

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIER ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 1

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DEPARTEMENT DE BIOTECHNOLOGIES

Projet de fin d'études en vue d'obtention

du diplôme Master académique

Spécialité : Biotechnologie végétale

Thème :

Effet d'un biofertilisant naturel sur le développement et le rendement de deux variétés

du poivron (*Capsicum annum L*) piquant et doux cultivées sous serre

Réalisé par :

HADJ ATTOU KHADIDJA

Devant le jury composé de :

Mme Briki	MAA	USD. Blida 1	Présidente
Mme Bradeaa M.S.	MCA	USD. Blida 1	Promotrice
Mme Abidi L.	MAA	Khemis Miliana	Examinatrice
Mme Felidj M.	MCB	USD. Blida 1	Examinatrice
MrDjeghdjough M.	Doctorant	USD. Blida 1	Co-Promoteur

ANNEE UNIVERSITAIRE 2014/2015

Remerciements

On dit souvent que le trajet est aussi important que la destination. Les cinq années de maîtrise m'ont permis de bien comprendre la signification de cette phrase toute simple. Ce parcours, en effet, ne s'est pas réalisé sans défis et sans soulever de nombreuses questions pour lesquelles les réponses nécessitent de longues heures de travail.

Avant de présenter ce mémoire, je tiens à remercier ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la foi et de m'avoir permis d'en arriver là.

Mes remerciements vont également à mes parents pour tous les sacrifices qu'ils ont faits pour me permettre de suivre mes études dans les meilleures conditions possibles et n'avoir jamais cessé de m'encourager tout au long de mes années d'étude

Je tiens à adresser ma vive reconnaissance et mes sincères remerciements à toutes les personnes qui m'ont aidé à accomplir ce travail, et plus particulièrement mon co-promoteur Mr Djeghdjough. M et mes amis Aissa, Redhouène, Mohamed et Nassime.

Je tiens à remercier également tous ceux qui ont contribué de prêt ou de loin à la réalisation de mon mémoire.



Dédicace

Je dédie ce mémoire à :

· Mes parents :

Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Mon frères Adèl et mes sœurs Amèl, Hadjer et Hadil qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

Mes amis Hadjer et Sidaali

Mes professeurs de l'USD Blida 1 qui doivent voir dans ce travail la fierté d'un savoir bien acquis.



Résumé

Notre essai a pour but de déterminer l'effet d'un fertilisant biologique sur la croissance, le rendement et la qualité des fruits de la variété Cristal du poivron et Guindilla du piment, pour cela on a utilisé deux types de fertilisants qui sont mis en comparaison, il s'agit d'un fertilisant chimique NPK (15.15.15) qui joue le rôle de témoin et l'autre type contient les différents traitements T1, T2, T3 et T4 qui se diffèrent entre eux par la dose et le mode d'application de biofertilisant « Superbio »

L'étude a montré que les traitements par mode d'application racinaire avec ses deux différentes doses (30g/l et 15 g/l) de « Superbio » donnent des résultats satisfaisants pour les paramètres de production telle que la hauteur finale avec une moyenne de 95 cm chez le poivron et 82.5 cm chez le piment et aussi pour les paramètres de qualité comme la teneur des fruits du piment en vitamine C (97.77 mg), par contre les traitements T1 et T3 avec les doses 10g/l et 5g/l en application foliaire représentent les plus faibles résultats presque au niveau de tous les paramètres.

En ce qui concerne la comparaison avec le traitement témoin (T0), ce dernier présente des meilleurs résultats pour la vitesse de croissance, nombre de feuilles et le rendement des fruits chez les deux variétés.

Mots clés : fertilisant biologique, fertilisant chimique, dose, application

Abstract

Our test is to determine the effect of a biological fertilizer on growth, yield and fruit quality of the Cristal variety of sweet peppers and Guindilla of spicy pepper. We have used two types of fertilizer that are comparison, this is a chemical fertilizer NPK (15.15.15) which acts as a control and the other type contains the different treatments T1, T2, T3 and T4 these treatments differ by dose and mode application of biofertilizers "Superbio"

The study showed that treatment by root application with two different doses (30 g / l and 15 g / l) give satisfactory results for the production parameters such that the final height with an average of 95 cm in sweet pepper and 82.5 cm in spicy pepper and also for quality parameters like the content of spicy pepper fruits in vitamin C (97.77 mg), by against T1 and T3 treatments with 10g doses / l and 5 g / l for foliar application represent the lowest results at almost all parameters.

As regards the comparison with the control treatment (T0), the latter provides better results for the growth rate, number of leaves and fruit yield in two varieties.

Keywords: Organic fertilizer, chemical fertilizer, dose, application

ان الهدف من التجربة هو تحديد اثر المخصب البيولوجي على نمو ومردود و جودة الفلفل بنوعيه الحلو (كريستال) (قنديلا)
NPK(15.15.15)الكميائي

الذي يلعب دور الشاهد اما البيولوجي فقسم الى اربعة علاجات تختلف بينها في الجرعة وطريقة تطبيق هذا المخصب (سوباريو) T4,T3,T2,T1

اثبتت الدراسة ان العلاجات بالتطبيق على الجذور بجرعتيه المختلفتين اعطت نتائج مزهرة بالنسبة لمعيار الانتاج حيث وصل الطول النهائي الى 95 82.5
بالنسبة للفلفل الحار اما فيما يخص معيار الجودة فقد وصلت كمية الفيتامين ج للفلفل الحار 97.77 .

T1 T3 الجرعتين 10 / 5 ل/ بالتطبيق على الاوراق اعطت ادنى النتائج تقريبا في جميع المعايير.

اما فيما يخص المقارنة مع T0، هذا الاخير اعطى الاوراق والمردود النهائي للفلفل بنوعيه الحلو والحار

الكلمات المفتاحية المخصب البيولوجي المخصب الكميائي الجرعة التطبيق

Liste d'abréviation

C.E.C : capacité d'échange cationique

Coeff : coefficient

- **CV%** : Coefficient de variation
- **DDL** : Degré de liberté
- **Ed** : Edition
- **ET** : Ecart type

FAO : food organisation of agricultur

ITCMI : Institut Technique des Cultures Maraîchères et Industrielles

Listes des figures

Figure n°1 : Type triangulaire.....	6
Figure n°2 : Relation entre le sol et la plante.....	19
Figure n°3 : poivron doux de variété cristal.....	46
Figure N°4 : Piment piquant de variété Guindilla.....	47
Figure n°5: Biofertilisant Superbio.....	48
Figure n°6 : Lieu d'expérimentation par satellite.....	49
Figure n°7 : Serre de l'expérimentation.....	50
Figure n° 8: Schéma du dispositif expérimental.....	50
Figure N°9 : Semis du poivron et piment.....	51
Figure N°10 : Repiquage du poivron.....	52
Figure n°11 : Méthodes d'aération de la serre.....	53
Figure n°12 : Présence de puceron.....	54
Figure n°13: pièges jaunes	55
Figure n°14 : Aspect général d'un réfractomètre et son écran de lecture.....	57
Figure n°15 : Vitesse de croissance du poivron.....	59
Figure n°16 : Vitesse de croissance du piment.....	59
Figure n°17 : Hauteur finales moyennes des plantes du poivron et piment.....	60
Figure n°18 : Diamètre final des tiges des plantes du poivron et piment.....	61
Figure n°19 : Nombre des feuilles par plante.....	62
Figure n°20 : Poids frais des racines des plantes du poivron et piment.....	63
Figure n°21 : Poids frais des tiges des plantes du poivron et piment.....	64
Figure n°22 : poids frais des feuilles des plantes du poivron et piment.....	65
Figure n°23 : Poids frais des poivrons et piments.....	65
Figure n°24 : Poids sec des racines des plantes du poivron et piment.....	66
Figure n°25: Poids sec des tiges des plants du poivron et piment.....	67
Figure n°26: Poids sec des feuilles des plantes du poivron et piment.....	68
Figure n°27 : Poids sec des fruits des plantes du poivron et piment.....	68
Figure n°28: Taux de la matière sèche des racines des plantes du poivron et piment.....	69
Figure n°29 : Taux de la matière sèche des tiges des plantes du poivron et piment.....	70
Figure n°30 : Taux de la matière sèche des feuilles des plantes du poivron et piment.....	70
Figure n°31 : Taux de la matière sèche du poivron et piment.....	71
Figure n°32 : Nombre de fleurs par plant du poivron et piment.....	72

Figure n°33 : Nombre de fruit par plant.....	73
Figure n°34 : Taux d'avortement par plant du poivron et piment.....	74
Figure n°35 : Rendement total des fruits par plant du poivron et piment.....	75
Figure n°36 : Longueur moyenne des poivrons et piments.....	76
Figure n°37 : Diamètre des fruits.....	77
Figure n°38 : Teneur du poivron et piment en vitamine C.....	78
Figure n°39 : Teneur en sucre totaux.....	79

Liste des tableaux

Tableau n°1 : Echelle de Scoville pour la capsaïcine.....	7
Tableau n°2 : Production mondiale en poivron.....	8
Tableau n°3 Production du poivron en Algérie.....	9
Tableau n°4 : Principales maladies et méthode de lutte.....	15
Tableau n°5 : Quantités indicatives d'azote fixé par divers légumineuses.....	23
Tableau n°6: Composition des fumiers de bovins selon le type d'élevage..... (kg par tonne de produit brut)	24
Tableau n°7 : formes d'absorption des éléments nutritifs et leurs fonctions.....	28
Tableau n°8 : Avantages et inconvénients du faux semis.....	41
Tableau n°9 : Impacts de différentes cultures.....	43
Tableau n°10 : Variation de la température sous serre au cours de l'expérimentation.....	52
Tableau n°11 : Traitements utilisés en expérimentation.....	54

Table des matières

Résumé	
Introduction.....	1

Partie 01: l'étude bibliographique

Chapitre I : Généralité sur le poivron et piment

I. Historique.....	2
I.1. Origines du poivron et piment.....	2
I.2. Culture du poivron et piment.....	2
I.2.1. En Europe.....	2
I.2.2. En Algérie.....	2
II. Description botanique et morphologique.....	3
II.1. Description botanique.....	3
II.1.1. Position systématique.....	3
II.2. Description morphologique.....	3
III. Différentes variétés du poivron et piment.....	4
III.1. Fruits carré.....	4
III.1.1. Caractéristiques génétiques du poivron à fruits carré.....	5
III.2. Variétés à fruits rectangulaire.....	5
III.3. Fruits triangulaire.....	5
IV. Valeur nutritive.....	6
IV.1. piquant du piment.....	6
IV.2. Vitamines.....	7
IV.3. Caroténoïdes.....	8
V. Production du poivron.....	8
V.1. Production du poivron dans le monde.....	8
V.2. Production du poivron en Algérie.....	9
VI. Exigences du poivron et piment.....	10
VI.1. Exigences climatiques.....	10
VI.1.1. Température.....	10
VI.1.2. Luminosité.....	10
VI.2. Exigences pédologiques.....	10
VI.3. Exigences nutritionnelles.....	11

VI.3.1. L'eau.....	11
VI.3.2. Eléments fertilisants.....	11
VII. Conduite de culture.....	12
VII.1. Travail du sol.....	12
VII.2. Désherbage	12
VII.3. Plantation.....	12
VII.4. Fertilisation.....	13
VII.5. Irrigation.....	13
VII.6. Récolte.....	13
VII.7. Activités post-récolte.....	14
VII.7.2 Transformation.....	14
VII Protection de la culture.....	14
VII.1 Carences.....	14
VII.2 Maladies et méthodes de lutte.....	15
Chapitre II : Fertilisation biologique et chimique	
I. Fertilité du sol.....	17
I.1. Définition du sol.....	17
I.2. Définition de la fertilité du sol.....	17
I.3. Fertilité du sol et engrais.....	17
I.4. Importance de la fertilité du sol.....	18
I.5. Relation sol-plante.....	18
I.6. Structure du sol.....	19
II. Fertilisation racinaire.....	20
II.1. Gestion de fertilisation.....	20
II.2. Fertilisation biologique.....	21
II.2.1. Engrais naturels	21
II.2.1.1. Engrais verts	21
II.2.1.1.1. Rôle des engrais verts.....	21
II.2.2. Engrais organiques	23
II.2.2.1. Fumiers.....	24
II.2.2.2. Lisiers et fientes et purins.....	24
II.2.2.3. Compost.....	25
II.2.3. Avantages des engrais biologiques.....	26

II.2.4. Inconvénients des engrais biologiques.....	26
II.3. Fertilisation chimique.....	27
II.3.1. Engrais minéraux.....	27
II.4. Amendements du sol.....	30
III. Fertilisation foliaire.....	31
III.1. Règles de la pulvérisation foliaire.....	32
III.2. Avantages de la fertilisation foliaire.....	33
III.3. Raisonnement de l'apport foliaire.....	33
Chapitre III : L'agriculture durable	
I.1. Limites de l'agriculture biologique.....	35
I.1.1. Limites techniques.....	35
I.2.1. Limites financières.....	35
II L'Agriculture intensive.....	36
II.1. Impact des pesticides et engrais chimique.....	36
II.1.1. Impact des pesticides et engrais chimique sur le sol.....	36
II.1.2. Impact des pesticides et engrais chimique sur les eaux.....	38
II.1.3. Impact des pesticides et engrais chimique sur l'air.....	38
III Agriculture durable.....	38
III.1. Définition.....	38
III.2. Méthodes de durabilité.....	38
III.3. Techniques appliquées en agriculture durable.....	39
III.3.1. Analyse du sol.....	39
III.3.2. Techniques culturales simplifiées TCS.....	39
III.3.2.1 Impacts environnementaux positifs des TCS.....	40
III.3.3 Faux-semis.....	41
III.3.1.1. Conditions de faux semis.....	42
III.3.4. Rotation.....	43
III.3.5. Protection des cultures.....	44
III.3.5.1. Lutte biologique.....	45

Partie 02 : Expérimentation et résultats

Chapitre IV : Matériels et méthodes	46
I. Objectif du travail	46
II. Matériel végétal testé.....	46
II.1. Variété Cristal	46
II.2. Variété Guindilla	47
III. Produit utilisé	47
III.1. Superbio	47
III.1.1 Caractéristiques.....	48
IV Préparation des doses utilisées.....	48
IV. Conditions expérimentales	49
IV.1 Lieu d'expérimentation.....	49
IV.2. Lieu de semis	49
IV.3. Lieu de repiquage	49
VI. Dispositif expérimental.....	50
VII. Conduite de la culture.....	51
VII.1. Semis en pépinière.....	51
VII.2. Repiquage sous serre.....	51
VII.3 Travaux d'entretien	51
VII.3.1 Irrigation.....	52
VII.3.2 Désherbage	52
VII.3.3 Aération de la serre	53
VII.3.4 Binage.....	53
VII.3.5 Tuteurage	53
VII.4 Traitements phytosanitaires.....	53
VII.5 Récolte	55
VIII. paramètres étudiés.....	55
VIII.1. Paramètre de croissance	55
VIII.1.1. Vitesse de croissance.....	55
VIII.1.2 Hauteur finale des plantes.....	55
VIII.1.3 Diamètre final des tiges.....	55
VIII.1.4 Nombre des feuilles.....	55
VIII.1.5. Biomasse fraîche.....	56

VIII.1.6. Biomasse sèche.....	56
VIII.1.7. Taux de matière sèche.....	56
VIII.2 Paramètre de production.....	56
VIII.2.1.Nombre de fleurs par plant.....	56
VIII.2.2. Nombre de Fruit par plant.....	56
VIII.2.3. Taux d'avortement.....	56
VIII.2.4. Rendement total des fruits par plante.....	56
VIII.3 Paramètre de qualité des fruits	56
VIII.3.1 Longueur moyenne des fruits par plant	56
VIII.3.2. Diamètre des fruits.....	56
VIII.3.3 teneur en vitamine C.....	56
VIII.3.4. Dosage des sucres totaux	57
Chapitre V : Résultats et discussion.....	59
Conclusion.....	80
Références bibliographiques.....	82
Annexe.....	85

Introduction

La révolution industrielle dans le domaine de la fertilisation a donné des résultats exceptionnels grâce à l'utilisation des produits de synthèse, mais après des décennies d'utilisation de ces alliés chimiques, on s'est rendu compte que ces derniers présentent plus d'inconvénients que d'avantages car ils ont abouti à des effets secondaires inattendus et l'agronomie conventionnelle montre ses limites ; un environnement qui se dégrade, des ressources épuisées, pollutions, déséquilibre écologique et même une disparition de certaines espèces animales et végétales.

L'engrais chimique a ses propres jours glorieux au cours du siècle passé, il a fait augmenter la production agricole pour les premières années, mais une fois que le temps passé, il a commencé à montrer sa faiblesse.

A cet effet, beaucoup d'agriculteurs ont pris conscience et s'intéressent de plus en plus à leur santé et à leur environnement, en appliquant une agriculture basée sur l'utilisation des fertilisants biologiques qui collaborent avec la nature et cherchent au maximum à épargner leurs ressources. C'est pour ces raisons que nous devons faire naître un nouveau modèle agricole.

Dans ce contexte notre travail a pour objectif de tester l'effet d'un biofertilisant « Superbio » à base d'algues marines sur la croissance, le rendement et la qualité nutritionnelle des deux variétés de *Capsicum annuum* douce (Cristal) et piquante (Guindilla) en comparant avec une fertilisation chimique basée par l'utilisation de NPK (15.15.15)

I. Historique

I.1. Origines du poivron et piment

Le poivron est l'appellation française du piment doux à gros fruit. Il vaut mieux employer le terme piment qui lui englobe à la fois les piments à fruits doux et les piments à fruits petits et à saveur plus ou moins brûlante contenant de la capsaïcine.

Pourtant issus d'une, même espèce et du même continent américain, piments et poivrons vont connaître des destins différents. (DANNEYROLLES, 2000).

Le poivron était inconnu dans l'ancien monde avant la découverte de l'Amérique. (POCHARD, 1987)

Le poivron est une plante annuelle qui appartient à la famille des Solanacées. Cette plante est originaire du Mexique et de l'Amérique Centrale (SKIREDJ *et al.*, 2003) ; du Continent Sud-Américain qui correspond à la Bolivie actuelle : il s'agit d'une zone de transition entre le climat tempéré et le climat subtropical, non soumise aux gelées et relativement sèche. Il a été largement cultivé et consommé par les indiens et il n'a pas été trouvé à l'état sauvage ce qui prouve que c'est une ancienne culture. (POCHARD, 1987)

I.2. Culture du poivron et piment

I.2.1. En Europe

Cette espèce a conquis toutes les zones chaudes du globe. Elle est cultivée en Europe, principalement dans les pays méditerranéens (REY, 2005)

Le poivron fut introduit en Europe à la fin du **quinzième** siècle et au début du **seizième** par les Conquistadors. Il a été cultivé comme une plante médicinale et décorative en Espagne et en Portugal, puis il a fait introduire en Angleterre en **1548** et dans le sud de l'Italie à peu près à la même époque et en Hongrie **20** ans plus tard (POCHARD, 1987)

I.2.2. En Algérie

La culture du poivron a été introduite au **dix-huitième** siècle, durant la colonisation française en Algérie. (POCHARD, 1987).

II. Description botanique et morphologique

II.1. Description botanique

Les piments cultivés dans le monde renferment cinq espèces : *Capsicum annuum*, *C. frutescens*, *C. chinense*, *C. baccatum* et *C. pubescens*.

Capsicum annuum L. regroupe les poivrons, les piments doux et quelques piments forts comme le piment de Cayenne, riche en capsaïcine qui lui confère ce caractère épice.

Le piment est une plante autogame mais les croisements entre les différentes variétés sont plus fréquents que pour la tomate (environ **10 %** en France et jusqu'à **68 %** en Inde) (REY, 2005)

II.1.1. Position systématique

- Nom commun : poivron
- Règne : Plantae
- Sous Règne : Tracheobionta
- Division : Magnoliophyta
- Classe : Magnoliopsida
- Sous Classe : Asteridae
- Ordre : Solanales
- Famille : Solanaceae
- Genre : Capsicum
- Espèce : *Capsicum annuum* L (ANNONYME, 2009)

II.2. Description morphologique

Le poivron appartenant à l'espèce *Capsicum annuum* L, il est reconnue par ses caractéristiques de production que sont : la forme, la taille, et la couleur de ses fruits, d'épaisseur de sa chair, du nombre de loges et de sa teneur en capsaïcine (alcaloïde qui donne la saveur de brûlure) qui est différente selon la variété du poivron. (VILLENEUVE, 2008)

- **Port** : Port dressé, presque arbustif, très ramifié.
- **Tiges** : de la base ont tendance à se lignifier. La plante atteint de **40 à 50** cm de haut en général.
- **Feuilles** : alternes, lancéolées, se terminant en pointe, sont d'un vert brillant.

