

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université 20 Août 1955 Skikda

Faculté des Sciences

Département des Sciences Agronomiques



Filière : Sciences Agronomiques

Option : système de production Agroécologie

Mémoire de fin d'études :

En vue de l'obtention du diplôme de Master II en Agronomie

Thème :

**Modélisation De La Croissance Chez Une Culture
In Vitro De Fève (*Vicia Faba*)**

Présenté par :

- ...LAHIOUEL AHLEM
- ...HOUCHAT IBTISSEM...
- ...MGHASSEL NESSRINE...

Membres de Jury :

Mme : Guerred Chahra Zed	(MCB) Président	Université du 20 Août 1955 – Skikda
Mr : Saad Allah Said	(MAA) Examineur	Université du 20 Août 1955 – Skikda
Mr : Hannachi Abdelhakim	(MCA) Promoteur	Université du 20 Août 1955 – Skikda

Année universitaire : 2021-2022

REMERCIEMENTS

Au nom de Dieu, et louanges à Dieu, dont la bonne grâce est complète, et merci à Lui pour sa grande générosité pour notre succès dans la réalisation de cette étude.

*Je dédie cet humble travail aux honorables parents, que Dieu prolonge leur vie, qui ont été un phare et un phare tout au long de mon parcours universitaire. Je dédie également ce travail à mes frères, ma famille élargie et tous mes amis, en particulier mon mari, qui ont soutenu moi tout au long de la période de travail. J'adresse également mes remerciements au **professeur Hannachi Abdelhakim** pour sa supervision et pour avoir fourni tout le soutien et les conseils précieux.*

Et enfin merci à tous.

Dédicace

*A ceux qui n'ont pas d'égal dans l'univers, que Dieu nous a ordonné d'honorer, qui ont tant fait, et qui ont donné l'irréparable, voici ces mots, **mes chers père et mère**, je vous dédie cette recherche. Été mon meilleur soutien tout au long de mon parcours universitaire.*

*Je dédie également ce travail à **mes frères**, en particulier **mon mari**, qui m'a soutenu tout au long du travail.*

Enfin, nos remerciements s'adressent à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

AHLEM

Dédicace

*Je dédie ce travail à mes très chers parents à **ma mère** qui m'a toujours soutenue dans tous les étapes de ma vie à **mon père** qui m'a toujours donné l'espoir et la volonté de réussir.*

*A mes frères **Nassim. Nidal** et ma chère sœur ma princesse **Nada***

*A mes chères amis **Chaïma, Zahra, Amina***

*A ma chère et deuxième mère qui nous a quitté, tante **Malika***

*A mes sœurs que ma mère n'a pas enfantées **Chaïma Zahra Amina Wafa Nabila et Habiba***

*A tous mes collègues de semé année à partir de mes binômes **Ahlem et Ibtissem***

Au professeur qui nous a accompagnés pour remplir le mémo monsieur

Hannachi Abed el Hakim

NESSRINE

Dédicace

Il y a quelques jours, j'ai commencé d'un par Aujourd'hui

*Je récolte les fruits de mes efforts au fil des années, mon objectif était clair et j'ai efforçais
chaque jour de l'attendre peu importe la difficulté*

*Je dédie ceci à celle qui m'a donné son Song. Son âme et sa vie avec amour et détermination
et pour avenir meilleur*

Ma Mère

Au chez qui ne voit l'espoir que dans l'éclat de ses yeux et il était un fort

MON PÈRE

Ace lui qui m'a donné une idée et qu'a été vraiment un soutien et mon partenaire de vie

À MON MARI

*A qui leur amour coule dans mes vienne et leur mémoire occupe mon cœur. Aux colures purs
et doux et au âmes innocentes*

MES FRÈRES ET SOURS ET MA PETITE FILLE

IBTISSEM

ملخص

مع تطور الزراعة، أدى ذلك إلى اكتشاف تقنيات حديثة في الميدان الزراعي لتحسين كمية ونوعية المنتج. من بين هذه التقنيات النمذجة الرقمية، والتي تعتمد على تكوين مجموعة من العلاقات الرياضية التي تصف ظاهرة نباتية. مثل نمو النبات (ظهور الأوراق، طول الساق)

يتم عمل النماذج الزراعية من خلال طرق التدريس البسيطة وطرق البحث وطرق التحكم في النبات. لقد أجرينا تجربة على نبات الفول (*Vicia faba*)، ودرسنا نموها لمدة 44 يوم مع إضافة مغذيات طبيعية (ماء الصفصاف وماء البزلعاء) مع شاهد في ماء الحنفية.

أجريت الدراسة في معمل كيمياء التربة في جامعة 20 اوث 1955 في سكيكدة، حيث للأسف لم نتمكن من التحكم في درجة الحرارة والضوء. نبتت البذور في أطباق بتري في وسط رطب يتكون من (ورق ماص + ماء حنفية).

يتبين بالنسبة للنتائج عدم وجود اختلاف في طول الساق بالنسبة لكل النباتات، اما بالنسبة لطول الجذر وعدد الأوراق فهناك اختلاف، اما بالنسبة للنمو، فان قياس طول الجذر الاساسي وعدد الاوراق يبين وجود تأثير المغذيات على عملية النمو. يوضح التحليل الإحصائي بنسبة 5% وجود تأثير للمغذيات على عملية النمو والسرعة وكذلك كتلة الجذور والجزء العلوي للنباتات (نموذج خطي).

الكلمات المفتاحية: النمو، النمذجة، النموذج، السرعة، الفول *Vicia faba*.

Résumé

Avec le développement de l'agriculture, elle a conduit à la découverte de techniques modernes dans le domaine agricole pour améliorer la quantité et la qualité du produit. Parmi ces techniques figure la modélisation numérique, qui repose sur la formation d'un ensemble de relations mathématiques décrivant un phénomène végétal. Tels que la croissance des plantes (l'apparition des feuilles, phytomère), Les modèles agricoles sont réalisés par des méthodes pédagogiques simples, des méthodes de recherche et des méthodes de contrôle des plantes.

Nous avons fait une expérience sur la plante des fèves (*Vicia faba*), et étudier leur croissance pendant 44 jours avec l'ajoute des nutriments naturels (l'eau de pleureur et l'eau de petit pois) tout en surveillant l'eau du robinet.

L'étude a été menée dans le laboratoire de chimie du sol à l'université 20 aout 1955 à Skikda, où malheureusement nous ne pouvions pas contrôler la température et la lumière. Les graines ont été mises à germer dans des boîtes de Pétri dans un milieu humide constitué de (papier absorbant + eau du robinet). Il n'y a pas différence significative pour la taille des tiges, quant à la longueur des racines et le nombre des feuilles et les phytomères il y a une différence de toutes les plantes des trois essais. L'analyse statistique a 5% montre qu'il y a un effet pour les nutriments sur le processus de croissance et la vitesse ainsi que la production des biomasse aérienne et racinaire (**modèle linéaire**).

Mots clés : Croissance, Modélisation, Modèle, Vitesse, *Vicia faba*.

Abstract

With the development of agriculture, it led to the discovery of modern techniques in the agricultural field to improve the quantity and quality of the product. Among these techniques is numerical modeling, which is based on the formation of a set of mathematical relationships describing a plant phenomenon. Such as plant growth (the appearance of leaves, phytomer), agricultural models are made by simple teaching methods, research methods and plant control methods.

We did an experiment on the broad bean plant (*Vicia faba*), and studied their growth for 44 days with the addition of natural nutrients (weeping water and pea water) while monitoring the water in the faucet.

The study was conducted in the soil chemistry laboratory at the University August 20, 1955 in Skikda, where unfortunately we could not control the temperature and the light. The seeds were germinated in Petri dishes in a moist medium consisting of (absorbent paper + tap water).

There is no significant difference for the size of the stems, for the length of the roots and the number of the leaves and the phytomers there is a difference of all the plants of the three tests. Statistical analysis at 5% shows that there is an effect for nutrients on the growth process and the speed as well as the production of aerial and root biomass (linear model).

Keywords: Growth, Modeling, Model, Speed, *Vicia faba*.

LISTE D'ABREVIATION ET SIGLES

APSIM : Agricultural Production System Immola Tor

CERES: Crop Environment throw Resource Estimation Synthesis

FOA: Food and Agriculture Organizations

FAOSTAT: Food and Agriculture Organization of The United Nation

FSPM : fonctionnel-structural plant model

ITCMI : institut Technique Cultures Maraîchères Industrielles

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique.

PH : potentielle hydrogène.

Q/ha : : quintaine / hectare.

UNIP : Union Nationale Interprofessionnelle Plantes

PBM : Process-Base Modèle

STICS : Simulateur multidisciplinaire pour les Cultures Standard

NU1 : nutriment de pleureur

NU2 : nutriment de petits pois

LA LISTE DES TABLEAUX

Tableau n° 01 : Evaluation de la superficie et production de la fève en Algérie (ANONYME, 2016).....	11
Tableau n° 02 : Principaux ravageurs de la fève leurs dégâts et leurs moyens de lutte (Maouié al., 1990).....	14
Tableau n° 03 : Présentation de certains modèles de cultures utilisés en sciences agronomique.....	17
Tableau n° 04 : Technique de culture in vitro et leur principale application.....	17
Tableau n° 05 : la longueur des racines pour 1 -ème essais du fève (variété 1, eau de robinet)	53
Tableau n° 06 : la longueur des racines pour 1 -ème essais du fève (variété 1, eau de pleureur)	53
Tableau n° 07 : la longueur des racines pour 1 -ème essais du fève (variété 1, eau de petits pois).....	54
Tableau n° 08 : la longueur des racines pour 2 -ème essais du fève (variété 2, eau de robinet)	54
Tableau n° 09 : : la longueur des racines pour 2-ème essais du fève (variété 2, eau de pleureur)	54
Tableau n° 10 : la longueur des racines pour 2-ème essais du fève (variété 2, eau de petits pois).....	55
Tableau n° 11 : la longueur des racines pour 3 -ème essais du fève (variété 3, eau de robinet).....	55
Tableau n° 12 : la longueur des racines pour 3 -ème essais du fève (variété 3, eau pleureur)	56
Tableau n° 13 : la longueur des racines pour 3 -ème essais du fève (variété 3, eau de petits pois).....	56
Tableau n° 14 : la taille de tige pour le 1 essais de fève (variété 1, eau de robinet).....	56
Tableau n° 15 : la taille de tige pour le 1 essais de fève (variété 1, eau de pleureur)	57
Tableau n° 16 : la taille de tige pour le 1 essais de fève (variété 1, eau de petits pois).....	57
Tableau n° 17 : la taille de tige pour le 2 essais de fève (variété 2, eau de robinet).....	58

Tableau n°18 : la taille de tige pour le 2 essais de fève (variété 2, eau de pleureur)	58
Tableau n°19 : la taille de tige pour le 2 essais de fève (variété 2, eau de petits pois).....	58
Tableau n°20 : la taille de tige pour le 3essais de fève (variété 3, eau de robinet).....	59
Tableau n°21 : la taille de tige pour le 3 essais de fève (variété 3, eau de pleureur)	59
Tableau n°22 : la taille de tige pour le 3 essais de fève (variété 3, eau de petits pois).....	60
Tableau n°23 : le nombre des feuilles pour 1 ère essais de fève (variété 1, eau de robinet).....	60
Tableau n°24 : le nombre des feuilles pour 1 ère essais de fève (variété 1, eau de pleureur)	60
Tableau n°25 : le nombre des feuilles pour 1 ère essais de fève (variété 1, eau de petits pois).....	61
Tableau n°26 : le nombre des feuilles pour 2 ère essais de fève (variété 2, eau de robinet).....	61
Tableau n°27 : le nombre des feuilles pour 2 ère essais de fève (variété 2, eau de pleureur)	62
Tableau n°28 : le nombre des feuilles pour 2ère essais de fève (variété 2, eau de petits pois).....	62
Tableau n°29 : le nombre des feuilles pour 3 ère essais de fève (variété 3, eau de robinet).....	62
Tableau n°30 : le nombre des feuilles pour 3 ère essais de fève (variété 3, eau de pleureur)	63
Tableau n°31 : le nombre des feuilles pour3 ère essais de fève (variété 3, eau de petits pois).....	63
Tableau n°32 : Analyse de variance de longueur des racines pour les trois essais de fève	74
Tableau n°33 : Analyse de variance de la taille de tige pour les trois essais de fève	74
Tableau n°34 : Analyse de variance de nombre des feuilles pour les trois essais de fève	74

LA LISTE DES FIGURES

Figure01 : Différentes partis de la fève (Originale,2018).....	4
Figure 02 : cycle de vie de vie de fève (vicia faba).....	5
Figure 03 : Variétés de la fève (Vicia faba) en Algérie (Mezani, 2016).....	10
Figure 04 : Des taches sur les feuilles <anthracnose< (originale ; 2021).....	12
Figure 05 : Des taches rouge brunes sur les feuilles <Botrytis< (originale ; 2021).....	13
Figure 06 : Des taches brunes <rougeâtre< sur les feuilles rouille (originale ; 2021).....	13
Figure 07 : Mildiou infestant les feuilles de fève (originale ;2021.....	13
Figure 08 : Relations entre le taux d'organogenèse et le temps thermique pour le fève	22
Figure 09 : : fonctionnement de la plante au cycle n (barthélémy et al,1997)	24
Figure 10 : : Relation entre la masse et la surface pour les feuilles d'un tournesol (Guo et al,2006).....	26
Figure 11 : Déroulement d un cycle (Barthélémy et al,1997).....	27
Figure 12 : taille des tiges et longueur des racines moyennes de fève du trois essais (trois variété, eau de robinet).....	65
Figure 13 : le nombre moyennes des feuilles des cultures du fève (trois essais ,3variete, eau de robinet).....	67
Figure 14 : taille des tiges et longueur des racines moyennes de fève du trois essais (trois variété, eau de pleureur).....	68
Figure 15 : le nombre moyennes des feuilles des cultures du fève (trois essais ,3variete, eau de pleureur).....	70
Figure 16 : taille des tiges et longueur des racines moyennes de fève du trois essais (trois variété, eau de petits pois).....	71
Figure 17 : le nombre moyennes des feuilles des cultures du fève (trois essais ,3variete, eau de petits pois).....	73
Figure 18 : production de biomasse : croissance (wallach et al,2005).....	75
Figure 19 : système dynamique de la croissance des plante (wallach et al,2005).....	76
Figure 20 : : taille de tige et la longueur des racines moyennes (production de biomasse : croissance).....	76

Figure 21 : nombre des feuilles moyennes (production d'organe : développement)	77
Figure 22 : système dynamique de e croissance de la culture de fève (vicia faba)	78

A LISTE DES PHOTOS

PHOTO 01 : Les différentes parties de la fève <i>Vicia faba</i> L. (Thomé 1885). A : Système caulinaires. B : Système racinaires	7
PHOTO 02 : les matériels de laboratoire	45
PHOTO 03 : les graines des fèves variété (hystal, bahi, Séville).....	46
PHOTO 04 : : les germes des graines de fève (<i>vicia faba</i>).....	47
PHOTO 05 : l'installation de fève dans les pots... ..	48
PHOTO 06 : la couleur des feuilles des culture dans les trois essais de fève	50
PHOTO 07 : l'observation de phytomère dans les trois essais de 1 -ème semaine	50
PHOTO 08 : l'observation de phytomère dans les trois essais de 4 -ème semaine	51
PHOTO 09 : les fleurs et les fruits de fève dans les trois essais... ..	51
PHOTO 10 : les racine de la plante de la fève dans les trois essais... ..	52

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS

DEDICACE

RESUME

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES PHOTOS

INTRODUCTION

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction générale.....	01
Chapitre I : Généralité sur la fève (vicia faba)	
I. 1. Définition	02
I. 2. Historique et origine.....	02
I. 3. Description botanique de vicia faba.....	02
I. 3.1- les racine	02
I. 3.2- tige	03
I. 3.3 -feuilles.....	03
I. 3.4- fleurs	03
I. 3.5 -fruits	03
I. 3.6- Graines	03
I. 4. Classification botanique	04
I. 5. Cycle de vie de fève	05
I. 6. Caractéristique morphologie de fève	06
I. 6.1- morphologie.....	06
I. 6.2- les racine	06
I. 6.3- tige	06

I. 6.4- feuilles.....	06
I. 6.5 -fleurs	06
I. 6.6- fruits.....	06
I. 6.7- Graines	07
I. 7. Cycle biologique	07
I. 8. Intérêt de fève.....	08
I. 8.1- intérêt agronomique	08
I. 8.2- intérêt économique.....	08
I. 8.3- intérêt alimentaire	08
I. 9. Différentes variétés de la fève (vicia faba) présent en Algérie	09
I. 9.1-Séville	09
I. 9.2- Aguadulce	09
I. 9.3- mucha Niel.....	09
I. 9.4- sidi moussa.....	09
I.10.situation de fève en Algérie	
I. 11. Principales contraintes	11
I.11.1. Contraintes abiotiques.....	11
I.11.1.1. Froid hivernal et gelées printanières	11
I.11.1.2. Sécheresse terminale	11
I.11.1.3. Chaleur	12
I.11.1.4. Salinité	12
I.11.2. Contraintes biotiques.....	12
I.11.2.1. Plantes parasites	12
I.11.2.2. Maladies fongiques	12
I.11.2.2.1. Anthracnose	12
I.11.2.2.2. Botrytis Cinerea champignon.....	12
I.11.2.2.3. La rouille	13
I.11.2.2.4. Mildiou.....	13
I.11.2.3. Ravageurs.....	14

Chapitre II : Généralité sur modélisation de la croissance chez une cultures in vitro

II. 1. Contexte et enjeu	15
II. 2. Les modèles de culture	15
II. 2.1- Généralités sur les modèles de culture	
II. 2.2- Typologie des modèles	16
II. 3. Concept d'un modèle et sa mise en œuvre	18
II. 4. Les avantage des modèles.....	18
II. 5. Objectif du modèle de culture.....	19
II. 6. Comment aboutir à un modèle de culture(s) complet décrivant un Fonctionnement du système climat-plante- sol ?	19
II. 7. Les Modelé de croissance de plante	21
II. 7.1. Modèle Green lab	21
II. 7.1.1. Définition.....	21
II. 7.1.2. Ecriture simplifiée du système.....	23
II. 7.1.3. Organogenèse	25
II. 7.1.3.1. Éléments constitutifs de la plante	25
II. 7.1.3.2. Photosynthèse	25
II. 7.1.4. Morphogènes	26
II. 7.1.4.1. Dimensions des organes	26
II .7.2. Le modèle PBM et FSPM.....	27
II.8. Analyse de ANOVA	29
II.9. Exemples des modèles des cultures et leurs utilisations.....	30
II. 10-La culture in vitro	34
Qu'est-ce que la culture in vitro ?.....	34
II. 10.1. Définition.....	34
II. 10.2- Historique et fondement de la culture in vitro.....	34
II. 10.2.1- Historique	34
II. 10 .2.2- Fondement	35
II. 11. Les applications de la culture in vitro	35
II. 11.1- Le sauvetage d'embryons.....	35

II. 11.2- La micro propagation	35
II. 11.2.1- Cultures de méristèmes	36
II. 11.2.2- Organogenèse	37
II. 11.2.3- Embryogénèse somatique.....	38
II. 11.3- La production de plantes haploïdes	38
II. 11.4- Culture et fusion des protoplastes	38
II. 11.5- La variation soma clonale et la culture in vitro	39
II. 12. Les bénéfices de la culture in vitro	40
II. 12.1- Collection de géotypes et état physiologique du matériel conservé	40
II. 12.2- Obtention de matériels indemnes de maladies	40
II. 12.3-Développement de méthodes de production de plants	40
II. 12.4- La culture in vitro au service de l'amélioration variétale	41
II. 13- Les problèmes liés à la culture in vitro.....	41
II. 13.1- La vitrification.....	41
II. 13.2- La perte de caractères intéressants	41
II. 13.3- Problèmes inhérents à la technique	41
II. 13.3.1 - L'asepsie	41
II. 13.3.2-L'acclimatation	42
II. 13.3.3- L'apparition d'anomalies génétiques.....	42
II. 14-Les facteurs influençant la culture in vitro	42
*La lumière et la photopériode.....	42
*La température.....	43
*Le support de milieux de culture	43
* Le saccharose	43
* Les vitamines.....	43
* Les régulateurs de croissances	43
II. 15-Les avantage de la culture in vitro.....	43

PARTIE EXPERIMENTAL
CHAPITRE III.MATERIEL ET METHODE

1. Site d'expérimentation.....	45
2. Matériel utilisée.....	45
2.1. Matériel de laboratoire.....	45
2.2. Les substrats.....	46
2.3. Matériel végétal.....	46
2.3.1. Caractéristique de variété de fève	
3. Méthode.....	46
3.1. Conduite de l'expérience.....	46
3.2. Le protocole expérimental.....	46
4. Les facteurs étudiés.....	48
5. Analyse des données.....	48

CHAPITRE IV. RESULTAT ET DISCUSSION

I. Résultat.....	49
1. Observation sur les cultures des trois essais.....	49
1.1. Observation sur les feuilles.....	49
1.2. Observation sur les phytomères.....	50
1.3. Observation sur les fleurs et les fruits.....	51
1.4. Observation sur les tiges.....	52
1.5. Observation sur les racines.....	52
2. Analyse des résultats.....	53
2.1. La longueur des racines.....	53
2.1.1. La longueur des racines pour le 1 essai de la fève dans (eau de robinet et nutriment 1et 2).....	53
2.1.2. La longueur des racines pour le 2 essai de fève dans (eau de robinet et nutriment 1et 2)	
.....	54

2.1.3. La longueur des racines pour le 3ème essai de fève dans (eau de robinet et nutriment 1et 2)	54
2.2. La taille de tige	56
2.2.1. La taille de tige pour le 1 essai de la fève dans (eau de robinet et nutriment 1et 2)	57
2.2.2. La taille de tige pour le 2ème essai de la fève dans (eau de robinet et nutriment 1et 2)	58
2.2.3. La taille de tige pour le 3 essai de la fève dans (eau de robinet et nutriment 1et 2)	58
2.3. Le nombre des feuilles.	60
2.3.1. Le nombre des feuilles pour le 1e essai de la fève dans (eau de robinet et nutriment 1et 2)	60
2.3.2. Le nombre des feuilles pour le 2eme essai de la fève dans (eau de robinet et nutriment 1et 2)	61
2.3.3. Le nombre des feuilles pour le 3 essai de la fève dans (eau de robinet et nutriment 1et 2)	61
II. Discussion	64
III. L'analyse de variance des résultats	74
IV. Etude mathématiques et numérique du modèle	75
Conclusion	79
Références bibliographiques	
Annexe	

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

À la lumière de l'évolution technologique, des méthodes et des modèles mathématiques ont été introduits pour simuler les cultures agricoles afin de les améliorer et de les prévoir.

La modélisation de la croissance des plantes est devenue une activité de recherche clé, notamment dans les domaines de l'agriculture, de la foresterie et des sciences de l'environnement. Du fait de la croissance des ressources informatiques et du partage d'expériences entre biologistes, mathématiciens et informaticiens, le développement des modèles de croissance des plantes a énormément progressé au cours des deux dernières décennies. L'utilisation d'une approche interdisciplinaire est nécessaire pour faire avancer la recherche dans la modélisation et la simulation de la croissance des plantes, mais c'est l'un des aspects les plus difficiles rencontrés jusqu'à présent. **(Hu et, Jaeger M.2003) (Fourcaud T, et, Zhang Z,2008.)**

Notre sujet s'inscrit dans le cadre de la modélisation de la vitesse de croissance chez le fève (*vicia faba*) nous avons fait une petite expérience qui est une culture hydroponique des plantes de fève *vicia faba* au niveau de laboratoire de chimie du sol pour un objectif de l'étude de la phénomène de la croissance et le développement et la modéliser en se basent sur notre moyennes disponibles, nous n'avons pas travaillé avec des logiciels et aussi notre mesures sont chaque semaine aussi en va étudier l'effet de nutriments sur la phase croissance.

Donc comment on va faire un modèle mathématique ? Et quelle analyse on va utiliser pour trouver la différence entre les essais ? Et quel est l'effet de nutriments sur la croissance des plantes de fève *vicia faba* ? Et quelle est le meilleur nutriment pour qu'une petite plantule être en bonne croissance et développement ? À partir de notre objectif on va fonder les hypothèses suivantes :

-Croissance journalière des racines.

-Le produit de la croissance obtenue précédemment par la teneur du nutriment minimale citée donne la consommation du nutriment du compartiment racinaire structural.

-Les feuilles émettent une surface foliaire qui est fonction de cet des nutriments résiduels non consommé par les racines.

*La 1 partie qu'est la partie synthèse bibliographique se décompose en 2 chapitres :

- CHAPITRE I. GÉNÉRALITÉS Sur La Fève (*VICIA FABAE*)

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉ SUR LA FÈVE (*VICIA FABA*)

-CHAPITRE II. GÉNÉRALITÉS SUR LA MODELISATION DE LA CROISSANCE
CHEZ LA FÈVE (*vicia faba*. L)

*La 2 parties c'est la partie expérimentale décompose en 2 chapitres :

-CHAPITRE I. MATÉRIELS ET MÉTHODES.

-CHAPITRE II. RÉSULTAT ET DISCUSSION.

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉ SUR LA FÈVE (*VICIA FABAE*)

1. Définition

La fève C'est une plante de la famille des légumineuses, connue sous son nom scientifique. *Vicia faba* L qui est une source Pour les protéines, car elles améliorent les propriétés du sol et augmentent sa fertilité, en raison de sa capacité à stabiliser l'azote atmosphérique Grâce aux nœuds bactériens formés sur ses racines. (Abid D, et CHayab Z ;2015).

2. Histoire et Origine

La fève, *Vicia faba* L., est originaire des régions méditerranéennes du Moyen Orient (Peron, 2006). Des restes de cette culture ont été trouvés à Jerico « Palestine » et qui remontent à 6000 ans (Cubero, 2011). Cet auteur la considère comme l'une des plus vieilles espèces légumières cultivées (10 000 ans).

Le nom faba provient de l'une des formes du verbe grec wagev " manger " qui met en évidence son utilisation pour l'alimentation et la nourriture pour les anciens Grecs et les Romains (Muratova, 1931 ; Hopf 1973).

La fève aurait été cultivée dès la fin du néolithique. Elle a constitué durant toute l'antiquité et le moyen âge, une base alimentaire importante jusqu'au développement du haricot et de la pomme de terre (Hulle et Al., 1999).

Selon (Cubero 2011), le centre d'origine de *V.faba* serait le Proche-Orient. Cette plante aurait été disséminée d'abord vers l'Europe centrale et la Russie puis vers l'Est de la méditerranée et à partir de l'Egypte et les côtes arabes vers l'Abyssinie puis de la Mésopotamie vers l'Inde et la Chine. Au cours du 16ème siècle, la culture de la fève a été introduite en Amérique par les Espagnoles et vers la fin du 20ème siècle, elle atteint l'Australie. La forme ancestrale de *V. faba* est inconnue, mais le plus proche parent sauvage de la fève est supposé être l'espèce *Vicia pliniana* d'Algérie (Duc et al., 2010)

3. Description botanique de *Vicia faba*

La fève est une plante annuelle herbacée à croissance indéterminée (Duc, 1997). Selon Gnanasambandam et al. (2012), La fève est une espèce diploïde ($2n=12$ chromosomes) partiellement allogame.

3.1. Les racines

Les racines sont pivotantes, puissantes et de taille importante allant jusqu'à 1m de profondeur, avec de fortes ramifications secondaires et les nodosités sont abondantes dans les premiers centimètres du sol (**Laumonier, 1979**). Des racines secondaires portant des nodosités contenant des bactéries fixatrices d'azote (*Rhizobium leguminosarum*).

3.2. Tige

La fève présente une tige simple, dressée, creuse et de section quadrangulaire, sans ramification et se dressant sur plus de 1m de haut (**Peron, 2006**). La tige est pourvue d'un ou plusieurs rameaux à la base et présente un type de croissance indéterminé (**Brink et Blay, 2006 ; Duc, 1997**).

3.3. Feuilles

Les feuilles de fèves sont de couleur vert clair, ovales, entières. Elles sont composées et possèdent 2 à 8 folioles (**Dominique, 2010**).

3.4. Fleurs

Les fleurs classiques de légumineuses sont portées aux aisselles des nœuds reproducteurs en grappes de 2 à 12 selon le type. Les fleurs sont grandes, 2 à 3 cm, blanches tachées de noir (**Patrick et Delveaux0t., 2008**). Les fleurs sont de type papilionacé, de deux à trois cm de long (**Dac, 1997**). Ces grandes fleurs papilionacées donnent de longues gousses vertes, épaisses, contenant de grosses graines ovales (**Couplen et Marmy, 2009**).

3.5. Fruits

Les fruits sont des gousses charnues, vertes puis noires à maturité, de 15 à 30cm contenant 4 à 8 graines (**Chaux et Foury, 1994**). Les gousses sont pourvues d'un bec et elles sont renflées au niveau des graines (**Brink et Belay, 2006**).

3.6. Graines

Les graines sont charnues, vertes et tendres à l'état immature, à 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 (**Mezani, 2011**). Les graines sont les plus volumineuses de toutes les espèces légumières (**Chaux et Foury, 1994**). Les graines possèdent un hile clair ou de couleur noire parfois entouré de taches de couleur marron (**DUC, 1997**). **Chaux et Foury (1994)** rapportent que la faculté germinative de la graine peut se

maintenir 6 à 10 ans et même au-delà et que la graine est à germination hypogée c'est -à-dire que les cotylédons restent en terre et c'est l'épicotyle qui émerge du sol.



A. Racine



B. Tige



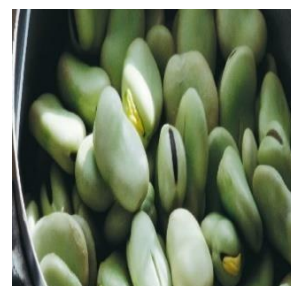
C. Feuille



D. Fleur



E. Fruits



F. Graine

Figure 01 : Différentes parties de la fève (Originale, 2018)

4. Classification botanique

Selon Chase et **Reveral (2009)**, la fève est classée comme suit :

Règne	Plante
Clade	Angiospermes
Clade	Dicotylédones
Clade	Fabidées
Ordre	Fabales
Famille	Fabaceae
Sous famille	Papilionioideae
Tribu	Fabeae
Genre	Vicia
Espèce	Vicia faba.L

5. Cycle de vie de fève

La fève est une plante annuelle accomplissant son cycle en 24 à 28 semaines (**Launonier, 1979**). Son cycle complet de la graine à la graine est environ 5 mois (**Chaux et Foury, 1994**). Selon **Planquaert et Girard (1987)**, *V faba* à une période végétative courte qui passe par 6 stades avant d'atteindre le stade maturation :

1. **Stade de levée** : correspond à la sortie de la première paire de feuilles.
2. **Stade deux feuilles** : apparition de deux paires de folioles.
3. **Début de floraison** : ce stade correspond à l'apparition des bouquets floraux.
4. **Stade de pleine floraison** : c'est le début de la formation des gousses.
5. **Maturité** : c'est le grossissement des gousses.
6. **La récolte** : c'est la récolte des gousses sèches.

