

**République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de
l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Saad Dahleb Blida**



**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'un Master
Académique**

Spécialité : Sécurité Agroalimentaire et Assurance Qualité

Filière : Sciences Alimentaires

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Thème :

L'effet de l'ozone sur la qualité technologique du blé

Présenter par :

M^{lle} Beninel Ayat Ellah

M^{lle} Zermane Hafsa

Soutenu le 08/07/2025 devant le jury composé de :

Dr. Benlemmane S.	(MCB)	Présidente	Université de Blida 1
Dr. Nabi I.	(MAB)	Examinatrice	Université de Blida 1
Dr. Aoues K.	(MCA)	Promotrice	Université de Blida 1

Année universitaire 2024 – 2025

Remerciements

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

{يَرْفَعُ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ}

أَمَّا بَعْدُ فَالصَّلَاةُ وَالسَّلَامُ عَلَى أَشْرَفِ الْمُرْسَلِينَ، سَيِّدِنَا مُحَمَّدٍ، وَعَلَى آلِهِ وَصَحْبِهِ أَجْمَعِينَ

Avant toute chose, nous rendons grâce à **Allah**, Le Très Haut, pour nous avoir guidés, inspirés et fortifiés tout au long de ce travail.

Nous tenons à remercier **Madame Benlemmane S.** de nous avoir fait l'honneur d'accepter la présidence du jury.

Nous remercions également **Madame Nabi I.** d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous tenons à nous remercier **nous-mêmes** pour notre patience, notre travail et notre collaboration tout au long de ce mémoire. Entre les moments de fatigue, de rires et les défis relevés, nous avons su mener ce projet à bien avec fierté. Alors merci à nous, et bravo.

Nos remerciements vont également à **Monsieur Ramdane Sidali**, pour son soutien constant, sa présence bienveillante et ses encouragements. Nous lui adressons notre profonde gratitude pour sa précieuse aide.

Nous remercions chaleureusement **Madame Moukedad Manel**, **Madame Ouald Ali Nacira** et **Monsieur Kouadri Amine** pour leur aide précieuse et leur grande gentillesse, et nous adressons également nos sincères remerciements à **toute l'équipe SOPI** pour son accompagnement.

Un remerciement à nos petits amis **insectes**, qui ont fait le job sans le savoir, Grâce à vous, on a pu tester l'ozone dans les meilleures conditions, et on vous doit une partie de la réussite de cette étude. Vous n'êtes peut-être pas conscients de votre contribution scientifique, mais sachez que vous serez toujours dans nos cœurs (et pas dans nos silos).

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

À moi-même,

Pour avoir cru en mes rêves, même quand c'était difficile.
Pour avoir continué, même quand j'étais fatiguée.
Pour chaque pas fait avec courage, chaque nuit passée à douter, mais à persévérer.
Je me rends hommage pour n'avoir jamais abandonné.
Ce travail est la preuve que je suis capable de bien plus que je ne l'imaginais.

À mon père Nabil Beninel,

Pilier de ma vie, merci pour ta force tranquille, ta patience, et pour tous les sacrifices que tu as faits sans jamais attendre quoi que ce soit en retour. Ton exemple m'a appris la persévérance et le respect.

À ma mère Hayet Toutaoui,

Cœur battant de notre famille, ton amour, ta tendresse et ton courage m'ont portée dans les moments les plus difficiles. Tu es cette lumière douce et constante qui éclaire mes pas. Rien ne pourrait exprimer toute la gratitude que je ressens envers toi.

À ma Famille,

Mes sœurs **Dhoha, Ikhlas, Israa** et mon frère **Abdelillah** je vous aime profondément votre affection et vos encouragements m'ont donné le sourire dans les jours les plus gris.

À Nadjat Toutaoui,

Une seconde mère au cœur généreux, merci pour ton soutien et ta bienveillance.

À mes grands-parents

Qu'Allah leur accorde Sa miséricorde. Leur tendresse, leur sagesse et leurs invocations vivent toujours en moi.

Mes spéciales dédicaces pour ma chère binôme Hafsa et sa famille.

Ayat Ellah

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

À mes chers parents Malika et Mohammed

Pour leur amour, leurs sacrifices et leur soutien tout au long de mon parcours.

À ma Famille

Mes sœurs **Habiba, Khadidja, Chaima** et **Sana** et mon frère **Karim**, pour leur présence, leurs encouragements et leurs précieux conseils aussi à **mes nièces** et **mes neveux** je vous aime tous.

À ma chère copine Ayat Ellah et sa famille pour son amitié sincère et son soutien.

À tous mes amis

Qui m'ont toujours apporté la bonne humeur.

À vous tous

Je dédie ce travail, fruit de vos prières, de votre amour et de votre foi en moi.

Hafsa

Résumé:

Le présent travail a permis d'évaluer l'efficacité de l'ozone comme alternative non chimique de lutte contre *Sitophilus oryzae* insectes nuisibles du blé dur, tout en analysant son impact sur la qualité globale du produit transformé, à savoir le couscous.

Du blé dur infesté a été traité à l'ozone selon trois configurations (horizontale, verticale avec et sans ventilation) pendant 3 à 5 jours. Le couscous issu des traitements a été analysé pour évaluer la mortalité des insectes, la teneur en eau, le taux de cendre, l'indice de gonflement, la granulométrie, les propriétés optiques et les paramètres culinaires. Les résultats ont été traités à l'aide d'analyse statistique ANOVA ($p > 0,05$).

Les résultats les plus marquants montrent que le traitement à l'ozone en configuration verticale sans ventilation pendant 5 jours a permis d'atteindre une mortalité totale des insectes (100 %). Cette configuration a également permis de préserver une granulométrie optimale (1000–1250 μm), un indice de gonflement élevé (1,93) et une bonne texture après cuisson. Par ailleurs, l'indice de jaune est resté stable, indiquant une bonne conservation de la couleur. Enfin, le traitement de 3 jours sans ventilation a offert les meilleures performances culinaires, avec un temps de cuisson réduit (19 min) et une bonne cohésion.

La concentration de 50 ppm (parties par million) a été utilisée en raison de son efficacité prouvée contre les insectes, tout en préservant la qualité du produit. Ce choix s'appuie également sur des études antérieures ayant démontré sa capacité à éliminer les insectes nuisibles tels que *Sitophilus oryzae* (ex: Savi et al., 2014 ; McDonough et al., 2000), à limiter la dégradation des qualités technologiques et nutritionnelles du grain, et à éviter les effets oxydatifs excessifs susceptibles d'altérer les propriétés du blé dur ou du couscous.

Le choix du couscous artisanal permet d'évaluer l'effet de l'ozone sur un produit simple, sans additifs, et représentatif des pratiques traditionnelles. Quant aux configurations horizontale et verticale, elles ont été utilisées pour comparer la diffusion de l'ozone selon l'orientation : la verticale simule le traitement en silo, tandis que l'horizontale permet une répartition plus homogène du gaz sur des couches minces.

Ainsi Le traitement à l'ozone s'est révélé efficace pour désinfecter le blé dur tout en préservant la qualité technologique du couscous. Son application industrielle nécessite une optimisation fine des paramètres pour garantir sécurité, efficacité et qualité du produit final.

Mots clés: Ozone – Couscous – Blé dur – insecticide – Qualité technologique

Abstract:

This study aimed to evaluate the effectiveness of ozone as a non-chemical alternative for controlling *Sitophilus oryzae*, a harmful insect of durum wheat, while analyzing its impact on the overall quality of the processed product, namely couscous.

Infested durum wheat was treated with ozone under three configurations (horizontal, vertical with and without ventilation) for 3 to 5 days. The couscous resulting from the treatments was analyzed to assess insect mortality, moisture content, ash content, swelling index, particle size distribution, optical properties, and cooking parameters. Results were processed using ANOVA statistical analysis ($p > 0.05$).

The most significant findings show that ozone treatment in the vertical configuration without ventilation for 5 days achieved total insect mortality (100%). This configuration also maintained optimal granularity (1000–1250 μm), a high swelling index (1.93), and good texture after cooking. Additionally, the yellowness index remained stable, indicating good color preservation. Furthermore, the 3-day treatment without ventilation offered the best culinary performance, with reduced cooking time (19 minutes) and good cohesiveness.

The concentration of 50 ppm (parts per million) was used due to its proven effectiveness against insects while preserving product quality. This choice is also supported by previous studies that demonstrated its ability to eliminate harmful insects such as *Sitophilus oryzae* (e.g., Savi et al., 2014; McDonough et al., 2000), limit the degradation of the technological and nutritional qualities of the grain, and avoid excessive oxidative effects that could alter the properties of durum wheat or couscous.

The choice of artisanal couscous allows for evaluating the effect of ozone on a simple product, free of additives and representative of traditional practices. The horizontal and vertical configurations were used to compare ozone diffusion according to orientation: the vertical setup simulates silo treatment, while the horizontal allows for more uniform gas distribution over thin layers.

Thus, ozone treatment proved effective in disinfecting durum wheat while preserving the technological quality of couscous. Its industrial application requires careful optimization of parameters to ensure safety, effectiveness, and the final product's quality.

Keywords: Ozone – Couscous – Durum wheat – Insecticide – Technological quality

ملخص:

مكّن هذا العمل من تقييم فعالية الأوزون كبديل غير كيميائي لمكافحة حشرة *Sitophilus oryzae*، وهي من الآفات الضارة بالقمح الصلب، وذلك مع دراسة تأثيره على الجودة الكلية للمنتج المحوّل والمتمثل في الكسكسي.

تمت معالجة القمح الصلب المصاب بالأوزون وفق ثلاث وضعيات (أفقية، عمودية مع التهوية، وعمودية بدون تهوية) لمدة تتراوح بين 3 إلى 5 أيام. بعد ذلك، تم تحليل الكسكسي الناتج لتقييم نسبة موت الحشرات، ومحتوى الرطوبة، ونسبة الرماد، ومعامل الانتفاخ، وحجم الحبيبات، والخصائص البصرية، والمعايير الطبخية. وقد تم تحليل النتائج باستخدام الاختبار الإحصائي (ANOVA $p > 0,05$).

أظهرت النتائج أن المعالجة بالأوزون في الوضعية العمودية بدون تهوية ولمدة 5 أيام سمحت بالوصول إلى نسبة موت كاملة للحشرات (100%). كما سمحت هذه الوضعية بالحفاظ على حجم حبيبات مثالي (1000–1250 ميكرومتر)، ومعامل انتفاخ مرتفع (1,93)، إضافةً إلى الحصول على قوام جيد بعد الطهي. من جهة أخرى، ظل مؤشر الاصفرار ثابتاً، ما يدل على المحافظة على اللون. وأخيراً، فإن المعالجة لمدة 3 أيام بدون تهوية قدّمت أفضل أداء طبخي، بوقت طهي منخفض (19 دقيقة) وتماسك جيد.

تم اعتماد تركيز 50 جزء في المليون (ppm) نظراً لفعاليتها المثبتة ضد الحشرات، مع الحفاظ على جودة المنتج. ويستند هذا الاختيار أيضاً إلى دراسات سابقة أثبتت قدرته على القضاء على الحشرات الضارة مثل *Sitophilus oryzae* (مثال: Savi وآخرون، 2014؛ McDonough وآخرون، 2000)، وعلى الحد من تدهور الخصائص التكنولوجية والقيم الغذائية للحبوب، إضافةً إلى تجنب التأثيرات التأكسدية المفرطة التي قد تُضعف خصائص القمح الصلب أو الكسكسي.

أما اختيار الكسكسي التقليدي، فقد مكّن من تقييم تأثير الأوزون على منتج بسيط وخالٍ من الإضافات، ويمثل الممارسات التقليدية. وبالنسبة للوضعيتين الأفقية والعمودية، فقد استُخدمتا للمقارنة بين كيفية انتشار الأوزون تبعاً للاتجاه: إذ تُحاكي الوضعية العمودية المعالجة في الصوامع، بينما تسمح الوضعية الأفقية بتوزيع أكثر تجانساً للغاز عبر طبقات رقيقة.

