

EXAMINATEUR

DEDICACES

JE DÉDIÉ CE MODESTE TRAVAIL, À MES CHERS PARENTS,

MR. EL AHRACH MOHAMMED SAÏD ET MME. BENMAKHLOUF

ANDALOUSSI NAOUAL, QUI N'ONT CESSÉ DE M'ORIENTER VERS LE
COURAGE ET LA FOI EN DIEU. POUR LEUR AMOUR, PATIENCE, SOUTIENT

ET TOUT. JE LEUR PRÉSENTE MON TRAVAIL. PUISSE DIEU LE TOUT

PUISSANT LEUR PRÊTER LA BONNE SANTÉ ET LE BONHEUR.

A MA GRANDE MÈRE, MON ONCLE, MON CHER FRÈRE, QUI M'ONT TANT

AIDÉES SURTOUT MORALEMENT.

A MES RESPECTUEUX ENSEIGNANTS, POUR LEURS EFFORTS, LEURS

DISPONIBILITÉS.

A MOI.

REMERCIEMENTS

Avant tout je remercie ALLAH de m'avoir appris de ce que je ne connaissais pas.

Je tiens à exprimer mes remerciements les plus sincères à Mr. FATEMI Zain El Abidine, chercheur à l'INRA du Maroc en tant qu'encadrant pour sa bienveillance, ses conseils, son aide à l'élaboration et le suivi de ce projet malgré ses nombreuses occupations, je le remercie aussi pour sa patience, sa gentillesse, sa disponibilité.

Je tiens aussi à remercier Mr. DERRAZ Khalid, professeur de Biologie à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, pour son encadrement, sa gentillesse, sa patience et ses orientations au cours de son encadrement.

Mes plus vifs remerciements à Mr. LAZRAQ Abderrahim professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, qui a accepté de juger mon travail.

RESUME

La surface foliaire est une variable importante pour la plupart des études écophysiologiques dans les écosystèmes terrestres concernant l'interception de la lumière, l'évapotranspiration, l'efficacité de la photosynthèse, les engrais, la réponse de l'irrigation et la croissance des plantes.

La présente étude a été conduite, au cours de l'année universitaire 2018/2019 au sein du programme d'amélioration de la fève au Domaine expérimental Douyet affilié à l'Institut National de la Recherche Agronomique « INRA », dans le but de comprendre la variabilité de la surface foliaire de la fève sous l'influence des facteurs biotiques et abiotiques.

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

En général, les résultats trouvés ont montré que les lignées cultivées hors cage ont la surface foliaire plus importante que sous cage. Notant qu'il y a certaines exceptions.

La Mult3 et Mult6 ont la surface foliaire la plus élevée hors cage. cependant, la Mult1 a la plus grande surface foliaire sous cage.

Cette étude nous a permis de compléter une base de données pour les divers descripteurs et variables d'évaluation agronomique. En se basant sur ces données, les sélectionneurs vont pouvoir les utiliser comme base dans leur choix des génotypes qui répondent aux critères en accord avec l'objectif du programme d'amélioration.

Mots clés : *Vicia faba* L., Surface foliaire, lignée.

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
I-SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	2
1-Systématique.....	2
2-Description botanique.....	3
3-Type de reproduction.....	5
4-Origine de la plante.....	5
5-Exigences écologiques.....	5
6-Les contraintes de production de la fève au Maroc.....	5
7-Importance de la culture de fève.....	6
8-Composantes du rendement.....	7
9-La surface foliaire.....	8
10-Les méthodes d'estimation de la surface foliaire.....	8
II-Matériel et Méthodes.....	10
1-Description du site expérimental.....	10
2-Matériel végétal.....	10
3-Dispositif expérimental.....	11
4-Itinéraire technique.....	12
5-Paramètres biologiques étudiés.....	13
6-Traitement des données.....	13
III-Résultats et Discussion.....	14
1-Variation de la surface foliaire des différentes lignées hors cage.....	14
2-Variation de la surface foliaire des différentes lignées sous cage.....	16
3-Comparaison de l'évolution des mêmes lignées cultivées hors cage et sous cage.....	18
4-Discussion.....	22
IV-Conclusion et perspectives.....	23
Références bibliographiques.....	24

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Photo des plantes de <i>Vicia faba</i> L. (INRA)	2
Figure 2	Photo des feuilles d'une plante de <i>Vicia faba</i> L. (INRA)	3
Figure 3	Photo d'une fleur de <i>Vicia faba</i> L. (INRA)	4
Figure 4	Variation de la température et des précipitations au niveau du Domaine Expérimental Douyet pendant la campagne agricole 2018/2019 (Données Station météorologique).	10
Figure 5	Plan parcellaire des lignées de fève hors cage.	11
Figure 6	Plan parcellaire des lignées de fève sous cage.	11
Figure 7	Surface foliaire totale des six lignées cultivées hors cage et sous cage.	15
Figure 8	Evolution de la surface foliaire des lignées cultivées hors cage.	15
Figure 9	Variation des folioles en fonction du rang du nœud pour les lignées cultivées hors cage.	16
Figure 10	Evolution de la surface foliaire des lignées cultivées sous cage.	17
Figure 11	Variation des folioles en fonction du rang du nœuds pour les lignées cultivées sous cage.	17
Figure 12	Surface foliaire cm ² de la lignée Mult1 hors cage et sous cage.	18
Figure 13	Surface foliaire cm ² de la lignée Mult2 hors cage et sous cage.	18
Figure 14	Surface foliaire cm ² de la lignée Mult3 hors cage et sous cage.	19
Figure 15	Surface foliaire cm ² de la lignée Mult4 hors cage et sous cage.	20
Figure 16	Surface foliaire cm ² de la lignée Mult5 hors cage et sous cage.	20
Figure 17	Surface foliaire cm ² de la lignée Mult6 hors cage et sous cage.	21

LISTES DES TABLEAUX

Tableau 1	Critères de distinction entre les trois variétés de <i>Vicia faba</i> L. (Guignard, 1989).	2
Tableau 2	Itinéraire technique fève hors cage.	12
Tableau 3	Itinéraire technique de multiplication lignées fèves sous cage.	12

LISTES DES ABREVIATIONS

°C	Celsius
cm	Centimètre
g	gramme
ha	hectare
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
kg	Kilogramme
L	Lignes
l	litre
LA	Leaf area
mm	millimètre
m	mètre
m ²	mètre carré
t	tonne

Introduction

En moyenne, le Maroc produit annuellement 152 000 t de fève, fluctuant entre un maximum de 345 000 t récolté en (1974) et un minimum de 16 000 t obtenu en (1993). Le rendement moyen obtenu est très faible (820 kg/ha) oscillant entre 1520kg/ha (1974) et 180 kg/ha (1993) (Fatemi, 1996). Selon ces statistiques, il s'avère que, les rendements au Maroc ainsi que les superficies récoltées demeurent instables, d'un an à l'autre, Cette instabilité est due, entre autres, à l'utilisation d'un matériel végétal local peu performant (Fatemi, 1996).

La campagne agricole 2018/2019 a connu une pluviométrie défavorable conduisant à une sécheresse affectant les zones non irriguées. Le déficit en eau est généralement considéré comme une contrainte majeure dans la production de la plupart des cultures dans le monde.

L'expansion des feuilles est l'un des processus de la plante les plus sensibles au déficit en eau (Hsiao et al. 1985). La limitation de la perte d'eau peut également résulter de la réduction de la surface transpirante (Begg et Turner, 1976 ; Turner, 1980). La transpiration peut aussi être réduite par le phénomène d'enroulement foliaire, lui-même induit par la perte de la turgescence.

Plusieurs auteurs ont étudié l'effet des déficits en eau du sol sur l'expansion des feuilles chez les légumineuses à grains (Sinclair et al. 1987 ; Lecoeur et Sinclair 1996 ; Soltani et al. 2000). notamment, dans la fève, bien que l'on ait montré que la limitation en eau entraînait une croissance et un rendement réduits (De Costa et al. 1997 ; Mwanamwenge et al. 1998).

C'est dans l'objectif de la conservation et l'amélioration des ressources génétiques que l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), a fondé le programme d'amélioration de la culture de fève, permettant ainsi de mettre à la disposition des agriculteurs des variétés productives, de bonnes qualités, et résistantes aux maladies et parasites.

Mon stage, effectué dans le cadre du programme d'amélioration de la fève au sein du Domaine expérimental Douyet affilié à l'Institut National de la Recherche Agronomique « INRA », a pour but d'étudier la variabilité de la surface foliaire chez quelques lignées de *Vicia faba* L., Le travail est présenté en trois parties. D'abord, sont exposées les principales données acquises dans ce domaine. Une seconde partie est destinée à la présentation de la méthodologie adoptée dans notre expérimentation. Enfin, nous proposons les différents résultats obtenus sur les paramètres retenus.

I. Généralités :

1- Systématique :

Selon Dajoz (2000), la fève est classée comme suit :

- Embranchement : Spermaphytes
- Sous-embranchement : Angiospermes
- Classe : Dicotylédones
- Sous-classe : Dialypétales
- Série : Caliciflores
- Ordre : Rosales
- Famille : Fabacées
- Sous-famille : Papilionacées
- Genre : *Vicia*
- Espèce : *faba*



Figure1 : Photo des plantes de *Vicia faba* L. (INRA)

La fève, appartenant à la tribu des viciées, était un sujet de discussion pour ce qui concerne la classification, notamment l'espèce. Cependant, un consensus est généralement trouvé dans la classification de Muratova, qui subdivise l'espèce en deux sous-espèces, paucijuga et eu-faba (Le Guen et Duc, 1996), Cette dernière comprend trois variétés botaniques (major, equina et minor) qui se différencient selon la taille et la forme de la graine, ainsi que celles de la gousse.

Tableau 1 : Critères de distinction entre les trois variétés de *Vicia faba* L. (Guignard, 1989).

Variété Traits	Major / Fève	Equina / Févette	Minor / Féverole
Port des gousses sur les tiges	Retombantes et traînant généralement à terre	Généralement semi-érigées ou à port horizontal	Port érigé sur les tiges
Forme des gousses	Aplatie souvent recourbée	Moins aplatie	Cylindrique
Taille des gousses	Gousse très longue (nombre d'ovules de 7 à 13)	Gousse longue (nombre d'ovules 3 à 4)	Gousse courte (nombre d'ovules de 2 à 3)
Forme des graines	larges et plats	présentent une dépression latérale des cotylédons	ovoïdes réguliers et lisses
Taille des graines	Gros ou très gros (poids de 1000 graines >1200g)	Moyens (poids de 1000 graines entre 800 et 1200 g)	Petits (poids de 1000 graines <800g)

2- Description botanique :

Vicia faba L. est une plante herbacée annuelle, à croissance indéterminée. Elle est formée d'un appareil végétatif, comprenant les racines, la tige et les feuilles, ainsi qu'un appareil reproducteur formé par les fleurs qui sont à l'origine des fruits et par la suite des graines.

