

Année Universitaire : 2009-2010

Mémoire de fin d'études

Master Sciences et Techniques

Gestion et Conservation de la Biodiversité

Titre

Amélioration génétique de la fève et de la féverole : Etude de la variabilité de quelques caractères agronomiques chez *Vicia faba* L.

Présenté par:

- EL BADI Abdelhadi

Encadré par:

- FATEMI Zain El Abidine
- LAZRAQ Abderrahim

Soutenu Le 22 Juin 2010, devant le jury composé de :

- Pr. « LAZRAQ Abderrahim ».....FST-Fès.....Président
- Pr. « FATEMI Zain El Abidine ».....INRA-Maroc.....Encadrant
- Pr. « AMRANI JOUTEI Khalid ».....FST-Fès.....Examineur
- Pr. « DERRAZ Khalid ».....FST-Fès.....Examineur
- Pr. « EL GHADRAOUI Lahcen ».....FST-Fès.....Examineur

SOMMAIRE

Remerciements

Dédicaces

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

INTRODUCTION GENERALE 1

BIBLIOGRAPHIE

A. GENERALITES SUR *Vicia faba* L.3I. Description de *Vicia faba* L.....31. Description végétative de *Vicia faba* L..... 32. Description de la fleur de *Vicia faba* L..... 3

3. Description du fruit des fèves 4

II. Origines des fèves..... 5

III. Systématique des fèves 6

IV. Aspects cytogénétiques chez *Vicia faba* L. 6V. Caractérisation des sous-espèces et variétés de *Vicia faba* L. 7

VI. Semis des plantes de fèves..... 8

VII. Croissance et développement des fèves 9

VIII. Récolte des fèves..... 9

IX. Utilisations des fèves 9

X. Propriétés des fèves..... 10

1. Composition des fèves 10

2. Favisme 11

3. Caractéristiques médicinales des fèves..... 11

XI. Maladies et ravageurs des fèves 11

XII. Ressources génétiques des fèves..... 12

XIII. Composantes de rendement chez les fèves 13

B. AMELIORATION GENETIQUE CHEZ *Vicia faba* L. AU MAROC.....15

I. Amélioration génétique des plantes..... 15

1. Historique	15
2. Définition	15
3. Objectifs	16
4. Méthodes de sélection.....	16
II. Production des fèves au Maroc	18
1. Importance économique des fèves au niveau national.....	18
2. Evolution des superficies récoltées en fèves, entre 1999 et 2008, au Maroc.....	18
3. Evolution des productions des fèves au Maroc, entre 1999 et 2008.....	19
4. Evolution des rendements des fèves au Maroc, entre 1999 et 2008.	20
5. Conclusion.....	21
III. Contraintes à la production des fèves au Maroc	21
1. Facteurs abiotiques	21
2. Facteurs biotiques	22
IV. Objectifs de sélection chez <i>Vicia faba</i> L. au Maroc	31
1. Système de reproduction chez les fèves.....	31
2. Objectifs de sélection au Maroc.....	31
MATERIELS ET METHODES	
I. Stratégie d'amélioration des fèves suivie par le laboratoire d'amélioration de la fève et de la féverole.	33
1. Etape 1 : Collectes et introductions.....	34
2. Etape 2 : Création de la variabilité génétique.....	34
3. Etape 3 : Sélection sur le matériel ségrégant	35
4. Etape 4 : Test préliminaire.....	35
5. Etape 5 : Test de productivité	36
6. Etape 6 : Vérification en milieu réel.....	37
II. Matériel végétal.....	37
III. Protocole expérimental.....	38
1. Itinéraire technique	38

2.	Dispositif expérimental	38
3.	Notations et observations	39
4.	Conditions climatiques du Domaine Expérimental de Douyet pour la saison 2009-2010.....	42
RESULTATS ET DISCUSSIONS		
I.	Analyse univariée	44
1.	Données végétatives	45
2.	Données d'inflorescence et de fruit	47
3.	Graine	52
4.	Autres descripteurs	55
II.	Corrélations partielles de quelques descripteurs	58
III.	Analyse multivariée	61
1.	Regroupement des populations	61
2.	Analyse en Composantes Principales ACP.....	62
IV.	<u>Discussions</u>	64
CONCLUSION GENERALE		66
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES		67
Annexe.....		71

INTRODUCTION GENERALE

Selon FAO, la superficie des légumineuses alimentaires récoltée au Maroc a atteint 402700 ha pendant la campagne agricole 2007-2008, occupant la deuxième place derrière les céréales avec 4852500 ha. Dans la filière des légumineuses alimentaires, les fèves ont occupé, pendant la campagne 2007-2008, le premier rang avec 180800 ha de superficie récoltée (ce qui est de 45,6% de la superficie totale des légumineuses alimentaires), suivies par les pois chiches avec 78500 ha (19,6%), par les lentilles avec 32700 ha (13,5%) et par les petits pois avec 18606 ha (9,6%). Il est à noter que la culture des fèves au Maroc est concentrée dans la zone centre – nord du pays à savoir Taounate, Taza et Fès (Fatemi, 1996).

Ceci étant dit, le Maroc compte parmi les premiers producteurs des fèves à l'échelle du globe. En fait, selon des statistiques de la FAO, le Maroc occupait en 2006 la 4ème position dans la production des fèves derrière la Chine, l'Ethiopie et la France. En 2007, il était le neuvième producteur derrière la Chine, l'Ethiopie, la France, l'Egypte, le Soudan, l'Australie, le Royaume-Uni et le Pérou. La classification des Grandes Economies mondiales telles que la Chine, le Royaume Uni, la France et l'Australie parmi les premiers producteurs mondiaux des fèves prouve l'importance économique dont jouissent les fèves à l'échelle mondiale. Statistiquement, la production des fèves, au Maroc, en tonnes, en 2005 était de 72960 et en 2006 de 180490. Cette production a enregistré, en 2007, une chute remarquable par rapport aux deux années précédentes avec une production d'uniquement 69850 tonnes. Le rendement, lui, était en 2005 de 5,01 qx/ha, de 10,67qx/ha en 2006 et de 3,86 qx/ha en 2007.

Il s'avère de ces chiffres que les productions, les rendements ainsi que les superficies récoltées des fèves au Maroc se caractérisent par leur instabilité d'un an à l'autre. Cette instabilité est due, entre autres, à l'utilisation d'un matériel végétal local peu performant (Fatemi, 1996).

C'est dans le but de relever cette contrainte principale, responsable de toutes les autres (sensibilité vis-à-vis des différentes maladies, sensibilité à la sécheresse et aux variations climatiques), qu'il y a eu création du laboratoire d'amélioration de la fève et de la féverole, qui relève de l'Unité de Recherche, d'Amélioration Génétique et de Conservation des Ressources Phytogénétiques qui, elle, relève du Centre Régional de la Recherche Agronomique de Meknès. Le laboratoire en question a pour objectif la création de variétés de fève et de féverole productives et adaptées aux divers agrosystèmes du pays, en se basant sur

l'amélioration génétique, connue pour son rôle indiscutable dans la production de cultivars plus productifs et adaptés partout sur le globe terrestre (Zahour, 1992).

Notre stage, effectué au sein de ce laboratoire, a pour thème l'amélioration génétique de la fève et de la féverole et pour sujet l'étude de la variabilité de quelques caractères agronomiques chez elles.

Le présent document se divise en deux grandes parties :

- ✓ La partie bibliographique, rassemblant les diverses données bibliographiques collectées sur l'institution où ce travail a été réalisé, sur l'espèce *Vicia faba* L. (ou fèves) et aussi sur la culture de cette espèce au Maroc (production, problèmes et amélioration génétique).
- ✓ Et la partie pratique, résumant les résultats de notre stage effectué au Domaine Expérimental de Douyet.

A. GENERALITES SUR *Vicia faba* L.

I. Description de *Vicia faba* L.

1. Description végétative de *Vicia faba* L.

Les fèves, *Vicia faba* L., sont des plantes herbacées annuelles, pouvant atteindre 2 m de haut. Elles ont des tiges carrées, creuses et variables en nombre (figure1).

Les feuilles chez *Vicia faba* L. sont alternes, paripennées, à 2–6 folioles ovales à elliptiques.

Les fèves ont des racines pivotantes et bien développées en plus de racines latérales vigoureuses.



Figure 1 : Photo d'une plante de *Vicia faba* L. (Photo: ICARDA, 1984)

2. Description de la fleur de *Vicia faba* L.

Les inflorescences chez *Vicia faba* L. sont des grappes de 2 à 12 fleurs, selon la variété, insérées aux nœuds de la plante.

Selon Bond et Poulsen (1983), les fleurs des fèves se caractérisent par une structure typique des papilionacées. Cependant, elles sont plus larges et possèdent une longue corolle (surtout chez quelques cultivars de *Vicia faba major*) par rapport aux autres légumineuses. Les sépales sont en nombre de 5 et sont soudés. La corolle est irrégulière et composée de 5 pétales : l'étendard, deux ailes et deux carènes (Figure2).

Chez la majorité des cultivars, les ailes présentent des taches de mélanine de couleur noire ou marron.

La fleur a 10 étamines dont 9 soudées et une libre. L'ovaire de la fleur a de 2 à 9 ovules (parfois 10). Le style est, dans la majorité des cas, penché à droite et porte des poils en quantité variable à son niveau supérieur au dessous des stigmates.



Figure2 : Photo pour la fleur de *Vicia faba* L.
(Légende d'après Bond & Poulsen, 1983)

3. Description du fruit des fèves

En ce qui concerne le fruit, les fèves donnent une gousse contenant des graines de forme ovale et aplatie avec une peau épaisse (Figure3). La graine est farineuse avec une saveur prononcée de noisette et une texture onctueuse.



Figure3 : Gousse de fève contenant des graines. (blogs-afrique.info)

II. Origines des fèves

On ne connaît pas de forme ancestrale aux fèves et tous les rapprochements taxonomiques tentés avec *Vicia narbonnensis* et *Vicia galilea*, en particulier, se sont heurtés aux incompatibilités (Bond & Poulsen, 1983).

Selon Le Guen J. et Duc G. (1996), le centre de diversification de l'espèce *Vicia faba* L. serait localisé au Proche et Moyen-Orient. A partir de ce centre d'origine, différentes migrations auraient eu lieu:

- ✓ L'une, la plus importante, se serait faite autour du bassin méditerranéen. A partir de cette première migration, une extension vers l'Europe du Sud (Espagne, Italie) et de l'Ouest (France) se serait produite à la suite de conquêtes et d'échanges commerciaux.

- ✓ Une seconde migration vers l'est, et en particulier vers l'Inde et l'Afghanistan, se serait opérée en même temps qu'une migration vers le sud et plus spécialement vers l'Ethiopie. Une aire secondaire de diversification se serait constituée dans ces régions.

- ✓ Les grandes migrations vers l'Europe Centrale et l'Europe du Nord auraient débuté aux environs de l'âge du fer.

- ✓ La migration la moins bien connue est celle réalisée vers la Chine et qui se serait réalisée en deux temps : La première se serait produite il y a environ 2000 ans pour le type minor et la seconde vers les années 1100-1200 de notre ère pour le type major.

- ✓ Des migrations tardives (XVIème siècle) ont également eu lieu vers l'Amérique du Sud pour le type major au temps des conquêtes coloniales espagnoles et portugaises. Ces fèves ont produit des cultivars très adaptés à la culture d'altitude (fève de Cuzco au Mexique et fèves des Andes en Amérique du Sud). Du fait de cette adaptation très particulière, le Pérou, la Bolivie, la Colombie, l'Equateur et le Mexique peuvent être considérés comme d'importants centres secondaires de diversification.

NB : Il en résulte de ces diverses migrations et de la constitution des centres secondaires de diversification aussi différents comme l'Ethiopie, l'Amérique latine, l'Europe et la Chine que la variabilité génétique de l'espèce *Vicia faba* L. est considérable (Le Guen J. et Duc G., 1996).

III. Systématique des fèves

La fève, *Vicia faba* L., appartenant à l'ordre des Fabales et à la famille des Fabaceae, est une espèce dont la classification prête encore aujourd'hui à discussion (Le Guen J. et Duc G., 1996). Un consensus est, cependant, généralement trouvé sur la classification de Muratova, qui subdivise l'espèce en deux sous-espèces, paucijuga et eu-faba (Le Guen J. et Duc G., 1996)

Dans le groupe eu-faba, cette classification distingue trois variétés botaniques : *Vicia faba minor*, *Vicia faba equina* et *Vicia faba major* (Figure4):

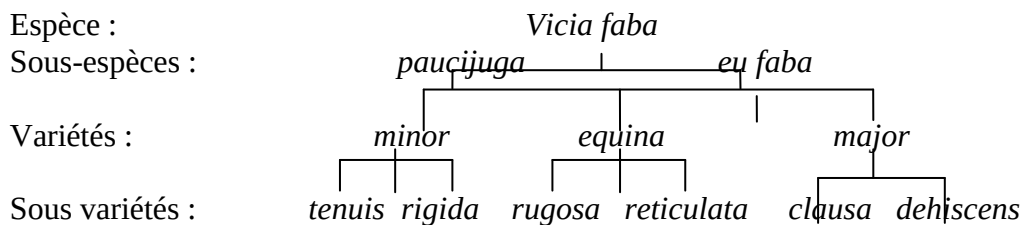


Figure4 : Classification de *Vicia faba* L. selon Muratova (Le Guen J. et Duc G., 1996)

Dans le langage courant, *Vicia faba major* correspond à la fève, essentiellement cultivée dans le bassin méditerranéen, en Amérique du Sud et en Asie du Sud-Est (Chine en particulier) pour la consommation humaine. *Vicia faba equina* et *Vicia faba minor* représentent la féverole, plus répandue en Europe occidentale et du Nord et plus particulièrement destinée à l'alimentation du bétail.

D'autres classifications ne reconnaissent pas la sous espèce paucijuga et subdivisent l'espèce *Vicia faba* L. en deux sous espèces *Vicia faba faba* et *V. faba minor* comportant elles-mêmes de nombreuses variétés et sous-variétés botaniques.

IV. Aspects cytogénétiques chez *Vicia faba* L.

Le genre *Vicia* comprend environ 120 espèces, réparties principalement dans les régions tempérées de l'hémisphère nord et de l'Amérique du Sud, avec quelques espèces en Afrique.

Selon Le Guen et Duc (1996), *Vicia faba* L. est une espèce très isolée dans le genre *Vicia*, en particulier sur le plan cytogénétique : Alors que la majorité des autres espèces du genre possède 7 chromosomes de petite taille, *Vicia faba* L. possède 6 chromosomes de grande taille (Le Guen J. et Duc G., 1996). Ces chromosomes sont multi brins et présentent, sous forme super enroulée, une quantité considérable d'ADN. Cet ADN, dont la quantité peut

varier dans de larges mesures d'une cellule à l'autre dans un même groupe d'organes, est représenté, en grande partie, par de l'ADN redondant ou répétitif (Le Guen J. et Duc G., 1996). C'est sans doute l'une des raisons pour lesquelles, malgré la somme des travaux réalisés sur les chromosomes de *Vicia faba* L., peu de travaux sont aujourd'hui réalisées sur la cartographie du génome de l'espèce.

V. Caractérisation des sous-espèces et variétés de *Vicia faba* L.

Les distinctions entre sous-espèces, variétés et sous variétés botaniques, pour toutes les classifications, sont basées sur des différences de poids, de taille et de forme des grains (Le Guen J. et Duc G., 1996).

La variété major (=faba pour d'autres classifications) représente les cultivars à gros ou très gros grains (figure 5), alors que la variété minor dans la classification de Muratova et dans les autres classifications correspond aux types à petits grains et la variété equina aux types à grains moyens.



Figure5 : Graines de *Vicia faba major*



Figure6 : photo pour les gousses de *V. faba equina*

Par ailleurs, les grains de la variété minor sont généralement ovoïdes, réguliers et lisses (figure7). Ceux de *Vicia faba major* sont larges et plats (Le Guen J et Duc G., 1996).



Figure7 : Graines de *Vicia faba minor*

Enfin, le port des plantes est également une caractéristique de chaque variété botanique (Le Guen J. et Duc G., 1996): Le type minor possède des gousses courtes (2 à 3 ovules), cylindriques et à port érigé sur les tiges. Le type equina présente des gousses plus larges (3 à 4 ovules) (Figure 6), plus aplaties, généralement semi-érigées ou à port « horizontal ». Le type major enfin est caractérisé par des gousses très longues (8 à 13 ovules), aplaties, souvent recourbées « en sabre », retombantes et traînant en général à terre.

Le type paucijuga, bien que non reconnu par d'autres classifications, présente, cependant, des caractéristiques permettant de le distinguer nettement des autres groupes. Dans

cette sous-espèce, les plantes présentent des tiges en général grêles, une forte ramification (de 4 à 6 tiges par pied) et des folioles étroites. Les grappes florales portent peu de fleurs (de 2 à 3 par grappe contre 6 à 12 chez les autres types), des grains petits et pratiquement toujours à tégument noir (Le Guen J. et Duc G., 1996).

VI. Semis des plantes de fèves

- ✓ Selon Bond et al., (1980), pour qu'un sol soit convenable à la culture des fèves, il doit être fertile et ses teneurs en minéraux, particulièrement le potassium, doivent être élevées.
- ✓ Le pH du sol est important et doit, au moins, être de 6,5.
- ✓ Une souche efficace de *Rhizobium* ou une réserve d'azote minéral doit être présente au niveau du sol de la culture.
- ✓ L'humidité du sol doit être adéquate pour assurer le bon semis et pour prévenir l'égrenage des gousses immatures.
- ✓ Le rendement en graines par zone est relativement non influencé par l'espacement entre les plantes. Les féveroles se développent habituellement dans une densité d'environ 40 plantes par mètre carré, tandis que pour les fèves cette densité est de 15 plantes par mètre carré.
- ✓ Les graines doivent être semées à une profondeur d'au moins 8 cm, pour assurer une bonne installation et pour éviter les dommages causés par les oiseaux par exemple (Bond et al., 1980).

VII. Croissance et développement des fèves

Cinq stades principaux ont été distingués pour caractériser le développement des fèves : germination et levée, développement végétatif, développement reproductif, sénescence de la gousse et sénescence de la tige.

Le développement végétatif se poursuit après que le développement reproductif ait commencé, ce qui signifie que les deux stades se déroulent en même temps. Le démarrage de la floraison est fortement lié aux conditions du milieu (température, photopériode) et peut survenir entre 1 et 7–8 mois après le semis (<http://database.prota.org>). Les durées longues de floraison concernent les cultures d'hiver dans les régions tempérées.

VIII. Récolte des fèves

Les fèves se récoltent avant leur pleine maturité physiologique, car l'égrenage des gousses et leur pourrissement pourraient être la conséquence d'une récolte tardive, en particulier lorsque la pluie survient.

Le meilleur stade pour la récolte est lorsque les feuilles et les gousses se dessèchent..

Les fèves peuvent se récolter à la moissonneuse-batteuse, mais la récolte manuelle est d'usage courant (surtout dans les pays africains. On arrache les plantes ou on les coupe à l'aide d'un petit couteau ou d'une faucille. La récolte se fait généralement tôt le matin ou en fin d'après-midi, pour diminuer les pertes dues à l'égrenage. Les plantes récoltées sont disposées en petits tas et laissées à sécher au champ pendant quelques jours. Puis, elles sont transportées à l'aire de battage.

IX. Utilisations des fèves

Les fèves se cultivent en plein champ pour leurs graines mûres et sèches et en jardin potager pour leurs graines ou leurs gousses immatures.

En Ethiopie, dans les pays méditerranéens, au Proche-Orient et en Chine, les graines mûres et sèches sont un aliment très répandu, et dans de nombreux pays, ce sont les graines vertes que l'on consomme, cuites à l'eau ou crues, comme légume (<http://database.prota.org>).

Les graines mûres et les parties végétatives des fèves servent de concentré, de foin ou d'ensilage pour les animaux domestiques. En Ethiopie, la paille s'emploie comme combustible pour faire la cuisine. La tige et les feuilles s'utilisent comme engrais vert, par

exemple en Chine, là où les graines et les parties végétatives possèdent aussi toutes sortes d'applications médicinales.

En Europe, on frotte l'intérieur des gousses vertes sur les verrues pour les faire disparaître.

