

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Saad Dahlab de Blida

Faculté des sciences de la nature et de la vie

Département de biologie des populations et des organismes



### **MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES**

Pour l'obtention du diplôme de Master en biologie

Option : biodiversités et développement durable

### **THÈME**

Etude comparative des bioproduits sur *Solanum lycopersicum* L.- sur l'effet des attaques biologiques sous serre (Tipaza)

Présidente	OUARAB S	MCA Université Blida 1
Examinatrice	DJAZOULI ZAHREDDINE	Université Blida 1
Encadrante	Me CHAICHI WISSAM	MAA Université Blida 1

Soutenu par :

P. Me CHAICHI WISSAM

Mémoire réalisé par :

IBRAHIM HADDAD

**ANNÉE UNIVERSITAIRE : 2016/2017**

## RÉSUMÉ

Les conséquences d'une agriculture dite intensive, rendent surtout nécessaire la mise au point de solutions alternatives s'appuyant sur le rôle des Biofertilisants comme éliciteurs naturels dans la stimulation des défenses naturelles des plantes. Avec l'introduction de nouvelles formulations pour faire face aux bioagresseurs.

Le but prioritaire de l'application d'un éliciteur est d'induire une résistance à la plante, qu'elle soit préparée lorsqu'un agent pathogène l'attaque. A côté de l'effet positif sur la plante en stimulant sa défense on peut supposer qu'il y a aussi des conséquences négatives sur la plante. Alors on peut dire que les conséquences sur la croissance et le développement des racines sont des facteurs secondaires

L'objectif de cette étude consiste à comparer les effets de deux produits biofertilisants sur La biomasse et l'état phytosanitaire de la tomate cultivée sous serre,

La partie bibliographique explique la nutrition minérale des plantes et ses effets sur la santé, la notion de fertilisation, les mécanismes de la défense naturelle stimulée par un éliciteur et aussi les réponses de défense.

La partie expérimentale a été faite sous forme d'un suivi journalier pendant 30 jours dont deux parcelles ont été implantées dans le même site, un produit homologuée pour les plants de tomate de la parcelle 01, et un produit testé pour la parcelle 02 afin d'étudier l'effet comparé des deux biofertilisants (homologuée et testé) sur la physiologie et sur l'état phytosanitaire des plantes de la tomate *Solanum lycopersicum.L*

Les résultats de cette étude ont montré que les deux biofertilisants expérimentés ont eu un effet sur les paramètres morphologiques et l'état phytosanitaire de la tomate

Une meilleure efficacité est signalée pour le Biofertilisant homologuée par rapport aux biofertilisants testés.

Les résultats sont reportés sous formes des projections, effectuée avec le logiciel PASTE, ayant la possibilité de comparer les effets des applications des différents biofertilisants.

**Mots clés :** Biofertilisants, éliciteur, *Solanum lycopersicum.L*, fertilisation, bioagresseurs.

## **Abstract**

The consequences of an intensive said agriculture make especially necessary the development of alternative solutions leaning on the role of Biofertilizers as elicitors natures in the stimulation of the natural defenses of plants. With the introduction of new formulations to face bioaggressors.

The priority purpose of the application of a éliciteur is to lead a resistance in the plant, that she is prepared when a pathogenic agent attacks him. Next to the positive effect on the plant by stimulating its defense we can suppose that there are also negative consequences on the plant. Then we can say that the consequences on the growth and the development of roots are secondary factors

The objective of this study consists in comparing the effects of two products fertilizing on the biomass and the phytosanitary state of the tomato cultivated under greenhouse;

The bibliographical part explains the mineral nutrition of plants and its effects on the health of plants, the notion of fertilization, the mechanisms of the natural defense stimulated by an éliciteur and also the answers of defense.

The experimental part was made in the form of a daily follow-up during 30 days among which two plots of land were implanted in the same site, a product approved for the plants of tomato of the plot of land 01, and a product tested for the plot of land 02, in order to study the effect compared by both fertilizers (approved and tested) on the physiology and on the phytosanitary state of the plants of *Solanum lycopersicum* tomato. L

The results of this study showed that both experimented fertilizers had an effect on the morphological parameters and the phytosanitary state of the tomato.

A better efficiency is indicated for Biofertilizing approved by report biofertilizers tested.

The results are postponed under forms of the projections, made with the software PASTE, having the possibility of comparing the effects of the applications of various biofertilizers

**Keywords:** biofertilizers, to éliciteur, *Solanum lycopersicum*. L, fertilization, bioaggressors

## *Remerciements :*

*Tout d'abord j'exprime, ma profonde gratitude à madame Chaichi Wissam, mon encadrante pour la confiance qu'elle m'a accordée en acceptant la direction de mon mémoire son dévouement et sa disponibilité et ses conseils judicieux pour moi.*

*C'est un honneur pour moi d'avoir travaillé avec elle.*

*Je remercie vivement Mm Quarab S d'avoir accepté de présider le jury, qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance*

*Je remercie également Mm Hamich d'avoir accepté d'examiner le document et faire partie du jury de soutenance et je n'oublierai jamais sa bienveillance.*

*Mes vifs et chaleureux remerciements vont inévitablement à mes parents, Père et Mère, ce duo qui me prépare et me soutient dans tous les honorables duels.*

*Puis vient ma sœur, mon alliée indéfectible, Sarah.*

*Mon cœur balance entre mes ami/e/s et ma fiancée. Mes ami/e/s comprendront j'en suis bien sûr. Merci Laldja Benarab pour tes encouragements et ton soutien.*

*Mounia et Sofiane, mes amis je vous ai cités presque en dernier mais vous êtes si proches à mon cœur.*

*Je tiens à remercier tous ceux qui de près ou de loin, moralement ou pédagogiquement se sont inquiétés et ont participé à cette formation dont je suis le résultat.*

# Liste des tableaux

<b>tableau</b>	<b>page</b>
Tableau 1.....	7
Tableau 2.....	32

## Liste des figures

	<b>Figure</b>	<b>page</b>
Figure 1.....		18
Figure 2.....		20
Figure 3.....		29
Figure 4.....		30
Figure 5.....		31
Figure 6.....		32
Figure 7.....		33
Figure 8.....		34
Figure 9.....		35
Figure 10.....		40
Figure 11.....		41
Figure 12.....		42
Figure 13.....		44
Figure 14.....		45
Figure 15.....		46
Figure 16.....		49
Figure 17.....		50
Figure 18.....		51

## **ABRIVIATIONS:**

(AO)	Callène oxyde cyclase
(AOS)	allène oxyde synthase
(CC)	Coiled-coil
(FT)	facteurs de transcription
(HR)	réaction hypersensible
(HRGP)	paroi que sont les glycoprotéines riches en hydroxyproline
(JA)	acide jasmonique
(MeJA)	méthyljasmonate
(NO)	L'oxyde nitrique
(SA)	L'acide salicylique
(SOD)	superoxydodismutase
ACIK1	(Avr9/Cf-9 Induced Kinase 1)
APAF- 1	(Apoptotic protease-activating factor1)
CDPK	(Calcium-Dependent Protein Kinases)
CERK1	(Chitine Elicitor Receptor Kinase 1)
ETI	(Effector-Triggered Immunity)
ETS	(Effector-Triggered Susceptibility)
ETS	(Effector-Triggered Susceptibility)
LAR	(Local Acquired Resistance)
LRR	Leucine-Rich Repeat
LRR-RLK	(Leucine Rich Repeat – Receptor Like Kinase)
MAPK	(Mitogen Activated Protein Kinase)
MAPKs	(Mitogen-Activated Protein Kinase)
NB	(Nucleotide-Binding domain)
NDR1	(Non race specific Disease Resistance)
PAD4	(Phytoalexin-Deficient 4)
PAMP	(Pathogen Associated Molecular Pattern)
PTI	(PAMP Triggered Immunity)
PTI	(PAMP-triggered Immunity)
RAR1	(Required for Mla-dependent Resistance 1)
RGAs,	Resistance Genes Analogs
RLK -	Receptor-Like Kinase
RLK	(Receptor-Like Kinase)
RLP	(Receptor Like Protein )
RLPs	(Receptor Like Protein)
ROS,	Reactive Oxygen Species
SAR	(Systemic Acquired Resistance)
SGT1	(Suppressor of G2 allele of SKP1)
TIR	(Toll Interleukine-Receptor)

## Table des matières

Introduction.....	02
1. Nutrition Minérale des Plantes .....	06
Généralités sur les nutriments minéraux .....	06
1.2. Absorption des nutriments .....	08
1.3. Eléments minéraux et exigences des plantes .....	08
1.4. Principaux facteurs de la nutrition minérale .....	09
1.5. Les facteurs liés à la plante .....	09
1.5.1. L'âge des feuilles .....	09
1.5.2. Interactions entre les éléments nutritifs .....	09
1.6. Les facteurs du milieu .....	10
1.6.1. Influence de la nature du sol .....	10
1.6.2. Influence du climat .....	11
1.7. Les conditions culturales .....	11
1.7.1. L'irrigation .....	11
1.7.2. L'entretien du sol .....	11
1.7.3 La taille .....	11
2. Effet de la nutrition de la plante sur la santé végétale .....	12
3. Notions de Fertilisation .....	12
3.1 Fertilisation .....	13
3.2 Fertilité et productivité .....	13
3.3 Etude de la fertilité .....	14
4. La conduite de la fertilisation, facteur de la santé des plantes .....	14
4.1. Comment la fertilisation agit-elle sur la santé des plantes ? .....	14
5. Les défenses naturelles des plantes .....	14
5.1 Stimulation des défenses naturelles (SDN) .....	15
5.2 De la reconnaissance à la défense, les différentes étapes .....	16
I. Les signaux de reconnaissance .....	16
I.1. La reconnaissance générale non-spécifique d'hôte .....	16
I.2. La reconnaissance spécifique .....	17
II. La signalisation conduisant à la défense .....	19
II.1. Les espèces activées de l'oxygène (ROS) .....	21
II.2. La phosphorylation ou voie des MAP kinases .....	21
II.3. Les hormones et autres molécules signaux de la défense .....	22
II.3.1. Les hormones.....	22
II.3.2. Les interconnexions entre les différentes voies .....	23
II.3.3. L'oxyde nitrique (NO) .....	23
II.4. Les facteurs de transcription .....	23
III. Les réponses de défense .....	24
III.1. La constitution des barrières physiques .....	24
III.1.1. Les dépôts de callose .....	24
III.1.2. Accumulation d'HRGP et de polymères pariétaux .....	25
III.2. La synthèse de composés antimicrobiens .....	25
III.2.1. Les dépôts de callose .....	25
III.2.2. Les ROS .....	26
III.2.3. Les protéines PR .....	26
III.2.4. Les phytoalexines .....	27
CHAPITRE II Matériel et méthodes .....	29
1. Présentation de la région d'étude .....	30
1.1. Situation géographique .....	30



## Table des matières

---

1.2. Bioclimat de la région d'étude.....	31
2. Présentation du site d'étude et conditions expérimentales .....	33
3. Matériel biologique .....	33
3.1. Obtention des plantules de tomate.....	33
3.2. Obtention des populations de la tomate.....	34
3.3. Obtention des produits de traitement.....	34
4.1. Estimation des paramètres morphologiques des plantes de la tomate.....	36
4.2. Estimation de l'état phytosanitaire des plantes de la tomate.....	36
5. Analyses statistiques.....	37
5.1. Analyses de variance (SYSTAT vers. 12, SPSS 2009) .....	37
5.2. Analyse multivariée (PAST vers. 1.37).....	37
CHAPITRE III Résultats .....	39
Effet temporelle des traitements sur les paramètres morphologiques de la tomate ...	39
1.1. Evolution temporelle de la croissance journalière de la tomate .....	39
1.2. Evolution temporelle de la croissance de l'épaisseur des tiges de la tomate .....	39
1.3. Evolution temporelle du développement du nombre des tiges principales de la tomate .....	39
1.4. Evolution temporelle du développement du nombre de bouquets floraux de la tomate .....	39
1.5. Evolution temporelle du développement de la taille des fleurs de la tomate.....	42
2. Evaluation de l'effet des traitements sur les paramètres morphologiques de la tomate .....	42
2.1. Evaluation de l'effet des traitements sur la croissance journalière de la tomate .....	42
2.2. Evaluation de l'effet des traitements sur l'épaisseur des tiges .....	43
2.3. Evaluation de l'effet des traitements sur le nombre des tiges principales .....	43
2.4. Evaluation de l'effet des traitements sur le nombre de bouquets floraux .....	47
2.5. Evaluation de l'effet des traitements sur la taille des fleurs de la tomate .....	47
3. Etude comparée des traitements sur les paramètres morphologiques de la tomate	47
3.1. Etude comparée des traitements sur la croissance journalière de la tomate.....	47
3.2. Etude comparée des traitements sur l'épaisseur des tiges de la tomate.....	47
3.3. Etude comparée des traitements sur le nombre des tiges principaux .....	51
3.4. Etude comparée des traitements sur le nombre de bouquets floraux .....	51
3.5. Etude comparée des traitements sur les paramètres morphologiques de la Tomate .....	52
3.6. Etude comparée des traitements sur la taille des fleurs .....	52
DISCUSSION .....	53
1. Effet de Biofertilisant, de la formulation minérales et des fertilisants homologués sur les paramètres morphologiques des plantes de la tomate .....	53
2. Effet des Biofertilisants, des fertilisants homologués et des formulations minérales sur la l'état phytosanitaire des plantes de tomate .....	54
Conclusion générale et Perspectives .....	56

# **Introduction**

## **Introduction générale**

L'agriculture est une des activités humaines les plus fondamentales puisque toute personne doit se nourrir chaque jour. L'histoire, la culture et les valeurs collectives sont liées à l'agriculture. Même si près de la moitié de la population de la planète est urbaine, l'agriculture reste l'activité principale d'une large part de l'humanité. Près de 2,6 milliards de personnes dépendent de l'agriculture, de la pêche, de la forêt ou de la chasse pour vivre (Mughal, 1992).

La fonction initiale et essentielle de l'agriculture est celle d'assurer l'alimentation de la population d'un pays. Si on prend soin d'apporter un bref instantané de l'évolution de l'agriculture dans le monde, on pourra dire qu'au départ la simple cueillette en était l'activité principale. Le nombre limité des hommes leur permettait de vivre simplement en se contentant de ce que la nature a de meilleur à leur offrir. Il suffisait juste que l'homme s'adapte au mieux avec le cycle des saisons pour, soit se pencher pour cueillir une fraise des champs, soit agripper l'arbre pour s'offrir la pomme ou la poire qui se propose en offrande, soit enfin user de simples stratagèmes pour chasser le gibier qui offrait le complément de son alimentation. Les hommes de cette époque se paraient d'objets divers et vivaient de chasse et de cueillette et étaient en général nomades. C'est l'époque du Paléolithique qui a vu apparaître l'Homo Sapiens il y a de cela plus de 200.000 ans en Afrique. (Thomas Malthus 1973)

Devant l'accroissement sans cesse des besoins nutritionnels, les producteurs sont contraints de développer des mécanismes et des procédés qui leurs ont permis d'augmenter la production et améliorer la productivité de leurs cultures. C'est ainsi qu'on a eu recours aux différents types de production, notamment l'agriculture intensive, ce qui permet de nourrir une population mondiale toujours plus nombreuse; mais qui met, en conséquence, en péril la biodiversité et la santé publique (Ikerd, 1990 et Thacker, 2002).

Face à ces problèmes l'agriculture c'est s'orientée vers des pratiques respectueuses de l'homme et des équilibres fondamentaux. Dans ce contexte, la production biologique se veut comme un système global de gestion agricole et de production alimentaire qui allie les meilleures pratiques environnementales, un haut degré de biodiversité, la préservation des ressources naturelles, l'application de normes élevées en matière de bien-être animal et une méthode de production respectant la préférence des consommateurs à l'égard de

produits obtenus grâce à des substances et produits naturels (Costa, 1990 ; Deziel, Marie-Helene *et al.*, 2006).

Parmi les méthodes de lutte biologique, les molécules bioactives (biopesticides et biofertilisants) occupent une place de choix. Elles sont généralement compatibles avec les méthodes de lutte biologiques classiques (ex. lâchers de prédateurs ou de parasites) (Fravel *et al.*, 1999 ; Bonnemain et Chollet, 2003).

Le recours aux biostimulants constitue une des voies qui pourrait réviser complètement les paradigmes régissant la lutte contre les ennemis des cultures. Cette approche, consiste à donner aux plantes les moyens de se défendre elles-mêmes, ou renforcer leurs propres moyens de défense, plutôt que de combattre directement l'agresseur. Dans cette catégorie se trouvent les stimulateurs des défenses naturelles des plantes (SDN). Une solution intéressante sur les plans scientifique et agronomique, et qui pourrait bien être une solution d'avenir (Fravel *et al.*, 1999).

Dans le cadre de la recherche sur de nouveaux procédés en phyto-protection et de la lutte biologique, une autre approche faisant appel à l'utilisation de molécules naturelles appelées biofertilisant est envisageable. La biofertilisation foliaire offre une certaine éventualité de bio-protection par l'utilisation de nouvelles formulations des stimulateurs de défenses naturelles.

Notre mémoire contient trois chapitres :

Le premier chapitre explique la nutrition minérale des plantes et ses effets sur la santé, la notion de fertilisation, ainsi les mécanismes de la défense naturelle stimulée par un éliciteur et aussi les réponses de défense.

Le deuxième chapitre, contient la partie matérielle et méthodes.

L'expérimentation a été faite sous forme d'un suivi journalier pendant 30 jours dont deux parcelles ont été implantées dans le même site, un produit homologuée pour les plantes de tomate de la parcelle 01, et un produit testé pour la parcelle 02 afin d'étudier l'effet comparé des deux biofertilisants (homologuée et testé) sur la physiologie et sur l'état phytosanitaire des plantes de la tomate *Solanum lycopersicum*.L

Le troisième chapitre traite la partie résultats & discussion

L'objectif de notre recherche est d'évaluer l'effet des biofertilisants et des formulations minérales en comparaison avec des fertilisants homologués sur La biomasse et l'état

## *Introduction générale*

---

phytosanitaire de la tomate cultivée sous serre. Et pour cela, nous avons essayé de répondre à la problématique suivante :

1. Quel serait l'intérêt de la formulation des produits biologiques ?
2. Quel serait l'effet des apports foliaires des fertilisants sur l'évolution des paramètres morphologiques de la tomate ?
3. Existe-t-il un lien entre les apports des biofertilisants et la stimulation des défenses naturelles des plantes ?
4. Comprendre le rôle de la nutrition dans la santé des plantes.

# **Chapitre I**

## **Nutrition Minérale des Plantes**

## 1. Nutrition Minérale des Plantes

### 1.1 Généralités sur les nutriments minéraux

Les éléments requis pour assurer la croissance et le développement de la plante (encore appelé nutriments) sont considérés comme essentiels. Le caractère essentiel est principalement fondé sur deux critères formulés par Epstein (1972):

- 1) En l'absence de l'élément, la plante est incapable de boucler son cycle de développement,
- 2) L'élément fait parti d'un constituant ou d'un métabolite essentiel.

En général, 17 éléments sont considérés comme essentiels pour la plante Havlin et d'autres chercheurs, (2005) ont séparé ces éléments en deux catégories : les macro-éléments (au nombre de neuf) et les micro-éléments (encore appelé oligoéléments, au nombre de 8), (tableau I). Cette distinction a été établie en fonction des concentrations dans les tissus végétaux. En effet, les macroéléments sont présents à des concentrations supérieures à 10 mmoles par kilo de matière sèche (tableau I). Ils sont le plus souvent impliqués dans la composition des macromolécules (ADN, ARN, protéines etc...), ce qui explique les besoins élevés des plantes.