En ce qui concerne l'appareil végétatif :

La racine :

Le système racinaire est formé par une racine principale pivotante (Le Guen et Duc, 1992) à racicules très nombreuses, portant d'abondantes nodosités blanchâtres renfermant la bactérie fixatrice d'azote atmosphérique *Rhizobium leguminosarum*.

La tige :

La tige est simple, épaisse, large, quadrangulaire et creuse, comporte jusqu'à 5 ramifications à la base. Sa hauteur est généralement comprise entre 0,8 à 1,2 m. Les tiges présentent un nombre variable de nœuds végétatifs à la base (5 à 10) et puis un nombre également variable de nœuds reproducteurs (de 7 à 25), alors que l'apex de la tige présente un bourgeon terminal végétatif ce qui signifie que la croissance est indéterminée (Le Guen et Duc, 1992).

Les feuilles :

Sont alternes, composées-pennées, constituées de 2 ou 4 paires de folioles, d'une couleur vert-glaucue ou grisâtre. La foliole terminale est caractérisée par une arrête étroite non enroulée en vrille au niveau de l'extrémité du limbe. Les feuilles sont accompagnées de deux larges stipules bien visibles en forme dentée (Chaux et Foury, 1994).

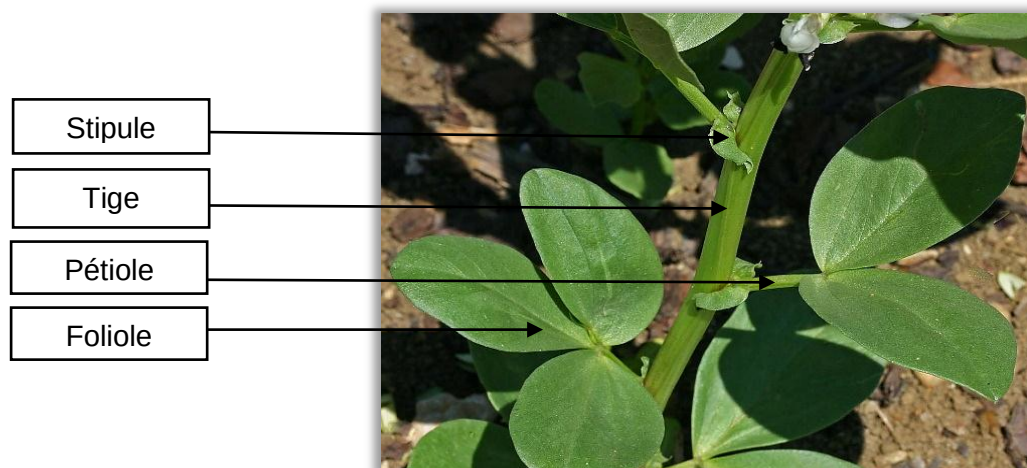


Figure2 : Photo des feuilles d'une plante de *Vicia faba* L. (INRA)

En ce qui concerne l'appareil reproducteur :

Les inflorescences :

Les fleurs sont groupées en grappe (Le Guen et Duc, 1992) de 2 à 12 fleurs selon la variété, insérées aux nœuds de la plante.

La fleur :

Elle est hermaphrodite, caractéristique des papilionacées avec un calice composé de cinq sépales soudés et une corolle constituée de cinq pétales inégaux : deux ailes latérales, un étendard et deux pétales soudés sur leurs bords extrêmes formant une carène. Les fleurs sont de couleur blanche ou rose avec des taches plus ou moins violettes indiquent la présence des tanins dans la graine (Sadiki et Lazraq, 1998). La surface du stigmate est couverte de papilles qui, lorsqu'elles sont brisées, forment une ouverture libérant un exsudat facilitant la pénétration du pollen. Chaque fleur comporte 10 étamines dont la plus haute est libre et les neuf autres sont unies en une gaine renfermant l'ovaire. L'unique ovaire comprend deux à neuf ovules, parfois dix (Fatemi et *al.*, 2005).

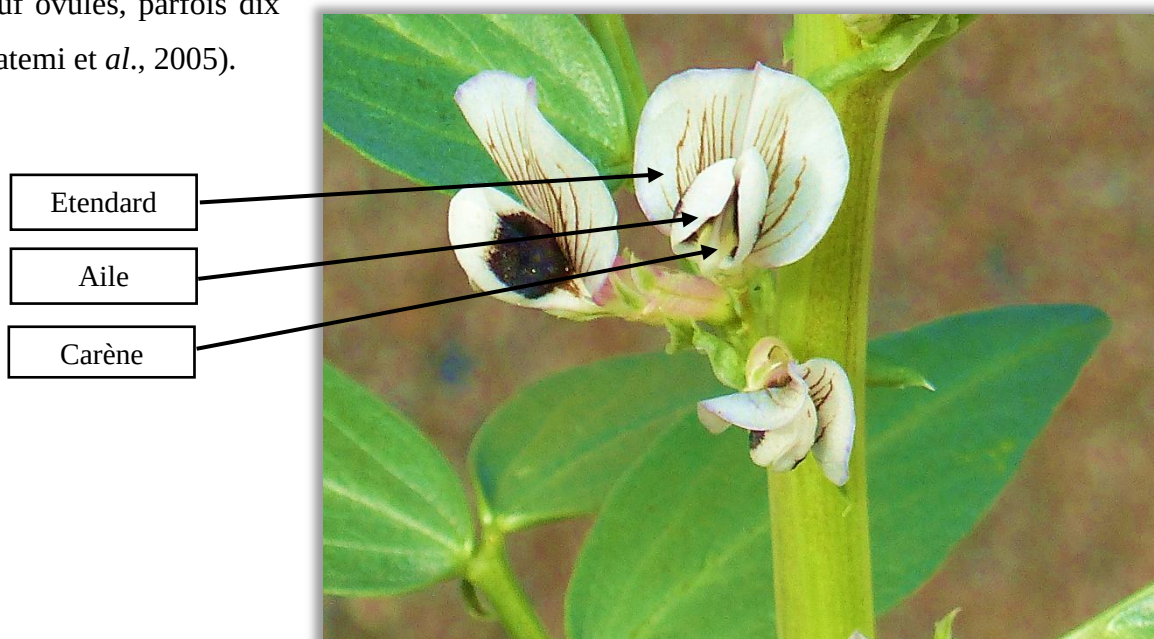


Figure3 : Photo d'une fleur de *Vicia faba* L. (INRA)

Les fruits :

La gousse de la fève est charnue de longueur variable (4,5 à 16 cm) faiblement pubescente. Elle est érigée pour la féverole et pendante ou horizontale pour la fève, avec deux à huit graines par gousse. A l'état jeune, les gousses sont de couleur verte puis noircissent à maturité (Fatemi, 2005). Les gousses sont pourvues d'un bec et elles sont renflées au niveau des grains (Brink et Belay, 2006).

Les graines :

Sont les plus volumineuses de toutes les espèces légumineuses, charnues de couleur vert tendre à l'état mature. A complète maturité, elles développent un tégument épais et coriace, de couleur brun rouge à blanc verdâtre et prend une forme aplatie à contour presque circulaire ou réniforme (Chaux et Foury, 1994).

3- Type de reproduction :

La reproduction est partiellement allogame contrairement aux autres légumineuses qui sont essentiellement autogames. La pollinisation est entomophile, et assurée pour la plupart des cas, par les abeilles domestiques (*Apis mellifera*) et parfois par les bourdons (*Bombus spp*) selon Mesquida et *al.* (1990). Ainsi, on peut remarquer une allopollinisation allant de l'ordre de 2 à 84 % en fonction de la géographie, de l'espèce et l'activité des insectes pendant la floraison (Duc, 1997) aussi bien que de l'ouverture des fleurs, de l'autofertilité et des méthodes utilisées pour l'estimation (Sadiki et Lazraq, 1998).

4- Origine de la plante :

Selon Motel (1972), la fève a été domestiquée pour la première fois dans l'Asie de l'Ouest. Cependant, l'origine de la fève reste incertaine. 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).

5- Exigences écologiques :

a- Edaphiques :

La fève est peu exigeante en terme qualité du sol. Elle préfère les sols frais argileux, argilo-limoneux, argilo-siliceux ou argilo-calcaires à pH neutre ou peu acide avec une sensibilité au compactage (Hebblethwaite et *al.*, 1983 ; Sadiki et Lazraq, 1998). Cependant, une rétention d'eau trop importante entraîne un risque d'avortement des fleurs et des jeunes gousses. Par conséquent, le rendement est réduit et la maturation retardée. Il faut donc éviter les sols présentant un faible pouvoir de drainage ou excessivement humides.

b- Climatiques :

Les cultures de fèves sont généralement considérées comme sensibles à la sécheresse, sachant que la phase la plus sensible à la sécheresse coïncide avec le début de la formation des gousses (Sadiki et Lazraq, 1998) ce qui se répercute sur le potentiel de production. Alors qu'une pluviométrie supérieure à 350 mm par an est nécessaire à un bon rendement, sinon 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).

6- Les contraintes de production de la fève au Maroc :

Les principales contraintes qui limitent la réalisation du potentiel de rendement de la fève et de la fèverole et qui provoquent une instabilité du rendement sont des contraintes biotiques et abiotiques.

a- Stress abiotique :

Au niveau climatique, la sécheresse constitue de loin la contrainte la plus importante qui entrave la production des fèves au Maroc. Ce stress peut être général durant toute la campagne agricole, comme il peut survenir au début de la saison, à son milieu et/ou à sa fin. Les autres stress abiotiques qui influencent la culture de la fève sont le froid hivernal et les gelées printanières, la chaleur de fin de saison et enfin la salinité dans certaines régions.

b- Stress biotiques :

Parmi les facteurs biotiques qui affectent la fève, nous pouvons citer par ordre d'importance l'orobanche, les maladies cryptogamiques, les nématodes, les maladies virales et les insectes. L'orobanche constitue un fléau pour cette culture causant de pertes de rendement pouvant atteindre 100%. Quant aux maladies cryptogamiques, il y a lieu de noter que la maladie de tâche chocolatée (*Botrytis faba*), l'anthracnose (*Ascochyta fabae*) et la rouille (*Uromyces fabae*), selon Mabsoute (1988), sont les plus dominantes. Les nématodes, notamment, la race géante du nématode des tiges affecte aussi le rendement de cette culture (Abbad Andaloussi, 1996). Plusieurs virus peuvent attaquer la fève et causer des pertes importantes du rendement surtout quand l'attaque survient au stade plantule. Parmi les principaux virus s'attaquant à la fève, on peut citer le virus de la jaunisse nécrosante (Yellow Necrotic Virus ou YNV) et le virus de la marbrure (Broad Bean Mottle Virus ou BBMV), le virus du flétrissement de la fève (Broad Bean Wilt Virus ou BBWV), le virus des tâches nécrotiques (Broad Bean Stain Virus ou BBSV) et le virus de la mosaïque jaune (Broad Yellow Mosaic Virus ou BYMV). Deux insectes sont des ravageurs importants de la fève : il s'agit des pucerons et des bruches. Les pucerons (*Aphis fabae*) affectant la fève directement en attaquant le sommet de la plante avant de couvrir toute la partie aérienne ou indirectement en servant de vecteurs dans la transmission des maladies virales. Les bruches (*Bruchus rufimanus*) causent des pertes importantes au niveau du stockage des fèves.