- **Fleurs** : nombreuses et petites, sont blanches, à pétales soudés et pointus, au nombre de **6 à 8**.
- **Fruits** : est une baie d'un type particulier, la pulpe, relativement mince et formant une espèce de capsule entourant un placenta plus ou moins volumineux portant de nombreuses graines.

Les poivrons changent de couleur durant le mûrissement : le poivron vert est cueilli avant sa pleine maturité. S'il est laissé sur le plant, il deviendra jaune, puis orange et ensuite rouge à la fin de son mûrissement. (VANIER, 2006) Ependant du cultivar. Ces trois couleurs (vert, rouge et jaune) sont les plus populaires en serre ;

La couleur verte est donnée par la chlorophylle. Lors du processus global de maturation ce pigment se dégrade et il y a alors synthèse d'autre pigment. Des pigments de type caroténoïdes concourent à la coloration rouge, mais le principal responsable est le pigment capsanthine (35%). Les poivrons jaunes et orange obtiennent leur coloration de la présence plus importante des caroténoïdes comme la luthéine, la violaxanthine et le beta carotène. (VILLENEUVE, 2008)

La taille du fruit dépend en premier du cultivar mais aussi des conditions climatiques, telles que le rayonnement solaire, la température, l'hygrométrie, l'injection de dioxyde de carbone et la nutrition minérale. (VILLENEUVE, 2008)

- **Graines** : sont petites, plates, réniformes, de couleur crème. (VILLENEUVE, 2008)

III. Différentes variétés du poivron et piment

Il existe plusieurs dizaines de variétés de poivrons, de toutes tailles et de toutes formes (sphériques, coniques plus ou moins allongés, pyramidaux ou carrés). La plupart sont des hybrides récents, cueillis verts ou rouges mais il existe aussi des variétés à fruits jaune ou orange qui sont, en comparaison, peu répandues. (REY, 2005)

Nous distinguons trois grands types de poivrons selon la forme du fruit :

III.1. Fruits carré

Sont cultivés surtout aux Etats-Unis (en plein champ), aux Pays-Bas (sous serre) et en Italie (en plein champ ou sous abris). Ils sont très réguliers de forme et leur calibre varie peu : **8 à 12** cm de section. Ils ont une peau lisse et une chair souvent épaisse. Moins fragiles que les autres types, ils sont les plus demandés à l'exportation. Verts avant maturité, ils deviennent ensuite au

rouge plus ou moins vif ou au jaune selon les variétés. Ce type de fruit est en forte augmentation en Europe. (GRY, 1991)

Cette variété semble sensible à l'**oïdium** et au "**stip**" (points brunâtres sur l'épiderme). (GOILLON, 2013)

III.1.1. Caractéristiques génétiques du poivron à fruits carré

Selon SYNGENTA (2011), les variétés à poivron carré présentent les avantages suivants :

- Bonne précocité grâce à une bonne nouaison en conditions froides
- Plante puissante compacte, avec un fort diamètre de tige permettant un bon ancrage
- Bon comportement en sol fatigué, très bonne homogénéité de plante
- Entre-nœud moyen, plante aérée, récolte facile, nécessitant peu de taille
- Peu de fruits déformés en début de saison
- Fort pourcentage de premier choix tout au long de la culture
- Très bon potentiel de rendement en optimisant une plantation de densité
- Facilité de conditionnement
- Haute Résistance (ANNONYME, 2011)

III.2. Variétés à fruits rectangulaire

Sont caractérisés par leur longueur. Ils sont qualifiés de "demi-longs" (pour une longueur de **12** à **15** cm), "trois-quarts longs" (**15** à **18** cm de long) ou "longs" (plus de **18** cm). D'une variété à l'autre, et selon le mode de cultures, les fruits peuvent être très étroits ou plus élargis. De même, l'épaisseur de la chair est variable, de **2** ou **3** mm à un bon centimètre. Le type rectangulaire est le plus cultivé en Espagne, Italie, France et aussi dans les pays de l'Europe de l'Est qui sont de gros producteurs. Peu d'originalité au niveau du coloris. Cependant, il est intéressant de noter que chaque pays a une couleur favorite : le rouge pour l'Espagne, le jaune pour l'Italie et le jaune-orangé ou le crème pour l'Europe de l'Est. En France, le poivron vert domine encore largement, mais le rouge et le jaune gagnent de plus en plus d'amateurs. On apprécie leur goût sucré (ils sont plus doux que les verts) et ils apportent une note de fantaisie dans nos salades. (GRY, 1991)

III.3. Fruits triangulaire

Les poivrons de forme triangulaire sont parfois assimilés, à tort, aux variétés à goût piquant. Il ne faut en aucun cas préjuger de la saveur du poivron sur un repère visuel. D'ailleurs, les sélectionneurs confirment l'absence de liaison génétique entre la forme du fruit et la saveur. (GRY, 1991)

Selon le même auteur, le type triangulaire, appelé aussi type "corne", est très répandu dans les pays d'Asie et d'Afrique. On le cultive aussi en Espagne et en Italie. Mais de façon générale, il est produit pour être consommé sur place.

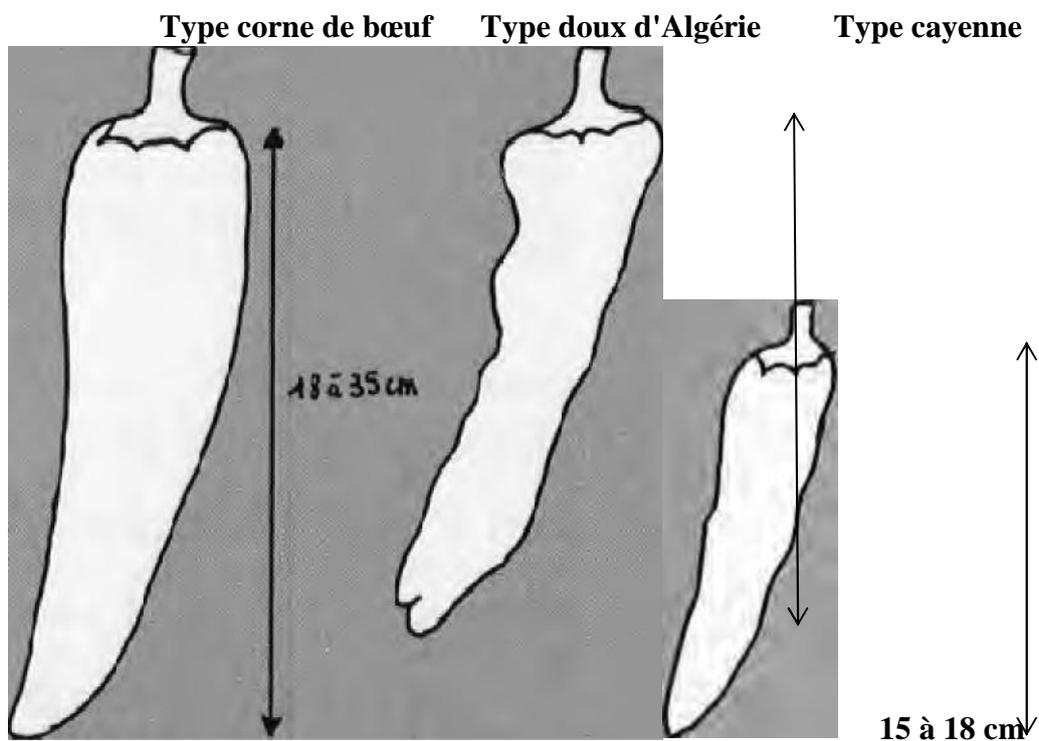


Figure n°1 : Type triangulaire

IV. Valeur nutritive

Selon KOLEV (1976), le fruit du poivron se compose de 7 à 13% de matières sèches, 3 à 6% de sucres, 0,2 à 0,4% d'acides organiques et de 1,2 à 1,9% de protéines.

IV.1. piquant du piment

Ce piquant est essentiellement lié à la présence de la capsaïcine. Cette molécule n'est pas uniformément répartie à l'intérieur. Elle est produite par des glandes situées à la jonction entre le placenta et l'enveloppe du piment.

Chapitre I : Généralités sur le poivron et piment

La capsaïcine se trouve à **90 %** dans le placenta, à **6 %** dans les autres tissus du fruit et à **4 %** dans les graines. Dans le règne végétal, cette molécule a pour effet de décourager la prédation, L'effet de brûlure, lié à une dilatation des tissus sanguins, est toujours réversible et ne provoque aucune lésion. Il semblerait que cette sensation de brûlure soit suivie d'une sensation de bien-être liée à la production d'endomorphines, en réaction. Boire de l'eau pour atténuer la force d'un piment est inutile car la capsaïcine est liposoluble, par contre la caséine de lait neutralise l'action sur les récepteurs de la douleur. (REY, 2005)

Il existe une échelle dite échelle de Scoville permettant de quantifier la force ou la teneur en capsaïcine, des diverses variétés (voir tableau n°1)

Tableau n°1 : Echelle de Scoville pour la capsaïcine

Poivron	neutre	0
Paprika	doux	1
Anaheim	chaleureux	2
Ancho	relevé	3
Espelette	chaud	4
Chimayo	fort	5
Piment de cayenne	ardent	6
Cascabella	brulent	7
De Arbol	torride	8
Tabasco	volcanique	9
Habanero	explosif	10

Source (REY, 2005)

La capsaïcine contenue dans le fruit est un stimulant de l'appétit, elle favorise l'élimination des graisses, son action anti-agrégant des plaquettes sanguines fluidifie la circulation. (Halloun, 2002)

IV.2. Vitamines

Le poivron a une bonne valeur nutritionnelle. Pour le même poids, le bêta-carotène est transformé en vitamine A par le corps humain. Une consommation de **100g** comble le besoin journalier à **212 %** pour la vitamine A et **62 %** pour la vitamine C.

(VILLENEUVE, 2008). Le poivron est **4 à 5** fois plus riche en vitamine C que le citron (SKIREDJ *et al.*, 2003) ; il renferme de **146 à 127 mg** pour **100 g** selon la couleur (NEYRATE, 2009)

Le contenu en cette vitamine augmente durant le mûrissement du poivron et est presque deux fois plus élevé dans les poivrons rouges que dans les verts, qui n'ont pas atteint leur pleine maturité. (MARINet *al.*, 2004)

Le rôle que joue la vitamine C dans l'organisme va au-delà de ses propriétés antioxydantes; elle contribue aussi à la santé des os, des cartilages, des dents et des gencives. De plus, elle protège contre les infections, favorise l'absorption du fer contenu dans les végétaux et accélère la cicatrisation. (VANIÉR, 2006)

IV.3. Caroténoïdes

Le poivron est une excellente source de carotène (provitamine A) et de flavonoïdes (vitamine P), présents à l'état de pigments. Les premiers ont une action antioxydante et préventive sur le vieillissement prématuré des cellules et la formation de tumeurs. (MENARD, 2010)

La teneur du poivron en carotènes augmente avec sa couleur : le rouge en est le plus riche (3480 µg) tandis que le jaune en affiche 1300 µg et le vert 280 µg (NEYRATE, 2009)

V. Production du poivron

V.1. Production du poivron dans le monde

Le poivron occupe la troisième place dans le monde après la pomme de terre et la tomate. La production mondiale a dépassé 24.7 millions de tonnes en 2005. (ANNONYME, 2005)

Selon FAO (2010), la production mondiale de poivrons est estimée à 23,2 millions de tonnes.

Le premier producteur mondial est la Chine avec 14 millions de tonnes, soit près de 50 %. Dans le tableau 2 se trouvent les principaux producteurs à l'échelle mondiale.

Tableau n°2 : Production mondiale en poivron

Pays	Surface cultivée (Mha)	Rendement (q/ha)	Production (Mt)
Chine	0,603	191,3	14,033
Mexique	0,141	131,79	1,690
Indonésie	0,155	35,5	1,100
Espagne	0,022	451,9	1,065
États-Unis	0,032	265,1	0,855
Nigeria	0,091	79,11	0,723
Égypte	0,026	148,8	0,475
Corée du Sud	0,077	49,7	0,345
Italie	0,014	251,2	0,252

Chapitre I : Généralités sur le poivron et piment

Monde	1,654	140,5	26,056
-------	-------	-------	--------

Source(ANNONYME, 2010)

V.2. Production du poivron en Algérie

Les variétés les plus cultivées en Algérie sont : Esterel, Lipari, Italico, Doux marconi, Doux d'Espagne (type doux) Corne de chèvre, Nour, Foughal, capel hot (type piquant)(ANNONYME, 2010)

Le tableau 3 montre les superficies, la production et le rendement du poivron en Algérie leurs taux d'accroissement entre **2009** et **2010**.

Tableau n°3 Production du poivron en Algérie

2009			2010			Taux d'accroissements % 2009/2010		
Sup	Prod	Rdt	Sup	Prod	Rdt	Différence		
Ha	Qx	Qx /Ha	Ha	Qx	Qx /Ha	Sup	Prod	Rdt
12083	1919468	158, 1	11808	2142448	181, 4	-2	+12	+15

Source (ANNONYME, 2010)

La culture du poivron occupe une place prépondérante dans l'économie agricole Algérienne. Près de **12 000** ha sont consacrés annuellement à la culture de poivron, donnant une production moyenne de **2** million de quintaux et des rendements moyens d'environ **170Qx /Ha**. Ces derniers demeurent faibles et assez éloignés de ceux enregistrés dans d'autres pays du bassin méditerranéen (Tunisie, Maroc, Espagne, France, Italie), ou les productions varient entre **2** millions de tonnes à **10** millions de tonnes. (ANONYME, 2010)

Les données du tableau **3** montrent une diminution sensible de la superficie et une augmentation de la production et du rendement. Cette augmentation de la production et du rendement est liée aux techniques utilisées (la plasticulture, la fertilisation.....) dans le calendrier cultural et l'entretien de la culture, qui se sont améliorées progressivement.

La demande élevée des consommateurs en matière du poivron grâce à sa valeur nutritionnelle et diététique, laisse la production nationale loin d'être suffisante, ce qui encourage les agricultures à relever le défi non seulement en amélioration des techniques culturales, mais aussi à investir plus de superficies pour la filière du piment doux. (ANNONYME, 2010)

VI. Exigences du poivron et piment

VI.1 Exigences climatiques

VI.1.1 Température

Les exigences du poivron en chaleur sont plus grandes que celles de la tomate (SKIREDJ et al., 2003)

La plante est très frileuse. De tous les légumes d'été (tomate, melon, courgette, aubergine...), c'est celui qui exige le plus de chaleur pour se développer (GRY, 1991)

La température idéale pour sa culture est comprise entre **20** et **25 °C** (SKIREDJ et al., 2003)

Il redoute les nuits froides et les sols froids. Bien que son optimum de température et de luminosité soit inférieur à celui de l'aubergine. (REY, 2005)

Son zéro végétatif se situe à **8°C**, mais la croissance de la plante se ralentit à des températures inférieures à **13°C**. Le poivron est très sensible aux températures basses. Les températures supérieures à **35 °C** réduisent la fructification et la photosynthèse (SKIREDJ et al., 2003)

La culture en pleine terre est donc possible que dans les régions tropicales ou tempérées-chaudes. Le climat méditerranéen lui convient bien. (GRY, 1991)

Des températures élevées (**28 – 30° C**) durant les premières floraisons provoquent une abondante coulure des fleurs et les températures nocturnes basses favorisent la nouaison. Lorsqu'elles sont au-dessus de **20° C** la chute des fruits commence et s'accroît avec leur élévation. (BRINON et al., 2001)

Le semis s'effectue début mars, le repiquage fin mars – début avril. La récolte, pour les semences, s'échelonne sur août et septembre. (REY, 2005)

VI.1.2. Luminosité

Les exigences de la culture en lumière sont très grandes. Dans les vergers ou sous les bananiers sous serre, le poivron ne donne pas des rendements satisfaisants. En ce qui concerne la photopériode, le poivron est une plante de jours longs. (SKIREDJ et al., 2003)

VI.2. Exigences pédologiques

Le poivron préfère les sols à pH **6,5 – 7,0** (BRINON *et al.*, 2001) aérées bien drainées (ANNONYME, 2010) il tolère des pH plus bas (**5,5**) ou plus élevé (**8,5**).

Les préparations de sol devront être profondes, la structure du sol grumeleuse, et le sol enrichi par une bonne fumure organique. (BRINON *et al.*, 2001)

Les sols silico-argileux sont conseillés aux cultures de primeur et les terres argilo siliceuses pour les cultures de saison. (ANNONYME, 2010)

Le poivron est fort exigeant en humidité de sol. Celui-ci doit avoir **80-85 %** d'humidité afin d'obtenir de bons rendements. Lorsque l'humidité relative de l'air est basse (inférieure à **60 %**) et la température est élevée, les fruits ne grandissent pas. Le poivron fatigue rapidement le sol. Il est très exigeant en rotation des cultures. La dissémination rapide de beaucoup de maladies interdit la monoculture. Les meilleurs rendements sont obtenus dans les terrains vierges ou nouvellement acquis, n'ayant pas été occupés par une autre solanacée pendant les **4** ou **5** dernières années. Le poivron est un bon précédent cultural pour les légumes racines. (SKIREDJ *et al.*, 2003)

VI.3. Exigences nutritionnelles

VI.3.1. L'eau

Les besoins de la culture se situent aux environs de **400** mm pendant la période végétative et de **200** à **400** mm pendant la période de cueillettes, soit **600** à **800** mm/cycle. Toute erreur en irrigation a des conséquences graves sur la production puisque la faculté restauratrice des racines du poivron est faible. (SKIREDJ *et al.*, 2003)

VI.3.2. Eléments fertilisants

Le poivron exige une grande quantité de fumure minérale et organique. Il ne supporte pas le fumier récent. Il donne plutôt de bons résultats lorsque le fumier est bien décomposé. Les besoins du poivron dépendent de son stade végétatif. On distingue trois stades différents ;

Le 1^{er} stade dure environ **10** semaines suivant la plantation. Il est caractérisé par une croissance assez lente et des besoins faibles en éléments minéraux.

Le 2^{ème} stade dure également **10** semaines et il est caractérisé par une croissance rapide et un début de production. Au cours de cette période les besoins en éléments minéraux sont importants.

Le 3^{ème} stade d'une durée de **10 à 15** semaines, présente une intense activité de croissance et de production (**70%** de la récolte totale). Durant cette période la consommation en éléments minéraux est la plus forte. (SKIREDJ *et al.*, 2003)

Le poivron est exigeant en magnésium à la floraison. L'apport de cet élément devra être contrôlé en sols dépourvus. (BRINONet *al.*, 2001)

En général la culture est ferti-irriguée. Les solutions nutritives adaptées présentent les équilibres respectifs suivants selon les stades cités : 1-1-1 ; 1-0.5-1.2 et 1-0.2-2.5

Une trentaine de kg d'azote sont donnés par décade/ha. Les autres éléments sont calculés en fonction de N. (SKIREDJ *et al.*, 2003)

VII. Conduite de culture

VII.1. Travail du sol

Défricher le terrain **15 à 30** jours avant le repiquage. (LASSINAet *al.*, 2009)

Labour : **25 à 30 cm**. Passage herse et fraise rotative. (ANNONYME, 2010), pulvériser et ameublir ; en zone de savane, faire des billons. (LASSINA *et al.*, 2009)

VII.2. Désherbage

Pratiquer un sarclage régulier, surtout en début de culture, pour maintenir la parcelle propre.