**Tableau 1** : Eléments essentiels aux plantes supérieures et concentrations internes considérées comme optimales pour une croissance normale (Marschner 1988).

	Elément	Symbole chimique	Forme disponible	Concentration (mmol/kg MS)
	Hydrogène	H	H <sub>2</sub> O	60 000
éléments	Carbone	C	CO <sub>2</sub>	40 000
	Oxygène	O	O <sub>2</sub> CO <sub>2</sub>	30 000
	Azote	N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1 000
	Calcium	Ca	Ca <sup>2+</sup>	125
	Phosphore	P	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	60
	Soufre	S	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	30
éléments	Chlore	Cl	Cl <sup>-</sup>	3,0
	Bore	B	BO <sub>3</sub> <sup>3-</sup>	2,0
	Fer	Fe	Fe <sup>2+</sup> Fe <sup>3+</sup>	2,0
	Manganèse	Mn	Mn <sup>2+</sup>	1,0
	Zinc	Zn	Zn	0,3
	Cuivre	Cu	Cu <sup>2+</sup>	0,1
	Nickel	Ni	Ni <sup>2+</sup>	0,05
	Molybdène	Mo	MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,001

MS : matière sèche



## 1.2. Absorption des nutriments

Les nutriments du sol doivent être acheminés en solution, du sol jusqu'au xylème pour ensuite être distribués à l'ensemble des tissus végétaux. Pour parvenir jusqu'aux vaisseaux conducteurs localisés dans la stèle, ils progressent transversalement et de façon centripète dans la racine. Ce trajet peut être schématisé en trois étapes :

- L'absorption des nutriments se déroule principalement au niveau de la zone pilifère. Les sels minéraux présents dans l'eau peuvent circuler dans les espaces existants entre les cellules épidermiques tout d'abord puis entre les cellules du cortex racinaire. Cette diffusion se fait de manière passive : c'est la voie apoplastique.
- Pour pénétrer dans les cellules, que ce soit les cellules épidermiques, corticales ou encore de l'endoderme (le cadre de Caspari, composé de cellules subérifiées et donc imperméables, forme une barrière à la diffusion apoplastique), les nutriments sont contraints d'utiliser des transporteurs localisés sur les membranes. C'est la voie symplastique.
- Une fois dans les cellules, les plasmodesmes (c'est-à-dire les connections symplastiques entre les cellules) vont permettre aux nutriments de diffuser selon leur gradient de concentration jusqu'au parenchyme xylémien de la stèle. Là, les nutriments sont « chargés » dans le xylème. Ce processus met en jeu des transporteurs qui vont permettre d'accumuler les nutriments dans les vaisseaux conducteurs à l'encontre de leur gradient de concentration. (Hopkins et Evrard 2003).

## 1.3 Eléments minéraux et exigences des plantes

De nombreux facteurs, tels que la lumière, le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), l'eau et les Éléments minéraux, sont nécessaires à la croissance de la plante. L'augmentation de l'un de ces facteurs entraîne une élévation de la croissance et de la production. Cependant, l'augmentation d'une des éléments minéraux peut entraîner la diminution des autres Éléments minéraux et/ou être limitée par le potentiel génétique de la plante. Ainsi, dans le cas des oligo-Éléments et de l'azote, une augmentation excessive dans le sol entraîne une toxicité pour la plante et donc une diminution de la croissance et de la production.

## 1.4 Principaux facteurs de la nutrition minérale :

Les principaux facteurs ayant un impact sur la nutrition minérale des végétaux peuvent se rattacher soit à la plante elle-même, soit aux conditions du milieu (notamment le sol et le climat) et aux conditions culturales (Ader, 2003).

## 1.5 Les facteurs liés à la plante :

### 1.5.1. L'âge des feuilles :

Au cours de la vie de la feuille, sa composition minérale varie considérablement. (Lafon *et al.*, 1965) ont suivi cette évolution par dix prélèvements effectués tous les 15 jours à partir du 30 mai, les résultats des teneurs en éléments minéraux dans les feuilles d'Ugni Blanc montrent qu'il existe un profil d'évolution des éléments minéraux en fonction de la sénescence des feuilles, l'évolution de l'azote, du phosphore et du potassium tend à la baisse au cours du cycle végétatif, elle est régulière et beaucoup plus marquée pour le potassium et l'azote que pour le phosphore. Celle du calcium et du magnésium tend à la hausse avec la sénescence des feuilles, elle est très nette pour le calcium.

### 1.5.2. Interactions entre les éléments nutritifs :

Selon Martin-prével *et al.*, (1984), l'absorption d'un élément minéral ne se fait pas d'une manière totalement indépendante de celle des autres éléments. Le potentiel d'assimilation spécifique d'une espèce végétale et la disponibilité des éléments biofertilisants dans le sol sont perturbés par les interactions. Le cas le plus fréquent est l'antagonisme (une teneur de l'un des éléments trop élevée dans la plante ou le sol peut freiner voir empêcher, l'absorption d'un autre élément) et le synergisme (la présence d'un élément favorise l'absorption de l'autre)

D'après Oluf *et al.*, (1990), la plante est capable jusqu'à un certain point, de contrôler ses prélèvements d'éléments nutritifs. L'équilibre entre les éléments dans la solution du sol influence les prélèvements racinaires.

Du point de vue de la nutrition minérale de la vigne, l'antagonisme entre le potassium et le magnésium revêt une très grande importance. (Levy, 1964 ; Delas et Molot, 1965 ; Delas, 1968).

Selon Delmas (1975) et Boulay (1986), la valeur du rapport K/Mg est relative au diagnostic foliaire de la vigne comme critère pour l'évaluation de l'équilibre nutritionnel de la plante.

D'autres interactions sont signalées : entre le K et le Ca (Fregoni *et al.*, 1972), le K et le Ca+Mg (Gautier, 1980 et Morard *et al.*, 1980), le N et le K (Steineck, 1974, Loué, 1979 et Loué, 1980), le K et le Na (Heimann et Ratner, 1962 et Salama, 2004), le P et le Fe (Delmas, 1975, Kozma *et al.*, 1980) et le P et le Zn (Pommel, 1979).

## **1.6. Les facteurs du milieu :**

### **1.6.1. Influence de la nature du sol :**

Les caractéristiques physico-chimiques du sol influent sur les possibilités d'absorption des éléments nutritifs par les racines. D'après Lévy (1965) le niveau d'absorption du potassium par la vigne dépend beaucoup plus de la texture granulométrique des sols que de leur composition chimique. L'alimentation potassique moyenne augmente considérablement avec la proportion des sables dans le sol. Les phénomènes de carence potassique apparaissent le plus souvent en sols très argileux, même apparemment bien pourvus en potassium échangeable (Lévy, 1964 et Rochaix, 1970). Il en est de même pour le magnésium où l'apport de magnésium en sol sableux entraîne un accroissement notable du taux de magnésium dans les limbes et les pétioles, ainsi que la disparition des symptômes de carence et l'augmentation du rendement (Delas et Molot, 1965).

Le pH du sol influe considérablement sur l'absorption des éléments minéraux. L'augmentation du pH dans le sol se traduit par une diminution des teneurs en azote des feuilles, du potassium et du magnésium (très faible), alors que celle du phosphore reste constante (Fregoni, 1975). Par ailleurs, la disponibilité des éléments minéraux est très perturbée dans les sols alcalins (blocage, formes inassimilables).

La capacité d'échange de cations détermine la quantité de cations que le sol est capable d'adsorber et l'absorption des éléments minéraux par les racines est d'autant plus favorisée que les sols sont convenablement pourvus en matière organique. En plus de son caractère d'indicateur d'évolution du sol, la fertilité physique, chimique et biologique du sol sont améliorées (Delas, 1974, Sebillotte, 1982 et Roby et Van Leeuwen, 2000).

### **1.6.2. Influence du climat :**

L'impact du climat (lumière, température et pluviométrie) est déterminant dans l'alimentation minérale de la plante. Toutes les fonctions physiologiques de la plante sont régulées par les facteurs climatiques (Scheidecker, 1959, Fergoni, 1975, Champ Agnol, 1984, Martin-Prével *et al.*, 1984).

## **1.7. Les conditions culturales :**

### **1.7.1. L'irrigation :**

L'humidité du sol agit également sur la nutrition minérale des plantes (Forestier, 1986).

L'alimentation en eau de la vigne a un rôle prépondérant dans l'absorption de divers éléments minéraux (Huguet, 1977 et Martin-Prével *et al.*, 1984).

### **1.7.2. L'entretien du sol :**

Le mode du travail du sol exerce une influence sur le contenu en éléments minéraux de la feuille. Il en est ainsi de l'enherbement qui exerce une action favorable sur la teneur des feuilles en phosphore et en potassium (Martin-Prével *et al.*, 1984), alors que dans certaines situations, il provoque des effets dépressifs sur la vigne, attribués à une trop forte concurrence pour l'eau ou pour les éléments nutritifs entre l'herbe et la vigne. Pour DELAS (1991), ce mode d'entretien du sol est utile pour limiter une vigueur excessive.

### **1.7.3 La taille :**

Pour Dulac (1964), il est important de réaliser un équilibre alimentaire correct en adaptant la taille à la vigueur de chaque souche.

Toute augmentation de la production entraîne un accroissement des exigences de la plante et provoque un appel supplémentaire d'éléments minéraux. L'augmentation de la charge en fruits d'une souche affaiblit sa vigueur en réduisant son alimentation minérale, réduction qui ne se manifeste pas avec la même intensité. Si l'augmentation de la charge a peu d'influence sur la teneur en azote

Des feuilles, par contre, elle peut entraîner une chute très importante des teneurs en phosphore et en potassium, d'après Lévy *et al.*, (1972) et Eifert (1972).

## 2. Effet de la nutrition de la plante sur la santé végétale

Après l'absorption par les racines, des éléments minéraux sont transférés aux parties diverses de la plante pour l'utilisation dans des fonctions biologiques importantes. Il y a 16 éléments essentiels d'éléments minéraux pour la croissance de plante normale classifié comme l'unes ou l'autre macrosubstance nutritive (hydrogène, le carbone, l'oxygène, l'azote, le potassium, le calcium, le magnésium, le phosphore et le soufre) ou des microsubstances nutritives (le molybdène, cuivre, le zinc, le manganèse, le fer, le bore et le chlore), selon leur concentration relative dans le tissu végétal. Partout dans la vie d'une plante, des éléments minéraux sont exigés pour la croissance et le maintien, cependant, toutes les plantes n'ont pas les mêmes exigences. Par exemple, un arbre de hêtre exige plus de calcium, potassium et le phosphore que la plupart des pins. L'addition d'éléments minéraux par la fertilisation est une pratique culturelle importante cela Contribue à la santé de plante et l'énergie. (Anonyme) (Jeff Iles Department of Horticulture Iowa State University)

La nutrition minérale peut avoir tellement d'effets sur la santé végétale aussi bien sur la croissance que sur le développement des plantes, qu'il est logique de s'attendre également à des répercussions sur la composition des tissus. En outre, les apports en minéraux modifieront d'autant les teneurs de certaines substances si ce sont des constituants directs de ce composé ou s'ils jouent un rôle central dans la synthèse ou le stockage de ce composé (Grusak et DellaPenna, 1999, Crosby, 2008). Les micro comme les macroéléments peuvent modifier la composition en polyphénols

## 3. Notions de Fertilisation

### Introduction

Les troubles de la nutrition semblent être la conséquence de l'absence de fumure ou d'une fumure mal adaptée, parfois de la localisation des apports réalisés trop loin des racines et dans certains cas du manque de l'efficacité des engrais. L'objectif de la fertilisation se résume à fournir à la vigne ce qui lui manque dans un milieu donné, à restituer ce qui a été prélevé par les diverses voies d'exportations et de constituer des réserves dans le sol en vue de maintenir le potentiel agronomique du terroir,

pour bien répondre aux objectifs qualitatifs et quantitatifs des rendements (DELAS, 2000 et REYNIER, 2007).

### **3.1 Fertilisation**

La fertilité est la capacité d'un milieu à produire. Il s'agit d'une notion dépendant d'une part des fonctions productives assignées à ce milieu, et d'autre part des techniques mobilisables pour transformer le milieu et le coût de leur mise en œuvre (Anonyme ),(Ministère des affaires étrangères, 2002).

Cette capacité repose sur un ensemble des propriétés formant les caractéristiques physiques, biologiques et chimiques du sol lui-même, telles sa structure ; Sa profondeur ; Sa teneur en éléments nutritifs, en humus ; Son pouvoir d'absorption et sa teneur en éventuels éléments toxiques.

La fertilisation est l'enrichissement du sol par des engrais et elle a pour buts :

- D'améliorer ou de maintenir les caractéristiques du sol citées ci-dessus, aptes à optimiser l'absorption par les plantes, des éléments nécessaires à leur croissance et au rendement ;
- D'assurer la complémentarité des fournitures nécessaires en provenance du sol

(Falisse et Lambert ,1994).

### **3.2 Fertilité et productivité**

La notion de productivité est très différente de la précédente dans ce sens qu'elle fait intervenir le sol mais également tous les autres facteurs et en particulier le climat et les techniques culturales :

Climat : La sécheresse peut empêcher la manifestation des propriétés intrinsèques du sol ainsi les sols des pays désertiques peuvent ne pas être productifs mais être fertiles.

Techniques culturales : Elles peuvent modifier considérablement la productivité d'un sol sans que la fertilité soit en cause : un retard dans la date de semis du coton, au Nord-Cameroun, peut entraîner une récolte insignifiante. La productivité peut donc être définie par le rendement susceptible d'être obtenu dans des conditions de milieu données.

### 3.3 Etude de la fertilité

Il n'est pas question de vouloir mesurer la fertilité d'un sol car elle représente fonction complexe de nombreuses variables dont la plupart ne sont elles mêmes ni simples ni indépendantes (Demolon, 1954)

Toutefois la fertilité dépend des propriétés du-sol-que lui confère ses constituants physiques, chimiques et biologiques. Chacun de ces derniers constituent donc un facteur de la fertilité.

## 4. La conduite de la fertilisation, facteur de la santé des plantes

### 4.1 Comment la fertilisation agit-elle sur la santé des plantes ?

La fertilisation peut agir à trois niveaux. Tout d'abord, les minéraux absorbés par les racines vont être utilisés directement dans les cellules des tissus végétaux. Par exemple, si l'on apporte une importante dose d'azote à la plante, ses feuilles vont être aussi plus riches en azote, que se soit sous forme minérale ou sous forme de protéines. Ce qui signifie que les champignons pathogènes et les pucerons ont potentiellement un substrat plus riche à leur disposition. La fertilisation peut agir à un deuxième niveau qui est le système naturel de défense de la plante. En effet, la composition de la fertilisation peut influencer la présence dans la plante de certains composés toxiques pour les bios agresseurs, ainsi que le renforcement des parois cellulaires. Enfin, la fertilisation a un effet sur l'architecture de la plante. Une forte fertilisation entraîne une croissance végétative forte, donc un climat plus humide dans la serre qui influe sur le développement des maladies.

## 5. Les défenses naturelles des plantes

### Introduction

L'interaction entre une plante et des microorganismes potentiellement pathogènes est une des constantes de la nature. Le développement d'une maladie n'est possible que si l'agent pathogène parvient à outrepasser les différentes barrières de l'hôte. Cependant, cette situation reste exceptionnelle car le microorganisme est le plus souvent incapable d'infecter la plante en raison de l'existence d'un système de défenses préformées basées sur des polymères hydrophobes de surfaces (Tsuba *et al.*, 2002) ainsi que la production

constitutive de composés antimicrobiens (Papadopoulou *et al.*, 1999). Ce premier niveau de résistance non hôte est associé à des défenses passives. Les autres niveaux de résistance sont caractérisés par la mise en jeu de mécanismes de défenses induites (ou activées). Ceux-ci résultent de la reconnaissance initiale entre la plante et l'agent pathogène qui peut être générale ou spécifique. Il s'ensuit une activation de cascades de signaux conduisant à l'induction des gènes de défense et à la synthèse de plusieurs protéines et autres molécules qui créent un environnement défavorable à l'invasion du parasite. Les signaux émis lors de la défense peuvent s'étendre par la suite aux cellules adjacentes conduisant à une résistance locale acquise (LAR: Local Acquired Resistance) puis gagner l'ensemble de la plante empêchant ainsi d'éventuelles infections secondaires, on parle alors de résistance systémique acquise (SAR: Systemic Acquired Resistance) (Durrant et Dong, 2004).

### **5.1 Stimulation des défenses naturelles (SDN)**

À l'instar du système immunitaire des animaux, les plantes possèdent un ensemble de mécanismes de défense (résistance induite), activé lorsque certaines molécules émises par les bio-agresseurs sont détectées par la plante (Dangl et Jones, 2001 ; Zipfel, 2009). La stimulation des défenses naturelles des végétaux cultivés consiste, selon un principe qui rappelle celui de la vaccination, à activer le système de défense des cultures de sorte qu'elles se trouvent en état de résistance au moment d'une éventuelle agression (Denoux *et al.*, 2008). Par ailleurs, comme la vaccination, cette protection n'est pas infinie dans le cas des plantes, elle s'estompe après environ deux semaines. Les molécules qui induisent cette résistance sont appelées « éliciteurs » ou « stimulateurs des défenses naturelles des plantes » (« SDN » ou « SDP »). Ce sont des molécules qui sont reconnues par les plantes soit comme le signal initial d'une agression, soit comme un signal d'alerte intervenant dans la cascade de signalisation. Le concept de « résistance induite » pour protéger les plantes par les stimulateurs des défenses naturelles (SDN) a été émis en 1975 (Albersheim *et al.*, 1975). Selon leurs natures, certains SDN restent dans le champ du biocontrôle (micro-organismes, substances naturelles) ; d'autres non. Il faut d'ailleurs signaler la présence sur le marché d'un certain nombre de produits revendiquant une action de stimulation des défenses des plantes, mais ne possédant pas d'homologation pour cet usage (de tels produits sont souvent homologués en tant que matières fertilisantes), si bien que leur efficacité n'est pas garantie et que leur usage comme produit phytosanitaire n'est pas autorisé. En pratique, les traitements à l'aide de SDN doivent être utilisés de façon



---

préventive et renouvelés, car leur persistance est limitée. Il arrive de plus que les plantes ne soient pas réceptives au moment du traitement (notamment si elles sont soumises à des stress abiotiques). Au-delà d'une certaine pression parasitaire, un traitement chimique d'appoint en mélange ou dissocié est recommandé.

## 5.2 De la reconnaissance à la défense, les différentes étapes

### I. Les signaux de reconnaissance

#### I.1. La reconnaissance générale non-spécifique d'hôte

La résistance non-spécifique d'hôte est basée sur la reconnaissance d'éliciteurs généraux communs à de nombreux agents pathogènes. Initialement, le terme éliciteur a été utilisé pour décrire les molécules capables d'induire la production des phytoalexines (Keen, 1975), puis il a été étendu à l'ensemble des molécules qui induisent les réactions de défense chez les plantes (Montesano *et al.*, 2003). Ainsi, d'après cette définition, les éliciteurs peuvent avoir une origine microbienne (éliciteurs exogènes : constituant des surfaces, ou molécules sécrétées), ou bien provenir de la dégradation de la paroi cellulaire végétale sous l'action des enzymes hydrolytiques du parasite (éliciteurs endogènes) (Montesano *et al.*, 2003, Garcia-Brugger *et al.*, 2006). Ces éliciteurs appartiennent à plusieurs familles chimiques : protéines, glycoprotéines, glycanes, lipides.

