REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE MEDEA

FACULTE DES SCIENCES

Mémoire

Présenté pour obtenir le diplôme de **Master**

En Sciences de la nature et de la vie

Spécialité : phytopathologie

Par :

BENKOUAR Widad *et* MESTOUI Asma

Thème :

Implication de Nitrique Oxyde dans la régulation du la toxicité des pesticides dans le blé (*Triticum aestivum* L.)

Soutenue publiquement le : 18/06 /2023, Devant le jury composé de :

Mr MHDJOUBI D	**MCB**	Univ-Médéa	Président
Mme SLIFI M	**Docteur**	Univ-Médéa	Examinatrice
Mr TOUZOUT N	**Docteur**	Univ-Médéa	Encadreur
Mr AINES M	**MCB**	Univ-Médéa	Co-Encadreur

Année universitaire 2022/2023

Remerciements

A ce stade de notre vie estudiantine, et à l'occasion de la présentation de notre mémoire de master, nous a fait l'honneur et le devoir d'exprimer nos louanges à ALLAH, notre créateur généreux et omnipotent, tout puissant, maitre des cieux et de la terre, qui nous a permis de mener à bien ce travail, pour tous ses dons et ses faveurs.

Nous exprimons notre profonds remercîments à monsieur ***Touzout Nabil*** *l'assistant a eu des sciences agronomiques à la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université à Médéa, pour avoir accepté de nos encadrer ce mémoire dans le cadre d'un axe de recherche, pour votre présence et votre disponibilité permanant, pour vos conseil et votre soutien et pour l'aide que vous avez apporté et pour l'intérêt constant que vous n'avez cessé d'accorder pour l'orientation de ce travail.*

Nous remercions aussi tous mes enseignants, en particulier ***Mme BAHRIA****,* ***Mme SLAMA.***

Je termine avec un grand remerciement bien particulier à toute personne qui de près ou de loin a contribué à ma réussite.

A la fin nous ne remercions toute personne qui nous a aidés de près ou de loin.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail accompagné d'un profond amour.

A mes chers parents, source de vie, d'amour et d'affection.

A mon cher frère Chokri qui est la source de bonheur.

A mes chères sœurs Hadjer, Lilia, Lina, Alàa et Razika qui m'avez toujours soutenu et encouragé durant ces années d'études.

A ma grande mère, ceci est ma profonde gratitude pour ton éternel amour.

A mes meilleures amies Asma, Soaad et Fatiha.

A toute personne qui occupe une place dans mon cœur

A toutes mes tantes et leurs fils son exception, surtout Bachira et Halima.

Widad

Dédicace

الحمد لله الذي هدانا وما كنا لنهتدي لوالا أن هدانا الله

Je dédie ce modeste travail

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non âmes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse : mon adorable mère Fetouma.

A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon chère père Mohamed.

Affable, honorable, Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager ma seul sœur "soumia" Et ses fils Ihab, chihab, Amira cham.

Pour ceux qui un beau sourire et beau cœur mes amis, widad, rahma, amina, lamis.

À toute ma famille de près ou de loin

À tous ceux qui me connaissent

Je dédie ce modeste travail

Asma

الملخص

هناك أنواع مختلفة من الملوثات الضارة والخطيرة على البيئة. المبيدات الفطريات هي أحد العوامل الكيميائية المستخدمة لقتل الفطريات الطفيلية أو الحد من تطورها. الاستخدام المكثف لمبيدات الفطريات في المحاصيل الغذائية له تأثير سام على المحاصيل. تم استخدام أكسيد النيتريك NO في دراسات التخفيف من الضغوط المختلفة مثل الجفاف والمواد الكيميائية وما إلى ذلك. في هذا الرأي ، يعتبر العمل الحالي لفهم وظائف مخففات الإجهاد مثل أكسيد النيتريك (NO ؛ 100 ميكرومول) في تقليل التأثير السام لمبيد الفطريات (CON [8-0.5 لتر/ هكتار]) في شتلات القمح (*Triticum durum*). تظهر نتائج هذه الدراسة أن التعرض لـ CON يؤدي إلى انخفاض في مستويات النمو والكتلة الحيوية والكلوروفيل ويؤدي إلى الإجهاد التأكسدي في شتلات القمح. غير أن ، استخدام أكسيد النيتروجين يخفف من السمية التي يسببها مبيد الفطريات CON في شتلات القمح عن طريق تعديل المعلمات المورفولوجية و الفيزيولوجية والبيوكيميائية . ينظم نشاط إنزيم مضادات الأكسدة مستويات أنواع الأكسجين التفاعلية وبالتالي يقلل من الإجهاد التأكسدي في شتلات القمح. لذلك ، يمكن أن نستنتج أن تطبيق أكسيد النتروجين يزيد في وزن الشتلات وطولها ويقلل من محتوى أكسدة الدهون الغشائية (MDA) لشتلات القمح التي تكون تحت الإجهاد التأكسدي و تظهر هذه النتائج الآثار المفيدة لأكسيد النيتروجين فهو ينظم بشكل إيجابي الاستجابة الدفاعية للقمح ضد لإجهاد التأكسدي.

الكلمات المفتاحية : مبيدات ,اكسيد النتريك ,الفطريات , الدهون الغشائية.

Abstract

There are different types of pollutants that are harmful and dangerous to the environment. Fungicides are one of the chemical agents used to kill or limit the development of parasitic fungi. The intensive use of these fungicides in food crops causes a toxic effect on field crops. Nitric oxide NO has been used in mitigation studies of various abiotic stresses such as drought, chemicals, etc. and acts as a durable tool. In this view, the present work is considered to understand the functions of stress attenuators such as nitric oxide (NO; 100µM) in reducing the toxic effect of fungicide (consento CON [0.5-8 l/ha]) in wheat seedlings (*Triticum durum* L). The results of this study show that exposure to CON causes a reduction in growth, biomass and chlorophyll levels and induce oxidative stress in wheat seedlings. However, the application of NO alleviates the toxicity induced by the fungicide CON in wheat seedlings by modifying the morpho-physiological and biochemical parameters. Antioxidant enzyme activity regulated ROS levels and thus reduced oxidative stress in wheat seedlings. Therefore, it can be concluded that exogenous NO donor application increased fresh weight, shoot and root elongation and decreased malondialdehyde (MDA) content of wheat seedlings under oxidative stress. These results show the beneficial effects of NO as a stress signaling molecule that positively regulates the defense response of wheat to oxidative stress.

Keywords: Fungicides, parasitic fungi, Nitric oxide, a biotic stresses, Antioxidant enzyme activity regulated.

Résumé

Il existe différents types de polluants qui sont nocifs et dangereux pour l'environnement. Les fongicides sont l'un des agents chimiques utilisés pour tuer ou limiter le développement des champignons parasites. L'utilisation intensive de ces fongicides dans les cultures vivrières provoque un effet toxique sur les grandes cultures. L'oxyde nitrique (NO) a été utilisé dans les études d'atténuation de divers stress abiotiques tels que les la sécheresse, les substances chimiques, etc. et agit comme un outil durable. Dans cette vue, le présent travail est envisagé pour comprendre les fonctions des atténuateurs de stress comme le nitrique oxyde (NO ; 100µM) dans la réduction de l'effet toxique de fongicide (consento CON [0.5-8 l/ha]) dans les semis de blé (*Triticum durum* L).Les résultats de cette étude montrent que l'exposition au CON provoque une réduction de la croissance, de la biomasse et du taux de chlorophylle et induite un stress oxydatif chez les semis de blé. Cependant, l'application de NO atténue la toxicité induite par le fongicide CON chez les semis de blé en modifiant les paramètres morpho-physiologiques et biochimiques. L'activité enzymatique antioxydant a régulé les niveaux d'ERO et ainsi réduit le stress oxydatif chez les semis de blé. Par conséquent, on peut conclure que l'application exogène de donneur de NO, a augmenté le poids frais, l'allongement des pousses et des racines et a diminué la teneur en malondialdéhyde (MDA) des semis de blé sous stress oxydatifs. Ces résultats montrent les effets bénéfiques du NO en tant que molécule signalant de stress qui régule positivement la réponse de défense de blé au stress oxydatifs.

Mots clés : Les fongicides, nitrique oxyde, champignons, stress abiotiques, malondialdéhyde, L'activité enzymatique antioxydant.

Table des matières

INTRODUCTION **1**

I. Première partie synthèse bibliographique

1. Chapitre I : Les pesticides 3

I.1.1 Généralités sur les pesticides 3

I.1.2 Historique des pesticides 4

I.1.3 Définition des pesticides 5

I.1.4 Classification des pesticides 7

I.1.5 Classification selon le type de cible 7

I.1.6 Classification selon la fonction et mode action 8

I.1.7 Classification selon la nature chimique de la substance active 8

I.1.8 Modes d'action des pesticides 9

I.1.9 Les propriétés physico - chimiques des pesticides 10

2. Chapitre II : Dynamique des pesticides dans l'environnement 11

I.2.1 Dispersion environnementale de pesticides 11

I.2.2 Transport des pesticides et interactions des sources diffuses vers les eaux de surface 12

I.2.3 Les processus conditionnant le devenir des pesticides 12

I.2.3.1 La dégradation 12

I.2.3.2 L'adsorption 13

I.2.3.3 Ruissellement 13

I.2.3.4 La volatilisation (Le transport en phase gazeuse) 13

I.2.4 Effets des additifs de formulation sur le comportement des pesticides dans l'environnement. 14

I.2.5 L'effet des pesticides sur la santé humaine 15

3. Chapitre III : L'oxyde nitrique 16

I.3.1 Historique de monoxyde azote 16

I.3.2 Définition de monoxyde azote 16

I.3.3 Biosynthèse de NO chez les plantes 17

I.3.4 Le rôle du monoxyde d'azote (NO) 17

II. Deuxième partie etude expérimentale

1. Partie expérimentale 21
2. Choix des plantes 21
3. Matériel végétal 21
4. Classification botanique 22
5. Préparation de concentration de pesticides 22
6. Les doses du fongicide utilisé (consento) 23
7. Conditions de croissance des plantes 23
8. Méthodes d'étude 24
II.8.1 Milieu nutritif 24
II.8.2 Produits chimiques 25
II.8.3 Comportement de croissance 26
II.8.3.1 Paramètre de croissance 26
II.8.4 Extraction et estimation des pigments photosynthétiques : chlorophylle et caroténoïdes 26
II.8.5 Stress oxydatif : la génération d'espèces d'oxygène réactives et de dommages oxydatifs 27
II.8.6 Analyse des indices de dommages oxydatifs 27
II.8.6.1 La peroxydation lipidique 27
II.8.7 Estimation du système de défense antioxydant enzymatique 28
II.8.7.1 Dosage de l'activité catalase (CAT) 28
II.8.7.2 Dosage de l'activité de la peroxydase 29
II.8.7.3 Dosage de L'activité de Glutathione-S-Transferase (GST) 29
II.8.7.4 Dosage de l'activité Ascorbate Peroxydase (APX) 30
II.8.8 Constitution biochimique 31
II.8.8.1 Teneur en protéine 31
II.8.8.2 Teneur en proline 31
II.8.8.3 Teneur en polyphénols totale et en flavonoïdes 32
II.8.9 Détermination de la teneur en sucres solubles totaux (TSS) 32
9. Analyse statistique 32

III. Résultats et discussion

1. Effet du NO et de CON sur les paramètres de croissance du blé 34

2. Impact du NO et de fongicide (CON) sur les paramètres photosynthétiques des semis de blé 36
3. Effet du NO et de fongicide (CON) sur la teneur des marqueurs du stress oxydatif .37
4. Effet du NO et de fongicide (CON) sur l'activité des enzymes antioxydants 39
5. Effet de NO et fongicide CON sur l'activité de POD 41
6. Effet du NO et de fongicide (CON) sur la teneur en glutathion réduite (GSH) 42
7. Effet de NO et fongicide CON sur la teneur de la proline 43
8. Impact du NO et de fongicide (CON) sur la teneur totale en protéines 44
9. Effet de NO et fongicide CON sur le métabolisme de flavonoïde.....45
10. Effet de NO et fongicide CON sur le teneur en polyphénols totaux.....46
11. Effet de NO et fongicide CON sur l'activité de la GST.....47

CONCLUSION.....49

IV. Références bibliographiques.....50

Liste des tableaux

TABLEAU 1: CLASSIFICATION DES PESTICIDES SELON LES ORGANISMES CIBLES 6

TABLEAU 2: CLASSIFICATION DE LA TOXICITE, EXPRIMEE EN DL50 (MG/KG) 8

TABLEAU 3: CLASSIFICATION DU BLE DUR 22

TABLEAU 4: UTILISATIONS ET DOSES D'EMPLOI DE PESTICIDE 22

TABLEAU 5: LES DOSES DE PESTICIDES DE PESTICIDE..... 23

Liste des figures

FIGURE 1:COMPOSITION D'UN BIDON DE PESTICIDE 4
FIGURE 2: STRUCTURES CHIMIQUES DE QUELQUES EXEMPLES DE PESTICIDES. 5
FIGURE 3: DISPERSION DES PESTICIDES DANS L'ENVIRONNEMENT. 12
FIGURE 4: PROCESSUS DE DIFFUSION DES PESTICIDES DANS L'ENVIRONNEMENT. 14
FIGURE 5: MOLECULE DE MONOXYDE D'AZOTE 16
FIGURE 6: CHEMA MONTRE LE ROLE DE L'OXYDE NITRIQUE (NO) DANS LA CROISSANCE ET LE DEVELOPPEMENT DES PLANTES 19
FIGURE 7: LES GRAINES ET PLANTE DE BLE ET FIGURE 8 LE BLE EN PHASE DE CROISSANCE...19
FIGURE 8: LE BLE EN PHASE DE CROISSANCE 19
FIGURE 9: PHOTOGRAPHIE DES GRAINES GERMEES.....22
FIGURE 10:PHOTOGRAPHIE DES GRAINES GERMEES..... 24
FIGURE 11:PHOTOGRAPHIE DES PLANTES EN MILIEU NUTRITIVE 25
FIGURE 12:CONCEPTION EXPERIMENTALE 26
FIGURE 13:PHOTOGRAPHIES D'EXTRAIT DE CHLOROPHYLLE..... 27
FIGURE 14:EFFET DE LA SUPPLEMENTASSIONS EN NITRIQUE OXYDE (NO) SUR LONGUEUR DES PLANTES DANS LES SEMIS DE BLE TRAITES AVEC CONSENTO (CON). 34
FIGURE 15:PHENOTYPE DES PLANTULES DE BLE EXPOSEES A DIFFERENTES COMBINAISONS DE L'FONGICIDE CON ET NO..... 35
FIGURE 16:EFFET DE LA SUPPLEMENTASSIONS EN NITRIQUE OXYDE (NO) SUR BIOMASSE DES PLANTES DANS LES SEMIS DE BLE TRAITES AVEC CONSENTO (CON). 36
FIGURE 17:EFFET DE LA SUPPLEMENTATION EN NITRIQUE OXYDE (NO) SUR TENEUR EN CHLOROPHYLLE TOTALE DANS LES SEMIS DE BLE TRAITES AVEC CONSENTO (CON)..... 37
FIGURE 18: EFFET DE LA SUPPLEMENTATION EN NITRIQUE OXYDE (NO) SUR TENEUR EN CARETONOIDES DANS LES SEMIS DE BLE TRAITES AVEC CONSENTO (CON). 37
FIGURE 19:EFFET DE LA SUPPLEMENTASSIONS EN NITRIQUE OXYDE (NO) SUR LE TENEUR EN MDA DANS LES SEMIS DE BLE TRAITES AVEC CONSENTO (CON).....37
FIGURE 20:EFFET DE LA SUPPLEMENTASSIONS EN NITRIQUE OXYDE (NO) SUR LE TENEUR EN H_2O_2 DANS LES SEMIS DE BLE TRAITES AVEC CONSENTO (CON).....37
FIGURE 21: EFFET DE LA SUPPLEMENTASSIONS EN NITRIQUE OXYDE (NO) SUR L'ACTIVITE DE L'APX DANS LES SEMIS DE BLE TRAITES AVEC CONSENTO (CON).....39
FIGURE 22: DE LA SUPPLEMENTASSIONS EN NITRIQUE OXYDE (NO) SUR L'ACTIVITE DE LA CAT DANS LES SEMIS DE BLE TRAITES AVEC CONSENTO (CON). 39

FIGURE 23 : EFFET DE LA SUPPLEMENTASSIONS EN NITRIQUE OXYDE (NO) SUR L'ACTIVITE DE LA POD TOTALE DANS LES SEMIS DE BLE TRAITES AVEC CONSENTO (CON)..... 42
FIGURE 24: EFFET DE LA SUPPLEMENTASSIONS EN NITRIQUE OXYDE (NO) SUR TENEUR EN GSH DANS LES SEMIS DE BLE TRAITES AVEC CONSENTO (CON). 43
FIGURE 25: EFFET DE LA SUPPLEMENTASSIONS EN NITRIQUE OXYDE (NO) SUR TENEUR EN PROLINE TOTALE DANS LES SEMIS DE BLE TRAITES AVEC CONSENTO (CON). 44
FIGURE 26: EFFET DE LA SUPPLEMENTASSIONS EN NITRIQUE OXYDE (NO) SUR TENEUR EN PROTEINE DANS LES SEMIS DE BLE TRAITES AVEC CONSENTO (CON). 45
FIGURE 27: EFFET DE LA SUPPLEMENTASSIONS EN NITRIQUE OXYDE (NO) SUR TENEUR EN FLAVONOÏDES TOTALE DANS LES SEMIS DE BLE TRAITES AVEC CONSENTO (CON)..... 46
FIGURE 28: EFFET DE LA SUPPLEMENTASSIONS EN NITRIQUE OXYDE (NO) SUR TENEUR EN POLYPHENOLS TOTALE DANS LES SEMIS DE BLE TRAITES AVEC CONSENTO (CON)..... 47
FIGURE 29: EFFET DE LA SUPPLEMENTASSIONS EN NITRIQUE OXYDE (NO) SUR TENEUR L'ACTIVITE DE LA GST DANS LES SEMIS DE BLE TRAITES AVEC CONSENTO (CON)..... 48

Liste des abréviations

Abréviations

ABA Acide abscissique.

