

Haute prévalence de *Fusarium spp.* associés aux grains de céréales dans la région centrale du Maroc: risques pathogénique et toxigène

H. HOUMAIRI¹, A. OUBAYOUCEF¹, I. IDRISSE¹, F.E. BENCHEKROUN KRIMI¹

(Reçu le 20/06/2017; Accepté le 19/09/2017)

Résumé

La prévalence et la diversité des espèces fusariennes endophytes sur des céréales fraîchement récoltées dans la région centrale du Maroc ont été évaluées en se basant sur des caractères morphologiques, macroscopiques et microscopiques de la flore fongique de 27 échantillons de grains du blé dur (n=9), blé tendre (n=4), orge (n=8) et maïs (n=6). Les résultats ont montré la présence d'une microflore fongique assez variée. Pour l'ensemble des isolats (n=564), le genre *Alternaria* a représenté 53 % et était majoritaire sur les 4 céréales suivi par le genre *Fusarium* (16 %), *Aspergillus* (14 %), *Rhizopus* (8 %), *Bipolaris* (3 %), *Abzidia* (2 %) et autres (4 %). Au sein du genre *Fusarium*, l'espèce *F. proliferatum* (24 %) était la plus fréquente sur les différentes céréales suivie par *F. poae* (17 %), *F. solani* (13 %), *F. oxysporum* (12 %) et *F. culmorum* (10%). Cette dernière espèce n'a été isolée que sur le blé dur. La fréquence de ces espèces en fonction de l'origine géographique et de l'espèce de céréale ainsi que leurs influences sur la qualité sanitaire des grains sont discutées.

Mots-clés: Céréales, *Fusarium sp.*, qualité sanitaire des grains, endophyte.

High prevalence of *Fusarium spp.* associated with cereal grains in the central region of Morocco: pathogenic and toxigenic risks

Abstract

The prevalence and diversity of endophytic *Fusarium* species on freshly harvested cereals in the central region of Morocco were assessed based on morphological, macroscopic and microscopic characteristics of the fungal flora isolated from 27 grain samples of durum wheat (n=9), soft wheat (n=4), barley (n=8) and maize (n=6). The results revealed the presence of a variety of fungal species. For all isolates (n=564), the genus *Alternaria* accounted for 53 % and was dominant in the 4 cereals followed by the genus *Fusarium* (16 %), *Aspergillus* (14%), *Rhizopus* (8 %), *Bipolaris* (3 %), *Abzidia* (2 %) and others (4 %). In the genus *Fusarium*, *F. proliferatum* (24 %) was the most common on the different cereals, followed by *F. poae* (17 %), *F. solani* (13 %), *F. oxysporum* (12 %) and *F. Culmorum* (10 %). The latter was associated only with durum wheat. The effect of sample geographical origin and plant species on the frequency of fungal species as well as their influence on grain health and quality are discussed.

Keywords: Cereals, *Fusarium sp.*, grain health, endophyte.

INTRODUCTION

Les espèces du genre *Fusarium* sont généralement des espèces saprophytes qui vivent normalement sur les débris organiques dans le sol mais quelques espèces peuvent être parasites de plusieurs plantes, cultivées ou sauvages, dont les céréales comme le blé, l'orge, le maïs ou d'autres (Landschoot *et al.*, 2011; Turkington *et al.*, 2014). Cet *inoculum* primaire qui se trouve dans le sol peut être une source d'infection des semis en pré ou en post émergence. Les plantules présentent alors des symptômes des pourritures racinaires qui peuvent donner la fonte des semis en cas d'une forte attaque. Les plantes infectées présentent des racines qui portent des lésions brunes plus ou moins importantes et le développement des espèces fusariennes se fait au niveau du système vasculaire (Lepoivre *et al.*, 2003). L'approvisionnement des plantes en eau est perturbé et se solde par un flétrissement et les plantes infectées se dessèchent, alors que les plantes saines sont encore vertes. Leurs épis sont blancs et leurs grains, s'ils existent, sont chétifs et de petite taille (Scherm *et al.*, 2013). Au moment de la floraison des céréales, les spores

des espèces fusariennes peuvent infecter les fleurs pour se développer dans les enveloppes externes, internes ou au niveau de l'embryon. Leur développement se fait au détriment des tissus de la fleur, qui évoluera par la suite en une graine infectée qui pourrait constituer un *inoculum* primaire. Les épis à maturité présentent le symptôme de brûlure ou échaudage de l'épi (appelé aussi fusariose de l'épi) qui résulte d'une infection des tissus et du rachis de l'épi (Scherm *et al.*, 2013).

Actuellement, la fusariose des céréales est une des maladies les plus communes à travers le monde dans toutes les régions céréalières des zones tempérées (Turkington *et al.*, 2014). Une vingtaine d'espèces du genre *Fusarium* peuvent être impliquées dans cette maladie. Certaines d'entre elles sont reconnues comme responsables de la fusariose, telles que *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. poae*, *F. proliferatum*, *F. avenaceum* ou *F. verticillium*, alors que d'autres sont citées comme des parasites secondaires ou de simples saprophytes comme *F. solani* ou *F. oxysporum* (Yli-Mattila, 2010; Pancaldi *et al.*, 2010; Stroi *et al.*, 2010; Trotter *et al.*, 2014; Ferrigo *et al.*, 2016). Les espèces fusa-

¹ Laboratoire d'Agro-alimentaire et Santé, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Biologie Appliquée, Université Hassan Premier, Settat 26000, Maroc.
Correspondance: hafsahoumairi@gmail.com

riennes sont isolées sous forme d'un complexe d'espèces à partir du sol, des plantes et des grains et la composition de ce complexe est variable selon le temps, l'espace et le génotype de l'hôte (Sisterna et Sarandon, 2010; Stroi et al., 2010; Xu, 2003; Gourdain et al., 2016).