الكلمات المفتاحية: الأوزون – الكسكسي – القمح الصلب – مبيد حشري – الجودة التكنولوجية

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction 1

Partie bibliographique

Chapitre 1 : le blé dur et son infestation

1. Généralités sur le blé dur	3
1.1 Classification du blé dur	3
1.2 Structure et composition du grain de blé dur	3
2. Stockage du blé dur	4
2.1 Méthodes de stockage	4
2.1.1 Stockage traditionnel	4
2.1.2 Stockage moderne	5
3. Mécanismes d'altération des grains	5
3.1 Causes de l'altération	5
3.1.1 D'origine biologique	5
3.1.2 D'origine microbiologique	6
3.1.3 D'origine chimique ou biochimique	6
3.1.4 D'origine mécanique	6
4. Infestation du blé dur par les insectes	6
4.1 Principaux insectes ravageurs	6
4.2 Cycle de vie des insectes ravageurs	7
4.3 Pertes causées par les insectes	7
4.4 Paramètres influencées par l'infestation des insectes des denrées	8
5. Prévention et lutte contre les infestations	10
5.1 Méthodes de lutte	10
6. Transformation du blé dur : le couscous	11

6.1 Définition du couscous	11
6.2 La semoule de blé dur	11
6.3 Processus de fabrication du couscous	12
6.3.1 Processus artisanal	12
6.3.2 Processus industriel	13
6.4 Qualité du couscous	14
6.4.1 Notion de qualité	14

Chapitre 2 : L'ozone

1. Généralités de l'ozone	16
1.1. Définition de l'ozone	16
2. Production de l'ozone	16
3. Applications de l'ozone dans le traitement des graines	17
4. Mécanismes d'action de l'ozone sur les organismes biologiques	18
4.1 Action de l'ozone sur les bactéries et les virus	18
4.2 Action de l'ozone sur les champignons	19
4.3 Action de l'ozone sur les mycotoxines	20
4.4 Action de l'ozone sur les insectes	20
5. L'effet de l'ozone sur la qualité des grains	21
Références bibliographique	

Liste des tableaux

Tableau 1 : Méthodes écologiques non chimiques/non thermiques pour la désinfestation et le contrôle des infestations parasitaires/fongiques pendant le stockage des principales céréales importantes.	10
Tableau 2 : La valeur nutritionnelle moyenne de couscous	15
Tableau 3 : Effets du traitement à l’ozone sur les insectes des denrées stockées	21

Liste des figures

Figure 1 : Principales espèces d'insectes nuisibles des stocks de céréales (répartis en deux groupes de nuisibilité différente)	7
Figure 2 : Image de particules de semoule obtenues par microscope électronique à balayage.	12
Figure 3 : Transformation manuelle de la semoule pour le couscous	13
Figure 4 : Préparation traditionnelle du couscous à la main	13
Figure 5 : Schéma de fabrication industrielle de couscous	14
Figure 6 : Formulation de l'ozone	17
Figure 7 : Installation de génération d'ozone pour le traitement des céréales alimentaires	18
Figure 8 : Processus d'inactivation microbienne par traitement à l'ozone	19
Figure 9 : Transfert de l'ozone dans le grain de blé	22

Liste des abréviations

O3 : Ozone

FAO : Food and Agriculture Organization (organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture)

PS : Poids spécifique

LIR : Lutte intégrée contre les ravageurs

MHZ : Mégahertz

UV : Ultraviolets

KGy : Kilo gray

FDA : Food and Drug Administration

d : Diamètre

a* : Indice de brun

b* : Indice de jaune

L* : La clarté

ISO : International Organization for Standardization

IPM : Indice de prise en masse

GRAS : Generally Recognized As Safe

PH : Potentiel hydrogène

eV : électronvolt

FEM : Force électromotrice

ARN : Acide Ribonucléique

ppm : Partie par million

HR : Humidité relative

CG : capucin des grains

Sp : Silvain plat

CR : Coléoptère rouge

CCLS : Coopérative de céréales et Ligumes Secs

CDTA : Centre de développement des technologies avancés

PNR : Projet national de recherche

SDBD : Système de décharge à barrière diélectrique

Nox : Ensemble d'oxydes d'azote

L'OAIC : Office Algérien Interprofessionnel des Céréales

NA : Norme algérien

JORA : Journal Officiel de la République Algérienne

JOAP : Joint Oil Analysis Program

MTQ : Matière Totale au Quotidien

MS : Matière sèche

Introduction

Introduction

En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale (Aoues, 2019).

Parmi ces céréales, le blé dur (*Triticum durum*) est à la base de nombreuses préparations traditionnelles. Ses formes de consommation varient selon les régions et les cultures, donnant lieu à une diversité de produits alimentaires uniques (Elias, 1995). L'un des produits les plus emblématiques issus du blé dur est le couscous, préparé à partir de semoule obtenue par mouture, humidification, agglomération et cuisson à la vapeur. Ce mets occupe une place centrale dans l'alimentation algérienne et repose sur l'utilisation d'un grain de qualité technologique optimale.

Cependant, la qualité technologique du blé dur peut être fortement compromise durant la période de stockage. En effet, les grains sont exposés à divers facteurs de dégradation, notamment les infestations d'insectes. Ces ravageurs des denrées stockées, comme *Sitophilus oryzae*, peuvent engendrer d'importantes pertes économiques et détériorer les propriétés technologiques du blé, essentielles pour la transformation en semoule et, par conséquent, pour la fabrication d'un couscous de bonne qualité.

L'usage répété d'insecticides chimiques pour la protection des grains n'est pas sans conséquences : apparition de résistances chez les insectes, résidus toxiques, pollution de l'environnement et risques sanitaires. Face à ces limites, de nombreuses recherches ont été menées ces dernières années pour identifier des méthodes de lutte alternatives, efficaces, économiques et respectueuses de l'environnement (Cissokho et al., 2015).

Parmi les solutions émergentes, l'ozone (O₃) se distingue comme un agent oxydant puissant, aux multiples applications dans l'industrie agroalimentaire. Utilisé sous forme gazeuse ou aqueuse, il permet la décontamination de divers produits tels que fruits, légumes, épices, boissons, viandes et poissons. En plus d'assurer une bonne sécurité microbiologique, l'ozone agit efficacement contre les insectes nuisibles des denrées stockées et contribue à la dégradation de certaines mycotoxines (Sivaranjani et al., 2021). Son principal avantage réside dans sa décomposition rapide en oxygène, ne laissant aucun résidu dans les produits traités, ce qui en fait une technologie écologique prometteuse.

Dans ce contexte, une question centrale se pose : l'ozone peut-il constituer une alternative efficace aux insecticides chimiques pour lutter contre *Sitophilus oryzae*, tout en préservant les qualités technologiques du blé dur destinées à la production de couscous ?

Notre travail a ainsi pour objectif d'étudier l'efficacité du traitement à l'ozone dans la lutte contre *Sitophilus oryzae*, un des principaux insectes ravageurs du blé dur stocké, tout en évaluant son impact sur la qualité technologique du grain et sur le produit transformé, en l'occurrence le couscous.

Dans le cadre de ce mémoire, notre travail a été structuré en quatre chapitres principaux :

- Le premier chapitre est consacré au blé dur, à ses caractéristiques, aux principaux insectes qui l'infestent durant le stockage, ainsi qu'au processus de transformation du blé en couscous.

- Le deuxième chapitre traite de l’ozone, en détaillant ses méthodes de production, ses propriétés et ses effets sur les organismes biologiques, notamment les insectes nuisibles des denrées stockées.
- Le troisième chapitre présente les matériaux et méthodes utilisés. Il décrit les conditions expérimentales du traitement à l’ozone, ainsi que les analyses technologiques réalisées sur le blé et le couscous obtenu.
- Le quatrième chapitre est dédié à la présentation et à la discussion des résultats. Nous y analysons l’efficacité de l’ozone sur la mortalité des insectes et son impact sur les caractéristiques technologiques du blé dur et du couscous.

Synthèse bibliographique

Chapitre 1 :

Le blé dur et son infestation

1 Généralités sur le blé dur

1.1 Classification du blé dur

D'après la classification de **Chadefaude et Emberger (1960)** le blé dur est classé comme suit :

Règne	<i>Planteae</i>
Embranchement	<i>Angiospermes</i>
Sous – embranchement	<i>Spermaphytes</i>
Super –ordre	<i>Commeliniflorales</i>
Ordre	<i>Glumiflorale</i>
Classe	<i>Monocotylédones</i>
Famille	<i>Gramineae ou Poaceae</i>
Tribu	<i>Triticeae</i>
Sous-tribu	<i>Triticinae</i>
Genre	<i>Triticum</i>
Espèces	<i>Triticum durum Desf.</i>

1.2 Structure et composition du grain de blé dur

Le grain de blé est formé de trois parties qui sont : l'enveloppe ou le son (13 %), l'albumen (84 %) et le germe (3 %) (**Boudreau, & Ménar, 1992**).

a) Les enveloppes : Donnent le son en semoulerie, elles sont d'épaisseur variable et sont formées de 3 groupes de téguments soudés (**Godon, & Willm, 1991**):

- Le péicارpe ou tégument du fruit constitué de 3 assises cellulaires :
 - Epicارpe, protégé par la cuticule et les poils.
 - Mésocarpe, formé de cellules transversales.
 - Endocarpe, constitué par des cellules tubulaires
- Le testa ou tégument de la graine constituée de 2 couches de cellules.
- L'épiderme du nucelle appliqué sur l'albumen sous-jacent.

b) L'albumen : Principalement amylacé et vitreux chez le blé dur, possède à sa périphérie une couche à aleurone riche en protéines, lipides, pentosanes, hémicelluloses et minéraux (**Godon, & Willm, 1991**).

c) L'embryon ou le germe : comporte

- Le cotylédon unique ou scutellum riche en lipides et protéines.
- La plantule plus ou moins différenciée :
 - La radicule ou racine embryonnaire protégée par le coléorhize.
 - La gemmule comportant un nombre variable de feuilles visibles, enfermées dans un étui protecteur : la coléoptile (**Godon, & Willm, 1991**).

2 Stockage du blé dur

Les céréales ne sont en général récoltées qu'une seule fois dans l'année, leur stockage pour des périodes plus ou moins importantes étant une étape essentielle afin d'assurer leur disponibilité sur le marché (**Bettahar, 2016**).

2.1 Méthodes de stockage**2.1.1 Stockage traditionnel****A. Stockage en silo souterrain (Matmoura) :**

Les paysans Algériens des hauts plateaux conservait surtout l'orge et le blé dans des enceintes creuses de simple trous cylindrique ou rectangulaire dans un sol argileux, appelé elmatmoura (**Doumandji & al., 2003**).

La trop forte humidité et les eaux d'infiltration sont les inconvénients majeurs de cette méthode de stockage qui favorisent le développement des moisissures et les phénomènes de fermentation bactérienne (**Hayma, 2004**).

B. Stockage en sac :

Les grains sont conservés dans des sacs fabriqués en toile de jus, entreposés en tas dans divers locaux, magasins ou hangars. Ce type de stockage est passager dans les milieux où l'autoconsommation est forte (**Lasseran, & Monroco, 1988**).

- **Stockage en vrac** : il est réalisé dans le cas où les grains en tas sont laissés à l'air libre dans des hangars ouverts à charpente métallique, notons que les contaminations sont fortes possibles (**Doumandji, 1977**). Cette méthode est peu répandue dans les pays en

développement, elle est partagée en deux type de cellule : cellule grillages et cellule simple en panneaux (**Righi, 2010**).