Selon **Saada et Osmani (2003)**, la floraison s'étale sur une longue période, elle se termine lorsqu'on compte déjà à base des plantes plusieurs étages portant des gousses. En Algérie :

- Le semis : Novembre
- La levée : Décembre
- Floraison : Février-Mars
- Formation des gousses : Mars-Avril
- Maturité : Mai
- Récolte : Début Juin

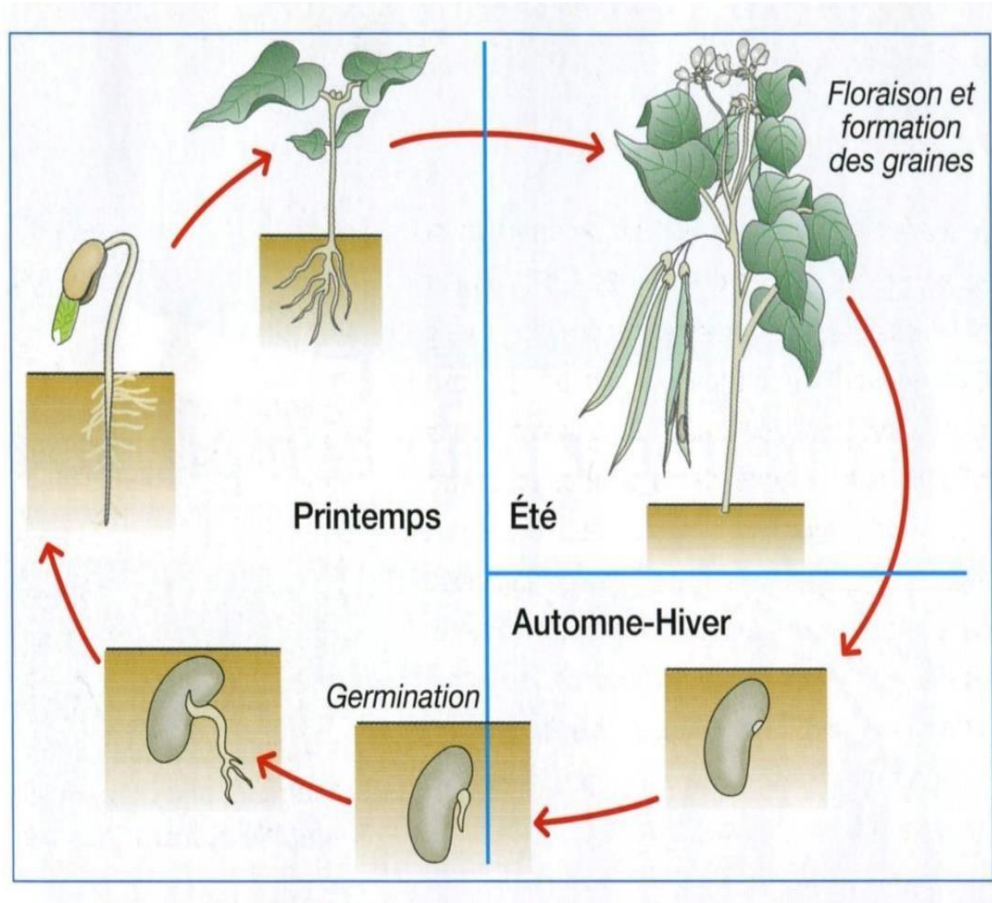


Figure 02 : Cycle de vie de vie de fève (*vicia faba* L)

6. Caractéristique morphologie de fève

6.1. Morphologie

La fève est une plante diploïde ($2n= 12$) et partiellement allogame (**Wang et al., 2012**) elle est formée d'un appareil végétatif et d'un appareil reproducteur.

L'appareil végétatif comprend : les racines, la tige et les feuille quant à son appareil reproducteur, il est formé par les fleurs qui sont à l'origine des fruits et des graines.

6.2. Racines

Selon (**Duc, 1997**), le système racinaire de *V. faba* L. est formé par une racine principale pivotante et des racines secondaires portant des nodosités contenant des bactéries fixatrices d'azote (*Rhizobium leguminosarum*). D'après (**Chaux et Foury 1994**), le système racinaire de la fève peut s'enfoncer jusqu'à 80 cm de profondeur, les nodosités sont abondantes dans les 30 premiers centimètres.

6.3. Tige

La tige est simple, dressé, creuse, de section quadrangulaire, sa hauteur est généralement comprise entre 0,80 à 1,20 m (**Chaux et Foury, 1994**). La tige est pourvue d'un ou plusieurs rameaux à la base et présente un type de croissance indéterminé (**DUC, 1997 ; Brink et Blay, 2006**).

6.4. Feuilles

Les feuilles sont alternes, composées-pennées, constituées par deux (02) à quatre (04) paires de folioles ovales, mucronées, sans vrille, de couleur vert glauque au grisâtre. Les stipules bien visibles en forme dentées (**Chaux et Foury,1994**).

6.5. Fleurs

L'inflorescence est en grappe axillaire d'une (01) à six (06) fleurs. Les fleurs sont constituées d'un calice à cinq (05) sépales, d'une corolle blanche à cinq (05) pétales (carène, ailes et étendard), de 10 étamines dont neuf (09) sont soudées et une (01) libre. L'ovaire est supère et sessile avec deux (02) à quatre (04) ovules allant parfois jusqu'à neuf (09). La floraison débute en moyenne au niveau du 7ème nœud et continue jusqu'aux 20 nœuds suivants (**Brink et Belay, 2006**). La reproduction chez la fève peut être selon les lignées autogame, mais l'activité de butinage des abeilles sur la fève assure une pollinisation croisée et améliore significativement la production de la plante par rapport à l'autofécondation (**Benachour et**

al., 2007).

6.6. Fruits

Les fruits sont des gousses charnues qui peuvent avoir de 10 à 20 cm de long selon les variétés et contiennent un nombre variable de graines (4 à 9). À l'état jeune, les gousses sont de couleur verte puis noircissent à maturité (Chaux et Foury, 1994). Les gousses sont pourvues d'un bec et elles sont renflées au niveau des graines (Brink et Belay, 2006).

6.7. Graines

Les graines sont charnues, de couleur vert tendre à l'état immature, elles développent, à complète maturité, un tégument épais et coriace de couleur brun rouge à blancverdâtre et prennent une forme aplatie à couleur presque circulaire ou réniforme (Chaux et Foury, 1994).

Les graines possèdent un hile clair ou de couleur noire parfois entouré de taches de couleur marron (Duc, 1997). Chaux et Foury (1994), rapportent que la faculté germinative de la graine peut se maintenir 6 à 10 ans et même au-delà et que la graine est à germination hypogée c'est-à-dire que les cotylédons restent en terre et c'est l'épicotyle qui émerge du sol.

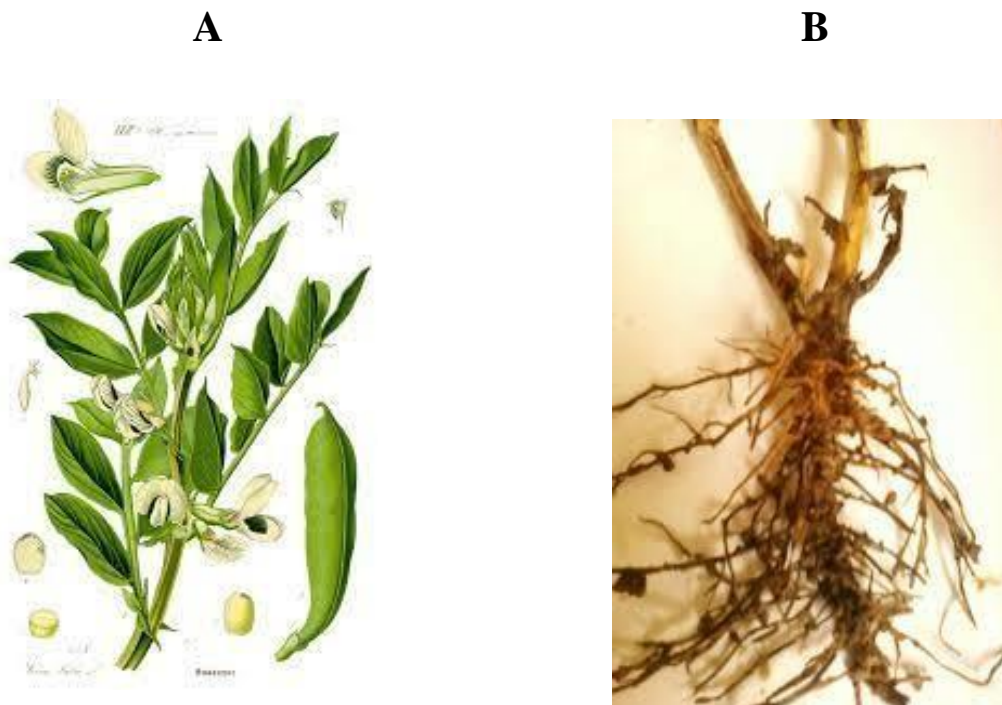


Photo 01 : Les différentes parties de la fève *Vicia faba* L. (Thomé 1885).

A : Système caulinaire. B : Système racinaire

7. Cycle biologique

La fève est une plante annuelle, son cycle complet de la graine à la graine est environ 5 mois (**Chaux et Foury, 1994**).

D'après **Brink et Blay (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.

8. Intérêt de Fève

L'utilité de la fève dans l'alimentation humaine et animale comme source de protéines ainsi que leur effet bénéfique sur la fertilité des sols sont largement reconnues (**Mouafek, 2010**).

L'utilisation de la fève est principalement orientée vers la consommation humaine en gousses fraîches à grande proportion et sous forme de grains secs ou au stade pâteux à faible proportion. Lors d'abondance, le sur-plus des graines de fève est incorporé dans la composition d'aliments du bétail (**Maatougui, 1996**).

Selon le même auteur la féverole, en revanche, lorsqu'elle est disponible, est strictement utilisée pour l'alimentation du bétail en graines concassées destinées aux bovins.

Surtout pour l'engraissement. La fève peut être aussi utilisée en engrais vert dans les vergers. Pour sa valeur alimentaire, la fève est considérée parmi les cultures les plus riches en matières nutritives.

8.1. Intérêts agronomiques

L'espèce *V. faba* comme toutes les légumineuses alimentaires, contribue à l'enrichissement du sol en éléments fertilisants, dont l'incidence est positive sur les performances des cultures qui les suivent, notamment le blé (**Khaldi et al., 2002**). En plus de son intérêt nutritionnel, elle est introduite en rotation avec les céréales, où elle joue un rôle non négligeable dans l'enrichissement du sol en azote (**Rachef et al., 2005**).

Selon **Hamadache (2003)**, la fève améliore la teneur du sol en azote, avec un apport annuel de 20 à 40 kg/ha. Elle améliore aussi sa structure par son système racinaire puissant et dense. De même, les résidus des récoltes enrichissent le sol en matière organique.

8.2. Intérêts économiques

La fève est la principale légumineuse alimentaire cultivée en Algérie (**Inra, 2007**). Elle

constitue une importante ressource socio-économique.

Les cultures de la fève et la fêverole en Algérie n'ont pas encore bénéficié de toute l'attention nécessaire devant assurer leur développement et continuent d'être marginalisées à tel point que des régressions importantes en superficies ont été enregistrées depuis 1987.

D'autre part, la productivité et la production (faibles) n'ont pas connu d'amélioration, ce qui a engendré le recours aux importations pour satisfaire la consommation qui a nettement augmentée. Sa culture est pratiquée essentiellement au niveau des plaines côtières et de l'intérieur et dans les zones sahariennes (**Maatougui, 1996**).

8.3. Intérêts alimentaires

La fève est l'une des légumineuses à grains les plus communes, utilisée pour la consommation humaine et animale (**Goyoga et al., 2011**). Elle constitue un aliment nutritif très important surtout pour les populations à faible revenus, qui ne peuvent pas toujours s'approvisionner en protéine d'origine animale (**Daoui, 2007**).

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

9. Différentes variétés de la fève (*V. faba*) présentes en Algérie

Il existe quatre variétés de fèves, en Algérie, qui sont :

1. Séville

C'est une variété précoce à gousses longues, renferment cinq (05) à six (06) grains volumineux. Sa tige est d'une hauteur de 70 cm, se distinguant des autres variétés par la couleur de son feuillage, d'un vert assez franc (**Chaux et Foury, 1994**). Ses gousses présentent une largeur d'environ 3 cm et une longueur de 25 cm (**Laumonier, 1979**).

2. Agudulce

C'est une variété demie précoce, très répandue en culture. Elle est caractérisée par une plante, de végétation haute de 1,10 à 1,20 m. Elle possède des gousses de couleur vert franc, volumineuse et très longue, pouvant atteindre 20 à 25 cm renfermant sept (07) à neuf (09) graines. C'est une variété très productive (**Chaux et Foury, 1994**). Elle est introduite, avec la Séville d'Espagne (**Zaghouane, 1991**).

3. Muchaniel

C'est une variété très précoce, elle a des gousses de couleur vert clair, de 20 cm de longueur en moyenne, renfermant cinq (05) à (06) grains blancs, elle est très productive (**Chaux et Foury, 1994**).

4. Sidi Moussa

Elle est sélectionnée à El-Harrach en 1965, elle est convenable à tous les sols, résiste aux maladies cryptogamiques (*Botrytis*), aux insectes (*Aphis fabae*), aux plantes parasites (*Orobanche sp*) et aux nématodes (**Zaghouane, 1991**).



Séville



Aguadulce



Sidi Moussa



Muchaniel

Figure 03 : Variétés de la fève (*Vicia faba*) en Algérie (Mezani, 2016)

10. Situation de fève en Algérie

La culture de fève en Algérie n'a pas encore bénéficié de toute l'attention nécessaire assurant son assure leur développement. Elle continue d'être marginalisée à tel point, que des régressions importantes en superficie ont été enregistrées depuis 1997.

D'autres part, la productivité et la production (faible) n'ont pas connu d'amélioration, ce qui a engendré le recours aux importations pour satisfaire la consommation, qui est en nette augmentation. (Mezani, 2016).

Les données statistiques agricoles sur la superficie et la production de la fève en Algérie pour la décennie 2006/2016, sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Evaluation de la superficie et production de la fève en Algérie (ANONYME, 2016).

Campagne Agricole	Superficie(ha)	Production (qx)	Rendement (qx/ha)
2006-2007	31284	279735	8.9
2007-2008	30688	235210	7.7
2008-2009	32278	364949	11.3
2009-2010	34210	366250	10.7
2010-2011	37090	379820	10.2
2011-2012	36835	405070	11
2012-2013	37668	423860	11.2
2013-2014	37499	413889	11
2014-2015	39977	448070	11.2
2015-2016	35147	375980	10.7
Moyenne	35267.6	369283.3	10.39

D'après le **tableau 1**, la superficie moyenne réservée pour la culture de la fève en Algérie est de 35267,6ha. Elle présente des variations d'une année à une autre, ce qui influe sur la production qui varie aussi, sur une moyenne de dix années. Nous constatons également des fluctuations du rendement, qui présente une moyenne de 10,39qx/ ha.

Le rendement maximal a été noté durant la campagne agricole 2008/2009 avec 11,3qx/ha, par contre le rendement minimal est enregistré durant l'année 2007/2008 avec 7,7qx/ha. Ces variations de rendement peuvent être expliquées, par la mauvaise conduite des cultures, ainsi que les conditions climatiques défavorables.

11.Principales contraintes

La fève présente des contraintes biotiques et abiotiques.

11.1. Contraintes abiotiques

11.1.1. Froid hivernal et 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**).

11.1.2. Sécheresse terminale

La sécheresse, caractéristique structurelle du climat sur les Haut Plateaux et les plaines littorales à sol léger, constitue le stress abiotique le plus important, pour l'instabilité et la production de la fève. En zones Sahariennes, l'importance des fèves est liée à celle des ressources hydriques, dans ces zones, la fève doit être impérativement irriguée intégralement (**Wolfgang et Sadiki, 1996**).

11.1.3. Chaleur

C'est la plus néfaste surtout dans les zones Sahariennes, ainsi que dans les Haut Plateaux et les plaines intérieures. Dans le cas de ces dernières, c'est le Sirocco qui affecte la production de gousses et limite aussi la grosseur des graines (**Maatougui 1996**).

11.1.4. Salinité

C'est le problème spécifique aux zones Sahariennes dans lesquelles 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 aussi par les effets du sel sur les propriétés physiques et chimiques du sol (**Wolfgang et Sadiki, 1996**).

11.2. Contraintes biotiques

11.2.1. Plantes parasites

L'orobanche : est une plante holoparasite sans chlorophylle, cette herbe parasite a des fleurs gamopétales et appartient à la famille des orobanchacées (**Kharrat,2002**)

L'espèce la plus connue en Algérie est l'Orobanche spéceieuse (*Orobanche crenata* Forsk) (Hamadache, 2003).

11.2.2. Maladies fongiques

Parmi les principaux agents fongiques pouvant provoquer des dégâts, on distingue ceux des taches foliaires pouvant induire une perte de 56% du rendement, les principales maladies fongiques que redoute la fève dont la maladie dite tache de chocolat (Abou Zeid ,2002 ; Stoddard et al,2010).

11.2.2.1. Anthracnose

Cette maladie se manifeste par des taches sur les feuilles, les gousses, et les tiges. (Maoui et al, 1990). (Fig04)

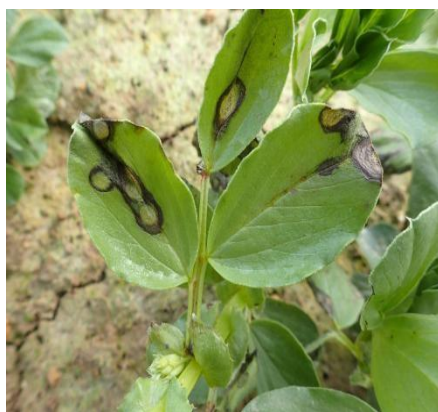


Figure 04 : des taches sur les feuilles <anthracnose> (originale ; 2021)

11.2.2.2. Botrytis Cinerea champignon

Cette maladie cause des tâches de couleurs rouges- brunes sur les feuilles, tiges et gousses (Fig.5). Ces taches ou lésions peuvent causer une défoliation de la plante et même sa mort.

La maladie se manifeste plus sous des conditions humides, sur des sols humides, mal aérés, infestées par les adventices et présentant un fort peuplement. (Abbad Andaloussi,2001).



Figure 05 : des taches rouge brunes sur les feuilles <Botrytis> (originale ; 2021)

11.2.2.3. La rouille

Cette maladie se manifeste par des taches brunes à rougeâtres sur les feuilles, causant un dessèchement et la chute des feuilles (fig.6). (Messiane ;1991)



Figure 06 : des taches brunes <rougeâtre> sur les feuilles rouille (originale ; 2021)

11.2.2.4. Mildiou

Le Mildiou se manifeste par un jaunissement des plantes, déformation des tiges et des pétioles, apparition d'un feutrage blanchâtre sur la face inférieure de la feuille (Fig.7) (Chaux et fery,1994 ; Stoddarad et al ,2010).



Figure 07 : mildiou infestant les feuilles de fève (originale ;2021)

11.2.3. Ravageurs

Les principaux insectes ravageurs de la culture de la fève sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Principaux ravageurs de la fève leurs dégâts et leurs moyens de lutte (**Maouie al., 1990**).

Ravageurs	Dégâts	Lutte
Sitone du pois <i>sitonelineatus</i>	Les adultes s'attaquent aux feuilles de plantules : ils Provoquent des destructions Des adultes, des coches Semi-circulaires.	Traitement des semences décis (deltaméthine 25g /l=0,51/ha)
Nématodes des tiges <i>Ditylenchusdispaci</i>	Décoloration des tiges et nécrose localisées sur les entre nœuds. Déformation des feuilles. Eclatement des gousses et rabougrissement de la plante	Intervention phytosanitaire Au début de la floraison Décis (deltaméthine 25g /l) 0,51/ha
Pucerons de la fève <i>Aphisfabae</i>	Diminution de nombre de graines. Dessèchement des feuilles.	Intervention phytosanitaire Au début de la floraison ³ les pieds portent des pucerons ailés. Décis (deltaméthine 25g /l L=0 ,51/ha)
Lixus des fèves <i>Lixusaligrus</i>	Affaiblissement de la plante. Réduction de poids moyen des graines. Dessèchement précoce et diminution du rendement.	Destruction des adultes a Partir de la floraison Décis B (deltaméthine 25g /l lheptenophos 400g/l=0,51L/ha)
Le bruche de la fève <i>Bruchus rufimanus</i>	Perforation des grains et perte de leurs pouvoirs germinatifs.	Destruction des adultes Tiondan (endosulfan 350g/l=1,75a 21/ha)

Chapitre II : Généralité sur modélisation de la croissance chez une cultures in vitro De Fève (*Vicia Faba*)

1. Contexte et enjeux

Les légumineuses alimentaires sont les cultures à graines les plus cultivées par l'homme et depuis longtemps. Elles occupent une place importante dans l'alimentation humaine. Ces légumineuses ont besoin de nutriments et d'eau pendant leur cycle de croissance. **Abid D, et Chayab Z ;2015).**

La fertilisation est une étape importante pour assurer la croissance et le développement des cultures et assurer la meilleure récolte. Nous avons utilisé du **nutriment naturel** sur la plante de fève et avons suivi son effet sur la croissance. (Taille des tiges, longueur des racines, nombre de feuilles), dans une culture hydroponique au niveau de laboratoire. L'optimisation des stratégies de fertilisation constitue un enjeu important en agriculture, que les approches basées sur la modélisation pourraient permettre traiter.

2. Les modèles de culture

2.1. Généralités sur les modèles de culture

Durant ces 50 dernières années, l'agriculture a fortement évolué grâce à la contribution de nombreuses disciplines (ingénierie, économie) et au moyen de différents outils d'analyse (modèle, approche analytique) (**Jones et al., 2016**). Les modèles permettent de représenter la réalité, d'appliquer les théories et de fournir une approximation des résultats attendus expérimentalement. Ils sont de plus en plus exploités et utilisés en tant qu'outil d'aide à la décision et en tant qu'outils prévisionnels pour les rendements (**Varella et al., 2008**).

Deux grands types de modèle existent, les modèles empiriques, se basant sur des équations simulant les phénomènes observés et les modèles mécanistes, expliquant la croissance à partir de processus physiologiques connus et en lien avec l'environnement. Néanmoins, de nombreux modèles sont constitués de parties empiriques et mécanistes (**Jame et al., 1996**).

Soulignent que les modèles de culture sont construits à partir de deux principes en interaction, l'un génétique et l'autre trophique. Le premier est représenté par « *Un programme préétabli qui fixe la durée des différentes conditions de milieu et qui traduit une stratégie de l'espèce en termes de précocité, phases de développement de la culture en fonction des de pérennité ou*

D'adaptation au milieu. » Le second présente « *les flux d'assimilats dans la plante entre des organes sources et des organes puits.* (Brisson et al.1992).

2.2. Typologie des modèles

Un modèle de simulation d'une culture (Jamieson et al., 1998a) ou de plusieurs cultures (Mccown et al., 1996) est défini comme un ensemble de modèles mathématiques qui décrivent la croissance et le développement d'une culture en interaction avec le sol (Wallach, 2005).

Les précurseurs dans les différents modèles utilisés en sciences agronomiques sont l'analyse de la croissance par le poids de la matière sèche (W) et la surface foliaire (L), en convertissant les données d'évolution des poids secs et des surfaces foliaires en coefficients de signification biologique (physiologiques et morphologiques).

Les types de modèles peuvent être empiriques par opposition aux modèles mécanistes. On peut trouver des modèles mécanistes par opposition à ceux stochastiques et des modèles statiques par opposition à des modèles dynamiques. Seulement, on ne peut distinguer des frontières nettes entre ces types de modèles (cas de modèles semi-empiriques).

Raufflet Bello (2015) dressent, selon la littérature, les différents types de modèles existants, chacun son objectif. Leur classification est ambiguë. En effet, un modèle peut être empirique pour un biologiste comme il peut être mécaniste pour un agronome. Ils diffèrent donc selon Les objectifs et les compétences de chaque utilisateur du modèle.

* **Les modèles mécanistes** décrivent et quantifient les mécanismes et les processus qui interviennent au niveau de la plante et du sol en se basant sur la formalisation d'hypothèses concernant le fonctionnement physiologique et physique du système étudié. Une classification des modèles de culture existe en fonction du nombre de cultures prises en charge et des choix de formalismes opérés lors de l'élaboration du modèle de culture. (Passioura, 1996 ; Hammer et al., 2002 ; Jeuffroy et al., 2008).

* **Les modèles empiriques** décrivent l'évolution du système complexe au travers de relations simplifiées entre les différentes variables sans fournir d'explications sur le fonctionnement biologique ou physique. Les équations décrivant les relations sont le plus souvent obtenues à partir d'ajustements statistiques entre les différentes variables d'état mesurées (Passioura, 1996 ; Hammer et al., 2002 ; Jeuffroy et al., 2008).

CHAPITRE II : GÉNÉRALITÉ SUR MODELISATION DE LA CROISSANCE CHEZ UNE CULTURES IN VITRO DE FEVE (*VICIA FAB*A)

***Les modèles spécifiques** sont ainsi distingués des modèles génériques. Les modèles spécifiques ont été développés pour représenter la croissance et le développement d'une culture donnée. Ils intègrent des processus spécifiques à l'espèce concernée et prennent en compte différents facteurs de production en fonction des objectifs d'application (**Greiner,1998**).

***Les modèles génériques** se caractérisent par la description quantitative des processus biologiques qui sont communs à plusieurs cultures. Ils traitent la spécificité de chaque espèce au travers d'options de simulation et de différentes valeurs des paramètres (**Wang et Engel, 2002**). Le développement de tels modèles permet de mutualiser les connaissances acquises sur le fonctionnement des espèces et fournissent un cadre d'évaluation pour l'identification des convergences et des différences entre cultures (**Brisson et al., 2006**). D'un point de vue applicatif, ils permettent de simuler des successions de cultures et sont dès lors en mesure d'évaluer les performances des systèmes de culture et non pas uniquement les performances d'un itinéraire technique.

Parmi cette panoplie de modèles, on trouve les plus utilisés en littérature : les modèles mécanistes dont EPIC(Williams,1984), STICS (Brisson *et al.*,1998), CERES (Ritchie *et al.*,1985) et le modèle AZODYN (Jeuffroy et Recous, 1999). Ils sont présentés de manière panoramique dans le tableau suivant :

CHAPITRE II : GÉNÉRALITÉ SUR MODELISATION DE LA CROISSANCE CHEZ UNE CULTURES IN VITRO DE FEVE (*VICIA FABA*)

Tableau 03 : Présentation de certains modèles de cultures utilisés en sciences agronomiques

	Acronyme	Equipe conceptrice	La culture à modéliser	Pas de temps utilisé
EPIC	Erosion Productivity Impact Calculator	J.Williams ,A.Jones et P.DYKE	Blé, Avoine, Soja , Mais, Tournesol Luzerne, Tomato, Haricot, Sorgho, carthame	Journalier
APSIM	Agricultural Production Systems SIMUlator	Système de production agricole-Unité De recherche en Australie	Blé, Mais, Orge, Arachide, Tournesol, Canola, Pois chiche, Luzerne, Coton, Prairie tropicale	Journalier
STICS	Simulator MULTIdisciplinaire Pour les cultures Standards	L'Unité de bioclimatologie de L'INRA D'Avignon Avec l'appui De l'unité d'agronomie De L'INRA de Loan et la participation d'équipes du CIRAD du CEMAGREF et des Instituts Technique	Blé, Orge Mais, Soja, Pois, Betterave, Pomme de terre, Colza, Tournesol, Lin, Tomate,Salade Fraise, Banane,Vigne,Culture associées	Journalier
TOMGRO	Tomato Growth		Tomate	Journalier
AZODYN	Azote Dynamique	Jeuffroy, Recous	Blé, Colza, Pois	Journalier

3. Concept d'un modèle et sa mise en œuvre

Un modèle est une représentation théorique simplifiée de la réalité. A des fins académiques, il permet la compréhension de la croissance et le développement d'une culture. A des fins agronomiques, les modèles permettent l'optimisation de la production (**Jaeger et de Reffye, 2012**). La modélisation peut servir à plusieurs applications : compréhension- analyse- Représentation-planification interprétation - évaluation-prédiction, extrapolation et interpolations. Le modèle est défini aussi comme une représentation d'une série d'hypothèses

CHAPITRE II : GÉNÉRALITÉ SUR MODELISATION DE LA CROISSANCE CHEZ UNE CULTURES IN VITRO DE FEVE (*VICIA FABEA*)

Qui fournissent une synthèse simplifiée du fonctionnement de la plante en interaction avec les variations du milieu.

La forme générale représentée pour un modèle mathématique selon **Wallach (2005)**.

$$U_1(t + \Delta t) = U_1(t) + g_1[U(t), X(t); \theta]$$

(1)

$$U_s(t + \Delta t) = U_s(t) + g_s[U(t), X(t); \theta]$$

où :

t : le temps,

Δt : le pas de temps,

$U(t) = [U_1(t), \dots, U_s(t)]^T$: le vecteur de variables d'état au temps t,

$X(t)$: le vecteur des variables explicatives au temps t,

θ : le vecteur des paramètres

g : une fonction.

4. Les Avantages des modèles

De nombreux avantages sont attribués aux modèles. Les conditions de l'expérience sont sous contrôle total et leur répétabilité est aisée, contrairement aux expériences en champs au cours desquels le travail est dur et les conditions parfois compliquées (**Fry et al., 2017**). Leur prix est faible et le temps d'expérience est court (**Semenov et al., 2007**). Ils facilitent la compréhension des interactions sol-plante-atmosphère et peuvent être utilisés afin d'estimer certaines variables que l'on ne peut mesurer (**Mirschel et al., 2014 ; Sexton et al., 2016**). De plus, l'expérimentation seule en champ ne permet pas de bien quantifier le degré de variabilité des rendements et les modèles peuvent être un point d'appui pour cette quantification (**Asseng et al., 2007**). Cependant, de nombreux paramètres sont nécessaires pour utiliser ces modèles (climat, sols, management). Il est donc essentiel de disposer de bases de données complètes et précises afin de maximiser la précision des résultats obtenus avec les modèles (**Wallach et al., 2011**).

5. Objectif du modèle de culture

Suivant l'objectif du travail du concepteur ou de l'utilisateur d'un modèle de culture, celui-ci peut être (**Brisson et al., 2005**).

- Un outil de recherches pour étudier les différentes interactions des techniques et les facteurs du milieu et donc un outil de gestion et d'aide à la décision (**Bergez et al., 2005**).
- Une finalité en l'améliorant par une recherche sur un de ses modules (sol, plante)
- Un sujet de recherche pour les biométriciens qui peuvent développer des méthodes pour améliorer l'utilisation de ces modèles.

6. Comment aboutir à un modèle de culture(S) complet décrivant un fonctionnement du système climat-plante- sol ?

Le principe général du fonctionnement des modèles de culture repose sur le fonctionnement carboné des plantes pour la croissance de sa biomasse.

Le principal processus du modèle est la transformation de la lumière interceptée par l'appareil photosynthétique pour la fabrication de la biomasse, répartie entre les différents organes de la plante, selon ses stades de développement. D'autres modèles ont le flux azoté intégré en parallèle au flux carboné avec sa répartition entre les organes (**Brisson, 2009**).

Première étape : Construction d'un modèle en mettant sous forme mathématique les processus à étudier. Cependant, avant d'entamer cette étape, plusieurs interrogations doivent être élucidées. Il s'agit de la conception de la problématique, la détermination du processus à étudier et la disponibilité des données (Justification du modèle à utiliser). Il est impératif de préciser que cette présentation n'est qu'une réduction de la réalité qu'est le processus lui-même en expérimentation ou le terrain. (**Wallach et al,2005**).