L'humidité relative de l'air et du sol, la température, la lumière, la pression partielle d'oxygène et le précédent cultural sont des facteurs qui jouent un rôle important dans l'apparition et le développement de la fusariose (Champeil et al., 2004; Leplat et al., 2013). La presque totalité des espèces du genre *Fusarium* ont un potentiel toxigène dont la production de toxines constitue un risque pour la santé humaine et animale (EFSA, 2014). En effet, il existe des espèces dont la ou les mycotoxines jouent un rôle dans l'infection et l'établissement du pathogène sur le blé comme le cas de *F. graminearum* et *F. culmorum* mais d'autres espèces possèdent des spectres mycotoxinogènes qui leur sont propres et ne jouent aucun rôle dans la pathogénicité vis-à-vis de la plante (Lemmens et al., 2004; Covarelli et al., 2012; Trottet et al., 2014; Ferrigo et al., 2016).

Au Maroc, la fusariose n'est pas considérée comme très importante pour les céréales, seule la maladie des pourritures racinaires est considérée comme maladie commune mais la encore, du point de vue importance, elle vient après d'autres maladies et ravageurs (El-Yousfi, 2015). Dans la région de la Chaouia (zone centrale) et du point de vue importance, la fusariose vient après la rouille, la séptoriose, l'helminthosporiose, la rayure réticulée et la cécidomyie (El-Yousfi, 2015). Ceci est en partie dû au fait qu'il s'agit d'une maladie racinaire d'abord, puisqu'elle donne la fonte des semis et les pourritures des racines ou du collet. Dans des conditions spécifiques, ces mêmes espèces peuvent contaminer l'épi des céréales comme le maïs, le blé dur, le blé tendre ou l'orge et donner la fusariose aussi appelée échaudage de l'épi (Turkington et al., 2014; Sherm et al., 2013).

Les principales conditions de développement de la fusariose se résument dans la présence de l'inoculum primaire pendant la période de floraison des céréales (maladie monocyclique), périodes d'humidité proches de la saturation et à températures assez douces ainsi que le génotype de la plante (Beyer et al., 2007). Le plus souvent, ces conditions ne sont pas toutes réunies à la fois sous les conditions de la région de Chaouia, d'autant plus en général, la culture des céréales n'est pas du type intensif (grande superficie, monoculture). Cependant, ces dernières décennies, suite aux changements des conditions climatiques et de certaines pratiques culturales comme le semis direct, l'utilisation de certains herbicides en plus du peu d'information concernant la fusariose au Maroc, il s'avère intéressant de déterminer la composition fongique des grains de céréales dans cette zone où la culture des céréales est la plus commune.

L'objectif de cette étude est de caractériser l'ensemble de la mycoflore naturelle, et spécialement fusarienne, associée aux céréales et d'apprécier l'effet de l'origine géographique et de l'espèce végétale sur la fréquence relative de chacune de ces espèces.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Une collection de 27 échantillons de céréales, issus de la récolte de la campagne agricole 2013/2014, ont été collectés en Juin 2014 dans les marchés locaux de différentes localités de la région de Chaouia (Jakma, Mzab, Sahel, Ouled Allal, Ouled Sibendawed, Mzamza et Ouled Said). Ces échantillons sont composés de neuf de blé dur, huit d'orge, six de maïs et quatre de blé tendre. Ils ont été stockés à une température de 5°C pendant quelques semaines avant de les analyser.

Pour éliminer les contaminants superficiels et favoriser les moisissures endophytes comme *Fusarium* spp, les grains ont été désinfectés pendant 3 minutes à l'eau de Javel diluée à 4 % puis rincés trois fois à l'eau distillée stérile et séchés pendant 15 minutes sous une hotte à flux laminaire. Ensuite, quarante grains de chaque échantillon sont déposés aléatoirement sur des boîtes de pétri contenant le milieu de culture DCPA (Dichloran Chloramphénicol Peptone Agar) à raison de 4 grains par boîte. Les colonies sont repiquées et purifiées séparément sur d'autres boîtes de pétri contenant le milieu de culture PDA (Potato-Dextrose-Agar) acidifié et additionné de chloramphénicol. Les souches de moisissures ainsi purifiées sont identifiées alors que les souches de *Fusarium* sont repiquées sur boîtes de pétri contenant le milieu SNA (Spezieller-Nährstoffarmer-Agar) pour confirmer leur identification. L'incubation est faite à 25°C jusqu'à l'apparition des colonies fusariennes. Au bout d'une semaine, les cultures sont à leur maximum de croissance et elles sont alors placées sous une lumière blanche pendant trois à sept jours pour stimuler leur sporulation.