X. Propriétés des fèves

1. Composition des fèves

Tableau1 : Composition de 100 g de partie comestible de graines mûres crues de fève (<http://database.prota.org>):

	Eau en g	Protéines en g	Glucides en g	Lipides en g	Minéraux en mg	Vitamines	acides aminés essentiels en mg	principaux acides gras en mg
Composition des graines de fèves par 100 g de partie comestible	11,5	26,1	58,3	1,5	Ca 103 Mg 192 P 421 Fe 6,7 Zn 3,1	A, B Thiamine, Riboflavine Niacine , Folates, Acide ascorbique	Tryptophane 247 Lysine 1671 Méthionine 213 Phénylalanine 1103 Thrénine 928 Valine 1161 Leucine 1964 Isoleucine 1053	acide linoléique 581 acide oléique 297 acide palmitique 204

2. Favisme

Chez certaines personnes génétiquement prédisposées, qui vivent surtout dans la région méditerranéenne, la consommation excessive de graines de fève, surtout immatures, et même l'inhalation de pollen, provoque le favisme (une sorte d'anémie hémolytique résultant de l'accumulation de β -glycosidase (vicine et convicine) et de leurs aglycones chez des personnes dont les globules rouges ont une déficience de l'enzyme glucose-6-phosphate déshydrogénase).

Le favisme se traduit par un éclatement de globules rouges. Cet éclatement a pour conséquences principales :

- ✓ La diminution, parfois dramatique, de la capacité du sang à transporter l'oxygène, avec asthénie (fatigue) et pâleur.
- ✓ La formation de débris d'hématies qui peuvent entraver le fonctionnement de certains organes comme les reins.
- ✓ Une jaunisse ou ictère causés par la dégradation de l'hémoglobine contenue dans les globules rouges.

Cette anémie peut être de gravité variable et nécessiter des soins intensifs ou peut se réparer spontanément en quelques jours grâce à la synthèse de nouveaux globules rouges par la moelle osseuse.

3. Caractéristiques médicinales des fèves

Les graines de fèves ont des effets réducteurs de lipides chez les humains et les rats.

Les protéines isolées des graines ont fait ressortir une activité antioxydante.

L'agglutinine, une lectine extraite des fruits de fèves, peut ralentir la progression du cancer du colon.

XI. Maladies et ravageurs des fèves

Selon Bond et al., (1980), le ravageur le plus commun des fèves est *Botrytis fabae* (taches chocolat), mais des attaques sévères peuvent avoir lieu par *Sitona lineatus* (Sitone du pois), *Meligethes sp.* (Coléoptère ravageur), *Kakothrips robustus* (Thrips du pois), le nématode *Ditylenchus dispaci* et l'insecte *Bruchus sp.*

D'autres maladies sont communes chez *Vicia faba* L., comme : l'antracnose (*Ascochyta fabae*), le mildiou (*Erysiphe polygoni*), les pourritures racinaires (*Fusarium sp.*, *Rhizoctonia sp.*) (Bond et al., 1983).

Des nématodes et deux virus (Broad Bean Stain et Ectes Ackerbohnmosaik) peuvent être transmis via les graines des fèves (Bond et al., 1983).

Dans les régions de la méditerranée, l'orobanche réduit sévèrement la production (Bond et al., 1983).

XII. Ressources génétiques des fèves

L'importance de la diversité génétique pour le développement de variétés adaptées est incontestable (Sadiki, 1996). Par exemple, en Egypte, les ressources génétiques de fèves ont été utilisées pour le développement de variétés plus productives et à haut niveau de résistance aux divers stress biotiques et abiotiques (Khalil S.A. et al., 1996).

En raison de sa position géographique de double façade atlantique et méditerranéenne, de son relief complexe et de son climat diversifié, le Maroc est le centre de diversité d'un bon nombre d'espèces végétales y compris *Vicia faba* L. (Sadiki, 1996).

Cependant, les ressources génétiques des espèces sont exposées aux érosions dues aux divers facteurs biotiques et abiotiques (Sadiki, 1996). Par conséquent, les ressources génétiques (ou diversité génotypique) doivent être collectées, caractérisées et évaluées pour les utiliser en programmes de sélection et/ou pour être conservées (Sadiki, 1996).

La figure 8 résume les diverses activités applicables aux ressources génétiques d'une espèce végétale (Sadiki, 1996) :

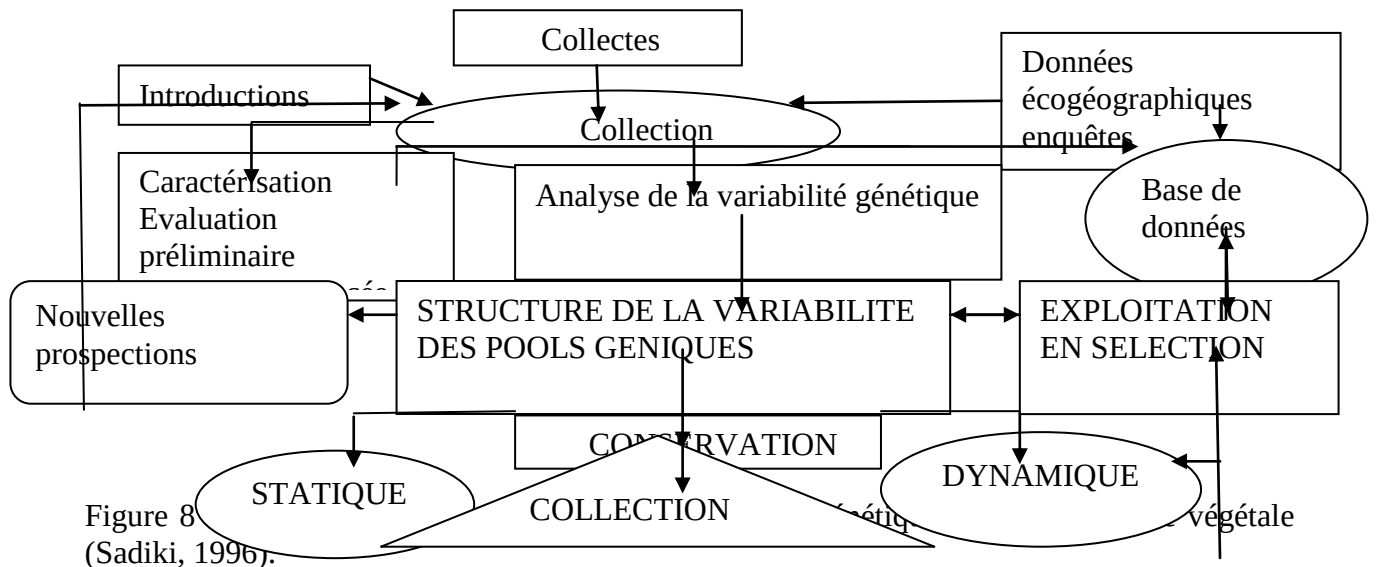


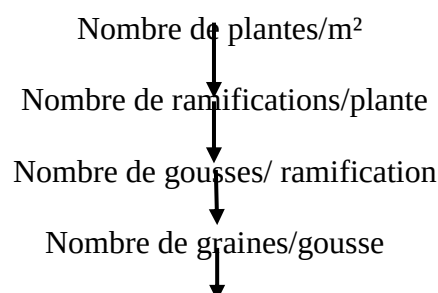
Figure 8
(Sadiki, 1996).

XIII. Composantes de rendement chez les fèves

Le rendement de la fève a une héritabilité faible (Bond, 1966). Il dépend de la variabilité génétique disponible, des effets majeurs des facteurs abiotiques ou biotiques et de la forte interaction génotype X environnement (Bond, 1966).

Le rendement est la résultante de composantes végétales et reproductrices formées successivement au cours du développement de la plante (figure 9).

La décomposition du rendement montre que le nombre de plantes par unité de surface et le nombre de ramifications par plante constituent des caractères primordiaux pour l'établissement d'un bon rendement (López-Bellido et al., 2005). Ce sont les premières composantes du rendement à s'établir au début du cycle de la fève. Ainsi, une bonne installation de la culture, à une densité optimale, est nécessaire pour l'obtention de bons rendements (López-Bellido et al., 2005). Plus précisément, l'augmentation de la densité des plantes cause la réduction du nombre de gousses par plante alors que le nombre de graines par gousse et le poids moyen du grain tendent à rester constants (López-Bellido et al., 2005).



Poids moyen d'une graine

Figure 9: Le rendement grain et ses composantes

De l'autre côté, en moyenne plus de 80% des variations du rendement chez les féveroles sont expliquées par les variations du nombre de graines et de gousses par m² (Raphalen et al., 1986).

Poulain et al. (1990) ont trouvé une corrélation positive hautement significative entre le poids moyen du grain, le nombre de grains par m² et le rendement grain. Ces auteurs ont aussi indiqué que le rendement grain est corrélé avec le nombre de jours à la floraison et au poids moyen du grain.

Knudsen et al. (1983) ont trouvé que la durée de la phase de floraison est négativement corrélée au poids moyen de la graine et au nombre de graines par gousse.

D'autres travaux ont montré que le rendement grain est très fortement corrélé avec le nombre de gousses/m², le nombre de gousses par plante et le nombre de graines/m². De Costa et al. (1997) ont aussi trouvé une forte corrélation entre le rendement grain et le nombre de gousses par m² et suggèrent ainsi que le rendement grain est sous la dépendance du nombre de puits reproducteurs.

Silim et Saxena (1992) ont trouvé que le rendement grain est fortement corrélé à la matière sèche totale, au poids moyen du grain et à l'indice de récolte et que ce rendement grain est négativement corrélé au nombre de gousses/m² et au nombre de grains/m².

Relativement à la date de semis, Loss et Siddique (1997) ont rapporté que le nombre de graines par gousse ne varie pas en fonction de la date de semis mais que le poids moyen du grain diminue avec les semis tardifs aux environnements arides.

B. AMELIORATION GENETIQUE CHEZ *Vicia faba* L. AU MAROC

I. Amélioration génétique des plantes

1. Historique

Il y a des centaines de milliers d'années, alors que l'un de nos ancêtres ramenait dans sa hutte des fruits pour les consommer en famille et laisser s'échapper des graines dans des détritux permettant une germination à proximité de l'habitation, que l'amélioration des plantes était amorcée (Demarly Y. & Sibi M., 1996).

Les formes modernes de l'amélioration des plantes sont apparues au XIX siècle après un long processus qui a pratiquement commencé en 1676 avec la découverte du rôle des organes sexuels chez les végétaux par Millington-Grew (Zahour, 1992). Ensuite, il y avait les travaux de Gregor Mendel sur le croisement de deux variétés de petits pois qui ont donné la vraie naissance de la sélection des plantes (Zahour, 1992).

2. Définition

La sélection végétale selon Vavilov, 1935, agronome et généticien russe, est l'évolution des plantes dirigée par la volonté de l'Homme.

Frankel (1958), chercheur australien, l'avait défini comme étant l'ajustement génétique des plantes au service de l'Homme.

Zahour (1992), ancien cadre de l'Institut Agronomique et Vétérinaire HASSAN II, reporte sur la base de ces définitions que : « La sélection des plantes est donc l'art et la science qui visent à modifier la structure génétique des plantes pour répondre aux besoins de l'Homme. La sélection à ses débuts était plus un art qu'une science et se basait surtout sur le jugement du sélectionneur et sur sa capacité à identifier les génotypes supérieurs ».

De nos jours, et avec le développement spectaculaire de la biologie, la sélection végétale est devenue plus une science qu'un art. En tant que science, la sélection des plantes s'appuie largement sur les lois de la génétique qui permettent aux sélectionneurs de raisonner le choix des génotypes (Zahour, 1992).

3. Objectifs

Les objectifs de la sélection sont nombreux :

- ✓ L'amélioration de la productivité (Zahour, 1992).
- ✓ L'adaptation variétale (Zahour, 1992).
- ✓ La résistance aux maladies et aux parasites (Zahour, 1992).
- ✓ L'amélioration de la qualité (Zahour, 1992).

4. Méthodes de sélection

Les méthodes de sélection (ou d'amélioration génétique) sont multiples et sont en étroite relation avec le mode de reproduction de la plante. Ainsi, il y a des méthodes qui s'appliquent aux plantes autogames, des méthodes propres pour les allogames et des méthodes intermédiaires utilisables pour les deux types cités, sans oublier les techniques d'amélioration applicables pour les plantes à multiplication végétative (Zahour, 1992).

Pour *Vicia faba*, qui est une plante autogame et allogame à la fois, selon la présence ou l'absence d'insectes pollinisateurs et selon les conditions climatiques régnant lors de la pollinisation (Bond & Poulsen, 1983), parmi les méthodes de sélection applicables: la sélection Bulk et la sélection de plante individuelle, suivies par le laboratoire d'amélioration de la fève et de la féverole du CCRA de Meknès :

- ✓ La sélection Bulk

Procédure générale

Année 1 : choix des parents et réalisation des croisements (Zahour, 1992).

Année 2 (F1) : semis de 20 à 50 graines F1 (Zahour, 1992).

Année3(F2) : semis des F2 (2000 à 4000 plantes). Les plantes F2 ne sont pas espacées. Une densité normale de semis est utilisée. Récolte du tout en vrac et prise d'un échantillon pour le semer en F3 (Zahour, 1992).

Année4-6 : pour les générations F3 à F5. Utiliser la même procédure que pour F2 (Zahour, 1992).

Année7 (F6) : semis de 3000 à 5000 graines F6. Les graines sont espacées. Choix des 250 à 600 meilleures plantes. Récolte de chaque plante sélectionnée séparément (Zahour, 1992).

Année8 (F7) : semis des plantes choisies en F6, plante par ligne. Choix des 25 à 30 meilleures lignes. Récolte de chaque ligne choisie séparément (Zahour, 1992).

Année9 (F8) : Si la quantité de semence le permet, commencer les essais préliminaires pour le rendement (Zahour, 1992).

Année10-13 : essais comparatifs pour le rendement (Zahour, 1992).

Modifications

Les plantes peuvent être espacées et sélectionnées individuellement lors des générations antérieures (F3 à F5) à celle indiquée ici (Zahour, 1992).

Détermination du rendement des récoltes en vrac en même temps que l'on effectue un échantillonnage pour la génération suivante. Des croisements entiers peuvent être éliminés sur la base de ces rendements (Zahour, 1992).

Caractéristiques

La méthode Bulk est simple et peu coûteuse (Zahour, 1992).

Peu d'efforts sont généralement engagés durant les premières générations (Zahour, 1992).

Les plantes hautes et tardives sont généralement favorisées par cette méthode, ce qui peut être en contradiction avec les aspirations du sélectionneur (Zahour, 1992).

- ✓ La sélection de plante individuelle

Procédure générale

La première étape : choix d'un nombre important de plantes ou d'épis au sein d'une population hétérogène. Le nombre dépend de l'espèce sélectionnée, du terrain et des moyens financiers disponibles (Zahour, 1992).

La deuxième étape : semis des descendances des plantes choisies (plante ou épi par ligne). Elimination des types non désirables. Chaque lignée homogène est récoltée et sa descendance est assurée séparément durant une ou plusieurs années pour des observations supplémentaires dans différents environnements (Zahour, 1992).

La troisième étape : Cette étape dure au moins trois ans, quand les lignées résultantes (généralement très peu) sont comparées entre elles et avec une ou plusieurs variétés déjà établies pour le rendement, la résistance aux maladies, la précocité, la hauteur, etc. (Zahour, 1992).

II. Production des fèves au Maroc

1. Importance économique des fèves au niveau national

D'après les statistiques de la FAO, la superficie des légumineuses alimentaires récoltées, au Maroc, en 2006 était de 408850 ha et en 2007 de 402700 ha, venant en deuxième position du point de vue importance de superficie récoltée derrière les céréales avec 4852500 ha en 2006 et avec 5316700 ha en 2007.

D'après la figure 10, les fèves occupent la première place du point de vue superficie récoltée avec 180800 ha, en 2007-2008, ce qui représente à peu près 44% de la superficie de toutes les légumineuses alimentaires. Les fèves sont suivies par les pois chiches avec 78500 ha (19%), les lentilles avec 32700 ha (8%) et les petits pois avec 18606 ha (5%).

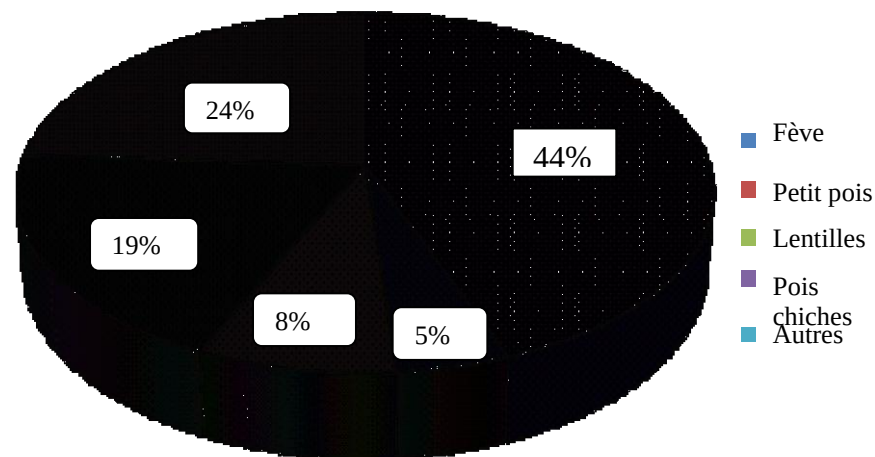


Figure 10: Répartition des superficies emblavées par les principales légumineuses alimentaires au Maroc en 2007-2008 selon la FAO.

2. Evolution des superficies récoltées en fèves, entre 1999 et 2008, au Maroc.

D'après la figure 11, il s'avère que les superficies récoltées en fèves sont instables d'une campagne agricole à l'autre de 1999 à 2008.

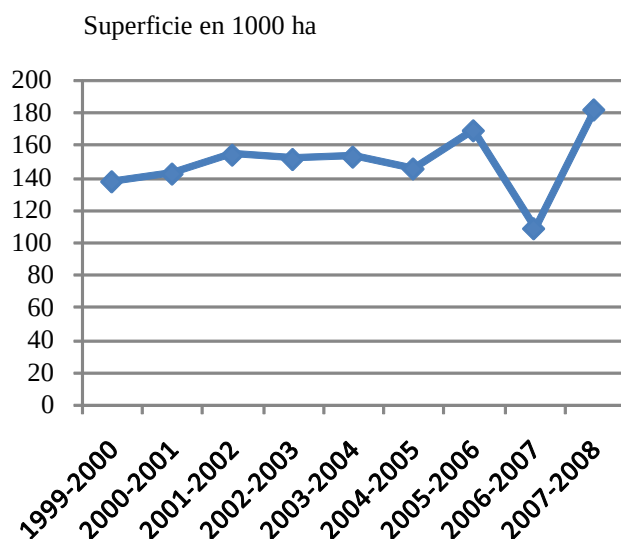


Figure 11 : Evolution des superficies des fèves récoltées, au Maroc, entre 1999 et 2008 (ministère de l'agriculture du développement rural et des pêches maritimes, 2006 & [FAO](#)).

Ainsi, dans l'intervalle 1999-2008, les superficies récoltées en fèves ont atteint leur maximum pendant la campagne 2007-2008 avec plus de 180000 ha. Un minimum de superficies cultivées en fèves a été enregistré en 2006-2007 avec uniquement 100000 ha à peu près.

3. Evolution des productions des fèves au Maroc, entre 1999 et 2008.

D'après la figure 12, les productions suivent la même allure que les rendements ci-dessus. Les productions les plus élevées sont celles enregistrées en 2005-2006 avec plus 180000 t. Les plus basses productions ont été remarquées en 1999-2000 avec moins de 40000t.

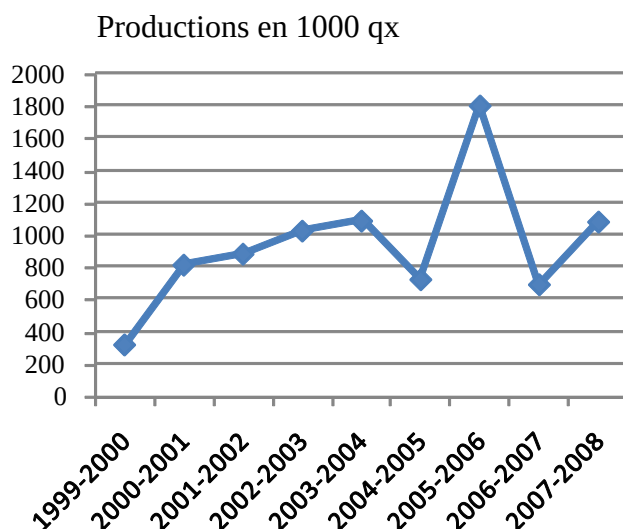


Figure 12: Evolution des productions des fèves au Maroc, entre 1999 et 2008 (ministère de l'agriculture, du développement rural et des pêches maritimes, 2006 & [FAO](http://faostat.fao.org)).