▪ **Deuxième étape : Analyse de sensibilité** d'un modèle. Il s'agit de définir le degré de variables sensibles des variables de sorties aux variables d'entrée du modèle. Parmi les objectifs de cette étape il y a le repérage des variables importantes et les plus sensibles afin de minimiser les erreurs sur les sorties du modèle. (**Bert et al,2007**).

▪ **Troisième étape : Calibrage du modèle**

Dans cette étape, deux opérations peuvent être réalisées selon l'objectif visé par le modèle. Il s'agit du calibrage et de l'ajustement. Il revient au modélisateur de calibrer les parties(modules) du modèle, plus exactement les variables et les paramètres où il arrive parfois de ne pas distinguer entre ces deux éléments.

Ces paramètres doivent avoir une signification physique, biologique, génétique et être mesurables. (**Brisson et al ,2002**). Il arrive parfois qu'ils puissent être estimés

Indépendamment de la structure du modèle et servent aussi pour son optimisation.

Ajustement désigne le rapprochement des paramètres d'un ou plusieurs modules à la situation à modéliser, qui est souvent non similaire à celle où le modèle a été construit.

Quatrième étape, la validation du modèle est une sorte d'évaluation du modèle en le comparant aux données obtenues d'expérimentation destinées pour la validation. Il est un test du comportement du modèle permettant de vérifier la concordance avec les données. En aucun cas, le set de données utilisé dans la construction du modèle peut être utilisé dans la validation de celui-ci. Le modélisateur ou l'utilisateur doit chercher un autre set de données afin de le valider et de juger de la qualité du modèle. Ceci ne garantit pas une validation réelle mais montre en fait la possibilité de séparer les données de validation de construction en deux groupes seulement. **(Ledent, 2002)**.

Dans cette dernière étape, l'utilisateur du modèle pourra évaluer de la qualité du modèle selon les objectifs de ses expérimentations et prendre des décisions de l'usage ou non du modèle sélectionné de la littérature.

La validation doit être réalisée de manière quantitative et avec une analyse statistique **(Ledent, 2002)**.

- Dans une série de conditions variant largement.
- En prenant en compte la qualité des hypothèses sur lesquelles le modèle est basé et la structure du modèle.

Si les résultats ne sont pas satisfaisants il faut faire une analyse du problème et pas seulement un calibrage.

7. Les modèles de croissance de plante

En agriculture et en botanique, de nombreuses études sont consacrées à la modélisation de la croissance des cultures en relation avec les conditions environnementales. Les performances croissantes des ordinateurs modernes permettent le développement de modèles permettant de reproduire sous forme virtuelle la croissance de la plante en prenant en compte un grand nombre de différents facteurs et processus interagissant entre eux. **(Lambouni, 2009)**.

7.1. Modèle Green lab

Le modèle Green Lab est un modèle générique de croissance de plante, c'est-à-dire qu'il

n'est pas dédié à certaines espèces. Il peut être rattaché aux modèles de type structure fonction s'intéressant au fonctionnement photosynthétique de la plante dans une architecture donnée (Bouman et al ;1996).

7.1.1. Définition

GreenLab représente la croissance de la plante de la graine à la mort. Nous ne pouvons donc pas tenir compte des phénomènes microscopiques, ni des faibles variations de l'environnement. La plante est considérée comme le résultat des effets cumulés de l'environnement sur un génotype donné que nous d'écrivons par un ensemble des paramètres endogènes de la plante. (cournéede et al 2011).

Sur toutes les plantes étudiées jusqu' à présent, les botanistes ont remarqué une relation linéaire entre le plésiochrone (c'est-à-dire nombre de feuilles présentes dans la plante, même à l'état d'ébauches microscopiques, à un instant donné), et le temps thermique. Ce dernier peut être défini à partir du temps calendaire comme la somme des températures journalières entre deux instants. Lorsque la température journalière n'excède pas une valeur prédéfinie (par exemple 6°C), la journée n'est pas prise en compte dans le calcul de la somme. Cette valeur seuil de la température est appelée la base du système Un méristème a besoin d'un nombre donné de degré jour pour construire un métamère supplémentaire.

Pendant ce temps, l'élongation des organes formés continue. Si elle reste lente pendant un certain temps, les ébauches d'organes, appelés primordia, peuvent organes. A partir d'une certaine taille que l'observateur définit en fonction de ses besoins (par exemple 2 mm), le Rester invisibles alors que le méristème poursuit la formation de nouveaux primordia peut être classé comme un organe « visible ». Le phyllochrone apparent est défini comme le nombre de feuilles visibles construites par un méristème. La relation entre le phyllochrone et le temps thermique n'est en général pas linéaire (sauf cas particulier comme le riz). En effet, l'expansion des organes dépend aussi fortement de l'environnement (eau, chaleur, contraintes locales) (mailhol et al ,2011).

Sur certaines plantes dites à croissance continue, le méristème ne s'arrête jamais de fonctionner. C'est le cas pour les plantes annuelles, ou celles en zone tropicale. Les cycles de croissance sont assez courts, de l'ordre de quelques jours à quelques semaines. L'élongation des organes dure sur plusieurs de ces cycles, qui sont parfois difficiles à délimiter en

CHAPITRE II : GÉNÉRALITÉ SUR MODELISATION DE LA CROISSANCE CHEZ UNE CULTURES IN VITRO DE FEVE (*VICIA FABA*)

L'absence de données sur le temps thermique et d'observations du plastochrone. (Turc and Lecoecur, 1997).

Un exemple de l'importance du temps thermique est présenté sur la figure en comparant l'apparition des feuilles du pois en fonction du nombre de jours et de la Sommes des températures. (Turc and Lecoecur, 1997). Dans le premier cas, les points sont assez dispersés : la durée séparant deux apparitions successives est assez variable.

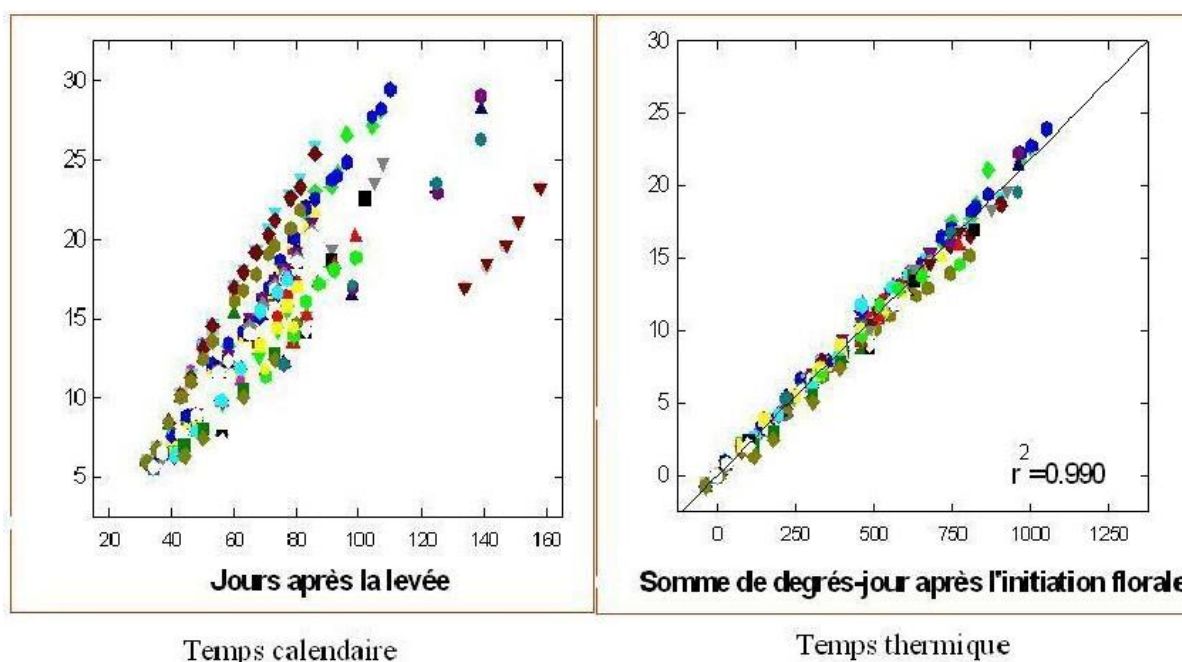


Figure 08 : Relations entre le taux d'organogenèse et le temps thermique pour le fève

Lorsque les feuilles ont atteint une certaine taille, leur contribution à la production de biomasse dans la plante par fonctionnement photosynthétique est prise en compte.

*Chaque cycle peut être décomposé en étapes distinctes que nous allons détailler ensuite :

- Organogenèses et élongation des organes. Le volume des organes dépend de la biomasse disponible au cycle précédent. (Turc and Lecoecur, 1997).
- Photosynthèse des feuilles pour fabriquer de la matière (Turc and Lecoecur, 1997).
- Répartition de cette matière : les assimilats produits pendant le cycle sont utilisés pour la formation des cernes, du système racinaire, pour l'expansion des organes et la croissance des fruits qui peuvent n'apparaître qu'en fin de cycle ; une partie est

CHAPITRE II : GÉNÉRALITÉ SUR MODELISATION DE LA CROISSANCE CHEZ UNE CULTURES IN VITRO DE FEVE (*VICIA FABA*)

réservée pour les bourgeons qui vont faire de l'organogénèse et l'utiliseront à leur éclosion en début de cycle suivant. (Turc and Lecoeur, 1997).

Certains mécanismes comme le transport de l'eau pour la photosynthèse, celui des assimilats pour la construction des organes, le stockage des réserves ne sont pris en compte qu'au niveau intègre des bilans. Par exemple, le transport des assimilats, bien que continu, n'est calculé qu'en fin de cycle sur toute la durée de celui-ci. (Turc and Lecoeur, 1997).

Un schéma du fonctionnement du cycle est représenté sur la figure. En fin de cycle $n - 1$, la matière est présente dans les bourgeons, qui sont préformes et prêts à éclore. En jaune est représentée la partie de la plante qui est visible en fin de cycle $n-1$. (Turc and Lecoeur, 1997).

En début de cycle n , le bourgeon éclot, et trois métamères apparaissent. Les feuilles fabriquent une quantité de biomasse par photosynthèse, qui dépend de l'environnement. Cette matière est répartie entre les bourgeons (ici un terminal et trois axillaires) et les cernes. Puis, en début de cycle $n + 1$, les bourgeons éclosent. Le nombre de métamères qu'ils forment dépend du type de bourgeons : au cycle $n + 1$, deux pour l'unité de croissance terminale, et un pour les axillaires. (Turc and Lecoeur, 1997).

7.1.2. Ecriture simplifiée du système :

Contrairement aux systèmes continus qui sont régis par des équations différentielles, les systèmes discrets sont décrits par des équations de récurrence. Une étude générale de ces systèmes peut être trouvée dans (Lifermann, 1975).

Une suite discrète est une fonction du temps qui peut être considérée comme le résultat de l'échantillonnage d'un système continu. Dans notre cas, la croissance d'un arbre est continue, mais nous ne nous intéressons aux valeurs des variables qu'une seule fois par cycle, juste après l'apparition des nouveaux organes. L'état d'un système à un moment donné est défini par un certain nombre de variables indépendantes convenablement choisies : ce sont les variables d'état. Les équations d'état du système permettent de calculer les valeurs de ces variables à chaque pas de temps.

La croissance de la plante peut donc être écrite sous la forme d'un système dynamique, c'est-à-dire un système qui évolue au cours du temps (Verwaerde, 1997).

CHAPITRE II : GÉNÉRALITÉ SUR MODELISATION DE LA CROISSANCE CHEZ UNE CULTURES IN VITRO DE FEVE (*VICIA FABEA*)

Nous notons :

– $Q(n)$: la quantité de biomasse fabriquée au cycle n ,

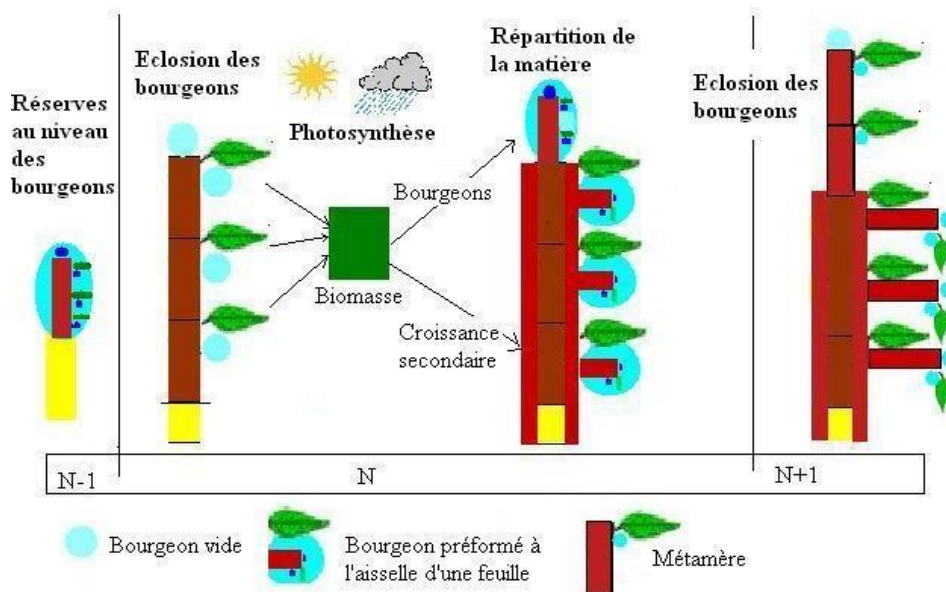


Figure 09 : fonctionnement de la plante au cycle n (barthélémy et al,1997)

– $Y(n)$: le vecteur des variables « topologiques » de la plante (nombres d'organes de chaque type),

– $E(n)$: la variable d'environnement au cycle n ,

– P : l'ensemble des paramètres du modèle.

Nous détaillons dans la suite le choix des variables, qui dépend de la manière de décrire la plante, ainsi que le calcul de l'environnement. Le système (Q, Y) doit permettre de reconstruire la plante au cycle n , à l'aide des paramètres P .

Si nous supposons que l'organogénèse suit des règles indépendantes de la photosynthèse, le système dynamique peut se résumer sous la forme :

$$*Q(n+1) = F(Q(n), Y(n), P, E(n))$$

$$*Y(n+1) = G(Y(n), P, E(n)) \quad (1.1)$$

En règle générale, $Y(n+1)$ dépend de $Y(n)$ selon les lois de l'organogénèse.

La quantité de biomasse $Q(n+1)$ dépend à la fois du nombre d'organes actifs dans la photosynthèse et de leurs volumes, qui dépendent eux-mêmes de la biomasse $Q(n)$ produite aux cycles précédents. (barthélémy et al,1997).

7.1.3. Organogenèse

7.1.3.1. Éléments constitutifs de la plante

La construction de l'organogenèses d'une plante est la mise en place successive des différents organes. Dans le modèle GreenLab, les organes sont séparés selon certaines caractéristiques que nous allons définir dans ce paragraphe. « L'analyse architecturale des arbres montre que, quelle que soit sa complexité, un organisme végétal peut être d'compose, à tout moment, en structures élémentaires » (**Barthélémy et al., 1997**). (**Reffye et al., 2003**), celles-ci sont reprises comme entités de base d'une plante dans le modèle : organes (feuilles, entrenœuds), unités de croissance.

7.1.3.2. Photosynthèse

La photosynthèse est le phénomène caractéristique des plantes par lequel le dioxyde de carbone de l'air et l'eau du sol sont transformés en assimilés (sucres) grâce à l'énergie fournie par le soleil. Au niveau de la feuille, la sève brute devient la sève élaborée en se chargeant des assimilés qui sont redistribués dans les autres organes. Dans GreenLab, un modèle de calcul du fonctionnement photosynthétique de la plante est ajouté sur la structure topologique construite par les règles de l'organogenèses. Pour cela, plusieurs hypothèses écophysiologicals ont été posées. (**Kang et al., 2004**).

7.1.4. Morphogènes

La morphogenèse est l'ensemble des règles qui sont à l'origine de la forme observée de la plante. Celle-ci a une influence sur le comportement de la plante, par exemple la forme d'une feuille influe sur la quantité de biomasse qu'elle produit. (**Chelle, 2005**).

7.1.4.1. Dimensions des organes

Chaque organe reçoit une certaine proportion de la matière produite par la plante.

Nous raisonnons en matière fraîche et nous supposons en général que la densité des organes est de 1g/cm^3 : le volume d'un organe est donc égal en valeur à sa masse. (**Caraglio et Barthélémy, 1997**).

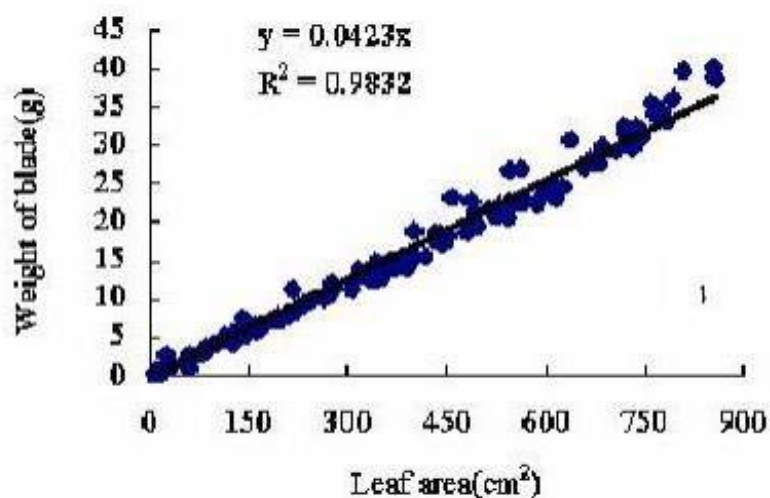


Figure 10 : Relation entre la masse et la surface pour les feuilles d'un tournesol

(Guo et al,2006)

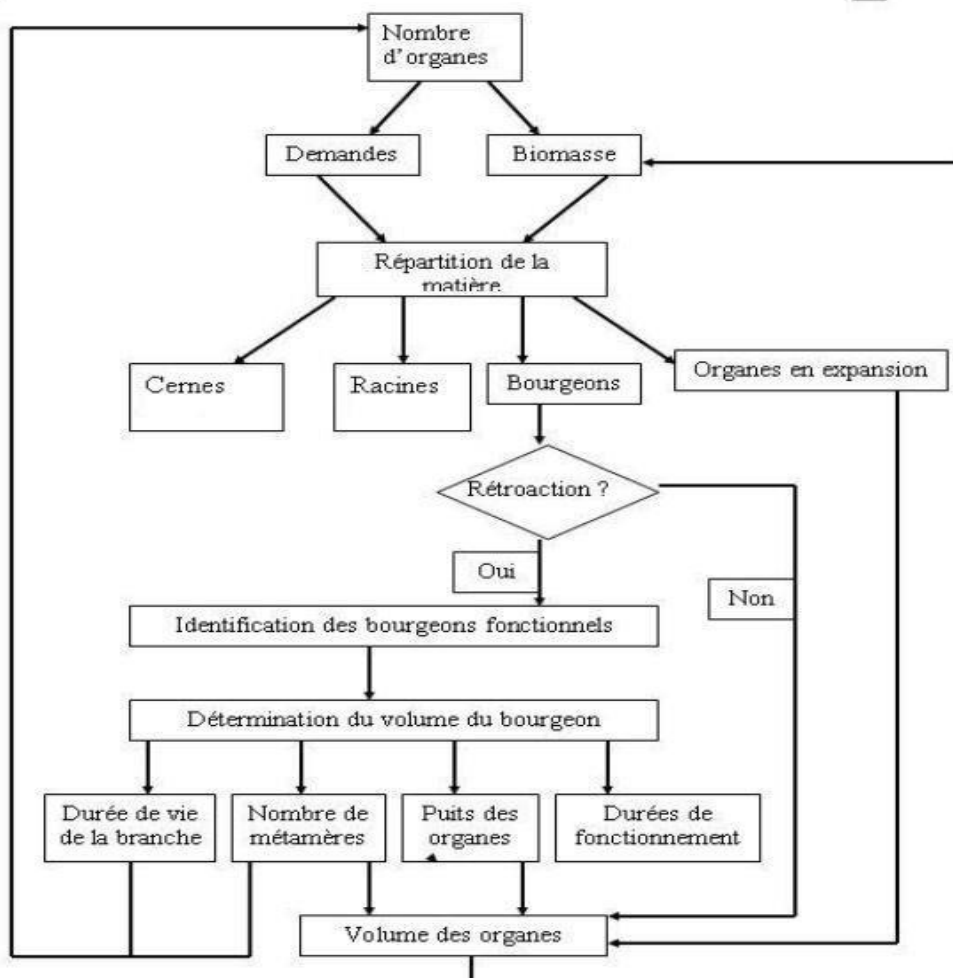


Figure 11 : Déroulement d'un cycle (Barthélémy et al,1997)

7.2. Le modèle PBM et FSPM

Parmi les différentes approches de modélisation de la croissance des plantes, les modèles qu'on explore dans cette thèse font partie des modèles dits PBM (process-based) et des modèles dits FSPM (fonctionnel-structural plant model). Les PBMs ont été les premiers à pouvoir faire le bilan du métabolisme de la croissance des plantes en termes de biomasse par surface unitaire au champ.

Modèles conçus pour simuler les processus physiologiques de sorte à Dans la plupart des PBMs, le taux de croissance des plantes est calculé en fonction de la radiation interceptée ; puis des règles sont définies pour la répartition incrémentale de cette croissance sur les différents compartiments végétaux, en fonction des différents facteurs qui régulent la croissance (ex. la température, les substances nutritives, l'eau, la concentration ambiante de CO₂ (**Bouman et al. (1996), Marcelis et al. (1998), Van Ittersum et al. (2003)**). Les FSPMs ont été développés à partir des années 60 (**Lindenmayer ;1968a), Lindenmayer ;1968) Honda ;1971), Borchert and Honda ;1984, Kurth ;1994**). Ces modèles décrivent explicitement le développement au cours du temps de l'architecture et la mise des différents organes constitutifs des plantes, en interaction avec les processus physiologiques (**Sievanen et al. 2000**).

Les FSPM considèrent que la régulation de la croissance des plantes régie par les facteurs environnementaux passe non seulement par leur fonctions physiologiques (par exemple photosynthèse, transpiration, allocation de l'azote), mais aussi par leur structures (avortement ou débourrement des bourgeons, durée de survie des organes ou débranches, la forme et l'orientation des organes). De plus, ces adaptations structurales modifient à leur tour les conditions (par exemple l'interception lumineuse) influant sur les fonctions physiologiques. Ainsi, ce type de modèles permet de modéliser ces rétroactions complexes entre le développement structural et la physiologie de la plante. De plus, ces rétroactions peuvent être traitées soit au niveau local des organes individuels soit au niveau de la plante en tant qu'entité. (**Godin and Sinoquet ;2005), (Hanan and Prusinkiewicz ;2008)**.

Chacune de ces deux familles de modèles permet d'aborder différents types d'objectifs. Les PBMs classiques simulent la croissance des cultures à l'échelle de l'unité de surface, tandis que les FSPMs ont pour unité de base de modélisation les organes et simulent la croissance de plantes individuelles. Les FSPMs peuvent permettre également de modéliser la compétition entre différentes plantes voisines. Propose une possibilité de modélisation qui illustre cet

CHAPITRE II : GÉNÉRALITÉ SUR MODELISATION DE LA CROISSANCE CHEZ UNE CULTURES IN VITRO DE FEVE (*VICIA FABA*)

avantage. (Feng ;2011).

Comme ils n'intègrent pas de représentation de l'architecture des plantes, les PBMs contiennent généralement moins de paramètres, ils nécessitent donc moins de données pour la calibration. Ainsi, la robustesse des PBMs leur garantit a priori une meilleure capacité prédictive, en particulier (donne un aperçu sur ce point en comparant différents modèles FSPMs et PBMs. (Baey et al.2012).

Dans les deux cas, il s'agit de modèles dynamiques pouvant écrire sous une forme générique exprimant l'état du système au temps $t + \Delta t$ à partir de l'état du système au temps t et du taux de croissance de la plante durant le pas de temps Δt .

Ainsi, lorsqu'on construit un modèle de plante-sol en couplant un modèle de plante avec un modèle de sol, on est amené à choisir un modèle de plante donc a fortiori la famille de modèles à laquelle il appartient. (Baey et al.2012).

D'un point de vue théorique, il est intéressant d'intégrer un modèle FSPM dans le système sol-plante-atmosphère pour élucider l'impact du stress hydrique sur le développement structural de la plante et plus particulièrement sur certains organes comme les fruits. Sur cet aspect l'a on peut parier qu'un FSPM peut se révéler plus performant qu'un PBM concernant la prédiction de l'indice de récolte, maillon faible des PBMs. Ce choix pourrait aussi être plus adapté à certains objectifs spécifiques comme l'étude de la compétition entre les plantes individuelles. Cela contribuerait certainement à apporter un peu plus de fonctionnalité dans les PBMs concernant les relations entre densités et indices foliaires (LAI) maximaux (Mailhol et al. 2011).

Cependant, si l'étude traite l'effet global du stress à l'échelle du champ de culture, un PBM pourra fournir suffisamment d'information sur le développement de la culture en place par le biais de son LAI moyen par exemple. Pour calibrer et valider un modèle de sol-plante-atmosphère modélisant l'impact du stress hydrique, il est préférable de disposer des données relatives à plusieurs traitements d'irrigations. Etant donnée la lourdeur relative au calage et la validation d'un FSPM liée à son grand nombre de paramètres, pour un objectif bien défini (rendement et LAI par exemple), il apparaît plus réaliste de valider un FSPM à partir d'un PBM lorsque ce dernier s'est montré performant sur les différents traitements. (Cournede et al. 2011).

8. L'analyse ANOVA

C'est l'analyse en jeu dans notre mémoire, Cette analyse se base sur le principe du plan expérimental factoriel afin de déterminer l'effet de plusieurs L'analyse ANOVA facteurs. Le principe est de définir un certain nombre de niveaux pour les paramètres à analyser et de construire un plan expérimental comprenant l'intégralité des combinaisons possibles (**Frey et Patil, 2002**).

Pour un cas de K facteurs ayant chacun n modalités, il y'a donc nk scénarios d'entrée possibles et après simulation nK sorties du modèle (**Frey et Patil, 2002**).

L'analyse de variance sera basée sur la décomposition de la variabilité de la réponse et les contributions de chacun des facteurs.

L'avantage de cette méthode est qu'elle permet de prendre en compte facilement les interactions entre facteurs ce qui permettra d'évaluer également leur contribution. L'intérêt est alors de comparer la contribution des différents facteurs à la variabilité totale. Cela peut être fait en calculant les indices de sensibilité par ANOVA en divisant la somme des carrés des écarts obtenue pour chaque facteur par la variabilité totale (**Frey et Patil, 2002**).

Si-SCE/SCETot

A noter que SCE_i peut représenter la somme des carrés des écarts associée à un facteur mais aussi à l'interaction entre deux facteurs (**Frey et Patil, 2002**).

9.Exemple des modelés des cultures et leur utilisation

*SALUS

SALUS est l'abréviation de System Approach to Land Use Sustainability. Ce modèle se base principalement sur le modèle de culture Ceres (**Ritchie et al., 1985**). Il permet de simuler la croissance continue sous des conditions fixes de sol, météo, eau et culture selon différents managements pour plusieurs années. Le pas de temps est le jour et différentes stratégies de management peuvent être simulées simultanément (**Basso et al., 2010**). Pour chaque jour, le bilan hydrique, les bilans du Phosphore et de l'Azote, la matière organique du sol, la balance thermique, le développement et la croissance de la culture ainsi que le management particulier sont simulés (**Basso et al., 2006**).

CHAPITRE II : GÉNÉRALITÉ SUR MODELISATION DE LA CROISSANCE CHEZ UNE CULTURES IN VITRO DE FEVE (*VICIA FABA*)

Les principaux avantages du modèle de culture SALUS sont (**Basso et al., 2006**) :

- Il est possible de comparer facilement les résultats obtenus par les simulations réalisées simultanément et selon différents formalismes,
- L'interface du modèle permet une comparaison des résultats aisée,
- Le modèle est adapté à un grand nombre de cultures (riz, soja, blé, pommes de terre,...).
- Chaque composant principal du modèle sol-eau-plante est calculé pour chaque jour et pour chaque stratégie.
- Les formalismes des différentes parties du modèle sont homogènes au niveau de leur complexité. **B. Basso et al. (2006)** soulignent néanmoins le fait que le modèle de culture ne prend pas en compte les possibles ravageurs et maladies.

Cette section présentera l'organisation du modèle afin d'en comprendre le fonctionnement. Elle est principalement basée sur l'article de **Basso et al., (2006)**.

*STICS

STICS (Simulateur multidisciplinaire pour les Cultures Standard) est un outil de simulation opérationnel en conditions agricoles. Il prend en entrées les données du climat, du sol et du système de culture. Il sert à simuler la quantité et la qualité de la production et l'impact sur l'environnement. (**Brisson et al, 1998**). C'est un modèle dynamique qui simule le comportement du système sol-culture dans une dimension, sur un cycle cultural ou plusieurs cycles successifs. Il réalise des simulations à pas de temps journalier. Il comporte neuf modules : la phénologie, la croissance des pousses, le rendement, la croissance racinaire, bilan hydrique, le bilan azoté, les transferts dans le sol. Les trois premiers modules concernent la partie aérienne de la Plante ; les quatre modules suivants concernent l'interaction du sol et de la partie souterraine de la plante (**Brisson et al, 2008**).

Ensuite viennent s'ajouter deux autres modules : le microclimat et la gestion de la culture. Le module gestion de la culture s'occupe des interactions entre les techniques appliquées et le système sol-culture. Le module microclimat simule les effets combinés du climat et du bilan hydrique sur la température et l'humidité de l'air dans la canopée (**Brisson et al, 2008**).

Ce modèle générique est utilisé pour simuler plusieurs types de cultures comme par exemple le blé, la tomate, la vigne, la canne à sucre, et la culture fourragère (**Brisson et al, 2008**).

La validation a été faite sur les variables de sortie du modèle, définie comme étant les

CHAPITRE II : GÉNÉRALITÉ SUR MODELISATION DE LA CROISSANCE CHEZ UNE CULTURES IN VITRO DE FEVE (*VICIA FAB*A)

variables finales d'intérêt agronomique telles que le rendement et ses composantes, la biomasse aérienne, les dates de floraison et de maturité, les teneurs en azote dans la plante et dans le grain, la quantité d'eau et d'azote dans le sol (**Brisson et al, 2002**).

*APSIM

Agricultural Production Systemss IMulator (APSIM) est un modèle de simulation des systèmes de culture, conçu pour combiner des prédictions précises de produits comme les grains, la biomasse ou le rendement en sucre. Ce modèle dynamique s'applique à différentes cultures sous différentes conditions climatiques et différents modes de gestion de la culture. Il donne des prédictions sur le long terme, de l'effet du système de culture sur les propriétés physiques et chimiques du sol (**Keating et al, 2003**).

APSIM est un modèle générique de céréales (maïs, sorgho), Il réalise des simulations à l'échelle de l'organe. Il génère le phénotype d'une plante comme variable de sortie, résultant d'une interaction entre différents processus physiologiques. C'est un modèle basé sur le concept de l'offre et de la demande de la lumière, du carbone et de l'azote (**Hammer et al, 2001**).