La notion d'éliciteur a ensuite évolué vers celle de PAMP (Pathogen Associated Molecular Pattern) en raison notamment de convergences de résultats entre les travaux réalisés sur l'immunité innée des mammifères et des plantes (Medzhitov et Janeway, 1997, Nürnberger et Brunner, 2002). Le terme PAMPs a été introduit pour décrire des motifs présents dans des molécules d'origine microbienne, capables de déclencher les réactions de défense. De telles molécules sont souvent indispensables à la pathogénicité et à la survie de l'agent pathogène (McGuinness *et al.*, 2003). Les PAMP actuellement connus sont retrouvés dans des molécules polysaccharidiques ou protéiques. Les PAMPs de nature polysaccharidique sont représentés respectivement par les oligomères de  $\beta$ -glucanes communs aux parois végétales et fongiques, les oligomères de chitine ou de chitosan présents dans les parois des champignons et des insectes, et enfin, les oligogalacturonates des parois végétales (Shibuya et Minami, 2001). Plusieurs PAMPs présents dans des composés protéiques ont également été identifiés. Le plus connu d'entre eux est un peptide

---

de 22 acides aminés (flg22) contenu dans la flagelline, protéine majeure constituant le flagelle des bactéries (Zipfel *et al.*, 2004). Cette protéine est reconnue chez les plantes par un récepteur like-kinase (RLK) appelé FLS2 pour flagellin-sensing locus2 (Gomez-Gomez et Boller, 2002). FLS2 est une protéine transmembranaire avec un domaine protéine kinase intracytoplasmique et un domaine LRR extracytoplasmique (Gomez-Gomez et Boller, 2000). La flagelline induit plusieurs réponses cellulaires dont l'alcanilisation du milieu extracellulaire, la production d'éthylène chez la tomate et le riz (Felix *et al.*, 1999; Che *et al.*, 2000), l'activation d'une cascade de MAPK (Mitogen Activated Protein Kinase) (Asai *et al.*, 2002), et finalement l'induction rapide de la transcription de 1100 gènes chez *A. thaliana* (Zipfel *et al.*, 2004). FLS2 fait partie de la famille des PRR (Pattern Recognizing Receptor) de plantes qui comprend actuellement quatre autres récepteurs connus. EFR, un autre récepteur LRR-RLK (Leucine Rich Repeat – Receptor Like Kinase) reconnaît le PAMP bactérien EF-Tu (Zipfel *et al.*, 2006). Deux autres récepteurs sont des RLPs (Receptor Like Protein), il s'agit de LeEix qui reconnaît un domaine de la xylanase fongique ElX (Ron et Avni, 2004), et de CEBiP, récepteur protéique à domaine LysM extracytoplasmique impliqué dans la perception de la chitine chez le riz, (Kaku *et al.*, 2006). Un cinquième RLK de type LysM-RLK a récemment été identifié chez *Arabidopsis*, il a été nommé CERK1 (ou LysM RLK1) et est impliqué dans la perception spécifique et la transduction du signal relative à la reconnaissance d'oligomères de chitine (Miya *et al.*, 2007, Wan *et al.*, 2008). Ces PRRs sont localisés au niveau de la membrane plasmique et sont susceptibles d'activer des cascades de signalisation impliquant des flux de Ca<sup>2+</sup> et des MAPK qui induisent à leur tour des réactions de défense. Ainsi la reconnaissance des PAMPs comme «non soi» par la plante constitue donc le premier niveau d'activation des défenses végétales. Ce mécanisme, caractérisé sous le terme PTI (PAMP Triggered Immunity) correspond aussi à ce que l'on appelle le système d'immunité basal (Jones et Dangl, 2006). Compte tenu de la conservation des motifs reconnus, il confère donc une protection à large spectre non spécifique d'hôtes et d'agents pathogènes.

## **I.2. La reconnaissance spécifique**

Il s'agit du deuxième niveau de reconnaissance des plantes, lorsque les parasites sont capables de franchir la barrière de la reconnaissance non-spécifique. Elle est liée à la détection spécifique de certaines races, appartenant à une espèce de microorganisme pathogène, par certaines variétés, appartenant à une espèce de plante hôte. On doit à Flor la

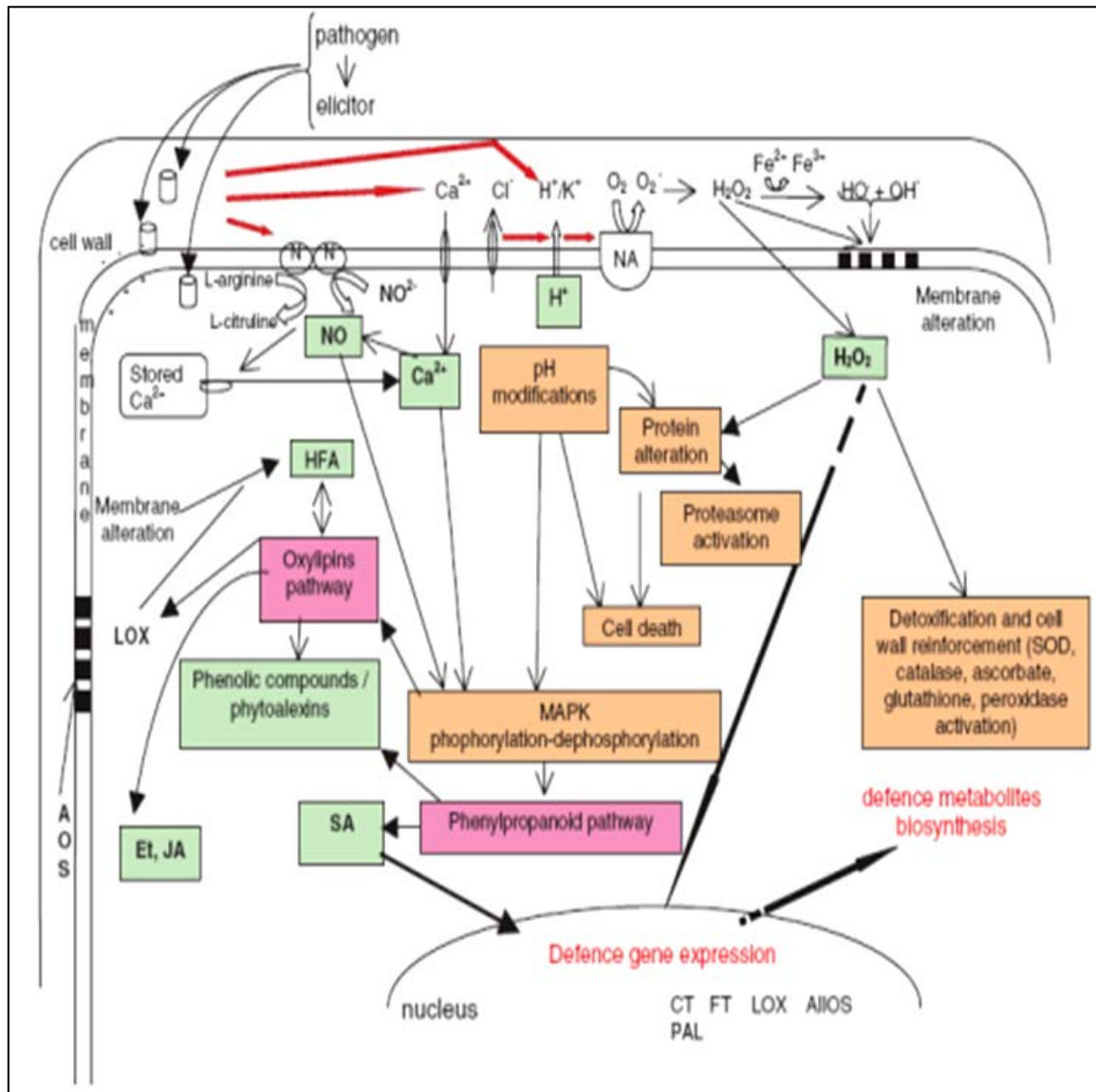
démonstration que la résistance spécifique de race et de cultivar ne dépend en général que d'un seul gène dans chaque partenaire (Flor, 1955). D'où le concept gène-pour-gène selon lequel la présence simultanée et spécifique du produit d'un gène de résistance (R) dans le génome d'une plante et du produit d'un gène d'avirulence (Avr) correspondant dans celui d'un parasite conduit à une résistance spécifique souvent caractérisée par la mort cellulaire programmée des cellules attaquées, aussi appelé réaction hypersensible (HR). L'interaction est alors considérée comme incompatible. Ce phénomène de résistance, basé sur la reconnaissance spécifique d'effecteurs de l'agent pathogène est qualifiée d'ETI (Effector-Trigged Immunity). Dans le cas où le parasite est capable de contourner tous les systèmes de reconnaissance de son hôte, il parvient à se développer et à accomplir son cycle en provoquant la maladie. Cette sensibilité de la plante due aux effecteurs du parasite est qualifiée d'ETS (Effector-Trigged Susceptibility) (Jones et Dangl, 2006) (Fig1).

Interaction types	NON-HOST	HOST	
		INCOMPATIBLE	COMPATIBLE
Plant	Immune	Resistant	Susceptible
Pathogen	MAMPs detection - avirulent	Avr effector recognized - avirulent	Effectors / toxins interact with specific host targets - virulent
Plant defences	Prefomed structural or biochemical Activation of innate immunity	Basal defence and R protein mediated activation of plant defence with cross-talk	Basal defences only
Outcome	No disease - species incompatibility	No / highly reduced disease levels Gene-for-gene mediated resistance	Disease – prolific pathogen replication and dissemination

**Figure 1-** Illustration des différents types d'interactions plante- parasite relié aux déterminants de la reconnaissance du parasite et à la nature des défenses mise en jeu pour chacune d'entre elles. (Hammond kosack et Kanyuka, 2007).

## II. La signalisation conduisant à la défense

La reconnaissance entre la plante et un microorganisme médiée par les gènes de résistance et par la perception des PAMPs conduit à l'activation d'une cascade de signaux aboutissant à la mise en place d'un réseau complexe de mécanismes de défense et, dans le cas d'interactions spécifiques, au déclenchement de la réaction HR. La découverte de nouveaux gènes et l'analyse d'une batterie de mutants ont permis de déchiffrer en partie la transduction des signaux de reconnaissance impliquant des flux ioniques, des espèces activées de l'oxygène, des protéines, et des signaux hormonaux (Figure 2).



**Figure 2** – Illustration schématique des réactions de défense induites lors d’interactions plante/agent pathogène ou éliciteur/plante (Desender *et al.*, 2007)

La reconnaissance d’éliciteurs issus d’agent pathogènes induit la production de molécules signaux (rectangles verts), qui activent à leurs tours les voies de défense (rectangles roses) ou métabolismes cellulaires (rectangle oranges). **NO** : nitric oxide ; **HFA** : hydroxy fatty acid ; **SA** : salicylic acid ; **CT**: coumaroyl tyramine ; **FT** : feruloyl tyramine ; **LOX**: lipoxygenase ; **ALLOS** : allene oxide synthase ; **ET** : ethylene ; **P** : perception.

### II.1. Les espèces activées de l'oxygène (ROS)

Au cours de leur processus de développement normal, les plantes génèrent constamment des espèces réactives de l'oxygène (ROS, Reactive Oxygen Species). Les formes les plus représentées sont le peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), issu de son précurseur l'anion superoxyde (O<sub>2</sub><sup>•-</sup>), et le radical hydroxyle (HO<sup>•</sup>). L'O<sub>2</sub><sup>•-</sup> est relativement instable et peut être dismuté en H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> spontanément à pH acide ou enzymatiquement par l'intermédiaire de la superoxide dismutase (SOD) (Fridovich, 1986). En présence de fer, O<sub>2</sub><sup>•-</sup> et H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> peuvent donner naissance au très réactif HO<sup>•</sup> (Apel et Hirt, 2004; Mori et Schroeder, 2004). Ces molécules proviennent des éléments cellulaires les plus en contact avec l'oxygène comme la chaîne de transport des électrons dans les mitochondries et les chloroplastes, et les oxydases membranaires. Suite à l'attaque d'agents pathogènes, la quantité de ROS augmente de manière rapide et localisée au niveau du site d'infection, phénomène communément appelé «stress oxydant» (Stulemeijer et Joosten, 2008).

### II.2. La phosphorylation ou voie des MAP kinases

La cascade des MAPKs (Mitogen-Activated Protein Kinase) constitue un système de transmission des signaux particulièrement conservé chez les eucaryotes en réponse à différents stress environnementaux (Asai *et al.*, 2002). Chez les végétaux, les MAPKs sont capables de moduler l'expression des gènes conduisant à la défense (Nakagami *et al.*, 2005).

Chez le tabac, elles activent l'expression de la phénylalanine ammonialyase (PAL) en réponse à un traitement par des éliciteurs via la phosphorylation de facteurs de transcription (Zhang *et al.*, 1998). Chez *Arabidopsis*, la MAP-kinase 4 inhibe PAD4 et EDS1, ce qui bloque la voie de l'acide salicylique et libère celle de l'acide jasmonique et de l'éthylène (Peter Brodersen, 2006).

Les CDPK (Calcium-Dependent Protein Kinases), un autre type de protéines kinases, sont spécifiques des plantes et des protozoaires et sont directement associées à la transduction des signaux médiés par les gènes R, ainsi que cela a été démontré chez la tomate et les cellules de tabacs exprimant le gène Cf9 (Romeis, 2001). La perte de fonction d'ACIK1 (Avr9/Cf-9 Induced Kinase 1) abolit complètement la HR suggérant le rôle important de cette protéine dans la mise en place de cette réaction (Rowland *et al.*, 2005).

Des travaux révèlent également que les MAPKs régulent l'immunité innée chez les plantes. Une cascade MAP-Kinase complète a été activée dans les cellules d'*A. thaliana* suite à la reconnaissance de la flagelline par le récepteur FLS2, elle confère à la plante la résistance vis-à-vis des bactéries et champignons pathogènes (Asai *et al.*, 2002).

### II.3. Les hormones et autres molécules signaux de la défense

#### II.3.1. Les hormones

La plupart des hormones connues sont des molécules signaux intervenant dans les interactions plantes-agents pathogènes (Spoel et Dong, 2008, Bari et Jones, 2009). Néanmoins, trois d'entre elles, l'acide salicylique, l'acide jasmonique et l'éthylène, ont un rôle prépondérant dans l'induction des réponses de défense.

L'acide salicylique (SA) est un composé dérivé d'acide phénolique qui s'accumule non seulement dans les feuilles infectées par un agent pathogène mais aussi dans les tissus adjacents. Il induit l'expression de gènes de défense associés à la LAR (Local Acquired Resistance) et à la SAR (Systemic Acquired Resistance). Le SA induit l'expression des gènes PR codant notamment des glucanases, chitinases et peroxydases (Ryals *et al.*, 1996), y compris dans les parties des plantes éloignées du site d'infection, rendant celles-ci plus résistantes vis-à-vis d'un large spectre d'agents pathogènes (Loake et Grant, 2007).

L'acide jasmonique (JA) est un dérivé de l'acide linoléique. Le JA est important dans les étapes de développement ainsi que dans la mise en place de réponses de défense. Sa synthèse requiert l'action de plusieurs enzymes : phospholipase, lipoxygénase (LOX), allène oxyde synthase (AOS) et allène oxyde cyclase (AOC). Elles sont rapidement induites en réponse aux éliciteurs (Rickauer *et al.*, 1997) et jouent un rôle clé dans l'expression des gènes de défense,

Entraînant notamment la production de phytoalexines (Kauss *et al.*, 1992, Rancé *et al.*, 1998) et des inhibiteurs de protéases (Farmer et Ryan, 1990). Le JA peut aussi être métabolisé en un composé volatile, le méthyljasmonate (MeJA), molécule diffusible importante dans les communications intra- et inter-plantes.

Entraînant notamment la production de phytoalexines (Kauss *et al.*, 1992; Rancé *et al.*, 1998) et des inhibiteurs de protéases (Farmer et Ryan, 1990). Le JA peut aussi être

---

métabolisé en un composé volatile, le méthyljasmonate (MeJA), molécule diffusible importante dans les communications intra- et inter-plantes.

### **II.3.2. Les interconnexions entre les différentes voies**

Les réponses de défense sont modulées par des interconnexions complexes entre les différentes voies de signalisation. Elles impliquent essentiellement le SA, le JA et l'ET (Kunkel et Brooks, 2002; Gazzarrini et McCourt, 2003, Bari et Jones, 2009). Ces trois molécules signal interviennent dans deux voies majeures qui ne fonctionnent pas indépendamment mais s'influencent l'une l'autre : la voie dépendante de SA et la voie indépendante de SA qui implique le JA et l'ET. En effet, ces trois signaux peuvent interagir de façon synergique (Rojo *et al.*, 2003) ou antagoniste (Kunkel et Brooks, 2002). Ainsi, le JA et l'ET activent les mêmes gènes de défense PR3, PR4 et PDF1.2 (Xu *et al.*, 1994), (Penninckx *et al.*, 1998) et sont impliquées dans la résistance contre les mêmes agents pathogènes nécrotrophes. L'antagonisme entre SA et JA-ET implique plutôt la résistance aux agents pathogènes biotrophes (Rojo *et al.*, 2003, Glazebrook, 2005, Bari et Jones, 2009).

### **II.3.3. L'oxyde nitrique (NO)**

Le NO stimule l'activation des gènes de défense tels que la PAL, les protéines PRs et plusieurs protéines intervenant dans le métabolisme secondaire (Klessig *et al.*, 2000, Polverari *et al.*, 2003, Parani *et al.*, 2004). Les études faites sur l'implication du NO dans la HR chez *A. thaliana* et *Avena sativa* suggèrent qu'il ne constitue pas un médiateur essentiel dans cette réaction de défense (Zhang et Klessig, 1998, Tada *et al.*, 2004) même s'il est désormais évident que le NO joue un rôle de signal intracellulaire chez les plantes en réponse aux agents pathogènes et aux éliciteurs (Hong *et al.*, 2008).

### **II.4. Les facteurs de transcription**

L'ensemble des cascades de signalisation conduit à l'induction de facteurs de transcription qui eux-mêmes vont induire les gènes de défense. La plupart des classes de facteurs de transcription (FT) sont impliqués dans la défense, telles les classes AP2/ERF, MYBs, les FT avec des domaines doigts de zing, ou encore les WRKY (Liu *et al.*, 2004) (Eulgem, 2005). La régulation des facteurs de transcription est extrêmement complexe du fait de leur nombre et de leurs rôles pléiotropiques (AbuQamar *et al.*, 2006). Les plus



étudiés sont ceux de la superfamille des WRKY qui sont au nombre de 73 chez *Arabidopsis* (Eulgem et Somssich, 2007). WRKY3 et WRKY4 ont un rôle positif dans la résistance aux agents pathogènes nécrotrophes et WRKY4 à un rôle négatif sur la résistance aux biotrophes (Lai *et al.*, 2008), WRKY25 fonctionne comme un régulateur négatif de la défense médiée par l'acide salicylique en réponse à *Pseudomonas syringae* (Zheng *et al.*, 2007). Le gène RRS-1 représente un cas particulier chez *Arabidopsis* puisqu'il porte à son extrémité C-terminale un domaine WRKY associé à une séquence de localisation nucléaire, permettant probablement à cette protéine de jouer le double rôle de protéine de résistance et de facteur de transcription (Lahaye, 2002, Deslandes *et al.*, 2003).