7- Importance de la culture de fève :

Vicia faba L. est une des plus anciennes légumineuses alimentaires domestiquées. Son importance alimentaire et agronomique est reflétée par la superficie qu'elle occupe mondialement de 3,6 millions d'hectares dans plus de 50 pays et donnent une production totale de 4 millions d'hectares par an. (Polhill et al., 1985).

a- Intérêt alimentaire :

La production de la fève est utilisée pour la consommation humaine, la consommation animale et l'exportation. La quantité de fève consommée est d'environ 2,4 kg / personne et par an. Elle dépasse le niveau de consommation des autres légumineuses alimentaires (Fatemi, 1996).

Selon Gordon, (2004) et Daoui, (2007), cette légumineuse a une teneur en protéine élevée et présente une excellente source de fibres solubles et insolubles, de glucides complexes, de vitamines (B9 et C) et de minéraux (en particulier le potassium, le phosphore, le calcium, le magnésium, le cuivre, le fer et le zinc).

Les grains de féverole utilisés pour l'engraissement des animaux sont considérés comme complément azoté dans l'alimentation animale surtout celle des bovins (Maatougui, 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 la féverole en alimentation animale (Fatemi, 1996).

b- Intérêt agronomique :

Vicia faba L. comme toutes les légumineuses alimentaires, contribue à l'enrichissement du sol en éléments fertilisants et spécialement l'azote, dont l'incidence sur le blé (Khaldi et al., 2002 ; Rachef et al., 2005). Ainsi, la fève améliore la teneur du sol en azote avec un rapport annuel de 20 à 40 kg/ha. Elle améliore aussi sa structure par son écosystème racinaire puissant et dense. Les résidus des récoltes enrichissent le sol en matière organique.

c- Intérêt éco-toxicologique :

La fève est très sensible à la pollution du sol, ce qui en fait un modèle végétal très utilisé en éco-toxicologie dans un grand nombre d'études. Du fait que son caryotype est simple, elle est utilisée dans un grand nombre d'études de mutagenèse pour le test des anomalies chromosomiques (De Marco et al., 1995 ; Kanaya et al., 1994 ; Sang et Li, 2004). De plus, la grande quantité d'ADN contenue dans son noyau le rend très sensible aux molécules génotoxiques (Ferrara et al., 2004). *Vicia faba* L. est en outre aussi employée pour étudier les réponses des marqueurs au stress oxydant (Radetski et al., 2004).

8- Composantes du rendement :

Le rendement s'exprime en poids de graines par unité de surface. Il est considéré comme étant le produit d'un ensemble de composantes végétatives et reproductrices formés successivement au cours du développement de la plante (Withers, 1984). Il a une faible héritabilité, alors que le rendement dépend de la variabilité génétique disponible et des effets des facteurs majeurs biotiques et abiotiques et de la forte interaction génotype-environnement (Bond, 1966).

La décomposition du rendement montre que le nombre de plantes par unité de surface et le nombre de ramifications par plante constituent des caractères primordiaux pour l'établissement d'un bon rendement. Ce sont les premières composantes du rendement à s'établir au début du cycle de la fève. Ainsi, une bonne installation de la culture, surtout à une densité optimale, est nécessaire pour l'obtention de bons rendements.

La réduction du rendement de la fève, exprimée par la réduction du nombre de gousses par plante, est le résultat de l'augmentation de la densité des plantes, alors que le nombre de graines par gousses et le poids moyen de la graine tendent à rester constants (Lopez-Bellido et *al.*, 2005).

En moyenne, plus de 80% des variations du rendement chez les féveroles sont expliqués par les variations du nombre de gousses et de graines par m² (Raphalen et *al.*, 1986).

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

9- La surface foliaire :

La surface foliaire d'une culture est un facteur déterminant dans les mécanismes photosynthétiques tels que l'interception des radiations, les échanges d'eau et d'énergie. Par conséquent, des mesures précises de la surface foliaire (LA) par des méthodes directes et indirectes sont essentielles pour comprendre l'interaction entre la croissance des cultures et l'environnement (de Jesus et *al.*, 2001). Donc, la surface foliaire est un indicateur de la croissance et de la productivité des cultures.

10- Les méthodes d'estimation de la surface foliaire :

La surface foliaire totale de la plante peut être obtenue par des méthodes directes ou indirectes. La surface foliaire est généralement déterminée par des méthodes directes. La méthode directe consiste à enlever et à mesurer toutes les feuilles de la plante. Cette méthode est destructive et nécessite un équipement adéquat et potentiellement coûteux. Les méthodes indirectes et non destructives sont conviviales, moins coûteuses et peuvent fournir des estimations précises de la surface foliaire (Norman and Campbell, 1989). Les méthodes indirectes sont utiles lorsque cet équipement n'est pas disponible ou lorsque des mesures non destructives sont nécessaires, telles que des conditions de terrain ou une faible densité de plantes poussant dans des pots d'expériences contrôlées. L'une des méthodes non destructives et indirectes les plus fréquemment utilisées est l'estimation de la surface foliaire à partir d'équations mathématiques comportant des mesures linéaires telles que la longueur, la largeur et la longueur du pétiole, ou une combinaison de ces variables, qui ont généralement une précision élevée (Gamiely et *al.*, 1991 ; Blanco and Folegatti, 2005). La surface foliaire est liée aux dimensions linéaires de la feuille, qui ont été utilisées dans de nombreuses cultures pour estimer la surface foliaire (Uzun et Celik, 1999 ; Kandianan et *al.*, 2002 ; Lu et *al.*, 2004). Mesurer la surface foliaire d'un grand nombre de feuilles peut être à la fois long et coûteux en main-d'œuvre. De nombreuses méthodes ont été conçues pour faciliter la mesure de la surface foliaire. Cependant, ces méthodes, y compris celles de traçage, de tracé au bleu, de photographie ou d'utilisation d'un planimètre conventionnel, nécessitent l'excision des feuilles des plantes. Il n'est donc pas

possible de procéder à des mesures successives de la même feuille qui peut s'avérer utile lors du suivi de l'évolution de la surface foliaire. Le couvert végétal est également endommagé, ce qui pourrait poser problème pour d'autres mesures ou expériences. La surface foliaire peut être mesurée rapidement, avec précision et de manière non destructive en utilisant un planimètre à balayage portable (Daughtry, 1990), mais elle ne convient que pour les petites plantes avec peu de feuilles (Nyakwende et *al.*, 1997). Des modèles simples et précis éliminent le besoin de compteurs de surface foliaires coûteux ou de reconstructions géométriques fastidieuses (Gamiely et *al.*, 1991). Par conséquent, les agronomes ont besoin d'une méthode peu coûteuse, rapide, fiable et non destructive pour mesurer la surface des feuilles. Si les relations mathématiques entre la surface des feuilles et une ou plusieurs dimensions de la feuille peuvent être clarifiées, une méthode utilisant uniquement des mesures linéaires estimer la surface foliaire serait plus avantageux que nombre des méthodes mentionnées ci-dessus (Villegas et *al.*, 1981 ; Beerling et Fry, 1990).

II – Matériels et Méthodes :

Objectif :

Ce travail a pour but d'étudier la variabilité de la surface foliaire de quelques lignées de *Vicia faba* L., ainsi que sa variabilité au niveau des différents nœuds. Les données ainsi collectées au cours du travail, serviront de base pour analyser l'évolution de la surface foliaire des différentes lignées de *Vicia faba* L.

1- Description du site expérimental :

Notre stage est effectué au sein du programme d'amélioration de la fève au Domaine expérimental Douyet affilié à l'Institut National de la Recherche Agronomique « INRA ». cette ferme étendue à 440 ha est localisée dans la zone bour favorable de la plaine de Saiss (Province de Moulay Yacoub-Wilaya de Fès-Meknès).

Le climat est de type méditerranéen à hivers froid et humide, été chaud et sec. La pluviométrie moyenne de cette région (sur 40 ans) est de 510 mm. Plus précisément, cette année a connu une mauvaise répartition des précipitations, marqué par une sécheresse en décembre, et des températures un peu plus élevées à la normale. (Figure4)

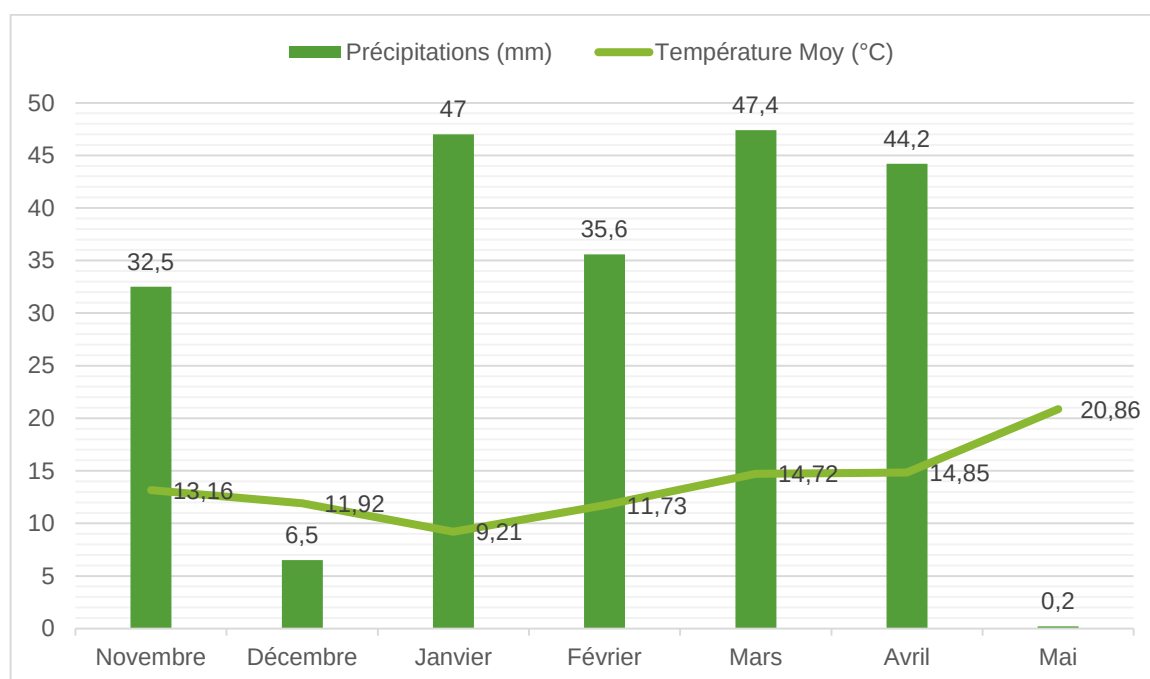


Figure4 : Variation de la température et des précipitations au niveau du Domaine Expérimental Douyet pendant la campagne agricole 2018/2019 (Données Station météorologique).