Un total de 564 isolats a été purifié et identifié sous une loupe binoculaire et un microscope optique en se basant sur leurs caractéristiques culturales et morphologiques décrites dans Pitt et Hocking (2009) pour les moisissures et Burgess et al., (1994) pour les *Fusarium* sp. L'incidence des espèces fongiques a été calculée selon la formule suivante: $I(\%) = 100 \times n / N$ où n est le nombre total d'isolats et N le nombre total de grains. La fréquence relative des espèces est calculée selon la formule: $Fr(\%) = 100 \times n_i / N_i$ où n_i est le nombre de genre ou d'espèce et N_i le nombre total d'isolats. Ces fréquences ont été calculées par espèce de céréale et par localité géographique.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Incidence et fréquence relative des espèces fongiques

L'incidence fongique moyenne sur un nombre total des grains analysés de 1080, est de 52,2 %. La figure 1 représente la fréquence relative des différents genres de moisissures isolés à partir des 27 échantillons de céréales analysés. Ces fréquences sont respectivement de 53, 16, 14, 8, 3 et 4% pour les genres *Alternaria*, *Fusarium*, *Aspergillus*, *Rhizopus*, *Bipolaris*, *Absidia*. D'autres espèces non identifiées représentent 4 % de l'ensemble des isolats purifiés. Le genre *Fusarium* vient en deuxième position après *Alternaria*. En effet, ces deux genres peuvent être en compétition sur les grains de céréales (Broggi et al., 2007; Lee et al., 2009).

Il est bien établi que les espèces du genre *Alternaria*, *Fusarium* et *Helminthosporium* (*Bipolaris*) sont des contaminants des cultures au champ. Les autres genres comme *Aspergillus*, *Rhizopus* et *Absidia* sont aussi des espèces telluriques mais qui sévissent en période de transport et de stockage où les conditions d'humidité, de température, de pression partielle d'oxygène et de CO₂ sont favorables à leur développement (Pfohl-Leszkowicz, 1999). Les faibles fréquences de ces derniers genres sont probablement dues au fait que les grains étaient bien conservés après leur récolte.

La contamination des semences par *Alternaria sp.*, bien qu'elle reste superficielle au niveau des téguments de la graine, peut donner le symptôme du point noir (la moucheture) et peut influencer le développement des grains en affectant leur vigueur, le nombre de racines embryonnaires, la hauteur du coléoptile ou la fonte des semis (Thomma, 2003; Systema and Sarandon, 2010). Les spores d'*Alternaria* sont aussi des allergènes et peuvent être munis d'un pouvoir pathogène et toxigène (Gabriel et al., 2016; Lehmann et al., 2017). La présence de l'Altérnariol (Benzopyrone produit par *Alternaria alternata* dont la toxicité sur l'animal est bien établie) au niveau des grains de blé a déjà été reportée (Scott et al., 2012; Oliveira et al., 2017).

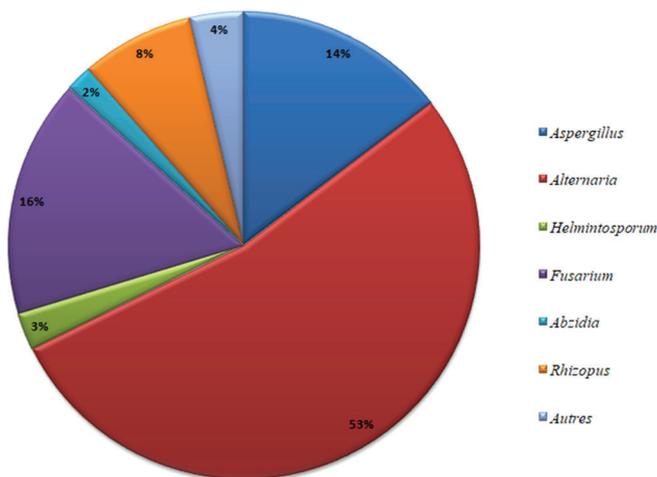


Figure 1: Fréquences relatives des différents genres de moisissures isolés à partir des grains, toutes céréales et régions confondues

Diversité de la flore fongique pour chaque céréale

La figure 2 montre les fréquences moyennes relatives aux genres de moisissures identifiées sur chaque espèce de céréales. Ainsi, le genre *Alternaria* est le plus fréquemment isolé sur le blé dur (60,1 %) suivi par le blé tendre (49,4 %), l'orge (44,4 %) et le maïs (27,9 %). Ce genre représente 51,1 % de l'ensemble des isollements effectués. De tels résultats ont été obtenus dans plusieurs études pour l'orge, le blé et le maïs (Lejman et al., 2015; Gourdin et al., 2016; Oliveira et al., 2017).

Le genre *Fusarium* vient en deuxième position et représente une fréquence moyenne de 19,7 % avec des fréquences relatives respectives de 39,7, 30,9, 17,5 et 6,9% pour le blé tendre, le maïs, le blé dur et enfin l'orge. Le blé tendre et le maïs sont plus colonisés par *Fusarium* que

le blé dur et l'orge alors que le maïs est le moins colonisé par *Alternaria*. Des résultats similaires qui montrent cette différence entre les fréquences d'espèces fusariennes et d'*Alternaria* associées aux céréales ont déjà été reportés (Betancourt et Denise, 2016).