ANOVA Analyse de la Variance.

APX Ascorbate Peroxidase.

Chl Acide éthylènediaminetétraacétique.

DL_{50} Dose létale médiane**.**

CON Consento.

CAT Catalase.

CDNB 1-chloro 0, 1 M, 2, 4-dinitrobenzène.

DDT Dichlorodiphényltrichloroéthane**.**

EDTA Acide Éthylène Diamine Tétra-Acétique.

ERO Espèces réactives de l'oxygène.

DESA UN Département des affaires économiques et sociales des Nations Unies.

H_2O_2 Le peroxyde d'hydrogène.

ITGC Institut Technique des Grandes Cultures.

GST Glutathione-S-Transferase.

GSH Glutathione.

Koc Coefficient de partage carbone organique-eau.

MDA Malondialdéhyde.

NADPH Nicotinamide adénine dinucléotide phosphate.

NO Nitrique Oxyde.

NO_2 Le dioxyde d'azote.

ONU Organisation des Nations unies.

PH Potentiel hydrogène.

POD Peroxide Dismutase.

PVP Polyvinylpyrrolidone.

TBA Thiobarbiturique acide.

TCA Trichloracétique acide.

TMG Temps Moyen de Germination.

TSS Sucre soluble total.

INTRODUCTION

L'augmentation continue de la population dans le monde est le plus grand obstacle à leur croissance socio-économique. Des études indiquées que l'explosion démographique atteindrait 9,7 milliards d'ici 2050, et que cela serait principalement dû aux pays en développement d'Asie et d'Afrique (Lacroix et al. 2019). Le besoin fondamental de cette population croissante est la disponibilité de la sécurité alimentaire à l'avenir. Par conséquent, l'écart entre la production et la demande doit être minimisé et pour surmonter ce défi, la mise en œuvre de stratégies appropriées conduit à une production intensive. Depuis le début de la « révolution verte » mondiale dans les années 1960, l'agriculture est devenue une tâche commerciale pour poursuivre l'utilisation de variétés de cultures à haut rendement grâce à l'apport constant d'engrais chimiques, de pesticides et d'engrais organiques (Panthéon-sorbonne and Gloria 2022). Les pesticides sont considérés comme un facteur clé qui, à son tour, contribue de manière significative à l'amélioration du rendement par hectare, mais les applications de pesticides aux agro écosystèmes, affectent l'équilibre dynamique des sols (Fantke et al. 2011).Environ la moitié de la population mondiale utilise le blé comme aliment de base et 20% de l'énergie alimentaire mondiale en est fournie, Pour nourrir la population en croissance rapide de ces pays (Calais 2022). Les pesticides aident à contrôler l'infection des ravageurs par les rendements des cultures, ils nuisent également à la santé du sol en créant diverses anomalies. Les pesticides pénètrent également dans différents écosystèmes par l'air et les eaux de ruissellement et affectent les organismes qui y prospèrent (Jiang et al. 2008).Par conséquent, il est urgent d'identifier des méthodes pour réduire les effets toxiques des fongicides et augmenter la productivité des cultures. Le nitrique oxyde (NO) a été utilisé pour atténuer différents stress abiotiques et biotiques chez les plantes cultivées (Kumar and Ohri 2023). (NO) augmente la résistance contre les maladies et les agents pathogènes, la toxicité des métaux, la salinité, la sécheresse, etc. (Kumar and Ohri 2023; Sami et al. 2018; Wei et al. 2020).Le rôle du NO dans l'atténuation de la toxicité des fongicides tels que le fongicide (CON) n'est toujours pas élucidé. Le NO qui peut stimuler la voie de tolérance contre les conditions défavorables.

Dans ce contexte, l'étude intitulée «**Implication de Nitrique Oxyde dans la régulation du la toxicité des pesticides dans le blé (*Triticum aestivum* L.)**» a été Évalué les réponses morphologiques et physiologiques induites par le NO et les fongicides chez les semis de blé. Aussi Détecter les traits biochimiques des semis de blé en présence de traitements au NO et aux fongicides, Élucider les mécanismes impliqués lors de pré addition de NO sous toxicité

induite par les fongicides dans les semis de blé, Dans la première phase, la plante et les fongicides ont été sélectionnés pour l'étude. Le blé a été sélectionné pour l'étude parce qu'il est exposé à d'énormes pertes de rendement et économiques dans l'agriculture. Non seulement cela, l'application de fongicides est très courante sur la culture de blé par rapport aux autres cultures.

Objectifs de travail

- Étudier l'implication du NO dans la réponse de blé au stress oxydatif.
- Le rôle dans l'induction des systèmes antioxydants de blé.
- Déterminer si un stress induit par pesticide la synthèse de métabolites secondaires est intervenu dans la défense de plante.
- Vérifier si le NO est responsable de la mise en place de la réponse antioxydant du blé (par le pesticide). Une approche pharmacologique a été mise en place sur les plantes de blé mis en culture sur milieu nutritif liquide Hoagland

I. Première partie
Synthèse bibliographique

1. Chapitre I : Les pesticides

I.1.1 Généralités sur les pesticides

On estime que la demande alimentaire internationale passera de 80 à 100 % dans les décennies à venir pour faire face à l'augmentation des population humaine (Shah et al. 2022).Alors que la population mondiale augmente rapidement, la société humaine bénéficie à partir ou même dépend des pesticides pour assurer la sécurité alimentaire et la lutte contre les maladies. Les dépenses mondiales en pesticides du point de vue de la production sont estimés à 56 milliards de dollars (Li 2018). L'intensification de l'agriculture a rendu les cultures plus vulnérables aux ravageurs en raison du rapprochement des cultures dans le temps et dans l'espace. Pour le maintien du rythme intensif agronomique, il y a un besoin de plus en plus fort de recourir aux traitements phytosanitaires pour pallier toute éventuelle attaque. Chaque année environ 80 000 tonnes de pesticides sont utilisées dans le secteur agronomique en France, soit 90 % de la consommation totale (Chahine, Wortham, and Brunet 2011). Les pesticides sont largement utilisés pour contrôler les mauvaises herbes, les insectes, les champignons et autres parasites indésirables potentiellement préjudiciable aux niveaux élevés de rendement des cultures et à la qualité du culture (Fantke et al. 2011). Les résidus atteignant les grains de notre culture peuvent entraîner des risques pour la consommation des produits alimentaires à base de culture (Fantke etal. 2011).

I.1.2 Historique des pesticides

Depuis longtemps, les scientifiques s'intéressent à la protection chimique des plantes reviennent à examiner de plus près la lutte contre les ennemis des cultures. De plus, à mesure que la production agricole et le recours à la monoculture s'intensifient, ces maladies sont de plus en plus importantes. La lutte contre ces différentes espèces devient alors une priorité à la fin du XIXe siècle, dans un contexte où les rendements ne doivent pas cesser de croître. La protection chimique des plantes fait ainsi son apparition. Issue de la Seconde Guerre mondiale en raison des enjeux productifs et économiques de la politique agricole que la fabrication et l'utilisation de pesticides a augmenté (Obtenir and Grade 2022).

I.1.3 Définition des pesticides

Sont des « produits phytopharmaceutiques » ou appelé « produits phytosanitaires ». Les produits phytopharmaceutiques et les produits phytosanitaires sont des synonymes et ils regroupent les produits destinés à la protection des végétaux. Les pesticides réunissent les

produits phytopharmaceutiques et les biocides – réservés, quant à eux, à des usages non agricoles. La mise sur le marché et l'utilisation des produits commerciale sont encadrées par le règlement (CE) n° 1107/20091(Obtenir and Grade 2022).Le terme pesticide est actuellement utilisé pour désigner toutes les substances naturelles ou synthétiques qui peuvent contrôler, repousser, tuer ou arrêter le développement des organismes vivants (microbes, animaux ou végétaux) considérés comme nuisibles aux développement des productions agricoles (Hamdache 2020).

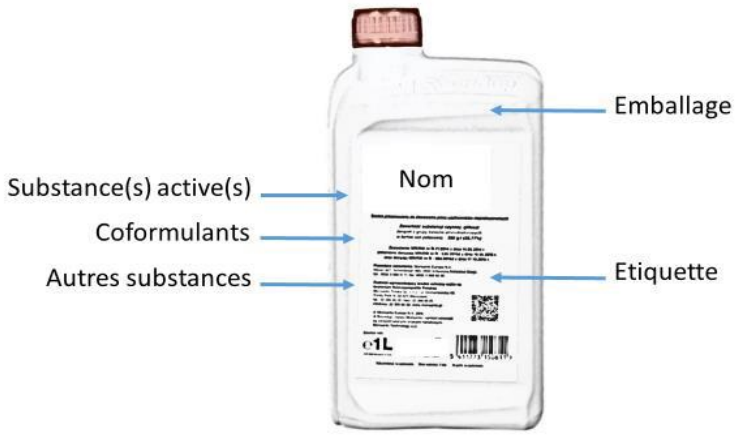


Figure 1 composition d'un bidon de pesticide (Pellissier 2021) .

Les pesticides chimiques sont largement utilisés dans l'agriculture depuis des décennies pour lutter contre divers insectes nuisibles au cours du processus de croissance des plantes. Malgré les effets d'amélioration des rendements des cultures, l'utilisation excessive et successive de pesticides affecte gravement la qualité des productions agricoles, voire l'ensemble de la chaîne alimentaire et l'environnement écologique. Les pesticides résiduels sont devenus une sorte de contaminants courants et présentent des risques pour la santé des êtres humains. De plus en plus d'attention a été accordée aux risques pour la santé des résidus de pesticides dans les aliments pour les consommateurs en raison de leurs toxicités inhérentes. Récemment, plusieurs publications ont fait état d'évaluations de l'exposition chronique ou aiguë à certains résidus de pesticides, tels que les organophosphorés (Liang et al. 2022).

D'après des études approfondies sur les propriétés en matière de comportements environnementaux et de sécurité biologique des pesticides, certains pesticides traditionnels sont non dégradables et hautement toxiques. L'application à long terme de ces pesticides a gravement pollué l'environnement, et mis en danger la santé humaine. Ces effets indésirables ont conduit à interdire certains pesticides hautement toxiques (Liang et al. 2022)

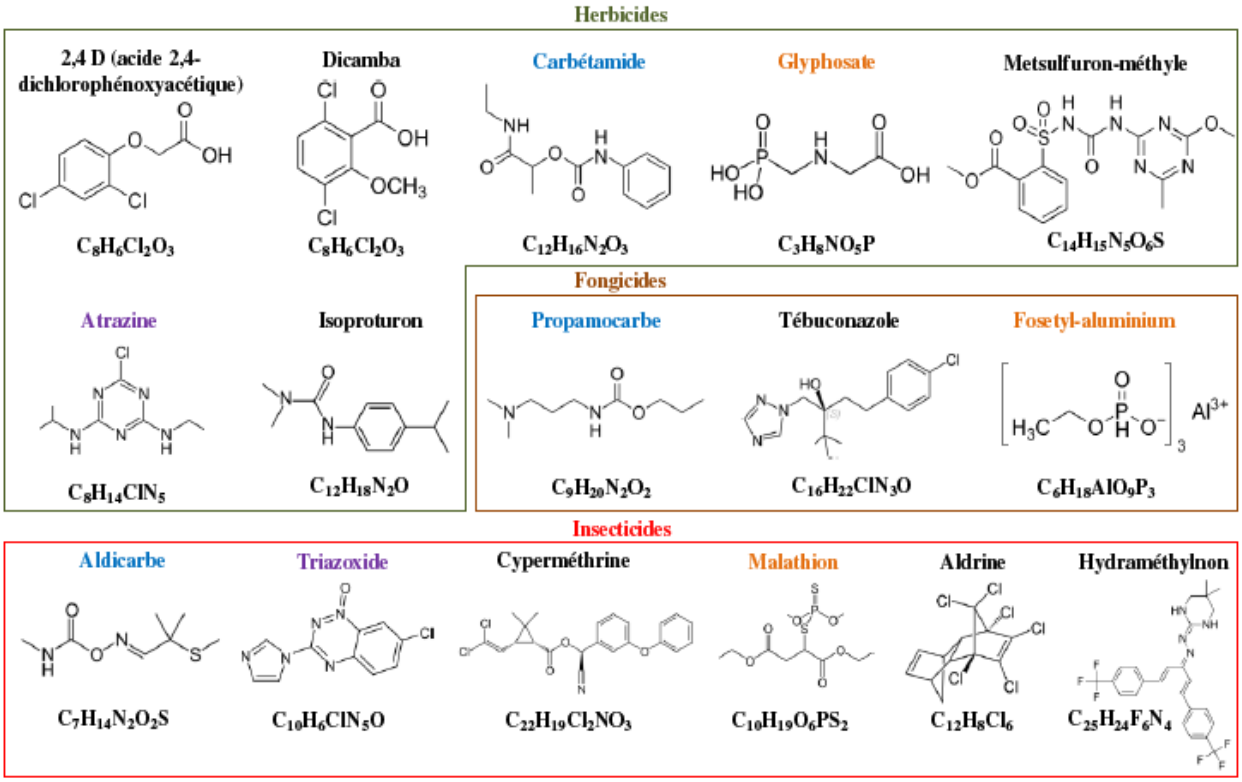


Figure 2: Structures chimiques de quelques exemples de pesticides. Les pesticides de même couleur font partie de la même famille chimique **(Serra 2015).**

Selon ce règlement, ces produits utilisés pour :

- ✓ Protéger notre culture contre tous les organismes nuisibles ou prévenir l'action de ceux-ci, sauf si ces produits sont censés être utilisés principalement pour des raisons d'hygiène plutôt que pour la protection des végétaux ou des produits végétaux.
- ✓ Exercer une action sur les processus vitaux des végétaux, telles les substances, autres que les substances nutritives, effet positif sur l'action de croissance.
- ✓ Assurer la conservation des produits végétaux, pour autant que ces substances ou produits ne fassent pas l'objet de dispositions communautaires particulières concernant les agents conservateurs.
- ✓ Détruire les végétaux ou les parties de végétaux indésirables qui appelé les adventice (Albert 2022).

Les pesticides, lorsque utilisés à la manière respective, sont un intrant agricole essentiel qui peut protéger les cultures contre les ennemis comme les plantes indésirables, les insectes, les bactéries, les champignons, qu'on peut les classées en plusieurs catégories : les fongicides, les insecticides et les herbicides acaricides... Les fongicides permettent de lutter contre les champignons, les insecticides contre les insectes et les herbicides contre les mauvaises herbes Cependant, acaricides contre les insectes et les acariens (Shah et al. 2022).

I.1.4 Classification des pesticides

Il existe trois modes de classification des pesticides sont selon la cible (organe nuisible) et la fonction et selon la famille et la structure chimique.

I.1.5 Classification selon le type de cible

- **Les herbicides :** sont des substances actives ou une préparation phytosanitaire ayant la propriété de tuer les végétaux ou d'empêcher la croissance des végétaux indésirables qui peuvent entrer en concurrence avec les cultures agricoles.
- **Les insecticides :** sont des substances actives ou des préparations phytosanitaires ayant la propriété de tuer les insectes, leurs larves et/ou leurs œufs aussi d'éliminer les insectes considérés comme nuisibles ou indésirables pour les plantes et cela en exerçant sur ces dernières des actions neurotoxiques, régulatrices de croissance et inhibitrices de la respiration.
- **Les fongicides :**sont des substances, appelée produit phytosanitaire ou pesticide, conçue pour éliminer ou limiter le développement des parasites comme les champignons ou les moisissures des végétaux (Hamdache 2020).

Tableau 1 Classification des pesticides selon les organismes ciblés (Branchet 2019).

Type de pesticides	Organismes vivants ciblés
Algicides	Algues
Acaricides	Acariens
Avicides	Oiseaux
Bactéricides	Bactéries
Fongicides	Champignons
Herbicides	Herbacées
Insecticides	Insectes
Mollusquicides	Mollusques
Rongicides	Rongeurs
Virucides Virus	Virus

I.1.6 Classification selon la fonction et mode action

Dans ce cas en a classé les pesticides en deux catégories : les pesticides non-systémiques et les pesticides systémiques. Le produit qui au mode d'action par contact ont une action sur la cible uniquement par contact et ne pénètrent pas dans l'organisme à éliminer appeler les pesticides non-systémiques, par contraire aux pesticides systémiques.

Le diuron (herbicide systémique de la famille chimique des phénylurées) est absorbé par les racines de la plante et atteint les tiges et les feuilles en circulant dans le xylème. Il inhibe alors la réaction de Hill de la photosynthèse, conduisant à la mort de la plante. Au contraire, le chlorpyrifos-méthyl (insecticide non-systémique de la famille chimique des organophosphorés) inhibe l'acétylcholinestérase (AChE) dans le système nerveux des insectes qui entrent en contact, l'ingèrent ou l'inhalent (branchies) lorsqu'ils se posent sur la plante cultivée traitée, provoquant la paralysie puis la mort de l'insecte (Branchet 2019).

