsabilité de l'encadrement du séminaire et la rédaction du texte. Je saisis cette occasion afin de les en remercier. Le Dr Habib Ibrahim, scientifique responsable de la formation (FLIP), a assuré la coordination de séminaire avec l'aide du Dr Ahmed Kamel, représentant d'ICARDA en Afrique du Nord.

J'espère que cette publication, qui démontre une véritable collaboration entre ICARDA et le programme national marocain, constituera une source de référence utile pour les jeunes chercheurs des pays maghrébins.

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

## Importance des Légumineuses Alimentaires au Maroc

B. Sakr  
Institut National de la Recherche Agronomique  
Rabat, Maroc

Le secteur des légumineuses alimentaires constitué essentiellement de fève, pois chiche, lentille et petit pois occupe une place importante dans l'agriculture marocaine. Il vient en seconde position après les céréales. Son importance relève surtout des trois facteurs essentiels suivants:

1. Une teneur élevée en protéines dans les graines des légumineuses, ce qui complète les céréales pour l'alimentation de l'homme. Ces espèces servent également comme aliment appréciable aux animaux.
2. La capacité des légumineuses de fixer l'azote atmosphérique dans le sol et leur introduction dans le système de production aident au maintien de la productivité des sols et réduisent la dépendance des agriculteurs aux fertilisants azotés pour réaliser de meilleurs rendements.
3. Leur contribution dans la trésorerie du paysan (vente locale) et leur importance dans l'entrée des devises (du fait des possibilités d'exportation des excédents).

Conscients de ces rôles des légumineuses alimentaires dans l'agriculture marocaine, les agriculteurs accordent un intérêt particulier à l'introduction de ces espèces dans les assolements pratiques. Cette tendance s'avère par les superficies (450 000 ha environ) réservées annuellement aux cultures des légumineuses au Maroc.

Toutefois, les rendements enregistrés pour ces espèces sont encore très faibles à cause des attaques de maladies et ravageurs mais aussi à cause de l'utilisation de variétés non améliorées et de techniques agricoles non appropriées.

### Evolution des Superficies

Comme le montre le tableau 1, la superficie moyenne de 7 campagnes agricoles, entre 1975-76 et 1982-83, réservée annuellement à toutes les espèces légumineuses est de l'ordre de 435 300 ha. Trente-six pourcent de cette superficie est réservée à la fève suivie par le pois chiche (16,7%), le petit pois (15,0%), la lentille (12,4%) et l'orobe (4,8%).

Les autres espèces telles que l'haricot, le vigna et autres, considérées comme secondaires, occupent les 15% qui restent de la superficie totale.

On assiste à une tendance à la diminution des superficies totales depuis la campagne 1975-76. Cela est dû essentiellement à la multiplication des problèmes qui ne cessent de s'aggraver dans ces dernières années. Le cas de l'orobanche en est le plus notoire.

#### Evolution des Productions

La production moyenne de la période allant de la campagne 1975-76 à celle de 1982-83 est de l'ordre de 314 000 tonnes. Quarante-six pourcent de cette production provient de la fève (144 642 tonnes). Le reste des productions provient du petit pois (49 863 tonnes; 16%), du pois chiche (48 182 tonnes; 15%), de la lentille (30 733 tonnes; 10%), et de l'orobe (8 885 tonnes; 3%). Les autres espèces secondaires produisent 31 439 tonnes, soit 10%. Les données par année et par espèce figurent dans le tableau 2 qui montre aussi que la production totale annuelle et par espèce diminue significativement d'une campagne à l'autre.

#### Evolution des Rendements

L'analyse du tableau 3 relatif à l'évolution des rendements obtenus par les agriculteurs marocains dans les quatre principales espèces légumineuses (fève, pois chiche, petit pois et lentille), durant la période allant de 1972 à 1983 (sans compter 1977 et 1978), montre que les rendements sont très faibles et ne dépassent guère les 700 kg/ha en moyenne. Ils varient entre 1 520 kg/ha obtenus en 1974 pour la fève et 370 kg/ha en 1973 pour la lentille. Les rendements les plus élevés sont généralement obtenus par la fève (830 kg/ha en moyenne). Les petit pois et pois chiche permettent des rendements comparables (720 kg/ha). Les plus faibles rendements sont enregistrés pour la lentille (494 kg/ha).

Au niveau de chaque espèce, les rendements fluctuent beaucoup d'une année à l'autre. Ils passent parfois du simple au triple et vice versa. L'inconstance des précipitations annuelles de même que les attaques occasionées par les maladies et ravageurs sont en grande partie l'origine de cette fluctuation.

#### Localisation Géographique<sup>1</sup>

La culture des légumineuses est répandue surtout dans la zone septentrionale du Maroc. Elle se situe au nord et à l'ouest d'une ligne allant de Safi à la pointe du pêcheur sur la côte rifaine en

passant par les Rhamna, le nord du plateau central, la bordure du moyen Atlas et Taza. Plus de 20% se trouvent dans les plaines atlantiques (Abda, Doukkala, Chaouia) et autour de 12% dans le pré-rif et le rif occidental, et de 4 à 7% dans les zones sableuses côtières.

Au sud de cette ligne, les légumineuses sont beaucoup moins cultivées. Le taux de 4 à 7% n'apparaît plus que dans les régions de montagnes (surtout le moyen Atlas) et dans les périmètres irrigués de façon plus ou moins moderne: oasis du sud, Haouz, Tadla et surtout Dir de Beni Mellal et basse Moulouya.

- 1) Extrait du document relatif au plan directeur de l'INRA, Secteur des Légumineuses Alimentaires.

Tableau 1. Evolution des superficies (1000 ha) des principales légumineuses alimentaires.\*

Espèce	Fève	Petit pois	Lentille	Pois chiche	Orobe	Autre	Total
Campagnes							
1975-76	191,3	133,3	62,7	99,6	-	130,8	-
1979-80	155,8	46,8	37,0	65,5	21,9	57,0	384,0
1981-82	111,2	34,0	39,1	60,5	-	50,0	-
1982-83	170,6	47,6	78,6	64,7	20,1	21,3	402,9
Moyenne	157,2	65,4	54,3	72,5	21,0	64,8	435,3
%	36,1	15,0	12,5	16,7	4,8	14,9	

\* Source DPA, MARA

Tableau 2. Evolution des productions (tonne) des principales légumineuses alimentaires.\*

Espèce	Fève	Petit pois	Lentille	Pois chiche	Orobe	Autre	Total
Campagnes							
1975-76	230 210	112 180	51 030	41 210	-	61 470	-
1978-79	147 540	63 930	64 170	13 490	6 965	-	-
1979-80	104 449	27 247	44 581	15 995	7 389	31 354	231 015
1981-82	98 680	21 800	25 270	50 870	-	25 020	-
1982-83	142 330	24 160	55 860	32 030	12 300	7 910	274 590
Moyenne	144 642	49 863	48 182	30 733	8 885	31 439	313 744
%	46,1	15,9	15,4	9,8	2,8	10,0	

\* Source: DPAE, MARA

Tableau 3. Evolution des rendements (kg/ha) des principales légumineuses alimentaires.\*

Esèce	Fève	Pois chiche	Petit pois	Lentille	Moyenne
Campagne					
1971-72	1 030	610	680	520	710
1972-73	680	940	360	370	354
1973-74	1 520	1 030	1 130	680	1 090
1974-75	960	610	710	710	747
1975-76	1 200	510	840	680	807
1978-79	710	1 030	1 013	470	548
1979-80	670	681	582	432	591
1981-82	890	840	640	650	755
1982-83	830	860	530	410	657
Moyenne	830	722	720	494	691

\* Source: DPAE - MARA.

## Food Legumes in Tunisia: Status and Improvement

Howard Gridley

International Center for Agricultural Research in the Dry Areas  
Aleppo, Syria

Amongst the food legumes, faba beans, kabuli chickpeas, and to a lesser extent peas, lentils, and haricot beans have long been important crops in Tunisia and the North African region. They make important contributions to farmers' incomes, human diets, and soil fertility. Although some portion of faba bean and haricot bean crops are eaten green, the majority is utilized as dry seed, as is the case for the other crops. All five crops are used extensively in the preparation of soups and stews, especially during times of high energy requirements.

### AREA, PRODUCTION AND YIELD

In the main crop growing area in the North of Tunisia, food legumes accounted for 11.5% of the area sown to the major crops in 1982. Table 1 gives the area, production, and seed yield of the five legume crops cultivated in Tunisia for the period 1971-72 to 1980-81. The data show faba beans to be the most important crop, followed by chickpeas, and together they accounted for 88% and 94% of the total legume area and production respectively; the other three crops, lentils, peas and haricot beans, thus have much less significance at present.

The total area sown to the five legumes averaged 88 780 ha over the ten-year period, with the lowest being 75 000 ha in 1971-72 followed by a steady increase to 103 700 ha in 1979-80. Total production followed the same trend, peaking at 100 700 tonnes (metric) in 1979-80; the area and production of faba beans, chickpeas and peas also followed this trend. Lentils, on the other hand, showed a marked decline in area and production from 1971-72 to 1985-86 and stabilized at around 1 300 ha and 800 tonnes; the available data for haricot beans show no discernible trend. The decline for lentils is thought to reflect the problems of harvest with the associated high labor costs involved.

The seed yield of all five crops fluctuated between seasons (Table 1), which is considered to reflect differences in seasonal growing conditions. In spite of the fluctuations in yield and production, table 2 shows that in the past the production of faba beans, chickpeas and lentils has been sufficient to satisfy local

demand and allow a surplus for export. Information has yet to be obtained to ascertain whether these trends have continued in the past few years. Population growth, however, is tending to outpace agricultural production (Table 3), and this, combined with a positive income elasticity of demand for these three crops suggests that any surpluses may not last long unless efforts are made to increase production.

#### FUTURE PROJECTIONS

The data in table 1 show that the area and production of food legumes has little changed since 1978-79. The government's present five year plan (1982-86) envisages an increase in the area to 138 000 ha, and in production to 160 000 tonnes by 1986. It is considered that this will be achieved principally through improving the cultivars, soil preparation, greater utilization of phosphate fertilizers and herbicides, and through subsidizing the cost of seed and fertilizers as is practised for the cereals.

Until recently, research on food legumes on a global basis has received less attention and funds than the cereal crops. This has been true in Tunisia where cereal research programs have been underway for many years, whereas prior to 1981, only a very modest legume research program had been conducted for a few years. In 1981, INRAT (Institut National de Recherche Agronomique de Tunisie) undertook to initiate a research program on food legumes in conjunction with ICARDA (International Center for Agricultural Research in the Dry Areas) with particular emphasis on faba beans, chickpeas and lentils.

The aim of the program was to identify the main constraints to legume production, and the release of new varieties and technologies that would produce a higher economic return to the farmer.

#### INITIATION OF THE RESEARCH PROGRAM

At the start of the research program in 1981, it was decided to have three main components of breeding, pathology, and agronomy. As only a modest program had existed prior to 1981, little breeding material of the legume species was available, and the breeding component was thus initiated by growing a range of genetic material of faba beans, chickpeas and lentils, stemming from ICARDA international and nurseries and from research institutes in Europe. The aim was to select genotypes with a higher seed yield than the local cultivars, and to select chickpea and lentil genotypes that were amenable to mechanical harvesting.

Previous work and reports from Tunisia had indicated that the seed yield levels and stability over seasons were regularly affected

by a complex of diseases and insect pests. Clearly, any increase in seed yield achieved through the selection of a heavier yielding genotype is of little value if such a genotype does not possess adequate resistance against the commonly occurring diseases. Accordingly, the pathology component was initiated to ascertain the most important and prevalent diseases, and develop methods to screen genetic material for resistance to such diseases.

The agronomy component was initiated to identify the main production constraints through an evaluation of crop responses to differing levels of plant population, phosphate and nitrogen application, rhizobium inoculations, sowing dates, and the effectiveness of different herbicides in controlling natural weed populations.

## PROCESS AND RESULTS

### 1. Breeding and Pathology Components

#### Faba beans

The most important and severe diseases and pests on faba beans (Vicia faba L.) during the last four years have been chocolate spot (Botrytis fabae), Orobanche spp., stem nematode (Ditylenchus dipsaci) and the stem borer insect pest (Lixus algirus). Other locally important but less widespread diseases were alternaria leaf spot, rhizoctonia root rot, ascochyta blight and rust. The severity and distribution of all these diseases vary from season to season. For example an attack of chocolate spot devastated the crop in 1981-82 but has only occurred at a low frequency since then, causing little damage. However, to stabilize the farmers' yields, it is essential to develop locally adapted cultivars that have resistance to the most important diseases.

For the last two years, genotypes selected at ICARDA for resistance to chocolate spot, orobanche, ascochyta blight, rust and stem nematode, have been screened for their reaction to the local populations of the diseases. Owing to the irregular occurrence of natural disease development, however, effective disease levels have regularly occurred with orobanche only. Most genotypes tested in the 1983-84 season showed lower levels of orobanche infection than the local cultivar but all were light yielders and poorly adapted, which itself may result in a lower infection level. For the other diseases, greater emphasis is being placed on artificial inoculation to try and ensure regular and effective screening. Furthermore, crosses have been undertaken to incorporate available disease resistances into the local cultivars.

With regard to seed yield improvement, a large number of lines derived from ICARDA and other institutes have now been tested, and a few have outyielded the local cultivar at more than one location over two years. Data on the five heaviest yielding large and small seeded lines during the last two seasons at three locations are given in table 4. Although such data indicates a sustained and superior yield improvement over the local check, few of the advances were significant and it has so far proved difficult to select lines that significantly and consistently outyielded the local cultivar. As such, emphasis is being placed on selection in segregating populations under local environmental conditions and within populations of the local cultivars.

### Chickpeas

The most important diseases attacking chickpeas (*Cicer arietinum* L.) are ascochyta blight (*Ascochyta rabiei*) and wilt caused by *Fusarium oxysporum* and *Verticillium albo-atrum*. Infestations by the leaf miner (*Liriomyza* spp) are a regular occurrence, with consequent early leaf drop, and a possible reduction in seed yield. Attacks of ascochyta blight are largely dependent on environmental conditions, particularly in relation to humidity levels and temperatures; in a favorable season an attack can devastate the crop. For this, farmers plant the crop in spring to try and avoid the disease, but yields tend to be low as the crop is grown on a continually increasing water deficit. Ascochyta blight resistant lines that permit winter planting are available, which in turn often produce double (or more) the yield obtained from spring planting.

Wilt is widely spread in the chickpea growing areas, attacking both spring and winter planted crops. Resistant sources to this disease have been identified within the local cultivar 'Amdoun' that is widely grown by farmers. Lines selected from this landrace have proved resistant over three seasons of testing; in wilt infected soils they outyielded 'Amdoun' (Table 5), and in disease free conditions have a similar yield (Table 5). These lines have the added advantage of possessing similar seed quality characteristics to the local cultivar. Work is also at a fairly advanced stage in combining resistance to ascochyta blight and wilt in a single line.

Although winter planting offers a considerable yield advantage, the chickpea crop is largely planted in spring and the breeding program thus has a winter and spring component. In the winter program, only ascochyta blight resistant lines are normally tested (although the local susceptible cultivar is used as a check). Under disease conditions, the resistant lines significantly exceeded the yield of local check by a large margin (Table 6). Under disease free condi-

tions, however, only relatively few of the resistant lines have significantly outyielded the check (Table 6). Some lines have now been tested for the last two seasons at two locations and yield data on the five heaviest yielding lines are given in table 7. Although none of these lines significantly outyielded the check, all except one had a mean yield greater than the check, and all have the great advantage of being resistant and can therefore be winter planted with the much greater yield potential that this offers.

At the start of the breeding program for the spring crop, none of the lines tested had ascochyta resistance, but now all spring planted material from ICARDA possess resistance. As in the winter program, relatively few of the lines tested have significantly outyielded the check under conditions where wilt is not a problem; an example is given for five lines tested in 1983-84 (Table 8). Where wilt is a problem it has been shown that large increases in yield over the check can be obtained through the use of resistant lines (Table 5). It has also been found that a number of ICARDA derived lines possess resistance to wilt and significantly outyielded the check under disease conditions and have a similar yield under disease free conditions (Table 9).

### Lentils

So far this crop (Lens culinaris Med.) has been little affected by diseases, and only localised attacks of Sclerotinia spp. and rust (Uromyces spp.) were observed in 1981-82. In contrast to the faba bean and chickpea program, a number of lentil lines have significantly outyielded the local check cultivar each season. Evidence that there are lines consistently superior to the check is given in Table 10, that shows the yield of the four heaviest yielding lines tested over three years at two locations. Apart from two instances, these lines outyielded the check in all cases and gave mean yield increases of a minimum of 45% over the check.

### 2. Agronomy Component

Neither the faba bean, chickpea or lentil crop showed a significant response over two years of testing to phosphate and nitrogen application or to rhizobium inoculation. This indicated that these two elements were not limiting and that nodulation by the native rhizobia was adequate. Increasing the plant population from 5 to 13 plants/m<sup>2</sup> for faba beans and from 12 to 31 plants/m<sup>2</sup> for chickpeas produced significant increases in seed yield, but the results for lentils were inconsistent. For faba beans and chickpeas early planting in November

produced the heaviest yield and delaying sowing after December progressively reduced yield; the same trend was evident for lentils but was not so pronounced. Weeds are a perennial problem in farmers' fields and weed control trials have shown that under moderate infestation levels, weeds can reduce seed yields up to 50%; heavier infestations can result in no yield at all. The most effective herbicides have been found to be Igran (terbutryn) and Maloran (chlorbromuron) + Kerb (pronamide) for faba beans, Kerb for lentils and Tribunil (methabenzthiazuron) for chickpeas.

Table 1. Area, production and seed yield of faba beans (F), chickpeas (C), lentils (L), peas (P), and haricot beans (H), in Tunisia from 1971/72 to 1980/81. (1)

Season	Area (1000 ha)					Production (1000 metric tonnes)					Seed yield (kg/ha)				
	F	C	L	P	H	F	C	L	P	H	F	C	L	P	H
1971/72	30.0	30.0	7.0	8.0	NA <sup>(2)</sup>	18.0	21.0	3.0	4.8	NA	600	700	430	600	NA
1972/73	50.0	27.0	6.0	NA	NA	37.0	19.0	4.0	5.0	NA	740	700	670	NA	NA
1973/74	53.0	19.9	5.1	5.6	NA	43.5	17.6	4.3	4.4	NA	810	880	830	200	NA
1974/75	57.9	20.6	3.4	5.4	NA	54.1	18.4	3.6	4.6	NA	930	890	1060	850	NA
1975/76	61.2	19.8	0.6	5.4	NA	66.5	19.2	0.5	2.0	NA	1090	970	770	370	NA
1976/77	58.5	21.7	1.4	7.8	2.2	24.8	16.9	0.8	3.0	2.2	420	780	540	390	1000
1977/78	45.9	25.9	1.1	7.4	2.5	40.0	18.8	0.7	5.1	1.5	870	730	640	690	600
1978/79	54.9	32.5	1.1	9.0	3.7	46.8	21.8	0.9	5.9	3.1	850	670	820	660	840
1979/80	55.4	34.2	1.4	9.5	3.2	51.2	37.6	1.0	7.7	3.2	920	1100	710	810	1000
1980/81	49.4	32.8	1.3	7.1	1.5	40.9	32.5	1.0	4.9	1.5	830	970	800	690	1000
Mean	51.7	26.4	2.8	7.2	2.6	42.3	22.2	2.0	4.7	2.3	800	839	727	584	888

(1) Source: 'Etude du secteur des légumineuses à graines. Ministère de l'Agriculture, Direction de la Production Végétale, juin 1982, Tunis.

(2) NA: Data not available.

Table 2. Exports as a percentage of production for faba beans, chickpeas and lentils in Tunisia from 1971 to 1976 (1).

Year	Faba beans	Chickpeas	Lentils
1971	5	24	6
1972	2	30	12
1973	6	19	6
1974	7	7	1
1975	NA (2)	NA	NA
1976	NA	61	26

(1) Source: ICARDA Consultant's report 'Food Legumes in Algeria, Morocco and Tunisia', A. Watson, ICARDA, Aleppo, 1980.

