الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA
FACULTE DES SCIENCES
Département des sciences de la nature et de la vie

Mémoire

Présenté pour obtenir le diplôme de Master

En Sciences Agronomique

Spécialité : Phytopathologie

Thème

Impacts phytotoxiques des pesticides sur la croissance et le métabolisme oxydatif de la tomate

Présenté par :

Melle DJEKKOUNE Assmaa
Melle ZOULIKHA Hana

Soutenue le : 20/06/2022

Devant le jury composé de :

Mme. Mostfaoui houda	MCA	Présidente	U. Médéa
Mr. LICIR Mourad	MAA	Examinateur	U. Médéa
Mr. CHAOUCH Abderrezak	MCA	Encadreur	U. Médéa
Mr. Touzout Nabil	Doctorant	Co-encadreur	U. Mostaganem

Année universitaire 2021/2022

Liste des figures

Figure 1:stucture chimique de DDT 7
Figure 2: Structure chimique du chlorpyrifos 7
Figure 3: structure chimique de carbamate 8
Figure 4: structure de pesticides pyréthroïdes 8
Figure 5: structure chimique de triazines 8
Figure 6: structure chimique d'urée 9
Figure 7:Voies de classification plus larges des pesticides : (A) classification générale, (B) basée sur le mode d'action/de pénétration, (C) basée sur les types d'utilisation, et (D) basée sur le type de formulation (Bilal et al., 2019). 11
Figure 8: premeire image publiees par dodoens en 1553 19
Figure 9: les feuilles de tomate 19
Figure 10 : la fleure de la tomate 20
Figure 11: le fruit de tomate 20
Figure 12: la tige de la tomate 20
Figure 13: le systemes racinaire de la tomate 21
Figure 14: les graines de la tomate 21
Figure 15: Photographie d'un fruit de tomate à maturité (photographie personnelle) 22
Figure 16: image de phroduit phytosanitaire sherpa 29
Figure 17: image de produit phytosanitaire Tachi gazole 30
Figure 18:les plantules de tomates en labouratoire 31
Figure 19: le materiel utilise dans la production de la biomasse 32
Figure 20 : l'extraction des pigments chlorophylliens par l'acétone 32
Figure 21 : Dosage des pigments photosynthétiques par spectrophotomètre 33
Figure 22 : photo de spectrophotomètre 34
Figure 23 : Effet de SH et/ou TAC sur la morphologie des plantules de tomate 39
Figure 24: Effet de SH et/ou TAC sur la biomasse des racines: 40
Figure 25:: Effet de SH et/ou TAC sur la biomasse des pousses 40
Figure 26 : Effet de SH et/ou TAC sur la longueur des pousses 41
Figure 27 : Effet de SH et/ou TAC sur la longueur des racines 41
Figure 28 : Effet de SH et/ou TAC sur la teneur en chlorophylles 43
Figure 29: Effet de SH et/ou TAC sur la teneur en H_2O_2 44
Figure 30 : Effet de SH et/ou TAC sur la teneur en MDA 45
Figure 31 : Effet de SH et/ou TAC sur l'activité de SOD 46
Figure 32: : Effet de SH et/ou TAC sur l'activité de CAT 47
Figure 33: Effet de SH et/ou TAC sur l'activité d'APX; 48
Figure 34: Effet de SH et/ou TAC sur la teneur en proline 49
Figure 35: Effet de SH et/ou TAC sur la teneur en ASA 50
Figure 36: Effet de SH et/ou TAC sur la teneur en GSH 50
Figure 37 : Effet de SH et/ou TAC sur la Teneur en poly phénols totaux 51

Listes de tableau

Tableau 1: la production annuelle de tomate par pays en milliers de tonnes (FAO, 2014). 23
Tableau 2 : les ravageurs de la tomate :(Chahbar et al., 2018). 24
Tableau 3 : les maladies de la tomate..... 25
Tableau 4: les doses homologues..... 29
Tableau 5: les doses homologue..... 30
Tableau 6 **:** l'effet de SH et TAC sur la croissance et la teneur en chlorofylle dans les plantules de tomate:..... 42

Tableau de matières

Introduction générale : 1
1 Généralités sur les pesticides 5
1.1 Définitions : 5
1.2 Historique : 5
1.3 Classification de pesticides : 6
1.3.1 Selon la nature de la cible visée : 6
1.3.2 Selon leurs caractéristiques chimiques 6
1.3.2.1 Les pesticides organiques : 7
1.3.2.2 Les pesticides inorganiques : 9
1.3.2.3 Les bio-pesticides : 9
1.3.3 Selon leur persistance dans l'environnement : 9
1.3.4 Selon le mode d'action : 10
1.3.5 Selon leur toxicité : 10
1.4 Effets des stress chimiques xénobiotiques chez les plantes : 11
2 Réponses éco-physiologiques de la plante : 13
2.1 Absorption et translocation des pesticides dans les plantes : 13
2.2 Phytotoxicité décrite pour les organochlorés OCs : 13
2.3 Phytotolérance et détoxication des polluants dans les tissus végétaux : 14
2.3.1 Généralités sur la tolérance biochimique : 14
2.3.1.1.1 Les enzymes de phase I et les organochlorés : 15
2.3.1.1.2 Les enzymes de phase II et les organochlorés : 15
2.3.1.1.3 Les glutathion-S-transférases (GSTs) : 16
2.3.1.1.4 Les glycosyltransférases (GTs) : 16
3 Généralité sur la tomate 18
3.1 Introduction : 18
3.2 Origine et Historique : 19
3.3 Description botanique de la tomate : 19
3.4 Classification botanique : 21
3.5 Importance économique : 22
3.5.1 Dans le monde : 22
3.5.2 En Algérie : 22
3.6 La culture de la tomate : 22
3.6.1 La culture dans le monde : 23

3.7 Production : 23
3.8 Les principales ravageuses : 23
3.9 Les principales maladies : 25
Chapitre 01 : 28
Matériels et méthodes 28
4 Matériels et méthodes 29
4.1 Les pesticides utilisent : 29
4.2 Matériels végétales : 30
4.3 Analyses morphologiques : 32
4.3.1 Production de la biomasse : 32
4.4 Teneur totale en chlorophylle : 32
4.5 Analyse biochimique : 33
4.5.1 Teneur en malonyldialdéhyde (MDA) : 33
4.5.2 Teneur en peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) 34
4.6 Détermination de l'activité des enzymes : 34
4.6.1 Extraction des enzymes (CAT, SOD et APX) : 34
4.6.2 Catalase (CAT) : 35
4.6.3 Super-oxyde dismutase (SOD) : 35
4.6.4 Ascorbate peroxydase (APX) : 35
4.7 Concentration des antioxydants non enzymatiques 36
4.7.1 Acide ascorbique (AsA) : 36
4.7.2 Glutathion réduit (GSH) 36
4.7.3 Poly phénols totaux 36
4.7.4 Teneur en proline 37
4.8 Analyse statistique : 37
Chapitre 02 : 38
Résultats et discussion 38
4.9 Effet de pesticides sur la croissance et la teneur en chlorophylles des plantules des tomates : 39
4.9.1 Biomasse et longueurs des pousses et des racines : 39
4.9.2 Effet de pesticides sur la teneur en chlorophylles 42
4.10 Effet d'insecticide et/ou fongicide sur la teneur en peroxyde d'hydrogène : 43
4.11 Effet d'insecticide et/ou fongicide sur la teneur en malondialdéhyde 45
4.12 Effet des pesticides sur l'activité enzymatique antioxydants dans les feuilles des tomates 46

4.12.1 Superoxyde dismutase : 46
4.12.2 La catalase : 46
4.13 Ascorbate peroxydase : 47
4.14 Effet des pesticides sur la teneur en métabolites antioxydantes : 48
4.14.1 Proline : 48
4.15 Teneur en AsA : 49
4.16 Teneur en glutathion (GSH) : 50
4.17 Teneur en poly phénols totaux : 51
5 Conclusion : 59
6 Perspectives : 59
7 Références : 60

Liste des abréviations :

MDA: malondialdéhyde

APX: Ascorbate peroxydase

GST:Glutathion-S-transférase

SOD : superoxyde dismutase

MO : matière organique

DDT: Dichlorodiphényltrichloroéthane

TCA : Acide trichloroacétique

H_2O_2 : Peroxyde d'hydrogène

TBA : thiobarbituric acid

GSH: glutathion

MF: matière fraiche

AsA: ascorbate

CAT: catalase

O_2 : radicale super oxyde

Cd : cadmium

OCs : les organochlorés

(GSTs) : les Glutathion-S-Transférases

(EC) : Concentré émulsionnable

D.A.R : délai avant récolte

(PVPP) : Polyvinylpolypyrrolidine :

SH : sherpa

TAC : Tachi gazol

Résumé

L'utilisation excessive et non organisée des pesticides a eu des impacts négatifs sur le sol et l'eau à des niveaux plus élevés. Les pesticides sont une classe majeure de composés organiques persistants avec une résistance élevée à la biodégradation naturelle et une tendance accrue à la bioaccumulation. Les graves risques pour la santé imposée aux organismes vivants entravent l'écosystème et entraînent des problèmes de santé chroniques et irréversibles. Ici, nous avons étudié la toxicité de deux pesticides ainsi que l'effet combiné des polluants sur les plantules de tomate*Solanium Lycopersicum*.

Les résultats montrent que le poids frais et la teneur en chlorophylle ont diminué, indiquant que la croissance et la photosynthèse ont été affectées négativement. L'exposition aux SH(Sherpa) et/ou TAC (tachi gazole) peuvent produire de nombreuses espèces réactives de l'oxygène(ERO), ce qui entraîne une augmentation de la teneur en malondialdéhyde (MDA). Afin d'éliminer l'excès de ERO, l'activité des enzymes et la teneur en antioxydantes est augmentée. A travers cette étude nous avons constaté que l'insecticide et l'herbicide causent un stress oxydatif pour la culture de la tomate. L'action combinée des deux pesticides diminue encore la croissance et la teneur en chlorophylle, et augmente la teneur en MDA. Les résultats montrent que l'ordre de toxicité estSH+TAC>SH>TAC La combinaison d'insecticideet fongicide provoque une augmentation de la toxicité pour *Solanium Lycopersicum*

Mots clés : la tomate; pesticide; sherpa; tachi gazole; stress oxydatif

Abstract

The excessive and unorganized use of pesticides has had negative impacts on soil and water at higher levels. Pesticides are a major class of persistent organic compounds with a high resistance to natural biodegradation and an increased tendency to bioaccumulation. The severe health risks imposed on living organisms hamper the ecosystem and lead to chronic and irreversible health problems. Here, we investigated the toxicity of two pesticides as well as the combined effect of pollutants on *SolaniumLycopersicum* tomato seedlings.

The results show that fresh weight and chlorophyll content decreased, indicating that growth and photosynthesis were negatively affected . Exposure to SH (Sherpa) and/or TAC (tachi gazole) can produce many reactive oxygen species (ROS), resulting in increased malondialdehyde (MDA) content. In order to eliminate excess ERO, the activity of enzymes and the content of antioxidants are increased. Insecticide and herbicide cause oxidative stress in tomatoes. The combined action of pesticides further decreases growth and chlorophyll content, and increases MDA content.The results show that the order of toxicity is SH+TAC>SH>TAC. The combination of pesticides causes an increase in toxicity for *SolaniumLycopersicum*.

Key Word: tomato;pesticide;insecticide (Sherpa);fungicide(tachi gazole);oxidative stress.

الملخص

كان للاستخدام المفرط وغير المنظم لمبيدات الآفات آثار سلبية على التربة والمياه عند مستويات أعلى. مبيدات الآفات الزراعية هي فئة رئيسية من المركبات العضوية الثابتة ذات المقاومة العالية للتحلل البيولوجي الطبيعي والميل المتزايد إلى التراكم البيولوجي. إن المخاطر الصحية الشديدة المفروضة على الكائنات الحية تعيق النظام البيئي وتؤدي إلى مشاكل صحية مزمنة لا رجعة فيها. هنا، قمنا بالتحقيق في سمية اثنين من المبيدات الحشرية وكذلك التأثير المشترك للملوثات على شتلات الطماطم *سولانيوم ليكوبرسيكوم*. أظهرت النتائج أن الوزن الطازج ومحتوى الكلوروفيل قد انخفض، مما يشير إلى أن النمو والتمثيل الضوئي قد تأثرا سلبا. التعرض ل SH و / أو TAC يمكن أن تنتج العديد من أنواع الأكسجين التفاعلية(ERO)، مما أدى إلى زيادة محتوى مالونديالدهيد (MDA). من أجل القضاء على ERO الزائدة، يتم زيادة نشاط الإنزيمات ومحتوى مضادات الأكسدة. المبيدات الحشرية ومبيدات الأعشاب تسبب الإجهاد التأكسدي في الطماطم. العمل المشترك لمبيدات الآفات يقلل من النمو ومحتوى الكلوروفيل، ويزيد من محتوى مدا. أظهرت النتائج أن ترتيب السمية هوTAC <SH<SH+TAC. المعالجة المشتركة ب SH و TAC يسبب زيادة في السمية على شتلات الطماطم.

الكلمات المفتاحية: نبات الطماطم. مبيدات زراعية. مبيدحشري. مبيد فطري. الإجهاد التأكسدي



REMERCIEMENTS

Au seuil de ce travail qui n'aurait pas pu aboutir à des résultats satisfaisants sans l'aide de plusieurs personnes que nous remercions. Je tiens à remercier tous d'abord le bon dieu (ALLAH) le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la santé, la patience, la volonté et le courage d'accomplir ce modeste travail en second lieu, je tiens à exprimer ma reconnaissance, ma profonde et sincère gratitude et mo respect envers mon encadreur Dr. CHAOUCH Abderrezak pour avoir répondu positivement à ma demande de direction, ainsi je tiens a présenter mes sincères remerciements pour le Co-promoteur Mr. TOUZOUTE Nabil pour sa disponibilité, son aide et son orientation envers. Nous l'élaboration de cette fructueuse étude et sa rigueur scientifique et ses conseils.

Mes remerciements les plus vifs s'adressent aussi à la présidente de Jury Mme Mostfaoui Houda de ce mémoire sans cesse.

Je voudrais remercier également les autres membres de Jury Mr. LICIR Mourad pour l'intérêt qu'ils a porté à ma recherche en acceptant d'examiner ce modeste travail et l'enrichir par leur propositions.

Enfin, je tiens à remercier encore ma très chère copine et ma collaboratrice Hana pour tout son effort et ses idées qui étaient un aide et un courage envers moi dans le déroulement et la réalisation de ce travail.

Asmaa



DEDICACE

Au nom de dieu le clément, je dédie ce modeste travail à :

- *Toute ma famille sans exception, en particulièrement les deux anges de ma vie mon père et ma mère, qui m'ont éclairé le chemin par leur grand soutien, leur encouragements, leurs énormes sacrifices qu'ils m'ont consentis durant mon parcours pour me voir réussir, donc je les remercie beaucoup.*
- *A mes deux sœurs Nour el houda, Amina et mon frère Ismail.*
- *A mon cher mari Soheib qui a été compréhensif, et m'a aidé et soutenu durant toutes ces années d'études.*
- *A ma fille, ma princesse la petite Maram, qui m'a donné de la joie et la volonté en regardant son sourire et ses beaux yeux.*
- *A mes superbes et introuvables amies.*
- *A tous les enseignants de l'école primaire jusqu'à l'université.*
- *Ainsi qu'a toute ma promotion de biologie.*
- *A toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce modeste travail.*

ASMAA

REMERCIMENT

Je tiens à remercié en premier lieu :

Le seigneur Dieu, tout puissant, source de toute connaissance.●

Mais aussi, Mon encadreur de mémoire, Mr. Chaouch A. Professeur à l'université de Médéa,● et le Co promoteur Mr Touzout Nabil pour son aide, sa patience et sa disponibilité tout au long de la rédaction de ce manuscrit.

Les membres du jury, pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail, en acceptant de l'examiner, plus particulièrement Mme Mostfaoui Houda. Présidente du jury et Maître de conférences B à l'université de ainsi que Mr. LICIR Mourad, Examinateur et enseignant à l'université de Médéa. A L'équipe pédagogique de l'établissement, pour la richesse et la qualité des enseignements●

Fournis tout au long de l'année. Mme TIFOURA A. Responsable du laboratoire des PFE de la faculté des sciences de l'université de Médéa, pour son chaleureux accueille. Mon très cher amie Djekkoune Asma qui a su apporté son soutien moral et intellectuel lors de la rédaction de ce mémoire.

Et enfin, je tiens à adresser un profond remerciement à Ma mère, celle qui fait mon bonheur et Mon Marie Benaissa Merouane que dieu le protège.





