كلية العلوم و التقنيات فاس
ⵜⴰⵙⴷⴰⵡⵉⵜ ⵏ ⵜⵎⴰⵙⵙⴰⵏⵉⵏ ⴷ ⵜⵉⵏⵉⵜⵉⵏ
Faculté des Sciences et Techniques de Fès

جامعة سيدي محمد بن عبد الله
Université Sidi Mohamed Ben Abdellah

المعهد الوطني للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche Agronomique

PROJETDE FIN D'ÉTUDES

PRESENTE EN VUE D'OBTENTION DU DIPLOME DE

MASTER SCIENCES ET TECHNIQUES

GESTION ET CONSERVATION DE LA BIODIVERSITE

Evaluation de différents génotypes de Vicia faba.L en condition d'ombrage

Présenté par : FADILI Sabah

Encadré par : Pr.FATEMI Zain EL Abidine
Pr.Derraz Khalid
Dr. DAOUI Khalid

Soutenu le: 12-07-2021

Devant le jury composé de:

-Pr.FATEMI Zain EL Abidine (INRA MEKNES))

-Pr.MIKOU Karima (FST FES)

-Pr.DerrazKhalid (FST FES)

-Pr.AmraniJoutei Khalid(FST FES)
- Mme CHETTO Oumaima (NRA-Meknès)

Année Universitaire : 2020/2021

Faculté des Sciences et Techniques Fès
B.P. 2202, Route d'Imouzzer FES
☎ *+212(0)535608014 /+ 212(0)535609635/+212(0)535602953 - 212(0)535608214*
www.fst-usmba.ac.ma

RÉSUMÉ

Cette étude a été menée au domaine expérimental de Douyet. Elle avait comme objectif : L'Evaluation de différents génotypes de *Vicia faba.L* en condition d'ombrage.

Pour répondre à cet objectif, nous avons testé 6 variétés de *Vicia faba* L.

Les mesures ont concerné les paramètres suivants : le nombre de tiges secondaires, le nombre de nœuds fructifères par tige principale, le nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires, le nombre de gousses par tige principale, le nombre de gousses par tiges secondaires, le nombre de graines par tige principale, le nombre de graines par tiges secondaires, le poids des graines par tige principale, le poids des graines par tiges secondaires et le rang du 1er nœud fructifère.

Les résultats obtenus au niveau des composantes du rendement de cette expérience montrent l'effet de l'ombrage sur le rendement de 6 variétés (4 variétés de fève et 2 variétés de féverole) à 2 niveaux d'ombrage différent 50% et 90%. En vue de modéliser le rendement en relation avec ses paramètres, par le biais de l'analyse de la variance (ANOVA), la corrélation partielle et l'analyse du cheminement (Path analysis).

Nos résultats sur le rendement de *Vicia faba L* indiquent que l'ombrage de 50%, est conseillé d'utiliser pour des variétés qui produisent plus de gousses et de graines par tige principale, les variétés qui donnent plus de tiges secondaires et produisent plus de gousses par tiges secondaires seront défavorisées. Alors que, l'ombrage de 90% est fortement déconseillé vu le niveau de production atteint.

Mots clés : Vicia faba L. Fève. Féverole. Rendement. Composantes du rendement. ANOVA. Corrélation. Path analysis. Médiation. (INRA, Meknès)

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Mr. FATEMI Zain El Abidine chercheur à l'INRA de Meknès (Maroc) pour son encadrement tout au long du stage, pour ses conseils, ses remarques, et ses précieuses informations qu'il m'a données à chaque fois, pour faciliter la compréhension du sujet. Qu'il trouve dans ces mots l'expression de mon profond respect.

Je tiens également à exprimer ma remercier au Mr. DAOUI Khalid chercheur à INRA de Meknès, pour ses conseils, et ses orientations, au cours de son encadrement.

Je tiens également à exprimer ma gratitude et remercier Mr. DERRAZ Khalid de la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, pour ses conseils, corrections et orientations au cours de son encadrement.

Enfin, cette formation ne serait accomplie s'il n'y avait pas la tendresse, l'amour et la compréhension de mon entourage. Pour ce, je remercie les membres de ma famille et les amis.

Je voudrais aussi bien exprimer mes sincères remerciements aux professeurs, Mme MIKOU Karima et Mr Amrani Joutei Khalid , aussi a Mme CHETTO Oumaima de INRA-Meknès qui m'a honoré en acceptent de juger ce travail et de l'enrichir par ses critiques constructives.

Liste des Figures

Figure 1 : Orobanche crénata. 23
Figure 2 : La rouille (Sillero et al.,2011) 23
Figure 3 : Maladie de tâche chocolat. 23
Figure 4 : Anthracnose de la fève. 24
Figure 5 : Puceron noir de la fève. 25
Figure 6 : Dégâts causés par B.rufimanus sur les graines de V.faba (Mezani 2011) 25
Figure 7 : Variation des précipitations au niveau du Domaine Expérimental de Douyet, 2020-2021. . 32
Figure 8 : Plan parcellaire utilisé 36
Figure 9 : Modèle initial postulé du témoin pour l'analyse du cheminement du rendement et ses composantes, chez *Vicia faba L.* 43
Figure 10 : Modèle postulé du témoin pour l'analyse du cheminement du rendement et ses composantes chez *Vicia faba L.* 46
Figure 11 : Analyse du cheminement du nombre des gousses par tige principale sur le rendement par plante via le médiateur nombre de graines par tige principale. 47
Figure 12 : Modèle final du Path analysis du temoin pour le rendement et ses composantes chez *Vicia faba L.* 48
Figure 13 : Modèle Path analysis du traitement d'ombrage 2 pour le rendement et ses composantes chez *Vicia faba L* 51
Figure 14 : Analyse du cheminement du nombre de gousses par tige principale sur le rendement par plante via le médiateur nombre de graines tige secondaire. 51
Figure 15 : Modèle final du Path analysis du traitement d'ombrage 2 pour le rendement et ses composantes chez *Vicia faba L.* 53
Figure 16 : Modèle Path analysis du traitement d'ombrage 3 pour le rendement et ses composantes chez *Vicia faba L* 56
Figure 17 : Modèle final du Path analysis du traitement d'ombrage 3 pour le rendement et ses composantes chez *Vicia faba L* 59

Liste des tableaux

Tableau 1: Composition chimique moyenne pour 100 g net de fève (Fachmann et Kraut, 2006). 16

Tableau 2: Maladies les plus répandues chez la fève et les moyens de les contrôler.(Alaoui , 2000). 24

Tableau 3: Différentes variétés de fève et de féveroles utilisées..... 34

Tableau 4: Itinéraire technique 35

Tableau 5 : Synthèse de l'analyse de la variance (ANOVA) pour les composantes du rendement 38

Liste des abréviations

- **INRA** : Institut National de la Recherche Agronomique.
- **V. faba L. :** *Vicia Faba* L.
- **FAO** : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture.
- **TP** : tige principale ;
- **TS** : tiges secondaires ;
- **Nb de TS** : nombre de tiges secondaires ;
- **Nb nœuds fructifères TP** : nombre de nœuds fructifères par tige principale ;
- **Nb nœuds fructifères TS** : nombre de nœuds fructifère par tiges secondaires ;
- **Nb gousses TP** : nombre de gousses par tige principale ;
- **Nb gousses TS** : nombre de gousses par tiges secondaires ;
- **Nb graines TP** : nombre de graines par tige principale ;
- **Nb graines TS** : nombre de graines par tiges secondaires ;
- **Poids des graines TP** : poids des graines par tige principale ;
- **Poids des graines TP** : poids des graines par tiges secondaires ;
- **Rg 1ernœud fructifère** : rang du 1er nœud fructifère ;
- **Hauteur TP** : hauteur de la tige principale.
- **Diamètre TP** : diamètre de la tige principale.

Sommaire

Introduction générale ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Revue bibliographique ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Chapitre 1 : Légumineuses alimentaires 13
I. Répartition des cultures des légumineuses alimentaires et de la fève 13
II. Intérêts de la culture des l'légumineuse : 14
A. Intérêt économique : 14
B. Intérêt agronomique : 14
C. Intérêt alimentaire : 15
III. programme d'amélioration des cultures des légumineuses et de la fève : 16
Chapitre 2 : *Vicia faba L* : 17
I. Origine : 17
II. Systématique : 17
III. Biologie de la fève : 18
IV. Description botanique : 18
V. Facteurs pédoclimatiques : 18
VI. Culture de la fève : 19
1. Préparation du lit de semence : 20
2. Semis de fève : 20
3. Date de semis : 20
4. Gestion des éléments fertilisants du sol : 20
5. Irrigation : 21
Chapitre 3 : Contraintes de la culture de la fève : 21
I. Contraintes abiotiques : 21
A. Stress salin : 21
B. Température et l'humidité : 21
C. Stress hydrique : 22
II. Contraintes biotiques : 22
A. Plante parasite : l'orobanche : 22
B. Principales maladies de la fève : 23
C. Insectes ravageurs de la fève : 25
D. Mauvaises herbes : 26
Chapitre 4 : Composantes de rendements chez les fèves : 26
I. Définition du Rendement de la fève 26

II. Principales composantes du rendement 26
Chapitre 5 : Agroforesterie au Maroc : 27
I. Systèmes d'agroforesterie : 27
II. Superficie et répartition des systèmes d'agroforesterie : 27
III. Intérêts des systèmes d'agroforesterie 28
Chapitre 6 : Effet d'ensoleillement / ombrage sur la culture : 28
Matériel et méthodes 31
I. But de ce travail : 32
II. Site expérimental : 32
III. Matériel végétal : 33
IV. Protocole expérimental 35
A. Itinéraire technique 35
B. Dispositif expérimental : 35
C. Notations et observations : 36
D. Conditions climatiques du Domaine Expérimental de Douyet Pour la saison 2020-2021 **Erreur ! Signet non défini.**5
Résultats et discussion 32
I. Analyse de la variance (ANOVA) pour les composantes du rendement 37
II. Analyse des Corrélations partielles entre les composantes du rendement 38
1. Corrélations très hautement significatives 38
2. Corrélation hautement significative 39
3. Corrélations significatives 39
4. Corrélations non significatives 40
III. Analyse du cheminement ou path analysis 41
1. Analyse du cheminement appliquée sur le témoin 41
a. Modèle postule 41
b. Test de validité du modèle 42
c. Flux de causalité entre les différentes variables 43
d. Analyse et interprétation de la médiation 46
e. Modèle final du path analysis du rendement du témoin et de ses composantes 46
2. Analyse du cheminement applique sur le traitement d'ombrage 2 47
a. Flux de causalité entre les différentes variables du traitement d'ombrage 2 47
b. Analyse et interprétation de la médiation 50
c. Modèle final du path analysis du rendement du traitement d'ombrage 2 et de ses composantes 51
3. Path analysais applique sur le traitement d'ombrage 3 52

a. Flux de causalité entre les différentes variables du traitement d'ombrage 3 ……52
b. Modele final du path analysis du rendement dutraitement d'ombrage 3 et de ses composantes ……55
Conclusion générale 57
Références Bibliographiques..... 62

Introduction générale

Les légumineuses alimentaires considérées comme plantes à graines les plus cultivées par l'homme existent depuis longtemps au Maroc. Elles jouent un rôle important dans le développement de l'économie nationale, des pays du Maghreb (Khaldi et *al.*, 2002). En effet, *Vicia faba* L. principale légumineuse alimentaire cultivée dans le monde entier, ce n'est pas parce qu'elle fournit une source importante d'alimentation humaine (alimentation protéique), mais également, elle constitue une bonne source dans le marché des aliments pour les animaux (Gong *et al*, 2011). Au Maroc, la fève reste une composante essentielle dans les systèmes de production agricole marocaine grâce à ses multiples rôles sur le plan agrobiologique et socioéconomique (Bond et *al*, 1980).

Le rendement en fève, semblable aux autres cultures, est un trait complexe et constitue la résultante d'un grand nombre de traits morphologiques et physiologiques. Toutefois, la sélection basée sur le rendement seul est moins efficace en raison de sa complexité et sa dépendance à l'égard de nombreuses composantes du rendement (Sindhu et *al*, 1985). D'ailleurs, l'amélioration des rendements est l'un des principaux objectifs de la plupart des programmes d'amélioration des cultures en matière de sélection (Ghobary et Abdallah, 2010).

Cependant, cette culture bien qu'elle présente plusieurs intérêts, elle est soumise à plusieurs contraintes. Au terme de cette approche, d'après (Baca et *al*, 2014) les changements climatiques constituent de nos jours un défi majeur auquel est confortée l'humanité. L'agriculture demeure l'un des secteurs les plus impactés, en particulier dans les pays en développement fortement dépendants des ressources naturelles. À cet effet, ces changements climatiques influent sur toutes les composantes de la production végétale, notamment sur la superficie cultivée ou récoltée et sur l'intensification culturale (nombre de cultures en une année) (Iizumi T et *al*, 2015).

Pour faire face à ce changement climatique, des efforts en matière de conduite technique doivent être développés tels que le système d'agroforesterie considéré comme une technique innovante. Dans les pays industrialisés, la plupart des fèves sont cultivées en intercalaire, par exemple en Chine, la culture de fèves conduites en intercalaire avec le maïs ou d'autres céréales est une pratique courante (Li et *al*, 2009). Mais encore, l'amélioration des conditions de croissance des cultures en cas de sécheresse, principalement en fournissant de l'ombre (Artru et *al*, 2017 ; Smethurst et *al*, 2017). Ce dernier crée un microclimat bénéfique pour les

cultures (Lott et *al,* 2009 ; Mugunga et *al,* 2017) avec une température tamponnée (Peng et *al,* 2015), une humidité de l'air plus élevée (Campi et *al.*, 2009) et une évapotranspiration réduite (Coussement et *al.*, 2018)

Ces pratiques bien qu'elles soient intégrées dans nos systèmes agricoles depuis longtemps au Maroc, elles ne sont pas encore mises en valeur, vu le peu de recherches scientifiques à l'échelle nationale s'y sont intéressées contrairement à l'échelle internationale.

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet de l'ombrage sur les composantes du rendement et des caractéristiques agronomiques de la fève.

Notre stage effectué au sein de l'Institut Nationale de la Recherche Agronomique a pour objectif principal l'évaluation de différents génotypes de *Vicia faba* L. en condition de l'ombrage.

Ce document se divise en deux grandes parties :

- La partie bibliographique, rassemblant les diverses données bibliographiques collectées sur les légumineuses alimentaires, l'espèce *Vicia faba* L, l'agroforesterie au Maroc, et aussi sur l'effet d'ensoleillement / ombrage sur la culture de la fève et de la fèverole.
- Et la partie pratique, résumant les matériel et méthodes plus les résultats des différentes analyses statistiques du rendement (l'ANOVA et la corrélation) d'une part, et une application de l'analyse du cheminement (Path analysis) sur le rendement et ses composantes, chez *Vicia faba L*. D'autre part.
- En fin la conclusion et perspectives suivie de la partie des références.

Partie 1 : Revue bibliographique

Chapitre 1 : Légumineuses alimentaires :

I. Répartition des cultures des légumineuses alimentaires et de la fève :

Les légumineuses alimentaires existent depuis longtemps au Maroc, à la fois au niveau du système de production de plusieurs régions et au niveau des habitudes alimentaires des populations (Rosenberger, 1980).

Dans les années 70, la production de légumineuses alimentaires a fortement augmenté avec 4 millions de quintaux supplémentaires entre 1969 et 1973 (Marina, 1992) et une superficie atteignant 600 000 ha. Le Maroc faisait partie des principaux exportateurs mondiaux. Dans les années 80, ses cultures occupaient la seconde place dans les assolements après les céréales. Dans les années 90, la superficie de la culture des légumineuses alimentaires était entre 400.000 et 500 000 ha (Maroc vert; Ministère de l'Agriculture et de la Pêche maritime, 2012).

Actuellement Sur la base des données (FAOSTAT 2021), la Superficie récoltée en fève au Maroc est de 125860 ha. Ainsi le rendement est de 5779hg/ha.