(2) NA: Data not available

Table 3. Compound growth rates for population and agricultural production in Tunisia for the periods 1960/70 and 1970/79 (1).

Population increase	1960/70	2.1
	1970/79	2.4
Agricultural production	1960/70	0.1
	1970/79	4.7

(1) Source: 'The World in Figures'. The Economist Newspaper Ltd. London, 1981.

Table 4. Seed yield of faba beans<sup>(1)</sup> as a percentage of the local check of five large lines and five small seeded lines at three locations over two seasons in Tunisia.

Location	Season	Large Seeded Lines				
		ILB 10 (78S 49907)	ILB 398 (76TA5624)	ILB 1266 (Aquadulce)	ILB 1270 (Reina Blanca)	ILB 1269 (New Mammouth)
Beja	82-83	110	138	120	152	124
	83-84	133	146	201	<u>150</u>	162
Kef	82-83	93	101	82	135	94
	83-84	107	131	96	102	95
Mateur	82-83	139	-	90	103	-
	83-84	<u>165</u>	125	137	139	139
	Mean	125	128	121	130	123
Location	Season	Small Seeded Lines				
		X77 Sd11 (80S45676)	ILB 9 (74TA 22)	ILB 269 (74 TA 367)	ILB 269 (78S 48821)	ILB 407 (78S 49395)
Beja	82-83	144	-	131	-	156
	83-84	110	63	89	124	91
Kef	82-83	117	111	123	118	129
	83-84	100	100	102	99	92
Mateur	82-83	70	101	64	86	42
	83-84	122	<u>129</u>	118	110	118
	Mean	111	101	105	107	105

(1) Values underlined significantly ( $P < 0.05$ ) exceeded the local check.

Table 5. Wilt rating (WR), 100 seed weight and seed yield (kg/ha) in wilt infested land at Beja and seed yield (kg/ha) in wilt free land at Kef in Tunisia 1982/83 for superior chickpea lines selected from Amdoun.

Line	Beja			Kef	Mean seed yield
	WR <sup>(1)</sup>	100-seed weight(g)	Seed yield	Seed yield	
PL-Se-Be-81-120	<u>1.5</u> <sup>(2)</sup>	53.8	<u>1420</u>	1580	1500
- 78	<u>1.0</u>	49.5	<u>1550</u>	1250	1400
-144	<u>1.5</u>	49.3	<u>1560</u>	1120	1340
- 48	<u>1.0</u>	54.4	<u>1680</u>	970	1325
-146	<u>1.0</u>	53.4	<u>1580</u>	1015	1298
Tunisian local check (Amdoun)	8.5	43.8	49	1015	532
CV%	24.9		14.4	30.2	
SE $\pm$	0.40		123.9	230.7	

(1) WR: Rating on a 1 to 9 scale where 1 = no symptoms and 9 = complete ill.

(2) Underlined values were significantly ( $P \leq 0.05$ ) superior to the checks.

Table 6. Seed yield in kg/ha of four ascochyta blight resistant chickpea lines at Beja with a moderate ascochyta infection and at Kef (disease free) in 1984/85 in Tunisia.

Line	Seed yield		
	Beja	Kef	Mean
FLIP 81 - 293	<u>2575</u> <sup>(1)</sup>	2225	2400
ILC 482	<u>2412</u>	1725	2069
FLIP 82 - 40 C	<u>2337</u>	1625	1981
82 - 85	<u>2325</u>	1525	1925
Tunisian <sup>(b)</sup> (protected)	2081	1244	1663
Local check (not protected)	1812	1369	1591
CV%	13.4	21.4	
SE $\pm$	191.2	197.8	

- (a) Underlined values were significantly ( $P < 0.05$ ) superior to the local check not protected against ascochyta blight.
- (b) Protected/not protected against ascochyta blight infection.

Table 7. Seed yield, expressed as a percentage of the local check, of five ascochyta resistant chickpea lines tested over three seasons at Beja and Kef locations in Tunisia.

Line	1982/83		1983/84		1984/85		Mean
	Beja	Kef	Beja	Kef	Beja	Kef	
FLIP 81 - 56 W	61	11.2	129	159	63	124	108
41 W	85	67.0	132	131	107	108	105
57 W	94	65.0	108	122	101	116	101
ILC 484	94	11.2	90	85	107	162	108
3279	79	69.0	101	128	104	109	98

Table 8. Seed yield in kg/ha of the five heaviest yielding chickpeas lines across Beja and Kef locations in an ICARDA international yield trial 1983/84 in Tunisia.

Line	Seed yield		Mean
	Beja	Kef	
FLIP 81 - 24	1850	488	1169
82 - 2 C	1525	688	1107
81 - 71	1523	663	1093
82 - 26 C	1531	631	1081
82 - 25 C	1225	781	1007
Tunisian local check	1819	756	1288
CV %	37.7	20.0	
SE $\pm$	253.9	58.8	

Table 9. Wilt ratings (WR) and seed yield in kg/ha at Beja (B) and seed yield at Kef (K) and Mateur (M) in Tunisia for five superior chickpeas lines in an ICARDA international yield trial in 1982/83.

Line	WR <sup>(1)</sup>	Seed yield <sup>(2)</sup>			Mean
	B	B	K	M	
FLIP 81 - 54	<u>3.5</u> <sup>(3)</sup>	<u>1656</u>	1369	1479	1501
65	<u>3.2</u>	<u>1619</u>	1519	1344	1494
ILC 273	<u>1.5</u>	<u>1450</u>	1575	1756	1594
FLIP 81 - 52	<u>4.0</u>	<u>1194</u>	1488	1600	1427
ILC 493	3.8	<u>1138</u>	1481	1431	1350
Tunisian local check	5.0	419	1556	1388	1121
CV %	11.7	16.5	24.5	16.5	
SE ±	0.31	92.7	169.0	124.2	

- (1) WR: Wilt ratings on a 1 to 9 scale where 1 = no symptoms and 9 = complete ill.
- (2) Trial grown in wilt infested land at Beja and wilt free land at Kef and Mateur.
- (3) Underlined values were significantly ( $P \leq 0.05$ ) superior to the local check.

Table 10. Seed yield in kg/ha of four lentil lines over three seasons at Beja (B) and El Kef (K) in Tunisia.

Line	Season						Mean	Local
	1981-82		1982-83		1983-84			
	B	K	B	K	B	K		
ILL 4354	1634	<u>1716</u> <sup>(a)</sup>	<u>1904</u>	1253	1358	792	1443	154
ILL 4400	1774	<u>1334</u>	1796	<u>1350</u>	2000	1167	1570	168
Tunisian Local	1059	625	1225	663	1592	475	935	100
SE±	227.1	139.5	141.5	74.3	132.8	138.1		
ILL 28	<u>1685</u>		<u>1583</u>	1363	<u>1558</u>	1275	1493	149
ILL 262	<u>1683</u>		<u>1562</u>	1304	<u>1692</u>	1050	1458	145
Tunisian Local	665		754	1113	1108	1383	1005	100
SE±	219.3		65.5	138.1	140.7	152.9		

(a) Underlined values significantly ( $P \leq 0.05$ ) exceeded the Tunisian Local Check.

L'Expérimentation Agronomique des Légumineuses Alimentaires  
à l'INRA: Quelques Résultats

Rachid Dahan  
Station Centrale des Améliorations Culturelles  
Institut National de la Recherche Agronomique  
Rabat, Maroc

A l'Institut National de la Recherche Agronomique, c'est la Station Centrale des Améliorations Culturelles (SCAC) qui s'occupe de l'expérimentation agronomique. Dans le cadre de son programme, les principaux thèmes de recherche sont les suivants:

1. La fertilisation des cultures (céréales; légumineuses alimentaires; cultures maraîchères; cultures fourragères; cultures industrielles (betterave sucrière; cultures oléagineuses et coton).
2. L'agrotechnie des cultures (céréales; légumineuses alimentaires; cultures fourragères et oléagineuses).
3. Les rotations et les précédents culturaux.
4. Le diagnostic foliaire et l'expérimentation en arboriculture.

Dans les études entreprises par la Station, on se réfère au plan directeur de l'INRA se composant d'un certain nombre de projets qui, dans le cas des légumineuses alimentaires, concernent surtout:

- études agrotechniques des légumineuses à grains qui ont pour but principal l'exploitation du potentiel variétal supposant la maîtrise des techniques de conduite de l'espèce considérée;
- établissement de référence pour la fumure phospho-potassique des légumineuses à grains;
- études sur le travail du sol, vu son importance sur la réussite de la levée, l'enracinement et l'économie de l'eau et leur incidence sur les mauvaises herbes; et
- mécanisation des cultures des légumineuses alimentaires.

## Bref aperçu sur certains aspects agronomiques des légumineuses

Sur le plan agronomique, l'importance des cultures des légumineuses relève surtout de leur rôle dans la fixation de l'azote libre, leur effet en tant que précédents et leur action dans le maintien de la fertilité du sol et la lutte contre les mauvaises herbes.

En effet, les légumineuses sont capables de se développer sans apport azoté grâce à leurs nodosités. Ces nodosités n'apparaissent qu'à une certaine phase du développement de la plante lorsqu'elle a épuisé les réserves contenues dans les cotylédons; ensuite elle passe par une période critique qu'on nomme "faim d'azote". Quand les nodosités font leur apparition, la végétation reprend son allure normale. Sans entrer dans les détails, il est à noter que la nature biologique de ces nodosités correspond à une symbiose entre la plante et des micro-organismes qu'on appelle *Rhizobium leguminosarum* capables de réaliser la synthèse des substances azotées à partir de l'azote atmosphérique.

De même, les légumineuses constituent dans la rotation des cultures, une excellente sole préparatoire au blé et se substituent avantageusement à la jachère. Elles constituent pour le sol un véritable amendement.

### Matériel et Méthodes

En matière d'agrotechnie, l'accent a été mis principalement sur les études de date et de densité de semis des cultures de fève, de lentille et de pois chiche et sur les études de structure de semis de la culture de fève.

Ces essais ont été conduits en séquence depuis la campagne 1980-81 pour une durée de quatre années, caractérisées par des conditions climatiques sèches. Certains résultats acquis seront discutés plus loin.

Pour ce qui est du dispositif expérimental utilisé dans les essais de date et densité de semis, il s'agit toujours d'un dispositif en "split-plot" à quatre répétitions avec comme grande parcelle le facteur date de semis à trois niveaux, et comme sous-parcelle le facteur dose de semis à trois niveaux également.

Quant au protocole expérimental, il prévoit des observations se rapportant essentiellement à des notations agronomiques concernant les stades végétatifs, les accidents et maladies, le degré d'infestation par les mauvaises herbes et des données climatiques. Les résultats sont appréciés et exprimés uniquement en fonction du poids, c'est-à-dire du rendement en grain final de la culture.

Cependant, certains paramètres capables d'expliquer les variations de rendement entre les différents traitements étudiés n'étaient malheureusement pas pris en considération. Il s'agit des composantes de rendement dont nous citons: le nombre de pieds à la récolte; le nombre de tiges par pied; le nombre de gousses par tige et par pied; le nombre de grains par gousse; et le poids moyen d'un grain.

Ces composantes de rendement sont très utiles dans la mesure où elles peuvent nous fournir énormément d'informations susceptibles de nous guider dans l'interprétation et le choix d'une technique, de nous permettre également d'apprécier et d'élaborer le rendement et de voir l'impact des conditions climatiques sur ces composantes.

## Résultats et Discussion

### Fève variété 269

Durant la campagne 1983-84, l'essai date x dose de semis a été conduit dans plusieurs stations expérimentales, et nous nous limiterons dans notre discussion aux résultats de Marchouch et Jemaa Sahim. Les dates de semis, levée, floraison, formation des gousses et maturité, et la précipitation pour la campagne 1983-84 ont été enregistrées (Tableaux 1 et 2).

Les rendements obtenus à Marchouch sont importants et dépassent énormément ceux enregistrés à la station de Jemaa Sahim (Tableaux 3a, 3b). Ceci peut être attribué à la quantité de pluie qu'a reçue la culture dans chaque station et aussi sa répartition, mais surtout aux conditions sèches (vents "chergui") des mois de janvier et février à Jemaa Sahim qui ont coïncidé pour la première date de semis avec le stade floraison et formation de gousses, ce qui a entraîné un fort pourcentage de chute de fleurs et affecté négativement la pollinisation et la formation des gousses. Pour la deuxième date, les conditions sèches ont coïncidé avec le stade de croissance active et pour la date tardive avec le stade levée où l'on a enregistré une levée irrégulière et un développement végétatif très réduit. On a noté également, à Jemaa Sahim, des dégâts importants due à Botrytis fabae sur la première date de semis, et à des attaques de pucerons sur la troisième date de semis (les dégâts sont estimés à plus de 50%).

A Marchouch, la supériorité des semis précoces est très nette. En effet, avec les semis tardifs de mi-fin décembre, on note un pourcentage de levée faible et un développement végétatif réduit.

Quant à la dose de semis, on n'a jamais enregistré de différence significative entre les traitements testés. Toutefois, avec des semis précoces, on pourrait se limiter à la dose de 60 kg/ha, mais si on sème tard, on a intérêt à forcer la dose jusqu'à 140 kg/ha.

Tableau 1. Dates d'apparition des différents stades végétatifs

Stades Stations	Date de semis	Levée	Floraison	Formation des gousses	Maturité
MARCHOUCH	S1: 83/10/18	83/11/10	84/01/11	84/01/22	84/05/03
	S2: 83/11/24	83/12/22	84/03/12	84/03/28	84/05/25
	S3: 83/12/24	84/01/20	84/03/25	84/04/09	84/06/06
JEMAA SAHIM	S1: 83/10/25	83/11/24	84/01/24	84/02/17	84/04/13
	S2: 83/12/01	83/12/21	84/02/15	84/03/14	84/04/27
	S3: 84/01/02	84/01/26	84/03/11	84/04/18	84/05/07

Tableau 2. Précipitation en millimètres pour la campagne 1983-84.

Mois St.	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
MCH	0,5	3,0	59,0	63,5	15,5	19,5	74,0	60,0	97,5	0	0	0	392,5
JSH	0	1,5	65,7	38,6	3,0	11,7	45,5	23,8	33,0	0	0	0	222,8

Tableau 3. Rendements moyens en grains en kg/ha de la fève variété 269 avec différentes doses et dates de semis.

(a) Station Expérimentale de Marchouch

Date \ Dose	60 kg/ha	100 kg/ha	140 kg/ha	Moyenne
S1: 83/10/18	2440	2095	2244	2259
S2: 83/11/24	2029	2988	2226	2081
S3: 83/12/24	571	797	1041	803
Moyenne	1680	1626	1837	1714

(b) Station Expérimentale de Jemaa Sahim

Date \ Dose	60 kg/ha	100 kg/ha	140 kg/ha	Moyenne
S1: 83/10/25	700	360	390	480
S2: 83/12/01	770	670	780	740
S3: 84/01/02	180	090	250	170
Moyenne	550	370	470	460

### Lentille variété L24

Les résultats enregistrés obtenus par la SCAC à la station expérimentale de Marchouch durant les trois dernières années, ont montré que les rendements en grains sont réduits par les semis tardifs (Tableau 4).

En effet, si on avance la date de semis à mi-octobre — mi-novembre, la culture bénéficiera d'une quantité plus importante de pluie qui lui permettra un bon développement végétatif et racinaire et, par suite, de mieux utiliser les réserves en eau et en éléments minéraux du sol.

Quant aux doses de semis, on n'a pas enregistré de différence significative entre les traitements testés, et la dose de semis de 40 kg/ha paraît suffisante (Tableau 5).

Tableau 4. Rendements moyens en grains en kg/ha par époque de semis et par campagne.

Date de semis Année	Oct 18 au 26	Nov 20 au 24	Déc 16 au 23
1981-82	1355	1169	1192
1982-83	1142	1080	849
1983-84	1067	1147	858
Moyenne	1188	1132	966

Tableau 5. Rendements moyens en grains en kg/ha suivant les doses de semis et par campagne.

Dose de semis Année	40 kg/ha	70 kg/ha	100 kg/ha
1981-82	1266	1236	1215
1982-83	1001	1100	968
1983-84	1046	1006	1019
Moyenne	1104	1114	1067

### Pois chiche variété 46

Dans ce qui suit, on va examiner des résultats qui ont été obtenus dans différentes stations expérimentales de l'INRA, et en particulier celles de Sidi Kacem, de Marchouch et d'Ellouizia durant la campagne 1982-83.

A Sidi Kacem, les résultats enregistrés ont confirmé ceux de la campagne passée. Les dates de semis intermédiaires de mi-janvier associées avec des doses de semis de 90 kg/ha donnent des rendements plus importants (Tableau 6a).

Les mêmes résultats ont été obtenus à Marchouch où les semis de janvier ont permis des accroissements de rendement qui vont du simple au double, et ces accroissements sont d'autant plus importants quand la dose de semis employée est de 90 kg/ha (Tableau 6b).

A Ellouizia, ce sont les semis précoces du 20 décembre qui donnent les meilleurs résultats. Quant à la dose de semis, celle de 90 kg/ha est à conseiller (Tableau 6c).

Il apparaît donc que, pour la culture de pois chiche variété 46, ce sont généralement les dates de semis intermédiaires de mi-janvier qui sont à retenir avec comme dose optimum de semis de 90 kg/ha. Cela peut s'expliquer par le fait qu'avec les semis précoces de mi-décembre, il y a le risque du froid et de la gelée dans certaines régions qui font que la levée est faible, tandis qu'avec des semis tardifs, les stades de floraison et de formation de fruit peuvent coïncider avec des conditions climatiques sèches qui entraînent une chute accrue de fleurs et la pollinisation se fait mal.

### Etudes de fertilization

En matière de fertilization, les études ont porté sur l'établissement de référence de la fumure phospho-potassique pour déterminer les doses à apporter et le mode de localisation.

Les essais conduits dans ce sens ont souvent été sujets à des attaques parasitaires ou à des conditions climatiques sèches qui n'ont pas permis d'enregistrer de réponse à la fumure phospho-potassique. En effet, l'alimentation en phosphore et en potassium ne dépend pas seulement de l'état de réserves de ces éléments dans le sol, mais aussi de conditions favorables à l'absorption de ces éléments, et en particulier l'humidité du sol et le développement

du système racinaire. Aussi faut-il noter que l'amplitude de la diffusion des ions phosphatés et du potassium dans le sol est très limitée et les prélèvements de ces ions s'effectueraient principalement par contact direct et échange entre le système racinaire et l'atmosphère ionique entourant les particules du sol.

Le dispositif expérimental utilisé dans tous ces essais est un dispositif en blocs aléatoires complets avec cinq répétitions. Dans le cas des essais relatifs à l'étude de l'équilibre PK, dix traitements combinés de phosphore et de potassium ont été testés. Quant aux essais de localisation de ces engrais, huit traitements ont été utilisés.

Malheureusement, les résultats dont nous disposons ne permettent pas de voir l'effet de tel ou tel traitement; les rendements obtenus sont souvent très faibles.

#### Programme futur

Il est établi que la maîtrise des techniques culturales et l'emploi rationnel des engrais à côté de travaux d'amélioration génétique, de lutte contre les mauvaises herbes et les parasites détermineraient probablement l'extension des cultures de légumineuses à grains, ce qui est très souhaitable en raison de l'insuffisance de la production pour couvrir les besoins.

C'est dans ce but que nous allons lancer un programme de grande envergure qui couvrira tous les aspects de fertilisation et d'agrotechnie sur les nouvelles variétés introduites. Le programme a démarré cette année, avec des études sur les dates de semis, les écartements des lignes de semis sur trois variétés de pois chiche d'hiver.

Ainsi, tout notre intérêt va porter sur les travaux d'agronomie, ce qui permettra de donner des indications culturales sur le mode de conduite de la variété considérée.