Un herbicide total appliqué sur le terrain avant le repiquage permet de réduire la pression des mauvaises herbes. (LASSINAet *al.*, 2009)

VII.3. Plantation

La plantation est une opération délicate ; elle doit être réalisée si possible par temps frais, ou le soir. (BRINONet *al.*, 2001)

Le collet des plants ne doit jamais être enterré (risque de pourritures). (ANNONYME, 2004)

La plantation doit être précédée d'une irrigation si nécessaire ; celles-ci seront particulièrement surveillées pendant la phase de reprise (petites irrigations facilitant le développement du système racinaire). (BRINONet *al.*, 2001)

VII.4. Fertilisation

La fumure de fond recommandée dans la plupart des sols à richesse moyenne est la suivante :
fumier décomposé **40-50T/ha** ;

N **100 kg/ha** sous forme de sulfate d'ammoniac ou durée ;

P **150 kg/ha** sous forme de supertriple**45%**

K **120 à 150 kg/ha** sous forme de sulfate de potasse ou de **Kcl** sauf en cas de forte salinité de sol (SKIREDJ *et al.*, 2003)

Sous abris, il est très important d'apporter une fumure organique de **30 à 40t/h**. (BENHARZALLAH, 1989).

30 jours après le repiquage, incorporer par sarclo-binage **100 kg** par hectare d'urée et **100 kg** par hectare de sulfate de potasse.

Faire la même opération **60** et **90** jours après repiquage. (LASSINA *et al.*, 2009)

VII.5. Irrigation

Si la culture a lieu en saison sèche, arroser tous les jours, le matin ou le soir, à raison de 2 arrosoirs de **20** litres d'eau par m². (LASSINA *et al.*, 2009) Goutte à goutte, **4000 à 5000 m³ / ha** doses et fréquences selon le stade végétatif et la demande climatique (ANNONYME, 2010)

Il est possible d'irriguer par aspersion à partir d'une mo-topompe ou par gravité. (LASSINA *et al.*, 2009)

VII.6. Récolte

La Sélection s'opère pour la plante et les fruits dans un ensemble de caractéristiques. Les plants hors types ou atteints de maladies doivent être éliminés dès qu'ils sont repérés.

Les fruits sains sont récoltés les plus murs possibles.

La récolte au bon moment est importante :

⇒**trop tôt**, les graines sont encore molles à l'intérieur: elles ne sont pas mures et germeront mal.

⇒**trop tard**, des moisissures se sont formées à l'intérieur. Les fruits ne doivent pas être fendus, ni taches, ni moisis.

Les fruits peuvent finir de murir en cagettes, dans un endroit tiède et sec pendant plusieurs jours ou semaines, en attendant leur extraction.(**REY, 2005**)

Selon la variété, récolter **105 à 130** jours après le repiquage.

Pour les piments consommés à l'état frais, récolter avant le virement de couleur (au rouge ou jaune).

Pour les piments forts, récolter chaque semaine, au stade de fruits matures (généralement rouges ou jaunes). Il est recommandé de couper les fruits de couleur uniforme avec leur pédoncule.(**LASSINA et al ., 2009**)

VII.7. Activités post-récolte

VII.7.1. Conservation

Le poivron se conserve mieux lorsqu'il est mis sous film rétractable, ou sous film perforé. Il peut alors être conservé **2 à 3** semaines en chambre froide à **8° C** sous humidité relative de **90– 95 %**, lorsqu'il est produit en saison fraîche ; produit en saison chaude, il appréciera mieux les températures un peu plus élevées (**10° C**). Au-dessous de **8° C**, il y a risque de frisures.(**BRINONet al ., 2001**)

VII.7.2 Transformation

Le piment peut être séché et transformé en poudre. (**LASSINA et al.,2009**)

VIII Protection de la culture

VII.1 Carences

Le poivron est sensible particulièrement à la carence en calcium qui peut être induite dans les sols magnésiens et surtout en été par suite d'irrigations insuffisantes au moment où les températures au sol sont les plus élevées. Des pulvérisations de chlorure de calcium sont recommandées lorsqu'il y a élévation des températures au moment de la croissance des

premiers fruits, mais elles sont souvent insuffisantes. Il faut donc être particulièrement attentif à l'irrigation ; celle-ci peut être inefficace en cas de forte chaleur et de compacité trop forte du sol. (BRINONet *al.*, 2001)

Le poivron est sensible aux carences en oligo-éléments. Des pulvérisations d'engrais foliaires incluant les oligo-éléments sont recommandées, et doivent être systématiques, par exemple en zinc et en bore. (BRINONet *al.*, 2001)

VII.2 Maladies et méthodes de lutte

Selon LASSINA *et al.* (2009), les principales maladies et méthodes de luttés sont regroupées dans le tableau n°3

Tableau n°4 : Principales maladies et méthode de lutte

Type de maladie	Maladie	Agent pathogène	Vecteur ou cause	Symptômes	Lutte
Viroses	Mosaïque	<i>Cucumber Mo-saic Virus (CMV)</i>	Pucerons	Décoloration, tâches et malformation des feuilles et des fruits Nanisme des plantes	Maintenir une bordure (1 m de large) propre ou planter 2 rangées de maïs autour des champs. Traiter les vecteurs avec du diméthoate par exemple Callidim 400EC
Viroses	Panachure du piment	<i>Pepper Mottle Virus (PMV)</i>	Pucerons	Décoloration uniforme des feuilles	Utiliser les variétés tolérantes (cf tableau 1) Traiter les vecteurs avec du diméthoate par exemple Callidim 400EC
Viroses	Nécrose virale du piment	<i>Tomato Spotted Wilt Virus</i>	Thrips (<i>Thrips tabaci</i>)	Marbrure, décoloration et malformation des feuilles et fruits suivie de nécrose	Utiliser les variétés tolérantes (cf tableau 1) Traiter les vecteurs avec du diméthoate par exemple

Chapitre I : Généralités sur le poivron et piment

					Callidim 400EC
Maladies fongiques	Alternariose	<i>Alternariasolani</i>	Semences non traitées aux fongicides	Taches marrons sur les fruits matures, puis nécro-se des taches	Détruire les débris au champ. En cas d'attaque, traiter la parcelle au mancozèbe, par exemple Ivory 80WP à raison de 35 g pour 100 m ² .
Maladies fongiques	Fusariose	<i>Fusariumoxysporum</i>	Semences non traitées aux fongicides	Jaunissement du feuillage, puis flétrissement de la plante	Détruire les débris au champ. Utiliser la variété tolérante PM17/04A Faire une rotation culturale
Bactériose	Flétrissement bactérien	<i>Ralstoniaspp</i>	Semences non traitées Eau d'irrigation ou de ruissellement	Flétrissement brutal de la plante, puis dessèche-ment	Utiliser la variété tolérante PM17/04A Choisir un sol drainant bien Faire une rotation culturale
Nématodes	Nématode	<i>Meloidogynespp.</i>	Culture continue	Galle racinaire, mauvais développement de la plante (nanisme)	Faire une rotation culturale
Type de ravageur	Ravageur		Symptômes		Lutte
Insectes	Chenilles de mouche du fruit <i>Ceratitiscapitata</i>		Attaque des feuilles, bour-geons et fruits du piment Dégât occasionnel		Traiter à la deltaméthrine, par exemple Décis 15,5EC ou à la cyperméthrine, par exemple Cypercal 250EC

Source : (LASSINA et al.,2009)

I. Fertilité du sol

I.1. Définition du sol

Le sol est une structure vivante et dynamique, résultat de la transformation d'une roche mère sous l'effet conjugué de l'eau, de l'air, des températures et de la vie (végétale, animale et humaine)(VEDIE,2003)

Le sol est essentiel pour le bon fonctionnement agronomique des écosystèmes. Il est un des piliers de l'agriculture durable.(DELAUNOIS *et al.*,2008)

Un bon sol c'est un sol qui a une bonne activité biologique, avec un comportement favorable à notre environnement (diminution de l'érosion, du ruissellement et des inondations ; qualité des eaux ; dégradation des phytosanitaires ; épuration des déchets et rétentions des nitrates et engrais, ...).(DELAUNOIS *et al.*,2008)

I.2. Définition de la fertilité du sol

Connaitre la fertilité d'un sol ou l'aptitude culturale d'une parcelle, c'est pouvoir diagnostiquer ses propriétés, quelles soit physique, chimique ou biologique, afin d'orienter les choix et les pratiques culturales. Il faut donc pouvoir utiliser les outils d'analyse disponibles, tout en connaissant leurs limites, et interpréter les résultats en les resituant par rapport aux potentialités du milieu et du système de culture. (VEDIE,2003)

I.3.Fertilité du sol et engrais

L'utilisation de fumier et de compost contribue à maintenir le niveau de matière organique dans le sol. L'utilisation d'un engrais chimique peut s'avérer nécessaire pour fournir rapidement aux plantes les substances nutritives dont elles ont besoin. Contrairement aux engrais organiques, les engrais chimiques agissent immédiatement sur les plantes; les engrais organiques doivent d'abord se décomposer en substances nutritives avant de pouvoir être utilisés par les plantes. Cela signifie que la matière organique n'a qu'un effet à long terme, tandis que les engrais chimiques agissent immédiatement (en quelques jours ou quelques semaines) sur la fertilité du sol. Toutefois, les engrais chimiques sont épuisés à la fin de la saison ou après quelques saisons, tandis que la matière organique continue à améliorer la fertilité et la structure du sol.(VAN SCHÖLL, 1998)

De plus, la présence de matière organique garantit une utilisation plus efficace de l'engrais chimique par les cultures, en l'empêchant d'être lessivé. C'est en fait un gaspillage d'argent d'appliquer un engrais chimique sur un sol pauvre en matière organique, si on ne l'associe pas à des mesures d'augmentation du niveau de matière organique dans le sol. (VAN SCHÖLL, 1998)

I.4. Importance de la fertilité du sol

En maraîchage, il est important de surveiller la teneur en matière organique du sol.

Beaucoup de cultures maraîchères réagissent très favorablement à un sol riche en matière organique. Il est par conséquent conseillé de renouveler le stock de matière organique fraîche du sol afin de le maintenir à un taux élevé. Un taux élevé améliore les caractéristiques physiques et hydriques, ce qui est essentiel pour ce type de culture. Il permet également de maintenir une forte capacité d'échange cationique, garante de la fertilité chimique. (CHABALIER *et al.* , 2006)

I.5. Relation sol-plante

Pour se nourrir, la plante a besoin d'un bon système de racines et de nutriments solubles, lesquels ne seront libérés que par une activité biologique adéquate.

Le développement racinaire et l'activité biologique du sol nécessitent une bonne aération du sol en profondeur. Une bonne aération ne se fait pas sans une bonne circulation de l'eau dans le sol. Le développement d'un bon système racinaire des plantes, d'une activité biologique importante dans le sol, d'une bonne circulation de l'eau et d'une bonne aération est impossible sans une structuration adéquate du sol en profondeur. Ces constatations posent les bases de la fertilité des sols et sont autant, sinon plus importantes, que les quantités et les formes de fertilisants et amendements à apporter pour obtenir de bonnes et belles récoltes. (PETIT et JOBIN, 2005)

Selon les mêmes auteurs, la figure n°2 résume la relation entre le sol et la plante :

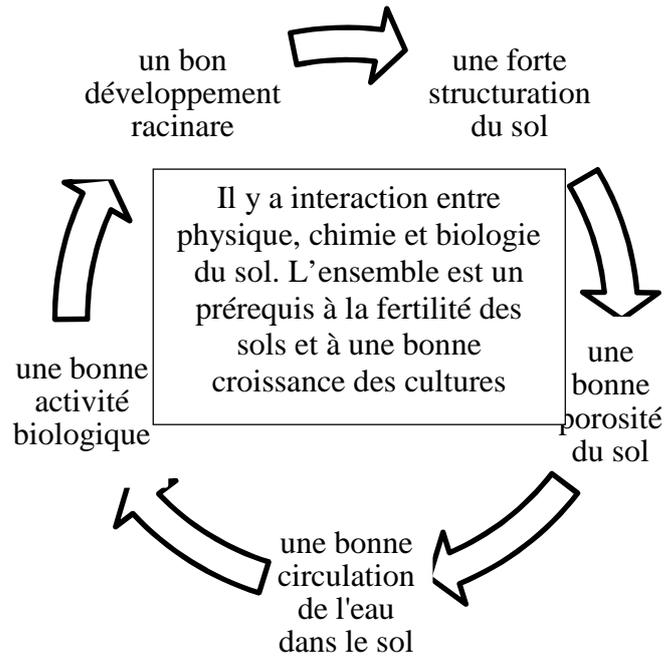


Figure n°2 :Relation entre le sol et la plante

I.6.Structure du sol

La structure du sol dépend de

- ✚ **La nature des particules** : plus ou moins grosses, qui créent plus ou moins de porosité
- ✚ **La composition chimique du sol** : Pour que les particules à charges négatives du sol puissent se lier entre elles, il faut que la solution du sol contienne en abondance des ions chargés positivement. Cette présence abondante de cation permet la floculation ou précipitation des argiles et des matières organiques colloïdales du sol, c'est à dire qu'en neutralisant en partie les charges négatives des colloïdes, ceux-ci sont précipités et peuvent s'agglomérer en amas plus gros, en flocons assez importants pour qu'on puisse les voir à l'œil nu. (PETIT et JOBIN, 2005)
- ✚ **L'activité biologique du sol** :

Les lombriciens : ils sont responsables du brassage de la matière organique et minérale, ils creusent des galeries qui ont un impact positif sur la porosité, l'agrégation et la densité du sol, leurs rejets, boulettes fécales et turicules, stabilisent la structure du sol.

Les micro-organismes : ce sont surtout des organismes saprophytes se développant principalement au profit des débris végétaux. Ils sont responsables de la minéralisation de la matière organique.

Les mycorhizes : ce sont des champignons qui peuvent s'associer bénéfiquement aux plantes, ils peuvent mettre à disposition des plantes les nutriments qu'ils absorbent.

Les racines : certaines plantes comme la luzerne ont des racines explorant en profondeur le sol qui permettent de mieux le structurer. (GAZTAMBIDE, 2003)

Donc les organismes vivants du sol sont avant tout des décomposeurs de la matière organique. Ils ont besoin de conditions propices et de nutriments pour se développer. Les conditions propices sont la présence d'eau et d'air en quantité suffisante dans le sol, une température assez élevée et un niveau d'acidité adéquat. Les nutriments les plus importants utilisés par les microorganismes du sol sont le carbone (C) et l'azote (N) que l'on retrouve dans la matière organique. En utilisant le C et le N, ils décomposent la matière organique et libèrent les autres nutriments qu'elle contient. Ceux-ci deviennent ainsi disponibles pour les plantes. C'est par ce processus que la fertilisation organique nourrit les plantes. (PETIT et JOBIN, 2005)

Les vers de terre peuvent représenter de **500 kg à 5 T/ha** leur rôle est l'aération du sol, l'incorporation des matières organiques, l'assimilation améliorée des éléments et limitation du lessivage et non pas la structure du sol. (RIMAN, 2010)

II. Fertilisation racinaire

Les plantes prélèvent les éléments minéraux du sol pour produire les composés organiques. Il est établi que plusieurs éléments sont nécessaires pour le fonctionnement normal de la machine biochimique de la plante. (CHAFAI ELALAOUI, 2007)

Pour une croissance optimale de la plante, des éléments nutritifs doivent être disponibles:

- ✚ En solution dans l'eau du sol;
- ✚ En quantités adéquates et équilibrées, correspondant à la demande immédiate de la culture;
- ✚ Sous une forme qui soit accessible au système racinaire. (ANNONYME, 1999)

II.1. Gestion de fertilisation

Pour les sols correctement pourvus en matières organiques, et minéralisant peu, il suffit d'effectuer des corrections en éléments fertilisants pour simplement prévenir les besoins des cultures et garder l'équilibre du sol. Pour cela l'utilisation des engrais organiques peut être suffisante. Des apports ponctuels tous les **2** ou **3 ans** de compost sont toutefois souvent nécessaires pour maintenir et entretenir le taux de matières organiques stable du sol.

Sur les sols faiblement pourvus en matières organiques avec des problèmes de structure et de rendement, ou des sols qui ont tendance à digérer rapidement la matière organique, il est nécessaire d'apporter régulièrement un amendement organique adapté pour redresser le taux de matière organique (dose de redressement) et ensuite régulièrement pour entretenir ce taux (dose d'entretien). (BOUVIER et DIDIER, 2012)

Des apports organiques mal gérés (trop abondants ou déséquilibrés) peuvent conduire à une sur-fertilisation. Les déséquilibres nutritifs causent des désordres physiologiques chez la plante, dont les symptômes peuvent être des nécroses marginales sur les feuilles (laitues), des mauvaises fructifications, et des baisses de qualité. (CHABALIER, 2006)

II.2. Fertilisation biologique

II.2.1. Engrais naturels

II.2.1.1. Engrais verts

Un engrais vert est composé d'une ou plusieurs espèces végétales, de croissance généralement rapide, cultivées, non dans le but d'être récoltées, mais pour être incorporées au sol afin d'augmenter sa fertilité. Ceci est permis grâce à une amélioration de sa structure et/ou l'augmentation de sa teneur en éléments nutritionnels. En fonction de sa durée d'implantation et de sa place dans le plan de rotation, l'engrais vert peut être de plusieurs types :

- ✚ **en dérobé** lorsque il est une interculture entre deux cultures principales ;
- ✚ **associé** lorsqu'il est cultivé avec une culture destinée à être récoltée ;
- ✚ **en jachère** lorsque sa durée d'implantation s'étale sur plusieurs campagnes. (DELTOR et al., 2002)

II.2.1.1.1. Rôle des engrais verts

- ✚ Parmi les nombreux bienfaits de la culture des engrais verts, l'amélioration de l'état du sol (WEILL et DUVAL, 2009) ; la couverture du sol par une masse végétale lui offre une protection physique contre le ruissellement et le dessèchement par le soleil ou le vent. L'action mécanique des racines augmente la perméabilité, la porosité et la cohésion du sol. (DELTOR et al., 2002) De plus lorsque le sol doit être décompacté après la récolte, les engrais verts permettent de stabiliser la structure du sol. Les racines des engrais verts permettent ainsi de continuer le travail d'ameublissement réalisé par le travail du sol. D'autre part les conditions sont habituellement meilleures

pour travailler le sol en profondeur en **août** ou au début de **septembre**, avant l'implantation des engrais verts, plutôt qu'en **octobre** ou en **novembre**, au moment de leur destruction. **(WEILL et DUVAL, 2009)**

- ✚ Les engrais verts permettent de maintenir une bonne qualité de sol en favorisant l'activité biologique et la structure du sol. **(WEILL et DUVAL, 2009)** ; la matière organique, abondante et très fermentescible (car peu lignifiée), apportée par l'enfouissement de jeunes tissus végétaux favorise la vie microbienne du sol. Cette matière est essentiellement composée de sucres, d'acides organiques et de substances solubles, facilement utilisables par les micro-organismes du sol. En terme d'humus, l'engrais vert permet le remplacement d'un humus ancien stable et peu actif par un humus jeune plus actif. **(DELTOR et al.,2002)**
- ✚ Les engrais verts permettent de limiter les pertes par lessivage : en saison pluvieuse, l'engrais vert va temporairement immobiliser l'azote disponible réduisant d'autant les pertes par lessivage. On parle de **réorganisation** (retransformation en matières organiques) des éléments solubles. **(DELTOR et al.,2002)**
- ✚ Il n'est pas possible de fournir à la plante tout l'azote nécessaire avec l'utilisation de compost ou de fumier sans apporter beaucoup trop de phosphore, ce qui est un problème sur le plan environnemental. **(WEILL et DUVAL, 2009)**: les légumineuses fixent l'azote atmosphérique et enrichissent le sol. L'enracinement profond de certains engrais verts permet de prélever des éléments fertilisants en profondeur et de les restituer en surface après destruction. Leur décomposition libère progressivement, sous forme assimilable, les éléments qu'ils ont accumulés, les mettant ainsi à la disposition de la culture suivante. **(DELTOR et al.,2002)**
- ✚ La culture d'un engrais vert permet de réduire le stock de semences car elle stimule la germination des plantes adventices qui sont ensuite étouffées par l'engrais vert. **(MAZOLLIER, 2012)** Certaines plantes, comme le sarrasin, la navette, semblent avoir un pouvoir désherbant et laissent des terres propres. **(DELTOR et al.,2002)** Il convient de soigner son implantation (période favorable, espèce adaptée, irrigation éventuelle ...), afin de ne pas transformer l'engrais vert en une culture de mauvaises herbes ! Enfin, le broyage de l'engrais vert est impératif avant la montée à graines.**(MAZOLLIER, 2012)**

Etant une source de protéines pour les animaux et fournissant à la rotation de l'azote, les légumineuses occupent une place essentielle en agriculture biologique. **(GAZTAMBIDE,**

2003) et le tableau n°5 nous donne les quantités d'azote fixées par les différents légumineuses :

Tableau n°5 : Quantités indicatives d'azote fixé par divers légumineuses

Espèces	N fixe Kg/ha
Soja	150-250
Luzerne	200-300
Fève	130-180
Pois fourrager	100-150
Lentilles	150-170
Trèfle blanc	150-200
Trèfle violet	100-150
Vesce	50-100
Haricot commun	50-100

Source (GAZTAMBIDE, 2003)

Il y a quatre possibilités d'implantation d'engrais verts :

-  Avant la culture principale (engrais verts dérobés).
-  Après la culture principale (engrais verts dérobés).
-  Durant toute la saison de culture (engrais verts d'une ou plusieurs saisons).
-  En culture intercalaire (entre les rangs des cultures). (WEILL et DUVAL, 2009)

II.2.2. Engrais organiques

Le terme **organique** correspond à la définition telle que décrite dans la loi des engrais: L'article 2 du Règlement sur les engrais définit la matière organique comme étant : la substance qui reste après l'enlèvement d'une substance partiellement humifiée d'origine animale ou végétale, de l'humidité et des fractions totales de cendres. Pour cette raison, seuls les produits dérivés exclusivement de matière organique peuvent être identifiées ou décrits comme étant **organiques**. (TREPANIER, 2009)

L'utilisation de produits organiques pour fertiliser les cultures et/ou amender les sols est particulièrement intéressante d'un point de vue économique (hausse du prix des engrais

minéraux) mais également d'un point de vue agronomique, car l'apport d'amendement organique contribue à améliorer le statut organique des sols, avec tous les effets bénéfiques qu'il entraîne (lutte contre l'érosion, maintien d'une bonne structure, stockage de carbone, augmentation de la biodiversité. (LECLERCOR GATERRE, 2009)

II.2.2.1. Fumiers

Les fumiers sont le mélange des déjections animales et de litière. Tous les fumiers sont utilisables avec profit. Ils sont riches en tous les nutriments

Sur les fermes d'élevage, l'utilisation des fumiers aux champs permet de recycler les nutriments. Ce recyclage est de toute première importance pour maintenir et améliorer la fertilité. Ils représentent la base de la stratégie de fertilisation en agrobiologie (PETIT et JOBIN, 2005)

La composition chimique des fumiers est variable selon TILLIE et CAPDEVILLE (1992) (tableau 6) suivant la catégorie d'animaux élevés, des rations de base distribuées, des modes de paillage pratiqués etc.