Selon Sadiki (1990), l'importance de la culture de la fève au Maroc est expliquée par sa propagation dans diverses zones (Laamari, 2015), à savoir :

- **Zone de Chaouia-Ouardigha**: Elle bénéficie d'un climat méditerranéen particulièrement agréable et caractérisé par des hivers doux et humides et des étés relativement tempérés. La culture de la fève occupe 27,8 % de la superficie des légumineuses dans cette région.
- **Zone d'Abda-Doukkala :** Du point de vue climatologique, la région s'inscrit dans le domaine du climat atlantique. La fève occupe une grande part des superficies des légumineuses alimentaires dans cette région avec un pourcentage de 45,78.
- **Zone de Fès-Meknès :** La région de Meknès-Tafilalet connaît un climat méditerranéen dégradé, subissant les influences continentales pendant les saisons d'été et d'hiver. La fève est la culture qui domine la part des assolements alloués aux légumineuses avec un taux de 52 %.
- **Zones de Taza-Hoceima** : La région s'inscrit dans le domaine du climat méditerranéen. Dans cette zone la fève est irriguée et occupe 12 % de la superficie réservée à cette culture au Maroc.

- **Zones de Tanger-Tétouan :** Caractérisée par une pluviométrie moyenne de 700 mm concentrée entre le mois d'octobre et le mois d'avril. La fève est l'espèce dominante sur une superficie de 8 300 ha et une production de 49 200 quintaux.

II. Intérêts de la culture de l'légumineuse :

1. Intérêt économique :

Au Maroc, le commerce intérieur et extérieur des légumineuses alimentaires s'articule autour d'un marché traditionnel et d'un marché dit « organisé ». (ONICL, 2010).

Le marché traditionnel est principalement constitué des échanges au niveau des souks ruraux. Il implique les petits et moyens agriculteurs, les intermédiaires, les revendeurs et les particuliers (consommateurs directs ou restaurateurs). Il répond à la demande locale c'est-à-dire à l'autoconsommation et à la satisfaction des besoins des marchés locaux et des ménages. (ONICL, 2010).

Pour la première fois, en 1992-93, le Maroc a commencé à importer la fève, situation due à la sécheresse de 1991-92 et 1992-93. (Fatemi, 1996).

2. Intérêt agronomique :

Vicia faba L. comme toutes les légumineuses alimentaires, contribue à l'enrichissement du sol en éléments fertilisants et spécialement l'azote (Khaldi et *al*, 2002).

Les racines de *Vicia. faba L,* vivent en symbiose avec des bactéries du genre Rhizobium, leur permettant de fixer l'azote atmosphérique et d'enrichir le sol en azote, ce qui réduit la dépendance des agriculteurs vis-à-vis des engrais chimiques (Sillero et *al*, 2010).

Les nodosités sont le siège d'une activité symbiotique dans laquelle la plante fournit les sucres et l'énergie issus de la photosynthèse, et bénéficie en retour des acides aminés qui y sont produits. Grâce à cette caractéristique, la fève joue un rôle très important dans les rotations de culture, surtout avec les céréales ce qui favorise la diversification des cultures, et la gestion facile des adventives et les maladies (Abras et *al*., 2016).

D'après Lopez-Bellido et al. (2005) ,*V.faba L* joue un rôle dans la rotation des cultures améliorant ainsi la fertilité du sol et réduisant l'incidence des mauvaises herbes, des maladies et des insectes ravageurs.

Les fèves sont utilisées dans les cultures associées. Cette pratique est fréquente dans de nombreux pays et particulièrement en chine et consiste en la croissance de deux ou plusieurs cultures simultanément et au sein de la même parcelle et a pour objectif de réduire l'utilisation

des produits phytosanitaires, d'augmenter le rendement ou de le stabiliser et de réduire les pertes dues aux mauvaises herbes, aux insectes ravageurs et aux maladies (Kopke et Nemeck,2010).

3. Intérêt alimentaire :

La fève, est une des légumineuses les plus utilisée dans l'alimentation humaine et aussi l'alimentation animale. Pour la consommation humaine, il s'est avéré qu'au Maroc, la quantité annuelle de fèves consommée par personne par an est d'environ 2,4 kg. Elle dépasse même le niveau de consommation des autres légumineuses alimentaires (Fatemi, 1996).

Les graines de féverole, utilisées pour l'engraissement des animaux, sont considérées comme complément azoté dans l'alimentation animale, surtout celle des bovins (Maatougui, 1996).

Selon Larralde et Martinez (1991), la valeur nutritionnelle de la fève est attribuée a sa teneur élevée en protéines (25 à 35%). La plupart de ces protéines sont des globulines (60%), des albumines (20%), des glutélines (15%) et des prolamines. La fève est aussi une excellente source de fibres solubles et insolubles, de glucose complexe, de vitamines (B9 et C) et des minéraux (en particulier K, P, Ca, Mg, Cu et Zn) (Gordon, 2004).

La fève constitue une source considérable d'énergie (344 kcal /100 g) et peut efficacement remplacer les protéines animales dans les pays pauvres (Chaieb et *al*.,2011).

D'après Fatemi (1996), l'évolution du niveau de la consommation animale suit de près la tendance de la consommation humaine, cela explique l'augmentation de l'utilisation de féverole en alimentation animale.

Fachmann et Kraut, (2006) travaillèrent l'exemple de 100 g net de fève, pour définir ça composition chimique (tableau 1).

Tableau 1: Composition chimique moyenne pour 100 g net de fève (Fachmann et Kraut, 2006).

Compositions (g)		Vitamine (mg)	
Glucides	10,0	Acide ascorbique	82, 00
Protides	5, 40	Provitamine A (carotène)	0,100
Lipides.	0,30	B1 (thiamine)	0,300
Eau	82,0	B2 (riboflavin)	0,200
Fibres alimentaire	6, 50	B3 (nicotamide)	1,800
Minéraux (mg)		**Acides amines essentials (mg)**	
Potassium	210,0	Tryptophane	0,247
Phosphore	105,0	lysine	1,671
Calcium	24,0	méthioni	0,213
Magnésium	18,00	phénylalanine	10,103
Soufre	27,00	Thréonine	0,928
Sodium	4,00	valine	1,161
Chlore	14,00	leucine	1, 964
Fer	6,7	isoleucine	1,053
Zinc	3,14		

III. Programme d'amélioration des cultures des légumineuses et de la fève :

Les premiers travaux d'amélioration génétique sur la fève au Maroc ont commencé à l'INRA durant les années quarante par Paul Bryssine. (Fatemi et *al*.,2005).

Pendant que les travaux d'amélioration continuaient en étroite collaboration avec l'ICARDA (Sakr, 1980 ; Sakr et Tahiri, 1982 ; Sakr, 1984 ; Solh, 1987 et 1988), les travaux dans les autres disciplines se concentraient sur la détermination des techniques appropriées de production (Dahan, 1987) et l'identification des principales maladies et ravageurs de la culture ainsi que de leurs méthodes de lutte à recommander aux agriculteurs (Mabsoute, 1988).

L'amélioration du rendement est l'un des principaux objectifs de la plupart des programmes d'amélioration des cultures en matière de sélection (Ghobary et Abd-allah, 2010). Le rendement de la fève a une héritabilité faible. 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 en fève, semblable aux autres cultures, est un trait complexe et constitue un grand nombre de traits morphologiques et physiologiques. Le rendement en graines est affecté par le génotype et les facteurs environnementaux, car il s'agit d'un trait quantitatif. (Karasu et oz, 2010).

L’objectif principal du programme d’amélioration de *Vicia faba L*. est de développer des variétés de fèves et de féveroles à haut potentiel de rendement, stables et tolérantes aux principaux stress biotiques (orobanche, botrytis, anthracnose, rouille …) et abiotiques (sécheresse surtout de fin de cycle …) (Fatemi, 2019).

Chapitre 2 : Vicia faba L :

I. Origine :

La fève fait partie des légumineuses les plus anciennement cultivés dans le monde. Elle a été domestiquée pour la première fois dans l’Asie de l’Ouest. (Motel, 1972).

D’après Cubero (1974) *Vicia faba L*. est originaire des régions méditerranéennes, du Proche Orient. A partir de ce centre d’origine, la fève s’est propagée vers l’Europe, le long du Nile jusqu'à l’Ethiopie et la Mésopotamie, vers l’Inde avec l’apparition de deux centres secondaires de diversité : L’Afghanistan et l’Ethiopie.

Cependant, l’origine de la fève reste incertaine et aucune région ne peut être désignée comme son centre d’origine. Sa forme ancestrale est encore inconnue car aucun ancêtre sauvage n’a été trouvé, et tous les rapprochements taxonomiques tentés avec *Vicia narbonnensis* et *Vicia galilea* en particulier, se sont heurtés aux incompatibilités. (Bond et Poulsen, 1983).

II. Systématique :

D’après Dajoz (2000), la fève est classée botaniquement comme suit :

- Règne : Végétal.
- Embranchement : Spermaphytes.
- Sous-embranchement : Angiospermes.
- Classe : Dicotylédones.
- Ordre : Rosales.
- Famille : Fabacées.
- Sous-famille : Papilionacées.
- Genre : Vicia
- Espèce : *Vicia faba L.*

III. **Biologie de la fève :**

La fève est une plante annuelle, son cycle biologique complet, à la graine a graine est d'environ 5mois (Chaux et Foury, 1994).

D'après Brink et Belay(2006), le développement de la fève est caractérisé par cinq stades principaux : germination et levée, développement végétatif. Développement reproductif, sénescence de la gousse et sénescence de la tige.

Vicia faba L. est une plante diploïde (2n = 2x = 12), autogame, auto-compatible, avec une allogamie partielle moyenne de 32 à 40% (Bishnoi et al. 2012).

La reproduction chez la fève est partiellement allogame. L'allogamie est réalisée par les insectes pollinisateurs à savoir les abeilles et les bourdons. Le taux moyen d'allogamie varie de 4 à 84 %, avec une moyenne de 35 %. Ce taux dépend du génotype, de l'environnement agissant sur l'activité des insectes pollinisateurs, de l'ouverture des fleurs, de l'auto fertilité et des méthodes utilisées pour l'estimation (Sadiki et Lazrak, 1998).

IV. **Description botanique :**

La fève et la fèverole sont des plantes de la même espèce, *Vicia faba* (Doré et Fabrice, 2006).

Vicia faba est une plante annuelle herbacée à tige creuse et de section carrée à croissance indéterminée (Duc, 1997), La taille de l'espèce varie en fonction de nombreux facteurs dont l'ensoleillement, la température, la pluviométrie et autre.

C'est une plante diploïde et partiellement allogame (Wang et al., 2012). Les feuilles, sont alternes de couleur vert glauque ou grisâtre, composées-pennées et sont constituées de 2 à 4 paires de folioles amples et ovales (Chaux et Foury, 1994).

Les fruits sont des gousses pendantes noircissant à la maturité (Laumonier, 1979).

Les graines sont charnues, vertes et tendres à l'état immature. A complète maturité, elle développe un tégument épais et coriace de couleur brun-rouge, à blanc verdâtre et prend une forme aplatie à couleur presque circulaire (Chaux et Floury, 1994).

V. **Facteurs pédoclimatiques :**

La fève est une culture des climats frais. Elle peut être cultivée au niveau de la mer jusqu'à

une altitude de 3700 m (Lim, 2012). Plusieurs facteurs pédoclimatiques influençant son développement. Parmi ces facteurs, nous trouvons :

- **La photopériode** : La fève se comporte comme une plante de jour long qui se traduit par une exigence importante en luminosité (Laumonnier 1979).
- **Le sol :** la fève préfère les sols bien drainés au pH neutre (6.5-7.5) et à fertilité moyenne (Brink et Belay, 2006), et Péron (2006).

La fève est cultivée avec succès dans les sols sablo-argileux humifère. Ainsi, la fève s'adapte à de nombreux sols, mais craint les sols légers (risque de sécheresse) et les excès de Bore. Elle croit mieux sur des sols à texture plus lourde (Jensen et al, 2010).

- **La nutrition minérale :** La fève a un enracinement puissant lui permettant d'exploiter les réserves minérales sur un important volume de terre, ce qui réduit des exigences quant a la richesse minérale du sol. Cependant, des apports phospho-potassiques modérés se répercutent favorablement sur les rendements, (Chaux et Foury. 1994).
- **L'eau :** d'après Brink et Belay (2006), la fève nécessite une pluviométrie annuelle de 350à 1000 mm, dont plus de 60% doit tomber pendant la période de croissance.

Les besoins en eau sont importants et particulièrement au stade de croissance des gousses, ainsi des irrigations doivent être pratiquées pendant le stade de floraison et de formation des gousses dans les régions à faibles précipitations (Loss et Siddique, 1997 ; Jensen et al, 2010).

- **La température :** la température moyenne aux alentours de 13 °C est optimale pour la croissance de la fève (Brink et Belay 2006) . Alors que les températures supérieures à23°C sont néfastes pour la fève (Chaux et Foury, 1994).

Jensen et al. (2010) signalent que certains cultivars sont plus rustiques au froid. Dans les régions méditerranéennes, ils peuvent tolérer des températures hivernales de -10°C alors qu'en Europe, ils peuvent supporter jusqu'a -15°C.

VI. Culture de la fève :

Les fèves sont encore conduites de façon traditionnelle avec peu de mécanisation. Les techniques culturales adoptées par les agriculteurs sont caractérisées par :

- L'utilisation de semences locales qui ont un faible potentiel de rendement et sont sensibles aux maladies et parasites,
- Une fertilisation phosphatée insuffisante,

- Un très faible entretien de la culture,
- Des semis tardifs.

Ces techniques de culture peuvent causées une diminution de la hauteur de la plante, du nombre de fleurs, de gousses et de graines par plante (Fatemi, 1996).

1. Préparation du lit de semence :

Le lit de semence doit être assez fin pour permettre une imbibition et une levée homogènes. Ceci est réalisé par un labour moyen (charrue à disques) suivi d'un passage au cover-crop ou à l'araire (Sadiki et Lazrak, 1998).

2. Semis de fève :

Les techniques de semis sont multiples, soit :

- A la volée en culture traditionnelle,
- En ligne espacées de 40 à 50 cm,
- Ou bien un semis jumelé : 2 lignes rapprochées (10 à 20 cm) séparées des 2 autres par une bande plus large (50 à 60 cm selon l'outil utilisé) afin de faciliter les travaux d'entretien.

La densité de semis dépend des zones de cultures. Pour les zones irriguées ou les zones favorables dont la pluviométrie est supérieure à 400 mm, la densité est de 25 plantes/m² pour la féverole et de 10 plantes/m² pour la fève. En zone moins favorable, le peuplement conseillé est de 15 plantes/m² pour la féverole et 8 plantes/m² pour la fève. En se basant sur le poids de la graine et le taux de germination de la semence utilisée, la dose de semis peut être calculée (Sadiki et Lazrak, 1998).

3. Date de semis :

La date de semis est située entre début novembre (semis précoce) et fin décembre (semis tardif). Il est préférable de semer le plus tôt possible (vers mi-novembre) afin d'échapper aux attaques de pucerons lors de la phase reproductive et aussi d'éviter la sécheresse en fin de cycle surtout les températures élevées lors de la floraison qui pourraient provoquer la chute des fleurs entraînant un faible rendement (Sadiki et Lazrak, 1998).

4. Gestion des éléments fertilisants du sol :

La bonne gestion des éléments fertilisants exige de compenser leurs exportations par la culture. Il est admis qu'une tonne de graines de fève exporte environ 4 kg de phosphore, 10 kg potassium, 1,5 kg de soufre, et 1,3 kg de calcium (Bennasseur et *al.,* 2005).

Etant une légumineuse, la fève a la capacité de fixer l'azote de l'air. A cet effet, un apport faible en azote, lors de la préparation du lit de semence, s'avère suffisant pour un bon démarrage de la croissance avant que l'azote atmosphérique ne soit disponible à la plante à travers les nodosités. Cet apport « starter » est estimé à environ 20 unités d'azote/ha, soit environ 50 kg/ha d'urée ou 60 kg/Ha d'ammonitrate. (Sadiki et Lazrak, 1998).

5. Irrigation :

Vue sa sensibilité pour la sécheresse, l'humidité du sol doit être maintenue au-dessus de 50 % de la capacité au champ sur les premiers 30 cm du profil. Il est préconisé de procéder à des irrigations pendant les phases critiques chez la fève. Ces phases correspondent au début de la ramification (première irrigation), la floraison (deuxième irrigation) et le remplissage des grains (troisième irrigation) (Sadiki et Lazrak, 1998).

Della (1988) a souligné que le poids des gousses de la fève par parcelle variait selon les accessions, avec un poids minimum de 800 g par parcelle irrigués, et 270 g par parcelle conduite en pluvial, et des valeurs maximales de 1915 g et 1038 g respectivement. Le stress hydrique, durant la phase reproductive, induit l'avortement des fleurs et une réduction considérable de la production. La phase la plus sensible à la sécheresse coïncide avec le début de la formation des gousses (Sadiki et Lazraq, 1998).