Tableau 6a. Dates des différents stades végétatifs et rendements moyens en grains en kg/ha (Sidi Kacem)

Semis	Stades				Rendements pour différentes doses			
	Levée	Floraïson	Maturité	Récolte	60 kg/ha	90 kg/ha	120 kg/ha	Moyenne
82/12/19	83/01/14	83/04/24	83/06/22	83/06/25	1481	1717	1726	1641
83/01/19	83/02/24	83/04/20	83/07/02	83/07/02	1839	2669	1892	2130
83/02/20	83/03/04	83/05/02	83/07/02	83/07/05	1383	1573	1526	1490
					1567	1986	1740	

Tableau 6b. Dates des différents stades végétatifs et rendements moyens en grains en kg/ha (Marchouch)

Semis	Stades				Rendements pour différentes doses			
	Levée	Floraïson	Maturité	Récolte	60 kg/ha	90 kg/ha	120 kg/ha	Moyenne
82/12/20	83/01/10	83/04/02	83/06/10	83/06/29	893	893	1335	1043
83/01/17	83/02/24	83/04/29	83/06/25	83/06/29	1524	1845	1607	1658
83/02/22	83/04/06	83/05/15	83/07/08	83/07/15	833	857	917	869
					1083	1198	1289	

Tableau 6c. Dates des différents stades végétatifs et rendements moyens en grains en kg/ha (ElLouizia)

Semis	Stades				Rendements pour différentes doses			
	Levée	Floraïson	Maturité	Récolte	60 kg/ha	90 kg/ha	120 kg/ha	Moyenne
82/12/20	83/01/16	83/03/25	83/06/10	83/06/20	1929	2071	1950	1983
83/01/20	83/02/21	83/04/15	83/06/16	83/06/20	1386	1686	1800	1623
83/02/21	83/03/29	83/05/01	83/06/25	83/06/27	1100	1386	1398	1291
					1472	1714	1714	

Evolution, Domestication and Conservation  
of Crop Plants, with Special Reference to  
Faba beans, Chickpeas and Lentils

Howard Gridley

International Center for Agricultural Research in the Dry Areas  
Aleppo, Syria

Agriculture can be defined as the science, art and business of cultivating the soil, production of crops and raising of livestock useful to man. Initially, man was a hunter and gatherer of edible and wild plants, and agriculture only started when man changed to a more settled existence and began to cultivate plants. Exactly why this change occurred is not clear; perhaps for some people agriculture may have been an escape from ecological circumstances in which food was scarce, or perhaps some people just looked ingeniously for an alternative. Whatever the reasons are, the move toward settled agriculture resulted in the domestication of certain wild plants and the start of crop evolution.

#### EVOLUTION

Evolution, in conjunction with natural selection, are considered to be the two processes responsible for the vast range of natural plant and animal species existing in the world today. Evolution is the cumulative change in the characteristics of populations of organisms that occur in successive generations related by descent. Natural selection is the principal mechanism of evolutionary change. The theory that evolution occurs by natural selection asserts that, of the range of different individuals which make up the population of a given species, those individuals having certain characteristics contribute more offspring to the succeeding generation than those having other characteristics. If such characteristics are heritable, the composition of the population is thereby changed.

Differences or variation between individuals in a population arise from gene mutations and these are the building blocks of evolution. A mutation that enhances reproductive fitness (i.e. allows more offspring to be left) will tend to be retained and be reflected in an improved adaptation of that population to the environment. As a successful population expanded within an area, certain portions became geographically isolated and developed into separate species (the process of speciation) that themselves in time became reproductively isolated.

Aside from gene mutations, plants, but not animals, have another evolutionary resource, namely polyploidy, which is basically a plant with more than two basic sets of chromosomes. The two basic forms of polyploidy are auto- and allo-polyploidy and although polyploidy may sometimes be selectively advantageous, more generally its significance lies in: (1) facilitating recombination; (2) permitting adjustment of the mating system; (3) offering an opportunity for permanent inter-specific hybridity; and (4) offering an opportunity for long term diploid differentiation by way of adaptive adjustment of duplicate loci.

Man's effect on the range of 'wild' plant species that evolved naturally, and on the variation within a species, started with cultivation and his conscious decision to select and retain the progeny of this or that plant in a population of a species in preference to others. In time, these actions produced a genetic differentiation between the 'wild' and the 'selected' population, and hence the first step in the evolution of a crop plant. At some stage, the latter population may be said to have become domesticated as a crop plant.

Clearly, cultivation and settled agriculture were a pre-requisite for the domestication of wild plants and their evolution into a recognized crop. Up to 200 years ago, it was man, as farmer and user of the products, who was responsible for crop evolution. And probably the total genetic change achieved by farmers over the millenia was far greater than that achieved by the last one or two hundred years of systematic science based effort.

The relative importance of natural and human selection in the evolution and domestication of crop plants has surely changed over the millenia in favour of the latter. However, it is worth noting a few plant characteristics that are considered to have been associated with the two types of selection.

#### Some features of natural selection

1. Altered photoperiod/vernalization requirements associated with latitudinal climatic adaptation.
2. Non-shattering infructescences/fruits.
3. Reduced seed (or tuber) dormancy.
4. Disease resistance/tolerance.

#### Some features of human selection

1. Reduced plant size, determinate growth and dwarfing; often associated with more favourable partition.
2. Less branched plants leading to fewer but larger and more easily harvested inflorescences.

3. Reduction in spinniness, fiber and toxic substances.
4. Increase in succulence and sweetness of fruits with reduction in seed content and fiber.
5. Development of attractive colors and patterns.

#### GEOGRAPHY OF CROP EVOLUTION

The start of crop evolution has been described briefly above. Every crop originated somewhere and Vavilov (1951) concluded that each crop had a characteristic primary center of diversity which was also its center of origin. At the time, he recognized 12 areas in which, he argued, all our major crops had been domesticated. These were: Abyssinia, Mediterranean basin, Persia, Afghanistan, Indo-Burman, Siam-Malaya-Java, China, Mexico, Peru, Chile, Brazil-Paraguay, USA.

It is now realized that for many crops the initial phases of evolution seem to have been spread out over large, rather ill defined areas with crops travelling with man and evolving en route (Harlan 1975). And thus the idea of 12 areas of outstanding evolutionary activity disappears and there now seems to be little connection between the source of the wild ancestors, area of domestication and area of evolutionary diversification. One now thinks of a geographical continuum of domestication and crop evolution wherever agriculture is practised.

The earliest dates for plant domestication are 6000-7000 BC from the Near East region and include such crops as flax, pea, vetch, lentil and einkorn and emmer wheats. Since these dates, all other present day crop plants have evolved from the wild state and have been domesticated; today there are approximately 120-130 major crops and around a further 100 minor crops. No doubt some crops have disappeared without trace and it cannot be said that domestication of crops has been limited to specific historical periods. Domestications, indeed, are spread continuously over time, a reflection of the ever-changing demands of human societies for new and improved agricultural products. Table 1 gives some details on the evolution of some crops that are either grown in North Africa or imported for consumption, and these serve to show how diverse the places and times of domestication have been.

The concepts of evolution, origin and domestication are drawn together in a schematic form in Figure 1.

## EVOLUTION AND DOMESTICATION OF FABA BEAN, CHICKPEA AND LENTIL.

1. Faba Bean (Vicia faba L.)

Vicia faba is a diploid with  $2n=2x=12$  and no polyploids are known. Other Vicia species have  $2n=10, 12, 14$  and none can be hybridized with V. faba. No wild ancestor of V. faba is known, although it has been suggested that some other species of Vicia (e.g. V. narbo-nensis, V. galilaea) had a common ancestor with V. faba (Zohary and Hopf 1973), but there is no direct evidence of this.

The classification of faba beans has been based mainly on a division into three seed sizes: small = V. faba (minor), medium = V. faba (equina) and large = V. faba (major). Seed length has also been used as an additional differential character but not all authors have used the same limits of seed weight and length to distinguish the three groups.

Recent studies have concluded that faba beans originated in West or Central Asia (Hawtin and Hebblethwaite 1983), and the earliest archeological finds of major types came from Iraq dated around 1000 AD, but the other types (equina and minor) have been found in Egypt and dated earlier at around 2400 BC. Cubero (1974) supposed the center of origin to be in the Near East, with the species radiating out in four directions: (1) to Europe, (2) along the North African coast to Spain, (3) along the Nile to Ethiopia and (4) from Mesopotamia to India. Secondary centers of diversity may have later become established in Afghanistan and Ethiopia.

The faba bean is partially allogamous and differences in degree of outcrossing have been demonstrated. However, the ability to self in the absence of tripping is present in populations from India, Africa and the Mediterranean. It is associated with short season adaptation, few flowers per node, short or medium plant height and strong tillering capacity.

2. Chickpea (Cicer arietinum L.)

The genus Cicer has 39 known species distributed mainly in Central and Western Asia, and the most common somatic chromosome number in the genus is  $2n=2x=16$ . No information is available regarding the interrelationship between the cultivated C. arietinum and the wild species, and crosses between the wild and cultivated species have not been successful. Chickpea is mainly inbred, although a low level of insect pollination can occur.

The center of diversity of the genus lies in Western Asia, probably in the Caucasus region (Maesen 1972). The progenitor of the

present day C. arietinum must have spread westwards along the Mediterranean and over land to India. There is evidence of its cultivation in the Mediterranean area in 3000 and 4000 BC and the earliest records of chickpea are dated at 5450 BC from a site in Turkey.

A second center of diversity is India where the earliest record is dated at 2000 BC from a site in Uttar Pradesh, and this is thought to represent an overland introduction. Early records from peninsular India are dated 200-150 AD and there is evidence that this may represent an introduction via an overseas route. Ethiopia is a third center of diversity where chickpea has been cultivated since 1000 BC, and it probably came overland from the Mediterranean.

During the course of its dispersal, chickpea has diverged into two groups. In the Western part of its distribution the cultivars have large owl-head shaped, light colored seeds with little wrinkling of the seed coat. In the Eastern and Southern part of its distribution, and especially in India, the cultivars have seeds which are small, typically wrinkled, ram-head shaped and dark colored. The former type are commonly referred to as kabuli chickpeas and the latter to desi chickpeas.

### 3. Lentil (Lens culinaris Med.)

The genus Lens consists of the crop (L. culinaris = L. esculenta) and four wild species which are restricted to the Mediterranean basin and South Western Asia. All members of the genus are predominantly self-pollinated, and the wild species L. orientalis is considered to be the ancestor of the cultivated lentil. L. orientalis and L. culinaris are diploid with  $2n=2x=14$ . L. orientalis is distributed mainly in Turkey, Syria, Palestine, Iraq and Iran, and significantly this is the area from which comes the earliest archaeological evidence of lentil cultivation.

Lentils are associated with the start of agriculture in the old world which was initiated by the domestication of einkorn and emmer wheats, barley, pea, flax and lentil. Carbonized lentil seeds from villages in the Near-East have been dated at 7000-6000 BC.

Lentils were closely associated with the spread of agriculture to Greece and Bulgaria and accompanied the expansion of wheat and barley in the Near-East, the Mediterranean basin and Central Europe. The cultivated lentils are divided into two sub-species or races of macrosperma (large seeded) and microsperma (small seeded) and several centers of diversity have been recognized, in particular, Afghanistan, Turkey and Ethiopia.

## GENETIC CONSERVATION

Since the second world war there has been an explosive growth in world population and a consequent swing towards technology-based agriculture. In a country with such agriculture, plant breeding efforts have often resulted in particular crops being represented by a few varieties. These varieties have replaced the local landraces and cultivars resulting in loss of genetic variability (Fig.1). Genetic variability is a pre-requisite for successful plant breeding and although in many cases breeding markedly increased yields, this has often been succeeded by a check on progress and an unadaptability to unforeseen crises. The remedy being adopted is to ensure a flow of parents from well adapted reserves, but the genetic variability in these reserves must come from somewhere, and the need to maintain reserves will never become less; there will be a requirement in perpetuity.

In many developing countries the crops grown comprise local landraces/cultivars which are more often heterogeneous populations containing considerable stores of genetic variability. However, during the past 20 years or so these stores have declined as methods of temperate technology-based agriculture have been adopted with consequent replacement of the local cultivar by a few new varieties. Inevitably this will continue and hence the need for genetic conservation in order to compensate for declining natural variability by deliberate maintenance. The rate of decline and urgency of the situation varies rather widely between crops, but in the longer run it cannot be doubted that a conservation effort will be necessary for all crops.

The strategy for conservation can be briefly considered under six headings:

1. Contents and scope of collection: Ideally this should encompass the whole crop and its cultivated and wild relatives.
2. Exploration: The places for exploration will depend on where the variability is and what has already been collected and from where.
3. Site of maintenance: The site must be biologically appropriate to the material that is to be grown and maintained there. Also for long term security a duplicate maintenance site is highly desirable.
4. Methods of collection and maintenance: From the first principles of genetics, it has been concluded that the best strategy is to collect large numbers of more or less random samples. For maintenance, there are basically three methods depending on the biology of the crop, which are: (a) seed propagated plants (roughly all annual and

biennial crops plus a few perennials) which must be maintained as seed lines; (b) seed propagated perennials; (c) perennials which must be maintained as clones.

5. Information: It is essential that the genetic material (accessions), in a collection, be characterized and that this information is easily obtainable. The current tendency is to develop elaborate botanical and agronomic descriptions of all accessions in a collection and store them in a readily-retrievable, computerized form.

6. Utilization: This is the end point and the very reason for genetic conservation. There is a steady outflow of samples of accessions in response to requests for particular lines or for groups of lines having one or more desired characters. Clearly, outflow will have to be smoothly compensated by the routine regeneration and maintenance processes.

#### References

- Cubero, J.I. 1974. On the evolution of Vicia faba L. Theoretical and Applied Genetics 43:59-65.
- Harlan, J.R. 1975. Geographic patterns of variation in some cultivated plants. Journal of Heredity 66:184-191.
- Hawtin, G.H. and P.D. Hebblethwaite. 1983. Background and history of faba bean production. Pages 3-22 in The Faba Bean (Hebblethwaite, P.D. ed.). Butterworths. London, United Kingdom.
- Maesen van der, L.J.G. 1972. Cicer. A monograph on the genus with special reference to the chickpea (Cicer arietinum), its ecology and cultivation. Wageningen, the Netherlands.
- Vavilov, N.I. 1951. The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. Chronica Botanica, Waltham, Massachusetts, USA. (Translated from the Russian of selected writings).
- Zohary, D. and M. Hopf. 1973. Domestication of pulses in the old world. Science, N.Y. 181:887-894.

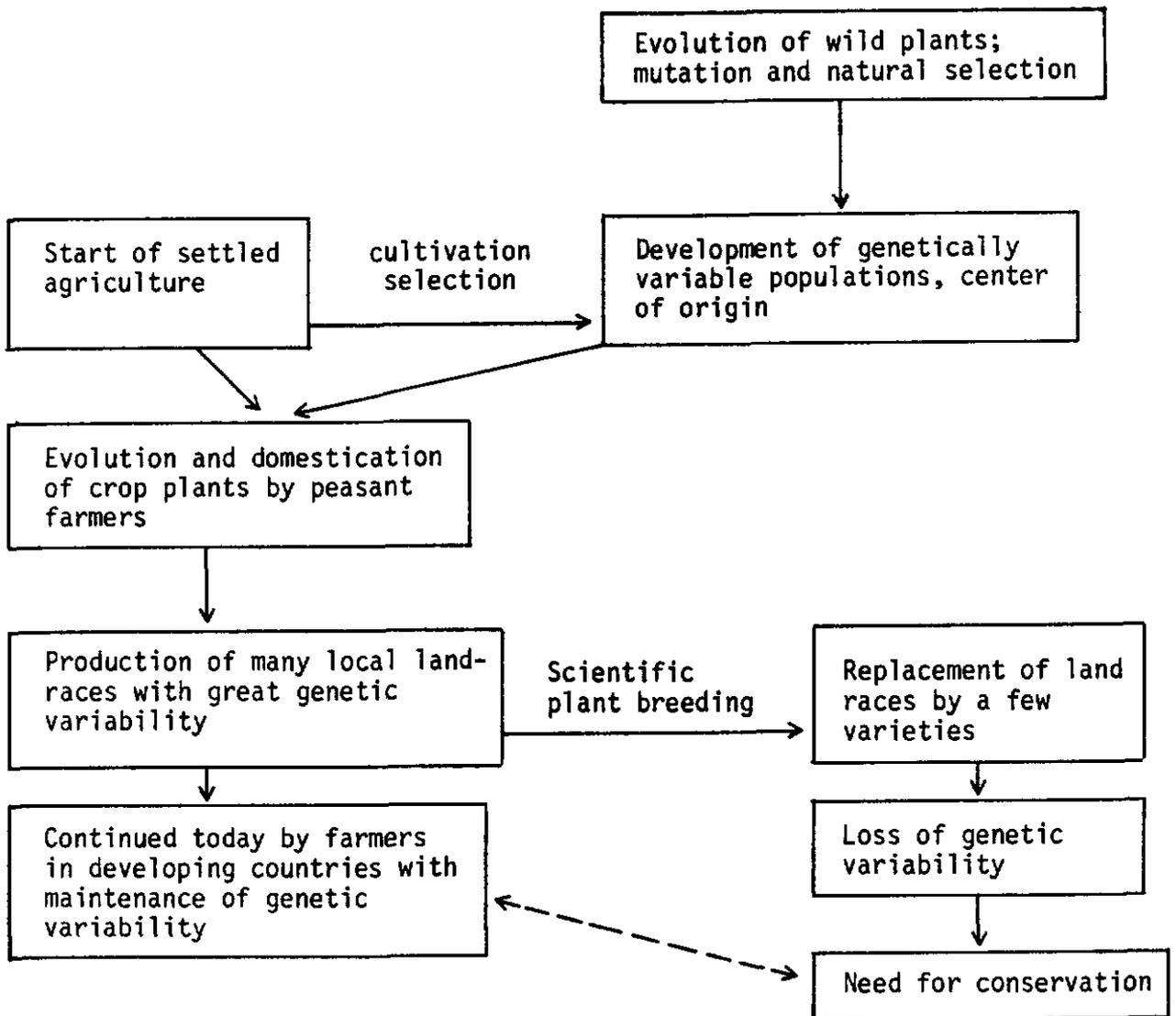


Figure 1. Schematic diagram of crop plant origin, evolution and domestication.

Table 1. Presumed place and date of origin of a number of crop species cultivated or utilized in North Africa.

Crop	Botanical family	Place of origin	Time of origin
Pineapple	Bromeliaceae	C. S. America	0 - 1700 AD
Tea	Cumelliaceae	S. E. Asia	0 - 5000 BC
Sugar beet	Chenopodiaceae	Europe	After 1700 AD
Groundnut	Leguminosae	C. S. America	0 - 5000 BC
Cucumber	Cucurbitaceae	India	0 - 5000 BC
Wheat	Graminae	Near East	Before 5000 BC
Barley	Graminae	E. Mediterranean	Before 5000 BC
Rice	Graminae	Indo-China	0 - 5000 BC
Grape	Vitaceae	S. W. Asia	0 - 5000 BC
Sunflower	Compositae	N. America	0 - 5000 BC
Coffee	Rubiaceae	W. Africa	0 - 1700 AD

## Amélioration de la Résistance des Végétaux aux Maladies et Ravageurs

R. Pieters  
Organisation des Nations Unies pour  
l'Alimentation et l'Agriculture  
Rome, Italie

Il y a en principe quatre méthodologies qui peuvent réduire les pertes de rendement causées par des agents pathogènes:

1. Exclusion (contrôle d'importation)
2. Eradication (l'inoculum est complètement éradiqué)
3. Protection (le parasite est tué avant qu'il ne puisse attaquer l'hôte.
4. Résistance (la plante-hôte freine le développement de la maladie)

Chaque méthodologie a ses inconvénients: l'exclusion est clairement une méthodologie temporaire, l'éradication n'est efficace que si très peu d'inoculum reste après l'éradication, la protection par des produits chimiques est coûteuse et laborieuse et, la résistance est une solution à long terme.

Pour l'agriculteur, la résistance est quand-même la méthodologie la plus facile à utiliser. Si la résistance aux maladies dans ses cultures est efficace, aucune protection additionnelle n'est nécessaire. Pour cette raison la création de nouvelles variétés, résistantes aux maladies et ravageurs doit être prioritaire dans les programmes nationaux.