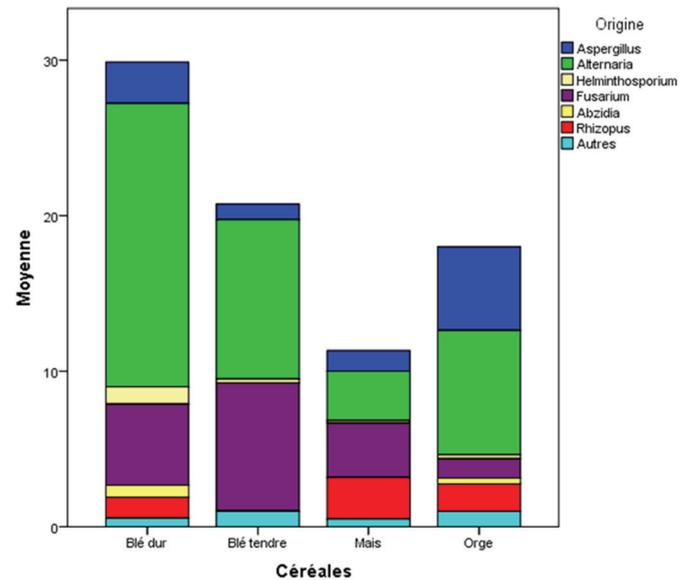


Figure 2: Fréquences relatives des moisissures isolées chaque type de céréale, toutes régions confondues

Diversité de la flore fongique en fonction de l'origine géographique

La figure 3 représente la fréquence relative moyenne des espèces fongiques isolées en fonction de l'origine géographique. Pour le genre *Alternaria*, cette fréquence varie respectivement de 74,2; 70,3; 63,6; 61,4; 53,1; 31,7 et 27,2 % pour la région de Jakma, Mzab, Sahel, Ouled Allal, Ouled Sibendawed, Mzamza et Ouled Said. Alors que pour le genre *Fusarium*, cette fréquence est moins élevée et est respectivement de 36,4; 29,3; 24,7; 24,6; 18,9; 17,2 et 9,4 % pour les régions de Sahel, Mzamza, Ouled Said, Ouled Allal, Mzab, Jakma et Ouled Sibendawed.

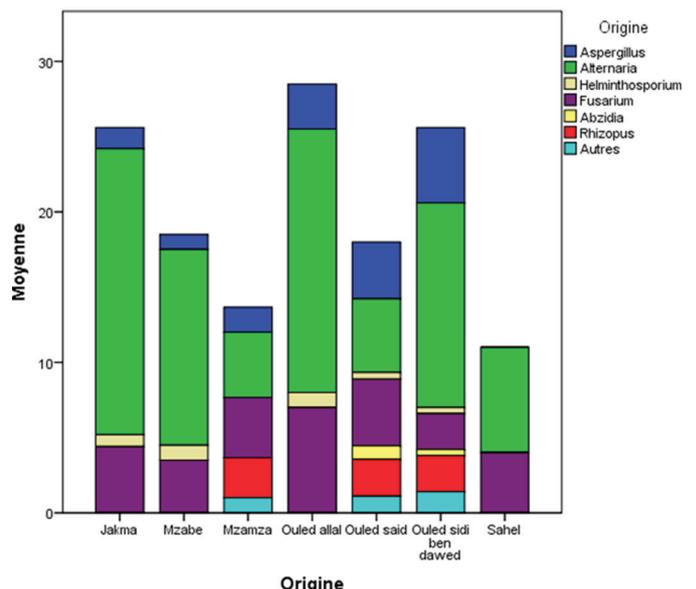


Figure 3: Fréquences relatives des moisissures isolées à partir des grains des quatre céréales en fonction des différentes origines géographiques prospectées

Ces résultats montrent que le genre *Alternaria* se retrouve dans toutes les régions représentées dans cette étude. Sa fréquence dépasse 50 % pour cinq des sept régions étudiées, d'où l'importance de ce genre comme contaminant des grains des différentes céréales dont le blé et l'orge. La même constatation est faite pour le genre *Fusarium* dont la fréquence relative moyenne est de 23 %. Il existe une variabilité de la prépondérance de ces espèces entre les différentes localités. En effet, la composition fongique des grains de céréales varie avec les pratiques culturales, les conditions environnementales et le génotype de la plante (Yli-Mattila, 2010; Leplat et al., 2013; Lejman et al., 2015; Pusz et al., 2016).

Diversité de la flore fongique au sein du genre *Fusarium*

La figure 4 représente la fréquence relative moyenne des espèces fusariennes à l'intérieur du genre *Fusarium*. Ainsi, sur l'ensemble des échantillons analysés, 111 isolats étaient des espèces fusariennes qui se répartissent ainsi: 47 isolats issus du blé dur, 33 du blé tendre, 10 de l'orge et 21 du maïs. L'espèce *F. proliferatum* (24%) était majoritaire suivie par *Fusarium* sp. (21 %, dont la culture sur milieu sélectif SNA est restée sous forme de mycélium stérile sans structures sporifères), *F. poae* (17 %), *F. solani* (13 %), *F. oxysporum* (12 %) et *F. culmorum* (10%). *F. proliferatum* et *F. poae* sont considérées comme moyennement pathogènes et se retrouvent sous des températures plus élevées et une humidité moins importante par rapport à *F. culmorum* ou *F. graminearum* (Pancaldi et al., 2010). En effet, les espèces fusariennes ne s'excluent pas et forment un complexe dont la composition peut changer si les conditions de l'environnement ou le génotype de la plante changent. Toutes ces espèces survivent sur les résidus de cultures (Pusz et al., 2016) et peuvent selon les conditions citées ci-dessus produire des métabolites secondaires différents d'une espèce à une autre. Par exemple, *F. proliferatum* est productrice de fumonisines et une étude récente de son profil toxigène a montré qu'elle est susceptible de produire la beauvericine et les enantines A et B (Zhang et al., 2013; Liuzzi et al., 2017). Par contre, *F. poae* et *F. culmorum* produisent les trichotnécènes de type B comme le nivalénol et le déoxynivalénol (Yli-Mattila T., 2011) ou la zéaralénone (Stanciu et al., 2015).