I.1.7 Classification selon la nature chimique de la substance active

- **Les organochlorés** : sont des molécules produites par chloration d'hydrocarbures insaturés. Certaines d'entre elles possèdent un cycle aromatique. Issus de l'industrie du chlore tels que le dichlorodiphenyltrichloroéthane, le lindane, le chlordane...
- **Les organophosphorés** : possèdent un atome de phosphore dans leur structure chimique de base. Ce sont des esters, amides ou dérivés thiol des acides phosphorique, phosphonique, phosphorothioic ou phosphonothioic amides ou esters des acides phosphoriques, (diazinon,dichlorovos, malathion...)
- **Les carbamates :** sont des dérivés de l'acide carbamique, possédant un azote, un méthyl et un hydrogène. En fonction de la substitution des hydrogènes liés à l'azote, les carbamates peuvent être des herbicides, des insecticides ou des fongicides formés par des sels ou esters d'acide carbamique (carbaryl, propoxure...),
- **Les triazines :** sont majoritairement des herbicides sélectifs. (Atrazine, propazine, simazine ...)
- **Les urées :** la plus importante famille d'herbicides sélectifs et non sélectifs, systémiques, utilisés en post-émergence et sous forme d'émulsions aqueuses. Substituées incluant plusieurs groupes fonctionnels : phényluréases. L'organisation mondiale de la santé (WHO) propose une classification basée sur le risque pour la santé ou plus spécifiquement le comportement toxique (Hamdache 2020; Lite 2022).

I.1.8 **Modes d'action des pesticides**

Les produits phytosanitaires peuvent provoquer des effets toxiques à l'organisme cibles. Les trois grandes familles de pesticides : les herbicides, les fongicides et les insecticides. Les herbicides ont un effet perturbateur sur la photosynthèse (photosystèmes I et photosystèmes II), et sur la synthèse des molécules des acides aminés et des lipides, aussi sur la division cellulaire et la croissance des plantes. Les insecticides attaqué le système nerveux neurotransmission et la respiration. Les fongicides agissent sur le system respiratoire, la synthèse stérols, mélanine, ARN, et aussi sur la croissance de plante (Bhandari et al. 2020). Enfin, Les substances actives interviennent donc sur des processus métaboliques fondamentaux, et leur potentiel toxique est donc effectif à la fois sur les espèces ciblées et sur les autres espèces présentes dans les écosystèmes contaminés par leur transfert (Liang et al. 2022).

Alors les pesticides classés de I à IV selon leur toxicité : extrêmement, très, modérément et faiblement toxique. Le taux de toxicité est estimée selon la dose létale médiane (DL50) qui représente la quantité de matière active qui, administrée en une seule fois, par ingestion, inhalation ou voie cutanée, entraîne la mort de 50% des animaux traités (Liang et al. 2022).

Tableau 2 Classification de la toxicité, exprimée en DL50 (mg/kg) (Lite 2022)

Groupe		**DL50***Organisation Mondiale de la Santé 2009 (mg/kg en poids d'une souris de laboratoire)	
Niveau de toxicité			
		Oral	**Dermique**
I	extrêmement toxique	<50	<50
II	fortement toxique	5–50	50–200
III	modérément toxique	50–2000	200–2000
IV	faible toxicité	<5000	–

*DL50 (dose létale à 50 %) est la dose qui provoque l'effet létal chez 50 % des animaux du groupe test (Lite 2022).

Malgré les avantages de l'utilisation de pesticides pour améliorer la sécurité alimentaire, l'utilisation intensive et généralisée de pesticides chimiques peut augmenter la pollution des sols, ce qui augmente les risques environnementaux et sanitaires (Bhandari et al. 2020)

Les propriétés du sol jouent un rôle crucial dans le devenir, le comportement et dispersion de pesticides chimiques et à devenir le dépositaire des pesticides utilisés en agriculture. Il s'adsorbe la plupart des pesticides et des produits de dégradation, ce qui pourrait affectent différents réseaux trophiques. Les pesticides peuvent finalement atteindre les êtres vivants, et sont ainsi soumis à la bioamplification et ils sont emportés des sols par l'eau courante et se retrouvent ainsi dans l'eau interstitiel. Le ruissellement et les inondations sont deux voies majeures des mouvements de pesticides pouvant conduire à une diffusion non intentionnelle et la contamination non ciblée qui peut finalement affecter négativement la santé humaine. La concentration de pesticides à tendance à augmenter avec la profondeur du sol et ainsi les concentrations trouvées dans la couche inférieure du sol peuvent augmenter la pollution des eaux souterraines. Les concentrations de pesticides sont souvent estimées en fonction de leur impact environnemental concentrations (PEC) (Bhandari et al. 2020)

I.1.9 **Les propriétés physico - chimiques des pesticides**

La solubilité des pesticides a moins d'impact sur le transport mais explique les différences entre les comportements de transport pour différents pesticides au même endroit ou à l'échelle du champ. Par exemple, les propriétés de sorption (Koc) augmentent généralement le temps de séjour des polluants dans le sol ou les sédiments, diminuant ainsi la disponibilité pour la dégradation microbienne. Le long de la route du transport des pesticides de la source aux eaux de surface, les pesticides peuvent être dégradés par des processus biotiques et abiotiques se produisant dans tous les compartiments, y compris le sol, les sédiments, les eaux de surface et les eaux souterraines, qui sont décrits dans la section suivante(Droz-dit-busset 2020) .

2. Chapitre II : Dynamique des pesticides dans l'environnement

Les pesticides sont appliqués sur les cultures ou utilisés dans le traitement des semences, l'application d'un pesticide dépend du stade de la culture, de la cible, alors l'activités agricoles intensif, provoqué pollutions environnementales, par exemple des pollutions chimiques de l'atmosphère, du sol, de l'eau (Serra 2015). L'utilisation des produits agricoles est toujours en principe que le produit ne présenté pas une persistante dans l'environnement, c'est à- dire l'absence des rémanences et les demi-vie de produit dans le sol est quelques jours ou quelques semaines (Hamdache 2020).

Après l'utilisation et l'application des pesticides, environ de 90 % de valeur utilisées de pesticides ne pas infecté le ravageur ou l'espèce ciblé comme les pesticides sont appliqués sur de grandes surfaces à partir d'un avion donc une source importante de pollution chimique (Fernandez 2022).

I.2.1 Dispersion environnementale de pesticides

La dynamique des pesticides dans l'environnement a été conditionné par nombreuses processus qui sont le transport sous forme dissoute/particulaire/gazeuse, l'adsorption, la dégradation.

- ✓ **Au niveau de l'atmosphère** : la diffusion atmosphérique, ou dérive, c'est l'épandage, lorsqu'une partie des molécules n'affecté pas l'organisme vivant et reste dans l'atmosphérique. Le phénomène de réémissions après application (la volatilisation). Qui se trouvé à la surface des plantes ou de sol. La contamination par le produit a autre parcelle est soit par l'évaporation de l'eau, aussi par le vent est peuvent adsorber par le sol.
- ✓ **Au niveau du sol** : ce dernier est un processus majeur a un effet sur la dynamique des pesticides. L'eau a un rôle principal de transferts de pesticides, soit par ruissellement, ou en drainage profond (les nappes phréatiques). Les pesticides sont emportés et adsorbés transférés avec les particules érodées, soit directement dissous dans l'eau. Aussi la pluviométrie et les caractéristiques physicochimiques de l'eau qui présent dans le sol aussi la forme sous laquelle le pesticide est conditionné(liquide, solide ou gazeuse), influencent au mode de contamination (Serra . 2015) .

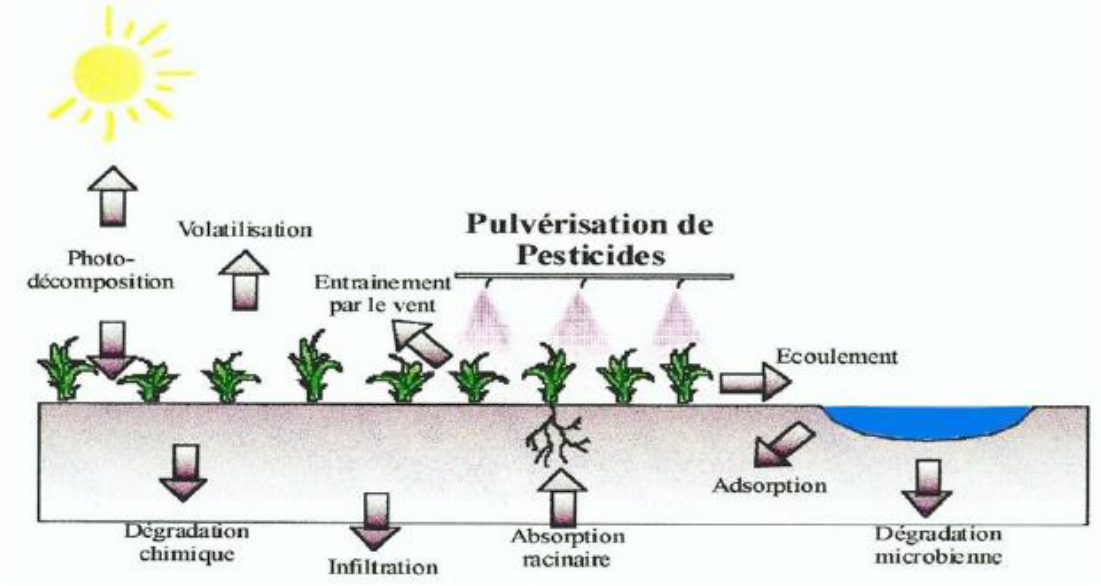


Figure 3 : Dispersion des pesticides dans l'environnement (Hamdache 2020).

I.2.2 Transport des pesticides et interactions des sources diffuses vers les eaux de surface

Les pesticides actuellement utilisés en agriculture sont typiquement des composés organiques solubles, légèrement polaires (log Pow< 10), non volatils et avec une affinité de sorption modérée (log Koc autour de deux). Suite à l'application, les pesticides peuvent être transportés hors site et répartis entre les compartiments environnementaux, principalement : le sol, les sédiments et l'eau. Le nombre de pesticides transportés et répartis entre ces compartiments dépend principalement des propriétés hydrauliques du sol (perméabilité, schémas d'écoulement de l'eau) ainsi que des paramètres environnementaux, tels que la topographie du bassin versant, et des conditions météorologiques qui déterminent principalement le transport hors site depuis le site.

I.2.3 Les processus conditionnant le devenir des pesticides

I.2.3.1 La dégradation

Les pesticides subissent de transformation à des produits de dégradation par divers mécanismes de nature biotique (biodégradation) et abiotiques (hydrolyse et photolyse) (Cueff 2020).

I.2.3.2 L'adsorption

C'est un processus joue un rôle fondamental dans la dynamique de transport, la persistance, la bioaccumulation la transformation des pesticides, ce processus lié soit à la teneur en matière organique du sole taux caractéristiques de partition de molécule, aussi par la force ionique et le pH du sol (Cueff 2020).

Équation 1 : Coefficient d'adsorption (Kd)

Kd = Concentration adsorbée / Concentration dissoute

Équation 2 : Coefficient de partage carbone organique-eau (Koc) (Branchet 2019).

$$Koc = Kd / foc$$

Qui est le rapport entre la quantité en solution et celle fixée par la phase solide, donnant une indication sur l'aptitude d'une molécule à être à adsorbée ou résorbée.

I.2.3.3 Ruissellement

Le transport d'un polluant peut se faire à l'état dissous par lixiviation, est une lame d'eau à la surface du sol qui s'écoule par effet gravitaire en dehors du réseau hydrographique permanent. Aussi est un facteur d'érosion des sols et de pollutions diffuses des eaux de surface. En effet, les eaux de ruissellement peuvent drainer une large gamme de contaminants. Ruissellement permet le transport des pesticides vers les rivières au d'hors de zone d'application. La littérature démontre que ce processus peut être majeur parmi les autres processus de transfert de la contamination vers les rivières (Branchet 2019).

I.2.3.4 La volatilisation (Le transport en phase gazeuse)

La volatilisation permet un transport le polluent en phase gazeuse vers l'atmosphère. Celle-ci se produit directement après l'application du pesticide. Elle est donnée par les propriétés des pesticides : la pression de vapeur saturante et la solubilité dans l'eau et le coefficient d'adsorption. Des molécules à caractère hydrophobe ayant peu d'affinité pour l'eau peuvent potentiellement plus se volatiliser (cueff, 2022).

Équation 3 : Constante de Henry (H) (Branchet 2019)

H = pression de vapeur / fraction molaire dans l'eau

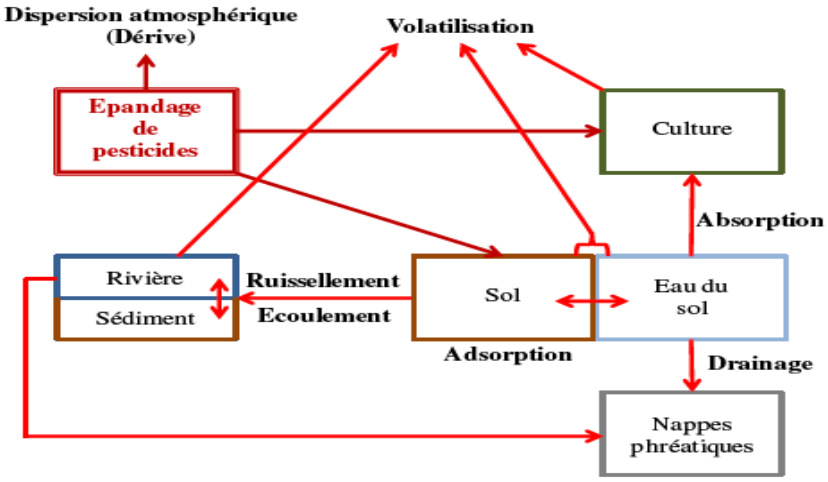


Figure 4 :Processus de diffusion des pesticides dans l'environnement (Seera. 2015).

Les pesticides sont largement appliqués sur les terres agricoles pour gérer et tuer les organismes cibles afin de prévenir les dommages économiques aux cultures. Après l'application de pesticides, des résidus de pesticides peuvent rester dans les cultures et être transportés et bio accumulés dans d'autres compartiments environnementaux, y compris les sols agricoles, l'air et les réseaux trophiques (Li 2022). La contamination des sols agricoles par les résidus de pesticides est devenue un grave problème de plus en plus préoccupant en raison de leur persistance élevée et de leur toxicité pour les espèces non ciblées (Li et al. 2023). Les résidus de pesticides se signifié les restes qui peut trouver dans notre l'environnement après l'application. Les résidus se retrouvent aussi dans et sur la surface de plante, dans la chaine alimentaires ou dans l'environnement (Goutille 2022).

I.2.4 Effets des additifs de formulation sur le comportement des pesticides dans l'environnement.

Effets des pesticides sur le sol

La propriété physico-chimique de matière active peu modifié par les adjuvants, et sa capacité à s'adsorber aux particules du sol. Le phénomène de la lixiviation peut aussi être affecté comme dans le cas du bromacile (substances actives de produit phytosanitaire) qui devient moins apte à s'infiltrer en présence d'adjuvants. Le type de formulation a donc également une influence sur le devenir du pesticide. La persistance des pesticides peut aussi être influencée par la présence des adjuvants. Lorsque de surfactants non ioniques, le temps de demi-vie de pesticides (l'atrazine) est augmenté. Peut-être expliqué sa par la capacité des

surfactants non ioniques à s'oxyder et piéger les molécules H_2O_2 par le biais de la peroxydase ce qui limite la biodégradation et l'oxydation de l'atrazine (Hamdache 2020).

Effets des pesticides sur les plantes

Les surfactants permettent d'augmenter la quantité de pesticide absorbée par la plante ou même retenue sur les feuilles. C'est par exemple le cas du chlorantraniliprole sur les feuilles de maïs et de blé. Par ailleurs, le comportement de chaque molécule de pesticide sur les plantes peut être influencé par la présence d'autres molécules actives lors de l'épandage ; c'est le cas de l'endusolfan et de la cyperméthrine dont les persistances sur les tomates sont respectivement 2 fois plus grandes et 1,5 fois plus petite dans le cas où ces 2 insecticides sont appliqués ensemble (Hamdache 2020).

I.2.5 L'effet des pesticides sur la santé humaine

Les pesticides ont des effets néfastes sur la santé humaine, aussi les scientifiques montrés que l'utilisation intensive des produits phytopharmaceutiques ont des effets néfastes sur la santé humaine. **Inserm** (L'Institut national de la santé et de la recherche médicale) en 2013 publiée que 30 risques augmentés les menaces des gens et la propagation de certains maladies cancérigènes et de maladies neurologique chez l'adulte en lié à l'agent professionnelles d'expositions de pesticides (Serra 2015). Dans le monde, d'au moins trois millions de personnes sont affectée chaque année par l'exposition aux pesticides. Des études ont montré que les cancers du foie, des poumons, de l'estomac, des reins, de la peau et de l'estomac sont corrélés à une exposition chronique à certains pesticides dans la vie quotidienne.

3. Chapitre III : L’oxyde nitrique

I.3.1 Historique de monoxyde azote

Le NO a été découvert en 1772, ce forme de gaz incolore provoquant une sensation de bien accompagnée de crises de rire. L'oxyde nitrique est une espèce réactive de l'azote (ERA), les scientifiques considéraient comme la molécule de l’année en 1992 par le journal « *Science* » (Ruiz-conquet 2022), Qui s’appelle aussi oxyde azotique ou oxyde nitrique ou NO est un composé radicalaire et ses caractéristique très variées. Ont été découvertes en 1980 pour un intérêt scientifique. Ses fonction de NO molécule de signalisation cardiovasculaire, par les pharmacologues **Robert F**. **Furchgott**, **Louis Ignarro** et **Ferid Murad**, a été récompensée par Nobel de médecine en 1998 qui parlé dans recherches sur l’importance du NO comme molécule signal dans le système cardiovasculaire aussi plusieurs études de NO chez les mammifères les procaryotes et les cellules végétales (Junglee 2016; Porrini and Porrini 2021).