Dédicace

C'est avec toute cardeur de mes sentiment que je dédie ce modeste travail qui est le fruit de ma

Profonde reconnaissance a :

Mes parents que dieu les gardes et le protèges.

Mon marie qui a mis de l'espoir dans ma vie

Mes chères sœurs Nacira et Rachida et leurs enfants Nabil ; Aya ; Sarah ;

Mohamed et Amine. Mes belles Sœurs Sihem, Habiba, Hassina et spécialement

Fethia

Mes chers frères Mahmoud, Rabeh, Mustapha et Nadjib

La famille Zoulikha en général

Mon binôme ASSMA

Haná



Introduction générale :

Un pesticides est une substance chimique toxique ou un mélange de substances ou agents biologiques qui sont libères par une activité anthropique dans l'environnement pour contrôler et ou tuer les populations d'insectes .de mauvaises herbes de ravageurs ; de champignons ou d'autres nuisibles, les pesticides agissent en attirant séduisant puis en détruisant ou en atténuant les nuisibles (Parween & Jan, 2019b).

L'homme a appris à utiliser l'agriculture pour fournir les alimentes nécessaires a sa propre substance. Depuis l'époque néolithique il ya en virons 11.000 ans les cultures céréalières ont fait l'objet des premiers pratiques agricoles et se sont ensuite développées dans les autres régions du monde pour maximiser le rendement des cultures .la plupart des aliments végétaux de base ont été cultives en monoculture c'est- a- dire un écosystèmes inhabituel dans lequel aucune diversité de plantes autres que la cultures n'est autorisée pour assurer que c'est le cas Les plantes concurrentes indésirables sont appelées mauvaises herbes. En raison de cette caractéristique les monocultures sont des cibles idéales pour les animaux consommateurs spécialises qui sen nourrissent une fois que ces animaux findent une cultures qui leur convient il se multiplient de manière explosive et deviennent des nuisibles. A l'exception peut –être des invasions de criquets tous les autres ravageurs agricoles sont un produit des monocultures et depuis les premier temps l'humanité a lutte pour tenir en échec les espèces nuisibles qui décimaient ses cultures (Parween & Jan, 2019b).

Apres la seconde guère mondiale les pesticides chimiques sont devenus la formes la plus importante de lutte contre les ravageurs appliquée consciemment les personnes engagées dans des pratiques agricoles en récoltes en raison des pertes causées par une variété d'insectes nuisibles il est peut- être impossibles de dire qui a décide d'appliquer des insecticides mais apparemment cela s'est produit il ya très logements.

Dans ce travail, nous avons étudié l''impact de stress des pesticides (sherpa 25) sur la physiologie et le métabolisme de la tomate a été étudié en culture hydroponique.

Ainsi, dans la présente étude, nous avons modulé la composition de la solution nutritive en ajoutant du fongicide et pulvérisation du insecticide afin de simuler les impacts de : a) des facteurs de stress uniques tels que (i) le stress de insecticide (couramment utilise en raison de leur effet insecticide), et (ii) l'exposition au fongicide (habituellement présente en raison d'une), et b) les facteurs de *stress combinés* (insecticide

et fongicide), et évaluer davantage leur effet sur la croissance et le métabolisme des plantules.

Le but de la présente étude était d'étudier les effets séparés et conjoints de l'insecticide et du fongicide sur la croissance, les paramètres physiologiques et biochimiques de la tomate *(Solanum lycopersicum l).*

Ce travail s'articule autour de deux grandes parties: La première partie, théorique, est composée de trois chapitres. Le premier s'intéresse à la généralité de pesticide, le deuxième sur les réponses éco physiologiques et le troisième sur la généralité de la tomate. La deuxième partie, pratique, traite l'étude expérimentale à savoir : matériels et méthodologies utilisées, ainsi que les traitements et l'analyse des résultats obtenus et leurs discussions. Ce travail se termine par une conclusion générale avec des perspectives.

Partie 1 :

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I :

Généralité sur les pesticides

1 Généralités sur les pesticides

1.1 Définitions :

Un pesticides est une substance chimique toxique ou un mélange de substances ou agents biologiques qui sont libères par une activité anthropique dans l'environnement pour contrôler et ou tuer les populations d'insectes .de mauvaises herbes de ravageurs ; de champignons ou d'autres nuisibles. Les pesticides agissent en attirant séduisant puis en détruisant ou en atténuant les nuisibles (Bilal et al., 2019).

Les pesticides regroupent une large gamme de composés, naturels ou de synthèse, donc l'objectif est de réguler chimiquement une population d'individus nuisibles. Ces composés ont tout d'abord été introduits pour contenir certaines maladies ou pour augmenter les rendements de production du secteur agricole.

1.2 Historique :

Les propriétés insecticides du dichloro-diphényl trichloro-éthane (DDT) ont été décrites en 1939 par Paul Hermann Müller (Prix Nobel de chimie 1948), et ce composé a largement permis d'endiguer une épidémie de typhus à Naples en 1943 et de protéger les soldats durant la seconde guerre mondiale, en tuant: Contexte de l'étude - 46 - les poux vecteurs de la bactérie pathogène (Wheeler, 1944). Avec les années, les usages des pesticides se sont multipliés et diversifiés à tel point qu'aujourd'hui ces molécules peuvent être utilisées aussi bien dans des domaines professionnels (agriculture, recouvrement de façade, protection de matériaux, etc.), que par les particuliers pour des usages d'appoint (produits antipuces, désherbage, etc.).

Ces molécules sont synthétisées pour être toxiques, et selon la substance considérée, elles peuvent exercer leurs effets à de très faibles concentrations, parfois à l'état de traces (ng.L-1). De par leur structure chimique, ce sont généralement des substances persistantes dans l'environnement, capables de migrer vers de nombreux compartiments naturels tels les sols, les eaux de surfaces ou l'atmosphère, et d'impacter les organismes y résidant.

Les Etats-Unis et la Chine sont actuellement les plus gros consommateurs de pesticides au niveau mondial. D'après une étude Eurostat sur la consommation de

pesticides par les pays de l'Union Européenne, la France fait partie avec l'Italie et l'Espagne des 3 plus gros consommateurs au niveau européen. Avec une moyenne de plus de 66 500 tonnes de pesticides par an, elle représente à elle seule entre 16 et 19% des ventes au cœur de l'Union Européenne Cette consommation importante est en lien avec la surface dédiée à l'agriculture qui est, pour la France (29 millions d'hectares en 2016), la plus importante de l'Union Européenne (Eurostat) (Bilal et al., 2019).

1.3 Classification de pesticides :

Le monde des pesticides est très complexe et avec des classes chimiques extrêmement diverse et l'utilisation de ces substances en agriculture mais aussi en voirie et en jardinerie est massive Elles peuvent être regroupées de manière différente selon l'aspect sous lequel ils sont étudiés. Ils peuvent être classés en fonction de leur cible, de leur structure chimique, de leur persistance dans la nature, de leur mode ou mécanisme d'action**.** Aussi peut classer les pesticides selon la toxicité (Karima, 2019) **.**

1.3.1 Selon la nature de la cible visée :

D'après les pesticides sont généralement classés selon la nature des organismes (nuisible) ciblés .Ondes catégories principales sont (Karima, 2019) :

*Herbicides .qui luttent contre les plantes adventices des cultures ;

*Fongicides, qui luttent contre les champignons pathogènes ;

*Insecticides, qui luttent contre les insectes nuisibles ;

*Acaricides, qui luttent contre les acariens, et qui sont souvent intégrés aux insecticides ;

*Rodenticides, qui luttent contre les petits rongeurs ;

*Nimaticides, qui luttent contre les vers ;

*Molluscicides, qui luttent contre les escargots et limaces ;

*Taupicides, qui luttent contre les taupes ;

*Corvifuges ou corvicides, qui luttent contre les corbeaux ;

*Médiateurs chimiques (phéromones) ;

1.3.2 Selon leurs caractéristiques chimiques :

Parmi les pesticides agricoles, on peut faire la distinction entre les composés inorganiques, les produits organiques synthétisés et les bio-pesticides. Le classement se fait en fonction de la nature chimique de la substance active On distingue:

1.3.2.1 Les pesticides organiques :

Ce sont dérivés chimiquement des produits pétroliers : organochlorés, organophosphorés, carbamates, thiazines, urées substituées et le pyréthrinoides.

a) Organochlorés :

Étaient couramment utilisés dans le passé, mais beaucoup ont été retirés du marché en raison de leurs effets sur la santé et l'environnement et de leur persistance (par exemple, le DDT et le chlordane) (Rennes et al., 2015). **(Fig.1).**

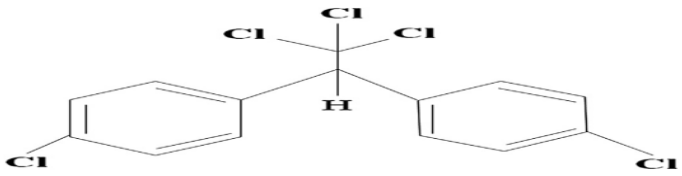


Figure 1:stucture chimique de DDT

b) Organophosphorés :

Ces pesticides affectent le système nerveux en perturbant l'enzyme qui régule l'acétylcholine, un neurotransmetteur. La plupart des organophosphorés sont des insecticides. Ils ont été mis au point au début du 19e siècle, mais leurs effets sur les insectes, qui sont similaires à leurs effets sur les humains, ont été découverts en 1932. Certains sont très toxiques (ils ont été utilisés pendant la Seconde Guerre mondiale comme agents neurotoxiques). Cependant, ils ne sont généralement pas persistants dans l'environnement (Parween & Jan, 2019a). **(Fig.2)**

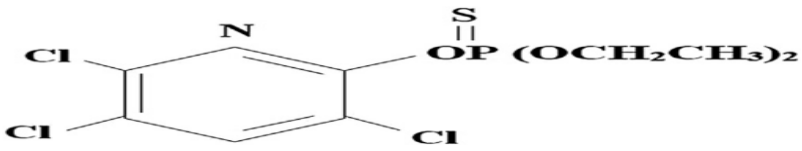


Figure 2: Structure chimique du chlorpyrifos

c) Carbamates :

Affectent le système nerveux en perturbant une enzyme qui régule l'acétylcholine, un neurotransmetteur. Les effets de l'enzyme sont généralement réversibles. Il existe plusieurs sous-groupes au sein des carbamates **(Fig.3)**.

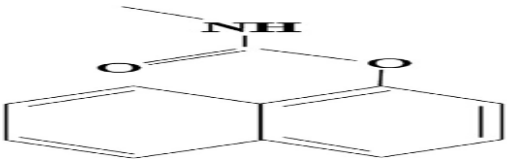


Figure 3: structure chimique de carbamate

d) Pyréthrénoides :

Ont été développés comme une version synthétique de la pyréthrine, un pesticide naturel que l'on trouve dans les chrysanthèmes. Ils ont été modifiés pour augmenter leur stabilité dans l'environnement. Certains pyréthroïdes synthétiques sont toxiques pour le système nerveux **(Fig.4).**

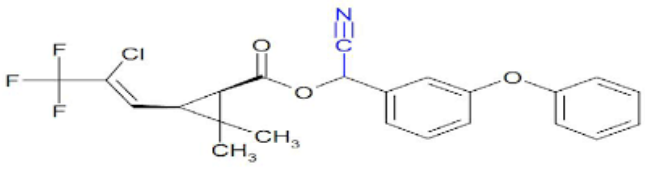


Figure 4: structure de pesticides pyréthroïdes

e) Triazines :

Doivent leur nom à la présence de trois atomes d'azote dans un cycle aromatique. Ce sont des herbicides dont le mode d'action repose sur une inhibition de la photosynthèse par blocage du photosystème II. En est le représentant le plus connu mais on peut aussi citer la simazine ou la terbuthylazine **(Fig.5)**.

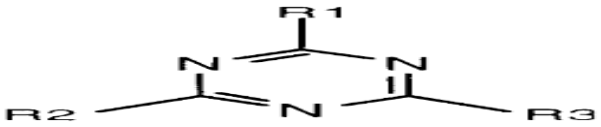


Figure 5: structure chimique de triazines

f) Urée substituées :

Les premiers brevets décrivant l'activité herbicide des urées substituées sont parus à la fin des années 40 c'est mais à partir de 1951 avec la création du monuron que leur

utilisation se généralise. Ces substances sont bâties autour du motif urée (NH2-CO-NH2) substitué sur les atomes d'azote **(Fig.6)**.



Figure 6: structure chimique d'urée

1.3.2.2 Les pesticides inorganiques :

En général ce sont des éléments chimiques qui ne se dégradent pas. Leur utilisation entraine souvent de graves effets toxicologiques sur l'environnement par accumulation dans les sols (Bilal et al., 2019).

1.3.2.3 Les bio-pesticides :

Ce sont des substances dérivées de plantes ou d'animaux.

Elles peuvent êtres constituées d'organismes tels que les :

- Moisissures
- Bactéries
- Virus
- Nématodes
- Composés chimiques dérivés de plantes
- Phéromones d'insectes

1.3.3 Selon leur persistance dans l'environnement :

L**es pesticides conservatifs (persistants)** : Ce sont des pesticides organiques non biodégradables tels que les HAPs, PCBs, dioxines….etc.

L**es pesticides non conservatifs (non persistants)** : qui à terme, disparaissent dans peu de temps à cause de leur biodégradabilité rapide tels que certains OP, pyréthrinoides, néonicotinoides et Bio pesticides (Karima, 2019).

1.3.4 Selon le mode d'action :

Les pesticides peuvent également être classés en fonction de leur mode d'action sur les organismes nuisibles comme suite :

- ✓ **Large spectre** : tué large éventail de parasites, habituellement référence à des insecticides, des fongicides et des bactéricides.
- ✓ **Contactez-poison** : tue par l'agent de contrôle.
- ✓ **Désinfectant (curative)** : inhiber la germination des graines de mauvaises herbes, les spores de champignons, et les spores bactériennes.
- ✓ **Non sélective** : tue large éventail d'organismes nuisibles et /ou des plantes .cultivées, généralement utilisés en référence aux herbicides.
- ✓ **Nerve poison** : interfère avec le fonctionnement du système nerveux.
- ✓ **Protecteur** : protège les cultures s'elle est appliquée avant pathogènes infectent la culture
- ✓ **Répulsif** : Repousse les ravageurs des cultures ou interféré avec des ravageurs ont la capacité de localiser les cultures.
- ✓ **Systémique** : Absorbée et traduit dans toute l'usine pour fournir une protection.
- ✓ **Estomac poison** : tue après l'ingestion par un parasite.

1.3.5 Selon leur toxicité :

La toxicité des pesticides est très variable et elle est liée à leur structure moléculaire. C'est pourquoi face à cette complexité, l'OMS prend en compte plusieurs facteurs pour évaluer la toxicité des pesticides sur l'homme : la dose, les modalités d'exposition, le degré d'absorption et la nature des effets de la matière active et de ses métabolites.

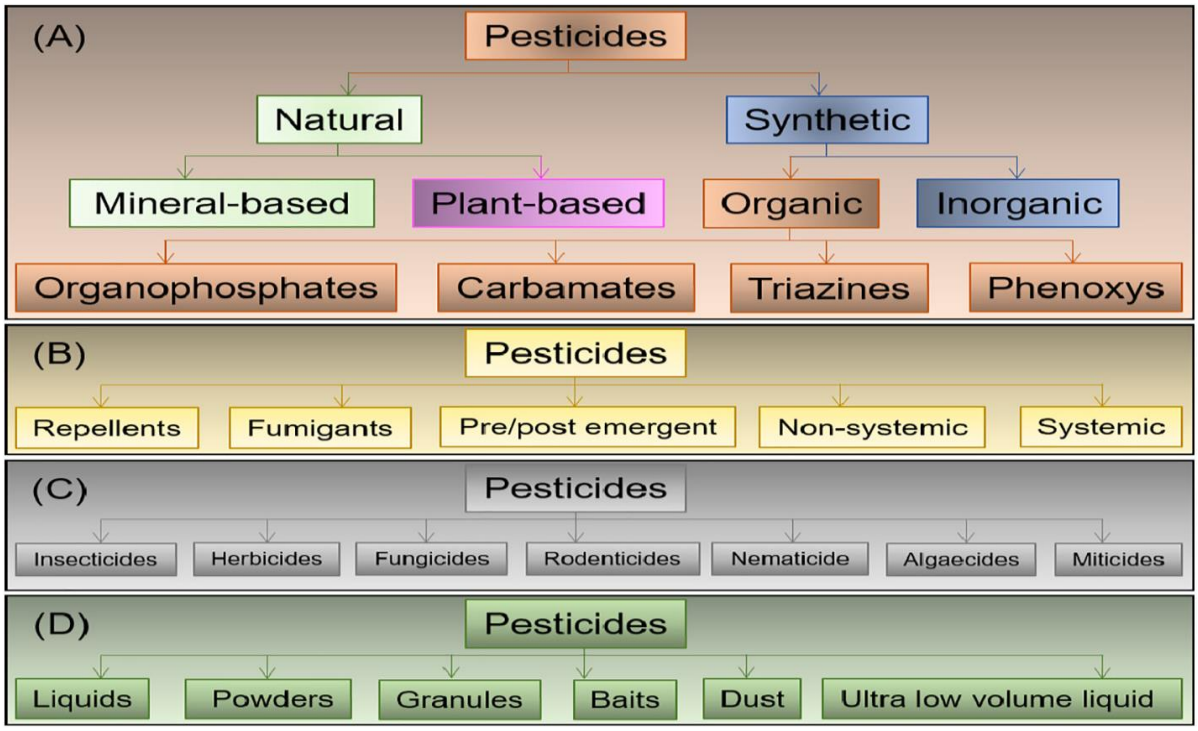


Figure 7: Voies de classification plus larges des pesticides : (A) classification générale, (B) basée sur le mode d'action/de pénétration, (C) basée sur les types d'utilisation, et (D) basée sur le type de formulation (Bilal et al., 2019).