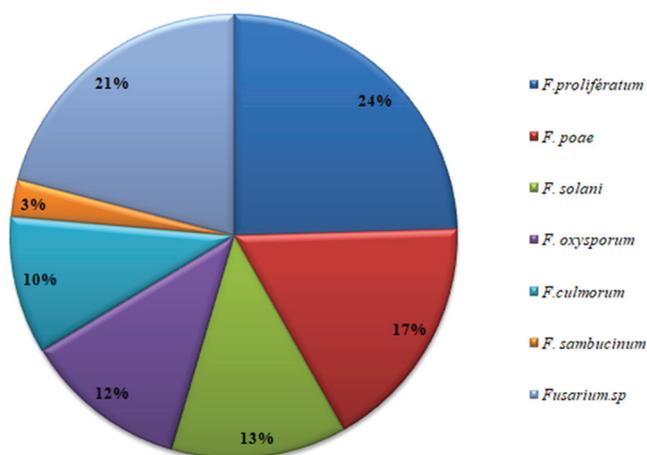


Figure 4: Fréquences relatives des espèces fusariennes isolées à partir des grains des différentes céréales analysées dans la région de Chaouia

Les espèces comme *F. solani* et *F. oxysporum* qui sont citées comme saprophytes ayant un faible pouvoir pathogène sont aussi productrices de toxines dont les fumonisines, la zéaralénone et la fusarénone (Stanciu et al., 2015). La présence de ces mycotoxines dans l'alimentation et surtout dans les grains et leurs produits dérivés dans plusieurs régions du monde ainsi que dans le sang humain est établie depuis plusieurs années (EFSA, 2014; Osteresch et al., 2017). Les conditions dans lesquelles ces molécules sont exprimées au niveau de la plante sont à l'étude (Anatasova-Penichon et Richard-Forget, 2014).

Diversité des espèces fusariennes au sein des différentes céréales

La figure 5 montre qu'il existe une interaction importante espèce fongique-espèce de céréales. En effet, *F. proliferatum* a été isolé à partir des quatre céréales mais selon des degrés différents, tandis que *F. culmorum* n'a été isolé qu'à partir du blé dur. Les espèces *F. poae*, *F. solani* et *F. oxysporum* se retrouvent sur blé dur, blé tendre et maïs alors que *F. sambucinum* ne se retrouve que sur blé dur et blé tendre. L'orge présente la diversité en espèces fusariennes la moins importante.

Au sein du genre *Fusarium*, l'espèce *F. proliferatum* (24%) était la plus fréquente sur les différentes céréales suivie par *F. poae* (17 %), *F. solani* (13 %), *F. oxysporum* (12 %) et *F. culmorum* (10 %). Leur présence au niveau des grains désinfectés des céréales montre bien qu'il y a une contamination en période de floraison-épiaison. Les spores sont souvent disséminées par le vent ou par les éclaboussures des eaux de pluie avant d'atteindre les épis de céréales. Ces espèces peuvent se conserver sur les débris de récolte dans le sol ou sur d'autres plantes et graminées sauvages. Aussi, sont-elles souvent isolées à partir des racines des céréales présentant les symptômes des pourritures racinaires et des épis échaudées (Xu et Nicholson, 2009; Landshoort et al., 2011; David et al., 2016).

La densité de *Inoculum* dans le sol, sur les résidus de récolte et sur les plantes sauvages conditionne la probabilité d'infection, surtout que la maladie est de type monocyclique. L'évaluation de cet *inoculum* à la fin du cycle de culture pourrait renseigner sur la probabilité d'infection l'année suivante (Landschoot et al., 2011). Cependant, la fréquence des espèces fusariennes sur les différentes espèces de céréales n'est pas la même. Par exemple, *F. proliferatum* est une espèce qui se retrouve sur les quatre céréales alors que *F. culmorum* n'a été isolée qu'à partir du blé dur. Cette variabilité est en effet due à la fréquence relative des espèces, à l'adaptation des espèces fusariennes à leurs hôtes (Pusz et al., 2016) et aux conditions de l'environnement (Landschoot et al., 2011). En effet, les espèces fusariennes se développent différemment au niveau des différentes céréales. Elles infectent l'embryon au niveau du blé comme le cas de *F. graminearum* et *F. culmorum* ou elles empruntent les soies de l'épi dans le cas du maïs alors qu'elles ne se développent que dans les téguments de la graine dans le cas de l'orge, d'où la faible sensibilité de cette dernière par rapport au blé et au maïs (Broydé et Doré, 2013; Pusz et al., 2016).

Diversité des espèces fusariennes isolées à partir des quatre céréales en fonction de l'origine géographique

Selon la figure 6, la diversité et la fréquence relative en espèces fusariennes la plus élevée se trouve au niveau de la localité de Ouled Said (36 %) suivie par Jakma (19,8%), Mzamza (10,8 %) et Ouled Sibendawed (10,8%). Par contre, les céréales issues des régions de OuledAllal, Mzabe et Sahel ont montré une plus faible diversité (trois ou deux espèces) et une fréquence relative respective de 12,6; 6,3 et 3,6 %. Ces résultats sont influencés par la rotation et l'ensemble des pratiques culturales comme les dates de semis, la fertilisation azotée ou le désherbage, les conditions de l'environnement (comme l'humidité relative, la température, la nature et l'aération du sol) et le choix de la variété de céréales qui peuvent varier d'une région à une autre (Beyer *et al.*, 2007; Yli-Mattila, 2010; Leplat *et al.*, 2013).

