

AVIS DE SOUTENANCE DE THESE

Le Doyen de la Faculté des Sciences Dhar El Mahraz –Fès – annonce que

Mme **AMAR Aya**

Soutiendra : le **Lundi 20/07/2026 à 09H00**

Lieu : **FSDM – Centre Visioconférence**

Une thèse intitulée :

Integrated Assessment of Pesticide Residues, Fungal Contamination, and Mycotoxins in Apple Production: From Risk Evaluation to AI-Based Mitigation Strategies

En vue d'obtenir le Doctorat

FD : Molécules Bioactives Santé et Biotechnologie

Spécialité : Biochimie et Biotechnologie

Devant le jury composé comme suit :

Nom et prénom	Etablissement	Grade	Qualité
Pr. IBNSOUDA KORAICHI Saad	Faculté des Sciences et Techniques, Fès	PES	Président
Pr. HAJJAJ Hassan	Faculté des Sciences, Meknès	PES	Rapporteur
Pr. ZINEDDINE Abdellah	Faculté des Sciences, El Jadida	PES	Rapporteur
Pr. EL-KARKOURI Abdenbi	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès	MCH	Rapporteur
Pr. BEKKARI Hicham	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès	PES	Examineur
Pr. LOUASTE Bouchra	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès	MCH	Examineur
Pr. EL HASSOUNI Mohammed	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès	PES	Directeur de thèse
Pr. BOUKIR Abdellatif	Faculté des Sciences et Techniques, Fès	PES	Co-directeur de thèse

ABSTRACT

Apple production systems are increasingly challenged by pesticide residues, fungal contamination, and mycotoxin occurrence, raising important concerns regarding food safety, consumer health, and environmental sustainability. In Morocco, apples represent a major fruit crop; however, information concerning chemical and biological contamination remains limited. Therefore, the present thesis aimed to investigate pesticide residues, fungal contamination, associated health risks, and innovative mitigation strategies in apple production systems through a multidisciplinary approach combining meta-analysis, analytical chemistry, molecular identification, toxicological assessment, and artificial intelligence. A meta-analysis integrating 55 studies on pesticide residues and 28 studies on mycotoxins revealed that 70% of apple samples contained pesticide residues with a mean concentration of 2.28 mg/kg, while 60% were contaminated by mycotoxins with an average concentration of 20 µg/kg. Significant variability among studies highlighted the influence of agricultural practices, environmental conditions, and storage management on contamination levels. Pesticide residue analysis performed using QuEChERS extraction coupled with HPLC-MS/MS identified twenty-two active substances belonging to different chemical families in apples collected from the Fez–Meknes region. Deterministic, cumulative, and probabilistic risk assessments demonstrated that although most residues remained below international maximum residue limits, multi-residue contamination and cumulative exposure may represent potential concerns, particularly for vulnerable populations. Fungal isolation and molecular identification based on ITS sequencing revealed the presence of several fungal genera associated with postharvest spoilage and mycotoxin production, including *Penicillium expansum*, *Alternaria alternata*, *Aspergillus*, and *Fusarium* species. The results confirmed the strong relationship between fungal contamination and food safety risks associated with apple storage and postharvest handling. Finally, a lightweight deep learning framework based on the YOLOv10 architecture was developed for early detection of fungal symptoms under natural orchard conditions. The optimized model demonstrated satisfactory classification performance and robustness despite heterogeneous environmental conditions, highlighting the potential of artificial intelligence-assisted disease monitoring for precision agriculture and targeted crop protection. Overall, this thesis demonstrates that pesticide residues, fungal contamination, and disease management are interconnected components of food safety in apple production systems. The integration of analytical chemistry, molecular biology, toxicological assessment, and artificial intelligence provides promising perspectives for improving contamination monitoring, reducing pesticide dependency, and promoting more sustainable and environmentally responsible apple production systems in Morocco.