1.4 Effets des stress chimiques xénobiotiques chez les plantes :

Les stress chimiques sont induits par des facteurs chimiques de nature variée (salinité, pH, métaux lourds, polluants organiques) qui sont responsables de perturbations au sein de la plante au cours de son développement. Ces perturbations associées au stress influencent généralement de façon défavorable le fonctionnement de la plante (Jackson, 1986). Dans le cas présent, nous nous intéressons plus particulièrement aux stress chimiques provoqués par des polluants organiques de type xénobiotiques.

En fonction de leurs caractéristiques physiques et chimiques (sous forme dissoute ou émulsifiée) et des conditions d'exposition subies par les plantes (exposition foliaire ou Racinaire) les xénobiotiques vont pénétrer dans les tissus végétaux de manière différente. Les composés hydrophobes vont passer directement dans les cellules par diffusion passive au travers des membranes. Les molécules plus polaires peuvent être absorbées de manière passive ou active *via* les flux d'eau et être transportées dans le xylème ou le phloème (Rennes et al., 2015). Elles peuvent aussi emprunter les systèmes de transport cellulaire Ces xénobiotiques peuvent alors avoir des effets primaires, globaux et en cascade sur les organismes (Singh, n.d.).

Chapitre 02 :

Réponses ecophysiologiques des plantes au stress xénobiotiques

2 Réponses éco-physiologiques de la plante :

2.1 Absorption et translocation des pesticides dans les plantes :

Les pesticides pénètrent dans les plantes par différents moyens, tels que la pulvérisation foliaire, l'application au sol et le traitement des semences.

La taille de la molécule (poids) d'un pesticide, détermine sa phyto-disponibilité. En général, un pesticide à petite molécule (Mr < 500 Da) est absorbé par diffusion de manière passive, tandis qu'un pesticide dont le poids moléculaire est supérieur à 500 Da nécessite généralement une hydrolyse de l'ATP pour entraîner son absorption. Les pesticides du sol, tels que l'atrazine, l'isoprouron, l'imidaclopride et le sumilex (-1 < logKOW < 5), entrent dans les plantes par les racines.. Les pesticides lipophiles peuvent être bloqués dans la bande caspienne dans le cortex de l'endoderme même s'ils pénètrent dans l'épiderme des racines par le biais des réseaux symbiotiques ou apoplasmiques. Dans ce cas, le franchissement de la brèche nécessite l'aide de certains transporteurs de médicaments en tant que porteurs de pesticides Ces transporteurs tels que la pompe d'efflux P-glycoprotéine, les transporteurs de cations organiques d'absorption (OCT) et les cassettes de liaison à l'ATP (transporteurs ABC) ont généralement un spectre plus large de substrats La protéine PDR11 d'Arabidopsis, localisée dans le plasmalemme, est un transporteur de parquât. , favorisant l'accumulation du parquât dans les plante (Zhang & Yang, 2021).

2.2 Phytotoxicité décrite pour les organochlorés OCs :

La phytoremédiation est une technique qui utilise l'efficacité des plantes pour dépolluer les matrices et pour que ce rendement soit optimal les plantes doivent tolérer le stress et la toxicité liés à la pression chimique. Dans le cas des organochlorés, il a été démontré que le lindane pouvait inhiber la germination et le développement de la plantule (mesuré par pesée de la biomasse) de plusieurs espèces végétales, *ex.Triticum*, *Trifolium*, Avena, Pisum, etc (San Miguel, 2011). Par ailleurs, il apparaît que l'exposition au lindane Induirait un effet négatif sur le contenu chlorophyllien des plantes (San & Phytoremédiation, 2012). Le lindane a été décrit comme un inhibiteur du transfert électronique chloroplastique au niveau du PSII à des concentrations supérieures ou égales à 5 mg l-1 au bout de 24h d'exposition. Comparativement, un nombre plus modeste d'études a été mené sur les effets phytotoxiques des chlorobenzènes. L'effet phytotoxique communément mesuré sur les plantes exposées aux CBS est une inhibition du développement, i.e. algue macrophytes et les plantes cultivables D'autres études ont

montré que les HCHs et les CBS pouvaient induire des effets génotoxiques comme la formation de micronoyaux, des aberrations Chromosomiques ou encore des cassures de l'ADN ; ces effets sont généralement détectés au niveau des zones méristématiques racinaires D'autres travaux encore démontrent qu'une exposition prolongée au 1,4-DCBJouerait un rôle inhibiteur sur la croissance des plantes de P. australis (ainsi que sur le développement cellulaire de plantes cultivables telles que la tomate, le soja et la carotte (San Miguel, 2011) .

2.3 Phytotolérance et détoxication des polluants dans les tissus végétaux :

2.3.1 Généralités sur la tolérance biochimique :

La phytotolérance exprimée chez certaines plantes lorsqu'elles sont exposées {desxénobiotiques peut être liée à plusieurs processus, **(1)** une absence de site d'action (i.e.herbicide sélectif),**(2)** une capacité à stocker les xénobiotiques dans des zones non-vitales telles que les espaces vacuolaires, les tissus de l'épiderme ou le mésophile, ce qui est le cas par exemple de métaux), et **(3)**une capacité à détoxiquer les xénobiotiques de l'expression des enzymes végétales impliquées dansla biotransformation des xénobiotiques permettra d'assurer une capacité catalytiquesuffisante pour modifier leurs structures chimiques. Le panel génétique codant pour cesenzymes de détoxication est appelé par certains : la plante xenome les métabolites obtenus sont dans certains cas plus toxiques que lamolécule mère, ce qui est le cas en partie d'un grand nombre de pro herbicides (ex.Pyrate, 2,4-D et composés voisins, bromoxynil, benzoylpro-éthyle…) dont la rupture dansla paroi cellulosique des liaisons esters libère un acide étant la véritable substance active (Tissut et al. 2006). Cependant, dans la majorité des cas, les métabolites présentent unetoxicité plus faible voire nulle n'occasionnant aucun dommage (A. Sharma et al., 2019).

La phase I : Phase de biotransformation, qui converti les xénobiotiques, le plus souvent très lipophiles, en des molécules plus polaires, par le biais de processus d'hydrolysassions Oxydatives variés et/ou réductives. Cette phase fait Intervenir des enzymes de détoxication telles que les mono oxygénases à cytochromes P450, estérases, oxydases, déhalogénases (Zhang & Yang, 2021).

La phase II : Phase de conjugaison, qui converti les xénobiotiques par ajout d'un groupement sucre, acide aminé ou de petits peptides. Cette phase de la métabolisation
Peut intervenir directement ou après le passage par la phase I de biotransformation.

Le conjugué ainsi formé est également plus hydrophile que la molécule de départ et moins toxique, faisant intervenir des enzymes de détoxication avec principalement les Glutathion-S-Transférases (GSTs) et les UDP-Glycosyltransférases (UGTs ou GTs).

La phase III : Phase de séquestration/compartimentation des métabolites conjugués dans la vacuole des cellules végétales ou de fixation aux composants de la paroi Cellulaire, comme la lignine, la pectine, la cellulose ou l'hémicellulose.

2.3.1.1.1 Les enzymes de phase I et les organochlorés :

Les polluants chlorés peuvent être détoxiqués par les mono oxygénases P450 qui vont catalyser la substitution d'un atome de Cl- par un groupement hydrophile de type –OH. Ces réactions ont été démontrées dans de nombreuses plantes traitées à des herbicides chlorés comme le chlortoluron. Dans le cas des organochlorés, des études ont démontré le potentiel de certaines bactéries associées à la rhizosphère à jouer un rôle dans la décoloration de ces polluants Les processus de dégradation de phase I font intervenir une variété d'enzymes de dégradation pouvant être retrouvées dans les plantes, les champignons, les bactéries endophytes et les bactéries.

Dans le cas particulier des plantes, des enzymes de dé halogénation ont également été Mises en évidence chez certaines espèces. C'est le cas par exemple de certaines plantes Aquatiques telles que les algues ou le millefeuille aquatique (*Myriophyllum aquaticum*) Capables de déhalogéner les solvants chlorés. Ces mêmes auteurs sitent des exemples de plantes dont les exsudats ou les Enzymes sont capables de casser les composés chlorés tels que l'hexa chlorobenzène, le penta chlorobenzène ou le tri chlorobenzène

2.3.1.1.2 Les enzymes de phase II et les organochlorés :

Les polluants chlorés sont susceptibles d'être conjugués { de petites molécules Polaires de types peptidiques (glutathion, homoglutathion, dérivés de glutamylcystéine, phytochélatines) ou à des sucres (glucose) chez les plantes La conjugaison peut être réalisée sur la molécule mère, mais dans la majorité des cas, ce sont les métabolites issus de la **phase I** qui se trouvent conjugués, puisque les réactions de **phase I** peuvent créer des fonctions électrophiles (ex : hydroxylation, sulfoxidation…) indispensables à la conjugaison(San Miguel, 2011).

2.3.1.1.3 Les glutathion-S-transférases (GSTs) :

Chez les plantes, une des voies principales de détoxication de phase II décrite pour les organochlorés correspond à une conjugaison au tri peptide, glutathion (Glu-Cys-Gly).

Cette conjugaison a lieu soit directement sur les polluants primaires, i.e. les herbicides Chloroacetanilides chloro-s-triazines et chloro-acétamides et le Fongicide chlorothalonil soit sur les polluants secondaires issus du Métabolisme de phase I, i.e. le 2,4-dichlorophenol (métabolite du trichlorobenzène) le pchlorophenol, métabolite du Dichlorobenzènet le Pentachlorophénol (San Miguel, 2011).

Ce type de conjugaison est catalysée par les GSTs (EC 2.5.1.18) qui permettent de substituer les groupements électrophiles présents sur des substrats non-polaires endogènes (quinones, phytoaléxines) ou des xénobiotiques par le glutathion Très hydrophile, le glutathion possède un groupement –SH2 qui correspond à un site nucléophile, site de réaction et de liaison avec les substrats. Il se retrouve en concentration importante dans les cellules où il joue un rôle de protection complexe, notamment pour gérer les espèces réactives oxygénées intermédiaires (ROIs) issus du processus photosynthétique.

Dans la majorité des cas les ROIs sont ensuite contrôlés et pris en charge par le métabolisme, mais dans le cas d'une augmentation massive de la quantité de ROIs, ceci peut conduire à un stress oxydant occasionnant des dommages cellulaires Il s'en suit alors la cascade classique de réactions oxydatives vues précédemment. Les GSTs ont été identifiées et caractérisées dans de nombreux organismes (insectes, bactéries, mammifères) et dans de nombreuses espèces de plantes.

2.3.1.1.4 Les glycosyltransférases (GTs) :

Les polluants chlorés sont activement métabolisés par un autre groupe d'enzymes de conjugaison de phase II très représentées dans le règne végétal, il s'agit des GTs (Glycosyltransférases ; EC 2.4.1). Cette conjugaison est possible directement sur les molécules mères, *ex.* les chloro-s-triazines et les chloroanilines , et sur les métabolites issus de la phase I, i.e. le pentachlorophénol le dichlorophénol lechlorophénol et le DDA (2,2-bis-(4-chlorophenyl)-acetic acide),métabolite de phase I du DDT (San Miguel, 2011).

Chapitre 03 :

Généralité sur la tomate

3 Généralité sur la tomate

3.1 Introduction :

La tomate (*Solanum lycopersicum*) est une espèce de la grande famille des Solanacées (Chaux et Foury, 1994; Spichiger *et al*, 2004; Dupont et Guignard, 2012). Elle est considérée comme premier légume après la pomme de terre et deuxième ressource alimentaire mondiale après les céréales. Elle est adaptée à des conditions de culture très variées et destinée à la consommation en frais transformée industriellement. Elle est largement produite en plein champ ou en serre (Chahbar et al., 2018).

La production mondiale annuelle des tomates ne cesse d'augmenter en enregistrant une nette progression avec 110 millions de tonnes en 2000, 129 millions en 2005 jusqu'a 152 millions de tonnes en 2010. En 2013, environ 163 millions de tonnes de tomates ont été produites dans le monde (Fao stat, 2015).

En Algérie, la tomate occupe une place prépondérante dans l'économie agricole. Selon Fao stat, (2015) la production de la tomate en Algérie est estimée à 975 075 tonnes en 2013. Cette dernière demeure faible et assez éloignée de celle enregistrée dans d''autres pays du Bassin méditerranéen (Tunisie, Maroc, Espagne, France, Italie).

3.2 Origine et Historique :

La tomate est originaire des Andes. Elle fut domestiquée au Mexique, puis introduite en Europe en 1544. Ensuite elle s'est propagée en Asie du Sud et de l'Est, en Afrique et en Moyen Orient Elle a d'abord été cultivée et améliorée par les indiens du Mexique, sous le nom aztèque « tomotl », avant d'être ramenée en Europe par les conquistadores. Neuf espèces sauvages peuvent être observées en Amérique du Sud, seulement deux comestibles, la « tomate groseille » (*Solanum pimpinellifolium*) et la « tomate cerise » (*Solanum lycopersicum var cesariforme*) qui est l'ancêtre de nos tomates actuelles **(Fig. 08)** .En 1905, la tomate est introduite en Algérie par les espagnols dans la région Ouest « Oran » (Eddine, 2018).



Figure 8: premeire image publiees par dodoens en 1553

3.3 Description botanique de la tomate :

La tomate est une plante herbacé appartenant à la famille des solanacées elle est cultivée comme plante annuelle et peut atteindre une hauteur de deux mètres (Oran et al., n.d.).

- Le feuillage : sont disposées en spirale (15-20 mm) de long et de (10-30 mm) de large avec un pétiole (3-6 cm) de long. Les folioles sont ovées et couvertes de poiles glandulaires, parfois pennatifides à la base



Figure 9: les feuilles de tomate

➢ Les fleures : fleures bisexuée, régulières (1,5-2 cm) de diamètre, opposées aux feuilles ou entre elles avec un tube de calice court et des sépales persistants la corolle constituée de 6 Pétales jaunes courbées avec une longueur de 1cm. L'androcée constitué de 4 étamines avec des anthères jaunes entourant le style allongé. Le gynécée avec un ovaire formé de 2-9 carpelles.



Figure 10 : la fleure de la tomate

➢ Le fruit : est une baie charnue, globulaire ou aplatie de 2-15 cm de diamètre, non mur de couleur vert et poilu, fruit mur jaune ou rouge.



Figure 11: le fruit de tomate

➢ La tige : longue de 2 mètres, pleine, poilu, glandulaire.



Figure 12: la tige de la tomate

➢ La racine : pivotante de 50 cm de profondeur avec une racine principale plus des racines latérales et adventices.



Figure 13: le systemes racinaire de la tomate

➢ Les graines : nombreuses, de forme de rein de 3-5 mm de large. L'embryon est enroulé dans l'albumen.



Figure 14: les graines de la tomate

La tomate riche en potassium (k+) fait baisser l'élévation attentionnelle (HTA) en agissant sur les reins du patient, soulage le coup de soleil Ou brulures.

3.4 Classification botanique :

Règne : plantae

Classe : magnoliopsida

Sous-classe : asteridae

Ordre : solanales

Famille : solanaceae

Genre : solanum

Espèce : solanum lycopersicum

3.5 Importance économique :

3.5.1 Dans le monde :

Le premier producteur de la tomate dans le monde est la chine avec 56308910 Tonnes sur 117118248 Tonnes de production mondiale, en suite c'est en deuxième position l'Inde avec 1839900 Tonnes puis viennent les Etats-Unis, la Turquie, et l'Egypte (Djimai, 2019).