2- Matériel végétal :

Nous avons étudié 6 lignées différentes de *Vicia faba* L. : Mult1, Mult2, Mult3, Mult4, Mult5, Mult6.

Les lignées étudiées ont été semées en plein champ le 24/12/2018 sous forme de parcelles élémentaires de 20 lignes de 20 m de long. Ces lignées ont été semées également sous cage le 08/01/2019 sous forme de parcelles élémentaires de 38 lignes pour les lignées de 3 m de long (Mult1, Mult2, Mult3, Mult4, Mult5, Mult6). Notons que les lignes sont espacées de 50 cm.

3- Dispositif expérimental :

En ce qui concerne la disposition des lignées (Mult1, Mult2, Mult3, Mult4, Mult5, Mult6) hors cage et sous cage :



Figure5 : Plan parcellaire des lignées de fève hors cage.

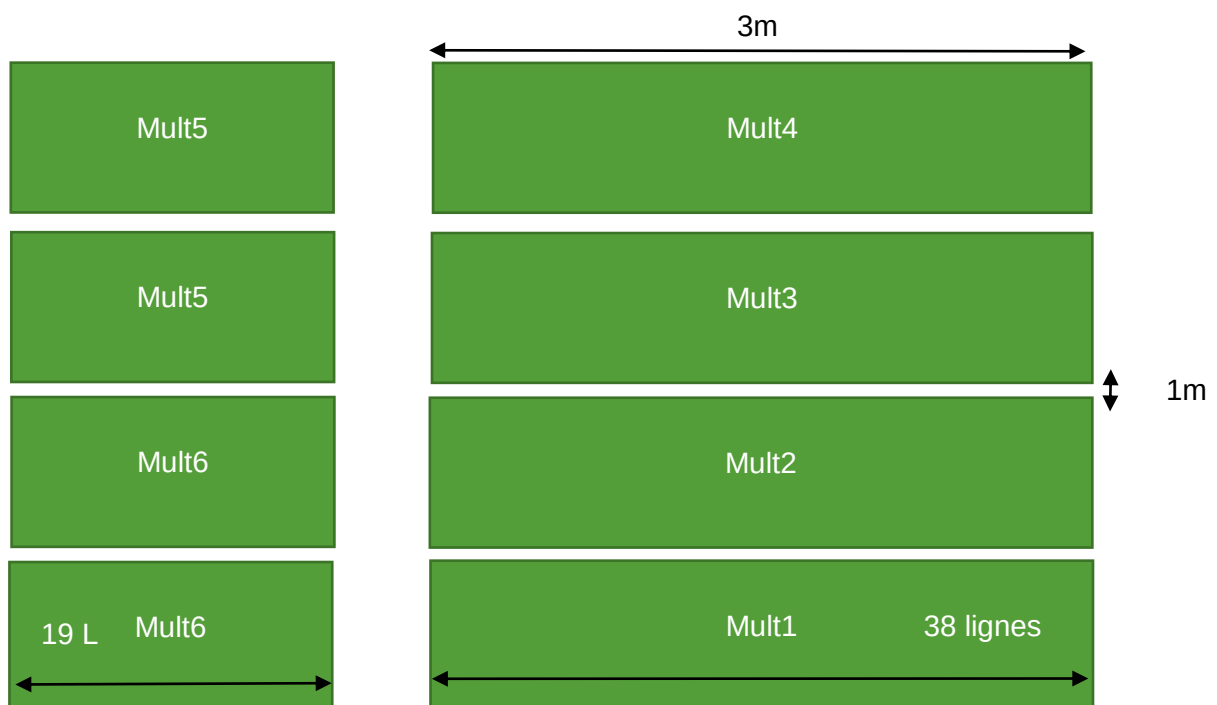


Figure6 : Plan parcellaire des lignées de fève sous cage.

4- Itinéraire technique :

L'itinéraire technique utilisée pendant notre travail est comme suit :

Tableau2 : Itinéraire technique fève hors cage.

DATE	OPÉRATION
19/09/2018	Labour au Styp plow
14/12/2018	Covercrop
15/12/2018	Épandage d'engrais
16/12/2018	Enfouissement engrais
17/12/2018	Vibroculteur
17/12/2018	Ouverture des lignes
24/12/2018	Semis
21/02/2019	Désherbage manuel
27/02/2019	Traitement insecticide Agil 0,5 l /300l/ha
15/03/2019	Traitement Perimore 500gr /600l eau / ha
16/04/2019	Désherbage manuel
18/04/2019	Traitement Perimore 500gr /600l eau / ha

Tableau3 : Itinéraire technique de multiplication lignées fèves sous cage.

DATE	OPERATION
24/12/2018	Traitement round-up 3L/ha
24/12/2018	Cover crop croisé
08/01/2019	Ouverture des lignes + engrais 2qx/ha (14 unités N 28 unités P 14 unités K)
08/01/2019	Semis
09/01/2019	Irrigation
28/01/2019	Désherbage manuel
01/03/2019	Traitement agil 0,5 /ha
13/03/2019	Désherbage manuel
15/03/2019	Traitement Perimor 500gr/ 600l eau/ ha
18/03/2019	Montage du filet d'isolement
16/04/2019	Désherbage manuel
18/04/2019	Traitement Perimor 500gr/ 600l eau/ ha
02/05/2019	Désherbage manuel

5- Paramètres biologiques étudiés :

Pour chaque caractère et interligne, deux plantes ont été retenues d'une façon aléatoire, en essayant de prélever les plantes dans un intervalle de temps très réduit et en n'oubliant pas de noter l'heure et la température au moment de la cueillette en utilisant un thermomètre.

Ensuite, nous avons mesuré, pour chaque plante, et au niveau de chaque nœud, la surface foliaire de chaque foliole. En détachant les feuilles composées puis les folioles, ces dernières sont projetées sur le scanner, sur leur face ventrale, en gardant leur disposition réelle. Après scannage des folioles, les images obtenues sont enregistrées sous format JPEG pour les traiter par la suite en utilisant le logiciel « ImageJ ».

6- Traitement des données :

Les calculs de la surface foliaire de chaque plante ont été réalisés à l'aide du logiciel « ImageJ », alors que les calculs des moyennes pour chaque variable et les différents graphes ont été réalisés par le logiciel Excel.

III- RESULTATS ET DISCUSSION :

1- Variation de la Surface foliaire des différentes lignées hors cage :

L'analyse des figures 7,8 et 9 nous ont permis de tirer les constatations suivantes :

La lignée Mult1 est caractérisée par une surface foliaire totale de 761,100 cm² réparti sur 20 nœuds dont les quatre premiers ne présentent aucune foliole, alors que les autres nœuds présentent des nombres variables de folioles avec un maximum de 6 folioles au niveau des nœuds 16 à 20. Le 16^{ème} nœud présente une surface foliaire la plus importante pour cette lignée : 57,546 cm².

La lignée Mult2 porte 94 folioles réparties sur 21 nœuds ayant une surface foliaire totale de 980,973 cm². La surface foliaire du 15^{ème} nœud est la plus élevée (80,376 cm²) réparties sur 7 folioles.

Comme la lignée précédente, Mult3 comprend 21 nœuds avec une surface foliaire totale de 1256,682 cm² réparties sur 100 folioles. Le 13^{ème} nœud présente une surface foliaire importante supérieure au 15^{ème} nœud de la lignée précédente d'une valeur de 89,409 cm² réparties sur 6,5 folioles.

La Mult4 présente approximativement la moitié de la surface foliaire totale de la lignée précédente Mult3, d'une valeur de 548,406 cm² répartie sur 17 nœuds, sachant que les quatre premiers nœuds n'ont aucune foliole. Alors que le nombre des folioles pour chaque nœud varie de 0,5 folioles à partir du 5^{ème} nœud jusqu'à 6 folioles pour les deux derniers nœuds (16,17). Cependant, cinq folioles portées par le nœud 11, étaient suffisantes pour donner la plus grande surface foliaire (58,868 cm²) parmi les autres nœuds.

Bien que la lignée Mult5 comprend 17 nœuds tel que la lignée Mult4, mais cela ne l'a pas empêchée d'avoir comme score 844,805 cm² pour la surface foliaire totale. En ce qui concerne le nœud le plus représentatif, cette lignée est décalée par un nœud par rapport à Mult4, le 10^{ème} nœud possède comme surface foliaire 72,668 cm² réparti sur 6 folioles.

La lignée Mult6 n'est pas loin de la lignée Mult3. Elles sont très proches du point de vue surface foliaire totale, alors que Mult6 ayant comme surface foliaire totale 1176,235 cm² répartie sur 19 nœuds dont le nombre maximal des folioles par nœud est 6,5 au niveau du 17^{ème} nœud. La surface foliaire du 18^{ème} nœud est la plus grande par rapport aux autres nœuds de la même lignée et par rapport aux autres lignées (Mult1, Mult2, Mult3, Mult4, Mult5), ayant une valeur de 99,333 cm².

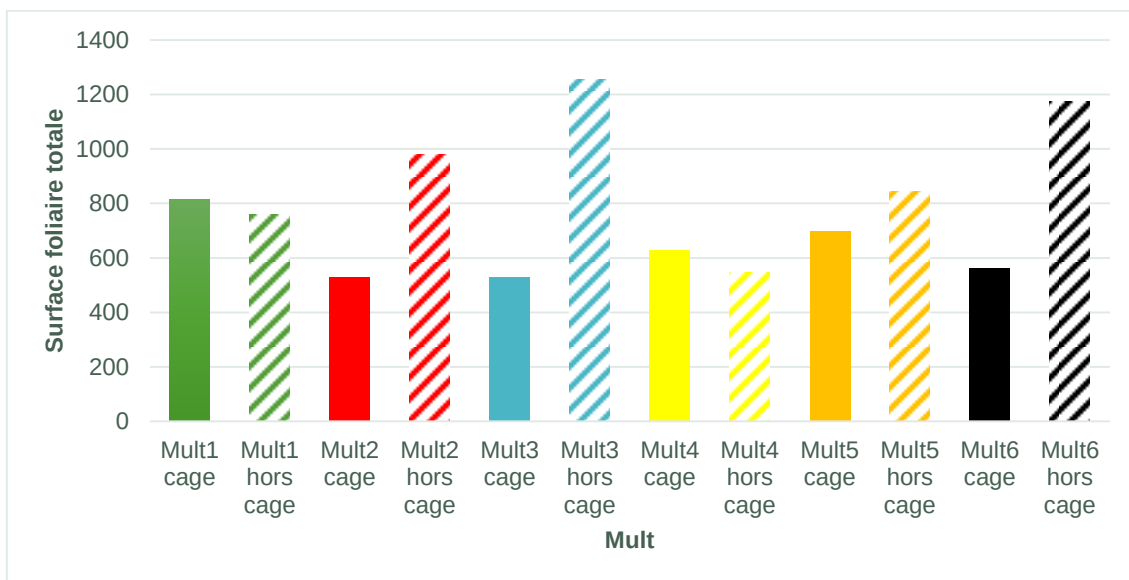


Figure 7 : Surface foliaire totale des six lignées cultivées hors cage et sous cage.