### LA RESISTANCE

La résistance d'une plante se mesure par sa capacité à freiner le développement d'un parasite après l'infection. Ce frein peut être soit complet (et ainsi assurer l'immunité) ou très faible (on parle alors de sensibilité). Toute plante qui ne meurt pas immédiatement après l'attaque d'un parasite possède un certain niveau de résistance. C'est ainsi que, comme précédemment indiqué, il est possible de distinguer au moins trois types de résistance: les résistances verticale, horizontale et d'interaction.

#### 1. La résistance verticale (RV)

Il s'agit d'une résistance essentiellement monogénique et qualitative dont les niveaux pourraient être identifiés par des méthodes descriptives telles que le type de réaction. La résistance verticale est

"race-specific". Une relation gène pour gène a été démontrée dans plusieurs cas. La protection est complète si les gènes de résistance dans la plante-hôte sont incompatibles avec les gènes de virulence dans le pathogène; par contre, la sensibilité est complète si les gènes sont compatibles. Les gènes verticaux sont généralement dominants et nombreux. La situation gène pour gène implique que des races nouvelles pourraient apparaître qui soient capables d'attaquer des plantes jusqu'alors résistantes. C'est pourquoi la résistance verticale a été abandonnée comme moyen de protection contre les parasites mobiles et adaptables. Malgré tout, l'utilité de cette forme de résistance dans certains systèmes hôte-parasite plus stables ne doit pas être négligée.

Du point de vue de l'amélioration génétique, la résistance verticale est idéale. Elle est souvent monogénique et dominante, ce qui signifie qu'en général, un simple programme "backcross" suffit pour transférer la résistance d'une plante à l'autre. Cet avantage de la résistance verticale permet parfois l'utilisation de cette dernière sans tenir compte de ses limitations.

## 2. La résistance horizontale (RH)

Il s'agit essentiellement d'une résistance polygénique et quantitative dont les différents niveaux peuvent être identifiés par des méthodes numériques telles que le calcul de pourcentages. Les gènes horizontaux sont normalement des gènes mineurs avec des effets additifs. La RH est "race non-specific". Il n'existe pas de relation gène pour gène entre les gènes de résistance dans la plante-hôte et les gènes de virulence dans le pathogène. La résistance horizontale est une qualité proportionnelle; sous différentes conditions, le niveau de résistance d'une variété peut varier, mais son niveau relatif par rapport aux autres variétés reste le même. La variété qui est la plus résistante ou la plus sensible conserve cette qualité.

Il a été démontré que la résistance horizontale est durable. Dans toute l'histoire de la recherche agronomique, il n'a été relevé aucun cas de résistance horizontale rompue. Pour un améliorateur désirant une protection durable de ses cultures contre certaines maladies, la solution la plus logique consiste à utiliser la résistance horizontale. Seules l'ignorance et la peur de l'inconnu ont empêché l'adoption de ce type de résistance comme protection réelle des végétaux.

Du point de vue de l'amélioration, la RH est relativement complexe. Elle est polygénique et les effets des gènes individuels sont souvent réduits. Il est nécessaire, pour parvenir à un niveau de résistance acceptable, d'accumuler plusieurs gènes de résistance.

Pour cette raison, des programmes de croisements multiples ("multiple cross") ou croisements composés "composite cross" doivent être employés. Bien que, de l'avis de la majorité des améliorateurs de végétaux, des procédures laborieuses d'amélioration représentent un inconvénient. Il est évident que, dans certains cas, l'avantage que constitue une protection durable des végétaux est bien supérieur.

### 3. La résistance d'interaction (RI)

Il s'agit d'une résistance des populations hétérogènes. Bien que les divers génotypes d'une telle population ne soient guère résistants individuellement, ils peuvent, une fois réunis, procurer un niveau de résistance très acceptable. Ce principe est notamment utilisé dans les multi-lignées (multi-lines) et les mélanges de variétés. La résistance présente dans les génotypes individuels sera essentiellement verticale alors qu'au niveau de la population, elle sera surtout additive comme c'est le cas dans la résistance horizontale. Du fait de la nouveauté de cette méthode de protection des végétaux, l'information concernant la durabilité de cette résistance demeure encore insuffisante. Il semble cependant qu'elle pourrait aboutir à une protection assez durable.

L'amélioration de la résistance d'interaction porte surtout sur les caractéristiques agronomiques des génotypes individuels d'une population. Cette dernière doit être hétérogène quant à la résistance des éléments individuels, mais homogène sur le plan agronomique.

Pour construire une telle population, on choisit des génotypes avec différents types de résistance. Leurs caractéristiques agronomiques sont ensuite ajustées en fonction de la moyenne. Ce genre de résistance est souvent utilisé pour sauver un programme de résistance verticale en combinant, au sein d'une population, des génotypes avec différents types de résistance. Leurs caractéristiques agronomiques sont ensuite ajustées en fonction de la moyenne. Ce genre de résistance est souvent utilisé pour sauver un programme de résistance verticale en combinant, au sein d'une population, des génotypes avec des gènes verticaux rompus.

La RI a comme avantage sa durabilité. Elle comporte néanmoins des inconvénients de taille. La construction et le maintien d'une population RI sont difficiles et ne peuvent être réalisés que de manière multidisciplinaire. La présence d'une société de semence spécialisée est indispensable. De ce fait, cette approche semble difficilement viable dans des pays en voie de développement.

## Le Choix d'une Forme de Résistance

Chaque type de résistance a ses avantages et ses inconvénients:

	<u>Avantages</u>	<u>Inconvénients</u>
RV	Facile à identifier et à améliorer	Type de résistance instable (durée moyenne d'efficacité 3-5 années)
RH	Type de résistance stable	Difficile à identifier et à améliorer
RI	Type de résistance stable	Difficile à construire et à maintenir. Il est impératif d'avoir une société de semences spécialisée.

Chaque améliorateur doit se rendre compte des avantages et des inconvénients propres à chaque type de résistance avant de décider quelle forme de résistance sera la plus avantageuse et la plus efficace dans les conditions prédominantes. La figure 1 présente un diagramme de décision pour faciliter ce choix.

La première décision à prendre est de savoir si l'amélioration envisagée sera rentable. C'est une question évidente qui est trop souvent oubliée. Il est inutile de se concentrer sur les maladies les moins importantes.

Si l'on se décide en faveur de l'amélioration de la résistance, la nature de la plante hôte doit être considérée. Dans les cultures pérennes, la résistance verticale est inutile, étant donné que sa durée moyenne d'efficacité est de 3 à 5 ans. La probabilité qu'une plante pérenne soit infectée pendant sa vie par une race physiologique compatible est de presque 100%. Dans ce cas, la résistance horizontale est sans doute la meilleure stratégie.

Pour les cultures annuelles, il y a différentes options. L'efficacité de la résistance verticale doit d'abord être examinée. La majorité des gènes verticaux utilisés contre des pathogènes mobiles et adaptables a échoué (*Phytophthora* de la pomme de terre, mildiou et rouille des blés, etc...). Mais dans certains cas exceptionnels, une protection durable est possible (la variété Sr6 dans le blé aux États Unis et en Australie). Dans de tels cas exceptionnels, la résistance verticale aux maladies mobiles et adaptables pourrait être utilisée.

Quand le pathogène est adaptable mais immobile, la résistance verticale peut être très efficace. Cependant, cette efficacité dépend entièrement du niveau technique et administratif de la recherche agronomique locale. On a relevé également de tels exemples exceptionnels de résistance contre le cyste des pommes de terre et le *phytophthora* de soja.

Quand un programme de résistance verticale s'avère inefficace après quelque temps, un programme de sauvetage peut être tenté en ayant recours à la résistance d'interaction. Des succès ont été obtenus avec les "multi-lines" en Colombie (rouille de blé), aux Etats Unis ("crown-rust" de l'avoine) et avec des mélanges de variétés d'orge en Angleterre.

La résistance horizontale est la solution finale quand toutes les autres possibilités ont échoué. Les améliorateurs de pommes de terre n'utilisent plus les gènes R contre le phytophthora. Puccinia maydis est contrôlé entièrement avec la résistance horizontale.

Il faut souligner pour conclure que le choix du type de résistance est extrêmement important. L'amélioration de la résistance doit aboutir de préférence à une solution durable aux problèmes phytiatriques. Dans chaque système hôte-parasite, il convient de choisir un type de résistance (soit RV, soit RH, soit RI) qui donne une protection durable aux cultures concernées. Il ne faut jamais fonder le choix d'un programme d'amélioration sur des espoirs mais toujours sur des données tangibles.

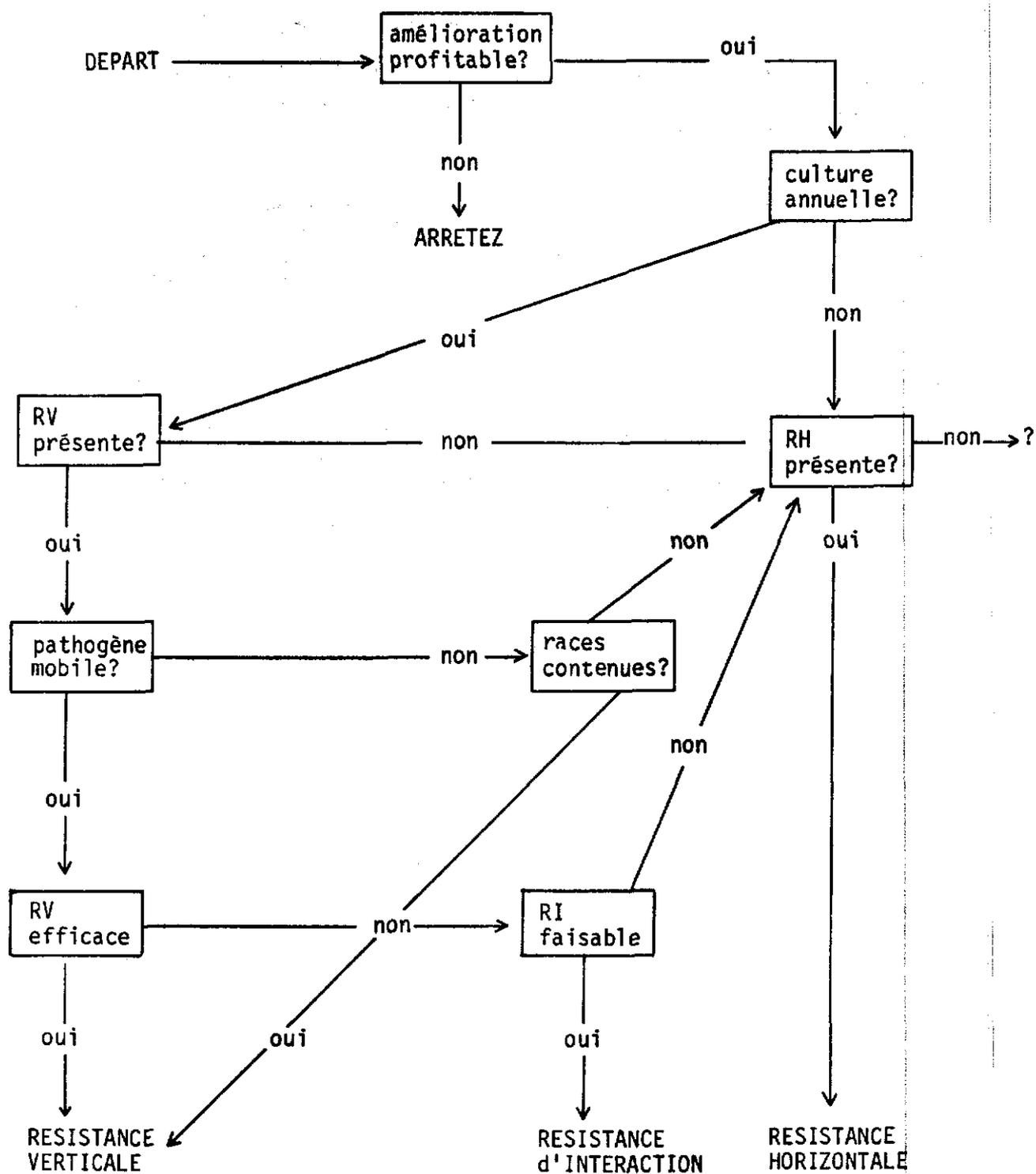


Figure 1. Diagramme de décision (Simmonds 1983)

## Le Programme International de la Résistance Horizontale (PIRH)

Le titre PIRH prête à confusion. En effet, le programme ne s'occupe pas uniquement de résistance horizontale, il s'intéresse surtout au choix du type de résistance *1* plus approprié selon le système concerné. Ce choix détermine la stratégie à suivre en matière d'amélioration génétique.

Deux exemples pratiques:

### 1. Le système pois chiche - anthracnose

L'anthracnose du pois chiche est un pathogène mobile, moyennement adaptable. La présence des races physiologiques a été démontrée ailleurs mais pas encore au Maroc.

On suit maintenant le diagramme de décision pour choisir la résistance la plus utile:

Amélioration profitable? Oui, culture annuelle? oui, résistance verticale présente? oui, pathogène mobile? oui, résistance verticale efficace? non, résistance d'interaction faisable? non, résistance horizontale présente? oui, utiliser RH. Selon le diagramme de décision, l'amélioration de la résistance horizontale semble être la stratégie la plus logique.

Il existe plusieurs sources de résistance dans le pois chiche à l'anthracnose. Il faut d'abord vérifier la nature de la résistance de ces sources. On peut la vérifier d'une manière phytopathologique et d'une manière génétique.

#### La manière phytopathologique

Pendant quatre années, une série de lignées de référence de pois chiche a été plantée dans différentes régions du Maroc. Les niveaux de résistance ont été déterminés chaque année. Malgré des différences significatives des taux d'infection d'une année à l'autre et d'une région à l'autre, l'ordre relatif pour la résistance des lignées de référence est resté inaltéré. Cet ordre constant (constant ranking) indique que la résistance des lignées de référence à l'anthracnose est fort probablement horizontale.

#### La manière génétique

Plusieurs croisements ont été faits entre des lignées résistantes et autres variétés de pois chiche. La ségrégation de la résistance a été observée dans les F2 et les F3. Il y a de fortes raisons de croire que la résistance employée est polygénique ce qui confirme la nature horizontale de la résistance.

## 2. Le système fève - orobanche

L'orobanche de la fève est un parasite assez sédentaire, moyennement adaptable. La présence des races physiologiques a été démontrée dans l'orobanche de tournesol mais pas encore dans l'orobanche de fève.

On suit maintenant le diagramme de décision pour choisir la résistance la plus utile: Amélioration profitable? Oui. Culture Annuelle? Oui. Résistance verticale présente? Non. Résistance horizontale présente? Non.

Dans le matériel local et le matériel introduit, aucune résistance de la fève à l'orobanche n'a été trouvée. Un programme d'amélioration de la résistance ne peut évidemment être entamé qu'après l'identification d'une source de résistance. La lutte contre l'orobanche de la fève peut, pour le moment, seulement être faite avec des méthodes non-génétiques.

Cependant, le PIRH sur fève au Maroc a développé des techniques permettant l'identification de la résistance de fève à l'orobanche. Récemment, avec ces techniques, une source de résistance a été identifiée. Si la résistance trouvée paraît utile, un programme d'amélioration peut être entamé.

### Conclusion

La résistance n'est pas une notion indivisible. Il y a plusieurs types de résistance qui peuvent être utilisés chacun d'une manière différente. Le choix d'un type de résistance est déterminé entièrement par le but que l'on se propose d'atteindre. C'est à l'améliorateur qu'incombe la responsabilité de définir les objectifs et de choisir la meilleure façon de les atteindre.

### Références

- Simmonds, N.W. 1983. Strategy of disease resistance breeding. FAO Plant Protection Bulletin 31:2-10.

## L'Anthracnose du Pois Chiche

E. A. Ameziane  
 Laboratoire de Phytopathologie  
 Institut National de la Recherche Agronomique  
 Rabat, Maroc

### IMPORTANCE DE LA MALADIE

L'anthracnose du pois chiche est une maladie répandue à travers le monde. C'est une maladie endémique des régions de culture du pois chiche où elle cause de sérieux dégâts.

La maladie a détruit, en 1959, dans une région de la Grèce, 40% d'une récolte de pois chiche estimée à 2 500 tonnes (Zachos et al. 1963). Au sud de la Bulgarie, l'anthracnose diminue les rendements de 20 à 50%, parfois même à 100% (Kavachvsky 1936). Au Maroc, la maladie représente un facteur limitant à la culture du pois chiche pendant les années humides. C'est ainsi qu'en 1970-71, les rendements du pois chiche étaient catastrophiques (20 kg/ha en moyenne) et la production totale était de 1 900 tonnes pour une superficie de 12 000 ha. Par contre, l'année 1973-74, peu favorable à l'anthracnose a eu un rendement de 1 030 kg/ha (Statistiques agricoles, juin 1975). En mai 1984, une tournée effectuée dans quelques régions de culture de pois chiche (Roumanie, Fès, Meknès, Larache...) a permis d'observer des champs complètement détruits par l'anthracnose.

### SYMPTOMES

#### Au niveau du champs

Les premiers symptômes correspondent à un flétrissement des extrémités en croissance de la plante, suivi quelques jours plus tard par le dessèchement et le brunissement de ces organes. Les plantes ainsi desséchées forment des taches facilement repérables.

#### Au niveau d'une plante attaquée

Toutes les parties aériennes de la plante peuvent être attaquées. Sur les folioles, et les gousses apparaissent des macules arrondies ou ovoïdes parsemées de petites taches noires: les pycnides (organes de fructification du champignon). Ces macules mesurent environ 8 à 10 mm sur 5 à 6 mm. Les folioles atteintes jaunissent et finissent par tomber.

L'attaque précoce des gousses empêche la mise à fruit. Par contre, une attaque qui intervient lorsque les gousses sont déjà formées aboutit à la contamination des graines. Le champignon traverse la gousse et infecte la graine. En cas d'attaque sévère, les graines restent très petites et se déforment. Dans ces graines contaminées le parasite se conserve sous forme de mycélium ou de pycnides, soit au niveau du tégument seulement soit au niveau du tégument et de l'embryon (Maden et al. 1975).

Sur les tiges, les lésions sont plus allongées. Quand elles sont nombreuses elles finissent par confluer et évoluer en un chancre profond au niveau duquel la tige casse sous l'action du vent.

#### L'AGENT PATHOGENE

L'antracnose du pois chiche est causée par un champignon imparfait de la classe Deuteromycetes ou Fungi Imperfecti, ordre des Sphaeropsidales. Ce champignon est connu sous plusieurs noms: Ascochyta rabiei (Pass.) Lab., Phyllosticta cicerina Prill. et Delacr. et Phyllosticta rabiei (Pass.) Trott., mais le plus commun est l'Ascochyta rabiei. La forme parfaite de ce pathogène est Mycosphaerella rabiei Kovachevski connu aussi comme Dyodimella rabiei Von. Arx.

Le mycélium d'Ascochyta rabiei constitué d'hyphes cloisonnées hyalines. Les conidies sont produites dans des pycnides (organes de fructification) et mesurent entre 5,6 - 12,6  $\mu\text{m}$  de long et 3,3 à 4,6  $\mu\text{m}$  de large. Bien sûr, ces mesures varient suivant les souches et le milieu de prélèvement (hôte, milieu de culture).

Dans des pays où la forme sexuelle a été observée, les périthèces mesurent 162 - 165  $\mu\text{m}$  de long et 120 à 250  $\mu\text{m}$  de large. Ils contiennent des asques cylindriques longues de 48 à 78  $\mu\text{m}$  de long. Des variations du pouvoir pathogène parmi les isolats ont été reportées par Luthra (1939) puis confirmées par d'autres auteurs par la suite.

Des races physiologiques ont été mises en évidence d'après la réaction d'un certain nombre d'isolats vis-à-vis d'une collection de variétés ou de sélection de variétés ou de selections considérées comme différentielles.

#### SPECIFICITE

Cette maladie n'attaque que le pois chiche (Cicer arietinum). En effet, des inoculations artificielles, utilisant des suspensions de spores du champignon, effectuées sur fève (Vicia faba), pois (Pisum sativum) et lentille (Lens culinaris) sont restées négatives, ce qui veut dire que ces espèces de légumineuses ne sont pas hôtes pour l'agent responsable de l'antracnose du pois chiche et peuvent sans danger remplacer le pois chiche dans la rotation des cultures.