Chapitre 3 : Contraintes de la culture de la fève :

I. Contraintes abiotiques :

1. Stress salin :

Quand la fève est irriguée à l'aide d'eaux assez chargées en sodium, la productivité est directement réduite par les effets du sel sur les plantes et sur les propriétés physiques et chimiques du sol (Wolfgang et Sadiki, 1996).

2. Température et humidité :

La température représente l'un des principaux facteurs qui influence la croissance des plantes, Elle agit sous trois formes : le froid, le gel et la chaleur :

- Froid hivernal et les gelées printanières : C'est la principale contrainte dans la zone des Hauts Plateaux et les plaines intérieures. Elle provoque la coulure des fleurs et la mortalité des plantes (Maatougui 1996).

- chaleur : C'est la plus néfaste surtout dans les zones sahariennes. C'est le Siroco qui affecte la production de gousses et limite aussi la grosseur des graines (Maatougui, 2007).

3. Stress hydrique :

Le stress hydrique est considéré comme un facteur préjudiciable à la production des cultures dans le monde entier. A l'échelle mondiale, plus de 50 % du rendement moyen de la plupart des grandes cultures est perdu en raison du stress hydrique (Zlatev et Lidon, 2012).
Vicia faba L. est très sensible à la sécheresse (Day et Legg, 1983). Elle se traduit par une diminution de la croissance des feuilles et de l'indice de récolte, de la hauteur des plantes, de la période de floraison et du nombre de fleurs formant des gousses. Elle induit aussi une affectation du système hôte-rhizobium-nodule avec des possibilités d'adaptation et par conséquent une baisse du rendement (Anonyme, 2007).

II. Contraintes biotiques :

1. Plante parasite : l'orobanche :

L'orobanche (*Orobanche spp*) est une plante parasite répandue et redoutable qui s'attaque a de nombreuses plantes cultivées et sauvages, en occasionnant d'importantes pertes de rendement (PNTTA, 1999)
C'est une plante holoparasite sans chlorophylle, qui dépend entièrement de son hôte, pour réaliser son cycle biologique (Kharrat, 2002). Elle occasionne des pertes considérables, pouvant entrainer la destruction totale de la fève (Kharrat et al., 2002 ; Abbes et al.,2010).
Cette plante parasite a des fleurs gamopétales et appartient à famille des Orobanchées (CLEMENT ,1981).
Selon Ait Abdellah et Hamadache (1996), la fève émet des exsudats racinaires, favorisant la germination et la levée de la graine d'Orobanche à partir du mois d'avril. L'Orobanche émet aussi à son tour des suçoirs, au niveau de la fève et détourne la sève élaborée à son profit.
Le seul moyen de lutte disponible actuellement pour limiter les dégâts dus à l'orobanche est l'utilisation du glyphosate (N-phosphonométhyl-glycine). Ce produit est utilisé selon les modalités mises au point par Schmith et *al,* (1978). Sur la base des expérimentations conduites à la station de l'INRA à Douyet (Schmitt et *al.*, 1978), on recommande deux applications de glyphosate, une première au début de l'attaque et une deuxième 14 jours plus tard.

Figure 1 : Orobanche crénata.

2. Principales maladies la fève :

- **Rouille :** causée par *Uromyces Vicia fabae,* est une maladie grave de la fèverole avec des attaques allant jusqu'à 70% (Rashid et Bernier,1986).

Figure 2 : La rouille (Sillero et al.,2011)

- ***Botrytis :*** *La maladie des taches chocolatées causée par Botrytis fabae, est l'une des maladies les plus dévastatrices affectant la fève (Abou-zeid ,2002 : Stoddard et al., 2010).*

Figure 3 : Maladie de tâche chocolat.

- **Anthracnose** : causée par *Ascchophyta fabae*. Elle se manifeste par des petites taches claires, qui évoluent en taches sur les feuilles. Cette maladie entraine des dégâts de la

levée de la végétation et provoque l'éclatement des tiges et des gousses (Planquaert et Girard, 1987).

Figure 4 : Anthracnose de la fève.

- **Mildiou :** les agents, responsables sont *Pernonspera viciae*. Il provoque une décoloration jaunâtre à la face supérieure des feuilles liées intérieure. Les attaques précoces de mildiou entrainent le nanisme des plantes, ainsi qu'une déformation des tiges et des pétioles (Chaux et Foury,1994).

Tableau 2: Les maladies les plus répandues chez la fève et les moyens de les contrôler. Alaoui (2000).

Maladie	**Symptômes et dégâts**	**Recommandations**
Anthracnose	La maladie se manifeste par des tâches sur les feuilles, les gousses, et les tiges.	• Utiliser des semences indemnes. • Planter la fève une fois tous les 4 ans sur la même parcelle. • Utiliser les fongicides.
Botrytis	• La maladie cause des taches de couleur rouge brun sur les feuilles, tiges et gousses.	• Utiliser les fongicides.
La rouille	• Cette maladie se manifeste par des taches brunes à rougeâtres sur les feuilles, causant un dessèchement et la chute des feuilles.	Utiliser les fongicides.

3. Insectes ravageurs de la fève :

Plusieurs insectes prouvent attaquer les cultures des fèves, les plus répandus sont :

- **Puceron noir de la fève** (*Aphis fabae*). C'est un puceron piqueur suceur. Il vit en colonies compactes, à l'extrémité des plantes de fève. Il provoque l'enroulement, le desséchement et la chute des feuilles (Hamadache,2003). De plus, cet insecte peut transmettre plus de 30 virus pathogènes (Blackman et Eastop,2007).
- **Puceron vert du pois** (Acyrthosiphon *pisum),* peut compromettre toute la récolte lorsque l'infestation survient avant la floraison .il pompe la sève et cause des pertes de rendement non négligeables et peut même transmettre des virus, qui tuent complètement la plante (Bouhachem.2002).

Figure 5 : Puceron noir de la fève.

- **Sitone du pois** *(Sitona lineatus),* est un charançon brun grisâtre, dont les adultes découpent des encoches en U sur le bord des feuilles de la fève, et leurs larves vivent sous terre et se nourrissent des nodosités fixatrices d'azote, sur les racines de la fève (Aversenq et *al.*, 2008).
- **Bruche de la fève** *(Bruchus.rufimanus),* la femelle pond ses œufs sur les gousses et les larves de ce coléoptère se développent aux dépens des graines, qui perdent leur pouvoir germinatif et leur poids (Boughdad ,1994).

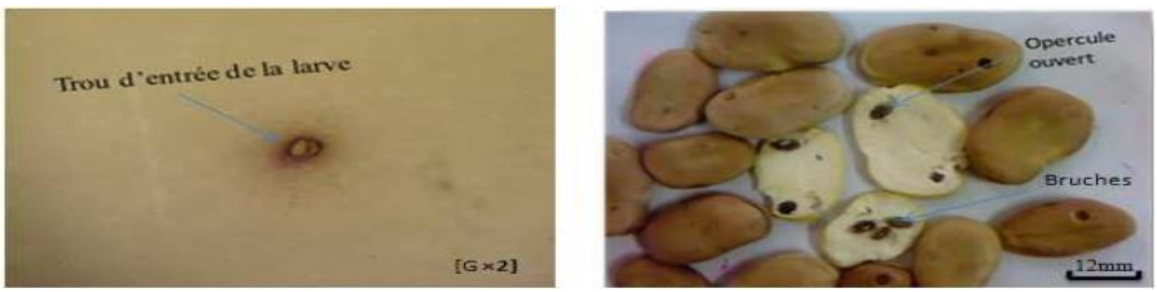


Figure 6 : Les dégâts causés par B.rufimanus sur les graines de V.faba (Mezani 2011).

4. Mauvaises herbes :

Les mauvaises herbes peuvent réduire considérablement le rendement de la culture particulièrement dans le cas de semis précoce et en année pluvieuse. Le binage manuel est la méthode de lutte la plus répandue au Maroc. En général, 2 binages sont pratiqués, le premier à environ 20 jours après la levée et le second juste avant la floraison, suivi d'un buttage pour éviter la verse. Cependant, cette pratique est coûteuse particulièrement pour les grandes superficies. Ainsi, la lutte chimique constitue une alternative fortement recommandée. Correctement appliqué, le traitement chimique se révèle très efficace. En effet, la plupart des mauvaises herbes sont maîtrisables par des herbicides sélectifs. (Sadiki et Lazrak, 1998)

Chapitre 4 : Composantes de rendements chez les fèves :

I. Définition de Rendement de la fève :

Bond, (1966) a défini quel rendement de la fève dépend de la variabilité génétique disponible, des effets majeurs des facteurs abiotiques ou biotiques et de la forte interaction génotype X environnement. Alors que Loss et Siddique (1997) ont défini le rendement de la fève, comme étant un trait complexe, résultant de nombreux traits morphologiques et physiologiques en corrélation les uns avec les autres.

En1969 Kambal a montré que le rendement des semences est un caractère aussi complexe déterminé par de nombreuses composantes de rendement ou des paramètres connexes.

Le rendement de la fève peut être affecté par divers facteurs dont, la date de semis l'avortement excessif des fleurs et des gousses. Ainsi que le taux d'ensemencement et la densité de plantation (Loss S.P, et al., 1998).

II. Principales composantes du rendement

Selon Mohamed et Bashir (1986), les composantes essentielles du rendement sont :

- Le nombre de gousses par plante ;
- Le poids des graines ;
- La longueur des tiges ;
- Le nombre de branches par plante.

Alors que Loss et Siddique (1997) ont souligné que les composantes les plus importantes pour améliorer le rendement grains des fèves sont :

- La hauteur de la plante ;

- Le nombre de tiges par plante ;
- Le nombre de gousses par plante ;
- Le rendement biologique ;
- L'indice de récolte ;
- Le poids de 100 graines ;
- Le nombre de jours avant la floraison
- Et le nombre de jours avant la maturité.

Chapitre 5 : l'agroforesterie au Maroc :

I. Systèmes d'agroforesterie :

L'agroforesterie est définie comme étant la combinaison sur la même parcelle des arbres et des cultures annuelles, ainsi que l'élevage. Elle est largement pratiquée dans le contexte marocain. Cette pratique est dominante en zones de montagne et dans les oasis où les agriculteurs cherchent à maximiserai mieux la rentabilité de leurs terrains agricoles souvent exigus. C'est dans ces contextes, que la culture des allées ou, les cultures intercalaires s'imposent comme composantes principales de l'agriculture (Daoui, 2014).

L'apport de matière organique provenant de la biomasse produite par les systèmes agroforestiers agit sur le recyclage des nutriments. De plus, l'activité biologique du sol généralement stimulée par la présence de racines d'espèces diversifiées augmenterait la minéralisation de la matière organique du sol. L'association avec des espèces fixatrices d'azote peut améliorer la fertilité du milieu par la restitution de sa biomasse racinaire et aérienne au sol. (Beer et *al.*, 1998).

Les systèmes agroforestiers réduisent les pertes d'eau. Effectivement, les phénomènes de ruissellement et de drainage sont plus faibles qu'en situation de plein soleil (Lasco et *al.*, 2014). L'impact positif du système agroforestier sur le cycle de l'eau conduit à l'amélioration de la qualité de l'eau et à une meilleure utilisation/disponibilité de l'eau (Gomez-Delgado et *al.*, 2011).

II. Superficie et répartition des systèmes d'agroforesterie :

Au Maroc, ce concept se développe déjà dans certaines parties du pays. Dans les systèmes irrigués intensifs à Tadla par exemple, il existe des associations avec 2 ou 3cultures (mais-pomme de terre, système de cultures maraîchères associées et des systèmes olivier –blés). Dans les zones oasiennes, il y a des systèmes à plusieurs étages (palmier-blé, palmier- luzerne,

palmier- olivier-cultures intercalaires). Dans les oasis de haute montagne comme à Azilal on retrouve ce brassage avec d'autres associations de cultures. L'agroforesterie est également développée dans les systèmes à base d'arganier (arganier, orge, élevage caprin) dans la région d'Agadir et Essaouira et Tiznit (Ouchagour,2020).

Dans une étude antérieure, (Daoui et al., 2012) a montré que 75% des agriculteurs qui cultivent des oliviers produisent également des cultures annuelles entre les rangées d'arbres. Ces cultures comprennent des céréales, des légumineuses et des légumes, Les céréales dominent dans 50% de l'occupation du sol.

III. Intérêts des systèmes d'agroforesterie :

L'agroforesterie a plusieurs bienfaits dont nous pouvons citer :

- Filtration de l'eau : Les racines des arbres filtrent l'eau dans les profondeurs du sol, limitant la fuite des nitrates de l'azote dans les nappes phréatiques. La présence d'arbres sur les terres arables améliore ainsi la recharge des nappes phréatiques et régule le cycle de l'eau.
- Protection des sols et amélioration de la fertilité.
- Développement de la biodiversité : les arbres constituent des abris pour une faune diversifiée.
- Génération de bénéfices sociaux : bois, combustible, fruits, de l'huile, des noix et du fourrage. L'agroforesterie contribue ainsi à la diversification des revenus des agriculteurs.
- Régulation du climat et lutte contre le réchauffement climatique.

https://www.reforestaction.com/blog/5-benefices-de-lagroforesterie

Chapitre 6 : Effet d'ensoleillement / ombrage sur la culture :

D'après J. W. Van Sambeek et *al*. (2017), les systèmes agroforestiers, dans lesquels les arbres et les fourrages ou les cultures sont intégrés, se caractérisent par des zones légèrement ou moyennement ombragées. L'ombre des arbres est un facteur important dans les systèmes agroforestiers, puisqu'ils interceptent 25 à 88% du rayonnement, réduisant le rendement productif de la strate herbacée jusqu'à 40% par rapport aux pâturages sans arbres. (Devkota, Kemp, Hodgson, Valentine et Jaya, 2009). En outre, la faible persistance des légumineuses a été signalée comme un facteur limitant la mise en place de pâturages avec des cultures intercalaires de graminées et de légumineuses. (Morais et *al*., 2017).

Les facteurs altérés dans les microclimatiques modifiés dans les environnements ombragés de l'air et du sol, une humidité plus élevée et plus humidité du sol, et surtout, une quantité de lumière réduite et une qualité altérée (Martsolf 1966 ; Callaway 2007). Par conséquent, les plantes cultivées à l'ombre sont susceptibles de montrer des changements dans la qualité nutritive en plus du rendement en biomasse (Pang et al. 2017).
La compétition pour la lumière a été étudiée par une mesure de l'effet du moment de l'éclaircissage d'une culture sur le rendement (Hodgson et Blackman 1957).
Dans les conditions de terrain, il apparaît que les espèces de pâturages tropicaux ont besoin d'un éclairement relatif à midi supérieur à 10-15 % pour se développer (Burton et *al.* 1959 ; Sillar 1967).

Lorsque les plantes sont ombragées, le taux de croissance relatif est diminué car l'augmentation du ratio de surface foliaire est incapable de compenser la baisse du taux d'assimilation net. La baisse du taux d'assimilation net se produit en raison d'une diminution du taux de photosynthèse malgré une diminution du taux de respiration (Loach 1967 ; Ludlow and Wilson 1971).

Quand l'intensité de l'ombrage augmente, le poids sec et la surface foliaire diminuent, la proportion de feuilles augmente au détriment des racines, le rapport pousse/racine augmente et le rapport de surface foliaire augmente car les feuilles deviennent plus grandes et plus fines. Tow (1967),

Il existe également des situations dans lesquelles des plantes entières sont ombragées, et les capacités relatives des espèces à se développer deviennent importantes. Les différences entre les taux de photosynthèse et de respiration des feuilles, la croissance et la distribution de la matière sèche sont enregistrées. (Blackman 1961 ; Grime 1966 ; Hughes 1966 ; Loach 1967, 1970 ; Ludlow and Wilson 1971).

Les systèmes agroforestiers permettent d'optimiser la production par unité de surface, en suivant toujours les préceptes de conservation des ressources naturelles, grâce aux aspects de dynamisme et d'interaction entre les composants du système. (Pereira et *al.*, 2015).

Pour les légumineuses, une intensité lumineuse optimale est nécessaire pour obtenir la nodulation et la fixation de l'azote maximal (Skerman, 1982). La teneur en azote n'a pas été affectée par l'ombre, alors que les niveaux de potassium et de phosphore ont augmenté pour toutes les espèces sous 50% d'ombre (Vance h. watson, charles hagedorn,et *al*, 1984).