L'émission de NO par les plantes a été démontrée dès 1979 par la purge à l'air des feuilles de soja traitées à l'herbicide, et par la suite, le NO a longtemps été d'un intérêt majeur dans la recherche sur les plantes et les animaux. Les premières découvertes impliquaient le NO comme modulateur de la défense des plantes lors des interactions phytopathogènes. Par la suite, il a attiré l'attention croissante des chercheurs sur les plantes en raison de son implication dans divers processus physiologiques, de la promotion de la germination des graines à la régulation de la maturation et de la sénescence des plantes (Farnese et al. 2016).

I.3.2 Définition de monoxyde azote

Le monoxyde d’azote est une petite molécule chimique diatomique gazeuse présent dans l’air se forme gazeux. Le NO contient un atome d'oxygène et un atome d'azote. Aux conditions normales il est sous forme gazeuse. La charge nulle de NO le rond en outre soluble dans les solutions aqueuses et les solvants apolaires (Porrini and Porrini 2021).

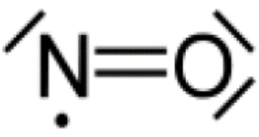


Figure 5 : Molécule de monoxyde d’azote (Porrini and Porrini 2021)

Le monoxyde d’azote ou oxyde nitrique (NO) est un médiateur physiologique important Chez les animaux, dans des fonctions aussi diverses que le contrôlé la pression sanguine, l’apoptose et la défense de l’organisme. NO est une molécule simple sa biochimie est complexe. Le NO a la capacité de diffuser à travers les membranes plasmiques de la cellule et le cytoplasme à la vitesse de 50 µm s^{-1}et une solubilité de 1.9 mM, une durée de vie est d'environ 10 secondes et peut parcourir une distance de 500µm dans les tissus.

I.3.3 Biosynthèse de NO chez les plantes

La biosynthèse du NO chez les plantes est encore incertaine, puisque la mesure de NO dans les matières végétales fait encore débat, et il est souvent impossible de fournir sa localisation subcellulaire ou sa quantification. ainsi, de nombreux mécanismes de formation de NO ont été proposées, dont certaines sont enzymatiquement dépendantes alors que d'autres sont indépendants des enzymes (Mir et al. 2022).

Le NO peut être produit et synthétisé dans tous les types les cellules animales par les l’action de l’oxyde nitrique synthase (NOS) en présence de L-Arginine, d'oxygène et de NADPH (voie non encore découverte chez les végétaux). NO peut aussi être synthétisé de façon non enzymatique par la réduction de NO^{2-} à pH acide dans les parois cellulaires. Cependant la source majeure de NO semble provenir du nitrate réductase NADPH dépendante (Junglee 2016).

Le NO a été identifié plus tard comme une molécule de signalisation gazeuse ayant des effets positifs sur la croissance et le développement des plantes. Progressivement, la recherche s'est déplacée vers l'implication du NO dans la croissance, le développement et le système de défense des plantes, faisant passer la norme NO d'une espèce réactive cytotoxique à une molécule de signalisation avantageuse. Chez les plantes, le NO favorise la croissance et le développement des plantes et il est impliqué dans les réponses au stress et la mort cellulaire programmée (Kumar and Ohri 2023).

I.3.4 Le rôle du monoxyde d’azote (NO)

- l'oxyde nitrique (NO), une molécule de signalisation, sont connus comme les principaux régulateurs des processus biochimiques et physiologiques des plantes dans des conditions de stress(Mir et al. 2022).

L’oxyde nitrique

- L’oxyde nitrique (NO), une molécule de signalisation liée à l'oxydo-réduction, est considéré comme un régulateur clé dans les plantes. La croissance et le développement ainsi que la réponse aux stress abiotiques. Le stress des métaux lourds (HM) est l'un des plus menace sérieuse d'affecter la croissance et la production des cultures. Le stress HM est attribué à la production d’espèces réactives d'oxygène (ERO), entraînant un stress oxydatif chez les plantes. Ainsi, pour minimiser les effets toxiques du stress HM, les plantes activées directement ou indirectement différents mécanismes de piégeage des ERO comprenant des enzymes antioxydants et non enzymatiques antioxydants. Comprendre les rôles du NO est essentiel pour élucider comment le NO active le bon ensemble de réponses au stress HM (Wei et al. 2020).
- Le NO montre à des effets positifs et négatifs la fois, selon son site de formation et de sa concentration. A plus faible concentration, une modulation de la germination des graines, de la détoxification et de l'expansion des feuilles a été observée, mais à des concentrations beaucoup plus élevées, des effets négatifs de NO comme la dégradation de la chlorophylle, l'inhibition de la photosynthèse et le stress nitrosatif ont été rapportés. Après un traitement sans donneur, la germination des graines, la croissance, la biomasse et le rendement en fleurs et en fruits ont été augmentés (Kumar and Ohri 2023).
- De plus, cette molécule a gagné en popularité ces dernières années en raison à son implication importante dans la médiation des processus physiologiques des plantes. Ce régulateur gazeux de croissance des plantes est synthétisé de manière endogène dans plantes. De plus en plus de preuves corroborent le NO en tant que médiateur potentiel de nombreux processus biologiques liés à la croissance et au développement des plantes. Ainsi, il convient d'utiliser le terme « régulateur de croissance des plantes » pour cette molécule (Sami et al. 2018).
- En physiologie végétale, le NO trouve son rôle important dans photosynthèse, germination des graines, fermeture des stomates, croissance de l'hypocotyle, organogenèse racinaire, régulation florale, défense contre les agents pathogènes et finalement sénescence(Sami et al. 2018).
- En plus de l'amélioration de la germination des graines, le NO joue également un rôle essentiel dans la composition en acides gras des graines (Kumar and Ohri 2023). le rôle protecteur du NO dans la tolérance des plantes à différents les stress abiotiques et leur relation avec le stress oxydatif et activité antioxydant (Sami et al. 2018).

❖ Le NO interagit ou diaphonie avec plusieurs molécules de signalisation comme d'autres gaz transmetteurs (Comme le sulfure d'hydrogène (H_2S), le monoxyde de carbone (CO) et méthane (CH_4)), phytohormones (telles que l'acide abscissique (ABA), l'acide salicylique (SA), l'acide jasmonique (JA), la mélatonine (MEL), l'éthylène (ET), les brassinostéroïdes (BRs), les cytokinines (CKs), la gibbérelline et l'auxine), les polyamines (PAs), certains ions (tels que K^+, Ca^{2+}, etc.) et d'autres molécules de signalisation endogènes . Cette interaction de NO avec des molécules de signalisation joue un rôle important dans la réduction du stress des plantes (Kumar and Ohri 2023).

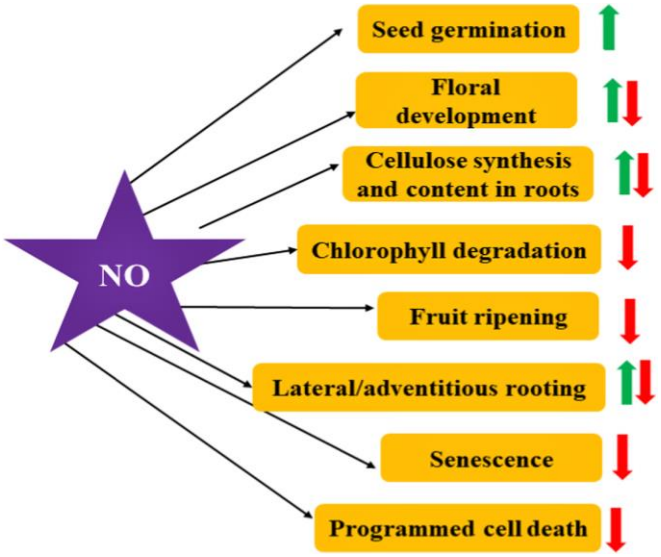


Figure 6 :Rôle de l'oxyde nitrique (NO) dans la croissance et le développement des plantes (Praveen 2022).

Flèche verte -augmenter/stimuler. **Flèche rouge**-diminuer/empêche.

II. Deuxième partie
Etude expérimentale

1. Partie expérimentale

Les expériences ont été réalisées au niveau du laboratoire de biologie végétale, à la faculté des Sciences de Médéa.

2. Choix des plantes

La plantes ayant fait l'objet de notre étude ont été choisies sur la base d'une recherche bibliographique méticuleuse qui a montré que cette espèce végétale a une durée de germination et croissance très court et ces conditions de croissance et très applicable. Ces plantes aussi ont été sélectionnées pour réaliser les expériences en raison de meilleures performances de croissance, importance économique et manipulation facile. L'endémisme était un autre facteur important à prendre en considération dans notre choix.

3. Matériel végétal

Le blé *(Triticum astivum* L.*)* est une plante annuelle herbacée monocotylédone Le grain de blé est un fruit sec blé 3 de la famille des *Poacées Graminea* et la deuxième céréale plus cultivée dans le monde (734 millions de tonnes récoltées en 2018/2019) après le maïs (1 100 millions tonnes). Environ 95% du blé cultivé dans le monde est du blé panifiable hexaploïde *(Triticum astivum L.)* et les 5 % restants sont du blé dur (*Triticum durum L.*).



Figure 7Les graines et plante de blé



Figure 8 le blé en phase de croissance

Les semences de blé étudiées au cours de ce travail ont été fournies par l'institut Technique des Grandes Cultures (ITCMI) de **Berouaghia** (Médéa). Nous avons testé une seule variété de blé dur : **SEMITO**

4. Classification botanique

Tableau 3 Classification du blé (*Triticum aestivum L)*

Règne : Plantae
Sous règne : Tracheobionta
Embranchement : Phanérogames
S/ Embranchement : Angiospermes
Division : Magnoliophyta
Classe : Liliopsida
S/class : Commelinidae
Order :poales
Family : Poaceae Graminées
Tribu : Triticeae
Genre : Triticum L
Espèce : *T aestivum.sp*

5. Préparation de concentration de pesticides

"**Consento**" et un fongicide qui traite les champignons contiennent deux matières actives avec effet préventif et curatif. La matière active systémique anti-sporulant Propamocarbe possède un effet multi-site sur le cycle évolutif des champignons et empêche ainsi le développement du mycélium à l´intérieur de la plante. Matières actives : 33,5 % (375 g/l) **Hydrochlorure de Propamocarbe** + 6,7 % (75 g/l) **Fenamidone**.

Tableau 4 Utilisations et doses d'emploi de pesticide

Fongicide	Consento (CON)
Formulation	SC (suspension concentrée).
Famille chimique	Imidazolinones+Carbamates
Indications autorisées	Alternarioses, maladie des taches noires, mildiou, phytophthora. Application selon le mode d´emploi
Informations sur le produit	**Homologation** : W 6374 **Formulation** : Suspension concentrée (SC) **Matières actives** : 33,5 % (375 g/l) Hydrochlorure de Propamocarbe + 6,7 % (75 g/l) Fenamidone **Groupes de résistance FRAC** : 11/28
Emploi sur grandes cultures	**2,0 l/ha** 3 traitements par culture à intervalle de 7-10 jours.
Miscibilité	Consento est par principe miscible avec nos fongicides et insecticides

6. Les doses du fongicide utilisé (consento)

Tableau 5 Les doses de pesticides de pesticide

Les doses préparées	Les concentrations
CON 25	0.5L/ha
CON50	1L/ha
CON100	2L/ha
CON200	4L/ha
CON400	8L/ha



Figure 9 Photographie des graines germées

7. Conditions de croissance des plantes

Des graines saines et de taille uniforme de blé. Ont été stérilisées en surface pendant 15 min avec une solution d'hypochlorite de sodium à 2 % (v/v), suivie d'un lavage fréquent à l'eau bi distillée (DDW). Par la suite, les graines ont été imprégnées pendant 1 h dans de l'eau distillée, puis recouvertes d'un tissu de coton stérilisé et laissées à 25 ± 1°C pendant la nuit pour la germination. Après avoir assisté au test de germination maximale, les plantes ont été transférées sous un rayonnement photo synthétiquement actif (PAR) de 350 µmol de photons m^{-2} s^{-1} dans une chambre de croissance à16 :8 h jour-nuit et 65-70% d'humidité relative à 25±1°C jusqu'au stade plantule.

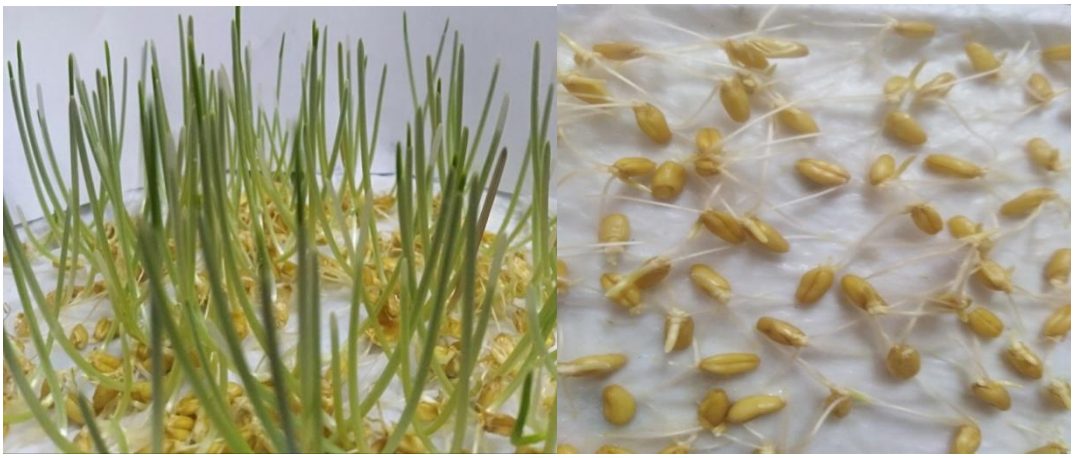


Figure 10 Photographie des graines germées.

8. Méthodes d'étude

II.8.1 Milieu nutritif

Les semis ont été complétés par la solution nutritive Hoagland et Arnon (1950) à demi-force comprenant des macronutriments (g/l) et des micronutriments (mg/l). La composition du milieu nutritif est donnée ci-dessous :

Macronutriments(g/l)		Micronutriments (g/l)	
$Ca(NO_3)_2$	0.271	H_3BO_3	1.430
KNO_3	0.126	$MnCl_2.4H_2O$	0.910
KH_2PO_4	0.034	$ZnSO_4.7H_2O$	0.110
$MgSO_4.7H_2O$	0.123	Na_2MoO_4	0.045
		$CuSO_4.5H_2O$	0.045
		Fe	9.680
		EDTA	30.00

Les semis mûrs avec des feuilles secondaires ont été transférés dans des pots remplis de 100 ml de la solution nutritive pendant 7 jours pour l'acclimatation dans la culture hydroponique. Les semis de taille uniformément a été soigneusement choisis et traités avec

des doses déferrent de pesticide (CON25, CON50, CON100, CON200 et CON400) et de nitrique oxyde (100 µmol NO et NO pesticide).

II.8.2 **Produits chimiques**

Les produits chimiques et les solvants utilisés dans ce travail sont analytiques. Afin de maintenir les tests fiables et reproductibles, tous les réactifs ont été préparés dans de l'eau ultra pure.