Il faut noter cependant que la fève et le pois sont également attequés par des anthracnoses mais n'ayant pas le même agent causal: il s'agit pour la fève d'Ascochyta fabae et pour le pois du complexe A. pisi, A. pinodes (Mycosphaerella pinodes) et A. pinodella.

Toutes ces anthracnoses ont pour caractère commun de provoquer des lésions de même aspect à la fois sur tige et organes foliacés (foliole, gousses) à toute phase du cycle végétatif de l'hôte.

## EPIDEMIOLOGIE

L'épidémiologie est l'étude des rapports existants entre les maladies et divers facteurs du milieu susceptibles d'exercer une influence sur leurs fréquence, distribution et évolution.

### Précipitation

C'est le facteur le plus important, car il détermine le nombre d'invasions du parasite et, par conséquent, la gravité de l'épidémie. La pluie contribue à la réalisation des infections mais également à la dissémination des spores du parasite (splashing). Cette dissémination devient plus importante avec le vent.

### Température

Les températures entre 15° et 25°C favorisent énormément le développement du parasite. Compte tenu du climat général du pays, des températures de cet ordre sont fréquentes entre le mois d'avril et le mois de juin. On voit donc que, pour le semis de printemps, les températures sont loin d'entraver l'expansion de la maladie, mais au contraire elles lui sont même favorables.

### Durée d'incubation (période de latence)

Elle est fonction de la température (Tableau). Il est à noter que pour toutes les températures de printemps qui correspondent à la période entière de culture du pois chiche (semis du printemps), la durée d'incubation est très courte et permet une succession d'invasions et de multiplication de contamination en un temps court, surtout si le facteur pluie y contribue également. En revanche, pour les semis d'automne, la période d'incubation peut être longue ce qui ralentit l'extension de la maladie.

Température	Durée d'incubation
5° C	18 jours
10° C	9 jours
10° C	7 jours
20-25°C	5 jours

## Sources de contamination

Les contaminations primaires des cultures peuvent provenir de trois sources: graines contaminées, résidus de cultures contaminées et des cultures voisines.

Généralement, les deux premières sources sont les plus importantes et contribuent en quelque sorte à une introduction du parasite dans le champs, dont l'évolution dépendra désormais uniquement des conditions météorologiques favorables ou non à la maladie. S'il y a peu de pluie, les graines contaminées provoqueront une épidémie peu sévère. Par contre, si les précipitations sont nombreuses, la culture sera complètement détruite.

Enfin, la contamination primaire d'un champ, peut provenir d'une parcelle voisine déjà contaminée (cas d'un semis précoce d'automne).

## MOYENS DE LUTTE

### Lutte culturale

Tous les auteurs sont d'avis qu'on ne doit utiliser que des semences saines et récoltées dans des champs ayant été à l'abri de contamination extérieure, et qu'on ne doit faire revenir le pois chiche sur la même parcelle qu'après 4 ou 5 ans.

### Lutte chimique

Etant donné que la maladie se transmet par les semences contaminées, il est recommandé d'enrober ces dernières avec des fongicides efficaces. On utilisera le manèbe ou tout autre fongicide du groupe des dithiocarbomates (thirame à la dose de 4 g matière active/kg de semence).

La date de semis doit être fixée en fonction des conditions matérielles de l'agriculteur: s'il opte pour un semis précoce (mi-février, début mars), il doit effectuer 2 à 4 traitements préventifs pour protéger la culture; les rendements dans ce cas seront élevés (Ameziane 1976). Les semis tardifs échappent souvent à la maladie mais leurs rendements restent bas.

Le premier traitement foliaire doit absolument être effectué dès l'apparition des premiers symptômes. Il faut répéter le traitement si possible avant, sinon juste après chaque période de précipitation ou tous les 10 à 12 jours si un temps doux et humide persiste.

On recommande les dithiocarbamates zinèbe, manèbe, mancozèbe à la dose de 800 g/ha (500 litre de solution) en raison de leur efficacité, l'absence de phytotoxicité et de leur prix avantageux (un traitement de semence et quatre traitements foliaires équivalent au prix de 50 kg de pois chiche. D'autres fongicides sont actuellement testés pour leur efficacité vis-à-vis de la maladie.

L'intervention immédiate après les périodes humides est généralement d'importance décisive, mais n'est souvent possible que par avion à cause des difficultés d'accès aux terrains détrempés.

#### Emploi de variétés résistantes

Ce moyen doit être présenté dans le cadre des études de l'amélioration génétique.

#### Références

- Ameziane, E.A. 1976. L'antracnose du pois chiche: épidémiologie, moyens de lutte. Mémoire de fin d'études. Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès. 40 pp.
- Kovachevski, I.C. 1936. The blight of chickpea, Mycosphaerella rabiei, n.sp. (in Russian). Issued by Ministry of Agriculture, National Domains, Sofia. 80 pp.
- Luthra, J.C., A. Sattar and D.S. Bedi. 1939. Variation in Ascochyta rabiei (Pass.) Lab., the causal fungus of blight of gram (Cicer arietinum L.). Indian Journal of Agricultural Science 9:791-805.
- Maden, S., D. Singh, S.B. Mathur and P. Neergard. 1975. Detection and location of seed-borne inoculum of Ascochyta rabiei and its transmission in chickpea (Cicer arietinum L.). Seed Science and Technology 3:667-681.
- Zachos, D.G., C.G. Pawagopolos et S.A. Makris. 1963. Recherches sur la biologie, l'épidémiologie et la lutte contre l'antracnose du pois chiche. Annales de l'Institut Phytopathologiques Benaki 5(2):167-192.

Les Insectes Nuisibles aux Cultures des  
Légumineuses Alimentaires au Maroc

Mohamed Lahmar  
Laboratoire d'Entomologie  
Institut National de la Recherche Agronomique  
Rabat, Maroc

Les légumineuses alimentaires constituent une importante source de nourriture protéique au Maroc. Elles sont très adaptées au climat du Maroc, se conservent fort bien et peuvent être consommées tout au long de l'année. Comparés à certains pays, les rendements sont cependant assez bas. Les insectes ravageurs constituent l'un des facteurs prépondérants de cette baisse.

Dans le cadre de cet exposé, on s'attachera seulement aux principaux insectes ravageurs qui sont intimement inféodés aux cultures suivantes: la fève (Vicia faba L.), la lentille (Lens culinaris Med.), et le pois chiche (Cicer arietinum L.).

Par ailleurs, comme beaucoup d'insectes sont nuisibles à ces trois espèces cultivées, on examinera à tour de rôle les insectes nuisibles au végétal et ceux nuisibles aux graines entreposées. Du fait de sa spécificité à l'égard du pois chiche et de son importance, la mineuse Liriomyza cicerina Rond. sera traitée de façon détaillée et à part.

#### Insectes Nuisibles au Végétal

##### 1. A la racine

###### (a) Hylemyia cilicrura Rond. (Mouche des semis)

La mouche des semis est un ravageur polyphage dont les pupes éclosent en mars après une courte hibernation dans le sol. Les larves pénètrent dans le sol et détruisent les jeunes plantules. L'espèce présente plusieurs générations.

Pour lutter contre cette espèce, on doit favoriser une levée rapide. L'enrobage des semences avec les insecticides lindane ou diméthoate donne aussi de meilleurs résultats.

###### (b) Agrotis spp.

Ce sont des polyphages très redoutables dont les larves dites "vers de fer" peuvent vivre plusieurs années dans le sol. Elles creusent des galeries dans les parties enterrées des plantes, et s'attaquent fréquemment aux cultures de fève.

Les larves de taupins affectionnent les sols humides, c'est pourquoi un bon drainage permet d'en réduire l'effet. Les labours d'été et de printemps contribuent aussi à diminuer les taux de populations dans le sol.

La lutte chimique se pratique, soit par des traitements généralisés au sol, soit par des traitements localisés (sur la ligne de semence). Certains organophosphorés tels que le chlorpyrifos éthyl, ou le fonofos, ont donné largement satisfaction dans la lutte contre ces insectes.

(c) Sitona spp.

Les femelles sont prolifiques et peuvent déposer chacune jusqu'au 1 500 oeufs dans les organes de la plante. Les larves éclosent, s'enfoncent dans le sol et envahissent les nodosités bactériennes puis les jeunes racines de nombreuses légumineuses.

S. lineatus est une espèce très dangereuse sur la fève au Maroc. Les adultes, quant à eux, se nourrissent aux dépens des feuilles en façonnant des entailles semi-circulaires caractéristiques.

La lutte contre les larves des sitones peut être analogue à celles menées contre les autres insectes de sol.

2. Au niveau des feuilles

(a) Les noctuelles (Heliothis armigera, Spodoptera littoralis, etc.).

Elles sont caractérisées par des attaques inopinées souvent considérables et par le fait que les chenilles pratiquent sur les bords des feuilles des crénelures spécifiques.

La lutte contre ces insectes nocturnes nécessite des moyens de prévision précis (ex. piège à phéromones sexuelles) pour intervenir chimiquement à temps.

(b) Les pucerons (Aphis fabae, A. craccivora, Acyrtosiphum pisi)

Assurément, le puceron noir de la fève est le plus fréquent et le plus dangereux au Maroc. Malgré son nom, il vit aussi sur de nombreuses espèces végétales autres que les légumineuses (tabac, betterave, pomme de terre, etc.).

Outre les dégâts directs provoqués par ses piqûres, A. fabae est aussi une espèce vectrice de maladies virales.

Les pullulations aphidiennes sont souvent freinées par l'action d'un cortège d'auxiliaires composé de prédateurs et de parasites. Parmi les prédateurs, il y a lieu de citer les coccinelles et les larves des syrphes et parmi les parasites, les hyménoptères aphidiides et chalcidiens.

La lutte chimique contre les pucerons a fait beaucoup de progrès ces derniers temps, et s'organise dans un cadre de lutte dirigée qui tient compte de nombreuses composantes notamment les auxiliaires naturels et les insectes pollinisateurs.

### (c) Les agromyzides (Mineurs de feuilles)

Plusieurs espèces d'agromyzides vivent en tant que mineuses du parenchyme foliaires de nombreuses espèces de légumineuses: Liriomyza cicerina Rond sur pois chiche, Liriomyza congesta Beck. sur fève, Phytomyza atricornis Meig. sur pois chiche, etc... Contrairement aux autres ravageurs, les agromyzides présentent une spécificité assez marquée vis-à-vis de leurs plantes-hôtes.

Aussi, le cas de la mineuse du pois chiche sera traité dans la contribution suivante.

### 3. Au niveau des gousses et graines

#### Les Bruchus

Ce sont sans doute les ravageurs les plus importants à ce niveau. Non seulement leurs attaques se produisent en cours de culture, mais encore pour un bon nombre d'espèces, à l'intérieur des silos de stockage des graines.

Les espèces les plus nuisibles sont: Bruchus rufimanus sur fève et B. lentis sur lentille. Ces espèces sont univoltines et relativement très liées à leur plantes-hôtes. L'espèce Callosobruchus chinensis est relativement fréquente dans les lieux de stockage et elle est assez polyphage.

La lutte chimique contre les Bruchus est souvent une tâche difficile: difficulté d'atteindre l'insecte à l'intérieur de la graine (sauf fumigation) et au champ. Les traitements sont délicats car ils coïncident avec l'activité des pollinisateurs.

## La Mineuse du Pois Chiche: Biologie et Moyens de Lutte

Mohamed Lahmar  
Laboratoire d'Entomologie  
Institut National de la Recherche Agronomique  
Rabat, Maroc

Depuis les cinq dernières années (1979-1983), on assiste régulièrement à des pullulations spectaculaires de Liriomyza cicerina dans les cultures de pois chiche. Ainsi, dans certaines régions, notamment au Saïs, Rommani et Chaouia, il est très fréquent de rencontrer des champs de pois chiche entièrement endommagés par les larves de ce ravageur.

L'utilisation des insecticides, bien qu'elle soit efficace contre cette espèce, ne constitue malheureusement pas une solution pratique au regard de la rentabilité de la culture de pois chiche dont la moyenne nationale ne dépasse guère 600 kg/ha.

D'où le but de cet essai qui consiste à entreprendre une étude systématique de la biologie et l'écologie de cette mineuse, afin de déterminer les causes profondes qui sont à l'origine de ces pullulations massives, et par voie de conséquence de rechercher les moyens susceptibles de réduire ces pullulations à des niveaux inférieurs raisonnables.

### Matériel et Méthodes

Les observations écologiques ont été effectuées dans des parcelles de pois chiche situées à la Station Expérimentale de Merchouch. Ces parcelles ont été mises en place le 1983-12-07 et le 1984-01.05.

La variété de pois chiche utilisée étant la V46 choisie pour sa disponibilité et pour sa tolérance vis-à-vis de l'agent de l'antracnose.

L'étude des populations de la mineuse du pois chiche sur le terrain a nécessité l'emploi de certaines techniques d'échantillonnage. En effet, pour détecter l'apparition des adultes dans les champs de pois chiche et suivre leur évolution quantitative dans le champs, nous avons eu recours à l'emploi de pièges colorés (couleur jaune et teinte orange). Quant aux stades immatures, c'est-à-dire les larves et les pupes, nous avons procédé à des prélèvements réguliers de feuilles et de terre pour les recenser.

Des élevages périodiques de larves âgées et de pupes de *L. cicerina* en laboratoire ont permis d'avoir des informations intéressantes sur les voltinismes, le type de développement et le parasitisme de cette espèce.

## Résultats

Les résultats obtenus portent sur le cycle biologique annuel de la mineuse et sur les facteurs favorisant sa multiplication et sa régression. Ces résultats sont résumés brièvement de la manière suivante:

### 1. Cycle biologique annuel de *L. cicerina*.

Les données obtenues par les pièges colorés et par les prélèvements périodiques d'échantillons de pois chiche et de terre ont permis de mettre en évidence une succession de quatre générations chevauchantes chez ces espèces entre le début du mois de mars et la fin du mois de juin.

Les deux premières générations constituent un vrai danger pour la culture du fait de leur importance numérique qui, de surcroît, coïncide avec un stade jeune de la plante-hôte. Par contre, les deux autres générations sont généralement moins importantes, surtout la dernière, en raison des phénomènes d'arrêts de développement (diapause) qui interviennent au stade nymphal chez la mineuse. Les populations nymphales passent donc une partie de l'été, l'automne puis l'hiver enfouies dans les couches superficielles du sol jusqu'au printemps suivant.

### 2. Facteur de la dynamique des populations de la mineuse:

#### (a) Facteurs favorables

L'intensification des surfaces emblavées de pois chiche d'une part, et la simplification des types de rotations (pois chiche blé) d'autre part, ont très probablement favorisé les pullulations de la mineuse, au cours de ces dernières années. Ainsi, chaque année, dès le printemps, les adultes qui proviennent des pupes hibernantes trouvent aisément dans leur environnement immédiat la plante-hôte préférée (le pois chiche).

D'autre part, l'emploi de techniques simplifiées de travail du sol dont notamment le cover-cropage peut également avoir contribué à la multiplication des populations de la mineuse en limitant l'enfouissement des pupes dans le sol.

## (b) Facteurs défavorables

L'évolution quantitative des populations de la mineuse semble largement freinée par l'action effective d'un parasite hyménoptère: Opius monilicornis Ficher (braconidae). C'est une espèce endoparasite, douée d'une grande vitalité et capable de détruire près du 1/3 des populations nymphales de la mineuse.

D'autres facteurs de mortalité ont été notés dont notamment la compétition intraspécifique qui intervient au stade larvaire (concurrence alimentaire) et l'action de prédateurs coléoptères, facteurs dont l'impact n'a pas été mesuré avec exactitude.

## Discussion et Conclusion

L'examen des facteurs de la dynamique des populations de la mineuse du pois chiche laisse entrevoir le rôle que peut jouer les pratiques culturales en vigueur dans notre pays dans la multiplication et le déclenchement des pullulations de cette espèce. En effet, la répétition fréquente de la culture du pois chiche dans la même sole d'une part, et l'usage courant de techniques simplifiées de travail du sol d'autre part, semblent parmi les facteurs qui ont le plus favorisé l'accroissement des populations de la mineuse au fil des saisons. D'où la nécessité de recommander au moins des labours profonds après une récolte de pois chiche afin d'entraver une remontée des adultes lors de leur éclosion au printemps suivant.

Par ailleurs, cette espèce ne constitue un réel danger que lorsqu'elle pullule en présence d'un stade jeune de la culture de pois chiche. A cet égard, les semis précoces (semis effectués en décembre-janvier) pourraient présenter une solution dans la mesure où ils permettent d'avoir un végétal suffisamment développé (bonne vigueur, feuillage important), capable de supporter les infestations ultérieures de la mineuse.

Enfin, deux facteurs écologiques paraissent jouer un rôle important dans la régulation du cycle saisonnier de la mineuse. Il y a d'une part l'action des ennemis naturels, dont notamment les parasites hyménoptères (20% de réduction en moyenne), et d'autre part le phénomène de diapause qui intervient dès la troisième génération (en mai) de la mineuse. Ces facteurs mériteraient d'être étudiés profondément et sur plusieurs années afin de rassembler suffisamment des données susceptibles d'être utilisées dans le cadre d'un concept de lutte intégrée.

## Les Mauvaises Herbes et le Désherbage des Légumineuses Alimentaires

Mohamed El-Antri  
Laboratoire de Malherbologie  
Institut National de la Recherche Agronomique  
Rabat, Maroc

Dans le pourtour méditerranéen, la première nourriture protéinique a été fournie par les nombreuses espèces de la famille des légumineuses (Fabacées): la fève, le pois, le pois chiche et la lentille. Ces cultures encore traditionnelles, ont été cultivées avant le blé. Si ces cultures préfèrent les sols riches et propres, il ne faut pas oublier qu'en raison de leurs exigences relativement faibles en éléments nutritifs, de leur cycle végétatif de courte durée (4 à 5 mois), elles s'accommodent assez facilement aux terres pauvres dans des régions relativement sèches.

Cependant, les mauvaises herbes constituent le facteur limitant pour l'extension de ces cultures. Et comme, en général, ce sont des plantes basses, elles sont extrêmement sensibles à la concurrence adventice. D'ailleurs, la pratique continue et très ancienne du désherbage mécanique et manuel n'a pu améliorer le développement de ce secteur dont l'importance reste liée essentiellement à la main-d'oeuvre disponible à l'époque du désherbage. En France, par contre, la pratique du désherbage chimique a permis d'augmenter les superficies emblavées en légumineuses (Anonyme 1980) et d'en améliorer nettement les rendements (Goix 1981). Au Maroc, des champs de légumineuses désherbés chimiquement sont encore pratiquement inexistantes. Le technicien marocain ne maîtrise pas en général toutes les techniques du désherbage chimique, l'agriculteur encore moins. Ceci est d'autant plus complexe que les légumineuses alimentaires sont particulièrement sensibles à la totalité des herbicides. Des efforts considérables de mise au point des techniques de désherbage et de leur vulgarisation sont indispensables pour le développement de ces cultures dans notre pays.

### GENERALITES SUR LES MAUVAISES HERBES

Une mauvaise herbe se définit comme étant une plante indésirable là où elle se trouve. Cette définition sur laquelle à peu près tous les malherbologistes se sont mis d'accord, met en évidence les effets néfastes que présente pour l'homme une mauvaise herbe dans une situation bien déterminée. Ces effets sont très variés et permettent de grouper dans la notation de mauvaise herbe: (a) des plantes toxiques provoquant des maladies, des dérèglements diges-

tifs et des empoisonnements aussi bien pour l'homme que pour le bétail; (b) des plantes qui par leur développement végétatif important, gênent le fonctionnement de certaines machines de récoltes ou bouchent des canaux d'irrigation; (c) des plantes favorisant le développement et le maintien de maladies cryptogamiques; et, enfin (d) des plantes qui hébergent certains insectes nuisibles.

Cependant, 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.

### Compétition

C'est un phénomène qui se déclenche lorsque pour une même source d'énergie la demande est en excès sur les disponibilités.