La diversité et l'incidence des espèces fusariennes est variable d'une région à une autre dans les différentes régions céréalières du monde et c'est le cas aussi au Maroc. Sous un climat semi-aride à aride, elles provoquent des pourritures sèches des racines des céréales. Ce sont surtout les formes asexuées qui prédominent dans ce cas. Le symptôme épi

blanc développé à l'épiaison est le résultat du dessèchement précoce du système racinaire des plantules. Cependant, sous un climat humide et subhumide, les formes sexuées sont plus abondantes et la production de périthèces coïncide avec la période de floraison. Les ascospores libérées sont le plus souvent aéroportées et infectent les fleurs des plantules des céréales. Les conditions favorables permettent le développement du symptôme épi blanc, qui consiste en un échaudage appelée aussi brûlure de l'épi ou fusariose qui se traduit par un dessèchement et une détérioration des tissus vasculaires et du rachis des épis suite à l'infection (Champeil *et al.*, 2004; Beyer *et al.*, 2007).

CONCLUSION

Cette étude a montré que dans la région de la Chaouia, les grains des céréales, notamment le blé, l'orge et le maïs sont sujets à la contamination par les moisissures de type *Alternaria*, *Fusarium*, *Aspergillus*, *Absidia* et autres. Pour ce qui est du type de céréale, le blé dur a été la céréale la plus colonisée par le genre *Alternaria* suivis par le blé tendre l'orge et le maïs alors que pour le genre *Fusarium* le blé tendre et le maïs ont été plus envahis que le blé dur

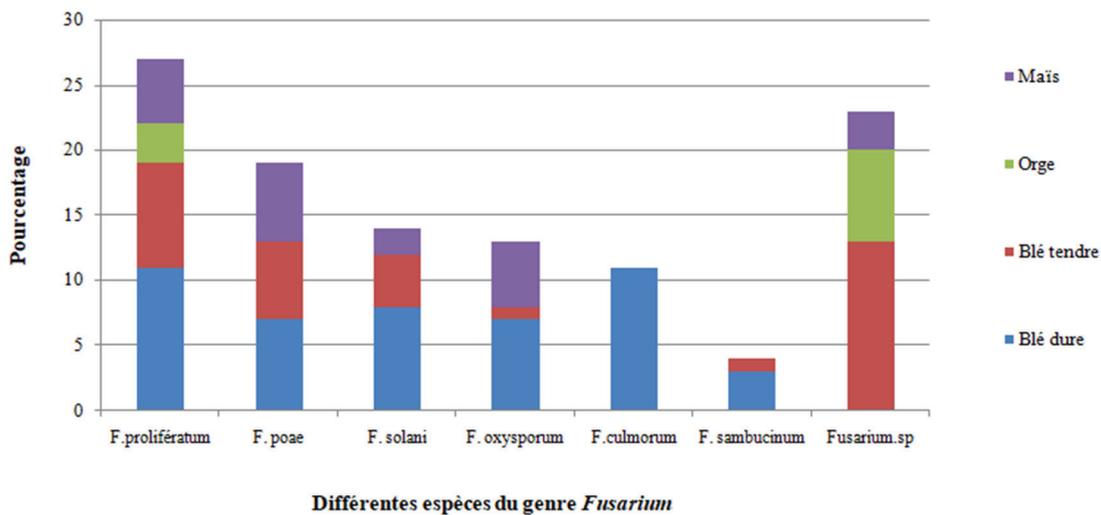


Figure 5: Fréquences relatives des espèces fusariennes isolées au sein des quatre espèces de céréales

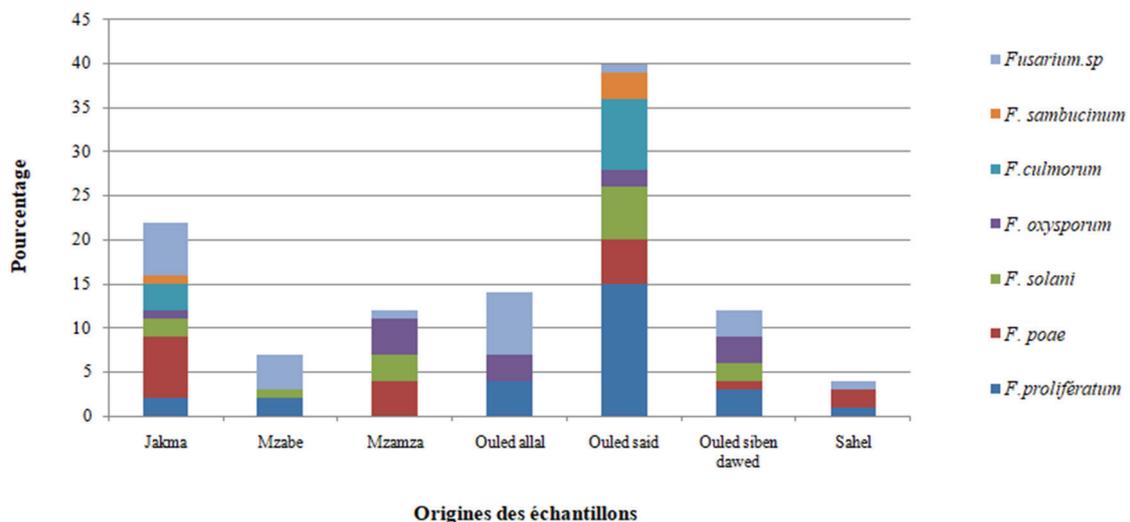


Figure 6: Fréquences relatives des espèces fusariennes isolées des grains des quatre céréales analysées en fonction de l'origine géographique

et l'orge. Les espèces du genre *Alternaria* ont été les plus fréquemment isolées pour toutes les céréales, ceci est en partie dû à leur caractère cosmopolite. Néanmoins, il serait intéressant de chercher la raison de l'augmentation de l'inoculum de ces espèces qui peuvent constituer un danger potentiel puisque les spores d'*Alternaria* peuvent être allergènes et toxicogènes.