La production de tiges et de stolons dépendait de la quantité totale d'énergie radiante reçue par la plante et, du moins dans le cas de croissance, était indépendante de son intensité, de sa durée et de sa séquence. Les légumineuses peuvent différer par plusieurs caractéristiques qui influencent leur compétitivité pour la lumière ; par exemple, la capacité d'obtenir un accès préférentiel au rayonnement incident, comme lorsqu'une légumineuse à faible croissance comme *Stylosanthes humilis* est cultivée avec de grandes graminées ou lorsque des légumineuses grimpantes forment un couvert au-dessus de la végétation. (Jones 1971).

L'indice de surface foliaire des légumineuses n'augmentent davantage que ceux des graminées lorsque l'éclairement diminue. Il pourrait s'agir d'une règle générale, car un comportement similaire a été signalé dans des comparaisons entre *Glycine* et *Panicummaximum.* (Tow 1967).

Crebert (1929), relève une augmentation du nombre de grains lorsque la température moyenne pendant la période de développement des fruits s'élève et que l'ensoleillement augmente, tandis que les précipitations ont tendance à diminuer ce facteur. Le rejet des gousses serait dû à un temps trop uniforme : trop sec, trop humide ou trop froid. Lorsque les températures pendant la formation des fruits sont élevées, le poids de 1000 grains tend à diminuer.

D'après Patrick et Stoddart (2010), la fève est une plante de jours longs, Elle forme son bourgeon à fleur à partir du moment où la photopériode dépasse les 12 heures consécutives. Certains cultivars de fève de jours longs placés en jours courts ne fleurissent pas. Dans les pays méditerranéens, les variétés de fève sont de jours courts, elles nécessitent une photopériode minimum de 9,5 heures pour fleurir.

Partie 2 : Matériel et Méthodes

I. But de ce travail :

Le but de ce travail est d'étudier l'effet de l'ombrage sur les composantes du rendement et des caractéristiques agronomiques de la fève. L'étude a été effectuée sur 6 variétés (4 variétés de fève et 2 variétés de féverole à 2 niveaux d'ombrage différent (50% et 90%).

II. Site expérimental :

LestravauxsontréalisésàlInstitutNationaledelaRechercheAgronomique « INRA », dans son domaine expérimental Douyet situé dans la Wilaya de Fès à 9km vers Meknès, province de Moulay Yaacoub. Il est géographiquement situé à une latitude de 34°02'N, et une longitudede5°07'W.

Il s'agit d'un domaine expérimental implanté en zone Bour favorable de la plaine du Sais. La superficie totale est de 440ha dont430ha de superficie agricole utile. L'altitude s'élèveà416 m.

- **Conditions climatiques et pédoclimatiques du domaine expérimental de Douyet :**
  - Sol argilo-calcaire, très fertile et bien profond.
  - Climat de type méditerranéen : hivers froids et étés chauds et secs.

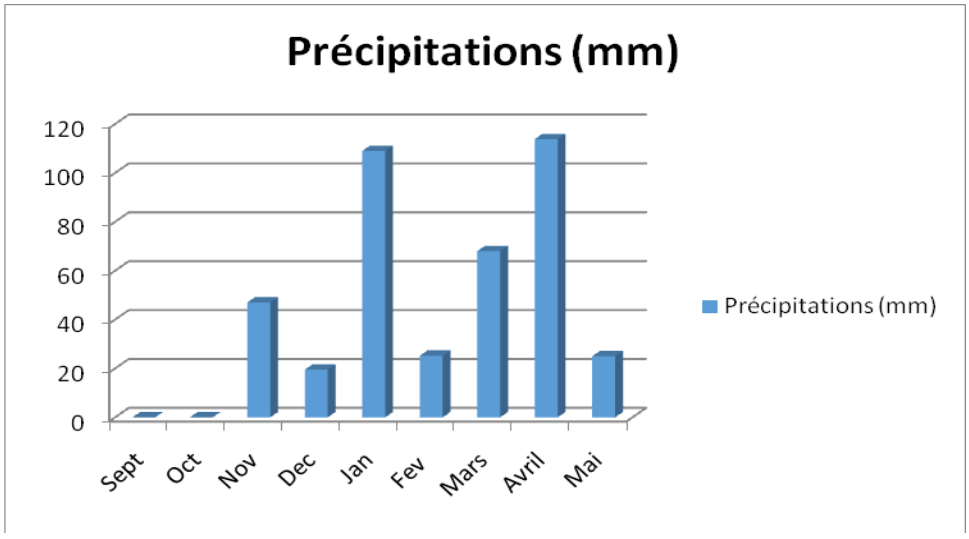


Figure 7 : Variation des précipitations au niveau du Domaine Expérimental de Douyet, 2020-2021.

La pluviométrie de cette saison peut être décrite comme suit :

Les précipitations les plus élevées ont été enregistrées au mois d'avril (113,8 mm),

- Au mois de janvier, on a mesuré à peu près 109 mm de précipitations,
- Puis mars a connu la pluviométrie de 68 mm,
- Au mois de novembre, on a enregistré 47 mm,
- Au mois février et mai, on a observé 25,2 mm ,25mm,
- En décembre, la pluviométrie était de 19,5mm.
- aucune précipitation n'a été enregistrée au mois d'octobre et septembre
- Les plus hautes précipitations ont été enregistrées au mois Avril avec plus de 113,8 mm,
- Au mois de Janvier, on a mesuré à peu près 109 mm de précipitations,
- Puis Mars a connu la pluviométrie de 68 mm,
- Au mois de Novembre, on a enregistré 47 mm,
- Au mois Février et Mai, on a observé 25,2 mm ,25mm approximativement,
- En Décembre, la pluviométrie était de 19,5mm.
- aucune précipitation a été enregistrées au mois d'Octobre et septembre

III. Matériel végétal :

L'essai concerné est en split plot de rendement du 6 variétés (4 fèves+2 féveroles) en deux répétitions pour chaque type d'ombrage.

Les caractéristiques de ces variétés sont résumées dans le tableau 3.

Tableau 3: les différentes variétés de fève et de féveroles utilisées.

	Variété	Description
Fève	Aguadulce	Variété à très longue gousse est une plante vigoureuse et productive à larges gousses de 2 cm et atteignant environ 35 à 40 cm de long. Les goussesrenferment7 à 9 grains assez volumineux et charnus.
	Defes	Variété à courte ou moyenne gousse et forme moyennement incurvée, les graines sont petites aplaties Variété à demi précoce a demi tardive maturité.
	Hiba	Variété Productive et moyennement résistantes au botrytis d'une forme Aplatie.
	Extra Hative	Variété donnant des gousses d'environ 24 à 26 cm contenant de gros grains blancs. Sensible aux fortes gelées.
Féverole	Zina	Variété Productive et moyennement résistantes au botrytis avec une forme légèrement applatie.
	Alfia 17	Variété à courte gousse et moyenne longueur de foliole, caractérisé par une teneur très élevée des protéines

IV. **Protocole expérimental**

1. Itinéraire technique

- L'itinéraire technique utilisée pendant notre parcelle expérimentale est comme suit :

Tableau 4: Itinéraire technique

Opération	Date
Labour profonds 3 disque	28-09-2020
Couver-crop	13-10-2020
Epandage d'engrais	25-10-2020
Enfouissement d'engrais (couver-crop)	03-11-2020
Semis manuel	21-12-2020
Désherbage	15-02-2021
Traitement insecticide	19-02-2021
Traitement Orobanche	02-03-2021
Ombrage (filet)	12-03-2021
Ombrage (filet)	13-03-2021
Désherbage	15-03-2021
Traitement insecticide	27-03-2021
Découpage des allées	27-03-2021
Traitement insecticide	05-04-2021
Traitement insecticide	20-04-2021

2. **Dispositif expérimental :**

Le dispositif expérimental est un split-plot à deux répétitions avec :

* en grandes parcelles, le traitement de l'ombrage (un témoin sans ombrage, et deux ombrages (50% et 90%).

* en petites parcelles, les six variétés de fève et féverole : La petite parcelle élémentaire est constituée de 6 variétés de 6 lignes de 4 m de longueur et espacées de 0,60 m

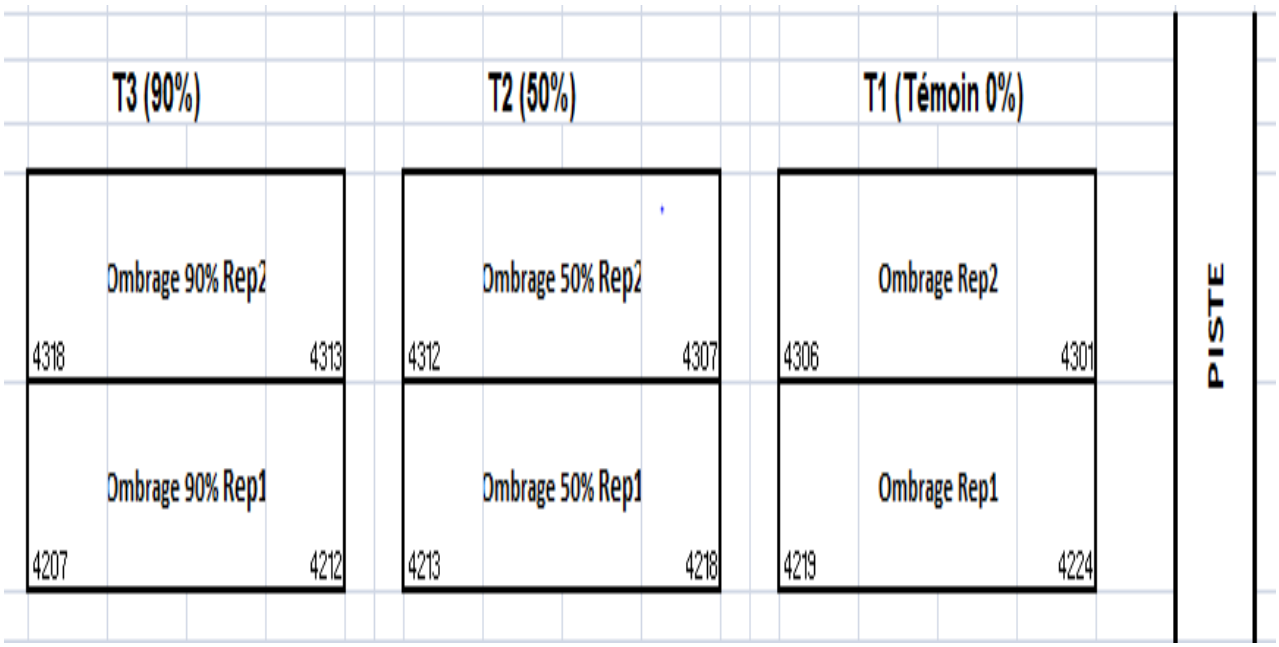


Figure 8 : Plan parcellaire utilisé

3. Notations et observations :

A la maturité, en plus de la hauteur de la tige principale (en cm) et de l'épaisseur de la tige (en mm) au niveau du 4éme nœud nous avons effectué les mesures des composantes du rendement suivantes :

- Le nombre de tiges secondaire ;
- Le nombre de nœuds fructifères par tige principale ;
- Le nombre de nœuds fructifère par tige secondaire ;
- Le nombre de gousses par tige principale ;
- Le nombre de gousses par tige secondaire ;
- Le nombre de graines par tige principale ;
- Le nombre de graines par tige secondaire ;
- Le poids des graines par tige principale ;
- Le poids des graines par tige secondaire
- Le rang du 1er nœud fructifère.

4. Analyse des données :

Les données recueillies ont été soumises a une analyse de variance (ANOVA) et une corrélation a l'aide du logiciel SPSS.

La modélisation par le modèle de cheminement ou Path Analysis a été réalisée par le module Lavaan sous le logiciel R (Rosseel, 2012).

Partie 3 : Résultats et discussion

I. Analyse de la variance (ANOVA) pour les composantes du rendement :

Les résultats de l'analyse de la variance (ANOVA) ont indiqué l'existence de différences très hautement significatives sur toutes les composantes du rendement, à l'exception du nombre de tige par plante et le poids des graines par tiges secondaires dont l'effet était non significatif (NS) (tableau 5).

Tableau 5 : Synthèse de l'analyse de la variance (ANOVA) pour les composantes du rendement

Variables dépendante	**Variété**		**Ombrage**		**Variété x Ombrage**	
	P_{value}	**Signification**	P_{value}	**Signification**	P_{value}	**Signification**
Hauteur	**0,000**	*******	**0,419**	**NS**	**0,001**	*******
Nb de tiges/plante	**0,999**	**NS**	**0,244**	**NS**	**0,913**	**NS**
Nb de gousses/TP	**0,000**	*******	**0,303**	**NS**	**0,327**	**NS**
Nb de gousses/TS	**0,000**	*******	**0,034**	*****	**0,230**	**NS**
Nb de nœuds fructifères/ TP	**0,000**	*******	**0,571**	**NS**	**0,014**	*****
Nb de nœuds fructifères/ TS	**0,000**	*******	**0,028**	*****	**0,225**	**NS**
Rang TP	**0,000**	*******	**0,149**	**NS**	**0,358**	**NS**
Diamètre	**0,000**	*******	**0,685**	**NS**	**0,067**	**NS**
Nb de graines/TP	**0,000**	*******	**0,512**	**NS**	**0,063**	**NS**
Nb de graines/TS	**0,000**	*******	**0,078**	**NS**	**0,135**	**NS**
Poids des graines/TP	**0,000**	*******	**0,068**	**NS**	**0,276**	**NS**
Poids des graines/TS	**0,067**	**NS**	**0,046**	*****	**0,784**	**NS**

Concernant le traitement de l'ombrage, la majorité des composantes du rendement ont montré un effet non significatif (NS), à l'exception du nombre de gousses par tiges secondaires, du nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires et le poids des graines par tiges secondaires qui ont affiché un effet significatif.

Enfin, l'effet de l'interaction variété x ombrage a été significatif concernant le nombre de nœuds fructifères par tige principale, et très hautement significatif pour la hauteur de la tige principale. Signalons que l'interaction variété x ombrage a été non significative concernant les autres paramètres mesurés.

II. Analyse des Corrélations partielles entre les composantes du rendement :

L'étude de la matrice de corrélation (annexe 1) nous a permis de tirer les points suivants :

1. Corrélations très hautement significatives :

-La hauteur à une corrélation positive très hautement significative avec le diamètre (0.370) ;

-Le nombre de tiges à une corrélation positive très hautement significative avec le nombre des gousses par tiges secondaires (0,491) ;

-Le nombre de tige à une corrélation positive très hautement significative avec le nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires (0,554) ;

-Le nombre de tiges à une corrélation positive très hautement significative avec le nombre de gousses par tiges secondaires (0,491), le nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires (0,554), le nombre de graine par tiges secondaires (0,518), et le poids de graines par tiges secondaires (0,485) ;

-Le nombre des gousses par tige principale a une corrélation positive très hautement significative avec le nombre des gousses par tiges secondaires (0,313), le nombre de nœuds fructifères par tige principale (0,868), le nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires (0,254), le nombre de graine par tige principale (0,717), et le poids de graines par tige principale (0,379) ;

-Le nombre de nœuds fructifères par tige principale à une corrélation positive très hautement significative avec le nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires (0,238), le nombre de graines par tige principale (0,725) et le poids de graines par tige principale (0,441) ;

-Le nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires à une corrélation positive très hautement significative avec le poids de graines par tiges secondaires (0,684) et le nombre de graine par tiges secondaires (0,868) ;

-Le diamètre à une corrélation positive très hautement significative avec le nombre de graines par tige principale (0,245) ;

-Le nombre de graine par tige principale a une corrélation positive très hautement significative avec le poids de graines par tige principale (0,694) ;

-Et le nombre de graines par tiges secondaires a une corrélation positive très hautement significative avec le poids de graines par tiges secondaires (0,843).

2. Corrélation hautement significative :

- Le diamètre de la tige principal a une corrélation négative hautement significative avec le poids de graines par tiges secondaires (-0,224).

3. Corrélations significatives :

-La hauteur à une corrélation significative avec le nombre de gousses par tige principale (-0,168), et le rang par tige principale (0.180) ;

-Le nombre de tiges à une corrélation significative avec le diamètre de la tige principal (-0,171) ;

-Le nombre des gousses par tige principale à une corrélation significative avec le nombre de graines par tiges secondaires (0,183) ;

-Le nombre des gousses par tiges secondaires à une corrélation significative avec le nombre de graines par tige principale (0,184) ;

-Le nombre de nœuds fructifères par tige principale à une corrélation significative avec le diamètre de la tige principal (0,180), le nombre de graine par tiges secondaires (0,155), et le rang par tige principale (-0,147) ;

-Le nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires à une corrélation significative avec le nombre de graines par tige principale (0,151) et le diamètre de la tige principal (-0,180) ;

-Le diamètre de la tige principal à une corrélation significative avec le poids de graines par tige principale (0,186), et le nombre de graines par tiges secondaires (-0,182) ;

-Le nombre de graines par tige principale à une corrélation significative avec le nombre de graines par tiges secondaires (0,155) ;

-Le nombre de graines par tiges secondaires à une corrélation significative avec poids de graines par tige principale (0,154).