#### 1. Les éléments nutritifs

Certaines espèces adventices ont de fortes exigences en ces éléments qu'elles disputent à la plante cultivée. Cet effet est plus marqué sur un sol déficient et lorsque ces éléments sont des facteurs limitants du rendement.

Des expériences de plein champ ont montré que le pouvoir compétitif de la folle avoine (*Avena fatua* L.) est accru par un apport d'engrais dans les céréales (Bell and Nalewaja 1968). Ainsi, une fumure azotée dans le cas des céréales profite mieux à l'adventice qu'à la plante cultivée. Le chénopode blanc contient deux fois plus d'azote et autant de phosphore que la plante cultivée dans un sol à faible teneur en éléments nutritifs (Fisynov 1969).

#### 2. L'eau

Au Maroc, l'eau est un facteur limitant des zones semi-arides et arides. La compétition pour l'eau est très importante dans ces zones et dépend de la croissance du système racinaire et du coefficient de transpiration des espèces en association. Ainsi (*Brassica nigra*), pour une même surface foliaire, exporte quatre fois plus d'eau que le blé (Bakke 1975). Cependant, lorsque l'humidité du sol est élevée (cas de l'irrigué ou des années pluvieuses), le pouvoir de compétition des mauvaises herbes augmente et entraîne des baisses de rendements, ce qui montre l'intérêt du désherbage même en irrigué.

#### 3. Lumière et espace aérien

Par leur développement végétatif important, les plantes dites étouffantes limitent la pénétration de l'air et de la lumière

indispensables à la photosynthèse des plantes associées. C'est le cas de la moutarde sauvage (Sinapis arvensis), qui couvre 7 300 cm<sup>2</sup> alors que le blé n'occupe que 140 cm<sup>2</sup> (Pavlychenko 1938). En Italie, la culture de luzerne fut conseillée pour lutter contre Artemisia vulgaris.

#### 4. Espace sous-terrain

Certaines mauvaises herbes possèdent des systèmes racinaires très développés; chez Avena fatua L., les racines du premier et deuxième ordre atteignent 6 417 m portant 146 176 poils absorbants, chez Bromus inermis, elles mesurent 237 166 m par pied (Pavlychenko 1940).

#### Dégâts

Les pertes de récoltes occasionnées par les mauvaises herbes, comme l'ont montré plusieurs études et recherches, sont considérables. Cramer (1969) 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. Des essais ont montré que des infestations de 20 plantes au mètre carré de la moutarde sauvage (Sinapis arvensis), entraînent des pertes de rendement dans le blé, l'orge et l'avoine, respectivement de 36%, 36.5% et 40% (Jussiaux et Pequignot 1962). Dans une culture de blé, il suffit de 100 pieds au mètre carré de vulpin pour réduire le revenu brut espéré de 20% (Dezournay 1963).

Certaines adventices sont arrivées à poser localement un problème par leur simple présence. C'est le cas de la folle avoine (Avena fatua L.) dont les pertes de rendement ont été évaluées à 100 kg à l'hectare pour une densité de 10 plantules au mètre carré dans le blé. Au Gharb, les agriculteurs ont délaissé les parcelles réservées à la culture du riz à cause d'une forte infestation par le Cyperus rotundus et le Panicum crus-galli. D'autres expérimentations montrent que la nuisibilité des mauvaises herbes varie d'une culture à une autre. Ainsi Amaranthus retroflexus dont l'effet compétitif est limité aux céréales devient plus important dans la culture du soja puisqu'un seul pied par mètre linéaire arrive à réduire, selon l'année, les rendements d'au moins 20% (Vilsk 1971). A la lumière de ces exemples, il nous appartient de mettre au point un moyen de lutte efficace et rentable.

## GENERALITES SUR LES HERBICIDES

### Sortes d'Herbicides

Les grandes familles chimiques comprennent:

(a) Herbicides inorganiques

(b) Herbicides pétroliers: Huiles minérales obtenues au cours de la distillation du pétrole brut. Exemple: butane, benzène, etc... A noter que les ombellifères constituent la famille la plus résistante aux huiles.

(c) Herbicides organiques de synthèse: C'est la famille la plus importante et elle comprend plusieurs groupes:

1. Les dérivés de l'urée (ou urées substituées). Herbicides de prélevée par excellence, ils sont absorbés essentiellement par les racines et véhiculés par la sève brute vers les parties aériennes où ils s'accumulent. Leur faible solubilité dans l'eau et leur grande stabilité chimique leur procurent une assez large rémanence. Ils agissent en bloquant la photosynthèse: la plante épuise ses réserves et meurt, (aussi bien chez les graminées que chez les dicotylédones annuelles). Les symptômes consistent dans une chlorose et arrêt de croissance, nécroses débutant sur les organes floraux, extrémités des pousses et feuilles les plus jeunes. Ex: linuron, metoxuron, isoproturon, métabenzthiazuron, diuron.
2. Les dérivés de la triazine. Comme les urées substituées, ce sont des herbicides à pénétration principalement radiculaire et à longue persistance en général. Ils agissent par inhibition de la fonction chlorophyllienne ou perturbation des divisions cellulaires. Et ceci aussi bien sur graminées que sur dicotylédones. Ex: simazine, cyanazine, prometryne...
3. Les diazines. Regroupant les uraciles et les pyridazines, ils ont des propriétés voisines de celles des urées et des dérivés de la triazine. Par contre, ils s'absorbent moins sur les colloïdes du sol (argile et humus) et ont une activité plus régulière et moins dépendante du type de sol et de la pluie. Leur mode d'action est similaire à celui des précédents. Exemple: bromacil, terbacile, lénacile, pyrazone.
4. Les carbamates. Caractérisés par une action spécifique à l'égard des graminées adventices, ils sont absorbés par les feuilles ou les racines et agissent par perturbation des divisions cellulaires. Ils sont surtout utilisés en prélevée. Cependant, étant assez volatile, ils doivent être incorporés au sol immédiatement après leur application. Ex: diallate, triallate, cycloate...

5. Les colorants nitrés. C'est la famille la plus ancienne, constituée par des antidicotylédones à toxicité élevée: les colorants nitrés sont des herbicides de post-levée, car ils sont absorbés par les feuilles. Ex: DNOC.
6. Les phytohormones de synthèse. "Une phytohormone est une substance produite naturellement dans les plantes supérieures contrôlant la croissance (ou d'autres fonctions physiologiques) et qui, de l'endroit où elle a été formée, se rend dans d'autres régions pour y assurer la régulation de l'allongement cellulaire, agissant en d'infimes proportions" (Thimann in Detroux 1975). Absorbés par les feuilles, les phytohormones sont véhiculées par la sève et provoquent des troubles physiologiques et morphologiques chez les dicotylédones surtout.

Les symptômes apparaissent sous forme de courbures des feuilles et des tiges vers le bas, apparition de galles ou de racines aériennes sur les tiges, apparition d'organes malformés, de feuilles soudées, modifications des inflorescences etc., arrêt de développement du bourgeon en croissance, et les plantes perdent leur couleur verte, jaunissent et meurent.

Les phytohormones de synthèse sont par exemple des dérivés de l'acide acétique tels que 2,4-D et MCPA, et des dérivés de l'acide propionique tels que: MCPP et diclofopméthyl.

#### Mode d'Action

Le mode d'action des herbicides détermine deux grands groupes:

##### Des herbicides de contact

Ce sont des produits qui, absorbés uniquement par le feuillage de la plante, agissent là où ils sont déposés et ne se déplacent pas dans celle-ci. Il importe dans ce cas de bien couvrir la végétation à détruire et d'augmenter la quantité d'eau à l'hectare pour avoir une pulvérisation assez fine. Ils sont actifs en général sur les adventices au stade plantule et agissent par blocage de la photosynthèse ou de la respiration. Les plus typiques sont les colorants nitrés (DNOC, dinoterbe...) et les ammonium quaternaires, (diquat, paraquat).

##### Des herbicides systémiques (ou de translocation)

Ce sont des produits qui une fois absorbés par la plante, sont véhiculés par la sève jusqu'au site d'action. On parlera de systémie montante ou de systémie descendante. Ce caractère a une incidence sur la période d'application de ces produits en fonction du sens de migration des réserves.

Ils se différencient en deux types selon les voies de pénétration.

1. Pénétration foliaire: On trouve les phytohormones, dicamba, pichloram etc... qui pénètrent donc par les feuilles, s'accumulent en particulier dans les parties en croissance active telles que les méristèmes. Les jeunes poussent les feuilles, les bourgeons, et perturbent les phénomènes biologiques.
2. Pénétration racinaire: Herbicides résiduaire. Pour être absorbés, ces produits doivent se mettre en solution dans l'eau du sol. L'état du sol a donc une grande influence sur eux, par sa composition (riche ou non en argile et en matières organiques), par son humidité et par sa structure (mottes pouvant gêner la bonne répartition du produit). Ces herbicides se caractérisent par une persistance en général assez grande et le fait qu'ils doivent être appliqués en prélevée des mauvaises herbes. Enfin, ils sont en partie absorbés par le feuillage. La famille la plus représentative est celle des urées substituées.

#### Notions de Sélectivité-Efficacité

Ce sont deux notions voisines. L'efficacité se rapporte à la destruction de la plante adventice, alors que la sélectivité est le respect de la plante cultivée.

Elles dépendent étroitement des conditions pédoclimatiques. D'une part, un sol à teneur élevée d'argile et riche en matières organiques absorbera et fixera plus ou moins l'herbicide. Ainsi, en présence de sol riche, la dose doit être augmentée pour arriver à une efficacité suffisante alors qu'il faut la diminuer, en sol léger, pour ne pas risquer de phytotoxicité (ex. neburon inutilisable dans des sols contenant plus de 3 à 4% de matières organiques, ou plus de 35% d'argile (Anonyme 1980).

D'autres part, les températures élevées au moment ou juste après le traitement (sécheresse également) causent des brûlures ou des déformations de la culture qui peuvent entraîner des chutes de rendements.

On distingue différents types de sélectivité:

1. Physiologique ou "vraie"

La plante cultivée possède une quantité suffisante d'enzymes qui dégraderont le produit actif en molécules inoffensives.

## 2. Morphologique

La plante cultivée possède des caractères anatomiques et morphologiques qui empêchent la pénétration du produit à l'intérieur de la plante. Ainsi les graminées, par exemple, sont résistantes aux colorants nitrés (DNOC, dinoseb, dinoterbe), de part leur port dressé, leur cuticule dure et leur pilosité etc...

## 3. De position

C'est-à-dire que l'herbicide en question doit être placé dans un horizon de sol dans lequel la culture ne développera pas ses racines contrairement aux adventices.

De nombreux facteurs sont à prendre en considération:

- Type d'enracinement et vigueur au départ de la culture.
- Sélectivité, volatilité et stabilité du produit.
- pH, texture, structure du sol.
- Température, pluviométrie.

Il faut donc essayer de respecter les normes d'utilisation préconisées par les fabricants pour assurer une efficacité suffisante sur les adventices et une sélectivité acceptable vis-à-vis de la culture.

## MAUVAISES HERBES ET DESHERBAGE CHIMIQUE DES LEGUMINEUSES ALIMENTAIRES

En vue de contribuer au développement de ce secteur très important de l'agriculture marocaine, le Laboratoire de Malherbologie de l'INRA a installé des essais de lutte chimique contre les mauvaises herbes des fèves et pois chiches en particulier, dans différentes régions du pays (Merchouch, Doyet, Sidi El Aïda, Khemis Zemamra...).

Ces expérimentations ont pour but de déterminer la flore adventice associée à ces cultures et d'étudier l'efficacité de certains produits herbicides.

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.

Dans le but de résoudre ce problème par une seule application, plusieurs produits herbicides de prélevée et à double action ont été testés: linuron, trifluraline, methabenzthiazuron, et cyanazine.

D'autre part, et en cas d'infestation forte par les graminées adventices, il est recommandé d'utiliser des graminicides spécifiques de post-levée tels que l'aloxydime-sodium, le fluazifop-butyl et le diclofop-méthyl.

Dans le tableau suivant, sont résumées pour ces cultures, les quelques matières actives déjà citées ainsi que leur dose, période d'application et leur spectre d'action.

Tableau d'utilisation des herbicides

Matière active (m.a.)	Culture	Période d'application	Spécialité commerciale	Dose	Spectre d'activité
trifluraline	Fève, pois chiche	Pré -semis	Nombreuses	576 g/ha (m.a.)	Graminées et dicotylédones annuelles
methabenzthiazuron	Pois, lentille, fève pois chiche, haricot	Pré-levée	Tribunil	3kg/ha	Graminées et dicotylédones annuelles
linuron	Pois, haricots	Pré-levée	Nombreuses	300 - 375 g m.a./ha	Graminées
diuron	Pois, lentille	Pré-levée	Nombreuses	600 g m.a. /ha	Dicotylédones
cyanazine	Pois, pois chiche lentille	Pré-levée	---	1,6 - 2 kg/ha	Dicotylédones annuelles et de nombreuses graminées
alloxydyme-sodium	Toutes légumineuses	Post-levée	Fervin	1 - 1,250 kg/ha + huile	Graminées
diclofop-methyl	Toutes légumineuses	Post-levée	Illoxan	3.0 l/ha	Graminées

## Le Contrôle Chimique de l'Orobanche

E. A. Ameziane  
 Laboratoire de Phytopathologie  
 Institut National de la Recherche Agronomique  
 Rabat, Maroc

L'orobanche est une plante dépourvue de chlorophylle. Ses racines sont anormales et vivent en parasite absolu. Les feuilles sont réduites à des écailles, et les graines sont petites et germent dans le sol en contact d'une plante nourricière.

Au moment de la germination, l'embryon donne naissance presque uniquement à une radicule, tandis que la tigelle croît très peu et meurt vite. La radicule enfonce à l'intérieur de la racine de la plante hôte un suçoir et forme ultérieurement un tubercule vivace. A la surface de ce tubercule sortent de courtes radicelles dépourvues de poils absorbants mais entrant en contact, à leur tour, avec les racines du sujet nourricier. C'est de cet organe que naît annuellement un parasite floral externe se développant en une hampe charnue écailleuse et florifère, de teinte variée mais jamais verte.

### Importance des Dégâts

L'orobanche de la fève (*O. crenata*) cause des dégâts considérables dans notre pays. C'est ainsi qu'on assiste souvent à la destruction totale des cultures de fèves et de petits pois dans les régions de Fès, Meknès, et Merchouch. L'ampleur des dégâts empêche le fellah d'envisager la culture de la fève dans ces régions. Jusqu'en 1978, aucune technique pratique et économique de lutte n'était encore connue.

L'INRA a alors entrepris des essais de lutte avec l'herbicide glyphosate, produit systémique. Les premières applications du produit aux doses de (200 à 400 ml m.a./ha) ont provoqué des dommages de phytotoxicité (Pedzolt 1974). Les essais suivants étaient conduits par Janati (1976) qui montre que la dose de 60 ml de m.a./ha, du produit appliqué à deux reprises (14 jours d'intervalle) permettait de lutter efficacement contre l'orobanche.

Il restait donc à déterminer la période la plus favorable au traitement, le nombre de traitements nécessaires pour combattre l'orobanche, et la dose assurant, à la fois, efficacité et absence de phytotoxicité.

#### Période favorable au traitement herbicide

Les essais ont montré que le glyphosate doit être appliqué au stade tubercule ou au stade bourgeon. L'application au stade émergence de l'orobanche arrive trop tard pour augmenter significativement les rendements, car à ce stade la plante a déjà souffert de l'attaque.

Pour ce qui est du stade tubercule ou bourgeon, il n'y a pas de différence significative ( $P = 5\%$ ) ni du point de vue rendement, ni du point de vue contrôle de l'orobanche (Tableau 1).

#### Nombre de traitements nécessaires pour combattre l'orobanche

Les essais ont montré qu'une seule application de glyphosate (Tableau 1) n'entraîne pas une augmentation significative de rendement par rapport au témoin et s'avère par conséquent comme insuffisante.

En ce qui concerne le nombre de tiges d'orobanche par plante, un seul traitement montre déjà une réduction significative. Cependant, l'élimination complète du parasite n'est atteinte qu'après deux applications aux stades précoces. Il est à signaler que les tiges d'orobanche observées après les traitements effectués au stade tubercule et 14 jours après, sont des retardataires qui émergent peu avant la récolte et n'ont pas d'influence sur le rendement. Elles sont en outre rabougries et déformés par l'herbicide et ne peuvent contribuer à une infestation ultérieure.

#### Dose de produit

Le glyphosate a été appliqué à la dose de 60 ml et 120 ml m.a./ha. Le tableau no. 2 montre que la dose de 120 ml donne un rendement plus élevé que celle de 60 ml mais non significative à 10%. Comme l'efficacité de 2 doses est plus ou moins la même, la dose de 60 ml m.a./ha est à préconiser pour réduire le risque de phytotoxicité.

Tableau 1. Effet d'une ou de deux applications de glyphosate aux doses de 60 ml (m.a)/ha (essai 1) et de 120 ml (m.a)/ha (essai 2) sur le rendement et l'infestation de fève par l'orobanche (Schmitt *et al.* 1978).

Application à différents stades de développement de l'orobanche	60 ml(m.a)/ha (essai 1)			120 ml(m.a)/ha (essai 2)		
	Rendement kg/ha	%	Nombre moyen de tiges d'orobanche/plante	Rendement kg/ha	%	Nombre moyen de tiges d'orobanche/plante
Témoin	222	100	12,82	834	100	8,15
Stade tubercule	283	127	9,58*	1578**	189	2,50**
Stade tubercule, 2ème traitement 14 jours plus tard	753**	339	0,21**	1592**	190	0,00**
Stade bourgeon	310	139	6,44**	1184	141	2,43**
Stade bourgeon, 2ème traitement 14 jours plus tard	550*	247	0,00**	1669	200	0,00**
Stade émergence	456	205	9,90	1184	141	2,75**
Stade émergence, 2ème application 14 jours plus tard	527	237	7,69*	1282	153	3,99**

\* Significatif à 5%.

\*\* Significatif à 1%.

Tableau 2. Effet de deux applications de glyphosate aux doses de 60 et 120 ml (m.a.)/ha sur le rendement (Schmitt et al. 1978).

	Application au stade	Rendement kg/ha	
		60 ml(m.a.)/ha	120 ml(m.a.)/ha
Essai 3	Tubercule, 2ème traitement 14 jours plus tard.	1142	1509
Essai 4	Bourgeon, 2ème traitement 14 jours plus tard.	1293	1522

## Introduction à la Statistique avec Exemple d'Analyse et d'Interprétation

B. Hrida  
Institut National de la Recherche Agronomique  
Rabat, Maroc

Le but du présent document est de mettre autant que possible la statistique à la portée des utilisateurs, et principalement les agronomes. En vue d'atteindre cet objectif, les notions et les méthodes les plus importantes sont présentées d'une manière aussi concrète que possible, sans que soient trop développés les fondements mathématiques.

Le mot "statistique" possède deux significations distinctes: utilisé le plus souvent au pluriel, le terme "statistiques" désigne tout ensemble cohérent de données numériques relatives à un groupe d'individus (êtres, objets..). On peut parler par exemple des statistiques de la production agricole d'une espèce donnée, de statistiques démographiques etc... Par ailleurs, le mot statistique désigne également l'ensemble des méthodes qui permettent de rassembler et d'analyser les données numériques. Et c'est de cette dernière dont il va être question.

Toute étude statistique peut être décomposée en deux phases: la collecte des données; et l'analyse et l'interprétation. La collecte des données peut être réalisée soit par la simple observation des phénomènes auxquels on s'intéresse, soit par l'expérimentation. L'observation concerne certaines disciplines, telles la médecine, l'économie, la météorologie.., où il n'est pas possible de provoquer la réalisation des phénomènes que l'on décide d'étudier. Dans d'autres disciplines, au contraire, les phénomènes peuvent être provoqués assez facilement, telles la biologie, la physique et la chimie.

L'analyse statistique et l'interprétation qui intéressent les deux modes de collectes, peut, elle aussi, être décomposée en deux parties:

- 1) La statistique descriptive qui a pour but de résumer et de présenter les données observées ou expérimentées (tableaux, graphiques), et de calculer certains paramètres.
- 2) L'ingérence statistique qui permet d'étendre ou de généraliser dans certaines conditions les résultats obtenus à partir de l'observation ou l'expérimentation sur une fraction des individus auxquels on s'intéresse réellement.