2.1.2 Stockage moderne

➤ **Stockage en silos (longue durée)** : Le silo constitue le lieu de stockage le plus adapté pour la conservation prolongée des produits solides en vrac tels que les céréales (**Doumandji & al., 2003**).

- **Silos en béton armé**: c'est le matériau de choix des grandes silos (silos-tours), car il s'adapte à toutes les formes, de plus il est ininflammable et résiste bien à la corrosion des parois extérieurs et aux pressions verticales et latérale des grains et aux chocs ; il est aussi facile à l'entretien et peu sensible aux moisissures (**Boudreau & al., 1992**)
- **Silos métalliques** : ils sont composés de cellules métalliques en tôles (4 à 5 mm d'épaisseur), d'acier galvanisé ou d'aluminium, planes ou ondulées, boulonnées ou serties, fixées sur un sol en béton étanche, utilisés généralement pour le stockage des céréales transformées après broyage, en alimentation de bétail. Les diamètres des cellules varient entre 2 à 4 m et la hauteur et pouvant atteindre 20 m (**Cruz & al., 1988**).

3 Mécanismes d'altération des grains

Au cours de la conservation, les grains peuvent subir différentes altérations provoquées par des agents de diverses origines et amplifiées par les trois principaux facteurs que sont le temps, l'humidité et la température (**Aoues, 2018**).

3.1 Causes de l'altération

Ces altérations peuvent avoir des origines très diverses (**Aoues, 2018**) :

3.1.1 D'origine biologique

Il s'agit du monde animal, les prédateurs mis en cause sont des mammifères rongeurs, (rats, souris, etc.), des oiseaux (moineaux, tourterelles, étourneaux, etc.), et des insectes rampants (charançons, sylvains, ...) ou volants (teignes, alucites, ...) (**Feillet, 2000**).

3.1.2 D'origine microbiologique

Les moisissures sont toujours présentes sur les grains. Elles se développent au champ, ou au cours du stockage. Elles sont inoffensives en bonnes conditions de conservation, cependant certaines peuvent faire baisser la faculté germinative tandis que d'autres, dans des conditions bien particulières secrètent des substances toxiques (mycotoxines) **(Guiraud, 1998)**.

3.1.3 D'origine chimique ou biochimique

Lorsque le grain est soumis à des températures trop élevées (échauffement naturel ou températures trop fortes lors du séchage) il peut se produire une dégradation de la structure de l'amidon et des protéines, des pertes de vitamines et une modification d'aspect (brunissement, voire dans des cas extrêmes, noircissement du grain) **(Multon, 1982)**.

3.1.4 D'origine mécanique

Il s'agit des grains cassés lors des différentes opérations de manutention **(Cheftel, 1977)**.

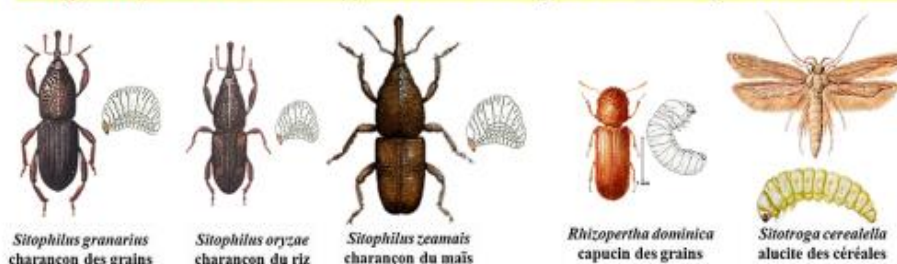
4 Infestation du blé dur par les insectes

L'infestation des céréales par les insectes est l'un des principaux problèmes qui nécessitent une attention particulière, car ces ravageurs détériorent la qualité des céréales alimentaires et de leurs produits **(Srivastava, & Mishra, 2021)**.

4.1 Principaux insectes ravageurs

Les nombreuses espèces d'insectes qui infestent les grains stockés ont des caractéristiques physiologiques et morphologiques qui leur permettent de vivre, se déplacer et se reproduire dans la masse des grains. Les espèces les plus nuisibles, celles qui sont capables d'attaquer les grains sains et dont les stades larvaires vivent cachés à l'intérieur des grains, sont considérées comme des « ravageurs primaires ». Les masses de grains stockés sont souvent colonisées par un 2ème groupe d'espèces qualifiées de « ravageurs secondaires ». On y trouve plusieurs espèces de coléoptères à tous les stades de développement et quelques chenilles de lépidoptères **(Lessard, 2018)** voir figure n°1.

Ravageurs « primaires » se développant à l'intérieur du grain avant l'émergence au stade adulte



Espèces secondaires qui grignotent les grains à l'extérieur (au stade d'adulte et de larve)

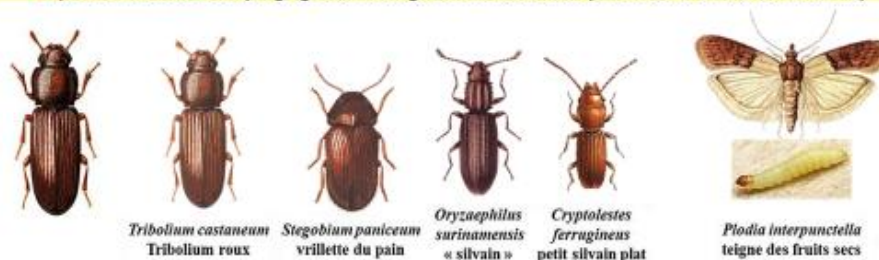


Figure 1 : Principales espèces d'insectes nuisibles des stocks de céréales (répartis en deux groupes de nuisibilité différente) (Lessard, 2018)

4.2 Cycle de vie des insectes ravageurs

Certains insectes vivent de la consommation du grain : au stade larvaire, ils se développent à l'intérieur même du grain, ils sont alors invisibles, une fois adultes, en raison de leur petite taille, ils ne sont pas facilement détectables : lorsque l'on constate la présence d'insectes dans un entrepôt de céréales, cela indique généralement que le stock est déjà fortement infesté (**Bettahar, 2016**).

De plus, leur faculté à se multiplier très rapidement leur donne la capacité d'occasionner des pertes considérables (**Bettahar, 2016**).

Dans le cas où des conditions favorables sont réunies, notamment une température optimale, le temps de développement (cycle de développement) de certains insectes peut être compris entre 3 et 4 semaines (**Bettahar, 2016**).

La température idéale pour le développement de ces insectes est de l'ordre de 25 à 30 °C. A 15 °C, le temps de développement est significativement retardé (entre 4 et 7 mois). A des températures en dessous de 10 °C ou au-delà de 35°C, le cycle de développement n'atteint pas son terme et le taux de mortalité devient alors considérable (**Bettahar, 2016**).

Outre l'influence de la température, le développement dépend également de l'humidité du grain. Sur des céréales à moins de 10 % d'humidité une forte mortalité est enregistrée (**Bettahar, 2016**).

4.3 Pertes causées par les insectes

- Perte de poids

Une fois installés dans une denrée, les insectes se nourrissent en permanence. Les estimations de la perte qui en résulte varient énormément selon la denrée, la localité et les techniques d'entreposage employées. Sous les tropiques, pour des céréales ou des légumes secs entreposés dans les conditions traditionnelles, il faut compter une perte de l'ordre de 10 % à 30 % sur un cycle complet d'entreposage (FAO, 2014).

Des situations similaires sont observées selon les années, des pertes pouvant atteindre des niveaux supérieurs à 20 % en Afrique (Belaifa, & Lessard, 2015), notamment en Algérie des pertes pouvant dépassées 35% sont enregistrées ces dernières années selon les déclarations de l'Office Algérien Interprofessionnel des Céréales.

- **Perte de qualité et de valeur marchande**

Le produit infesté est contaminé par les déchets laissés par les insectes et a une teneur en poussière accrue. Les grains sont percés et souvent décolorés. Un mets préparé avec un aliment contaminé peut avoir une odeur ou un goût désagréable (FAO, 2014).

Sur les marchés traditionnels, les prix ne se ressentent relativement pas des dommages causés par les insectes. Mais dans les circuits centralisés de commercialisation et de distribution, les produits sont souvent soumis à un système de classification qui pénalise les produits infestés (FAO, 2014).

Les insectes, les moisissures et les grains eux-mêmes produisent une eau de respiration, libérée par le substrat d'hydrates de carbone. Dans une atmosphère humide, si l'air circule mal, les moisissures se développent et s'agglutinent rapidement causant ainsi de graves dommages (FAO, 2014).

- **Diminution de la faculté de germination des semences**

Un dommage causé à l'embryon d'une semence empêchera généralement la germination; certains ravageurs s'attaquent de préférence au germe (FAO, 2014).

- **Perte de valeur nutritive**

Le développement des insectes et la prolifération de moisissures sur le blé stocké engendre deux conséquences, altérations de la qualité du grain qui va se répercuter sur la valeur nutritionnelle des produits dérivés et la production de mycotoxines (Pitti, & Hocking, 1997).

Et si les ravageurs prélèvent le germe, il en résultera une réduction de la teneur en protéines du grain (FAO, 2014).

4.4 Paramètres influencées par l'infestation des insectes des denrées

La présence des insectes dans un lot de céréales ou de produits dérivés entraîne des pertes quantitatives dont l'importance est proportionnelle au degré d'infestation et au taux d'accroissement de l'espèce, Ces pertes quantitatives sont souvent accompagnées par des pertes qualitatives considérables, elles influent sur:

- **La viabilité des grains**

Selon HOW cette viabilité s'abaisse lorsque l'infestation touche le germe ou s'illustre par un prélèvement de l'endosperme trop important également dans le cas d'un échauffement des grains.

En effet lorsqu' il y a une pullulation d'insectes on peut assister à un échauffement suffisant pour tuer la viabilité des semences.

- **La valeur semoulière**

En effet, en rongant les grains, les insectes occasionnent une diminution du poids de matière sèche et la quantité de semoule que l'on pourra extraire des grains va donc être réduite.

Pour déterminer l'état de conservation d'un stock, on peut retenir essentiellement le pourcentage de perte de masse par rapport à un échantillon sain, le nombre d'insectes vivants au kg de grain et le pourcentage de grains attaqués (**Adams, & Schulten, 1978**).

Cette perte pondérale peut être évaluée par le pourcentage de perte à partir de différentes méthodes basées sur la masse de 1000 grains, la masse à l'hectolitre "PS" (Poids Spécifique) et la mouture expérimentale avec détermination du taux d'extraction, une méthode indirecte consiste à déterminer un facteur de conversion relié à la perte pondérale, variable avec l'espèce infestant et le grain attaqué. Ce facteur, multiplié par le pourcentage de grains infestés, permet l'estimation de la perte en poids (**Fourar, 1987 ; Imura, & Sinha, 1984**).

- **La qualité alimentaire**

Qui comprend trois aspects distincts relatifs aux :

- Caractères organoleptiques : qui se détériorent du point de vue saveur et odeur, de point de vue aspect car les souillures qui résultent d'une infestation par les insectes et sont représentées par : les exuvies, les adultes vivants, les cadavres des insectes mortes, les écailles et les excréments sont néfastes à la valeur commerciale des grains mais surtout des dérivés dont la couleur peut être complètement modifiée (**Pointel, 1980**).
- La qualité nutritionnelle: Les effets de l'infestation sur la valeur nutritionnelle des grains stockés sont liés à la composition alimentaire de ce type de denrée, à la répartition des nutriments dans la graine et aux habitudes alimentaires des insectes. C'est ainsi que le charançon qui se nourrit principalement de l'albumen amylicé réduit la valeur calorique du blé mais a un effet moindre sur les protéines et les vitamines concentrées avant tout dans le germe et l'assise à aleurone. Par contre les légumineuses infestées perdent des protéines et des vitamines en plus des hydrates de carbone du fait que ces éléments nutritifs sont plus uniformément répartis dans la graine (**Fleurat, 1991**).