4. Corrélations non significatives :

-La hauteur à une corrélation non significatives avec la majorité des paramètres du rendement : nombre de tiges (-0.036),le nombre de gousses par tiges secondaires (-0.086) , le nombre des nœuds fructifères par tige principale (-0.051),le nombre des nœuds fructifères par tiges secondaires (-0.030),le nombre de graines par tige principale (-0.091), nombre de graines par tiges secondaires (-0.043), le poids de graines par tige principale (-0.100),et avec le poids de graines par tiges secondaires (-0.064) ;

-Le nombre de tiges à une corrélation non significative avec le nombre de nœuds fructifères par tige principale (0,022), le rang par tige principale (0,087), le nombre de graines par tige principale (0,072), le poids de graines par tige principale (0,130), et le nombre de gousses par tige principale (-0,002) ;

-Le nombre des gousses par tige principale à une corrélation non significative avec le diamètre de la tige principale (0,105) et avec le poids de graines par tiges secondaires (0 ,068) ;

-Le nombre des gousses par tiges secondaires a une corrélation non significative avec poids de graines par tige principale (0,114), le rang par tige principale (-0,010) et le diamètre (-0,136) ;

-Le nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires à une corrélation positive non significative avec le rang de la tige principale (0,031) et le poids de graines par tige principale (0,101) ;

-Le rang de la tige principale a une corrélation non significative avec tous les paramètres du rendement : le diamètre de la tige principale (0,138), le nombre de graine par tiges secondaires (0,005), le nombre de graine par tige principale (-0,123), le poids de graines par tige principale (-0,112) et avec le poids de graines par tiges secondaires (-0,048) ;

-Le nombre de graine par tige principale a une corrélation non significative avec le poids de graines par tiges secondaires (0,125).

Les différentes composantes du rendement en graines présentent très souvent des degrés variables d'association avec le rendement en graines ainsi qu'entre eux. L'analyse des coefficients de corrélation entre les caractères contribuant directement ou indirectement au rendement en graines est une question d'une importance considérable dans l'exercice du programme de sélection. Une étude de la corrélation seule ne suffit pas à fournir une image exacte de l'importance relative des influences directes et indirectes de chacun des traits constitutifs sur le rendement en graines.

III. Analyse du cheminement ou path analysis:

L'analyse par le coefficient de pistes ou analyse de pistes causales, dite encore, analyse de parcours **(path analysis)**, est basée sur la régression partielle standardisée (Samonte et *al,*1998). Dogan (2009) a rapporté qu'elle permet d'étudier les relations entre l'ensemble de variables dont certaines sont considérées comme dépendantes et d'autres comme indépendantes et de diviser les coefficients de corrélation en effets directs et effets indirects.

L'analyse du cheminement a également été effectuée pour déterminer la contribution directe et indirecte de chaque caractère au rendement des semences (Chitra et Ramani, 2010). Cette méthode, développée par Wright (1921) comme outil statistique, permet d'étudier les relations complexes entre plusieurs caractères.

1. Analyse du cheminement appliquée sur le témoin :

a. Modèle postule :

Le modèle postulé dans notre étude est réalisé sous la forme d'un diagramme de cheminement (Figure 9), fondé sur les données collectées durant notre période du stage. Selon ce modèle théoriquement plausible, le rendement par plante est prédit par les variables indiquées dans la figure 9.

Ainsi, deux types de variables sont incorporés dans notre modèle, à savoir les variables exogènes et les variables endogènes.

- **Les variables exogènes** sont des variables indépendantes, sans variable causale. De ce fait, elles ne peuvent pas être affectées par aucune variable dans le modèle, mais peuvent affecter certaines. Dans notre cas, ces variables sont :

- Diamètre de la tige principale ;
- Rang 1er nœud fructifère de la tige principale ;
- Hauteur de la tige principale ;
- Nombre de tiges secondaires.

- **Les variables endogènes**, conditionnées entre autres par les variables exogènes, à savoir :

- Nombre des nœuds fructifères par tige principale ;
- Nombre des nœuds fructifères par tiges secondaires ;
- Nombre de la gousse par tige principale ;
- Nombre des gousses par tiges secondaires ;
- Nombre des graines par tige principale ;
- Nombre des graines par tiges secondaires ;
- Et la variable prédite, rendement par plante.

Le modèle a également pris en compte l'impact des facteurs incontrôlables sur la formation des variables endogènes. Cet effet est inclus sur le diagramme sous forme de **résidus**, marqués par ***Ɛ1*** à ***Ɛ7*** (Figure 9). Les **flux de causalité** entre les différentes variables sont représentés par des flèches allant de gauche à droite, et leurs **coefficients standardisés** sont représentés par les lettres **H1** à **H19**.

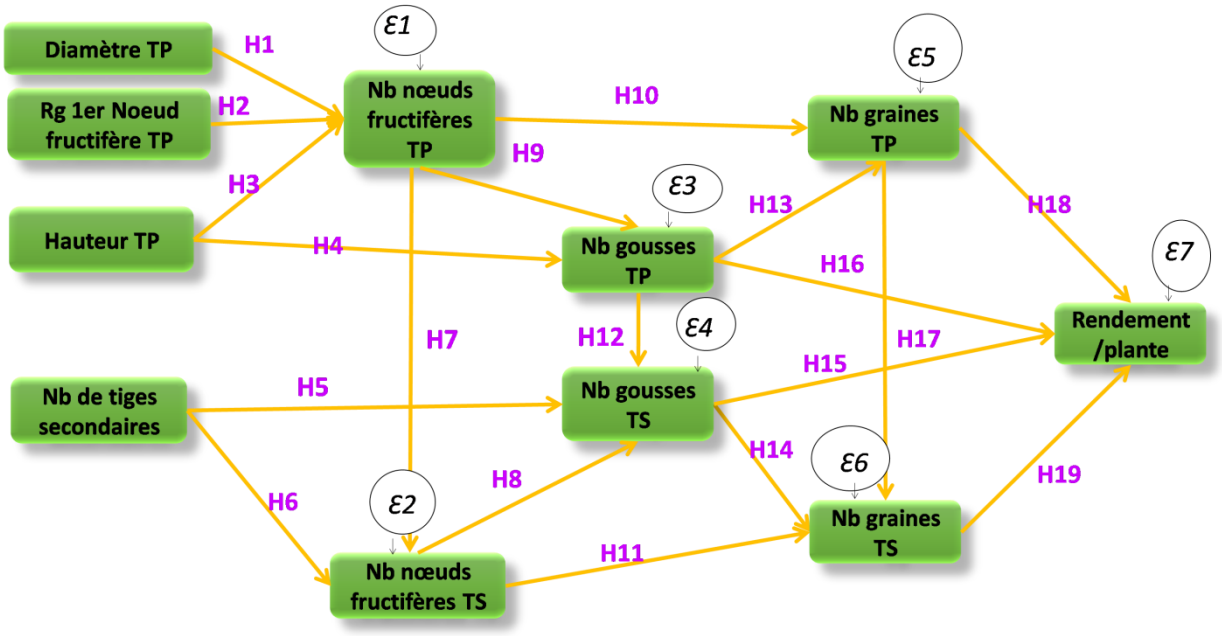


Figure 9 : Modèle initial postulé du témoin pour l'analyse du cheminement du rendement et ses composantes, chez Vicia faba L.

⇨ Flux de causalité entre les variables ; H1 à H19 : coefficients standardisés avant le calcul.

b. Test de validité du modèle :

La première phase de l'analyse statistique du modèle du cheminement est le test de validité du modèle postulé. Suite à la vérification de Test de validité du modèle :

Un ajustement acceptable du modèle est indiqué par une valeur de CFI (Comparative Fit Index ou Indice d'ajustement comparatif) supérieure ou égale à 0,90.
Vu que dans notre cas CFI = 0,912 nous pouvons conclure que le modèle postulé dans la présente étude est bien accepté.

c. Flux de causalité entre les différentes variables :

Le diagramme path analysis (Figure 10), établi après le calcul des coefficients standardisés (H_1 à H_{10}), et des coefficients de détermination R^2, nous permet d'estimer la significativité des flux de causalité entre différentes variables.

- **Effets directs très hautement significatifs**

✓ Le nombre de graines par tiges secondaires a un effet direct positif très hautement significatif sur le rendement par plante avec H_{19} = 0,770.
✓ Le nombre de graines par tige principale a également un effet direct positif très hautement significatif (H_{18} = 0,711) sur le rendement par plante. Ces résultats ne corroborent pas ceux de Ben Mbarek et *al.* (2012). En effet ces auteurs annoncent, dans leur étude sur le pois chiche *Kabuli*, que le nombre de graines/m^2 a un effet direct négatif très hautement significatif (-0,47) sur le rendement par plante.
✓ Le nombre de gousses par tiges secondaires a un effet direct positif très hautement significatif sur le nombre de graines par tiges secondaires (H_{14} = 0,766).
✓ Le nombre de nœuds fructifères par tige principale a un effet positif très hautement significatif sur le nombre de gousses par tige principale (H_9 = 0,897).
✓ Le nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires a un effet positif très hautement significatif sur nombre de gousses par tiges secondaires (H_8 = 0,912).
✓ Le nombre de tiges secondaires a également un effet positif très hautement significatif sur nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires (H_6 = 0,418).

- **Effets directs hautement significatifs**

✓ Le nombre de gousses par tige principale a un effet direct positif hautement significatif sur le nombre de graines par tige principale (H_{13} = 0,492).
✓ Le nombre de nœuds fructifères par tige principale a un effet direct positif hautement significatif sur le nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires (H_7 = 0,286).
✓ La hauteur de la tige principale a un effet direct négatif hautement significatif sur le nombre des gousses par tige principale (H_4 = -0,143).

- **Effet direct significatif**

- Le nombre de gousses par tige principale a un effet direct négatif significatif sur le rendement (H_{16} =-0,326).

- **Effets directs non significatifs**

- Le nombre de gousses par tiges secondaires a un effet direct non significatif sur le rendement (H_{15} =-0,310).
- Le nombre de graines par tige principale a également un effet direct non significatif sur le nombre de graines par tiges secondaires (H_{17} = 0,025).
- Le nombre de gousses par tige principale a un effet direct non significatifsur le nombre de gousses par tiges secondaires (H_{12}=0,072).
- Le nombre de nœuds fructifères par tige principale a un effet non significatif sur le nombre de graines par tige principale (H_{10} = 0,312).
- Le nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires a un effet non significatif sur le nombre de graines par tiges secondaires (H_{11} = 0,130).
- Le nombre de tiges secondaires a un effet non significatif sur le nombre de gousses par tiges secondaires (H_5= -0,046).
- La hauteur et le diamètre de la tige principale ont également un effet direct non significatif sur le nombre de nœuds fructifères par tige principale respectivement de H_3= 0,033 et H_1 = 0,042, ainsi que le rang des 1ers nœuds fructifères de la tige principale a un effet non significatif sur le nombre de nœuds fructifères par tige principale avec H_2=-0,167.

✓ **Coefficient de détermination R^2** :

Le coefficient de détermination R^2 est le rapport de la variance expliquée par le modèle, sur la variance totale. Ce coefficient nous permet de déterminer à quel point le modèle est adapté pour décrire la distribution.

Le coefficient de détermination de la variable rendement par plante R^2=0,591, nous permet d'affirmer que la causalité entre, d'une part, le nombre de gousses par tige principale, le nombre de graines par tige principale, le nombre de graines par tiges secondaires et le rendement par plante d'autre part, explique 59% de la variabilité totale dans notre expérimentation.

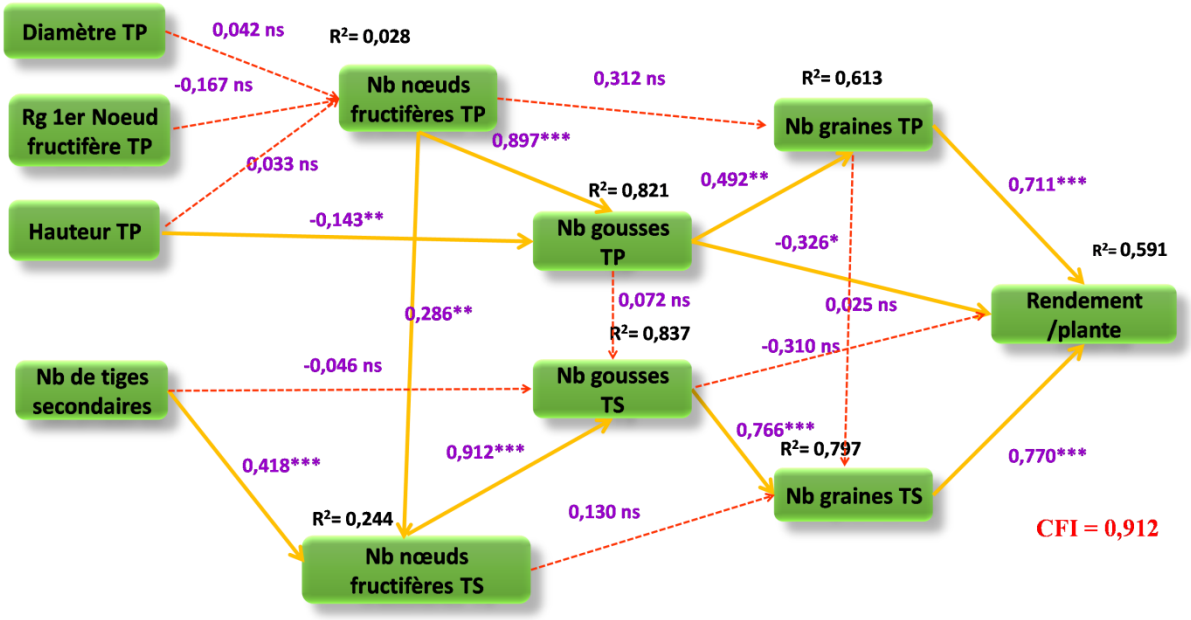
Le nombre de graines par tige principale, nombre de gousses par tiges secondaires et le nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires permettent d'expliquer 80% de la variabilité du nombre de graines par tiges secondaires.

Le nombre de nœuds fructifères par tige principale et le nombre des gousses par tige principale permettent d'expliquer 61% de la variabilité du nombre de graines par tige principale.

Le nombre de nœuds fructifères par tige principale et la hauteur de la tige principale permettent d'expliquer 82% de la variabilité du nombre des gousses par tige principale.

Le nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires, permet d'expliquer 84% de la variabilité du nombre des gousses par tiges secondaires.

Le nombre de tiges secondaires et le nombre des nœuds fructifères par tige principale permettent d'expliquer 24% de la variabilité du nombre des nœuds fructifères par tiges secondaires.



-

Figure 10 : Modèle postulé du témoin pour l'analyse du cheminement du rendement et ses composantes chez Vicia faba L.

- CFI : Indice d'ajustement comparatif ;
- R^2 : coefficients de détermination ;
- *** : Flux de causalité très hautement significatif ;
- ** : Flux de causalité hautement significatif ;
- * : Flux de causalité significatif ;
- ns : Flux de causalité non significatifs).

d. Analyse et interprétation de la médiation :

Pour une modélisation du rendement en relation avec ses paramètres par le biais de l'analyse du cheminement (Path analysis), il est très important de prendre en compte non seulement les effets de causalité directs mais aussi les effets de causalité indirects par le

biais de médiateurs. En d'autres termes, l'effet total est la résultante des effets directs et des effets indirects.