Il est composé de deux grands compartiments : le compartiment représentant la croissance et le développement de la plante et celui représentant l'azote dans la plante. (**Hammer et al, 2001**).

*CERES

CERES (Crop Environment throw Ressource Estimation Synthesis) est un modèle développé pour simuler l'impact des cultures sur l'environnement (**Jones, 1986**).

Il réalise des simulations à pas de temps journalier. Il prend en entrée des données relatives au climat, à la gestion de la culture et au sol (par épaisseur).

Il produit le rendement, le nombre de ramifications reproductrices, le nombre de grains par épi. CERES est une grande famille de modèles (**Jones, 1986**).

Dans cette famille se retrouve CERES-EGC (Environnement et Grandes Cultures). CERES-EGC est utilisé pour une large gamme de culture : le blé, l'orge, le sorgho, le tournesol, le pois, la canne à sucre et le colza (**Lamboni et al, 2009**). Il a été implémenté dans le langage FORTRAN.

CHAPITRE II : GÉNÉRALITÉ SUR MODELISATION DE LA CROISSANCE CHEZ UNE CULTURES IN VITRO DE FEVE (*VICIA FAB*A)

Ces modèles sont des dérivés de la racine CERES qui ont été développés par d'autres utilisateurs pour l'adapter à leur problématique. Une étude de l'analyse de sensibilité a été faite sur le modèle CERES-ECG en utilisant les méthodes d'analyse de sensibilité globale séquentielle et multi variée pour améliorer les prédictions de ce modèle (**Lamboni et al, 2009**).

***AFISOL**

Le modèle AFISOL est un modèle de culture de fève mixte agronomique intégrant à la fois les impacts environnementaux et des éléments de l'itinéraire technique. AFISOL a été élaboré sous Excel (**Vocanson, 2006**).

Ce modèle simule le rendement (en quintaux de graines par hectare) et les composantes du rendement (le nombre de graines et le poids d'une graine) ce sont les variables de sortie du modèle. Il prend en variables d'entrée d'une part les données du climat et du sol et d'autre part des données des techniques culturales (date de semis, irrigation) (**Vocanson, 2006**).

Pour simuler le rendement, AFISOL simule le fonctionnement de la culture (phénologie, l'enracinement, la croissance aérienne, l'accumulation d'azote) pendant tout le cycle de la culture (du semis à la récolte). Il tient compte de la réaction de la culture face à différents stress : les stress thermique, hydrique ainsi que ceux liés à l'azote et au tassement du sol (**Vocanson, 2006**).

Les valeurs simulées par AFISOL ont été comparées aux valeurs observées dans diverses conditions de croissance : deux sites différents, deux cycles de culture, trois types de cultivar (deux variétés de fève de printemps et une variété de fève d'hiver), sur sol compacté et non compacté (**Jeuffroy et al, 2012**).

Il a été obtenu un RMSE (Root Mean Square Error) du modèle pour le rendement en grain de 800 kg/ha, ce qui représente 12% des mesures moyennes, allant de 4800 kg/ha à 7700 kg/ha (**Vocanson, 2006**).

Ce modèle est très utile surtout dans le contexte actuel de changement climatique où on observe un réchauffement continu de la planète pour comprendre les impacts de ces changements sur la culture de fève et essayer de l'y adapter. Cependant, la version sous Excel ne facilite pas l'utilisation du modèle (**Vocanson, 2006**).

*AZODYN

Le modèle Azodyn est un modèle simple dont son objectif est l'élaboration des stratégies de fertilisation azotée (apport d'engrais azoté : date d'application). Il simule le fonctionnement du système sol-plante pour la culture du blé, il est considéré comme outils d'aide à la décision dans la gestion de la fertilisation azoté pour les agriculteurs. (**Jeuffroy et Recous, 1999**).

Ce modèle a été initialement développé pour simuler l'apparition d'une carence azotée chez le blé tendre d'hiver (**Jeuffroy et Recous, 1999**), et ce modèle a été complété dans le but de simuler les effets de différentes dynamiques d'apport azoté avant floraison sur le nombre de grains par mètre carré (**Jeuffroy et Bouchard, 1999**), puis la dynamique de l'accumulation d'azote et de biomasse dans les grains entre la floraison et la maturation. Il mime donc le rendement et la teneur en protéines du grain à la récolte (**Girard, 1997**). L'objectif initial du modèle était de servir d'outil de réflexion sur l'enrichissement en azote selon des objectifs quantitatifs et qualitatifs de production ainsi que des critères économiques et environnementaux. Il a été construit sur le cultivar Soissons, une variété principalement cultivée en France dans les années 1990-2002 (**Prost et al., 2003**). Le modèle va de la sortie de l'hiver jusqu'à la maturité physiologique de la culture. Il comprend un module « sol », qui décrit la dynamique d'apport d'azote du sol, et un module « végétal », qui décrit le travail de la culture, par jour pendant toute la période de simulation.

L'utilisation de ce modèle pour analyser et prévoir le comportement des génotypes nécessite une étape d'identification et d'estimation des paramètres variétaux du modèle. Bien que simple, le modèle comprend au total environ 80 paramètres. (**Jeuffroy et Recous, 1999**), Il n'est donc pas envisageable d'étudier la variabilité génotypique de chacun d'eux. Certains paramètres sont connus pour être stables entre génotypes (par exemple, les paramètres liés à la disponibilité d'azote dans le sol). Un premier choix des paramètres à étudier sera donc réalisé sur la base des connaissances existant dans la littérature (sur l'existence d'une variabilité génotypique de certaines fonctions) et des connaissances expertes sur les variétés, par les acteurs de la filière. Le modèle Azodyn étant initialisé en cours de cycle cultural (à la sortie hiver), la variabilité génotypique pourra également être prise en compte à travers des variables d'initialisation ou variables d'entrée du modèle. L'identification des caractéristiques variétales (paramètres et variables d'entrée) du modèle reposera conjointement sur la comparaison des valeurs de chacune des caractéristiques a priori génotypiques, mesurées

expérimentalement. Cette étape permettra non seulement d'identifier les caractéristiques génotypiques, mais également d'estimer leurs valeurs pour une gamme de génotypes.

Jeuffroy et Recous, 1999).

10- La culture in vitro

Qu'est-ce que la culture in vitro ?

10.1. Définition : De très nombreux ouvrages ont traité de la culture in vitro au cours de la deuxième moitié de ce siècle décrivant toutes les méthodes déployées aussi bien dans le domaine animal que végétal (**Augé et al., 1989 ; Margara, 1989**). Nous pouvons retenir qu'il s'agit globalement d'une méthode de culture des plantes en conditions aseptiques, c'est à dire sans champignon et sans bactérie, utilisant des milieux de culture assez complexes (hormones, sucres, vitamines, acides aminés, sels minéraux) qui peuvent être liquides, gélifiés, voire même solides avec l'emploi de la vermiculite (**Jay-Allemand et al., 1992**). La culture in vitro permet de cultiver des tissus ou des fragments d'organes isolés d'une plante tels que des apex, des bourgeons, des noeuds pouvant régénérer des pousses, mais aussi des racines ayant une croissance de type infini, ou encore des feuilles maintenues en survie. Cette technique permet également de cultiver des cellules isolées voire même des protoplastes capables de se diviser, de former des cals, des tissus organisés et même de régénérer une plante entière. La culture in vitro permet donc d'utiliser toutes les potentialités régénératrices d'une plante, jusqu'à la totipotence cellulaire qui peut se traduire suivant cette formule simple : 1 cellule = 1 plante entière (**Jay-Allemand et Capelli, 1997**).

10.2- Historique et fondement de la culture in vitro

10.2.1- Historique : La culture in vitro est par comparaison, une technique très récente puisqu'elle fut développée seulement au début de ce siècle (**Jay-Allemand et Capelli, 1997**). Les premiers pas de culture in vitro sont dus à un allemand Haberlandt en 1902. Il obtient ainsi, sur un milieu KNOP amélioré, la survie durant plusieurs mois de petits amas cellulaires. Mais il n'y avait pas de multiplication cellulaire (**Augé et al., 1989**). En 1912 Alexie Carrel réussissait la culture indéfinie de cellules de cœur d'embryon de poulet par repiquages successifs. Il fallut attendre 1922 et les travaux de Rablens pour voir apparaître une croissance chez les pointes de racines isolées sur milieu synthétique. Mais la date qui marque réellement le début de la culture in vitro est 1932 avec les travaux de White aux USA sur la croissance

CHAPITRE II : GÉNÉRALITÉ SUR MODELISATION DE LA CROISSANCE CHEZ UNE CULTURES IN VITRO DE FEVE (*VICIA FABA*)

indéfinie en milieu liquide de racines de tomates. Ce succès fut sans doute à l'origine du regain d'effort qui se portera sur la culture de tissus végétaux.

Dès 1934 Gautheret obtient à partir de prélèvement de tissus cambiaux d'arbre des proliférations de tissus qui malheureusement, ne dépassèrent pas huit mois (**Morel, 1952**) (**Scriban, 1988**). Après les travaux de White aux USA en 1932 sur le Tabac, Nobecourt en France sur la Carotte, Limasset et Cornuet en 1949 qui publiaient leurs observations sur l'absence de virus dans les méristèmes de Tabac virosé. Morel & Martin, en 1952 mirent à profit ces observations et entreprirent de mettre en culture in vitro des méristèmes de Dahlia et de pomme de terre atteints de maladies à virus. A partir de ces méristèmes, ils obtinrent in vitro des plantes entières qui furent remises en culture normale et se révélèrent saines au contrôle (**Augé et al., 1989**).

C'est ainsi qu'est née en 1952 cette technique universellement employée actuellement pour assainir toutes sortes de plantes virosées. Un dernier point longtemps contesté, est la possibilité d'obtenir une prolifération de tissus à partir d'une cellule végétale mise en culture in vitro. Torrey, en 1957 réussit à suivre au microscope l'évolution de cellules isolées de pois, mises en culture à proximité d'un tissu nourricier. La culture in vitro de tissus végétaux connaîtra un essor particulier. Aujourd'hui avec l'évolution de la recherche agronomique, la culture in vitro occupe une place importante dans l'agriculture moderne (**Augé et al., 1989**).

10.2.2- Fondement : Chez les végétaux, l'organogenèse est assurée par les méristèmes qui sont constitués de massifs de cellules non différenciées, conservant la capacité de se diviser activement. L'organogenèse implique une différenciation cellulaire, à l'inverse d'une dédifférenciation, dans les tissus déjà spécialisés, peut conduire à la formation de nouveaux massifs méristématiques. Cette particularité illustre la totipotence des cellules végétales, c'est à dire l'aptitude des cellules à se diviser puis à se différencier de nouveau en fonction des conditions expérimentales (**Larpen-Gourgaud et Sanglier, 1992**).

C'est à cette remarquable capacité de la cellule végétale que la culture in vitro doit toute son extension, et peut-on dire, son pouvoir. A cause de cela, tout individu du règne végétal peut ou pourra être cultivé in vitro, il n'y a pas d'exception. Cependant cela ne veut pas dire que le développement actuel des milieux de culture, et les connaissances que l'on peut avoir du comportement de différentes espèces sur ces milieux de culture, permettent de réaliser

immédiatement et sans problème la culture in vitro de toutes les plantes existant sur la terre (Augé et al., 1989).

11. Les applications de la culture in vitro

La culture in vitro d'explants ou de fragments prélevés sur la plante permet différentes applications :

11.1- Le sauvetage d'embryons : Les embryons obtenus après la fécondation peuvent être prélevés, mis en culture in vitro et donner un nouvel individu. Le sauvetage d'embryons consiste à prélever un embryon précocement, pour le cultiver in vitro, soit pour accélérer les cycles végétatifs, soit parce qu'il ne pourrait se développer dans les tissus maternels. (Ferry et al., 1998 ; Semal, 1998).

11.2- La micropropagation : La multiplication végétative par culture in-vitro ou micro propagation présente plusieurs avantages sur les méthodes classiques dites "conventionnelles" de propagation. Cette technique a rendu possible la multiplication d'espèces chez lesquelles les semences sont rares, ou présentant des difficultés de germination et/ou dont les techniques de bouturage ou de greffage sont inapplicables, ce qui a conduit à une plus grande diversité des plantes commercialisées. (Ferry et al., 1998 ; Semal, 1998).

La micropropagation est utilisé dans un but de multiplication en masse, puisqu'elle permet, en partant d'un seul individu (plant), l'obtention d'un nombre considérable de plantes génétiquement identiques à la plante mère (Ferry et al., 1998 ; Semal, 1998). Les plants reproduits ne sont pas seulement conformes mais présentent aussi une grande uniformité. Par ailleurs, l'usage de cette technique nécessite peu d'espace et peut-être programmé indépendamment des saisons. La technique représente donc sans contexte un outil puissant aux perspectives industrielles et économiques importantes (Margara, 1982 ; Boxus, 1995 ; Semal, 1998 ; Skirvin et al., 2000).

Les techniques de micropropagation empruntent essentiellement deux voies : L'une qui utilise des tissus méristématiques (méristème ou apex de tige, bourgeons axillaires) potentiellement capable de donner suite, au développement normal, d'un individu est appelée microbouturage (Saadi, 1991) cette technique est souvent appelée "multiplication conforme" car elle part de méristème préexistant dans les quels, les cellules sont génétiquement très stables l'individu est généralement obtenu en deux étapes successives, d'abord la production

CHAPITRE II : GÉNÉRALITÉ SUR MODELISATION DE LA CROISSANCE CHEZ UNE CULTURES IN VITRO DE FEVE (*VICIA FABA*)

de tige, puis son enracinement. L'autre voie, utilise toute sorte de tissus différenciés (fragments de tige, de racines, de pétiole, de feuilles, d'embryons matures et immatures, d'hypocotyles, de cotylédons...etc) pour aboutir à la néoformation soit de tiges (caulogénèse) et de racines (Rhizogénèse), c'est l'organogénèse soit d'embryons somatique et c'est l'embryogénèse somatique. (Amato, 1977 in Boxus, 1995).

11.2.1- Cultures de méristèmes : Les premiers résultats de cultures de méristèmes appelées communément "cultures d'apex" furent obtenus par Kotte et Robbins, dès 1922 à partir de méristème radriculaire de fève et de maïs (Toute, 1998). Dix ans plus tard, White (1934) obtiendra une culture indéfinie de racines de tomate. En même temps, il s'apercevait que si le virus de la mosaïque du tabac pouvait se multiplier dans des racines de tomate isolées, le virus n'atteignait pas les cellules méristématiques. Plus tard, Limasset et Cornuet (1949) montrent que les organes jeunes de tabac ne renferment que très peu de virus et que les méristèmes apicaux n'en contiennent pas. En 1952, partant de ces observations, Morel et Martin tentent de prélever des pointes méristématiques de dahlias virosés pour reproduire des dahlias génétiquement semblables aux parents, mais exempts de virus. Ils réussiront à éliminer la mosaïque du dahlia et le " spotted wilt virus". En 1955, ils régénéreront de façons analogues des pommes de terre atteintes de virus A et Y (Boxus, 1995).

Depuis lors, la culture de méristèmes a conduit à des applications nouvelles, originales concernant le domaine du phytosanitaire, notamment pour l'éradication de nombreuses maladies (viroses, mycose, mycoplasmoses, bactérioses) et a permis la régénération d'un grand nombre d'espèce saines (Toute, 1998).

Les méristèmes qui sont des tissus de formation, en expansion continue, confèrent à la plante une organogénèse permanente chez les végétaux supérieurs. Ils représentent des petits massifs de cellules indifférenciées (0.1mm) et conservent la capacité de se diviser activement. Ces zones méristématiques gardent jusqu'à leur mort le caractère juvénile. Elles jouent un rôle capital dans le développement végétal puisqu'elles édifient tous les organes (Camefort, 1977 ; Margara, 1989).

En multipliant le méristème prélevé au sommet d'une plante ou dans le bourgeon axillaire, le plus souvent indemne de maladies, on pourra très rapidement obtenir de nombreuses plantes, toutes semblables du point de vue génétique et débarrassées de maladies dont elles étaient affectées (Schmid et Keller, 1984 ; Sama et al., 1998). Il est même possible de reconstituer

des clones indemnes de maladies à partir de pieds-mères malades. D'après **Toute, 1998 ; Fletcher et al., 1998**, il existe plus de 50 espèces végétales qui ont été ainsi assainies c'est le cas de la pomme de terre, la canne à sucre, du dahlia.etc.

La culture de méristème est la méthode la plus généralisable et la plus sûre pour éviter l'apparition de plantes non conformes à la plante mère ou variantes (**Saadi, 1991**). Elle paraît plus intéressante chez les plantes allogames où il est généralement impossible de conserver des génotypes intacts par reproduction sexuée classique.

11.2.2- Organogenèse : L'organogenèse est la base fondamentale de la multiplication végétative, laquelle s'appuie toujours sur la formation de méristèmes nouveaux.

A- Caulogenèse : La caulogenèse désigne à la fois l'initiation et le développement des tiges. Les tiges néoformées in vitro peuvent apparaître sur l'explant initial ou sur une cal. Ils sont induits sur n'importe quel type d'organe ou de tissu y compris sur ceux qui ne les produisent pas dans les conditions naturelles (**Camefort, 1977 ; Zryd, 1988 ; Margara, 1989**). Les études cytologiques, conduites dans le but de déterminer l'origine des tiges néoformés à partir d'un fragment d'organe contenant divers tissus montrent souvent que l'aptitude à la caulogenèse se manifeste à partir de certaines catégories de tissus telles que : cambium, le parenchyme vasculaire ou libérien (**Belanger, 1998 ; Fortes et Pais, 2000**).

L'intensité de cette néoformation est nettement dépendante de la nature des tissus contenus dans l'explant. Elle est maximale pour les tissus cambiaux, élevée pour les tissus du phloème et du xylème, très faible ou nulle pour le parenchyme cortical ou médulaire (**Margara, 1989**).

B- Rhizogenèse : La rhizogenèse désigne la néoformation et la croissance de racine. Les méristèmes de racines se répartissent en plusieurs catégories selon leurs origines. Les racines néoformées, au sein d'un cal, en culture in-vitro, peuvent être considérées comme un cas particulier de méristèmes adventifs (rhizogenèse indirecte) ou l'émission de racines sur un explant dans des endroits inhabituelles (rhizogenèse directe). La rhizogenèse est un phénomène complexe, il comporte différentes phases : la dédifférenciation, formation d'amas de cellules méristématiques, différenciation et organisation des amas méristématiques en primordium racinaire qui se développeront en jeunes racines (**Margara, 1989 ; Boxus, 1995**).

11.2.3- Embryogénèse somatique : Les embryons somatiques peuvent être induits à partir de cellules cultivées en suspension, ce qui rend possible une production en fermenteur et

CHAPITRE II : GÉNÉRALITÉ SUR MODELISATION DE LA CROISSANCE CHEZ UNE CULTURES IN VITRO DE FEVE (*VICIA FABA*)

réduit considérablement le coût de production. Ainsi les taux de multiplication sont généralement importants et chez certaines espèces, les embryons peuvent être encapsulés et traités comme des graines artificielles. Des plantes complètes sont obtenues directement suite au processus de germination. Les manipulations sont donc simplifiées par rapport à la micropropagation traditionnelle qui nécessite plusieurs milieux différents pour le développement des tiges et des racines et l'obtention de plantules complètes. (**Margara, 1989 ; Boxus, 1995**).

Cependant, plusieurs difficultés subsistent en embryogenèse somatique :

L'induction du potentiel embryogène et la régénération restent souvent difficiles. Les cultures de cals, et plus encore les cultures de cellules isolées, sont propices à l'apparition de mutations géniques pouvant être responsable d'une variabilité des plantes issues de la culture. Toutefois, dès que cette variabilité sera maîtrisée, l'embryogenèse somatique permettra de produire des quantités très élevées de plantes à faible coût. Certaines espèces, telles que le palmier dattier ou certains conifères font déjà l'objet d'une production industrielle par embryogenèse somatique. (**Margara, 1989 ; Boxus, 1995**).

11.3- La production de plantes haploïdes : Cette technique présente un grand intérêt pour l'amélioration des plantes, elle permet d'accélérer les cycles de sélection. Pour l'androgenèse, on part d'anthères immatures. A partir des microspores, il peut y avoir apparition d'embryons directement ou après formation d'une cal haploïde. (**Margara, 1989 ; Boxus, 1995**).

11.4- Culture et fusion des protoplastes : Le terme protoplaste désigne une cellule végétale débarrassée de sa paroi : elle apparaît alors sous forme d'une cellule sphérique, limitée par sa membrane plasmique. L'intérêt de ces cellules réside dans le fait qu'il est possible de faire pénétrer dans la cellule des molécules diverses dont de l'ADN, des organites (chloroplaste, mitochondrie), des noyaux (fusion) et effectuer des manipulations génétiques. Toutes les espèces ne peuvent pas régénérer à partir de protoplastes et le rendement est faible. (**Evans, 1989**).

11.5- La variation somaclonale et la culture in vitro : Un taux élevé de variation peut être induit en culture in vitro lorsque les cultures sont réalisées dans des conditions particulières. Plus précisément, les plantes régénérées à partir de cultures initiées d'explants différenciés (ne contenant pas de méristèmes préexistant) ou à partir de cultures de cals présentent des taux parfois importants de non-conformité. Cette variabilité semble de plus être proportionnelle au

CHAPITRE II : GÉNÉRALITÉ SUR MODELISATION DE LA CROISSANCE CHEZ UNE CULTURES IN VITRO DE FEVE (*VICIA FABIA*)

temps de culture. Des mutations induites pendant la culture ont été détectées chez de nombreuses espèces végétales. L'existence de ces variations spontanées a stimulé l'intérêt de la culture de cellules ou de tissus pour l'isolement de plantes présentant des caractéristiques nouvelles. La majorité des lignées isolées à ce jour se sont toutefois révélées sans intérêt agronomique. Dans quelques cas cependant, l'existence de cette variation somaclonale a permis d'isoler des plantes présentant des caractères intéressants d'un point de vue agronomique. Par exemple, des plants de canne à sucre présentant un taux de sucre plus important ont été isolés. De même, des génotypes résistants à certains virus, ont été obtenus chez la tomate et la pomme de terre (Evans, 1989).

Tableau 04 : Technique de culture in vitro et leur principale application :

Technique de culture in vitro	Application
Culture d'embryons zygotique	Sauvegarde de génotype
Embryogenèse somatique	
Culture de nœuds et de Bourgeons	Production et transformation génétique
Culture d'apex	Rajeunissement et microboutures
Micro greffage	Etat sanitaire et rajeunissement
Micropropagation	Etat sanitaire et rajeunissement
Androgenèse et gynogenèse	Rajeunissement et production
Culture de cellules isolées	Amélioration (haploïde)
Culture de tissus, de cals	Modèle d'étude et de recherches
	Substance pharmacologique

12. Les bénéfices de la culture in vitro

12.1- Collection de génotypes et état physiologique du matériel conservé : A partir d'un matériel sélectionné en forêt, en verger ou en pépinière, il est possible de produire par culture de nœuds et/ou micropropagation des copies végétatives qui serviront à l'installation de parcs à pied-mères. Grâce à la culture d'embryons zygotiques, à la micropropagation et à l'embryogenèse somatique, des génotypes peuvent être conservés in vitro (tubes, bocaux ou boîtes de pétri) sur de longues périodes pouvant dépasser les 10 ans (cas de l'orme, du noyer, des porte greffes fruitiers...). (Engelmann et Baubault, 1986).

CHAPITRE II : GÉNÉRALITÉ SUR MODELISATION DE LA CROISSANCE CHEZ UNE CULTURES IN VITRO DE FEVE (*VICIA FAB*A)

Cette technique demande d'importants moyens humains pour entretenir les souches in vitro tout au long de l'année sur la base de repiquages mensuels. Cependant, on peut envisager de conserver les génotypes clonés dans l'azote liquide par cryoconservation (**Engelmann et Baubault, 1986**) de méristèmes (cas du merisier et du noyer), d'embryons somatiques (cas du mélèze) et zygotiques (cas du palmier à huile). Enfin, l'application des techniques de culture in vitro (Micropropagation et microgreffage) permet de maintenir le matériel sélectionné dans un état proche de la juvénilité favorable à la multiplication végétative, au bouturage en particulier (**Francllet, 1980**). Cette opération est généralement couplée à des techniques dites de rajeunissement (taille sévère, recépage) des pieds-mères ou des arbres âgés sélectionnés qu'il est nécessaire d'utiliser pour obtenir de bons résultats en culture in vitro (prolifération, croissance des pousses feuillées et formation des racines adventives).

12.2- Obtention de matériels indemnes de maladies : Grâce à la culture de méristèmes ou à la technique de microgreffage on peut produire des variétés indemnes de virus en particulier (cas du fraisier, de la pomme de terre, de la vigne et des porte-greffes fruitiers) et éviter ainsi des pertes de productivité voire même la dégénérescence des plants cultivés. Ces variétés peuvent être conservées soit en culture in vitro soit en pépinière. Un suivi de ces variétés peut être effectué grâce à des tests sérologiques attestant la qualité de l'état sanitaire des plants commercialisés. (**Engelmann et Baubault, 1986**).

12.3-Développement de méthodes de production de plants : La culture in vitro a depuis longtemps fait ses preuves comme outil de production de plants par sa rapidité à amplifier une variété donnée, par sa capacité à raccourcir les cycles de production et à stocker de grandes quantités de matériel dans un espace réduit, par sa puissance de production en masse sur des temps courts permettant une programmation précise de la sortie des plants commandés. Dans le domaine de l'horticulture, deux principales méthodes sont aujourd'hui utilisées : la micropropagation et l'embryogenèse somatique. La première est bien adaptée à la production de plantes herbacées, d'arbres fruitiers et de feuillus forestiers, alors que la seconde est performante pour les conifères et certaines monocotylédones telles que le palmier dattier par exemple (**Jay-Allemand et al., 1992**).

De nombreuses entreprises ou pépinières privées ont intégré cette technique en tant qu'outil de production leur permettant de gérer la quantité de plants selon les commandes. Mais plus rares sont celles qui l'utilisent comme un outil central de gestion du matériel et de production,

situé en permanence à l'interface pieds mères et élevage en serre. C'est le cas de l'entreprise BIOFORESTA située à Oyarzun en Espagne qui a construit son laboratoire au cœur de la pépinière constituée de plus de 250 variétés différentes, toutes élevées en pot. (**Jay-Allemand et al., 1992**).

12.4- La culture in vitro au service de l'amélioration variétale : L'amélioration génétique traditionnelle tient et tiendra encore toute sa place pour les années à venir afin de sélectionner des variétés bien adaptées à l'environnement dans lequel elles seront cultivées, tolérantes aux maladies et possédant des caractéristiques agronomiques intéressantes. Cependant, là encore la culture in vitro joue et jouera un rôle déterminant à trois principaux niveaux : (**Jay-Allemand et al., 1992**).

-La sauvegarde de génotypes produits par fécondation contrôlée grâce à la culture d'embryons zygotiques ou d'axes embryonnaires.

- La production d'haploïdes par androgenèse (culture d'anthers) ou gynogenèse (sacs embryonnaires, oosphères non fécondés) permettant d'obtenir des lignées homozygotes après diploïdisation, recherchées par les améliorateurs.

-La production de plants génétiquement modifiés via *Agrobacterium tumefaciens* par l'utilisation de techniques de régénération faisant appel à l'embryogenèse somatique au bourgeonnement adventif et à la micropropagation.

13- Les problèmes liés à la culture in vitro

13.1- La vitrification : Certains accidents, non prévisibles au départ, peuvent intervenir en cours de culture in vitro, comme des malformations dues à un déséquilibre hormonal. (**Auger et al., 1989**)

13.2- La perte de caractères intéressants : La production répétée de grands nombres de plants uniformes (clones) peut entraîner la perte des gènes nécessaires, par exemple, à la résistance aux maladies nouvelles, il faut donc conserver les pieds mères et à certains moments, repasser par la reproduction sexuée. (**Auger et al., 1989**).

13.3- Problèmes inhérents à la technique

13.3.1 - L'asepsie : La technique de culture in vitro exige beaucoup de soin pour le maintien des cultures en condition d'asepsie. Lorsque l'on a des cultures infectées, cela peut provenir de

différentes causes. Il peut s'agir d'un champignon (moisissure) ou d'une bactérie. S'il s'agit d'un champignon, on voit un développement mycélien qui a une texture feutrée, souvent blanche ou grisâtre. S'il s'agit d'une bactérie, on voit alors un voile d'aspect laiteux, développé à l'intérieur du milieu et à la surface. Si l'infection part de la zone de contact entre les tissus et le milieu, ce sont les tissus eux-mêmes qui sont la source de l'infection. Si l'infection part d'un point quelconque du milieu, la source de l'infection peut être soit l'air, soit une mauvaise stérilisation du milieu, soit une infection de l'air ambiant par l'intermédiaire de l'eau de condensation au niveau du couvercle (**Auger et al., 1989**).

13.3.2-L'acclimatation : Le passage à des conditions de culture normale est parfois délicat. En effet, durant son séjour in vitro, la plante est à l'abri des stress. (**Auger et al., 1989**).

13.3.3- L'apparition d'anomalies génétiques : Certains cas d'hyperfloraison, perte de sexualité chez certaines espèces, apparition d'organes anormaux : c'est la variation somaclonale. (**Auger et al., 1989**).

14-Les facteurs influençant la culture in vitro

***La lumière et la photopériode**

La lumière est un facteur déterminant pour la culture in vitro des plantes, elle a une grande influence de par la durée d'exposition (photopériode), selon (**Hussey et al., (1981)**) d'autre part la longueur de jour qui affecte la vigueur et le développement des proliférations et la croissance des cals, cette dernière pourrait aussi contribuer à la formation des cals (Briggs ,1964), de façon général le début de croissance nécessite une faible intensité lumineuse (500à 1000 lux) avec 12 à 16 heures de photopériodes (**Bommeneni et jauhar , 2003**). Lorsqu'il s'agit de préparer la plantule au rempotage en serre, il apparaît souvent préférable d'augmenter l'intensité de l'éclairage (par exemple 10000 lux) (**Margara ,1989**).

***La température**

La température de beaucoup de chambres à culture est constante de l'ordre de 22° à 25° C (**Margara ,1989**) mais selon LÊ, (1994) des faibles températures de 15° à 20° C stimulant la micro tubérisation chez la pomme de terre, selon (**Walali, 1993**) pour l'olivier (27° à 28° C) c'est la température optimale.

***Le support de milieux de culture**

Les six macroéléments nécessaires à la croissance (N, P, S, K, Mg, Ca) sont absorbés sous forme d'ions (**Margara ,1989**). Le potassium occupe la première position, il existe dans le milieu sous forme de nitrate ou chlorure avec une concentration de 20 à 30 mM, Il occupe la position du maître cation en relation d'une part avec la préférence de l'absorption qui lui vaut sa grande fusibilité complète d'une sélectivité avec exclusion de d'autre part Na. (**Margara ,1989**).

Deuxièmement le phosphore est absorbé sous la forme orthophosphorique (H_2PO_4 ou HPO_4), les besoins de la croissance dans les cultures des tissus varient de 1-30Mm, il augmente la densité des racines. Pour le calcium, les besoins en cet élément varient de 1-3 mM, le rôle du calcium, est le maintien de la structure cellulaire. Le magnésium à un rôle de construction de la molécule de chlorophylle et finalement les composés azotiques qui représentent la principale source d'alimentation azotée (**Yves, 1984**).