3.5.2 En Algérie :

Les zones privilégiées de la production de la tomate en Algérie se situé au Nord du pays et plus particulièrement à est Taraf, Annaba, Guelma, ou elles représentent 90% de la superficie totale.



Figure 15: Photographie d'un fruit de tomate à maturité (photographie personnelle)

3.6 La culture de la tomate :

- La température : la tomate demande un climat frais et sec, ce pendant elle s'est adaptée au climat tempéré vers le climat tropical chaud et humide, une température optimale entre 21-24°c -10°C et 38°c plantes endommagées.
- La lumière : affecte les feuilles et les fruits.
- L'eau et l'humidité : exige un arrosage régulier et abondant, sensible au stress hydrique. Une humidité abondante augmente les moisissures ce qui entraine une pourriture de la plante.
- Le sol : riche en sels minéraux, bonne rétention d'H_2O et une bonne aération avec d'un PH 5.5 – 6.8 (Oran et al., n.d.).

3.6.1 La culture dans le monde :

La tomate est la culture la plus répandue dans le monde après la pomme de terre. Sa culture s'élevait de 170 millions de tonnes / superficie 5 millions d'hectare en 2014. En Algérie 1065609 tonnes/ superficie 2264 hectares (47 tonnes / hectares).

Tableau 1: la production annuelle de tomate par pays en milliers de tonnes (FAO, 2014).

Pays	Production annuelle (x1000T)
Chine	50664
Etats-Unis	12574
Espagne	3683
Tunisie	1200
Algérie	1065

3.7 Production :

La production mondiale de tomate s'élevait à 161 millions de tonnes en 2012 (pour Une surface production estimée a 4.8 millions d'ha) (http://faostat3.fao.org/home/E).

La Chine est le premier pays producteur de tomate dans le monde avec une production estimée à 50 millions de tonnes en 2012. La production de tomate en France en 2014 est chiffrée à 587 400 tonnes sur une surface de production de 2280 hectares (Agreste Conjoncture, infos rapides tomate, 2014) étalée principalement dans la région Sud-est (31% de la production nationale) et la région Bretagne (36%), avec une part mineure de la production dans les Pays de la Loire (16%) et l'Aquitaine (9%). Les récoltes sont principalement réalisées sous serres, les cultures de plein champ restant minoritaires. L'hétérogénéité environnementale des zones de production implique différentes contraintes hydriques, salines et thermiques Pour les producteurs.

3.8 Les principales ravageuses :

Les principaux ravageurs de la tomate sont présents selon leur importance dans le tableau récapitulatif suivant :

Tableau 2 : : les ravageurs de la tomate :(Chahbar et al., 2018)**.**

.**Ravageurs**	**Dégâts**	**Moyens de lutte**
Nématodes (*Meloïdogyne incognita* Kofoid et White 1919) *Meloidogyne arenaria* Chitwood, 1949 *Meloidogyne javanica* Treub,	Formation de galles sur racines - Perturbation de l'absorption racinaire. - Jaunissement des feuilles et la plante dépérit (Shankara *et al*, 2005)	- Désinfection du sol - Utilisation des variétés résistantes
Acariens, *Tetranychus urticae* Koch, 1836	-Transmission de virus - Dommage direct lorsqu‟ils apparaissent en grand nombres sur la culture (Shankara *et al*, 2005)	- Faire des lâches d‟ennemis naturels
Le thrips, ***Frankliniella occidentalis*** Pergande, 1895	Maladie bronzée de la tomate (Miranda *et al*, 2005)	- Arracher les adventices
pucerons vert du pêcher, *Myzus persicae*, Sulzer, 1776 **Puceron de la pomme de terre *Macrosiphum euphorbiae*** Thomas, 1878	-Déformation des pousses tendres -Apparition de taches sur les fruits, et vecteurs de maladies virales (Miranda *et al*, 2005)	Arracher les adventices
Mineuse des feuilles de la tomate, *Tuta absoluta* Meyrick, 1917	-Mines sur feuilles dues aux chenilles qui se développent jusqu'à la destruction complète du limbe - nombreuses galeries sur folioles (Shankara *et al*, 2005) - infestation des baies de tomate	-Installation des filets insectproof sur les ouvertures -Détruire les adventices, -Emploi d‟insectes auxiliaires
La mouche blanche (*Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889)	-Transmission de virus	-Décaler les dates de semis par rapport à la période d'activité de l'insecte. - Arracher les adventices hébergeant insectes et virus

3.9 Les principales maladies :

Les principales maladies de la tomate sont mentionnées dans le tableau suivant : **(Djimai, 2019)**.

Tableau 3 : les maladies de la tomate

	Maladies	**Symptômes et dégâts**	**Moyens de lutte**
Maladies cryptogamique	**Alterneriose**	-Des tâches noirâtres sur les Feuilles. -Des tâches chancreuses sur les tiges. Des nécroses sur fruits.	-Utilisation des variétés résistantes. -Rotation culturale. -Traitement chimique.
	Oïdium	-Apparition de tâches jaunâtres sur les feuilles.	-Assure une bonne aération de serres.
	Mildiou .	-Apparition de tâches Jaunâtres qui brunissent rapidement	-Éviter les excès d'azote et d'eau. Une bonne aération aussi.
Maladies bactériennes	**Chancre bactérien**	-Flétrissement unilatéral sur feuilles. -Des coupes longitudinales sur tige et pétioles montrent des stries brunâtres.	-Eviter les terrains Infestés Aération convenable des serres. Éviter l'apport excessif d'azote -Éviter les excès d'eau. -Appliquer des fongicides à base de cuivre. -Variétés résistantes -Éliminer les plants malades

Maladies Virales	**Virose apicale – TomatoYellow Leaf Cural Virus (TYLCV)**	-Ralentissement de la croissance. -Jaunissement des folioles. -Fruit petits et nombreux.	-Lutte préventive contre le vecteur *Bemisia tabaci* Utiliser les plants sains.
	Nécrose apicale	-Observations des tâches Brunâtres sur fruit qui se nécrose par la suite.	-Irrigation régulière. Apport azotée à base de nitrate.
	Tomate creuse	-Fruits à forme triangulaire, avec loges vides et chair moins épaisse.	-Fertilisation potassique avec une bonne matrise d'irrigation et bonne fermeture des abris pendant la nuit.

Partie 02 :

Expérimentale

Chapitre 01 :

Matériels et méthodes

4 Matériels et méthodes

4.1 Les pesticides utilisent :

Dans notre recherche, nous avons testé deux molécules chimiques de pesticide, un insecticide et un herbicide, afin de connaître l'étendue de leur effet sur la structure chimique des tomates :

- **Insecticide**

- **Nom commercial :** sherpa
- **Matière active :** 250g/ l de cypermethrine
- **Famille chimique :** Pyrethrinoides de synthèse
- **Formulation :** Concentré émulsionnable (EC)
- **Doses homologuées :**

Tableau 4: les doses homologues

Catégorie d'utilisation	Dose en P.C	D.A.R
Culture légumières : noctuelles défoliatrices.	120 ml/ha	7 jours
Culture légumières sous serre : aleurodes.	120-200 ml/ha	7 jours
Pomme de terre : teignes en végétation.	120-200 ml/ha	7 jours
Pêcher : puceron vert.	10 ml/hl	15 jours
Poirier : psylle	10 ml/hl	15 jours



Figure 16: image de phroduit phytosanitaire sherpa

➢ **Fongicide**

- **Nom commercial** : Tachi gazole
- **il s'agit de la matièreactive** : Hymexazole
- concentrée à 300g/l sous forme de suspension concentrée et produit par Vapco Jordanie.



Figure 17: image de produit phytosanitaire Tachi gazole

Tableau 5: les doses homologue

Catégorie d'utilisation	Dose en P.C	D.A.R
Culture légumières : culture ornementale	300 G/L	/
Culture : pépinières	300 G/L	/
Concentration :	300 G/L	/
Déprédateurs : fusariose / phytophthora	100 ML/HL	/
Numéro d'homologation	R0949004	/

4.2 Matériels végétales :

1) Les plantules de la tomate *(Solanum lycopersicum L variété Doucen*) ont été obtenues auprès de pépinière de Blida.



Figure 18:les plantules de tomates en labouratoire

2) La culture des plantules de la tomate et traitement :

Les plantules ont été cultivées pendant 15 jours dans une chambre de croissance avec une photopériode de 14 h à une température de 25 ± 2 ° C et 70% d'humidité relative. Tous les 3 jours, la solution nutritive était régulièrement rafraîchie. Les plantules uniformes au nombre de 24 ont été divisés au hasard en 08lots.Les plantules ont été exposés à l'insecticide (sherpa) par application foliaire d'une solution de travail fraîchement préparée ; (3) milieu de culture additionné d'une dose agronomique de insecticide ; et (4) insecticide + fongicide Par la suite elles étés exposées à un stress combiné par application foliaire de insecticide (SH) À l'aide d'un pulvérisateur et de fongicide de (tachi) ajoutés par voie hydroponique.

Après 7 jours de traitement dans certaines conditions de croissance mentionnées ci-dessus, les plantules ont été récoltées et utiliser pour l'analyse morphologique et biochimique.

4.3 Analyses morphologiques :

4.3.1 Production de la biomasse :

La masse de matière fraiche est déterminée à l'aide d'une balance de précision et la longueur de partie aérienne et la partie souterraine à l'aide d'une règle.



Figure 19: le materiel utilise dans la production de la biomasse

4.4 Teneur totale en chlorophylle :



Figure 20 : l'extraction des pigments chlorophylliens par l'acétone

Les pigments photosynthétiques ont été quantifiés par méthode spectrophotométrique en utilisant l'acétoneà 80% (v / v) comme solvant d'extraction. Le surnageant a été recueilliaprès une centrifugation de l'extrait végétal à 10 000 x g pendant 5 min. L'absorbance a étélue aux longueurs d'onde 663 nm et 647 nm pour la chlorophylle a et b, respectivement, et à470 nm pour les caroténoïdes. La teneur en chlorophylles (a et b) et en caroténoïdes(xanthophylles + carotènes) a été calculée selon les équations proposées par

lichtenthaler & wellburn, (1983). Les résultats sont exprimés en mg/g. Nous avons opté pour 5 mesures indépendantes par traitement (une plante par répétition).



Figure 21 : Dosage des pigments photosynthétiques par spectrophotomètre

4.5 Analyse biochimique :

4.5.1 Teneur en malonyldialdéhyde (MDA) :

Les radicaux libres génèrent le processus de peroxydation des lipides dans un organisme. Le malondialdéhyde (MDA) est l'un des produits finaux de la peroxydation des acides gras polyinsaturés dans les cellules. La peroxydation des lipides a été déterminée en mesurant la formation de MDA avec la réaction de l'acide thiobarbiturique (TBA), d'après Heath & Packer, (1968). Environ (0,1 g) de tissus végétaux fraiches (racines et feuilles) ont été broyés dans un 3 ml de solution 5 % d'acide trichloroacétique (TCA). Le broyat a été centrifugé à 10 000×g pendant 15 min. Après la centrifugation, 1 ml de surnageant a été mélangé avec 4 ml d'une solution formé de 0.5% d'acide thiobarbiturique (TBA) et 20% d'acide trichloroacétique (TCA) (m/v: 1/10). Le mélange a été incubé dans un bain-marie bouillant à 95°C pendant 30 minutes. Pendant cette incubation, un complexe se forme entre le TBA et les composés aldéhydiques, essentiellement le malondialdéhyde (MDA) : TBA-MDA. La réaction a été arrêtée par un refroidissement immédiat dans un bain de glace. Après 2éme centrifugation à 10 000×g pendant 5 minutes. L'absorbance du surnageant a été mesurée à 532 nm. Les valeurs ont été corrigées pour tenir compte de l'absorption non spécifique en soustrayant l'absorbance lue à 600 nm. La quantité de MDA a été calculée à partir du coefficient d'extinction molaire (ε=155 mm-1 cm-1) et exprimée en µmol/g. MF.

MDA (µmol/g MF) = (A532 - A600) x V x 1000/155 x MF

A : Absorbance

V : Volume de l'extrait en (ml)

MF : Matière fraiche en (g)

4.5.2 Teneur en peroxyde d'hydrogène (H_2O_2)

L'accumulation de H2O2 dans les feuilles et les racines a été détectée par une méthode spectrophotométrique selon Velikova et al., (2000). Des tissus frais (0,1g) ont été broyés dans un bain glace à l'aide d'un mortier et un pilon avec 3 ml de TCA (acide trichloracétique) à 0, 1 % (p/v). L'homogénat a été centrifugé à 12 000×g pendant 15 minutes à 4 °C. À 0, 5 ml du surnageant, 0, 5 ml de tampon de phosphate (KH_2PO_4/K_2HPO_4 ; pH 7) et 1,0 ml d'iodure de potassium (1 MKI) ont été ajoutés. La densité optique du mélange a été lue à 390 nm, tandis que la teneur finale en H2O2 a été déterminée à l'aide d'une courbe standard et exprimée en µmol g-1 MF.

4.6 Détermination de l'activité des enzymes :

4.6.1 Extraction des enzymes (CAT, SOD et APX) *:*

Les échantillons de feuilles fraîches prélevées de plantes témoins et stressées ont été immédiatement broyés dans 50 mM du tampon phosphate de potassium (K_2HPO_4 / KH_2PO_4) (pH 7,8) pour les enzymes : SOD, CAT et APX. L'homogénat a été centrifugé à 15 000 x g pendant 15 min à 4 °C, et le surnageant a été utilisé pour mesurer la teneur en protéines et la détermination des activités des enzymes antioxydants.

La concentration des protéines totales solubles a été déterminée selon la méthode décrite par Bradford, (1976) , en utilisant le sérum albumine bovine (BSA) comme étalon. Toutes les analyses spectrophotométriques ont été menées sur un spectrophotomètre de type **(Fig.22)**



Figure 22 : photo de spectrophotomètre

4.6.2 Catalase (CAT) :

L'activité de la catalase a été déterminée selon la méthode décrite par Aebi, (1984). Le mélange réactionnel contient 50 mM du tampon phosphate de potassium (pH 7,0) et 10 mM de H_2O_2. La réaction a été déclenchée par addition de 0,1 ml d'extrait enzymatique et l'activité été déterminée par le suivi de la vitesse initiale de disparition de H_2O_2 à 240 nm, dont le coefficient d'extinction (E) est égal à 39,4 mm-1 cm-1, pendant 2 min. L'activité de la CAT a été exprimée en unités : mmol de H2O2 décomposé /min/mg de protéines. Nous avons opté pour 5 mesures indépendantes par traitement (une plante par répétition).

4.6.3 Super-oxyde dismutase (SOD) :

L'activité totale de la SOD a été déterminée selon la méthode de Cakmak & Marschner, (1992). L'activité de la SOD a été mesurée dans un mélange réactionnel contenant 50 mM du tampon K_2HPO_4 / KH_2PO_4 (pH 7,8), 33 µM NBT, 10 mM de L-méthionine, 4 µM riboflavine, 0,1 mM d'EDTA et 0,1 mlde l'extrait enzymatique. La riboflavine a été ajoutée en dernier lieu au mélange réactionnel dans des tubes à essai. Ces derniers sont agités et placés sous des lampes fluorescentes (50 photons mmol m^{-2} s^{-1}) pendant 8 min. Des tubes à essai contiennent les mêmes mélanges réactionnels ont été gardés à l'obscurité pour servir comme des témoins. Un blanc est réalisé dans les mêmes conditions sans enzyme. Une unité enzymatique de SOD est définie comme la quantité de l'enzyme contenue dans le volume de l'extrait qui est susceptible d'induire une inhibition de 50% de la réduction du NBT. L'activité enzymatique spécifique de la SOD est exprimée en unités : (nmol / min) / mg de protéines. Nous avons opté pour 5 mesures indépendantes par traitement (une plante par répétition).

4.6.4 Ascorbate peroxydase (APX) :

L'activité de l'APX (APX, CE 1.11.1.11) a été déterminée par le suivi de l'oxydation initiale de l'ascorbate par H_2O_2à 290 nm (coefficient d'extinction (E) = 2,8 mM-1 cm-1) selon la méthode décrite par Nakano & Asada, (1981) avec quelques modifications. Le mélange réactionnel contient 50 mM du tampon phosphate de potassium (pH 7,8), 1 mM d'ascorbate de sodium, 0,1 mM d'EDTA et 0,1 ml de l'extrait enzymatique. La réaction a été déclenchée par addition de 10 mM deH_2O_2. L'activité APX a été exprimée en nmol ascorbate (AsA) /min / mg de protéines. Nous avons opté pour 5 répétitions par traitement (une plante par répétition).