4. Evolution des rendements des fèves au Maroc, entre 1999 et 2008.

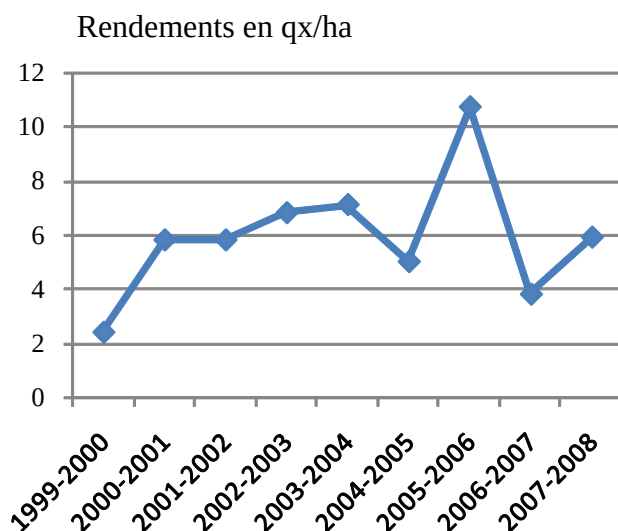


Figure 13 : Evolution des rendements de fèves, au Maroc, entre 1999 et 2008 (ministère de l'agriculture du développement rural et des pêches maritimes, 2006 & <http://faostat.fao.org>).

Selon la figure 13, les plus hauts rendements enregistrés dans les 10 dernières années, jusqu'à 2008, sont ceux enregistrés pendant la campagne agricole 2005-2006 avec à peu près 11 qx/ha. Les rendements les plus faibles ont été obtenus durant la campagne agricole 1999-2000 avec moins de 3qx/ha.

Il s'avère de l'allure du graphique de la figure 8 que les rendements se caractérisent surtout par leur instabilité d'une année à la suivante.

5. Conclusion

La culture des fèves au Maroc est confrontée à de nombreuses contraintes biotiques et abiotiques qui font fluctuer, voire, limiter les superficies récoltées, les productions et les rendements des fèves au niveau national. Quels sont alors les problèmes de la culture des fèves au Maroc et quels sont les apports que peut faire l'amélioration génétique chez les fèves pour surmonter ces contraintes?

III. Contraintes à la production des fèves au Maroc

1. Facteurs abiotiques

1.1. Itinéraire technique traditionnel

L'itinéraire technique reste encore, pour l'essentiel, traditionnel. La mécanisation du semis et de la récolte est insuffisante. De plus, la lutte contre les parasites, les maladies, les ravageurs, les insectes et les adventices reste partielle (Fatemi, 1996).

1.2. Stockage

En plus d'une faible production, d'importantes pertes sont occasionnées durant le stockage. Il est à signaler que les structures de stockage de la fève sont traditionnelles (Fatemi, 1996).

1.3. Variations climatiques

Selon Fatemi (1996), les variations climatiques comptent parmi les problèmes dont souffre la culture de la fève au Maroc.

2. Facteurs biotiques

2.1. Propagation de *Orobanche crenata* Försskal

✓ L'orobanche est le principal obstacle à la culture des fèves au Maroc. C'est un problème qui prend de plus en plus d'ampleur (Fatemi, 1996). Selon Geipert et al., (1996), *Orobanche crenata* Forsk se répartie à Tetouan, Chefchaouene, Taounate, Sidi Kacem, Fès et Meknès (toutes les régions étudiées). La moyenne des pertes de récolte des fèves due à *Orobanche crenata* a été de 33% dans les 5 provinces étudiées (Geipert et al., 1996).

✓ *Orobanche crenata* Forsk est une plante parasite non chlorophyllienne de 30 à 70 cm (figure14). C'est une plante poilue glanduleuse à tige robuste, jaunâtre ou bleuâtre, à peine renflée à la base. *Orobanche crenata* a des feuilles en forme d'écailles grandes et longues de 2 à 3 cm.



Figure14 : Photo pour *Orobanche crenata* Forsk (www.google.com)

✓ Les fleurs de *Orobanche crenata* Forsk sont blanches rayées de violet, de 20 à 30 mm, dressées-étalées ou étalées, en épi plus ou moins lâche, à odeur de girofle avec des sépales bifides et des filets insérés à 2 ou 3 mm de la base du tube, très velus à la base et d'un stigmate violet clair.

✓ C'est une plante annuelle à vivace suivant la biologie de la plante hôte.

✓ *Orobanche crenata* Forsk. peut être contrôlée par :

-Arrachage manuel

-Lutte culturale (Rotation, Date de semis...).

-Lutte biologique (Certains insectes et champignons ont été signalés comme agents parasites de l'orobanche).

-Lutte chimique :

Le glyphosate a montré des résultats encourageants au Maroc lorsque l'on a utilisé contre *Orobanche crenata* Forsk. dans la culture de fève.

Le glyphosate est un herbicide systémique total transloqué par le xylème et le phloème du feuillage jusqu'aux racines de la plante hôte. L'efficacité de cet herbicide a été confirmée dans plusieurs pays.

-Variétés résistantes

La sélection et l'amélioration génétique pour la résistance à l'orobanche ont connu un succès intéressant pour le tournesol et de moindre degré pour les fèves.

Les mécanismes de résistance à l'orobanche ne sont pas totalement connus et peuvent être mécaniques ou biochimiques.

2.2. Maladies cryptogamiques

Selon Mabsoute et Saadaoui (1996), la culture des fèves, au Maroc, connaît les maladies cryptogamiques suivantes : Les taches chocolat (*Botrytis fabae*), l'alternariose (*Alternaria alternata* (*A. tenuis*)), la rouille (*Uromyces Viciae-fabae*), le mildiou (*Peronospora viciae*), l'anthracnose (*Ascochyta fabae*), la stemphyliose (*Stemphylium botryosum*), l'oïdium (*Erysiphe polygoni*, *Leveillula taurica*), les pourritures racinaires (*Fusarium sp.* et *Verticillium sp.*) et la rhysoctoniose (*rhysoctonia solani*).

i. *Botrytis fabae* (Taches chocolat)

Symptômes :

Les taches chocolat attaquent principalement les feuilles, mais les tiges et les fleurs peuvent aussi être infectées:

Sur les feuilles: les symptômes varient de petits points en marron aux taches circulaires (Figure 15).

Sur la tige : Il y a apparition de lésions habituellement rougeâtres pouvant s'étendre sur plusieurs centimètres (Figure 16) (ICARDA, 1984).

Le stage agressif de ce champignon est favorisé par l'affaiblissement des plantes par quelques types de stress comme les déficiences minérales, l'imprégnation du sol en eau ou la haute densité du semis (ICARDA, 1984).

Contrôle:

Les taches chocolat peuvent être contrôlées grâce à l'utilisation de (du) :

- ✓ Graines indemnes de maladies,
- ✓ Pratiques culturelles, comme la rotation de cultures, le labour ou l'enterrement des débris de culture,

- ✓ Plantes à faibles densités,
- ✓ Fongicide vinclozolin (Ronilan 50 WP).

D'ailleurs, des sources de résistance génétique ont pu être identifiées à l'ICARDA (ICARDA, 1984).

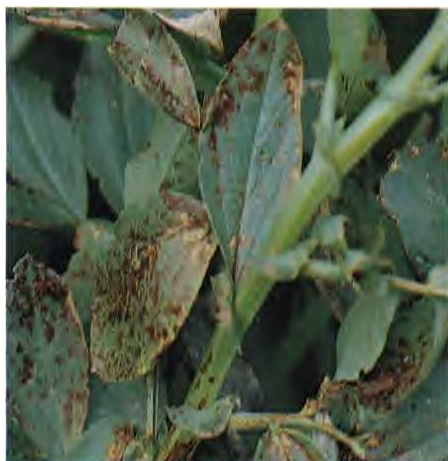


Figure 15 : Dommages des taches chocolat aux niveaux des feuilles (ICARDA, 1984)



Figure 16: Lésions rougeâtres de *B. fabae* sur la tige. (ICARDA, 1984)

ii. *Uromyces Viciae-fabae* (Rouille)

La rouille, largement répartie dans les pays méditerranéens (Bernier et al., 1984), compte parmi les maladies les plus importantes de la fève (Gaunt, 1983 ; Lelley, 1964). Le pourcentage des champs infectés au Maroc est de 62,5%. Cette maladie est particulièrement grave dans les régions de Tanger, Chefchaouène, Sidi Kacem et Marrakech (L. Mabsoute & E.M. Saadaoui, 1996).

Symptômes:

Aux niveaux des feuilles : La rouille apparaît comme des taches colorées en blanc avec une extension sur les tiges.

Quand les taches augmentent en taille, les ruptures épidermiques relâchent des masses de spores noires. Ces masses sont normalement entourées par des anneaux de tissus jaunes. Les tailles de ces masses varient de très petites avec peu de spores à très larges avec une sporulation abondante (ICARDA, 1984).

Les feuilles sévèrement attaquées s'assèchent rapidement et une défoliation précoce peut avoir lieu. A la fin de la saison, les masses avec des spores noires sont formées sur les tiges avec une extension sur les feuilles (Figure 17) (ICARDA, 1984).



Figure 17: Effet de la rouille sur les folioles de la fève (ICARDA, 1984)

Développement de la maladie:

La rouille accomplit son cycle de vie sur un seul hôte et peut infecter beaucoup d'espèces cultivées ou sauvages des genres *Vicia*, *Lathyrus*, *Lens*, et *Pisum*. Dans plusieurs régions, ces hôtes peuvent être des sources d'inoculum pendant toute l'année (ICARDA, 1984).

Contrôle:

Des sources de résistance à la rouille sont définies et des cultivars résistants doivent être disponibles (ICARDA, 1984).

iii. *Peronospora viciae* (Mildiou)

Bien que de répartition restreinte au Maroc, le mildiou peut, grâce aux conditions climatiques favorables (temps froid et humide), provoquer d'importants dégâts (L. Mabsoute & E.M. Saadaoui, 1996).

Au Maroc, cette maladie était très importante dans les régions d'Al Jadida et d'Al Hoceima (L. Mabsoute & E.M. Saadaoui, 1996).

Symptômes:

Le mildiou apparaît, au premier lieu, comme des zones jaunes sur les parties supérieures de la surface foliaire.

Sur l'autre partie des feuilles dans des zones non colorées, le champignon produit des taches de spores bleuâtres-brunes (ICARDA, 1984).

Sur la surface supérieure, la lésion devient peu à peu noire et s'assèche. Il y a généralement peu de lésions par feuille et les lésions s'élargissent légèrement. Cependant, les lésions sur les jeunes feuilles au sommet de la tige s'élargissent rapidement pour infecter la

totalité de la feuille (Figures 18). Dans certains cas, toutes les feuilles et tous les pétioles d'une tige sont envahis et détruits (ICARDA, 1984).



Figure 18: Dommages causés par le mildiou sur les folioles (ICARDA, 1984)

Développement de la maladie:

Le champignon reste dans les débris de culture dans le sol sous forme de spores (oospores). Ces spores germent au printemps pour infecter les plantes (ICARDA, 1984).

Contrôle:

Le mildiou peut être partiellement contrôlé par rotation de culture et par destruction des feuilles infectées et des débris de plantes après la récolte (ICARDA, 1984).

iv. *Ascochyta fabae* (Anthracnose)

L'antracnose est transmissible par la semence (Madeira et al., 1992), affectant ainsi le taux de germination (Dodd, 1971) en plus du rendement de la culture (Williams, 1978 ; Hannounik 1979, 1981) et de la teneur en protéines des graines (Madeira, 1988).

Au Maroc, la maladie était déclarée dans 19,6% des champs prospectés et était particulièrement grave dans les régions du Moyen Atlas et au Nord du pays (L. Mabsoute & E.M. Saadaoui, 1996).

Symptômes:

Les symptômes apparaissent sur les feuilles, les tiges et les gousses.

Aux niveaux des feuilles, les lésions sont initialement circulaires à elliptiques en marron. Quand les lésions s'élargissent, le centre devient brun et des corps noirs de champignons sont formés (ICARDA, 1984). Ces corps noirs varient en nombre et sont arrangés au centre. Plusieurs spots peuvent se dissoudre en spots noirs larges et irréguliers.

Aux niveaux des gousses : Il y a apparition de spots.

Sur les tiges : On assiste à une apparition de spots en noir-marron, plus longs que ceux des feuilles et des gousses.

Développement de la maladie:

Le champignon *Ascochyta* est porté à l'intérieur de la graine et peut survivre pour, au moins, 12 mois. Il peut aussi survivre sur les débris de culture pour une saison à peu près (ICARDA, 1984).

Des plantes de la dernière saison peuvent aussi être des sources importantes pour l'infection des cultures adjacentes. Les jeunes tiges ou feuilles sont les premières parties de la plante qui peuvent être infectées quand il y a irrigation.

Des périodes fréquentes de pluies favorisent le développement et la dissémination de la maladie. Sous des conditions favorables, la maladie peut être dramatiquement rapide.

Contrôle:

L'impact de l'anthracnose peut être réduit par plusieurs mesures, comme :

- ✓ L'utilisation de graines saines (ICARDA, 1984),
- ✓ La rotation de culture, le labour des débris et l'implantation de nouvelles cultures loin du champ de l'an dernier (ICARDA, 1984),
- ✓ Et la pulvérisation du fongicide chlorothalonil (Bravo-500) (ICARDA, 1984).

Il est à noter que des sources de résistance génétique à *Ascochyta* ont pu être identifiées (ICARDA, 1984).

v. *Stemphylium botryosum* (Stemphyliose)

La stemphyliose peut attaquer la fève en affectant la semence et les plantules (Endre, 1992). Elle se manifeste par des taches sur les feuilles (Mansour, 1980 ; Roukoula et Vestberg, 1978 ; Simay, 1988 ; Teuteberg, 1980).

vi. *Erysiphe polygoni*, *Leveillula taurica* (Oïdium)

L'oïdium peut être causé par les deux types de champignons (*Erysiphe polygoni*, *Leveillula taurica*). *E. polygoni* est un ectoparasite, comme la plupart des autres oïdiums, alors que *L. taurica* est endoparasite (L. Mabsoute & E.M. Saadaoui, 1996).

L'oïdium semble être favorisé par les irrigations. Au Maroc, il sévit sérieusement dans les régions de Marrakech, Beni Mellal et Al Jadida.

Le contrôle de l'oïdium par benomyl (Benlate 50 WP) ou par d'autres fongicides, même s'il a été efficace, n'a pas contribué à l'amélioration significative des rendements (ICARDA, 1984).

vii. *Fusarium sp. et Verticilium sp.* (Pourritures racinaires)

La fusariose est due à plusieurs espèces (*Fusarium oxysporum*, *F. solani*, *F. avenaceum*) (Bernier, 1984). Elle cause des dégâts importants aux champs de fève (Ruan et al., 1982).

La maladie peut se manifester par deux formes : l'une, précoce, se traduisant par une fonte de semis. L'autre, tardive, caractérisée par une pourriture racinaire et une altération du feuillage (Salt 1983 ; Singh & Singh, 1986). Ce dernier type de symptômes peut être également causé par *Verticilium sp.* (Salt 1983 ; Singh & Singh, 1986).

viii. *Rhysoctonia solani* (Rhysoctoniose)

La rhysoctoniose induit un flétrissement de la fève (Bernier et al., 1984). Elle est responsable de dégâts importants en Asie (Ruan et al., 1982). Elle a été observée au Maroc, notamment dans les régions de Marrakech et de Sidi Kacem (L.Mabsoute & E.M.Saadaoui, 1996).

ix. *Alternaria alternata* (*A. tenuis*) (Alternariose)

Symptômes:

Les lésions apparaissent d'abord sur les feuilles basses comme des taches circulaires qui peu à peu augmentent de taille et développent des anneaux concentriques en marron avec des marges noires (ICARDA, 1984).

Contrôle:

Cette maladie n'est pas suffisamment sérieuse pour imposer un contrôle. Le Contrôle peut, cependant, être assuré par pulvérisation de mancozeb (Dithane-M45) (ICARDA, 1984).

2.3. Nématodes et insectes

Selon Andaloussi et al., (1996), la présence du nématode de tiges, *Ditylenchus dipsaci* (figure 20), a été signalée au Maroc dans les régions de Abda, Doukkala, Chaouia et Zaer. Ce nématode compte parmi les parasites les plus nuisibles aux fèves.



Figure 19 : Le nématode *Ditylenchus dipsaci* (www.google.com)

Selon Boughdad (1996), *Bruchus rufimanus* (figure 21) est un ravageur important des graines de *Vicia faba* L., au Maroc. Il occasionne des pertes pondérables et de germination.

Parmi les techniques de contrôle de cet insecte, il y a la fumigation, la rotation culturale et le semis précoce.



Figure 20: Photo de *Bruchus rufimanus* (www.google.com)

2.4. Matériel végétal peu performant

Au Maroc, les agriculteurs utilisent les populations locales issues des récoltes précédentes. Chose qui influe négativement les rendements.

De plus, le nombre de variétés améliorées reste limité et ne peut adéquatement répondre à la demande pour les différentes zones agro-écologiques (Fatemi, 1996).

D'où l'importance de l'amélioration génétique des fèves. En fait, l'utilisation de variétés améliorées, productives et résistantes aux principaux parasites, maladies et ravageurs, est l'une des solutions permettant de contribuer à relever les principales contraintes.

IV.Objectifs de sélection chez *Vicia faba* L. au Maroc

1. Système de reproduction chez les fèves

Selon Bond et Poulsen (1983), la pollinisation est un aspect important dans la culture des fèves, à partir du moment qu'elle doit prendre place, soit automatiquement à l'intérieur de la fleur ou assistée par un insecte, avant la fécondation ou la formation des graines.

Selon Le Guen et Duc (1996), Chez *Vicia faba* L. une valeur moyenne de 30 à 45% d'allogamie est généralement avancée, mais la variation pour ce caractère va, selon le pays ou la région, de moins de 10 à plus de 70%. Cette large variation est largement due à la plus ou moins grande fréquence des insectes pollinisateurs dans la zone considérée.

2. Objectifs de sélection au Maroc

Au Maroc, les objectifs des programmes d'amélioration des fèves incluent le développement de variétés de fève et de féverole :

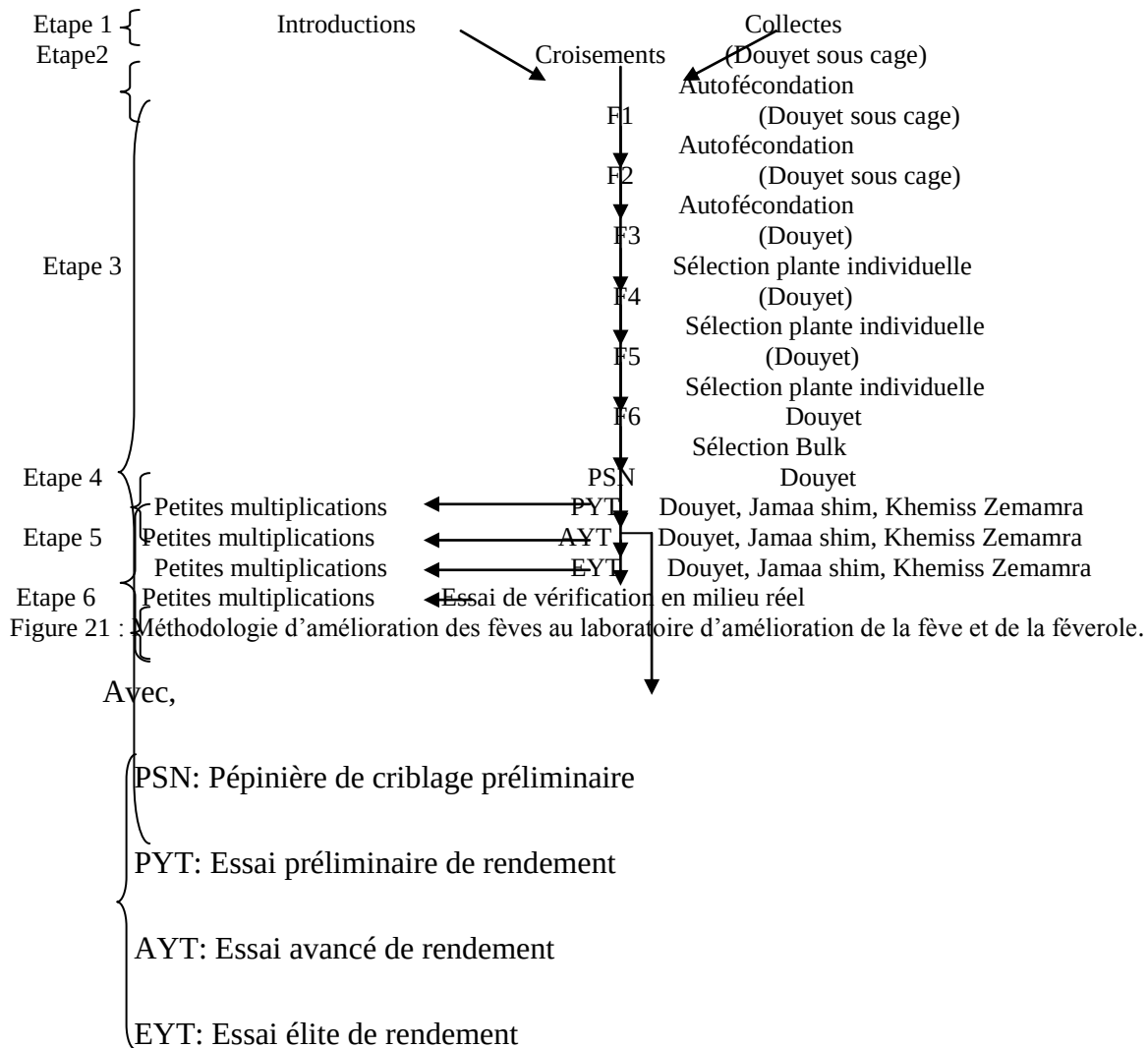
- ✓ A haut potentiel de rendement,
- ✓ Stables,
- ✓ Et tolérantes aux principales contraintes biotiques (comme *Botrytis fabae*).
- ✓ Par ailleurs, les programmes d'amélioration des fèves au niveau mondial ont pour objectifs (Le Guen J. et Duc G., 1996) :
 - ✓ L'augmentation de la précocité de la féverole, qui a pour but de décaler la phase reproductrice avant les phases climatiques drastiques de l'été La résistance aux parasites à savoir : *Botrytis fabae* et *Ascochyta fabae*.
 - ✓ D'autres parasites font l'objet de recherches, en particulier les rouilles en Europe Centrale et l'orobanche dans les pays méditerranéens, avec jusqu'à présent peu de résultats en raison de l'absence de géniteurs de résistance intéressants.
 - ✓ L'amélioration des composantes de rendement chez la féverole.
 - ✓ Sélection pour l'absence de tannins dans la graine (Les tannins provenant de la polymérisation des polyphénols condensés sont concentrés dans les téguments de la graine chez la féverole. Ils provoquent chez les monogastriques,

qui consomment de la féverole dans leur ration, une diminution importante de l'utilisation de l'azote par « tannage » des protéines au cours de la digestion et diminution de la valeur énergétique de la ration de l'ordre de 10%).