Effet total = Effets directs + Effets indirects

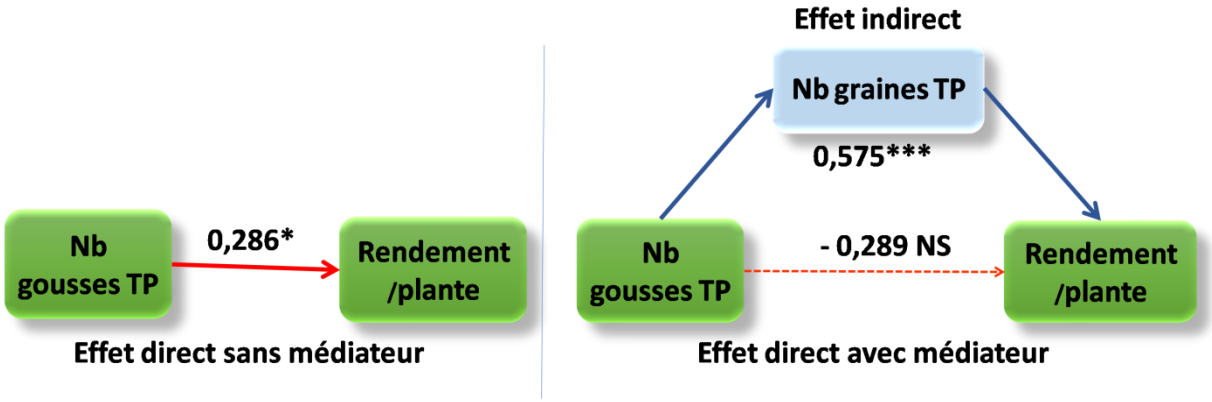


Figure 11 : Analyse du cheminement du nombre des gousses par tige principale sur le rendement par plante via le médiateur nombre de graines par tige principale.

Nous constatons, d'une part, que, le nombre de gousses par tige principale a un effet direct significatif sans le médiateur nombre de graines/TP (0,286). Mais cet effet direct à travers le médiateur devient non significatif (-0,289). D'autre part, ce nombre de gousses par tige principale a un effet indirect très hautement significatif sur le rendement par plante (0,575). Ainsi, dans ce cas, la médiation est une médiation totale.

e. Modèle final du path analysis du rendement du témoin et de ses composantes :

Le modèle final de la médiation Path analysis retenu (Figure 12) est obtenu après élimination des chemins non significatifs.

Dans ce cas, comme CFI = 0,947 (supérieure à 0,90) nous pouvons conclure que le modèle postulé dans la présente étude est bien accepté.

A partir du modèle final (Figure 12), nous constatons que :

- Flux de causalité direct très hautement significatif du nombre de graine par tige principale et du nombre de graine par tiges secondaires sur le rendement par plante.
- Flux de causalité direct très hautement significatif du nombre de gousses par tige principale sur le nombre de graine par tige principale.
- Ainsi qu'un flux de causalité direct très hautement significatif du nombre de gousses par tiges secondaires sur le nombre de graine par tiges secondaires.

Sur la base de l'analyse du modèle de cheminement illustré à la figure 12, nous avons constaté, que les facteurs directs les plus importants déterminant le rendement par plante de *Vicia faba* L., expliquent 51% de la variabilité totale, et sont :

• nombre de graine par tige principale **;**

• nombre de graine par tiges secondaires.

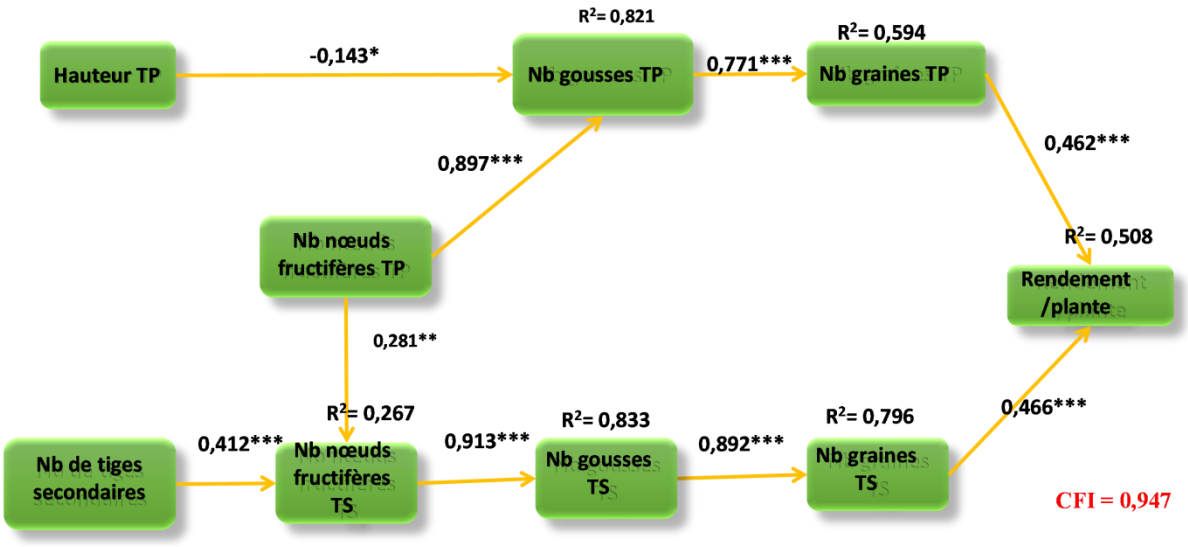


Figure 12 : Modèle final du Path analysis du temoin pour le rendement et ses composantes chez Vicia faba L.

2. Analyse du cheminement applique sur le traitement d'ombrage 2 :

a. Flux de causalité entre les différentes variables du traitement d'ombrage 2 :

Le modèle dans la figure 13 est considéré aussi comme valide, suite à une vérification du CFI qui est dans les normes : CFI = 0,977.

Après vérification de la validité du modèle, nous avons calculé les coefficients standardisés Hi, ainsi que les coefficients de détermination R^2. On constate que :

- **Effets directs très hautement significatifs :**

• Le nombre de graines par tiges secondaires a un effet direct positif très hautement significatif sur le rendement par plante avec (H=0,626).

• Le nombre de graines par tige principale a également un effet direct positif très hautement significatif sur le rendement par plante avec (H = 0,585).

• Le nombre de gousses par tiges secondaires a un effet direct positif très hautement significatif sur le rendement H = 0,916.

- Le nombre de gousses par tige principale a un effet positif très hautement significatif sur nombre de graines par tige principale (H = 0,586).
- Le nombre de gousses par tiges secondaires a un effet positif très hautement significatif sur nombre de graines par tiges secondaires (H = 0,994).
- Le nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires a un effet positif très hautement significatif sur nombre de gousses par tiges secondaires (H = 0,936).
- Le nombre de nœuds fructifères par tige principales a un effet positif très hautement significatif sur nombre de gousses par tige principale (H = 0,933).
- Le nombre de tiges secondaires a un effet positif très hautement significatif sur le nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires (H = 0,503).

- **Effet direct hautement significatif :**

- La hauteur de la tige principale a un effet négatif hautement significatif sur nombre de gousses par tige principale (H = -0,139).

- **Effets directs significatifs :**

- Le diamètre de la tige principale a un effet positif significatif sur le nombre de nœuds fructifères par tige principales (H=0,308).
- Le nombre de gousses par tige principale a un effet positif significatif sur Le nombre de gousses par tiges secondaires (H=0,094).
- Le nombre de nœuds fructifères par tige principales a également un effet positif significatif sur le nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires (H=0,251).

- **Effets directs non significatifs :**

- Le nombre de gousses par tige principale a un effet non significatif sur le rendement (H=-0,201).
- Le nombre de graines par tige principale a un effet non significatif sur le nombre de graines par tige secondaire (H=-0,079).
- Le nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires a également un effet non significatif sur le nombre de graines par tiges secondaires (H=-0,046).
- Le nombre de nœuds fructifères par tige principale a un effet non significatif sur le nombre de graines par tige principale (H=-0,229).
- Le nombre de tiges secondaire par tige secondaire a un effet non significatif sur nombre de gousses par tige principale (H =-0,020).

• La hauteur de la tige principale et le rang de 1er nœud fructifère ont un effet non significatif sur le nombre de nœuds fructifères par tige principale respectivement de (H= 0,056) et (H=0,056).

✓ **Coefficient de détermination R^2**:

Le coefficient de détermination de la variable rendement par plante R^2, permet de montrer que la causalité entre, d'une part, le nombre de gousse par tige principale, le nombre de gousses par tige secondaire, le nombre de graines par tige principale, le nombre de graines par tiges secondaires et le rendement par plante d'autre part, alors 60 % de la variabilité totale dans notre expérimentation.

- Le nombre de gousses par tiges permet d'expliquer 89 % de la variabilité du nombre de graines par tiges secondaires.
- Le nombre des gousses par tige principale permet d'expliquer 64% de la variabilité du nombre de graines par tige principale.
- Le nombre de nœuds fructifères par tige principale et la hauteur de la tige principale permettent d'expliquer 84% de la variabilité du nombre des gousses par tige principale.
- Le nombre des gousses par tige principale permet d'expliquer 91% de la variabilité du nombre des gousses par tiges secondaires.

A partir du modèle (Figure 13), nous pouvons constater que :

- Flux de causalité direct très hautement significatif du nombre de graines par tige principale, nombre de graines par tiges secondaires, le nombre de gousses tiges secondaires sur le rendement par plante.
- Flux de causalité direct très hautement significatif du nombre de gousses par tiges secondaires sur le nombre de graines par tiges secondaires.
- Flux de causalité direct très hautement significatif du nombre de gousses par tige principale sur le nombre de graine par tige principale.
- Flux de causalité direct très hautement significatif du nombre des nœuds fructifères par tige principale sur le nombre de gousse tige principale.
- Flux de causalité direct très hautement significatif du nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires sur le nombre de gousse par tiges secondaires.
- Flux de causalité direct très hautement significatif du nombre de tiges secondaires sur le nombre de nœuds fructifies par tiges secondaires.

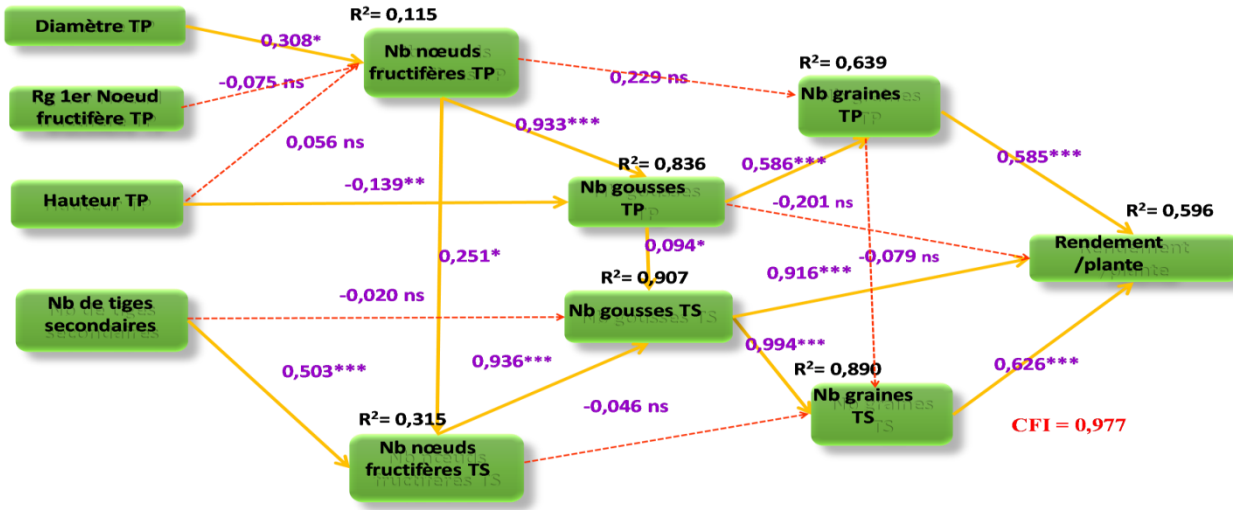


Figure 13 : Modèlepostulé du Path analysis du traitement d'ombrage 2 pour le rendement et ses composantes chez Vicia faba L

b. Analyse et interprétation de la médiation :

A partir du diagramme du cheminement adopté (Figure 14), nous allons analyser le type de médiation du cheminement du nombre de gousses par tiges secondaires sur le rendement par plante via le médiateur nombre de graines tiges secondaires.

Nous constatons, d'une part, que, le nombre de gousses par tigessecondaires a un effet direct très hautement significatif sans le médiateur nombre de graines par tiges secondaires (0,500). Cet effet direct à travers le médiateur reste significatif (-0,673). D'autre part, ce nombre de gousses par tiges secondaires a un effet indirect très hautement significatif sur le rendement par plante (1,173). Ainsi, cette médiation est une médiation partielle.

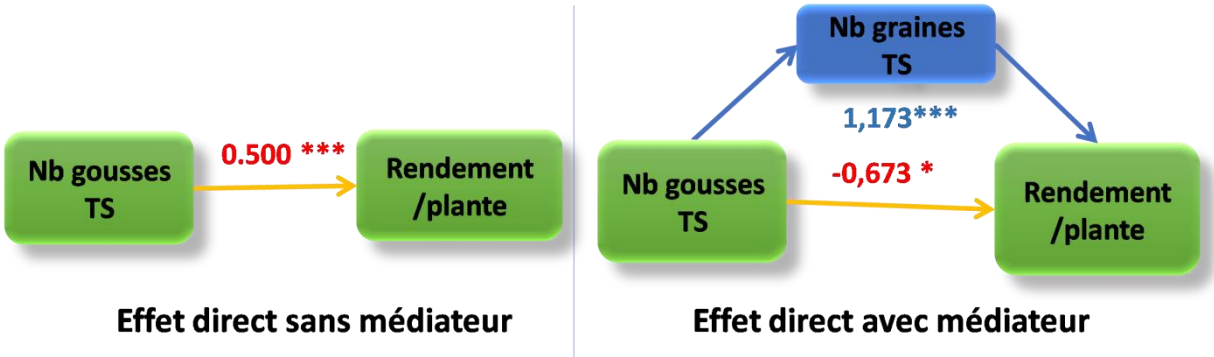


Figure 14 : Analyse du cheminement du nombre de gousses par tige principale sur le rendement par plante via le médiateur nombre de graines tige secondaire.

c. Modèle final du path analysis du rendement du traitement d'ombrage 2 et de ses composantes :

A partir du modèle final (Figure15), nous pouvons constater :

• Flux de causalité direct très hautement significatif du nombre de graines par tige principale et du nombre de graines par tiges secondaires et du nombre de gousses par tiges secondaires sur le rendement par plante.

• Flux de causalité direct négatif très hautement significatif du nombre de gousses par tiges secondaires sur le rendement par plante.

✓ **Coefficient de détermination R^2** :

-Le coefficient de détermination de la variable rendement par plante R^2 permet de montrer que la causalité entre : le nombre de gousses par tiges secondaires, le nombre de graines par tige principale, le nombre de graines par tiges secondaires d'une part, et le rendement par plante d'autre part, explique 62% de la variabilité totale du rendement par plante dans notre expérimentation.

-Le nombre de gousses par tiges secondaires permet d'expliquer 88% de la variabilité du nombre de graines par tiges secondaires.

-Le nombre des gousses par tige principale permet d'expliquer 63,2% de la variabilité du nombre de graines par tige principale.

-Le nombre de nœuds fructifères par tige principale et la hauteur de la tige principale permettent d'expliquer 84% de la variabilité du nombre des gousses par tige principale.

-Nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires et le nombre des gousses par tige principale permettent d'expliquer 91% de la variabilité du nombre des gousses par tiges secondaires.

-Le diamètre de la tige principale permet d'expliquer 11% de la variabilité du nombre des nœuds fructifères par tige principale.

-Le nombre de tiges secondaires et nombre des nœuds fructifères par tige principale permettent d'expliquer 31% de la variabilité du nombre des nœuds fructifères par tiges secondaires.