Dans ce qui suit, il va être question de la statistique descriptive et surtout inférentielle. L'expérimentation utile en agronomie est présentée dans un autre document intitulé "quelques notions fondamentales en expérimentation agronomiques".

## STATISTIQUE DESCRIPTIVE

La statistique descriptive a pour but essentiel de présenter les données observées sous une forme telle que l'on puisse en prendre connaissance facilement. Les différentes méthodes qui permettent d'atteindre cet objectif peuvent être groupées en fonction du nombre de variables qui sont considérées simultanément soit à une dimension ou à deux dimensions.

Tout d'abord, il faut donner quelques précisions quant à la nature des observations qui peuvent être soit quantitatives, soit qualitatives. Les données quantitatives sont discrètes ou continues; quant aux données qualitatives, il est possible de les assimiler au cas des variables discontinues. Ce but peut être atteint en condensant les données observées sous trois formes distinctes:

- Tableaux statistiques, distribution de fréquences.
- Différents types de diagrammes.
- Réduction des données par le calcul de quelques paramètres ou valeurs typiques.

### A - Variables à une dimension

1. Les distributions de fréquences: groupées et non-groupées.
2. La représentation graphique: diagramme des fréquences non cumulées; diagramme des fréquences cumulées; les principaux types de distribution de fréquences (cloche, i,j).
3. La réduction des données: calcul des valeurs typiques.
  - a. Les paramètres de tendance centrale: la moyenne arithmétique; la médiane; le mode.
  - b. Les paramètres de dispersion: la variance, l'écart-type et le coefficient de variation; l'écart moyen absolu; l'amplitude.
  - c. Les paramètres de forme: les moments; les paramètres de dissymétrie et d'aplatissement.

## B - Variables à deux dimensions

- Tableaux statistiques (distribution de fréquences).
- Représentation graphique.
- Réduction des données.
- Les moments et la covariance.
- Ajustement de droite de régressions: variance résiduelle et écart-type résiduel; le coefficient de corrélation; le coefficient de détermination.
- Régression (ajustement): fonction exponentielle; fonction puissance; polynôme.

## L'INFERENCE STATISTIQUE

Les principes de l'inférence statistique sont à la base de tout jugement porté sur un ensemble d'individus (population) à partir d'un nombre plus restreint d'individus (échantillon). L'inférence statistique a pour but de résoudre deux types de problèmes: les problèmes d'estimation et les tests d'hypothèses.

Par les estimations, on cherche à estimer à partir de l'échantillon, la valeur numérique d'un ou plusieurs paramètres de la population, et de déterminer la précision de cette ou ces estimations. Les tests d'hypothèses, eux sont destinés à vérifier la validité d'une hypothèse simple ou complexe émise au départ au sujet d'une ou plusieurs populations. La résolution de ces deux types de problèmes est basée sur les distributions d'échantillonnage.

### Les Principes de l'Inférence Statistique

#### Distribution d'échantillonnage

1. Population - échantillon.
2. Distribution d'échantillonnage: de la moyenne et de la variance.

#### Problèmes d'estimation

1. Estimation de la moyenne et de la variance.
2. Intervalles de confiance.

#### Les tests d'hypothèses

1. Méthodes relatives aux moyennes: intervalle de confiance et test de conformité d'une moyenne; test de signification et intervalle de confiance d'une différence de deux moyennes.

2. Méthodes relatives aux variances.
3. Test d'ajustement et de normalité.
4. Analyse de la variance: à un critère de classification, et à deux critères de classification.
5. Comparaison multiple des moyennes: la plus petite différence significative (PPDS); le test de Neyman et Keuls; le test de Dunnett.
6. Méthodes relatives à la régression.
7. Méthodes relatives à la corrélation.

#### EXEMPLES D'ANALYSES ET D'INTERPRETATION STATISTIQUE

L'analyse statistique est la partie la plus facile de l'expérimentation. Elle consiste en l'application de certaines méthodes aux données collectées par l'expérimentateur. Celui-ci n'a pas forcément à apprendre ou à démontrer les formules à utiliser. Cependant, certains principes de base lui sont essentiels. Il doit connaître la signification de certains termes comme la moyenne, la variance, écart-type, covariance, corrélation et régression, et certaines indications importantes comme: une variance n'est jamais négative, le coefficient de corrélation est toujours compris entre -1 et +1, et la covariance peut être négative ou positive.

Les méthodes d'analyse à suivre dépendent principalement de l'objectif de l'expérience, de la nature des traitements et du dispositif expérimental adopté. Des exemples d'analyses statistiques seront présentés dans ce qui suit pour trois dispositifs différents qui sont les plus utilisées:

- dispositif complètement aléatoire.
- dispositif en blocs aléatoires complets.
- dispositif en blocs aléatoires complets avec parcelles divisées ou split-plot.

L'expérimentateur n'est pas censé connaître toutes les méthodes d'analyse statistique. Il peut toujours consulter un statisticien ou un biométricien pour lui demander conseils. Dans ce sens à l'INRA, il existe une section de biométrie et de calcul automatique chargé des consultations et de l'analyse des données.

Après l'analyse, vient l'interprétation des résultats d'analyse. Et c'est la phase finale et la plus importante pour le chercheur.

Il ne faut pas oublier que l'objectif ultime de toute expérimentation est l'obtention de résultats généralisables. Donc l'expérience doit être considérée comme un échantillon. L'univers dans

lequel on voudrait généraliser les résultats est alors la population. Le processus de généralisation ou d'induction statistique n'est valable que si l'échantillon est représentatif.

#### A - Dispositif Complètement Aléatoire

Quatre plantes ont été choisies au hasard dans trois parcelles. Dans chacune des parcelles est cultivée une variété différente de fève. Sur la base des hauteurs observées (Tableau 1), que doit-on conclure quant à la présence de différences significatives entre les trois variétés?

1. Analyse de la variance à un critère de classification: modèle fixe (Tableau 2).
2. Conditions d'application: populations normales de même variance, échantillons aléatoires simples et indépendants.
3. Réalisation des calculs, dans le cas d'échantillon de même effectif.

Tableau 1. Hauteurs (en millimètres) de quatres plantes choisies au hazard des trois variétés de fève.

k	i	1	2	3	Totaux
	1	121	112	136	-
	2	105	139	128	-
	3	98	144	145	-
	4	90	129	125	-
$X_{ik} = X_{i.}$		414	524	534	$X_{..} = 1472$
$\sum X^2_{ik}$		43370	69242	71530	$T = 184142$
$(X_{i.})^2/n$		42849	68644	71289	182782
$\sum (X_{ik} - \bar{x}_{i.})^2$		521	598	241	$SCE_r = 1360$
$\bar{x}_{i.}$		103,5	131	133,5	

$$\text{Terme correctif: } C = X_{..}^2/12 = 180\,569,3$$

$$SCE_t = T - C = 3576,66$$

$$SCE_a = SCE_t - SCE_r = 3576,66 - 1360 = 2216,66$$

Tableau 2. Analyse de la variance

Source de variation	Degré de liberté (d.l)	Somme carrée des écarts (SCE)	Carré moyen (CM)	F(observé)	F(théorique)
Entre les variétés	t-1=2	2216,66	1108,35	$F = \frac{CM_a}{CM_r} = 7,33^{**}$	4,26
Dans les variétés	t(n-1)=9	1360	151,11		
Totaux	11	3576,66			

4) Valeurs théoriques  $\bar{x} = \frac{1472}{12} = 122,67$   $CV = \frac{\sqrt{151,11}}{122,67} = 10,02\%$

F (théorique) 0,95 < F (observé)

5) Conclusion: Il y a de différences significatives entre les trois variétés considérées.

6) Comparaison de moyennes: Plus petite différence significative.

$$PPDS = t_i (0.95) \sqrt{\frac{2CM_r}{n}}$$

$$t_i (0.95) \text{ à } 9d.l. = 2,262$$

$$CM_r = 151,11$$

$$n = 4$$

$$PPDS = 2,262 \times \sqrt{\frac{2 \times 151,11}{4}} = 19,66$$

$$\bar{x}_1 = 414/4 = 103,5$$

$$\bar{x}_2 = 524/4 = 131$$

$$\bar{x}_3 = 534/4 = 135,5$$

On calcule les différences entre les moyennes 2 à 2 en valeur absolue.

$|\bar{x}_1 - \bar{x}_2| = 27,5$     19,66 ==> différence significative entre variétés 1 et 2.

$|\bar{x}_1 - \bar{x}_3| = 30$     19,66 ==> différence significative entre variétés 1 et 3.

$|\bar{x}_2 - \bar{x}_3| = 2,5$     19,66 ==> différence non-significative entre variétés 2 et 3.

## II - Dispositif en Blocs Aléatoires Complètes

Au cours d'une expérience consacrée à la comparaison de 4 fumures appliquées à une culture de betterave sucrière, on a observé les teneurs en sucre suivantes (Tableau 3), dans 4 blocs aléatoires complets. Peut-on en déduire qu'il existe des différences significatives entre les 4 fumures considérées.

Blocs (p)	Fumures (q)				$X_{f.}$
	A	B	C	D	
1	18,1	17,8	18,9	17,7	72,5
2	18,0	17,5	18,1	17,5	71,1
3	18,2	17,7	17,6	17,5	71,0
4	18,0	17,3	17,9	17,6	70,8
$X_{.j}$	72,3	70,3	72,5	70,3	285,4

- Analyse de la variance à deux critères de classification avec échantillon d'une seule observation (Tableau 4). On a un facteur fixe, qui est fumure et un facteur aléatoire qui est bloc. Donc, on est en présence d'un modèle croisé mixte de l'analyse de la variance.
- Conditions d'application: Populations normales de même variance  $\sigma^2$ , échantillons simples aléatoires et indépendants.
- Réalisation: Echantillon d'une seule observation. Pour le cas d'une seule observation, la variance résiduelle n'existe pas.

Calculs:

$$x_{i.} = \sum_{j=1}^q x_{ij} \quad x_{.j} = \sum_{i=1}^p x_{ij}$$

$$x_{..} = \sum_{i=1}^p x_{i.} = \sum_{j=1}^q x_{.j}$$

$$T = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q x_{ij}^2 = 5\,093,06$$

Terme correctif:  $C = x_{..}^2 / pq = \frac{(289,4)^2}{16} = 5090,8225$

SCE fumures

$$\begin{aligned} SCE_a &= \frac{1}{q} \sum_{i=1}^p x_{i.}^2 - C \\ &= \frac{(72,5)^2 + (71,1)^2 + (71,0)^2 + (70,8)^2}{4} - C \\ &= 5091,279 - 5090,8225 = 0,4525 \end{aligned}$$

SCE blocs

$$\begin{aligned} SCE_b &= \frac{1}{p} \sum_{j=1}^q x_{.j}^2 - C \\ &= \frac{(72,3)^2 + (70,3)^2 + (72,5)^2 + (70,3)^2}{4} - C \\ &= 5091,93 - 5090,8225 = 1,1079 \end{aligned}$$

SCE total

$$SCE_t = T - C = 5093,06 - 5090,8225 = 2,2375$$

SCE ab

$$\begin{aligned} SCE_{ab} &= SCE_t - SCE_a - SCE_b \\ &= 2,2379 - 0,4525 - 1,1075 \\ &= 0,6775 \end{aligned}$$

Tableau 4. Analyse de la variance

Source de variation	Degré de liberté	SCE	CM	F(observé)	F(théorique)
Fumures	3	0,4525	0,1508	2,003	3,86
Blocs	3	1,1075	0,3692	4,903**	
Fumures et blocs	9	0,6775	0,0753		
Totaux	15	2,2375			

4) Conclusion statistique:  $\bar{x} = \frac{285,4}{16} = 17,84$ ;  $CV\% = \frac{\sqrt{0,0753}}{17,84} = 1,54\%$

$F(\text{observé}) < F(\text{théorique})$

On accepte l'hypothèse nulle  $H_0: q_1 = q_2 = q_3 = q_4$

5) Conclusion agronomique:

On peut déduire qu'il n'existe pas de différences significatives entre les 4 fumures considérées.

### III - Split-plot

On peut étudier l'inférence des fréquences de récolte (3 fréquences:  $F_1, F_2, F_3$ ) sur la production en vert de deux variétés de fève ( $V_1$  et  $V_2$ ). Cet essai, en bloc aléatoire complet avec parcelles divisées, a été réalisé pendant la campagne 1982-83 par la station centrale des légumineuses alimentaires dans la station expérimentale d'Ellouizia (Tableau 5).

Tableau 5. Données observées en kg/ha: tableau principal

Fréquences récoltes	F <sub>1</sub>		F <sub>2</sub>		F <sub>3</sub>	
	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>
Blocs						
1	15250,0	13083,3	13083,3	14083,3	13116,6	11083,3
2	27666,6	26083,3	11750,0	14250,0	15583,3	12416,6
3	12833,3	11833,3	15083,3	14666,6	14833,3	17166,6
4	12750,0	15250,0	12750,0	14916,6	15000,0	15333,3

## 1) Tableaux intermédiaires

Tableau 6. Fréquences X Variétés

Var	Fr	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	Totaux/V
V <sub>1</sub>		58499,9	52666,6	58533,2	169699,7
V <sub>2</sub>		56249,9	57916,5	55999,8	170166,2
Totaux par fréquence		114749,8	110583,1	114533,0	229865,0

Tableau 7. Fréquences X Blocs

Blocs	Fr	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	Totaux/blocs
1		28333,3	27166,6	24199,9	79699,8
2		33749,9	26000,0	27999,9	87749,8
3		24666,6	29749,9	31999,9	86416,4
4		28000,0	27666,6	30333,3	85999,9

$$T = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q \sum_{k=1}^n x_{ij}^2 = 4879406700$$

$$C = \frac{x_{..}^2}{npq} = \frac{(339865,9)^2}{24} = 4812867917$$

$$SCE_t = T - C = 66538787$$

2) Calculs des différentes sommes des carrées des écarts (SCE)

SCE fréquences (Tableau 6)

$$\begin{aligned} SCE_F &= \frac{1}{qn} \sum_{i=1}^p x^2_{i..} - C \\ &= \frac{1}{2 \times 4} \left[ (114749,8)^2 + (110583,1)^2 + (114533)^2 \right] - C = 1375400 \end{aligned}$$

SCE variétés (Tableau 6)

$$\begin{aligned} SCE_V &= \frac{1}{pn} \sum_{j=1}^q x^2_{.j} - C \\ &= \frac{1}{3 \times 4} \left[ (169699,7)^2 + (170166,2)^2 \right] - C = 9070 \end{aligned}$$

SCE blocs (Tableau 7)

$$\begin{aligned} SCE_B &= \frac{1}{pq} \sum_{h=1}^n x^2_{..h} - C \\ &= \frac{1}{3 \times 2} \left[ (79699,8)^2 + (87749,8)^2 + (86416,4)^2 + (85999,9)^2 \right] \\ &- C = 6442500 \end{aligned}$$

SCE fréquences x variétés (Tableau 6)

$$\begin{aligned}
SCE_{F \times V} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q x_{ij}^2 - C - SCE_F - SCE_V \\
&= \frac{1}{4} \left[ (58499,9)^2 + (5266,6)^2 + (58533,2)^2 + (56249,9)^2 \right. \\
&\quad \left. + (57916,5)^2 \right] + (55999,8)^2 - C - SCE_F - SCE_V = \\
&8471200
\end{aligned}$$

SCE fréquences x blocs: erreur 1 (Tableau 7)

$$\begin{aligned}
SCE_{F \times B} &= \frac{1}{q} \sum_{i=1}^p \sum_{h=1}^n x_i^2 \cdot h - C - SCE_F - SCE_B \\
&= \frac{1}{2} \left[ (28333)^2 + \dots + (30333,3)^2 \right] - C \\
&\quad - SCE_F - SCE_B = 35577400
\end{aligned}$$

$$\underline{SCE \text{ de l'erreur 2}} = SCE_{V \times B} + SCE_{V \times B \times F}$$

$$SCE_2 = SCE_T - SCE_F - SCE_V - SCE_{V \times F} - SCE_{F \times B} = 18263200$$

## 3) Détermination des degrés de libertés (d.l.):

d.l. fréquences	$p-1 = 2$	
d.l. variétés	$q-1 = 1$	
d.l. blocs	$n-1 = 3$	
d.l. FxB (erreur 1)	$(p-1)(n-1) = 6$	
d.l. FxV	$(p-1)(q-1) = 2$	
d.l. (erreur 2)	$(q-1)(n-1) = 2$	= 9
	$+ (p-1)(q-1)(n-1)$	

$$\text{le total des d.l.} = pqn - 1 = 23$$

## 4) Les carrés moyens: Variances (Tableau 8)

C'est toujours le rapport de la SCE par son d.l. correspondant

$$CM_F = \frac{SCE_F}{p-1}, \quad CM_V = \frac{SCE_V}{p-1}, \quad CM_B = \frac{SCE_B}{n-1}$$

$$CM_{FxB} \text{ (erreur 1)} = \frac{SCE_{FxB}}{(p-1)(n-1)}$$

$$CM_{FxB} = \frac{SCE_{FxB}}{(p-1)(q-1)}$$

$$CM_{\text{erreur 2}} = \frac{SCE_{\text{erreur 2}}}{(p-1)(n-1) + (p-1)(q-1)(n-1)}$$

## 5) Tableau 8. Analyse de la variance

SV	d.l.	SCE	CM	F(observés)	F(théorique) 0.95
Fréquences	2	13754	6877	0.116	5,14
Blocs	3	64425	21475	0.362	4,76
Erreur 1	6	355774	59296		
Variétés	1	0907	0907	0.002	5,12
FxB	2	48712	24356	1,2	4,26
Erreur 2	9	182632	20292		
Total	23	66538,8	-		

$$\bar{x} = 141,61$$

$$CV \text{ de l'erreur 1} = \left( \frac{\sqrt{59296}}{14161} \right) \times 100 = 17,19\%$$

$$CV \text{ de l'erreur 2} = \left( \frac{\sqrt{20292}}{14161} \right) \times 100 = 10,06\%$$

## 6) Conclusion

F observé est inférieur à F théorique, donc on conclut qu'il n'y a pas de différence significative entre les trois fréquences et les deux variétés considérées.

## Quelques Notions Fondamentales en Experimentation

B. Hrida  
 Institut National de la Recherche Agronomique  
 Rabat, Maroc

L'observation permet d'acquérir une première connaissance des phénomènes de la nature, au sens le plus large, et d'en déduire des hypothèses qui doivent ensuite être vérifiées et, éventuellement, précisées ou amendées.

Dans certaines disciplines, telles la médecine, l'économie, la météorologie et les sciences de la terre, il n'est pas ou il n'est guère possible de provoquer la réalisation des phénomènes que l'on désire étudier. La vérification des hypothèses émises ne peut alors se faire que par une observation étendue dans le temps ou dans l'espace sous forme d'enquête. Pour d'autres disciplines, les phénomènes étudiés peuvent être provoquée, telles la biologie, la chimie, la physique.

Le contrôle des hypothèses se fera habituellement par l'expérience ou l'expérimentation. L'expérience a pour objet d'exprimer toute chose qui peut conduire à un enrichissement des connaissances. L'expérimentation peut être définie comme étant l'emploi systématique de l'expérience scientifique. Le cycle: hypothèse à tester - expérience - hypothèse nouvelle, constitue la pierre angulaire de la méthode expérimentale. L'expérience ne se limitera pas à un test d'hypothèse mais surtout fournira des indications chiffrées: "estimations".

But et conditions de l'expérimentation

BUT DE L'EXPERIENCE

### Expérience à objectif unique

La définition claire et précise du but de l'expérience est toujours un élément essentiel du protocole expérimental. Dans certains cas, lorsque l'objectif à atteindre est unique, cette définition peut paraître très simple. Mais en réalité, il en est rarement ainsi. Exemple: Comparaison des rendements de différentes variétés. Ce problème recouvre des situations différentes: comparaison de toutes les variétés considérées sur le même pied d'égalité pour identifier la meilleure, ou vraisemblablement, la comparaison des descendances pour estimer certains coefficients d'héritabilité, ou la comparaison d'une ou plusieurs variétés nouvelles avec une ou plusieurs variétés de référence bien connues, en vue de déterminer celle(s) supérieure(s)

aux anciennes, etc. Il faudra donc définir dans chaque cas, ce que l'on entend par "meilleur" ou "supérieur".