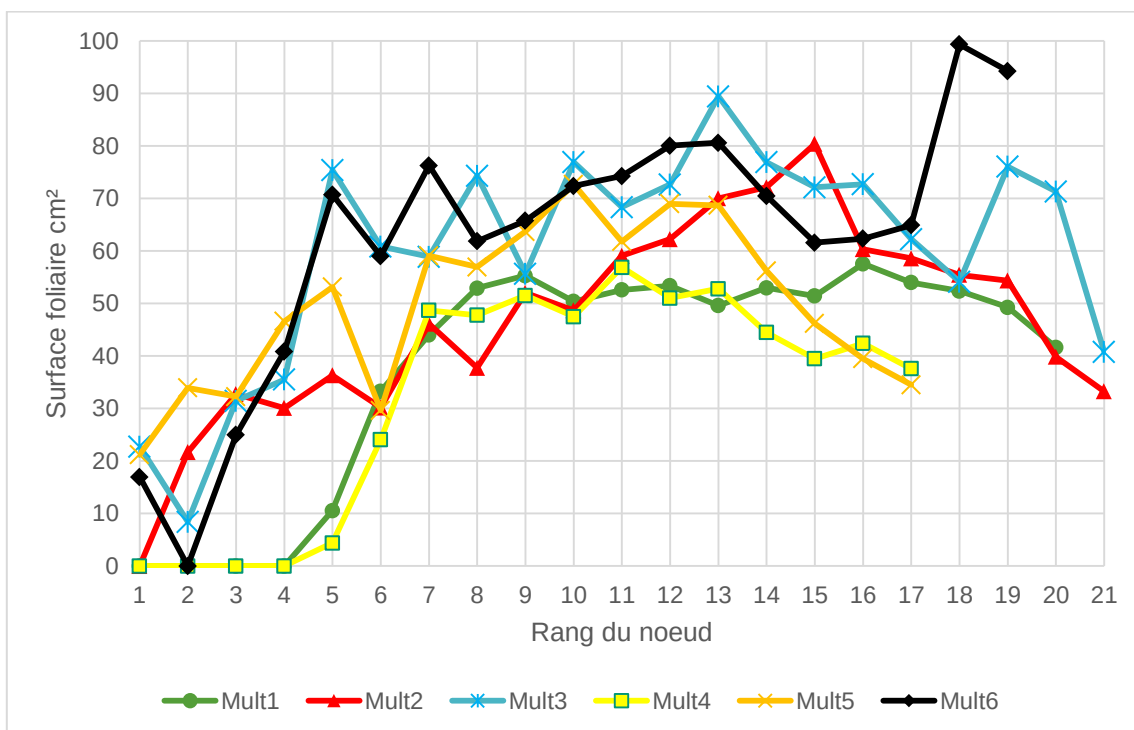


Figure 8 : Evolution de la surface foliaire des lignées cultivées hors cage.

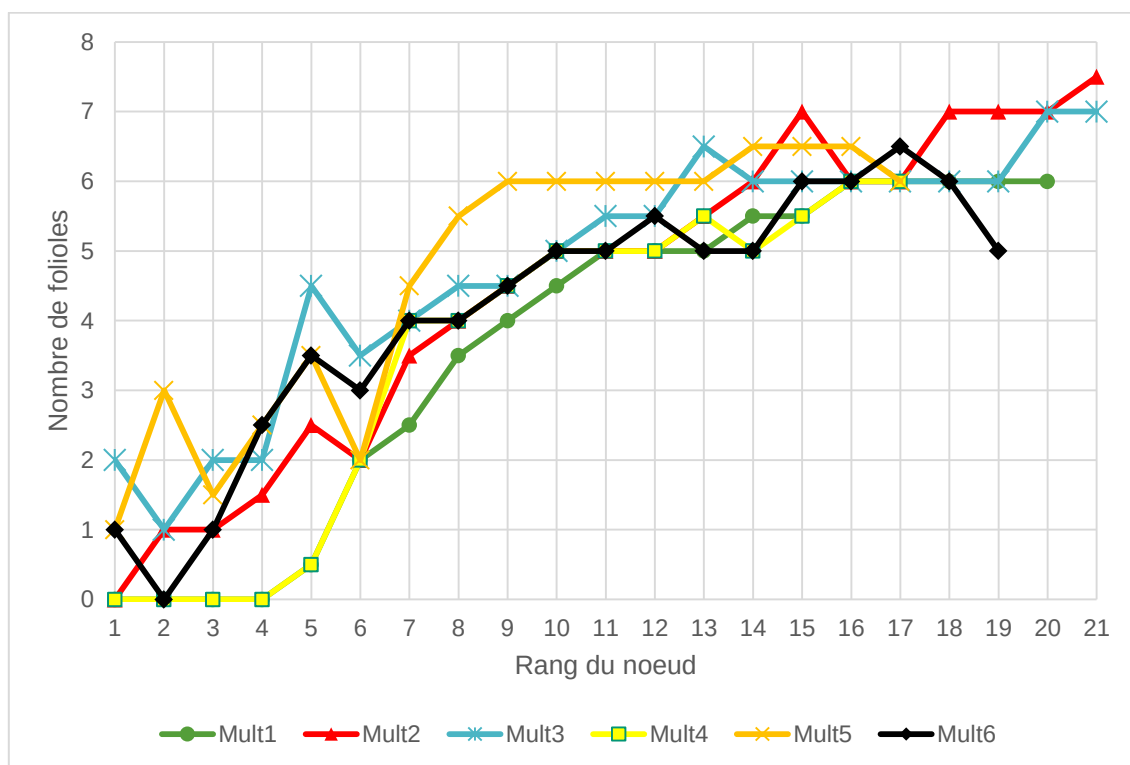


Figure 9 : Variation des folioles en fonction du rang du nœud pour les lignées cultivées hors cage.

2- Variation de la Surface foliaire des différentes lignées sous cage :

L'analyse des figures 7,10 et 11 nous ont permis les constatations suivantes :

Chez la lignée Mult1, le nombre total des folioles est de 82 folioles donnant une surface foliaire totale de 815,635 cm² répartie sur 22 nœuds, sachant que l'apparition des folioles commence dès le 6^{ème} nœud jusqu'au 22^{ème} nœud avec un max de 6,5 folioles au niveau du nœud 19. Cette lignée est caractérisée par le nœud 21 présentant la plus grande surface parmi les nœuds, d'une valeur de 64,086 cm².

La lignée Mult2 présente une surface foliaire totale moins importante que la lignée précédente, d'une valeur de 530,530 cm² qui est la somme des surfaces foliaires de 74 folioles réparties sur 21 nœuds dont le plus élevé est le 19^{ème} nœud avec une surface foliaire de 50,290 cm².

La lignée Mult3 est très proche de Mult2 en se basant sur la surface foliaire totale d'une valeur de 529,782 cm², sachant que cette lignée est composée de 23 nœuds donnant 62,5 folioles dans le total.

La lignée Mult4 possède 22 nœuds dont les 7 premiers sont vides, alors que les premières folioles commencent avec le 8^{ème} nœud dont la surface foliaire est importante suivie du 9^{ème} nœud qui a la surface foliaire la plus élevée d'une valeur de 52,831 cm². La surface foliaire totale commence à augmenter de nouveau en passant par la lignée Mult5 qui possède une surface foliaire totale importante grâce aux 84 folioles qui sont réparties sur 25 nœuds.

La surface foliaire totale de Mult6 (561,754 cm²) est légèrement supérieure au Mult2 et 3.

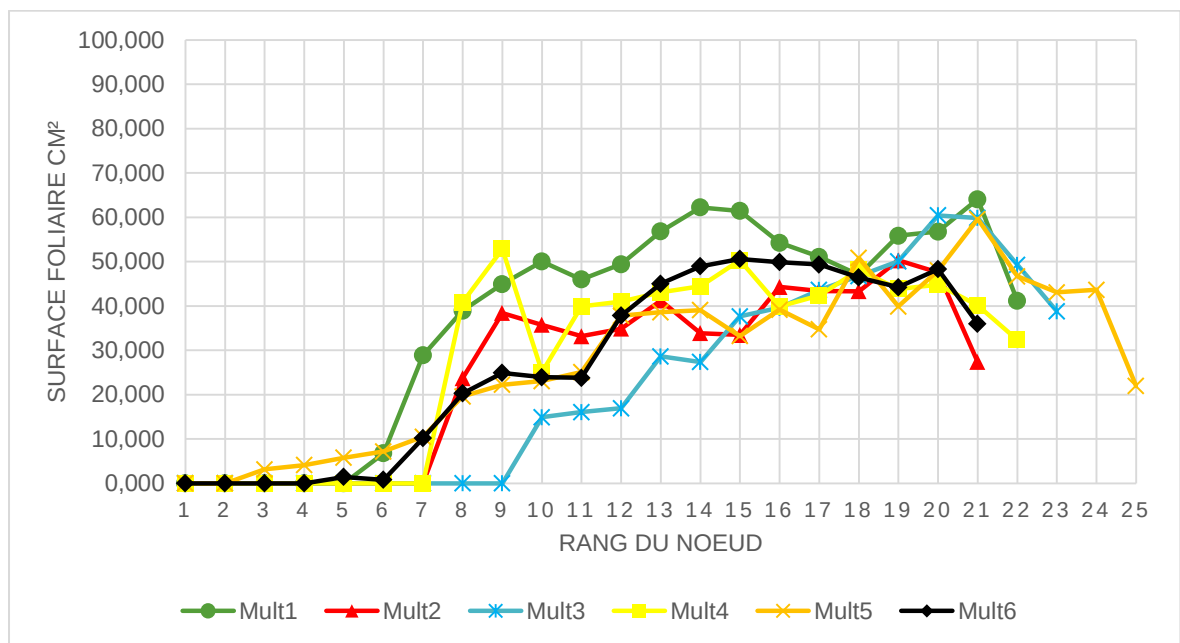


Figure 10 : Evolution de la surface foliaire des lignées cultivées sous cage.