✓ Sélection pour l'absence de vicine et convicine (La vicine et la convicine présentes en grandes parties dans la fève et la féverole sont des bêta-glucosides impliqués dans les phénomènes de « favisme »).

I. Stratégie d'amélioration des fèves suivie par le laboratoire d'amélioration de la fève et de la féverole.

La figure 22 représente la méthodologie d'amélioration génétique des fèves suivie par le laboratoire d'amélioration de la fève et de la féverole du CRRA de Meknès.



Il s'avère du schéma ci-dessus que la méthodologie d'amélioration génétique de fève et de féverole se réalise en 6 étapes suivantes :

- ✓ Collectes et introductions
- ✓ Création de la variabilité génétique,
- ✓ Sélection sur le matériel ségrégant,
- ✓ Tests préliminaires,
- ✓ Tests de productivité,

✓ Vérification en milieu réel.

1. Etape 1 : Collectes et introductions

Dans cette étape, le laboratoire prélève des populations de fève et de féverole à partir des zones de culture des fèves ou à partir des variétés développées par les divers partenaires, comme l'ICARDA (International Center for Agricultural Research in the Dry Areas) et l'IAV (Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II).

2. Etape 2 : Création de la variabilité génétique

Dans cette étape, le laboratoire en question utilise la recombinaison génétique comme outil principal pour la création de nouveaux génotypes dans sa recherche de nouvelles variétés améliorées.

Sur la base des objectifs visés, les parents mâles et les parents femelles sont retenus selon leurs caractéristiques et croisés.

Ces croisements sont réalisés sous cage au Domaine Expérimental de Douyet afin d'éviter l'allopollinisation.

3. Etape 3 : Sélection sur le matériel ségrégant

i. Génération F₁-F₂

Les plantes F1 issus des précédents croisements et les plantes F2 sont semées espacées en lignes au Domaine Expérimental de Douyet et sous cage afin d'éviter l'allopollinisation et donc de forcer l'autofécondation, c'est-à-dire qu'aucune sélection n'est réalisée ni en F1 ni en F2.

ii. Génération F₃ jusqu'à F₅

A ce niveau, la sélection est effectuée, à partir de la F3 jusqu'à la F5, hors cage au Domaine Expérimental de Douyet sur la base des plantes supérieures concernant le caractère visé. Ainsi, à partir de la génération F3, des plantes individuelles supérieures sont sélectionnées.

La descendance de chaque plante individuelle est semée en ligne unique de 3 m de long, l'interligne étant de 50 cm.

iii. Génération F6

Vu qu'à ce stade, la plupart des caractères visés sont stables, les plantes F6, semées au Domaine Expérimental de Douyet, sont sélectionnées en Bulk pour le caractère visé. Les mêmes critères de sélection utilisés à partir de la F3 sont appliqués à cette génération. A ce niveau, l'indice de sélection doit être important afin de réduire le nombre de lignées passant au criblage préliminaire.

Chaque plante F6 est semée en deux lignes de 4 m de long espacées de 50 cm.

4. Etape 4 : Test préliminaire

Les lignées récoltées, chacune en Bulk, sont évaluées pour les principaux caractères agronomiques en pépinière de criblage préliminaire. Chaque lignée est constituée de quatre lignes de 4 m de long et est comparée aux témoins. Un témoin fève et un témoin fèverole sont inclus en raison de mieux cerner les performances des lignées testées.

5. Etape 5 : Test de productivité

Les essais comparatifs de rendement permettent de tester le potentiel de rendement des différentes lignées sélectionnées sous les conditions des environnements cibles.

Ces environnements ont été retenus sur la base de la répartition de la production des fèves qui est concentrée dans la zone centre-nord (Taounate, Taza et Fès) et dans la région de Settât, Ben Slimane et El Jadida. Ainsi, deux sites ont été retenus :

- Le Domaine Expérimental de Douyet pour la zone centre-nord
- Les domaines expérimentaux de Jemaa Shim et Khemiss Zemamra pour la région de Settât et El Jadida.

i. Essai préliminaire de rendement

Les lignées sélectionnées au sein de la pépinière de criblage préliminaire sont testées pour leur performance en essais préliminaires de rendement aux domaines expérimentaux de Douyet et de Jemaa Shim ou de Khemiss Zemamra afin de tester leurs performances. La parcelle élémentaire est de 4 lignes de 4 m de long. Ces essais préliminaires permettent un premier test de performance d'un grand nombre de lignées testées. Vu que c'est un test préliminaire d'un grand nombre de lignées, le nombre de répétitions du bloc aléatoire complet est limité à deux. A l'issue de ces essais préliminaires, un nombre limité de lignées est retenu pour être testé dans les essais avancés de rendement. La fève, étant une plante partiellement allogame, les lignées testées sont multipliées en isolement, en petites multiplications.

ii. Essai avancé de rendement

La performance des meilleures lignées est testée en essai avancé de rendement aux domaines expérimentaux de Douyet et de Jemaa Shim ou de Khemiss Zemamra. Chaque lignée testée est semée en 4 lignes de 4 m de long. Vu que ces essais avancés de rendement constituent une étape quasi finale de test de performance, que le nombre de lignées testées est relativement limité et que le degré de précision de l'analyse est relativement important, le nombre de répétitions du bloc aléatoire complet est de trois. Pour réaliser ces essais, les semences de ces meilleures lignées testées proviennent des petites multiplications réalisées

l'année d'avant. Les lignées testées ici sont multipliées en isolement, en petites multiplications afin d'éviter l'allopollinisation.

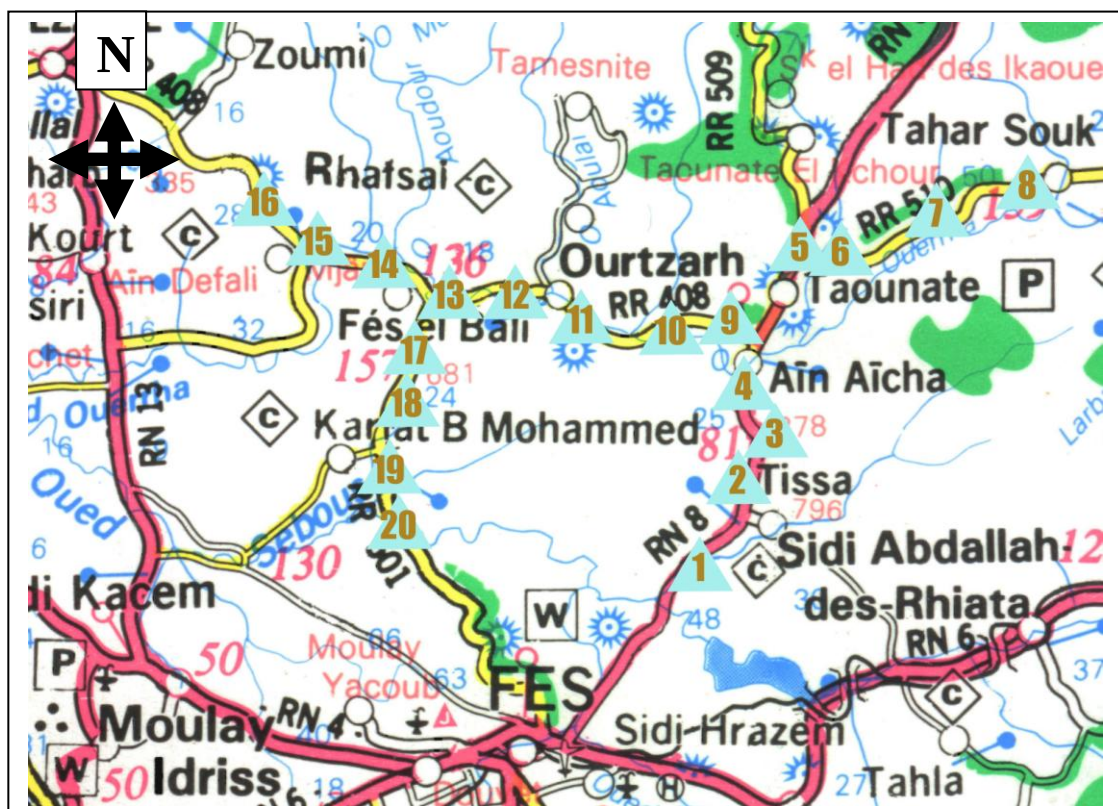
iii. Essai élite de rendement

Les lignées élites sélectionnées à partir des essais avancés de rendement sont testées en essais élites de rendement aux domaines expérimentaux de Douyet et de Jemaa Shim ou de Khemiss Zemamra. La parcelle élémentaire consiste en 4 lignes de 4 m de long. Le nombre de répétitions du bloc aléatoire complet est de trois. Ici aussi, les lignées testées sont multipliées isolées en petites multiplications.

6. Etape 6 : Vérification en milieu réel

Les lignées retenues des essais avancés et des essais élites de rendement sont testées en milieu réel chez les agriculteurs. En parallèle, ces lignées sont multipliées isolées en petites multiplications.

II. Matériel végétal



1 Numéros des échantillons pris
Figure 22 : Carte routière de la zone où ont été faits les prélèvements des 20 populations étudiées (Anonyme, 1992).

En juin 2009, vingt populations ont été prélevées selon l'axe Fès-Taounate-Tahar souk-Ourtzarh-Rhafsai-Kariat Ba Mohammed-Fès, comme il est montré ci-dessus sur la carte de la zone en question (Figure 22).

La population 1 est collectée entre Fès et Tissa, on compte une certaine distance et on prélève une deuxième population (population 2) et ainsi de suite comme il est montré sur la figure 23.

III. Protocole expérimental

1. Itinéraire technique

- ✓ Le 30 septembre 2009, le labour des parcelles a été effectué avec un passage de stuble-plow. Il est à noter que le précédent cultural des parcelles de fèves cultivées était le blé tendre.
- ✓ Le 2 octobre 2009, il y a eu passage de cover-crop et épandage d'engrais.
- ✓ Le traçage des lignes et le semis manuel ont eu lieu le 8 décembre 2009.
- ✓ Un désherbage manuel a été fait le 8 février 2010.
- ✓ Le 22 mars 2010, on a traité, une première fois, contre l'orobanche par le biais du Roundup (m.a. Glyphosate) à la dose 165ml/600l/ha. Un deuxième traitement avec le même produit contre l'orobanche a eu lieu le 29 avril 2010.
- ✓ Deux traitements contre les pucerons noirs ont eu lieu le 24 mars et le 13 avril 2010 avec Pirimor G (m.a. Pyrimicarbe) en utilisant la dose 250g/500l/ha.

2. Dispositif expérimental

Il s'agit des 20 populations collectées, en juin 2009 de la zone indiquée ci-haut, et installées au Domaine Expérimental de Douyet, en parcelles élémentaires uniques de 5 lignes de 4m de long et espacées de 50cm. Ci-dessous le plan parcellaire.

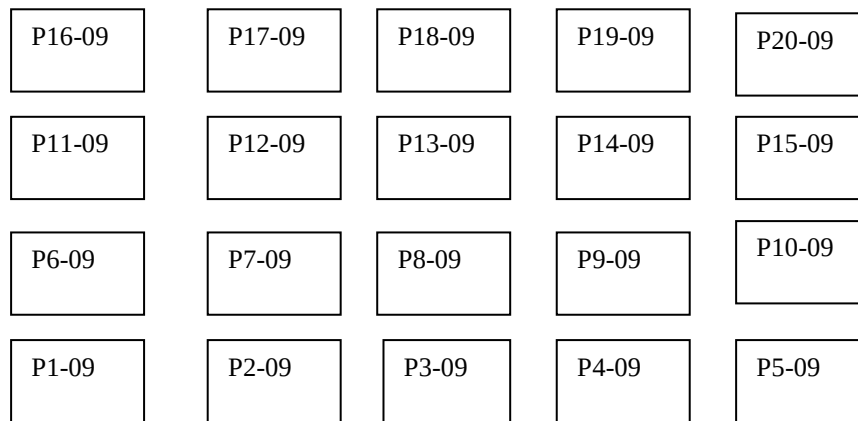


Figure 23 : Plan parcellaire des populations étudiées

De gauche à droite, à partir de P1-09 (population 1), on attribue les numérotations P2-09, P3-09, P4-09 pour les populations 2,3 et 4 respectivement et ainsi de suite jusqu'à ce que nous atteignons la parcelle limite P5-09 (population 5). Ensuite, on passe au bloc suivant vers le nord, la parcelle élémentaire de 5 lignes de fèves qui est en parallèle avec la P1-09 est nommée P6-09. Celle qui suit cette dernière à droite est numérotée P7-09 et ainsi de suite jusqu'à la population 10- limite de ce bloc qu'on numérote P10-09. On passe au bloc suivant vers le nord et on reprend comme pour les deux premiers blocs (Figure 23).

3. Notations et observations

Les 20 populations, qui ont été prélevées dans la zone montrée sur la carte ci-dessus, sont des collectes auxquelles on applique le schéma d'amélioration de la fève et de la féverole suivi par le laboratoire d'amélioration de la fève et de la féverole du CRRA de Meknès. Ces populations sont alors semées comme il est montré sur la figure 23. A ces populations, on a appliqué l'étape de la caractérisation mentionnée dans le schéma des activités des ressources génétiques (Figure 8).

Ci-dessous la liste des descripteurs de *Vicia faba* L. (IBPGR et ICARDA, 1985) auxquels on s'est intéressé lors de la caractérisation des 20 populations étudiées :

Données de la plante

1. Données végétatives

1.1. Habitude de croissance chez la plante

1. Déterminée : tiges avec inflorescence terminale
2. Semi-déterminée
3. Indéterminée: tiges sans inflorescence terminale

1.2. Coloration de la tige à la floraison

- 0. Absente
- 3. Faible
- 5. Intermédiaire
- 7. Forte
- X. Mixte

1.3. Taille des folioles

A observer sur les folioles aux niveaux des nœuds intermédiaires

- 3. Petites
- 5. Moyennes
- 7. Grandes

1.4. Ramification à partir des nœuds supérieurs

- 0. Pas de ramification
- + ramification
- X. Mixte

1.5. Hauteur de la plante [cm]

Mesurée à la maturité, de la base au sommet de la plante. Moyenne de 10 plantes.

2. Inflorescence et fruit

2.1. Jours à la floraison

Le nombre des jours à partir de la levée jusqu'à ce que 50% de plantes entrent en floraison.

2.2. Jours à la maturité des gousses.

Le nombre de jours à partir de la levée jusqu'à ce que 90% des gousses s'assèchent.

2.3. Couleur de la fleur (Couleur de l'étendard)

- 1. Blanc
- 2. Violet
- 3. Marron foncé
- 4. Marron clair
- 5. Rose
- 6. Rouge
- 7. Jaune
- 8. Autres (à spécifier dans les notes du descripteur)
- X. Mixte

2.4. Intensité des stries

Les stries sont observées sur l'étendard

- 0. Pas de stries

- 3. Stries légères
- 5. Stries modérées
- 7. Stries intenses

2.5. Couleur des ailes

- 1. Uniformément blanche
- 2. Uniformément colorée
- 3. Avec Spots
- X. Mixte

2.6. Angle des gousses à la maturité

- 1. Erigé
- 2. Horizontal
- 3. Penché
- X. Mixte

2.7. Forme des gousses

- 1. Sub-cylindriques
- 2. Aplatis contractées
- 3. Aplatis non contractées
- X. Mixte

2.8. Eclat de la surface des gousses

- 1. Matte
- 2. Brillante
- X. Mixte

2.9. Couleur des gousses à la maturité

- 1. Légère (jaune)
- 2. Foncée (marron/ noire)
- 3. Mixte

2.10. Longueur des gousses [cm]

Longueur moyenne mesurée sur 5 gousses sèches

3. la graine

3.1 Nombre de graines par gousse

Nombre moyen de graines par gousse mesuré sur 5 gousses sèches

3.2. Poids de 100 graines [g]

Moyenne des poids de deux échantillons de 100 graines pris au hasard.

3.3. Couleur de l'enveloppe de la graine

Observée immédiatement après la récolte (durant le mois qui suit la récolte)

- 1. Noir

2. Marron foncé
3. Marron léger
4. Vert léger
5. Vert foncé
6. Rouge
7. Violet
8. Jaune
9. Blanc
10. Gris
11. Autres (à spécifier dans les notes du descripteur)
- X. Mixte

3.4. Couleur du hile

1. Noir
2. Incolore
3. Autre (à spécifier dans les notes du descripteur)
- X. Mixte

3.5. Forme de la graine

1. Aplatie
2. Angulaire
3. Ronde
- X. Mixte

N.B : D'autres descripteurs, non cités sur la liste, ont été étudiés. Il s'agit du nombre de tiges totales par plante, du nombre de tiges fructifères par plante, du rendement grain et du nombre de gousses par plante.

4. Conditions climatiques du Domaine Expérimental de Douyet pour la saison 2009-2010

La pluviométrie de cette saison était de 716 mm dépassant ainsi la moyenne 540 mm (sur 40 ans). Les précipitations, en ordre décroissant, se répartissent, ainsi, sur les mois (Figure 24):

- ✓ Les plus hautes précipitations ont été enregistrées au mois Mars avec plus de 149,5 mm,
- ✓ Au mois de Décembre, on a mesuré un peu près 125mm de précipitations,
- ✓ Puis Février a connu la pluviométrie de 132,5mm,
- ✓ Au mois de Janvier, on a enregistré 106,5 mm,
- ✓ Au mois Septembre, on a observé 86 mm approximativement,
- ✓ En Avril, la pluviométrie était de 58,30mm.

- ✓ Ensuite, les précipitations enregistrées au mois Novembre étaient de 34,1mm.
- ✓ Les précipitations du mois Mai ont été de 17mm.
- ✓ Les plus faibles précipitations ont été enregistrées au mois d'Octobre avec 3mm.

Ci-dessous la figure 24 représentant la répartition des précipitations mensuelles, au Domaine Expérimental de Douyet, durant la campagne 2009-2010.

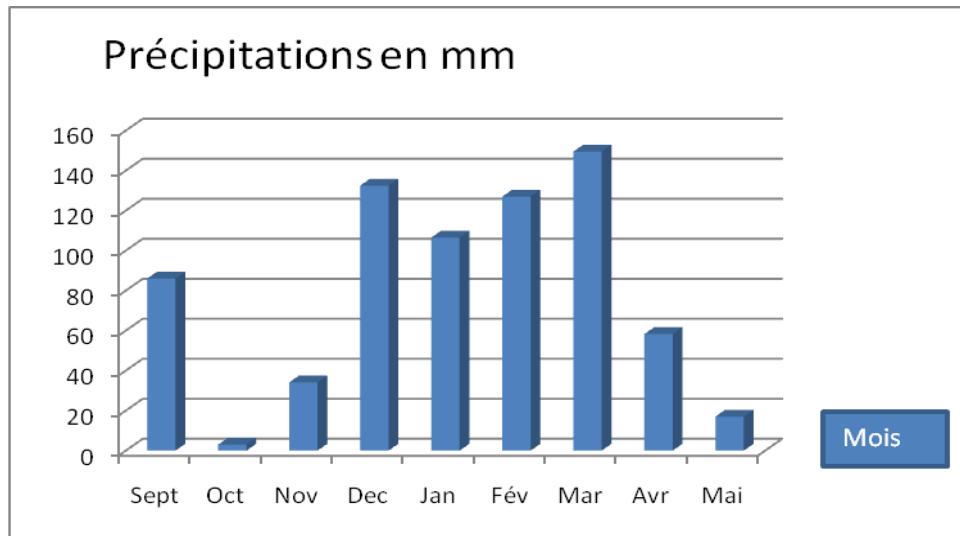


Figure 24: Les précipitations en mm au niveau du Domaine Expérimental de Douyet durant la campagne 2009-2010.