### III. Les réponses de défense

#### III.1. La constitution des barrières physiques

Le renforcement des parois des cellules végétales constitue une barrière efficace pour lutter contre l'invasion d'un agent pathogène. Il peut résulter de la création de nouvelles matrices pariétales telles que la formation de papilles, ou de l'accumulation et le renforcement des polymères déjà existants dans la paroi que sont les glycoprotéines riches en hydroxyproline (HRGP), et la lignine (Esquerré-Tugayé *et al.*, 1979, Boudart *et al.*, 1995).

##### III.1.1. Les dépôts de callose

La paroi des cellules végétales constitue une barrière physique à la pénétration des agresseurs. Cependant, de nombreux champignons pathogènes développent une structure leur permettant d'adhérer aux surfaces cellulaires de l'hôte, l'appressorium, puis de les traverser par pression mécanique ou hydrolyse enzymatique. La détection précoce de l'agent pathogène, à la surface de la cellule végétale par des mécanismes à la fois chimiques et physiques, active des callose synthases enchâssées dans la membrane plasmique et induit une réorganisation de l'ensemble du cytosquelette. Les organites impliqués dans la production, la maturation et le transport des effecteurs de la défense (Reticulum Endoplasmique, Golgi, peroxyosomes) se concentrent au voisinage du point de pénétration de l'agent pathogène. Ainsi, la proximité entre les organites et le point d'infection, associée à la forte densité du réseau de filaments d'actine dans cette zone, permet un trafic vésiculaire intense et ordonné par des syntaxines de type t-SNARE. Ce trafic aboutit à la libération d'une grande variété de composés antimicrobiens hors du

plasmalemmes, lesquels sont séquestrés dans le dépôt de callose jouant un rôle de matrice (Hardham *et al.*, 2007). L'accumulation de ces molécules sous le point de pénétration du parasite conduit à la formation d'une papille dans des invaginations du plasmalemme, bloquant ainsi sa progression. Les papilles sont souvent associées à la résistance à des champignons phytopathogènes comme cela a été montré notamment chez le haricot vis-à-vis de *Colletotrichum lindemuthianum* (O'Connell *et al.*, 1990) ou chez *Arabidopsis thaliana* vis-à-vis de *Colletotrichum higginsianum* (O'Connell *et al.*, 2004).

### III.1.2. Accumulation d'HRGP et de polymères pariétaux

L'accumulation de glycoprotéines riches en hydroxyproline (HRGP), d'abord décrite chez le melon en réponse à l'inoculation par *Colletotrichum lagenarium* (Esquerré-Tugayé, 1973), est une réaction de défense rencontrée dans de nombreux pathosystèmes (Esquerré-Tugayé *et al.*, 1979; Mazau et Esquerré-Tugayé, 1986; Esquerré-Tugayé, 2006). L'induction simultanée de peroxydases pariétales permettrait de ponter les HRGPs entre elles et/ou à d'autres constituants, renforçant ainsi le réseau pariétal. Dans ce cadre, les ROS jouent un rôle, car le peroxyde d'hydrogène H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> est le co-substrat des peroxydases.

La voie de synthèse des phénylpropanoïdes est également induite et génère différents composés dont la lignine et des acides phénoliques tels que les acides hydroxybenzoïques et hydroxycinnaminiques (Mellersh *et al.*, 2002). Ainsi, le renforcement des parois par l'accumulation d'HRGPs et de composés phénoliques conduit à une meilleure résistance à la pression mécanique et à la dégradation enzymatique par les parasites (Bradley *et al.*, 1992; De Gara *et al.*, 2003, Torres *et al.*, 2006).

## III.2. La synthèse de composés antimicrobiens

### III.2.1. Les dépôts de callose

Le dépôt de callose est tout autant une barrière mécanique à la pénétration qu'une matrice chargée d'accumuler des effecteurs antimicrobiens à proximité du point d'attaque du champignon. C'est la composition en molécules antimicrobiennes du complexe callose-composés antimicrobiens qui peut déjouer les systèmes d'attaque du champignon et bloquer les systèmes d'inhibition de la défense de la plante, assurant du même coup la résistance (Hardham *et al.*, 2007).

### III.2.2. Les ROS

Outre leurs implications dans les mécanismes de transduction des signaux (Stulemeijer et Joosten, 2008), les ROS peuvent agir directement en tant que composés toxiques sur l'agent pathogène (Peng et Kuc, 1992). La présence simultanée de  $O_2 \bullet^-$  et  $H_2O_2$ , ainsi que la réaction de  $H_2O_2$  avec des métaux de transition donne naissance au radical le plus toxique HO. Dont l'effet est très néfaste sur les biomolécules ainsi que sur les agents pathogènes (Mayer *et al.*, 2001).

### III.2.3. Les protéines PR

L'accumulation des protéines PR en réponse à différents stress biotiques ou abiotiques, est décrite chez de nombreuses plantes. Lors d'une interaction incompatible, elles sont induites très rapidement et à un niveau plus élevé que dans une interaction compatible. Ce sont des protéines intra- ou extracellulaires, réparties en 17 classes selon leur séquence en acides aminés ou leur activité biologique (Van Loon, 1999; Sels *et al.*, 2008). La classe des PR-1 est clairement associée à la défense, comme le montre l'augmentation de la tolérance face aux oomycètes chez le tabac surexprimant PR1 (Alexander *et al.*, 1993). Certaines protéines PR sont des hydrolases, telles que les chitinases PR-3, PR-4, PR-8 et PR-11 (Legrand *et al.*, 1987, Ponstein *et al.*, 1994; Brunner *et al.*, 1998) et les glucanases PR-2 (Kauffmann *et al.*, 1987), capables de dégrader directement les parois des champignons et des bactéries. Les PR-5 sont des protéines de petit poids moléculaire, induites par divers agents pathogènes, et présentant des propriétés antifongiques (Vigers *et al.*, 1991). Les plantes luttent contre les protéases et les polygalacturonases sécrétées par les agents pathogènes en synthétisant des inhibiteurs de protéases (PR-6) (Ryan, 1990) et de polygaracturonase (Cervone *et al.*, 1989). La classe des PR-7 représente des protéases dont le rôle effectif dans la défense n'a pas été caractérisé contrairement aux PR-10 structurellement proches des ribonucléases (Kombrink et Somssich, 1995). Les gènes codant les PR-10 sont fortement induits chez les Légumineuses en réponse à *C. trifolii* ou *E. Pisi* (Torregrosa *et al.*, 2004, Foster-Hartnett *et al.*, 2005, FosterHartnett *et al.*, 2007; Samac *et al.*, 2007). Les PR-9 sont des peroxydases  $H_2O_2$ -dépendantes dont le rôle est de renforcer la paroi végétale (Fritig *et al.*, 1998). La classe des PR-12, appelées également défensines, inhibe la croissance fongique en perméabilisant la membrane des champignons (Thevisen *et al.*, 1999). Un rôle identique a été attribué aux PR-13, appelées thionines. La famille des PR-14 comporte des protéines

non spécifiques transportant les lipides ou LTP (Yeats et Rose, 2008). Récemment deux autres classes ont été ajoutées PR15 et PR16 qui comportent des protéines germinine et germinine-like (Edreva, 2005). La PR16 a été isolée à partir du piment en situation de résistance à des infections bactériennes et virales (Park *et al.*, 2004). Identifié sur des cellules de tomate, PR-17 est de fonction inconnue (Okushima *et al.*, 2000).

#### III.2.4. Les phytoalexines

Les phytoalexines sont des métabolites secondaires, de faible poids moléculaire, à activité antimicrobienne (Goy *et al.*, 1993, Ferrer *et al.*, 2008). Elles se déposent rapidement autour du site d'infection, ainsi qu'en réponse à des éliciteurs (Dixon *et al.*, 2002). Leur production entraîne une réduction du développement de l'agent pathogène et de la sévérité des symptômes (Hammerschmidt, 1999). Chez *A. thaliana*, le mutant pad3 (Phytoalexine Deficient) incapable de synthétiser la phytoalexine camalexine, montre une sensibilité à *Alternaria brassicicola* (Thomma *et al.*, 1999). L'expression constitutive d'un gène codant la synthèse de la phytoalexine resvératrol chez le tabac et la luzerne pérenne (*M. sativa*) a conduit à une réduction importante des symptômes d'attaque de *Botrytis cinerea* sur le tabac (Hain *et al.*, 1993) et de *Phoma medicaginis* sur la luzerne (Hipskind et Paiva, 2000). Chez les Légumineuses, et notamment *M. truncatula*, elles sont issues de la voie des isoflavonoïdes et des phénylpropanoïdes (Dixon *et al.*, 2002) et sont produites en réponse à l'attaque d'agents pathogènes (Torregrosa *et al.*, 2004; Foster-Hartnett *et al.*, 2007, Kamphuis *et al.*, 2008) ou lors de traitement avec des éliciteurs (Naoumkina *et al.*, 2007, Farag *et al.*, 2008). La médicarpine, principale phytoalexine de la luzerne, a été associée à des réponses de défense contre *Colletotrichum trifolii* (O'Neill et Bauchan, 1998) et *Phoma medicaginis* (O'Neill *et al.*, 2003).

# **Chapitre II**

## **Matériel et méthodes**

## CHAPITRE II : Matériel et méthodes

### Introduction

Actuellement l'agriculture algérienne ne consomme que 100 000 tonnes d'éléments biofertilisants environ par an alors que, selon la moyenne mondiale, la consommation devrait se situer à 850 000 tonnes par an (ASMIDAL, 2004).

Pendant les deux dernières décennies, une attention croissante a été prêté aux effets défavorables pour l'environnement de la sous-utilisation et de l'utilisation excédentaire des éléments nutritifs des cultures. L'utilisation efficace des éléments nutritifs des plantes, que ce soit à partir des engrais minéraux ou d'autres sources, implique une responsabilité partagée de beaucoup de segments de la société. L'utilisation d'engrais n'est pas une fin en soi. C'est plutôt un moyen d'augmenter la production de nourriture et de fibre. L'augmentation de la production agricole et de la disponibilité de nourriture peut, par contre, être vue comme objectif pour le secteur agricole

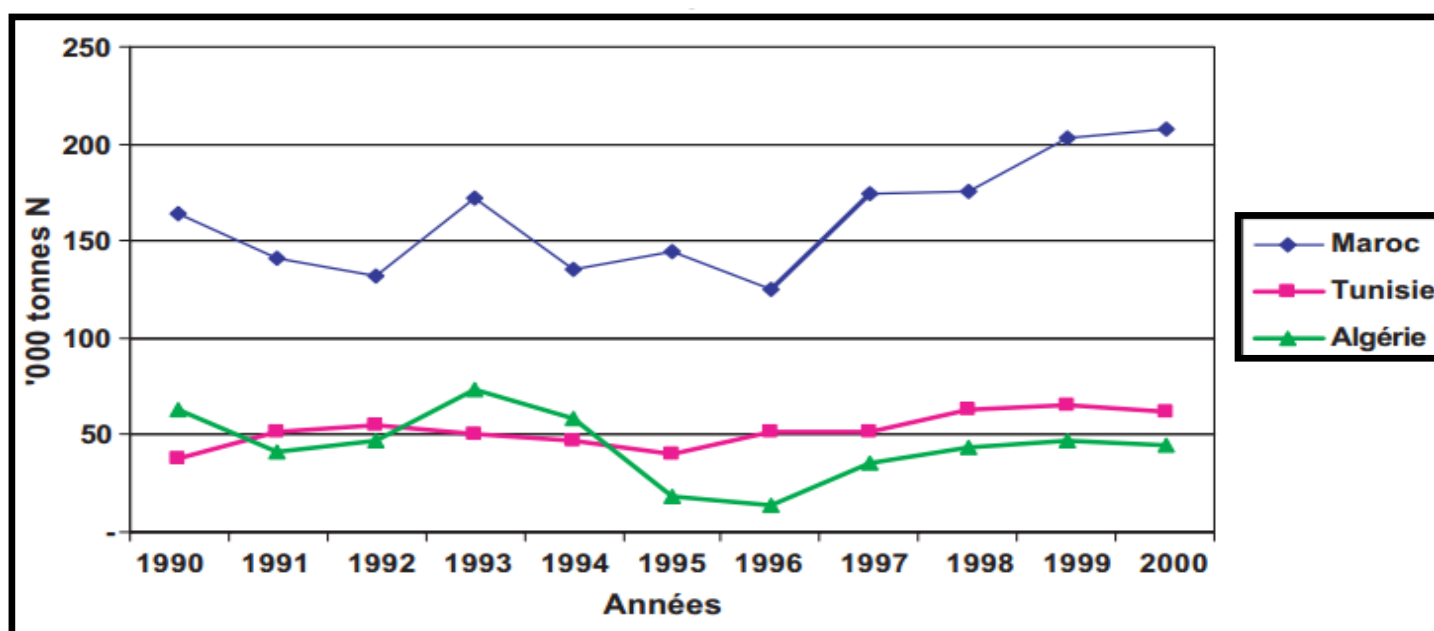
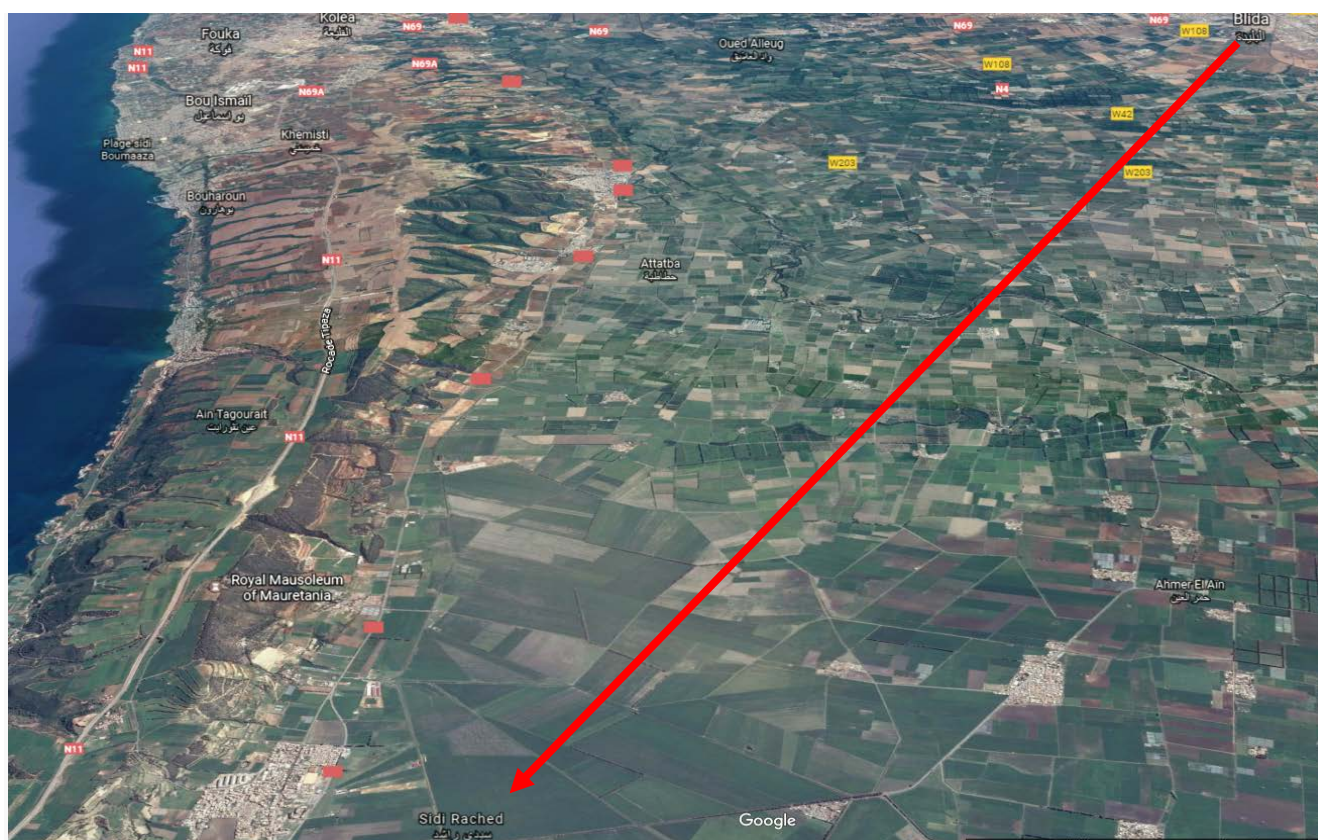


Figure 03 : Tendence de l'utilisation des engrais en Afrique de Nord (1990-2000)

## 1. Présentation de la région d'étude

### 1.1. Situation géographique

Notre expérimentation a été effectuée dans une serre privée cultivé par tomate, au niveau de la commune de Sidi Rached daïra d'Ahmar El Aïn, Le territoire de la commune de Sidi Rached est situé à l'est de la wilaya de Tipaza, à environ 15 km au sud-est de Tipaza. La superficie totale de la commune est de 56.17 km<sup>2</sup>



**Figure 04:** Localisation géographique de la commune de Sidi Rached

(Source support : Google Earth, 2017)

La commune est traversée par la RN67 qui ceinture la Mitidja par le nord ainsi que par quatre chemins de wilayas qui permettent de rejoindre Ain Tagourait, Tipaza, Hadjout et Ahmar El Ain.





**Figure 05** : présentation de site d'étude

(Source support : Google Earth, 2017)

## 1.2. Bioclimat de la région d'étude

Le climat de Tipaza est chaud et tempéré. L'hiver à Tipaza se caractérise par des précipitations bien plus importantes qu'en été. D'après Köppen et Geiger, le climat y est classé Csa. La température moyenne annuelle à Tipaza est de 18.5 °C. Les précipitations annuelles moyennes sont de 631 mm. Avec 2 mm, le mois de Juillet est le plus sec. En Décembre, les précipitations sont les plus importantes de l'année avec une moyenne de 113 mm. 26.6 °C font du mois d'Aout le plus chaud de l'année. Janvier est le mois le plus froid de l'année. La température moyenne est de 11.7 °C à cette période. Entre le plus sec et le plus humide des mois, l'amplitude des précipitations est de 111 mm. La température moyenne au court de l'année varie de 14.9 °C.