Par ailleurs, les effets de l'infestation sur la valeur nutritionnelle des grains peuvent être liés au degré de l'infestation accusant une baisse sensible relative à la quantité des protéines et autres composants de l'amande : sucres non réduits, vitamines ; alors qu'on assiste à une augmentation de la teneur en sucres réducteurs. C'est ainsi que les produits infestés ont une valeur nutritionnelle significativement plus basse (**Venkat, & al., 1959 ; Aoues, 1994**).

On outre, l'infestation par le charançon affecte la teneur globale en matières grasses des graines avec la tendance à favoriser la libération d'acides gras (**Ammad, 1994**).

- La qualité hygiénique : Celle-ci concerne d'une part la proportion et la nature des microorganismes contenus dans l'échantillon donné et d'autre part, le taux de souillures d'origine animale s'y trouvant. Il s'avère que les insectes et les acariens des denrées alimentaires favorisent la prolifération des moisissures, des bactéries et véhiculent des germes, dont certains sont pathogènes, à l'extérieur de leur corps mais surtout dans leur tube digestif (**Fleurat, 1990**). C'est ainsi que l'infestation des céréales par les insectes et

les acariens peut engendrer, entre autres effets des allergies des intoxications et des infections chez l'homme ou le bétail en les consommant (**De luca, 1975 ; Mouhouche, 1982**).

5 Prévention et lutte contre les infestations

5.1 Méthodes de lutte

La lutte contre les insectes des denrées stockées est mieux réalisée par l'intégration de méthodes physiques, chimiques et biologiques (**Hertlein, & al., 2011**).

La coordination entre ces trois principales approches de protection des céréales stockées est collectivement connue sous le nom de lutte intégrée contre les ravageurs (LIR). **Cook et Veseth (1991)** affinent ce concept en reconnaissant : commencer par réfléchir aux moyens de tirer le meilleur parti des mécanismes de contrôle naturels, ensuite décider des intrants qui sont parfois nécessaires pour renforcer ou compléter ces mécanismes, et enfin décider des intrants à apporter avant et pendant la récolte, ainsi que pendant le nettoyage, le transport et le stockage des céréales, afin de contrôler économiquement les pertes de stockage (**Payne, 2002**) voir tableau n°1.

Tableau 1 : Méthodes écologiques non chimiques/non thermiques pour la désinfestation et le contrôle des infestations parasitaires/fongiques pendant le stockage des principales céréales importantes (**Srivastava, & Mishra, 2021**).

Méthodes		Conditions de traitement / stockage	Mode d'action
Physique	Chauffage par micro-ondes	915 MHz-2450 MHz dans un champ électromagnétique	Conversion de l'énergie électromagnétique en énergie thermique, avec une teneur en humidité de 3 à 7 %
	Chauffage UV	Longueur d'onde de 100 à 400 nm	La lumière UV agit comme un germicide
	Chauffage infrarouge	Longueur d'onde de 780 nm à 1 mm	Transfert d'énergie par rayonnement électromagnétique
	Soleil	Exposition normale au soleil selon une durée variable	Maintient la teneur en humidité, protégeant ainsi les aliments des insectes

	Irradiation	0,02–10 kGy	Exposition aux rayonnements ionisants émis par une source radioactive
Chimique	Fumigation	Exposer une concentration mortelle de gaz hautement toxique aux insectes	Le bromure d'éthylène et le phosphore d'aluminium sont utilisés
	Insecticides	Application d'insecticides après fumigation à la surface des céréales	Malathion
	Vaporisateurs	La forme vaporisée élimine les parasites de tous les coins grâce à la forme gazeuse	Le bromure de méthyle et le cyanure d'hydrogène sont utilisés
	Ozone	Oxygène et décharge électrique nécessaires à la production d'ozone	Approuvé par la FDA américaine (2001) comme alternative non chimique
Biologique	Contrôle des champignons, moisissures et bactéries	Arrêter la croissance des micro-organismes nuisibles	L'humidité, l'humidité relative et d'autres paramètres environnementaux aident à réguler la croissance microbienne

6 Transformation du blé dur : le couscous

6.1 Définition du couscous

Le couscous est un aliment traditionnel des pays méditerranéens consommé depuis des siècles, préparé à partir de semoule de blé dur qui s'agglomère par ajout d'eau et subit un traitement physique et thermique (Hammami, & al., 2022), tels que la cuisson à la vapeur et le séchage (Chemache, & al., 2018).

6.2 La semoule de blé dur

La semoule de blé dur est obtenue après mouture des grains de blé dur, elle correspond à l'extraction de la partie de l'albumen amyloacé des grains (Bellocq, 2017).

Elle est une poudre à faible teneur en eau (10–14 %) formée de particules hétérogènes et non poreuses (**figure 2**). Elle présente une forte dispersion de diamètre (entre 100 et 400 μm) avec un diamètre médian (d_{50}) de près de 300 μm (**Hammami, &al., 2022**).

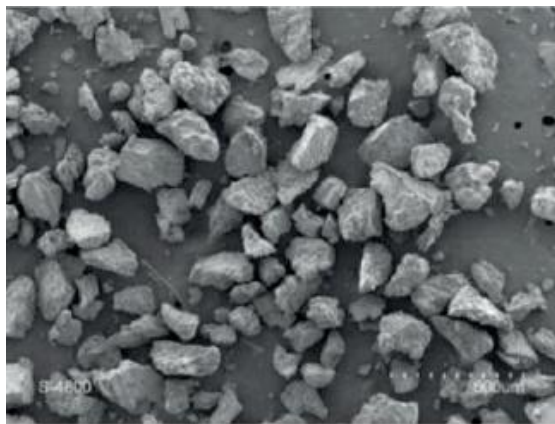


Figure 2 : Image de particules de semoule obtenues par microscope électronique à balayage (Bellocq, 2017).

6.3 Processus de fabrication du couscous

6.3.1 Processus artisanal

La fabrication du couscous artisanal s'effectue en été (de mai à septembre) à domicile dans une pièce propre et bien aérée (**Hammami, &Sissons, 2022**). Des femmes expérimentées se consacrent à la fabrication du couscous en suivant des étapes successives (Figure n°3), la production traditionnelle de couscous nécessite une main-d'œuvre importante.

Le processus consiste à mélanger de l'eau et de la semoule de blé dur dans un grand plat en bois, puis à frotter le mélange entre les paumes des mains pour former des agglomérats ou de petits granulés de forme irrégulière(Figure n°4), les granulés sont ensuite séparés par un ensemble de tamis appropriés, et la portion souhaitée est conservée, le contrôle des processus d'agglomération et d'hydratation est très important pour produire un couscous de la qualité souhaitée (**Hammami, & al., 2022**).



Figure 3 : Transformation manuelle de la semoule pour le couscous (**Centre National de Recherche en Préhistoire, Anthropologie et Histoire, 2020**)



Figure 4 : Préparation traditionnelle du couscous à la main (**Radio Algérienne, 2020**)

6.3.2 Processus industriel

Le design des équipements industriels pour la production de couscous est basé sur les mêmes techniques que celles utilisées de façon artisanale (**Bellocq, 2017**).

La fabrication du couscous industriel débute par l'hydratation en continue de la semoule et du sel, suivie par les étapes de roulage et de cuisson à la vapeur (180°C pendant 8 min). Après cuisson, le couscous humide subit les étapes de séchage, de refroidissement et de tamisage à l'aide d'un plansichter (**Boudreau et al., 1992**) (figure n°5).

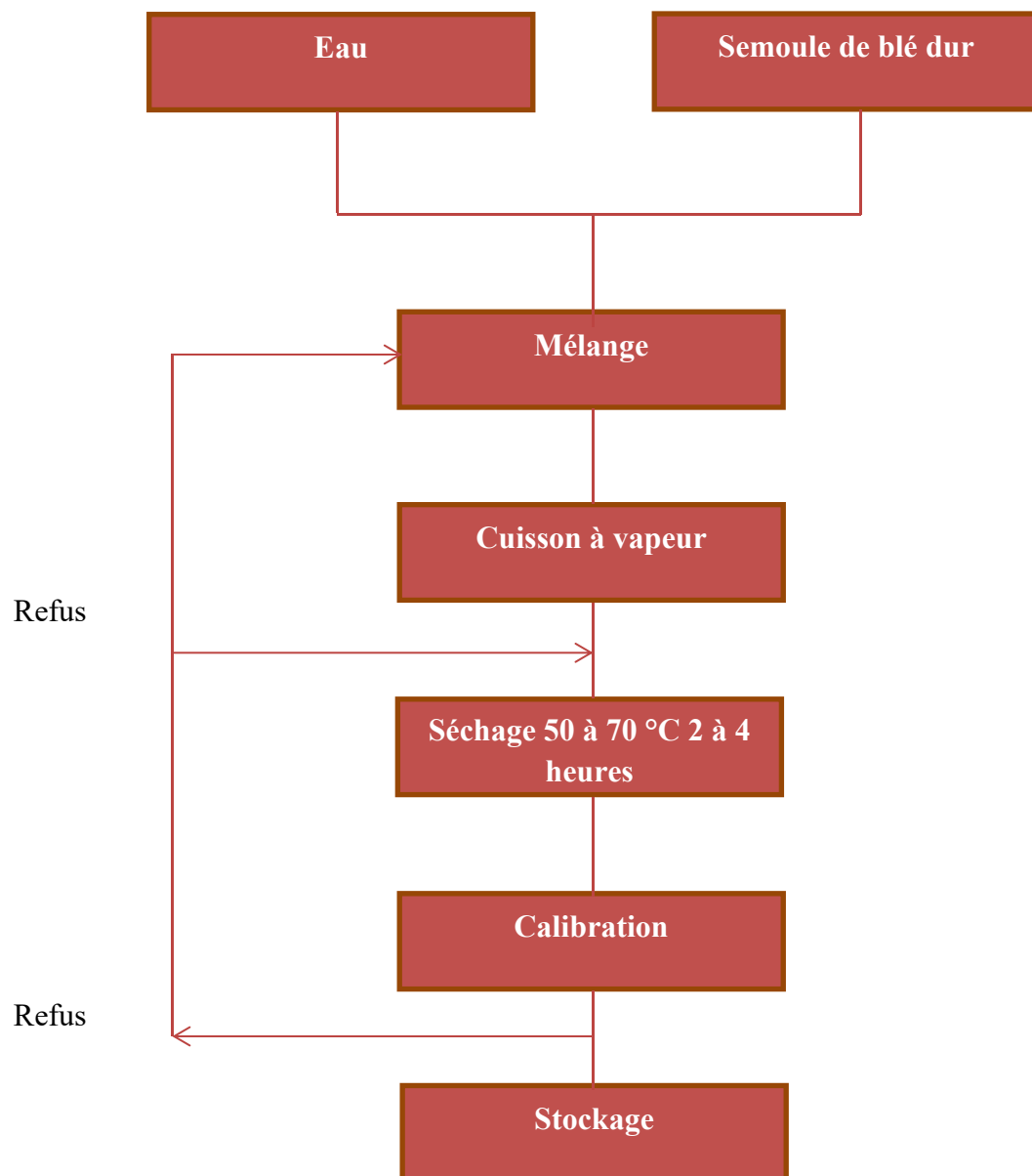


Figure 5 : Schéma de fabrication industrielle de couscous (Feuillet, 2000)

6.4 Qualité du couscous

6.4.1 Notion de qualité

Un couscous de qualité est défini par la majorité des consommateurs comme étant un produit fin, de granulométrie homogène et de couleur jaune clair. A l'état hydraté et cuit, les grains de couscous doivent être intègres et individualisée. A la consommation, le couscous doit être ferme et non collant (Aboubakar & Hamaker, 2000), et leurs grains doivent avoir une grande capacité d'absorption et garder leur intégrité après cuisson à la vapeur ou addition de sauce (Kaup & Walker, 1986; Ounane & *al.*, 2006 ; Guezlane & Abecassis, 1991). Les critères retenus pour l'évaluation de la qualité sont :

La granulométrie du couscous, sa couleur, sa texture, son gonflement après réhydratation (Trentesaux, 1995).