Keywords: Apple production; Pesticide residues; Mycotoxins; Food safety; *Penicillium expansum*; *Alternaria alternata*; HPLC-MS/MS; QuEChERS; Risk assessment; Molecular identification; Artificial intelligence; YOLOv10; Precision agriculture; Sustainable agriculture; Morocco.



RESUME

Les systèmes de production de pommes sont de plus en plus confrontés à la présence de résidus de pesticides, à la contamination fongique et à l'occurrence de mycotoxines, soulevant d'importantes préoccupations en matière de sécurité alimentaire, de santé des consommateurs et de durabilité environnementale. Au Maroc, la pomme représente une culture fruitière majeure ; cependant, les données relatives aux contaminations chimiques et biologiques restent encore limitées. Ainsi, cette thèse avait pour objectif d'étudier les résidus de pesticides, la contamination fongique, les risques sanitaires associés ainsi que des stratégies innovantes de mitigation dans les systèmes de production de pommes à travers une approche multidisciplinaire combinant méta-analyse, chimie analytique, identification moléculaire, évaluation toxicologique et intelligence artificielle. Une méta-analyse intégrant 55 études sur les résidus de pesticides et 28 études sur les mycotoxines a révélé que 70 % des échantillons de pommes contenaient des résidus de pesticides avec une concentration moyenne de 2,28 mg/kg, tandis que 60 % étaient contaminés par des mycotoxines avec une concentration moyenne de 20 µg/kg. L'importante variabilité observée entre les études a mis en évidence l'influence des pratiques agricoles, des conditions environnementales et des méthodes de stockage sur les niveaux de contamination. L'analyse des résidus de pesticides réalisée par extraction QuEChERS couplée à la HPLC-MS/MS a permis d'identifier vingt-deux substances actives appartenant à différentes familles chimiques dans des pommes collectées dans la région de Fès-Meknès. Les approches d'évaluation des risques déterministes, cumulatives et probabilistes ont montré que, bien que la majorité des résidus détectés restent inférieurs aux limites maximales réglementaires, la présence fréquente de multi-résidus et l'exposition cumulative peuvent représenter des risques potentiels, notamment pour les populations vulnérables. L'isolement fongique et l'identification moléculaire basés sur le séquençage ITS ont révélé la présence de plusieurs genres fongiques associés aux altérations post-récolte et à la production de mycotoxines, notamment *Penicillium expansum*, *Alternaria alternata*, *Aspergillus* et *Fusarium*. Les résultats ont confirmé la forte relation entre la contamination fongique et les risques liés à la sécurité sanitaire des pommes lors du stockage et des opérations post-récolte. Enfin, un modèle léger de deep learning basé sur l'architecture YOLOv10 a été développé pour la détection précoce des symptômes fongiques en conditions naturelles de verger. Le modèle optimisé a démontré des performances de classification satisfaisantes et une bonne robustesse malgré l'hétérogénéité des conditions environnementales, mettant en évidence le potentiel de l'intelligence artificielle pour l'agriculture de précision et la protection ciblée des cultures.

Globalement, cette thèse démontre que les résidus de pesticides, la contamination fongique et la gestion des maladies constituent des composantes interconnectées de la sécurité alimentaire dans les systèmes de production de pommes. L'intégration de la chimie analytique, de la biologie moléculaire, de l'évaluation toxicologique et de l'intelligence artificielle offre des perspectives prometteuses pour améliorer la surveillance des contaminants, réduire la dépendance aux pesticides et promouvoir des systèmes de production plus durables et respectueux de l'environnement au Maroc.

Mots-clés : Production de pommes ; Résidus de pesticides ; Mycotoxines ; Sécurité alimentaire ; *Penicillium expansum* ; *Alternaria alternata* ; HPLC-MS/MS ; QuEChERS ; Évaluation des risques ; Identification moléculaire ; Intelligence artificielle ; YOLOv10 ; Agriculture de précision ; Agriculture durable ; Maroc.