



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : DES SCIENCES

DEPARTEMENT : SCIENCES AGRONOMIQUES

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : GEURBOUS Halima

DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE (SNV)

FILIERE : SCIENCES AGRONOMIQUES

OPTION : PROTECTION DES VEGETAUX

Thème

Identification de *Fusarium* responsable des contaminations de grains de blé et détection des mycotoxines associées

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	qualité
AMARA Yacine	Maitre-assistant A	Président
AMEUR Djamilia	Maitre-assistant A	Examinateur
TOUATI-HATTAB Sihem	Maitre de conférence B	Encadreur

Promotion : Octobre – 2020

Titre du mémoire : Identification de *Fusarium* responsable des contaminations de grains de blé et détection des mycotoxines associées

Nom: Geurbous

Prénom: Halima

Encadreur: Touati- Hattab Sihem

Résumé : La fusariose de l'épi de blé est une maladie fongique responsable de pertes considérables de production. Les espèces impliquées peuvent conduire à la contamination des grains par diverses mycotoxines, qui sont dangereuses pour la santé humaine et animale. Au cours de ces dernières années, la maladie a émergé surtout sur blé en Algérie. Dans ce travail, nous avons examiné la contamination d'un groupe de 1062 isolats récupérés à partir de blé étudié. Les résultats ont montré que 90% de nos échantillons de grains de blé analysés ont été infestés par les espèces du genre *Fusarium*. L'identification morphologique a montré la présence de dix espèces fongiques à savoir *F. culmorum*, *F. pseudograminearum*, *F. poae*, *F. graminearum*, *F. équiseti*, *F. avenaceaum*, *F. chlamdosporos*, *F. accutatum*, *F. oxysporum* et *Microdochium nival*. D'autres champignons saprophytes ont été aussi isolés à savoir *Alternaria* spp., *Aspegillus* spp. et *Penicellium* spp. Les résultats de nos isollements ont révélé aussi qu'en Algérie *F. culmorum* est l'espèce prédominante représentant une densité de 23,66 des espèces isolées.

Mots clés : Blé, fusariose de l'épi, Mycotoxines, *Fusarium* spp.

Memory title: Identification of *Fusarium* spp. Responsible for contamination of wheat grains and detection of associated mycotoxins

Name: Geurbous

First name: Halima

Directed by: Touati-Hattab Sihem

Abstract: *Fusarium* wilt of the ear of wheat is a fungal disease responsible for considerable production losses. The species involved can lead to the contamination of grains with various mycotoxins, which are dangerous for human and animal health; the disease has emerged mainly in wheat in Algeria. In recent years, we examined the contamination of a group of 1062 isolates recovered from studied wheat. The results showed that 90% of our samples of wheat grains analyzed were infested with species of the genus *Fusarium*. Morphological identification showed the presence of nine fungal species namely *F. culmorum*, *F. pseudograminearum*, *F. poae*, *F. graminearum*, *F. équiseti*, *F. avenaceum*, *F. chlamdosporium*, *F. accutatum*, *F. oxysporum* and *Microdochium nival.* Other saprophytic fungi have also been isolated, namely *Alternaria* spp. *Aspegillus* spp. And *Penicellium* spp. The results of our isolations also revealed that in Algeria *F. culmorum* is the predominant species representing a density of 23.66 isolated species.

Key words: Wheat, *Fusarium* head blight, *Fusarium*, Mycotoxins.

عنوان المذكرة: تحديد الفيوزاريوم المسؤول عن تلوث حبوب القمح وكشف السموم الفطرية المرتبطة به

اللقب: قربوص الاسم: حليلة المشرفة: تواتي حطاب سهام

ملخص: لفحة رأس الفيوزاريوم القمح مرض فطري مسؤول عن خسائر كبيرة في الإنتاج. يمكن أن تؤدي الأنواع المعنية إلى تلوث الحبوب بمختلف السموم الفطرية، والتي تشكل خطورة على صحة الإنسان والحيوان. في السنوات الأخيرة ظهر المرض بشكل رئيسي في القمح في الجزائر. في هذا العمل قمنا بفحص تلوث مجموعة من 1062 عزلة من القمح المدروس. أظهرت النتائج أن 90% من عينات حبوب القمح التي تم تحليلها كانت مصابة بأنواع من جنس *Fusarium*. أظهر التحديد المورفولوجي وجود عشرة أنواع من الفطريات هي *F. culmorum* و *F. pseudograminearum* و *F. graminearum* و *F. poae* و *F. avenaceum* و *F. equiseti* و *F. chlamdosporium* و *F. accutatum* و *F. oxysporum* و *Microdochium nival*. كما تم عزل الفطريات الأخرى، وبالتحديد *Aspegillus spp.* و *Alternaria spp.* و *Penicellium spp.* أظهرت نتائج عزلنا أيضاً أن *F. culmorum* في الجزائر هي النوع السائد الذي يمثل كثافة 23.66 من الأنواع المعزولة.

الكلمات المفتاحية: القمح، لفحة رأس الفيوزاريوم، الفيوزاريوم، السموم الفطرية

Dédicace

Je dédie cet acte humble à ma chère mère, gentille, honorable et affectueuse: pour moi, vous êtes un symbole de bonté par excellence, une source de tendresse et un exemple de dévouement qui ne cesse jamais d'être le mien. Encouragez-moi et priez pour moi. A mon cher père "Muhammad" Aucune dédicace ne peut exprimer l'amour, l'appréciation, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts que tu as faits jour et nuit pour mon éducation et mon bien-être.

À mes frères et sœurs, je vous dédie ce travail avec mes meilleurs vœux de bonheur, de santé et de réussite. Je vous exprime à travers ce travail mes sentiments de fraternité et d'amour.

À mes chers amis, merci pour les bons moments que nous avons passés ensemble.

Remerciements

Avant tout je remercie le Miséricordieux, le Compatissant, l'Unique, le Tout-Puissant, le Seigneur des cieux et de la terre pour m'avoir protégée, m'aidée et me permis d'accomplir ce travail. C'est un plaisir de garder ces lignes en gage de gratitude envers ceux qui ont contribué directement ou indirectement au développement de cet ouvrage notamment ma directrice de recherche Mme Touati Siham, que je remercie infiniment pour son aide, ses conseils et ses corrections du manuscrit, sa patience, sa confiance et ses encouragements envers moi. Mes remerciements vont également aux membres du jury Mme Ameer Djamila et Mr Amara Yacine d'avoir accepté de lire et d'examiner mon mémoire comme je remercie encore une fois mon enseignante Mme Ameer Djamila pour ces conseils, son aide et ses orientations pendant la réalisation de ce mémoire.

TABLE DES MATIERES

Résumés	
<i>Liste des Tableaux</i>	I
<i>Liste des Figures</i>	II
<i>Liste des Abréviations</i>	III
INTRODUCTION GENERALE	1
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	4
I. LE BLE	5
I. 1. Généralités	5
I.2. Importance de la culture de blé	6
I.2.1. Dans le monde	6
I.2.2. En Algérie	8
I.3. Biologie et physiologie du blé	9
I.4. Le cycle de développement	11
I.4.1. La période végétative	10
I.4. Pathologies	13
II. LA FUSARIOSE	15
II.1. Généralité sur la Fusariose	15
II.2. Symptômes de la fusariose de l'épi	16
II.3. Les différentes espèces fusarienne responsables de la fusariose de l'épi	17
II.3.1. Identification des espèces de <i>Fusarium</i> responsables de la fusariose de l'épi.....	19
II.3.2. Cycle biologique.....	20
III. LES TOXINES PRODUITES PAR LES CHAMPIGNONS DU GENRE FUSARIUM	23
III.1. Les trichothécènes	23
III.1.1. Toxicité et réglementation.....	25
III.2. La zéaralénone	27
III.3. Les fumonisines	27

III.4. Réglementation	28
III.4. Moyens de lutte contre la fusariose de l'épi	30
III.4.1. Les pratiques culturales	30
III.4.2. Lutte biologique	30
III.4.3. La lutte chimique	30
III.4.4. La lutte intégrée.....	31
MATERIEL ET METHODES	32
I. Matériel végétale	33
II. Méthodes	34
II.1. Purification par culture monospore	34
II.2. Identification morphologique des isolats	36
II.3. Quantification par HPLC de la production des trichothécènes B par les isolats de <i>Fusarium spp</i>	37
II.3.1. Culture sur riz pour extraction des trichothécènes B (TCTB).....	37
RESULTATS ET DISCUSSION	38
I. Résultats	39
I.1. Résultats d'isolements de la mycoflore associée aux semences	39
I.2. Identification morphologique des espèces de <i>Fusarium spp</i>	42
II. Discussion	47
CONCLUSION GENERALE	49
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	52
ANNEXE	

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Les mycotoxines associées aux différentes espèces de <i>Fusarium</i>	24
Tableau 2 : Différentes formes des trichothécènes de type B.....	26
Tableau 3 : Recommandations des instances européennes pour la sécurité alimentaire (EFSA) concernant la dose journalière tolérable de certaines « fusariotoxines ».....	29
Tableau 4: Concentrations maximales autorisées de certaines « fusariotoxines » dans les produits alimentaires dans l'Union Européenne (règlement de la Commission européenne n°1881/2006 modifié par le règlement (CE) n°1126/2007).....	29
Tableau 5 : Liste des lots de grains de blé analysent (18variétés).....	33
Tableau 6 : Evaluation du taux de contamination des semences par mycoflore externe et interne. (Nombre de contaminants).....	41
Tableau 7 : Densité et Fréquence d'isolement des espèces de <i>Fusarium</i> à partir des grains infestés	46
Tableau 8 : Taux de contamination de <i>Fusarium</i> spp. De blé par région	46

Liste des Figures

Figures 01 : Classement des principaux producteurs de blé mondiaux de 2016 à 2019...	06
Figures 02 : Histologie du grain de blé.....	10
Figures 03 : Stades repères du cycle de développement du blé.....	12
Figures 04 : Quelques ravageurs du blé.....	13
Figures 05 : Types de fusariose.....	15
Figures 06 : Grains de blé sains et fusariés.	18
Figures 07 : Fusarioses sur épis.....	18
Figures 08 : Symptômes de la gale de l'épi chez le blé.....	18
Figures 09 : Caractères morphologiques des <i>Fusarium</i>	20
Figures 10 : Cycle biologique de <i>Fusarium</i> sur céréales.....	22
Figures 11 : Structure chimique des trichothécènes de type B.....	28
Figures 12 : Structure chimique des Fumonisines et de zéaralénone.....	29
Figures 13 : Technique de plaquage direct (2020).....	35
Figures 14 : Germes infectés par la moisissure des neiges (<i>Fusarium</i> spp.), caractérisée par une couche de spores de teinte blanche et rose pâle.	40
Figures 15 : Présentation des % d'infections de la mycoflore externe et interne chez le blé par région et par variété.....	42
Figures 16 : Caractérisation macroscopique et microscopique des espèces de <i>Fusarium</i> obtenue	43
Figures 17 : Caractérisation macroscopique et microscopique des espèces de <i>Fusarium</i> obtenue	44
Figures 18 : Caractérisation macroscopique et microscopique des espèces de <i>Fusarium</i> obtenue	45

Liste des Abréviations

ADN	Acide Désoxyribonucléique
ARN	Acide Ribonucléique
a_w	Activité thermodynamique de l'eau
DCPA	Dichloran Chloramphenicol Peptone Agar
DON	Déoxynivalénol
CE	Commission Européenne
CIC	Conseil internationales des céréales
F	<i>Fusarium</i>
FB1	Fumonisine B1
Fig	Figure
FX	Fusarenone X
g	gramme
M	<i>Microdochium</i>
mnt	millions tonnes métriques
mg	milligramme
ml	millilitre
min	minute
NIV	Nivalenol
OAIC	Office Algérien Interprofessionnel des Céréales.
ONFAA	Observatoire nationale des Filières Agricole et Agroalimentaires.
PDA	Potato Dextrose Agar
qx/ha	Quintaux par hectare
Spp	<i>species pluralis</i>
TCTB	Trichothécènes de type B
TCT	Trichothécènes
USD	United States Dollar
UV	Ultraviolet
ZEA	Zéaralénone
µg	Microgramme

INTRODUCTION GENERALE



INTRODUCTION

Le blé est une composante majeure de l'alimentation humaine et animale. Il constitue une céréale importante, d'un point de vue économique et en tant que denrées alimentaires pour l'homme. Il existe une tendance mondiale à une demande accrue pour le blé tant dans les pays industrialisés que dans les pays en voie de développement.

La production mondiale du blé est d'environ 768 millions de tonnes, et 174 millions de tonnes de blé produites sont exportées dans le monde soit 22% au cours de la saison 2019-2020. L'alimentation humaine reste le moteur de la consommation malgré (+ 1% par rapport à 2018-2019) (CIC ,2019).

Le secteur céréalier en Algérie comme l'un des secteurs les plus importants de la production agricole (Hamadache, 2013). Les céréales et leurs dérivés constituent l'épine dorsale de l'alimentation algérienne, et ils fournissent plus de 60% de l'apport énergétique (calories) et 69% en protéines totales et 88% des protéines végétales La consommation de produits céréaliers est d'environ 204 à 224 kg / personne. /année) (Hamadache, 2013).

La culture de blé est soumise chaque année à des stress abiotiques (Sécheresse surtout), humaines (itinéraires techniques appliqués, vulgarisation, etc....) et des facteurs biotiques (adventices, ravageurs et maladies), parmi lesquels une intense pression parasitaire par de nombreux agents de détérioration tels que les champignons pathogènes du genre *Fusarium* responsable de la fusariose de l'épi (FHB).

La Fusariose présente un sérieux problème de diverses cultures céréalières. Elle cause des dégâts et des pertes de rendements importantes allant jusqu'au 89% (Carver, 2009 ; Ma et *al.*, 2012; Talas et *al.*, 2012). L'importance économique de cette maladie fongique a été attribuée aux fortes pertes de rendement et à la détérioration de la qualité des grains (Lacroix, 2008 ; Lori et *al.*, 2009).

Plus grand encore, parmi les espèces du genre *Fusarium*, certaines ont la capacité à produire des Fusariotoxines. Ces métabolites secondaires fongiques sont de nature multiple et différentes familles sont susceptibles d'être retrouvées dans les grains de blé. Il s'agit essentiellement des trichothécènes, zéaralénone et Fumonisine. En particulier les molécules constituant des trichothécènes de type B ou TCTB sont le déoxynivalénol (DON) et ses formes acétylées (3 ADON) et (15 ADON), le nivalénol (NIV) et sa forme acétylée, la fusarénone X (FX) (Balzer et *al.*, 2004 ; Bennett et Klich, 2003 ; Sweeney et

Dobson, 1999) La contamination des grains par ces mycotoxines ajoute une dimension sanitaire au problème de la fusariose.

La consommation quotidienne de céréales et de produits dérivés faiblement contaminés en mycotoxines entraîne un risque de toxicité chronique pour le consommateur, risque non maîtrisé à l'heure actuelle. Pour pallier ce risque, l'Union Européenne a établi une réglementation rigoureuse à partir des doses journalières tolérables définies pour les mycotoxines les plus fréquemment retrouvées. En effet, le règlement (CE) n° 1126/2007 détermine les concentrations maximales en DON autorisées dans les denrées destinées à l'alimentation humaine

L'identification des *Fusarium spp.* Responsables de la contamination des grains de blé et des toxines associées est cruciale pour le développement de stratégies visant à réduire le risque de contamination des céréales et des denrées alimentaires par des mycotoxines (Shaafsma et Hooker, 2007).

Le premier objectif de ce travail de mémoire s'attachera à isoler la flore fusarienne et toxino-gènes présente au niveau des grains de blé actifs et cultivés en Algérie et l'identifier à l'aide d'analyses morphologiques. Le second objectif de ce mémoire a donc été d'analyser le potentiel toxino-gènes des isolats et de caractériser le type de mycotoxines produites moyennant des tests chimiques.

Avant la présentation des résultats obtenus, le contexte bibliographique concernant la Fusariose de l'épi ainsi que la contamination du blé par les *Fusarium spp.* Et leurs mycotoxines, les stratégies agricoles limitant l'apparition de la maladie et l'accumulation des fusariotoxines dans les grains, ainsi seront décrits. La démarche des expérimentations sera ensuite présentée et les chapitres suivants exposeront les résultats obtenus. Une discussion générale et des perspectives concluront ce manuscrit.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE



I. LE BLE

I.1. Généralités

Le blé est une des principales ressources alimentaires de l'humanité, cultivée depuis les temps préhistoriques, par les peuples des régions tempérées. Les premières cultures apparaissent au VIII^e siècle av. J.-C., en Mésopotamie et dans les vallées du Tigre et de l'Euphrate (aujourd'hui l'Irak), dans la région du "croissant fertile" (actuels Liban, Syrie, Sud de la Turquie) où subsistent à ce jour des blés sauvages (Feillet, 2000).

Dubcovsky et Dvorak (2007), ont indiqué que le blé et ses dérivés génétiques proviennent de la partie Sud-est de la Turquie. En revanche, Weiss et *al.*, (2011) ont trouvé que la première preuve c'est à partir de la zone du "croissant fertile" que les blés ont été diffusés vers l'Afrique, l'Asie et l'Europe. La route la plus ancienne de diffusion des céréales vers les pays du Maghreb fut à partir de la péninsule Italienne et de la Sicile (Bonjean, 2001).

Le blé est une plante annuelle herbacée, monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des *Gramineae*. D'après Cronquist (1981) et la classification phylogénétique de l'Angiosperm Phylogeny Group III (2009), le blé appartient au règne *Plantae*, sous règne *Tracheobionta*, phylum *Magnoliophyta*, la classe *Liliopsida*, sous classe des *Commelinidae*, l'ordre des *Poales* (*Cyperales*), la famille des *Poaceae* et le genre *Triticum L.*

Plusieurs espèces de blé existent, les plus répandus appartiennent principalement à deux espèces polyploïdes : le blé hexaploïde ou le blé tendre *Triticumaestivum L.* ($2n = 6x = 42$) et tétraploïde ou le blé dur *Triticum turgidum L.* ($2n = 4x = 28$). Les espèces cultivées de blé diploïde *T. monococcum L.* ou blé en grain ($2n = 2x = 14$) sont des reliques et ne se trouvent que dans certaines régions montagneuses méditerranéennes (Carver, 2009).

Aujourd'hui, seules les variétés de blé tendre (*Triticumaestivum L.*) ou de blé dur (*T. Turgidum (L.) Thell.spp. durum L.*) ont une importance commerciale internationale. Le blé Dur est généralement cultivé pour la production de semoule et la fabrication de pâtes alimentaires, alors que le blé tendre est une matière première, de base, pour la fabrication du Pain, en raison de sa composition riche en gluten (Feillet, 2000).