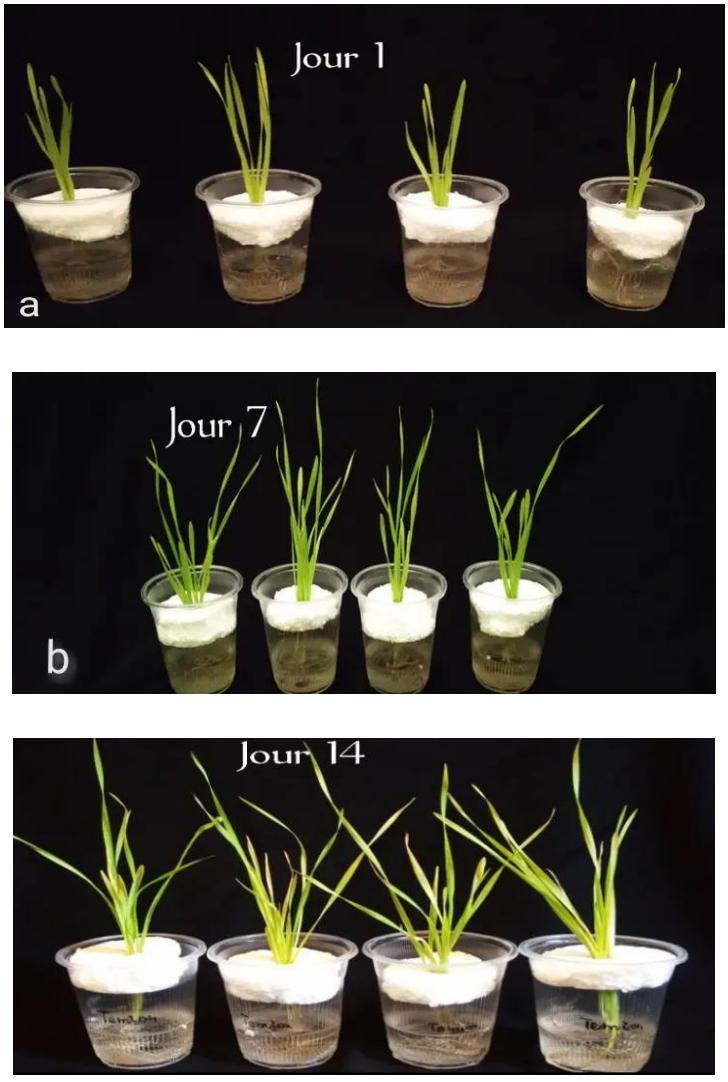


Figure 11 Photographie des plantes en milieu nutritive

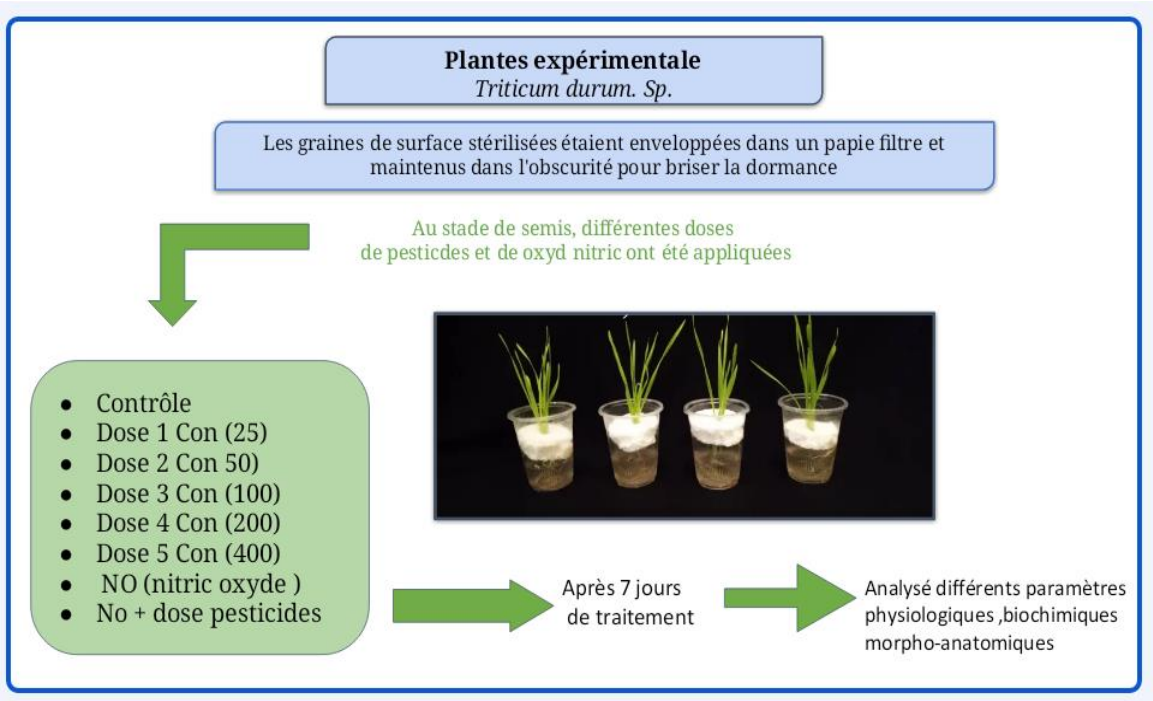


Figure 12 Conception expérimentale

II.8.3 Comportement de croissance

II.8.3.1 Paramètre de croissance

La croissance a été mesurée en termes de biomasse fraîche et de longueur de la plante. Les semis de chaque ensemble ont été récoltés et leur masse fraîche a été immédiatement mesurée en utilisant une balance électronique numérique. Pendant ce temps, la hauteur de la plante a été mesurée en utilisant une règle graduée.

II.8.4 Extraction et estimation des pigments photosynthétiques : chlorophylle et caroténoïdes

Vingt mg de feuilles fraîches de chaque semis des échantillons traités et non traités ont été prélevés et coupés en petits morceaux et homogénéisés en utilisant l'acétone à 80 % (v/v). L'extrait obtenu a été centrifugé et les culots ont été remis en suspension dans de l'acétone à 80 %, jusqu'à ce qu'ils deviennent transparents. L'absorbance des solutions extraites a été enregistrée à 663,2, 646,5 et 470 nm par spectrophotométrie. Les teneurs en chlorophylle (Chl a et b) et en caroténoïdes ont été estimées en utilisant l'équation de (Lichtenthaler 1987) :

- Chl a (µg/ml) = 12.25 (A663.2) – 2.79 (A646.5

- Chl b (µg/ml) = 21.50 (A646.5) – 5.10 (A663.2)
- Car (µg/ml) = [1000 A470 – 1.82 (Chl a) – 85.02 (Chl b)] /198

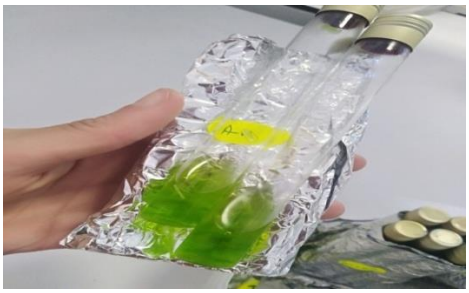


Figure 13 photographies d'extrait de chlorophylle

II.8.5 Stress oxydatif : la génération d'espèces d'oxygène réactives et de dommages oxydatifs

II.8.5.1.1 Peroxyde d'hydrogène :

Réactif

- Trichloroacetic acid (TCA): 0.1 % (w/v)
- Potassium phosphate buffer (pH 7.0) : 10 mM
- Potassium iodide : 1 M

Procédure

Les feuilles fraîches (100 mg) ont été mélangées dans 0,1% TCA (3 ml) et centrifugées à 4 °C à 15 000 g pendant 15 min. Le surnageant obtenu avait été utilisé pour quantifier H_2O_2. Le mélange réactionnel comprenait 0,3 ml d'extrait brut, 0,5 ml de tampon de phosphate de potassium de 10 m Met 1,0 ml de KI. L'absorbance du mélange réactionnel a été enregistrée à 390 nm et la concentration de H_2O_2 a été calculée à partir de la courbe standard préparée avec du peroxyde d'hydrogène. Le montant H_2O_2 était représenté comme nmol g^{-1} MF.

II.8.6 Analyse des indices de dommages oxydatifs

II.8.6.1 La peroxydation lipidique

La peroxydation des lipides est estimée par l'évolution de la teneur en malondialdehyde (MDA) déterminée selon la méthode décrite par Alia et al. (1995).

Réactifs

- Phosphate buffer (pH 7.0): 50.0 mM
- 2–thiobarbituric acid (TBA): 00.5 % (w/v) on 0.2 N HCl
- Trichloroacetic acid (TCA): 20.0 % (w/v) on TBA
- Trichloroacetic acid (TCA): 05.0 % (w/v) on DDW

Procédure

Des feuilles fraîches (100 mg) de chaque échantillon de plante ont été écrasées dans 5% TCA sous condition fraîche et laissés pour la centrifugation pendant 10 min à 10 000 g. Par la suite, 0,5 ml de l'extrait obtenu a été mélangé avec 2 ml de (0,5% de TBA dans 20% TCA). Le mélange a été bouilli à 90 °C pendant 30 minutes et après placée dans un bain de glace suivie de centrifugation. L'absorbance du surnageant obtenu a été surveillée à 532 nm et 600 nm. La valeur d'absorption non spécifique de chaque échantillon d'essai à 600 nm a été déduite de l'absorption enregistrée à 532 nm. La concentration de MDA est calculée en utilisant le coefficient d'extinction 155 mm^{-1} cm^{-1} et exprimé en nmol g^{-1} MF.

II.8.7 Estimation du système de défense antioxydant enzymatique

II.8.7.1 Dosage de l'activité catalase (CAT)

Réactifs

- PPB (pH 7.0) : 50.0 mM (w/v; dans l'eau)
- EDTA : 1.0 mM (w/v; dans l'eau)
- H_2O_2 (pH 7.0): 40.0 mM (v/v; on PPB)

Procédure

Pour estimer l'activité catalase dans les semis traités et de contrôle de 50 mg de feuilles fraîche ont été homogénéisées dans 1,0 ml de ppb (50 mm). Les échantillons homogénéisés ont été centrifugés à 10 000 g pendant 15 minutes à 4 °C et le surnageant obtenu ont été utilisés comme extrait enzymatique. Le mélange réactionnel préparé pour estimer l'enzyme contient de la température de 0,5 ml de H_2O_2 (40 mm), de 1,3 ml de ppb (50 mm, pH 7,0) contenant 1D md et enfin, 0,2 ml d'extrait d'enzyme. L'absorbance du mélange

Réactionnel a été enregistrée à 240 nm par spectrophotomètre UV-pour 1 min à température ambiante. La dissociation de H_2O_2 a été mesurée en utilisant un coefficient d'extinction de 39,4 $mM^{-1}cm^{-1}$. Une unité (U) de l'activité de CAT est la somme de l'enzyme dissociation 1 nmolH_2O_2 min^{-1}(Aebi, 1981).

II.8.7.2 Dosage de l'activité de la peroxydase

L'activité du gaïacol peroxydase (POD, EC 1.11.1.7) a été calculée selon la méthode de Zhang (1992).

Réactifs

- Potassium phosphate buffer (pH 6.1) : 50 mM
- Gaïacol : 1% (v/v)
- H_2O_2 : 0.4% (v/v on potassium
- Phosphate buffer, pH 6.1)

Procédure

Les feuilles fraîches (50 mg) ont été mélangées dans 2 ml de tampon phosphate (50 mm, pH 6.1). L'extrait a été centrifugé pendant 10 min à 10 000 g, et le surnageant gagner a été utilisé pour le test d'enzyme. L'activité de peroxydase a été calculée dans un volume total de 3 ml constitués de tampon de phosphate de potassium (50 mm, pH 6.1), 0,4% de H_2O_2, 1% d'enzyme. L'absorbance croissante à la suite de l'oxydation de la Gaïacol a été surveillée à 470 nm. Une unité d'activité POD est la quantité d'enzyme oxydant 1 µmol Gaïacol min^{-1} à 25°C et l'activité de l'enzyme a été calculée en utilisant le coefficient d'extinction (25,5 mm^{-1} cm^{-1}) et représenté comme U G^{-1} FW.

II.8.7.3 Dosage de L'activité de Glutathione-S-Transferase (GST)

L'estimation de l'activité Glutathione-S-Transferase (GST ; EC 2.5.1.18) a été réalisée selon la méthode de Habig et al. (1974) Utilisant CDNB (1-chloro, 2, 4- Dinitro Benzène) comme substrat.

Réactifs

- PPB (pH 6.3) : 100.0 mM
- 1-chloro, 2, 4-dinitrobenzene (CDNB): 003.0 mM (w/v in PPB; pH 6.3)

- Glutathion réduite(GSH) : 120.0 mM

Procédure

Pour l'estimation de l'activité de la GST, 50 mg de feuilles ont été prises à partir de chaque semis traités et non traités de blé dans 3ml de 100 mM de tampon phosphate (pH 6.3) et centrifugés à 10 000 g pendant 15 min à 4 °C. Le surnageant ont été utilisés comme extrait enzymatique. Le mélange réactionnel préparé en ajoutant 0.5 ml de CDNB (3 mm), 0,5 ml GSH (120 mm), 1 ml de PPB (100 mm, pH 6.3) et 0,2 ml d'extrait d'enzyme. La réaction a été mise en addition d'enzyme. L'augmentation de l'absorbance du mélange réactionnel a été lue à 340 nm par spectrophotomètre UV-vis pendant 1 min à 25 ° CC. La valeur d'absorbance a été augmentée en raison de la formation d'un conjugué entre GSH et CDNB. L'activité de la GST a été mesurée en utilisant un coefficient d'extinction de 9,6 mM^{-1} cm^{-1}.

II.8.7.4 Dosage de l'activité Ascorbate Peroxydase (APX)

Ascorbate Peroxydase (APX, EC 1.11.1.11) a été mesurée en utilisant la méthode de Nakano et Asada (1981).

Réactifs

- Ascorbate: 2.0 mM
- EDTA: 01.0 mM
- H_2O_2: 00.4 mM
- PPB (pH 7.0): 50.0 mM

Procédure

Pour l'estimation de l'APX, 50 mg des feuilles des semis testés ont été homogénéisés dans un 1 ml de PPB (50 mm, pH 7,0) contenant 2.0 mM d'Ascorbate, et ont été centrifugés à 10 000 g pendant 15 min à 4 C. L'extrait brut obtenu à partir de centrifugation a été utilisé pour l'estimation APX. Le mélange réactionnel préparé contenait 0,5 ml de H_2O_2 (0,4 mm), 0,5 ml d'Ascorbate (2 mm), 0,8 ml de PPB (50 mm, pH 7,0) et 0,2 ml d'extrait brut (l'extrait enzymatique a été ajouté pour initier la réaction). L'absorbance de la solution a été prise à 290 nm par spectrophotomètre UV-vis pendant 1 min à 25 ° CC. L'activité APX a été calculée

Grâce au coefficient d'extinction de 2,8 mM^{-1} cm^{-1}. Une unité (U) de l'activité APX est exprimée en 1 nmol Ascorbate oxydé min^{-1}.

II.8.8 Constitution biochimique

II.8.8.1 Teneur en protéine

La teneur en protéines de chaque échantillon d'essai de l'usine a été extraite et déterminée en utilisant la procédure de Bradford (1976).

Réactifs

- Potassium phosphate buffer (pH 7.8) : 50 mM
- EDTA: 1 mM
- Polyvinyl pyrrolidone (PVP): 2% (w/v)

Procédure

Pour les extractions de protéines 20 mg de feuilles de plantes fraîches ont été homogénéisées dans un tampon de phosphate de potassium de 50 mm (pH 7,8) contenant 1mM d'EDTA et 2% (W/V) polyvinylpyrrolidone (PVP) à 4°C. Les homogénats obtenus ont été centrifugés pendant 10 minutes à 10 000 g et les surnageant ont été utilisés pour déterminer la teneur en protéines. Les protéines solubles dans le surnageant a été comparée et quantifiée avec la courbe standard calibrée composée de solution de sérum albumine bovine. En bref, 0,1 ml d'échantillon a été appliqué au tube d'essai contenant 2,5 ml de réactif bradford, puis maintenu pendant 2 minutes à température ambiante et l'absorbance a été signalée à 595 nm.

II.8.8.2 Teneur en proline

La teneur en proline a été déterminée en suivant la procédure de Bates et al. (1973).

Réactif

- Toluene: Pure
- Sulfosalicylic acid: 3 % (w/v)
- Glacial acetic acid: 3 % (v/v)
- Phosphoric acid: 6 M
- Acid ninhydrin : 2.5 %

Pour estimer le contenu de la proline (200 mg) de feuilles fraîches ont été homogénéisés dans l'acide sulfosalicylique aqueux et à 3% centralés pendant 10 min à 10 000 g. Le

surnageant obtenu a été mélangé avec 3% d'acide acétique glaciaire et 2,5% de ninhydrine d'acide. Par la suite, des échantillons ont été chauffés pendant 1 h dans un bain d'eau à 95 ° C, suivi du refroidissement et extrait avec 4 ml de toluène via le vortex pendant 15 s, avec un mélangeur de tube à essai. La couche de toluène a ensuite été séparée et l'absorbance de cette couche séparée a été lu de spectrophotométrie à 520 nm en utilisant du toluène comme vide. Le contenu de la proline dans chaque échantillon a été comparé et quantifié à partir de la courbe standard.

II.8.8.3 Teneur en polyphénols totale et en flavonoïdes

Tout d'abord, 0,1 g de tissu foliaire broyé a été extrait avec 80% d'éthanol (10 mL) (Ibrahim et coll., 2017). Ensuite, 1,5 mL de réactif de Folin-Ciocalteu ont été mélangés avec une solution d'extrait (200 µL) et maintenu sous 22 ° C pendant 5 min pour mesurer les polyphénols totaux. Après avoir ajouté 1,5 mL de $NaNO_3$ (60 g/L), le mélange a été incubé à 22 °C pendant 2 h. L'absorbance était mesuré à 725 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. Pour déterminer les flavonoïdes totaux, 1 ml d'extrait a été mélangé avec 0,3 ml de $NaNO_3$ dans un tube à centrifuger de 5 ml recouvert d'une feuille d'aluminium pendant 5 minutes ; 0,3 mL d'$AlCl_3$ (10 %) et 2 mL de NaOH (1 M) ont ensuite été ajoutée. La solution a été laissée réagir pendant 45 min, et la longueur d'onde a été fixée à 510 nm.

II.8.9 Détermination de la teneur en sucres solubles totaux (TSS)

Les sucres solubles totaux ont été extraits et évalués à l'aide de la méthode Homme et al. (1992). Les sucres solubles ont été extraits en immergeant les tissus frais dans l'éthanol à 70 % (v/v) pendant une nuit à 25 °C sous agitation, puis centrifugés à 10 000 tour/min. Pour la mesure des sucres solubles, le surnageant a été entièrement séché et dissous dans une eau distillée spécifiée. Les sucres solubles totaux ont été déterminés en chauffant 0,1 ml de l'extrait éthanolique avec 3,0 ml d'anthrone fraîchement préparée (150 mg d'anthrone + ml 72% H_2SO_4) dans un bain-marie bouillant pendant 10 min, puis refroidis. L'absorbance à 485 nm a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre.

9. Analyse statistique

Les données expérimentales ont été analysées par ANOVA à une voie, tandis que le test de Tukey a été utilisé pour déterminer les différences significatives entre les traitements au niveau $P < 0,05$. Les valeurs présentées sont des moyennes ± ET de cinq répétitions, et chaque expérience a été répétée deux fois, au moins. Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel SPSS (Ver 20.0).

III. Chapitre II
Résultats et discussion

1. Effet du NO et de CON sur les paramètres de croissance du blé

Le paramètre de croissance comprend les études de la longueur et du poids frais des plantes de la culture. La croissance accrue permet plantes pour améliorer la biomasse et le rendement. Mais, en situation de stress, les plantes souffrent des pertes de productivité dues à la baisse des paramètres de croissance (Zhang et al. 2022). Cependant, le nitrique oxyde (NO) inverse les effets de croissance sous le stress (Sami et al. 2018NO1).