Tableau n°6: Composition des fumiers de bovins selon le type d'élevage (kg par tonne de produit brut)

Type de fumier	M.S	M.O	N total	P2O	K2O	
Fumier très compact de litière accumulée	221	180	5.8	2.3	9.6	
Fumier issu de litière sur sol en pente	182	148	4.9	2.3	9.3	
Fumier issu d'étable à stabulation entravée	185	152	5.3	1.7	7.1	
Fumier compact issu de logette	190	160	5.1	2.3	6.2	

II.2.2.2. Lisiers et fientes et purins

On appelle lisier le mélange des déjections solides et liquides des bêtes qui ne contient pas de litière. Les fientes sont les déjections des volailles, sans litière. Les purins ne comprennent que la partie liquide des déjections. Bien que leur composition soit différente, à cause de l'absence de litière, ces trois engrais jouent surtout un rôle de fertilisant et ne contribuent pas à la formation de la réserve organique du sol. Parce qu'une bonne partie de leurs minéraux sont sous des formes solubles ou facilement solubilisables, les trois jouent un rôle majeur dans la fertilisation des plantes. (PETIT et JOBIN, 2005)

Le lisier contient beaucoup d'azote ammoniacal rapidement disponible et de matière organique rapidement minéralisable qui contribuent peu à l'humification des sols. La rapidité d'action est la souplesse d'utilisation du lisier pendant la période de croissance et son grand avantage agronomique.

Le lisier doit si possible être épandu par temps humide sur des sols absorbant pour diminuer le plus possible les pertes d'éléments nutritifs ainsi que la pollution de l'air et de l'eau.

L'épandage de grande quantité de lisier provoque la formation d'ammoniac qui peut brûler les vers de terre se trouvant près de la surface du sol. Si elle est bien développée, la vie dans le sol peut néanmoins absorber des doses modérées d'environ **25 m³** par hectare de lisier dilué pour les incorporer dans la chaîne alimentaire et donc les réintroduire dans le cycle de la matière organique. **(BEMER et al., 2013)**

II.2.2.3. Compost

Le compostage est un processus naturel de dégradation ou de décomposition de la matière organique par les micro-organismes dans des conditions bien définies. Les matières premières organiques, telles que les résidus de culture, les déchets animaux, les restes alimentaires, certains déchets urbains et les déchets industriels appropriés, peuvent être appliqués aux sols en tant que fertilisant, une fois le processus de compostage terminé. **(MISRA et al., 2005)**

Le compostage se fait en présence d'oxygène produisant du gaz carbonique, de la chaleur et un résidu organique stabilisé riche en composé humique : le compost. **(GERBIER, 2011)**

Les déchets fermentescibles sont ceux qui peuvent faire l'objet d'une fermentation : transformation de certaines substances organiques sous l'action d'enzymes sécrétées par des micro-organismes. **(NOEL et al., 2002)**

Les déchets putrescibles sont ceux qui peuvent entrer en putréfaction, c'est-à-dire subir une décomposition bactérienne. La putréfaction n'est donc qu'une étape de la fermentation aérobie. Les déchets organiques fermentescibles englobent aussi bien des produits simples et facilement fermentescibles tel que les sucres, l'amidon, les graisses, les protéines, etc., et d'autres dont la décomposition biologique est beaucoup plus lente (hémicellulose, cellulose, lignine, etc.). Ces matières peuvent être d'origine animale ou végétale. La propriété commune de ces déchets est leur biodégradabilité. **(NOEL et al., 2002)**

II.2.3. Avantages des engrais biologiques

Libération plus lente (peut aussi être un désavantage)

- ✚ Généralement moins de pertes par lessivage.
- ✚ Stimulation de la microflore du sol.
- ✚ Moins de risques de sur fertilisation.
- ✚ Virage écologique de la population.
- ✚ Production en harmonie avec l'environnement. (TREPANIER, 2009)

II.2.4. Inconvénients des engrais biologiques

a) Fourniture excessive d'azote : en conditions optimales de minéralisation, certains engrais organiques ont un comportement similaire à celui d'un engrais ammoniacal. Si l'on n'ajuste pas la quantité d'azote libérée sur ce comportement, on peut s'exposer à une libération d'azote excédant les besoins, notamment en maraichage. Cette libération excessive entraîne les déséquilibres physiologiques suivants :

- ✚ Développement végétatif important au détriment des organes de reproduction (fleurs puis fruits),
- ✚ Déséquilibres nutritionnels et fragilisation des parois végétales favorisant la sensibilité aux maladies et ravageurs,
- ✚ Accumulation de nitrates dans les feuilles, tiges, racines ; selon les espèces et la saison. (LECLERC ORGATERRE, 2012)

b) Fourniture excessive de Phosphore : la plupart des engrais organiques étant d'origine animale (guano, farines de plumes, de cornes, de soies, de viandes, de sang, etc.), ils sont composés principalement de protéines, riches en azote mais aussi en phosphore.

- ✚ Proportionnellement, les exportations en phosphore sont moins importantes que celles en azote pour la plupart des végétaux, alors que les quantités de phosphore apportées conjointement à l'azote des engrais organiques sont plus élevées.
- ✚ Outre des risques environnementaux (pollution des eaux de surface suite aux phénomènes d'érosion), des teneurs élevées en phosphore dans le sol vont perturber la vie microbienne en inhibant la mycorhization. (LECLERC ORGATERRE, 2012)

c) Les engrais organiques ne permettent pas d'entretenir le taux d'humus : la plupart des engrais organiques sont d'origine animale. Ils ne contiennent donc ni cellulose ni lignine, molécules carbonées précurseurs des composés humiques.

Ils ne joueront donc aucun rôle direct dans l'entretien du taux d'humus. Il est alors important de veiller à apporter de temps en temps des amendements organiques ou des résidus de culture suffisamment ligneux, ce qui est relativement facile en cultures céréalières avec l'enfouissement des pailles ou en arboriculture avec les bois de taille, mais plus difficile en cultures légumières dont les restitutions carbonées sont généralement très faibles. **(LECLERC ORGATERRE, 2012)**

d) Difficulté à corriger le pH.

e) Coût parfois élevé. (TREPANIER, 2009)

II.3. Fertilisation chimique

Correspondent plutôt au besoin d'accroître rapidement la richesse d'un sol en minéraux directement utilisables par les végétaux (sans passer par les processus de décomposition). On peut comparer cela à un traitement d'urgence permettant de répondre à des demandes quantitatives ou qualitatives spécifiques en tel ou tel élément, notamment en cas de carence. Mais comme ils sont plus onéreux, plus « risqués » pour l'équilibre de la plante et plus polluants, leur application doit être limitée. **(GAUTIER, 2008)**

II.3.1. Engrais minéraux

Les engrais minéraux sont fabriqués sous forme liquide ou solide, généralement de manière industrielle. Ils peuvent fournir des éléments nutritifs principaux, des éléments nutritifs secondaires, des oligoéléments ou un mélange d'éléments nutritifs. Les engrais simples ne procurent qu'un seul élément nutritif tandis que des engrais complexes en fournissent plusieurs. **(ANNONYME, 1999)**

De nos jours, on connaît plus de **100** éléments chimiques ; mais seulement **17** sont considérés essentiels en raison de leur importance pour la croissance et le développement des plantes.

Ces éléments sont classés en trois catégories :

-  **Eléments essentiels majeurs** : azote, phosphore et potassium.
-  **Eléments secondaires** : calcium, magnésium et soufre.
-  **Oligo-éléments** : fer, zinc, manganèse, cuivre, bore, molybdène, chlore et nickel

Chapitre II : Fertilisation biologique et chimique

Parmi ces **17** éléments chimiques essentiels, le carbone, l'hydrogène et l'oxygène sont prélevés à partir de l'air et de l'eau et les **14** autres éléments (tableau 7) sont normalement absorbés par les racines de la plante à partir du sol. (CHAFAI ELALAOUI,2007)

Il est important de bien connaître le rythme d'absorption pour les différents éléments minéraux ;

- ✚ La croissance est lente de la plantation à la première floraison. Elle s'accélère ensuite.
- ✚ Les besoins minéraux de la plante sont plus élevés en culture hors sol sous abri qu'en culture de plein champ
- ✚ Les besoins en azote augmentent de la floraison à la récolte des premiers fruits verts. L'alimentation en cet élément devra donc être importante avant floraison et durant le grossissement des fruits, puis elle diminue légèrement.
- ✚ Le pilotage des apports est assez délicat car il faut éviter les excès qui favorisent les coulures.
- ✚ La demande en phosphore passe par un maximum à l'apparition des premières fleurs, puis au cours de la maturation des graines.
- ✚ Le rythme d'absorption de la potasse s'accélère en cours de végétation jusqu'à la floraison, puis se stabilise ; la bonne lignification des tiges dépend de l'alimentation potassique.(BRINONet *al.*,2001)

Selon (CHAFAI ELALAOUI,2007), le tableau n°7 présente les formes d'absorption des différents éléments nutritifs :

Tableau n°7 :formes d'absorption des éléments nutritifs et leurs fonctions

Elément	Forme d'absorption	Fonctions principales
Azote	$\text{NO}_3^- \text{NH}_4^+$	Constituant des composés principaux des cellules, des protéines, de la chlorophylle et de des gènes
Phosphore	H_2PO_4^- HPO_4^{2-}	Constituant des gènes, rôle central dans le transfert d'énergie dans la plante et dans le métabolisme des protéinés

Chapitre II : Fertilisation biologique et chimique

Potassium	K⁺	Aide dans la régulation osmotique et ionique ; important pour plusieurs fonctions enzymatiques et dans le métabolisme des protéines et des carbohydrates
Calcium	Ca²⁺	Implique dans la division cellulaire et joue un rôle majeur dans le maintien de l'intégrité de la membrane
Magnésium	Mg²⁺	Constituant de la chlorophylle, et facteur dans plusieurs réactions enzymatiques
Soufre	SO₄²⁻	Constituant des protéines, des aminoacides et des vitamines nécessaires pour la production des plantes à essences
Fer	Fe²⁺	Constituant de plusieurs enzymes comme le cytochrome et la férredoxine impliquée dans la fixation d'azote et la photosynthèse
Zinc	Zn²⁺	Nécessaire pour le fonctionnement correct de plusieurs systèmes enzymatiques importants pour la synthèse des acides nucléiques et dans le métabolisme de l'auxine
Manganèse	Mn²⁺	Composant de plusieurs

Chapitre II : Fertilisation biologique et chimique

		enzymes telles que celles impliquées dans la photosynthèse
Cuivre	Cu²⁺	Composant de plusieurs enzymes nécessaires pour la photosynthèse
Bore	H₃BO₃	Rôle important dans la migration et l'utilisation des glucides. Intervient dans la croissance méristématique
Molybdène	MoO₄²⁻	Requis pour l'assimilation normale de l'azote. Nécessaire pour la fixation d'azote et pour la chlorophylle
Chlore	Cl⁻	Essentiel pour la photosynthèse et pour la régulation osmotique des plants qui se développent dans les sols salins
Nickel	Ni²⁺	Constituant de l'enzyme uréase chez les légumineuses. Nécessaire pour que les plantes puissent compléter leur cycle de développement

Source :(CHAFAI ELALAOUI,2007)

II.4.Amendements du sol

Les amendements sont des substances qui sont appliquées au sol pour corriger une pénurie importante autre qu'une basse teneur en nutriments.(ANNONYME, 1999)le calcaire broyé ou la dolomie augmentent le pH des sols acides (< à 6) et leur confèrent ainsi une certaine neutralité qui rend la majorité des éléments minéraux plus assimilables par les plantes

(GAUTIER, 2008); les phosphates, pour réduire la fixation phosphorique; le gypse, pour améliorer les sols sodiques (alcali); et la tourbe peut être ajoutée aux couches superficielles pour augmenter sa teneur en matière organique (ANNONYME, 1999). Ils exercent également une action positive sur les phénomènes à l'origine du tassement du sol. (GAUTIER, 2008)

III. Fertilisation foliaire

Les racines absorbent l'eau et les éléments minéraux solubles en grande quantité. Elles colonisent le sol en profondeur pour avoir accès aux réserves du sol. La feuille ne peut pas remplacer la racine dans son rôle nutritif, mais elle constitue une voie complémentaire d'absorption, utile dans certains cas. (ANNONYME, 2013)

La fertilisation foliaire est un outil qui peut s'avérer très intéressant si l'on comprend bien son fonctionnement. Un de ses principaux avantages, c'est que les éléments nutritifs sont absorbés plus rapidement que dans le cas d'une application au sol. De plus, dans certaines situations, les éléments présents dans le sol ne sont pas disponibles pour la plante au moment où elle en a besoin. Les résultats des analyses de sol ne correspondent pas toujours à ceux obtenus à la suite d'analyses foliaires. (BOURBONNAIS, 20015)

La disponibilité des éléments pour la plante dépend de plusieurs facteurs, tels que la compaction, la profondeur, l'humidité et la température du sol. Ces facteurs limitants sont dépourvus de sens lorsque nous parlons d'application foliaire. Durant certains stades de croissance, la plante exige plus de nourriture que ce qu'elle est capable d'absorber; c'est pourquoi la fertilisation foliaire devient incontournable pour l'obtention de rendements supérieurs et de qualité. (BOURBONNAIS, 20015)

On peut cependant essayer de classer les apports minéraux foliaires en trois groupes d'action :

- a) **Action de correction** : cela concerne surtout les oligo-éléments. Dans ce cas, la quantité de minéral apporté est pondéralement significative par rapport aux faibles besoins de la plante et l'on comprend que, même passivement, il puisse y avoir une efficacité. A noter que le fer est un des éléments dont la réponse est la plus faible quand il est apporté par voie foliaire. (KLEIBER, 2010)
- b) **Action mécanique** : il ne s'agit pas ici d'une action de nutrition au sens strict. L'élément minéral apporté ne pénètre pas dans les voies nutritionnelles, mais, en saturant les tissus externes des organes, va avoir une action de protection, de

régulation de la respiration ou de réorientation temporaire des flux nutritionnels. C'est dans ce groupe que l'on peut classer le calcium..(KLEIBER, 2010)

- c) **Action de soutien** (de stimulation, de résistance aux stress, ...) : elle concerne essentiellement l'azote, avec possibilité d'intégration dans le végétal de certaines formes (surtout l'urée, en prenant garde à la toxicité des biurets). En période de reprise végétative ou de difficultés climatiques, cela aide à soutenir le végétal en maintenant son fonctionnement, voire en stimulant l'activité racinaire.(KLEIBER, 2010)

La feuille est le lieu de la photosynthèse. La cuticule bien qu'hydrophobe présente une certaine perméabilité lors des traitements. Les stomates jouent aussi un rôle dans l'absorption. Ce sont des pores localisés sur la face interne des feuilles, qui régulent les échanges gazeux.(ANNONYME, 2013)

III.1.Règles de lapulvérisation foliaire

- ✚ Les éléments nutritifs doivent soit traverser la couche cireuse de la plante (cuticule), soit profiter de l'ouverture des minuscules bouches présentes à la surface des feuilles (stomates).Plusieurs facteurs peuvent influencer l'ouverture et la fermeture de ces petites bouches, comme la température, l'humidité et la présence de pathogènes.(BOURBONNAIS, 2015) La pénétration d'éléments nutritifs semble optimale avec des stomates ouverts et une humidité de l'air maximale à la surface de la feuille.(ANNONYME, 2013)C'est pourquoi les pulvérisations foliaires appliquées sous le soleil de midi, à une température de **30 °C**, risquent fort de ne pas être efficaces. Sous ces conditions, les stomates se ferment pour éviter la transpiration de la plante et ainsi mieux la protéger contre la chaleur. Il est donc important d'effectuer ce type de fertilisation durant une période où la plante sera réceptive.On doit faire les applications tôt le matin ou après **17 h**. L'efficacité du traitement sera accrue si on applique un minimum de **200 l** de bouillie à l'hectare(BOURBONNAIS, 20015)
- ✚ Seules les feuilles adultes, mais non sénescentes, permettent la translocation (transfert vers les autres parties du végétal). Les feuilles jeunes sont consommatrices et ne permettent pas ce phénomène ; par contre, les engrais y pénètrent plus facilement.(KLEIBER, 2010)
- ✚ Il est nécessaire de bien mouiller le feuillage pour répartir les éléments.

- ✚ Pour optimiser l'efficacité, on ne mélange pas des éléments minéraux antagonistes (potassium et calcium ou magnésium et manganèse, par exemple). Les éléments apportés seuls sont toujours plus efficaces (à l'exception de l'azote qui favorise la pénétration et le transfert des autres éléments).(ANNONYME, 2013)
- ✚ Les apports foliaires ne se raisonnent pas en concentration. Au contraire, l'efficacité diminue rapidement quand la concentration de l'apport augmente (les risques de phytotoxicité augmentant également).(ANNONYME, 2013)

III.2. Avantages de la fertilisation foliaire

L'apport foliaire permet d'apporter un élément à la plante lorsqu'un diagnostic a été posé : analyse de terre, exigence de la culture. Un apport précoce évite l'apparition de la carence associée à des dommages sur la croissance et le métabolisme.