I.2. Importance de la culture de blé

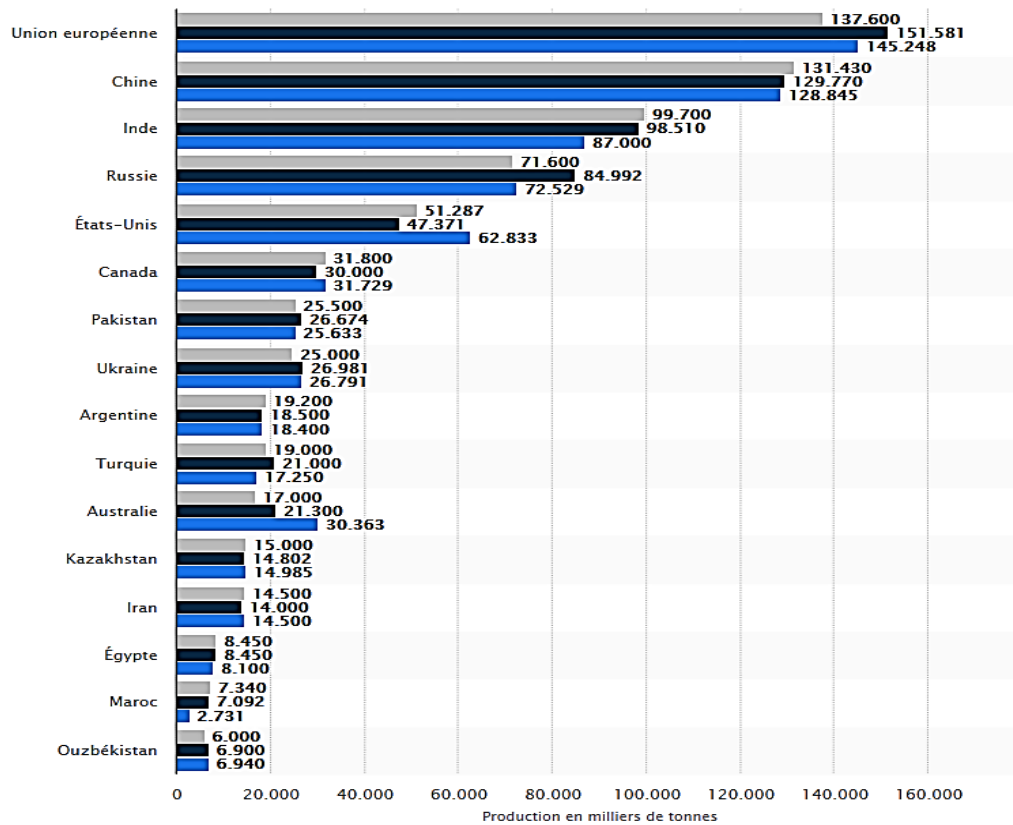
I.2.1. Dans le monde

Le blé fait partie des grandes céréales avec le maïs et le riz, c'est d'ailleurs la deuxième pour ce qui est de l'importance de la récolte mondiale, et la plus consommée par l'homme après le riz. Sur le plan des échanges commerciaux, c'est la céréale la plus importante au niveau mondial puisqu'elle représente à elle seule un peu plus de 45% des échanges mondiaux (<http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/ar/>).

Cinq pays (les Etats-Unis, l'Union européenne, la Chine, l'Inde et la Russie) assurent les deux tiers de la production mondiale, soit environ 40 millions de tonnes par an pour chacun de ces pays. Aux côtés de ces grands acteurs, on trouve une série de huit pays (le Canada, le Pakistan, l'Australie, la Turquie, l'Argentine, l'Iran, l'Ukraine et le Kazakhstan) dont la production se situe généralement entre 10 et 30 millions de tonnes et qui représentent ensemble 23% de la production mondiale de blé chaque année. Ces deux groupes de pays réunis fournissent au monde 93% de la production du blé, ce qui sur le plan économique constitue une manne non négligeable et incontestable (Tongo, 2011) (<https://www.journalducameroun.com>).

La Syrie, autrefois un pays autosuffisant en blé, a vu ses niveaux de production chuter au cours de la guerre, laissant le pays dépendant des importations de céréales de Crimée, péninsule annexée par la Russie en 2014 (<https://www.syriaintel.com>).

La production de blé a augmenté d'environ 9,89 millions de tonnes l'an dernier (2018/2019), ce qui représente une augmentation de 1,31% de la production mondiale de blé. Selon une analyse entièrement basée sur les statistiques récentes de production selon la dernière année (2018/2019) réalisée par StatistaResearchDepartment, présente les neuf principaux pays producteurs de blé au cours des années de commercialisation 2016/2017 à 2018/2019, en milliers de tonnes. Sur la période de 2017 à 2018, l'Union européenne menait le classement des principaux producteurs mondiaux de blé, affichant une production supérieure à 150 millions de tonnes. Sur la même période, la Chine, classée deuxième, produisait près de 130 millions de tonnes de blé (<https://fr.statista.com/statistiques/>) (Fig.1).



Source : <https://fr.statista.com/statistiques/>

● 2016/2017 ● 2017/2018 ● 2018/2019**

Figure 1: Classement des principaux producteurs de blé mondiaux de 2016 à 2019*(en milliers de tonnes).

I.2.2. En Algérie

Zaghouane et Souissi (2014), révèlent que, durant la période 2008-2013, la production céréalière a connu une augmentation remarquable passant de 15.336.140 quintaux en 2007/2008 à 49.109.735 quintaux en 2012/2013 avec un rendement moyen de 10 à 18 qx/ha. Entre 2011 et 2016, la production nationale du blé a atteint 21,4 millions de quintaux (OAIC, 2018).

La production nationale des céréales pour la campagne 2017-2018 a été de plus 60 millions de quintaux, soit un niveau record, qui n'a jamais été réalisé. La wilaya de Sétif, capitale des Hauts-Plateaux s'est classée première ville à l'est du pays en matière de production céréalière au cours de la campagne agricole 2017/2018, et au niveau national, elle s'est classée au deuxième rang juste derrière la wilaya de Tiaret avec une production céréalière de l'ordre 3,6954 millions de quintaux (q), réalisée sur une surface de plus de 197 100 hectares (ha), Les superficies agricoles réservées à la culture céréalière à Sétif, a connu une hausse de 400 hectares par rapport à l'exercice précédent (<https://www.algerie-eco.com/>).

Selon les bilans prévisionnels établis, par la direction des Services agricoles (DSA) d'El-Oued, il est prévu pour cette saison 2020 au niveau de la wilaya, une production céréalière de plus 347.000 quintaux. Cette production globale attendue est répartie comme suit : 264.000 quintaux de blé dur, quelque 83.000 quintaux d'orge et plus de 400 quintaux de blé tendre (<https://www.express-dz.com>).

A noter qu'en dépit de cette production « record » de céréales, l'Algérie ne couvre que la moitié de ses besoins en blé dur et une infime partie de ses besoins en blé tendre qui reste encore importé pour environ 3 milliards de dollars par an. La courbe d'évolution des importations algériennes des céréales continue à être croissante pour atteindre son maximum en 2015 avec 13,72 millions de tonnes avec une baisse de 3,3 % en 2016.

En blé dur, le principal fournisseur de l'Algérie en 2015 et 2016 est le Canada avec 1082 687 tonnes en 2016 ; suivi par le Mexique soit 556 538 t en 2016 (ONFAA, 2016).

La dépendance de l'Algérie à l'importation de blé et son incapacité à atteindre l'autosuffisance est une menace permanente quant à la sécurité alimentaire du pays.

Les importations du blé de l'Algérie ont augmenté pour atteindre 4,9 millions de tonnes pour la campagne de commercialisation de 2019/2020, dépassant ainsi largement le plafond fixé par les autorités qui est de 4 millions de tonnes (<https://www.algerie-eco.com/2020>).La production abondante de différents types de céréales enregistrée cette année et la valorisation du produit national de blé dur, tendre et d'orge permettra de ne pas recourir à l'importation du blé les années qui viennent (<https://fr.sputniknews.com>).

Toutefois, les autorités veulent se montrer rassurantes et minimiser les conséquences de cette dépendance. En effet, une étude réalisée par l'Office Algérien Interprofessionnel des Céréales (OAIC), montre qu'une autosuffisance en blé dur était largement «à notre portée », à condition de mieux organiser les techniques d'irrigation dans les régions nord, précisant que 600 000 hectares en irrigué suffiraient pour assurer l'autosuffisance du pays en blé dur (<https://www.algerie-eco.com/2019>).

I.3.Biologie et physiologie du blé

Le blé comme toutes les céréales dispose de deux systèmes racinaires successifs, le primaire ou séminal, fonctionnel dès la germination et le secondaire ou racines adventives de type fasciculé, qui apparaît au tallage et se substitue progressivement au précédent. On distingue une tige principale appelée le maître brin et des tiges secondaires appelées talles (Bozzini, 1988).

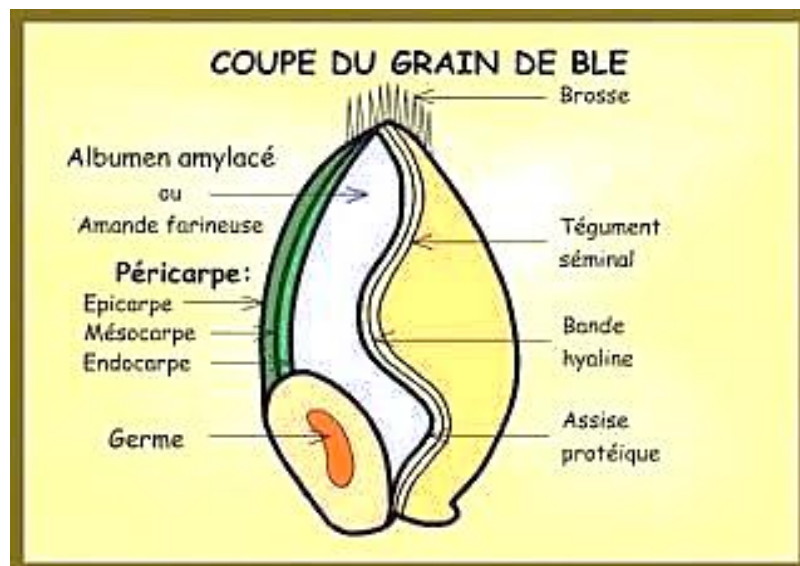
Les blés sont des plantes à feuilles, elles se composent de 4 parties : la gaine, les stipules ou oreillettes, la ligule et le limbe qui possède des nervures parallèles. L'inflorescence est un épi constitué d'un ensemble d'unités appelées épillets, chaque épillet est une petite grappe d'une à cinq fleurs, le nombre de fleurs fertiles par épillet varie selon les espèces. Le grain est un caryopse, ovoïde, nu (Boulal et *al.*, 2007).

Le grain de blé est un caryopse, ovoïde, nu, il comporte trois parties distinctes (Feillet, 2000) : (fig.2)

- L'albumen (80 à 85% du grain), constitué de l'albumen amylicé (au sein duquel subsistent des cellules remplies de granules d'amidon dispersés au milieu d'une matrice protéique) et de la couche à aleurone. C'est l'albumen qui donnera la farine.

- Les enveloppes de la graine et du fruit (13 à 17% du grain), constituées de six tissus différents : épiderme du nucelle, tégument séminal ou testa (enveloppe de la graine), cellules tubulaires, cellules croisées, mésocarpe et épicarpe. Les enveloppes sont éliminées pendant la mouture et deviennent les sons.

- Le germe (3% du grain), composé d'un embryon (lui-même formé de la coléoptile, de la gemmule, de la radicule, du coléorhize et de la coiffe) et du scutellum. Il est éliminé à la mouture pour éviter le rancissement et augmenter la durée de conservation.



Source : *Surget et Barron, 2005.*

Figure 2: Histologie du grain de blé.

I.4. Le cycle de développement

Selon (Soltner, 2005). Le cycle de développement du blé est constitué d'une série d'étapes séparées par des stades repérés, permettant de diviser en deux périodes la vie des céréales. Une période végétative durant laquelle, la plante ne se différencie que des feuilles et des racines ; une période reproductrice dominée par l'apparition de l'épi et la formation du grain.

I.4.1. La période végétative

Elle se caractérise par un développement strictement herbacé et s'étend du semis jusqu'à la fin de tallage.

➤ Germination-Levée

Après le semis la graine commence par s'humidifier dans la terre. Le germe produit du malt capable de fournir l'énergie nécessaire à l'émergence d'une radicule qui créera la racine permettant à la plante de se développer, puis d'une coléoptile. Une première feuille paraît au sommet de la coléoptile. La plantule émerge de la terre et la première feuille sort complètement, deux autres feuilles suivent aussitôt.

➤ Le tallage

La plante commence sa croissance pour donner de petites pousses. A un même niveau de la tige et à la base de la plante se constitue une touffe herbacée.

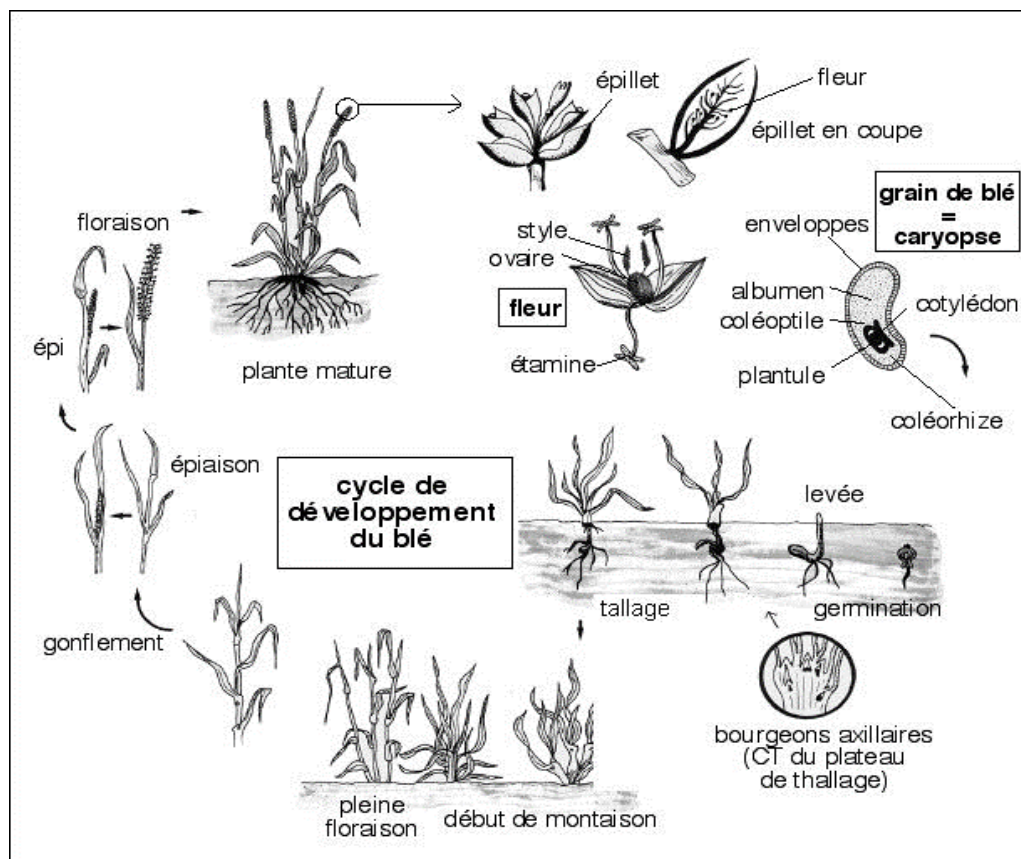
Après l'émission de la première talle, la plante va émettre des talles primaires, qui prennent naissance à l'aisselle du maître-brin (tige principale), puis, lorsque le maître-brin a 6 feuilles au moins, des talles secondaires dont les bourgeons seront alors situés à l'aisselle des feuilles des talles primaires. Le tallage herbacé s'arrête dès l'évolution de l'apex de la formation d'ébauches de feuilles à celle d'ébauches florales (futurs épillets) qui sont suffisamment avancées (Gate et Giban, 2003).

➤ La période reproductrice

Pendant la période dite de "montaison", la plante pousse rapidement si le temps et l'humidité le permettent et au cours de laquelle elle met de nouvelles feuilles. Ensuite, l'épi se forme, c'est "l'épiaison".

La floraison ne débutera que lorsque la température dépassera les 14 °C. La période de maturation des grains requiert de la chaleur et un temps sec, elle se fera en plusieurs étapes, la maturité laiteuse (le grain contient encore 50% d'humidité et le stockage des protéines touche à sa fin), la maturité jaune (le grain a perdu en humidité et l'amidon a été constitué), la maturité complète (la teneur en humidité atteint environ 20%), le grain est mûr et prêt à être récolté, c'est alors la période des moissons (Feillet, 2000).

Pour énumérer et nommer les stades de développement du blé et autres plantes herbacées, plusieurs échelles de croissance ont été décrites telles que celles proposées par Zadocks et *al.*, (1974) ; Calpouzos et *al.*, (1976) ; et Klepper et *al.*, (1982).



Source : <http://accs.ens-lyon.fr/accs>

Figure 3 : Stades repères du cycle de développement du blé.

I.5. Pathologies

Un grand nombre de ravageurs du blé sont responsables de pertes de rendement ou encore d'une dégradation de la qualité sanitaire des grains, incluant par exemple les limaces, la mouche mineuse, la cécidomyie, des larves de tipules (Boulal et *al.*, 2007). Par exemple, la jaunisse nanisante de l'orge (barley dwarf yellows“ B.D.Y“), qui peut également affecter le blé, est une maladie véhiculée par des pucerons, entraînant des anomalies des parties aériennes de la plante (au niveau de l'épi) ainsi que des malformations des grains.