*** Le saccharose**

Pour la culture in vitro le saccharose constitue une source d'énergie car la plante n'est pas encore arrivée à satisfaire ses besoins énergétiques, on peut dans un cas particulier utiliser d'autres sources, tels, le galactose et le lactose (**Téoulé, 1993**).

*** Les vitamines**

En culture in vitro certaines vitamines sont favorables aux croissances des tissus, parmi les principales, citons : le thiamine, l'acide nicotinique, la pyridoxine, leurs concentrations sont fréquemment de l'ordre de 1mg/l (**Téoulé, 1993**).

*** Les régulateurs de croissances**

Les régulateurs naturels de croissances des végétaux, appelés souvent hormones de croissance, se répartissent actuellement en cinq groupes : auxines, cytokinines gibbérellines, acides abscissiques, éthylènes selon (**Margara,1989**). Les facteurs de croissance suivants les auxines (AIA, AIB, AIP) et les cytokinines (la kinésine et la benzylamenopurine) sont des régulateurs de croissance indispensables au bon démarrage et à l'entretien de ces cultures de tissus végétaux in vitro. (**Margara,1989**).

D'ailleurs, les prédictions de Gottlieb Haberlandt sur la potentialité des cellules végétales

n'ont pu recevoir une confirmation qu'à partir de 1939, après la découverte des facteurs de croissance et notamment des auxines (**Tourte et al.,2005**) ces dernières participent à la croissance en augmentant le nombre de cellules et provoquent l'élongation cellulaire. Les cytokinines y sont impliquées en augmentant le nombre de cellules ; ceci fait en fonction de l'équilibre auxines /cytokinines qui détermine l'organogenèse. (**Tourte et al.,2005**).

15-Les avantages de la culture in vitro

La production de vitro plantes pouvait se substituer à la méthode de micro bouturage avec des avantages suivants :

*La possibilité de conservation de ressources végétales et faire une banque de géotypes et réaliser ainsi des plantations hors la période de croissance (**LÊ et al., 2002**).

* L'amélioration des conditions sanitaires par les techniques de cultures in vitro souvent associées à l'éradication des viroses (**Sibi ,1981**).

* La propagation végétative des espèces qui ne présentent pas ces capacités en conditions classiques (**Sibi .1981**).

*La multiplication rapide, cette dernière est due à l'augmentation de diffusion cellulaire par ces techniques (**Smith et al.,1985 ; Collet et LÊ, 1988**).

* La facilité de leur transport d'une région à l'autre ou d'un pays à l'autre. (**LÊ et al., 2002**).

*Pour la pomme de terre la disponibilité de micro tubercules à n'importe quelle époque de l'année et les sèmes directement dans le sol. (**Sibi .1981**).

PARTIE EXPÉRIMENTAL

CHAPITRE III.MATERIEL ET METHODE

1.Site d'expérimentation

Ce travail a été réalisé au niveau de laboratoire de chimie du sol de l'université 20 août 1955 à Skikda, faculté des sciences, département d'agronomie, ce laboratoire est constitué de plusieurs appareils pour étudier et analyser les sols telles que pH mètre, le conductimètre, la balance. Les échantillons étudiés sont placés sur la même condition exemple : la température, la lumière, et l'humidité.

2. Matériel utilisée

2.1. Matériel de laboratoire

Conductimètre.

PH-mètre.

Thermomètre.

Balance numérique.

Pipete.

Boite de pétré.

Bicher.

Papier mouchoirs



Ph mètre



Conductimètre



Balance



La règle



Bicher



pipete

Photo 02 : les matériels de laboratoire

2.2. Les substrats

Eau du robinet

Eau de pleureur

Eau de pois

2.3. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est composé de la fève (*vicia faba*) variété de Hystal, Bahi, Séville, traité par produit de Thirum.

2.3.1. Caractéristique des variétés la fève (*vicia faba*)

La fève est une plante Dicotyledone, grimpante herbacée annuelle, famille Des Fabace (légumineuses) à cycle court, faculté germinative 2 ans, le semis : novembre, récolte : début juin. La fève est très sensible au Mildiou, L'Ordium et L'Anthracnose et résiste à la chaleur.

3. Méthode

3.1. Conduite de l'expérience

Les graines la fève, sont placées pour la germination dans les boites, le substrat se compose de papier mouchoirs inondées avec de l'eau du robinet, les cultures sont menées en laboratoire, la température moyenne est (T-19°C).

L'expérience a été réalisé au niveau laboratoire, nous avons germé des grains des fèves (Hystal, Bahi, Séville) dans les boites le (13/03/2022) manuellement et elle prend 15jours (Grâce aux conditions défavorables au niveau de laboratoire tell que la température).

Après la germination nous avons semis les plantules (03/04/2022) dans Les 36 pots.

3.2. Le protocole expérimental

D'abord nous avons germé les grains de fève de taille 2,3g et 3,4 g



V1(HISTAL)



V2 (BAHI)



V3 (SEVILLE)

Photo 03 : les graines des fèves variété (Histal, Bahi, Séville)

Ensuite et après la germination nous avons obtenu des petites plantules de taille moyenne 4,5g et 5,8g



Photo 04 : les germes des graines de fève (vicia faba)

Les petites plantules sont cultivées manuellement le 03 /04/2022 à température moyenne de (T-21°C) comme celle de suite :

Nous avons préparé des essais à quatre répétitions comporte des pots en plastique, après la germination des grains on a obtenu des petites plantules de fève puis on a les placée dans l'eau du robinet, l'eau de pleureur et l'eau de pois.

1eme essai : variété1 :

- * Les plantules placées dans l'eau du robinet dans des pots à 150 ml
- * Les plantules placées dans l'eau de pleureur dans des pots à 150ml
- * Les plantules placées dans l'eau de petits pois dans des pots à 150ml

2eme essai : variété2 :

- *les plantules sont cultivées dans l'eau de robinet dans des pots à 150 ml d'eau

*les plantules sont cultivées dans l'eau de pleureur dans des pots à 150 ml d'eau

*les plantules sont cultivées dans l'eau de petits pois dans des pots à 150 ml d'eau

3eme essai : variété3

* Les plantules placées dans l'eau du robinet dans des pots à 150 ml

* Les plantules placées dans l'eau de pleureur dans des pots à150ml

* Les plantules placées dans l'eau de petits pois dans des pots à150ml

-Avons mesuré la conductivité, la salinité, le pH des substrats et la longueur des racines, la taille des tiges des petites cultures et le nombre des feuilles et marqué certaine autre observation comme le nombre phytomères.

-A la fin de l'expérience on va faire une comparaison entre les cultures des quatre essais et sortir l'essai qui donne le meilleur résultat et construire le modèle mathématique.

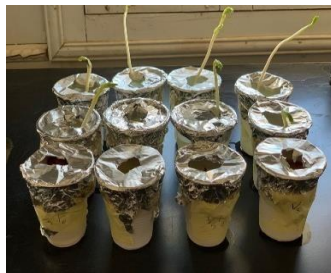


Photo 05 : l'installation de fève dans les pots

4. Les facteurs étudiés

L'objectif de ce travail est la valorisation de nutriments et leur effet sur la croissance et le développement du féve (Histal, Bahi, Séville) pour suivie de la vitesse de croissance de celle-ci puis modéliser le meilleur résultat, pour plusieurs caractères en savoir :

- Longueur des racines.
- La hauteur de tige.
- Le nombre des feuilles.

Aussi mesurer les paramètres suivants : >

Conductivité électrique. >

- Le pH.
- Salinité.

5. Analyse des données

Le test de comparaison des moyennes a été réalisé pour voir l'effet du nutriment naturel sur la croissance et la biomasse des plantes des fèves et si l'eau normale est suffisante pour les cultures de fèves et qu'il n'est pas nécessaire d'ajouter des nutriments (eau de pleureur, eau de petits pois) pour comparer les différents paramètres mesurés.

La moyenne = $\bar{X} = \sum X_i / n$

La variance = $\text{var}(X) = \sum [(X_i - \bar{x})^2] / n$

L'écart type = $\sqrt{\text{var}(X)} = \sqrt{\sum [(X_i - \bar{X})^2] / n}$

CHAPITRES IV. RESULTAT ET DISCUSSION

1. Résultat

Observation sur les plantes des trois essais

Nous avons suivi les plantes des fèves durant un mois on a mesuré la taille des tiges, la longueur des racines et le nombre des feuilles et certain paramètres (conductivité électrique, salinité et le pH) et durant cette période nous avons remarqué certaines variations au cours de la phase de croissance, nos observations sont comme ce de suite :

1.1. Observation sur les feuilles

Nous avons remarqué que l'apparition et la durée de vie des feuilles des cultures de fève est variable ; elles sont de nombre faible et petite taille au début lorsque la culture produit peu de matière puis lorsqu'elle grandit le rapport de l'offre sur la demande augmente, les feuilles deviennent plus grandes (augmentation de surface : croissance) et nombreux (développement).

Pour 1 essai : variété 1 :

Les feuilles sont de taille très petit et de nombre faible moyennement de 6 feuilles pour la 1^e semaine (03-10/04/2022), jusqu'à la fin de la 4^{me} semaine (18/05/2022) ont arrivé aux feuilles plus grands et nombreux moyennement de 15 feuilles

Lors de l'utilisation d'un nourissant (pleureur), nombre de feuilles la première semaine 13 et à la fin semaine 23.

Lors de l'utilisation d'un nourissant (petits pois), nombre de feuilles la première semaine 10 et à la fin semaine 19.

Pour 2 essais : variété 2

*l'eau de robinet : 6 feuilles pour la 1^{ère} semaine et 17 feuilles pour la 4^{ème} semaine

*l'eau de pleureur 13 feuilles pour la 1^{ère} semaine et 27 feuilles pour la 4^{ème} semaine

*l'eau de petits pois : 10 feuilles pour la 1^{ère} semaine et 21 feuilles pour la 4^{ème} semaine

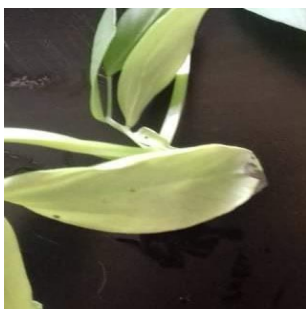
Pour 3 essais : variété 3 :

*L'eau de robinet : 5 feuilles pour la 1^{ère} semaine et 19 feuilles pour la 4^{ème} semaine

*l'eau de pleureur : 16 feuilles pour la 1ère semaine et 30 feuilles pour la 4 semaine

*l'eau de petits pois : 11 feuilles pour la 1ère semaine et 25 feuilles pour la 4 semaine

-Nous constatons aussi que les feuilles prennent des couleurs variables dans les 03 essais, couleur vert foncé pour les cultures de l'essai des nutriments et couleur vert clair pour les cultures de l'essai de l'eau de robinet.



Eau de robinet



eau de pleureur



eau de petits pois

Photo 06 : la couleur des feuilles des cultures dans trois essais de fève

1.2. Observation sur phytomères

Nous avons remarqué l'apparition des phytomères à partir de la 1 semaine (03-10/04/2022) 2 pour les plantes essais 1,2,3, (3 variétés), (eau du robinet) et 3 phytomères pour les plantes essais 1,2,3, (eau de petits pois) et 6 phytomères pour les plantes essais 1,2,3, (eau de pleureur).



Eau de robinet



Eau de pleureur



Eau de petit pois

Photo 07 : l'Observation des phytomères sur trois essais de 1 -ème semaine

À la fin de 4 -ème semaine (18/05/2022) on a remarqué pour la 1et 2 et 3 essais (eau de robinet)3 phytomères, pour eau de petits pois 6 dans essais 1et 2et 3 et pour eau de pleureur 10 phytomère dans essais 1,2,3.



Eau de robinet



Eau de pleureur



Eau de petit pois

Photo 08 : l'Observation des phytomères sur trois essais de 4 -ème semaine

1.3. Observation sur les fleurs et les fruits

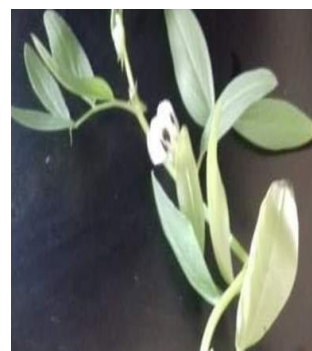
A la fin de la quatrième semaine nous avons remarqué que les cultures de l'eau du robinet sont fleurées et pour les plantes de l'essai de l'eau de pleureur sont fleuré et arrivé au stade de fructification et les plantes de l'essai de l'eau de petits pois sont fleurées



Eau de robinet



eau de pleureur



eau de petit pois

Photo 09 : les fleurs et les fruits de fève dans les trois essais

1.4. Observation sur les tiges

Nous avons remarqué que la taille des tiges des cultures est variée dans les trois essais, trois variétés, nous remarquons une taille moyenne pour l'essai de l'eau du robinet et pour l'essai de nutriment1 (eau de pleureur) on a remarqué une taille de tige plus développée enfin pour l'essai de la nutriment (eau de petits pois) la taille des cultures est petite par rapport aux cultures de la nutriment 1 et les plantes de l'eau de robinet.

1.5. Observation sur les racines

Nous avons observé au niveau des racines que le meilleur développement et ramification c'est pour les plantes de l'essai de nutriment1 (eau de pleureur) puis les plantes de nutriment2 (eau de petits pois), pour les plantes de l'eau du robinet les racines sont moins ramifiées.



Eau de robinet



eau de pleureur



eau de petit pois

Photo 10 : les racines de la plante de fève dans trois essais

>A partir de ces observations nous avons inféré :

- L'eau de robinet contient des sels minéraux et il a les donné aux cultures pour qu'ils sont être croître et développé mais ses éléments ne sont pas suffisants pour que les feuilles des cultures prennent la couleur verte et les racines être trop ramifier et dense et les arrivé à la fructification.
- A partir des résultats observés au niveau de l'essai de la nutriment 1 : l'eau de pleureur c'est l'élément principal de la croissance des cultures et il a donné une bonne croissance pour la partie aérienne et racinaire (les feuilles sont de couleur vert, taille acceptable pour les tiges et des racines trop ramifié et trop dense)
- A partir des résultats observés au niveau de l'essai de la nutriment 2 : a donné de bons résultats, mais moins, par rapport aux résultats de nutriment 1

2. Analyse des résultats

Les résultats relatifs des caractères morphologiques de l'ensemble des essais sont présentés par :

2.1. La longueur des racines

2.1.1. La longueur des racines pour 1 -ème essais (eau de robinet)

Selon les résultats obtenus (tableau 05), la longueur des racines moyenne pour 1 -ème, l'essai de l'ensemble des répétitions (T1, T2, T3, T4) pour quatre semaines est de 8.95 variances 6.5et l'écart type 2.54

Tableau n° 05 : La longueur des racines pour 1 -ème essais (eau de robinet)

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	4	7	9.5	10.2	
T2	5.5	9.5	10.3	11.3	
T3	5	10	11	11.6	
T4	4.5	10.5	11.4	12	
X	4.75	9.25	10.55	11.27	8.95
Var	0.31	1.81	0.52	0.56	6.5
Ecart type	0.55	1.34	0.72	0.74	2.54

2.1.2. La longueur des racines pour 1 -ème essais (eau de pleureur)

Selon les résultats obtenus (tableau 06), la longueur des racines moyenne pour cm, l'essai de l'ensemble des répétitions (T1, T2, T3, T4) pour quatre semaines est de 14.21 variances 4.85et l'écart type 3.85

Tableau n° 06 : La longueur des racines pour 1 -ème essais (eau de pleureur)

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	12	14	16.8	20	
T2	9.5	13.1	15	17	
T3	7.8	11	17.4	20.3	
T4	6	12.7	15.6	19.2	
X	8.82	12.7	16.2	19.12	14.21
Var	4.98	1.18	0.9	1.86	4.85
Ecart type	2.23	1.08	0.94	1.36	3.85

2.1.3. La longueur des racines pour 1 -ème essais (eau de petits pois)

Selon les résultats obtenus (tableau 07), la longueur des racines moyenne pour cm, l'essai de

CHAPITRES IV. RESULTAT ET DISCUSSION

l'ensemble des répétitions (T1, T2, T3, T4) pour quatre semaines est de 10.90 variances 6.92 et l'écart type 2.63

Tableau n° 07 : La longueur des racines pour 1 -ème essais (eau de petits pois)

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	9	10.1	13.6	15	
T2	7.2	10.5	11	12	
T3	6.1	10.8	12	15.2	
T4	5	11.6	11.8	13.7	
X	6.82	12.07	10.75	13.97	10.90
Var	2.25	0.94	0.3	1.77	6.92
Ecart type	1.5	0.96	0.54	1.33	2.63

2.1.4. La longueur des racines pour 2 -ème essais (eau de robinet)

1 Selon les résultats obtenus (tableau 08), la longueur des racines moyenne pour cm, l'essai de l'ensemble des répétitions (T1, T2, T3, T4) pour quatre semaines est de 9.17 variances 7.26 et l'écart type 2.69

Tableau n° 08 : La longueur des racines pour 2 -ème essais (eau de robinet)

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	4.1	7	9.6	10.2	
T2	5.6	10	10.2	11	
T3	5	10.3	11	12.8	
T4	4.5	10.5	11.2	13.8	
X	4.8	9.45	10.5	11.95	9.17
Var	0.29	2.03	0.41	2.03	7.26
Ecart type	0.53	1.42	0.64	1.42	2.69

2.1.5. La longueur des racines pour 2 -ème essais (eau de pleureur)

Selon les résultats obtenus (tableau 09), la longueur des racines moyenne pour cm, l'essai de l'ensemble des répétitions (T1, T2, T3, T4) pour quatre semaines est de 14.90 variances 13.3et

CHAPITRES IV. RESULTAT ET DISCUSSION

l'écart type 3.64

Tableau n° 09 : La longueur des racines pour 2 -ème essais (eau de pleureur)

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	12.2	15	17	20.3	
T2	10	14.1	16.9	18.8	
T3	7.9	13.8	15.9	20.6	
T4	8.5	13.9	14.4	19.2	
X	9.65	14.2	16.05	19.72	14.90
Var	2.75	0.22	1.09	0.76	13.3
Ecart type	1.65	0.46	1.04	0.87	3.64

2.1.6. La longueur des racines pour 2 -ème essais (eau de petits pois)

Selon les résultats obtenus (tableau 10), la longueur des racines moyenne pour cm, l'essai de l'ensemble des répétitions (T1, T2, T3, T4) pour quatre semaines est de 10.81 variances 7.81 et l'écart type 2.79

Tableau n° 10 : La longueur des racines pour 2 -ème essais (eau de petits pois)

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	8	10	13.5	15	
T2	6.2	10.2	11	12	
T3	6.8	10.8	12.1	15.3	
T4	5	11.6	11.8	13.8	
X	6.5	10.65	12.1	14.02	10.81
Var	1.17	0.39	0.81	1.82	7.81
Ecart type	1.08	0.62	0.9	1.34	2.79

2.1.7. La longueur des racines pour 3 -ème essais (eau de robinet)

Selon les résultats obtenus (tableau 11), la longueur des racines moyenne pour cm, l'essai de l'ensemble des répétitions (T1, T2, T3, T4) pour quatre semaines est de 7.81 variances 4.87 et l'écart type 2.20

Tableau n° 11 : La longueur des racines pour 3-ème essais (eau de robinet)

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	4	6.1	8.3	10	
T2	5	7.2	8.1	10.2	
T3	5.6	8.3	9.4	11	
T4	4.5	6.3	9.2	11.8	
X	4.77	6.97	8.75	10.75	7.81
Var	0.4	0.82	0.31	0.51	4.87
Ecart type	0.63	0.90	0.55	0.71	2.20

2.1.8. La longueur des racines pour 3 -ème essais (eau de pleureur)

Selon les résultats obtenus (tableau 12), la longueur des racines moyenne pour cm, l’essai de l’ensemble des répétitions (T1, T2, T3, T4) pour quatre semaines est de 15.84 variances 14.11 et l’écart type 3.75

Tableau n° 12 : La longueur des racines pour 3-ème essais (eau de pleureur)

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	13.2	17	19.3	22.1	
T2	11	15.1	17.6	19.3	
T3	8.2	14.6	17.3	20.3	
T4	8.5	13.4	16.8	19.8	
X	10.22	15.02	17.75	20.37	15.84
Var	4.24	1.83	0.88	1.32	14.11
Ecart type	2.05	1.35	0.93	1.14	3.75

2.1.9. La longueur des racines pour 3 -ème essais (eau de petits pois)

Selon les résultats obtenus (tableau 13), la longueur des racines moyenne pour cm, l’essai de l’ensemble des répétitions (T1, T2, T3, T4) pour quatre semaines est de 14.37 variances 9.91 et l’écart type 3.14

Tableau n° 13 : La longueur des racines pour 3-ème essais (eau de petits pois)

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	12.2	15	18	19.3	
T2	10	14.9	16.1	18.4	
T3	7.9	14	15.7	18	
T4	8	12.7	13.7	16.2	
X	9.52	14.15	16.87	17.97	14.37
Var	3.18	0.85	2.49	1.54	9.91
Ecart type	1.78	0.92	1.57	1.20	3.14

2.2.la taille des tiges

2.2.1. La taille de tige pour 1 -ème essais (eau de robinet)

Selon les résultats obtenus (tableau 14), la longueur des racines moyenne pour cm, l'essai de l'ensemble des répétitions (T1, T2, T3, T4) pour quatre semaines est de 6.76 variances 1.07 et l'écart type 1.03

Tableau n° 14 : La taille de tige pour 1-ème essais (eau de robinet)

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	4.1	9	15	18	
T2	4.9	7.5	11	14.5	
T3	7	9.5	12	16.2	
T4	7	5.5	10.6	14.8	
X	5.75	7.87	12.15	15.81	10.41
Var	1.64	2.50	2.95	2.08	15.3
Ecart type	1.28	1.58	1.7	1.84	3.91

2.2.2. La taille de tige pour 1 -ème essais (eau de pleureur)

Selon les résultats obtenus (tableau 15), la longueur des racines moyenne pour cm, l'essai de l'ensemble des répétitions (T1, T2, T3, T4) pour quatre semaines est de 6.76 variances 1.07 et l'écart type 1.03

Tableau n° 15 : La taille de tige pour 1-ème essais (eau de pleureur)

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	14	17.8	22.7	26.8	
T2	16.2	19.3	23.1	26.6	
T3	18.4	21	24.3	27.8	
T4	15.8	18.9	21.1	25.6	
X	16.1	10.25	22.8	26.7	18.96
Var	2.45	1.32	1.16	0.61	39.76
Ecart type	1.56	1.15	1.07	0.78	6.30

2.2.3. La : La taille de tige pour 1 -ème essais (eau petits pois)

Selon les résultats obtenus (tableau 16), la longueur des racines moyenne pour cm, l'essai de l'ensemble des répétitions (T1, T2, T3, T4) pour quatre semaines est de 6.76 variances 1.07 et l'écart type 1.03

Tableau n° 16 : La taille de tige pour 1-ème essais (eau de petits pois)

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	13.6	16	19.8	24.8	
T2	14.8	18	20.4	25.6	
T3	16.4	20	23.8	26	
T4	13.8	17.8	20	23.8	
X	14.65	17.95	21	25.05	19.6
Var	1.23	2.01	2.66	0.71	17.17
Ecart type	1.10	1.4	1.63	0.84	4.41

2.2.4. : La taille de tige pour 2 -ème essais (eau de robinet)

Selon les résultats obtenus (tableau 17), la longueur des racines moyenne pour cm, l'essai de l'ensemble des répétitions (T1, T2, T3, T4) pour quatre semaines est de 6.76 variances 1.07 et l'écart type 1.03

Tableau n° 17 : La taille de tige pour 2-ème essais (eau de robinet)

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	8	11.3	15.6	17.8	
T2	7	10.2	14.8	19.9	
T3	3.5	8.9	13.9	18	
T4	7	11.4	16.4	21	
X	6.37	10.45	15.17	19.17	12.79
Var	2.99	1.02	1.02	1.98	23.26
Ecart type	1.72	1	1	1.40	4.82

2.2.5. La taille de tige pour 2 -ème essais (eau de pleureur)

Selon les résultats obtenus (tableau 18), la longueur des racines moyenne pour cm, l'essai de l'ensemble des répétitions (T1, T2, T3, T4) pour quatre semaines est de 6.76 variances 1.07 et l'écart type 1.03

Tableau n° 18 : La taille de tige pour 2-ème essais (eau de pleureur)

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	14.9	17.4	22	26.9	
T2	13.8	19.8	24.6	30.3	
T3	16.1	22.8	28.9	34.5	
T4	15.8	21.9	28.6	33.9	
X	15.15	19.8	30.52	31.4	24.22
Var	0.85	9.85	56.98	9.33	28.62
Ecart type	0.83	3.13	9.54	3.05	6.67

2.2.6. La taille de tige pour 2 -ème essais (eau de petits pois)

Selon les résultats obtenus (tableau 19), la longueur des racines moyenne pour cm, l'essai de l'ensemble des répétitions (T1, T2, T3, T4) pour quatre semaines est de 6.76 variances 1.07 et l'écart type 1.03

Tableau n° 19 : La taille de tige : pour 2-ème essais (eau de petits pois)

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	13.8	15.8	20.8	24	
T2	12.7	17.9	23.4	28	
T3	14.6	19.9	26.9	29.6	
T4	13	19.7	25.9	27.8	
X	13.52	24.25	27.35	23.25	20.73
Var	0.68	5.59	28.82	22.8	29.37
Ecart type	0.82	2.36	5.36	5.4	5.42

2.2.7 La taille de tige pour 3 -ème essais (eau de robinet)

Selon les résultats obtenus (tableau 20), la longueur des racines moyenne pour cm, l'essai de l'ensemble des répétitions (T1, T2, T3, T4) pour quatre semaines est de 6.76 variances 1.07 et l'écart type 1.03

Tableau n° 20 : La taille de tige pour 3-ème essais (eau de robinet)

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	8	11.8	14.6	17.9	
T2	7	11.2	13.8	18.8	
T3	3.5	10.2	14.9	18	
T4	7.1	11.4	16.8	22	
X	6.4	11.15	15.02	19.17	12.93
Var	2.95	0.34	1.36	2.97	22.40
Ecart type	1.7	0.58	1.16	1.72	4.73

2.2.8. La taille de tige pour 3 -ème essais (eau de pleureur)

Selon les résultats obtenus (tableau 21), la longueur des racines moyenne pour cm, l'essai de l'ensemble des répétitions (T1, T2, T3, T4) pour quatre semaines est de 6.76 variances 1.07 et l'écart type 1.03

Tableau n° 21 : La taille de tige pour 3-ème essais (eau d de pleureur)

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	15.9	17.9	22.9	27.9	
T2	14.9	20	25.6	30.9	
T3	16.8	23.8	28.9	34.9	
T4	15.9	22.9	28	33.8	
X	15.87	21.5	26.35	31.87	23.81
Var	0.6	5.4	5.42	7.72	35.38
Ecart type	0.78	2.34	2.32	2.7	5.94

2.2.9. La taille de tige pour 3 -ème essais (eau de petits pois)

Selon les résultats obtenus (tableau 22), la longueur des racines moyenne pour cm, l’essai de l’ensemble des répétitions (T1, T2, T3, T4) pour quatre semaines est de 6.76 variances 1.07 et l’écart type 1.03

Tableau n° 22 : La taille de tige pour 3-ème essais (eau de petits pois)

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	13.8	15.7	20.8	25.4	
T2	12.9	17.8	23.4	28.2	
T3	14.5	19.9	26.7	29.5	
T4	13.2	19.7	25.7	27.8	
X	13.6	18.27	24.15	25.22	20.31
Var	0.37	3.06	5.17	12.32	22
Ecart type	0.6	1.75	2.27	3.5	4.6

2.3. Le nombre de feuille

2.3.1. Le nombre de feuille pour 1 -ème essais (eau robinet)

Selon les résultats obtenus (tableau 23), la longueur des racines moyenne pour cm, l’essai de l’ensemble des répétitions (T1, T2, T3, T4) pour quatre semaines est de 6.76 variances 1.07 et l’écart type 1.03

Tableau n° 23 : Le nombre de feuille pour 1-ème essais (eau de robinet)

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	4	10	12	15	
T2	6	8	10	13	
T3	4	10	14	16	
T4	8	10	18	20	
X	6	10	14	15	12
Var	2.75	0.75	8.75	6.5	16.02
Ecart type	1.65	0.86	2.95	2.54	4

2.3.2. Le nombre de feuille Pour 1 -ème essais (eau de pleureur)

Selon les résultats obtenus (tableau 24), la longueur des racines moyenne pour cm, l'essai de l'ensemble des répétitions (T1, T2, T3, T4) pour quatre semaines est de 6.76 variances 1.07 et l'écart type 1.03

Tableau n° 24 : Le nombre de feuille pour 1 -ème essais (eau de pleureur)

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	14	16	22	25	
T2	13	15	18	22	
T3	11	14	19	23	
T4	13	17	20	24	
X	13	15	19	23	17
Var	1.18	1.25	2.18	1.25	16.94
Ecart type	1.08	1.1	1.47	1.1	4.1

2.3.3. Le nombre de feuille pour 1 -ème essais (eau de petits pois)

Selon les résultats obtenus (tableau 25), la longueur des racines moyenne pour cm, l'essai de l'ensemble des répétitions (T1, T2, T3, T4) pour quatre semaines est de 6.76 variances 1.07 et l'écart type 1.03

Tableau n° 25 : Le nombre de feuille pour 1-ème essais (eau de petits pois)

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	10	14	19	22	
T2	10	15	16	21	
T3	12	13	17	20	
T4	11	14	18	22	
X	10	14	17	19	15
Var	0.68	0.5	1.25	0.68	15.48
Ecart type	0.82	0.70	1.1	0.82	3.93

2.3.4. Le nombre de feuille pour 2 -ème essais (eau de robinet)

Selon les résultats obtenus (tableau 26), la longueur des racines moyenne pour cm, l'essai de l'ensemble des répétitions (T1, T2, T3, T4) pour quatre semaines est de 6.76 variances 1.07 et l'écart type 1.03

Tableau n° 26 : Le nombre de feuille pour 2-ème essais (eau de robinet)

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	3	10	13	16	
T2	4	9	14	18	
T3	6	11	14	16	
T4	8	12	17	20	
X	6	10	14	17	11
Var	3.68	1.25	2.25	2.75	21.25
Ecart type	1.92	1.1	1.5	1.65	4.6

2.3.5. Le nombre de feuille pour 2 -ème essais (eau de pleureur)

Selon les résultats obtenus (tableau 27), la longueur des racines moyenne pour cm, l'essai de l'ensemble des répétitions (T1, T2, T3, T4) pour quatre semaines est de 6.76 variances 1.07 et l'écart type 1.03

Tableau n° 27 : Le nombre de feuille pour 2-ème essais (eau de pleureur)

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	13	15	18	23	
T2	14	16	22	25	
T3	11	19	26	34	
T4	13	17	22	28	
X	13	17	22	27	19
Var	1.18	3.18	8	17.25	30.27
Ecart type	1.08	1.78	2.82	4.1	5.50

2.3.6. Le nombre de feuille pour 2 -ème essais (eau de petits pois)

Selon les résultats obtenus (tableau 28), la longueur des racines moyenne pour cm, l’essai de l’ensemble des répétitions (T1, T2, T3, T4) pour quatre semaines est de 15 variances 17.49 et l’écart type 4.18