Eviter l'insolubilisation dans certains sols ; Certains éléments minéraux réagissent rapidement avec le sol qui a tendance à les insolubiliser. C'est le cas par exemple : du phosphore partiellement insolubilisé dans un sol acide (<6.5) ou basique (>7.5) du fer et du manganèse oxydés et insolubilisés dans un sol très aéré et très calcaire.

Il existe aussi des antagonismes d'absorption: une teneur trop élevée en phosphore gêne l'absorption du zinc, l'excès de potassium peut limiter l'assimilation du magnésium.

Ces carences induites peuvent justifier un apport partiel par voie foliaire en une ou plusieurs pulvérisations. Cependant la correction du problème nécessite aussi des solutions agronomiques : correction de l'acidité excessive du sol, entretien des réserves minérales, succession des cultures.(ANNONYME, 2013)

III.3. Raisonement de l'apport foliaire

La voie foliaire présente l'avantage d'une action directe sur la nutrition de la plante. Elle s'affranchit des conditions du sol.

Les quantités d'oligo-éléments mobilisées par les plantes sont faibles et compatibles avec la capacité d'absorption de la feuille. La pulvérisation foliaire est une alternative à l'apport au sol et permet une réduction de la quantité de l'oligo-élément appliqué.

À l'inverse, les quantités d'éléments majeurs **N**, **P₂O₅** et **K₂O** mobilisées sont trop importantes pour être apportées par cette voie. Un complément nutritionnel ne s'avère utile qu'en cas de stress alimentaire créé par une nutrition racinaire temporairement insuffisante :

Chapitre II : Fertilisation biologique et chimique

- ✚ Période froide qui retarde la minéralisation et réduit l'activité racinaire
- ✚ Sécheresse qui limite l'activité biologique et la nitrification de l'azote
- ✚ Autres conditions de sol défavorables (sol froid, compacté favorisant la chlorose ferrique par exemple). (ANNONYME, 2013)

La situation est intermédiaire pour les éléments secondaires : magnésium, soufre, calcium dont l'apport peut combiner le sol et le foliaire plutôt en fin de cycle.

L'effet d'un apport foliaire est très dépendant de l'année. Lorsque la plante rencontre des difficultés à s'alimenter par la voie racinaire habituelle, les résultats de pulvérisations d'engrais peuvent être significatifs à la fois sur le rendement et sur la qualité des productions.(ANNONYME, 2013)

I L'Agriculture biologique

La biologie est le nom donné aux sciences qui se proposent l'étude de la vie microbienne, végétale, animale et humaine. Toutes les opérations de production agricole concernant la vie des plantes et des animaux sont biologiques, il s'agit d'une agriculture basée sur l'observation et les lois de la vie, qui consiste à nourrir non pas directement les plantes avec des engrais solubles mais les êtres vivants du sol qui élaborent et fournissent aux plantes tous les éléments dont elles ont besoin. (AUBERT, 1970)

C'est une agriculture qui respecte le sol et les cycles naturels et se fait sans apports de produits issus de la chimie de synthèse.(DURAND, 2006)

I.1. Limites de l'agriculture biologique

I.1.1.Limites techniques

L'agriculture biologique élimine beaucoup de risques sanitaires induits par l'usage de certains intrants chimiques, mais elle introduit aussi des facteurs de risques liés à certaines pratiques :

- ✚ L'interdiction des fongicides chimique entraîne le risque de présence de mycotoxines dans les aliments ;
- ✚ L'emploi de fertilisants organique peut amener des germes pathogènes pour l'homme; c'est vrai aussi en agriculture classique ;
- ✚ L'emploi de médicaments homéopathiques doit être subordonné à une vérification de leur efficacité réelle, c'est pourquoi l'usage ne fait pas consensus parmi les agriculteurs bio.

L'interdiction d'emploi de désherbant entraîne parfois l'augmentation des travaux culturaux d'où une augmentation de la dépense énergétique par unité produite (en contradiction parfois avec la notion de développement durable).(WIDLOECHER *et al.*,2007)

I.2.1. Limites financières

La culture biologique a coûté beaucoup d'argent aux premiers agriculteurs biologiques. Actuellement, les agriculteurs sont tenus de respecter un certain nombre de normes environnementales de base, tel que le principe du pollueur-payeur, et ceci sans recevoir de compensation financière. Seuls les agriculteurs souscrivant à des engagements qui vont au-delà des bonnes pratiques agricoles peuvent prétendre à une rémunération. (WIDLOECHER *et al.*,2007)

II L'Agriculture intensive

L'agriculture intensive est un système de production agricole caractérisé par l'usage important d'intrants, et cherchant à maximiser la production par rapport aux facteurs de production, qu'il s'agisse de la main d'œuvre, du sol ou des autres moyens de production (matériel, intrants divers).

Elle est parfois également appelée agriculture productiviste. Elle repose sur l'usage optimum d'engrais chimiques, de traitements herbicides, de fongicides, d'insecticides, de régulateurs de croissance, de pesticides...(ANNONYME,2012).

L'agriculture productiviste a permis d'augmenter fortement les rendements agricoles et de diminuer les coûts de production. Ces gains de productivité ont donné accès à une alimentation abondante, capable de « nourrir le monde », à des prix accessibles pour une majorité de la population (SAUVE etPROULX, 2007)

II.1. Impact des pesticides et engrais chimiques

La France est l'un des plus gros consommateurs de pesticides dans le monde. Environ **80%** des pesticides commercialisés en France concernent l'agriculture.

Eau, air et sol sont interdépendants. Le polluant déversé dans un milieu peut circuler et polluer les autres. (RIBOTTO, 2010)

II.1.1. Impact des pesticides et engrais chimiques sur le sol

✚ Fertilité des sols en question. Celle-ci n'est plus qu'artificielle avec les intrants. (Ribotto, 2010) Sur l'ensemble de l'Europe, environ **90%** de l'activité biologique des sols cultivés a été détruite par l'agriculture intensive. Les zones les plus ravagées sont l'arboriculture et la vigne. Or l'activité biologique des sols est indispensable pour l'écosystème, en Europe, le taux de matière organique du sol est passé de **4 %** à **1,4 %** en cinquante ans. (BOURGUIGNON,2006)

✚ Modification de la composition du sol par les intrants détruisant la micro faune.(RIBOTTO, 2010)

Il est inutile de vouloir tout fournir aux plantes par un apport d'engrais massif.Le sol, même pauvre, apporte sa quote-part de nutriments. Des apports déséquilibrés ou excessifs entraîneront le contraire de l'effet désiré :

- **un chaulage exagéré** (ou un excès de cendre de bois) peut gêner l'absorption de la potasse ou du magnésium.

- **un excès de potassium**, acidifie le sol, entrave l'absorption du calcium ou du magnésium et cause des carences inattendues en ces éléments.
- **un gros apport de phosphore** peut provoquer une carence en zinc.
- **un excès d'azote** nuit à la croissance et au rendement des légumineuses (pois, haricots). Il peut aussi entraîner une accumulation d'ammoniaque dans les tissus des végétaux provoquant leur destruction ; l'engrais est alors un véritable herbicide. Chacun a déjà pu constater la brûlure de la pelouse à l'endroit où la boîte d'engrais s'est malencontreusement renversée

Plus généralement, les excès d'azote accroissent la sensibilité aux maladies et aux parasites, favorisent les attaques de pucerons et diminuent la saveur des fruits. Ces risques sont plus importants avec les engrais chimiques ou minéraux. ... (GAUTIER, 2008)

Les conséquences des nitrates sur la santé, lorsqu'ils sont présents à de fortes teneurs dans les fruits et légumes (ou dans l'eau), sont de 2 ordres :

Augmentation du risque de méthémoglobinémie : perturbation du système d'échange sang-oxygène principalement pour les enfants en bas-âge, les femmes enceintes et les personnes âgées ;

Présomption de lien de cause à effet entre ingestion de nitrates et cancers gastriques. (GAUTIER, 2008)

🚧 Compactage des sols sous l'effet d'engins lourds (RIBOTTO, 2010)

🚧 Le lessivage des éléments entraîne une acidification des sols par perte du calcium, lequel sert de pont d'attache entre les argiles et les humus. Sans calcium, le mélange argilo-humique se détruit et les argiles partent en suspension dans l'eau. Lorsque le sol meurt, les argiles se mettent en suspension dans l'eau de pluie. L'eau boueuse emporte les limons, les sables et même les cailloux, ce qui aboutit aux inondations qui ravagent les tropiques, en France, **60 %** des sols sont frappés d'érosion.

🚧 Fatigue des sols : les rendements sont en train de stagner en Europe et baissent en Afrique, l'autre conséquence de cette course au rendement, c'est la dégradation des produits. Un exemple : **40 %** des blés produits en Europe sont de si mauvaise qualité (BOURGUIGNON, 2006)

Les sols maraîchers de la Réunion sont parfois sur-fertilisés et contiennent des teneurs élevées en certains éléments, pas toujours bien équilibrés entre eux. Pour certaines productions de plein champ très intensives (comme les salades), de fortes salinités et de fortes acidités, qui proviennent de l'accumulation d'engrais solubles minéraux (nitrates, chlorures, sulfates) sont

observées dans les sols. Les salades sont tolérantes à ces conditions, mais ce n'est pas le cas de toutes les plantes maraîchères. (FRANÇOIS *et al.*, 2006)

II.1.2. Impact des pesticides et engrais chimiques sur les eaux

Ces pratiques peuvent polluer les eaux : eau de surface lors des ruissellements (nitrates et phosphates) et eau de drainage lors des pluies fortes (nitrates). (FRANÇOIS *et al.*, 2006) Présence attestée de pesticides et aussi de nitrates dans les pluies. Les nitrates provoquent l'eutrophisation des cours d'eau c'est-à-dire leur asphyxie par prolifération de végétaux (RIBOTTO, 2010)

II.1.3. Impact des pesticides et engrais chimiques sur l'air

Les gaz à effet de serre émis via l'utilisation d'engrais proviennent majoritairement des engrais azotés : non seulement, plus de carburant est nécessaire pour les produire, mais ils sont aussi à l'origine des émissions de protoxyde d'azote (N_2O), gaz contribuant 310 fois plus au réchauffement climatique que le gaz carbonique (CO_2). (ANNONYME, 2008)

III Agriculture durable

III.1. Définition

Se définit comme un système de production qui vise à assurer de façon pérenne une production de nourriture, de bois et de fibres en respectant les limites économiques, sociales et écologiques qui assurent la maintenance dans le temps. (GEMBLOUX, 2009)

Il s'agit d'une agriculture qui est rentable et permet la transmission de l'exploitation, grâce à une moindre accumulation de capitaux, des systèmes plus économes et autonomes, une meilleure qualité de vie et de travail, une prise en compte des équilibres naturels dans les pratiques agricoles, un respect des ressources naturelles et une meilleure occupation de l'espace (BOUDIER, 1996)

III.2. Méthodes de durabilité

Juger de la durabilité d'une exploitation reste cependant très délicat. Plusieurs méthodes ont été créées pour évaluer la durabilité. Bien que les trois échelles de durabilité correspondant aux trois piliers de l'agriculture durable soient communes à la plupart des méthodes.

Les deux méthodes les plus connues permettant de juger de la durabilité sont la méthode **IDEA** (Indicateur de Durabilité des Exploitations Agricoles) et le diagnostic du **RAD** (Réseau Agriculture Durable). Ce dernier permet d'obtenir des diagrammes radar pour chacun des trois

piliers, permettant de visualiser de façon claire les points à améliorer pour tendre vers la durabilité de l'exploitation. On peut cependant reprocher à ces deux méthodes de ne pas prendre en compte les interactions entre les échelles de durabilité.

Pour les exploitations agricoles, satisfaire les trois piliers de la durabilité est parfois difficile car certains paramètres sont en opposition. Il s'agit plutôt d'essayer d'approcher un équilibre le plus durable possible. (CHAMBERT *et al.*, 2008)

III.3. Techniques appliquées en agriculture durable

III.3.1. Analyse du sol

Le sol n'était pas considéré par les agriculteurs comme un « milieu vivant », ce qui était à l'origine des dégradations des terres cultivées et par conséquent, d'une agriculture non durable. Pour qu'un sol conserve sa capacité de production, il faut qu'il y ait un équilibre entre les pertes en éléments nutritifs que peut subir ce sol (à cause des exportations liées aux récoltes, de lessivage et de drainage), son contenu initial en ces éléments et les éléments nouveaux qui peuvent y prendre naissance. (NAHAL, 1998)

En plus, il faut également qu'il ne se produise aucune détérioration dans les caractéristiques physiques de ce sol (dégradation de la structure, diminution de la perméabilité pour l'air et pour l'eau), qu'il n'y ait pas de décapage des horizons supérieurs riches en matières organiques et en micro-organismes ou d'accumulation de sels nocifs, ou n'importe quel phénomène qui sera à l'origine d'une augmentation excessive de l'acidité ou de l'alcalinité. (NAHAL, 1998)

Trop peu d'agriculteurs se donnent les moyens de faire une analyse fine de l'état de la structure du sol de leurs parcelles. Il ne faut pas hésiter à prendre une bêche et se faire aider pour l'interprétation. Vérifier son potentiel de fertilité initial et apporter les correctifs nécessaires (chaulage, apport de matière organique) avant d'envisager de convertir une terre en non-labour (OUVRARD, 2010)

III.3.2. Techniques culturales simplifiées TCS

L'appellation de techniques culturales simplifiées (TCS) recouvre une grande variété de pratiques de travail du sol. Elles permettent la fragmentation du sol, tout en se distinguant du labour par l'absence de retournement et de mélange du profil cultural. Elles diffèrent entre elles par le degré de mélange des horizons, et parfois par la profondeur de travail. (DEBARGE, 2015)

Avant de se lancer, l'agriculteur doit se demander quelle est la profondeur de travail la plus adaptée chez lui. Pour cela, il doit repérer où se trouvent les zones de compaction. (OUVRARD, 2010)

On peut classer les TCS en trois sous rubriques :

- **Techniques avec travail profond**; cette opération correspond à un travail profond, jusqu'au fond de labour (**15 à 30 cm**). Elle restructure le sol en le fissurant sans perturber la disposition des couches de sol
- **Techniques avec un travail superficiel** ; le travail superficiel du sol correspond à un travail compris entre **5 et 15 cm**. Il inclut un mélange des résidus de culture dans le volume travaillé, mais sans retournement.

Le travail superficiel à **5-8cm** permet de laisser plus de résidus en surface pour limiter l'érosion, d'améliorer les débits de chantiers et réduit de ce fait les coûts d'implantation.

Le travail superficiel à **10-15 cm** ameublisse davantage le sol et contribue à mieux incorporer les résidus. (HEDDADJ et LE ROUX, 2008)

- **Semis direct (SD)** ; est une technique d'implantation des cultures qui repose sur un travail du sol localisé sur la ligne de semis, sans travail en profondeur. Ce travail minimum se traduit par le maintien en surface de la quasi-totalité des résidus de culture et des apports organiques. Cette technique est celle qui réduit le plus les coûts et les temps pour assurer l'implantation. Elle permet une forte économie d'énergie. Avec cette technique de travail minimum, l'objectif recherché est de limiter au maximum les perturbations verticales du sol et d'augmenter au maximum la couverture par les résidus. (HEDDADJ et LE ROUX, 2008)

III.3.2.1 Impacts environnementaux positifs des TCS

- **Gain de temps** : **1 à 2 h/ha/an**, cette réduction ayant surtout lieu dans les périodes de pointe de travail. (OUVRARD, 2010)
- **Amélioration du bilan énergétique des cultures** ; Réduction des dépenses directes d'énergie liées aux cultures de **5 à 12 %** par rapport au labour, du fait d'une baisse de **20 à 40 %** des consommations de carburant (DEBARGE, 2015); moindre consommation de gasoil: - **15 à 30%** en TCS et - **35 à 60%** en semis direct, par rapport au labour.

- **Réduction des coûts de mécanisation à terme**, mais pas les premières années où il faut réinvestir dans du matériel. Après quelques années, on observe une baisse des coûts sur les postes traction et entretien. (OUVRARD, 2010)
- **Augmentation à long terme des teneurs en matières organiques en surface, de l'ordre de 50 % en 30 ans ;**
- ✚ Concentrée dans l'horizon de surface, cette matière organique supplémentaire améliore la stabilité structurale du sol et sa résistance à l'érosion. (DEBARGE, 2015)
- ✚ Meilleure pénétration de l'eau! (OUVRARD, 2010) Amélioration globale de la biodiversité des sols, notamment pour les vers de terre (deux à sept fois plus nombreux) et en surface pour les micro-organismes. La ressource alimentaire pour les oiseaux et les mammifères s'accroît, surtout si la rotation comprend des cultures intermédiaires.
- ✚ Diminution de l'érosion de **50 %** si le sol est couvert à au moins **30 %** (DEBARGE, 2015)
- ✚ Moindre remontée de cailloux. ! Les risques de fuites de nitrates, de phosphore sont réduits.
- ✚ Baisse des émissions de gaz à effet de serre. (OUVRARD, 2010)

III.3.3 Faux-semis

Le faux semis consiste à favoriser et déclencher la levée des adventices par une préparation du sol adaptée, pour les détruire peu après germination par des moyens mécaniques, thermiques ou chimiques. Selon CTIFL (2012), le tableau n°8 présente les avantages et les inconvénients du faux semis avec les différentes techniques de désherbage :

Tableau n°8 : Avantages et inconvénients du faux semis

	Avantages	Inconvénients
Faux semis + désherbage chimique	Moins dépendant du stade des adventices. Désherbant total systémique (glyphosate, glufosinate) ou de contact (diquat) permet de gérer l'ensemble des adventices. Souple et peu coûteux. Peut permettre une gestion	Si intervention post-semis prélevée, en cas de sol fissuré et sec, risque de pénétration des produits et de destruction des plantules de la culture en germination.

	partielle des vivaces.	
Faux semis + désherbage thermique	Absence de résidus. Efficace jusqu'au stade cotylédons/1re feuille.	Consommation d'énergie. Coût de mise en oeuvre. Technicité nécessaire pour optimiser l'application. Durée d'intervention longue car faible largeur de travail des outils. Vivaces rampantes et graminées difficiles à maîtriser.
Faux semis + désherbage mécanique	Absence de résidus. Destruction possible des adventices germées dans les 1ers cm de sol, même si non encore apparentes en surface. Coût relativement faible. Large choix de matériel. Herse étrille disponible en grande largeur, avec plusieurs diamètres de dents, et possibilité de régler l'agressivité de l'outil. Permet d'éviter le tassement du sol. Action agronomique complémentaire par aération et « relance » de l'activité microbienne.	Impératif d'être au stade levée/ cotylédons (« fil blanc »). « Dérangement » du sol, qui peut favoriser la germination de nouvelles adventices, en cas de stock semencier élevé. Efficacité limitée et/ou irrégulière si sol battant, motteux ou mal nivelé.