Sur la base de l'analyse du modèle de cheminement illustré à la figure, nous avons constaté, que les facteurs directs les plus importants déterminant le rendement par plante de *Vicia faba* L. pour le traitement d'ombrage 2, expliquant 62% de la variabilité totale, et sont :

• **le nombre de graines par tige principale ;**

• **le nombre de graine tiges secondaires.**

• **le nombre de gousses par tiges secondaires ;**

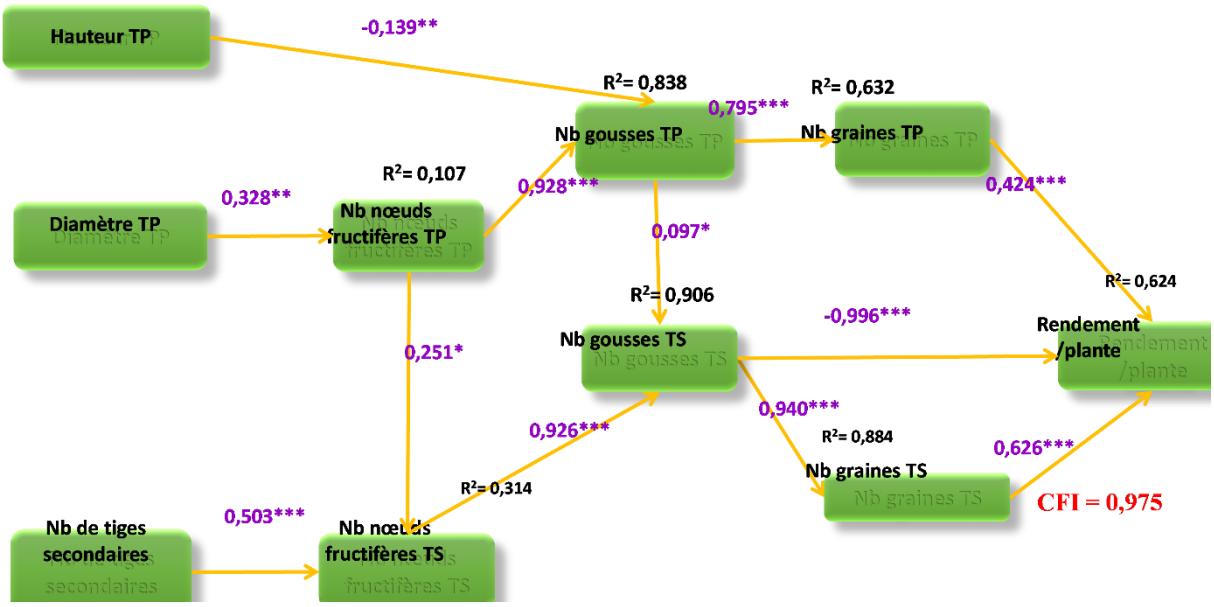


Figure 15 : Modèle final du Path analysis du traitement d'ombrage 2 pour le rendement et ses composantes chez Vicia faba L.

3. Path analysais applique sur le traitement d'ombrage 3 :

a. Flux de causalité entre les différentes variables du traitement d'ombrage 3 :

Suite à la vérification du test de validité du modèle (**CFI = 0,900)**, nous constatons que le modèle dans la présente étude (figure 16) est validé.

Après vérification de la validité du modèle, nous avons calculé les coefficients standardisés H, ainsi que les coefficients de détermination R^2. On constate les effets suivants :

- **Effets directs très hautement significatifs**

-Le nombre de graines par tige principale, et nombre de graine tiges secondaires ont un effet direct positif très hautement significatif sur le rendement par plante respectivement de (H=0,649) et (H=0,551).

-Le nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires a un effet positif très hautement significatif sur le nombre de gousses par tiges secondaires (H = 0,992).

-Le nombre de nœuds fructifères par tige principale a un effet positif très hautement significatif sur le nombre de gousses par tige principale (H = 0,764) et sur le nombre de graine par tige principale (H = 0,665).

-Le nombre de tiges secondaires a un effet positif très hautement significatif sur le nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires (H = 0,613).

-le diamètre de la tige principale a un effet direct positif très hautement significatif sur le nombre de nœuds fructifères par tige principales (H = 0,391).

- Effet direct hautement significatif

-La hauteur de la tige principale a un effet direct négatif hautement significatif sur le nombre de nœuds fructifères de la tige principale (H = -0,340).

- Effets directs significatifs

-Le rang du 1er nœud fructifère a un effet direct négatif significatif sur le nombre de nœuds fructifères par tige principale (H =- 0,273).

-Le nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires a un effet direct positif hautement significatif sur le nombre de graines par tiges secondaires (H = 0,465).

-Le nombre de gousses par tige principale a un effet direct positif hautement significatif sur nombre des gousses par tiges secondaires (H = -0,064).

- **Effets directs non significatifs :**

-Le nombre de gousses par tige principale (H=-0,153), nombre de gousses par tiges secondaires (H=-0,088), ont un effet non significatif sur le rendement.

-Le nombre de graines par tige principale a un effet négatif non significatif sur nombre de graines par tiges secondaires (H=-0,013).

-Le nombre de graines par tige principale n'a pas eu d'effet significatif sur le nombre de graines par tiges secondaires (H=-0,013).

-Le nombre de graines par tiges secondaires n'a pas eu d'effet significatif sur le nombre de graines par tiges secondaires (H=0,399).

-Le nombre de gousses par tige principale n'a pas eu d'effet significatif sur le nombre de graines par tige principale (H=0,065).

-Le nombre de tiges secondaires n'a pas eu d'effet significatif sur le nombre de gousse par tiges secondaires (H=-0,051).

-Le nombre de nœuds fructifères par tige principale n'a pas eu d'effet significatif sur le nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires (H=0,134).

-La hauteur de la tige principale n'a pas eu d'effet significatif sur le nombre de nœuds fructifères par tige principale (H=-0,138).

- ✓ **Coefficient de détermination R^2** :

Apres l'élimination des effets non significatifs, nous avons obtenu le modèle présenté dans la figure 8 avec les coefficients de détermination suivants :

- Le coefficient de détermination de la variable rendement par plante R^2 = 0,581 permet d'affirmer que la causalité entre, d'une part, le nombre de graines par tige principale, le nombre de graines par tige secondaire et le rendement par plante d'autre part, explique 58 % de la variabilité totale dans notre expérimentation.
- Le nombre de nœuds fructifères par tige principale permet d'expliquer 52% de la variabilité du nombre de graines par tige principale.
- Le nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires permet d'expliquer 73% de la variabilité du nombre des gousses par tiges secondaires.
- Le nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires et le nombre de gousses par tige principale permettent d'expliquer 94% de la variabilité du nombre des gousses par tiges secondaires.
- Le nombre de nœuds fructifères par tige principale permet d'expliquer 67% de la variabilité du nombre de gousses par tige principale.
- Le nombre de tiges secondaires permet d'expliquer 39% de la variabilité du nombre des nœuds fructifères par tiges secondaires.
- Le diamètre de la tige principale, le rang du 1er nœud fructifère de la tige principale et la hauteur de la tige principale permettent d'expliquer 28% de la variabilité du nombre de nœuds fructifères par tige principale.

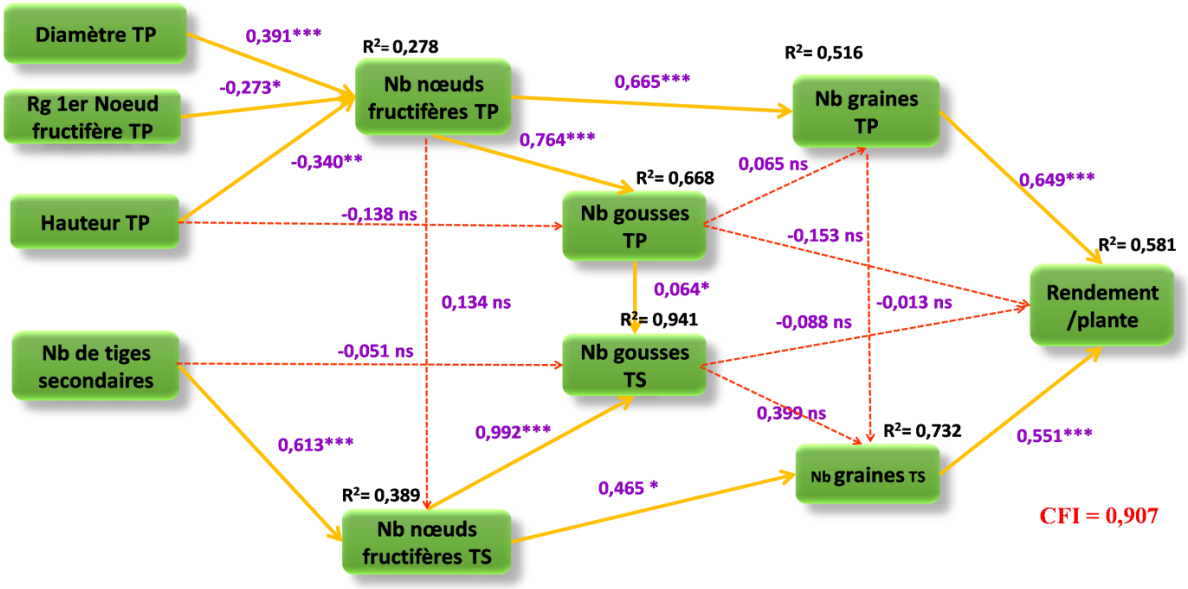


Figure 16 : Modèle postulé du Path analysis du traitement d'ombrage 3 pour le rendement et ses composantes chez Vicia faba L

b. Modele final du path analysis du rendement dutraitement d'ombrage 3 et de ses composantes :

Le modèle final de la médiation Path analysis retenu Figure 17 est obtenu après élimination des chemins non significatifs.

Suite à la vérification de la validité du modèle (CFI = 0,900), on constate quele modèle dans la présente étude est validé.

Vu que dans notre cas CFI = 0,900. On constate que le modèle dans la présente étude est validé.

Après vérification de la validité du modèle, nous avons calculé les coefficients standardisés H, On constate que :

- **Effets directs très hautement significatifs**

-Le nombre de graines par tige principale, et nombre de graine tiges secondaires ont un effet direct positif très hautement significatif sur le rendement par plante respectivement de (H=0,516) et (H=0,732).

-Le nombre de nœuds fructifères par tige principale a un effet positif très hautement significatif sur nombre de gousses par tige principale (H = 0,717).

-Le nombre de nœuds fructifères par tige principale a un effet positif très hautement significatif sur nombre de gousses par tige principale (H= 0,807).

-Le nombre de nœuds fructifères par tige principale a un effet positif très hautement significatif sur nombre de gousses par tige principale (H= 0,807).

-Le nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires a un effet positif très hautement significatif sur nombre de gousses par tige principale (H= 0,887).

-Le diamètre de la tige principale a un effet direct positif très hautement significatif sur le sur nombre de nœuds par tige principale (H = 0,391).

-Le nombre de tiges secondaires a un effet positif très hautement significatif sur nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires (H = 0,602).

- Effet direct hautement significatif

-La hauteur de la tige principale a un effet direct négatif hautement significatif sur le nombre de nœuds fructifères de la tige principale (H = -0,340).

- Effets directs significatifs

-Le rang du 1er nœud fructifère a un effet direct négatif significatif sur le nombre de nœuds fructifères par tige principale (H =- 0,273).

-Le nombre de gousses tige principale a un effet direct positif hautement significatif sur le nombre des gousses par tiges secondaires (H = -0,070).

✓ **Coefficient de détermination :**

- Le coefficient de détermination de la variable rendement par plante R^2 permet d'affirmer que la causalité entre, d'une part, le nombre de graines par tige principale, le nombre de graines par tige secondaire et le rendement par plante d'autre part, explique 54% de la variabilité totale dans notre expérimentation.
- Le nombre de nœuds fructifères par tige principale permet d'expliquer 51% de la variabilité du nombre de graines par tige principale.
- Le nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires permet d'expliquer 72% de la variabilité du nombre des gousses par tiges secondaires.
- Le nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires et le nombre de gousses par tige principale permettent d'expliquer 94% de la variabilité du nombre des gousses par tiges secondaires.
- Le nombre de nœuds fructifères par tige principale permet d'expliquer 65% de la variabilité du nombre de gousses par tige principale.

-Le nombre de tiges secondaires permet d'expliquer 36% de la variabilité du nombre des nœuds fructifères par tiges secondaires.

-Le diamètre de la tige principale, rang 1er nœud fructifère de la tige principale et la hauteur de la tige principale permettent d'expliquer 28% de la variabilité du nombre de nœuds fructifères par tige principale.

A partir du modèle final (Figure 19), nous pouvons constater :

- Flux de causalité direct hautement significatif du nombre de graines par tige principale, et nombre de graine tiges secondaires sur le rendement par plante ;
- Flux de causalité direct hautement significatif du nombre de nœuds fructifères par tige principales sur le nombre de gousses par tige principale ;
- Flux de causalité direct hautement significatif du nombre des nœuds fructifères par tiges secondaires sur le nombre de graines par tiges secondaires ;
- Flux de causalité direct hautement significatif du nombre des nœuds fructifères par tige principales sur le nombre de gousses par tige principale ;
- Flux de causalité direct hautement significatif du nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires sur nombre de gousses par tige principale ;
- Flux de causalité direct hautement significatif du diamètre de la tige principale sur le nombre de nœuds par tige principale ;
- Flux de causalité direct hautement significatif du nombre de tiges secondaires sur le nombre de nœuds fructifères par tiges secondaires.

À partir du modèle final (Figure17), nous pouvons conclure que sur la base de l'analyse du modèle du cheminement illustré à la figure 17, nous avons constaté, que les facteurs directs les plus importants déterminant le rendement par plante de *Vicia faba* L. pour le traitement d'ombrage 3, expliquent 54% de la variabilité totale. Il s'agit :

• **Du nombre graines par tige principale ;**

• **Du nombre graines par tiges secondaires.**

Puis **:**

• **le nombre de nœuds fructifères par tige principale ;**

• **le nombre de nœuds fructifères par tige secondaire.**

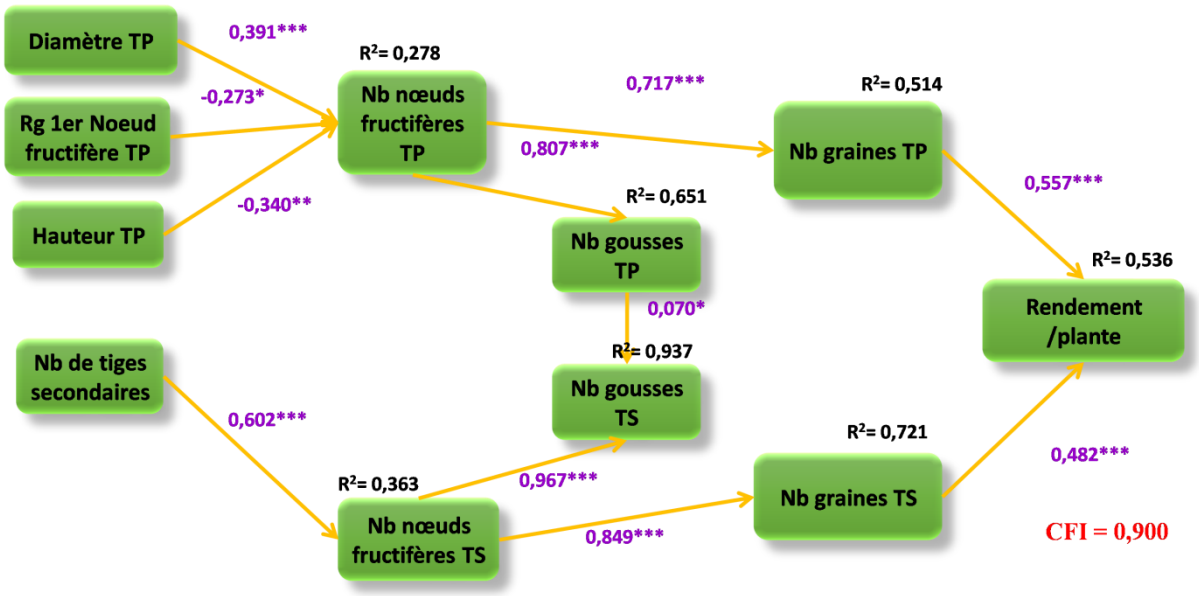


Figure 17 : Modèle final du Path analysis du traitement d'ombrage 3 pour le rendement et ses composantes chez Vicia faba L

A partir de l'utilisation de l'analyse du cheminement ou path analysis nous avons constaté, que :

Pour tous les traitements :

- L'effet de causalité est très hautement significatif du nombre de graines par tige principale et du nombre de graines par tiges secondaires sur le rendement par plante.
- Le nombre de gousses par tige principale a un effet indirect sur le rendement par plante via le nombre de graines par tige principale.
- Et le nombre de gousses par tiges secondaires a un effet indirect sur le rendement par plante via le nombre de graines par tiges secondaires

Pour le traitement de l'ombrage 2 : nous avons constaté une causalité négative entre le nombre de gousses par tiges secondaires sur le rendement par plante.

Pour le traitement de l'ombrage 3 : pour ce traitement le nombre de gousses par tige principale n'a aucun effet sur le nombre de graines par tige principale, alors que le nombre de gousses par tiges secondaires n'a pas d'effet sur le nombre de graines par tiges secondaires.

- Ainsi, pour un ombrage de 50% (T3), il est conseillé d'utiliser des variétés qui produisent plus de gousses et de graines par tige principale. Les variétés qui donnent plus de tiges secondaires et produisent plus de gousses par tiges secondaires seront défavorisées et produiront peu.
- L'ombrage de 90% (T2) est fortement déconseillé vu le niveau de production atteint.