Tableau n° 28 : Le nombre de feuille pour 2-ème essais (eau de petits pois)

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	8	13	16	20	
T2	10	14	17	21	
T3	12	15	19	23	
T4	11	14	18	22	
X	10	14	17	21	15
Var	3.16	0.5	1.3	1.3	17.49
Ecart type	1.77	0.84	1.14	1.14	4.18

2.3.7. Le nombre de feuille pour 3 -ème essais (eau de robinet)

Selon les résultats obtenus (tableau 29), la longueur des racines moyenne pour cm, l’essai de l’ensemble des répétitions (T1, T2, T3, T4) pour quatre semaines est de 13 variances 30.31 et l’écart type 5.50

Tableau n° 29 : Le nombre de feuille pour 3-ème essais (eau de robinet)

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	4	10	16	19	
T2	3	13	17	20	
T3	6	14	19	21	
T4	8	12	16	19	
X	5	12	17	19	13
Var	3.7	3.4	1.5	2.61	30.31
Ecart type	1.92	1.84	1.22	1.61	5.50

2.3.8. Le nombre de feuille pour 3 -ème essais (eau de pleureur)

Selon les résultats obtenus (tableau 30), la longueur des racines moyenne pour cm, l’essai de l'ensemble des répétitions (T1, T2, T3, T4) pour quatre semaines est de 23 variances 28.72 et l'écart type 5.35

Tableau n° 30 : Le nombre de feuille pour 3-ème essais (eau de pleureur)

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	14	18	22	26	
T2	16	20	24	28	
T3	18	22	26	33	
T4	17	25	31	36	
X	16	21	25	30	23
Var	3.8	8.8	13.8	18.8	28.72
Ecart type	1.94	2.96	3.71	4.33	5.35

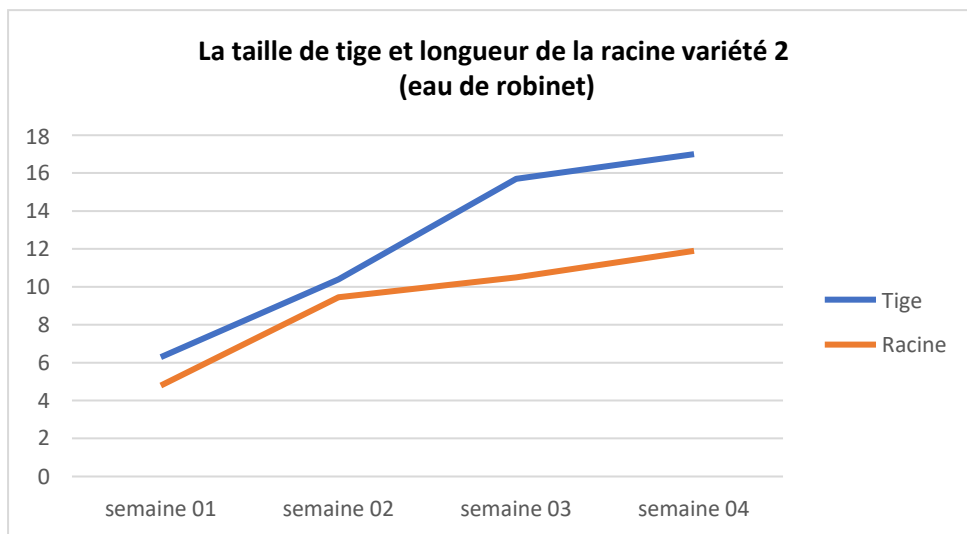
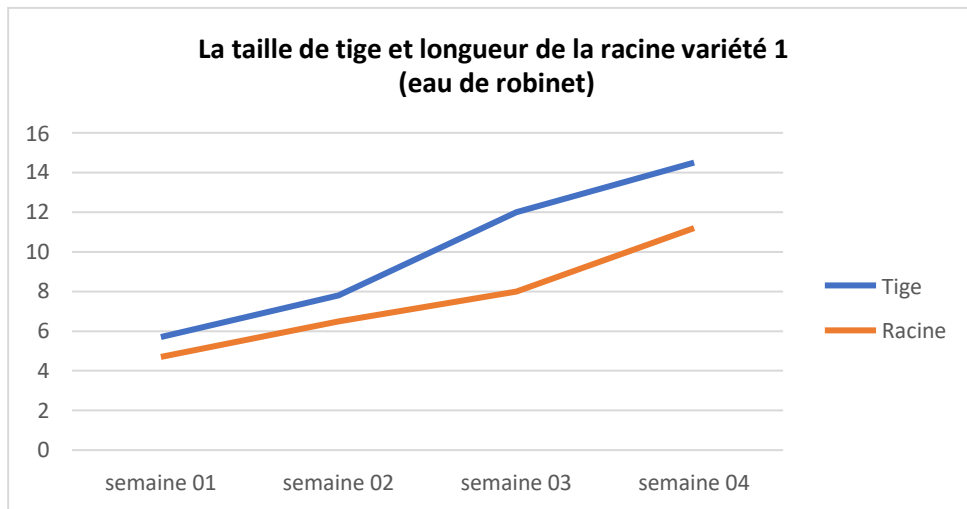
2.3.9. Le nombre de feuille pour 3 -ème essais (eau de petits pois)

Selon les résultats obtenus (tableau 31), la longueur des racines moyenne pour cm, l’essai de l'ensemble des répétitions (T1, T2, T3, T4) pour quatre semaines est de 18 variances 30.31 et l'écart type 5.50

Tableau n° 31 : Le nombre de feuille pour 3-ème essais (eau de petits pois)

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	8	15	19	21	
T2	11	16	21	24	
T3	12	17	23	26	
T4	13	18	25	31	
X	11	16	22	25	18
Var	3.5	1.3	5	13.3	30.31
Ecart type	1.87	1.14	2.23	3.64	5.50

DISCUSSION :



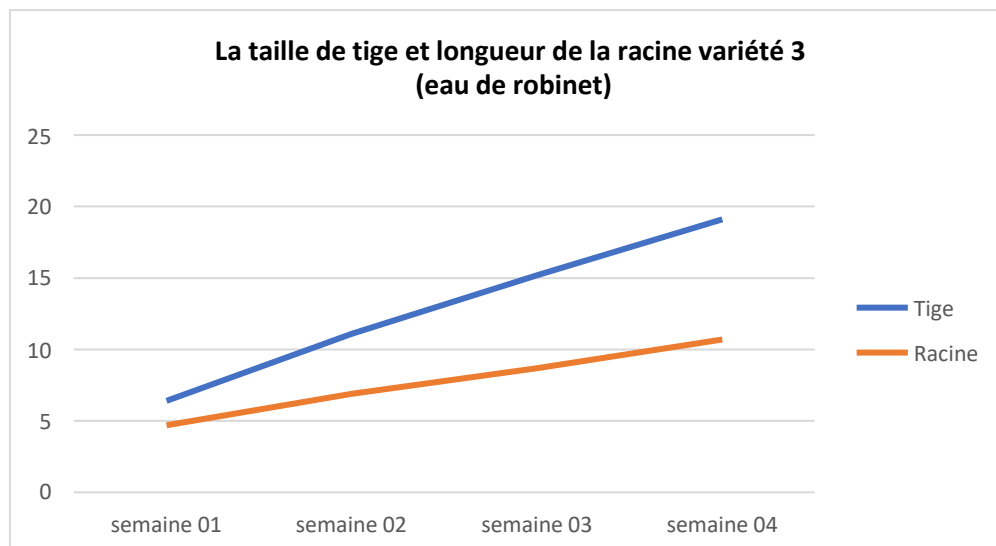
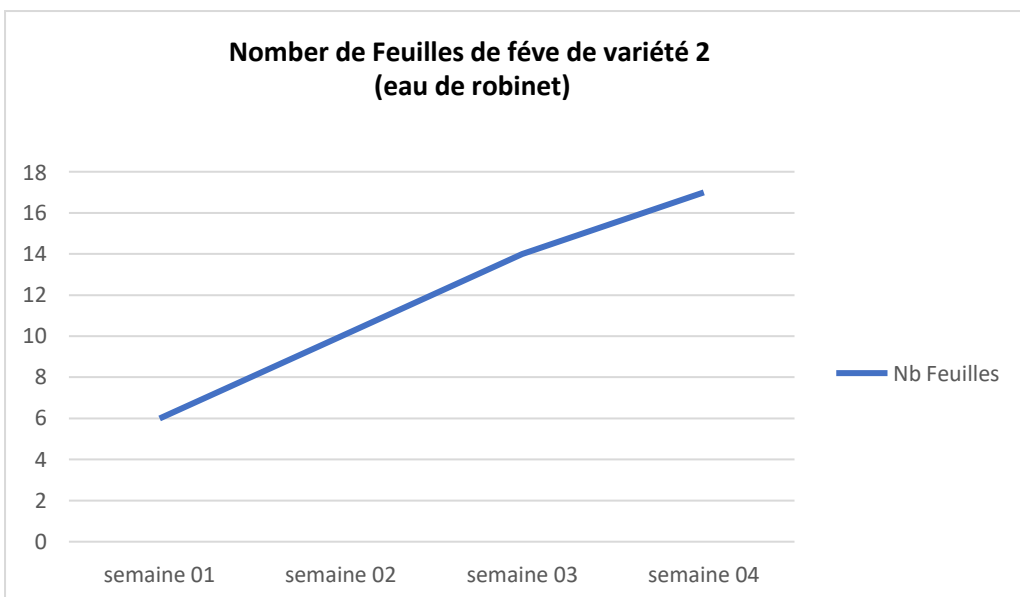
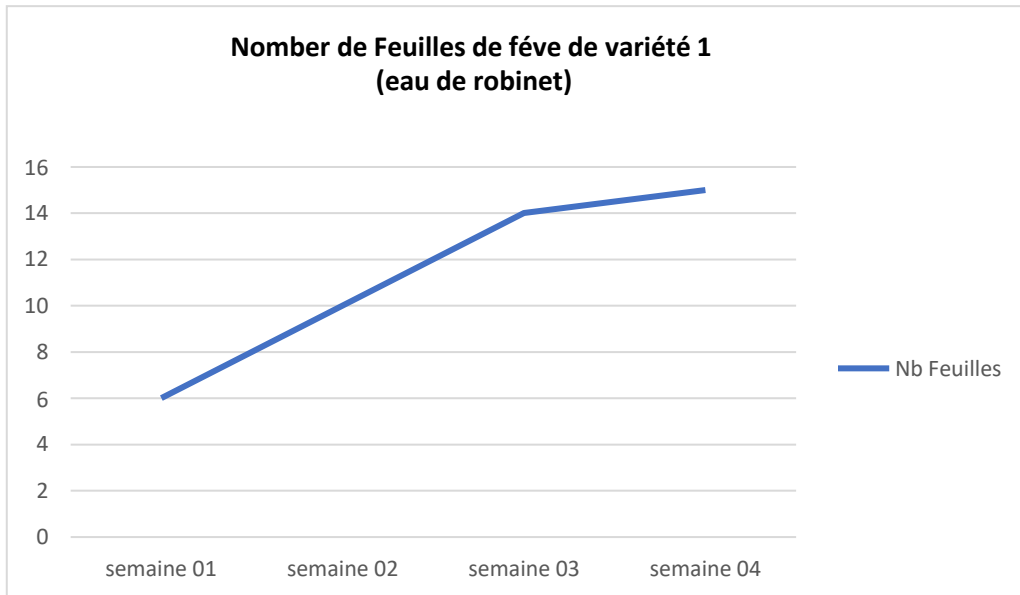


Figure 12 : la taille des tiges et la longueur des racines des plantes de fève pour la 1 -ème et 2ème et 3 -ème essai (eau de robinet)

Cette figure représente la variation de la taille des tiges et la longueur des racines des plantes de fève pour la 1 -ème et 2ème et 3 -ème essai (eau de robinet) (03avril à 18 mai), elle montre que la taille moyenne des tiges est variée avec le temps (variation faible), de taille moyenne (5.75cm /6.37 cm/6.4cm) en 1ere semaine, à la fin de la 4eme semaine les tiges sont arrivées à taille moyenne de (15.81cm /19.17cm). Pour la longueur des racines elle montre aussi qu'il y a une variation au cours du temps (variation faible), de longueur moyenne des racines pour la 1ere semaine (4.75cm /4.8cm /4.77 cm) et à la fin de la 4ème semaine les racines sont arrivées à longueur moyenne de (11.27cm /11.95cm /10.75cm).



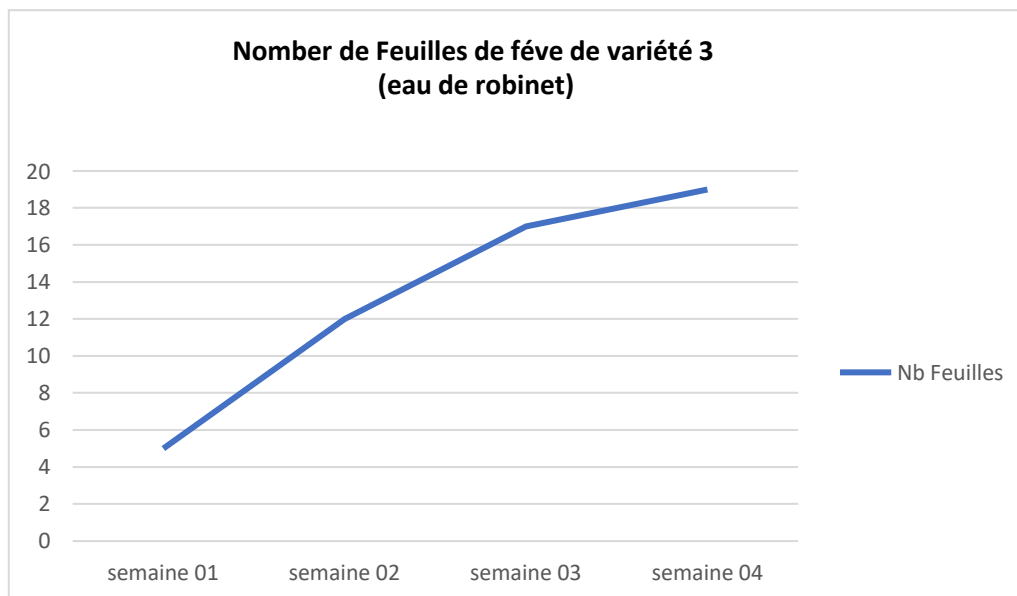
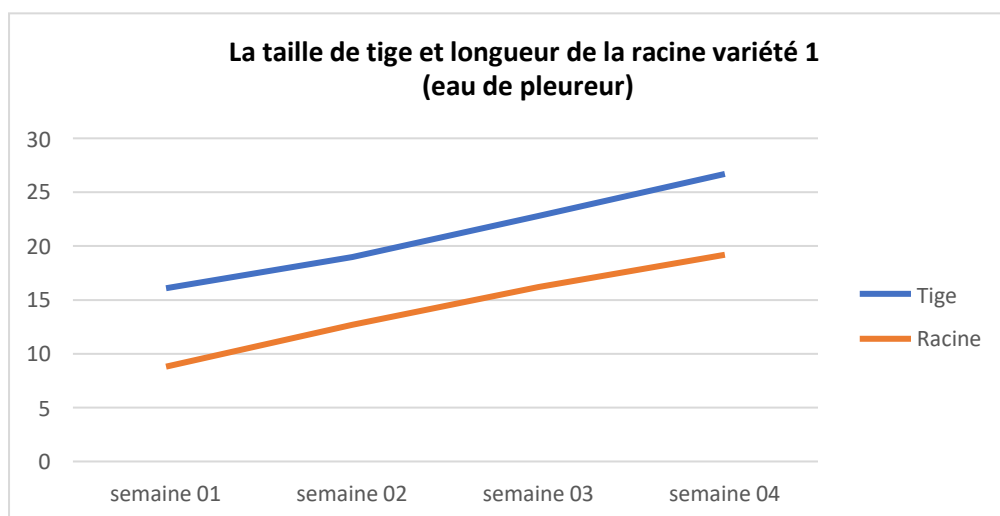


Figure 13 : Le nombre moyenne des feuilles des cultures de fève des variétés 1/2/3/ (eau de robinet)

Cette figure montre qu'au cours du temps le nombre moyenne des feuilles pour les es de fève de la 1 -ème et 2ème et 3 -ème essai (eau de robinet) (03avril à 18mai) augmente ils ont de nombre moyenne feuilles (6 /6 /5) en 1ere semaine (7jours) et à la fin de la 4ème semaine (44jours) ils sont arrivés à nombre moyenne (15/17/19) feuilles (nombre des feuilles faible).



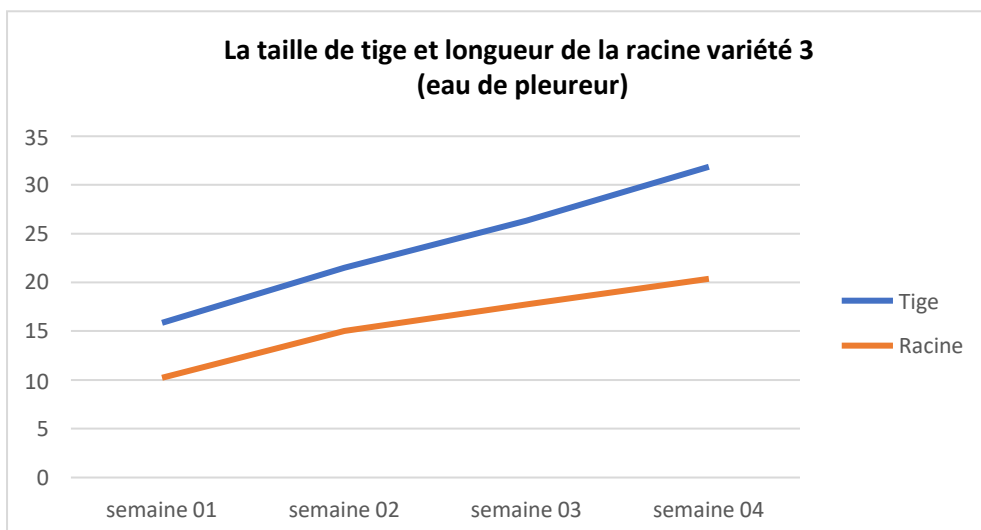
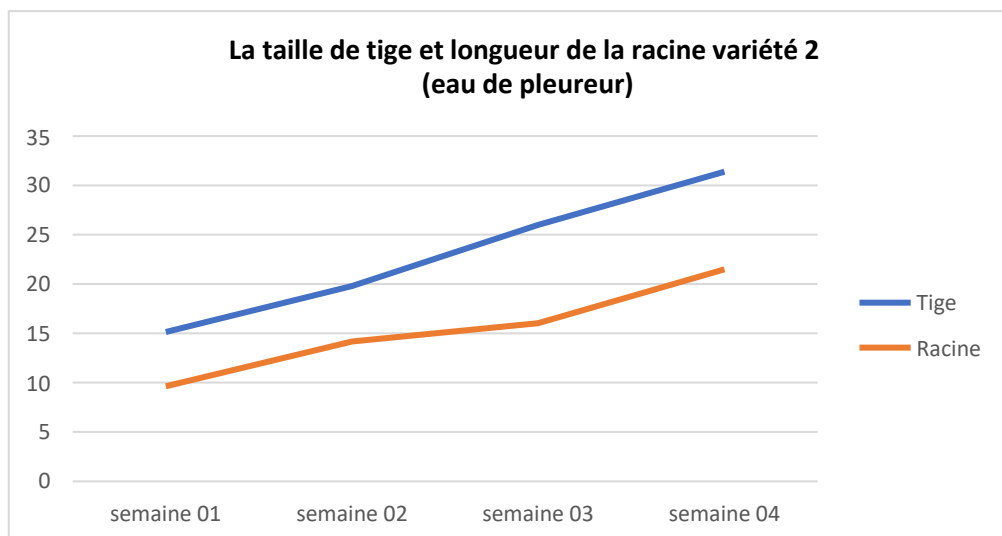
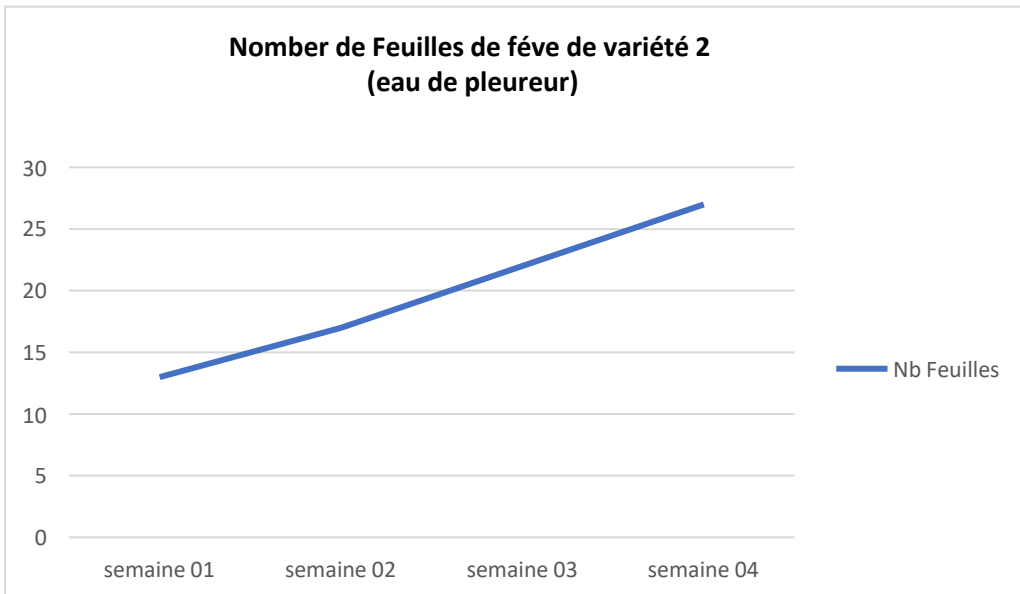
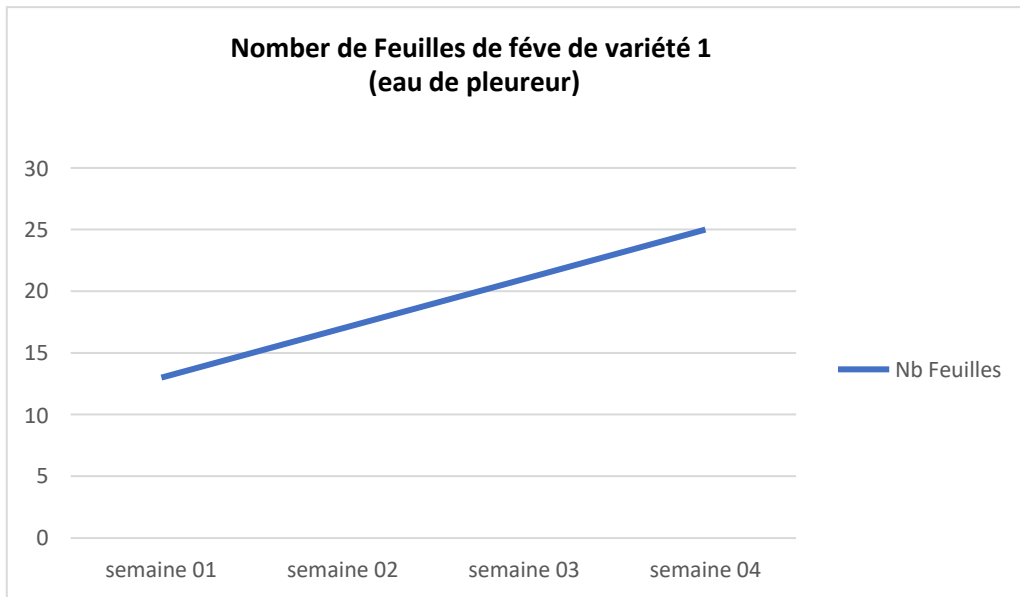


Figure 14 :la taille des tiges et la longueur des racines des plantes de fève pour la 1 -ème et 2ème et 3 -ème essai (eau pleureur)

Cette figure représente la variation de la taille des tiges et la longueur des racines des plantes de fève pour la 1/2/3/ essai (eau de pleureur) (03avril à 18 mai), elle montre que la taille moyenne des tiges est variée avec le temps (variation optimale), de taille moyenne (16.1cm /15.15cm /15.87cm) en premier semaine, à la fin de la 4 semaine les tiges sont arrivées à taille moyenne de (26.7cm /31.4 cm/31.87cm). Pour la longueur des racines elle montre aussi qu'il y a une variation au cours du temps (variation optimale), de longueur moyenne des racines pour la 1 semaine (9.65cm /10.22cm) et à la fin de la 4e semaine les racines sont arrivées à longueur moyenne de (19.72cm /20.37cm)



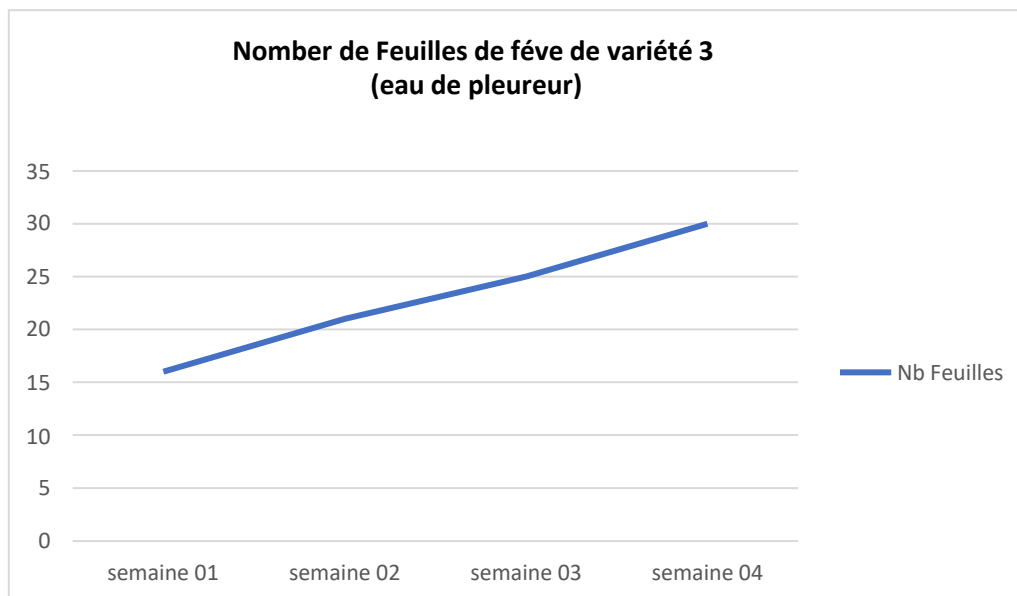
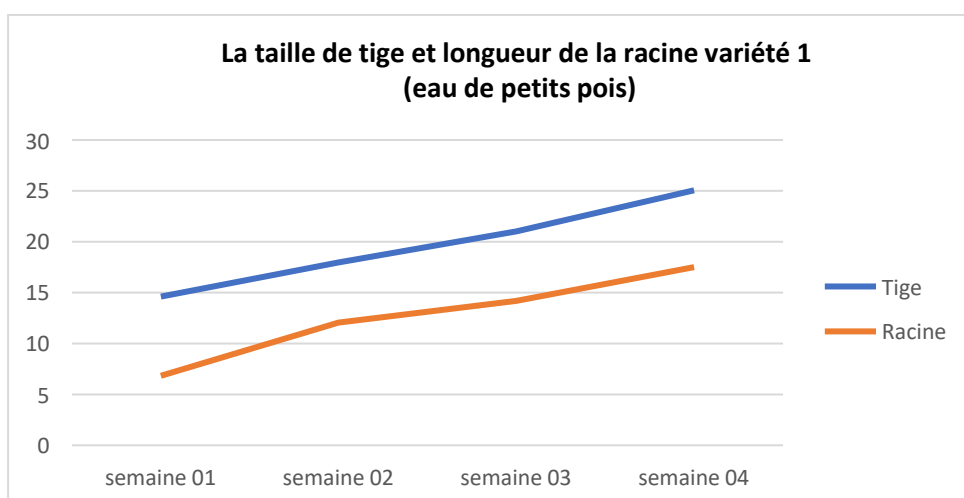


Figure 15 : le nombre moyenne des feuilles des cultures de fève des variétés 1/2/3/ (eau de pleureur)

Cette figure montre qu'au cours du temps le nombre moyenne des feuilles pour les plantes de fève de la 1/2/ 3 essais (eau de pleureur) (03avril à 18 mai) essayi augmente ils ont de nombre moyenne de (13/13/16) feuilles en 1 semaine (7jours) et à la fin de la 4 semaine (44 jours) ils sont arrivées à nombre moyenne (23/27/30) feuilles (nombre des feuilles élevé)