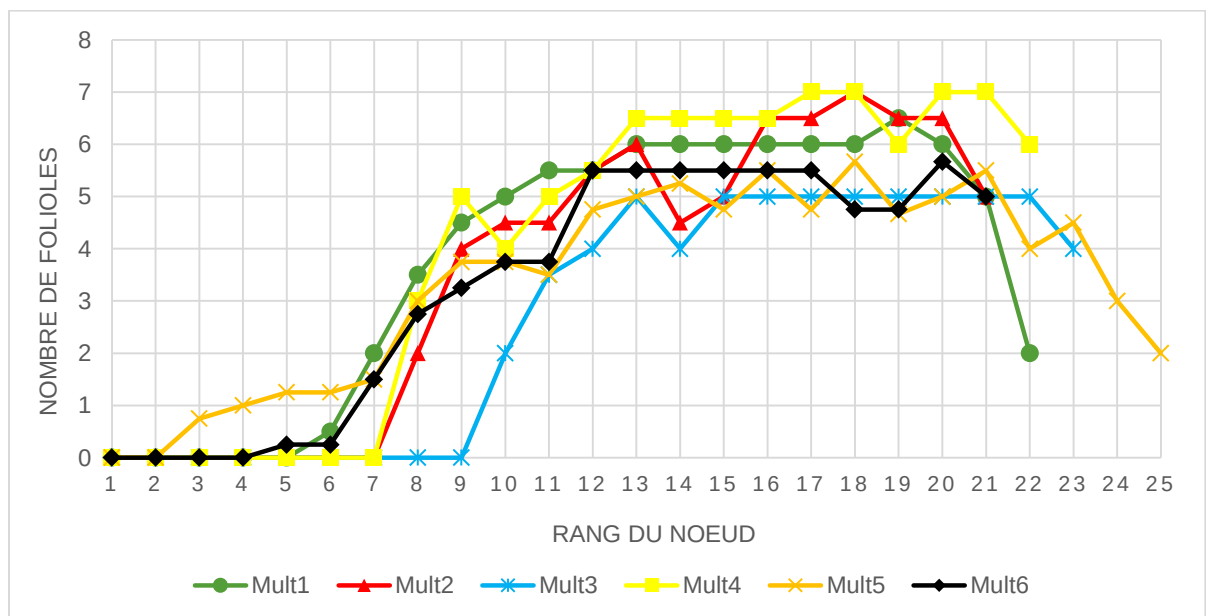


Figure 11 : Variation des folioles en fonction du rang des nœuds pour les lignées cultivées sous cage.

3- Comparaison de l'évolution les lignées cultivées hors cage et sous cage :

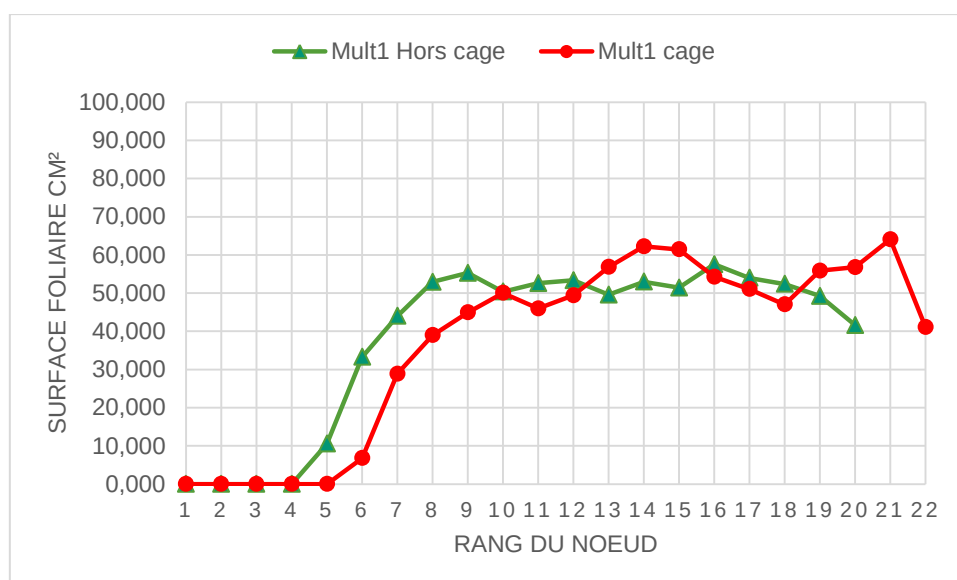


Figure12 : Surface foliaire en cm² de la lignée Mult1 hors cage et sous cage.

D'une façon générale, il semble que les deux courbes suivent presque la même tendance. Chez la lignée Mult1 hors cage, la surface foliaire commence avec le 5^{ème} noeud d'une valeur de 10,547 cm² en continuant à augmenter jusqu'au 9^{ème} noeud d'une valeur de 55,292 cm². A partir de ce dernier, la surface foliaire reste relativement stable jusqu'au 16^{ème} noeud avec une valeur maximale de 57,546 cm², pour commencer à diminuer jusqu'au 20^{ème} noeud avec une valeur de 41,618 cm². Chez la lignée Mult1 sous cage, la surface foliaire commence avec le 6^{ème} noeud en augmentant jusqu'au 10^{ème} noeud qui correspond à son homologue hors cage. A partir de ce niveau-là, nous remarquons qu'il y a un chevauchement entre les deux courbes. A partir du 19^{ème} noeud, Mult1 sous cage a une surface foliaire plus importante que pour Mult1 hors cage. Mult1 sous cage a eu des feuilles jusqu'au noeud 22 alors que hors cage, la dernière feuille était au niveau du noeud 20. (Figure 12)

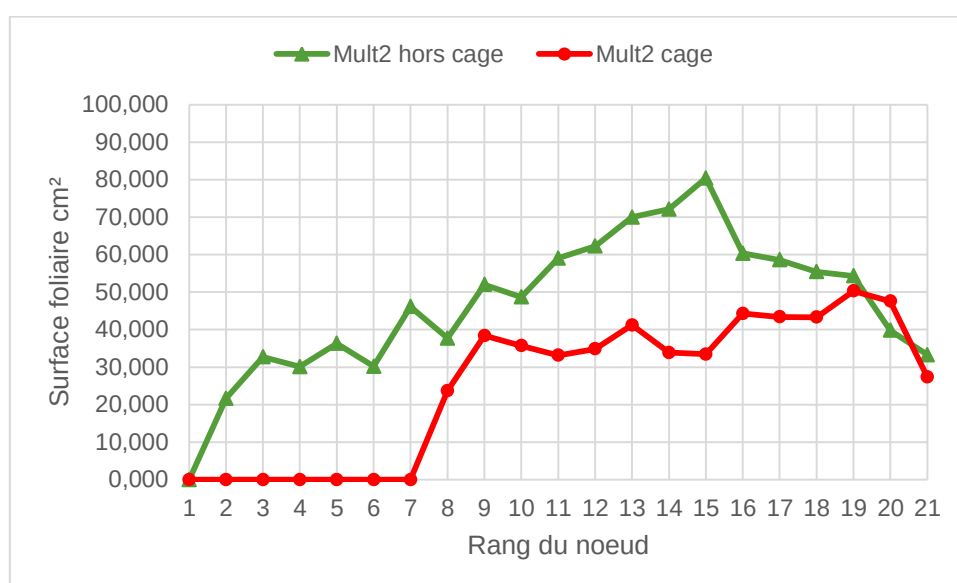


Figure13 : Surface foliaire en cm² de la lignée Mult2 hors cage et sous cage.

La figure 13 montre que chez la lignée Mult2 hors cage, la courbe demeure ascendante oscillatoire jusqu'au 10^{ème} nœud, l'évolution devient strictement croissante pour atteindre une valeur maximale de 80,376 cm² pour le 15^{ème} nœud. A ce point, la courbe devient décroissante pour prendre fin au 21^{ème} nœud avec une valeur de 27,348 cm². Pour la lignée Mult2 sous cage, la courbe prend départ avec le 8^{ème} nœud. A partir de ce nœud, la surface foliaire par nœud continuera d'augmenter pour atteindre un maximum de 50,290 cm² au niveau du nœud 19. Enfin, la courbe commence à diminuer pour s'arrêter au 21^{ème} nœud.

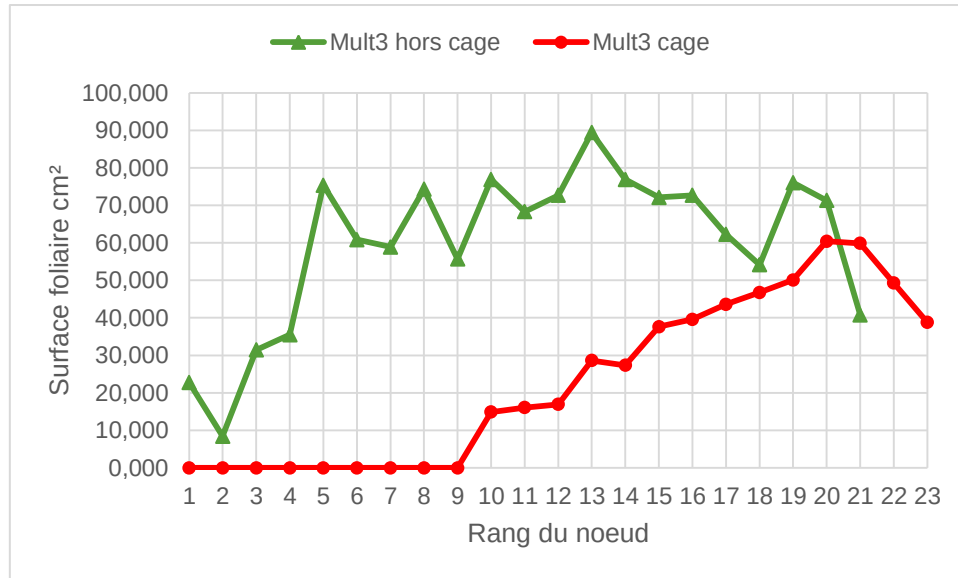


Figure14 : Surface foliaire en cm² de la lignée Mult3 hors cage et sous cage.

L'évolution de la surface foliaire chez la lignée Mult3 hors cage commence dès le premier nœud jusqu'au 21^{ème} nœud, cette courbe évolue d'une façon croissante en zigzag. Le 13^{ème} nœud présente le pic de cette courbe avec une valeur max de 89,409 cm², pour prendre par la suite une tendance décroissante qui prend fin avec le 21^{ème} nœud d'une valeur de 40,785 cm². Cependant que la courbe correspondante de la lignée Mult3 sous cage prend départ avec le 10^{ème} nœud, la surface foliaire demeure stable jusqu'au 12^{ème} nœud, puis la courbe croît d'une façon continue jusqu'à le 20^{ème} nœud qui présente le pic de cette courbe avec une valeur max de 60,407 cm² suivi d'une valeur approximative correspondante au 21^{ème} nœud en descendant vers le 23^{ème} nœud. (Figure 14)

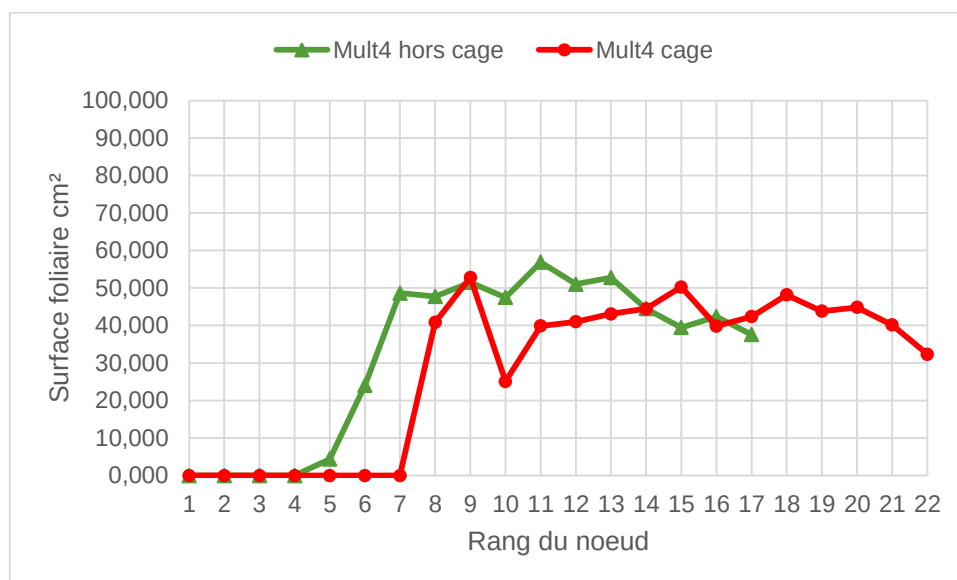


Figure15 : Surface foliaire en cm² de la lignée Mult4 hors cage et sous cage.