Pour le genre *Fusarium* qui a été le deuxième de point de vue importance, la fréquence d'infection et le cortège d'espèces infectantes varie avec la localité géographique et l'espèce de céréales. Ce genre est parmi les plus pathogènes pour les plantes en général et pour les céréales en particulier. Plusieurs espèces de ce genre sont aussi connues par leur production de mycotoxines. Cependant, les espèces les plus redoutables, comme *F. culmorum* ou *F. graminearum*, qui sont parmi les espèces les plus incriminées et les plus étudiées dans le cas de la fusariose des céréales, ne sont pas les plus fréquentes dans le cas de cette étude. *Alternaria* et d'autres agents exercent probablement une compétition au niveau des grains étudiés.

Cette étude a montré qu'il existe une contamination fongique naturelle des grains de céréales dans la région de Chaouia par deux genres de moisissures parmi les plus pathogènes. La recherche des sources de contamination est très souhaitable puisque cette contamination pourrait avoir des conséquences considérables sur le plan agro-économique et présenterait probablement des risques alimentaires et sanitaires.

RÉFÉRENCES

- Atanasova-Penichon V., Richard-Forget F. (2014). Les phyto-micronutriments des céréales: un élément de résistance à la fusariose et à l'accumulation de mycotoxines. *Innovations Agronomiques*, 42: 63-76.
- Betancourt P., Denise S. (2016). Microbiota and mycotoxins in trilinear hybrid maize produced in natural environments at central region in Mexico. *Advances in Microbiology*, 6: 671-676.
- Beyer M., Klix M.B., Verreet J.A. (2007). Estimating mycotoxin contents of *Fusarium*-damaged winter wheat kernels. *International Journal of Food Microbiology*, 119: 153-8.
- Broggi L.E., González H.H., Resnik S.L., Pacin A. (2007). *Alternaria alternata* prevalence in cereal grains and soybean seeds from Entre Ríos, Argentina. *Rev. Iberoam. Micol.*, 24: 47-51.
- Broydé H., Doré T. (2013). Effets des pratiques agricoles sur la contamination des denrées par les mycotoxines issues de *Fusarium* et *Aspergillus* spp. *Cah. Agric.*, 22(83).
- Burgess L.W., Summerell B.A., Bullock S., Gott K.P., Backhouse D. (1994). Laboratory manual for *Fusarium* research. *Fusarium* Research Laboratory. Department of Crop Sciences University of Sydney Royal Botanic Gardens. Sydney.
- Champeil, A., Doré, 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.
- Covarelli L., Beccari G., Steed A., Nicholson P. (2012). Colonization of soft wheat following infection of the stem base by *Fusarium culmorum* and translocation of deoxynivalenol to the head. *Plant Pathology*, 61: 1011-1188.
- David R.F., Magham A.B., David G. S.III., Ross S.D., Marr L.C. (2016). Identification of meteorological predictors of *Fusarium graminearum* ascospore release using correlation and causality analyses. *Eur. J. Plant Pathol.*, 145: 483-492.
- El-Yousfi B. (2015). Guide du diagnostic des principales maladies des céréales d'automne. *INRA, CRRRA* Settat.
- European Food Safety Authority (EFSA) (2014). Scientific Opinion on the risks to human and animal health related to the presence of beauvericin and enniatins in food and feed. *EFSA J.*, 12: 3802.
- Ferrigo D., Raiola A., Causin R. (2016). *Fusarium* toxins in cereals: occurrence, legislation, factors promoting the appearance and their management. *Molecules*, 21: 627.
- Gabriel M.F., Postigo I, Tomaz C.T., Martínez J. (2016). *Alternaria alternata* allergens: Markers of exposure, phylogeny and risk of fungi-induced respiratory allergy. *Environment International*, 89-90: 71-80.
- Gourdain E., Batina H., Du Cheyron P., Fourrey A., Gélisse S., Grignon G., Laval V., Maumené C., Méléard B., Valade R. (2016). Lutte contre les fusarioses des épis de blés: quantification des espèces du complexe fusarien, facteurs de risque et méthodes de lutte. *Innovations Agronomiques*, 49: 133-145.
- Landschoot S., Audenaert K., Waegeman W., Pycke B., Bekaert B., De Baets B., Haesaert G. (2011). Connection between primary *Fusarium inoculum* on gramineous weeds, crop residues and soil samples and the final population on wheat ears in Flanders. *Crop Protection*, 30: 1297-1305.
- Lee K., Pan J.J., May G. (2009). Endophytic *Fusarium verticillioides* reduces disease severity caused by *Ustilago maydis* on maize. *FEMS Microbiol Lett.*, 299: 31-7.
- Lehmann S., Sprünken A., Wagner N., Tenbrock K. and Ott H. (2017). Clinical relevance of IgE-mediated sensitization against the mould *Alternaria alternata* in children with asthma. *Ther. Adv. Respir. Dis.*, 11: 30-39.
- Lejman A., Ogórek R., Sobkowicz P. (2015). Effects of mechanical weed control in barley-pea mixture on colonization of barley grain by fungi. *Pol. J. Environ. Stud.*, 24: 141-149.
- Lemmens M., Buerstmayr H., Krska R., Schuhmacher R., Grausgruber H., Ruckebauer P. (2004). The effect of inoculation treatment and long-term application of moisture on *Fusarium* head blight symptoms and deoxynivalenol contamination in wheat grains. *European Journal of Plant Pathology*, 110: 299-308.
- Lepoivre P. (2003). *Phytopathologie*. Edition De Boeck.
- Leplat J., Friberg H., Abid M., Steinberg C. (2013). Survival of *Fusarium graminearum*, the causal agent of *Fusarium* head blight. *Agron. Sustain. Dev.*, 33: 97-111
- Liuzzi V.C., Mirabelli V., Cimmarusti M.T., Haidukowski M., Leslie J.F., Logrieco A.F., Caliandro R., Fanelli F., Mulè G. (2017). Enniatin and beauvericin biosynthesis in *Fusarium* species: production profiles and structural determinant prediction. *Toxins*, 9: 45.