6.4.1.1 Qualité nutritionnelle

La qualité nutritionnelle d'un aliment dépend de ses caractéristiques propres, c'est-à-dire de sa composition mais également des conditions dans lesquelles il est préparé et consommé (Derouiche, 2003). Par ailleurs, le couscous fournit une part importante de l'apport énergétique de la ration (350 kcal / 100g de ms) vue sa richesse en glucides (75g/100g) (Dagher, 1991).

Tableau 2 : La valeur nutritionnelle moyenne de couscous (pour 100g)

Valeur nutritionnelle	Pour 100g
Valeur énergétique	350 kJ
Glucides	65 à 75g
Dont sucres	0.7 à 2.7 g
Protéines	12.5 à 13.5 g
Lipides	1.5 à 3.5 g
Dont acide gras saturé	0.44 à 0.64 g
Fibre	7 à 9g
Teneur en eau	< 13.5 %
Sel	< 0.05 g

6.4.1.2 Qualité hygiénique

Selon le codex alimentarius (**norme de codex 202-1995**), le couscous doit être exempt de microorganismes susceptibles de se développer dans le produit dans des conditions normales d'entreposage et ne doit contenir aucune substance provenant de micro-organismes en quantités pouvant présenter un risque pour la santé. Par analogie aux pâtes alimentaires, On peut considérer la qualité hygiénique du couscous comme excellente, si on respecte strictement les conditions d'hygiène au cours de la fabrication notamment lors de pré cuisson et le séchage.

6.4.1.3 Qualités organoleptiques

Selon Guezlane (1993), le couscous de "bonne qualité" est un produit jaune ambré, d'une capacité d'absorption d'eau élevée, ses grains restent individualisés et fermes une fois hydratés. La qualité organoleptique du couscous regroupe la qualité commerciale qui concerne l'aspect du couscous (couleur, granulométrie, forme des particules, etc.) et la qualité culinaire qui représente le comportement des grains du couscous au cours de la cuisson (gonflement, prise en masse, délitescence, fermeté, etc...).

Les paramètres de la qualité commerciale du couscous sont :

A. La couleur du couscous

Les grains de couscous sont caractérisés par une couleur jaune-claire (Guezlane, 1993). Selon Lepage & Sims (1968) cité par (Trono & al., 1999; Hentschel & al., 2002; Guarda & al., 2004), la couleur jaune des pâtes alimentaires, faites à partir de la semoule de blé dur, est due à la présence de la lutéine de caroténoïdes principalement les xanthophylles.

Ces caractéristiques de couleur sont comprises entre 0-4 pour la teinte rouge (a*), 27-45 pour la teinte jaune (b*) et 21-72 pour l'éclat (L*) (Guezlane, 1993; Debbouz & al., 1994; Debbouz & Donnelly, 1996).

La couleur des grains de couscous dépend en grande partie de la couleur initiale de la semoule de blé dur (**Debbouz *et al.*, 1994**). Elle se traduit dans l'apparence du produit fini par une teinte claire et une couleur jaune ambré. La coloration est influencée par la quantité de pigments caroténoïdes et flavonoïdes ainsi que par la teneur en enzymes lipoxygénasiques et polyphénol-oxydasiques des variétés de blé dur.

B. Granulométrie des particules

Le codex alimentarius (**norme de codex 202-1995**) indique que la granulométrie de couscous doit être comprise entre 630 et 2000 μm .

Le couscous industriel est habituellement vendu sous trois types différents selon la taille de grain (fin, moyen et gros).

C. Forme des particules

Selon l'enquête réalisée par **Derouiche (2003)**, la qualité du couscous sec est présentée dans la granulométrie homogène, la forme arrondie et la couleur jaune claire.

Debbouz et Donnelly (1996) ont indiqué que les grains de couscous sont des particules plus au moins régulières, avec une forme homogène, sphérique et de surface lisse.

6.4.1.4 Qualité culinaire

Pour le couscous la qualité culinaire est appréciée par le critère instrumentale concernant sa tenue à la cuisson ainsi que sensorielle. A cet égard, **Guezlane&Abecassis, 1991** indiquent que l'appréciation de la qualité peut être approchée aussi bien de façon instrumentale que sensorielle.

A. Appréciation instrumentale

Les critères retenus pour évaluer la qualité culinaire du couscous par **Guezlane & Abecassis, 1991; Yettou & al., 1997 ; Khendek & Guezlane 1998; Yettou & al.,2000**, sont essentiellement :

- ✓ **Le gonflement** : Représente la capacité d'absorption d'eau par les granules de couscous au cours de la cuisson (**Yettou&al., 1997**). Lorsque cet estimateur est mesuré à 100°C, il renseigne sur la fermeté des couscous (**Guezlane & Abecassis, 1991**). Des valeurs élevées du gonflement du couscous renseignent sur la haute qualité de celui-ci (**Ounane et al. 2006**).
- ✓ **La délitescence** : Correspond à l'aptitude des particules de couscous à conserver leur intégrité durant et après cuisson. D'après **Ounane & al., 2006**, des couscous qui se délitént peu sont des produits de très bonne qualité.
- ✓ **Propriétés viscoélastiques** : Celles-ci se rapportent essentiellement à la texture.
 - **La fermeté** : est définie, selon la norme ISO 4120, comme étant la résistance au cisaillement des pâtes entre les dents et à l'écrasement entre la langue et le palais.
 - **Le collant** : est également un important critère de viscoélasticité. Il rend compte de l'agglutination des particules de couscous entre elles après hydratation. Ce descripteur peut être évalué par le calcul d'un Indice de Prise en Masse du couscous (IPM). D'après **Ounane & al., 2006**, les faibles valeurs de prise en masse et donc de collant sont des indicateurs sur la haute qualité des couscous.

Chapitre 2 : L'ozone

1 Généralités de l'ozone

1.1 Définition de l'ozone

L'ozone O₃, comme son nom l'indique, est une forme allotropique de l'oxygène générée à partir de l'oxygène atmosphérique (Srivastava, & Mishra, 2021).

C'est un gaz de couleur bleuâtre et odeur piquante, possédant de fortes propriétés oxydantes, reconnu en 1997 par la Food and Drug Administration (FDA) américaine comme substance GRAS (Generally Recognized as Safe) pour son utilisation comme désinfectant ou assainissant dans l'industrie alimentaire (Alexandre, & al., 2011) avec des limites de concentration sécuritaires (Srivastava, & Mishra, 2021).

Sa stabilité dans l'environnement dépend de plusieurs facteurs :

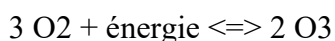
Température, pH, pression, présence de matières organiques et de minéraux. Selon le pH, le gaz O₃ a une durée de vie courte de 20 à 30 minutes à température ambiante, après quoi il se décompose pour former de l'oxygène. Sa stabilité diminue à des pH élevés (Freitas-Silva, & Venâncio, 2010), et sa durée de vie est plus courte sous forme aqueuse que gazeuse (Asokapandian & al., 2018). Cependant, sa demi-vie en solution aqueuse peut atteindre 20 à 40 minutes à basses températures et pH < 6,5 (Pandiselvam & al., 2017).

L'un de ses principaux avantages est que l'ozone en excès se décompose rapidement de lui-même pour produire de l'oxygène, ne laissant ainsi aucun résidu dans les aliments (Tiwari & al., 2010).

2 Production de l'ozone

L'ozone est produit de façon artificielle par l'action de décharges électriques à haute tension, qui fractionnent la molécule d'oxygène en deux, ce qui donne deux atomes d'oxygène. Une collision se produit ensuite entre l'atome d'oxygène O, et une molécule d'oxygène diatomique O₂ crée une molécule d'ozone O₃ (Neched, 2015).

La réaction de synthèse de l'ozone est :



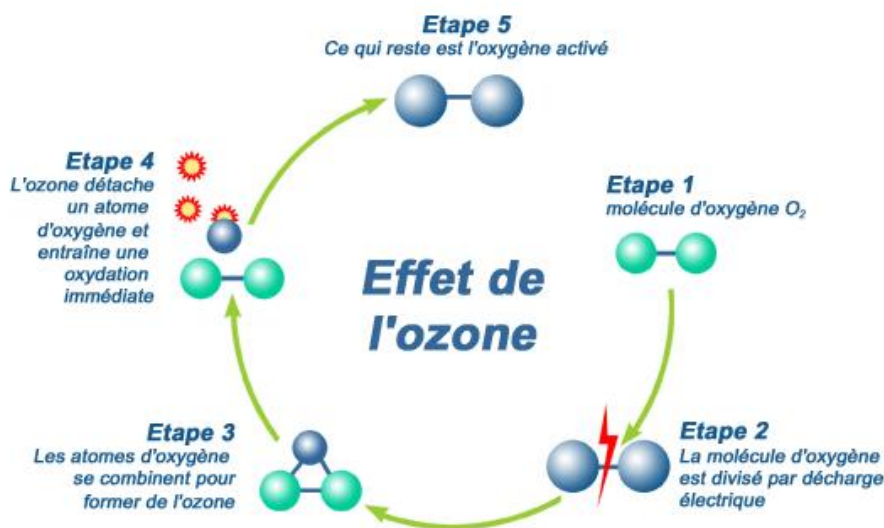


Figure 6 : Formulation de l'ozone (Neched, 2015)

La rupture de la liaison O–O nécessite une grande quantité d'énergie. Cette dissociation peut être initiée par le rayonnement ultraviolet (UV) ou les décharges électriques de type couronne (Güzel-Seydim & *al.*, 2004).

En plus des méthodes photochimiques telles que l'utilisation du rayonnement ultraviolet (UV), et par décharge électrique, l'ozone peut aussi être produit par des méthodes chimiques, thermiques, chimio nucléaires et électrolytiques (Kim & *al.*, 1999).

En général, c'est la méthode à décharge corona qui est utilisée pour la production d'ozone à l'échelle commerciale. Deux électrodes, une à haute tension et une à basse tension (mise à la terre), séparées par un matériau diélectrique en céramique, permettent de créer un étroit espace de décharge (Tiwari & *al.*, 2010).

Des électrons dotés d'une énergie cinétique suffisante (environ 6–7 eV) pour dissocier la molécule d'oxygène entrent en collision, et une molécule d'ozone peut se former à partir de chaque atome d'oxygène (Güzel-Seydim & *al.*, 2004).

A l'échelle industrielle ou à l'échelle du laboratoire, l'ozone est produit principalement de trois méthodes différentes:

- ✓ Par décharge électrique
- ✓ Par radiation UV
- ✓ Par voie électrochimique

Ensuite, les atomes d'oxygène produits collisionnent avec les molécules de dioxygène pour former l'ozone: $O + O_2 \rightarrow O_3$

Néanmoins, au même temps, l'oxygène atomique et les électrons libres réagissent avec l'ozone pour former de nouveau de l'oxygène : $O + O_3 \rightarrow 2O_2$ (Bourgin, 2011).

3 Applications de l'ozone dans le traitement des graines

L'ozone est un gaz respectueux de l'environnement, capable de réguler les ravageurs des grains entreposés, et efficace dans les entrepôts de stockage de céréales (Srivastava, & Mishra, 2021).

Dans le cas du stockage des grains, l'ozone est généralement appliqué par fumigation afin d'éviter l'utilisation de produits phytosanitaires (phosphore d'aluminium, bromométhane, phosphine, ...) qui sont de moins en moins efficaces sur les organismes à traiter et restent très dangereux pour l'homme et l'environnement (**Bourgin, 2011**).