Source (ANNONYME, 2012)

III.3.1.1. Conditions de faux semis

- ✚ Création de terre fine pour un bon contact sol/graine
- ✚ Travailler le sol sur une profondeur comprise entre **1 à 5 cm** maximum (au-delà, certaines graines d'adventices ne vont pas germer)
- ✚ Rappuyer suffisamment le sol afin de favoriser un bon contact sol-graine
- ✚ Utiliser au maximum l'humidité du sol pour que les graines puissent germer
- ✚ Laisser assez de temps entre le passage de l'outil et le semis de façon à offrir une grande plage de germination (**3-4** semaines)

- ✚ Ne pas travailler le sol ou le reprendre superficiellement (**5 cm** maximum si possible) après la destruction du faux semis pour ne pas remonter des graines en surface. (PINEL *et al.*, 2010)

III.3.4. Rotation

La rotation des cultures est la succession dans le temps de plusieurs cultures sur le même champ. Pratiquée en Europe depuis le moyen-âge, la rotation est depuis longtemps reconnue comme l'une des clés de la fertilité du sol mais aussi de la lutte contre les mauvaises herbes, les maladies et les ravageurs. (ALMARIC *et al.*, 2008). Pour cela, l'agriculture devra veiller à :

- ✚ Introduire des prairies et des légumineuses dans ses rotations ;
- ✚ Eviter de laisser le sol nu ;
- ✚ Alternier des cultures de familles différentes ;
- ✚ Choisir la succession des cultures en fonction de leurs exigences en minéraux et de leur résistance aux maladies et parasites. (AMAND et LANGLIOS, 2009)

On distingue deux types de rotations suivant que l'alternance se fait selon les familles (céréales, légumineuses, oléagineuses...) ou selon les périodes de cultures (printemps, hiver). (ALMARIC *et al.*, 2008)

L'insertion de cultures « nettoyantes » dans la rotation est essentielle ; il s'agit notamment des plantes sarclées ou buttées (pomme de terre, chou, poireau...), qui seront des précédents favorables aux cultures à croissance lente qui seront parfois rapidement envahies par les mauvaises herbes : carotte, navet, panais, épinard, oignon semé... (MAZOLLIER, 2012)

Le tableau n°9 résume l'impact de différentes cultures sur l'humus et la structure du sol :

Tableau n°9 : Impacts de différentes cultures

Famille	culture	Impact sur l'humus	Impact sur la structure du sol
céréales	Blé/orge	Faible consommation	Amélioration par un enracinement profond
	Seigle/avoine	Neutre	Amélioration superficielle
Plantes sarclées	Pomme de terre Betterave Légumes		Enracinement superficiel/ laisse peu de résidu
	Mais	Faible	Maintien de la

		consommation/ fournit une biomasse importante	structure
oléagineux	Colza	Faible production	Enracinement profond
	Navet	Faible production	Ameublissement profond
légumineuses	Mélanges annuels	Faible production	Amélioration de la structure par un enracinement profond Augmentation de l'azote du sol
	Mélanges Pluriannuels	Faible production	
Plantes fourragères		Augmentation de la quantité de matière organique et d'azote	Amélioration de la structure du lit de semence

Source (ALMARIC et al., 2008)

III.3.5. Protection des cultures

Depuis la deuxième guerre mondiale, l'utilisation des pesticides de synthèse s'est généralisée et l'intensifiée. En effet, synthétisée à faible cout, ces pesticides étaient facilement disponibles et utilisables, et leur efficacité a été pour plusieurs années fulgurantes. Les problèmes de la résistance et l'accumulation des résidus dans l'environnement se sont par contre rapidement manifesté. **(SMEESTERS et al., 2001)**

Dans toutes les régions du globe, avec l'intensification des échanges commerciaux, notamment des transports maritimes et aériens, le nombre annuel d'espèces exogènes introduites ne cesse de s'accroître. Ces introductions souvent accidentelles (tourisme, guerres, commerce de semences et de plantes) peuvent entraîner de sérieux dégâts en milieux anthropisés ou naturels. On parlera alors d'invasion biologique, caractérisant une espèce dont l'aire de répartition s'accroît durablement. Avec la dégradation des milieux, les invasions biologiques constituent une des raisons des extinctions récentes d'espèces et de la baisse de la biodiversité. **(AMSALLEM et al., 2007)**

III.3.5.1. Lutte biologique

La lutte biologique peut être classique ... ou non. Car il y a quatre formes différentes de lutte biologique ! Il s'agit toujours d'utiliser des organismes vivants dit « auxiliaires » pour limiter les nuisances occasionnées par des organismes nuisibles dits « bio-agresseurs ».

La lutte biologique classique contre les insectes ravageurs consiste à introduire, dans le milieu colonisé par les ravageurs à combattre, des espèces d'auxiliaires pouvant s'acclimater puis réguler les populations des ravageurs sans autre intervention.

Les avantages de la lutte biologique classique sont multiples. Comme toute lutte biologique elle constitue, si elle est couronnée de succès, une alternative plus respectueuse de l'environnement et de la santé humaine que la lutte chimique. Par ailleurs, et même si cet aspect reste souvent peu ou mal chiffré, elle s'avère économiquement très bénéfique (**BOROWIEC et al., 2011**)

I. Objectif du travail

Le but de notre expérimentation est l'étude de l'effet d'un biofertilisant d'origine végétal (**Superbio**) sur le développement, le rendement et la qualité nutritionnelle et gustative de l'espèce *Capsicum annuum L* (poivron doux et piment piquant) en vue d'améliorer la production en quantité et en qualité avec deux doses (**100%** et **50%**) et deux applications (racinaire et foliaire) en comparaison avec une fertilisation minérale chimique **NPK (15. 15 .15)**.

II. Matériel végétal testé

Le matériel végétal utilisé pour l'expérimentation est l'espèce *Capsicum annuum L* ; poivron doux variété **Cristal** et piment piquant variété **Guindilla** long jaune qui présentent les caractéristiques suivantes :

II.1. Variété Cristal

C'est une variété espagnole à cycle précoce. La chair des poivrons de cette variété est fine et très douce mais elle est un peu plus épaisse que celle des poivrons italiens et ils ont meilleur goût que ces derniers. Les plants sont très hauts (1,50m) et son rendement est moyen. Les fruits ont une forme allongée, de **6-8 x 15 cm**, de forme triangulaire, **3-4** casques, à surface lisse et brillante (figure n° 1), de couleur rouge à leur maturité.



Figure n°3 : poivron doux de variété cristal (photo originale, 2015)

II.2.Variété Guindilla

Variété originaire d'Espagne, piquante, à cycle précoce (mi- saison: **65 à 90** jours). Elle a un bon comportement dans les régions chaudes et sèches.La hauteur de la plante jusqu'aux feuillages et aux tiges vertes se situe entre **75 et120 cm**

Le fruit est petit, de forme allongée étroiteet incurvée, mesure de **3,5 cm à 7,5 cm** de long et de **6 à 12mm** de large, de couleur vert jaunâtre et rouge foncé à la maturité (figure n°4).

Ce fruit est apte au séchage avec une longue conservation pour la production industrielle telle que sauce de conserve.



Figure N°4 : Piment piquant de variété Guindilla(photo originale, 2015)

III. Produit utilisé

III.1.Superbio

C'est un fertilisant organique liquide d'origine végétal composé de micro-organismes efficace, riche en élément minéraux et organiques.



Figure n°5: Biofertilisant Superbio(photo originale, 2015)

III.1.1.Caractéristiques

D'origine végétale utilisable en foliaire et en fertirrigation, améliore la structure du sol et le complexe argilo-humique, renforce la résistance des plantes contre les maladies et augmente la capacité d'échange cationique(C.E.C).

IV.Préparation des doses utilisées

- ✚ **Témoin (T0):** a porté sur l'application d'une dose de **30 g** d'engrais chimique solide **NPK (15. 15. 15)** par plante à deux reprises; une après le repiquage et l'autre juste après la floraison.
- ✚ **Dose foliaire(T1):**cette dose a été préparée par une quantité de **10g** de biofertilisant « Superbio » dilué dans un litre d'eau afin de faire une pulvérisation foliaire deux fois par semaine
- ✚ **Dose racinaire (T2):**chaque plante doit recevoir **50 ml** deux fois par semaine de la solution obtenue par dilution de **30g** de biofertilisant « Superbio » dans un litre d'eau au niveau des racines
- ✚ **Demi-dose foliaire (T3) :** il s'agit de pulvériser au niveau des feuilles une solution de **5g** de biofertilisant « Superbio » dans un litre d'eau deux fois par semaine.
- ✚ **Demi-dose racinaire (T4) :** on doit appliquer une quantité de **50 ml** d'une solution obtenue par la dilution de **15g** de biofertilisant « Superbio » dans un litre d'eau au niveau des racines de chaque plante deux fois par semaine.

IV. Conditions expérimentales

IV.1.Lieu d'expérimentation

L'expérimentation a été réalisée à la station expérimentale de l'université Saad DAhleb de Blida, département de biotechnologie, elle est située au bas du piedmont de l'Atlas Blidéen, limité à l'est par la commune de Soumàa, à l'ouest par la commune d'OuledYaiche, au nord par la commune de Guerouaou et Beni-Mered et au sud par le mont de Chréa.



Figure n°6 :Lieu d'expérimentation par googleearth 2015

IV.2.Lieu de semis

Le semis a été effectué le 14 décembre 2014 à l'intérieur d'une serre en polycarbonate contenant des chauffages, attachée au laboratoire de la recherche en biotechnologie des productions végétales

IV.3.Lieu de repiquage

Le repiquage a été effectué le 13 janvier 2015 dans une serre couverte en plastique de superficie de **160 m²** avec une orientation Nord- Sud.



Figure n°7 : Serre de l'expérimentation(photo personnelle)

VI. dispositif expérimental

Le dispositif expérimental comprend quatre blocs ; deux blocs pour la variété **crystal** du poivron doux et deux blocs pour la variété **Guindilla** du piment piquant, chaque bloc contient cinq traitements : **T0, T1, T2, T3** et **T4**.et chaque traitement est répété six fois ce qui nous donne trente unités expérimentales dans chaque blocs ($6 \times 5 = 30$)

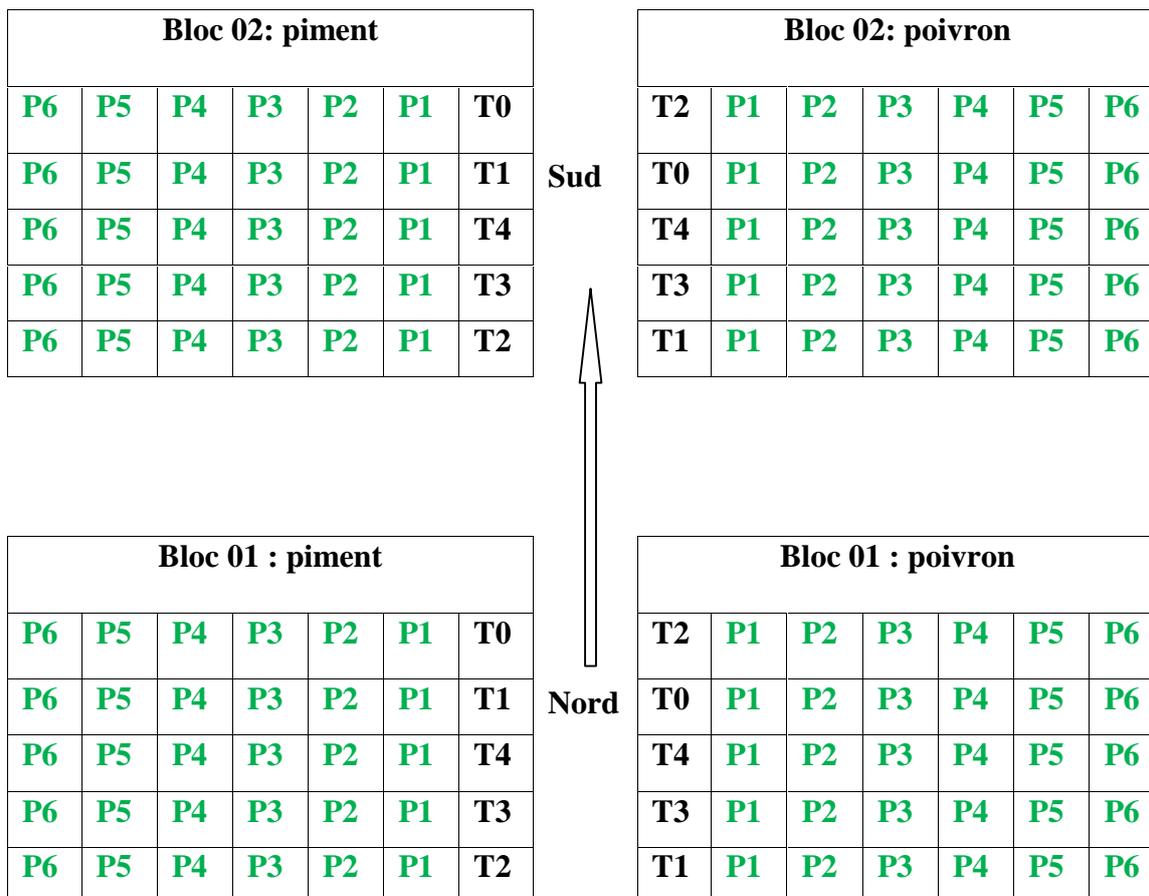


Figure n° 8: Schéma du dispositif expérimental

VII. Conduite de la culture

VII.1. Semis en pépinière

C'est la première opération effectuée, elle a été réalisée le **06-11-2014** dans des alvéoles contenant de la tourbe noire (photo n°8)

Les graines sont déposées à **0,5 cm** de profondeur puis recouvertes par une autre couche de tourbe et arrosées en abondance jusqu'à infiltration de l'eau par les trous de drainage pour l'obtention d'une bonne germination des semences du poivron et piment. Les arrosages ont été effectués à une fréquence de **2 à 4** fois par semaine selon la température.



Figure N°9 : Semis du poivron et piment (photo originale, 2015)

VII.2. Repiquage sous serre

Le repiquage a été effectué le **13-01-2015** lorsque les plantules sont devenues vigoureuses, l'opération consiste à poser la motte de la plantule du poivron et piment directement dans le sol, les recouvrir puis les irriguer pour avoir une bonne cohésion entre les racines et le sol.

Le sol de la serre a été préparé un mois avant le repiquage (**16/12/2015**) par un labour superficiel.



Figure N°10 :Repiquage du poivron et piment(photo originale, 2015)

VII.3 Travaux d'entretien

VII.3.1 Irrigation

L'irrigation est très importante en culture maraîchère et surtout après le repiquage, elle permet une bonne reprise des plantules. La fréquence des irrigations est en fonction de la température et le stade de développement de la plante, pour cela la température de la serre a été enregistrée trois fois par jour à des horaires fixes (tableau n°10)

Tableau n°10 : Variation de la température sous serre au cours de l'expérimentation

Dates	9:00h	12:00h	16:00h
(23-01-2015), (02-02-2015)	8.9	17	14.9
(02-02-2015), (12-02-2015)	9.44	15.77	14.11
(12-02-2015), (22-02-2015)	10.9	21.4	18.9
(22-02-2015), (04-03-2015)	11.5	17.7	15.5
(04-03-2015), (14-03-2015)	15.5	23.3	22.4
(14-03-2015), (24-03-2015)	19.1	27	25.5
(24-03-2015), (03-04-2015)	18.44	24.77	23.66
(03-04-2015), (13-04-2015)	25.66	30	27.44
(13-04-2015), (23-04-2015)	25.5	30.62	28.65
(23-04-2015), (03-05-2015)	25.88	29.44	28
(03-05-2015), (13-05-2015)	31.11	34	33.44
(13-05-2015), (23-05-2015)	30.87	37.75	34.5

VII.3.2 Désherbage

Afin de réduire les risques d'attaques de nos plantes par des parasites, des insectes, le désherbage manuel était réalisé régulièrement (deux fois par semaine)

VII.3.3 Aération de la serre

L'aération de la serre se fait quotidiennement par l'ouverture des portes et l'écartement du film plastique (**figure n°9**) pour diminuer les excès d'humidité et de chaleur qui représentent des conditions favorables au développement des maladies cryptogamiques.



Figure n°11 : Méthodes d'aération de la serre(photo originale, 2015)

VII.3.4. Binage

Le binage est une opération qui s'effectue le premier mois après la reprise des plantes, pour assurer l'aération et réduire le tassement du sol.

VII.3.5. Tuteurage

La technique du tuteurage a été réalisée afin d'éviter l'éclatement des branches des plantes.

VII.4. Traitements phytosanitaires

Au cours de notre expérimentation, nous avons appliqué des traitements chimiques préventifs et curatifs pour éliminer les risques d'attaques des ravageurs nuisibles. Ces traitements sont présentés au tableau n°11.

Chapitre IV : Matériels et méthodes

Tableau n°11 : Traitements utilisés en expérimentation

Dates	Produits	Désignation	Dose	Matière active
02/2015	Medomyl	Fongicide	1g/l	Mancozeb 64% Metaloxyl 8%
05/2015	methomyl	insecticide	10g/15l	

Le **Medomyl** était appliqué en tant que traitement préventif pour éviter l'apparition des maladies cryptogamiques par contre le **Methomyl** avait le but de lutter contre les pucerons (figure n°10) qui ont été apparus aux plantes du **T0** après le deuxième apport d'**NPK (15,15,15)** avec une quantité de **30g** par plante .



Figure n°12 : Présence de puceron(photo originale, 2015)

La lutte biologique a été aussi présente au cours de notre expérimentation par l'utilisation des pièges jaunes (**figure n°12**) dont le but est d'attirer les insectes volants tels que les mouches, les aleurodes, les mineuses, les noctuelles, les pucerons, les cochenilles...



Figure n°13: pièges jaunes(photo originale, 2015)

VII.5 Récolte

Les fruits sont récoltés au stade vert, la première récolte a été effectuée le **03-06-2015**. L'essai a porté sur plusieurs récoltes soit une fois tous les **15** jours.

VIII. paramètres étudiés

Nous distinguons 3 types de paramètres étudiés pendant l'expérimentation, paramètre de croissance, paramètre de production et paramètre de qualité des fruits.

VIII.1. Paramètre de croissance

VIII.1.1. Vitesse de croissance

Les hauteurs des plantes sont mesurées tous les dix jours dès le début des traitements à l'aide d'un mètre ruban, du collet jusqu'à l'apex. Ce paramètre est exprimé en **cm /jour**.

VIII.1.2. Hauteur finale des plantes

Elle a été mesurée en **cm** à l'aide d'un mètre ruban, du collet jusqu'à l'apex. Ce paramètre a été mesuré au moment de la coupe finale.

VIII.1.3. Diamètre final des tiges

La mesure de diamètre finale des tiges de chaque plant a été effectuée à l'aide d'un pied à coulisse au moment de la coupe finale. Cette mesure est exprimée en **mm**

VIII.1.4. Nombre des feuilles

Le principe consiste à faire un comptage des feuilles pour chaque plante au moment de la coupe finale.

VIII.1.5. Biomasse fraîche

Elle consiste à peser la partie racinaire et aérienne (tige, feuilles et fruits) à l'état frais juste après l'arrachage de la plante afin de calculer la moyenne (g)

VIII.1.6. Biomasse sèche

Les parties de la plante pesées à l'état frais doivent être séchées dans une étuve à température égale de 70°C. Après le séchage, ces parties des plantes doivent être pesées plusieurs fois jusqu'à la stabilisation de leur poids sec.

VIII.1.7. Taux de matière sèche

Le taux de la matière sèche est exprimé en % du poids frais.

VIII.2 Paramètre de production

VIII.2.1. Nombre de fleurs par plant

Un comptage des fleurs a été effectué tous les deux jours du début de la floraison jusqu'à la pleine nouaison.

VIII.2.2. Nombre de Fruit par plant

Ce comptage a été effectué à la maturité des fruits du poivron et piment afin d'estimer le rendement des fruits par plant.

VIII.2.3. Taux d'avortement

Le taux d'avortement des fleurs a été calculé à partir du rapport entre le nombre des fleurs total et le nombre des fleurs nouées par plant. Ce taux est exprimé en %

VIII.2.4. Rendement total des fruits par plante

La production est évaluée par détermination du rendement total des fruits dans chaque traitement en Kg.

VIII.3 Paramètre de qualité des fruits

VIII.3.1. Longueur moyenne des fruits par plant

C'est la moyenne de la longueur des fruits pris comme échantillons au niveau de chaque traitement, cette mesure se fait à l'aide d'un mètre ruban.

VIII.3.2. Diamètre des fruits

IL est mesuré un échantillon des fruits pour chaque traitement avec un pied à coulisse.

VIII.3.3 teneur en vitamine C

La vitamine C est un bon indicateur sur la valeur nutritive du poivron et piment. L'analyse au laboratoire a porté sur un mélange de 10g de poivron et piment (bien réduit en pâte) avec 50ml d'acide chlorhydrique (HCl 2%), on laisse en repos pendant 10 minutes puis le filtrons dans un bécher de 100 ml.

Chapitre IV : Matériels et méthodes

Prélevons **10ml** de cet extrait filtré auquel on ajoute **30 ml** d'eau distillée, on additionne **1ml** d'iodure de potassium (**KI** à **1%**) et **2ml** de solution d'amidon (**5%**).

Cette solution préparée est titrée à l'iodate de potassium (**KIO₃** à **N/1000**) jusqu' à virage à la couleur bleu. De la même manière on réalise un témoin ou les **10ml** d'extrait du fruit sont remplacés par une quantité égale d'acide chlorhydrique à **2%**.