- Gabriel M.F., Postigo I., Tomaz C.T., Martínez J. (2016). *Alternaria alternata* allergens: Markers of exposure, phylogeny and risk of fungi-induced respiratory allergy. *Environment International*, 89-90: 71-80.
- Oliveira M.S., Rocha A., Sulyok M., Krska R., Mallmann C.A. (2017). Natural mycotoxin contamination of maize (*Zea mays* L.) in the South region of Brazil. *Food Control*, 73: 127-132.
- Osteresch B., Benedikt S.V. Humpf C.H.U. (2017). Multi-mycotoxin analysis using dried blood spots and dried serum spots. *Anal. Bioanal. Chem.*, 409: 3369-3382.
- Pancaldi D., Tonti S., Prodi A., Salomoni D., Prà M.D., Nipoti P., Alberti I., Pisi A. (2010). Survey of the main causal agents of *Fusarium* head blight of durum wheat around Bologna, northern Italy. *Phytopathol. Mediterr.* 49: 258-266.
- Pfohl-Leszkowicz A. (1999). Les mycotoxines dans l'alimentation: évaluation et gestion du risque. *Edition Tec & Doc*.
- Pitt J.I., Hocking A.D. (2009). Fungi and food spoilage, third edition. *Springer*.
- Pusz W., Mascher F., Czembor E., Czembor J., Ogórek R. (2016). Characterization of the relationships between wheat cultivars, *Fusarium* head blight, and mycoflora in grains. *Pol. J. Environ. Stud.*, 25: 1373-1380.
- Scott P.M. Zhao W., Feng S., Lau P.Y. (2012). *Alternaria* toxins alternariol and alternariol monomethyl ether in grain foods in Canada. *Mycotoxin Research* 28: 261-266.
- Sisterna M. Sarandon S. (2010). Wheat grain discoloration in Argentina: current status. *The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology*, 3: 54-64.
- Scherm B, Balmas V., Spanu F., Pani G., Delogu G., Pasquali M., Migheli A.Q. (2013) *Fusarium culmorum*: causal agent of foot and root rot and head blight on wheat. *Molecular Plant Pathology*, 14: 323-341.
- Stanciu O., Banc R., Cozma A., Filip L., Miere D., Mañes J., Loghin F. (2015). Occurrence of *Fusarium* mycotoxins in wheat from Europe. *Food Technology*, 35 Vol. XIX, no. 1.
- Stroia C., Tabuc C., Neacsu A. (2010). Incidence of *Fusarium* species and its mycotoxins in cereals from Western Romania. *Research Journal of Agricultural Science*, 42 (2).
- Thomma B.P.H.J. (2003). *Alternaria* spp.: from general saprophyte to specific parasite. *Molecular Plant Pathology*, 4: 225-236.
- Trottet M., Atanosova-Penichon V., Ferreyrolle J., Gervais L., Pinson Gadais L., Roumet P. (2014). Caractérisation de sources de résistance à la fusariose chez le blé dur. *Innovations Agronomiques*, 35: 173-180.
- Turkington, T.K., Petran, A., Yonow, T., Kriticos, D.J. (2014). *Fusarium graminearum*. *HarvestChoice Pest Geography*. St. Paul, MN: InSTePP, Harvest Choice.
- Xu X.M., (2003). Effects of environmental conditions on the development of *Fusarium* ear blight. *European Journal of Plant Pathology*, 109: 683-689.
- Xu X.M., Nicholson P., (2009). Community ecology of fungal pathogens causing wheat head blight. *Annual Review of Phytopathology*, 47: 83-103.
- Yli-Mattila T. (2011). Detection of trichothecene-producing *Fusarium* species in cereals in Northern Europe and Asia. *Agronomy Research*, 9 (Special Issue II), 521-526.
- Yli-Mattila T. (2010). Ecology and evolution of toxigenic *Fusarium* species in cereals in Northern Europe and Asia. *Journal of Plant Pathology*, 92: 7-18.
- Zhang T., Zhuo Y., Jia X., Liu J., Gao H., Song F.L.M., Zhang L. (2013). Cloning and characterization of the gene cluster required for beauvericin biosynthesis in *Fusarium proliferatum*. *Sci. China Life Sci.*, 56 (7).