L'ozone s'auto-décompose rapidement en dioxygène et ne laisse donc aucune odeur et aucun goût après traitement. De plus, aucun produit organochloré n'est formé au cours de l'ozonation (**Bourgin, 2011**).

Le procédé à l'ozone peut être considéré comme une alternative potentielle pour la désinfestation afin de réguler les insectes des céréales stockées par rapport aux autres méthodes conventionnelles. Il est utilisé pour stériliser et tuer les insectes dans les denrées alimentaires et également comme fumigant dans les entrepôts à céréales. Le principe de base impliqué dans le processus de génération d'ozone pour l'ozonation des céréales alimentaires est illustré à la (figure 7) (**Srivastava, & Mishra, 2021**).

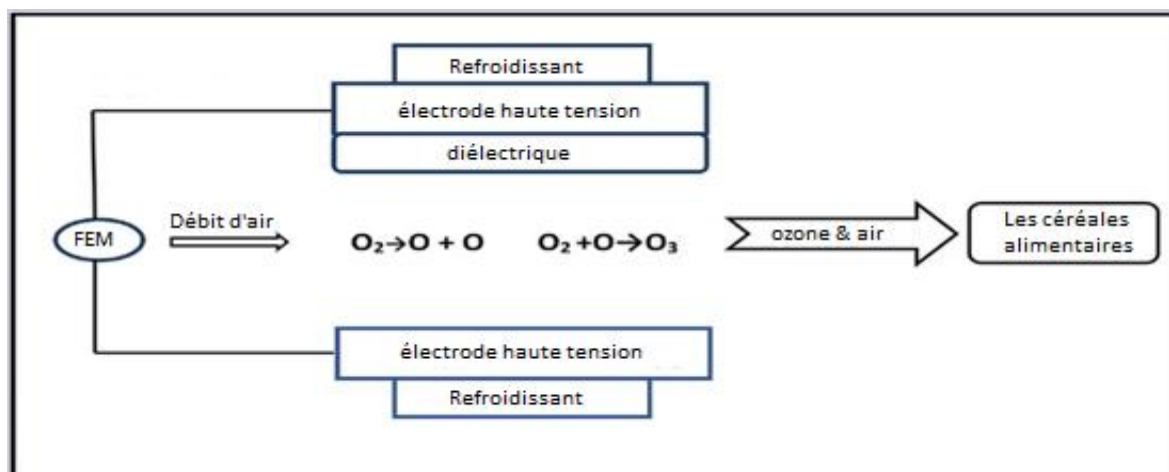


Figure 7 : Installation de génération d'ozone pour le traitement des céréales alimentaires (**Srivastava, & Mishra, 2021**)

4 Mécanismes d'action de l'ozone sur les organismes biologiques

4.1 Action de l'ozone sur les bactéries et les virus

L'ozone agit principalement par oxydation des composants cellulaires vitaux. Il cible en priorité les membranes cellulaires, les protéines, les enzymes et les acides nucléiques des micro-organismes (**Victorin, 1992 ; Sivaranjani & al., 2021**). Deux mécanismes majeurs sont impliqués dans cette inactivation :

L'oxydation des groupes sulfhydriles et des acides aminés présents dans les enzymes et les protéines, entraînant leur dénaturation ou leur fragmentation (**Thanomsub & al., 2002**).

L'oxydation des acides gras polyinsaturés dans les membranes cellulaires, ce qui altère leur intégrité, provoque une fuite du contenu intracellulaire et mène à une lyse cellulaire (**Greene & al., 2012**).

Ces effets sont particulièrement marqués chez les bactéries Gram négatives, dont les membranes riches en lipoprotéines et lipopolysaccharides sont rapidement détruites (Kim & al., 1999). De plus, l'ozone peut altérer les acides nucléiques, notamment la thymine de l'ADN, et détruire l'ARN viral ainsi que les protéines structurales des virus (Neched, 2015 ; Rangel & al., 2021).

L'efficacité de l'ozone dépend de plusieurs facteurs influents : la nature du micro-organisme (type, structure, stade de croissance), sa densité, les conditions environnementales (température, humidité), ainsi que la concentration d'ozone et la durée de l'exposition (Güzel-Seydim & al., 2004). Des études ont montré que l'ozone est parfois plus efficace que le peroxyde d'hydrogène, notamment contre les spores de *Bacillus spp* (Khadre & Yousef, 2001).

Chez les virus, une faible concentration d'ozone et un temps de contact court suffisent souvent à les inactiver (Kim & al., 1999). L'ozone modifie les protéines virales, déstabilise les capsides, et attaque les acides nucléiques — surtout lorsque ceux-ci sont libérés après la lyse cellulaire (Pages, 2015). Il est ainsi utilisé contre des agents pathogènes tels que les norovirus (Rangel & al., 2021).

Bien que les effets antimicrobiens de l'ozone soient bien documentés, les mécanismes exacts de la mort cellulaire restent encore partiellement élucidés. Il est cependant admis que l'ozone, en tant qu'agent oxydant puissant, provoque une désintégration cellulaire progressive menant à l'inactivation totale du micro-organisme (Greene & al., 2012 ; Sivaranjani & al., 2021).

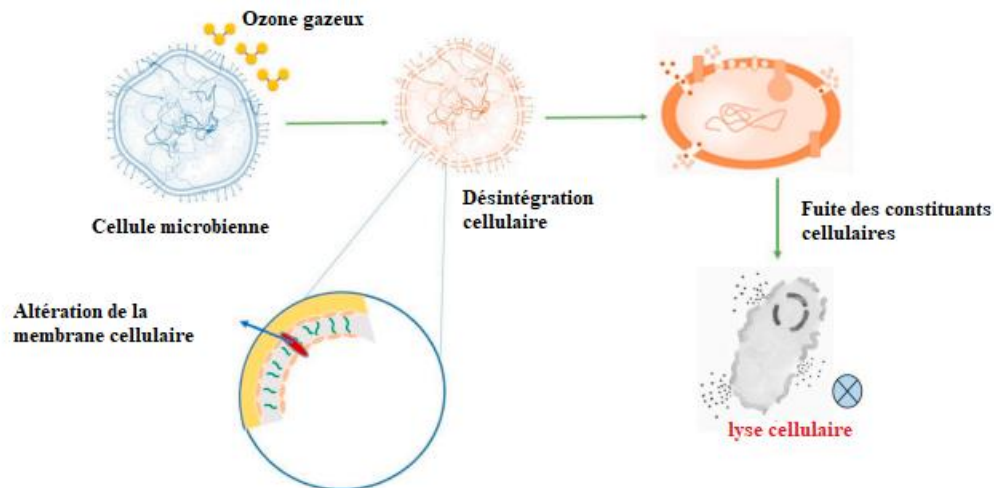


Figure 8 : Processus d'inactivation microbienne par traitement à l'ozone (Greene & al., 2012)

4.2 Action de l'ozone sur les champignons

La plupart des problèmes de dégradation post-récolte sont liés au développement de champignons, principalement des espèces d'*Aspergillus* et de *Penicillium*, durant le stockage. *Aspergillus* et *Penicillium*, avec *Fusarium*, sont les principales espèces productrices de mycotoxines. Peu d'études ont porté sur l'utilisation de l'ozone pour inactiver les champignons filamenteux. La majorité des applications d'ozone concernent l'application directe d'ozone gazeux et l'évaluation de la sporulation, de la germination ou de la croissance des champignons

mentionnés. L'utilisation d'ozone aqueux est limitée aux produits nécessitant une étape de lavage (Freitas-Silva, & Venâncio, 2010).

4.3 Action de l'ozone sur les mycotoxines

Des facteurs biologiques (tels que les cultures sensibles) et environnementaux (tels que les dommages causés par les insectes, la croissance fongique, les blessures mécaniques, l'humidité et la température) influencent la présence de mycotoxines dans les cultures agricoles (Afsah-Hejri, & al., 2020).

Les premières études sur l'application de l'ozone, axées sur la dégradation des mycotoxines dans les grains agricoles contaminés, sont apparues à la fin des années 1960 (Freitas-Silva, & Venâncio, 2010).

L'ozone a été utilisé efficacement pour contrôler la croissance fongique et réduire la contamination par les mycotoxines. La croissance fongique et celle des moisissures conduit à la libération de métabolites secondaires appelés mycotoxines (Tiwari & al., 2010).

L'efficacité de l'ozone dépend de plusieurs facteurs, notamment la concentration utilisée, la durée d'exposition, la forme d'application (gazeuse ou aqueuse), ainsi que le type de mycotoxine ciblée. Des études ont montré que certaines mycotoxines, comme l'aflatoxine B1, sont particulièrement sensibles à l'ozonation, avec une dégradation significative observée après traitement. En plus de dégrader les mycotoxines, l'ozone agit aussi en inhibant la croissance des champignons producteurs de ces toxines (Freitas-Silva, & Venâncio, 2010).

Par ailleurs, l'ozone ne laisse pas de résidus toxiques dans les produits traités, ce qui en fait une méthode intéressante pour le traitement post-récolte des grains. Cependant, son efficacité peut être réduite dans les matrices complexes comme la farine, où l'accès direct de l'ozone aux contaminants est limité (Freitas-Silva, & Venâncio, 2010).

4.4 Action de l'ozone sur les insectes

L'ozone joue un rôle important dans la compréhension des effets des atmosphères de stockage scellées sur les ravageurs et dans le développement de stratégies de lutte efficaces basées sur la physiologie des insectes. Le charançon du riz (*Sitophilus oryzae*), le petit capucin des céréales (*R. dominica*) et le tribolium rouge de la farine (*T. castaneum*) sont des insectes courants des produits stockés (Lu & al., 2009).

Le système respiratoire est considéré comme la principale voie d'entrée des gaz toxiques dans le corps des insectes, ce qui détermine la létalité d'un fumigant, car le système respiratoire des insectes est constitué de tubes cuticulaires fortement ramifiés qui s'étendent dans tout le corps (Lu & al., 2009).

Les insectes respirent de manière discontinue pour minimiser les dommages oxydatifs liés à la toxicité de l'oxygène. L'ozone provoque des lésions oxydatives des tissus même à de faibles concentrations entraînant des ruptures des brins d'ADN, des altérations de la fonction pulmonaire, de la réactivité bronchique, de l'oxydation membranaire ou des mutations *in vivo* (Tiwari, & al., 2010).

Le stade de développement des insectes affecte également l'efficacité de l'ozone sur eux. Les œufs et les larves sont plus sensibles à l'ozone comparés aux pupes et aux adultes. Les stades de pupes et d'adulte sont des phases actives dans le cycle de vie des insectes. C'est pourquoi l'ozone agit plus efficacement sur ces stades (**Shingala & al., 2024**).

Le tableau 3 présente les applications rapportées de l'ozone pour le contrôle des insectes. Des études en laboratoire et sur le terrain confirment l'efficacité de l'ozone dans la lutte contre divers stades du cycle de vie des insectes nuisibles aux grains. (**Tiwari, & al., 2010**).

Tableau 3 : Effets du traitement à l'ozone sur les insectes des denrées stockées (**Tiwari, & al., 2010**).