La pluviométrie excessive qu'a connue cette saison, au Domaine Expérimental de Douyet, avait pour conséquences :

- ✓ Des difficultés d'accès aux parcelles d'expérimentation,
- ✓ Le développement des mauvaises herbes,
- ✓ Le développement des maladies cryptogamiques,
- ✓ Et la prolifération des pucerons.

I. Analyse univariée

Les tableaux 4 et 5 en annexe représentent la répartition des différents descripteurs des fèves, cités par l'ICARDA et l'IBPGR, sur les vingt populations étudiées tandis que le tableau 6 résume les résultats de la caractérisation des 4 autres descripteurs, en l'occurrence, le nombre de tiges totales par plante, le nombre de tige fructifères, le nombre de gousses par plante et le rendement grain.

Les résultats résumés dans les 3 tableaux de l'annexe sont représentés en graphiques ci-après pour faciliter leur lecture.

1. Données végétatives

1.1. Habitude de croissance chez la plante

Le type de croissance pour toutes les populations étudiées était la même : il s'agit d'une croissance indéterminée.

1.2. Pigmentation de la tige à la floraison

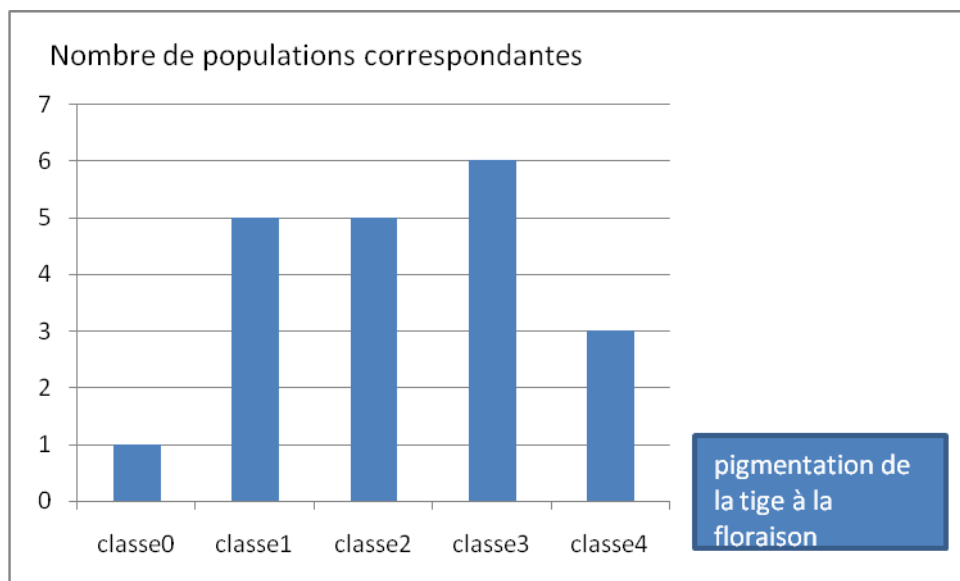


Figure 25 : Graphique représentant le nombre de populations correspondantes à chaque caractère (ou classe) de pigmentation de la tige à la floraison. Avec, classe 0 représente l'absence de la pigmentation chez la tige, la classe 3 renvoie à la faible pigmentation, les classes 1 et 2 sont intermédiaires entre l'absence et la faiblesse de la pigmentation et la classe 4 représente les populations qui ont une pigmentation intermédiaire entre 3 et 5. Le numéro 5 représente le caractère pigmentation mixte.

Il s'avère de la figure 25 que la faible pigmentation de la tige (classe 3) est la classe la plus répandue dans les 20 populations étudiées (avec 6 populations). Ensuite, les classes intermédiaires 1 et 2 prédominent aussi avec 5 populations chacune. Les caractères 4 et 0 ne sont représentés que par 3 et une population respectivement.

1.3. Taille des folioles

On constate de la figure 26 que la classe 6, qui correspond aux folioles intermédiaires entre moyennes et larges, est prédominante dans les 20 populations avec 10 populations représentées. Ensuite, il y a 4 populations qui ont de larges folioles (classe 7) et 4 autres qui

ont des folioles moyennes (classe 5) en plus d'une population à folioles petites (classe 3) et d'une autre avec des folioles intermédiaires entre petites et moyennes (classe 4).

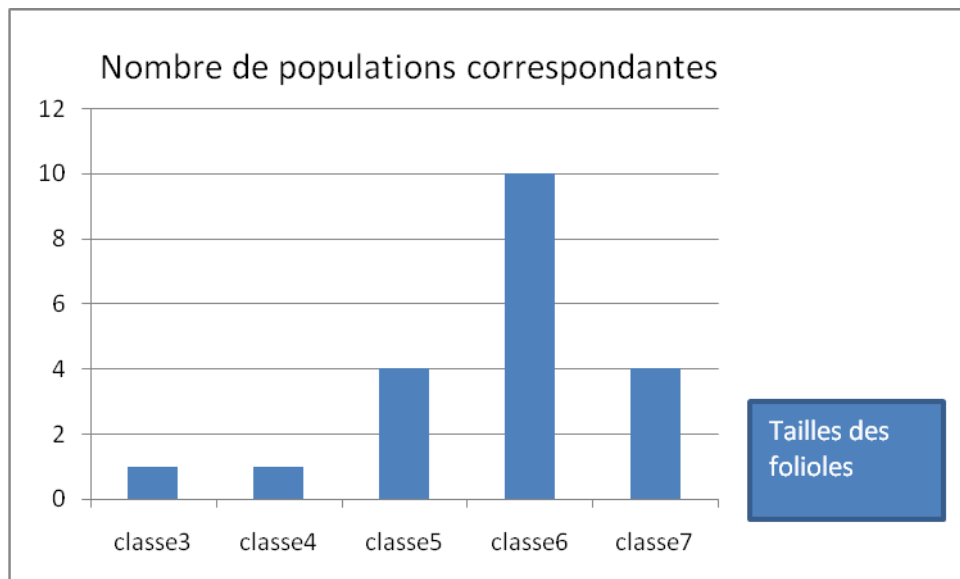


Figure 26 : Répartition des 20 populations en fonction des tailles des folioles.

1.4. Ramification à partir des nœuds supérieurs

Comme pour le type de croissance, toutes les populations étaient identiques concernant la ramification à partir des nœuds supérieurs: Elles ne présentaient pas de ramification à partir des nœuds supérieurs de la plante.

1.5. Hauteur de la plante

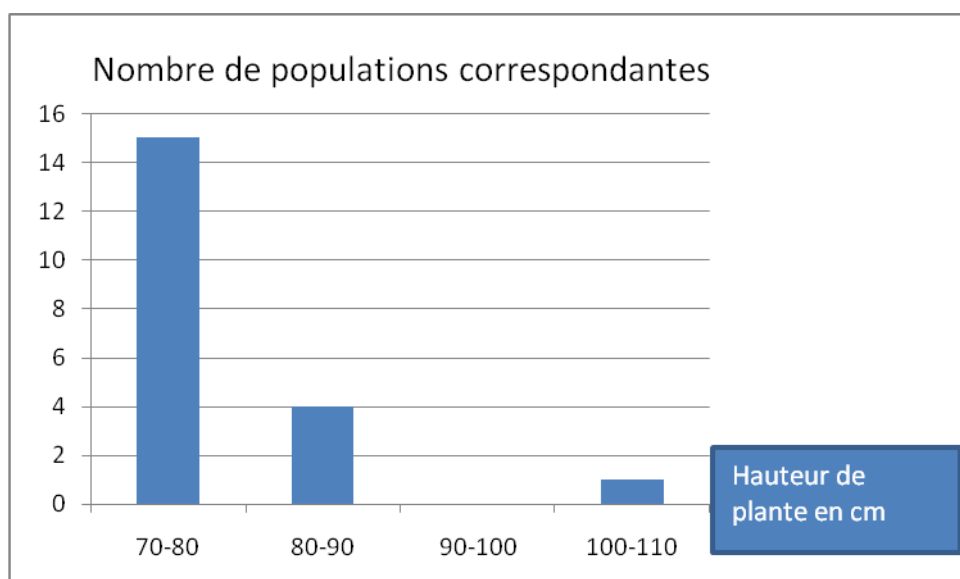


Figure 27 : Graphique représentant les classes de tailles mesurées chez les populations étudiées.

Il s'avère, de la figure 27, que la classe de tailles de 70cm-80cm est la classe qui représente nettement les tailles des populations étudiées avec 15 sur 20 populations. Ensuite, il y a les classes 80-90 cm et 100-110 cm dans 4 et 1 parcelle respectivement.

1. Données d'inflorescence et de fruit

3.1. Jours à la floraison

Il s'avère de la figure 28 que 8 populations, parmi les 20 étudiées, ont eu besoin de 96 jours pour fleurir et 8 autres ont eu besoin de 97 jours. Les 4 autres populations ont passé 98 jours avant de fleurir.

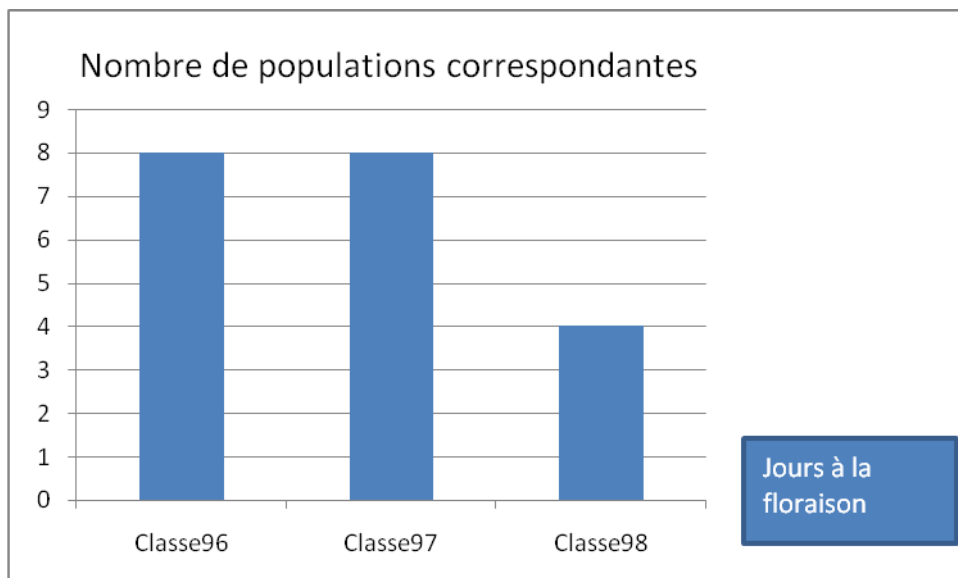


Figure 28: Répartition des 20 populations étudiées en fonction du nombre de jours de la levée à la floraison.

3.2. Jours à la maturité

La figure 29 représente les nombres de jours de la levée à la maturité pour les différentes populations étudiées.

Ainsi, 8 populations parmi les 20 étudiées ont eu besoin de 149 jours pour atteindre la maturité, 7 autres ont parcouru 148 jours avant de devenir matures, 2 populations ont eu besoin de 150 jours et 3 populations ont parcouru 147 jours avant d'atteindre la maturité.

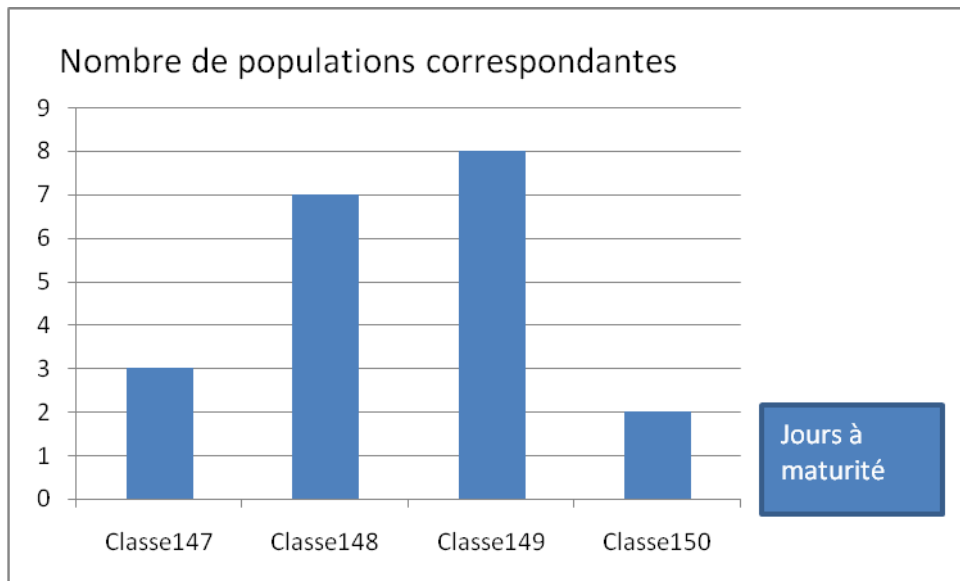


Figure 29: Répartition des vingt populations d'étude en fonction des jours nécessaires pour atteindre la maturité.

3.3. Couleur de l'étendard de la fleur

Toutes les populations ont eu la même couleur de l'étendard de la fleur. Il s'agit de la classe 1 qui représente, sur la liste des descripteurs citée ci-haut, la couleur blanche.

3.4. Intensité des stries

La figure 30 ci-dessous représente la répartition des populations sous étude en fonction du descripteur intensité des stries.

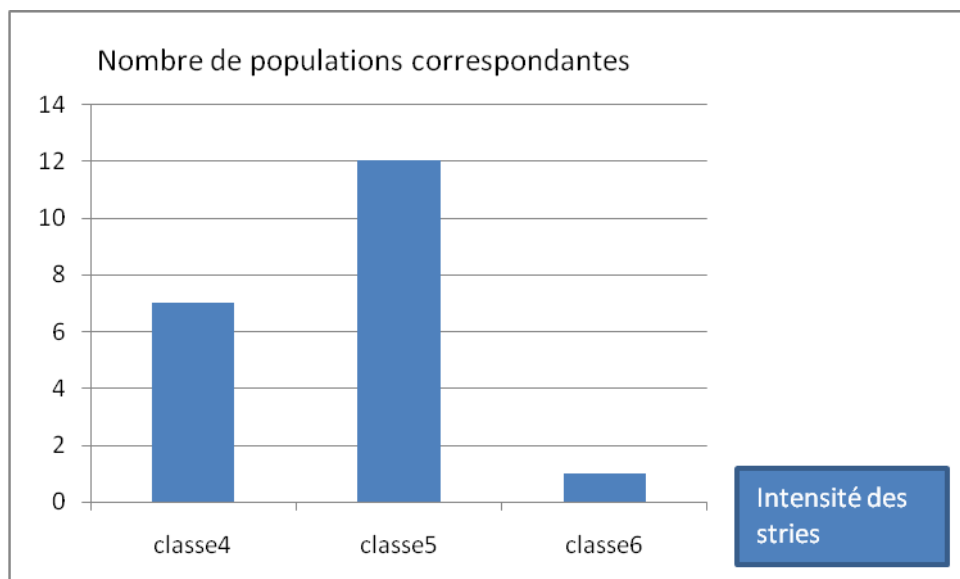


Figure 30 : Graphique représentant la répartition des classes des stries aux niveaux des étendards des fleurs des 20 populations étudiées.

La classe 5, qui renvoie aux stries modérées, est la plus représentée avec 12 sur 20 populations. On rencontre ensuite la classe 4, qui représente l'intermédiaire entre les stries légères et les stries modérées, pour 7 populations. La classe 6 (intermédiaire entre stries modérées et stries intenses) est faiblement représentée chez les populations étudiées (1 population sur vingt).

3.5. Couleur des ailes des fleurs

La figure 31, ci-dessous, résume les résultats de la caractérisation, concernant la couleur des ailes des fleurs, chez les 20 populations étudiées.

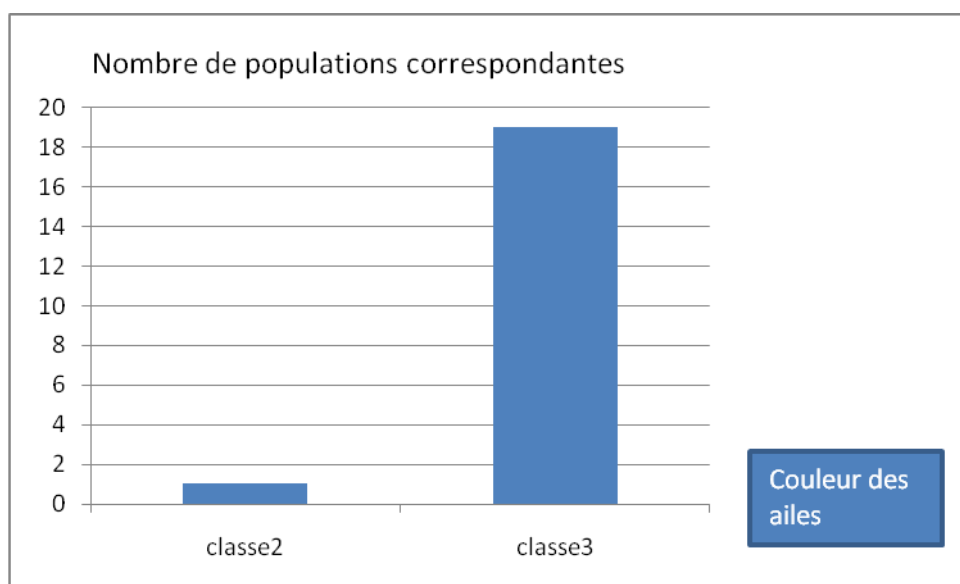


Figure 31: Répartition de la couleur des ailes chez les 20 populations étudiées.

La classe 3 (aile avec des taches) est la plus dominante chez les 20 populations avec 19 sur 20. La classe 1, qui représente la couleur blanche, n'est rencontrée que chez une population parmi les 20.

3.6. Angle de la gousse par rapport à la tige à maturité

On constate, de la figure 32, que le caractère 3 prédomine avec 15 parcelles sur 20. La classe 3 correspond aux gousses penchées. La classe 2 (gousses horizontales) est représentée par 3 populations, tandis que la classe 1 (gousses érigées) n'est retrouvé que chez 2 populations parmi les 20.

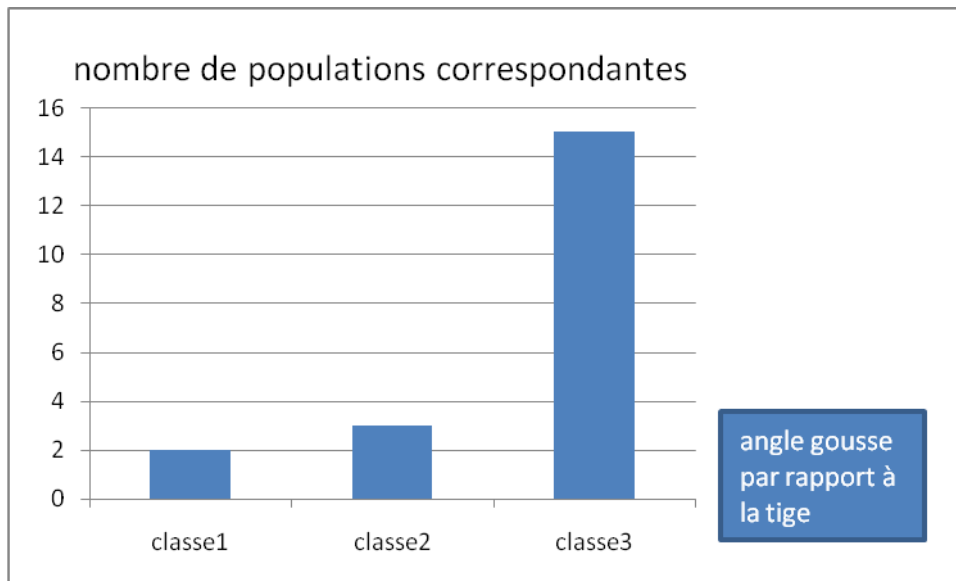


Figure 32: Répartition des 20 populations étudiées selon l'angle de la gousse avec la tige à maturité.