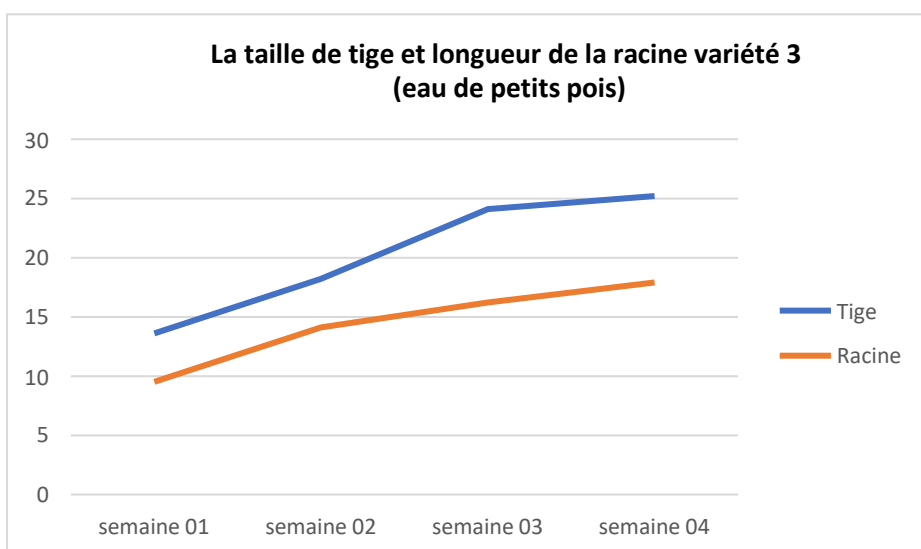
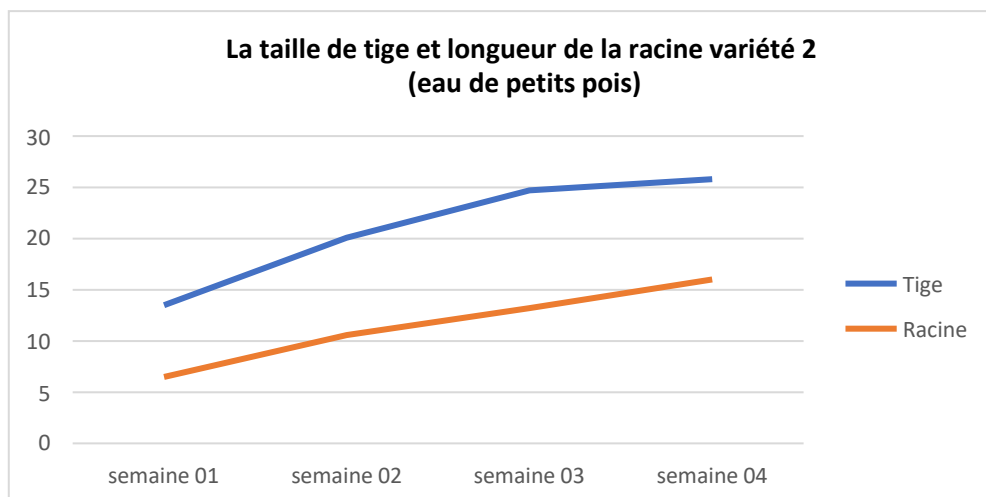
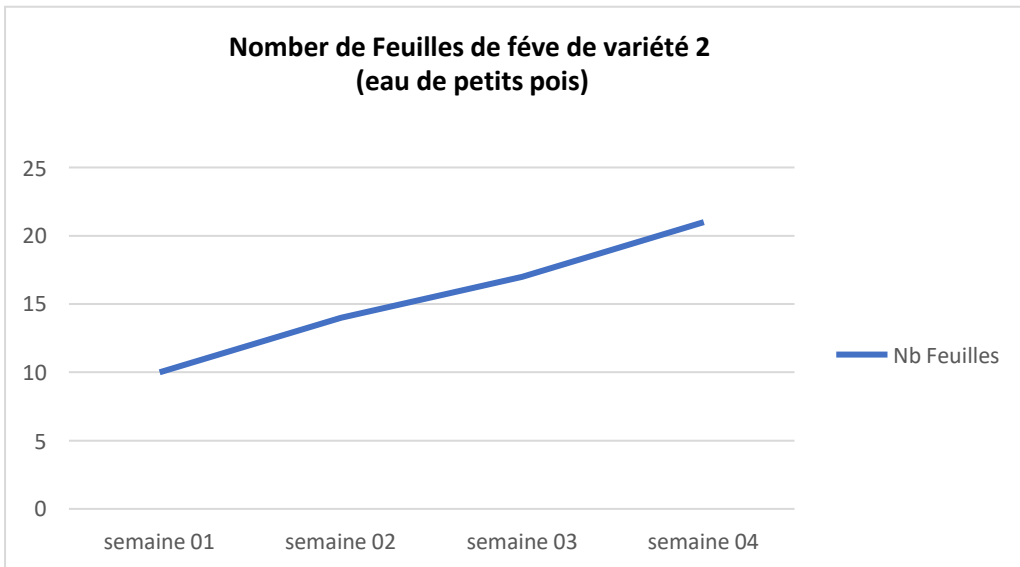
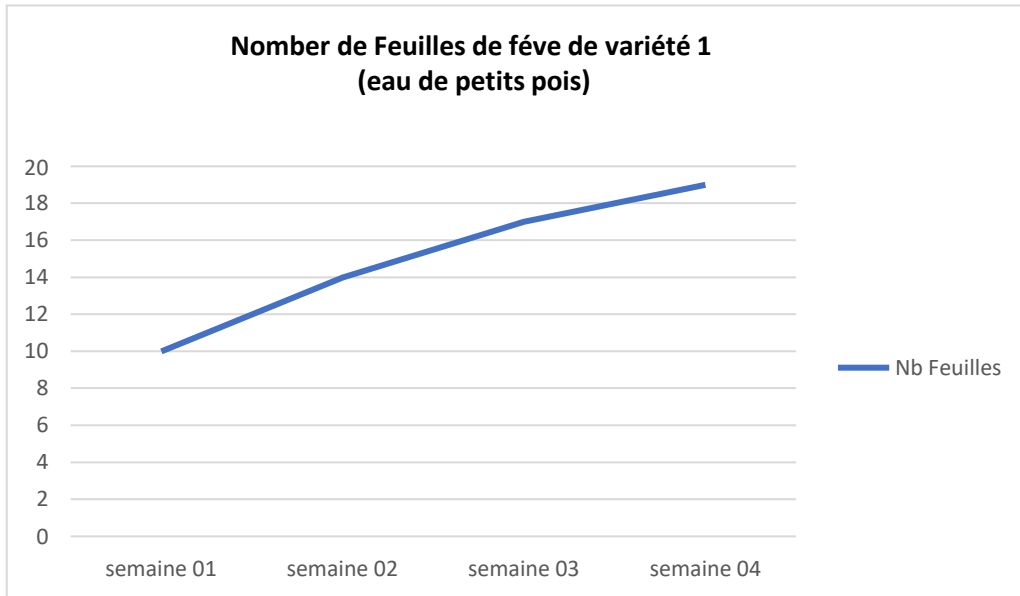


Figure 16 : la taille des tiges et la longueur des racines des plantes de fève pour la 1 -ème et 2ème et 3 -ème essai (eau de petits pois)

Cette figure représente le variation de la taille des tiges es la longueur des racines des plantes de fève pour la 1/2/3 essais (eau de petits pois)(03avril à 18mai) sal, elle montre que le taille moyenne des tiges est variée avec le temps (variation acceptable), de taille moyenne (14.65cm /13.52cm /13.6cm) an premier semaine, à la fin de la 4ème semaine les tiges sont arrivées à taille moyenne de (25.05cm /23.25cm /25.22cm) pour la longueur des racine elle montre aussi qu'il y a une variation au cours du temps (variation acceptable), de longueur moyenne des racines pour la 1ère semaine (6.82cm /6.5cm /9.52cm) et à la fin de la 4ème semaine les racines sont arrivées à longueur moyenne de (13.97 cm/14.04cm /17.97cm).



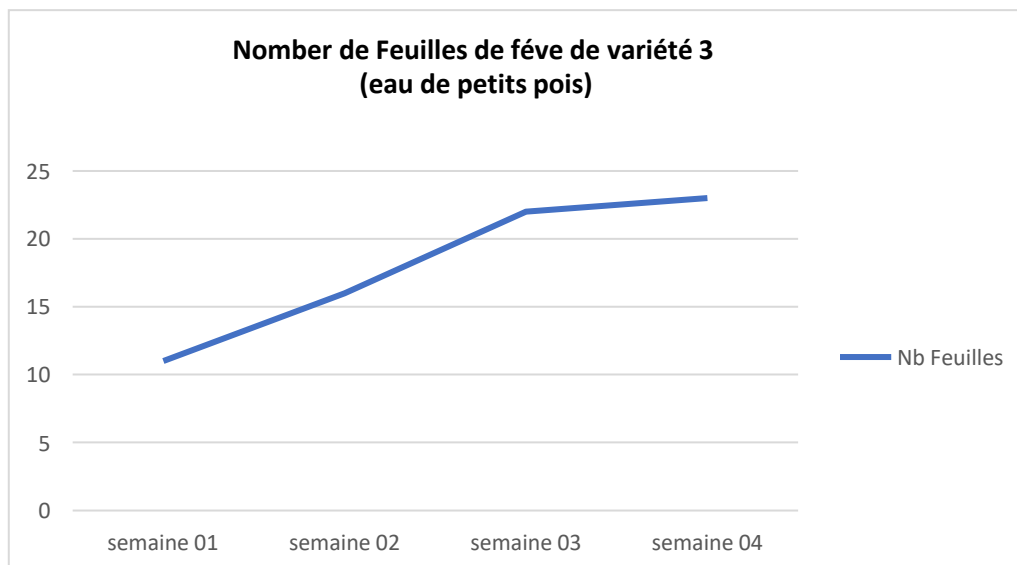


Figure 17 : le nombre moyenne des feuilles des cultures de fève des variétés 1/2/3/ (eau de petit pois)

Cette figure montre qu'au cours du temps le nombre moyenne des feuilles pour les plantes de fève de la 1/2/3 essai (eau de petits pois) (03avril à 18 mai) augmente ils ont de nombre moyenne de (10/10/11) feuilles en 1 -ème semaine (7jours) et à la fin de la 4ème semaine (44 jours) ils sont arrivés à nombre moyenne (19/21/25) feuilles (nombre des feuilles élevé).

*D'après les résultats qu'on a obtenus dans les 3 essais le meilleur résultat c'est au niveau de la deuxième expérience (eau de pleureur) dans chacune des trois essais.

* Les mêmes résultats ont été retrouvés dans des études antérieures.

Hadjer F ; Et Rime ch ; (2016) Achille L ; et al ; (2017)." Il Y a un effet des nutriments sur le processus de croissance des plantes"

*Grâce à nos études de nombreux modèles de croissance des plantes, nous avons conclu que le meilleur modèle pour simuler la croissance de plante de fève (vicia faba) est le modèle **AFISOL**. (Vocanson ;2006), (Jeufferoy et al ; 2012).

III. L'analyse de variance des résultats

Tableau n°32 : Analyse de variance de longueur des racines pour les trois essais de fève

Source de Variance	DDL	SCE	CM	F.Obs.	F.Théo	Signification=5%
Essais (milieu)	9	438.08	48.67	1.63	1.05	
Résiduelle	27	804.72	29.80			S
Totale	36	1242.8	/			

Les résultats de l'Analyse de variance (Tableau 32) montrent qu'il y a une différence significative pour ce caractère morphologique parce que $F_{\text{observe}} > F_{\text{théorique}}$. (Le Test NEWMEN et KEULS au seuil de 5%)

Tableau n° 33 : Analyse de variance de la taille de tige pour les trois essais de fève

Source de Variance	DDL	SCE	CM	F.Obs.	F.Théo	Signification=5%
Essais (milieu)	9	6326.42	702.93	29.74	1.05	
Résiduelle	27	638.09	23.63			S
Totale	36	6964.51	/			

Les résultats de l'Analyse de variance (Tableau 33) montrent qu'il y a une différence significative pour ce caractère morphologique parce que $F_{\text{observe}} > F_{\text{théorique}}$. (Le Test NEWMEN et KEULS au seuil de 5%)

Tableau n°34 : Analyse de variance de nombre des feuilles pour les trois essais de fève

Source de Variance	DDL	SCE	CM	F.Obs.	F.Théo	Signification=5%
Essais (milieu)	9	560.18	62.24	1.10	1.05	
Résiduelle	27	1522.23	56.37			S
Totale	36	2082.41	/			

Les résultats de l'Analyse de variance (Tableau 34) montrent qu'il y a une différence significative pour ce caractère morphologique parce que $F_{\text{observe}} > F_{\text{théorique}}$ (Le Test NEWMEN et KEULS seuil de 5%).

IV. Etude mathématiques et numérique du modèle

Selon (Wallach et al, 2005)

Pour le modèle PBM

$$Q_n = LUE \ln(1 - \exp(-k \cdot LAI))$$

Q_n = la quantité de biomasse

$(k \cdot LAI)$: développement des feuilles (surface et nombre)

$LUE \cdot I$: l'environnement (lumière et eau)

Ce modèle se développe de façon exponentielle

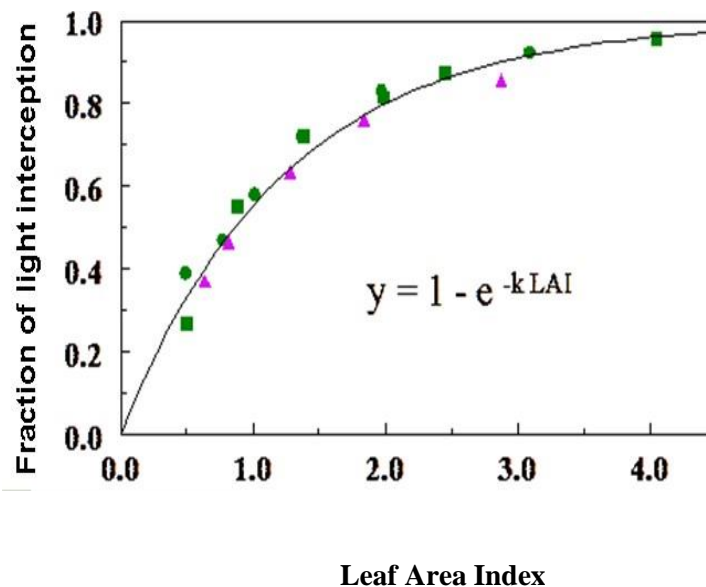


Figure18 : production de biomasse : croissance (wallach et al,2005)

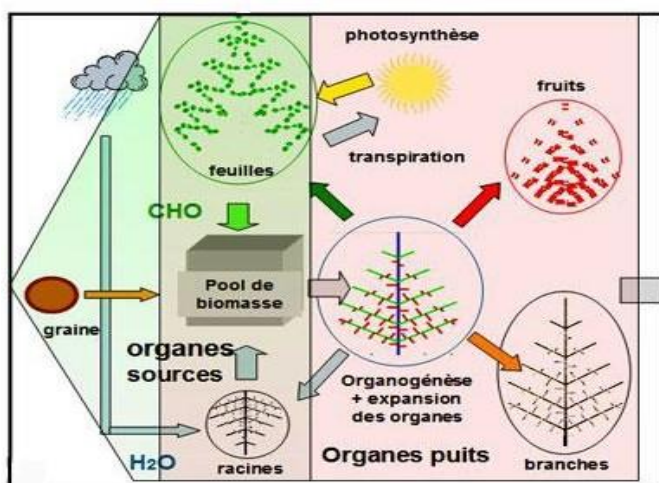


Figure19 : système dynamique de la croissance des plante (wallach et al,2005)

Par comparaison : notre modèle c'est :

$$Q_n \text{ (quantité de biomasse)} = LUE \cdot In \cdot (1 - \exp(-ROTA)) + (k \cdot T)$$

LUE.In, :ne pas calculée (conditions non contrôlé)

$K \cdot LA \cdot In$: le nombre des feuilles.

$k \cdot Rotn$:longueur des racines

$K \cdot Tn$: Taille des tiges

Notre modèle est varié de façons exponentielles

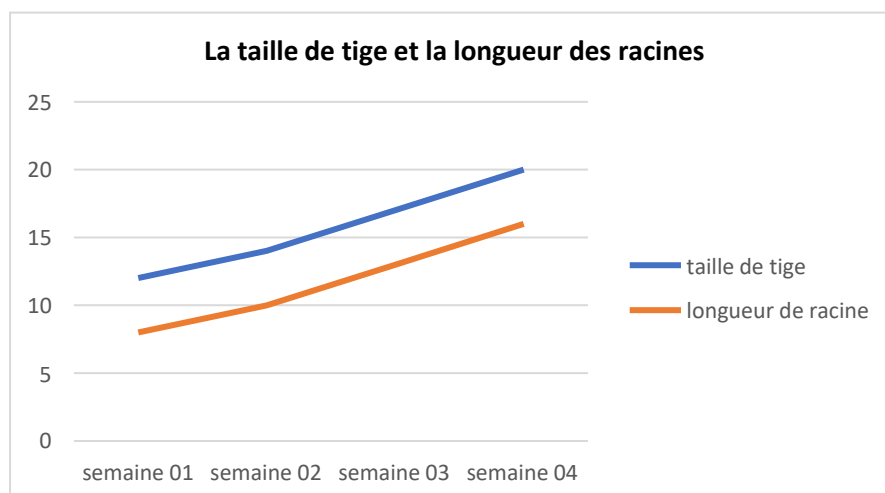


Figure 20 : taille de tige et la longueur des racines moyennes (production de biomasse : croissance)

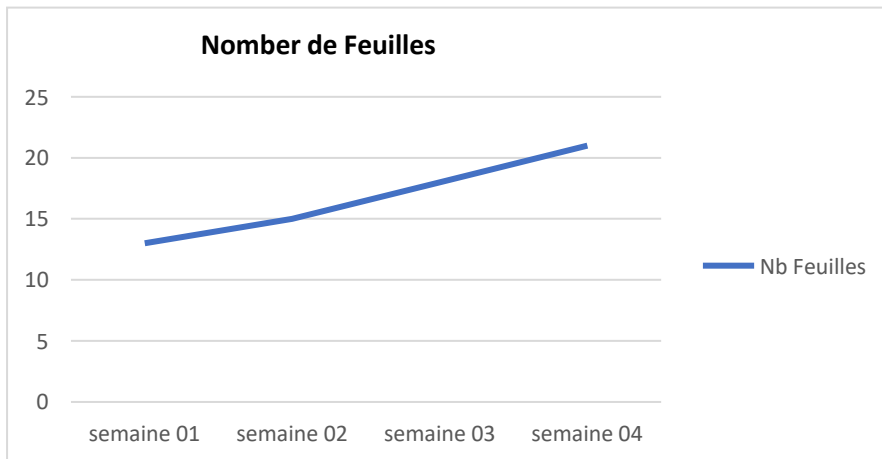


Figure 21 : nombre des feuilles moyennes (production d'organe : développement)

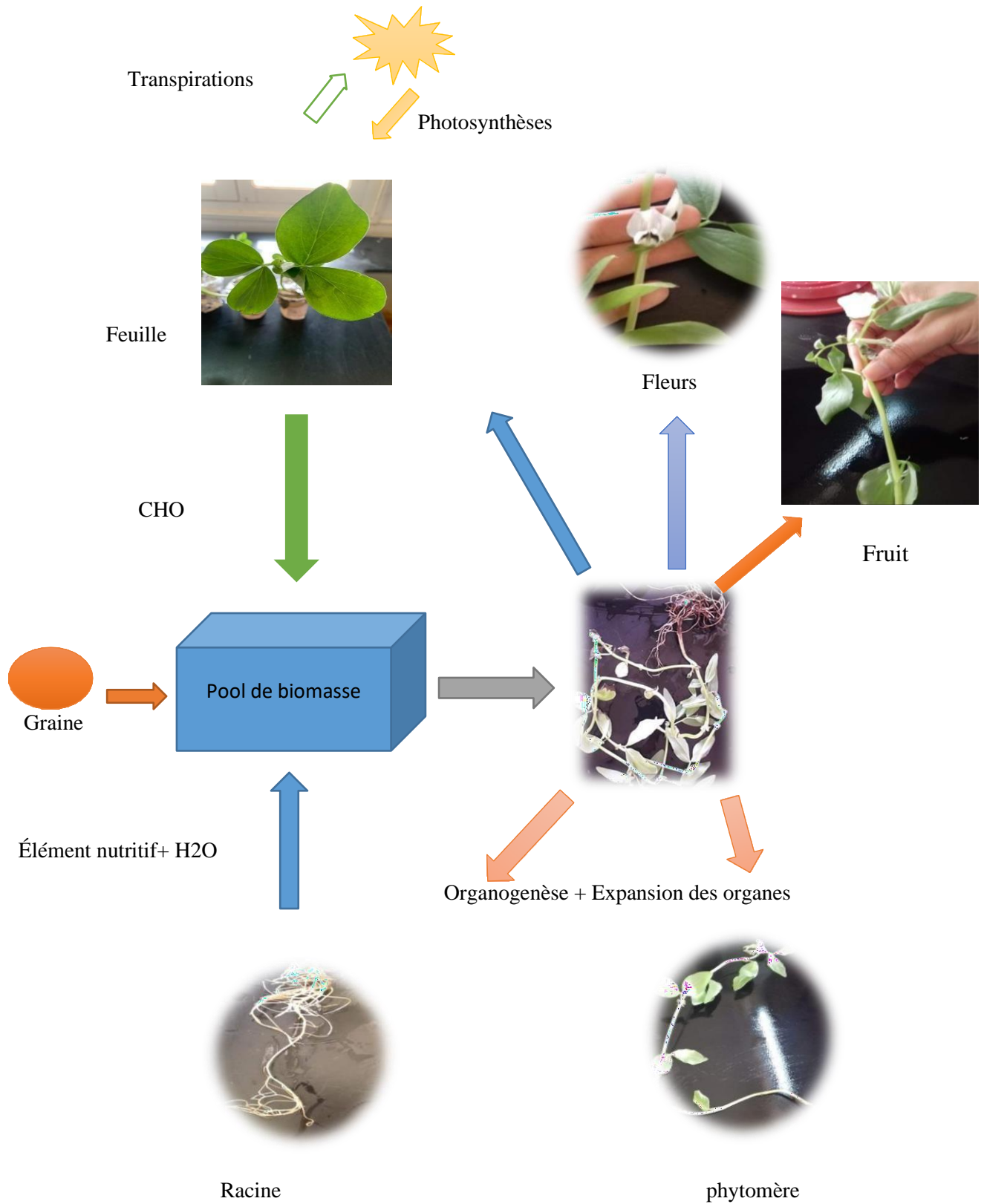


Figure22 : système dynamique de e croissance de la culture de fève (*vicia faba*)

CONCLUSION GENERAL

Notre travail vise à étudier le phénomène de modélisation de la croissance des plants de fève dans le cadre de l'utilisation d'Excel.

Dans notre étude, nous avons discuté de la modélisation numérique dans le domaine agricole et identifié les principaux modèles de croissance des plantes, le modèle (GreenLab, FSPM et PBM), et présenté une méthodologie pour le développement de modèles. Nous avons également donné quelques exemples de modèles utilisés dans le domaine agricole, tels que (STIC, SALUS, CERES, AFISOL)

Nous avons identifié trois niveaux principaux de culture :

-Taille de la tige.

-nombre de feuilles.

-longueur de la racine.

Nous avons suivi les producteurs de plante fève pour trois réponses sur une période de 44 jours. Nous avons mesuré le nombre de tiges, de racines et de feuilles. Nous avons essayé d'ajouter des nutriments pour trouver des résultats acceptables trouvés dans l'eau de pleureur et l'eau de pois.

Après validation, en comparant les résultats de la simulation avec les données observées en laboratoire, il a été déterminé que les nutriments sont le principal composant de la croissance et ont un effet sur les racines en plus de donner aux feuilles une couleur vert foncé, et les nutriments accélèrent la croissance pendant 44 jours.

Après notre analyse, nos trois hypothèses peuvent être confirmées :

*La racine grandit de jour en jour.

*Les nutriments sont absorbés dans le compartiment racinaire squelettique.

* Les feuilles émergent d'une surface feuillue qui est la fonction de ces nutriments résiduels qui ne sont pas consommés par les nutriments.

_Ainsi, les simulations utilisant ce modèle pourront prédire l'effet des nutriments sur la croissance des plants de fèves.

Le motif et l'intérêt de cette étude est la description mathématique de l'interaction d'une plante avec l'évolution de son environnement tout au long de son cycle de croissance.

Nous avons simplifié nos questions, ce qui sera un point de départ pour notre travail.

Enfin, pour que le nouveau chercheur évite les erreurs et les obstacles que nous avons rencontrés, nous suggérons :

- * Essayez de contrôler les conditions environnementales (lumière et température.)
- * Stérilisation des graines avant la germination pour éviter la contamination par des maladies et des champignons
- * En utilisant des méthodes plus avancées et sophistiquées telles que des logiciels.

LISTE DES RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUE

A

- **ABBAD** ANDALOUSSI F., 2001. Screening of *Vicia faba* for resistance to the “giantrace” of *Ditylenchus* displacing Morocco. *Nematol. Mediterr.* 29, 29–33.
- **Asseng S.** & Turner N.C., 2007. Modelling Genotype × Environment × Management Interactions to Improve Yield, Water Use Efficiency and Grain Protein in Wheat. *Scale Complex. Plant Syst. Res. Gene-Plant-Crop Relations* 91–102.
- **Achille L ; et al ; 2017.** **Spatialisation** d'un modèle de culture en vue de déterminer le fractionnement azoté optimal pour la culture du froment d'hiver dans différents contextes pédoclimatique. Mémoire master2. Sciences et technologies de l'environnement. Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT) 2016-2017. Pp75.
- **ABID D.,** ET CHayab Z., 2015. L'effet de l'application de la technique de la brindille sectionnée sur certaines propriétés du sol et des plantes Pommes de terre de la variété Kuroda et le fève de la variété Hystal. 2ème Master .01/06/2015, Univ : ELOUADI
- **Augé, R.,** Beauchesne, G., Boccon-Gibod, J., Decourtye, L., Digat, B., Jalouzot, R., Minier, R., Morand, J-Cl., Reynoird, J.P., et Strullu, D.G. (1989). La culture in vitro et ces applications horticoles. 3ème édition revue, corrigée et augmentée. Ed. Tec et Doc. Lavoisier 225p.

B

- **Basso B.,** Ritchie J.T., Grace P.R. & Sartori L., 2006. Simualtion of tillage systems impact on soil biophysical properties using SALUS model. *Riv. Agron.* 4, 677–688.
- **Baey, A;** 2012. Didier, L. Song, S. Lemaire, F. Maupas, and P.-H. Corned. Evaluation of the predictive capacity of five plant growth models for sugar beet. In IEEE 4th International Symposium on Plant Growth Modeling, Simulation, Visualization and Applications.
- **Brink, M.,** Bellay, G. 2006. Ressources Végétales de l’Afrique tropicale 1 : Céréales et légumes Secs, porta, pays bas, pp.221-223.

- **Ben Achour, K.,** Louadi, K., Terzo, M.2007. Rôle des brilles sauvages et domestiques (Hymenoptera : Apoidea) dans la pollinisation de la féve (vicia fabaL.var.major) (Fabaceae) en région de Constantine (Algérie). *Ann. Soc. Entomol. Fr. (n.s).* 43(2) : 213-219.
 - **BRINK M.,** BELAY G., 2006. Céréales et légumes secs. Ressources végétales de l’afrique tropicalel. Fondation PROTA/ Backhaus Publishers/CTA.Pays-Bas ;327p
 - **Brisson N. &** Delecolle R., 1992. Développement et modèles de simulation. *Argon. EDP SCI.* **12(3)**, 253–263.
 - **Brisson, N.,** Wery, J., Boote, K., 2006. Fundamental concepts of crop models illustrated by a comparative approach. In: Wallach, D., Makowski, D., and Jones, J.W. (Eds.), *Working with dynamic crop models.* Elsevier, Amsterdam, pp 257-280.
 - **Brisson, N.,** Wery, J., Boote, K., 2006. Fundamental concepts of cop model illustrated by a comparative approach. In: Wallach, D., Makowski, D., and Jones, J.W. (Eds.), *Working with dynamic crop models.* Elsevier, Amsterdam, pp 257-280.
 - **BARTHELEMY D.,** CARAGLIO Y., AND COSTES E., 1997. Architecture, gradient Morphogénétiques et âge physiologique chez les végétaux. In Bouchon., editor, *Modélis et simulation de l'architecture des végétaux, Sciences Update.* Pp 89-136.
 - **BOUMAN H.,** VAN KEULEN H., VAN LAAR, AND R. RABBINGE., 1996. The school of de with crop growth simulation models: A pedigree and historical overview. *Agricultural Systems,* 52(2-3) : pp 171-198.
- Brisson, N.,** J. Wery, and K. Boote. 2005. Fundamental concepts of crop models illustrated by a comparative approach, p. 257-279, *In* J. W. Jones, ed. *Working with dynamic crop models Evaluation, analysis, parameterization, and applications,* Elsevier ed.
- Bergez, J.E.,** F. Garcia, and D. Wallach. 2005. Représentions and optimisations management de decisions with crop models, p. 173-205, *In* J. W. Jones, ed. *Working with dynamic corp models. Evaluation, analysis, parametrization, and applications.,* Elsevier ed.
- Brisson, N. 2009.** Principes et utilités des modèles de cultures. Modélisation en biologie végétale. Académie d’Agriculture de France. Séance 28 janvier. 1-4p.
- **BERT F E.,** LACIANA C E., PODESTA G P., SATORRE E H., MENEDEZ A N., 2007.sensitivity of CERES-Maize simulated yields to uncertainty in soil properties

and daily solar radiation; Agricultural systems Vol.94(2); pp141-150.

- **BRISSON N., RUGET F., GATE P., LORGEOU J., NICOULLAUD B., TAYOT X., PLENET D., JEUFFROY M H., BOUTHIER A., RIPOCHE D., MARY B., JUSTES E., 2002.** STICS: à generic model for simulating crops and their water and nitrogen balances. II. Model validation for wheat and maize; Agronomy Vol.22; pp 69-92
- **Briggs WB., 1964.** phototropis; in higher plants in physiology academic press :1; 223-271.
- **Bommineni U R, Jauhar PP., 2003.**Regeneration of plant through isolated scirtelum culture of durum. Wheat. Plant sci .116 ; 197.
- **Boxus, P. (1995).** Multiplication végétative : micro propagation et embryogenèsesomatique in biotechnologies végétales. BV 93, Ed Cned. Aupelf-Uref. 191p.
- **Belanger, I.A. (1998).** Enjeux du développement des recherches fondamentales : qu'avons-nous appris en analysant le génome d'Arabidopsis thaliana Agronomie 6.
- **BRISSON N., LAUNAY M., BEAUDOIN N., 2008.** Conceptual basis, formalizations and parameterization of STICS crop model; Editions QUAE; ISSN/177367923; 223p.
- BRISSON N., MARY B., RIPOCHE D., JEUFFROY M H., RUGET F., NICOULLAUD B., GATE P., DEVIENNE-BARRET F., ANTONIOLETTI R., DURR C., RICHARD G., BEAUDOIN N., RECOUS S., TAYOT X., PLENET D., CELLIER P., MACHET J M., MEYNARD J M., DELECOLLE R., 1998.** STICS : à generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances.1. Theory and parameterization applied to wheat and corn; Agronomy Vol.18; pp 311-346.
- **BRISSON N., RUGET F., GATE P., LORGEOU J., NICOULLAUD B., TAYOT X., PLENET D., JEUFFROY M H., BOUTHIER A., RIPOCHE D., MARY B., JUSTES E., 2002.** STICS: à generic model for simulating crops and their water and nitrogen balances. II. Model validation for wheat and maize; Agronomie Vol.22; pp 69-92
- **Borchert and H. Honda.** Control of development in the bifurcating branch system of tabebuia rosea. Botanical Gazette, 145(2) :184–195, 1984.

C

- **Cubero, I., 2011.** The faba bean: a historic perspective. Grain Légume 56 : 5-7.
- **CUBERO JL., 2011.**The faba bean: a historic perspective. Grain légumes. N°.56 :5-7.

- **Chaux, C.,** Foury, C. 1994. Production légumière : légumineuses potagères, Légumesfruits, Lavoisier. Paris. Pp. 4-8.
- **COUPLÉN F. ET MARMY F.,** 2009. Jardinez au naturel. Le jardin bio facile, 249p
- **CHELLE M.,** 2005. Phylloclimate or the climate perceived by individual plant organs: What is it? How to model it ? What for ? *New Phytologist*, 3(166)
- **CARAGLIO Y. AND BARTHELEMY.,** 1997. Revue critique des termes relatifs à la croissance et à la ramification des tiges des végétaux vasculaires. In Bouchon, J., editor, *Modélisation et simulation de l'architecture des végétaux*, Sciences Update, pp 89-136. INRA.
- **COURNEEDE V., LETORT A., MATHIEU M., KANG S., LEMAIRE S., TREVEZAS F., HOULIER P., DIGIPLANTE F.,** 2011. some parameter estimation issues in function -structural plant modelling. *Mathematical Modelling of Natural Phenomena*, vol.6,2:pp 113-159.
- **Camelfort, H.** (1977). *Morphologie des végétaux vasculaires*. Ed Doin. 418p.
- **Carneiro, F.M.** (1999). *Advances in coffee biotechnology*. *Agbiotechnet V (1)* CAB international.