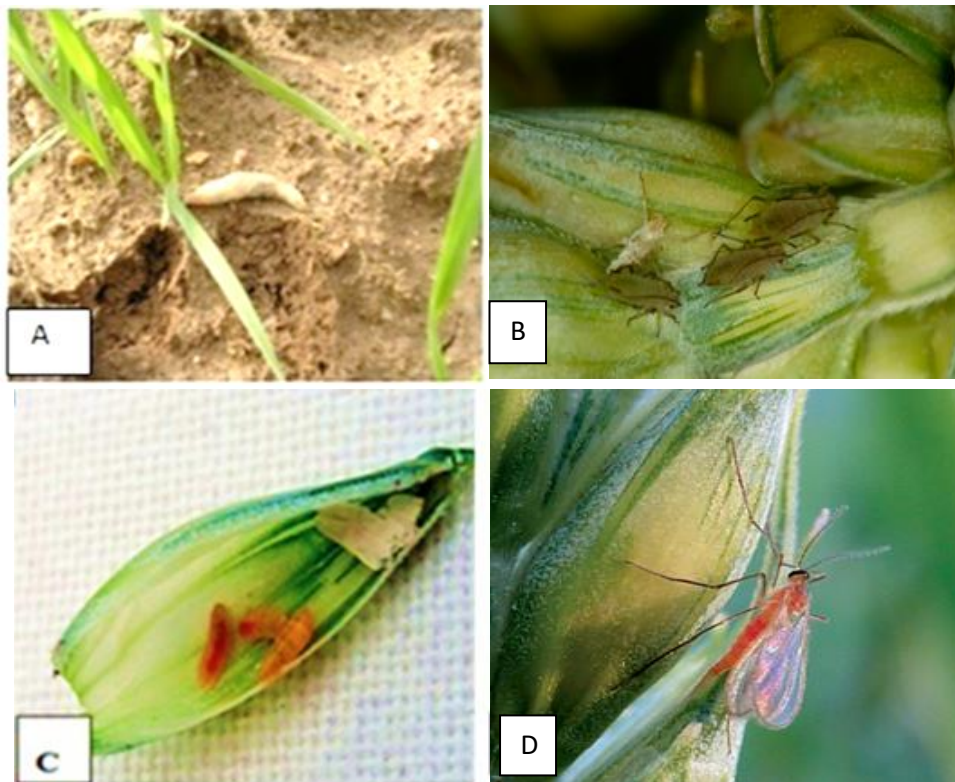


Figure 4 : Quelques ravageurs du blé :

- (A) La limace grise ou noire du blé. (<https://www.agrifind.fr/alertes/ble/ble-limace/>)
- (B) Pucerons *Metopolophium dirhodum*. (<https://www.agrifind.fr/alertes/ble/ble-puceron-metopolophium-dirhodum/>).
- (C et D). La cécidomyie orange du blé *Sitodiplosis mosellana* au stade larvaire et adulte (<https://www.arvalis-infos.fr/surveiller-les-cecidomyies>).

Ce virus est avec WSMV (Wheat Streak Mosaic Virus) et BSMV (Barley Stripe Mosaic Virus), les plus répandus Benmokhtar et Kafi, 1999; Boubetra et Mohamedi, 1998). (Fig. 4). Les nématodes, parasites des plantes, sont des vers microscopiques qui pénètrent les racines au stade larvaire et y forment des galles (ex : *Heterodera avenae* Wollenweber ; *Heteroderamani* Mathews). En parasitant le système racinaire, ils affectent considérablement le développement de la plante (Mokabli, 2002 ; Khenioui, 2011).

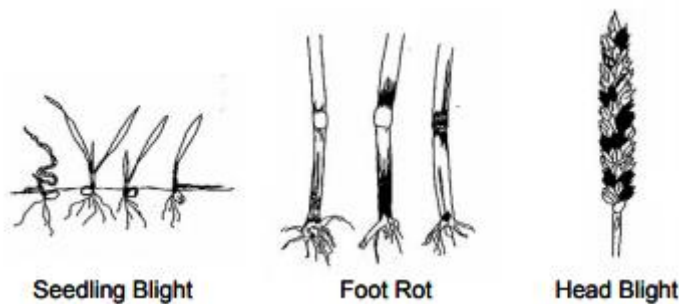
Quelques bactéries de type *Erwinia*, *Xanthomonas* et *Pseudomonas* se développent sur le blé. On dénombre plusieurs champignons pathogènes du blé parmi lesquels on peut compter ceux qui induisent le piétin verse et le piétin échaudage (agent causal : *Gaeumannomyces graminis*), les septorioses (agents causal : *Septoria tritici*, *Septorianodorum*), la carie (agent causal : *Tilletia tritici*), l'oïdium (agents causal : *Erysiphegraminis*), le charbon nu (agent causal : *Ustilago tritici*), le charbon foliaire (agent causal: *Urocystis agropyri*), les rouilles brune, noire et jaune (agent causal : *Puccinia*), ou encore la fusariose de l'épi (Sayoud, 1987). En plus d'affecter les rendements de récolte, la fusariose de l'épi génère également des problèmes phytosanitaires liés à la production de toxines, appelées mycotoxines, produites par le champignon et qui s'accumulent dans les grains.

II. LA FUSARIOSE

II.1. Généralité sur la Fusariose

La fusariose est une maladie affectant les céréales à petits grains telles que le blé, l'orge, l'avoine ou également le maïs (Sutton, 1982; Parry, et *al.*, 1995). Elle est associée à un complexe d'espèces fongiques regroupant deux genres de champignons phytopathogènes : *Fusarium* et *Microdochium* (Arseniuk et *al.*, 1999). La maladie peut affecter diverses parties de la plante, des racines jusqu'aux épis, et il est possible de distinguer plusieurs types de fusarioses (Parry et *al.*, 1995):

- La fusariose des semences ou « seedling blight »
- La fusariose du collet ou « foot rot »
- La fusariose de l'épi ou « head blight »



Source : Parry et *al.*, 1995.

Figure 5 : Types de fusariose.

Notre étude est centrée sur la fusariose de l'épi. La fusariose a été décrite pour la première fois en 1884 en Angleterre. Depuis, la fusariose a progressé à travers le monde et de récentes épidémies ont été rapportées en Asie, Canada, Europe et Amérique Nord (Goswami et Kistler, 2004). Le centre international pour l'amélioration du maïs et du blé ("International Maize and Wheat Improvement Center, CIMMYT") a identifié la fusariose comme un facteur majeur limitant la production de blé dans de nombreuses parties du monde (Goswami et Kistler, 2004).

L'importance économique de la fusariose est attribuée aux pertes de rendements considérables (avortement des fleurs, diminution du nombre et du poids des grains) et à l'altération de la qualité des grains (Pirgozliev et *al.*, 2003). Les grains de blé fusariés sont

petits, légers, ridés et parfois couverts d'un duvet blanc ou rose (fig.6) (Champeil et *al.*, 2004).

Après inoculation d'épis de blé par *F. culmorum*, Häni, 1981 a observé des pertes de rendement de 60%. Au cours d'études menées en champs avec du blé infecté artificiellement (Arseniuk et *al.*, 1993) ont observé que le poids de 1000 grains, le nombre de grains par épi et le poids moyen des épis étaient réduits de 15%, 18% et 22% respectivement.

En Nouvelle-Zélande en 2000, 45% des cultures de blé de printemps étaient infectées par la maladie (Cromey et *al.*, 2002). En Chine, la fusariose de l'épi est considérée comme la maladie la plus préjudiciable pour les cultures d'orge et de blé. De 1951 à 1990, 7 épisodes d'épidémies sévères ont eu lieu dans ce pays et ont engendré plus de 40% de pertes de rendement (Leonard et Bushnell, 2003).

En Europe, plusieurs épidémies ont également été recensées. En Roumanie, la maladie a engendré jusqu'à 40% de pertes dans les années 80. En Hongrie, en 1970, la maladie sur le blé a entraîné 40 à 50% de pertes de rendement (Parry et *al.*, 1995). Ces données montrent clairement les pertes agronomiques et donc économiques liées à la fusariose.

La fusariose affecte également les qualités nutritives et technologiques des grains, ce qui a des conséquences néfastes lors des processus de transformations industrielles des grains (Prescott et *al.*, 1987 ; Ballois, 2012). Il a été mis en évidence que l'invasion du grain de blé par *F. graminearum* entraînait la dégradation des grains d'amidon, des protéines de réserve et des parois cellulaires (Bechtel et *al.*, 1985).

(Dexter et *al.*, 1997) ont observé que les farines issues d'échantillons de blé contenant des grains contaminés par *Fusarium* présentaient des qualités de panification (cuisson) non satisfaisantes. (Pirgozliev et *al.*, 2003).

II.2. Symptômes de la fusariose de l'épi

Les attaques de l'épi ont lieu lors de la floraison. Le champignon peut attaquer les glumes, l'attache d'un épillet, le rachis ou le col de l'épi. Au début, seuls quelques épillets sont atteints, tandis que le reste de l'épi est encore vert. Ensuite, la partie supérieure de l'épi sèche prématurément avant que tout l'épi ne meure.

Les premiers symptômes apparaissent souvent au centre de l'épi d'où ils progressent ensuite vers le haut et vers le bas. Les épillets attaqués prennent une coloration violacée. La maladie se développe et se propage parfois très rapidement et peut affecter la totalité de l'épi. Quand la base de l'épi est attaquée, la totalité de l'épi se dessèche.

La fusariose de l'épi est souvent associée à une coloration rose- orangée ou violacée au niveau des épillets qui correspond aux fructifications du champignon (Clavel, 2006 ; Carver, 2009). Les grains contaminés sont plutôt ratatinés, petits et de coloration blanchâtre à rosâtre à cause de la présence de mycélium dans le sillon du grain (Bailey et al., 2004 ; Shaner, 2003 in Bérubé, 2010).

II.3. Les différentes espèces fusarienne responsables de la fusariose de l'épi

Fusarium est un champignon ascomycète, qui appartient à la classe des Sordariomycetes, l'ordre des Hypocreales et la famille des Nectriaceae. Le genre *Fusarium* a été décrit pour la première fois par Link en 1809.

Le nom de *Fusarium* vient du latin « *fusus* » car les spores de ces moisissures sont en forme de fuseau. Ce genre inclue des espèces imparfaites appartenant à la classe des Deutéromycètes. Les formes parfaites ou téléomorphes de quelques espèces de *Fusarium* sont connues, et appartiennent à la classe des Ascomycètes sous les genres *Gibberella*, *Calonectria* et *Nectria* (Burgess et al, 1994).

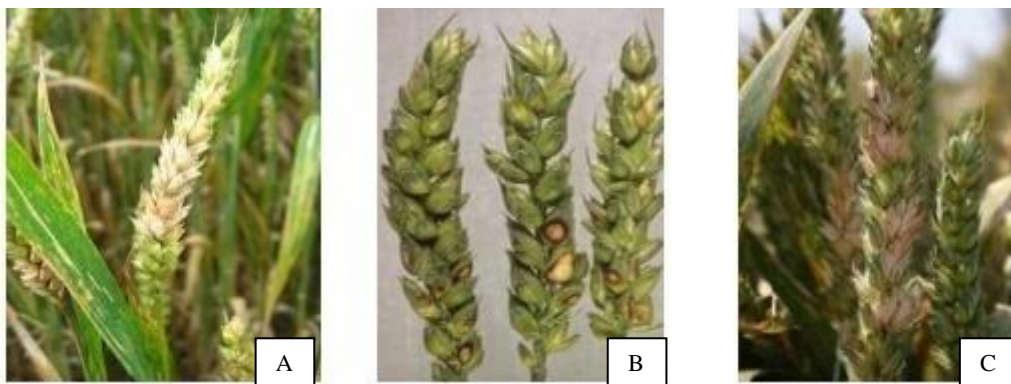
Il regroupe plusieurs espèces pathogènes pour les plantes, l'homme et les animaux (Leslie et al., 2005). Dans cette étude, nous nous intéressons aux espèces pathogènes toxigènes les plus répandues sur le blé.

Environ 20 espèces du genre *Fusarium* et une deux espèces du genre *Microdochium* sont associées à la fusariose de l'épi (Arseniuk et al., 1999 ; De Hoog et al., 2000 ; Champeil et al., 2004). Mais ce sont les espèces de *Fusarium* qui ont suscité le plus d'intérêt, d'abord à cause de leur large distribution dans le monde, puis à cause de la diversité des espèces Impliquées, et ensuite à cause de leur aptitude à produire des mycotoxines.

Parmi les espèces de *Fusarium*, six sont les plus fréquentes sur blé, il s'agit de *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. pseudograminearum*, *F. poae*, *F. avenaceum* et *Microdochium nivale* (Osborne et Stein, 2007). La distribution et la prédominance des espèces dépendent cependant du climat, de la région et de l'espèce céréalière cultivée (Leonard and Bushnell, 2003).



Figure 6 : Grains de blé sains et fusariés



Sources de gauche à droite, chambre d'agriculture, Bayer, INRA, 2013.

Figure 7: (A, B, C) *Fusarium* Head Blight sur blé.

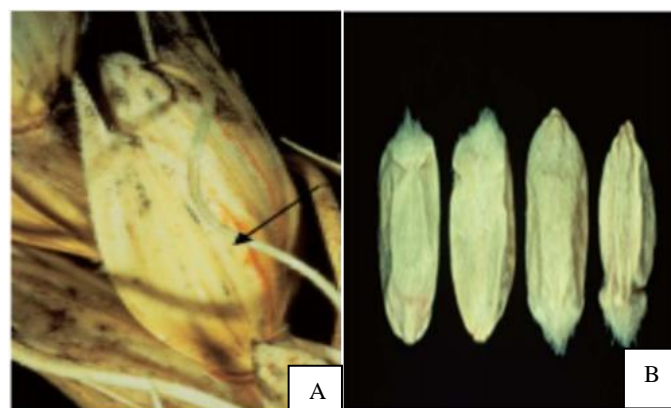


Figure 8 : Symptômes de la gale de l'épi chez le blé :

A: Epillet présentant un amas de spores orange de *Fusarium spp.* (Agrios, 2005),

B: Grains de blé *Fusariés* (Agrios, 2005).

Aux Etats-Unis, une étude sur blé dans le nord du pays a montré la prédominance de *F. graminearum* (68%) et *F. culmorum* (14%), suivis par *F. poae* (8.2%) (Wilcoxon et al., 1988). En Europe, trois espèces sont principalement associées avec la fusariose de l'épi : *F. graminearum*, *F. culmorum* et *F. avenaceum* (Bottalico and Perrone, 2002). En Italie, les espèces prédominantes sont *F. graminearum*, suivie de *F. culmorum* et *F. avenaceum* (Bottalico and Perrone, 2002).

Dans de nombreux pays méditerranéens *F. culmorum* et *F. pseudograminearum* ont été signalées comme espèces dominantes comme la Tunisie, (Kammoun et al., 2010, Kammoun et al., 2009), l'Algérie (yekmour et al., 2015; Touati-Hattab et al., 2016; Laraba et al., 2017) (Hadjout et al., 2017; Abdallah-Nekach et al., 2019).

II.3.1. Identification des espèces de *Fusarium* spp. Responsables de la fusariose de l'épi

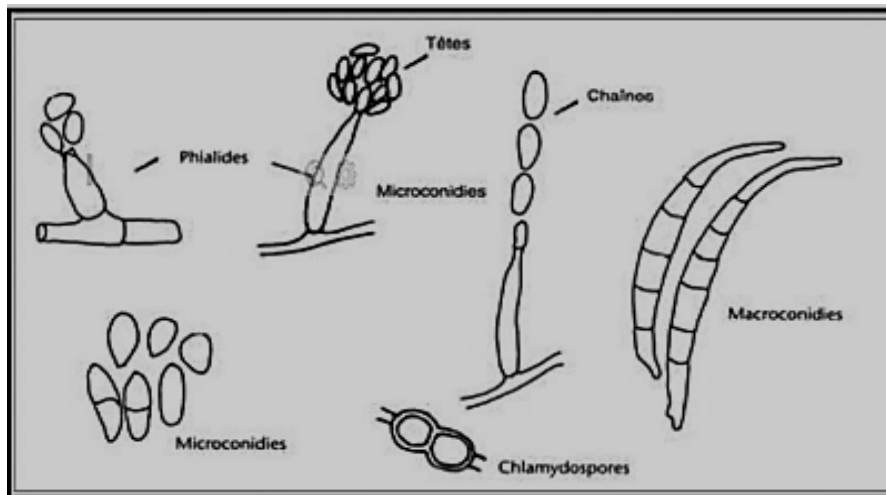
Découvrir l'appartenance des espèces fongiques responsables de la fusariose de l'épi constitue une des premières étapes pour entreprendre toute méthode de lutte contre la maladie.

L'identification morphologique permet de déterminer le genre, mais la séparation des espèces est difficile. Plusieurs critères primaires et secondaires centraux pour l'identification des espèces de *Fusarium* (Wagacha et Muthomi, 2007).

Ils ont été les premiers utilisés pour décrire et classier le genre *Fusarium*, ils correspondent aux caractéristiques primaires comportent la morphologie des colonies, l'aspect et le nombre de septations des macroconidies, la présence ou l'absence des microconidies, et le type du conidiophore. Les caractéristiques secondaires se basent sur la présence ou l'absence des chlamydospores, leur forme ainsi que leur disposition et la présence ou l'absence des sporodochies (Nelson et al., 1983; et Windels, 2000).

Cette identification nécessite la culture des isolats de *Fusarium* spp. Sur différents milieux de cultures. Les plus utilisés sont les milieux PDA (Potato Dextrose Agar) sur lequel, les caractéristiques macroscopiques peuvent être observées (la vitesse de croissance, l'aspect du mycélium aérien, la couleur de l'envers de la colonie et l'odeur), alors qu'en culture sur SNA (Spezieller Nährstoffarmer Agar), les caractéristiques microscopiques peuvent être déterminées, telles que l'observation des macroconidies produites en sporodochia, la forme des micro conidies et le type des phialides portées par des conidiophores du mycélium aérien (Burgess et al., 1994; LNPV, 2002).

Cependant ces techniques microbiologiques limitent l'isolement à des souches, ou encore de mal identifié certaines espèces morphologiquement semblables. Des techniques moléculaires beaucoup plus fiables basées sur la PCR sont recommandées pour confirmer l'identification morphologique.



Source : TABUC, 2007.

Figure 9 : Caractères morphologiques des *Fusarium*

II.3.2. Cycle biologique

La principale source d'inoculum des fusarioses est constituée par les résidus de culture antérieure infectée (Sutton, 1982 ; Parry et al., 1995). D'autres sources d'inoculum sont les nombreuses autres plantes hôtes, les semences contaminées et le sol (Champeil et al., 2004). *Fusarium* est capable de survivre durant l'hiver dans le sol et sur les débris végétaux sous forme d'un mycélium saprophyte ou de chlamydoconidies, selon les espèces (Parry et al., 1995).

En effet, il est possible de distinguer deux types de spores de *Fusarium* qui tous deux conduisent à la contamination des grains de céréales (Sutton, 1982). Les espèces de *Fusarium* spp. Peuvent posséder deux modes de reproduction : un mode asexué

(anamorphe), avec production de conidies et/ou de chlamydospores, et un mode sexué (téléomorphe) avec production d'ascospores.