Concernant la lignée Mult4 en général, les deux courbes tendent vers la même tendance en se situant entre 20 et 60 cm², la première courbe de Mult4 hors cage commence avec une valeur minimale de 4,396 cm² appartenant au 5^{ème} nœud. La courbe croît continuellement jusqu'au 7^{ème} nœud avec une valeur de 48,658 cm², puis la courbe montre un palier qui s'arrête au 10^{ème} nœud. Au 11^{ème} nœud, nous notons un pic avec une valeur maximal de 56,868 cm². Ensuite la courbe devient descendante pour prendre fin au 17^{ème} nœud. Cependant, Mult4 sous cage commence à avoir des feuilles à partir du 8^{ème} nœud d'une valeur de 40,839 cm², alors qu'il y a un certain chevauchement entre les deux courbes qui commence avec le pic appartenant au 9^{ème} nœud identique à son homologue hors cage, d'une valeur max de 52,831 cm². Par la suite la courbe a connu une chute moyenne juste après ce pic pour croître de nouveau vers le 2^{ème} pic se situant au 15^{ème} nœud. Contrairement à Mult4 hors cage, la lignée cultivée sous cage à montrer des feuilles jusqu'au 22^{ème} nœud. (Figure 15)

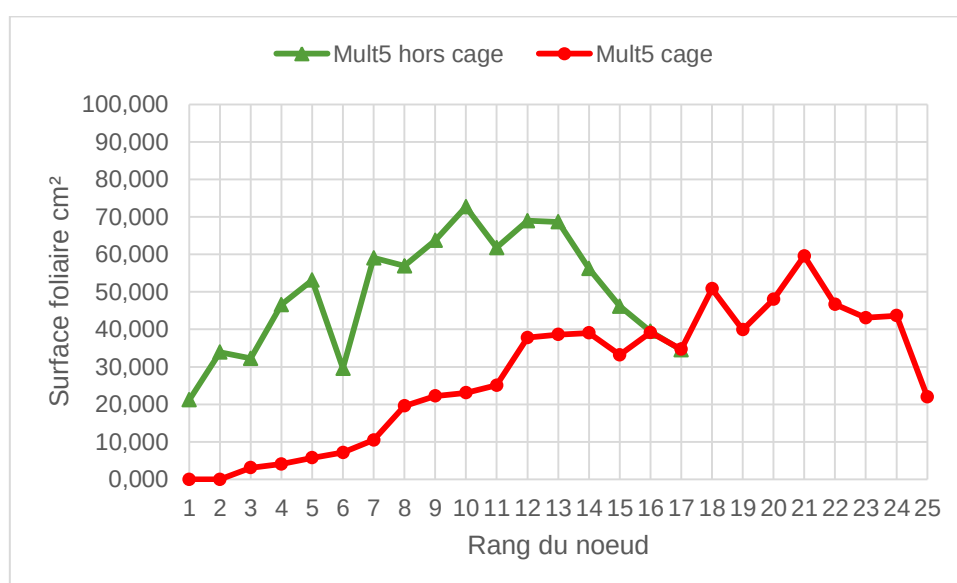


Figure16 : Surface foliaire en cm² de la lignée Mult5 hors cage et sous cage.

La courbe Mult5 hors cage commence avec une valeur min de 21,212 cm² appartenant au premier nœud. Malgré qu'il y ait une chute au niveau du nœud 5, la courbe continue sa croissance vers un pic qui correspond au 10^{ème} nœud avec une valeur maximal de 72,668 cm². Après une deuxième chute, la courbe désigne un palier qui décroît par la suite d'une façon continue en s'arrêtant au 17^{ème} nœud. En ce qui concerne la courbe Mult5 sous cage, nous remarquons que la partie majeure de la courbe évolue en 3 blocs par une marge de 10 cm², commençant par le 3^{ème} nœud en montant jusqu'au 7^{ème} nœud. A partir de ce dernier, la courbe continue à augmenter jusqu'au 14^{ème} nœud puis l'évolution a devient oscillatoire jusqu'au 21^{ème} nœud qui présente la plus grande surface foliaire (59,579 cm²), enfin la courbe devient décroissante en atteignant le nœud 25 pour la première fois parmi toutes les lignées. (Figure 16)

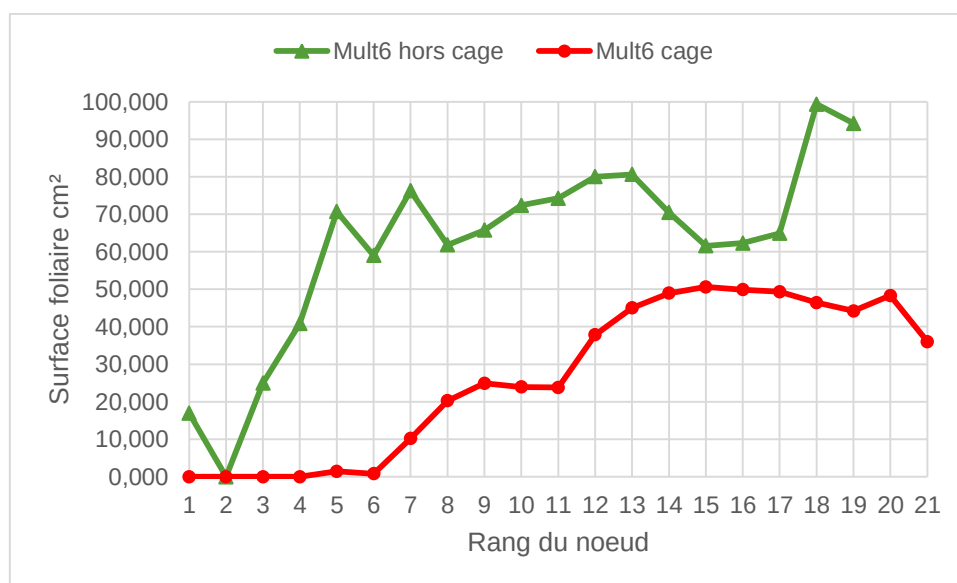


Figure17 : Surface foliaire en cm² de la lignée Mult6 hors cage et sous cage.

La courbe Mult6 hors cage prend départ dès le premier nœud en continuant à croître sauf qu'il y a une chute au niveau du nœud 2, la courbe désigne deux pics successifs qui correspondent aux nœuds 5 et 7 en se situant entre 70 et 80 cm². Après une chute faible vers les 60 cm² la courbe croît de nouveau en atteint les 80 cm² sous forme d'un palier. Par la suite on aura une concavité en se dirigeant vers le haut pour atteindre 99,333 cm² au niveau du nœud 18 suivie du dernier nœud qui a une valeur proche de lui. Alors que la courbe Mult6 sous cage commence à partir du 7^{ème} nœud malgré que sa valeur soit très faible. Nous remarquons que la courbe est bimodale, en croissant jusqu'au nœud 9 puis en se stabilisant jusqu'au nœud 11 ensuite la courbe croît de nouveau jusqu'au nœud 15 qui a une surface foliaire élevée (50,597 cm²), enfin la courbe décroît jusqu'à le nœud 21, en dépassant la courbe Mult6 hors cage qui s'arrête au 19^{ème} nœud. (Figure 17)

DISCUSSION :

D'après l'analyse des différents graphes représentant la surface foliaire des six lignées de la fève, cultivées hors cage et sous cage, nous avons remarqué qu'il y a une affinité entre Mult1 et 4. Alors que leurs courbes ont la même tendance (Figure 12, 15). Malgré que les nœuds des lignées cultivées sous cage soient un peu plus nombreux que celui des lignées hors cage, seulement Mult1 et 4 qui n'ont pas de différence concernant la surface foliaire totale sous cage et hors cage. (Figure 7)

La lignée Mult5 a légèrement plus de surface foliaire hors cage que sous cage, malgré que cette dernière dépasse l'autre par 8 nœuds. (Figure 7, 16)

Le point commun entre les lignées 2, 3 et 6, c'est que leur surface foliaire hors cage est beaucoup plus importante que sous cage. (Figure 7)

Sous cage, le manque des feuilles au niveau des nœuds inférieurs est compensé par la présence des feuilles au niveau des nœuds supérieurs. Surtout qu'il n'y a pas autant de lumière que hors cage, ce qui se traduit par le phénomène d'étiollement. Les plantes deviennent longues et grêles, donc plus de nœuds. C'est le cas pour Mult5, qui se trouve dans le côté orienté vers le Nord-Ouest, en atteignant 25 nœuds pour capter plus de lumière. Contrairement aux lignées qui sont proche des périphéries dirigées vers le Sud-Est, en bénéficiant de plus de lumière du soleil.

Malgré que cette année a connu une mauvaise répartition des précipitations, d'après notre observation sur le terrain et dans la cage, nous avons remarqué que les cultures hors cage semblent saines, rigoureuses et présentent plusieurs ramifications avec des racines profondes, contrairement aux cultures sous cage qui sont très virosées et faibles avec des racines courtes.

VI- CONCLUSION ET PERSPECTIVES :

Plus les feuilles ont une surface développée, plus elles captent l'énergie du soleil et plus les échanges de gaz avec l'atmosphère sont efficaces, donc la surface foliaire est une variable importante pour la détermination de la production d'une culture.

L'étude de la variabilité de la surface foliaire des lignées de fève nous a permis d'estimer l'évolution de ces lignées face aux contraintes biotiques et abiotiques, alors que parmi les facteurs qui agissent sur l'expansion des feuilles de la fève, nous pouvons considérer les précipitations et la concurrence entre les plantes.