D

- **DUK G, BAO S, BAUM M, REDDEN B, SADIKI M, JOSE SUSO M, VISHNIAKOVA M, ZONG X.,** 2010. Diversity maintenance and use of *Vicia faba* L. genetic resources. *Field crops research*. 115 : 270–278.
- **Dajoz R.** 2000. *Eléments d'écologie*. Ed. Bordas., 5ème édition. Paris. 540 p
- **Duc, G.** 1997. Faba bean (*Vicia faba* L.). *Field crops Research*. 53 : 99-109.
- **DAOUI K.,** 2007. Recherche de stratégies d'amélioration de l'efficacité d'utilisation du phosphore chez la fève (*Vicia faba* L.) dans les conditions d'agriculture pluviale au Maroc. Thèse de doctorat. Science agronomique et ingénierie biologique. Louvain. 227p.
- **DOMINIQUE M.,** 2010. *Les productions légumières*. Educagri. Dijon. 163 p.

E

- **Engelman, F.** (1986). *Cryoconservation des embryons somatiques de palmier à huile*. - Mise au point des conditions de suivi et de reprise. Thèse de doctorat d'université. Univ. Paris 6. 226p.

-**Evans, D.A.**, Sharp, W.R., et Flien, C.E. (1989). Growth and behaviour of cell cultures: embryogenesis and organogenesis in Plant tissue culture, methods and application agricultures. Throupe T.A. Ed Academic press. pp 45 113.

F

-**Fry J.**, Guber A.K., Ladoni M., Munoz J.D. & Kravchenko A.N., 2017. Geoderma The effect of up-scaling soil properties and model parameters on predictive accuracy of DSSAT crop simulation model under variable weather conditions. *Geoderma* **287**, 105–115.

-**Francllet, A.** (1980). Colloque international sur la culture in vitro des essences forestières. AFOLE, Nangis. France. P55-56.

-**Ferry, M.**, Bouguedoura, N., et El Hadrami, I. (1998). Patrimoine génétique et - technique de propagation in-vitro pour le développement de la culture du palmier dattier. Numéro spécial oasis Secheresse. 9 (2) :139-146.

-**Fletcher, P.J.**, Fletcher, J.D., et Cross, R.J. (1998). Potato germplasm in-vitro storage - and virus reduction. *Journal of crop and horticultural science*. 26 (3): 249-252.

-**Fortes, A.M.**, et PAIS, M.S. (2000). Organogenesis from internode - derived nodules of *Humulus lupulus* Var. Nugget (Cannabaceae): histological studies and changes in the starch content. *American Journal of Botany*. 87 (7): 971 - 979.

- **Fourcaud T**, Ji J-N, Zhang Z-Q, Stokes A. 2008. Understanding the impact of root morphology on overturning mechanisms: a modelling approach. *Annals of Botany* 101: 1267–1280.

-**Frey II.** Cet Patis. H., 2002. Identification and review of sensitivity analysis methods. *Risk analysis*, Vol. 22, 31 pp 553-578.

- **Feng. 2011**; Combining an empirical crop model with a functional structural plant model to account for individual variability. PhD thesis, CIRAD, UMR AMAP (Montpellier).

G

-**GORDON M.M.**, 2004. Haricots secs : Situation, Prospective et Agroalimentaire. Canada, pp 1-7.

- **GOYOAGA C., BURBANO C., CUADRADO C., ROMERO R., GUILLAMO´N E., VARELA A., PEDROSA M.M. et MUZQUIZ M.,**
2011. Content and distribution of protein, sugars and inositol phosphates during the germination and seedling growth of two cultivars of *Vicia faba*. *Journal of Food Composition and Analysis* 24,391–397.
- **GNANASAMBANDAM A., JEFF PAULL, ANA TORRES A., KAUR S., LEONFORTE T., HAOBING L. XUXIAO ZONG X., YANG T. ET MATERNE M.,**
2012. Impact of molecular technologies on Faba bean (*Vicia faba* L.) Breeding Strategies. *Agronomy*: 132-166.
- **GREINER R. ,**1998. Catchement management for dryland salinity control: model analysis for Liverpool plains in New South Wales; *Agri.Syst.*56;225p.
- **Girard, M.L.** 1997. Modélisation de l'accumulation de biomasse et d'azote dans les grains de blé tendre d'hiver (*Triticum aestivum* L.) simulation de leur teneur en protéines à la récolte. Thèse, Institut National Agronomique Paris-Grignon 96 pp.
- **Godin and H ;**2005. Sinoquet. Functional-structural plant modelling. *NewPhytologist*, 166 :705–708.

H

- **HULLE M, TURPEAU- AIT IGHIL E, ROBERT Y, MONNET Y.,**1999. Les Pucerons des plantes maraîchères : cycles biologiques et activités de vol, INRA, Paris, pp. 28-58-134.
- **HAMADACHE A.,** 2003. La féverole. *Inst. Techn. Gr.Cult (T.T.G.C)* ,13p.
- **Hammer, G.L., Kropff, M.J., Sinclair, T.R., Porter, J.R.,** 2002. Future contributions of crop modelling - from heuristics and supporting decision making to understanding genetic regulation and aiding crop improvement. *European Journal of Agronomy* 18, 15-31.
- **Hussey, G et Stacey ,N J .,**1981. In vitro propagation of potato (*Solanum tuberosum*) of potato of photoperiod on in vitro tuberisation of potato- *S tuberosum*- .*JEA Seabrook shirlyn m CD. levey* .1993. *plant cell m tissue and organe culture* .1993.34; 43-51.
- **Hu BG, Jaeger M. eds.** 2003. Plant growth modeling and applications. Proceedings PMA03: 2003 International symposium on plant growth modeling, simulation, visualization and their applications. Beijing : Tsinghua University Press/Springer.
- **HAMMER G L., VAN OOSTEROM E J., CHAPMAN S C., MCLEAN G.,** 2001. The economic theory of water and nitrogen dynamics and management in field crops. Dans: Borrell AK, Henzell RG, eds. Proceedings of the fourth Australian sorghum

conference. Kooralbyn, Queensland. 5-8 February 2001

- **Hanan; 2008.** and P. Prusinkiewicz. Foreword: studying plants with functional– structural models. *Functional Plant Biology*, 35(10) :vi–viii
- **Hadjer F ; et Rime CH ; 2016.** modelisation de la vitesse chez le petit pois (pisum sativum L). Mémoire master 2. Système de production agrologie.12/06/2016/ à Skikda. Pp 65.

J

-**Jame Y.W. & Cutforth H.W.**, 1996. Crop growth models for decision support systems. *Can. J. Plant Sci.* **76**(1), 9–19.

-**Jones J.W.**, Antle J.M., Basso B., Boote K.J., Conant R.T., Foster I., Charles H., Godfray J., Herrero M., Howitt R.E., Janssen S., Keating B.A., Munoz-Carpena R., Porter C.H., Rosenzweig C. & Wheeler T.R., 2016. Toward a new generation of agricultural system data, models, and knowledge products: State of agricultural systems science. *Agsy*.

-**Jeuffroy**, M.H., and C. Bouchard. 1999. Intensity and Duration of Nitrogen Deficiency on Wheat Grain Number. *Crop Science* 39: 1385-1393.

-**Jeuffroy**, M.H., and S. Recous. 1999. Azodyn: a simple model simulating the date of nitrogen deficiency for decision support in wheat fertilization. *European journal of agronomy* 10:129-144.

-**Jeuffroy**, M.-H., Bergez, J.-E., David, C., Flénet, F., Gate, P., Loyce, C., Maupas, F., Meynard, J.M., Reau, R., Surleau-Chambenoit, C., 2008. Utilisation des modèles pour l'aide à la conception et à l'évaluation d'innovations techniques en production végétale : bilan et perspectives. In : Reau, R. and Doré, T. (Eds.), *Systèmes de culture innovants et durables : Quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ?* Educagri, Dijon, pp 110-128.

-**Jaeger.M** et de Reffye. P. 2012. La modélisation et la simulation de la croissance des plantes, d'un système dynamique à un système complexe. *Rencontres nationales en systèmes complexes*. 2-5 Octobre 2012.

-**Jamieson, P.D.**, M.A. Semenov, I.R. Brooking, and G.S. Francis. 1998a. SIRIUS: a mechanistic model of wheat response to environmental variation. *European journal of agronomy* 8:161-179.

-**Jay allemend**, C., Capelli, P., et Cornu, D; (1992). Root development of in vitro hybrid walnut microcutting in vermiculite containing gelrite medium. *Sta d'amélioration des arbres forestiers INRA*, 45160. Ardon France. *Scienda horticultra*. 51(3-4): 335-342.

-JEUFFROY MH, VOCANSON A. ROGER-ESTRADE J, MEYNARD J M. 2012. The use of models at field and farm levels for the ex-ante assessment of new pea genotypes; *Europ. J. Agronomy* Vol.42. pp 68-78.

K

- **KHALDI R., ZEKRI S., MAATOUGUI M.E.H. et BEN YASSINE A., 2002.**
L'Economie des Légumineuses Alimentaires au Maghreb et dans le Monde. Proceedings du 2ème séminaire du réseau REMAFEVE/REMALA, « Le devenir des Légumineuses Alimentaires dans le Maghreb », Hammamet, Tunisie, 100p.
- **KANG M., COURNEEDE P., LE ROUX J., REFFYE D.E.P., AND HU B., 2004.**
Theoretical study and numerical simulation of a stochastic model for plant growth. In CARI04, Tunisia.
- **KEATING BA, CARBERRY P S., HAMMER G L, PROBERT ME, ROBERTSON MJ., HOLZWORTH D., HUTH NL, HARGREAVES JN G., MEINKE H., HOCHMAN Z, MCLEAN G., VERBURG K., SNOW V. DIMES J P., SILBURN M., WANG E, BROWN S., BRISTOW K L., ASSENG S., CHAPMAN S. MCCOWN R L., FREEBAIRN D M., SMITH C J., 2003.** An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation; *European Journal of Agronomy* Vol.18: pp 267-288
- **KHARRAT., 2002.** Sélection de Lignées de Féverole Résistantes à l'Anthracnose, Causéepar *Ascochytafabae*. Proceedings du 2ème séminaire du réseau REMAFEVE/REMALA, « Le devenir des Légumineuses Alimentaires dans leMaghreb », Hammamet, Tunisie, 100p.
- **Kurth. 1994;** Morphological models of plant growth: Possibilities and ecological relevance. *Ecological Modelling*, 75/76 :299–308.

L

- **Lebreton J.C., Legraet S., Guibert S., Masson F., Rigaud J.P and Roction L., 2009.**
La fèverole d'hiver, chambre d'agriculture de l'Ome, 10p.
- **Laumonier, 1979 :** Cultures légumières et maraîchères, Tome III. Ed.J.B. BAILLIERE, 276p.
- **LAMBONI M., MAKOWSKI D., LEHUGER S., GABRIELLE B., MONOD H., 2009.** Multivariate global sensitivity analysis for dynamic crop models; *Field Crops Research* Vol.113; pp 312-320.
- **Lifermann, 1975 :** Lifermann, J. (1975). *Les syst`emes discrets*. Masson

- **Ledent, J-F.** 2002.CERES-Maize model. Short communication UCLouvain La Neuve
- **LË C. L.,** 1994.Apport de l"électrophorèse dans l"identification des variétés de pomme de terre saines en suisse. *Revue suisse Agric* .26(6),373-379.
- **LË C, L, Thomas, D, Nowbuth, L .,** 2002.Conservation des pomme de terre in vitro et caractérisation des variétés cultivées en suisse .*suisse Agric* 34(3):133-136.
- **Larpen-Gourgaud, M., Sanglier, J.J.** (1992). *Biotechnologie Principes et méthodes ;* doin éditeurs-paris. 344p.
- **Limasset, P., et Cornuet, P.** (1949). Recherche du virus de la mosaïque du Tabac dans les méristèmes des plantes infectées. *CR. Ac. Sci. Paris.* 228 : 1971-1972
- **LAMBONI M., MAKOWSKI D., LEHUGER S., GABRIELLE B., MONOD H.,** 2009. Multivariate global sensitivity analysis for dynamic crop models; *Field Crops Research* Vol.113; pp 312-320
- **Lindenmayer.** Mathematical models for cellular interactions in development. i. filaments with one-sided inputs. *Journal of Theoretical Biology,* 18 :280–289, 1968a.

M

- **MURATOVA V. S.,** 1931. *Vicia faba* L. In: *Bull. Appl. Bot. and Gen. Plant Breed.Suppl.,* 50: 285.
- **MAATOUGUI M.E.H.,** 1996. Situation de la culture des fèves en Algérie et perspectives de relance, in *réhabilitation of fababean.* Ed. Actes, Rabat (Maroc),6-18-202 p.
- **MOUAFEK A.,**2010. La symbiose à rhizobia chez la fève (*Vicia faba* L.) et La luzerne (*Medicagosativa* L.) dans la région de Biskra memoire de magister. universite mohamed khider biskra .122p.
- **Mezani S.,** 2011. Bioécologie du bruche de la fève *Bruchus rufimanus* Both. (Coleoptera : Bruchidae) dans des parcelles de variétés de fèves différentes et de féverole dans la région de Tizi-Rached (Tizi-Ouzou). Thèse. Magister. Uni. Mouloud Maameri, 8 (114) p.
- **Mirschel W., Wieland R., Wenkel K.O., Nendel C. & Guddat C.,** 2014. YIELDSTAT - A spatial yield model for agricultural crops. *Eur. J. Agron.* **52,** 33–46
- **MAILHOL P., RUELLE S., WALSER N., SCHUTZE AND C.,** 2011. Dejean. Analysis of act and yield predictions under surface and buried drip irrigation systems using the crop model pilote and hydrus-2d. *Agricultural Water Management,* 98(6): pp 1033-1044.

- **McCown, R.L.**, G.L. Hammer, J.N.G. Hargreaves, D.P. Holzworth, and D.M. Freebairn. 1996. APSIM: a novel software system for model development, model testing and simulation in agricultural systems research. *Agricultural systems* 50:255-271.
- **Margara J.**, 1989. Base de la multiplication végétatives. Les méristèmes et l'organogenèse. Institut National de la recherche Agronomique.
- **Morel, G. (1952)**. Guérison de dahlias atteints de maladie à virus. *C.R. Acad. Sci. Paris.* 235 : 1324-1325.
- **Margara, F.** (1982). La multiplication végétative in-vitro. *Aspects généraux. Agro.* 15 : - 701-711.
- **Margara, F.** (1989). Bases de multiplication végétative : les méristèmes et l'organogenèse. Ed INRA, Paris. 262p.
- **MESSIAEN C.M. ; BLANCARD D. ; ROUXEL F. et LAFON R.**, 1991. *Les Maladies des plantes maraîchères.* 3ème Ed. Qu, 280.
- **Marcelis, E.** Heuvelink, and J. Goudriaan. Modelling of biomass production and yield of horticultural crops: a review. *Scientia Horticulturae*, 74 :83–111, 1998.

P

- **Peron, J-Y.**, 2006. *Productions Légumières.* Ed. Lavoisier, 613p.
- **PATRICK M., DELVAUX C.**, 2008. *Le truffaut : Encyclopédie pratique illustrée du jardin.* 41 ème édition. Larousse. Paris. 850p.
- **PLANQUAERT P.H. ET GIRARD G.**, 1987. La fêverole d'hiver, *Revue, I.T.C F* 3ème Trim. 32p.
- **Passioura, J.B.**, 1996. Simulation models: Science; snake oil, education, or engineering? *Agronomy Journal* 88, 690-694.
- **Prost, L., A. Gauffreteau, and D. Tristant.** 2003. Mais où s'en vont les nouvelles variétés de blé tendre ? DAA, Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris 27 pp.

R

- **RACHEF S.A., OUAMER F. et OUFFROUKH A.**, 2005. Inventaire des ravageurs de la fève en Algérie (Identification et caractérisation). *I.N.R.A.*, 16 :36-41.
- **Reffye et al.**, 2003 : Reffye (de), P., Goursat, M., Quadrat, J., and Hu, B. (2003). *The Dynamic Equations of the Tree Morphogenesis Greenlab Model.* Technical

Report 4877, INRIA.

- **Ritchie J.T. & Otter S.**, 1985. Description and performance of CERES-Wheat. a user-oriented wheat yield model. *Usda-Ars.Ars* **38**, 159–175.

S

-**SAADA O.** et **OSMANI T.**, 2003. Bio écologie du bruche de fève *Bruchus rufimanus* (BOH) 1833 (coleoptera : Bruchidae) dans les régions de Tizi- Rached et Beni-Douala. Mémoire Ing. Eco. An. U U.M.M.T.O.78P.

-**Semenov M.A.**, Jamieson P.D. & Martre P., 2007. Deconvoluting nitrogen use efficiency in wheat: A simulation study. *Eur. J. Agron.* **26**(3), 283–294.

-**Sexton J.** & Everingham Y., 2016. A theoretical and real-world evaluation of two Bayesian techniques for the calibration of variety parameters in a Sugarcane Crop Model, 45.

-**Sibi M.**,1981. Hérité de variants épi géniques obtenus par culture des tissus in vitro chez les végétaux supérieurs. Thèse Doct ès Sci; Univ Paris RSud, Orsay, 280 p.

-**Smith R.H.**, Bhaskaran S, Miller F.R., 1985. Screening for drought tolerance in Sorghum activity: localization using cell culture. *In Vitro Cell.Dev. Biol.* **21** :541-545.

-**Scriban, R.** (1988). Biotechnologie. 3ème édition revue, corrigée et augmentée. Ed. Tec et Doc. Paris 400p.

-**Semal, J.** (1998). Reproduire à l'identique : Mythe et réalité Cahier Agriculture. (7): 6-8

-**Skirvin, R.M.**, Cogner, M., Norton, A.M, Motoika, S., et Gorvin, D. (2000). Somaclonal variation: do we know what causes it. *AgbiotechNet.* V12 ABNO 48.

-**Saadi, A.** (1991). Régénération de plantes de pois *Pisum sativum* L par embryogenèse 121somatique. Thèse de doctorat. Paris Grignon. 162p.

-**Schmid, J.**, et Keller, E. (1984). Nouvelles possibilités pour l'amélioration et la multiplication des plantes : les cultures de tissus et de cellules. *Revue Suisse Agriculture.* - 13(6) : 265-272.

- **Samal, A.E.**, Simon, Z., Nyochembeng, L., Tambong, T.A., Nezana, X., et Wutah, J.G. (1998). Culture in-vitro et multiplication rapide de plante à tubercules et racines au Caméroune. *Cahier Agriculture.* (7) :63-66.

-**Saadi, A.** (1991). Régénération de plantes de pois *Pisum sativum* L par embryogenèse 121somatique. Thèse de doctorat. Paris Grignon. 162p.

- **STODDARD F.L.**, **NICHOLAS A.S.**, **RUBIALES D.**, **THOMAS J.** et

VILLEGASFERNANDEZA.M., 20 --**Sievanen, J.** Perttunen, E. Nikinmaa, and P.

Kaitaniemi. Toward extension of a single tree functional-structural model of scots pine to stand level: effect of the canopy of randomly distributed, identical trees on development of tree structure. *Functional Plant Biology*, 35(10):964–975, 2008. 10. Integrated pest management in faba bean. *Field Crops Research* 11, 308-318.

T

- **Thomas F.**, 2008. La féverole confirme son intérêt. Technique culturales simplifiées N°48. 4ème édition. 102 p.
- **Turc and Lecoœur**, 1997; Turc, and Lecoœur, J. (1997). Leaf primordium initiation and expanded leaf production are co-ordinated through similar response to air temperature in pea (*Pisum sativum* L.). *Annals of Botany*, 80 :265–273.
- **Tomassone**, R., C. Dervin, and J.P. Masson. 1993. Biométrie. Modélisation des phénomènes biologiques. Masson. Paris.
- **Tourte Y**, Bordonneau M, Henry M., 2005. Le monde des végétaux, organisation, physiologie et génétique. Édition Dunod. P 384.
- **Téoulé E.**, 1999. Biotechnologie et Amélioration des plantes in Biotechnologie Seriban R. EdT TEC & DOC p 565-589.
- **Toute, Y.**, et Tourte, C. (1998). Génie génétique et biotechnologies : concepts et méthodes. Applications à l'agronomie et aux bio-industries. Ed. Dunod. Paris 209p.

V

- Varella H., Guérif M. & Buis S., 2008. Global sensitivity analysis (gsa) measures the quality of parameter estimation. case of soil parameter estimation with a crop model. *Int. Geosci. Remote Sens. Symp.* 3(1), 310–319.
- Verwaerde**, 1997 ; Verwoerd, D. (1997). *Modèles différentiels et optimisation*. Ecole Centrale Paris.
- VOCANSON A.**, 2006. Evaluation ex ante d'innovations variétales en pois d'hiver (*Pisum sativum* L.): approche par modélisation au niveau de la parcelle et de l'exploitation agricole; Thèse de Doctorat; 223p
- **Van Ittersum**, P. Leffelaar, H. Van Keulen, M. Kropff, L. Bastiaans, and J. Goudriaan. On approaches and applications of the wageningen crop models. *European Journal of Agronomy*, 18(3-4):201–234, 2003.

W

- **Wang, H** –F., Zong, X-X., Guang, J-P., Youg, 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. *Theor APPL Genet.*124 : 789-797.
- **Wang, E.**, Engel, T., 2002. Simulation of growth, water and nitrogen uptake of a wheat crop using the SPASS model. *Environmental Modelling & Software* 17, 387-402.
- **Wallach D.**, Buis S., Lecharpentier P., Bourges J., Clastre P., Launay M., Bergez J.E., Guerif M., Soudais J. & Justes E., 2011. A package of parameter estimation methods and implementation for the STICS crop-soil model. *Environ. Model. Softw.* **26**(4), 386–394.
- **Wallach, D.** 2005. The two forms of crop models., p. 3-10, *In* J. W. Jones, ed. Working with crop models. Evaluating, analysis, parametrisation, and applications, Elsevier ed.
- **Walali Loudyi D.**,1993. La multiplication in vitro des espèces ligneuses : état actuel et perspectives de développement. Edt AUPELF-UREF. John Libby Euronext, Paris, pp 399-409.

Y

- **Yves C.** ,1984. La culture sans sol .in science et vie, hors-série (la nouvelle botanique) mars 1984, 146 :68-75.

Z

- Zaghouane, 1991**: The situation of faba bean (*Vicia faba* L.) in Algeria. *Options Méditerranéens*. No. 10: 123-125.
- Zaghouane., 1991**. The situation of *Faba bean* (*Vicia faba* L.) in Algeria. *Options méditerranéennes*. Présente statue and futurs percepts of *faba bean* production, I.C.A.R.D.A. Série A, N010. 123-125p.
- **Zryd, J.P.** (1988). Culture de cellules, tissus et organes végétaux. Ed Press. Polytechniques Romandes Suisse. 308p.

ANNEXE

ANNEXE 01

Tableau n° 01 : la conductivité électrique pour 1 ère essais de fève

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	660	644	685	6.87	
T2	677	641	688	6.87	
T3	676	688	625	6.14	
T4	661	615	622	6.13	
X	668.5	669.5	655	6.50	49.9
Var	64.24	12.2	99.4	0.16	33.09
Ecart type	8.01	3.4	9.9	0.4	5.7

ANNEXE 02

Tableau n° 02 : la conductivité électrique pour 2 -ème essais de fève

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	240	277	298	281	
T2	250	284	233	233	
T3	261	272	260	260	
T4	272	288	240	240	
X	11.8	16.8	22.3	25.3	18.9
Var	3.5	1.3	5.2	13.3	30.31
Ecart type	1.87	1.14	2.23	3.64	5.50

ANNEXE 03

Tableau n° 03 : la conductivité électrique pour 3 -ème essais de fève

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	1.342	1.615	1.006	1007	
T2	1.416	1.525	1.004	1004	
T3	1.046	1.890	1.005	1003	
T4	1.354	1.420	1.003	1003	
X	1.289	1.612	0.002	0.002	0.726
Var	0.027	0.04	0.0000003	0.000003	0.016
Ecart type	0.164	0.2	0.0005	0.0005	0.091

ANNEXE 04

Tableau n° 04 : le PH pour 1 ère essais de fève

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	7.45	7.33	7.19	7.84	
T2	8.27	8.54	8.28	8.86	
T3	8.10	8.23	8.17	8.33	
T4	7.89	7.91	7.88	7.22	
X	7.31	6.45	6.87	7.17	6.95
Var	0.001	0.022	0.21	0.02	0.07
Ecart type	0.03	0.24	0.45	0.14	0.21

ANNEXE 05

Tableau n° 05 : le PH pour 2 -ème essais de fève

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	7.32	7.66	7.15	7.31	
T2	7.17	7.82	7.22	7.28	
T3	7.21	7.24	7.36	6.60	
T4	7.13	7.51	7.26	7.45	
X	7.07	7.57	7.02	7.24	7.31
Var	0.01	0.07	0.03	0.06	0.04
Ecart type	0.1	0.26	0.17	0.24	0.19

ANNEXE 06

Tableau n° 06 : Le PH pour 3 -ème essais de fève

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	6.44	5.64	5.60	5.22	
T2	6.38	5.91	5.84	5.17	
T3	7.77	7.62	7.53	5.53	
T4	7.9	7.58	7.62	5.51	
X	7.66	7.71	7.68	7.60	7.66
Var	0.95	0.02	0.008	0.006	0.24
Ecart type	0.97	0.14	0.08	0.07	0.31

ANNEXE07

Tableau n° 07 : la salinité pour 1ere essais de fève

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	0.1	0.1	0.1	0.1	
T2	0.1	0.1	0.1	0.3	
T3	0.1	0.2	0.1	0.2	
T4	0.1	0.2	0.2	0.2	
X	0.1	0.5	0.5	0.6	0.42
Var	0	0.23	0.23	0.09	0.047
Ecart type	0	0.4	0.4	0.3	0.2

ANNEXE 08

Tableau n° 08 :la salinité pour 2 -ème essais de fève

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	0.1	0.1	0.1	0.1	
T2	0.2	0.2	0.3	0.4	
T3	0.6	0.7	0.9	1.1	
T4	0.6	0.9	1.1	1.2	
X	0.37	0.47	0.6	0.7	0.53
Var	0.05	0.11	0.07	0.21	0.1
Ecart type	0.2	0.3	0.2	0.4	0.3

ANNEXE 09

Tableau n° 09 : la salinité pour 3 -ème essais de fève

Essais	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
T1	0.3	0.3	1.1	1.2	
T2	0.2	0.3	1.2	1.3	
T3	0.2	0.3	0.2	1.1	
T4	0.2	1.1	1.2	1.3	
X	0.02	0.5	0.9	1.2	0.65
Var	0.05	0.12	0.22	0.06	0.20
Ecart type	0.2	0.3	0.4	0.2	0.4

ANNEXE 10

Tableau 10 : Analyse de variance de la salinité pour les trois essais de fève

Source de Variance	DDL	SCE	CM	F.Obs.	F.Théo	Signification=5%
Essais (milieu)	9	210.8	2.34	0.03	1.05	
Résiduelle	27	15.67	0.58			N S
Totale	36	36.75	/			

Les résultats de l'Analyse de variance (Tableau 10) montrent qu'il y a une différence non significative pour ce paramètre parce que $F_{\text{observe}} < F_{\text{théorique}}$ (Le Test NEWMEN et KEULS au seuil de 5%).

Nom et prénom : LAHIOUEL AHLEM

Nom et prénom : HOUCHAT IBTISSEM

Nom et prénom : MGHASSEL NESSRINE

Titre : MODELISATION DE LA CROISSANCE CHEZ UNE CULTURE IN VITRO DE FEVE (*VICIA FABA*)

ملخص

مع تطور الزراعة ، أدى ذلك إلى اكتشاف تقنيات حديثة في الميدان الزراعي لتحسين كمية ونوعية المنتج. من بين هذه التقنيات النمذجة الرقمية ، والتي تعتمد على تكوين مجموعة من العلاقات الرياضية التي تصف ظاهرة نباتية. مثل نمو النبات (ظهور الأوراق ، طول الساق) يتم عمل النماذج الزراعية من خلال طرق التدريس البسيطة وطرق البحث وطرق التحكم في النبات. لقد أجرينا تجربة على نبات الفول (*Vicia faba*) ، ودرسنا نموها لمدة 44 يوم مع إضافة مغذيات طبيعية (ماء الصفصاف وماء البزلاء) مع شاهد في ماء الحنفية. أجريت الدراسة في معمل كيمياء التربة في جامعة 20 اوت 1955 في سكيكدة ، حيث للأسف لم تتمكن من التحكم في درجة الحرارة والضوء. نبتت البذور في أطباق بتري في وسط رطب يتكون من (ورق ماص + ماء حنفية). يتبين بالنسبة للنتائج عدم وجود اختلاف في طول الساق بالنسبة لكل النباتات، أما بالنسبة لطول الجذر وعدد الأوراق فهناك اختلاف ، أما بالنسبة للنمو ، فإن قياس طول الجذر الاساسي وعدد الاوراق يبين وجود تأثير المغذيات على عملية النمو. يوضح التحليل الإحصائي بنسبة 5% وجود تأثير للمغذيات على عملية النمو والسرعة وكذلك كتلة الجذور والجزء العلوي للنباتات (نموذج خطي). الكلمات المفتاحية: النمو، النمذجة، النموذج، السرعة، الفول *Vicia faba* .

Résumé

Avec le développement de l'agriculture, elle a conduit à la découverte de techniques modernes dans le domaine agricole pour améliorer la quantité et la qualité du produit. Parmi ces techniques figure la modélisation numérique, qui repose sur la formation d'un ensemble de relations mathématiques décrivant un phénomène végétal. Tels que la croissance des plantes (l'apparition des feuilles, phytomère), Les modèles agricoles sont réalisés par des méthodes pédagogiques simples, des méthodes de recherche et des méthodes de contrôle des plantes.

Nous avons fait une expérience sur la plante des fèves (*Vicia faba*), et étudier leur croissance pendant 44 jours avec l'ajoute des nutriments naturels (l'eau de pleureur et l'eau de petit pois) tout en surveillant l'eau du robinet.

L'étude a été menée dans le laboratoire de chimie du sol à l'université 20 aout 1955 à Skikda, où malheureusement nous ne pouvions pas contrôler la température et la lumière. Les graines ont été mises à germer dans des boîtes de Pétri dans un milieu humide constitué de (papier absorbant + eau du robinet). Il n'y a pas différence significative pour la taille des tiges, quant à la longueur des racines et le nombre des feuilles et les phytomères il y a une différence de toutes les plantes des trois essais. L'analyse statistique a 5% montre qu'il y a un effet pour les nutriments sur le processus de croissance et la vitesse ainsi que la production des biomasse aérienne et racinaire (modèle linéaire).

Mots clés : Croissance, Modélisation, Modèle, Vitesse, *Vicia faba*.

Abstract

With the development of agriculture, it led to the discovery of modern techniques in the agricultural field to improve the quantity and quality of the product. Among these techniques is numerical modeling, which is based on the formation of a set of mathematical relationships describing a plant phenomenon. Such as plant growth (the appearance of leaves, phytomer), agricultural models are made by simple teaching methods, research methods and plant control methods.

We did an experiment on the broad bean plant (*Vicia faba*), and studied their growth for 44 days with the addition of natural nutrients (weeping water and pea water) while monitoring the water in the faucet.

The study was conducted in the soil chemistry laboratory at the University August 20, 1955 in Skikda, where unfortunately we could not control the temperature and the light. The seeds were germinated in Petri dishes in a moist medium consisting of (absorbent paper + tap water).

There is no significant difference for the size of the stems, for the length of the roots and the number of the leaves and the phytomers there is a difference of all the plants of the three tests. Statistical analysis at 5% shows that there is an effect for nutrients on the growth process and the speed as well as the production of aerial and root biomass (linear model).

Keywords: Growth, Modeling, Model, Speed, *Vicia faba*.