Il existe quelques espèces de *Fusarium* pour lesquelles une forme sexuée n'a pas (pas encore ?) été mise en évidence. C'est le cas par exemple de *F. culmorum* appartenant à la section taxonomique *Discolor*, section à laquelle appartient également *F. graminearum* dont le téléomorphe bien identifié est *Gibberellazeae*.

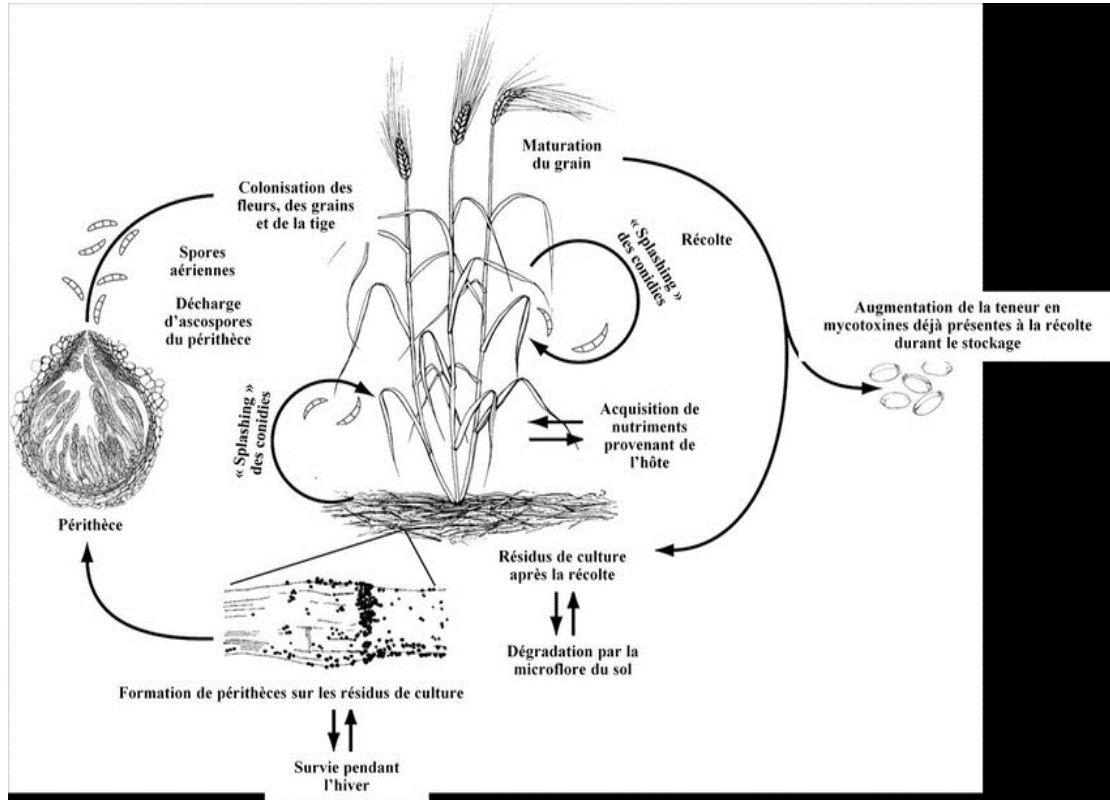
Chez le blé, au moment de l'épiaison pendant la croissance végétative et lorsque les conditions deviennent favorables, les spores parviennent jusqu'aux épis et causent l'infection (Caron et *al.*, 2006).

Pendant cette période, les facteurs climatiques comme la pluie ou l'humidité, associés à la Température élevée auront l'impact le plus important sur le niveau d'infection (Sutton, 1982). L'infection chez le blé a lieu principalement pendant une très courte période, au moment de la sortie des étamines. A ce stade du développement, la fleur du blé est largement ouverte et sujette à l'invasion par le champignon (Häni, 1981 ; Arseniuk et *al.*, 1993).

Les ascospores seraient vraisemblablement la source d'inoculum de l'épidémie (Caron et *al.*, 2006). De plus, il semblerait que le rôle des spores asexuées, formées pendant l'hiver mais aussi durant l'infection des céréales, puisse aussi être une source importante d'inoculum (Osborne et Stein, 2007).

En fin, ces sources d'inoculum (ascospores et conidies) permettent une dispersion à courte et à longue distance du pathogène (Maldonado-Ramirez et *al.*, 2005; Schmale III et *al.*, 2006; Osborne & Stein 2007). Une fois dans la plante, le champignon semble adopter une stratégie d'infection hémibiotrophe (Brown et *al.*, 2010).

L'apparition de nécroses sur les épis, traduisant la croissance du pathogène dans les cellules végétales. Cette phase s'accompagne de la mort des cellules végétales et donc l'adoption d'une relation nécrotrophique par le pathogène (Brown et *al.*, 2010) Elle permet au champignon d'accumuler des réserves importantes, notamment lipidiques, consommées plus tard pendant la mise en place des périthèces à la sortie de l'été et à l'hiver (Guenther et *al.*, 2005).



Source : Trail-2009.

Figure 10: Cycle biologique de *Fusarium* sur céréales.

III. LES TOXINES PRODUITES PAR LES CHAMPIGNONS DU GENRE

FUSARIUM

Une vingtaine de mycotoxines sont considérées comme potentiellement dangereuses pour l'homme et l'animal, du fait de leur production et de leur concentration dans les produits alimentaires (Cahagnier et al., 1995). Les plus importantes sont les aflatoxines, l'ochratoxine A, la zéaralénone, les fumonisines, la citrinine, la patuline, l'acide pénicillique, et les trichothécènes (Pfohl-Leszkowicz et al., 2002; Bennet et Klich, 2003 ; Prandini et al., 2009).

Les espèces de champignon appartenant au genre *Fusarium* produisent une large gamme de mycotoxines nommées également « fusariotoxines ». Parmi les plus connues on trouve la famille des trichothécènes produites par certaines espèces appartenant à la section *Discolor* et la famille des fumonisines produites par de nombreuses espèces appartenant à la section *L'isola*. La zéaralénone, suite à ses effets oestrogénique, est également bien étudiée (Bennett & Klich, 2003).

Le tableau 1 présente les différentes mycotoxines associées aux espèces de *Fusarium* (Bottalico et Perrone, 2002 ; Waalwijk et al., 2003 ; Ioos et al., 2004 ; Roháčik et Hudec, 2005 ; Schollenberger et al., 2007). Parmi les fusariotoxines présentes sur blé en Algérie, les trichothécènes et la zéaralénone sont les plus rencontrées (Touati-Hattab, 2018 ; Abdallah-Nekach et al., 2019).

III.1. Les trichothécènes

Ce sont des sesquiterpènes tricycliques caractérisés par la présence d'un pont époxyde entre les carbones 12 et 13, pont qui leur confère leur toxicité (Bennett and Klich, 2003).

Les trichothécènes (TCT) constituent une famille de métabolites secondaires caractérisées par une structure sesquiterpènes tricycliques caractérisés par la présence d'un pont époxyde entre les carbones 12 et 13, qui leur confère leur toxicité (Bennett and Klich, 2003). Plusieurs genres de champignons comme *Fusarium*, *Trichoderma*, *Trichothecium* et *Myrothecium* sont capables de produire divers trichothécènes (Miller et al., 1991).

Les TCT sont classés en 4 types (A-D) différents selon leurs caractéristiques fonctionnelles (Krska et al., 2001). Les trichothécènes du groupe B sont les plus souvent isolés à partir des substrats contaminés par *F. graminearum* et *F. culmorum*.

Tableau 1 : Les mycotoxines associées aux différentes espèces de *Fusarium*. (Bottalico et Perrone, 2002; Waalwijk et al., 2003; Ioos et al., 2004; Rohacik et Hudec, 2005; Schollenberger et al., 2007).

Espèces	Mycotoxines
<i>F. graminearum</i>	TCTB, ZEA
<i>F. pseudograminearum</i>	TCTB
<i>F. culmorum</i>	TCTB, ZEA
<i>F. avenaceum</i>	MON, BEA, ENN
<i>F. poae</i>	TCTB (NIV)
<i>F. tricinctum</i>	MON, BEA
<i>F. sambucinum</i>	TCTA, BEA, ZEA
<i>F. sporotrichioides</i>	TCTA
<i>F. equiseti</i>	TCTA, TCTB, ZEA
<i>F. acuminatum</i>	TCTA
<i>F. crookwellense (cerealis)</i>	TCTB, ZEA
<i>F. heterosporum (reticulatum)</i>	ZEA
<i>F. oxysporum</i>	F C
<i>F. verticillioides (moniliforme)</i>	FB
<i>F. subglutinans</i>	MON, BEA, FB (rare)
<i>F. langsethiae</i>	TCTA

TCTB : trichothécènes de type B, ZEA : zearalenone, MON : moniliformine, BEA : beauvericine, ENN : enniantine, TCTA : trichothécène de type A, FB : Fumonisine B, FC : Fumonisine C.

Les trichothécènes de type B ou TCTB sont caractérisés en plus de leur fonction époxyde par la présence d'une fonction cétone en position C8. Les molécules constituant les TCTB sont le déoxynivalénol (DON) et ses formes acétylées en position C3 (3ADON) ou en position C15 (15ADON), le nivalénol (NIV) et sa forme acétylée en position C4, la fusarénone X (FX) (Balzer et al., 2004, Bennett and Klich, 2003, Sweeney and Dobson, 1999) (Figure 11). Une souche de *Fusarium* ne peut produire qu'un seul type de TCTB avec un seul type de dérivé acétylé. On parle de chémotype. Certaines souches présentent donc un chémotype DON/15ADON, ou DON/3ADON et d'autres un chémotype NIV/FX (Anderson et al., 1989).

III.1.1. Toxicité et réglementation

En raison de leur structure chimique très différente, Les fusariotoxines ont des effets toxiques différents sur les humains et les animaux.

Les TCTB sont de petites molécules qui peuvent passivement passer à travers la membrane cellulaire. Leur toxicité envers les mammifères est bien documentée (Bennett and Klich, 2003, Eriksen et al., 2004).

Historiquement, les trichothécènes ont été reconnus responsables d'intoxications humaines, et en particulier de l'aleucie toxique alimentaire, survenue en Russie dans les années 1942-1947 (Joffe, 1983). Par la suite, d'autres cas d'intoxications alimentaires humaines associées aux trichothécènes ont été rapportés en Chine, en Inde et au Japon (Eriksen, 2003). Une étude réalisée par Eudes et al. (2000) a montré qu'il y a une corrélation positive entre le niveau des trichothécènes et le développement du cancer de l'œsophage chez l'homme.

Au niveau moléculaire, les trichothécènes et en particulier le DON ont des conséquences variables liées à un effet dose. Ainsi pour des doses dites faibles à modérées, les trichothécènes inhibent partiellement la synthèse protéique (via le pont époxyde responsable de la toxicité des molécules) en interférant avec la fonction de peptidyl transférase de la sous-unité 60S du ribosome. Cette inhibition affecte l'initiation et l'élongation de la synthèse protéique. (Pestka, 2010, Rocha et al., 2005)

Sur cellules animales, les trichothécènes provoquent également l'apoptose, une réponse de mort cellulaire programmée (Rocha et al., 2005). Les trichothécènes sont également phytotoxiques (Masuda et al., 2007). A de très faibles concentrations, ils perturbent la

germination des graines et entraînent le flétrissement, des chloroses, des nécroses et autres symptômes sur de nombreuses variétés de plantes (Rocha et al., 2005).

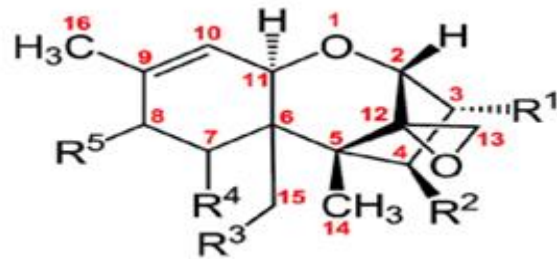


Figure 11 : Structure chimique des trichothécènes de type B.

Tableau 2 : Différentes formes des Trichothécène de type B.

Trichothécène	R ¹	R ²	R ³	R ⁴
Déoxynivalénol DON	OH	H	OH	OH
3-Déoxynivalénol (3-ADON)	O-CO-CH ₃	H	OH	OH
Déoxynivalénol (15-ADON)	OH	H	O-CO-CH ₃	OH
Nivalenol (NIV)	OH	OH	OH	OH
Fusarenone X (FX)	OH		OH	OH

Source : Montibus, 2013.

III.2. La zéaralénone

Elle est également classée comme mycoestrogène. En effet, elle présente suffisamment de ressemblance avec une hormone ovarienne humaine pour se fixer sur le récepteur d'oestrogènes d'où sa toxicité (Fig. 12). Cette caractéristique peut être parfois bénéfique car elle a déjà été utilisée lors d'un traitement post-ménopausale chez la femme (Hagler et al., 2001).

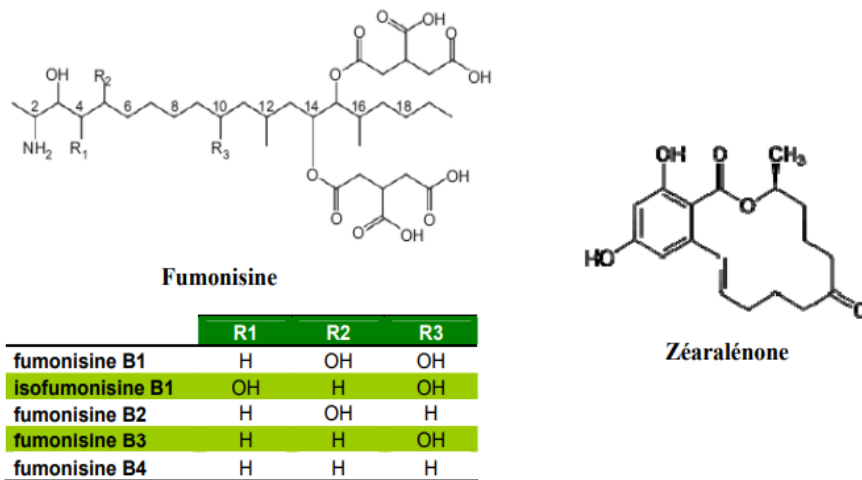
Selon Ripert, 2013, la ZEA est responsable de troubles de la reproduction et notamment du syndrome oestrogénique chez les animaux et elle est susceptible de stimuler le développement de cancer dans les cellules mammaires humaines contenant des récepteurs ostrogéniques (Ripert, 2013). La principale espèce responsable de la production de cette mycotoxine est *Fusarium graminearum*, mais elle est aussi produite par d'autres espèces de *Fusarium* (*F. culmorum*, *F. equiseti*, *F. crookwellense*) (Whitlow et al., 2001).

III.3. Les fumonisines

Cette famille de toxines regroupe plus de 60 molécules classées en 4 catégories (A, B, C et D). Leur structure chimique est composée d'un squelette aminopentol (aminopoly alcool) avec un acide tricarballoylique de chaque côté et un ou plusieurs groupes hydroxyle (Bezuidenhout et al., 1988) (Fig. 12).

Les fumonisines (FB1), sont produites par les espèces de *Fusarium* appartenant à la section l'isola comme *F. proliferatum* et *F. verticillioides*. Ce dernier est le pathogène majeur du maïs et FB1 est le contaminant le plus abondant au niveau mondial. La Fumonisine B1 (FB1) est la plus abondante (Desjardins, 2006). Malgré la large contamination des céréales par les fumonisines, et les lourdes conséquences sur l'économie et la santé humaine et animale, Il est important de signaler que, malgré les connaissances portant sur la biosynthèse et la régulation de la production des fumonisines acquises jusqu'à présent, nous sommes toujours loin de prévenir sa production au champ.

La toxicité des fumonisines est caractérisée par l'apparition de signes cliniques très différents en fonction des espèces (Osweiler et al., 1992). La FBB1 est hépatotoxique, neurotoxique, immunotoxique et cancérigène (Parent-Massin et al., 2013; Ripert, 2013).



Source : d'après Alexander et al. 2009, Bennett & Klich, 2003.

Figure 12 : Structures chimiques des fumonisines et de la zéaralénone.

III.4. Réglementation

La consommation quotidienne de céréales et de leurs produits de transformation, même faiblement contaminées par des mycotoxines, expose le consommateur à des risques chroniques de maladies graves. Soucieuses de ce problème, les instances européennes pour la sécurité alimentaire ont défini une dose journalière tolérable pour les mycotoxines les plus fréquentes en Europe (Tableau 3), ce qui a permis par la suite d'établir une réglementation rigoureuse. En effet, dans les pays de l'Union Européenne, la commission européenne a mis en application le règlement (CE) N° 856/2005 du 06 juin 2005, modifié par le règlement (CE) N° 1126/2007 du 28 septembre 2007, qui détermine les concentrations maximales autorisées pour les principales mycotoxines (Tableau 4), incluant les fusariotoxines, dans les denrées destinées à l'alimentation humaine.

Tableau 3 : Recommandations des instances européennes pour la sécurité alimentaire (EFSA) concernant la dose journalière tolérable de certaines « fusariotoxines ».

Mycotoxines	Dose journalière tolérable par Kg de poids corporel (Kg ⁻¹ p.c.)
Déoxynivalérol	1µg /kg /jour
Nivalérol	0,7µg/kg/jour
Zéaralénone	0,2-0,5 µg/kg/jour
Toxine T-2 et HT-2 séparément ou en combinaison	60 ng/kg /jour
FumonisinesB1, B2, B3 séparément ou en combinaison	2µg/kg/jour

Tableau 4 : Concentrations maximales autorisées de certaines « fusariotoxines » dans les produits alimentaires dans l'Union Européenne (règlement de la Commission européenne n°1881/2006 modifié par le règlement (CE) n°1126/2007).

Produits	Mycotoxines	Valeur µg/kg
Céréales brutes autres que le blé dur, l'avoine et le maïs	Déoxynivalérol	1250
Blé dur et avoine bruts	Déoxynivalérol	1750
Maïs bruts	Déoxynivalérol	1750
Pain	Déoxynivalérol	500
Pâtes (sèches)	Déoxynivalérol	750
Céréales brutes autre que le maïs	Zéaralénone	100
Maïs brut	Zéaralénone	350
Maïs brut	Fumonisines FB1+FB2	4000
Maïs destiné à la consommation humaine directe	Fumonisines FB1+FB2	1000
Céréales petit-déjeuner à base de maïs	Fumonisines FB1+FB2	800
Aliments à base de maïs pour nourrissons	Fumonisines FB1+FB2	200

Source : Jawad, 2010.