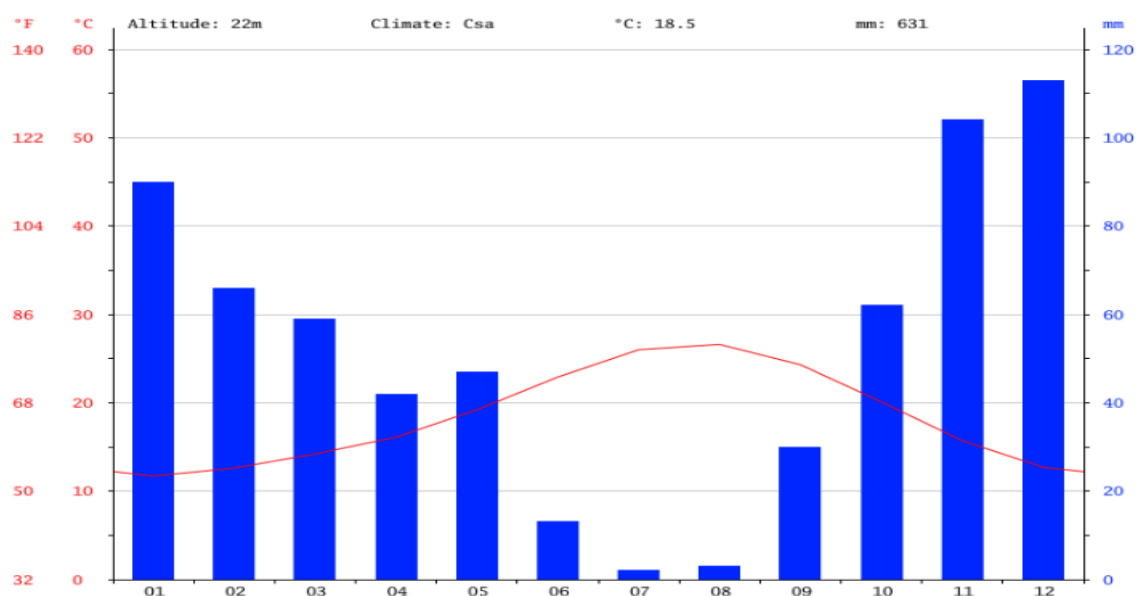
Les températures mensuelles et précipitation enregistrées durant l'année précédente de la période de l'expérimentation dans la région de Tipaza sont notées dans le tableau 02.



Moi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Mm	90	66	59	42	42	13	2	3	30	62	104	113
C°	11,7	12,6	14,6	16,1	19,2	22,9	26,0	26,6	24,3	20,3	15,7	12,7
C°(min)	8,4	9,0	10,5	12,6	15,1	18,8	21,8	22,5	20,6	16,4	12,1	9,5
C°(max)	15,1	16,2	17,9	19,7	23,3	27,0	30,2	30,8	28,1	23,9	19,3	16,0
F°	53,1	54,7	57,6	61,0	66,6	73,2	78,8	79,9	75,7	68,2	60,3	54,9
F°(min)	47,1	48,2	50,9	54,7	59,2	65,8	71,2	72,5	69,1	61,5	53,8	49,1
F°(max)	59,2	61,2	64,2	67,5	73,9	80,6	86,4	87,4	82,6	75,0	66,7	60,8

**Tableau 2** : Températures mensuelles moyennes et précipitation enregistrées à Tipaza durant l'année (2015)

L'analyse des températures de la région de Tipaza, fait ressortir que les températures minimas sont enregistrées aux mois de janvier et février. Les températures maximas sont notées durant les mois de juillet et août. À partir du mois du février les températures augmentent et atteint le maximum au mois d'aout, et à partir de ce mois. Les données enregistrées durant l'année (2015) nous révèlent que la température moyenne la plus élevée a été observée au mois Aout (26,6C) de l'année 2015 et la température moyenne la plus basse a été enregistrée au mois de février (11,7°C).



**Figure 06** : Diagramme climatique Tipaza

## 2. Présentation du site d'étude et conditions expérimentales

Notre expérimentation a été réalisée dans la période entre le 24/04/2017 et le 25/05/2017. Le dispositif a été conduit sous tunnel à couverture plastique (8mx50m). Durant toute la période d'expérimentation, l'enceinte expérimentale enregistrait une température oscillant entre 28 et 30°C avec une humidité relative de l'air de 70 à 85% (Figure 07).



Figure 7 : Implantation de la serre tunnel expérimentale

## 3. Matériel biologique

### 3.1. Obtention des plantules de tomate

Sous serre, les graines de tomate (*Solanum lycopersicum*) ont été semées directement dans le sol. Selon les objectifs fixés, deux (02) parcelles élémentaires de 400m<sup>2</sup> ont été délimitées, chaque parcelle est divisée aussi en six (06) lignes. Le dispositif est irrigué régulièrement selon les besoins de la culture (Figure 8).



Figure8 : Semis et obtention des plantules de tomate.

### **3.2. Obtention des populations de la tomate**

Les graines des tomates ont été semées dans des plaques rectangulaires divisées sous forme des petits carrés .Le semi de ces dernières a été fait au stade de deux feuilles

### **3.3. Obtention des produits de traitement**

Produits homologué et produits testé sont des biofertilisants minérales avec des composantes différentes



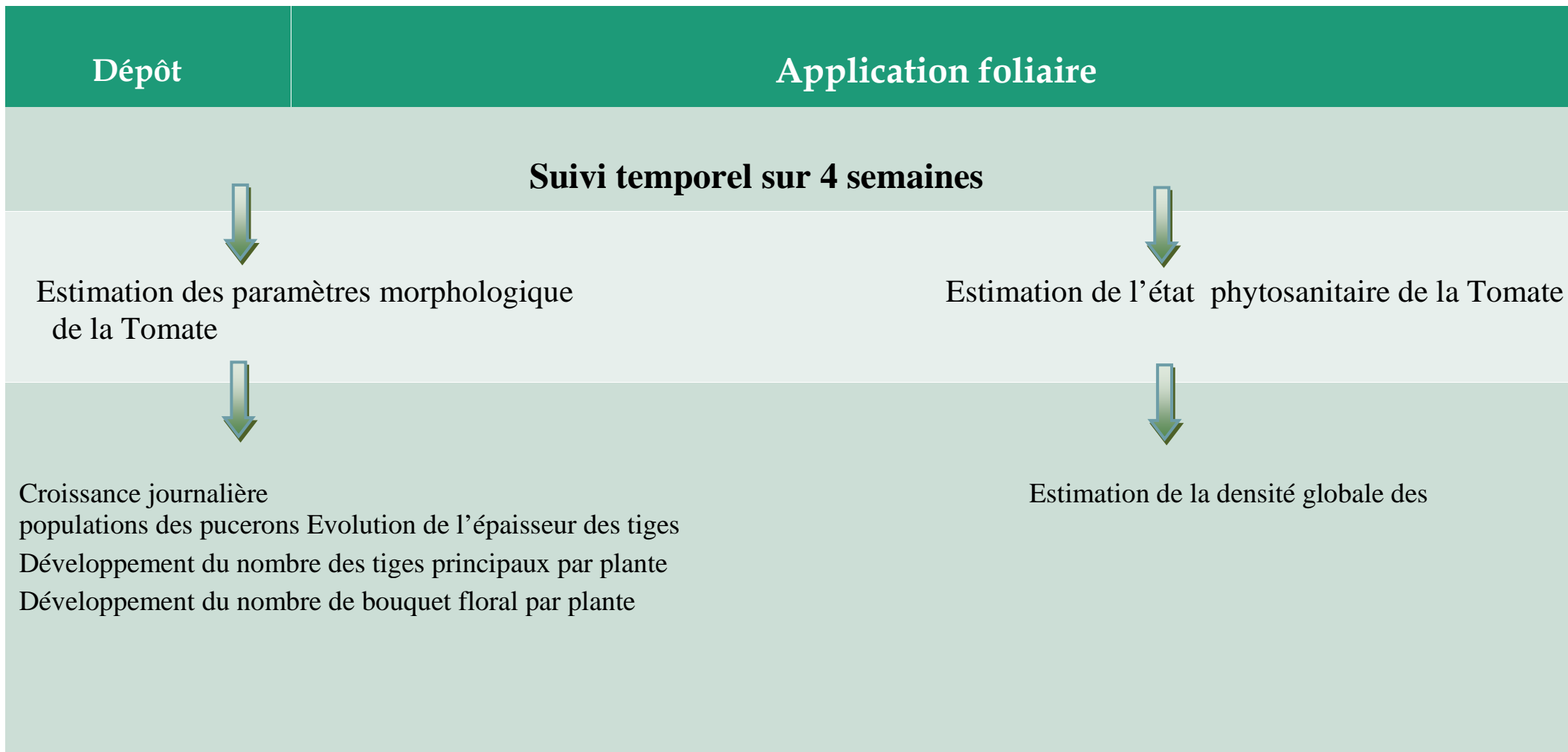


Figure 9: Schéma directeur de l'effet comparé des traitements biofertilisants sur les paramètres morphologiques et l'état phytosanitaire de la tomate

#### 4.1. Estimation des paramètres morphologiques des plantes de la tomate

- *Estimation de la croissance journalière des plantes de la tomate*, la longueur de chaque plant a été mesurée chaque jour durant les quatre semaines de l'étude au niveau des différentes parcelles élémentaires.

La croissance journalière est estimée par la formule suivante :

$$CJ=100*(Lf-Li)/Li/Tj$$

Avec :

Lf : longueur final

Li : longueur initial

Tj : temps journalière d'expérience au cours de traitement

- *Estimation de l'évolution de l'épaisseur des tiges*, mesurée une fois par semaine à l'aide d'un pied à coulisse.

- *Estimation du développement du nombre des tiges principales par plante*. A partir de la deuxième semaine d'application, nous avons constaté l'évolution du développement des tiges principales (tallage).

- *Estimation du développement du nombre de bouquet floral par plante* : Au cours de notre expérimentation, on a estimé le nombre de bouquet floral pour chaque tige par plant. La moyenne des bouquets évoluant au niveau de chaque tige est prise en considération.

#### 4.2. Estimation de l'état phytosanitaire des plantes de la tomate

- *Estimation de la densité des formes biologiques d'Aphis fabae* : chaque semaine, quatre tiges de 20 cm de long sont prélevées de chaque parcelle élémentaire dont le nombre de pucerons de différentes formes biologiques sera estimé. Nous avons estimé le nombre des larves, des males aptères et ailés ainsi que le nombre des femelles ailées et aptères.

- *Estimation de l'évolution des maladies cryptogamiques sur les feuilles des plantes* : Trois maladies cryptogamiques très répandues dans la culture de la tomate ont été suivies : il s'agit de la « Fumagine », « l'Anthracnose » et les « Taches chocolat ». Une fois par semaine, nous avons comptabilisé le nombre de feuilles atteints sur les plantes au niveau des différentes parcelles élémentaires.

## 5. Analyses statistiques

### 5.1. Analyses de variance (SYSTAT vers. 12, SPSS 2009)

Lorsque le problème consiste à savoir si la moyenne d'une variable quantitative varie significativement selon les conditions (période, matière active, dose), nous avons eu recours à une analyse de variance (ANOVA pour *Analysis Of Variance*) qui permet de vérifier la signification de la variable d'intérêt entre toutes les combinaisons des modalités, dans les conditions paramétriques si la distribution de la variable quantitative est normale.

Dans les cas où plusieurs facteurs sont en jeu, il peut arriver que toutes les interactions entre facteurs ne soient pas pertinentes à tester. Nous avons alors utilisé le modèle linéaire global (G.L.M.). Par exemple, si on désire connaître l'effet des facteurs A, B et C et seulement l'interaction entre A et C, il suffit de sélectionner explicitement ces trois (3) catégories.

### 5.2. Analyse multivariée (PAST vers. 1.37)

Dans le cas de variables quantitatives, les relations multivariées sont étudiées à l'aide d'une analyse en composantes principales (A.C.P.). Ainsi, nous avons analysé globalement les variables qui sont corrélées entre elles (paramètres morphologiques et état phytosanitaire de la fève). A partir des coordonnées des variables et facteurs dans les trois premiers axes de l'analyse en composantes principales, une classification ascendante et hiérarchique est réalisée dans le but de détecter les groupes corrélés à partir des mesures de similarité calculées à travers des distances euclidiennes entre les coordonnées des variables quantitatives étudiées.

# **Chapitre III**

## **Résultats et discussion**

---

## CHAPITRE III : Résultats

Les résultats relatifs à l'effet du fertilisant homologué en comparaison avec un produits testé, sur l'état phytosanitaire et sur les paramètres morphologiques de la tomate, sont présentés dans ce chapitre.

### **1. Effet temporelle des traitements sur les paramètres morphologiques de la tomate**

La figure 15 présente l'évolution temporelle des paramètres morphologiques des plantes de la tomate sous l'effet du fertilisant homologué avec un produits testé.

#### **1.1. Evolution temporelle de la croissance journalière de la tomate**

L'évolution temporelle de la croissance journalière de la tomate sous l'effet des traitements du produit testé présente une valeur importante par rapport au produit homologué.

#### **1.2. Evolution temporelle de la croissance de l'épaisseur des tiges de la tomate**

L'évolution temporelle de l'épaisseur des tiges de la tomate sous l'effet des différents traitements présente une faible augmentation pour le produit homologue par rapport au produit testé qui dépasse les 04 cm par contre pour le produit homologué qui allant juste qu'à 02 cm en fonctions du temps.

#### **1.3. Evolution temporelle du développement du nombre des tiges principales de la tomate**

L'évolution temporelle du développement du nombre des tiges principales révèle une capacité de production très visible dès le 16 ème jour pour le produit testé par rapport au produit homologué.

#### **1.4. Evolution temporelle du développement du nombre de bouquets floraux de la tomate**

L'évolution temporelle de développement du nombre de bouquets florale sous l'effet des différents traitements présente une forte augmentation pour le produit homologue et le produit testé dans les 02 premier jours. À partir du 03 ème jour on observe une augmentation constante pour le produit homologué suivie d'un éclatement de nombre de bouquet pour le produit testé à partir du 14 ème jour.



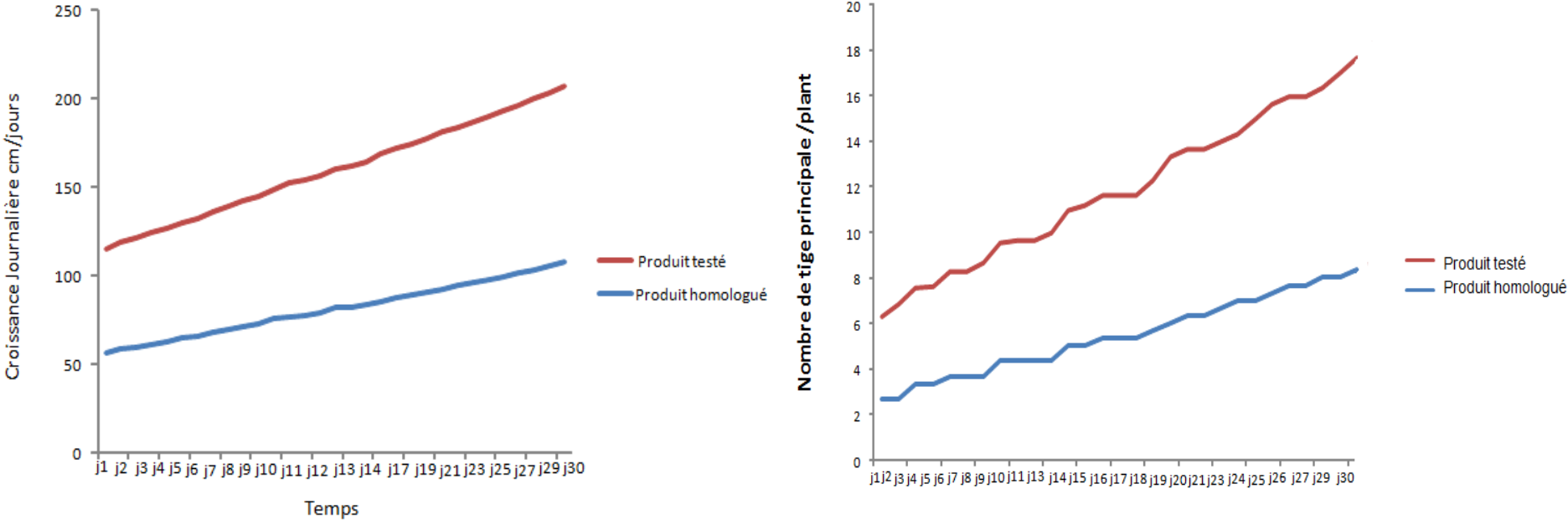


Figure 10 : Evolution temporelle des paramètres morphologiques de la Tomate sous l'effet des traitements

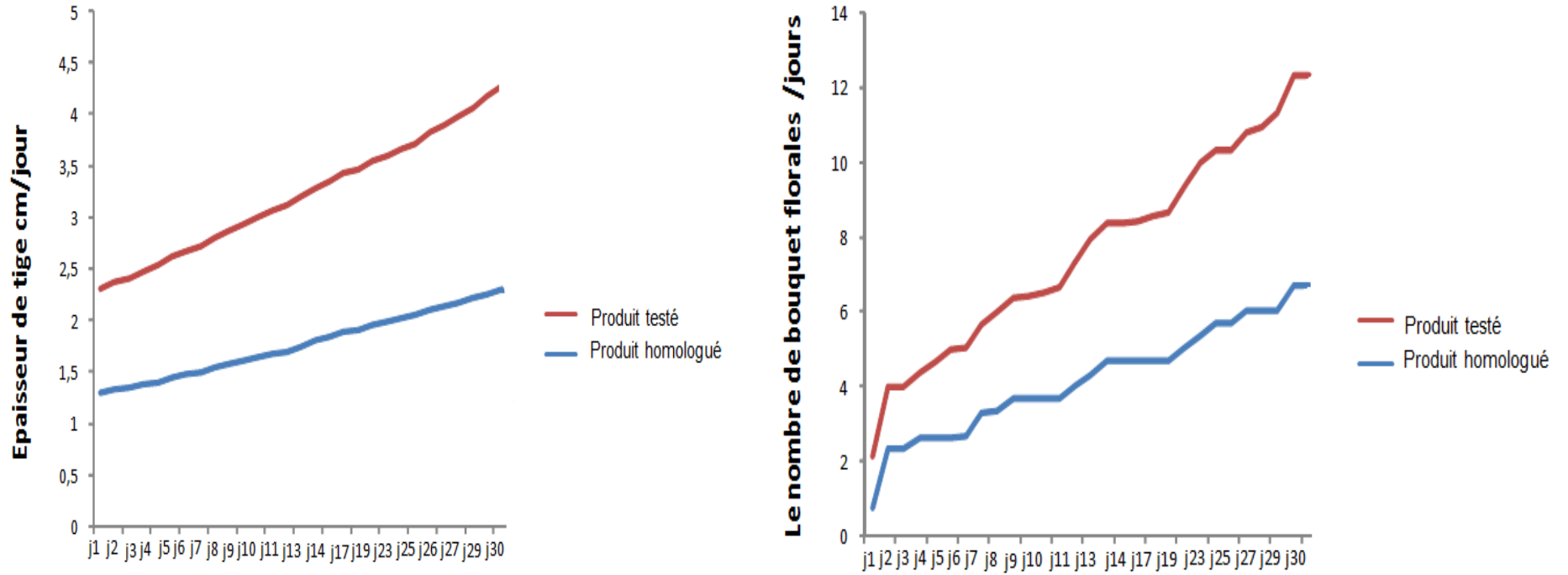


Figure 11 : Evolution temporelle des paramètres morphologiques de la Tomate sous l'effet des traitements

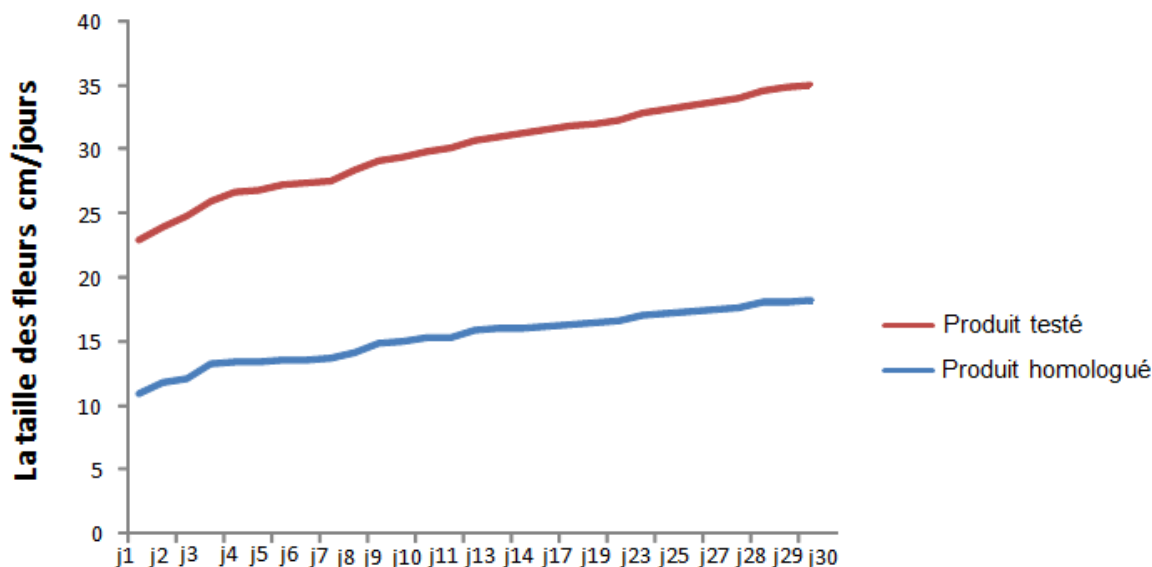


Figure 12: Evolution temporelle des paramètres morphologiques de la Tomate sous l'effet des traitements

### 1.5. Evolution temporelle du développement de la taille des fleurs de la tomate

L'évolution temporelle du développement de la taille des fleurs sous l'effet des différents traitements montre que les fleurs de la tomate soumis à un traitement d'un produit testé ont une grande taille jusqu'à 35 cm par rapport au produit homologué qui ne dépassent pas 15 cm.