4.7 Concentration des antioxydants non enzymatiques

4.7.1 Acide ascorbique (AsA) :

La teneur en AsA a été estimée selon la méthode décrite par Touzout et al., (2021) avec quelques modifications. L'extrait a été préparé par homogénéisation des aliquotes de poudre congelée du matériel végétal dans 10% de TCA et centrifugé à 15 000x g pendant 15 min. Le surnagent (0,5 ml) a été mélangé avec 1 ml de réactif DTC (2,4-dinitrophényl hydrazine-thiourée-$CuSO_4$ réactif). Après incubation de ce mélange à 30 ° Cependant 3 h, 0,5 ml de 65% de H_2SO_4, préalablement refroidi dans un bain d'eau + glacepilée, a été ajouté. Le mélange réactionnel a été laissé au repos 30 min à 30 °C. L'absorbance 520 nm a été mesurée et la teneur en AA a été extrapolée à partir d'une courbe d'étalonnage établie à partir d'une gamme étalon avec des quantités connues de l'AA. Les résultats sont exprimés en µmol g-1 MS.

4.7.2 Glutathion réduit (GSH)

Dans des conditions de froid, (0,1 g) de feuilles et de racines fraîches ont été homogénéisées dans 3 ml d'acide sulfosalicylique à 5 % (p : v). L'homogénat a été centrifugé à 10000×g à 4 °C pendant 20 min et les surnageants ont été recueillis pour la détermination du contenu en GSH. La teneur en GSH a été analysée selon le protocole d'Anderson, (1985). Le milieu réactionnel contenant 0,6 ml de tampon phosphate 100 mM (pH 7,0) et 40 µl de DTNB ont été ajoutés à 0,5 ml de surnageant. L'absorbance a été enregistrée à 412 nm sur un spectrophotomètre UV-Vis.

4.7.3 Poly phénols totaux

Des aliquotes de poudre finement broyée de matériel foliaire (100 mg) ont été homogénéisées dans le méthanol à 80% (MeOH), puis soniques pendant 10 minutes au bac àultrasons (Elma, Allemagne) contenant **de l'eau ultra-pure**. Les homogénats ont été centrifugés à 15 000 x g pendant 10 min. Les surnageant (extraits phénoliques) ont été testés par un dosage différentiel en présence et en absence de 1% (p / v) de polyvinylpolypyrrolidine (PVPP). Pour chaque échantillon, le surnageant a été dilué dans de l'eau distillée avec et sans PVPP. L'homogénat (avec PVPP) a été bien agité pendant 5 min et centrifugé à 10 000 xg pendant 5 min. Les surnageant récupérés ont été utilisés par la suite pour quantifier les polyphénols totaux.

La concentration de polyphénols totaux a été déterminée à l'aide du réactif de Folin Ciocalteu suivant la méthode adaptée par Singleton et al., (1965) avec quelques modifications. Pour chaque échantillon, la valeur d'absorbance lue à 760 nm dans les surnageant sans PVPP a été corrigée en soustrayant la valeur provenant de l'absorbance dans les séries des échantillons en présence de PVPP.

Nous avons calculé la teneur en polyphénols totaux en se basant sur une courbe d'étalonnage établie à partir d'une gamme étalon avec des concentrations connues de l'acide gallique. Les concentrations en polyphénols totaux ont été exprimées en milligrammes d'équivalents acide gallique (EAG) par gramme de matière sèche (mg EAG / g MS). Nous avons opté pour 5 répétitions par traitement (une plante par répétition).

4.7.4 Teneur en proline

Le contenu en proline libre a été estimé selon la méthode de Bates et al., (1973). (0,5) g d'échantillon de feuilles fraîches ont été homogénéisés avec 5 ml d'acide sulfosalicylique à 3% (m/v) et l'homogénat a été centrifugé à 12 000×g pendant 12 min. 2 ml d'acide acétique glacial et 2 ml de réactif à la ninhydrine (0,1% ninhydrine (m/v) dans 60 % acide acétique 100% et 40 % d'acide orthophosphorique 6 M) ont été additionnés à 2 ml du surnageant. Après 1 h au bain-mariebouillant, la réaction est arrêtée par refroidissement dans de la glace. Puis 2 ml de toluène sont ajoutés et l'ensemble est agité pendant 1 min avant incubation à température ambiante. La coloration a été développée toluène. La densité optique du chromophore a été observée par une méthode spectrophotométrique à 520 nm. Ensuite, le calcul a été effectué à l'aide d'une courbe étalon, selon l'équation :

[(µg proline/ml * X ml de toluène)/115,5 µg/µmol]/ [g échantillon/5)] = µmol de proline / g de poids frais.

4.8 Analyse statistique :

Les données sont exprimées en moyenne ± écart type (ET). Toutes les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide d'une analyse de variance (ANOVA), suivie d'un test Post Hoc Tukey HSD pour une comparaison multiple des groupes traités avec des témoins. Les différences ont été considérées comme statistiquement significatives à la valeur P ≤0.05. Les analyse a été effectuée a l'aide d'un logiciel SPSS.

Chapitre 02 :

Résultats et discussion

4.9 Effet de pesticides sur la croissance et la teneur en chlorophylles des plantules des tomates :

4.9.1 Biomasse et longueurs des pousses et des racines :

Les indices de croissance ont été influencés négativement par les traitements au pesticide



Figure 23 : Effet de SH et/ou TAC sur la morphologie des plantules de tomate

L'exposition des plantules au insecticide et au fongicide, séparément, pendant 7 jours a révélé une baisse considérable de la biomasse des pousses [26.32 % et 13.88 % respectivement], de la longueur des pousses [15.14 % et 3.55 %], de la biomasse des racines [9.92 % et 20.45 % respectivement] et de la longueur des racines [10.48 % et 21.55 % respectivement] par rapport aux témoins respectifs. Cependant, ces réductions ont encore augmenté lorsque l'insecticide et le fongicide ont été appliqués conjointement La biomasse et la longueur des pousses (30.71 et 15.70 %) et la biomasse etla longueur des racines (27.33 et 25.44%) de tomates après 7 jours de traitements. Les résultats indiquent que l'addition combinée d'insecticide et de fongicide était plus nuisible que leurs applications seules **(Fig.24 ...27)**.

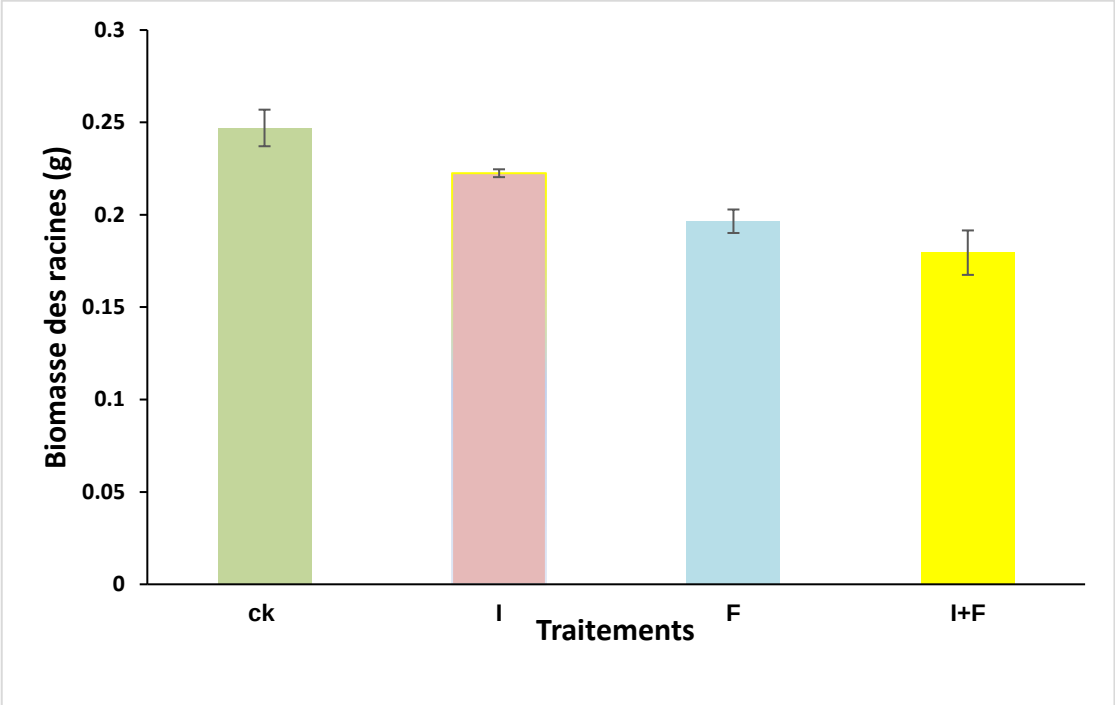


Figure 24: Effet de SH et/ou TAC sur la biomasse des racines:

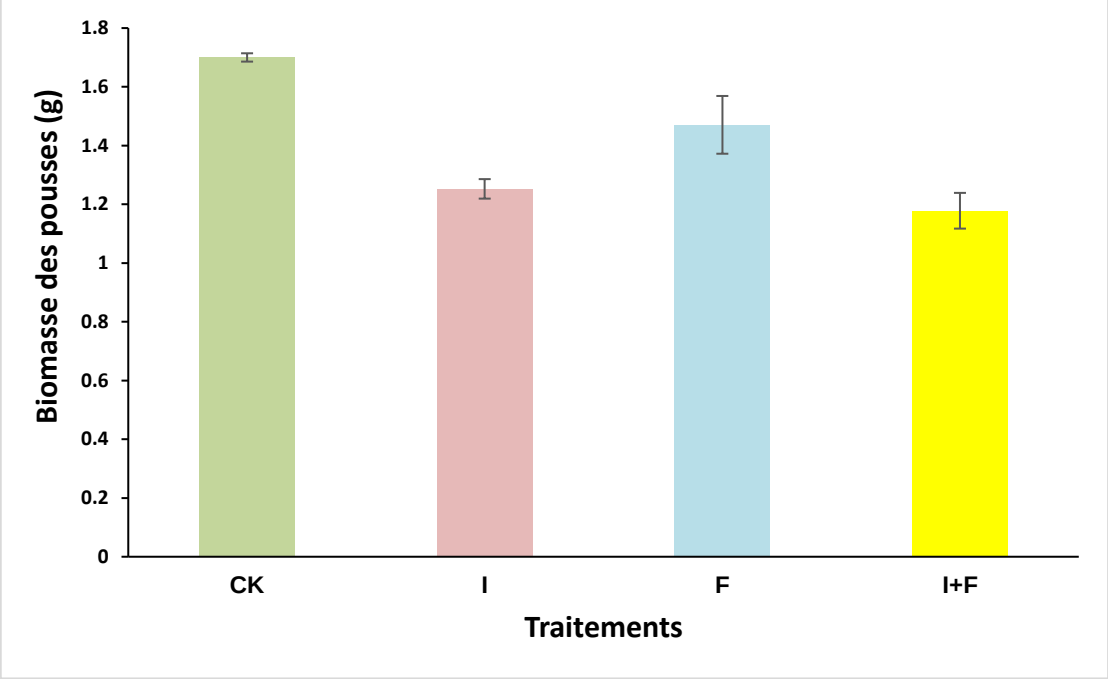


Figure 25:: Effet de SH et/ou TAC sur la biomasse des pousses

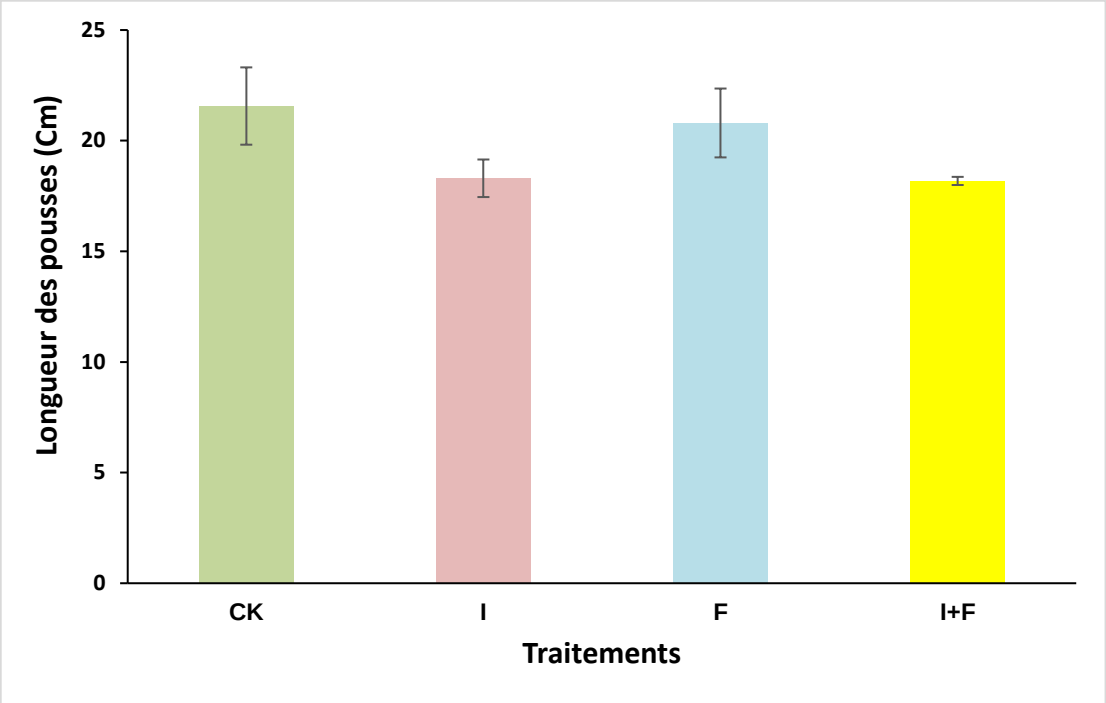


Figure 26 : Effet de SH et/ou TAC sur la longueur des pousses

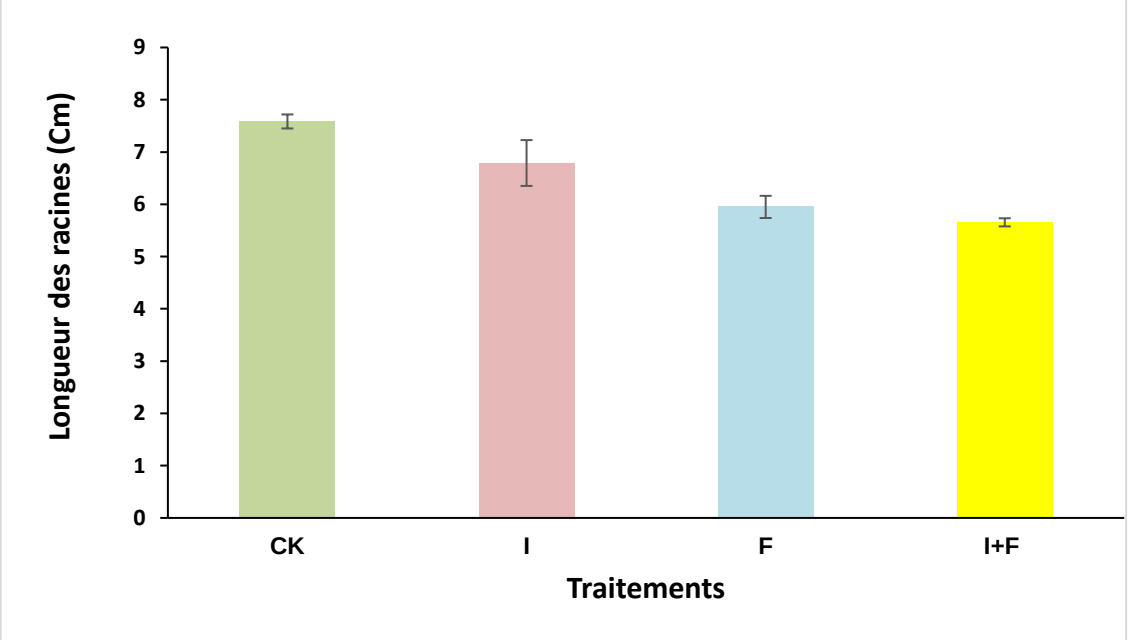


Figure 27 : Effet de SH et/ou TAC sur la longueur des racines

Tableau 6 : l'effet de SH et TAC sur la croissance et la teneur en chlorofylle dans les plantules de tomate:

	Biomasse des pousses (%)	Longueur des pousses (%)	Biomasse des racines (%)	Longueur des racines (%)	Chlorophylle totale (%)
Témoin	100	100	100	100	100
Insecticide	73.68	84.86	90.08	89.52	67.23
Fongicide	86.5	96.45	79.55	72.44	95.83
Inse+fon	69.29	84.30	72.67	74.56	76.22

Les résultats indiquent que l'intensité de l'inhibition de l'accumulation de la biomasse était plus importante chez les plantules traitées simultanément avec l'insecticide et du fongicide que chez celles traitées séparément.