III.4. Moyens de lutte contre la fusariose de l'épi

Certaines cultures, comme le maïs et le blé, sont plus sensibles aux attaques de fusariose ; les résidus issus de ces cultures sont des sources d'inoculum pour l'année suivante (Parry et *al.*, 1995). L'utilisation des semences saines et de la fumure azotée de façon rationnelle, ainsi que l'élimination des résidus de culture contaminés par incinération ou enfouissement profond réduit la contamination par les *Fusarium* spp. (Mauler et *al.*, 1997),

III.4.1. Les pratiques culturales

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour lutte contre la fusariose de l'épi, mais ce sont principalement les conditions météorologiques qui vont influencer la présence ou l'absence de maladie (Schaafsma et Hooker 2007; Landschoot et *al.*, 2012).

Cependant La rotation des cultures n'affecte pas beaucoup le taux d'inoculum parce que *Microdochium* et *Fusarium* sont des champignons qui possèdent des formes de résistance. Mais il est à noter que des taux d'inoculum élevés ont été enregistrés dans les systèmes à monoculture (Lenc, 2015).

III.4.2. Lutte biologique

Diamond et Cooke (2003) ont rapporté que l'inoculation des épis par *Phomabetaea* pu réduire les symptômes de la fusariose de l'épi causés par *F. culmorum* de l'ordre de 60%. Les bactéries du genre *Bacillus*, *Pseudomonas*, et *Lysobacter* sont les plus utilisées pour la lutte biologique contre la fusariose de l'épi (Schisler et *al.*, 2002 ; Khan et *al.*, 2004). Deux souches de *Pseudomonas fluorescens* ont montrés aussi un niveau satisfaisant d'inhibition de la croissance in vitro et in vivo de *F. culmorum* (Bojanowski, 2011).

III.4.3. La lutte chimique

Un programme de traitement par fongicides suivant un calendrier peut diminuer l'impact de la maladie et réduit 50 à 60% de sa sévérité. L'efficacité des fongicides est liée au stade physiologique de la plante au moment de l'application (Mc Mullen et *al.*, 2008). Les travaux de Simpson et *al.* (2001) confirment la sensibilité des champignons du genre *Fusarium* aux triazoles (Bromuconazole, Propiconazole et le Tebuconazole) (Homdork et *al.*, 2000; Scherm et *al.*, 2013). Pour *Microdochium* spp. Les fongicides les plus utilisés appartient aux difénoconazole, le tébuconazole, prothioconazole, bitertanole (Glynn et *al.*, 2005; Walker et *al.*, 2010).

III.4.4. La lutte intégrée

La lutte intégrée contre la fusariose du blé est une approche qui combine les différentes méthodes de lutte à savoir la lutte culturale, l'utilisation des variétés résistantes, les traitements chimiques et l'utilisation d'éventuels agents de la lutte biologique (Palazzini et *al.*, 2009).

MATERIEL ET METHODES



I. Matériel végétale

- **Échantillons des blés analysés** : Les échantillons de grains de blé ont été collectés dans différentes structures agricoles d'Algérie, et de diverses variétés (Tableau 5). Le poids minimum de l'échantillon était de 500g.

Tous les échantillons ont été conservés à 4°C dans des sacs à échantillonnage en polyéthylène jusqu'à l'analyse.

Tableau 5 : Liste des échantillons analysés.

Espèces	Variétés	Région	Année de récolte
Blé Dur	Vitron	El-Menia	2019
	Semitro	El-Menia	2019
	Hamray	Sidi Makhloof	2019
	Canada (chatla)	Sidi Makhloof	201
	El bagla	Nacre Ben Chehra	2018
	V _{L(k)}	Kasher el Hirane	2019
	Vitron	Affloue	2019
	V _{L1}	Sidi Makhloof	2019
	BSL R ₁	Bordj-bouarreridj	2014
	GTA	Sétif	2013
	Mahon	Oued Semar	2013
Blé Tendre	El baidé	Sidi Makhloof	2019
	V _{L2}	Sidi Makhloof	2019
	V _{L3}	Sidi Makhloof	2019
	Importé	France	2018
	V _{L1(a)}	El-Assafia	2014
	V _{L2(b)}	El-Assafia	2013
	V _{L(g)}	El-Grara	2019

II. Méthodes

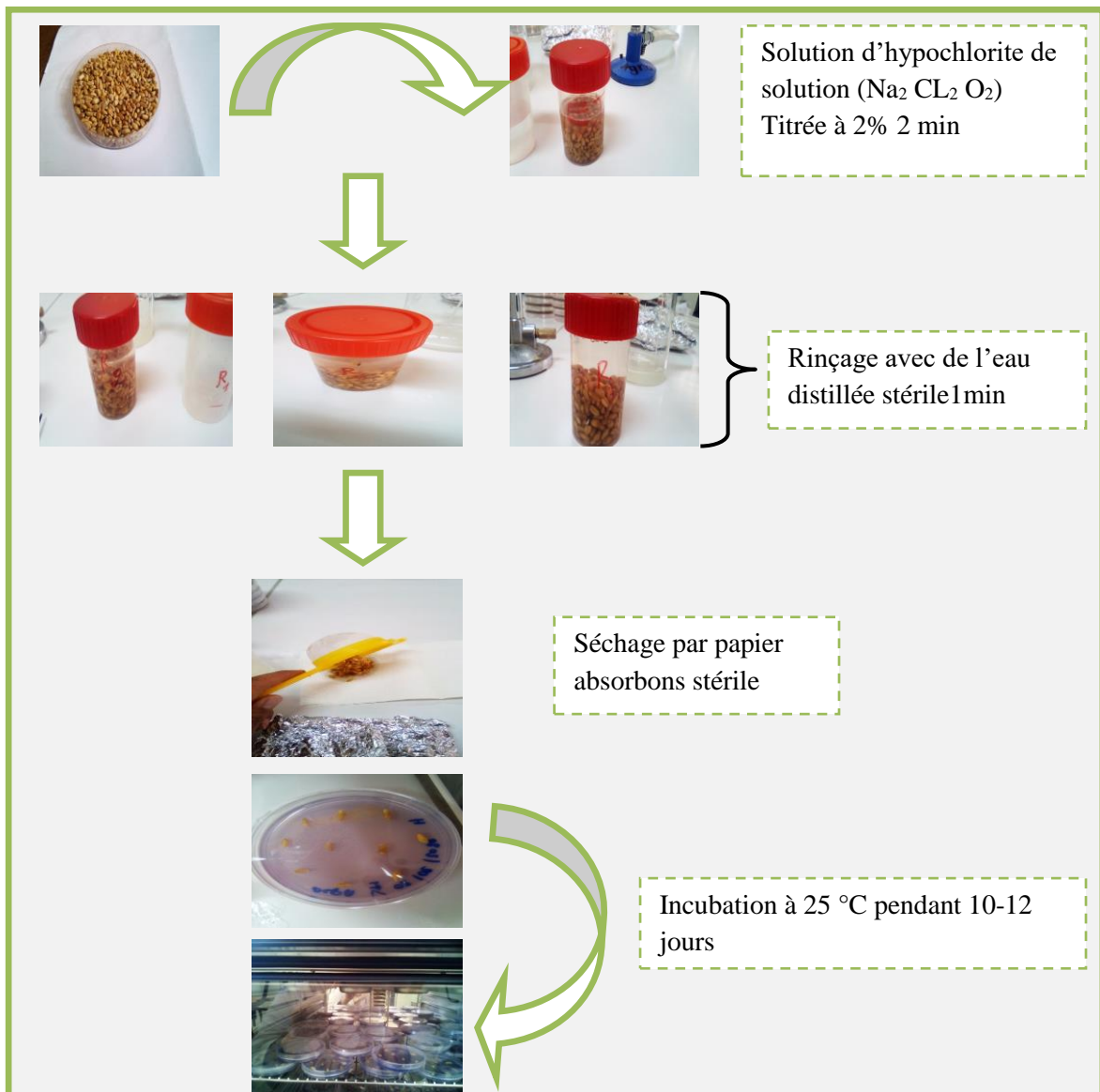
Pour isoler les espèces de *Fusarium* spp. Un sous-échantillon de 100 grains de chaque échantillon a été désinfecté superficiellement dans une solution aqueuse d'hypochlorite de sodium à 2 % pendant 2 min, puis a été rincé trois fois avec de l'eau distillée stérile pendant 1 min. Les grains ont été placés aseptiquement sur un milieu de culture Dichloran-Chloramphenicol-Peptone-Agar (DCPA, Annexe 1) (Cromey et *al.*, 2002). Pour chaque échantillon, 10 boîtes de DCPA milieu ont été utilisées.

Le milieu DCPA étant semi sélectif, favorable les espèces du genre *Fusarium* vont se développer de manière conséquente sur le milieu (vitesse de croissance radiale >2 mm / jour mycélium aérien abondant). Ensuite les boîtes de pétri ont été incubées pendant 10-12 jours dans une enceinte climatisée, thermo statée à 22°C (+/- 3°C) avec une photopériode d'éclairage et d'obscurité alternant toutes les 12 heures et encore à l'obscurité dans une étuve réglée à 25°C.

Après incubation, les cultures de *Fusarium* spp. Obtenues en mélange avec d'autres champignons ont été purifiées par des repiquages successifs et par culture monospore.

II.1. Purification par culture monospore

Pour la réalisation de la monospore, une suspension de spores a été préparée à partir d'une culture âgée de 7 jours. Une goutte contenant 1-10 conidies/ml a été étalée à l'aide d'une pipette pasteur uniformément sur une boîte de Pétri contenant de l'eau gélosée. Les boîtes ont été ensuite incubées sous lumière continue à 20 °C. Après 24 à 48 h des spores individualisées en germination apparaissent, ces dernières ont été repiquées dans des boîtes de Pétri contenant du PDA et ont été mise à incuber dans la chambre de culture.



Source :Originale

Figure 13 : Technique de plaquage direct (2020).

II.2. Identification morphologique des isolats

L'identification de *Fusarium* spp. A été basée initialement sur les critères culturaux et microscopiques selon les descriptions d'Aoki et O'Donnell (1999), et Leslie et Summerell (2006).

Les critères morphologiques tels qu'établis dans les clé d'identification Sont les suivants (Aoki et O'Donnell (1999), Leslie et Summerell 2006):

- ✓ L'aspect et la coloration du mycélium sur milieu PDA.
- ✓ La taille, la forme des conidies (cellule apicale et basale).
- ✓ La présence de chlamydozoospores, périthèces et micro conidies.
- ✓ Les résultats de l'identification des espèces fongiques contaminant le blé sont exprimés en pourcentage de grains infectés dans chaque échantillon de la façon suivante:

$$\text{Taux de contamination (\%)} = \frac{\text{nombre de grains infectés par un genre ou espèce}}{\text{nombre total des grains}} \times 100$$

La fréquence et densité relative des genres et des espèces sont calculées selon les formules de Marasas et *al.* (1988)

$$\text{Fréquence} = \frac{\text{nombre d'échantillos contaminés par un genre ou une espèce}}{\text{nombre total des échantillons}}$$

$$\text{Densité relative (\%)} = \frac{\text{nombre d'isolats d'un genre ou d'une espèce}}{\text{nombre total des genres des ou espèces isolées}} \times 100$$

II.3. Quantification par HPLC de la production des trichothécènes B par les isolats de *Fusarium* spp.

II.3.1. Culture sur riz pour extraction des trichothécènes B (TCTB)

Le riz a été utilisé pour quantifier les teneurs en trichothécènes de type B (TCTB) produites par Quinze Isolats de *Fusarium*.

Au préalable le riz utilisé comme substrat a été vérifié qu'ils ne contenaient aucune trace de TCTB (NIV, DON, Fusarenone X (FX), 15-ADON et 3-ADON) détectables. Avant inoculation, le riz a été humidifié avec de l'eau distillée stérile durant 48 heures pour que l'activité thermodynamique de l'eau (a_w) des grains soit ajustée entre 0,98 et 1,00. Puis, 110 g de grains ont été distribués dans des Erlenmeyer de 500 ml, puis stérilisés deux fois par autoclavage à 110 °C pendant 25 min comme décrit par Bakan *et al.* (1998).

Les isolats de *Fusarium* spp ont été repiqués dans des tubes PDA inclinés et incubés pendant 9 jours à 25 °C à l'obscurité. Les suspensions de spores requises pour inoculer le riz ont été obtenues en ajoutant 6 ml d'eau distillée stérile par tube suivi par une agitation modérée. Le volume nécessaire d'inoculum a été ajouté stérilement de façon à obtenir une concentration finale de 10^4 spores/ml par comptage sur cellule de Thoma.

Enfin, chaque Erlenmeyer a été inoculé par 0,5 ml d'une suspension sporale, et placé à l'obscurité à 25 °C. Trois répétitions ont été préparées pour chaque isolat testé. Après 3 semaines d'incubation, les milieux de cultures ont été séchés à 75 °C pendant 48 h, puis broyés afin d'obtenir une poudre fine.

Notre analyse n'a pas pu être achevée jusqu'au bout, malheureusement nous n'avons pas pu faire la dernière étape de l'extraction et identification des Fusariotoxines à la lumière des résultats obtenus précédemment, grâce au Covid-19.

Cette dernière étape concerne l'analyse, des fractions de 5 g de chaque échantillon broyé, devraient être extraites par 20 ml d'un mélange acetonitrile: eau (84/16 ; v/v), puis mises en agitation pendant 1 heure suivie d'une centrifugation; 3 ml de filtrat normalement récupérés de la phase organique, ensuite évaporés dans une étuve à (50 °C). Les échantillons seront conservés à -4°C pour l'analyse ultérieure à l'HPLC.

RESULTATS ET DISCUSSION



I. Résultats

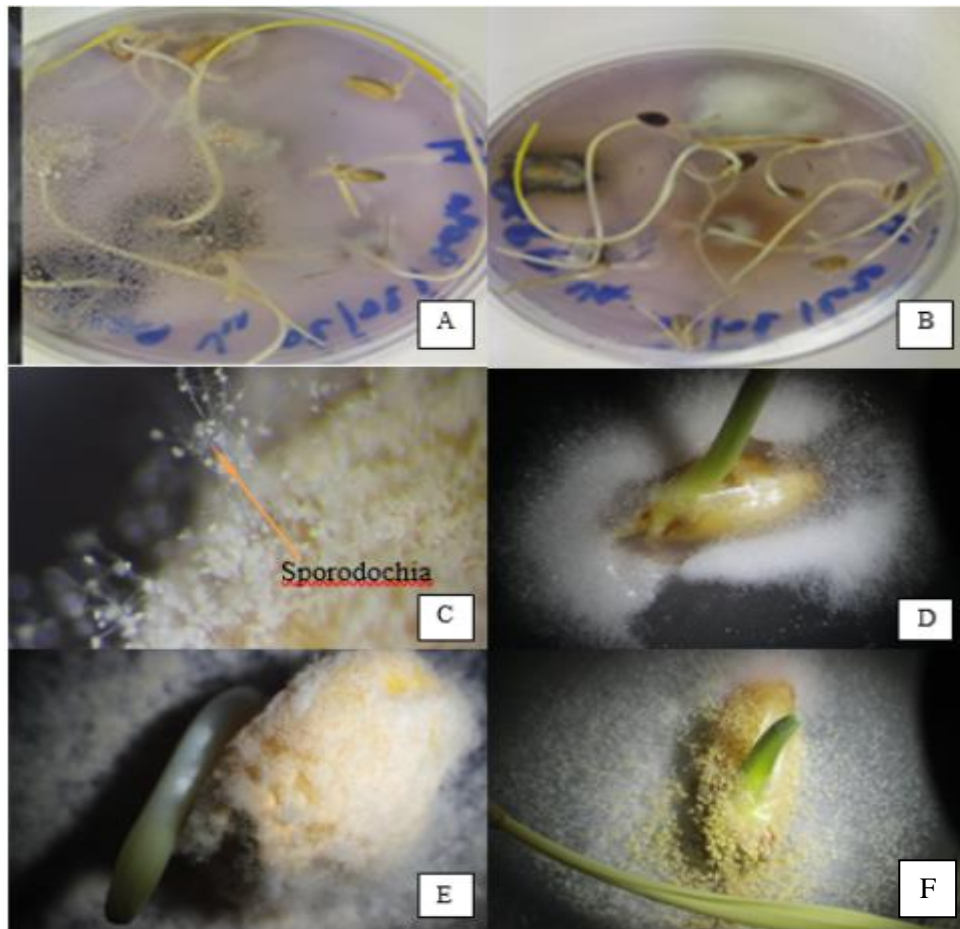
I. 1. Résultats d'isolements de la mycoflore associée aux semences

➤ Description de la population fongique totale

Cette étude a été conduite dans le but d'isoler et d'identifier la microflore fongique qui contamine les blés en Algérie. Au cours de ce travail, 18 échantillons de blé ont été collectés sur quatre campagnes agricole. A partir de 100 grains collectés, les champignons appartenant aux genres *Fusarium*, *Aspergillus* et *Penicillium* ont été isolés, dénombrés, identifiés et conservés. Le potentiel mycotoxinogène des Fusaria devrait être confirmé et déterminé, mais malheureusement ça n'a pas été fait, car nous avons été obligé d'arrêter les manipulations au laboratoire.

Une population de 1062 isolats a été récupérée à partir des blés étudiés. Les résultats de la composition de la mycobiota (flore fongique) des grains de blé sont détaillés dans le tableau 6.

Le genre *Alternaria*, *Penicillium* *Aspergillus* et indépendamment des années étaient toujours minoritaire comparé au genre *Fusarium*. Leurs taux étaient respectivement de 9,61% ; 4,78 % et 1,33%. Cependant le genre *Fusarium* était fortement plus marqué, son pourcentage de contamination était de 43,27%.



Source : Original

Figure 14 : Germes infectés par la moisissure des neiges (*Fusarium* spp.), caractérisée par une couche de spores de teinte blanche et rose pâle.

(A, B) : grains de blé contaminé Colonies de *Fusarium* et *Aspergillus* sur DCPA (A, B) grains de blé contaminé.

(C, D, E, F) : Colonies de *Fusarium* et *Aspergillus* sur DCPA.

Tableau 6 : Evaluation du taux de contamination des semences par les microflore fongiques externe et interne. (Nombre de contaminants).