3.7. Forme de la gousse

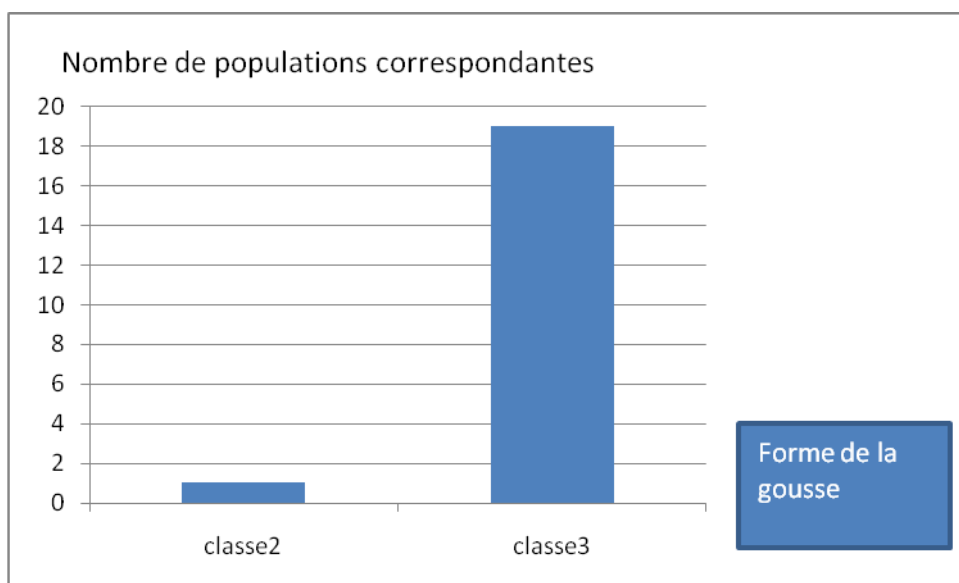


Figure 33 : répartition des 20 parcelles de fèves étudiées en fonction de la forme des gousses.

Il s'avère que la majorité des populations étudiées se caractérisent par des gousses aplaties non contractées (classe 3), mais il y a une population qui a les gousses aplaties contractées (classe 2).

3.8. Eclat de la surface de la gousse

La classe 2 (surface de la gousse brillante) et la classe 1 (surface matte de la gousse) sont presque quasiment représentés dans les 20 populations étudiées : 11 populations ont une surface des gousses brillante et les 9 autres ont eu une surface matte (Figure 34).

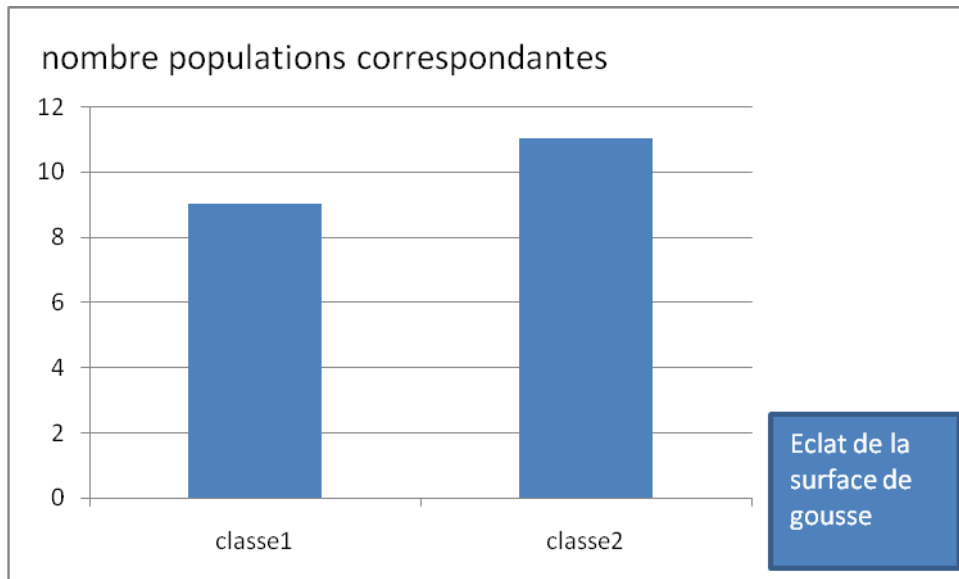


Figure 34 : Répartition des 20 populations étudiées en fonction de l'éclat de la surface de la gousse.

3.9. Couleur gousse à maturité

La figure 35 suivante représente la distribution des 20 populations en fonction du descripteur couleur de la gousse à maturité.

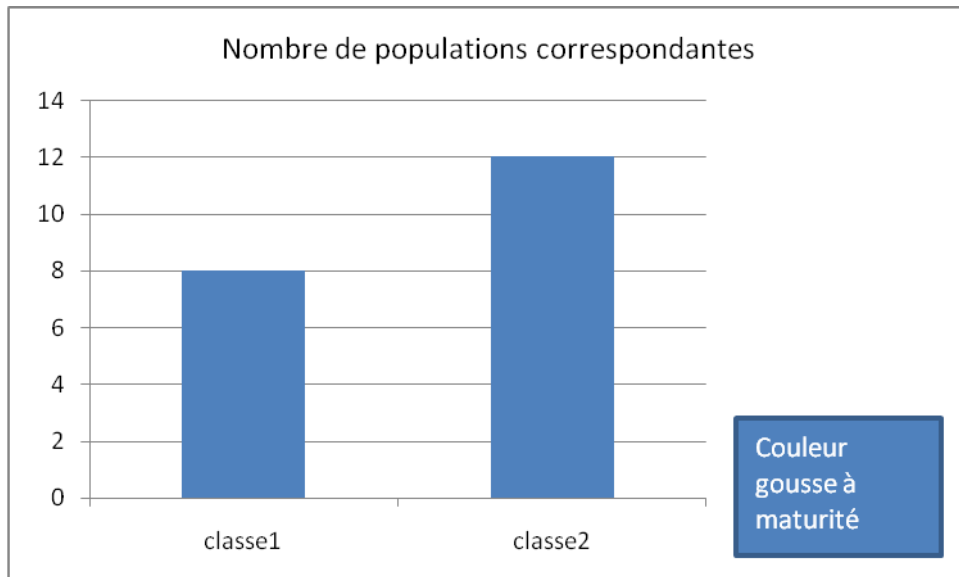


Figure35: Répartition des 20 populations étudiées en fonction du caractère couleur de la gousse à maturité.

D'après la figure 35, il s'avère que 12 populations de fèves étudiées ont des gousses marron/noir (classe 2) et 8 populations ont des gousses jaunes (classe 1).

3.10. Longueur de la gousse

Ci-dessous est représentée la répartition des populations étudiées en fonction du descripteur longueur des gousses (Figure 36).

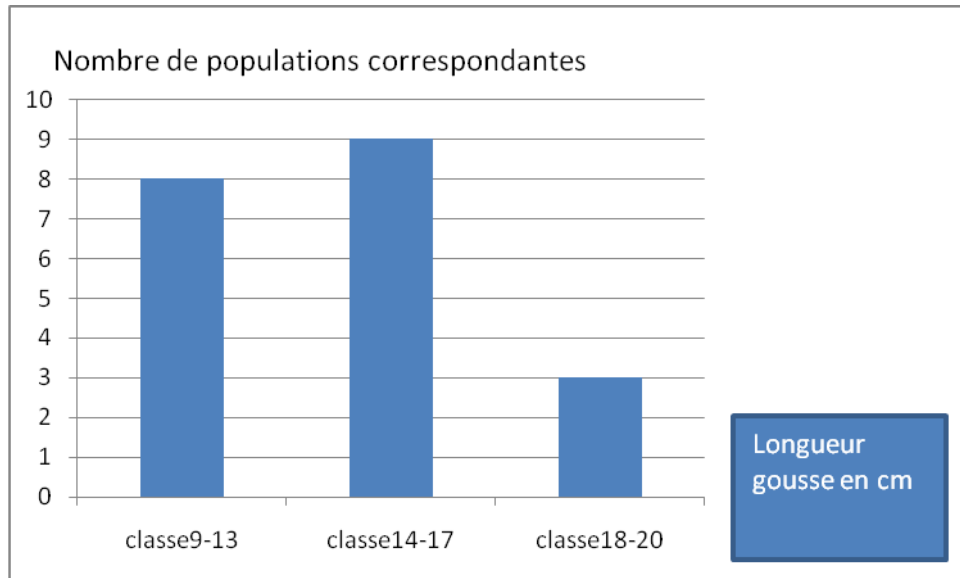


Figure 36 : Répartition des populations étudiées en fonction de la longueur des gousses en cm.

On constate de la figure 36 que 9 populations sur 20 ont des gousses dont la taille est comprise entre 14 et 17cm, 8 populations ont des gousses dont la taille est comprise entre 9 et 13 cm et uniquement 3 populations ont des gousses qui ont la taille comprise entre 18 et 20cm.

2. Graine

3.1. Nombre de graines par gousse

La figure 37 ci-dessous résume les résultats de la caractérisation du nombre de graines par gousse chez les populations étudiées.

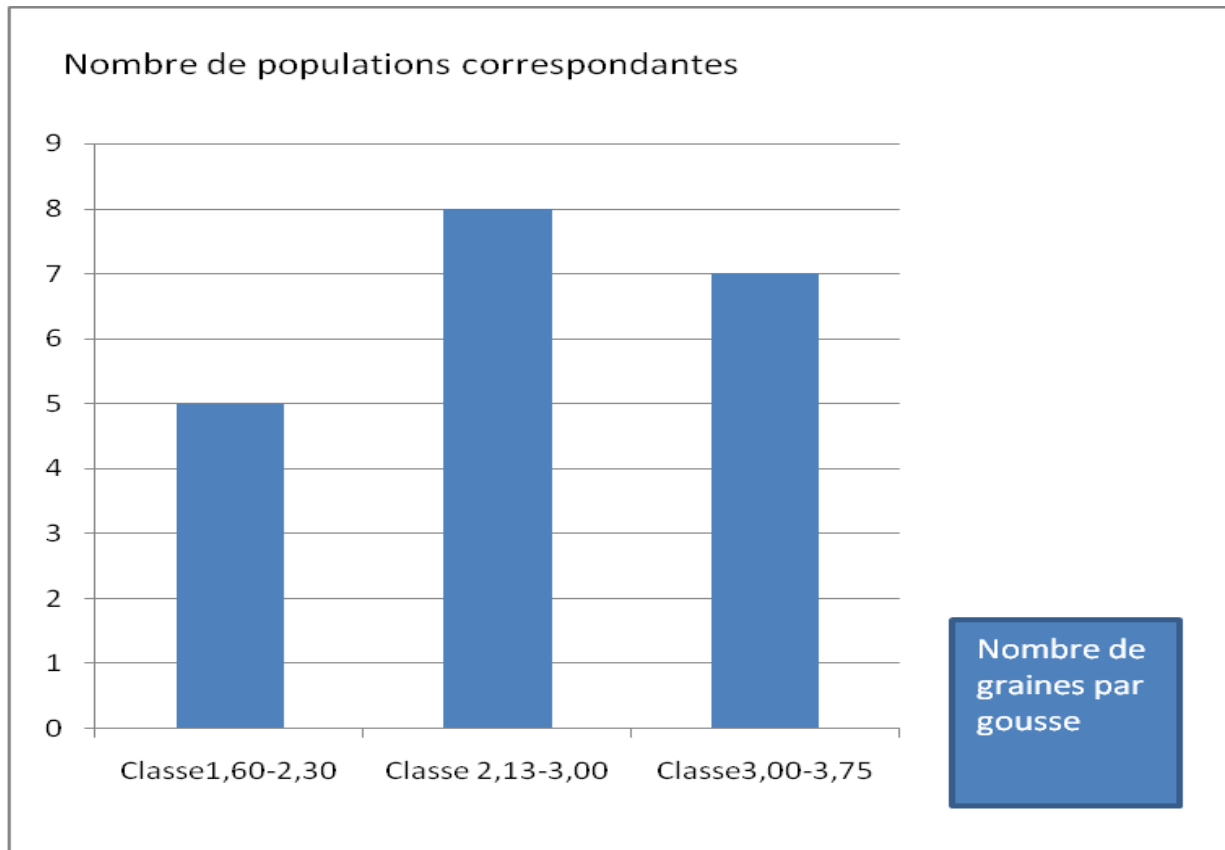


Figure 37 : Répartition des nombres de graines par gousse sur les 20 parcelles

On constate, de la figure 37, qu'il y a 3 classes de graines par gousse aux niveaux des populations étudiées : La classe 2,31 à 3 graines par gousse est la plus abondante avec 8 populations sur 20, suivie par la classe de 3,10 à 3,75 graines par gousse avec 7 populations. Cinq populations ont eu de 1.60 à 2.30 graines par gousse.

3.2. Poids de 100 graines

La figure 38 représente la répartition des 20 populations étudiées en fonction du poids de 100 graines en g.

Il s'avère de la figure 38 que 6 populations sur 20 ont eu un poids de 100 graines compris entre 60 et 70 g, 5 populations ont eu les poids compris entre 50 et 60g et 5 autres ont eu un poids de 70 à 80g. 3 populations sur 20 ont eu un poids compris entre 80 et 90 g et uniquement 1 population a eu un poids qui dépasse 90 g.

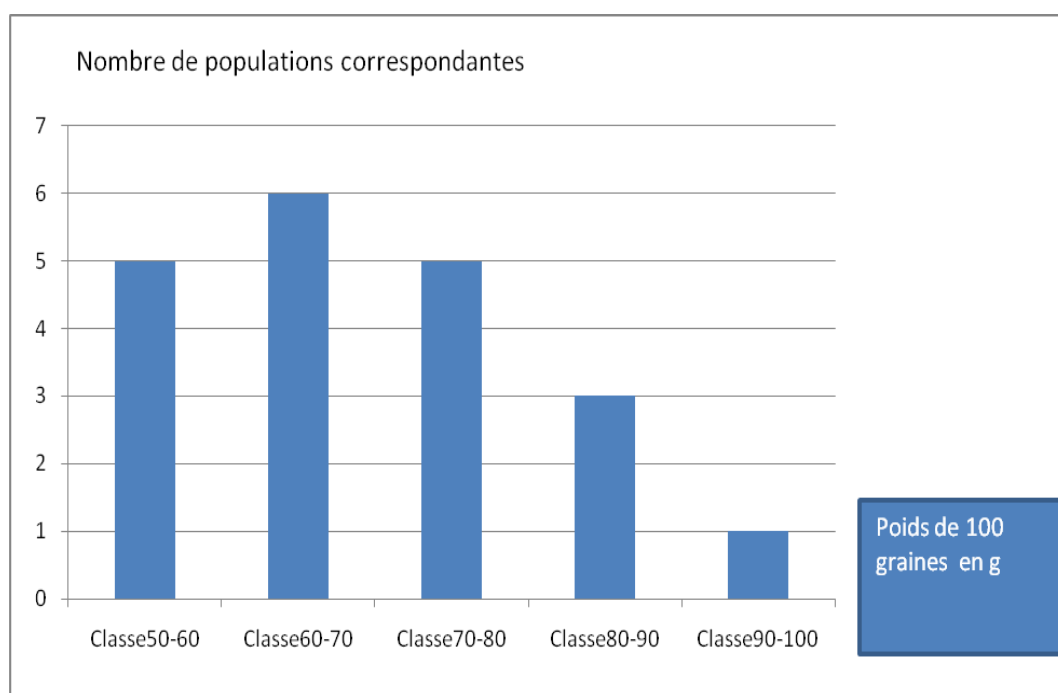


Figure 38 : Répartition des populations étudiées en fonction du poids de 100 grains en g.

3.3. Couleur de l'enveloppe de la graine

La figure 39 représente la répartition des 20 populations étudiées en fonction de la couleur de l'enveloppe de la graine.

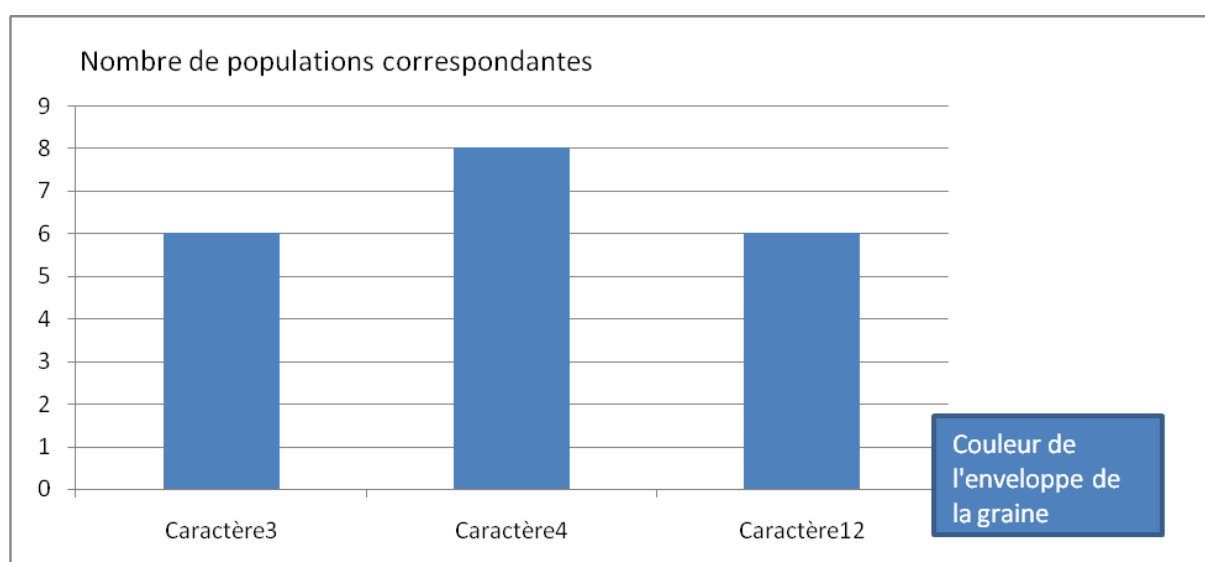


Figure 39: Répartition des 20 populations étudiées en fonction de la couleur de l'enveloppe de la graine.

D'après la figure 39, 8 populations ont révélé la classe 4 correspondant à la couleur verte claire, 6 populations sur 20 appartiennent à la classe 3 qui renvoie à la couleur marron clair et 6 autres ont eu une couleur mixte (la classe 12 sur la figure 39 n'est autre que le caractère X sur la liste des descripteurs).

3.4. Couleur du hile

Pour ce descripteur, les résultats ont été identiques : toutes les populations étudiées ont eu le hile noir (le numéro 1 sur la liste des descripteurs).

3.5. Forme de la graine

La figure 40 résume les résultats de la caractérisation pour la forme de la graine.

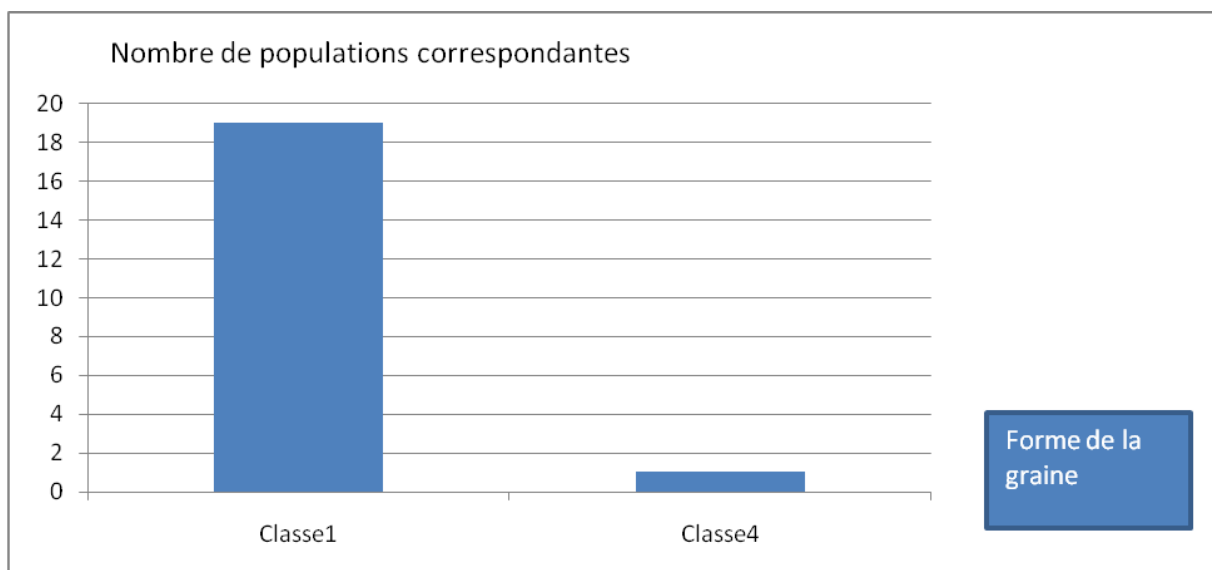


Figure 40 : Répartition des vingt populations étudiées en fonction de la forme de la graine

19 populations parmi 20 ont eu la graine aplatie et uniquement une seule population a eu la classe 4 (X sur la liste des descripteurs ci-haut), qui correspond à la forme mixte.