4.9.2 Effet de pesticides sur la teneur en chlorophylles

Les traitements d'insecticide et de fongicide, séparément, dans les plantules de tomates ont dévoilé une baisse remarquable (33 % et 4 % respectivement) de la teneur totale en Chl, par rapport à leurs témoins respectifs. De plus, l'addition combinée de ces deux xénobiotiques ont entraîné une baisse supplémentaire de la teneur totale en Chl de 24 %, ce qui s'est avéré plus nocif que leurs applications individuelles **(Fig.28)**

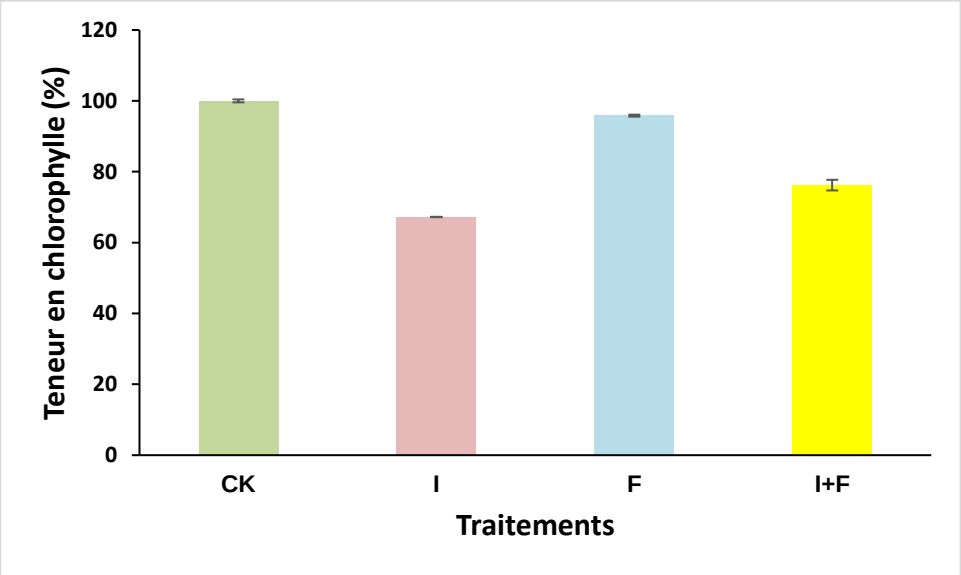


Figure 28 : Effet de SH et/ou TAC sur la teneur en chlorophylles

4.10 Effet d'insecticide et/ou fongicide sur la teneur en peroxyde d'hydrogène :

Une augmentation remarquable et significative de la génération de H_2O_2 a été documentée dans les plants de semis de tomates soumis à des traitements à l'insecticide et/ou au fongicide pendant 7 jours successifs. Le niveau de H_2O_2 mesuré lors de l'application seule de l'insecticide et de fongicide était [39 % et 9 % respectivement], que ceux des tissus témoins **(Fig.29)**. Cependant, lors du traitement combiné de polluants, la teneur en H_2O_2 a encore augmenté de 25 %, par rapport aux tissus témoins **(Fig.29)**.

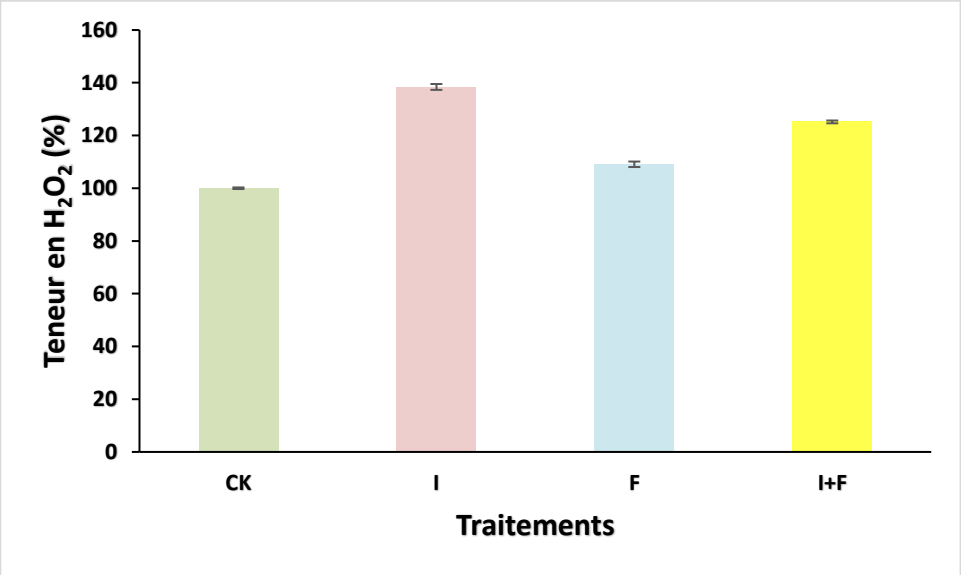


Figure 29: Effet de SH et/ou TAC sur la teneur en H_2O_2

4.11 Effet d'insecticide et/ou fongicide sur la teneur en malondialdéhyde

L'évolution de la teneur en MDA a été suivie dans des plantules de tomates et on a constaté une augmentation remarquable de la feuille de 22% en réponse à l'insecticide. Tandis que le fongicide a été vu comme étant 43 % dans les feuilles par rapport aux valeurs mesurées dans des feuilles de plantules témoin **(Fig.30)**. D'autre part, le niveaude MDA a encore augmenté dans les feuilles de 65% en réponse à l'addition conjointe d'insecticide et fongicide **(Fig.30)**.

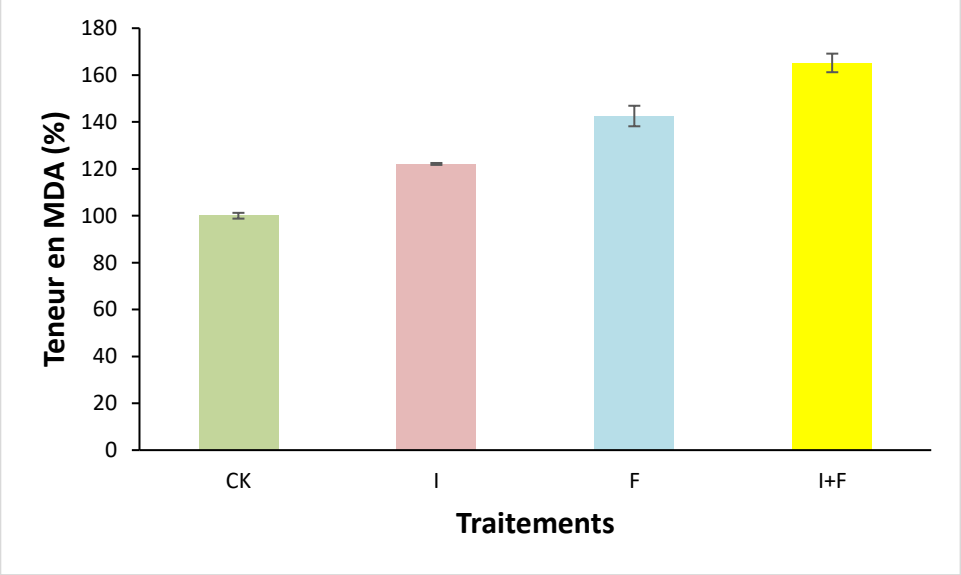


Figure 30 : Effet de SH et/ou TAC sur la teneur en MDA

4.12 Effet des pesticides sur l'activité enzymatique antioxydants dans les feuilles des tomates :

4.12.1 Superoxyde dismutase :

Une diminution significative de l'activité de la SOD a été déterminée en réponse à une exposition à l'insecticide et/ou au fongicide dans les plantules de tomates. En général, L'exposition des plantules à l'insecticide et au fongicide, séparément, a induit une réduction de l'activité de la SOD (33.44% et 34.78% respectivement), par rapport aux échantillons de contrôle **(Fig.31)**. Alors que le traitement combiné de l'insecticide et de fongicide a diminuée l'activité de la SOD de 18.73%, par rapport à celle estimée dans des plantules témoins **(Fig.31).**

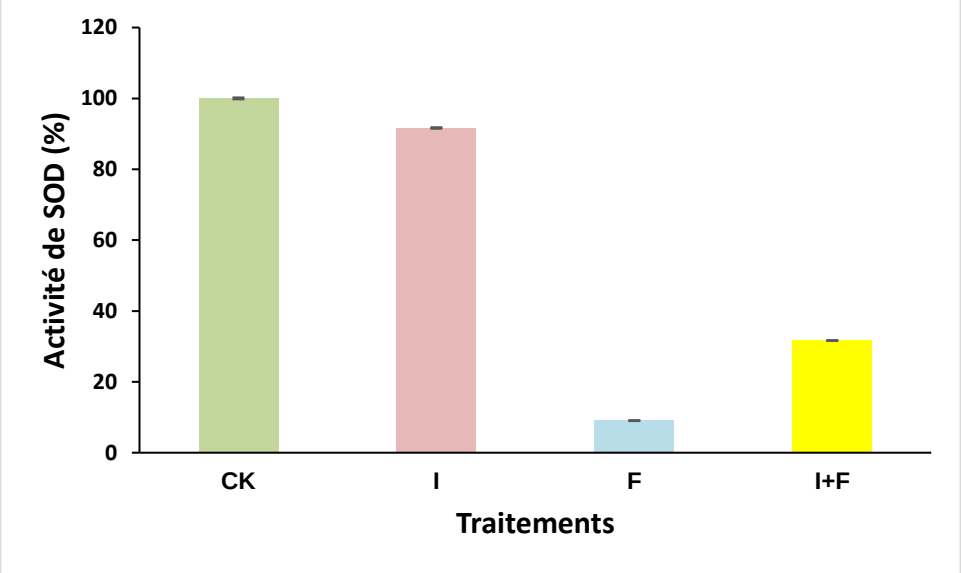


Figure 31 : Effet de SH et/ou TAC sur l'activité de SOD

4.12.2 La catalase :

Une réduction notable de l'activité de la CAT a été déterminée en réponse à l'insecticide et/ou au fongicide dans les plants de tomates. L'application d'insecticide et de fongicide, séparément, a induit une diminution de l'activité de la CAT (8% et 91% respectivement), par rapport à celle estimée dans les plantules témoins. D'autre part, l'addition conjointe d'insecticide et de fongicide a augmenté l'activité de la CAT de 68%, par rapport à les plantules témoins **(Fig.32).**

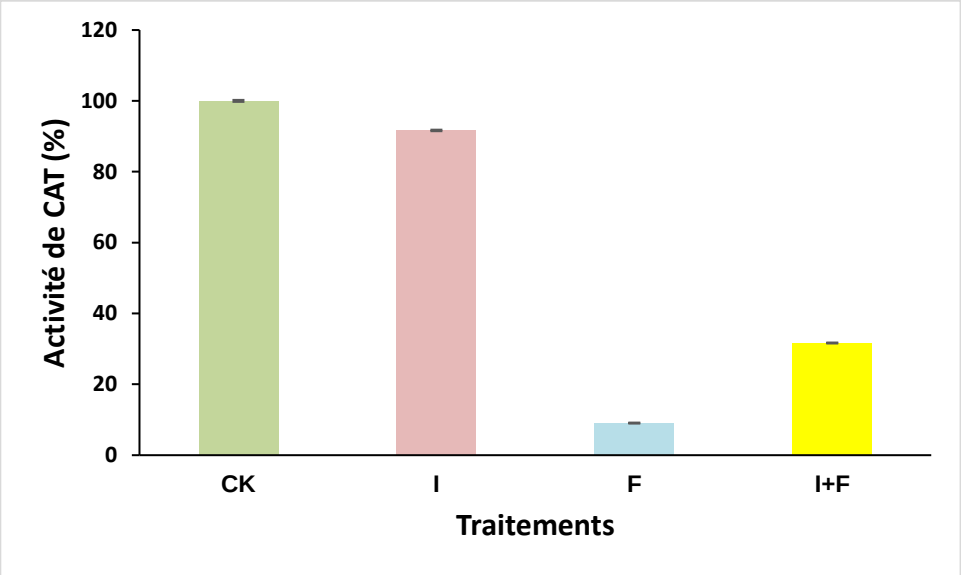


Figure 32: : Effet de SH et/ou TAC sur l'activité de CAT

4.13 Ascorbate peroxydase :

Une augmentation significative de l'activité de l'APX a été observée en réponse aux pesticides dans les feuilles de tomates **(Fig.33)** Insecticide / fongicide traitements ont provoqué une augmentation de l'activité de l'APX (101 % et 675% respectivement), par rapport au contrôle. D'autre part, l'application conjointe d'insecticide et de fongicide a augmenté l'activité de l'APX de 158 %, par rapport à l'application d'une substance chimique seule **(Fig.33).**

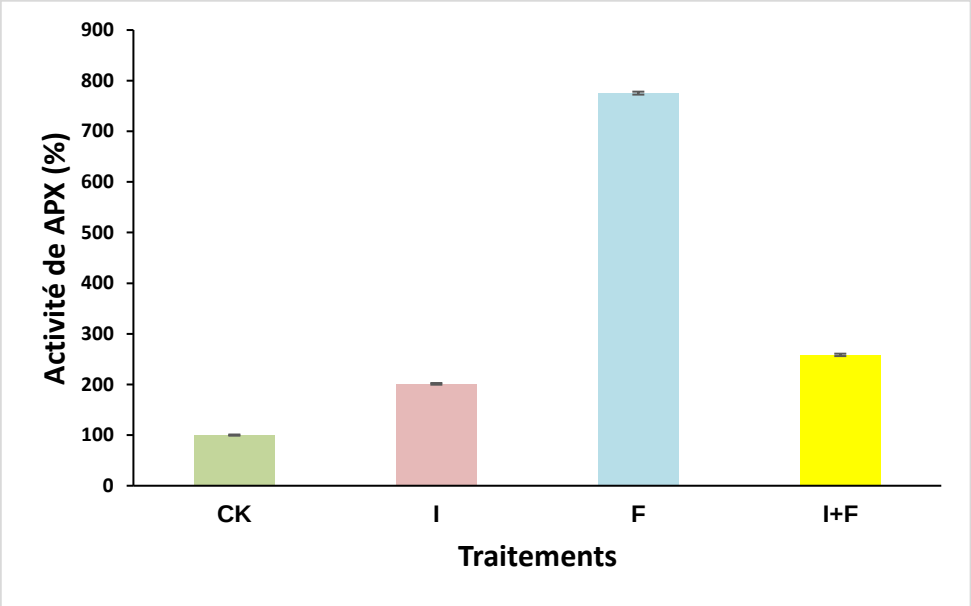


Figure 33: Effet de SH et/ou TAC sur l'activité d'APX;

4.14 Effet des pesticides sur la teneur en métabolites antioxydantes :

4.14.1 Proline :

L'exposition de plantules de tomates à un stress lié aux pesticides pendant 7 jours a provoqué une augmentation de l'accumulation de Proline **(Fig. 34)**. En général, Lors de l'application individuelle d'insecticide et de fongicide, le niveau de Pro estimé dans les feuilles était de 20% et 27% respectivement, qui étaient comparativement plus élevés que ceux mesurés dans les feuilles des semis témoins. Cependant, le traitement combiné d'insecticide et de fongicide a donné lieu à considérablement plus élevé, c'est-à-dire 37%de synthèse de Pro, par rapport aux tissus de contrôle **(Fig. 34)**.

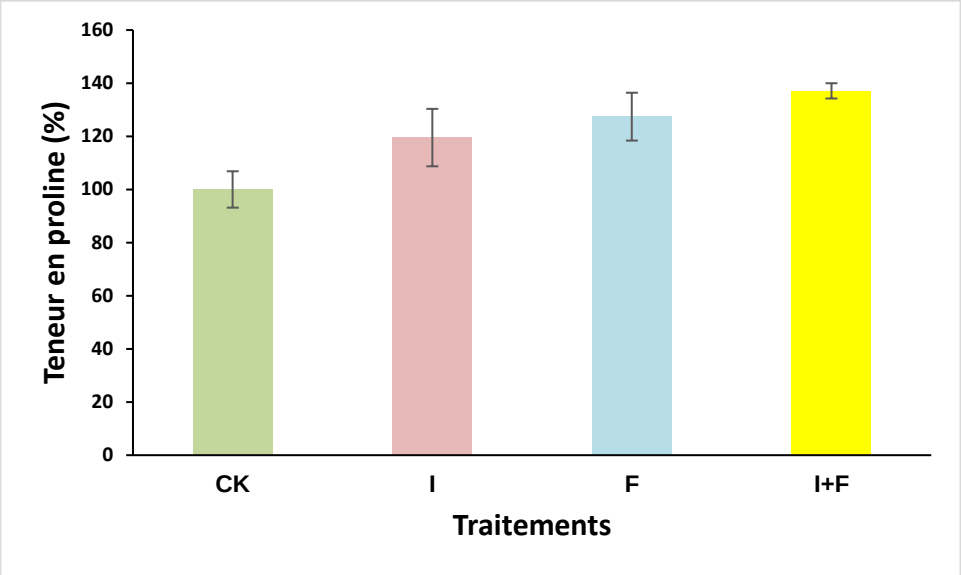


Figure 34: Effet de SH et/ou TAC sur la teneur en proline

4.15 Teneur en AsA :

Lors du suivi de la concentration de AsA dans les tissus foliaires de tomates exposés à l'insecticide et/ou au fongicide, une augmentation significative de son niveau a été observée, par rapport à celle mesurée dans les tissus témoins. Après 7 jours de traitements, les augmentations enregistrées au niveau de la teneur en AsA en réponse à l'insecticide étaient83%, par rapport aux tissus témoins **(Fig. 35)**. D'autre part, l'application de fongicide seule et en combinaison avec l'insecticide a diminué la teneur en AsA de [46% et 35% respectivement], par rapport aux tissus de contrôle **(Fig. 35)**.