Espèces	Variétés	Région	Année de récolte	<i>Fusarium</i>	<i>Alternari</i>	<i>Penicillium</i>	<i>Aspergillus</i>	Totale
Blé Dur	Vitron	El-Menia	2019	38	16	18		72
	Semito		2019	49	22	14	1	86
	Hamray	Sidi Makhloof	2019	27	16	9		52
	Canada (chatla)		2018	46	12	5	4	67
	V _{L1}		2019	79		8	3	91
	El-bagla	Nacre Ben Chehra	2018	14		2	9	25
	V _{L(k)}	Kasher el Hirane	2019	51	8	23		82
	Vitron	Affloue	2019	40	4	1	1	46
	BSL R1	Bordj-bouarre ridj	2014	54	4	3	1	62
	GTA	Sétif	2013	89		2		91
	Mahon	Oued Semar	2013	55	1			56
Blé Tendre	El-baidé	Sidi Makhloof	2019	9	1			10
	V _{L2}		2019	38	28			66
	V _{L3}		2019	29		1		30
	Importé	France	2018	67	4			71
	V _{L(a)}	El-Assafia	2014	22	28		4	54
	V _{L(b)}		2013	25	14		1	40
	V _{L(g)}	El-Grara	2019	47	15			62
Nombre total d'isolat/genre				779	173	86	24	
Taux de Contamination %				43,27%	9,61 %	4,78 %	1,33%	

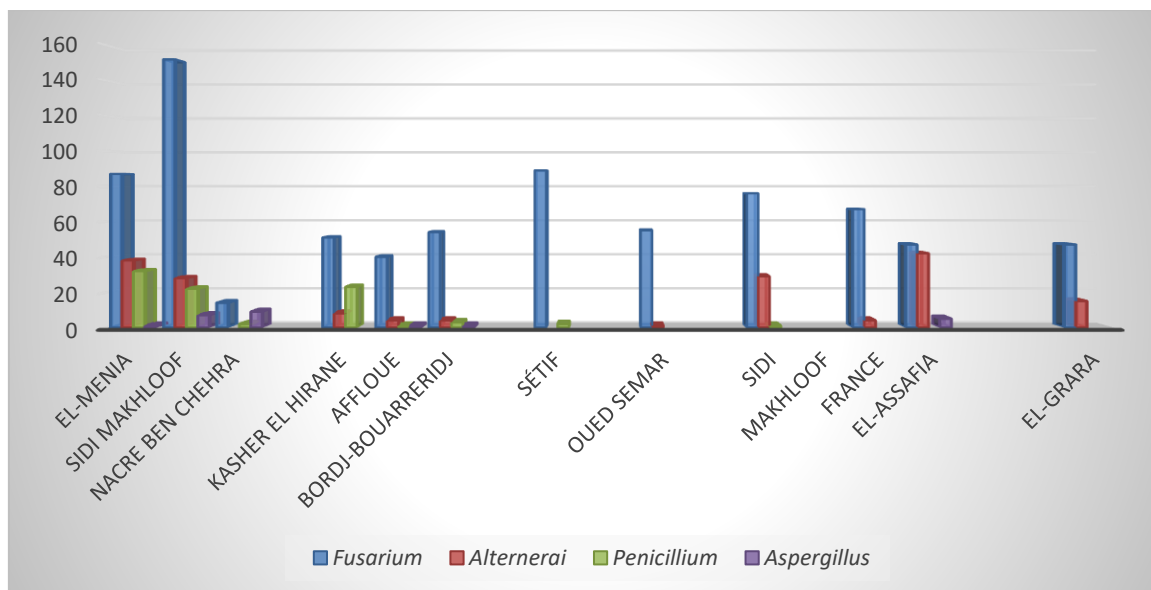


Figure 15 : Présentation des % d'infections de la flore fongique des grains de blé par région

Les résultats obtenus montrent que les variétés (GTA, VL1 et Importé) sont les plus contaminées avec un taux de contamination de 89%, 79% et 67%. Alors que les variétés (Mahon, BSLR1, VL(k), VL(g), Semito et Canada (chatla)) présentent un taux de contamination de (55%, 54%, 51%, 49%, 47% et 46%) et en fin les variétés (El-baidé, El-bagla, VL(a), et VL(b)) ont montré un faible taux de contamination de l'ordre de (9%, 14%, 22% et 25%).

I.2. Identification morphologique des espèces de *Fusarium* spp.

Les identifications morphologiques basées sur les critères cultureux (la coloration du mycélium, la présence ou l'absence de pigment dans le milieu ainsi que sa couleur) et microscopiques (la présence ou absence des microconidies présence des cellules conidiogènes annélidiques, la forme et la taille des conidies), établis par Leslie et *al.*, (2006) ; Ismail et *al.*, (2015) et par Samuel et Hallet, (1983) ; ont permis de confirmer l'appartenance de nos isolats au genre *Fusarium*.

Les colonies obtenues de *Fusarium* présentent le plus souvent un mycélium peu abondant blanc rosé ou rose jaune le verso est rouge carmin ou blanc jaune, la texture du thalle est du veteuse. L'identification morphologique a permis de montrer l'implication de neuf espèces à savoir : *F. culmorum* ; *F. pseudograminearum* ; *F. poea* ; *F. graminearum* ; *F. equiseti* ; *F. avenaceum* ; *F. chlamdosporium*; *F. accutatum* ; *F. oxysporum* et *Microdochium nivale* (Figures 16 ;17 et 18).

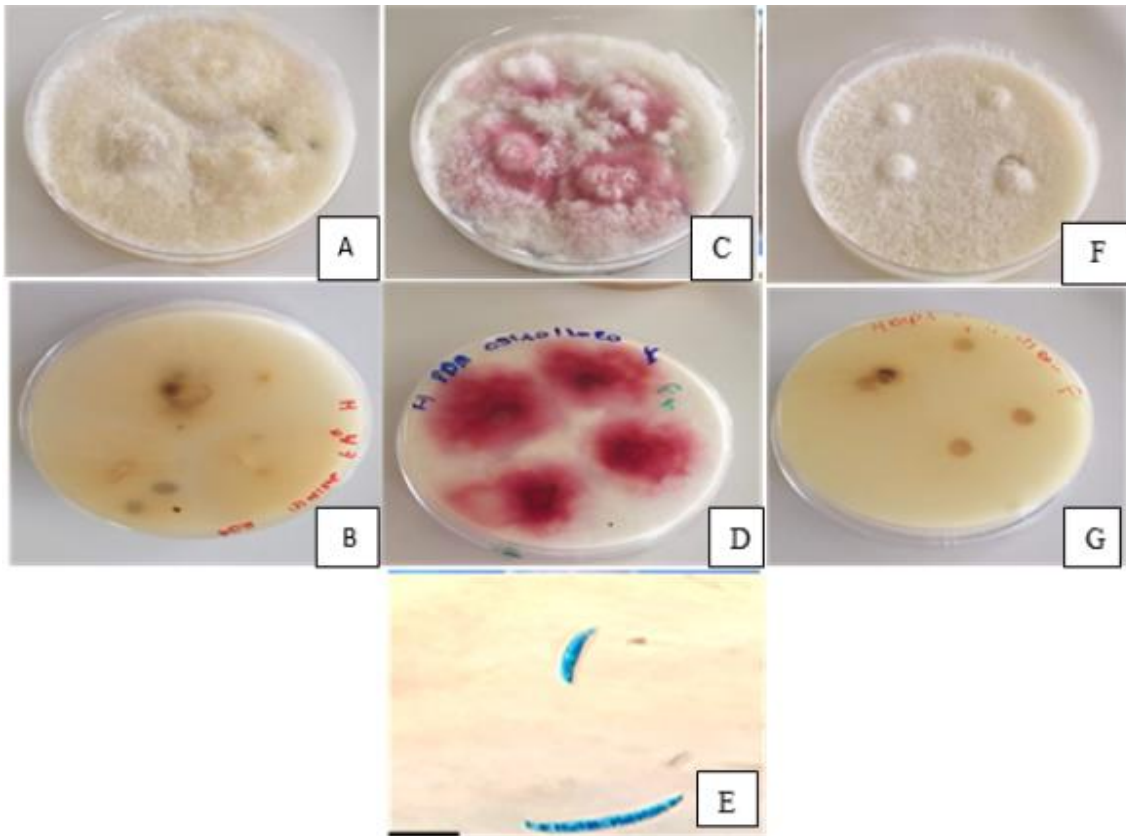


Figure 16 : Aspects morphologiques et microscopique des colonies des isolats de *Fusarium* spp. Isolés à partir des grains de blé (G x 40): :

(A ; B) : Recto et verso de la colonie de *F. equiseti* mycélium abondant qui, au départ est blanc, mais devient brun avec l'âge.

(C ; D) : Recto et verso de la colonie de *F. graminearum* mycélium abondant, aérien, blanc à jaune, parfois rosé ; (E) Macroconidies de *F. graminearum* Schwabe en forme de faucille, la forme de la cellule basale distinctement pédiforme et la cellule apicale est en forme de bec, la taille relative moyenne grande. Mycéliums denses qui varient du blanc au jaune en passant par l'orange pâle.

(F ; G) : Recto et verso de la colonie de *F. chlamdosporium* mycélium blanc généralement avec grisâtre est passé à un pigment bordeaux dans l'agar, ou bien une pigmentation jaune à brun pâle a également été signalée .

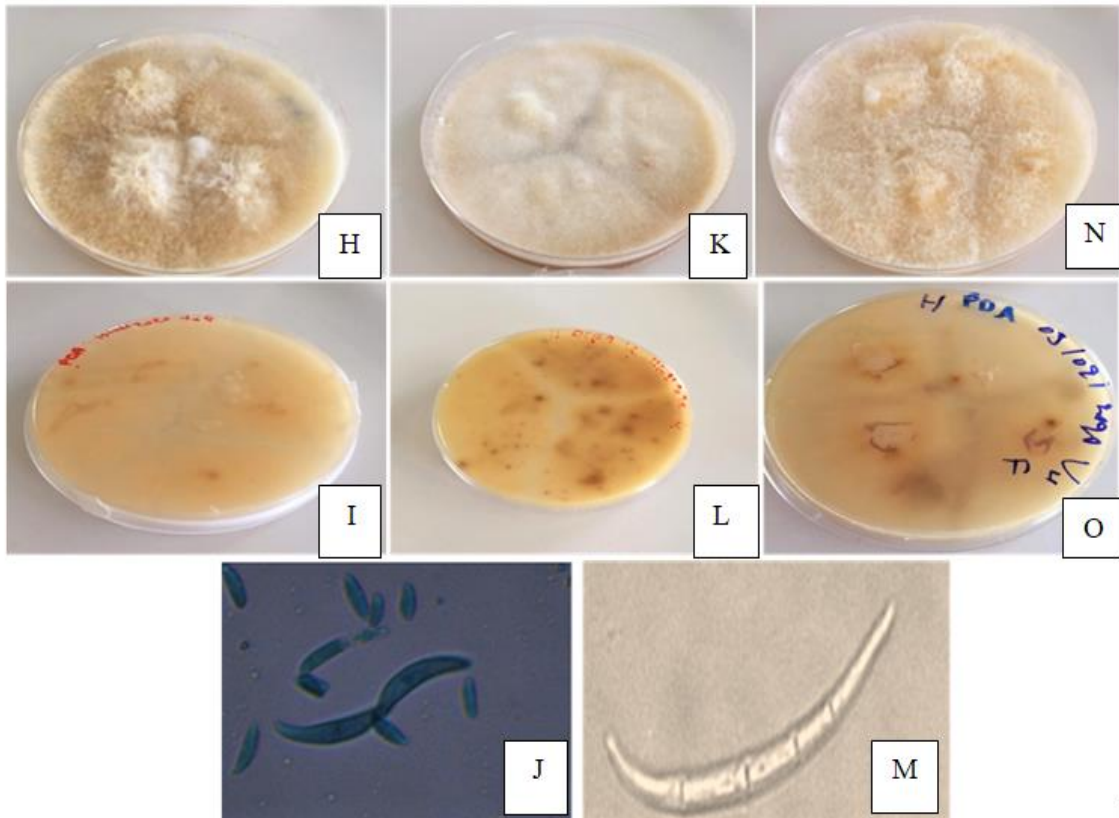


Figure 17 : Aspects morphologiques et microscopiques de *Microdochium nivale* ; *F. avenaceum* et *F. accutatum* isolés à partir des grains de blé (G x 40) et (G x 100):

(H ; I) : Recto et verso de la colonie de *Microdochium nivale* mycélium ras et parfois légèrement aérien dense et feutré. Les cultures sont de couleur blanche à rose saumon ; (J) Macroconidies de petites tailles et curvées de *M. nivale*.

(K ; L) : Recto et verso de la colonie de *F. avenaceum* mycélium abondant, qui varie du blanc au jaune clair en passant par rose grisâtre ; (M) macroconidies de *F. avenaceum* en forme de fuseau, longues et effilées très caractéristique à paroi épaisse.

(N ; O) : Recto et verso de la colonie de *F. accutatum* mycélium blanc à blanc rosé avec des pigments orange clair dans la gélose.

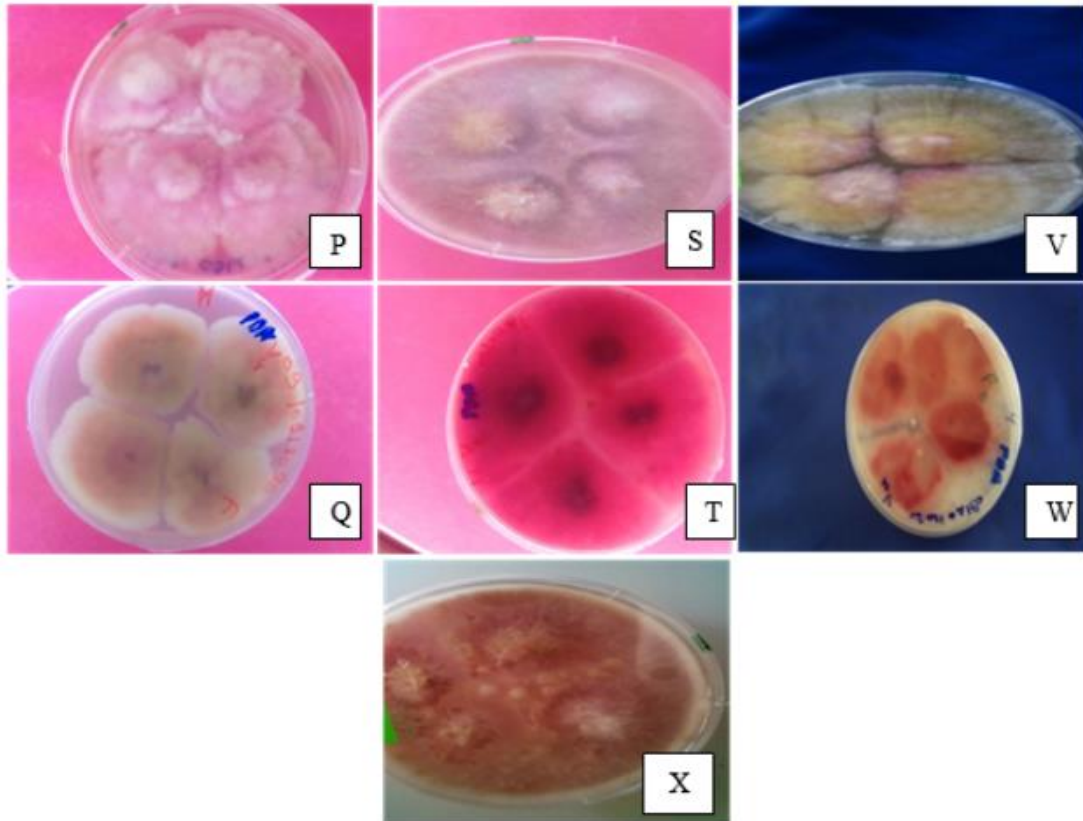


Figure 18 : Aspects morphologiques des colonies des isolats de *Fusarium* spp. Isolés à partir des grains de blé :

(P ; Q) Recto et verso de la colonie de *F. poea* mycélium aérien duveteux de couleur blanc, rouge dans sa partie aérienne et devient rose au contact de l'agar.

(S ; T) Recto et verso de la colonie de *F. pseudograminearum* le mycélium peut remplir complètement la boîte de Pétri. Des pigments rouges se forment dans la gélose.

(V ; W) Recto et verso de la colonie de *F. oxysporum*, les mycéliums peuvent être floconneux, clairsemés ou abondants et varient en couleur du blanc au violet pâle.

(X) Recto et verso de la colonie de *Fusarium culmorum*, elles sont duveteuses, d'abord blanche puis à rouges brunâtre. Le revers est rouge à pourpre.

Tableau 7 : Densité et fréquence des espèces de *Fusarium* spp.

Espèce	Densité %	Fréquence
<i>F.culmorum</i>	23,66	0,4
<i>F. pseudograminearum</i>	17,75	0,3
<i>F .poea</i>	14,79	0,25
<i>F.graminearum</i>	14,79	0,25
<i>Microdochium nivale</i>	11,83	0,2
<i>F. equiseti</i>	7,69	0,13
<i>F .avenceaum</i>	4,73	0,08
<i>F .chlamdosporium</i>	2,36	0,04
<i>F. accutatum.</i>	2,36	0,04
<i>F .oxysporum.</i>	0,59	0 ,01

Tableau 8 : Taux de contamination de *Fusarium* spp. De blé par région.

Région géographique	Année de récolte	Blé dur	Blé tendre	>0% à <15%	15% >à <30%	>30% à <50%	>50%
El-Menia	2019	2			1	1	
Sidi Makhloof	2019	3	3	1	1	1	
Nacre Ben Chehra	2018	2		1			1
Kasher el Hirane	2019	1		1	1		
Oud Semar	2013	1					1
El-Assafia	2013		2		2		
France	2018		1				1
El-Grara	2019		1			1	
Sétif	2013	1					1
Bordj-bouarreridj	2014	1					1
Affloue	2019	1			1		

Les résultats de nos isollements ont révélé qu'en Algérie *F. culmorum* est l'espèce prédominante représentant une fréquence de 0,4 des espèces isolées.

L'espèce *F. pseudograminearum* était la deuxième espèce par ordre d'importance avec une fréquence d'isolement de 0,3. La présence de *F. poea*, *F. avenaceum*, *F. graminearum* avec des fréquences entre 0,25 et 0,2 ont été notées suivies par les espèces de *Microdochium nivale*, *F. equiseti*, *F. avenaceum*, *F. chlamdosporium*, *F. accutatum* et *F. oxysporum* avec des fréquences relativement faibles (Tableau 7).

Ainsi, l'identification biologique a permis de montrer que pour les variétés analysées, la variété GTA a présenté un taux de contamination le plus élevé par *Fusarium* spp. De l'ordre de 89%.

Les résultats ont montré aussi que les espèces de *Fusarium* spp. ont été observées avec des pourcentages importants de >50% sur les échantillons récoltés dans les régions, Nacre Ben Chehra ; Oud Semar ; France ; Sétif ; Bordj-bouarrerdj. Les échantillons les moins contaminés sont ceux de Kasher el Hirane et El-Assafia (Tableau 8).