Conclusion et recommandations

La culture de la fève est d'une très grande importance, dans la filière des légumineuses alimentaires. Cette culture soufre de plusieurs contraintes abiotiques comme les variations climatiques, et biotiques, comme les maladies cryptogamiques et l'orobanche.

La présente étude a été conduite au niveau du domaine expérimental de Douyet (Institut National de la Recherche Agronomique « INRA », Laboratoire d'Amélioration de la fève et de la féverole), en vue d'étudier l'effet de l'ombrage sur les composantes du rendement et des caractéristiques agronomiques de la fève. Les résultats obtenus au niveau des composantes du rendement de cette expérience montrent l'effet de l'ombrage sur le rendement de 6 variétés (4 variétés de fève et 2 variétés de féverole) à 2 niveaux d'ombrage différent 50% et 90%.

Les résultats de l'analyse de la variance (ANOVA) ont été effectués pour l'effet variétal, l'effet de l'ombrage, et pour l'effet de l'interaction variété x ombrage. Ce qui indique d'une part qu'il existe une différence très hautement significative sur toutes les composantes du rendement, à l'exception du nombre de tiges par plante et le poids des graines par tiges secondaires dont l'effet était non significatif pour l'effet variétal. D'autre part les résultats de l'analyse de la variance pour l'effet de l'ombrage montrent que, la majorité des composantes du rendement ont montré un effet non significatif. Alors que l'effet de l'interaction variété x ombrage signale que cette interaction a été non significative concernant tous les paramètres mesurés sauf le nombre de nœuds fructifères par tige principale, et très hautement significatif pour la hauteur de la tige principale qu'elle a été significative.

Les résultats de l'analyse des coefficients de corrélation ont montré que la corrélation seule ne suffit pas pour connaitre l'importance relative des influences directes et indirectes de chacun des traits constitutifs sur le rendement en graines.

A partir des résultats d'analyse des parcours (Path analysis), nous constatons que pour tous les traitements (témoin, ombrage 2, ombrage 3) l'effet de causalité est très hautement significatif du nombre de graines par tige principale et du nombre de graines par tiges secondaires sur le rendement par plante. Ainsi que le nombre de gousses par tige principale a un effet indirect sur le rendement par plante via le nombre de graines par tige principale, Et le nombre de gousses par tiges secondaires a un effet indirect sur le rendement par plante via le nombre de graines par tiges secondaires.

Par ailleurs, la modélisation du rendement de *Vicia Faba* L. par le biais de l'analyse du cheminement (Path analysis) est une voie prometteuse dans le programme de sélection des variétés de fève et de féverole à haut potentiel de rendement, stables et tolérantes aux principaux stress biotiques et abiotiques. De plus, elle a un effet positif sur l'amélioration du rendement par la détermination des flux de causalité entre le rendement et ses composantes.

Enfin, le présent travail montre, qu'en général, pour un ombrage de 50%, il est conseillé d'utiliser des variétés qui produisent plus de gousses et de graines par tige principale, les variétés qui donnent plus de tiges secondaires et produisent plus de gousses par tiges secondaires seront défavorisées. Et un ombrage de 90% est fortement déconseillé vu le niveau de production atteint.

En se référant à la base des données, l'améliorateur pourrait travailler sur une seule variété de fève et une seule variété de féverole et traiterait chaque variété à part. D'une part. Et installerait les filets d'ombrage dès le départ de la culture, d'autre part. Aussi pour atteindre ses objectifs il faut éviter de travailler avec un ombrage de 90% et proposerait de travailler avec un ombrage de 30, 50 et 70% (si les filets sont disponibles).

Références Bibliographiques

- **Abras M. & Cartrysse C. & Froidmont E. & Jamar D. & Rondia P. & Wavreille J, 2016.** La Fèverole une légumineuse à graines riches en protéines et en énergie. Les protéagineux de la production à la valorisation, p 20.
- **Anonyme, 2007.** Rapport National Sur l'Etat Des Ressources Phytogénétiques Pour l'Alimentation et l'Agriculture. Deuxième rapport national sur l'état des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture (RPGAA), p 44.
- **Alaoui B, .2000.** Référentiel pour « la conduite technique de la fève (*Vicia faba*) ».96p.
- **Beer J, Muschler R, Kass D, Somarriba E** (1998) Shade management in coffee and cacao plantations. *In* PKR Nair, CR Latt, eds, Directions in Tropical Agroforestry Research. Springer Netherlands, pp 139–164.
- **Bennasseur Alaoui et Ajiro Yasuehi. 2005**. Référentiel pour la Conduite Technique de la Fève (*Vicia faba* L), p 101
- **Bishnoi, S. K., J.S. Hooda, I.S. Yadav and R. Panchta .2012**. Advances in heterosis and hybrid breeding in faba bean (Vicia faba L.). Forage Res. 38(2):24-27.
- **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. & Poulsen M.H, 1983.** Pollinisation. The Faba Bean (*Vicia faba* L.). Hebblethwaite P.D. (Eds.), Butterworth. London, 53(3): 77-101.
- **Brink M, Belay G (2006).** Ressources vegétales de l'afrique tropicale 1: cereals et legumes secs, Prota Pays bas , pp 221-223.
- **Chaux C, Foury C** .1994. Production légumière : légumineuses potagères, Légumes fruits, Lavoisier, Paris, PP .4-8.
- **Chaieb N, Bouslama M, Mars M (2011)**. Growth and yield parameters variability among Faba bean (*Vicia faba L.*) genotypes .J. Nat Prod .Plant Resour.
- **Cubero J. I, 1974.**On the evolution of *Vicia faba* L. Theoret.app. Genet, 45: 47-51.

- **Dahan R. 1987**. Agronomie des légumineuses alimentaires, résultats de recherche à l'INRA et orientation futures. In: Kamal M; Solh M B. et Saxena Me. (Edits.). Proceedings du Séminaire National sur les légumineuses alimentaires au Maroc. Settat, 7-9Avril, 1987. pp. 70-83.
- **Dajoz R, 2000.** Élément d'écologie. Ed dunod. Paris ,8éme édition, p 631.
- **Daoui k. 2014.**L'agroforesterieoul'artdecombinerdesarbresetdescultures.CRRA Meknès.
- **Dommergues Y et Mangenot F., 1970.** Ecologie microbienne du sol. Eds. Masson et Cie. Paris. 796p.
- **Dore.C et Fabrice.V., 2006.** Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées. INRA. Paris. 809 p.
- **Duc G .1997.** Faba bean (*Vicia faba L.*). Field Crops Research. 53: 99-109
- **Fachmann et Kraut, 2006.** L'intérêt de la fève. Ed. Bourde. Paris. 74p.
- **FAO**, **2021**. Fao statistic. Available in: www.fao.arg/foastat/
- **Fatemi Z. & Aabbad F. & Sakr B, 2005.** La création variétal à L'INRA méthodologie acquise et perspectives, p 139-145.
- **Fatemi Z, 1996**. Situation de la Culture des Fève au Maroc. In: Rehabilitation of Faba Bean. Bertenbreiter W .and M. Sadiki (Eds.), p 33-38.
- **Food andAgriculture Organization of the United Nations. (FAO). (2012)** http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/F.
- **Ghobary H.M.M. & AbdAllah S.A.M, 2010.** Correlation and path coefficient studies in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). J. Plant Prod, 9: 1233–1239.
- **Gómez-Delgado F, Roupsard O, Le Maire G, Taugourdeau S, Pérez A, van Oijen M, Vaast P, Rapidel B, Harmand JM, Voltz M, et al (2011)** Modelling the hydrological behaviour of a coffee agroforestry basin in Costa Rica. Hydrology and Earth System Sciences 15: 369–392.
- **Gordon M.M, 2004.** Haricots sec: Situation prospective et Agroalimentaire. Canada, p 1-7.
- .**guide pratique pour le conseil agricole, INRA-Meknes :** https://www.inra.org.ma/sites/default/files/publications/ouvrages/leguminkafacifr15.pdf
- **Jensen ES, Peoples MB, Hauggard-Nielsen H (2010).** Faba bean in cropping systems. Fied Crops Research. 115: 203-2016.

- **Jones, R.J. (1971).** Tropical legumes – their growth and response to management variables in a sub- tropical environnement. Ph.D.Thesis, Univ. of NEW England? Armidale.
- **J. W. Van Sambeek et al.2017, Responses** of legumes and grasses to non-, moderate, and dense shade in Missouri, USA. II. Forage quality and its species-level plasticity.
- **Kambal A.E. 1969**. Components of yield in faba bean, (*Vicia faba* L.) J. of Agric. Sci. Cambridge, 72: 359-363.
- **Karasu A., M. OZ**, **2010**: A study on coefficient analysis and association between agronomical
- characters in dry bean (Phaseolus vulgaris L.). Bulgar. J. Agric. Sci. 16: 203-211.
- **Kejia Pang . J. W. Van Sambeek . Nadia E. Navarrete-Tindall . Chung-Ho Lin . Shibu Jose . H. E. Garrett Received: 9 July 2016** / Accepted: 11 January 2017 _ Springer Science+Business Media Dordrecht 2017.
- **Khaldi R. & Zekri S. & Maatougui M.E.H. & Ben Yassine A, 2002**. L'Economie des Légumineuses Alimentaires au Maghreb et dans le Monde. Proceedings du 2èmeséminaire du réseau REMAFEVE/REMALA, « Le devenir des Légumineuses Alimentaires dans le Maghreb ». Hammamet, Tunisie, p 100.
- **Kharrat, 2002.** Etude de la Virulence de l'Ecotype de Beja d'*Orobanche foetida* sur Différentes Espèces de Légumineuses. Proceedings du 2èmeséminaire du réseau REMAFEVE/REMALA, « *Le devenir des Légumineuses Alimentaires dans le Maghreb* ». Hammamet, Tunisie, p 100.
- **Laamari A, 2015.** Etude Données de Base des Légumineuses Alimentaires Au Maroc : Analyse de l'offre Coûts de Production et Indicateurs de Performances. L'initiative Morocco-Indienne pour le développement des légumineuses alimentaires (IMILA) : INRA Settat, p 74.
- **Larrald J.** et Martinez J.A., 1991 : Nutritionnal value of faba bean : effet on nutrient utilization, protien turnover and immunity. Options mediterranéemes :present statut and future prespects of faba bean production, I.C.A.R.D.A. serie A ,N°10, pp111-117.
- **Laumonnier. R .1979.** Culture légumière et mari chaire. tomr iii . ed.j.b. baillier 276pp.

- **Lasco RD, Delfino RJP, Espaldon MLO (2014)** Agroforestry systems: helping smallholders adapt to climate risks while mitigating climate change. WIREs Clim Change 5: 825–833.
- **Lim T.K (2012).** Vicia faba. Fruits .2: 925-936.
- **Loach, K (1967) .**Shade tolerance in tree seedings , I, Leaf photosynthesis and respiration in plants raised under artificial shade . *New Phytol* 66, 607-21.
- **Loss S.P, Siddique K.H.M (1997).** Adaptation of faba bean (vicia faba L) to dryland Mediterranean-type environments. I. seed yield components. Field Crops Research. 52: 17-28.
- **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.,1988**. Les maladies cryptogamiques d'importance économique des légumineuses alimentaires au Maroc. Rapport de d'activité, INRA. Domaine Expérimental de Dar Bouazza.p.20
- **Marina A, 1992.** Le secteur des légumineuses alimentaires au Maroc. Rabat : Actes Edition.
- **Ministére de l'agriculture(Maroc)(2000),** Investir en Agriculture . Partie II : Le secteur agricole ,p 17
- **Motel, J. V. 1972**. Die archaologisth reste der Ackerbohn *Vicia faba* L. and die ganasse der Art Kulturpfle. 19 : 321-358.Suso, M.J., M.T Moreno, F. Mondragao-Rodrigues, J.I Cubero.1996.Reproductive biology of *Vicia faba* L.: role of pollination conditions. Field Crops Research, 46: 81-91.
- **ONICL, Office national interprofessionnel des céréales et des légumineuses. 2010.** Commercialisation des céréales et des légumineuses au Maroc.
- **Ouchagour Leila ,2020 ,** EVOLUER vers des cultures plus durables : L'agroforesterie faite son chemin au Maroc ,28-2020, Webinaire (Agroforesterie :Produire Autrement)- dans le cadre du projet 'mon jardin Nourricier en Agroforesterie '
- **Patrick J.W, Stoddard F.L (2010).** Physiology of flowering and grain filing in faba bean. Field Crops Research. 115:234-242.
- **Peron J-Y., 2006** Références. Production légumières 2ème Ed.613p.
- **Rashid K.Y. et Bernier C.C , 1986** Selection for slow rusting in faba bean (Vicia faba L.) to Uromyces viciae- fabae, Crop protection.5: 218-224.

- **Rosenberger, B. 1980**. Culture complémentaires et nourritures de substitution au Maroc (XV ème – XVIII ème siècle) in « Annales Economies, Sociétés et Civilisations », 35ème année, n° 3-4, p. 477-504
- **Sadiki M, 1990**. Germplasm Development and Breeding for Improved Biological NitrogenFixation of Faba Bean in Morocco. Thèse de Doctorat, p 298.
- **Sadiki M. & Lazrak A, 1998**. La fève et la féverole : Fiche technique. Institut agronomique et Vétérinaire Hassan II (eds.). p 31.
- **Sakr B. 1980**. Caractérisation de la collection de fève. Rapport de titularisation à l 'INRA.p.10.
- **Sakr B. 1984**. Rapport d'activtte annuel 1982/83. Station Centrale des légumineuses alimentaires. Rabat. Morocco. p. 46
- **Schmith, U., K. Schluter et P. A. Boorsma, 1978**. Lutte chimique contre Orobanche crenata sur fève: réalisation d'une technique efficace, pratique et économique. Bull. Prot.Cultures, 5 : 3-9.
- **Skerman P.J., 1982**. Les Légumineuses fourragées tropicales. Ed. FAO. Rome. 666p.
- Sillero JC, Villegas-Fernandez AM, Thomas J Rojas-MM, Emeran AA, Fernandz-Apâricio M, RUBIAL D(2010) .Faba bean breeding for disease resistance. Field Crops Research. 115: 297-307.
- **Singh V.P; Y.S.Tomer, 1988**. Influence of flower colour on seed yield and components in faba bean. Fabis, 22: 7-8.
- **Wang H-F, Zong X_X, Guan J-P, Yang T, Sun X-L, Ma Y, Redden R .2012**. Genetic diversity and relationship of global faba bean (Vicia faba.L) germplasm revealed by ISSR markers.
- **Wolfgang.B et Sadiki.M., .**1996. Rehabilitation of faba bean. Premier Séminaire du Réseau maghrébin de recherche sur la fève (Remafeve). Ed Actes. Rabat. 26 pp.
- **Rosseel Y** (2012). "lavaan: An R Package for Structural Equation Modeling." *Journal of Statistical Software*, 48(2), 1–36. https://www.jstatsoft.org/v48/i02/.[Z.F1]

https://www.reforestaction.com/blog/5-benefices-de-la

ANEXE

Les Corrélations

Corrélations

	Nb_de_tiges	Nb_de_gousses_TP	Nb_de_gousses_TS	Nb_noeuds_fructiféres_TP	Nb_noeuds_fructiféres_TS	Rang_TP	Diamétre	Nb_de_graines_TP	Nb_de_graines_TS	Poids_de_graines_TP	Poids_de_graines_TS
Hauteur	-0,036	-,168*	-0,086	-0,051	-0,03	,180*	,370**	-0,091	-0,043	-0,1	-0,064
Nb_de_tiges		-0,002	0,491**	0,022	,554**	0,087	-,171*	0,072	,518**	0,13	,485**
Nb_de_gousses_TP			0,313**	0,868**	,254**	-,164*	0,105	,717**	,183*	,379**	0,068
Nb_de_gousses_TS				0,242**	,943**	-0,01	-0,136	,184*	,896**	0,114	,681**
Nb_noeuds_fructiféres_TP					,238**	-,147*	,180*	,725**	,155*	,441**	0,06
Nb_noeuds_fructiféres_TS						0,031	-,180*	,151*	,868**	0,101	,684**
Rang_TP							0,138	-0,123	0,005	-0,112	-0,048
Diamétre								,245**	-,182*	,186*	-,224**
Nb_de_graines_TP									,155*	,694**	0,125
Nb_de_graines_TS										,154*	,843**
Poids_de_graines_TP											,293**

*. La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral).

**. La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).