3. Autres descripteurs

4.1. Nombre de tiges totales

La figure 41 résume la répartition des populations étudiées en fonction du nombre total de tiges par plante.

D'après la figure 41, on constate que la classe 4 tiges par plante est la plus représentée avec 6 populations sur 20, suivie par 3 tiges par plante (5 populations), par deux tiges par

plante (4 populations), par 6 tiges par plante (avec 2 populations) et par les classes 5, 7 et 8 tiges par plante observées dans une population chacune.

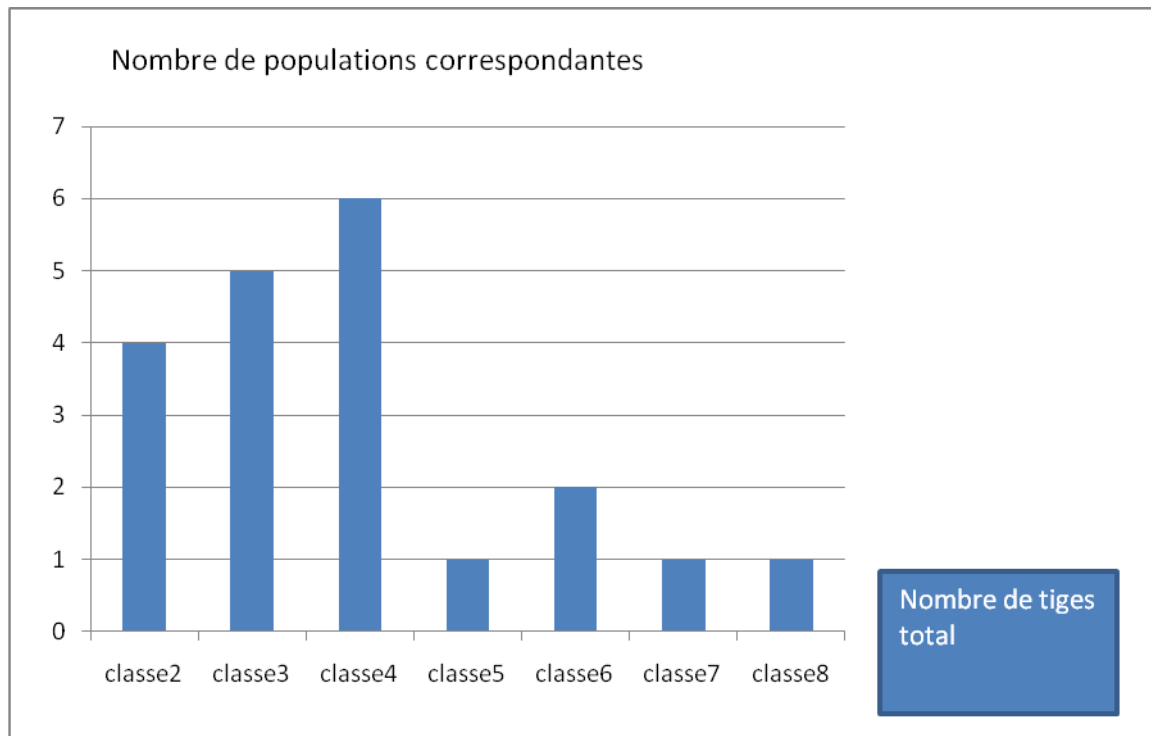


Figure 41: Répartition des populations en fonction du nombre total de tiges par plante.

3.2. Nombre de tiges fructifères par plante

La figure 42 ci-dessous résume les résultats de la caractérisation des populations d'étude pour le descripteur nombre de tiges fructifères par plante.

Il s'avère de la figure 42 que la classe de deux tiges fructifères par plante est la plus représentée avec 8 populations sur 20, suivie par la classe 1 tige fructifère par plante (5 populations) et par 3 tiges fructifères par plante (dans 4 populations). La classe 4 tiges fructifères par plante est la plus faiblement représentée (observée dans 3 populations uniquement).

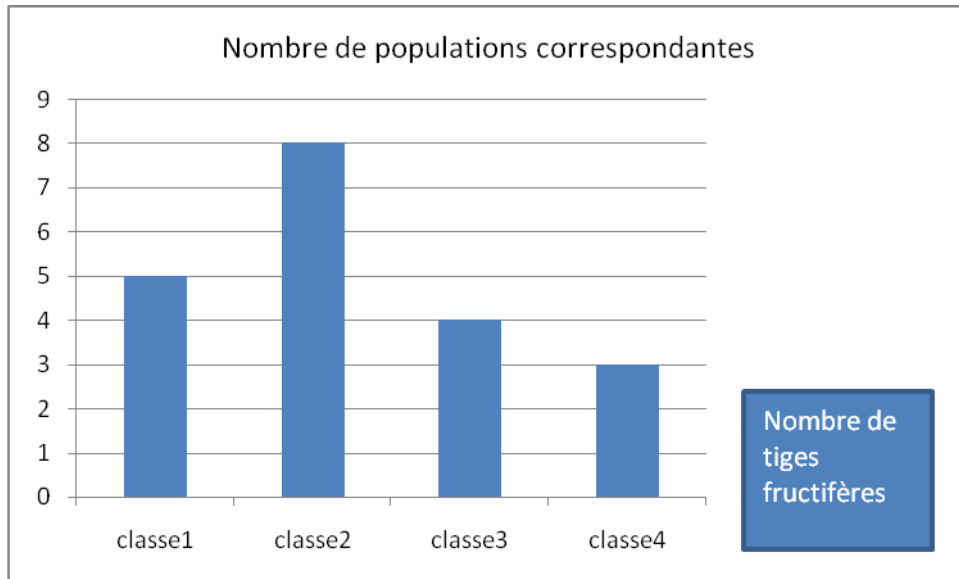


Figure 42: Répartition des populations étudiées en fonction du nombre de tiges fructifères par plante.

3.3. Nombre de gousses par plante

Les résultats de la caractérisation pour le nombre de gousses par plante sont rassemblés sur la figure 43.

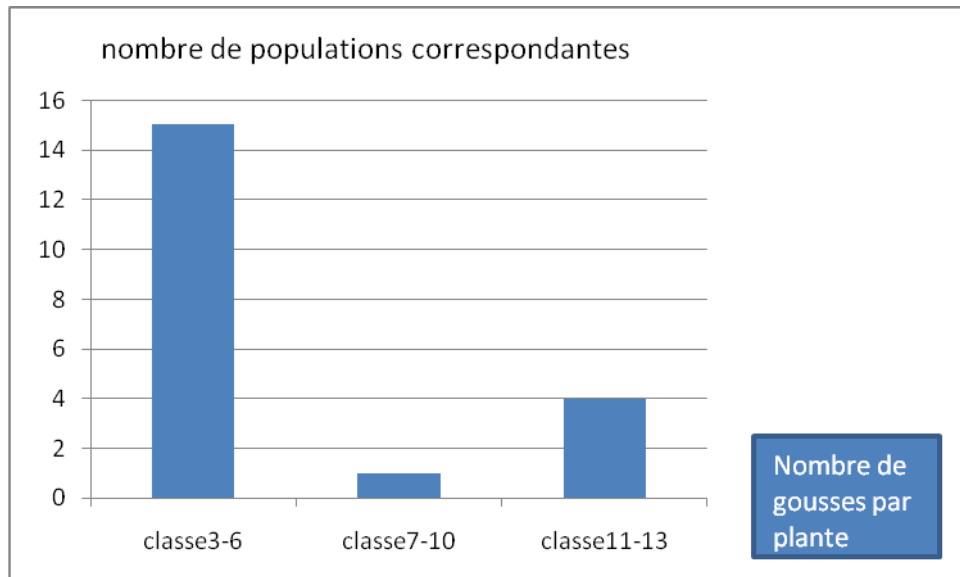


Figure43: Répartition des populations étudiées en fonction du nombre de gousses par plante

De la figure 43, on constate que la classe 3 à 6 gousses par plante est largement répartie sur les 20 populations étudiées avec 15 populations, suivie par la classe 11 à 13 gousses par plante avec 4 parcelles. La classe de 7 à 10 gousses n'est retrouvée que dans une population.

3.4. Rendement

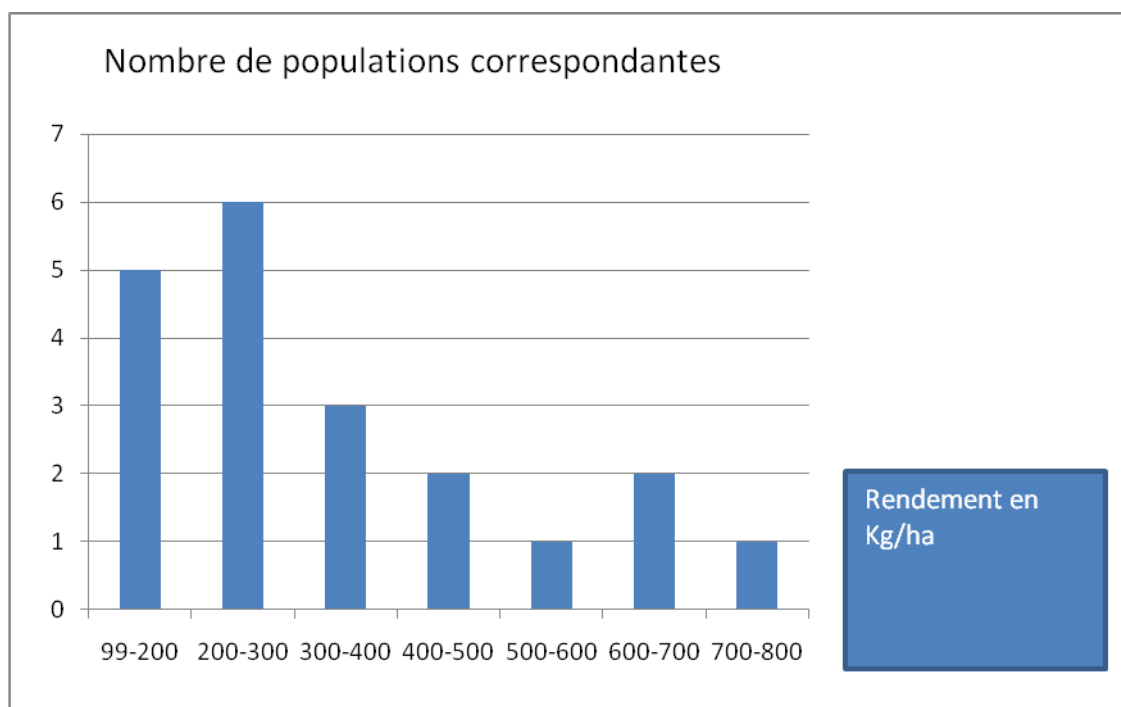


Figure 44 : Répartition des populations étudiées en fonction de leur rendement en kg/ha.

D'après la figure 44, les rendements les plus élevés, de 700 à 800 kg/ha, ne sont observés que pour une population. Les rendements de 600 à 700 kg/ha sont retrouvés dans 2 populations uniquement. Les rendements de 500 à 600 kg/ha ne sont retrouvés que dans une population parmi les 20 étudiées. Les rendements entre 400 et 500 kg/ha sont eux aussi vus dans 2 populations. La classe de rendement de 300 à 400 kg/ha est bien répartie avec 3 populations. Les rendements de 200 à 300 kg/ha sont les plus fréquemment observés avec 6 populations sur 20 tandis que les plus faibles rendements (de 99 à 200 kg/ha) sont représentés dans 5 populations des 20 étudiées.

II. Corrélations partielles de quelques descripteurs

Le tableau 5 ci-dessous résume les corrélations partielles pour les composantes de rendement chez les 20 populations étudiées.

Tableau2 : Corrélations partielles entre les composantes de rendements chez les populations de fèves étudiées.

	JFLOR	JMAT	HPLTE	NBTIG ESTOT	NBTIGE SFRUC	NBGOU	NBGRGOU	LGGO U	RDT	P100GR
JFLOR	1,000									
JMAT	0,526	1,000								
HPLTE	-0,180	-0,391	1,000							
NBTIGESTOT	0,153	0,155	-0,099	1,000						
NBTIGESFRUC	0,269	0,276	-0,212	0,918	1,000					
NBGOU	0,123	0,297	-0,298	0,900	0,845	1,000				
NBGRGOU	-0,018	0,006	0,103	-0,469	-0,424	-0,375	1,000			
LGGOU	0,056	0,305	0,058	-0,421	-0,466	-0,304	0,832	1,000		
RDT	0,011	0,229	-0,231	0,657	0,577	0,703	-0,154	-0,145	1,000	
P100GR	0,016	-0,042	0,414	0,529	0,426	-0,375	-0,113	-0,061	0,605	1,000

Avec :

JFLOR : Nombre de jours nécessaires pour atteindre la floraison

JMAT : Nombre de jours nécessaire pour atteindre la maturité des gousses

HPLTE : Hauteur de la plante

NBTIGESFRUC : Nombre de tiges fructifères par plante

NBGOU : Nombre de gousses par plante

NBGRGOU : Nombre de graines par gousse

LGGOU : Longueur de la gousse

RDT : Rendement

P100GR : Poids de 100 graines

L'analyse des corrélations partielles nous permet de tirer les points suivants:

- Le nombre de tiges fructifères et le nombre de gousses par plante sont très fortement corrélés au nombre de tiges totales.
- Le nombre de gousses est fortement corrélé au nombre de tiges fructifères.

- Le nombre de graines par gousse est fortement corrélé à la longueur de la gousse.

Le rendement est moyennement corrélé au nombre de tiges totales, nombres de tiges fructifères, au nombre de gousses par plante et au poids du grain.

III. Analyse multivariée

1. Regroupement des populations

La figure 45 ci-dessous résume les résultats de l'analyse cluster appliquée pour l'ensemble des variables mesurées.

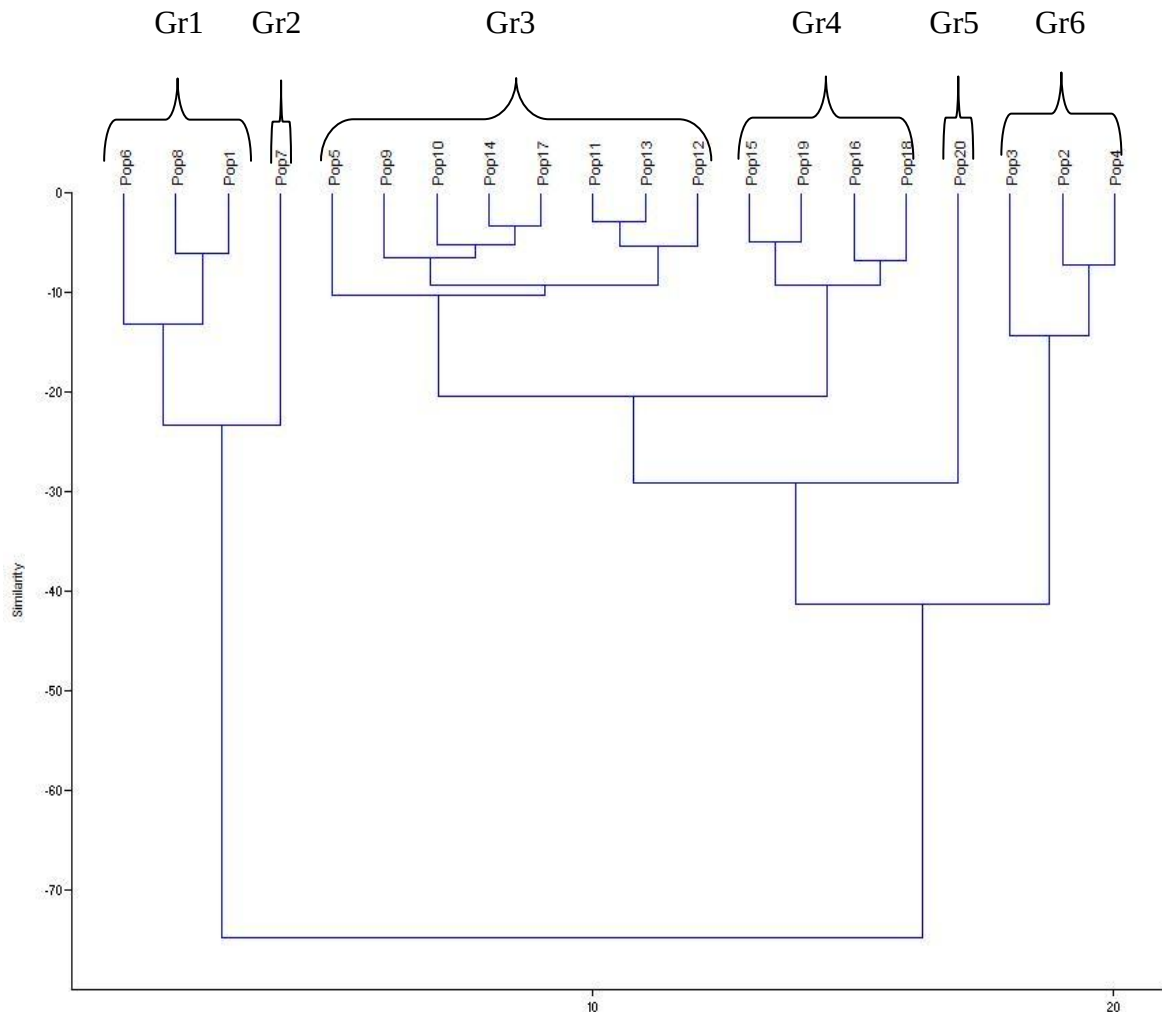


Figure 45 : Résultats de l'analyse cluster pour les 20 vingt populations étudiées.

L'analyse cluster a permis le regroupement des populations homogènes sur la base de la distance euclidienne calculée sur la base des composantes principales. Plus la similarité est forte, plus le degré de ressemblance entre les différentes populations est élevé.

D'après la figure 45, on constate que les 20 populations étudiées peuvent être regroupées comme suit:

- ✓ Le groupe 1 rassemble les populations 1, 6 et 8,
- ✓ La population 7, à elle seule, constitue le groupe 2,
- ✓ Les populations 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14 et 17 forment le 3^{ème} groupe,
- ✓ Le groupe 4 regroupe les populations 15, 16, 18 et 19,
- ✓ Comme la population 7, la population 20 constitue un groupe indépendant, il s'agit du 5^{ème} groupe,
- ✓ Finalement le groupe 6 se constitue des populations 2, 3 et 4.

2. Analyse en Composantes Principales ACP

Afin de mieux caractériser les groupes ainsi formés au travers de tous les caractères étudiés, une analyse en composantes principales a été réalisée sur la moyenne des six groupes dont la projection sur le plan des composantes principales 1 et 2 est représenté en figure 46.

Tableau 3: Eigenvalue et pourcentage de variabilité des quatre premières composantes principales (CP)

CP	Eigenvalue	% Variabilité
1	5,29712	42,946
2	3,53758	28,681
3	1,3497	10,943
4	1,30892	10,612

D'après le tableau 6, nous notons que le plan des composantes 1 et 2 explique 71,63 % de la variabilité totale des populations étudiées. Ainsi, nous nous limiterons à ce plan des composantes principales 1 et 2.

L'axe 1 est principalement défini par le rendement, le nombre de graines par gousse, par le nombre de gousses par plante dans le sens positif et par le nombre de tiges fructifères, le nombre de tiges totales, la hauteur de la plante et le nombre de jours à la floraison dans le sens négatif. Il peut être interprété comme un indice de rendement.

L'axe 2 est principalement défini par la couleur de la fleur, la forme de la gousse, la couleur du hile et la longueur de la gousse dans le sens positif.

Le groupe 5 possède un rendement, un nombre de graines par gousse, et un nombre de gousses par plante élevés par rapport à la moyenne des populations étudiées et un nombre de tiges fructifères, totales, une hauteur et un nombre de jours à la floraison inférieurs à la moyenne des vingt populations.