II. Discussion

L'identification morphologique des espèces fongiques isolées des grains de blé a été basée sur différents critères morphologiques proposés par Leslie et *al.*, (2006) ; Ismail et *al.*, (2015) et par Samuel et Hallet, (1983). Une collection de 169 isolats du genre *Fusarium* a été purifiée et exploitée pour l'identification.

Les résultats de la recherche des *Fusarium* spp. au niveau des grains de blé récoltés de différents étages bioclimatiques en Algérie ont montré une grande diversité de ces espèces.

En effet, l'identification morphologique a permis de montrer l'implication de 10 espèces à savoirs *F. culmorum*, *F. pseudograminearum*, *F. poae*, *F. graminearum*, *Microdochium nival*, *F. equiseti*, *F. avenaceum*, *F. chlamdosporium*, *F. accutatum*, *F. oxysporum*.

Les résultats de ces analyses sanitaires réalisées sur des échantillons récupérés de quatre compagnes agricole, ont montré que *F. culmorum* est l'espèce prédominante en Algérie sur grains blé, suivi par le *F. pseudograminearum* qui a été observé également assez fréquemment. Des espèces plus minoritaires comme *F. poea*, *F. graminearum* et *F. equiseti* sont également recensées.

Généralement la présence des deux espèces *F. culmorum* et *F. pseudograminearum* sont observés principalement dans l'hémisphère Sud (Obanor et Chakraborty, 2014). Elles ont été signalées également comme espèces dominantes dans de nombreux pays méditerranéens, l'Algérie (Touati-Hattab, 2016 ; Abdallah et al., 2019), la Syrie et l'Égypte (Alkadri et al., 2013, Balmas et al., 2015) et l'Italie (Rossi et al. 1995, Scherm, 2013, Balmas et al., 2015). En Tunisie *M. nivale* var. *nivale* a été identifié comme l'espèce la plus fréquente (63, 5%); elle a été isolée à partir de presque 90% des échantillons récoltés (Kammoun et al., 2010).

Les résultats ont montré aussi que les espèces de *Fusarium* spp. Ont été observée avec des pourcentages importants sur les échantillons récoltés surtout dans les plaines intérieures de la région Est ; dans les zones littorales et la région semi-aride dont les échantillons ont été récupérés dans les champs de blé irrigués. En effet, le climat a une incidence majeure sur le développement de la maladie, notamment au moment de la floraison où le climat humide conditionne le développement de l'inoculum (Champeil et al., 2004).

Il ya également le facteur variétal qui est l'élément indiqué comme impactant significativement la présence et la sévérité de la maladie dans les champs de blé (Schaafsma et Hooker, 2007).

D'après nos résultats, il apparait que *F. culmorum* soit l'espèce prédominante quel que soit les lieux d'échantillonnage, mais cela reste à confirmer. Dans une deuxième étape la confirmation de leur identification par utilisation d'outils moléculaires serait nécessaire.

CONCLUSION GENERALE



CONCLUSION

Les recherches menées sur l'identification des espèces fusarienne responsables des contaminations de grains de blé, et la connaissance des complexes d'espèces susceptibles d'infecter les épis et les grains est essentielle pour aider les sélectionneurs à orienter leur recherche vers des variétés plus adaptées pour un meilleur comportement aux espèces responsables de la fusariose de l'épi, et Détecter et analyser le type de mycotoxines qui y sont associées produites moyennant des tests HPLC. Mais la partie pratique de notre recherche a été rompue à cause du confinement exigé par l'état suite à la propagation du Covid-19. Donc nous n'avons pas arrivé à atteindre l'objectif visé pour cette partie.

Nos résultats des isollements ont effectivement mis en évidence la présence des agents responsables de la fusariose de l'épi du blé sur les 18 échantillons de blé récoltés dans différentes régions céréalières. L'identification morphologique des agents responsables a permis d'identifier dix espèces à savoir : *F. culmorum*, *F. pseudograminearum*, *F. poea*, *F. graminearum*, *Microdochium nivale*, *F. equiseti*, *F. avenceaum*, *F. chlamdosporium*, *F. accutatum*, *F. oxysporum*.

De plus, les résultats de l'analyse phytosanitaire de nos échantillons récoltés durant les années 2013,2014, 2018 et 2019. Ont montré que *F. culmorum* est l'espèce prédominante observée en Algérie sur le blé. Toutefois, il est clair que l'équilibre d'espèces peut être selon les années. Ainsi le développement de la fusariose de l'épi devrait être évalué régulièrement dans toutes les régions céréalières en Algérie où les conditions climatiques peuvent être favorables à son développement et surtout pour les champs irrigués sous pivot.

En perspective, notre travail a porté sur un petit nombre d'échantillons de blé. Ainsi, il serait intéressant d'élargir les échantillons à analysés par des prospections dans d'autres régions céréalières dans l'Est, le Centre et l'Ouest du pays.

Il est également recommandé de confirmer l'identification morphologique par une identification moléculaire ou la distinction reste très difficile et limitée parfois impossible sur le plan morphologique et microscopique dans le but d'établir une meilleure gestion de la maladie.

Conclusion générale

Il serait intéressant de faire une caractérisation du potentiel toxigènes des isolats de *Fusarium* spp. Pour montrer la capacité des isolats algériens de *Fusarium* spp. à produire des toxines et aussi identifier le chémotypage des isolats.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

- ABDALLAH-NEKACHE, N., LARABA, I., DUCOS, C., BARREAU, C., BOUZNAD, Z., BOUREGHDA, H. 2019. Occurrence of *Fusarium* head blight and *Fusarium* crown rot in Algerian wheat: identification of associated species and assessment of aggressiveness. *European Journal of Plant Pathology*: 0658-019- 01673-7
- AGRIOS, G.N. 2005. Plant Pathology. Fifth edition, Elsevier Academic Press, San Diego, CA 962 p.
- ALEXANDER, D.H., NOVEMBRE, J., LANGE, K. 2009. Estimation rapide basée sur un modèle de l'ascendance chez des individus non apparentés. *Genome Res.* **19**: 1655 – 1664
- ALKADRI, D., NIPOTI, P., DOLL, K., KARLOVSKY, P., PRODI, A., PISI, A. 2013. Study of fungal colonization of wheat kernels in Syria with a focus on *Fusarium* species. *International Journal of Molecular Science* 14: 5938–5951.
- ANDERSON, D. W., BLACK, R. M., LEE, C. G., POTTAGE, C., RICKARD, R. L., SANDFORD, M. S., WEBBER, T. D. & WILLIAMS, N. E. 1989. Structure-activity studies of trichothecenes: cytotoxicity of analogues and reaction products derived from T-2 toxin and neosolaniol. *J Med Chem*, 32, 555-62
- ARSENIUK, E., GORAL, G. & CZEMBOR, H. J. 1993. Reaction of triticale, wheat and rye accessions to graminaceous *Fusarium* spp. infection at the seedling and adult plant growth stages. *Euphytica*, 70, 175-183.
- ARSENIUK, E., FOREMSKA, E., GORAL, T., CHELKOWSKI, J. 1999. *Fusarium* head blight reactions and accumulation of deoxynivalenol (DON) and some of its derivatives in kernels of wheat, triticale and rye. *Journal of Phytopathology* 147, 577-590
- AOKI, T., & O'DONNELL, K. 1999. Morphological and molecular characterization of *Fusarium pseudograminearum* sp. nov., formerly recognized as the Group 1 population of *F. graminearum*. *Mycologia* 91: 597-609

B

- BAILEY, K.L., COUTURE, L., GOSSEN, B.D., GUGEL, R.K., ET MORRAL., R.R.A., 2004. Maladie des grandes cultures au Canada. La société Canadienne de phytopathologie. ISBN 0- 9691627- 7-4.
- BALLOIS, N. 2012. Caractérisation de la diversité des espèces de *Fusarium* et de leur potentiel mycotoxinogène sur céréales françaises. Master Fage Biologie et Ecologie pour la Forêt, l’Agriculture et l’Environnement. Spécialité. BIPE. 36p
- BALMAS, V., SCHERM, B., MARCELLO, A., BEYER, M., HOFFMANN, L., MIGHELI, Q. 2015. *Fusarium* species and chemotypes associated with *fusarium* head blight and *fusarium* root rot on wheat in Sardinia. Plant. Pathol. 64, 972–979. 10.1111/ppa.12337.
- BALZER, A., TARDIEU, D., BAILLY, D., ET GUERRE, P. (2004) Les trichothécènes : nature des toxines, présence dans les aliments et moyens de lutte. Revue Méd. Vét 155, 6, 299-314. P : 299 .
- BAKAN, B.1998. Approche physiologique de la biosynthèse des trichothécènes par *Fusarium*. Essais.
- BECHTEL, L.A., KALEIKAU, R.L., GAINES et Seitz, L.M. 1985. Effects of *Fusarium graminearum* infection on kernels from scabby wheat. Cereal Chem 62: 191-197.
- BENNETT, J., AND KLICH, M.2003 Mycotoxins. Clinical microbiology reviews, 16 497.
- BENMOKHTAR, T., ET KAFID. 1999 : Contribution à l’étude des virus des céréales, caractérisation biologique des virus de la mosaïque du blé et de l’orge : WMSV, BSMV. Thèse. Ing. Agr. INA. El-Harrach :P-11 -56.
- BERUBE, M. E. 2010. Effet du Gluphosate sur la fusariose de l’épi chez le blé et l’orge selon différents travaux du sol, mémoire pour l’obtention du grade de maître en science, université Laval, Québec.131p
- BEZUIDENHOUT, S.C., GELDERBLUM, W.C., GORST-ALLMAN, C.P., HORAK, R.M., MARASAS, W.F., SPITELLER, G., AND VLEGGAAR, R. 1988, Structure

elucidation of the fumonisins, mycotoxins from *Fusarium moniliforme*. Journal of the Chemical Society, Chemical Communications, 11 743-745. THÈSE DE DOCTORAT en Toxicologie et Environnement, Mme Naima MAHNINE

-BROWN, N.A., URBAN, M., VAN DEMEENE- AML; HAMMOND-KOSACK KE. 2010. The infection biology of *Fusarium graminearum*: Defining the pathways of spikelet to spikelet colonisation in wheat spikes. *Fungal biology* 114, 555-571.

-BOJANOWSKI ANGELIQUE, 2011. Molecules antifongiques et activite Antagoniste de deux souches de *Pseudomonas* envers *Helminthosporium solani*, agent responsable de la tache argentée de la pomme de terre. These pour l'obtention du grade de maître ès sciences (M.Sc.). l'Université Laval dans le cadre du programme de maîtrise en biologie végétale. 70 pages.

-BONJEAN, A., ANGUS, W., et al, 2001. *The World Wheat Book*. Tec & Doc Lavoisier, Paris, 950 p. (sous presse).

-BOTTALICO, A., & PERRONE, G. 2002. Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with head blight in small-grain cereals in Europe. *European Journal of Plant Pathology*, 108, 611–624.

-BOUBETRA, S ., ET MOUHAMEDI, F. 1998 : Contribution à l'étude des virus affectant les céréales au niveau de la région du centre d'Alger. Mem.ing. I.N.A. El Harrach. P 69-74.

-BOULAL, H., ZAGHOUANE, O., EL MOURID, M., ET REZGHI, S. 2007. Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blé et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). ITGC/ICARDA. 176 p.

-BOZZINI, A. 1988: Origin, distribution and production of durum wheat in the world. In Fabriani G.& Lintas C. (Ed). *Durum: Chemistry and Technology*. AACC (Minnesota). Etats-Unis : 1-16.

-BURGESS, L.W., SUMMERELL, B.AL, BULLOCK, S., GOTT, K.P., BACKHOUSE, D.1994. *Laboratory manual for Fusarium research*, 3rd edn. Department of Crop Science, University of Sydney/Royal Botanic Gardens, 134 p

C

- CAHAGNIER, B., MELCION, D., RICHARD-MOLARD, D. 1995. Growth of *Fusarium moniliforme* and its biosynthesis of fumonisin B1 on maize grain as a function of different water activities. *Letters of Applied Microbiology* 20, 247-251.
- CALPOUZOS, L.R., ROELFS, A.P., MADSON, M.E., MARTIN, F.B., WELSCH, J.R., ET WILCOXSON, R.D. 1976. A new model to measure yield losses caused by stem rust in spring wheat. University of Minnesota Agricultural Experiment Station. Technical Bulletin N° 307, 23 pp.
- CARON, D., DUPONT, D.E., DINECHIN L. & MALAVERGNE, D. 2006. *Fusarium graminearum* sur les résidus de culture des blés et des maïs et en fonction du travail du sol. In: CR 8ème CIMA AFPP, Tours, France, pp. 293-303
- CARVER, B.F. 2009. *Wheat science and trade*. Ed. Wiley-Blackwell. 6-160 p.
- CHAMPEIL, A., DORE, T. & FOURBET, J.F. 2004. *Fusarium* head blight: epidemiological origin of the effects of cultural practices on head blight attacks and the production of mycotoxins by *Fusarium* in wheat grains. *Plant Science*, 166, 1389-1415.
- CLAVEL, A. J. 2006. *Diagnostic des accidents du blé dur*. Arvalis Institut du végétal. Paris. 105p.
- CRONDQUIST, A. 1981. The evolution and classification of flowering plants. *New Phytologist*, 117(3), pp: 513p.
- CROMEY, M.G., SHORTER, S.C., LAUREN, D.R., ET SINCLAIR, K.I. 2002. Cultivar and crop management influences on *Fusarium* head blight and mycotoxins in spring wheat (*Triticum aestivum*) in New Zealand. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 30: 235-247.

D

- DE HOOG, G.S., GUARRO, J. GENÉ, J. & FIGUERAS, M.J. 2000. *Atlas of clinical fungi*, Centraal bureau voor Schimmel cultures, Utrecht, The Netherlands. pp 1126.

Références bibliographique

- DESJARDINS, A. E. 2006. Fusarium mycotoxins: chemistry, genetics, and biology. /i Fusarium/ mycotoxins: Chemistry, Genetics and Biology, The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, U.S.A., 260 pp
- DEXTER ,J.E., MARCHYLO, B.A., CLEAR, R.M. & CLARKE, J.M. 1997 .Effect of Fusarium head blight on semolina milling and pasta-making quality of durum wheat. Cereal Chemistry, 74, 519-525.
- DIAMOND, H., & COOKE, B.M. 2003. Preliminary studies on biological control of the Fusarium ear blight complex of wheat. Crop Protection, 22, 99-107.
- DUBCOVSKY, J., AND DVORAK, J. 2007. Genome plasticity a key factor in the success of polyploid wheat under domestication. Science, 316(5833) :1862.

E

- ERIKSEN, G.S. 2003. Metabolism and toxicity of trichothecenes. In: Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Sweden, 38 p
- ERIKSEN, G.S., & PETTERSSON, H., Toxicological evaluation of trichothecenes in animal feed. Animal Feed Science and Technology, 114 (2004) 205-239.
- EUDES, F., COMEAU, A., RIOUX, S., COLLIN, J. 2000. Phytotoxicité de huit mycotoxines associées à la fusariose de l'épi chez le blé, Canadian Journal of Plant Pathology, (22), 3: 286-292.

F

- FEILLET, P.2000. Le grain de blé composition et utilisation. In : INRA edition, Paris.

G

- GATE, P. et GIBAN, M. 2003 - Stades du blé. Ed. ITCF, Paris: 68 p.
- GLYNN, N.C, HARE MC, PARRY DW, EDWARDS SG. 2005. Phylogenetic analysis of EF-1 alpha gene sequences from isolates of Microdochium nivale leads to elevation of varieties majus and nivale to species status. Mycol. Res. 109:872–80.

-GOSWAMI R.S., & KISTLER, H.C. 2004. Heading for disaster: *Fusarium graminearum* on cereal crops. *Molecular Plant Pathology*, 5, 515-525.

-GUENTHER, J., TRAIL, F. 2005. The development and differentiation of *Gibberella zeae* (anamorph: *Fusarium graminearum*) during colonization of wheat. *Mycologia*, 97(1), 229-237.

H

-HAMADACHE, A. 2013. *Elément de phytotechnie générale-Grandes cultures-Principaux itinéraires techniques des principales espèces de grandes cultures pluviales cultivées en Algérie et en Afrique du Nord (agriculture conventionnelle) Tome I: Le blé*, p.230.

-HADJOUT, S., CHEREAU, S., ATANASOVA-PENICHON, V., MARCHEGAY, G., MEKLIICHE, L., BOUREGHDA, H., BARREAU, C., TOUATI-HATTAB, S., BOUZNAD.Z., AND. RICHARD-FORGET, F. (2017).Laboratory of Phytopathology and Molecular Biology, National School of Agronomy, ENSA, Algiers,

-HAGLER, W.M. 2001. La contamination des aliments par les mycotoxines: un facteur de stress additionnel pour les bovins laitiers. 25ème Symposium sur les bovins laitiers, CRRAQ.

-HANI, F.1981.on the biology and control of *Fusarium* diseases of wheat and rye. *Phytopathologische Zeitschrift*, 100, 44-87.

-HOMDORK, S., FEHNNAN. H., et Beek, R. 2000. Influence of different storage conditions on the mycotoxin production and quality of *Fusarium* infected wheat grain. *Journal of Phytopathology* 148, 7-15.

I

-IOOS, R., BELHADJ, A., MENEZ, M. 2004. Occurrence and distribution of *Microdochium nivale* and *Fusarium* species isolated from barley, durum and soft wheat grains in France from 2000 to 2002. *Mycopathologia* 158, 351–362.

J

- JAWAD-MERHEJ. 2010. Mécanismes moléculaires contrôlant la biosynthèse de mycotoxines par le champignon micromycète *Fusarium graminearum* l'universite bordeaux 1 ecole doctorale sciences de la vie et de la santé.
- JOFFE, A.Z. 1983 Environmental conditions conducive to *Fusarium* toxin formation causing serious outbreaks in animals and man. *Veterinary Research Communications*, 7, 187-193.