La formule appliquée est :

$$X = \frac{N \cdot V_1 - 0.88 \times 100}{G \cdot V_2}$$

différence entre le 1^{er} titrage et le titrage témoin.

V₁ : volume total d'extrait obtenu pour l'analyse.

V₂ : volume initial d'extrait soumis à l'analyse.

G : quantité de produit analysé.

X : mg d'acide ascorbique/g de produit à l'analyse

N: volume d'iodate de potassium résultant de la

VIII.3.4. Dosage des sucres totaux

Le taux de sucre est déterminé par un réfractomètre dont le principe consiste à déposer une goutte de jus du broyat du poivron ou piment dans l'appareil puis faire une lecture directe par transparence à la lumière du jour à température **20°C**

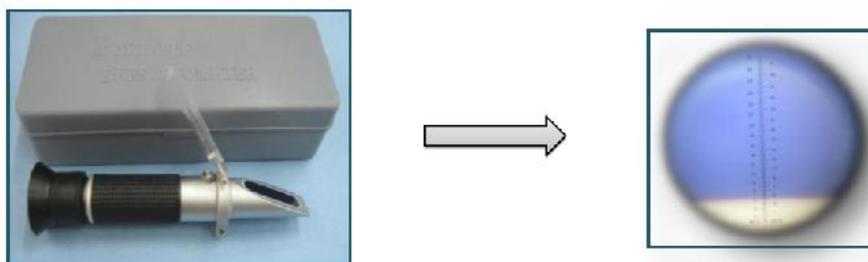


Figure n^o14 : Aspect général d'un réfractomètre et son écran de lecture

IX. Analyses statistiques

Les résultats obtenus pour chaque paramètre étudié ont été soumis à une analyse statistique grâce au logiciel **STATGRAPHICS** qui effectue l'analyse de variance (**ANOVA**) en utilisant

Chapitre IV : Matériels et méthodes

le test de **Fisher** associé au test d'analyse comparative des moyennes selon le test de **Student-Newman Keuls**.

Conclusion

L'objectif de notre expérimentation est celle d'évaluer l'effet d'un biofertilisant « Superbio » à base végétal sur le développement et le rendement des deux variétés Cristal et Guindilla de l'espèce *Capsicum annum* L comparé à un fertilisant chimique NPK (15.15.15)

Les résultats obtenus durant les travaux montrent que le traitement T4 (15g/l racinaire) pour la variété Cristal et T1 (30g/l racinaire) pour la variété Guindilla sont satisfaisants en matière de rendement total des fruits avec un taux rapproché à celui du témoin T0.

L'analyse des résultats de cette expérience est encourageante et incite à développer ce travail par d'autres tentatives en rassemblant entre les deux modes d'application racinaire et foliaire de « Superbio » avec différentes doses.

Une application à grande échelle constitue un moyen de contrôle et d'appréciation des résultats pour une confirmation (systématique ou semi-systématique).

Références Bibliographiques

- ALMARIC. N, ROUBINET. E, BREZILLON. M, SCHROEDER. M, ABEL. C.F; 2008.** Rotation des grandes cultures.
- AMAND. L et LANGLIOS. N, 2009.** Agriculture biologique “les grandes principes de production et l’environnement professionnel.
- AMSALLEM. I, ADOLPHE. C, ARVANITAKIS. L, CLAUDE BON. M, BONATO. O, BORDAT.D, BOURGET.D, CADET.P, COUTINOT.D, DEGUINE.J.P, DELVARE.G, DUCAMP.M, EHRET.P, FARGETTE.F, FARGUES.J, GOEBEL.R, HERARD.F, KREITER.S, LANGLAIS.C, LOPEZ-FERBER.M, MARTIN.A, MARTIN.J.F, MATEILLE.T, MAURICE.S, MIGEON.A, MORAND.S, NAVAJAS.M, OLIVIERI.I, RASPLUS.J.Y, SAVIDAN.Y, SFORZA.R, SHEPPARD.A, SILVY.C, TIXIER-GARCIN.M.S, VIDAL.C; 2007.**Lutte biologique ; biodiversité et écologie en protection des plantes.
- ANDRE, L ; 2012.** Des fruits et légumes issus de l’agriculture biologique.
- ANNONYME ; 2009.**Classification de Telabotanica
- ANNONYME, 2005.** FAO
- ANNONYME, 2008.** Chambres d’Agriculture de Picardie, Institut de l’Elevage
- ANNONYME ; 2010.** Guide pratique de la culture du piment sous serre, Ed ITCMI : Institut Technique des Cultures Maraichères et Industrielle
- ANNONYME ; 2010.** Production du poivron en Algérie. Ministère de l’agriculture et de développement rural
- ANNONYME; 2011.** SYNGENTA : société suisse spécialisée dans la chimie et l’agroalimentaire.
- ANNONYME ; 2012.** Définition européenne de l’Agriculture Raisonnée comme contribution au développement durable. Ed : EISA :European Initiative for SustainableDevelopment in Agriculture
- ANNONYME ; 2012.** Dictionnaire environnement .Ed : ACTUA
- ANNONYME, 2012.** Faux semis et gestion des adventices 2012.Ed : Ctifl ;centre technique interprofessionnel des fruits et légumes
- ANNONYME ; 2013.** Nutrition foliaire. Ed : UNIFA
- AUBERT, C ; 1970.** L’agriculture biologique.
- BEMER.A, BOHM.H, BRANDHUBER.R, BRAUN.J, BREDE.U, COLLING-VON ROESGEN.J.L, DEMMEL.M, DIERAUER.H, EWALD.B, FLIEBBACH.A, FUCHS.J,**

GATTINGER.A, HEB.J, HULSBERGEN.K.J, KOCHLIM, KOLBE.H, KOLLER.M, MADER.P, MULLER.A, PATZEL.N, PFIFFNER.L, SCHMIDT.H, WELLER.S, WILD.M ; 2013. Les principes de la fertilité du sol. Ed : FiBL : Institut de recherche de l'agriculture biologique.

BENHARZALLAH, H ; 1989. Essai de différentes doses d'engrais azotés (fumure de couverture) sur poivron *Capsicum annuum*. L sous serre dans la région d'Ouargla

BERNARD GEMBLOUX, J.L ; 2009. L'agriculture durable

BOROWIEC.N, FLEISCH.A, KREITER.P, TABONE.E, MALAUSA.T, FAUVERGUE.X, QUILICIS, RIS.N, MALA USA.J.C ; 2011. Lutte biologique classique et insectes phytophages

BOUDIER ,E ; 1996. A la rencontre de l'agriculture durable p 16

BOURBONNAIS, C ; 2015. Fertilisation foliaire

BOURGUIGNON, C ; 2006. La destruction des sols par l'agriculture intensive

BOUVIER, E et DIDIER, J ; 2012. Fertilisation en maraichage

BRINON.L, DESVALS.L, MICOLEAU.E, DALY.P ; 2001. Guide de la culture du poivron en nouvelle calédonie. Ed : **Direction du Développement Rural**

CHABALIER.P.F, VAN DE KERCHOVE.V, SAINT MACARY.H ; 2006. Guide de la fertilisation organique à la reunion. Ed : Cirad

CHAFAI ELALAOUI , A ; 2007.Fertilisation minérale des cultures

CHAMBERT.T, DEFERT.F, GALAIS.B, PEGLION.M, TRACOL.C; 2008. Elevage intensif et agriculture durable

CROUCH.I.J, VAN STADEN.J; 1993.Evidence for the presence of plant growth regulators in commercial seaweed product plant growth.P13.

DANNEYROLLES, S ; 2000. La culture du poivron

DEBARGE, A ; 2015. Les techniques culturales simplifiées.

DELAUNOIS.A, FERRIE.Y, BOUCHE.M, COLIN. C, RIONDE.C; 2008. Guide pour la description et l'évaluation de la fertilité des sols. Ed : INRA : Chambre d'agriculture de Montpellier

DELTOR.TH, VEDIC.S, CRISAM.A ; 2002. Les engrais verts

DURANT, S ; 2006. Agriculture biologique et commerce équitable.

FRANÇOIS, P et al ; 2006.Guide de la fertilisation organique à la réunion

GAUTIER, G, L ; 2008. Engrais et amendements la fertilité au jardin

GAZTAMBIDE, M ; 2003. Agriculture biologique ; p47, 49, 60, 65, 67.

GERBIER, L ; 2011. Charte de bonnes pratiques de compostage agricole.

GOILLON, C ; 2013. Stress et plein champs.

GRY, L ; 1991. Semences et progrès.

HALLOUN, R ; 2002. Quels sont les bienfaits du piment.

HUBERT, L et SAINT, N ; 1997. L'agriculture biologique.

HEDDADJ, D et LE ROUX, L ; 2008. Techniques culturales sans labour en Bretagne

KLEIBER, A ; 2010. Engrais foliaire mythe ou réalité

KOLEV, N ; 1976. Les cultures maraichères en Algérie.

LASSINA.F, CHRISTOPHE.K, HORTENSE.D.A, SEKOU.A ; 2009. Bien cultiver le piment en Côte d'Ivoire

LECLERC ORGATERRE, B; 2009. La fertilisation organique en agriculture biologique

LECLERC ORGATERRE, B ; 2012. Les engrais organiques

MARIN A, FERRERES F, BEKMAN.C ; 2004. Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweetpepper

MAZOLLIER, C ; 2012. Les bases du désherbage en maraîchage biologique.

MENARD.F ; 2010. Poivron et piment

MISRA.R.V, ROY. R.N, HIRAOKA.H; 2005. Méthode de compostage au niveau de l'exploitation agricole. Ed : FAO

NAHAL, I ; 1998 : Principes d'agriculture durable

NEYRATE, P ; 2009. guide diététique aliment légume fruit.

NOEL.L, CARRE.J, LEGEAS.M ; 2002. Eléments pour la prise en compte des effets des unités de compostage de déchets sur la santé de population riveraines. Ed : ENSP : Ecole nationale de la santé publique.

OUVRARD, N ; 2010. Techniques culturales simplifiées ou TCS - Se lancer sans se planter dans le non labour

PETIT, J et JOBIN, P ; 2005. La fertilisation organique des cultures.

PINEL.G, TRAYSSAC.J, ROCHE.N, FLAS.O, RIGAL.P; 2010. La technique du faux semis.

POCHARD,E ; 1987. Histoire du piment et recherche

REY, F ; 2005. Semences et plants bio.

RIBOTTO, R ; 2010. Agriculture intensive Quelques impacts sur l'environnement

RIMAN, F ; 2010. Les vers de terre

SAUVE, L et PROULX, D ; 2007. Regard sur l'agriculture productiviste à la lumière de l'étude de cas de la production porcine industrielle

SMEESTERS.E, CHOUINARD.G, GAGNON.S; 2001.Méthodes alternatives à la lutte chimique en pomiculture

SKIREDJ.A, ELATTIR.H, ELFADL.A; 2003. Culture du poivron.Institut Agronomique et vétérinaire Hassan II Département d'horticulture

TILLIE, J ET CAPDEVILLE, L ; 1992. L'agriculture biologique.

TREPANIER, M ; 2009. Démystifions les engrais naturels.

VANIER, P ; 2006. Poivron.

VAN SCHÖLL, L ; 1998. Gerer la fertilité du sol

VEDIE, H ; 2003. Evaluer la fertilité du sol

VILLENEUVE, J ;2008. Implantation d'une serre de poivron chauffée à la biomasse.

WEILL, A ET DUVAL, J ; 2009. Engrais verts.

WIDLOECHRA.A, MAÏTE.C, AURELIE.C; 2007. La qualité des aliments.

ZAIDL.N, GAYON.B, COMBOMS.A, 2006. Utilisation des engrais minéraux azoté en grandes cultures, description des déférentes formes d'azotes et leur impact en agroenvironnement.p29.

Annexe 1 :

Analyse de variance pour la hauteur finale des plants

	Hauteur finale des plantes	S.C.E	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	ET	CV%
Poivron	Variance totale	164,469	7					
	Variance facteur (1)	57,7813	1	57,7813	15,28	0,0174		
	Variance facteur (2)	3,78125	1	3,78125	1,00	0,3739		
	Variance interaction (1) (2)	87,7813	1	87,7813	23,21	0,0085		
	Variance résiduelle	15,125	4	3,78125			1,375	5,48871%
Piment	variance totale	968,219	7					
	Variance facteur (1)	38,2813	1	38.2813	2.57	0.1843		
	Variance facteur (2)	19.5313	1	19.5313	1.31	0.3162		
	variance interaction (1) (2)	850.781	1	850.781	57.08	0.0016		
	Variance résiduelle	59.625	4	14.9063			2,73004	17,1848%

Hauteur finale moyenne des plants (cm)

	T0	T1	T2	T3	T4
Poivron	96.5	83	95	88.25	87
	± 0 a	± 2.12 a	± 0 b	± 2.47 a	± 2.12 b
Piment	88.5	75	58.75	57.5	82.5
	± 2.21 a	± 2.82 a	± 1.76 a	± 2.82 a	± 6.36 a

Annexe 2 :

Analyse de variance pour diamètre final des tiges

	Diamètre final des tiges	S.C.E	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	ET	CV%
Poivron	Variance totale	18.0	7					
	Variance facteur (1)	4.5	1	4.5	2.57	0,1841		
	Variance facteur (2)	2	1	2.0	1.14	0,3453		
	Variance interaction (1) (2)	4.5	1	4.5	2.57	0,1841		
	Variance résiduelle	7	4	1.75			0,935414	11,4541%
Piment	variance totale	34,875	7					
	Variance facteur (1)	0.125	1	0.125	0.07	0,8090		
	Variance facteur (2)	6.125	1	6.125	3.27	0,1450		
	variance interaction (1) (2)	21.125	1	21.125	11.27	0,0284		
	Variance résiduelle	7.5	4	1.875			0,968246	20,5248%

Diamètre final moyen des tiges (mm)

	T0	T1	T2	T3	T4
Poivron	15	12	15	14.5	14.5
	± 0 a	± 0 a	± 1.41 a	± 0.7 a	± 2.12 a
Piment	14.5	13.5	10	8.5	11.5
	± 0.7 a	± 2.12 a	± 1.41 a	± 0.7 a	± 0.7 a

Annexe 3 :

Analyse de variance pour le nombre des feuilles par plant

	Nombre des feuilles	S.C.E	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	ET	CV%
Poivron	Variance totale	20329,9	7					
	Variance facteur (1)	9730,13	1	9730,13	22,07	0,0093		
	Variance facteur (2)	4465,13	1	4465,13	10,13	0,0335		
	Variance interaction (1) (2)	4371,13	1	4371,13	9,91	0,0346		
	Variance résiduelle	1763,5	4	440,875			14,8471	27,5482%
Piment	variance totale	134143,	7					
	Variance facteur (1)	26335,1	1	26335,1	47.48	0,0023		
	Variance facteur (2)	58311,1	1	58311,1	105.14	0.0005		
	variance interaction (1) (2)	47278,1	1	47278,1	85.24	0.0008		
	Variance résiduelle	2218,5	4	554,625	85.24		16,6527	35,3254%

Nombre des feuilles moyens par plant

	T0	T1	T2	T3	T4
Poivron	391.5	161	277.5	160.5	183.5
	± 16.26 a	± 9.89 a	± 38.89 b	± 10.6 a	± 6.36 b
Piment	653	326	287	343	611.5
	± 32.52 a	± 0 a	± 24.04 b	± 11.31 a	± 38.89 b

Annexe 4 :

Analyse de variance pour le poids frais des racines

	Poids frais des racines	S.C.E	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	ET	CV%
Poivron	Variance totale	1458,09	7					
	Variance facteur (1)	596,506	1	596,506	14.46	0,0191		
	Variance facteur (2)	359,388	1	359,388	8.71	0,0419		
	Variance interaction (1) (2)	337,22	1	337,22	8.18	0,0460		
	Variance résiduelle	164,971	4	41,2427			4,54108	45,4639%
Piment	variance totale	49.338	7					
	Variance facteur (1)	36.8941	1	36.8941	18.99	0.0121		
	Variance facteur (2)	0.17405	1	0.17405	0.09	0.7796		
	variance interaction (1) (2)	4.5	1	4.5	2.32	0.2027		
	Variance résiduelle	7.7699	4	1.94248			0,985514	15,6953%

Poids frais moyen des racines (g)

	T0	T1	T2	T3	T4
Poivron	34.75	23.32	53.57	22.9	27.18
	± 11.98 a	± 3.28 a	± 12.26 b	± 0.53 a	± 1.84 b
Piment	29.025	18.46	15.665	19.665	13.87
	± 0.1 a	± 0.86 b	± 1.60 a	± 0.26 b	± 2.09 a

Annexe 5 :

Analyse de variance pour le poids frais des tiges

	Poids frais des tiges	S.C.E	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	ET	CV%
Poivron	Variance totale	8157,53	7					
	Variance facteur (1)	1195,85	1	1195,85	3,87	0,1205		
	Variance facteur (2)	141,036	1	141,036	0.46	0,5363		
	Variance interaction (1) (2)	5584,66	1	5584,66	18.07	0,0131		
	Variance résiduelle	1235,98	4	308,995			12,4297	25,5049%
Piment	variance totale	6541,54	7					
	Variance facteur (1)	1402.91	1	1402.91	7.27	0.0543		
	Variance facteur (2)	589.618	1	589.618	3.05	0.1555		
	variance interaction (1) (2)	3776.67	1	3776.67	19.56	0.0115		
	Variance résiduelle	772.342	4	193.085			9,82562	34,4408%

Poids frais moyen des tiges (g)

	T0	T1	T2	T3	T4
Poivron	159.91	91	168.29	152.24	123.85
	± 7.61 a	± 0.86 a	± 32.53 a	± 3.05 a	± 12.94 a
Piment	198.5	88.66	71.69	62.375	132.315
	± 23.33 a	± 13.16 a	± 8.20 a	± 2.79 a	± 22.88 a

Annexe 6 :

Analyse de variance pour le poids frais des feuilles

	Poids frais des feuilles	S.C.E	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	ET	CV%
Poivron	Variance totale	11736,5	7					
	Variance facteur (1)	3849,15	1	3849,15	3.76	0,1243		
	Variance facteur (2)	1246,5	1	1246,5	1.22	0,3315		
	Variance interaction (1) (2)	2551,12	1	2551,12	2.5	0,1893		
	Variance résiduelle	4089,71	4	1022,43			22,61	26,3366%
Piment	variance totale	10894.9	7					
	Variance facteur (1)	717.447	1	717.447	0.72	0.4453		
	Variance facteur (2)	74.7865	1	74.7865	0.07	0.7983		
	variance interaction (1) (2)	6091.87	1	6091.87	6.08	0.0693		
	Variance résiduelle	4010.79	4	1002,7			22,3908	37,9843%

Poids frais moyen des feuilles (g)

	T0	T1	T2	T3	T4
Poivron	208.99	103.2	182.78	163.88	172.03
	± 22.89 a	± 2.91 a	± 24.34 a	± 54.48 a	± 22.79 a
Piment	183.085	137.87	63.74	88.795	125.045
	± 16.28 a	± 62.74 a	± 0.12 a	± 8.44 a	± 1.40 a

Annexe 7 :

Analyse de variance pour le poids frais des fruits

	Poids frais des fruits	S.C.E	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	ET	CV%
Poivron	Variance totale	889,249	7					
	Variance facteur (1)	82,6898	1	82,6898	1,33	0,3127		
	Variance facteur (2)	297,436	1	297,436	4,79	0,0938		
	Variance interaction (1) (2)	260,833	1	260,833	4,20	0,1097		
	Variance résiduelle	248,29	4	62,0725			5,57102	16,3615%
Piment	variance totale	1338.41	7					
	Variance facteur (1)	566.33	1	566.33	13.35	0.0217		
	Variance facteur (2)	321.438	1	321.438	7.58	0.0512		
	variance interaction (1) (2)	280.964	1	280.964	6.62	0.0617		
	Variance résiduelle	169.674	7	42.4186			4,60535	22,576%

Poids frais moyen des fruits (g)

	T0	T1	T2	T3	T4
Poivron	78.74	60.29	65.28	83.91	66.06
	± 1.6 a	± 0.2 a	± 0.21 a	± 15.75 a	± 0.02 a
Piment	65.74	69.25	40.57	70.075	65.1
	± 2.44 a	± 2.75 b	± 4.97 a	± 1.67 b	± 11.59 a