### 2. Evaluation de l'effet des traitements sur les paramètres morphologiques de la tomate

L'analyse en composantes principales, effectuée avec le logiciel PASTE, à partir des résultats, montre un effet temporel très contrasté des différents traitements sur les paramètres morphologiques de la tomate. L'analyse est satisfaisante pour l'ensemble des paramètres étudiés dans la mesure où plus de 95% de la variance sont exprimés sur les 2 premiers axes.

#### 2.1. Evaluation de l'effet des traitements sur la croissance journalière de la tomate

La projection des vecteurs à travers le premier axe est de (99,95%), montre que la croissance journalière est très importante sous l'effet du produits testé qui est très importante après quelque jours, par contre pour le produits homologué qui subi un changement dans les premier jours d'utilisation (Fig.10a).

En revanche, la projection des nuages des points à travers le deuxième axe est de (0,04%), montre que la croissance journalière n'est pas très appréciable (Fig.10a).

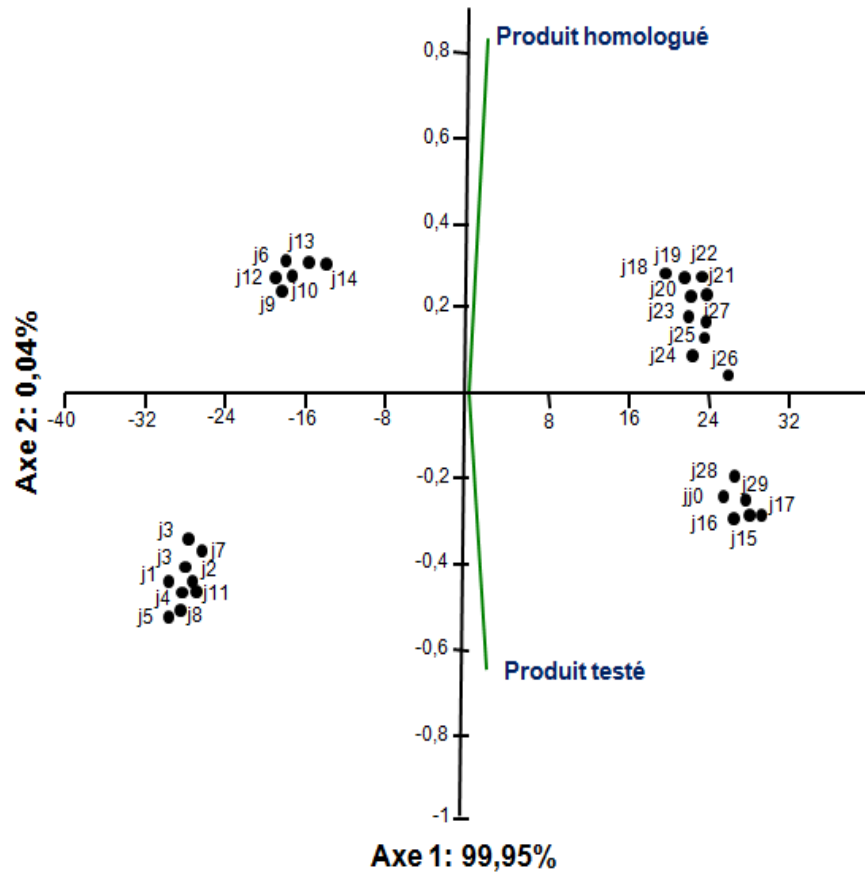
**2.2. Evaluation de l'effet des traitements sur l'épaisseur des tiges**

La projection via l'axe 1 est de (99,57%) montre que l'épaisseur des tiges augmente juste après l'utilisation du produits homologué par contre l'épaisseur des tiges de tomate soumis a un traitement d'un produits testé ont une augmentation après la 2eme semaine d'application. La projection des variables sur l'axe (0,43%) montre que y a aucun effet durant la période des essaies (Fig11.a).

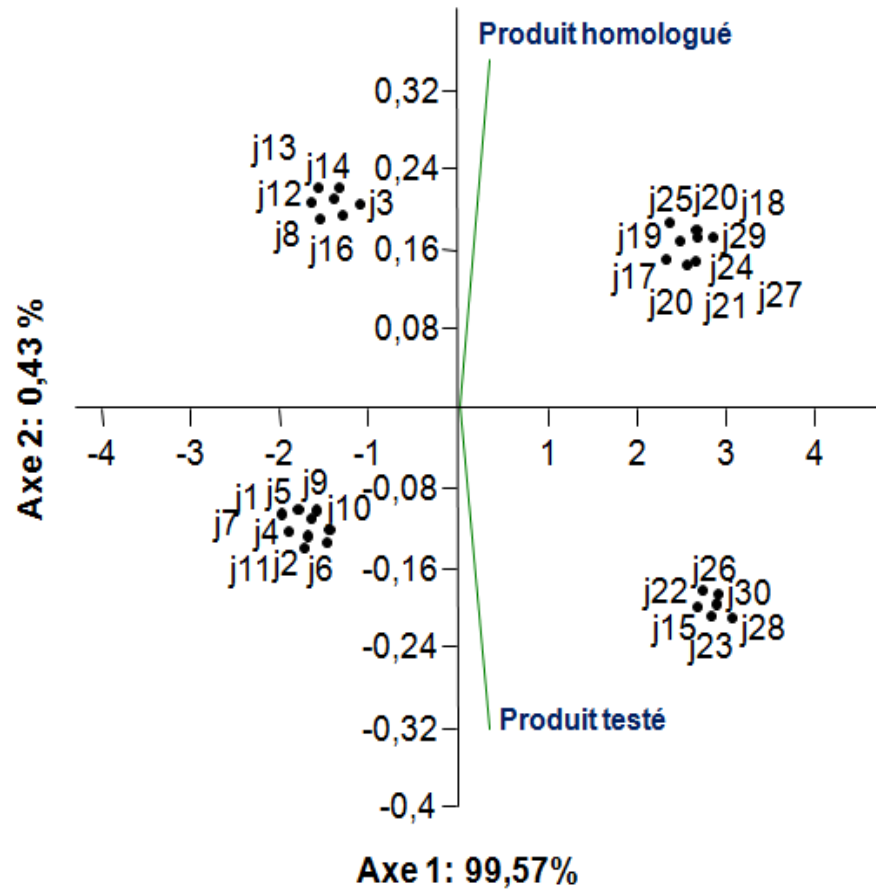
**2.3. Evaluation de l'effet des traitements sur le nombre des tiges principales**

La projection des vecteurs à travers le premier axe (99,76%), montre que l'évolution du nombre des tiges principales est importante pour les premiers jours sous l'effet de produit homologué avec un effet retard pour le produit testé.

En revanche, la projection des nuages de points à travers le deuxième axe (0,23%), montre que aucun effet et remarque durant la cette période (Fig10.b).

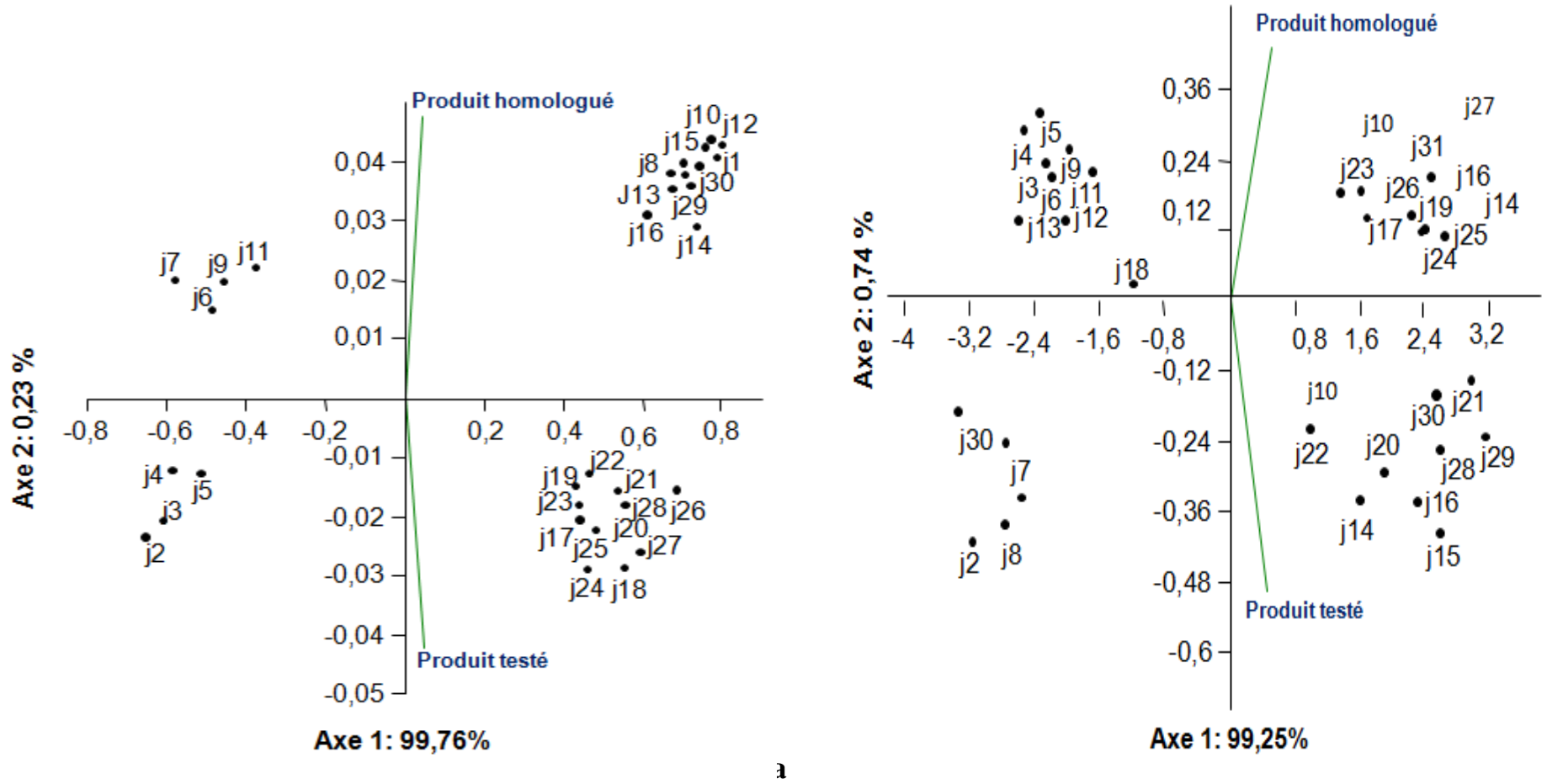


a



b

**Figure 13 :** Evaluation de l'effet des traitements sur les paramètres morphologiques de la Tomate  
 a : croissance journalière de la tomate ; b : l'épaisseur des tiges



**Figure 14** : Evaluation de l'effet des traitements sur les paramètres morphologiques de la Tomate  
 a : nombre des bouquet floraux; b : nombre des tiges principales

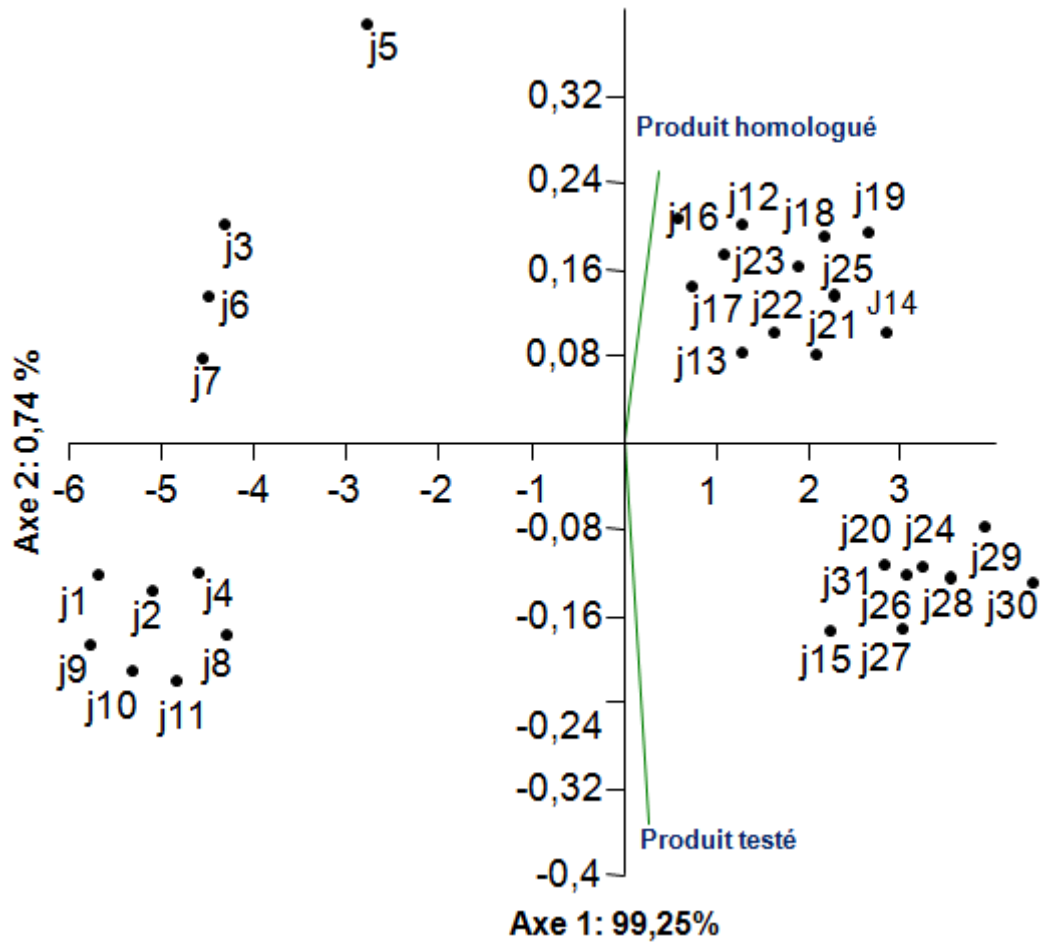


Figure15 : Evaluation de l'effet des traitements sur les paramètres morphologiques de la Tomate

**2.4. Evaluation de l'effet des traitements sur le nombre de bouquets floraux**

La projection des données sur l'axe 1 est de (99,25%) montre que le nombre de bouquets floraux est très appréciable au delà de la 02<sup>ème</sup> semaine pour le produit testé et au début de l'utilisation pour le produit homologué. La projection réalisée sur l'axe 2 (0,74%) montre clairement que n'y a aucun effet dans cette période (Fig14.a).

**2.5. Evaluation de l'effet des traitements sur la taille des fleurs de la tomate**

La projection des données sur l'axe 1 est de (99,25%) montre que la taille des fleurs augmente juste après application du produit homologué et durant la 03<sup>ème</sup> semaine pour le produit testé. La projection réalisée sur l'axe 2 (0,74%) montre que n'y a aucun effet dans cette période pour les deux produits (Fig14).

**3. Etude comparée des traitements sur les paramètres morphologiques de la tomate**

Le modèle G.L.M. a été appliqué dans le but d'évaluer l'effet strict des différentes molécules sur les paramètres morphologiques de la tomate.

**3.1. Etude comparée des traitements sur la croissance journalière de la tomate**

La figure 14 montre que le facteur traitement agit d'une manière non significative sur la croissance (F-ratio=0,4259, p=0,516, P>0.005%)

La comparaison des distributions du croissance journalière est visualisé une simulation de croissance journalière entre le produit testé et le produit homologué (médiane à 81 pour le produit testé et 80 pour le produit homologué), 1<sup>er</sup> quartille à 70 pour les deux produits. Il n'y a pas de croissance Atypique pour les deux produits.

la croissance journalière de la tomate présente une accumulation temporelle hautement significative (Teste Tukey P= 5,45\* 10<sup>-41</sup> ; P≤ 0,01) entre le produit testé et le produit homologué.

**3.2. Etude comparée des traitements sur l'épaisseur des tiges de la tomate**

Les résultats de l'analyse de la variance montrent que les traitements exercent un effet hautement significatif (F-ratio=16,08, p=0,00017, p<0,001)

La comparaison des distributions du croissance journalière est visualisé une différence de traitements sur l'épaisseur des tiges de la tomate entre le produit testé et le produit homologué (médiane à 1,7 pour le produit testé et 1,5 pour le produit homologué), 1<sup>er</sup> quartille à 1,5 pour



le produit testé et 1,2 pour le produit homologué. Il n'y a pas de croissance Atypique pour les deux produits.

Les traitements sur l'épaisseur des tiges de la tomate au niveau de sère étudiée présentent une accumulation temporelle hautement significative (Teste Tukey  $P=7,74*10^{-31}$   $P\leq 0,01$ ) entre le produit testé et le produit homologué.