Grains alimentaires	Insectes	Conditions	Taux de mortalité
Maïs	*Coléoptère rouge de la farine Charançon du maïs Teigne des fruits secs	50 ppm pendant 3 jours	*94,5% 100% 92,2%
Maïs	*Coléoptère rouge de la farine Charançon du maïs Teigne des fruits secs	25 ppm pendant 5 jours	*77 % 99,9% 91,4%
Blé	*Pyrale de la farine et Tribolium confus	Concentration en ozone de 13,9 mg/L	*T. confus 72,6%(larves) 1,3-22,7%(Adult) 90-100%(larve,adult)
Produits stockés	*Coléoptère rouge de la farine Capucin des grains Silvain plat	50 ppm, 30 °C et 70 % d'humidité relative (HR)	*50 % de mortalité en 11,39-20,10 h(CR) 9,22-12,19 h(CG) 6,1-9,66 h(SP) *95% de mortalité en 22,17-37,9 h(CR) 21,85-35,17 h(CG) 11,03-18,72 h(SP)
Maïs	*Coléoptère rouge de la farine	50 ppm	* 50 % de mortalité en 71,4 h à 20 °C *95 % de mortalité en 151,8 h à 20 °C

5 L'effet de l'ozone sur la qualité des grains

Le traitement des grains à l'ozone est généralement appliqué dans des silos ou des cuves. Avant l'application de l'ozone, il est nécessaire de caractériser la dynamique du déplacement de l'ozone à travers les différents types de grains afin d'optimiser les générateurs d'ozone pour une utilisation à grande échelle dans les silos de stockage commerciaux. L'ozone se déplace

lentement à travers le grain car le gaz réagit avec les constituants chimiques présents dans la couche externe du grain (le tégument). La diffusion de l'ozone dans le grain dépend des caractéristiques propres à chaque type de grain (Tiwari, *et al.*, 2010).

L'adsorption de l'ozone et son transfert dans le grain dépendent également d'autres facteurs tels que la pression relative de l'ozone, le taux d'humidité du grain, la température, la composition chimique du grain, sa teneur en matière organique "étrangère" (insectes, bactéries, champignons, mycotoxines, pesticides, ...) (Bourgin, 2011).

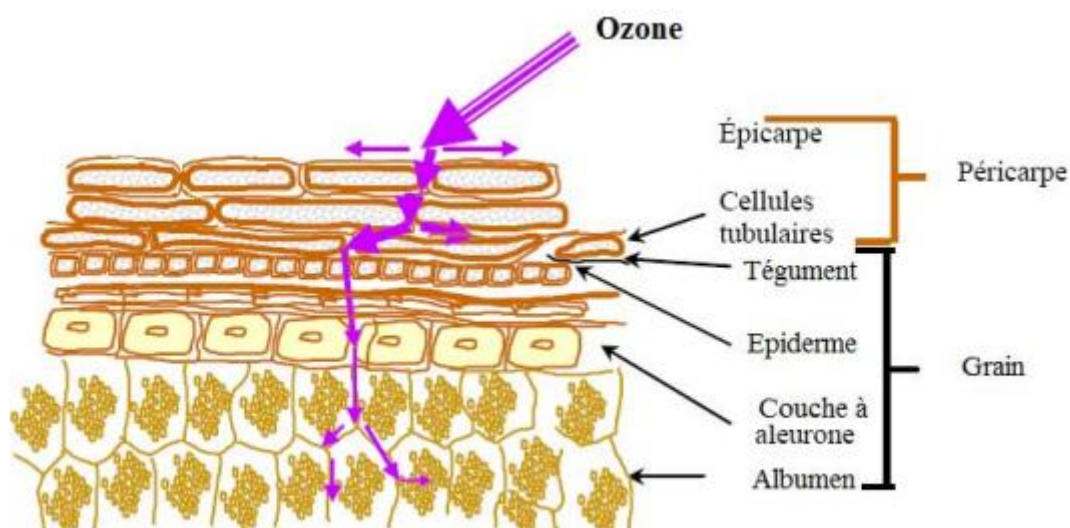


Figure 9 : Transfert de l'ozone dans le grain de blé (Bourgin, 2011)

Cependant, l'ozone n'est pas toujours bénéfique et peut dans certains cas, favoriser la dégradation oxydative des constituants chimiques présents dans les grains. L'utilisation d'ozone gazeux à des concentrations élevées et pendant une longue durée peut entraîner une oxydation de surface, une décoloration ou le développement d'odeurs indésirables dans les produits (Isikber *et al.*, 2015).

Le blé a une importance capitale dans la nutrition et l'économie mondiale. Malheureusement, cette espèce est sensible à l'ozone. Plusieurs composantes du rendement du blé sont affectées par l'ozone tel que le poids des épis, le poids des grains et le nombre d'épis par unité de surface (Hmaidat, 1998).

L'ozone peut induire des modifications physiques et biochimiques du grain de blé, en fonction de la concentration appliquée, du temps d'exposition et de l'état du grain (sec ou humidifié). À fortes doses (ex. 50 ppm pendant 30 jours), une décoloration de l'enveloppe et le développement d'odeurs acides ont été observés, notamment sur les enveloppes du riz et du blé (Mendez *et al.*, 2003). Ces défauts restent superficiels et disparaissent généralement lors du nettoyage ou de la mouture.

Il oxyde les groupes -SH des acides aminés et les acides gras polyinsaturés, formant des peroxydes susceptibles d'altérer la valeur nutritionnelle (Guzel-Seydim *et al.*, 2004). Cependant, plusieurs études (Mendez *et al.*, 2003 ; Prudente & King, 2002) n'ont relevé aucune

modification significative des profils d'acides aminés et gras dans le blé ozoné. Une légère perte en protéines a été observée dans certains cas à forte concentration (**Wang et al., 2008**).

Le traitement du blé à l'ozone améliore la friabilité du son, réduit l'énergie de mouture, et diminue les dommages à l'amidon, ce qui peut favoriser une meilleure absorption de l'eau et une meilleure activité enzymatique pendant la panification (**Desvignes et al., 2008**).

Il y a une grande différence entre le blé dur et tendre, le blé tendre est plus sensible à l'ozone que le blé dur, en raison d'une pénétration plus facile du gaz dans l'endosperme. Cela peut légèrement augmenter la résistance à l'extension et diminuer l'élasticité de la pâte (**Naito, 1990**).



Références bibliographiques

A

- Aboubacar A., Hamaker B. R. (2000). Low molecular weight soluble starch and its relationship with sorghum couscous stickiness. *J. Cereal. Science* 31: 119-126.
- Adams, J. M., and Schulten, G. G. M. 1978. Losses caused by insects, mites and micro-organisms. In: *Post-harvest grains assessment methods*. American Association of Cereal chemists, St. Paul, Minnesota, USA, p. 193
- Alexandre, E., Brandão, T. R., & Silva, C. L. (2011). Modelling microbial load reduction in foods due to ozone impact.
- Ammad F., 1994. Etude de quelques facteurs qui influencent sur le développement de *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) dans le blé tendre et de l'effet de l'infestation de cette espèce. *Mémoire Ing.Agro.Prot.desVeg. Ins.Agro.Blida* 96p.
- Aoues K., 1994. Etude de quelques facteurs qui influencent sur le développement de *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae) dans le blé tendre et de l'effet de l'infestation de cette espèce. *Mémoire Ing.Agro.Prot.desVeg. Ins.Agro.Blida* 99p.
- Aoues, K. (2018). Amélioration des techniques de stockage du blé pour la préservation contre les attaques de quelques prédateurs des stocks.
- Asokapandian, S., Periasamy, S., et Swamy, GJ (2018). L'ozone pour la conservation des jus de fruits. Dans *Jus de fruits* (pp. 511-527). Academic Press.
- Afsah Hejri, L., Hajeb, P., & Ehsani, R. J. (2020). Application of ozone for degradation of mycotoxins in food: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(4), 1777-1808.

B

- Bellocq, B. (2017). Approche multi-échelles pour la maîtrise technologique de la transformation de la semoule de blé dur en couscous (Doctoral dissertation, Montpellier SupAgro).
- Bettahar, F. (2016). Conception et prototypage d'un système complet pour la surveillance du grain dans les silos de stockage (Doctoral dissertation, Université Toulouse le Mirail-Toulouse II).
- Boudreau, A., & Ménard, G. (Eds.). (1992). *Le blé: éléments fondamentaux et transformation*. Presses Université Laval
- Bourgin, M. (2011). Étude de la décomposition de produits phytosanitaires par l'ozone: Application au traitement des semences déclassées (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Toulouse-INPT).

C

- Chadeufode, M et Emberger, L., 1960. *Traité de botanique : les végétaux vasculaires fasciculé* Masson et Cie. Tome II, 753 p
- Cheftel J.C. et Cheftel L. H., 1977. *Introduction à la technique alimentaire* Vol 1 Ed. Lavoisier. Paris. 280-284.
- Chemache, L., Kehal, F., Namoune, H., Chaalal, M., & Gagaoua, M. (2018). Couscous : modes de fabrication et de consommation ethniques dans le Nord-Est algérien. *Revue des aliments ethniques*, 5 (3), 211-219.
- CNRPAH. (2020, 21 décembre). Le couscous inscrit au patrimoine immatériel de l'UNESCO. <https://www.cnrpah.org/index.php/a-propos/archives/item/126-e-couscous-inscrit-au-patrimoine-immateriel-de-l-unesco>
- Codex alimentarius. Norme codex 202-1995. Norme codex pour le couscous. P : 1-3.
- Cruz, J. F., Troude, F., Griffon, D., & Hebert, J. P. (1988). Conservation des grains en régions chaudes. Ministère de la coopération et du Développement.

D

- Dagher S.M., 1991. Traditional food in the Near East, FAO, food and nutrition paper 50, Rome, 161 pages.
- De luca Y., 1975. Ecologie des denrées stockées (Milieu Peuplement Agressions).
- Debbouz A. et Donnelly B.J., 1996. Process effect on couscous quality.Engineering and processing.Cerealchem. Vol. 73. P : 668-671.
- Debbouz A., Dick, J.W., et Donnelly, B.J., 1994. Influence of raw material on couscous quality. Cereal Foods World.Vol. 39.P : 231-236.
- Derouiche M. (2003). Couscous – Enquête de consommation dans l'est algérien, fabrication traditionnelle et qualité. Thèse de Magister. DNATAA. Université de constantine.125 pages.
- Desvignes, C., Chaurand, M., Dubois, M., Sadoudi, A., Abecassis, J., Lullien- Pellerin, V., 2008. Changes in common wheat grain milling behavior and tissue mechanical properties following ozone treatment. Journal of Cereal Science 47 (2), 245–251.
- Doumaïndji A., Doumaïndji S., Doumaïndji B., 2003. Cours de technologie des céréales. ed. office des publications universitaires Ben-Aknoun-Alger ; pp 01-20.
- Doumandji S.E., 1977.le stockage et la lutte contre les ennemis des céréales. Séminaire, la meunerie et les industries céréalières, 4-14p

F

- Feillet P., 2000. Le grain de blé, composition et utilisation. Edition INRA, Paris, 308 p.
- Fleurat Lessard F., 1991. Entomologie de céréales et dérivés et autre contamination d'origine animale in: Conservation et stockage des grains et graines et produits dérivés, Ed Lavoisier et Apria, Paris, pp 192-220.
- Fleurat-Lessard F., 1990. Altération dues aux insectes et prédateurspresentationAliscope, 90: 18-24.
- Fourar, R., 1987. Inventaire des insectes du blé tendre, estimation des dégâts et prévention de la qualité industrielle par l'emploi des insecticides dans la région de Blida. Mémoire Ing. Agr. I.N.A. El harrach, 193p
- Fourar-Belaïfa, R., &Fleurat-Lessard, F. (2015). Évaluation expérimentale de la sensibilité aux attaques du charançon du riz de variétés d'espèces céréalières cultivées en Algérie. Cahiers Agricultures, 24(5), 283-291.
- Freitas-Silva, O., et Venâncio, A. (2010). Applications de l'ozone pour prévenir et dégrader les mycotoxines : une revue. Revue du métabolisme des médicaments , 42 (4), 612-620.