Annexe 8 :

Analyse de variance pour poids sec des racines

	Poids sec des racines	S.C.E	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	ET	CV%
Poivron	Variance totale	282,615	7					
	Variance facteur (1)	130,331	1	130,331	15,50	0,0170		
	Variance facteur (2)	69,09	1	69,09	8,21	0,0456		
	Variance interaction (1) (2)	49,551	1	49,551	5,89	0,0722		
	Variance résiduelle	33,6432	4	8,41081			2,05071	35,825%
Piment	variance totale	14.1218	7					
	Variance facteur (1)	0.25205	1	0.25205	0.18	0.6970		
	Variance facteur (2)	0.78125	1	0.78125	0.54	0.5020		
	variance interaction (1) (2)	7.33445	1	7.33445	5.10	0.0869		
	Variance résiduelle	5.754	4	1.4385			0,848086	11,5218%

Poids sec moyen des racines (g)

	T0	T1	T2	T3	T4
Poivron	19.9	14.15	27.2	13.25	16.34
	± 3.95 a	± 2.61 a	± 2.74 b	± 0.77 a	± 4.32 b
Piment	16.25	10.88	13.15	13.42	11.86
	± 0.62 a	± 2.27 a	± 0.21 a	± 0.56 a	± 0.45 a

Annexe 9 :

Analyse de variance pour le poids sec des tiges

	Poids sec des tiges	S.C.E	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	ET	CV%
Poivron	Variance totale	188,535	7					
	Variance facteur (1)	4,805	1	4,805	0,38	0,5699		
	Variance facteur (2)	0,605	1	0,605	0,05	0,8371		
	Variance interaction (1) (2)	132,845	1	132,845	10,57	0,0313		
	Variance résiduelle	50,28	4	12,57			2,50699	14,9453%
Piment	variance totale	633.215	7					
	Variance facteur (1)	1.20901	1	1.20901	0.03	0.8809		
	Variance facteur (2)	1.22461	1	1.22461	0.03	0.8802		
	variance interaction (1) (2)	440.897	1	440.897	9.29	0.0381		
	Variance résiduelle	189.885	4	47.4713			4,87192	36,404%

Poids sec moyen des tiges (g)

	T0	T1	T2	T3	T4
Poivron	37	29.6	39.3	38.3	31.7
	± 6.22 a	± 1.69 a	± 6.08 a	± 2.82 a	± 1.55 a
Piment	53.6	34.33	18.705	18.7	32.77
	± 1.83 a	± 12.86 a	± 1.02 a	± 0.70 a	± 4.76 a

Annexe 10 :

Analyse de variance pour le poids sec des feuilles

	Poids sec des feuilles	S.C.E	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	ET	CV%
Poivron	Variance totale	552,31	7					
	Variance facteur (1)	167,354	1	167,354	2,81	0,1688		
	Variance facteur (2)	3,55111	1	3,55111	0,06	0,8190		
	Variance interaction (1) (2)	143,397	1	143,397	2,41	0,1955		
	Variance résiduelle	238,008	4	59,5021			5,45445	28,2696%
Piment	variance totale	286.094	7					
	Variance facteur (1)	9.03125	1	9.03125	0.30	0.6114		
	Variance facteur (2)	6.73445	1	6.73445	0.23	0.65940		
	variance interaction (1) (2)	151.032	1	151.032	5.06	0.0876		
	Variance résiduelle	119.296	4	29.8241			3,86161	27,4555%

Poids sec moyen des feuilles (g)

	T0	T1	T2	T3	T4
Poivron	36.87	23.28	40.89	30.41	31.09
	± 3.52 a	± 0.26 a	± 12.57 a	± 7.99 a	± 3.96 a
Piment	34.285	27.775	16.96	20.92	27.485
	± 1.67 a	± 10.58 a	± 1.78 a	± 1.85 a	± 0.79 a

Annexe11 :

Analyse de variance pour le poids sec des fruits

	Poids sec des fruits	S.C.E	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	ET	CV%
Poivron	Variance totale	24,4542	7					
	Variance facteur (1)	4,29245	1	4,29245	10,28	0,0327		
	Variance facteur (2)	1,49645	1	1,49645	3,58	0,1313		
	Variance interaction (1) (2)	16,9945	1	16,9945	40,69	0,0031		
	Variance résiduelle	1,6708	4	0,4177			0,457001	34,5645%
Piment	variance totale	36.2179	7					
	Variance facteur (1)	13.287	1	13.287	9.16	0.0389		
	Variance facteur (2)	4.45511	1	4.45511	3.07	0.1545		
	variance interaction (1) (2)	12.6756	1	12.6756	8.74	0.0417		
	Variance résiduelle	5.80015	4	1.45004			0,85148	18,7232%

Poids sec moyen des fruits (g)

	T0	T1	T2	T3	T4
Poivron	4.8	5.7	4.25	3.65	8.03
	±	±	±	±	±
	0.14 a	1.27 a	0.07 b	0.21 a	0.02 b
Piment	14.29	13.95	8.855	12.925	12.865
	±	±	±	±	±
	0.01 a	0.25 b	0.82 a	1.32 b	1.81 a

Annexe 12 :

Analyse de la variance pour le taux de la matière sèche des racines

	MS des racines	S.C.E	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	ET	CV%
Poivron	Variance totale	520,4357	7					
	Variance facteur (1)	17,1991	1	17,1991	0,15	0,7149		
	Variance facteur (2)	9,39611	1	9,39611	0,08	0,7863		
	Variance interaction (1) (2)	46,513	1	46,513	0,42	0,5541		
	Variance résiduelle	447,327	4	111,832			7,47769	14,946%
Piment	variance totale	1399,19	7					
	Variance facteur (1)	924.285	1	924.285	9.46	0.0371		
	Variance facteur (2)	59.3505	1	59.3505	0.61	0.4792		
	variance interaction (1) (2)	24.8865	4	24.8865	0.25	0.6402		
	Variance résiduelle	390.666		97,6665			6,98808	18,9705%

Taux moyen de la matière sèche des racines (%)

	T0	T1	T2	T3	T4
Poivron	58.78	60.48	52.73	57.83	59.72
	± 8.88 a	± 2.7 a	± 17.19 a	± 2.03 a	± 11.83 a
Piment	55.98	59.29	84.315	68.265	86.235
	± 1.93 b	± 15.10 a	± 7.29 b	± 3.78 a	± 9.75 b

Annexe 13 :

Analyse de variance pour le taux de la matière sèche des tiges

	MS des tiges	S.C.E	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	ET	CV%
Poivron	Variance totale	119,66	7					
	Variance facteur (1)	35,7985	1	35,7985	5,86	0,0727		
	Variance facteur (2)	12,4027	1	12,4027	2,03	0,2273		
	Variance interaction (1) (2)	47,0305	1	47,0305	7,70	0,0501		
	Variance résiduelle	24,4286	4	6,10716			1,74745	15,4652%
Piment	variance totale	299,818	7					
	Variance facteur (1)	146.034	1	146.034	6.67	0,0611		
	Variance facteur (2)	43.9922	1	43.9922	2.01	0,2292		
	variance interaction (1) (2)	22.2444	1	22.2444	1.02	0,3704		
	Variance résiduelle	87.5477	4	21,8869			3,30809	21,9837%

Taux moyen de la matière sèche des tiges (%)

	T0	T1	T2	T3	T4
Poivron	23.06	32.51	23.43	25.18	25.79
	± 2.79 a	± 1.55 a	± 0.91 a	± 2.36 a	± 3.94 a
Piment	27.24	38.055	26.175	30.03	24.82
	± 4.12 a	± 8.86 a	± 1.56 a	± 2.47 a	± 0.69 a

Annexe 14 :

Analyse de variance pour le taux de la matière sèche des feuilles

	MS des feuilles	S.C.E	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	ET	CV%
Poivron	Variance totale	48,7182	7					
	Variance facteur (1)	0,671061	1	0,671061	0,15	0,7154		
	Variance facteur (2)	30,502	1	30,502	6,97	0,0576		
	Variance interaction (1) (2)	0,0323851	1	0,0323851	0,01	0,9356		
	Variance résiduelle	17,5128	4	4,37821			1,47956	12,9419%
Piment	variance totale	51.8842	7	51.8842				
	Variance facteur (1)	10.125	1	10.125	3.66	0.1285		
	Variance facteur (2)	1.26405	1	1.26405	0.46	0.5364		
	variance interaction (1) (2)	29.4145	1	29.4145	10.62	0.0311		
	Variance résiduelle	11.0807	4	2,77018			1,1769	11,7527%

Taux moyen de la matière sèche des feuilles (%)

	T0	T1	T2	T3	T4
Poivron	17.65	22.56	22.11	18.78	18.07
	± 0.24 a	± 0.37 a	± 3.93 a	± 1.36 a	± 0.08 a
Piment	18.755	20.52	26.605	23.56	21.975
	± 0.75 a	± 1.66 a	± 2.84 a	± 0.15 a	± 0.38 a

Annexe 15 :

Analyse de variance pour le taux de la matière sèche des fruits

	MS des fruits	S.C.E	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	ET	CV%
Poivron	Variance totale	74,0135	7					
	Variance facteur (1)	11,3217	1	11,3217	7,82	0,0490		
	Variance facteur (2)	0,20512	1	0,20512	0,14	0,7257		
	Variance interaction (1) (2)	56,6953	1	56,6953	39,16	0,0033		
	Variance résiduelle	5,7914	4	1,44785			0,850838	39,9339%
Piment	variance totale	16.4492	7					
	Variance facteur (1)	4.83605	1	4.83605	4.37	0.1047		
	Variance facteur (2)	7.14420	1	7.14420	6.46	0.0639		
	variance interaction (1) (2)	0.045	1	0.045	0.04	0.8500		
	Variance résiduelle	4.4239	4	1.10598			0,743631	7,63888%

Taux moyen de la matière sèche des fruits (%)

	T0	T1	T2	T3	T4
Poivron	6.09	9.45	6.51	4.45	12.15
	± 0.05 a	± 2.14 a	± 0.13 b	± 1.08 a	± 0.03 b
Piment	21.75	20.16	21.865	18.42	19.825
	± 0.83 a	± 1.17 a	± 0.64 a	± 1.44 a	± 0.74 a

Annexe 16 :

Analyse de variance pour le nombre des fleurs par plant

	Nombre de fleurs	S.C.E	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	ET	CV%
Poivron	Variance totale	24,0	7					
	Variance facteur (1)	4,5	1	4,5	3,60	0,1306		
	Variance facteur (2)	2,0	1	2,0	1,60	0,2746		
	Variance interaction (1) (2)	12,5	1	12,5	10,0	0,0341		
	Variance résiduelle	5,0	4	1,25			0,790569	21,784%
Piment	variance totale	254.0	7					
	Variance facteur (1)	8.0	1	8.0	2.67	0.1778		
	Variance facteur (2)	72.0	1	72.0	24.00	0.0080		
	variance interaction (1) (2)	162.0	1	162.0	54.00	0.0018		
	Variance résiduelle	12.0	4	3			1,22474	22,7312%

Nombre moyen des fleurs par plant

	T0	T1	T2	T3	T4
Poivron	15	9.5	8.5	6	10
	± 1.41 a	± 0.7 a	± 0.7 a	± 1.41 a	± 1.41 a
Piment	43	33	26	18	29
	± 1.41 a	± 1.41 a	± 2.82 a	± 1.41 a	± 0 a

Annexe 17 :

Analyse de variance pour le nombre de fruits par plant

	Nombre de fruit	S.C.E	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	ET	CV%
Poivron	Variance totale	27,5	7					
	Variance facteur (1)	4,5	1	4,5	3,00	0,1583		
	Variance facteur (2)	4,5	1	4,5	3,00	0,1583		
	Variance interaction (1) (2)	12,5	1	12,5	8,33	0,0447		
	Variance résiduelle	6,0	4	1,5			0,866025	25,575%
Piment	variance totale	167.5	7					
	Variance facteur (1)	40.5	1	40.5	9.00	0.0399		
	Variance facteur (2)	24.5	1	24.5	5.44	0.0800		
	variance interaction (1) (2)	84.5	1	84.5	18.78	0.0123		
	Variance résiduelle	18.0	4	4.5			1.5	20,1719%

Nombre moyen de fruits par plant

	T0	T1	T2	T3	T4
Poivron	13	9	8	5	9
	±	±	±	±	±
	1.41 a	0 a	1.41 a	1.41 a	1.41 a
Piment	40	27	25	17	28
	±	±	±	±	±
	1.41 b	1.41 a	2.82 b	2.82 a	0 b

Annexe 18 :

Analyse de variance pour le taux d'avortement

	Taux d'avortement	S.C.E	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	ET	CV%
Poivron	Variance totale	325,489	7					
	Variance facteur (1)	16,762	1	16,762	0,46	0,5358		
	Variance facteur (2)	127,84	1	127,84	3,49	0,1351		
	Variance interaction (1) (2)	34,3621	1	34,3621	0,94	0,3876		
	Variance résiduelle	146,524	4	36,6311			4,27967	70,8649%
Piment	variance totale	362.317	7					
	Variance facteur (1)	140.533	1	140.533	8.05	0.0470		
	Variance facteur (2)	81.2175	1	81.2175	4.65	0.0972		
	variance interaction (1) (2)	70.7455	1	70.7455	4.05	0.1144		
	Variance résiduelle	69.8214	4	17.4553			2,95426	91,7216%

Taux moyen d'avortement (%)

	T0	T1	T2	T3	T4
Poivron	12.5	5	6.25	17.14	10.1
	± 17.67 a	± 7.07 a	± 8.83 a	± 4.04 a	± 1.42 a
Piment	6.975	18.195	3.865	5.88	3.44
	± 0.23 a	± 0.78 b	± 0.41 a	± 8.31 b	± 0 a

Annexe 19 :

Analyse de variance pour le rendement des fruits par plant

	Nombre de fruit	S.C.E	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilit é	ET	CV%
Poivron	Variance totale	0,0839138	7					
	Variance facteur (1)	0,0102674	1	0,0102674	0,74	0,4396		
	Variance facteur (2)	0,00078289 2	1	0,00078289 2	0,06	0,8245		
	Variance interaction (1) (2)	0,0169943	1	0,0169943	1,22	0,3319		
	Variance résiduelle	0,0558692	4	0,0139673			0,083568 2	20,9548 %
Piment	variance totale	207136,	7					
	Variance facteur (1)	1811,72	1	1811,72	0.08	0.7910		
	Variance facteur (2)	52,48	1	52,48	0.00	0.9639		
	variance interaction (1) (2)	114939,	1	114939,	5.09	0.0871		
	Variance résiduelle	90333,7	4	22583,4			106,262	37,6883 %

Rendement moyen des fruits par plant (Kg)

	T0	T1	T2	T3	T4
Poivron	1.02	0.54	0.52	0.43	0.59
	± 0.09 a	± 0.001 a	± 0.09 a	± 0.19 a	± 0.09 a
Piment	0.84154	0.58878	0.31895	0.354175	0.563805
	± 0.09 a	± 0.28 a	± 0.01 a	± 0.02 a	± 0.1 a

Annexe 20 :

Analyse de variance pour longueur des fruits

	Longueur des fruits	S.C.E	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	ET	CV%
Poivron	Variance totale	8,02875	7					
	Variance facteur (1)	0,06125	1	0,06125	0,62	0,4750		
	Variance facteur (2)	6,66125	1	6,66125	67,46	0,0012		
	Variance interaction (1) (2)	0,91125	1	0,91125	9,23	0,0385		
	Variance résiduelle	0,395	4	0,09875			0,222205	7,69786%
Piment	variance totale	11,5853	7					
	Variance facteur (1)	0,678612	1	0,678612	1.44	0.2963		
	Variance facteur (2)	0,348613	1	0,348613	0.74	0.4382		
	variance interaction (1) (2)	8,67361	1	8,67361	18.41	0.0127		
	Variance résiduelle	1,88445	4	0,471112			0,485341	7,33405%

Longueur moyen des fruits (cm)

	T0	T1	T2	T3	T4
Poivron	15.5	15.25	14.4	12.75	13.25
	±	±	±	±	±
	0 a	0.35 a	0.14 a	0.35 a	0.35 a
Piment	18.83	17	18.5	18.665	16
	±	±	±	±	±
	0.7 a	0 a	0.7 a	0.94 a	0.7 a

Annexe 21 :

Analyse de variance pour diamètre des fruits

	Diamètre des fruits	S.C.E	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	ET	CV%
Poivron	Variance totale	18,875	7					
	Variance facteur (1)	1,125	1	1,125	1,80	0,2508		
	Variance facteur (2)	15,125	1	15,125	24,20	0,0079		
	Variance interaction (1) (2)	0,125	1	0,125	0,20	0,6779		
	Variance résiduelle	2,5	4	0,625			0,559017	3,92139%
Piment	variance totale	8,8978	7					
	Variance facteur (1)	0,05445	1	0,05445	0.04	0,8513		
	Variance facteur (2)	2.0	1	2.0	1.47	0,2923		
	variance interaction (1) (2)	1,39445	1	1,39445	1.02	0,3689		
	Variance résiduelle	5,4489	4	1.36222			0,825295	7,04868%

Diamètre moyen des fruits (mm)

	T0	T1	T2	T3	T4
Poivron	43.5	41	40	43.5	43
	± 2.12 a	± 0 a	± 0 a	± 0.7 a	± 1.41 a
Piment	15.915	16.16	16.83	15.995	14.995
	± 0.12 a	± 0.7 a	± 2.12 a	± 0.47 a	± 0.47 a

Annexe 22 :

Analyse de variance pour la teneur en vitamine C

	Teneur en vitamine C	S.C.E	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	ET	CV%
Poivron	Variance totale	3446,03	7					
	Variance facteur (1)	2831,28	1	2831,28	362,46	0,0000		
	Variance facteur (2)	485,784	1	485,784	62,19	0,0014		
	Variance interaction (1) (2)	97,7202	1	97,7202	12,51	0,0241		
	Variance résiduelle	31,2449	4	7,81123			1,97626	51,2239%
Piment	variance totale	974,1	7					
	Variance facteur (1)	719,153	1	719,153	48.48	0.0022		
	Variance facteur (2)	92,0046	1	92,0046	6.20	0.0674		
	variance interaction (1) (2)	103,608	1	103,608	6.98	0.0574		
	Variance résiduelle	59,3347	4	14,8337			2,72339	15,066%

Teneur moyenne en vitamine C (mg)

	T0	T1	T2	T3	T4
Poivron	56.21	73.41	28.8	50.84	20.2
	± 8.36 a	± 2.28 b	± 3.04 a	± 3.8 b	± 1.5 a
Piment	80.17	68.61	94.77	69.025	80.79
	± 4.89 b	± 3.97 a	± 0.76 b	± 3.66 a	± 5.43 b

Annexe 23 :

Analyse de variance pour la teneur en sucre totaux

	Teneur en sucre	S.C.E	Ddl	Carré moyen	Test F	Probabilité	ET	CV%
Poivron	Variance totale	1,66875	7					
	Variance facteur (1)	0,01125	1	0,01125	0,09	0,7822		
	Variance facteur (2)	0,78125	1	0,78125	6,07	0,0694		
	Variance interaction (1) (2)	0,36125	1	0,36125	2,81	0,1692		
	Variance résiduelle	0,515	4	0,12875			0,253722	13,6099%
Piment	variance totale	12,7987	7					
	Variance facteur (1)	2,53125	1	2,53125	1.02	0.3705		
	Variance facteur (2)	0,15125	1	0,15125	0.06	0.8175		
	variance interaction (1) (2)	0,15125	1	0,15125	0.06	0.8175		
	Variance résiduelle	9,965	4	2,49125			1,11608	19,9953%

Teneur moyenne en sucre totaux (%)

	T0	T1	T2	T3	T4
Poivron	3.8	3.65	4.15	3.45	3.1
	± 0.84 a	± 0.35 a	± 0.35 a	± 0.49 a	± 0.14 a
Piment	6.6	6.2	7.05	6.2	7.6
	± 0.84 a	± 2.82 a	± 1.34 a	± 0.28 a	± 0.28 a