Les résultats obtenus au niveau de la surface foliaire des six lignées cultivées hors cage et sous cage, montrent que les lignées du champ ont une surface foliaire beaucoup plus importante que les lignées de la cage. Mult3 et Mult6 ont la surface foliaire totale la plus importante hors cage. alors que sous cage, la Mult1 a la plus grande surface foliaire.

Dans les conditions de cette année, bien que Mult3 a donné le maximum de surface foliaire totale hors cage, elle a donnée une surface foliaire totale minimale sous cage.

PERSPECTIVES :

Répéter l'expérimentation sous de bonnes conditions optimales pour la croissance et le développement.

- Andaloussi Abbad F., S. Sellami, N. Kachouri, M. Kharrat and M. Hamaoui.** 1996. Le Nématode des Tiges, *Ditylenchus dipsaci*, parasite de la fève et la féverole (*Vicia faba*) dans le Maghreb. In: Rehabilitation of Faba Bean. W. Bertenbreiter & M. Sadiki, (ed), 159-166.
- Beerling, D.J., J.C. Fry.,** 1990. A comparison of the accuracy, variability and speed of five different methods for estimating leaf area. *Ann. Bot.* 65, 483– 488.
- Begg J.E. et Turner N.C.,** 1976. Crop water deficits. *Adv. Agronomy*, 28, 161-217.
- Blanco, F.F., M.V. Folegatti.** 2005. Estimation of leaf area for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)* 62, 4.
- 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., and M.H. Poulsen.** 1983. Pollinisation. In: The Faba Bean (*Vicia faba* L.). Hebblethwaite P.D. (Eds.), Butterworth, London: 77-101.
- Brink M, G. Belay.** 2006. Ressources végétales de l’Afrique tropicale 1 : céréales et légumes secs Prota, Pays Bas pp.221-223.
- Chaux C. and C. Floury.** 1994. légumineuses potagères, légumes, fruits. Production légumière sec, Tome 3, *Technique et documentation Lavoisier* : 3-15.
- Dajoz, R.** 2000. Eléments d’écologie. Ed. Bordas. Paris, 5ème édition. 631pp.
- Daoui k.** 2007. Recherche de stratégies d’amélioration de l’efficience d’utilisation du phosphore chez la fève dans les conditions d’agriculture pluviale au Maroc. Thèse de doctorat. Science agronomique et ingénierie biologique. Louvain.227p.
- Daughtry, C.,** 1990. Direct measurements of canopy structure. *Remote Sens. Rev.* 5, 45–60.
- De Costa, W.A.J. M., Dennett, M.D., Ratnaweera, U. and Nyalemegbe, K.** 1997. Effects of different water regimes on field-grown determinate and indeterminate faba bean (*Vicia faba* L.). II. Yield, yield components and harvest index. *Field Crops Research* 52: 169–178.
- de Jesus Jr. W.C., R.R. do Vale, F.X.R. Coelho, L.C. Costa,** 2001. Comparison of two methods for estimating leaf area index on common bean. *Agron. J.* 93, 989–991.
- De Marco A., C. De Simone, M. Raglione and P. Lorenzoni.** 1995. Influence of soil characteristics on the clastogenic activity of maleic hydrazide in root tips of *Vicia faba*. *Genet. Toxicol. Environ. Mutag*, 5-12.
- different water regimes on field-grown determinate and indeterminate faba bean (*Vicia faba* L.), 90 :106-115.
- Duc G.** 1997. Faba bean (*Vicia faba* L.). *Field Crops Research*. 53: 99-109.

- Fatemi, Z.** 1996. Situation de la Culture des Fève au Maroc. In: Rehabilitation of Faba Bean. Bertenbreiter W. and M. Sadiki (Eds.), 33-38.
- Fatemi, F., F. AAbbad., and B. Sakr.** 2005. La création variétale à l'INRA méthodologie acquis et perspectives 139-145, Edited by Abbad Andaloussi, Abdalhaq Chahbar.
- Ferrara G., E. Loffredo and N. Senesi.** 2004. Anticlastogenic, antitoxic and absorption effects of humic substances on the mutagen maleic hydrazide tested in leguminous plants. *Eur. J. Soil Sci.* 55: 449-458.
- Gamiely, S., W.M Randle, W.A. Milks, D.A. Smittle.** 1991. A rapid and non-destructive method for estimating leaf area of onions. *Hortscience* 26 (2), 206.
- Gordon, M. M.** 2004. Haricots secs : Situation Prospectives et Agroalimentaire. Canada. p.1-7.
- Guignard, J.L.** 1989. Abrégés de botaniques, 5ème édition : 173-176.
- Hebblethwaite, P. D., G. C. Hawtin, and P. J. W. Lutman.** 1983. The Husbandry of Establishment and Maintenance. In the Faba bean. (*Vicia faba* L.): Edited by P. D. Hebblethwaite. p. 271-312.
- Hsiao, T.C., Silk, W.K. and Jing, J.** 1985. Leaf growth and water deficits: biological effects. In: Control of leaf growth, (Baker, N.R., Davies, W.J. and Ong, C.K., eds.), p. 239– 266. Cambridge: Cambridge University Press.
- Jensen ES, Peoples MB, Hauggaard-Nielsen H.** 2010. Faba bean in cropping systems. *Field Crops Research.* 115: 203-216.
- Kandiannan, K., C. Kailasam, K.K. Chandaragiri, N. Sankaran.** 2002. Allo-metric model for leaf area estimation in black pepper (*Piper nigrum* L). *J. Agron. Crop Sci.* 188, 138–140.
- Kanaya N., B.S Gill, I.S. Grover, A. Murin, R. Osiecka, Sandhu S.S. & Andersson H.C.** 1994. *Vicia faba* L, chromosomal aberration assay. *Mutat. Res. -Fundam. Mol. Mech. Mutag.* 310 (2) : 231-247.
- Khaldi R., S. Zekri, M.E.H. Maatougui and A. Ben Yassine.** 2002. l'économie des légumineuses alimentaires au Maghreb et dans le monde. Proceeding du 2ème séminaire du réseau remafeve/remala. « le devenir des légumineuses alimentaires dans le Maghreb ». Hammamet, Tunisie, 100p.
- Lecoeur, J. and Sinclair, T.R.** 1996. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits. *Crop Science* 36: 331–335
- Le Guen, J., and G. Duc.** 1992. La féverole. In « Amélioration des espèces végétales cultivées », Gallais A., Bannerot H. (Eds.), 189-203.
- Le Guen, J. and G. Duc.** 1996. La Féverole. In : Amélioration des Espèces Végétales Cultivées : Objectifs et Critères de Sélection. A. Gallais et H. Bannerot (Eds.), 189-203.
- López-Bellido F.J., L. López-Bellido, R.J. López-Bellido.** 2005. Competition, growth and yield of faba

bean (*Vicia faba* L.). *Europ. J. Agronomy* 23,359-378.

Loss S.P, K.H.M. Siddique. 1997. Adaptation of faba bean (*Vicia faba* L.) to dryland Mediterranean-type-environment. I. seed yield and yield compenents. *Field Crops Research*. 52: 17-28.

Lu, H.Y., C.T. Lu, M.L. Wei, L.F. Chan. 2004.Comparison of different models for non-destructive leaf area estimation in Taro. *Agron. J.* 96, 448–453.

Maatougui, M. E. H. 1996. Situation de la culture des Fèves en Algérie et perspectives de relance In : Rehabilitation of Faba bean. Bertenbreiter W. and M. Sadiki (Eds.), 17-30.

Mabsoute, L. 1988. Distribution et importance des principaux parasites et maladies des cultures de fève et de pois chiche au Maroc. Rapport de prospections, INRA-ICARDA. 36pp.

Motel, J. V. 1972. Die archaologish restes der Ackerbohne *Vicia faba* L. and die ganasse der Art Kulturpfl. 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.

Mwanamwenge J., S.P. Loss, K.H.M. Siddique P.S. Cocks. 1998. Growth, seed yield and water use of faba bean (*Vicia faba* L.) in a short season Mediterranean-type environment, *Aust. J. Exp. Agr.* 38, 171–180.

Norman, J.M., G.S. Campbell. 1989. In: Pearcy, R.W., Ehleringer, J.R., Mooney, H.A., Rundel, P.W. (Eds.), *Canopy structure plant physiological ecology: field methods and instrumentation*. Chapman and Hall, London and New York, pp. 301–325.

Nykwende, E., C.J. Paull, J.G. Atherton. 1997. Non-destructive determination of leaf area in tomato plants using image processing. *J. Hortic. Sci.* 72, 255–262.

Polhill, R. M. and Vander Maesen. 1985. Taxonomy of Grain Legumes. In *Grain legume Crops*: Edited by R. J. Sumer field and E. H. Roberts, p. 3-36.

Rachef S.A., F. Ouamer, A. Ouffroukh. 2005. Inventaires de ravageurs de la fève en Algérie (identification et caractérisation). *Recherches Agronomiques*.16 :36-41pp.

Radetski C.M., B. Ferrari, S. Cotellet, J.F. Masfaraud and J.F. Ferard. 2004. Evaluation of the génotoxic, mutagenic and oxidant stress potentials of municipal solid waste incinerator bottom ash leaf chates. *Sci. Total Environ.* 33 : 209-216.

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

Sadiki M., and A. Lazrak. 1998. La fève et la féverole : Fiche technique. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II (eds.). 31pp.

- Sang N., and G. Li.** 2004. Genotoxicity of municipal landfill leachate on root tips of *Vicia faba*. L, *Mutat. Res.-Genet. Toxicol. Environ. Mutag.* 560 (2) :159-165.
- Silim S.N., M.C. Saxena.** 1992. Comparative performance of some faba bean (*Vicia faba* L.).
- Sinclair, T.R., Muchow, R.C., Ludlow, R.C., Leach, M.M., Lawn, R.J. and Foale, M.A.** 1987. Field and model analysis of water deficits on carbon and nitrogen accumulation by soybean, cowpea and black gram. *Field Crops Research* 17: 121–140
- Soltani, A., Khooie, F.R., Ghassemi-Golezani, K. and Moghaddam, M.** 2000. Thresholds for chickpea leaf expansion and transpiration response to soil water deficits. *Field Crops Research* 68:205–210.
- Turner N.C. et Jones M.M.,** 1980. Turgor maintenance by osmotic adjustment: A review and evaluation. (Adaptation of plants) to water and high temperature stress. Ed. Turner N.C. et Kramer P.J.). John Wiley et Sons, New York, 87-103.
- Uzun, S., H. Celik.** 1999. Leaf area prediction models (Uzcelik-I) for different horticultural plants. *Tr. J. of Agric. For.* 23, 645–650.
- Villegas, C.D., A.T. Bautista, F.R. Cotejo Jr.,** 1981. Accurate and rapid techniques for leaf area measurement in cassava and sweet potato. *Radix* 3, 10.
- Withers N. J.** 1984. Components of lupin seedyield. *Proceedings of 3rd International Lupin Conference.*
La Rochelle, France : pp. 27