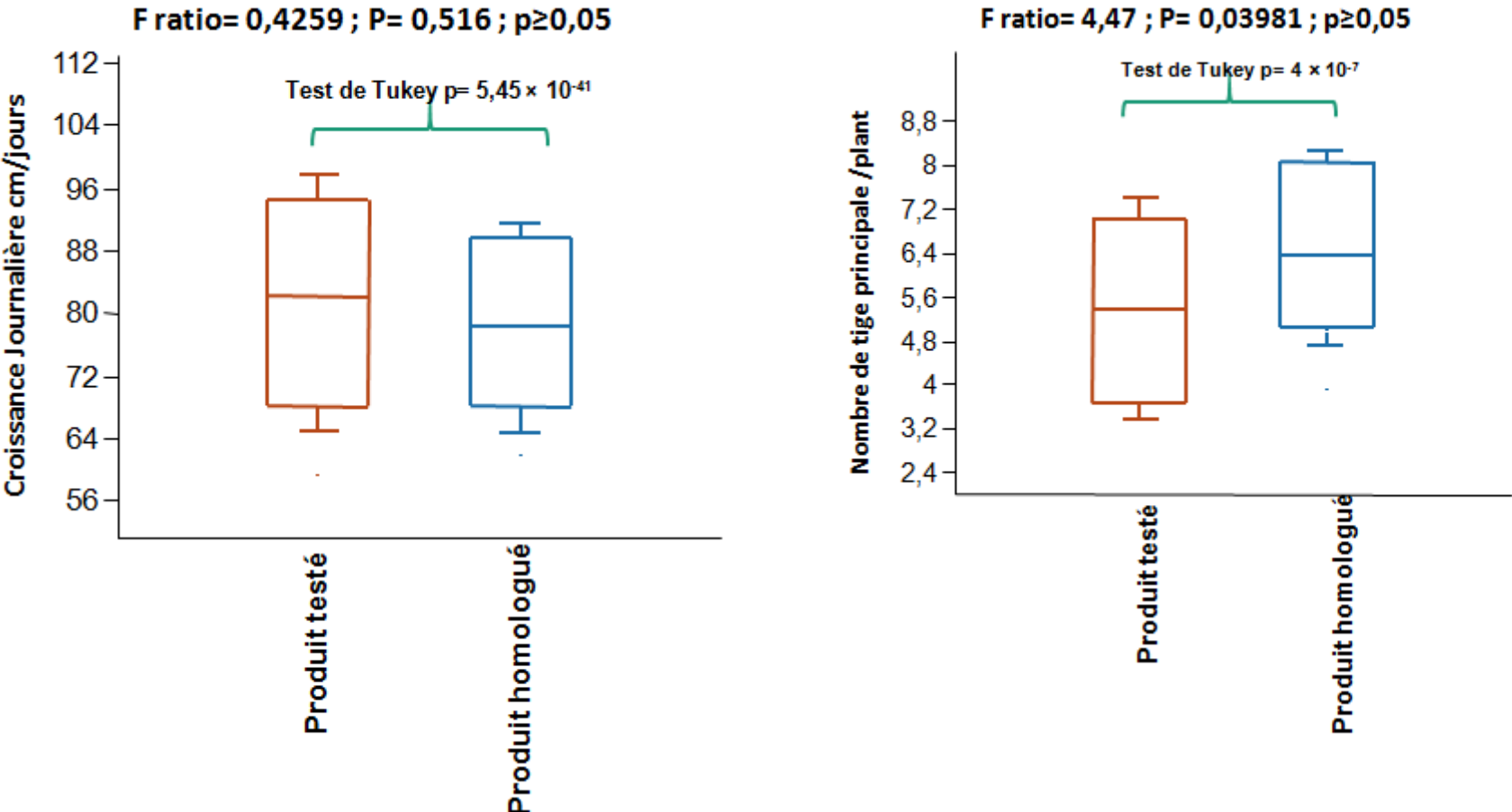


Figure16 : Etude comparée des traitements sur les paramètres morphologiques de la Tomate

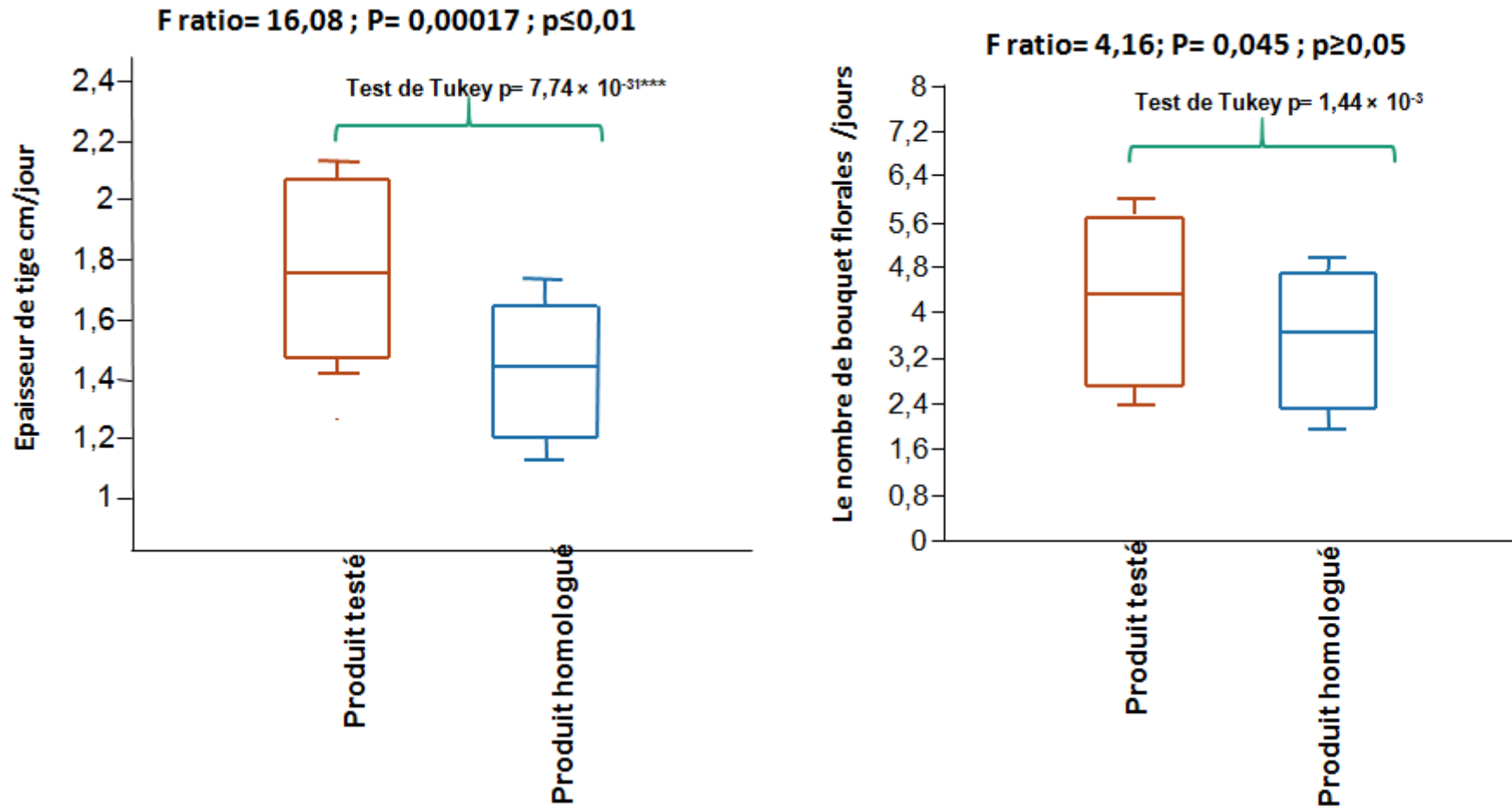


Figure17 : Etude comparée des traitements sur les paramètres morphologiques de la Tomate

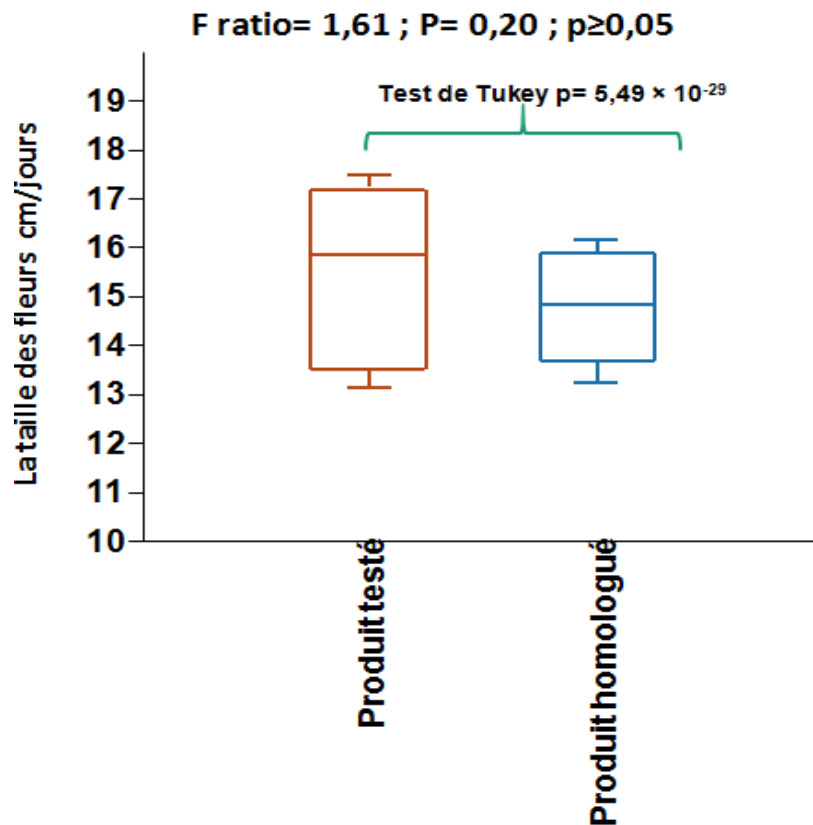


Figure18 : Etude comparée des traitements sur les paramètres morphologiques de la Tomate

### 3.3. Etude comparée des traitements sur le nombre des tiges principales

Les résultats d'analyses touchant l'évolution du nombre des tiges principales présentent des différences non significatives sous l'effet des traitements (F-ratio=4,47,  $p=0,03$ ,  $P>0,05$ )

La comparaison des distributions des traitements sur le nombre des tiges principales est visualisé une différenciation entre le produit testé et le produit homologué (médiane à 5,6 pour le produit testé et 6,4 pour le produit homologué), 1<sup>er</sup> quartile à 3,9 pour le produit testé et 4,9 pour le produit homologué. Il n'y a pas de croissance Atypique pour les deux produits.

Les traitements sur le nombre des tiges principales présentent une accumulation temporelle hautement significative (Teste Tukey  $P=4 \times 10^{-7}$   $P \leq 0,01$ ) entre le produit testé et le produit homologué.

### 3.4. Etude comparée des traitements sur le nombre de bouquets floraux

Les résultats d'analyses touchant l'induction des bouquets floraux affichent des différences significatives avec des probabilités respectives (F-ratio=4,16,  $p=0,045$ ,  $P<0,05$ ).

La comparaison des distributions des traitements sur le nombre de bouquets floraux est visualisé une légère simulation entre le produit testé et le produit homologué (médiane à 4,2 pour le produit testé et 3,9 pour le produit homologué) , 1<sup>er</sup>quartile à 2,6 pour le produit testé et 2,4 pour le produit homologué. Il n'y a pas de croissance Atypique pour les deux produits. Cet analyse montre que l'accumulation temporelle de traitements sur le nombre de bouquets floraux présente est hautement significative (Teste Tukey  $P=1,44*10^{-3}$   $P\leq 0,01$ ) entre le produit testé et le produit homologué.

### **3.5. Etude comparée des traitements sur les paramètres morphologiques de la Tomate**

Les résultats d'analyses touchant les paramètres morphologique de la tomate présentent des différences non significatives sous l'effet des traitements (F-ratio=1,61,  $p=0,2$ ,  $P>0,05$ )

La comparaison des distributions des traitements sur les paramètres morphologique de la tomate est visualisé une légère différenciation entre le produit testé et le produit homologué (médiane à 15,5 pour le produit testé et 14,5 pour le produit homologué), 1<sup>er</sup>quartile à 13,9pour le produit testé et 14 pour le produit homologué. Il n'y a pas de croissance Atypique pour les deux produits.

### **3.6. Etude comparée des traitements sur la taille des fleurs**

Les traitements sur les paramètres morphologique de la tomate présentent une accumulation temporelle hautement significative (Teste Tukey  $P=5,49*10^{-29}$   $P\leq 0,01$ ) entre le produit testé et le produit homologué.

**DISCUSSION:**

En Algérie, La culture de la tomate occupe une place prépondérante dans l'économie agricole algérienne. La culture de la tomate est passée de 16760 hectares en 2001 avec une production de 3.735.340 qx/h à 20789 hectares en 2009 avec une production de 6.410.343 qx/h .Près de 33 000 hectares sont consacrés annuellement à la culture de tomate (maraîchère et industrielle), donnant une production moyenne de 11 millions de quintaux (SNOUSSI ,2010).

La serriculture ou culture sous serre en Algérie a connu un développement important au cours des deux dernières décennies passant ainsi de 4451 ha en 1989 pour atteindre 20789 ha actuellement (MADR 2009) elles constituent un système de culture permettant un environnement favorable au développement et a la croissance des cultures

La tomate est une culture particulièrement sujette aux attaques de ravageurs et de maladies (Kennedy, 2003).

Les résultats auxquels nous avons aboutis on traitant l'effet comparé de Biofertilisant, de la formulation minérales et des fertilisants homologués sur les paramètres morphologiques et l'état phytosanitaire de la tomate, nous on permit de dégager les hypothèses suivantes :

**1. Effet de Biofertilisant, de la formulation minérales et des fertilisants homologués sur les paramètres morphologiques des plantes de la tomate**

Toutes les plantes de la tomate pulvérisées par le Biofertilisant, testé présenté une évolution physiologique contrasté par rapport aux plantes des fertilisants homologué

Les résultats montrent que l'apport produit testé à un effet satisfaisant sur les paramètres morphologiques de la tomate et sur le rendement. Une intention particulière mais tardif est à signaler quant à l'effet du ce produit sur tous les paramètres considérés, et plus particulièrement sur le rendement.

Les mêmes résultats expriment un effet sur les paramètres morphologiques mais avec un degré moins sur le rendement par comparaison avec le produits homologué.

Cette hypothèse rejoint plusieurs études qui ont touchées de plus près l'effet des fertilisant biologiques sur les paramètres physio morphologiques des plantes. (Xing et Rajashekar, 2001), avancent que l'application de produit testés sur des plantes de tomate permet une croissance journalière assez conséquente et permettra d'obtenir des plantes plus longue que celle traité par un produit homologué.

## **2. Effet des Biofertilisants, des fertilisants homologués et des formulations minérales sur la l'état phytosanitaire des plantes de tomate.**

- A partir des résultats obtenu on peut constaté que le taux d'infestation des plantes de tomate par des maladies ou même par des pucerons est éliminé ( absent ) sous l'effet du Biofertilisant, que sa soit par le produit homologué ou par le produit testé.

# **Conclusion générale et Perspective**



## **Conclusion générale et Perspectives**

Au terme de ce travail consacré essentiellement à l'étude de l'effet comparé d'un biofertilisant, d'une formulation minérale et des biofertilisants homologués sur les paramètres morphologiques et sur l'état phytosanitaire de la tomate sous serre, il nous a paru intéressant de dégager les principaux résultats auxquels nous avons aboutis.

Les résultats montrent que l'apport de Bioactivateur à un effet satisfaisant sur les paramètres morphologiques de la tomate. Une intention particulière est à signaler quant à l'effet d'un produit testé sur tous les paramètres considérés. Les mêmes résultats expriment un effet favorisant des produits homologués sur les paramètres morphologiques mais avec un degré moindre par comparaison au produit testé.

A partir des résultats obtenu on peut constaté que le taux d'infestation des feuilles par des maladies sont réduites ou meme éliminé sous l'effet des produits que se soit testé ou homologuee , d'un autres coté les plantes traitées par des produits homologué représentent une densité basse . En fin une forte densité des populations est à signialer sous l'effet de produits testé L'étude de la réaction des plantes aux infestations par les maladies ou par les pucerons a permis de mettre en évidence l'existence d'éliciteurs de défense naturelle des plantes dans les formulations. Ceci pourra offrir une stratégie supplémentaire dans les programmes de la production intégrée.

En perspective, il serait intéressant d'instaurer un programme d'apport de biofertilisants sur la base des connaissances accumulées via cette approche. Le recours à une évaluation de certains paramètres physiologiques nous permet de bien connaitre le mode et les conditions d'applications des différentes molécules. Connaître l'opportunité d'apport sur différents modèles végétales (grandes cultures, arboriculture et Culture légumières).

Et Valider de nouvelles stratégies de protection biologique au champ (y compris l'utilisation de Stimulateurs des Défenses des Plantes).

# **Liste des Références**

## Références

## Références

1. Abramovitch RB, Martin GB (2005) AvrPtoB: a bacterial type III effector that both elicits and suppresses programmed cell death associated with plant immunity. *FEMS Microbiol Lett* 245: 1-8
2. AbuQamar S, Chen X, Dhawan R, Bluhm B, Salmeron J, Lam S, Dietrich RA, Mengiste T (2006) Expression profiling and mutant analysis reveals complex regulatory networks involved in Arabidopsis response to Botrytis infection. *Plant J* 48: 28-44
3. Ameline-Torregrosa C, Cazaux M, Danesh D, Chardon F, Cannon SB, Esquerre-Tugaye MT, Dumas B, Young ND, Samac DA, Huguet T, Jacquet C (2008) Genetic dissection of resistance to anthracnose and powdery mildew in *Medicago truncatula*. *Mol Plant Microbe Interact* 21: 61-69
4. Ameline-Torregrosa C, Wang BB, O'Bleness MS, Deshpande S, Zhu HY, Roe B, Young ND, Cannon SB (2008) Identification and characterization of nucleotide-binding site-Leucine-rich repeat genes in the model plant *Medicago truncatula*. *Plant Physiology* 146: 5-21
5. Anderson PA, Lawrence GJ, Morrish BC, Ayliffe MA, Finnegan EJ, Ellis JG (1997) Inactivation of the flax rust resistance gene M associated with loss of a repeated unit within the leucine-rich repeat coding region. *Plant Cell* 9: 641-651
6. Apel K, Hirt H (2004) Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annu Rev Plant Biol* 55: 373-399
7. Asai T, Tena G, Plotnikova J, Willmann MR, Chiu WL, Gomez-Gomez L, Boller T, Ausubel FM, Sheen J (2002) MAP kinase signalling cascade in Arabidopsis innate immunity. *Nature* 415: 977-983
8. Ashfield T, Bocian A, Held D, Henk AD, Marek LF, Danesh D, Penuela S, Meksem K, Lightfoot DA, Young ND, Shoemaker RC, Innes RW (2003) Genetic and physical localization of the soybean Rpg1-b disease resistance gene reveals a complex locus containing several tightly linked families of NBS-LRR genes. *Mol Plant Microbe Interact* 16: 817-826
9. Azevedo C, Sadanandom A, Kitagawa K, Freialdenhoven A, Shirasu K, Schulze-Lefert P (2002) The RAR1 interactor SGT1, an essential component of R gene-triggered disease resistance. *Science* 295: 2073-2076
10. Bent AF, Kunkel BN, Dahlbeck D, Brown KL, R. S, al. e (1994) RPS2 of *Arabidopsis thaliana*: a leucine-rich repeat class of plant disease resistance genes. *Science* 265: 1856-1860
11. Bergelson J, Kreitman M, Stahl EA, Tian DC (2001) Evolutionary dynamics of plant R-genes. *Science* 292: 2281-2285
12. Birch PR, Boevink PC, Gilroy EM, Hein I, Pritchard L, Whisson SC (2008) Oomycete RXLR effectors: delivery, functional redundancy and durable disease resistance. *Cur Opin Plant Biol* 11: 373-379