Dans le présent travail, la longueur et le poids frais des semis de blé a été mesuré pour analyser l'impact de l'ajout de nitrique oxyde sur les plantules traitées aux herbicides CON. Il a été observé que l'effet toxique de l'herbicide CON a réduit la longueur des plantes de (10.51, 14.59, 25.79, 31.62 et 46.29 %) par rapport à leur contrôle respectif (Figure. 1 et 2). Il ressort clairement des données que le poids frais des plantes a été réduit de 26 % et 21 % respectivement (Fig.14). Cependant, l'application de NO avec fongicide CON a considérablement diminué l'impact toxique et amélioré la croissance et la biomasse des semis de blé par rapport aux semis qui ont été traités uniquement avec fongicide CON (Figure 4.3).

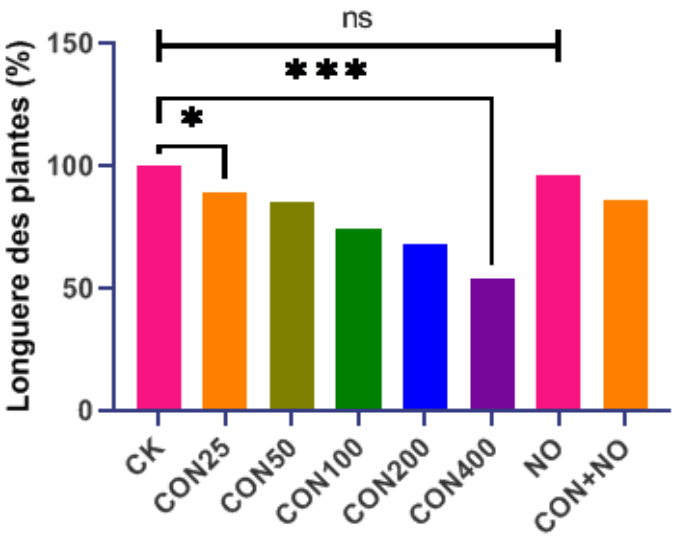


Figure 14 Effet de la supplémentassions en nitrique oxyde (NO) sur longueur des plantes dans les semis de blé traités avec consento (CON).

Dans le présent travail, après l'addition de NO, le poids frais des plantes a montré une diminution de 25.41 % comparaison avec le stress CON seule (Fig.16). Ceci suggère que la supplémentassions en NO aux fongicides CON, diminuent l'effet toxique de fongicide dans semis de blé qui pourraient être attribués à l'augmentation de la biomasse et de la vigueur de la culture par application de NO. La présence de ce pesticide a provoqué des effets néfastes évidents dans le semis de blé. (Agroressources and Ly 2020; Souguir 2012) ont également

signalé que le fongicide provoque la chlorose, la réduction dans la croissance et le développement, et modifie divers processus physiologiques et métaboliques dans la plante.



Figure 15 Phénotype des plantules de blé exposées à différentes combinaisons de fongicide CON et NO.

Les résultats de la présente étude s'appuient sur les conclusions de Tripathi et al., 2020 qui a également expliqué que la présence d'herbicide butachlore (Buta) dans les semis de riz réduisait le taux de croissance en raison d'altérations de la photochimie du PS II et d'une diminution de la viabilité cellulaire. Les résultats sont également conformes aux conclusions de Wang et al. 2013 qui ont également observé une plus grande sensibilité des racines que des pousses à Buta dans le ray-grass italien. Bien que le L'atténuation du stress abiotique par le nitrique oxyde est bien étudiée (Sami et al. 2018), son rôle dans la régulation de la toxicité des herbicides comme CON, n'est pas encore connu.

Touzout et al. (2021) ont mis en évidence l'effet inhibiteur des insecticides qui provoque jaunissement des feuilles, nécrose et sénescence dans la tomate. La présente étude montre également qu'il y avait une réduction de la croissance des racines et des pousses

traitées à fongicide CON par rapport au témoin. En outre, l'effet toxique d'herbicide était plus important dans les racines, ce qui suggère que substances inhibent la division cellulaire et la capacité de croissance ainsi que l'élongation cellulaire dans le les semis de blé et le site cible principal sont les racines par rapport aux pousses.

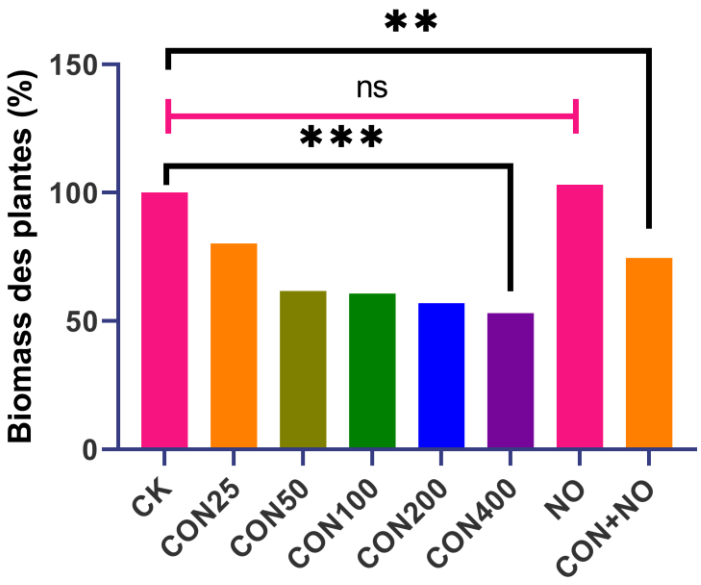


Figure 16 Effet de la supplémentassions en nitrique oxyde (NO) sur biomasse des plantes dans les semis de blé traités avec consento (CON).

2. Impact du NO et de fongicide (CON) sur les paramètres photosynthétiques des semis de blé

La présence des paramètres photosynthétiques, à savoir la chlorophylle et les caroténoïdes, contrôle le taux de photosynthèse des plantes (Agnihotri,2016). Les caroténoïdes sont des pigments accessoires naturels et aident à échapper aux conditions de stress chez les plantes (Agnihotri.2016). Cependant, les paramètres de chlorophylle *a* contrôlent également l'efficacité de la photosynthèse (Mir et al. 2022). Il a été observé que lors du traitement des semis de blé avec le fongicide CON, la teneur en chlorophylle totale et en caroténoïdes était significativement réduite de (52.29, 6.33, 13.83, 31.76, et 76.08%) et de (54.15, 46.79, 0.24, 11.74, et 86.51%) respectivement par rapport au témoin (Fig.17 ; 18). Fait intéressant, lorsque NO a été ajouté avec le fongicide, il a considérablement amélioré le niveau de chlorophylle et de caroténoïdes (Fig. 17 ; 18). De plus, lorsque NO a été ajouté, les niveaux de chlorophylle et de caroténoïdes se sont améliorés de manière significative et ont réduit l'effet toxique de CON (Fig.17). La présence de fongicides dans les semis de blé a réduit la photosynthèse en raison de la diminution de la quantité de pigments

photosynthétiques comme la chlorophylle et les caroténoïdes (Mir et al. 2022). L'effet toxique de fongicide a également augmenté la mort cellulaire et diminué la viabilité cellulaire des semis de blé.

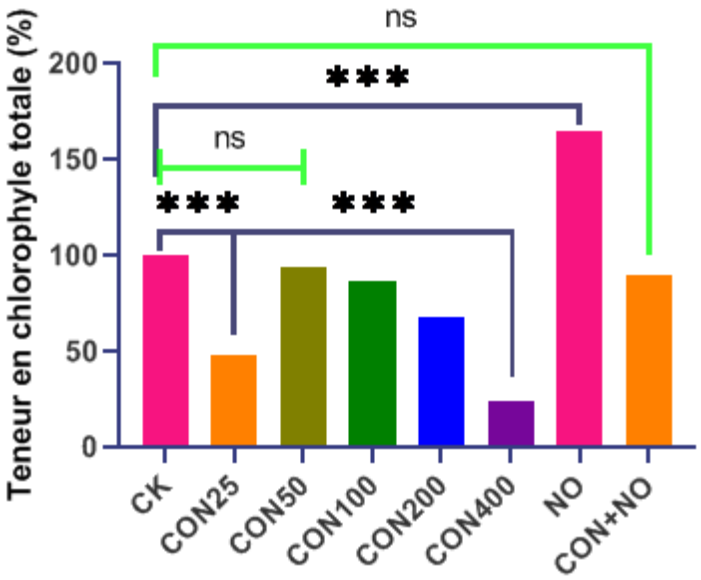


Figure 17 Effet de la supplémentation en nitrique oxyde (NO) sur teneur en chlorophylle totale dans les semis de blé traités avec consento (CON).

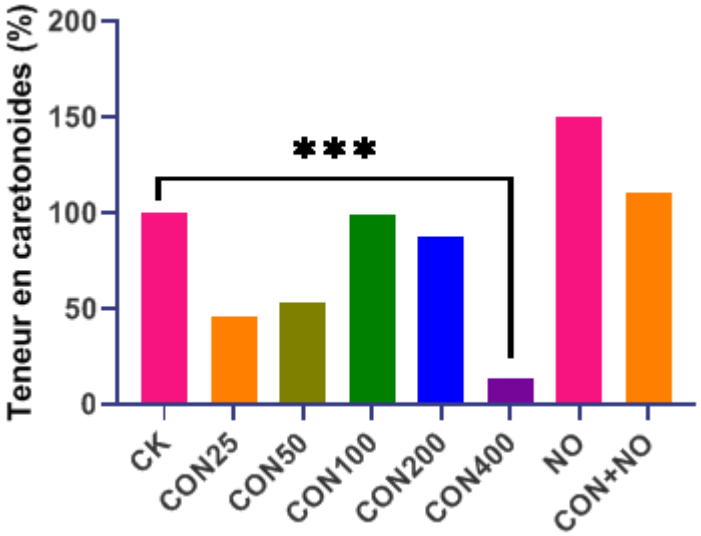


Figure 18 Effet de la supplémentation en nitrique oxyde (NO) sur teneur en caretonoides dans les semis de blé traités avec consento (CON).

3. Effet du NO et de fongicide (CON) sur la teneur des marqueurs du stress oxydatif

L'oxyde nitrique (NO) agit comme une molécule de signalisation intracellulaire et aide les plantes à se réguler en cas de stress (Ah 2022). Il agit également comme un atténuateur qui

permet aux plantes de tolérer le stress en éliminant les ERO formées dans les cultures (Kaya et al. 2023).

Il a été observé que la quantité de MDA dans les plantes traitées par le fongicide CON a augmenté de (68.59, 34.78, 78.26, 70.53 et 102.41%) par rapport au témoin (Fig.19). Mais lorsque la combinaison de (fongicide + NO) a été utilisée, la teneur en MDA a considérablement diminué par apport les semis traités par le fongicide CON séparée (Fig.19). Ainsi, l'analyse de la teneur en MDA est en bon accord avec l'augmentation des teneurs de peroxyde d'hydrogène pour les semis de blé traité par le fongicide.

L'une des réponses courantes des plantes au stress est la surproduction d'ERO. Ces ERO agissent soit comme des molécules de signalisation, soit comme des molécules nocives en fonction de leurs concentrations à l'intérieur de la cellule, régulées par un système de défense antioxydant complexe (Adrees et al. 2021; Alluqmani and Alabdallah 2022). Le pesticide CON augmentait significativement les teneurs en H_2O_2 (216.05, 150.66, 82.91 ,134.46 et 123.2%) dans les semis de blé, ce qui entraînait une augmentation significative de la teneur en MDA. Un teneur plus élevé en MDA indique que le fongicide a causé des dommages cellulaires importants dans les semis de blé, comme l'indique une viabilité cellulaire plus faible (Li et al. 2023; Yuanjie et al. 2019).

D'autre part, la supplémentassions en NO avec CON a réduit la teneur en MDA, ce qui indique une plus grande viabilité cellulaire, montrant que le NO protège les semis de blé contre le stress oxydatif sous la toxicité de fongicide.

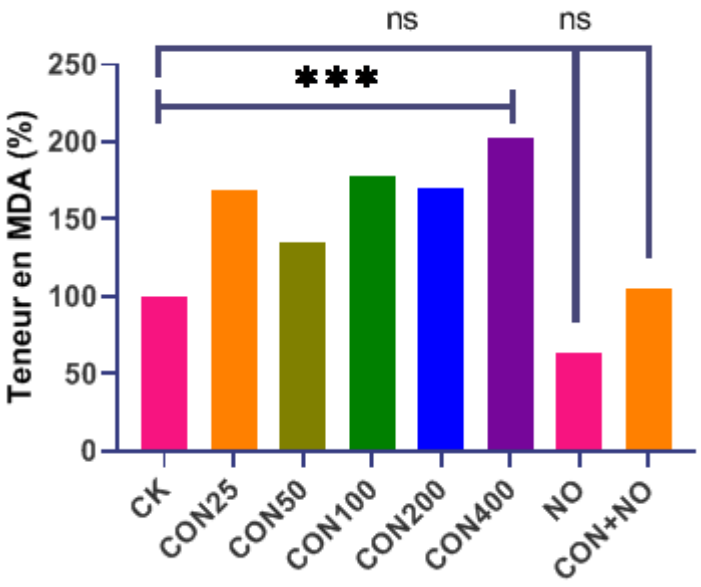


Figure 19 Effet de la supplémentassions en nitrique oxyde (NO) sur le teneur en MDA dans les semis de blé traités avec consento (CON).

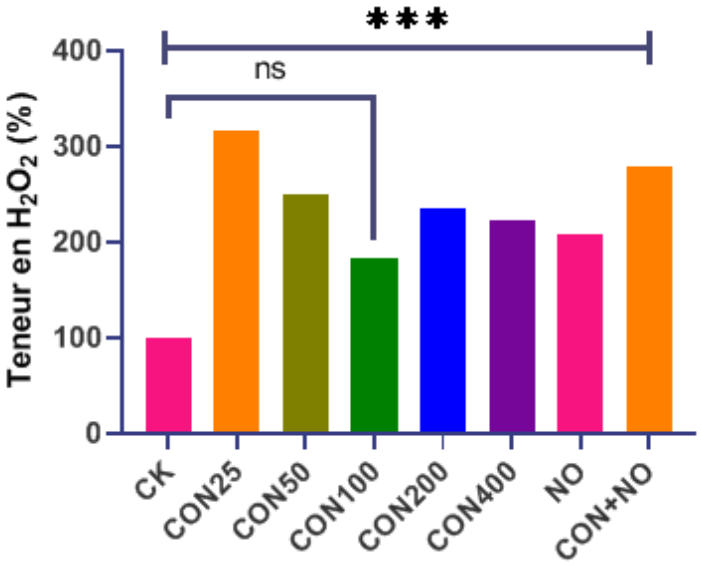


Figure 20 Effet de la supplémentassions en nitrique oxyde (NO) sur le teneur en H2O2 dans les semis de blé traités avec consento (CON).

4. Effet du NO et de fongicide (CON) sur l'activité des enzymes antioxydants

Les enzymes antioxydants jouent un rôle important dans le piégeage des radicaux libres libérés sous forme d'ERO qui déclenchent des dommages de stress oxydatif sous différents stress environnementaux (Syed, Kapoor, and Bhat 2018). Dans des conditions physiologiques normales, le niveau d'ERO est strictement contrôlé par le système de défense

antioxydant composé de diverses enzymes comme la catalase, les peroxydases, etc. (Zulfiqar and Ashraf 2022). L'APX agissent de manière coordonnée afin de métaboliser le H_2O_2. Outre son rôle dans le contrôle du niveau de H_2O_2 qui aident à détecter et à signaler le stress afin de moduler les changements spécifiques au compartiment cellulaire en modifiant l'expression du métabolisme et des gènes liés au stress (Adrees et al. 2021; Mir et al. 2022).

Le résultat de l'activité des enzymes antioxydants dans des semis de blé de 21 jours qui ont été cultivés sous différents traitements. Il est tout à fait clair qu'avec l'application de fongicide CON, l'activité de CAT a augmenté de (180.08, 239.53, 180.23, 138.38et175.13%) par rapport au témoin. De l'autre côté, l'activité enzymatique de l'APX est diminuée de 15.92% et 30.78% dans CON 25 et CON 400 par rapport au témoin (Fig.21 .22).

La donnée précédente montre la régulation des activités enzymatiques sous différents traitements. Il a été observé que le fongicide CON augmentait significativement les activités de CAT mais diminuait les activités enzymatiques d'APX dans la plante respectivement par rapport au témoin (Fig.21). Le NO a la capacité d'améliorer les activités des enzymes antioxydants CAT et APX de 95.16et 54.49 %, car il régule l'expression des gènes des enzymes antioxydants (Bao et al. 2020; Shreeya, Preet, and Sidhu 2021). Par la suite, la combinaison de NO avec le fongicide CON a encore amélioré les activités enzymatiques de CAT (103.94%) par rapport aux semis de blé de témoin. La combinaison de CON+ NO a déclenché les activités enzymatiques d'APX (17.46%) par rapport de témoin (Fig. 21 .22). Ainsi, en raison de la toxicité des fongicides, l'activité enzymatique de toutes les enzymes antioxydants (APX) a diminué dans la présente étude. Par conséquent, le fongicide augmente la concentration de ERO dans les semis de blé. Mais l'ajout de NO dans les semis de blé traité à fongicide CON, s'est avéré que le NO atténuer la toxicité de polluante en augmentant la concentration des enzymes antioxydants (Alves et al. 2022).