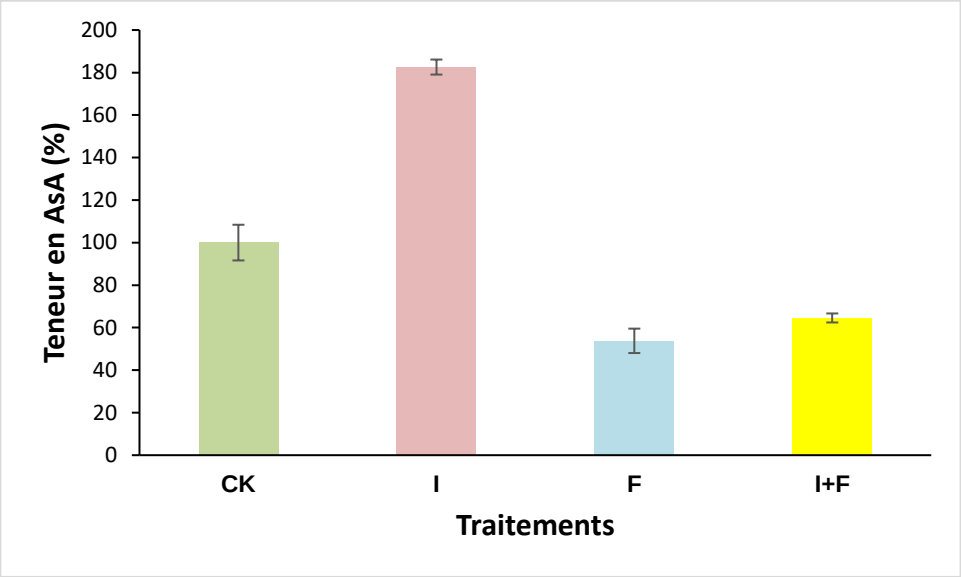


Figure 35: Effet de SH et/ou TAC sur la teneur en ASA

4.16 Teneur en glutathion (GSH) :

L'application d'insecticide et de fongicide, séparément, dans les plantules de tomates a dévoilé une réduction remarquable de la teneur en GSH**(Fig. 36)**. Le niveau de GSH déterminés sous les traitements à l'insecticide et fongicide étaient les suivants : 66 % et 47 % respectivement, que celle des semis témoins. Cependant, lors d'un traitement combiné d'insecticide et fongicide, la teneur en GSH a diminué de 39 %, par rapport aux tissus témoins **(Fig.36)**.

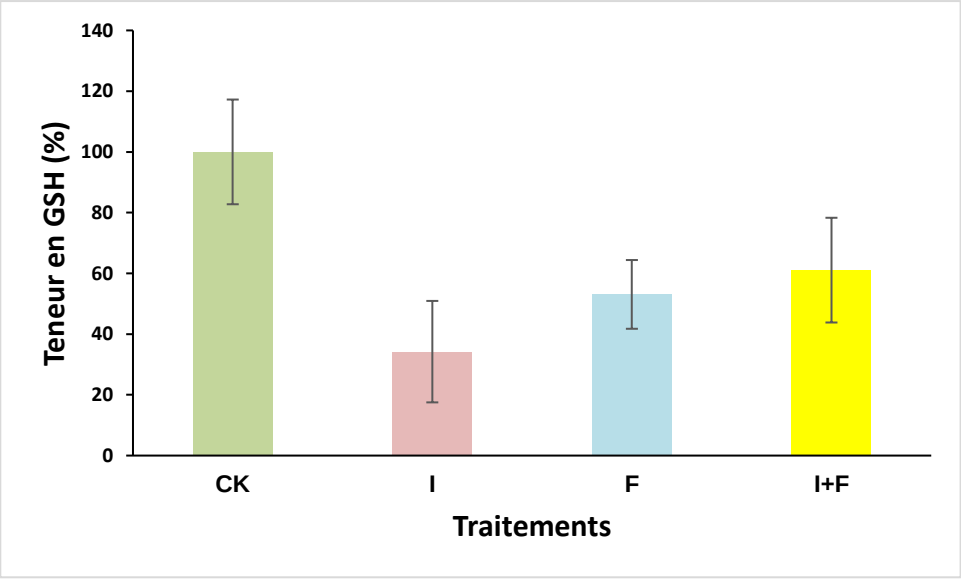


Figure 36: Effet de SH et/ou TAC sur la teneur en GSH

4.17 Teneur en poly phénols totaux :

L'exposition de plantules de tomates au insecticide /ou fongicide pendant 7 jours a provoqué une diminution de l'accumulation de polyphénols totaux **(Fig.37)**. En général, Lors de l'application individuelle d'insecticide et leur combinaison avec le fongicide, le niveau de PPT estimé dans les feuilles était de 85% et 81% respectivement, qui étaient comparativement plus faible que ceux mesurés dans les feuilles des plantules témoins. Cependant, le traitement individuel de fongicide augmente légèrement de 3% la teneur en PPT, par rapport aux tissus de contrôle **(Fig.37)**.

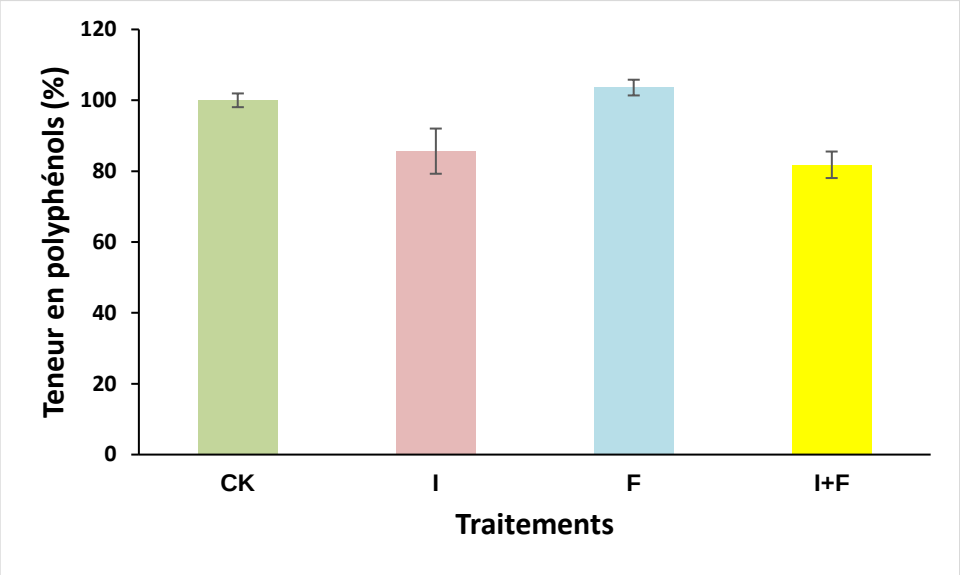


Figure 37 : Effet de SH et/ou TAC sur la Teneur en poly phénols totaux

Le processus fonctionnel exécuté par l'écosystème du sol contribue à un large éventail de services éco systémiques qui sont essentiels à la durabilité de la société humaine, y compris le cycle des éléments et l'approvisionnement en nutriments, l'approvisionnement énergétique et la capacité d'atténuation naturelle des polluants. Etc. (Mahapatra et al., 2019).Avec l'augmentation intensive de l'activité anthropique, les écosystèmes du sol sont susceptibles d'être contaminés par des mélanges produits chimiques organiques (Mahapatra et al., 2019), qui devraient affecter les fonctions écologiques, les services et la durabilité de l'écosystème du sol (Shakir et al., 2018).

Depuis la soi-disant « révolution verte », l'utilisation aveugle de pesticides a provoqué des changements environnementaux et la contamination des écosystèmes aquatiques, atteignant des organismes non ciblés. Moins de 0,1% du nombre de pesticides effectivement appliqués agissent contre leurs cibles ; par conséquent, 99,9 % contaminent l'environnement (Shahzad et al., 2018).

Des études ont révélé que l'utilisation de pesticides peut causer plusieurs effets néfastes sur les plantes hôtes non ciblées, comme la diminution de la performance du pollen, l'altération des processus de reproduction de la pomme de terre, la perturbation de la photosynthèse et les activités enzymatiques chez le concombre, la germination et la croissance retardées chez le soja, la perturbation des paramètres morphologiques et physiologiques chez le maïs et la croissance et la production altérées de la photosynthèse pigments dans la tomate(Xia et al., 2006). Ces effets indésirables insaisissables peuvent s'additionner et entraîner des pertes économiques lorsque plusieurs cultures sont cultivées(Shakir et al., 2016; A. Sharma et al., 2019; Xia et al., 2006, 2009).

Le suivi la longueur des pousses et des racines, et de la biomasse de ces parties reflète l'état réel de la croissance et du développement de toute plante espèce végétale. Dans la présente étude, après7 jours de traitements, les semis de tomates ont révélé une réduction considérable de biomasse des pousses et des racines, de la longueur des pousses et des racines après traitements individuels d'insecticide et de fongicide, par rapport au contrôle. Cette réduction de la croissance a été augmentée lorsque ces deux facteurs de stress ont été appliqués conjointement

La réduction de la morphologiques sous traitement aux pesticides peut être due à la perturbation de divers processus métaboliques et à un transport plus important du

fongicide du milieu nutritif vers les parties aériennes des plantes (Xia et al., 2006). Il a été démontré que le plomb perturbe l'assemblage des microtubules, altérant ainsi la cytokinèse et diminuer la division et l'élongation des cellules. De plus, la plante réagit rapidement au polluant absorbé, par une baisse du taux de croissance (Shakir et al., 2016).

D'autre part, la réduction des traits de croissance sous le stress du pesticide peut être due à la perturbation de la croissance de la plante due à la perturbation des chloroplastes et à la baisse du potentiel hydrique dans les cellules des plantes, ce qui entraîne la fermeture des stomates et une assimilation limitée du CO2 et, enfin, une l'inhibition de la division cellulaire (Xia et al., 2009).

Dans la présente étude, l'exposition de plantules de tomates à l'insecticide et au fongicide a montré des réductions significatives à la fois de la biomasse et de la longueur des deux parties, par rapport aux traitements de contrôle. La diminution de la biomasse peut probablement être due à la dissipation d'énergie pour contrer les blessures induites par les pesticides et de la diminution de la teneur en eau, qui entraîne la fermeture des stomates (Shakir et al., 2018; Xia et al., 2006).

Un changement similaire dans le modèle de croissance ont également enregistré un changement similaire du schéma de croissance en réponse au imidaclopride et au déltaméthrine chez *Lycopersicone sculentum* (Touzout et al., 2021).Dans la présente étude, lors de l'application combinée d'insecticide et de fongicide, des valeurs comparativement plus dommageables pour les plantules ont été calculées que celles déterminées dans leurs traitements seuls.

La photosynthèse est un processus photochimique de base pour maintenir la vie des plantes et diverses activités à partir desquelles les synthèses de composés organiques (hydrates de carbone) se produisent grâce à l'utilisation de l'énergie lumineuse. La chlorophylle qui permet aux plantes d'obtenir de l'énergie à partir de la lumière est vitale pour la photosynthèse (Xia et al., 2006).

Le niveau de la concentration totale de Chl est postulé comme un indicateur simple et fiable de divers stress abiotiques chez les plantes (Touzout et al., 2021).

Les résultats de la présente étude ont montré une diminution du contenu de Chl total dans les tissus soumis à l'insecticide ou au fongicide. De plus, le degré de

réduction était encore plus élevé en réponse au traitement combiné du xénobiotiques, par rapport à leurs contrôles respectifs **(Fig.28)**. Il a été démontré que le pesticide inhibe la synthèse des Chl en altérant l'absorption d'éléments essentiels comme le Mg^{2+} et le Fe^{2+} par les plantes, et endommage l'appareil photosynthétique en raison de son affinité pour les ligands N et S des protéines clés (Touzout et al., 2021).

De plus, l'activation de la chlorophyllase, l'accumulation excessive de ERO, l'inhibition de la δ-aminolaevulinate déshydrogénase et le changement de la composition lipidique des membranes thylakoïdes ont été également tenus responsables de la réduction de Chl dans les plantes stressées par les pesticides (Shakir et al., 2018; Anket Sharma et al., 2019; Touzout et al., 2021; Xia et al., 2009). Une modification similaire de Chla également été signalé chez la tomate (Shakir et al., 2016).

Dans la présente étude, l'exposition de semis de tomates a l'insecticide et au fongicide pendant une semaine a diminué la longueur des pousses et des racines, l'accumulation de la biomasse, le contenu total de Chl. L'étude actuelle a révélé que l'application combinée d'insecticide et de fongicide était plus dommageable pour les plantules de tomates que leur application seule.

La rencontre des plantes avec différents stress abiotiques provoque l'accumulation excessive d'ERO qui cause la peroxydation des lipides de la membrane. Par conséquent, une réduction du MSI et une augmentation du taux d'EL des cellules. Plus la fuite d'électrolyte est importanted'électrolyte est plus grande que la blessure. Par conséquent, le degré de MSI est directement proportionnel à la gravité du stress (Soares et al., 2019). Dans la présente étude, l'exposition à l'insecticide ou au fongicide augmenté le taux de EL, tout en diminuant le MSI dans les feuilles de tomates mais leurs niveaux étaient comparativement plus élevés/bas dans les plantules exposées au deux pesticides.

Les changements dans la mobilité et la perméabilité des membranes sous stress abiotique peuvent finalement conduire à une distorsion de la structure cellulaire et de sa fonction (Gill & Tuteja, 2010). Généralement, changement dans la perméabilité de la membrane cellulaire peut refléter le degré de dommages causés par les facteurs de stress aux plantes, et que la stabilité de la membrane cellulaire peut aussi être utilisée pour refléterle niveau de résistance de la plante (Gill & Tuteja, 2010).

La teneur en MDA, une mesure importante du degré de lésion oxydative, a augmenté considérablement dans les feuilles detomateexposés à l'insecticide et/ou au fongicide pendant 7 jours. Similaire à nos résultats, Shakir et al., (2018)ont observé une augmentation de la teneur en MDA dans les feuilles de tomates exposées à différents pesticides. La combinaison des deux pesticides a induit comparativement plus de synthèses de MDA, indique leur effet synergique dans la peroxydation des lipides. Touzout et al., (2021)ont observé que la combinaison de cadmium et d'insecticide déltamethrine ont un effet synergiquesur la teneur en MDA dans les feuilles de tomates.

Les semis de tomatessoumis à des traitements à l'insecticide et/ou au fongicide ont montré une accumulation excessive des ERO (H_2O_2), dans les feuilles, Après 7 jours, mais leur combinaison a induit comparativement plus de synthèses de peroxyde d'hydrogène La toxicité des pesticides a entraîné une explosion de la synthèse de H_2O_2 dans les semis de *solanumlycopersicum l.*

Un changement similaire dans la génération de radicaux libres sous stress à l'insecticide a également été observé chez *solanumlycopersicum* (Shakir et al., 2018), *Brassica junce a*(Sharma et al., 2019) et *Cucumis sativus* (Xia et al., 2009). De même, le traitement du fongicide a révélé une surproduction de ERO chez*solanumlycopersicum*, comme observé par (Touzout et al., 2021).

La réponse des enzymes (SOD, CAT, APX et POD) impliquées dans l'atténuation des ERO dépend grandement de l'espèce, de l'âge et de l'état et des conditions de croissance des plantes (Gill & Tuteja, 2010).

Plusieurs enzymes, telles que SOD, APX et CAT, sont les composants enzymatiques du système de défense antioxydant que l'on trouve dans divers compartiments sous-cellulaires. Chez les plantes soumises à un stress oxydatif, ces molécules antioxydantes enzymatiques sont essentielles au maintien de l'homéostasie cellulaire (Mittler, 2017).