K

- KAMMOUN, L. G., GARGOURI, S., HAJLAOUI, M. R., & MARRAKCHI, M. 2009. Occurrence and distribution of *Microdochium* and *Fusarium* species isolated from durum wheat in northern Tunisia and detection of mycotoxins in naturally infested grain. *Journal of Phytopathology*, 157, 546–551.
- KAMMOUN, L. G., GARGOURI, S., BARREAU, C., RICHARD-FORGET, F., & HAJLAOUI, M. R. 2010. Trichothecene chemotypes of *Fusarium culmorum* infecting wheat in Tunisia. *International Journal of Food Microbiology*, 140, 84–89.
- KHAN, N. I., SCHISLER, D. A., BOEHM, M. J., LIPPS, P. E. & SLININGER, P. J. (2004). Field testing of antagonists of *Fusarium* head blight incited by *Gibberella zeae*. *Biological Control* 29, 245-255.
- KLEPPER, B., RICKMAN, R.W., ET PETERSON, C.W. 1982. Quantitative characterization of vegetative development in small cereal grains. *Agronomy Journal* 74: 780-792.
- KRSKA, R., BAUMGARTNER, S., AND JOSEPHS, R. 2001, the state-of-the-art in the analysis of type-A and-B trichothecene mycotoxins in cereals. *Fresenius' journal of analytical chemistry*, 371 285-299.

L

- LACROIX, M. 2008. Maladies des céréales et de la luzerne. Guide agronomique des grandes cultures, publication 811F, MAAARO, 47-49.

Références bibliographique

- LANDSCHOOT, S., WAEGEMAN, W., AUDENAERT, K., VANDEPITTE, J., BAETENS, J., DE BAETS, B. ET HAESAERT, G. 2012. An empirical analysis of explanatory variables affecting Fusarium head blight infection and deoxynivalenol content in wheat. *Journal of Plant Pathology* 94: 135-147.
- LARABA, I., BOUREGHDA, H., ABDALLAH, N., BOUAICHA, O., OBANOR, F., MORETTI, A., GEISER, D. M., KIM, H. S., MCCORMICK, S. P., PROCTOR, R. H., KELLY, A. C., WARD, T. J., & O'DONNELL, K. (2017). Fungal population genetic structure and mycotoxin potential of the wheat crown rot and head blight pathogen *Fusarium culmorum* in Algeria. *Fungal Genetics and Biology*, 103, 34–41.
- LENC, L. 2015. Fusariose de l'épi (FHB) et populations de Fusarium dans le grain de blé d'hiver cultivé dans différents systèmes de culture. *Journal of Plant Protection Research* 55 (1): 94–109. DOI:
- LEONARD, K.J., BUSHNELL, W.R. 2003. *Fusarium Head Blight of wheat and barley*. APS Press, St. Paul, MN, 512pp.
- LESLIE, J.F., & SUMMERELL, B.A. 2005. *The Fusarium Laboratory Manual* (Ames, Iowa: Wiley-Blackwell).
- LESLIE, J.F., & SUMMERELL, B.A. 2006. *The Fusarium Laboratory Manual*. In: Blackwell publishing, 388 p
- LNPV, 2002. Détection et identification des espèces de Fusarium spp. et Microdochium nivale sur grains de céréales par isolement mycologique semi sélectif et étude microbiologique ». LNPV. Malzeville. MH/03/16 version a. 26p.
- LOGRIECO .2002. Toxigenic Fusarium species and mycotoxins associated with maize ear rot in Europe. *European Journal of Plant Pathology* 108: 597-609.
- LOGRIECO, A., & VISCONTI, A. 2004. An overview on toxigenic fungi and mycotoxins in Europe, Kluwer Academic Publ.247p.
- LORI, G. A., SISTERNA, M. N., SARANDON, S. J., RIZZO, I. & CHIDICHIMO, H. 2009. Fusarium Head Blight in wheat : impact of tillage and other agronomic practices under natural infection. *Crop Protection* 28: 495-502.

M

- MA, J., YAN, G. J. & LIU, C. J. 2012 .Development of near-isogenic lines for a– major QTL on 3BL conferring Fusarium crown rot resistance in hexaploid wheat. *Euphytica* 183 : 147–152.
- MALDONADO-RAMIREZ, S.L., SCHMALE-III.D.G., SHIELDS, E.J. ET BERGSTROM, G.C. 2005. The relative abundance of viable spores of *Gibberella zeae* in the planetary boundary layer suggests the role of long-distance transport in regional epidemics of Fusarium Head Blight. *Agricultural and forest meteorology*, 132: 20-27.
- MARASAS, W.F.O., NELSON, P.E., TOUSSOUN T.A. 1988 b. Reclassification of two important moniliformin-producing strains of *Fusarium*, NRRL 6022 and NRRL 6322. *Mycologia* 80:407–410.
- MASUDA, D., ISHIDA, M., YAMAGUCHI, K., YAMAGUCHI, I., KIMURA, M., & NISHIUCHI, T. 2007. Phytotoxic effects of trichothecenes on the growth and morphology of *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Experimental Botany*, 58, 1617-1626.
- MAULER-MACHNIK, A., & SUTY, A. 1997. New findings on the epidemiology, importance and control of Fusarium ear blight on wheat. *Cereal Research Communication* 25, 705-711. McCormick S., 2003. The role of
- MILLER, J.D., GREENHALGH, R., WANG, Y.Z. & LU, M., 1991. Trichothecene chemotypes of three *Fusarium* species. *Mycologia* 83, 121–130.
- MOKABLI, A., 2002. Biologie des nématodes à Kystes (Heterodera) des céréales en Algérie. Virulence de quelques populations à l'égard de diverses variétés et lignées de céréales. Thèse de Doctorat d'Etat, Int. Nat. Agro., El-Harrach, Alger. 66 p.
- MONTIBUS-MATHILDE, 2013. Mécanismes moléculaires impliqués dans la modulation de la production de trichothécènes de type B par *Fusarium graminearum* en réponse au stress oxydant l'universite de bordeaux i Ecole Doctorale Sciences de la Vie et de la Santé.

N

-NELSON, P.E., TOUSSOUN, T.A., MARASAS, W.F.O. 1983. *Fusarium species: an illustrated manual for identification*. Pennsylvania state Univ. editor

O

-OSBORNE, L.E., & STEIN, J.M. 2007. Epidemiology of *Fusarium* head blight on small-grain cereals. *International Journal of Food Microbiology* 119: 103-108.

-OSWEILER, G.D., ROSS, P.F., WILSON, T.M., NELSON, P.E., WITTE, S.T., CARSON, T.L., RICE, L.G., NELSON, H.A. (1992). Characterization of an epizootic of pulmonary edema associated with fumonisin in corn screenings, *J. Vet. Diagn. Invest.*, 4, p.53-59.

P

- PALAZZINI, J.M., RAMIREZ, M.L., ALBERIONE, E.J., TORRES, A.M., & CHULZE, S.N., 2009. Osmotic stress adaptation, compatible solutes accumulation and biocontrol efficacy of two potential biocontrol agents on *Fusarium* Head Blight in wheat. *Biological Control*, 51: 370-376.

-PARENT-MASSIN., FICHEUX., & GALTIER. 2013. Mycotoxines et sécurité alimentaire. *EMC - Pathologie Professionnelle et de L'environnement* 8, 1-14.

-PARRY, D.W., PETTIT, T.R., JENKINSON, P., ET LEES, A.K. 1994. The cereal *Fusarium* complex. In <<Ecology of plant pathogens>>. (Eds JP Blakeman, B Williamson) (CAB International: Wallingford, UK) . pp 301 -320.

-PARRY, D., JENKINSON, P., MCLEOD, L. 1995 « *Fusarium* Ear Blight (scab) in small-grain cereals - a review ». *Plant pathology*. Avril. vol. 44, n°2, p. 207-238.

-PESTKA, J. J. 2010. Deoxynivalenol: mechanisms of action, human exposure, and toxicological relevance. *Arch Toxicol*, 84, 663-79.

-PFOHL-LESZKOWICZ, A., PETKOVA-BOCHAROVA, T., CHERNOZEMSKY, I. N., CASTEGNARO, M., BALKAN. 2002. endemic nephropathy and the associated urinary

tract tumors: Review on etiological causes, potential role of mycotoxins, *Food Addit. Contam.*, 19, 282 – 302.

-PIRGOZLIEV, S.R., EDWARDS, S.G., HARE, M.C. & JENKINSON, P. 2003 Strategies for the control of Fusarium head blight in cereals. *European Journal of Plant Pathology*, 109, 731-742.

-PRANDINI, A., SIGOLO, S., FILIPPI, L., BATTILANI, P., ET PIVA, G. 2009. Review of predictive models for Fusarium head blight and related mycotoxin contamination in wheat. *Food and Chemical Toxicology* 47: 927-931.

-PRESCOTT, J.M., BURNETT, P. A., SAARI, E. E., RANSOM, J., BOWMAN, J., DE MILLIANO, W., SINGH, R. P., BEKELE, G.,1987. *Maladies et ravageurs du blé. Guide identification au champ.* CIMMYT, Mexico.135p.

R

- RIPERT, C. 2013. *Mycologie médicale* (Lavoisier).

-ROCHA, O., ANSARI, K. & DOOHAN, F. M. 2005. Effects of trichothecene mycotoxins on eukaryotic cells: A review. *Food additives and contaminants*, 22, 369-378.

-ROHACIK, T., &HUDEC, H. 2005. Influence of agro-environmental factors o Fusarium infestation and population structure in wheat kernels. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* 12: 39-45.

S

-SAYOUD, R. 1987. Les maladies des céréales. *Céréaliculture* 17 : 20-21 pp.

-SCHAAFSMA, A. W., &HOOKER, D. C. 2007. Climatic models to predict occurrence of Fusarium toxins in wheat and maize. *International Journal of Food Microbiology* 119: 116-125.

-SCHMALE III, D.G., BERGSTROM, G.C., SHIELDS, E.J. 2006. Night-time spore deposition of the Fusarium head blight pathogen, *Gibberella zeae*, in rotational wheat fields. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 28(1): 100-108.

Références bibliographique

- SCHERM, B., BALMAS, V., SPANU, F., PANI, G., DELOGU, G., PASQUALI, M. & MIGHELI, Q. 2013. *Fusarium culmorum*: Causal agent of foot and root rot and head blight on wheat. *Molecular Plant Pathology*, 14, 323-341.
- SCHISLER, D.A., KHAN, N.I., BOEHM, M .J., LIPPS,P.E., SLININGER,P.J. ET ZHANG, S.2002. Selection and evaluation of the potential of choline –metabolizing microbial strains to reduce fusarium head blight. *Biological Control* 39:497 -506.
- SCHOLLENBERGER, M., MÜLLER, H.M., RÜFLE, M., TERRY-JARA, H., SUCHY, S., PLANK, S., ET DROCHNER, W. 2007. Natural occurrence of *Fusarium* toxins in soy food marketed in Germany. *International Journal of Food Microbiology* 113: 142-146.
- SHANER, G., 2003. Epidemiology of *Fusarium* head blight of small grain cereals in North America, *Fusarium* head blight of wheat and barley, pp. 84-119.
- SIMPSON, D.R., WESTON, G.E., TURNER, J.A., JENNINGS, P., NICHOLSON, P. 2001. Differential control of head blight pathogens of wheat by fungicides and consequences for mycotoxin contamination of grain. *European journal of plant pathology* 107, 421-431.
- SOLTNER, D. 2005- *La base de la production végétale Tom I. Le sol et son amélioration* 24eme Edi. Collection scienc et technique agricole. 472P.
- SURGET, A., BARRON, C.2005. *Histologie du grain de blé. Industrie des Céréales* 145, 3-7.
- SUTTON, J.C. 1982. Epidemiology of wheat head blight and maize ear rot caused by *Fusarium graminearum*. *Canadian Journal of Plant Pathology* 4: 195-209.
- SWEENEY, M. J., & DOBSON, A. D. W. 1999. Molecular biology of mycotoxin biosynthesis. *FEMS Microbiology Letters*,175, 149-163.

T

- TALAS, F., WÜRSCHUM, T., REIF, J.C., PARZIES, H.K., MIEDANER, T., 2012. Association of single nucleotide polymorphic sites in candidate genes with aggressiveness and deoxynivalenol production in *Fusarium graminearum* causing wheat head blight. *BMC Genet.* 13, 14.

Références bibliographique

- TABUC -CRISTINA. 2007. Flore fongique de différents substrats et condition optimales de production des mycotoxines. Thèse de Doctorat. Institut polytechnique de Toulouse.
- TOUATI-HATTAB, S., BARREAU, C., VERDAL-BONNIN, M. N., CHEREAU, S., RICHARD-FORGET, F., HADJOUT, S., MEKLCHE, L., & BOUZNAD, Z. 2016. Pathogenicity and trichothecenes production of *Fusarium culmorum* strains causing head blight on wheat and evaluation of resistance of the varieties cultivated in Algeria. *European Journal of Plant Pathology*, 145, 797–814.
- TOUATI-HATTAB. 2018. Recherche sur les fusariotoxines des blés: Identification des espèces toxigènes et facteur de production des trichothécènes B chez le *Fusarium culmorum* (W. G. Smith) Sacc. Agent de la fusariose de l'épi. Thèse de Doctorat. Sciences Agronomiques .
- TONGO- DIPITA. 2011. les enjeux du blé dans l'économie.

W

- WAALWIJK, C., KASTELEIN, P., VRIES, I.D., KERENYI, Z., LEE, T.V.D., HESSELINK, T., KOHL, J. ET KEMA, G. 2003. Major changes in *Fusarium* spp. in wheat in the Netherlands. *European Journal of Plant Pathology* 109: 743-754.
- WAGACHA, J.M., & MUTHOMI, J.W. 2007. *Fusarium culmorum*: infection process, mechanisms of mycotoxins production and their role in pathogenesis in wheat. *Crop protection* 26:877-885.
- WALTER, S., NICHOLSON, P., DOOHAN, F.M. 2010. Research review: Action and reaction of host and pathogen during *Fusarium* head blight disease. *New Pathologist*, 185: 54- 66. DOI : 10.1111/j.1469- 8137.2009.03041.x.
- WHITLOW, W., ETHAGLER, W.M. 2001. Mycotoxin contamination of feedstuffs – An additional stress factor for dairy cattle. In 25 esymposium sur les bovinslaitiers. Quebec.
- WILCOXSON, R.D., KOMMEDAHL, T., OZMON, E.A., WINDELS, C.E. 1988. Occurrence of *Fusarium* Species in Scabby Wheat from Minnesota and Their Pathogenicity to Wheat. *Phytopathology* 78, 586-589.

-WINDELS, C. E. 2000. Economic and social impacts of Fusarium head blight: Changing farms and rural communities in the Northern Great Plains. *Phytopathology*, 90(1), 17-21.

Y

-YEKKOUR, A., TOUMATIA, O., MEKLAT, A., VERHEECKE, C., SABAOU, N., ZITOUNI, A., MATH, A. 2015 Deoxynivalenol-producing ability of *Fusarium culmorum* strains and their impact on infecting barley in Algeria. *World J Microbiol Biotechnol*, 31:875– 881

Z

-ZADOKS, J.C., CHANG, T.T., ET KONZAK, C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14: 415-421.

-ZAGHOUANE-BOUFNAR, F., ET SOUISSI, M. 2014. Relation entre la production céréalières et les légumineuses alimentaires et les changements climatiques en Algérie. *ITGC N 62*: 59-60.

-ZOHARY, D., HOPF, M. 2000. Domestication of plants in the old world: the origin and spread of cultivated plants in West Asia, Europe, and the Nile Valley. Oxford University Press.

❖ Liste web :

1. <https://www.arvalis-infos.fr/surveiller-les-cecidomyies-autour-de-l-epiaison/floraison-@/view-13346-arvarticle.html>

CIC 2019. Les stations mondiales, calculé par le conseil international des céréales

2. <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/ar/>

3. <https://fr.statista.com/a-propos/note-engagement-pour-la-recherche>

4. <https://www.syriaintel.com/economie-business/production-de-ble-en-syrie-de-lautosuffisance-a-la-dependance-aux-importations>.

5. <https://www.algerie-eco.com/2019/01/06/production-cerealiere-setif-le-grenier-a-ble-du-pays/>.

Références bibliographique

6. <https://www.express-dz.com/2020/04/26/el-oued-une-production-cerealieres-prometteuse-en-perspective/>).
7. <https://www.algerie-eco.com/2019/01/06/production-cerealieres-setif-le-grenier-a-ble-du-pays/>).
8. <https://www.algerie-eco.com/2020/02/12/importation-du-ble-lalgeri>.
9. <https://fr.sputniknews.com/afrique/201908231041973774-algerie-pourrait-mettre-fin-a-ses-importations-de-ble-pour-annee-prochaine>
10. <http://acces.ens-lyon.fr/acces>
11. <file:/C:/Users/b/Downloads/Guide-Agrifind-maladies-et-carences-du-bl%C3%A9.pdf>
12. <https://www.agrifind.fr/alertes/ble/ble-limace/>
13. <https://www.agrifind.fr/alertes/ble/ble-puceron-metopolophium-dirhodum/>
14. <https://wikiagri.fr/articles/export-de-ble-2019-2020-un-marche-de-162-millions-de-tonnes-pour-sept-pays-et-lunion-europeenne/20>

Annexe 1 : Composition des différents milieux d'isolement et de culture

DCPA (Dichloran Chloramphenicol Peptone Agar)

Composition tirée de ANDREWS S., PITT J. (1986) et adaptée par B. Cahagnier, INRA Nantes, comm. pers.)

Pour un litre de milieu :

- peptone bactériologique : 15,0 g
 - K₂HPO₄ : 1,0 g
 - MgSO₄.7H₂O : 0,5 g
 - Chloramphénicol : 0,2 g [**Peut causer le cancer. Peut causer des altérations génétiques héréditaires. Risques possibles pendant la grossesse d'effets néfastes pour l'enfant. Peut entraîner une sensibilisation par inhalation et contact avec la peau. En cas d'accident ou de malaise, consulter immédiatement un médecin (si possible lui montrer l'étiquette). Porter un vêtement de protection approprié, des gants et un appareil de protection des yeux/ du visage.**]
 - Dichloran (2-6-dichloro-4-nitroaniline) en solution alcoolique* : 1ml. [**Nocif en cas d'ingestion**]
 - Crystal violet en solution aqueuse** : 1 ml [**Peut causer le cancer. Peut causer des altérations génétiques héréditaires. Toxique par ingestion et par inhalation. Irritant pour les yeux, le système respiratoire et la peau. En cas d'accident ou de malaise, consulter immédiatement un médecin (si possible lui montrer l'étiquette). Après contact avec les yeux se laver immédiatement et abondamment avec de l'eau et consulter un médecin. Porter un vêtement de protection approprié, des gants et un appareil de protection des yeux/ du visage.**]
 - agar : 15,0 g
 - H₂O distillée ou osmosée : 1000 ml
- * : 0.2 g de dichloran dans 100 ml d'éthanol
- ** : 50 mg de crystal violet dans 100 ml d'eau distillée

PDA (Potato Dextrose Agar)

Pour un litre de milieu :

- PDA en poudre prêt à l'emploi : 39 g
- H₂O distillée ou osmosée : 1000 ml