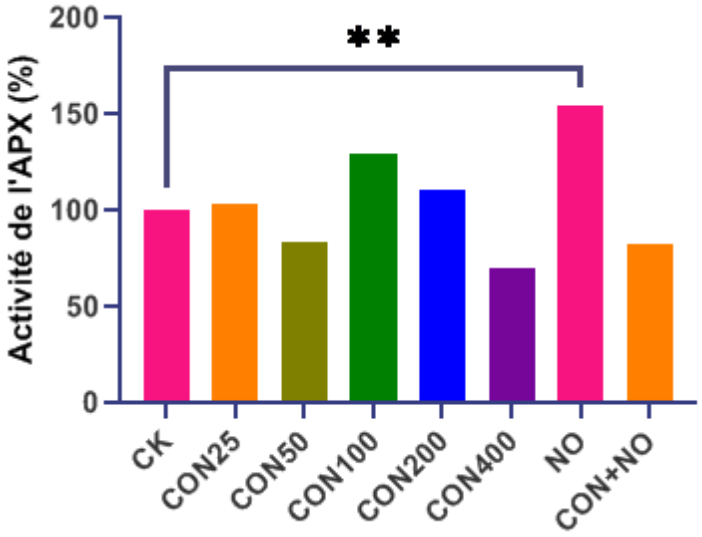


Figure 21 Effet de la supplémentassions en nitrique oxyde (NO) sur l'activité de l'APX dans les semis de blé traités avec consento (CON).

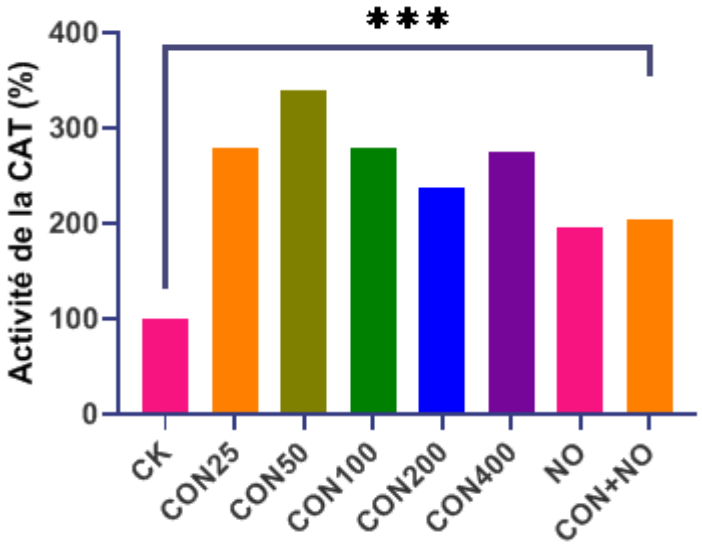


Figure 22 de la supplémentassions en nitrique oxyde (NO) sur l'activité de la CAT dans les semis de blé traités avec consento (CON).

5. Effet de NO et fongicide CON sur l'activité de POD

Les résultats de l'activité de la peroxydase (POD) sont présentés dans la figure 23. En effet, l'activité de cette enzyme semble augmenter légèrement chez le traitement fongicide CON (12.96 ,7.86 ,79.16, 80.45et 61.78 %) par rapport aux témoins. C'est le même constat

observé dans les plantes traité avec NO (72.71 %) par rapport aux témoins. Puis la combinaison entre le fongicide et le NO 66.25% par rapport au témoin.

Plusieurs publications rapportent une inhibition de POD par les pesticides (Jain 2021; Shreeya, Preet, and Sidhu 2021) L'activation ou l'inhibition de cette enzyme semble être dépendante de l'espèce traitée et non de l'organe étudié, de la durée ou de l'intensité du traitement (Yuanjie et al. 2019).

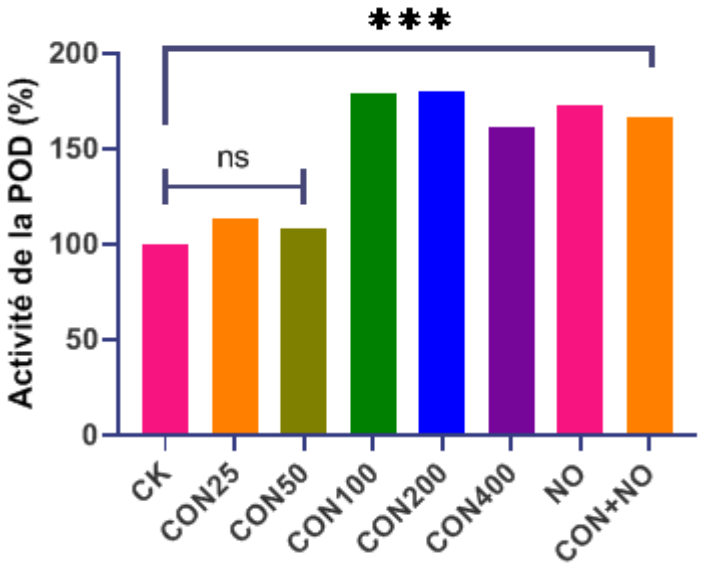


Figure 23 Effet de la supplémentassions en nitrique oxyde (NO) sur l'activité de la POD totale dans les semis de blé traités avec consento (CON).

6. Effet du NO et de fongicide (CON) sur la teneur en glutathion réduite (GSH)

L'autre molécule qui aide la plante à se maintenir confortablement dans des conditions de stress est le glutathion (GSH) (Touzout et al. 2021). Les résultats montrent une réduction de la teneur en GSH dans les semis de blé soumis à un stress fongicide diminué de (39.12, 30.03, 30.03, 29.81et40.17%), mais une supplémentassions exogène en NO a amélioré le niveau de GSH en même pourcentage avec le témoin (Fig. 24). On peut conclure que la présence de NO sous la toxicité induite par CON contrôle le cycle de GSH et diminue la concentration de radicaux libres, contribuant ainsi à l'effet d'atténuation de la toxicité induite par les herbicides CON dans les semis de blé (Bao et al. 2021; Kaya et al. 2023). La raison pourrait être que NO améliore l'activité des enzymes antioxydants et augmente la teneur en GSH, ce qui permet de piéger les ERO formées sous le stress des fongicides (Jalal and Yang 2022).

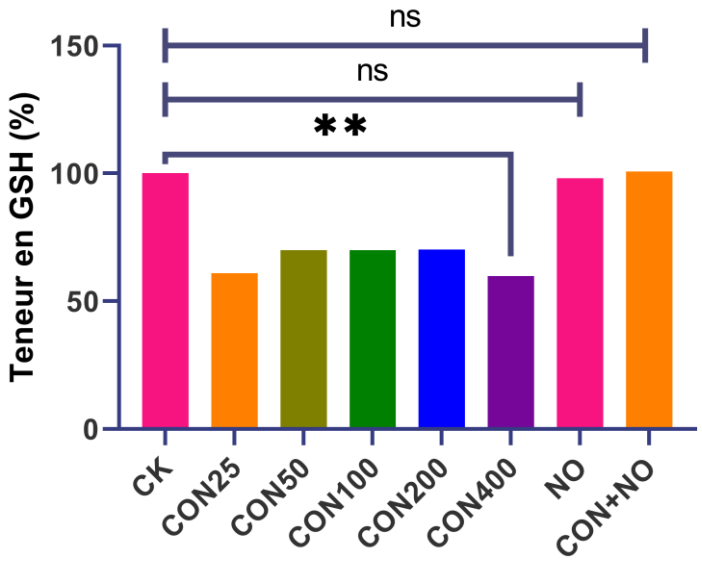


Figure 24 Effet de la supplémentassions en nitrique oxyde (NO) sur teneur en GSH dans les semis de blé traités avec consento (CON).

7. Effet de NO et fongicide CON sur la teneur de la proline

Les plantes stressées par le fongicide CON ont montré une grande réponse en termes d'accumulation de proline (Wu et al. 2022). Le teneur en proline a augmenté au manier significatif chez les plantes traitées par le fongicide (15.73 ,77.97, 115.03, 49.65 et 136.36%) par rapport au témoin (Fig. 25). Lorsque NO a été ajouté avec le fongicide, il a considérablement augmenté le niveau de proline 65.03% par rapport au témoin (fig.25). L'application d'une dose combinée ou de NO et pesticide entraîné une diminution de l'accumulation de proline de 65.03% (Fig. 25).

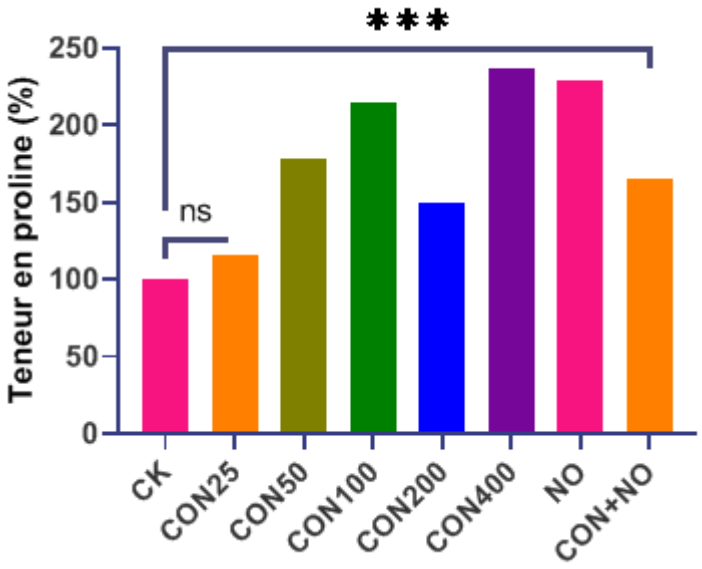


Figure 25 Effet de la supplémentassions en nitrique oxyde (NO) sur teneur en proline totale dans les semis de blé traités avec consento (CON).

8. Impact du NO et de fongicide (CON) sur la teneur totale en protéines

Les protéines sont considérées comme des éléments constitutifs et régulent différents processus métaboliques chez les plantes. Certaines des protéines contrôlent les voies de signalisation et aident à la synthèse des métabolites. Cependant, sous le stress, ces protéines sont réduites en raison des dommages oxydatifs causés par les radicaux libres (Meena et al. 2019). L'une des réponses courantes des plantes au stress est la surproduction d'ERO. Ces ERO agissent soit comme signalisation ou endommager les biomolécules en fonction de leurs concentrations à l'intérieur de la cellule, régulées par un système de défense antioxydant complexe (Wei et al. 2020). La teneur en protéines des semis de blé a diminué de (18.55, 18.2, 26.38, 23.21, et37.18%) dans les échantillons traités à fongicide CON par rapport au témoin (Fig. 36). Cependant, lorsque NO a été ajouté aux semis de blé traités à fongicide, la teneur totale en protéines a été améliorée. Il n'était que de 84.12% par rapport au témoin (Fig.26). Les données de protéines solubles ont montré une cohérence avec les résultats des attributs de croissance.

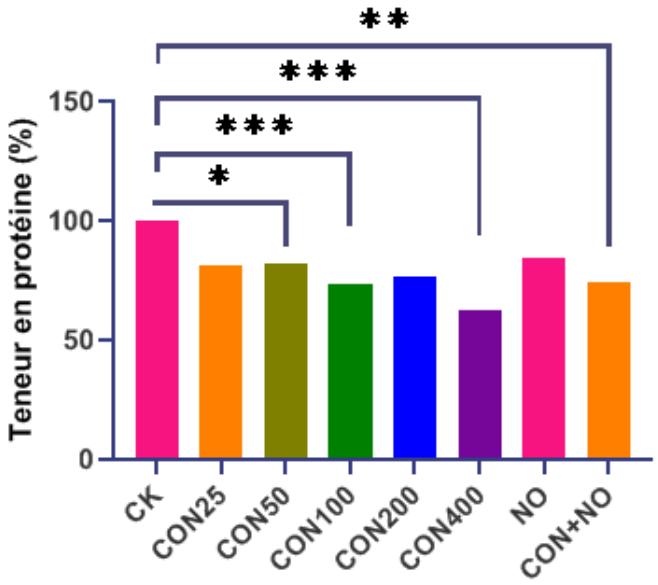


Figure 26 Effet de la supplémentassions en nitrique oxyde (NO) sur teneur en protéine dans les semis de blé traités avec consento (CON).

9. Effet de NO et fongicide CON sur le métabolisme de flavonoïde

Les changements dans les métabolites secondaires sont directement liés à l'état physiologique des plantes. Un des mécanismes de défense des plantes contre les stimuli externes est la production et l'accumulation de métabolites de faible poids moléculaire, tels que les alcaloïdes, les terpénoïdes, et les flavonoïdes, appelés métabolites secondaires (Bao et al. 2020). Dans notre expérimentation, la teneur en flavonoïdes des semis de blé a été fortement diminué après une semaine d'exposition aux fongicides par rapport au témoin (29.99, 5.45, 23.31,32.69et 48.70%) (Fig. 27). Et l'lorsque la combinaison entre NO et le fongicide CON les flavonoïdes et diminué au 27.52% (Fig. 27).

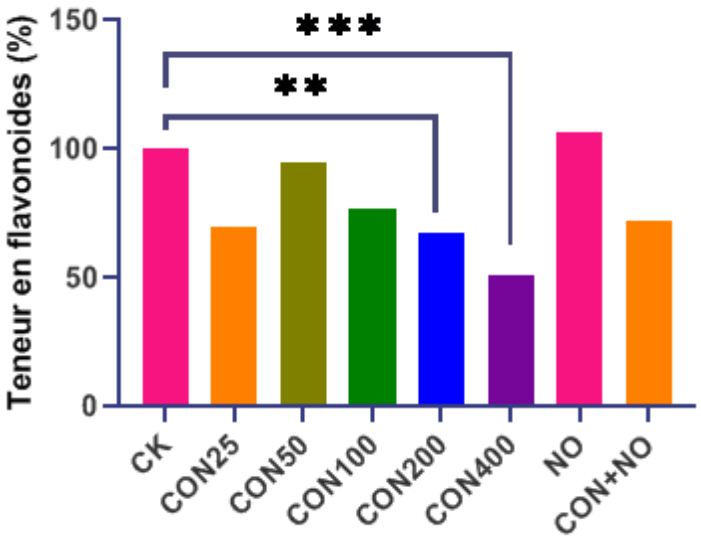


Figure 27 Effet de la supplémentassions en nitrique oxyde (NO) sur teneur en flavonoïdes totale dans les semis de blé traités avec consento (CON).

10. Effet de NO et fongicide CON sur le teneur en polyphénols totaux

Les polyphénols ont un rôle antioxydants ; ils inhibent la peroxydation lipidique et détruisent certaines espèces réactives. Certains peuvent réagir avec l'ion superoxyde. Les phénols possédant deux groupes –OH adjacents ou d'autres structures chélatantes se comportent en chélateurs de métaux (Press, 2015).

A travers les résultats de la teneur en composés phénoliques des plantes traité par le fongicide CON présentés dans la figure 28, montrent que le traitement pesticide à un effet hautement significatif sur l'augmentation des polyphénols de dose CON 400 par (72.28%) par a port le témoin. D'autre part la dose 200 et 100 de fongicide CON et diminué la teneur de polyphénols au (27.17 et 36.61 %) par a port le témoin et trouve que la dose CON 50 et CON 25 ont dans les normes de témoin (100%).

La combinaison entre le NO et le fongicide CON donné une augmentation dans la teneur en polyphénols au (23.14%) par rapport de témoin. L'augmentation de la concentration des polyphénols dans les plante sen fonction de la concentration des pesticides est en lien avec les résultats de (Bao et al. 2021) qui démontre que l'application de fongicide CON sur le blé a un effet sur la teneur en polyphénols.

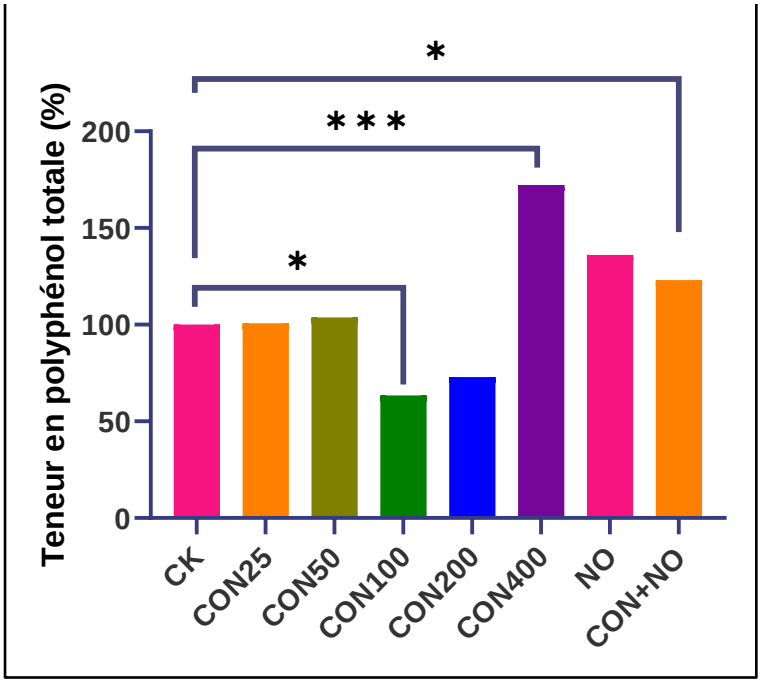


Figure 28 Effet de la supplémentassions en nitrique oxyde (NO) sur teneur en polyphénols totale dans les semis de blé traités avec consento (CON).

11. Effet de NO et fongicide CON sur l'activité de la GST

L'analyse des résultats de l'activité de GST (Glutathion S-transférase) dans les plantes traitées par le fongicide CON révèle son accroissement avec la dose des pesticides utilisés au (20.39, 14.22, 18.12 et 81.27%) (Fig.29). Les concentrations détectées varient proportionnellement avec la concentration de fongicide. En effet, la combinaison de NO avec le fongicide CON donné une augmentation en activité de GST (39.13 %) en comparaison au témoin (Fig. 29).