## Références

13. Blatt MR, Grabov A, Brearley J, Hammond-Kosack K, Jones JDG (1999) K<sup>+</sup> channels of Cf-9 transgenic tobacco guard cells as targets for *Cladosporium fulvum* Avr9 elicitor-dependent signal transduction. *Plant J* 19: 453-462
14. Bonas U, Lahaye T (2002) Plant disease resistance triggered by pathogen-derived molecules: refined models of specific recognition. *Cur Opin Microbiol* 5: 44-50
15. Brandwagt BF, Mesbah LA, Takken FL, Laurent PL, Kneppers TJ, Hille J, Nijkamp HJ (2000) A longevity assurance gene homolog of tomato mediates resistance to *Alternaria alternata* f. sp. *lycopersici* toxins and fumonisin B1. *Proc Natl Acad Sci U S A* 97: 4961-4966
16. Burch-Smith TM, Dinesh-Kumar SP (2007) The Functions of Plant TIR Domains. *Science. STKE* 2007: pe46-
17. CHAMPAGNOL F., 1977. Profil hydrique et profil du potassium dans le sol. *Prog. Agri et Viti.*, 21, France, 620-621 p.
18. CHAMPAGNOL F., 1984. Éléments de physiologie de la vigne et de viticulture générale. Édit. Dehan., Montpellier, 153-198 p.
19. Dangl JL, Jones JD (2001) Plant pathogens and integrated defence responses to infection. *Nature* 411: 826-833
20. DELAS J. et POUGET R., 1979. Influence du greffage sur la nutrition minérale de la vigne, conséquences sur la fertilisation. *Connaissance Vigne et Vin.*, 4, 241-261 p.
21. DELAS J., 2000. Fertilisation de la vigne. Édit. Féret., Bordeaux, 21-80 p.
22. DELAS J., 2000. Fertilisation de la vigne. Édit. Féret., Bordeaux, 21-80 p.
23. DELMAS J., 1975. Recherche sur la nutrition de la vigne en conditions hydroponiques. 3 ème coll. EuroMedit. Contr. Alim. Pl .Cult., Budapest, 667-679 p.
24. DELMAS., 1971. Recherche sur la nutrition minérale de la vigne *Vitis vinifer*. var. Merlot en aquaculture. Thèse Doctorat., Bordeaux, p 317.
25. Desender S, Andrivon A, Val F (2007) Activation of defence reactions in Solanaceae : where is the specificity? *Cellular Microbiol* 9: 21-30
26. Deshaies RJ (1999) SCF and cullin/ring H2-based ubiquitin ligases. *Annu. Rev. Cell Dev. Biol.* 15
27. DeYoung BJ, Innes RW (2006) Plant NBS-LRR proteins in pathogen sensing and host defense. *Nature Immuno* 7: 1243-1249
28. DULAC J., 1964. Nouvelles sources d'information permettant d'apprécier l'alimentation minérale de la vigne .C.R. 1ère coll. Europ. Contr. Nutr. Min. Fert. Pl. Cult., Montpellier, 196-198 p.
29. Durrant WE, Dong X (2004) Systemic acquired resistance. *Annu Rev Phytopathol* 42: 185-209
30. EIFERT A., 1972. Importance de la valeur des rendements sur l'alimentation potassique. 3 ème coll. Europ. Mediter. Contr. Alim. Pl.cult., Budapest, 1-12 p.
31. Elgin J, Ostazeski SA (1985) Inheritance of resistance to race 1 and race 2 anthracnose in Arc and Saranac AR alfalfa. *Crop Sci* 25

## Références

32. Elgin JH, Ostazeski SA (1985) Inheritance of resistance to race 1 and race 2 anthracnose in Arc and Saranac AR alfalfa. *Crop Sci* 25: 861-865
33. Ellis J, Dodds P, Pryor T (2000) Structure, function and evolution of plant disease resistance genes. *Cur Opin Plant Biol* 3: 278-284
34. Ellis JG, Dodds PN, Lawrence GJ (2007) The role of secreted proteins in diseases of plants caused by rust, powdery mildew and smut fungi. *Cur Opin Microbiol* 10: 326-331
35. Felix G, Duran JD, Volko S, Boller T (1999) Plants have a sensitive perception system for the most conserved domain of bacterial flagellin. *Plant Journal* 18: 265-276
36. Feys BJ, Moisan LJ, Newman MA, Parker JE (2001) Direct interaction between the Arabidopsis disease resistance signaling proteins, EDS1 and PAD4. *Embo J* 20: 5400-5411
37. Flor HH (1955) Host-parasite interaction in flax rust: its genetics and other implications. *Phytopathol* 45: 680-685
38. Fluhr R (2001) Sentinels of disease. Plant resistance genes. *Plant Physiol* 127: 1367-1374
39. FREGONI M., 1975. Recherche sur les facteurs génétiques biologiques qu'ils influent la nutrition minérale de la vigne. 4<sup>ème</sup> coll. Intern. Contr. Alim. Plntes. Cult., Gent, p 327-341.
40. FREGONI M., SCIENZA A. et VISAI C., 1972. Recherche sur l'état nutritif des vignobles en Italie et la carte de la nutrition minérale. 3<sup>ème</sup> coll. Europ. Médit. Contr. Alim. Plntes. Cult., Budapest, p 705-719.
41. Fridovich I (1986) Superoxide Dismutases. *Advances in Enzymology and Related Areas. Mol Biol* 58: 61-97
42. Friedman AR, Baker BJ (2007) The evolution of resistance genes in multi-protein plant resistance systems. *Cur Opin Genet Dev* 17: 493-499
43. GAUTIER M., 1993. La culture fruitière, l'arbre fruitier. Édit. Lavoisier., vol 1, France, p 46
44. GAUTIER P., 1980. Diagnostic foliaire de la vigne. Étude par l'analyse factorielle en composantes principales sur plusieurs années. 5<sup>ème</sup> coll. Intern. Contr. Alim. Plts. Cult., Budapest, p 705-719.
45. Gohre V, Robatzek S (2008) Breaking the barriers: microbial effector molecules subvert plant immunity. *Annu Rev Phytopathol* 46: 189-215
46. Gomez-Gomez L, Boller T (2000) FLS2: An LRR receptor-like kinase involved in the perception of the bacterial elicitor flagellin in Arabidopsis. *Mol Cell* 5: 1003-1011
47. Gomez-Gomez L, Boller T (2002) Flagellin perception: a paradigm for innate immunity. *Trends Plant Sci* 7: 251-256
48. Grant M, Brown I, Adams S, Knight M, Ainslie A, Mansfield J (2000) The RPM1 plant disease resistance gene facilitates a rapid and sustained increase in cytosolic calcium that is necessary for the oxidative burst and hypersensitive cell death. *Plant J* 23: 441-450

## Références

49. Grusak M A, DellaPenna D, (1999). "Improving the nutrient composition of plants to enhance human nutrition and health. " *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 50: 133-161.
50. Hammond-Kosack KE, Kanyuka K (2007) Resistance Genes (R Genes) in Plants. In *Encyclopedia of Life Science*, pp p. 1-21
51. Han F, Kleinhofs A, Kilian A, Ullrich SE (1997) Cloning and mapping of a putative barley NADPH-dependent HC-toxin reductase. *Mol Plant Microbe Interact* 10: 234-239
52. Hipskind JD, Paiva NL (2000) Constitutive accumulation of a resveratrol-glucoside in transgenic alfalfa increases resistance to *Phoma medicaginis*. *Mol Plant Microbe Interact* 13: 551-562
53. Holub EB (2001) The arms race is ancient history in *Arabidopsis*, the wildflower. *Nature Genet* 2: 516-527
54. Hopkins WG (2003) *Physiologie végétale*. 1re éd., De Boeck Université, 514 p
55. Jia Y, McAdams SA, Bryan GT, Hershey HP, Valent B (2000) Direct interaction of resistance gene and avirulence gene products confers rice blast resistance. *Embo J* 19: 4004-4014
56. Jones JD, Dangl JL (2006) The plant immune system. *Nature* 444: 323-329
57. Kanazin V, Marek LF, Shoemaker RC (1996) Resistance gene analogs are conserved and clustered in soybean. *Proc Natl Acad Sci U S A* 93: 11746-11750
58. Keen NT (1975) Specific elicitors of plant phytoalexin production: determinants of race specificity in pathogens? *Science* 187: 74-75
59. KENNEDY, G.G., (2003). Tomato, pests, parasitoids, and predators: tritrophic interactions involving the geis lycopersicon. *Annual review of entomology*, p.
60. Klessig DF, Durner J, Noad R, Navarre DA, Wendehenne D, Kumar D, Zhou JM, Shah J, Zhang SQ, Kachroo P, Trifa Y, Pontier D, Lam E, Silva H (2000) Nitric oxide and salicylic acid signaling in plant defense. *Proc Natl Acad Sci U S A* 97: 8849-+
61. Kobe B, Kajava AV (2001) the leucine-rich repeat as a protein recognition motif. *Cur Opin Struct Biol* 11: 725-732
62. Kuang H, Woo S-S, Meyers BC, Nevo E, Michelmore RW (2004) Multiple Genetic Processes Result in Heterogeneous Rates of Evolution within the Major Cluster Disease Resistance Genes in Lettuce. *Plant Cell* 16: 2870-2894
63. Kunkel BN, Brooks DM (2002) Cross talk between signaling pathways in pathogen defense. *Cur Opin Plant Biol* 5: 325-331
64. LAFON J., COUILLAUD P., GAY-BELLILE F. et LÉVY J.F., 1965. Influence de mode de conduite sur la nutrition minérale des feuilles de vignes. *Vignes et Vins.*, 141, p 28-30.
65. Lahaye T (2002) The *Arabidopsis* RRS1-R disease resistance gene-- uncovering the plant's nucleus as the new battlefield of plant defense? *Trends Plant Sci* 7: 425 – 427

## Références

66. Lecourieux D, Ranjeva R, Pugin A (2006) Calcium in plant defence-signalling pathways. *New Phytol* 171: 249-269
67. Leister D (2004) Tandem and segmental gene duplication and recombination in the evolution of plant disease resistance gene. *Trends Genet* 20: 116-122
- Leister RT, Ausubel FM, Katagiri F (1996) Molecular recognition of pathogen attack occurs inside of plant cells in plant disease resistance specified by the *Arabidopsis* genes RPS2 and RPM1. *Proc Natl Acad Sci U S A* 93: 15497-15502
68. LÉVY J.F., 1964. Potassium échangeable du sol, potassium absorbé par la plante et texture des sols. *Rev. Potasse.*, 311, France, p 9-15.
69. LÉVY J.F., CHALER G., CAMHAJI E. et HÉGO C. 1972. Nouvelle étude statistique des relations entre la composition minérale des feuilles et les conditions d'alimentations de la vigne. *Vigne et Vins.*, 212, p 21-25.
70. LOUÉ A., 1968. L'intérêt du diagnostic pétiolaire dans les études sur la nutrition et la fertilisation potassique de la vigne. 2<sup>ème</sup> coll. *Contr. Fertil. Pl. Cult.*, Séville, p 283-194.
71. LOUÉ A., 1977. Le contrôle de la nutrition minérale de la vigne. 4<sup>ème</sup> coll. *Intern. Contr. Alim. Plts. Cult.*, Séville, p 849-863.
72. LOUÉ A., 1990. Le diagnostic foliaire (ou pétiolaire) dans les enquêtes de la nutrition minérale des vignes. *Prog. Agri. Viti.*, 107, p 439-543.
73. Luderer R, Rivas S, Nurnberger T, Mattei B, Van den Hooven HW, Van der Hoorn RA, Romeis T, Wehrfritz JM, Blume B, Nennstiel D, Zuidema D, Vervoort J, De Lorenzo G, Jones JD, De Wit PJ, Joosten MH (2001) No evidence for binding between resistance gene product Cf-9 of tomato and avirulence gene product AVR9 of *Cladosporium fulvum*. *Mol Plant Microbe Interact* 14: 867-876
74. MADR 2009 Ministère de l'Agriculture et du développement Rural
75. Malthus, T. R., *an Essay on the Principle of Population*, J. M. Dent and Sons, London, 1973.
76. Martin GB, Brommonschenkel SH, Chunwongse J, Frary A, Ganai MW, Spivey R, Wu T, Earle ED, Tanksley SD (1993) Map-based cloning of a protein kinase gene conferring disease resistance in tomato. *Science* 262: 1432-1436
77. MARTIN-PRÉVEL P., GANYARD J., GAUTIER P et DROUINEAU G., 1984. Analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales. Édit. Tech et Doc. Lavoisier., Paris, p 187-224.
78. MARTIN-PRÉVEL P., GANYARD J., GAUTIER P et DROUINEAU G., 1984. Analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales. Édit. Tech et Doc. Lavoisier., Paris, 187-224 p.
79. McGuinness DH, Dehal PK, Pleass RJ (2003) Pattern recognition molecules and innate immunity to parasites. *Trends Parasitol* 19: 312-319
80. Medzhitov R, Janeway CA (1997) innate immunity: The virtues of a nonclonal system of recognition. *Cell* 91: 295-298

## Références

81. Meyers BC, Dickerman AW, Michelmore RW, Sivaramakrishnan S, Sobral BW, Young ND (1999) Plant disease resistance genes encode members of an ancient and diverse protein family within the nucleotide-binding superfamily. *Plant J* 20: 317-332
82. Meyers BC, Kozik A, Griego A, Kuang HH, Michelmore RW (2003) Genome-wide analysis of NBS-LRR-encoding genes in *Arabidopsis*. *Plant Cell* 15: 809-834
83. Meyers BC, Kozik A, Griego A, Kuang HH, Michelmore RW (2003) Genome-wide analysis of NBS-LRR-encoding genes in *Arabidopsis*. *Plant Cell* 15: 809-834
84. Michelmore RW, Meyers BC (1998) Clusters of resistance genes in plants evolve by divergent selection and a birth-and-death process. *Genome Res* 8: 1113-1130
85. Miya A, Albert P, Shinya T, Desaki Y, Ichimura K, Shirasu K, Narusaka Y, Kawakami N, Kaku H, Shibuya N (2007) CERK1, a LysM receptor kinase, is essential for chitin elicitor signaling in *Arabidopsis*. *Proc Natl Acad Sci U S A* 104: 19613-19618
86. Montesano M, Brader G, Palva ET (2003) Pathogen derived elicitors: searching for receptors in plants. *Mol Plant Pathol* 4: 73-79
87. Montesano M, Brader G, Palva ET (2003) Pathogen derived elicitors: searching for receptors in plants. *Mol Plant Pathol* 4: 73-79
88. MORARD P., TORRES P. et ANDRÉ L., 1980. Influence des porte-greffes sur la nutrition minérale de la vigne. 5<sup>ème</sup> coll, Intern. Contr. Nutr. Plts. Cult., p 636-642.
89. Mucyn TS, Clemente A, Andriotis VM, Balmuth AL, Oldroyd GE, Staskawicz BJ, Rathjen JP (2006) The tomato NBARC-LRR protein Prf interacts with Pto kinase in vivo to regulate specific plant immunity. *Plant Cell* 18: 2792-2806
90. Mughal, A.D. (1992). Letters to the Editor. *Journal of sustainable Agriculture*, 2: 6-7pp.
91. Nakagami H, Pitzschke A, Hirt H (2005) Emerging MAP kinase pathways in plant stress signalling. *Trends Plant Sci* 10: 339-346
92. Nei M, Gu X, Sitnikova T (1997) Evolution by the birth-and-death process in multigene families of the vertebrate immune system. *Proc Natl Acad Sci U S A* 94: 7799-7806
93. Nimchuk Z, Rohmer L, Chang JH, Dangl JL (2001) Knowing the dancer from the dance: R-gene products and their interactions with other proteins from host and pathogen. *Curr Opin Plant Biol* 4: 288-294
94. Nürnberger T, Brunner F (2002) Innate immunity in plants and animals: emerging parallels between the recognition of general elicitors and pathogen-associated molecular patterns. *Cur Opin in Plant Biol* 5: 318-324
95. O'Connell R, Herbert C, Sreenivasaprasad S, Khatib M, Esquerre-Tugaye MT, Dumas B (2004) A novel *Arabidopsis*-*Colletotrichum* pathosystem for the



## Références

- molecular dissection of plant-fungal interactions. *Mol Plant Microbe Interact* 17: 272-282
96. O'Connell RJ, Brown IR, Mansfield JW, Bailey JA, Mazau D, Rumeau D, Esquerré-Tugayé MT (1990) Immunocytochemical localization of hydroxyproline-rich glycoproteins accumulating in melon and bean at sites of resistance to bacteria and fungi. *Mol Plant Microbe Interact* 3: 33-40
  97. OLUF C-B., OLA K., OLE H-L. et IAN R., 1990. Agriculture et fertilisation. Les engrais et leur avenir. Édit. Tec et Doc. Lavoisier., Paris, p 99.
  98. Papadopoulou K, Melton RE, Leggett M, Daniels MJ, Osbourn AE (1999) Compromised disease resistance in saponin-deficient plants. *Proc Natl Aca Sci USA* 96: 12923-12928
  99. Parani M, Rudrabhatla S, Myers R, Weirich H, Smith B, Leaman DW, Goldman SL (2004) Microarray analysis of nitric oxide responsive transcripts in *Arabidopsis*. *Plant Biotech J* 2: 359-366
  100. Penninckx IA, Thomma BP, Buchala A, Mettraux JP, Broekaert WF (1998) Concomitant activation of jasmonate and ethylene response pathways is required for induction of a plant defensin gene in *Arabidopsis*. *Plant Cell* 10: 2103-2113
  101. Peter Brodersen MP, Henrik Bjørn Nielsen, Shijiang Zhu, Mari-Anne Newman, Kevan M. Shokat, Steffen Rietz, Jane Parker, John Mundy, (2006) *Arabidopsis* MAP kinase 4 regulates salicylic acid- and jasmonic acid/ethylene-dependent responses via EDS1 and PAD4. *Plant J* 47: 532-546
  102. Piedras P, Rivas S, Droge S, Hillmer S, Jones JDG (2000) Functional, c-myc-tagged Cf-9 resistance gene products are plasma-membrane localized and glycosylated. *Plant J* 21: 529-536
  103. Polverari A, Molesini B, Pezzotti M, Buonauro R, Marte M, Delledonne M (2003) Nitric oxide mediated transcriptional changes in *Arabidopsis thaliana*. *Mol Plant Microbe Interact* 16: 1094-1105
  104. REYNIER A., 2007. Manuel de viticulture. Édit. Tec et Doc., Paris, 280-380 p.
  105. ROBY J.P. et VAN LEEUWEN., 2000. Vigne. Édit. Synthèse Agricole., Bordeaux, 112-133 p.
  106. Romeis T (2001) Protein kinases in the plant defence response. *Cur Opin Plant Biol* 4: 407-414
  107. Rowland O, Ludwig AA, Merrick CJ, Baillieul F, Tracy FE, Durrant WE, Fritz-Laylin L, Nekrasov V, Sjolander K, Yoshioka H, Jones JDG (2005) Functional analysis of Avr9/Cf-9 rapidly elicited genes identifies a protein kinase, ACIK1, that is essential for full Cf-9- dependent disease resistance in tomato. *Plant Cell* 17: 295-310
  108. Schornack S, Ballvora A, Gurlebeck D, Peart J, Baulcombe D, Ganai M, Baker B, Bonas U, Lahaye T (2004) The tomato resistance protein Bs4 is a predicted non-nuclear TIR-NB-LRR protein that mediates defense responses to severely truncated derivatives of AvrBs4 and overexpressed AvrBs3 (vol 37, pg 46, 2004). *Plant J* 37: 787-787