La définition d'un objectif précis nécessite un minimum de connaissances préalables des phénomènes à étudier qui peuvent être acquises par une étude bibliographique et critique, conduisant à une synthèse et à des conclusions formulées sous forme d'hypothèse. L'enrichissement des connaissances au départ permettra de mieux organiser l'expérience ou le programme d'expérience.

### Expérience à objectifs multiples

Souvent les expériences agronomiques possèdent simultanément plusieurs objectifs:

- Etude de deux ou plusieurs variables relatives à une même série d'individus. Exemple: Rendement et richesse en matière sèche de différentes variétés de blé.
- Réalisation en plus des mesures de rendements, des observations relatives aux maladies, à la précocité, etc...

Donc il faudra identifier les objectifs en spécifiant leur ordre de priorité, afin d'accorder au moment de la planification, l'attention à l'objectif ou aux objectifs les plus importants.

## CONDITIONS DE L'EXPERIENCE

### Expérience en "station" et "hors-station"

Une expérience en station est une expérience organisée de façon très stricte, au sein d'une station de recherche, d'un laboratoire, ou de tout milieu qui peut être surveillé de près. Une expérience hors-station est une expérience organisée dans un cadre moins bien contrôlé et généralement plus proche de la pratique. La distinction entre les deux situations n'est pas toujours très nette, mais lorsqu'elle existe, elle conduit à des différences importantes au niveau de la planification de l'expérience.

Les expériences en station portent sur un matériel végétal ou animal plus homogène. Les unités expérimentales (parcelles) sont généralement plus petites. Les expériences hors-station portent généralement sur un matériel plus hétérogène. Les unités expérimentales sont plus grandes et les résultats sont très variables.

## Expériences préliminaires, principales et de confirmation

Dans l'ensemble d'un programme de recherche, une distinction peut être faite entre expériences préliminaires, expériences principales et expériences de confirmation. Les expériences préliminaires et principales sont des essais en "station" et les expériences de confirmation sont des essais "hors-station". Exemple: Programme de sélection de variétés: essais de triage, essais comparatifs et essais multilocaux.

Les essais de triage sont des expériences préliminaires permettant d'effectuer un premier choix parmi un grand nombre de variétés (de plusieurs origines). Les essais comparatifs sont des expériences principales destinées à comparer en station et dans des conditions très strictes les variétés retenues au premier stade. Les essais multilocaux sont des expériences de confirmation ayant pour but de vérifier hors-station, le comportement des quelques variétés, finalement sélectionnées et cela dans toute la région de diffusion potentielle de ces variétés et au cours de plusieurs années successives.

### CHOIX DES OBJETS

#### Notion de facteur

On appelle facteur, toute série d'éléments de même nature qui peuvent être comparés au cours d'une même expérience, par exemple: une série de variétés, d'herbicides, de doses d'un même engrais, etc.

On distingue les facteurs qualitatifs (par exemple: "variétés") et quantitatifs (par exemple: "doses d'un même engrais").

On distingue également les facteurs essentiels constituant l'objectif même de l'expérience, et les facteurs accessoires liés à la variabilité du matériel expérimental (facteur bloc, par exemple).

#### Notion d'objet

On appelle objet, toute variante au niveau d'un facteur unique, de même que toute combinaison de variantes ou de niveau de deux ou plusieurs facteurs.

Exemple. Expérience à deux facteurs:

- un facteur "variété" (3 variétés = 3 variantes:  $V_1, V_2, V_3$ )
- un facteur "doses" (2 doses = 2 niveaux :  $D_1, D_2$ )

La combinaison des 2 facteurs constitue une expérience à 6 objets:  $V_1 D_2$ ,  $V_1 D_1$ ,  $V_2 D_1$ ,  $V_2 D_2$ ,  $V_3 D_1$ ,  $V_3 D_2$ .

## CHOIX DES UNITES EXPERIMENTALES

### Unité expérimentale

L'unité expérimentale est l'unité de base de l'expérience qui sera traitée individuellement dès le départ et qui fera l'objet d'au moins une observation. La notion d'unité expérimentale est beaucoup plus large.

Pour les expériences en champ, l'unité expérimentale peut être une parcelle. Dans le domaine des productions végétales, l'unité de l'expérience peut être une plante (un arbre), une partie de plante (une branche, une feuille). Dans le domaine des productions animales, l'unité pourra être un animal, un groupe d'animaux, etc. Dans le domaine industriel, l'unité pourra être une boîte de conserve, un groupe de boîtes, etc.

### Dimension de l'unité expérimentale

Du point de vue théorique, la dimension de l'unité expérimentale doit être la plus petite possible. Mais divers problèmes pratiques se posent à l'utilisation des parcelles de petites tailles (par exemple, le travail du sol, la pulvérisation, qui nécessitent des étendues assez grandes liées notamment au type de matériel utilisé). Il faut donc établir un compromis entre les principes théoriques et les contingences pratiques. Il n'existe aucune règle pour définir la taille des unités expérimentales, mais il est utile de donner quelques ordres de grandeur:

En culture maraîchères: (melon, fraisier) etc. La taille des parcelles est de 1 à quelques mètres carré, à raison d'au moins 5 à 10 plantes/parcelle.

En arboriculture fruitière, les parcelles sont d'environ  $100 \text{ m}^2$ , à raison de 5 arbres/parcelle.

En grande culture, (blé, betterave, etc.), les dimensions sont de l'ordre de 100 à  $1000 \text{ m}^2$ .

En sylviculture, pour un peuplement forestier, les parcelles sont de  $5000 \text{ m}^2$  à un hectare.

### Formes des unités expérimentales

Dans le cas des expériences en champ, et lorsque le terrain est homogène, il y a intérêt de choisir les parcelles aussi carrées que possible.

Si, par contre, le terrain ou le matériel disponible présente une hétérogénéité marquée dans une direction donnée, il est peut-être plus intéressant d'adapter des parcelles rectangulaires allongées parallèlement à la direction de cette hétérogénéité appelée gradient de fertilité; par exemple, un gradient de pente, un gradient de température, etc. En grandes cultures, les parcelles sont très allongées (à cause des outils de travail).

## CHOIX DES OBSERVATIONS

Les observations doivent être aussi nombreuses que possible. On distingue deux types d'observations:

### Observations principales

Ce sont les mesures qu'on s'est décidé d'observer avant l'expérience et qui sont fixées à priori. Dans la plupart des expériences agronomiques, les observations se rapportent essentiellement sur les rendements, à des croissances en poids des animaux, ou en hauteur des végétaux, ou à des teneurs de l'un ou l'autre élément (par exemple la teneur en matière minérale, ou en matière azotée). Dans tous les cas, ces mesures doivent être faites avec la plus grande précision. Il en sera de même pour les comptages éventuels (nombre de fleurs, de fruits, d'insectes, de mauvaises herbes, etc...).

Dès la planification de l'expérience, il y a lieu de définir de façon précise les dates auxquelles, les observations doivent être faites, leurs fréquences éventuelles.

### Observation accessoires

Indépendamment des observations principales, un maximum d'observations considérées accessoires peuvent jouer un rôle essentiel au moment de l'interprétation des résultats. Ces observations peuvent être prévues de façon systématique dès le départ. Par exemple, des mesures de poids initiaux des animaux, le nombre de pieds de betteraves/m<sup>2</sup>, etc.

## PRINCIPAUX DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX

### 1. Les expériences complètement aléatoires (e.c.a.)

#### Principe

Le dispositif expérimental le plus simple consiste en une affectation "au hasard" des différents objets aux différentes unités expérimentales. Cette opération de répartition "au hasard" est appelée aussi randomisation. Elle peut être faite à l'aide des tables des nombres aléatoires. Les unités expérimentales doivent être aussi homogène que possible.

## Analyse des résultats

Le mode d'analyse des résultats des e.c.a. dépend essentiellement du nombre de facteurs pris en considération. Il s'agit en effet, pour un facteur, d'une analyse de la variance à un critère de classification; pour deux facteurs, d'un modèle croisé d'analyse de la variance à deux critères de classification et, pour trois ou plus de trois facteurs, d'un modèle croisé d'analyse de la variance à trois ou plus de trois critères de classification.

Dans tous les cas, l'analyse de la variance pourra être précédée en fonction des besoins, de tests d'égalité des variances et de transformations de variables. De même, elle pourra être complétée par des comparaisons multiples ou des comparaisons particulières de moyennes.

Avantages: les e.c.a. sont plus simples à réaliser, et elles sont adaptées au cas où le nombre d'observations (ou d'unités expérimentales) par objet n'est pas le même.

Inconvénients: les e.c.a. sont souvent relativement peu efficaces et ne conduisent pas à des comparaisons sensibles car elles ne permettent aucun contrôle de l'hétérogénéité du matériel expérimental. Ceci est vrai surtout lorsque le nombre d'objets considérés est grand.

## 2. Les expériences en blocs aléatoires complets (e.b.a.c.)

### Principe

Les expériences en champs: Dans le cas des expériences en champ, au sens large (champ, verger, forêt, etc.) on entend par bloc, un ensemble de parcelles voisines et très semblables les unes aux autres du point de vue croissance de la végétation. Ces blocs sont dits complets lorsque tous les objets mis en expérience sont présents dans chacun d'eux, le nombre de parcelles par bloc étant au moins égal au nombre d'objets (Figure 1).

La répartition des objets se fait normalement de façon complètement aléatoire au sein de chacun des blocs (d'où le b.a.c. est aussi appelé bloc "randomisé" et indépendamment d'un bloc à l'autre. La forme des blocs doit garantir une similitude aussi grande que possible des parcelles à l'intérieur des blocs.

Si le terrain est homogène, il y a intérêt à adopter pour les blocs comme pour les parcelles, une forme aussi carrée que possible. Par contre, quand le terrain présente un gradient de fertilité marqué dans une direction, les blocs doivent être perpendiculaires à ce gradient et les parcelles lui sont parallèles (Figure 1).

1	5	4	6	2	3	Bloc 1
4	2	3	5	6	1	Bloc 2
5	1	2	4	3	6	Bloc 3
1	4	3	6	2	5	Bloc 4

↓ Gradient de fertilité:  
pente

Figure 1. Essai en b.a.c. pour comparer 6 variétés de blé numérotées (1,2,3,4,5,6) dans un terrain présentant un gradient de fertilité (pente).

Quelques autres situations: La notion de b.a.c. peut être étendue à d'autres situations. En effet, l'objectif est de constituer des groupes d'unités expérimentales aussi semblables que possible de manière à réduire l'hétérogénéité au sein des blocs.

Ainsi, dans le domaine de l'arboriculture fruitière, les blocs peuvent être constitués d'arbres d'aspect semblable (même dimensions et même dispositions des branches notamment) sans que ces arbres soient nécessairement les uns à côté des autres.

Dans le domaine de la production animale, les blocs peuvent être des groupes d'animaux de même race, de même âge et de même poids, ou des groupes d'animaux de même père, de même sexe et de même âge, ou mieux encore, lorsque cela s'avère possible, des animaux d'une même nichée et de même sexe.

### Analyse des résultats

Dans le cas d'une expérience faisant intervenir un seul facteur, l'analyse statistique la plus courante consiste en une analyse de la variance à deux critères de classification. Le facteur subsidiaire "blocs" vient s'ajouter au facteur principal étudié. Exemple: dans le cas de la figure 1, il y a un facteur étudié fixe ("variétés" à 6 variantes) et un facteur subsidiaire aléatoire ("blocs" à 4 variances). Il s'agit d'un modèle croisé mixte d'analyse de la variance. Pour deux ou plus de deux facteurs, il s'agit d'un modèle à trois ou plus de trois critères de classification.

Avantages des e.b.a.c.: Elles sont simples à réaliser pour n'importe quel nombre d'objets et de répétitions. Elles conservent leurs propriétés si un objet ou un bloc doit être éliminé. Cependant, l'existence de données manquantes individuelles soulève certaines difficultés d'estimation. Elles sont plus efficaces que les e.c.a.

Inconvénients des e.b.a.c.: Elles sont moins efficaces lorsque le nombre d'objets est grand (plus de 20 ou 30 objets), et lorsque le matériel expérimental est peu homogène.

### 3. Les expériences en b.a.c. avec parcelles divisées (Split-plot)

#### Principe

Elles font intervenir deux ou plus de deux facteurs fixes et un facteur aléatoire ("blocs").

Pour une expérience à deux facteurs fixes du type p.q. (p niveaux du premier facteur et q niveaux du deuxième facteur) et comportant r blocs, la première étape est une répartition des p variantes du premier facteur au sein des p.r. blocs, conduisant à la délimitation des p.r. parcelles appelées grandes parcelles. La deuxième étape consiste dans une répartition aléatoire et indépendante des q variantes du deuxième facteur à l'intérieur des p.r. grandes parcelles, de manière à constituer p.q.r. sous parcelles appelées petites parcelles.

Donc il s'agit d'étudier p.q. objets/bloc. Exemple: Etude de 2 facteurs, un facteur "travail du sol" à deux variantes  $T_1$ ,  $T_2$ , et un facteur "variétés" à trois variantes  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$  (Figure 2).

	$T_2$			$T_1$
Bloc 1	$V_3$	$V_1$	$V_2$	
Bloc 2	$T_1$			$T_2$
Bloc 3	$T_1$			$T_2$

Figure 2. Les variantes du facteur "travail du sol" sont dans les grandes parcelles et celles du facteur "variétés" dans les petites parcelles.

### Analyse des résultats

On se limite ici à deux facteurs. L'interprétation des résultats consiste en une analyse de la variance à trois critères de classification. On donnera ci-dessous l'analyse de la variance pour une expérience à deux facteurs du type p.q et une analyse pour le cas particulier de la figure 2 (Tableau 1).

Tableau 1. Analyse de la variance pour une expérience à deux facteurs du type p.q et une analyse pour le cas particulier de la figure 2.

Sources de variations	Degrés de liberté		Comparaisons
	Cas général	Cas particulier	
Facteur 1	$(p-1)$	1	
Blocs	$(r-1)$	2	
Facteur 1 x Blocs = erreur 1	$(p-1)(r-1)$	2	
Facteur 2	$(q-1)$	2	
Facteur 1 x Facteur 2	$(p-1)(q-1)$	2	
Facteur 2 x Blocs	$(q-1)(r-1)$	4	
Facteur 1 x Facteur 2 x Bloc	$(p-1)(q-1)(r-1)$	4	
"Erreur 2"	$=p(q-1)(r-1)$		
Total	$pqr-1$	17	

L'utilisation du split-plot se justifie dans différentes situations et en premier lieu, lorsque l'un des facteurs considérés nécessite des parcelles plus grandes (mécanisation, pulvérisation d'herbicides, facilité de travail, etc.). Cependant, les comparaisons relatives au facteur lié aux grandes parcelles seront moins précises que le facteur lié aux petites parcelles.

Globalement, par rapport aux e.b.a.c., on doit s'attendre à une perte de précision pour le facteur 1 et un gain de précision pour le facteur 2 et pour l'interaction facteur 1 x facteur 2.

Le recours au split-plot se fait lorsqu'un des facteurs est moins intéressant que l'autre. Dans ces conditions, le facteur moins intéressant sera affecté aux grandes parcelles, et le plus intéressant, aux petites parcelles.

#### 4. Expérience en carré latin (latin-square)

##### Principe

Pour les expériences en champ, on appelle carré latin, un dispositif constitué d'un nombre de parcelles qui est carré (9,16,25...) qui comporte autant de lignes de parcelles que de colonnes de parcelles, et au sein duquel chaque objet est présent une et une seule fois dans chaque ligne et dans chaque colonne (Figure 3).

T <sub>1</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>3</sub>
T <sub>3</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>5</sub>
T <sub>4</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>2</sub>
T <sub>2</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>1</sub>
T <sub>5</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>4</sub>

Figure 3. Comparaison de 5 traitements (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub>) en carré latin 5 x 5.

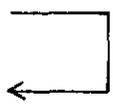
Les lignes et les colonnes d'un carré latin constituent en quelque sorte un double réseau de blocs conduisant à un double contrôle d'hétérogénéité du matériel expérimental.

Dans une expérience zootechnique, les lignes peuvent correspondre à des animaux et les colonnes à des périodes différentes. De même, dans une expérience de chimie ou de technologie, les lignes peuvent être des opérateurs et les colonnes des appareils de mesure ou des machines. L'expérience est organisée de telle façon que chaque objet soit associé une et une seule fois à chacun des opérateurs et une seule fois à chacun des appareils de mesure ou des machines.

### Analyse des résultats

L'analyse statistique correspondante est une analyse de la variance à trois critères de classification (Tableau 2).

Tableau 2. Analyse de variance d'une expérience en carré latin au cas général à  $p$  objets et au cas particulier de l'exemple relatif à la figure 3.

Sources de variations	Degrés de liberté		Comparaisons
	Cas général	Cas particulier	
Objets	$(p-1)$	4	
Lignes	$(p-1)$	4	
Colonnes	$(p-1)$	4	
Variation résiduelle	$(p-1)(p-2)$	12	
Total	$(p^2-1)$	24	

### 5. Les expériences en cross-over

#### Principe

Le dispositif en cross-over peut être considéré comme résultant de la juxtaposition de deux ou plusieurs carrés latins et de la permutation aléatoire de l'ensemble des lignes et de l'ensemble des colonnes. Figure 4 est un essai de comparaison de 4 traitements (1, 2, 3, 4).

2	3	2	1	4	3	1	4
4	2	1	4	1	2	3	3
1	4	3	3	2	1	4	2
3	1	4	2	3	4	2	1

Figure 4. Schéma d'un dispositif en cross-over à 4 objets.

On retrouve chacun des objets une et une seule fois dans chacune des colonnes et un même nombre de fois supérieur à 1 dans chacune des lignes.

Exemple: Dans une expérience zootechnique, les animaux et les périodes correspondent aux lignes et colonnes, les alimentations à comparer correspondant aux objets (Figure 5).

- 3 alimentations = 3 objets = A, B, C
- 6 animaux = 6 lignes = A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub>, A<sub>5</sub>, A<sub>6</sub>
- 3 colonnes = 3 périodes = P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>

	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>
A <sub>1</sub>	A	C	B
A <sub>2</sub>	B	A	C
A <sub>3</sub>	C	B	A
A <sub>4</sub>	C	A	B
A <sub>5</sub>	B	C	A
A <sub>6</sub>	A	B	C

Figure 5. Le dispositif correspondant d'une expérience en cross-over.

### Analyse des résultats

L'analyse de la variance est une extension de celle qui concerne le carré latin. Le Tableau 3 en donne le schéma dans le cas de k.p lignes et p colonnes et le cas particulier relatif à la figure 5.

Tableau 3. Analyse de la variance d'une expérience en cross-over dans le cas de  $k.p$  lignes et  $p$  colonnes et le cas particulier relatif à la figure 5.

Sources de variations	Degrés de liberté		Compara- raisons
	Cas général	Cas parti- culier	
Objets	$(p-1)$	2	
Lignes	$(kp-1)$	5	
Colonnes	$(p-1)$	2	
Variation résiduelle	$(p-1)(kp-2)$	8	
Total	$(kp^2-1)$	17	

#### Références

- Cochran, W.C. and G.M. Cox. 1968. Experimental designs. John Wiley and Sons. New York, USA. 617 pp.
- Dagnelie, P. 1975. Théories et méthodes statistiques - Applications agronomiques. Volume 2. Presses Agronomiques. Gembloux, Belgique. 463 pp.
- Dagnelie, P. 1981. Principes d'expérimentation. Presses Agronomiques. Gembloux, Belgique. 182 pp.
- Federer, W.T. 1955. Experimental design. McMillan. New York, USA. 591 pp.
- Philippeau, G. 1977. Théorie des plans d'expérience - Application à l'agronomie. I.T.C.F. 205 pp.