Les GST constituent une famille d'enzymes de phase II et sont impliqué dans l'élimination des peroxydes et la détoxification. Ça peut conjuguer des composés électrophiles avec du GSH produit conjugués hydrosolubles et moins toxiques, et participent à protection cellulaire contre les effets toxiques d'une gamme des xénobiotiques et leurs produits métaboliques (Touzout et al. 2021). Dans l'étude actuelle, l'activité GST dans les feuilles de blé était démontré être significativement amélioré dans les feuilles de tomate après le traitement avec différent dose de CON, indique le processus de détoxification des xénobiotiques (Kaya et al. 2023).

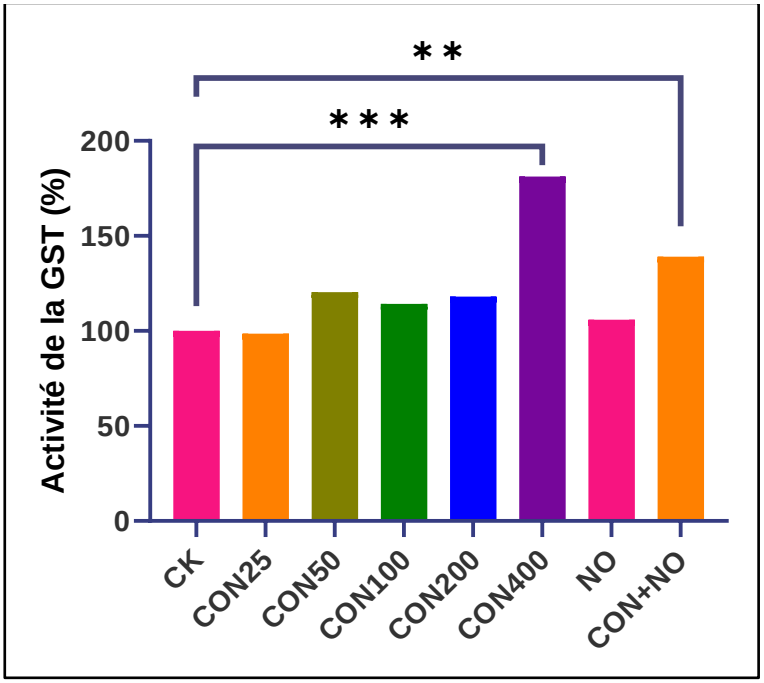


Figure 29 Effet de la supplémentassions en nitrique oxyde (NO) sur teneur l'activité de la GST dans les semis de blé traités avec consento (CON).

CONCLUSION

On peut conclure que l'exposition au CON provoque une réduction de la croissance, de la biomasse et du taux de chlorophylle et induite un stress oxydatif chez les semis de blé. Cependant l'application de NO atténue la toxicité induite par le fongicide CON chez les semis de blé en modifiant les paramètres morpho-physiologiques et biochimiques. L'activité enzymatique antioxydant a régulé les niveaux d'ERO et ainsi réduit le stress oxydatif chez les semis de blé. Ainsi, on peut conclure que l'utilisation de NO avec le CON favorise la productivité des cultures dans les zones polluées par ces fongicides. Par conséquent, les résultats ont une importance significative dans l'agriculture, ce qui favorisera l'utilisation de pratiques agricoles durables. L'étude a d'importantes implications physiologiques et éco toxicologiques et ouvre la voie à des études de suivi sur le rôle du nitrique oxyde dans la toxicité des fongicides dans des cultures importantes. L'analyse transcriptomique et protéomique pourrait fournir des informations sur les voies de signalisation, les études de régulation des gènes et les différentes protéines impliquées dans des conditions de stress.

IV. Références bibliographiques

Agroressources, Sciences, and M Tuan Kiet Ly. 2020. “DOCTORAT DE L ’ UNIVERSITÉ DE TOULOUSE Délivré Par : Titre :”

Alluqmani, Saleh M, and Nadiyah M Alabdallah. 2022. “Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences Dry Waste of Red Tea Leaves and Rose Petals Confer Salinity Stress Tolerance in Strawberry Plants via Modulation of Growth and Physiology.” *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 21(8): 511–17. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2022.02.003.

Alves, Rita de Cássia et al. 2022. “Exogenous Foliar Ascorbic Acid Applications Enhance Salt-Stress Tolerance in Peanut Plants throughout an Increase in the Activity of Major Antioxidant Enzymes.” *South African Journal of Botany* 150: 759–67.

Astaneh, Rozita Khademi, Sahebali Bolandnazar, and Fariborz Zaare Nahandi. 2022. “Plant Stress Exogenous Nitric Oxide Protect Garlic Plants against Oxidative Stress Induced by Salt Stress.” *Plant Stress* 5(January): 100101. https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100101.

Aux Émirats Arabes Unis : Importations , Productions , Externalisations To Cite This Version : HAL Id : Tel-03674541 Université de Paris La Sécurité Alimentaire Aux Émirats Arabes Unis.”

Bao, Manxin et al. 2020. “Science of the Total Environment Enantioselective Effects of Imazethapyr on the Secondary Metabolites and Nutritional Value of Wheat Seedlings.” *Science of the Total Environment* (xxxx): 143759. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143759.

Bao, M., Li, J., Chen, H., Chen, Z., Xu, D., & Wen, Y. (2021). Enantioselective effects of imazethapyr on the secondary metabolites and nutritional value of wheat seedlings. *Science of The Total Environment*, *757*, 143759.

Bhandari, Govinda, Kishor Atreya, Paul T J Scheepers, and Violette Geissen. 2020. “Chemosphere Concentration and Distribution of Pesticide Residues in Soil : Non- Dietary Human Health Risk Assessment.” *Chemosphere* 253: 126594.

Branchet, Perrine. 2019. “Caractérisation de l ’ Impact Des Activités Humaines Sur La Qualité de La Ressource En Eau En Milieu Urbain Sub-Saharien : Étude de La Contamination Du Bassin Versant de La Méfou (Région Centre Du Cameroun) Par Les Pesticides et Les Résidus Pharmaceutiq.”

Calais, Damien. 2022. “La Sécurité Alimentaire Agnihotri, Rajneesh K. 2016. “Chlorophyll and Proline Content of Gram (Cicer Arietinum L .) under Cadmium and Mercury Treatments Chlorophyll and Proline Content of Gram (Cicer Arietinum L .) under Cadmium and Mercury Treatments.” (April).

Cueff, S. (2020). Caractérisation des processus de rétention et d'infiltration de l'eau et de pesticides par expérimentations et modélisation en agriculture conventionnelle et agriculture de conservation (Doctoral dissertation).

Droz-dit-busset, Boris. 2020. “Interface : Insight from Compound-Specific.” (Ed 413).

"Ecotoxicology and Environmental Safety Prioritizing Agricultural Pesticides to Protect Human Health : A Multi-Level Strategy Combining Life Cycle Impact and Risk Assessments." *Ecotoxicology and Environmental Safety* 242(February): 113869.

Écophysiologiques et Moléculaires Des Plantes Aux Stress Xénobiotiques Complexes de Faible Intensité : Implications Dans Les Capacités de Protection Environnementale Des Bandes Enherbées."

Fantke, Peter et al. 2011. "Plant Uptake of Pesticides and Human Health: Dynamic Modeling of Residues in Wheat and Ingestion Intake." *Chemosphere* 85(10): 1639–47. http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.08.030.

Fantke, Peter et al. 2011. "Plant Uptake of Pesticides and Human Health: Dynamic Modeling of Residues in Wheat and Ingestion Intake." *Chemosphere* 85(10): 1639–47. http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.08.030.

Farnese, Fernanda S, Paulo E Menezes-Silva, Grasielle S Gusman, and Juraci A Oliveira. 2016. "When Bad Guys Become Good Ones: The Key Role of Reactive Oxygen Species and Nitric Oxide in the Plant Responses to Abiotic Stress." *Frontiers in Plant Science* 7: 471.

Fernandez, M Xavier. 2022. "Développement de Nouvelles Stratégies de Préparation de l ' Échantillon et d ' Analyse Pour La Recherche de Traces de Pesticides et de Contaminants Dans Diverses Matrices Agroalimentaires . To Cite This Version : HAL Id : Tel-03738129 et de Contaminants D."

Jain, Shruti. 2021. "' Deciphering the Mitigation of Herbicide Induced Toxicity through Silicon Application in Wheat (Triticum Aestivum) Seedlings.'"

Jalal, Golam, and Youxin Yang. 2022. "Anthocyanin-Mediated Arsenic Tolerance in Plants." *Environmental Pollution* 292(PB): 118475. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118475.

Jiang, Xuesong et al. 2008. "Immunosensors for Detection of Pesticide Residues." 23: 1577–87.

Junglee, Sanders. 2016. "Implication of NO in the Regulation of Ascorbate Recycling in Tomato Fruits (Solanum Lycopersicum , Cv Micro-Tom) and in Response to an Environmental Stress To Cite This Version : HAL Id : Tel-01333842."

Hamdache, Samar. 2020. "Photochimie et Devenir Des Pesticides Utilisés Dans Les Serres Agricoles Au Liban :Effets de Mélange , de Photosensibilisation et de Support Samar Hamdache To Cite This Version :"

Goutille, Fabienne. 2022. "Ne plus Ignorer Les Agriculteurs : Une Contribution de l ' Ergonomie .

Kumar, Deepak, and Puja Ohri. 2023. "Nitric Oxide Say ' NO ' to Plant Stresses : Unravelling the Role of Nitric

Oxide under Abiotic and Biotic Stress." *Nitric Oxide* 130(September 2022): 36–57. https://doi.org/10.1016/j.niox.2022.11.004.

Kumar, Deepak, and Puja Ohri. 2023. "Nitric Oxide Say ' NO ' to Plant Stresses : Unravelling the Role of Nitric Oxide under Abiotic and Biotic Stress." *Nitric Oxide* 130(September 2022): 36–57. https://doi.org/10.1016/j.niox.2022.11.004

Kaya, Cengiz, Muhammed Ashraf, Mohammed Nasser, and Parvaiz Ahmad. 2023. "Alleviation of Arsenic Toxicity in Pepper Plants by Aminolevulinic Acid and Heme through Modulating Its Sequestration and Distribution Within." 330(March).

Lacroix, Denis, Olivier Mora, Nicolas de Menthière, and Audrey Béthinger. 2019. "La Montée Du Niveau de La Mer : Conséquences et Anticipations d ' Ici 2100 , l ' Éclairage de La Prospective." *AllEnvi*: 169.

Li, Haifeng et al. 2023. "Ecotoxicology and Environmental Safety Target and Suspect Screening of Pesticide Residues in Soil Samples from Peach Orchards Using Liquid Chromatography Quadrupole Time-of-Flight Mass Spectrometry." *Ecotoxicology and Environmental Safety* 253(November 2022): 114664.

Li, Zijian. 2018. "A Bayesian Generalized Log-Normal Model to Dynamically Evaluate the Distribution of Pesticide Residues in Soil Associated with Population Health Risks." *Environment International* 121(July): 620–34.

Liang, Shu-xuan et al. 2022. "Ecotoxicology and Environmental Safety Residual Levels and Dietary Exposure Risk Assessment of Banned Pesticides in Fruits and Vegetables from Chinese Market Based on Long-Term Nontargeted Screening by HPLC-Q-TOF / MS." *Ecotoxicology and Environmental Safety* 248(July): 114280.

Li, Li et al. 2023. "Ecotoxicology and Environmental Safety Effects of Antibiotics Stress on Root Development , Seedling Growth , Antioxidant Status and Abscisic Acid Level in Wheat (Triticum Aestivum L .)." 252(January).

Lite, Mihaela-cristina. 2022. "Ecotoxicology and Environmental Safety Harmful Health Effects of Pesticides Used on Museum Textile Artifacts - Overview." 247(July).

Meena, Mukesh et al. 2019. "Heliyon Regulation of L-Proline Biosynthesis , Signal Transduction , Transport , Accumulation and Its Vital Role in Plants during Variable Environmental Conditions." *Heliyon* 5(September): e02952. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02952.

Mali, Audumbar Digambar, S Mali, A Tamboli, and R Bathe. 2015. "Simultaneous UV Spectrophotometric Methods for Estimation of Metformin HCl and Glimepiride in Bulk and Tablet Dosage Form." *International journal of advances in pharmaceutics* 4(6): 117–24.

Mir, Iqbal R et al. 2022. "South African Journal of Botany Calcium and Nitric Oxide Signaling in Plant Cadmium Stress Tolerance : A Cross Talk." *South African Journal of Botany* 150: 387–403

Mir, Iqbal R et al. 2022. “South African Journal of Botany Calcium and Nitric Oxide Signaling in Plant Cadmium Stress Tolerance : A Cross Talk.” *South African Journal of Botany* 150: 387–403.

Muradoglu, Ferhad et al. 2015. “Cadmium Toxicity Affects Chlorophyll a and b Content , Antioxidant Enzyme Activities and Mineral Nutrient Accumulation in Strawberry.” : 3–9.

Nespolo, Massimo. 2017. “Free Radicals in Biology and Medicine. Fifth Edition. by Barry Halliwell and John M. C. Gutteridge. Oxford University Press, 2015. Pp. Xxxviii + 905. Price GBP 70.00 (Paperback, ISBN 9780198717485), GBP 125.00 (Hardback, ISBN 9780198717478).” *Acta Crystallographica Section D: Structural Biology* 73: 384–85.

Obtenir, Pour, and L E Grade. 2022. “DOCTEURE DE L ’ UNIVERSITÉ DE BORDEAUX Comprendre Les Situations d ’ Exposition Aux Pesticides Lors de l ’ Utilisation Des Pulvérisateurs La Conception et La Réglementation Comme Chaîne de Déterminants.”

Panthéon-sorbonne, Université Paris, and Marino Rojas Gloria. 2022. “Université Paris 1 – Panthéon-Sorbonne.” : 1–257.

Prade, Lars, Robert Huber, and Babara Bieseler. “Structures of Herbicides in Complex with Their Detoxifying Enzyme Glutathione S-Transferase – Explanations for the Selectivity of the Enzyme in Plants.” : 1445–52.

Pellissier, Fanny. 2021. “Tuer Les Pestes Pour Protéger Les Cultures : Sociohistoire de l ’ Administration Des Pesticides En France To Cite This Version : HAL Id : Tel-03420261.”

Prévention Du Risque Pesticides En Milieu Viticole Fabienne Goutille To Cite This Version : HAL Id : Tel-03642008 DOCTEUR DE L ’ UNIVERSITE´ DE BORDEAUX.”

Praveen, Afsana. 2022. “Nitric Oxide Nitric Oxide Mediated Alleviation of Abiotic Challenges in Plants.” *Nitric Oxide* 128(June): 37–49.

Porrini, Constance, and Constance Porrini. 2021. “La Réponse Au NO Au Centre de La Pathogenèse Bactérienne et Cible d ’ Antibiotiques Innovants To Cite This Version : La Réponse Au NO Au Centre de La Pathogenèse Bactérienne et Cible d ’ Antibiotiques Innovants Thèse de Doctorat.”

Rennes, D E, Docteur De, D E Rennes, and U M R Cnrs. 2015. “Anne-Antonella Serra Répons http://dx.doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60376-X.

Rennes, L Universite D E, and E Cole D Octorale N. “Noriane Cognez Exposition Résidentielle Aux Pesticides Adrees, Muhammad et al. 2021. “Foliar Exposure of Zinc Oxide Nanoparticles Improved the Growth of Wheat (Triticum Aestivum L.) and Decreased Cadmium Concentration in Grains under Simultaneous Cd and Water Deficient Stress.” *Ecotoxicology and Environmental Safety* 208(November 2020): 111627.

Sami, Fareen et al. 2018. “Nitric Oxide Nitric Oxide-Mediated Integrative Alterations in Plant Metabolism to Confer Abiotic Stress Tolerance , NO Crosstalk with Phytohormones and NO-Mediated Post Translational Modi Fi Cations in Modulating Diverse Plant Stress.” *Nitric Oxide* 73(December 2017): 22–38. https://doi.org/10.1016/j.niox.2017.12.005.

Shreeya, Aditi, Gagan Preet, and Singh Sidhu. 2021. “Chemosphere Arsenic Acquisition , Toxicity and Tolerance in Plants - From Physiology to Remediation : A Review.” *Chemosphere* 283(January): 131050. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131050.

Sami, Fareen et al. 2018. “Nitric Oxide Nitric Oxide-Mediated Integrative Alterations in Plant Metabolism to Confer Abiotic Stress Tolerance , NO Crosstalk with Phytohormones and NO-Mediated Post Translational Modi Fi Cations in Modulating Diverse Plant Stress.” *Nitric Oxide* 73(December 2017): 22–38. https://doi.org/10.1016/j.niox.2017.12.005.

Souguir, Dalila. 2012. “Modifications Métaboliques , Moléculaires et Génotoxicité Induites Par Le Cadmium Chez Vicia Faba To Cite This Version : HAL Id : Tel-00725461.”

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.

Wei, Lijuan, Jing Zhang, Chunlei Wang, and Weibiao Liao. 2020. “Plant Physiology and Biochemistry Recent Progress in the Knowledge on the Alleviating e Ff Ect of Nitric Oxide on Heavy Metal Stress in Plants.” *Plant Physiology and Biochemistry* 147(June 2019): 161–71. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.12.021.

Wu, Jiaxu et al. 2022. “Recent Insights into Cell Responses to Cold Stress in Plants : Signaling , Defence , and Potential Functions of Phosphatidic Acid.” *Environmental and Experimental Botany* 203(September): 105068. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.105068.

Yuanjie, Dong et al. 2019. “Effects of Exogenous Nitric Oxide and 24-Epibrassinolide on the Physiological Characteristics of Peanut Seedlings Under.” *Pedosphere: An International Journal* 29(1): 45–59.

Zulfiqar, Faisal, and Muhammad Ashraf. 2022. “Antioxidants as Modulators of Arsenic-Induced Oxidative Stress Tolerance in Plants : An Overview.” *Journal of Hazardous Materials* 427(November 2021): 127891. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127891.