G

- Godon, B., &Willm, C. (1991). Les industries de première transformation des céréales.
- Gonçalves, A. A., Oetterer, M., Silva, J. G., Lira, G. M., &Rodrigues, D. J. (2019). Impact of ozone on nutritional and functional properties of grains and their flours: A review. Food Reviews International, 35(2), 127–145.
- Greene, A. K., Güzel-Seydim, Z. B., &Seydim, A. C. (2012).Chemical and physical properties of ozone. In C. O'Donnell, B. K. Tiwari, P. J. Cullen, & R. G. Rice (Eds.), Ozone in food processing (1st ed., pp. 19–32). Chichester: Blackwell Publishing Ltd.

- Guarda G., Padovan S. et Delogu G., 2004. Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. *Eur. J. Agron.* Vol 21. P : 181–192.
- Guezlane L. et Abecassis J., 1991. Méthodes d'appréciation de la qualité culinaire du couscous de blé dur. *Industrie Alimentaire et Agricole*, Vol. 11. P : 966-971.
- Guezlane L., 1993. Mise au point de méthodes de caractérisation et étude des modifications physico-chimiques sous l'effet des traitements hydrothermiques en vue d'optimiser la qualité du couscous de blé dur. Thèse de Doctorat d'Etat. INA, El Harrach, Algérie. 89 pages.
- Guiraud J.P., 1998 - Microbiologie alimentaire Ed. Dunod 648p.
- Guzel-Seydim, Z. B., Greene, A. K., & Seydim, A. C. (2004). Use of ozone in the food industry. *LWT-Food Science and technology*, 37(4), 453-460

H

- Hammami, R., & Sissons, M. (2020). Durum wheat products, couscous. Wheat quality for improving processing and human health, 347-367.
- Hammami, R., Barbar, R., Laurent, M., et Cuq, B. (2022). Le couscous de blé dur : un aliment méditerranéen à la croisée de la préparation domestique traditionnelle et de la fabrication industrielle. *Foods*, 11 (7), 902. <https://doi.org/10.3390/foods11070902>
- HAYMA J., 2004, Le stockage des produits agricoles tropicaux, Fondation Agromisa, quatrième édition, 80 pages
- Hentschel V., Kranl K., Hollmann J., Lindhauer M.G., Bohmand V. et Bitsch R., 2002. Spectrophotometric determination of yellow pigment content and evaluation of carotenoids by high-performance liquid chromatography in durum wheat grain. *Journal Agriculture et Food Chem.* Vol. 50. P: 6663–6668.
- Hertlein, M. B., Thompson, G. D., Subramanyam, B., & Athanassiou, C. G. (2011). Spinosad: a new natural product for stored grain protection. *Journal of Stored Products Research*, 47(3), 131-146.
- Hmaidat, M. (1998). Effets à court terme de l'ozone atmosphérique sur certaines enzymes impliquées dans les réactions de défense chez le blé. Université Laval.
- How R.W., 1973. Loss of viability of seed in storage attributable to infestation of insects and mites seed. *Sci. and Technol.*, T1 pp 563- 586.
- <https://www.fao.org/4/t0073f/T0073F03.htm>

I

- Imura O., et Sinha R.N., 1984. Effect on infestation by *Sitotrogon cerealella* (Lepidoptera, Gelechiidae) and *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) on the deterioration of bagged wheat. *Environmental Entomology*, Vol 13, n°16, pp 1483-1488.
- Isikber, A. A., & Athanassiou, C. G. (2015). The use of ozone gas for the control of insects and microorganisms in stored products. *Journal of Stored Products Research*, 64, 139–145. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2014.06.006>

J

- Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology-Nippon

K

- Kaup S.M. & Walker C.E., 1986. Couscous in North Africa. *Cereal Foods World*, Vol. 31. P : 179-182.
- Khadre, M. A., & Yousef, A. E. (2001). Sporocidal action of ozone and hydrogen peroxide: a comparative study. *International journal of food microbiology*, 71(2-3), 131-138.
- Kim, J. G., Yousef, A. E., & Dave, S. (1999). Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods: a review. *Journal of food protection*, 62(9), 1071-1087.
- Khendek L., GUEZLANE L. (1994). Rôle des monoglycerides dans l'expression de la qualité technologique du couscous industriel de blé dur. *Céréaliculture* 32.P: 10-14.
- Kim, J. G., Yousef, A. E., & Dave, S. (1999). Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods: a review. *Journal of food protection*, 62(9), 1071-1087.

L

- Lasseran nique, Monroco., 1988. Guide pratique-Stockage et conservation des grains à la ferme. ITCF, Wilson--Paris-France, pp 17.
- Lessard, F. (2018). Gestion intégrée de la protection des stocks de céréales contre les insectes sans traitement insecticide rémanent Practical integrated approach of prevention and control of stored grain insects without use of residual insecticides. 32 40.
- Lu, B., Ren, Y., Du, Y. Z., Fu, Y., & Gu, J. (2009). Effect of ozone on respiration of adult *Sitophilus oryzae* (L.), *Tribolium castaneum* (Herbst) and *Rhyzopertha dominica* (F.). *Journal of Insect Physiology*, 55(10), 885-889

M

- Mendez, F., Maier, D.E., Mason, L.J., Woloshuk, C.P., 2003. Penetration of ozone into
- MOUHOUCHE F., 1982. Sensibilité variétale du pois chiche (*Cicer arietinum*) aux attaques d'un insecte spécialisé *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera ; Bruchidae) et d'un insecte non spécialisé *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera ; Curculionidae) 2003, vol. 23, n o 5-6, pp 633-653.
- Multon J.L., 1982. Conservation et stockage des grains et graines et produits dérivés. Céréales oléagineuse, protéagineuse, aliments pour animaux. Ed. Techn. et document, Lavoisier / A.P.R.I.A., Paris, Vol 1, 576p.

N

- Naito, S., 1990. Effect of ozone treatment on the rheological properties of wheat flour.
- Neched, H. (2015). Étude comparative des traitements de semences sans fongicide chez les céréales à l'aide de l'ozone et de l'oxygène pur.

O

- Ounane G., Cuq B., Abecassis J., Yesli A. et Ounane S.M., 2006. Effects of physicochemical characteristics and lipid distribution in algerian durum wheat semolinas on the technological quality of couscous. *Cerealchem.* Vol. 83. P: 377–384.

P

- Pages, M. (2015). Effets et mécanismes d'action de l'ozone utilisé comme moyen de lutte contre des champignons pathogènes du pommier: études in vitro et in vivo (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Toulouse-INPT).
- Payne, T. S. (2002). Harvest and storage management of wheat. *Bread wheat Improvement and Production.* FAO Plant Production and Protection Series, 30.
- Pandiselvam, R., Sunoj, S., Manikantan, M. R., Kothakota, A., &Hebbar, K. B. (2017). Application and kinetics of ozone in food preservation. *Ozone: Science & Engineering*, 39(2), 115-126.
- Pellerin, V., 2008. Changes in common wheat grain milling behavior and tissue
- Pitt, J.I., & Hocking, A.D. (1997). *Fungi and Food Spoilage*, second ed. Blackie Academic and Professional, London, UK.503p.
- Pointel J.G., 1980. Critère d'évaluation des dégâts causés par les insectes dans les céréales et les légumineuses stockées. *Arew.Zool.* 66 (2) (1980) pp 185- 198.
- Prudente Jr., A.D., King, J.M., 2002. Efficacy and safety evaluation of ozonation to
- Radio Algérienne, Le couscous à l'honneur à son 3ème festival international à Alger, 12 décembre 2020. <https://radioalgerie.dz/news/fr/article/20201212/203882.html>

R

- Rangel, K., Cabral, FO, Lechuga, GC, Carvalho, JPRS, Villas-Bôas, MHS, Midlej, V. et De-Simone, SG (2022). Effet néfaste de l'ozone sur les bactéries pathogènes. *Microorganismes* , 10 (1), 40.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms10010040>
- Righi F., 2010.Etude de la relation plante-Insectes chez les Bruchidiaes ; cas du bruche du pois chiche. Thèse de doctorat en biologie. Univ. Mascara .124p.

S

- Shingala, A. M., Dabhi, M. N., & Joshi, N. U. (2024).Ozone-based grain storage: A green technology with great potential for improving food safety.
- Sivaranjani, S., Prasath, V. A., Pandiselvam, R., Kothakota, A., &Khaneghah, A. M. (2021). Recent advances in applications of ozone in the cereal industry. *Lwt*, 146, 111412.
- Srivastava, S., &Mishra, HN (2021). Méthodes écologiques non chimiques/non thermiques pour la désinfestation et le contrôle des infestations parasitaires/fongiques pendant le stockage des principales céréales importantes : une revue. *Food Frontiers* , 2 (1), 93-105.

T

- Taban, D., Ermis, E., Demirkesen, I. (2014). Effect of ozone treatment on the functional properties of wheat flour and dough.*International Journal of Food Science & Technology*,

49(6), 1405–1413.

<https://doi.org/10.1111/ijfs.12436>

- Thanomsab, B., Anupunpisit, V., Chanphetch, S., Watcharachaipong, T., Poonkhum, R., & Srisukonth, C. (2002). Effects of ozone treatment on cell growth and ultrastructural changes in bacteria. *The Journal of general and applied microbiology*, 48(4), 193-199.
- Tiwari, B. K., Muthukumarappan, K., O'Donnell, C. P., Cullen, P. J. (2010). Ozone in grain processing. *Journal of Cereal Science*, 51(3), 248–255.
<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.01.005>
- Tiwari, BK, Brennan, CS, Curran, T., Gallagher, E., Cullen, PJ, et O'Donnell, CP (2010). Application de l'ozone au traitement des céréales. *Journal of cerealscience* , 51 (3), 248-255.
- Trentesaux E. (1995). Evaluation de la qualité du blé dur. Fonzo N. di (ed.), Kaan F. (ed.), Nachit M. (ed.) *Durumwheatquality in the Mediterraneanregion = La qualité du blé dur dans la région méditerranéenne Zaragoza : CIHEAM-IAMZ*, 1995. 284 p. (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens ; n. 22). Seminar on DurumWheatQuality in the MediterraneanRegion, 17-19 Nov 1993, Zaragoza (Spain) Seminar on durumwheatquality in the mediterraneanregion. C.I.H.E.A.M./ I.C.A.R.D.A./ C.I.M.M.Y.T. Zaragoza. 53-59.
- Trono D., Pastore D. et Difonzo N., 1999. Carotenoid Dependent Inhibition of Durum Wheat Lipxygenase. *Journal of Cereal Science*. Vol. 29. P : 99-102.

V

- VenkatRao S., KhrshNamurthy K., Swamina M., and Subrahmanyam V., 1959. Effects of insect infestation on the quality of wheat flour. *food science*, april, pp 122-123.
- Victorin, K. (1992). Revue de la génotoxicité de l'ozone. *Mutation Research/Reviews in Genetic Toxicology*, 277 (3), 221-238.

W

- Wang, Y., King, J.M., Xu, Z., Losso, J., Prudente, A., 2008. Lutein from ozone-treated

Y

- Yettou N., Aït Kaci M., Guezlane L. et Aït-Amar H., 1997. Détermination des caractéristiques viscoélastiques du couscous cuit au moyen du viscoélastographe Chopin. *Industrie Alimentaire et Agricole*. Vol. 12. P : 844-847.





République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de
l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Saad Dahleb Blida



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'un Master
Académique

Spécialité : Sécurité Agroalimentaire et Assurance Qualité

Filière : Sciences Alimentaires

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Thème :

L'effet de l'ozone sur la qualité technologique du blé

Présenter par :

M^{lle} Beninel Ayat Ellah

M^{lle} Zermane Hafsa

Soutenu le 08/07/2025 devant le jury composé de :

Dr. Benlemmane S.

(MCB)

Présidente

Université de Blida 1

Dr. Nabi I.

(MAB)

Examinatrice

Université de Blida 1

Dr. Aoues K.

(MCA)

Promotrice

Université de Blida 1