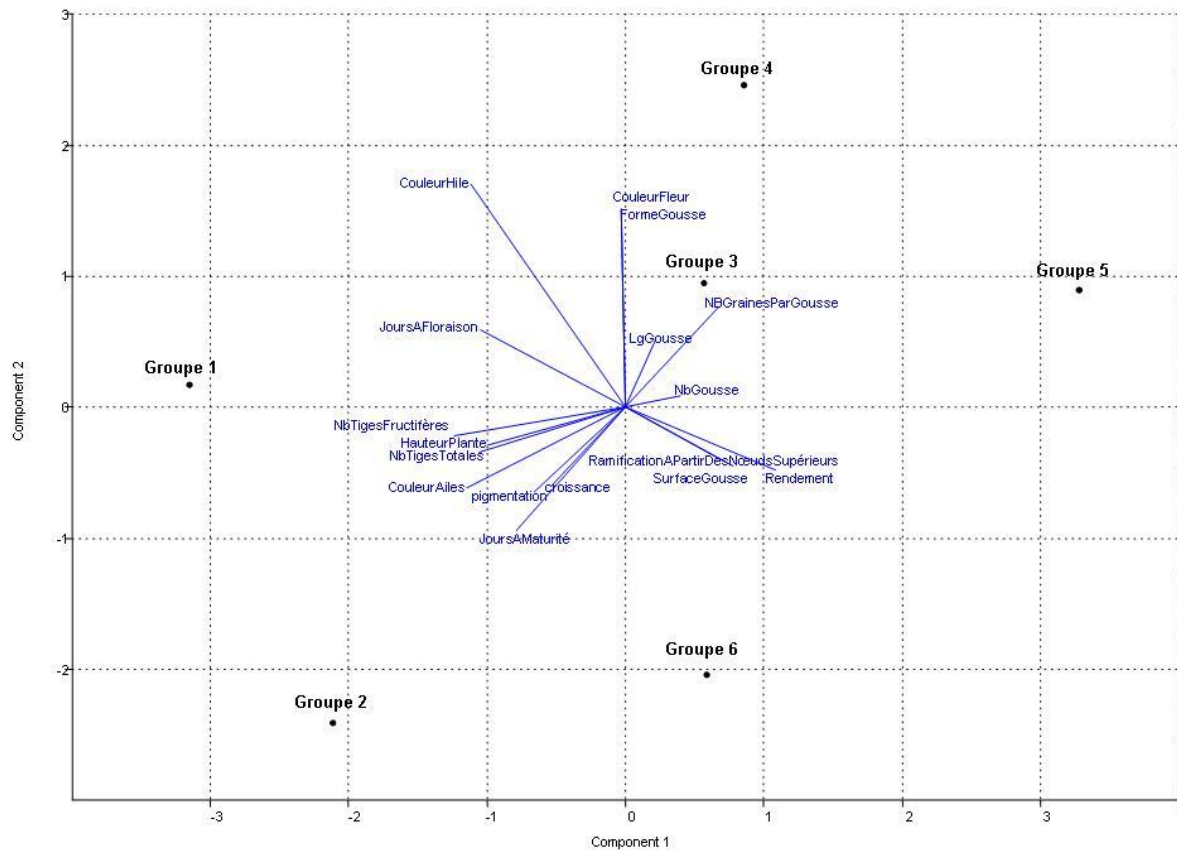


Figure 46 : Projection des groupes et des variables sur le plan des composantes principales 1 et 2

Les groupes 1 et 2, à l'inverse du groupe 5, possèdent un rendement, un nombre de graines par gousse, et un nombre de gousses par plante inférieurs à la moyenne des populations étudiées et un nombre de tiges fructifères, un nombre de tiges totales, une hauteur de plante et un nombre de jours à la floraison élevés par rapport à la moyenne des vingt populations.

. Les groupes 6, 3 et 4 sont intermédiaires, entre le groupe 5 d'une part et les groupes 1 et 2 de l'autre part, pour le rendement, le nombre de graines par gousse, le nombre de gousses par plante, le nombre de tiges fructifères, le nombre de tiges totales, la hauteur de plante et le nombre de jours nécessaires pour atteindre la floraison.

IV. Discussions

La caractérisation des 20 populations étudiées nous a permis de construire une base de données pour les divers descripteurs chez les 20 populations collectées. Ainsi, le sélectionneur trouvera dans les 3 tableaux 2,3 et 4, qui résument les résultats de la caractérisation pour ces

populations, un point de départ pour la sélection de lignées de fèves désirées en fonction des critères visés. Par exemples :

Un sélectionneur qui cherche l'amélioration du rendement grain utilisera la population 7 (collectée entre Taounate et Tahar Souk) qu'a donnée le meilleur rendement dans les conditions de l'expérimentation.

Un sélectionneur désirant un grand nombre de tiges totales trouvera dans les populations 7 et 8 (collectées entre Taounate et Tahar Souk) les nombres de tiges totales de 8 et 7 tiges par plante respectivement pour débiter un programme de sélection ayant pour objectif l'amélioration du nombre de tiges totales.

Un sélectionneur visant d'améliorer le nombre de tiges fructifères par plante, on lui proposera de commencer avec la population 1 collectée près de Fès vers Tissa (4 tiges fructifères par plante).

Un sélectionneur, travaillant sur le poids de 100 graines, aurait sans doute retenu la population 1 qui a donné 91,06 g. Par ailleurs, la population collectée de l'Afghanistan, dans une étude de caractérisation faite par l'ICARDA, n'a donné que 47,10 g, tandis que la population collectée de l'Iraq a donné 123 g (ICARDA, 1988).

Un sélectionneur voulant sélectionner en fonction de la précocité de floraison travaillera sur les populations 3, 5, 6, 7, 11, 13, 18 et 19, qui ont fleuri en 96 jours. L'étude de caractérisation faite à l'ICARDA, en 1988, a confirmé que les populations collectées de l'Egypte et du Soudan ont fleuri, elles aussi, en 96 jours, tandis que la population collectée en Afghanistan n'a fleuri qu'après 110 jours.

Un sélectionneur, voulant développer des variétés à maturité précoce, retiendrait les populations 4, 5 et 11 (147 jours).

Si on s'intéresse à réduire la hauteur de la plante dans un programme de sélection, on pourrait commencer par la population 11 (collectée entre Taounate et Ourtzarh) (70 cm en moyenne). La population 12 de 103 cm en moyenne (collectée entre Ourtzarh et Rhafsai) serait prometteuse si l'on veut améliorer la hauteur de la plante.

CONCLUSION GENERALE

La culture des fèves jouit d'une grande importance, dans la filière des légumineuses alimentaires au niveau national, du fait qu'elle occupe en moyenne à peu près la moitié de la superficie emblavée en légumineuses alimentaires. Cependant, cette culture est confrontée à de nombreuses contraintes abiotiques, à savoir l'itinéraire technique traditionnel et les variations climatiques, et biotiques, comme l'orobanche et les maladies cryptogamiques. Ces contraintes ont pour conséquences la réduction des productions nationales des fèves d'une campagne agricole à l'autre.

Mais, l'utilisation d'un matériel végétal local non performant sensible à ces diverses contraintes reste le problème le plus gênant à la culture des fèves au Maroc, du moment que toutes ces contraintes biotiques ou abiotiques peuvent être contrôlées au moyen de variétés de fèves adaptées aux divers agrosystèmes du pays, résistantes aux différentes maladies et de bonne productivité. L'obtention de telles variétés n'est possible qu'avec la disponibilité de ressources génétiques capables de donner naissance, grâce aux techniques de l'amélioration génétique, aux variétés de fèves améliorées. Les ressources génétiques de fèves doivent, ainsi, être collectées et caractérisées en premier lieu avant d'être proposées pour amorcer un programme d'amélioration génétique.

La caractérisation des vingt populations de *Vicia faba* L., collectées en 2009, effectuée au Domaine Expérimental de Douyet a permis de décrire ces populations et de mieux cerner le degré de variabilité de leurs caractéristiques. Ainsi, une base de données, concernant ces 20 populations, a été constituée. Elle servira d'outil de travail pour l'améliorateur.

L'analyse multivariée a permis de regrouper ces populations en six groupes. Ce regroupement servira de base pour la constitution de pools génétiques. Les populations d'un même groupe peuvent être mélangées, préservées et multipliées en groupe. Cela permet de réduire le nombre d'échantillons à conserver.

La collecte du germoplasme de *Vicia faba* L. devra être poursuivie dans d'autres régions du Maroc afin de couvrir une plus grande diversité génétique de cette espèce.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Andaloussi Abbad F., Sellami S., Kachouri N., Kharrat M. & Hamaoui M.** 1996. Le Nématode des Tiges, *Ditylenchus dipsaci*, parasite de la fève et la féverole (*Vicia faba*) dans le Maghreb. In: Rehabilitation of Faba Bean. W. Bertenbreiter & M. Sadiki , (ed), 159-166.
- Anonyme** 1992. Carte routière du Maroc, Echelle 1/2 000 000. Division de la Cartographie. Direction de la Conservation Foncière et des Travaux Topographiques. Edition 1992.
- Bond D.A.** 1966. Yields and components of yield in diallel crosses between inbred lines of winter beans (*Vicia faba* L.). J. agric. Sci., Cambridge, 67, 325-336.
- Bond D.A., Lawes D.A. and Poulsen M.** 1980. Broadbean (Faba Bean). In: Hybridization of Crop Plant, Editions, American Society of Agronomy, 203-213.
- Bond D.A., Poulsen M.H.** 1983. Pollination. In: The Faba Bean (*Vicia faba* L.). Hebblethwaite P.D. (ed), Butterworth, London, 77-101.
- Bleton C.** 1943. Les Orobanches « Pour les Détruire Cultiver du Lin ». La Terre Marocaine 13 (158) : 4-6.
- Boughdad A.** 1996. *Bruchus rufimanus*, un Insecte Ravageur des Graines de *Vicia faba* L. au Maroc. In: Rehabilitation of Faba Bean. W. Bertenbreiter & M. Sadiki (ed), 179-184.
- Claude C. Bernier, Salim B., Hanounik, Mustafa M. Hussein & Hosni A. Mohamed.** 1984. Field Manual of Common Faba Bean Diseases in The Nile Valley. Information Bulletin n°3, ICARDA.
- De Costa W.A.J.M., Dennett M.D, Ratnaweera U., Nyalemegbe k.** 1997. Effects of different water regimes on field-grown determinate and indeterminate faba bean (*Vicia faba* L.) II; Yield, yield components and harvest index. Field Crops Research, 52, 169-178.
- Demarly Y., Sibi M.** 1996. Amélioration des Plantes et Biotechnologies. John Libbey Eurotext (éd).
- Dodd I.J.** 1971. Somme Aspect of Biology of *Ascochyta fabae* Speg. Ph. D. University of Hull.
- Endre I.Simay.** 1992. Pleospora herbarum and somme other fungi on faba bean Stalks. FABIS Newsletter 31: 39-41
- Fatemi Z.** 1996. Situation de la Culture des Fève au Maroc. In: rehabilitation of faba bean. Bertenbreiter W. & Sadiki M. (Ed), 33-38.
- Frankel O.H.** 1958. J. Australian Inst. Agr. Sci.24 :112
- Gaunt R.F.** 1983. Shoot Diseases Caused by Fungal Pathogens. In: The Faba Bean (*Vicia faba* l.). P.D. Hebblethwaite (eds.), Butterworks , London UK, 463-492.
- Geipert S., Kroschel J. & Sauerbon J.** 1996. Distribution and economic importance of *Orobanche crenata* in faba bean production of Morocco. In: Rehabilitation of Faba Bean. W. Bertenbreiter & M. Sadiki (Ed), 113-120.
- Hannounik S.B.** 1979. Diseases of Major Legume Crops in Syria. In: Food Legum Improvement and Developement: Proceedings of a workshop (Hawtin G.C & Chancellor

G.J.,eds.), University of Aleppo, 2-7 May 1978, Aleppo, IDRC and ICARDA, Aleppo, Syria, 98-102.

Hannounik S.B. 1981. Influence of 'Ronilan' on the Severity of Chocolate spot and Yield in Faba Bean. FABIS Newsletter 3:50-51

IBPGR, ICARDA, 1985. Faba bean descriptors. IBGPR Secretariat Rome (Eds).

ICARDA, 1984. Field manual of common faba bean diseases in the Nile valley. Information Bulletin No. 3. ICARDA (eds)

ICARDA, 1988. Faba Bean Germplasm Catalog : Pure Line Collection. ICARDA (eds)

Khalil S.A., Saber H.A., El-hadi M.M, Amer M.I, Mahmoud A.S. and Abou-zeid N.M. 1996. Utilisation of genetic resources in developing new faba bean (*Vicia faba*) cultivars. In Rehabilitation of faba bean. Berntebreiter W., M. Sadiki (eds). 47-54.

Knudsen J.C., Poulsen M.H. 1983. Pollination studies on the closed flower mutants of *Vicia faba* L. Z. Pflanzenzucht., 90:106-115.

Le Guen J et Duc G. 1996. La Féverole. In : Amélioration des Espèces Végétales Cultivées : Objectifs et Critères de Sélection. A. Gallais et H. Bannerot (Eds), 189-203.

Lelley I, 1964. On Occurrence of Broad Bean Rust (*Uromyces fabae* (Pers.) DeBy.). Novénytermelés 13:161-166.

López-Bellido F.J., López-Bellido L., López-Bellido R.J. 2005. Competition, growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). Europ. J. Agronomy 23,359-378.

Mabsoute L., Saadaoui E.M. 1996. Maladies Cryptogamiques de la Fève au Maghreb. In: Rehabilitation of Faba Bean. W. Berteinbreiter, M. Sadiki (Eds), 137-148.

Madeira A.C. 1988. Growth, Light interception and disease in Field Bean. Ph.D. Thesis, University of Nottingham.

Madeira A.C., Clark J.A., Rossall S., Mearth A.J. 1992. A Classification System for Seeds of Faba Bean Infected by *Ascochyta fabae*. FABIS Newsletter 30:48-51

Mansour K. 1980. Chemical control of rust and leaf spots beans (*Vicia faba* L.). Agricultural Research Review 58: 49-56

Ministère de l'Agriculture, du développement rural et des pêches maritimes. 1996. Enquête agricole : les légumineuses. Résultats de la campagne agricole 2005-2006. Direction de la programmation et des affaires économiques (éds), 1-13.

Poulain D., Keller S., Le Guen J. 1990. Influence des facteurs climatiques sur le rendement de la féverole (*Vicia faba* L., var Ascott) et ses composantes. Agric. Forest. Meteorol., 52,397-414.

Raphalen J.L., Girard C., Lacombe J.P. 1986. Développement, croissance et élaboration du rendement des pois et féveroles. Perspect. Agric., 103,14-23.

Ruan H., Yuchang J., Weufu L. & Jiahe W. 1982. Two new form of *Fusarium avenaceum* (FR) SACC. The Pathogens of broadbean stem-end rot. Acta Phytopathologia Sinincia 12(2): 25-32.

- Ruokoula A.L. & Vestberg M. 1978.** Fungus diseases of field bean in Finland during 1975-1977. *Journal of Scientific Agricultural Society of Finland* 50: 455-467
- Sadiki M. 1996.** Ressources génétiques des légumineuses alimentaires au Maroc. p. 55-60. In *Rehabilitation of Faba Bean*. Berntenbreiter W., M. Sadiki (eds).
- Salt G.A. 1983.** Root diseases of *Vicia faba* L. In: *The faba bean* (P.D. Hebblethwaite, (eds), Butterworths, London, 393-419.
- Silim S.N., Saxena M.C. 1992.** Comparative performance of some faba bean (*Vicia faba* L.) cultivars of contrasting plant types. I. Yield, yield components and nitrogen fixation. *J. agric. Sci., Cambridge*, 118,325-332.
- Singh S.R. & Singh N.I. 1986.** Seed Mycoflora of broad bean and its control. *Indian Pathology* 39: 541-543.
- Simay E.I. 1988.** Occurrence of *Stemphylium* and *Phoma* causing diseases of broadbean (*Vicia faba* L.) In: Hungary. *Novénytermelés* 37: 27-34
- Teuteberg A. 1980.** *Botrytis fabae* Sard. Und andere pathogene Pilze als Erreger von Blattkrankheiten an der Ackerbohne. *Mitteilungen aus Forstwirtschaft Berlin-Dahlem* 197: 5-15.
- Vavilov N.I. 1935.** The Origin, Variation, Immunity and Breeding of Cultivated Plants. *Chronica Botanica*, Waltham, Mass. (1949-1950). (Translated From Russian by K.S.Chester).
- Williams P.F. 1978.** Growth of Broadbeans Infected by *Uromyces vicia fabae*. *Annals of Applied Biology* 90:329-334
- Zahour A. 1992.** *Eléments d'Amélioration Génétique des Plantes*. Actes Editions.

SITES D'INTERNET :
blogs-afrique.info

<http://faostat.fao.org>
<http://database.prota.org>

Tableau 4 : Résultats de la caractérisation des 20 populations

ANNEXE

Population	Croissance	Pigmentation	taille folioles	ramification à partir des nœuds supérieurs	hauteur plante en cm	Jours à la floraison	Jours à la maturité	couleur de la fleur	intensité des stries	couleur ailes
population1	3	2	6	0	76	97	149	1	5	3
Population2	3	1	6	0	86	97	148	1	4	3
Population3	3	3	7	0	85	96	148	1	4	3
Population4	3	1	6	0	78	97	147	1	4	2
Population5	3	2	7	0	103	96	147	1	4	3
Population6	3	4	4	0	74	96	148	1	5	3
Population7	3	3	6	0	73	96	149	1	4	3
Population8	3	3	7	0	73	98	150	1	4	3
Population9	3	4	5	0	76	98	149	1	5	3
Population10	3	4	6	0	84	97	149	1	5	3
Population11	3	3	6	0	72	96	147	1	4	3
Population12	3	3	6	0	70	97	148	1	5	3
Population13	3	2	5	0	71	96	148	1	5	3
Population14	3	3	6	0	74	97	150	1	5	3
Population15	3	2	5	0	75	97	149	1	6	3
Population16	3	1	3	0	74	98	149	1	5	3
Population17	3	1	6	0	76	96	149	1	5	3
Population18	3	0	6	0	75	96	148	1	5	3
Population19	3	1	7	0	74	98	149	1	5	3
Population20	3	2	5	0	88	97	148	1	5	3
Minimum	3	0	3	0	70	96	147	1	4	2
Maximum	3	4	7	0	103	98	150	1	6	3
Moyenne	3	2	6	0	78	97	148	1	5	3
Etendue	0	4	4	0	33	2	3	0	2	1

Tableau 5 : Résultats de la caractérisation des 20 populations (suite1)

Population	angle gousse par rapport à la tige	forme de gousse	Eclat surface gousse	couleur gousse à maturité	longueur gousse en cm	nombre de graines par gousse	Poids de 100 graines en g	Couleur de l'enveloppe de la graine	Couleur du hile	Forme de la graine
population1	1	3	1	2	15	2.51	91.06	4	1	1
Population2	3	3	1	2	14	2.88	80.55	4	1	1
Population3	3	3	1	2	12	2.32	76.64	3	1	1
Population4	2	3	2	2	12	2.65	82.44	4	1	1
Population5	3	3	1	2	14	2.87	82.17	12	1	1
Population6	2	3	2	1	11	2.4	66.17	12	1	1
Population7	3	3	1	2	14	3.04	76.72	4	1	1
Population8	3	3	2	1	11	1.6	79.23	3	1	1
Population9	3	3	2	1	13	1.99	68.14	4	1	1
Population10	3	3	1	2	13	2.17	73.89	4	1	1
Population11	2	3	1	1	10	2.26	56.63	12	1	1
Population12	3	3	2	2	9	2.13	51.54	3	1	1
Population13	3	3	1	1	14	2.35	50.9	4	1	4
Population14	3	3	2	1	17	3.08	63.46	3	1	1
Population15	3	2	1	2	14	2.67	63.76	12	1	1
Population16	1	3	2	1	19	3.7	51.11	12	1	1
Population17	3	3	2	2	18	3.22	51.99	12	1	1
Population18	3	3	2	1	20	3.66	78.63	4	1	1
Population19	3	3	2	2	16	3.75	69.29	3	1	1
Population20	3	3	2	2	16	3.34	60.69	3	1	1
Minimum	1	2	1	1	9	1.6	50.9	—	1	4
Maximum	3	3	2	2	20	3.75	91.06	—	1	1
Moyenne	3	3	2	2	14	2.73	68.75	—	1	1
Etendue	2	1	1	1	11	2.15	40.16	—	0	—

Tableau 6 : Résultats de la caractérisation des 20 populations (suite2)

Population	nombre	nombre	nombre de	Rendement
------------	--------	--------	-----------	-----------

	tiges total	tiges fructifères	gousse	en kg/ha
population1	8	4	12	626,57
Population2	4	2	4	429,8
Population3	4	2	4	378,29
Population4	4	2	6	463,72
Population5	4	2	5	186,36
Population6	6	3	13	554,3
Population7	6	4	12	705,29
Population8	5	3	10	601,23
Population9	7	4	12	245,17
Population10	3	2	3	209,38
Population11	3	2	4	198,48
Population12	4	3	5	170,19
Population13	3	1	5	189,95
Population14	3	2	6	221,91
Population15	3	2	6	270,8
Population16	2	1	3	314,79
Population17	2	1	3	225,36
Population18	2	1	4	329,51
Population19	4	3	6	291,39
Population20	2	1	3	99,42
Minimum	2	1	3	99,42
Maximum	8	4	13	705,29
Moyenne	4	2	6	335,6
Etendue	6	3	10	605,87