Le superoxydedismutase (SOD ; EC 1.15.1.1), une protéine ubiquitaire présente dans divers organismes aérobies tels que les bactéries, les animaux et les plantes, est considérée comme la première ligne de défense enzymatique contre le stress oxydatif (Gill & Tuteja, 2010; Mittler, 2017). Elle catalyse la dismutation de l'O_2 en H2O2 et en oxygène moléculaire, la SOD joue donc un rôle central dans la détoxification des ROS

en influant sur les niveaux d'O2 de H2O2 et en prévenant la toxicité associée à O2 (Soares et al., 2019).

Nos résultats ont montré une augmentation significative de l'activité de la SOD dans les feuilles de *solanum lycopersicum* sous exposition à l'insecticide et/ou au fongicide après 7 jours. L'augmentation de l'activité de la SOD est généralement attribuée à une augmentation de la concentration d'$O2^{\cdot-}$. Cette augmentation de l'activité est probablement due aux synthèses de novo des enzymes et des protéines, qui sont attribuée à l'induction du gène SOD par la voie de transduction du signal médiée par $O2^{\cdot-}$(Mittler, 2017). L'augmentation de l'activité de cette enzyme en réponse aux pesticides a également été déterminée par chez *solanum lycopersicum* (Shakir et al., 2018).

Selon Gill & Tuteja, (2010), les différentes affinités de l'APX (gamme µM) et de la CAT (gamme mm) pour H_2O_2 suggèrent qu'elles appartiennent à deux classes différentes d'enzymes piégeant H_2O_2. L'APX pourrait être responsable de l'ajustement fin des ERO à des fins de signalisation, tandis que la CAT pourrait être responsable de l'élimination de l'excès d'ERO lors de divers stress biotiques et abiotiques.

Dans la présente étude, les activités de l'APX et de la CAT étaient amplifiées dans les feuilles de *solanum lycopersicum* après 7 jours d'analyses. Les augmentations des activités de l'APX et de la CAT devraient probablement aider les plantes à surmonter l'accumulation excessive de H_2O_2 et peuvent également aider à tolérer les stress environnementaux, y compris les pesticides.

D'autre part, la seule augmentation de l'activité de l'APX ou de la CAT n'a pas suffi à contrer les lésions dues au stress oxydatif imposé par le xénobiotiques. Plus probablement, une action coordonnée de tous les métabolites antioxydant était essentiellement nécessaire pour la tolérance des plantes au stress. Nos résultats sont en accord avec ceux de Touzout et al., (2021) chez *solanum lycopersicum*en réponse à la toxicité de l'insecticide imidaclopride.

L'accumulation accrue d'ERO en réponse à l'insecticide et de fongicide indiquent clairement que la SOD, la CAT, l'APX et la POD n'étaient pas disponibles en quantités suffisantes pour éliminer l'excès d'ERO (H_2O_2) produit par l'exposition au xénobiotiques **(Fig. :38)**

Les antioxydants qui sont généralement de nature non enzymatique se trouvent dans toutes les parties subcellulaires des plantes. Ces antioxydants aident à détoxifier les espèces réactives d'oxygène et les radicaux libres et peuvent également aider à réduire les substrats des enzymes antioxydantes (Mittler 2017). Les principaux tampons redox cellulaires GSH et ascorbate, ainsi que les caroténoïdes, la proline et les composés polyphénoliques, sont différentes formes de voies de défense non enzymatiques (Gill and tujeta 2010).

Outre son rôle d'osmolyte, la Pro est aujourd'hui considérée comme un puissant antioxydant et inhibiteur potentiel de la PCD. Par conséquent, la Pro peut maintenant être considérée comme des antioxydants non enzymatiques dont les microbes, les animaux et les plantes ont besoin pour atténuer les effets néfastes des ROS (Gill and tujeta 2010). L'exposition de plantules de tomates à un stress lié aux pesticides pendant 7 jours a provoqué une augmentation de l'accumulation de Proline.

L'acide ascorbique (AsA), communément appelé vitamine C, est le métabolite AOX le plus abondant dans les cellules végétales (Soares et al., 2019). Il est capable d'interagir directement avec différents ROS, en neutralisant leurs effets toxiques, ainsi qu'agir comme un donneur d'électrons dans les réactions enzymatiques conduisant à des réductions de la teneur en H2O2 par l'intermédiaire de l'ascorbate peroxydase (APX ; EC 1.11.1.11) (Gill et Tuteja, 2010). Dans la présente enquête, un changement significatif dans la teneur en AsA sous stress xénobiotique indique leur un rôle central dans l'atténuation du stress par sa propriété antioxydante et il a été rapporté qu'il atténue les dommages dus au stress en renforçant les mécanismes de tolérance associés (Gill et Tuteja, 2010).

Le tripeptide glutathion (GSH) est un thiol non protéique capable de réagir chimiquement avec les ERO, fonctionnant comme un piégeur efficace de radicaux(Gill & Tuteja, 2010; Hernández et al., 2015). Le glutathion agit également comme un tampon cellulaire, contribuant au maintien de l'état réduit de plusieurs composants cellulaires dans des conditions normales et stressantes (Noctor et al., 2002).

Le GSH est connu pour jouer un rôle dans la perception et la signalisation du stress, les réactions de défense, et le développement des plantes (Noctor et al. 2012). Le GSH est utilisé pour détoxifier les xénobiotiques via les glutathion S-transférases (GST) (Noctor et al. 2011). La diminution de la teneur en GSH dans les feuilles des plantules de tomates

traités par insecticide et/ou fongicide probablement due à l'utilisation de glutathion dans la détoxification des pesticides par les glutathion S-transférases (Touzout et al. 2011).

Les composés phytochimiques sont les composants biologiquement actifs des plantes qui sont dérivés de différentes parties de la plante telles que les feuilles, les écorces, les graines, le tégument, les fleurs, les racines et les pulpes et sont utilisés à diverses fins médicales (Soares et al., 2019).

Ces composés chimiques naturels offrent aux plantes une protection contre diverses maladies et dommages. En plus de contribuer à la couleur, à la saveur et à l'arôme de la plante, ceux-ci protègent également les plantes des risques environnementaux tels que divers stress, notamment la sécheresse, la salinité, l'exposition aux UV, les attaques d'agents pathogènes et la pollution (Gill & Tuteja, 2010).

Parmi les dizaines de milliers de composés phytochimiques, un petit nombre a été identifié et isolé. Ces composés phytochimiques comprennent les métabolites primaires (acides aminés, sucres, protéines, purines et pyrimidines) et les métabolites secondaires tels que les polyphénols, les flavonoïdes, les lignanes, les stéroïdes végétaux, les caroténoïdes, les acides phénoliques, les terpénoïdes, les isoflavones, les phénylpropanoïdes, etc.(Soares et al., 2019).

Notre étude démontre qu'une diminution dans les teneurs en polyphénols dans les plantules de tomates exposée au .insecticide et fongicide+insecticide due à leur implication dans l'atténuation du stress oxydatif et à la réponse à divers stress tels que les pesticides (Touzout et al. 2021).

Conclusion et perspectives

Conclusion générale :

Dans la présente étude, l'exposition de semis de tomate aux pesticides a diminué la longueur des pousses et des racines, l'accumulation de biomasse, la teneur totale en Chlorophylle. L'étude actuelle a révélé que l'application combinée d'insecticide et de fongicide était plus dommageable pour les plantules de *Solanum lycopersicun*. Que leurs applications seules. L'exposition au insecticide ou au fongicide a augmenté de manière significative l'accumulation de H_2O_2 et les niveaux de composants enzymatiques (SOD, CAT et APX) et non enzymatiques (Pro, AsA, poly phénols et GSH) dans les feuilles de plantules de *Solanum lycopersicun.* Cependant, l'application combinée d'insecticideet de fongicide a encore augmenté les concentrations de H_2O_2 et de composés antioxydants. Dans la présente étude, bien que l'augmentation du contenu des agents défensifs testés, à la fois enzymatiques et non enzymatiques, ait été déterminée, mais semble insuffisante pour détoxifier et éliminer les H_2O_2 surproduits, ce qui a par conséquent amélioré les lésions oxydatives dans les tissus foliaires de *Solanum lycopersicun*.

Perspectives :

Les effets phytotoxiques accrus induits par le cocktail de pesticides étudies par rapport à l'effet des composés appliqués individuellement, renforcent la nécessité d'évaluer les effets éco toxicologique des résidus des pesticides, car des résidus constituent un cocktail dynamique de polluants utilisés pour l'irrigation à long terme de plusieurs cultures dans des environnements agricoles réels.

Références

Références :

Aebi, H. (1984). [13] Catalase in Vitro. In *Methods in Enzymology* (Vol. 105, Issue C, pp. 121–126). Elsevier. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(84)05016-3

Anderson, M. E. (1985). [70] Determination of glutathione and glutathione disulfide in biological samples. In *Methods in Enzymology* (Vol. 113, Issue C, pp. 548–555). Elsevier. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(85)13073-9

Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, *39*(1), 205–207. https://doi.org/10.1007/BF00018060

Bilal, M., Iqbal, H. M. N., & Barceló, D. (2019). Persistence of pesticides-based contaminants in the environment and their effective degradation using laccase-assisted biocatalytic systems. *Science of the Total Environment*, *695*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133896

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, *72*(1–2), 248–254. https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3

Cakmak, I., & Marschner, H. (1992). Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase, and glutathione reductase in bean leaves. *Plant Physiology*, *98*(4), 1222–1227. https://doi.org/10.1104/pp.98.4.1222

Chahbar, N., Fekkoun, S., & Setbel, S. (2018). *Proposition d'un modèle de culture biologique Tomate/Datura et effet des biopesticides (métabolites secondaires) sur les bioagresseurs*.

Djimai, O. (2019). *Remerciements*. 2018–2019.

Eddine, M. L. L. W. (2018). *Etude technique du palissage des cultures protégées: cas de la tomate*. 7.

Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, *48*(12), 909–930. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016

Heath, R. L., & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, *125*(1), 189–198. https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1

Hernández, L. E., Sobrino-Plata, J., Montero-Palmero, M. B., Carrasco-Gil, S., Flores-Cáceres, M. L., Ortega-Villasante, C., & Escobar, C. (2015). Contribution of glutathione to the control of cellular redox homeostasis under toxic metal and metalloid stress. *Journal of Experimental Botany*, *66*(10), 2901–2911. https://doi.org/10.1093/jxb/erv063

Karima, M. C. (2019). *Enquête phytosanitaire sur les traitements contre les bio-agresseurs arbo- viticole de l ' ITAFV de Benche cao (Médéa).*

LICHTENTHALER, H. K., & WELLBURN, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents . In *Biochemical Society Transactions* (Vol. 11, Issue 5, pp. 591–592). Portland Press Ltd. https://doi.org/10.1042/bst0110591

Mahapatra, K., De, S., Banerjee, S., & Roy, S. (2019). Pesticide mediated oxidative stress induces genotoxicity and disrupts chromatin structure in fenugreek (Trigonella foenum - graecum L.) seedlings. *Journal of Hazardous Materials*, *369*, 362–374. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.02.056

Mittler, R. (2017). ROS Are Good. *Trends in Plant Science*, *22*(1), 11–19.

Références

https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.08.002
Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, *22*(5), 867–880. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232
Noctor, G., Gomez, L., Vanacker, H., & Foyer, C. H. (2002). Interactions between biosynthesis, compartmentation and transport in the control of glutathione homeostasis and signalling. *Journal of Experimental Botany*, *53*(372), 1283–1304. https://doi.org/10.1093/jexbot/53.372.1283
Oran, U. D., Ben, A., Si, M., & Abdesselem, M. (n.d.). *THESE DE DOCTORAT ES SCIENCES OPTION : MICROBIOLOGIE Intitulée Présentée par :*
Parween, T., & Jan, S. (2019a). Pesticide consumption and risk assessment. In *Ecophysiology of Pesticides*. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-817614-6.00005-6
Parween, T., & Jan, S. (2019b). Pesticides and environmental ecology. In *Ecophysiology of Pesticides*. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-817614-6.00001-9
Rennes, D. E., De, D., Rennes, D. E., & Cnrs, U. M. R. (2015). *Anne-Antonella Serra Réponses écophysiologiques et moléculaires des plantes aux stress xénobiotiques complexes de faible intensité : implications dans les capacités de protection environnementale des bandes enherbées*.
San, A., & Phytoremédiation, M. (2012). *Phytoremédiation des organochlorés . Etude mécanistique et fonctionnelle des capacités épuratrices du système plante-rhizosphère Angélique San Miguel To cite this version : HAL Id : tel-00680031 épuratrices du système plante-rhizosphère*.
San Miguel, A. (2011). *Phytoremédiation des organochlorés. Etude mécanistique et fonctionnelle des capacités épuratrices du système plante-rhizosphère*. Université de Grenoble.
Shahzad, B., Tanveer, M., Che, Z., Rehman, A., Cheema, S. A., Sharma, A., Song, H., Rehman, S. ur, & Zhaorong, D. (2018). Role of 24-epibrassinolide (EBL) in mediating heavy metal and pesticide induced oxidative stress in plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *147*(June 2017), 935–944. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.066
Shakir, S. K., Irfan, S., Akhtar, B., Rehman, S. ur, Daud, M. K., Taimur, N., & Azizullah, A. (2018). Pesticide-induced oxidative stress and antioxidant responses in tomato (Solanum lycopersicum) seedlings. *Ecotoxicology*, *27*(7), 919–935. https://doi.org/10.1007/s10646-018-1916-6
Shakir, S. K., Kanwal, M., Murad, W., Zia ur Rehman, Shafiq ur Rehman, Daud, M. K., & Azizullah, A. (2016). Effect of some commonly used pesticides on seed germination, biomass production and photosynthetic pigments in tomato (Lycopersicon esculentum). *Ecotoxicology*, *25*(2), 329–341. https://doi.org/10.1007/s10646-015-1591-9
Sharma, A., Kumar, V., Thukral, A. K., & Bhardwaj, R. (2019). Responses of plants to pesticide toxicity: An overview. *Planta Daninha*, *37*. https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100065
Sharma, Anket, Yuan, H., Kumar, V., Ramakrishnan, M., Kohli, S. K., Kaur, R., Thukral, A. K., Bhardwaj, R., & Zheng, B. (2019). Castasterone attenuates insecticide induced phytotoxicity in mustard. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *179*, 50–61. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.03.120
Singh, R. P. (n.d.). *Responses to Xenobiotics*.
Singleton, V. L., Rossi Jr., J. A., & Rossi J A Jr. (1965). Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of*

Références

Enology and Viticulture, *16*(3), 144–158. http://www.ajevonline.org/cgi/content/abstract/16/3/144

Soares, C., Carvalho, M. E. A., Azevedo, R. A., & Fidalgo, F. (2019). Plants facing oxidative challenges—A little help from the antioxidant networks. *Environmental and Experimental Botany*, *161*, 4–25. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.12.009

Touzout, N., Mehallah, H., Moralent, R., Moulay, M., & Nemmiche, S. (2021). Phytotoxic evaluation of neonicotinoid imidacloprid and cadmium alone and in combination on tomato (Solanum lycopersicum L.). *Ecotoxicology*, *30*(6), 1126–1137. https://doi.org/10.1007/s10646-021-02421-6

Touzout, N., Mehallah, H., Moralent, R., Nemmiche, S., & Benkhelifa, M. (2021). Co-contamination of deltamethrin and cadmium induce oxidative stress in tomato plants (Solanum lycopersicum L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, *43*(6), 1–10. https://doi.org/10.1007/s11738-021-03261-x

Velikova, V., Yordanov, I., & Edreva, A. (2000). Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants protective role of exogenous polyamines. *Plant Science*, *151*(1), 59–66. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00197-1

Xia, X. J., Huang, Y. Y., Wang, L., Huang, L. F., Yu, Y. L., Zhou, Y. H., & Yu, J. Q. (2006). Pesticides-induced depression of photosynthesis was alleviated by 24-epibrassinolide pretreatment in Cucumis sativus L. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, *86*(1), 42–48. https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2006.01.005

Xia, X. J., Zhang, Y., Wu, J. X., Wang, J. T., Zhou, Y. H., Shi, K., Yu, Y. L., & Yu, J. Q. (2009). Brassinosteroids promote metabolism of pesticides in cucumber. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *57*(18), 8406–8413. https://doi.org/10.1021/jf901915a

Zhang, J. J., & Yang, H. (2021). Metabolism and detoxification of pesticides in plants. *Science of the Total Environment*, *790*(1). https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148034

Réponses écophysiologiques et moléculaires des plantes aux stress xénobiotiques complexes de faible intensité : implications dans les capacités de protection environnementale des bandes enherbées.

{Bibliography}