



N° d'ordre : 06/DS/2024

N° de série :01/tNAT/2024

Thèse de Doctorat en Sciences

Spécialité : Sciences Alimentaires

Thème

Enquête sur le couscous *Lemzeïet* et effets de la fermentation sur les caractéristiques microbiologiques et biochimiques du blé dur et sur les propriétés technologiques, culinaires, microstructurales et sensorielles du couscous *Lemzeïet*

Présenté par : M^{me} BENZIANE-BECILA Fatima Zohra

Soutenue le : 29 /02 / 2024

Devant le Jury composé de :

Président (e) :	BENATALLAH Leila	Prof.	I.N.A.T.A.A., U.C.1 F.M.
Rapporteur :	BOUASLA Abdallah	M.C.A	I.N.A.T.A.A., U.C.1 F.M.
Examineurs :	OULAMARA Hayet	Prof.	I.N.A.T.A.A., U.C.1 F.M.
	FERHAT Radhia	M.C.A	I.S.V.S.A., Univ. Batna 1
	NOUI Yassine	M.C.A	I.S.V.S.A., Univ. Batna 1
	CHIKHOUNE Anis	M.C.A	E.S.S.A.I.A., d'Alger
Invitée:	BEKHOUCHE Farida	Prof.	I.N.A.T.A.A., U.C.1 F.M.

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier mon directeur de thèse **Dr Abdallah BOUASLA**, membre du laboratoire de recherche Génie Agro-Alimentaires (GéniAAl) de l'I.N.A.T.A.A. Je lui remercie pour la direction de ce travail, pour ses orientations durant la réalisation de cette thèse, pour sa disponibilité, son objectivité et sa rigueur scientifique.

Je tiens à remercier aussi **Pr Farida BEKHOUCHE**, mon ex-directrice de thèse, qui a pris sa retraite, pour m'avoir fait confiance et d'avoir cru en moi pour mener à bien ce projet de thèse.

Mes remerciements vont aussi aux membres de jury : **Pr Leila BENATALLAH** qui m'a fait le grand honneur de présider le jury de cette thèse, et aux **Pr Hayet OULAMARA**, **Dr Radhia FERHAT**, **Dr Yassine NOUI** et **Dr Anis CHIKHOUNE** qui ont accepté d'examiner et de juger ce travail.

Je tiens à remercier également **Pr Catherine BONAZZI**, directrice du centre de recherche L'UMR 1145 (GENIAL) pour m'avoir accueilli gracieusement au sein du laboratoire AgroParisTech, centre de Massy (France) où j'ai pu bénéficier de très bonnes conditions de travail, tout aussi bien matérielles que scientifiques. J'exprime mes remerciements à **Pr Christelle TURCHIULI**, **Dr Giana ALMEIDA** et au **Dr Gabrielle MOULIN** pour avoir mis à ma disposition tous les moyens qui ont fait de mon séjour à AgroParisTech une expérience efficace, agréable et inoubliable. Je les remercie également pour leur contribution scientifique dans ce travail.

Je remercie **Dr Pablo GRANDA** pour son implication et ses aides précieux, et l'ensemble du personnel d'AgroParisTech en particulier madame **Brigitte DEAU**.

Je remercie très sincèrement **Pr Abdelghani BOUDJELLAL**, Ex-Directeur de l'INATAA et **Pr Halima BOUGHELLOUT** Directrice de l'INATAA pour tous les moyens mis à notre disposition.

Je remercie tous mes collègues et l'ensemble du personnel de l'I.N.A.T.A.A.

Enfin, je remercie mon mari **Abdelouahab BENZIANE** pour son soutien et son encouragement au cours de toutes les années de thèse. Je lui remercie également pour ses précieux conseils qui m'ont beaucoup aidé pour mener ce travail.

Dédicace

À la mémoire de mon père ;

*À ma mère qui m'a permis de prendre les voies que je
désirais dans ma vie ;*

À mon très cher mari qui a tout fait pour me voir réussir ;

À mes enfants Oussama, Amir, Adam et Aroua ;

À mes frères, mes sœurs, et à leur famille ;

À tous mes amis.

Table des matières

Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des publications et des communications	
Introduction.....	01
Étude bibliographique	
Chapitre 1. Blé dur.....	04
1. Origine du blé.....	04
2. Production et consommation du blé.....	04
2.1. Mondiale.....	04
2.2. Nationale.....	05
3. Grain de blé.....	05
3.1. Morphologie.....	05
3.2. Taxonomie.....	06
3.3. Composition histologique.....	06
3.3.1. Amande farineuse.....	06
3.3.2. Germe.....	07
4. Composition biochimique.....	08
4.1. Macro-éléments.....	08
4.1.1. Glucides.....	08
4.1.2. Protéines.....	09
4.1.3. Lipides.....	09
4.2. Micro-éléments.....	09
4.2.1. Pigments et vitamines.....	09
4.2.2. Enzymes.....	10
4.2.3. Eau et minéraux.....	10
5. Stockage du blé.....	10
5.1. Traitements obligatoires pour une bonne conservation.....	11
5.1.1. Triage, séchage et nettoyage des grains.....	11
5.1.2. Nettoyage des locaux.....	11
5.2. Structures de stockage.....	11
5.2.1. Stockage dans les entrepôts souterrains (<i>Matmor</i>).....	11
5.2.2. Greniers traditionnels (stockage domestique).....	12
5.2.3. Cribs améliorés (à la ferme ou communautaires).....	12
5.2.4. Bidons et fûts.....	12
5.2.5. Magasins (stockage commercial, administratif ou privé).....	13
5.2.6. Silos (stockages centralisés).....	13
5.3. Modifications du blé au cours du stockage.....	14
5.3.1. Action des microorganismes.....	14
5.3.2. Modifications biochimiques et technologiques.....	15
6. Utilisation du blé dans l'alimentation humaine.....	16

Chapitre 2. Blé dur fermenté <i>Lemzeïet</i>	17
1. Définition de la fermentation.....	17
2. Céréales fermentées.....	17
3. Obtention du blé dur fermenté <i>Lemzeïet</i>	17
3.1. Fermentation du blé dur dans le <i>Matmor</i>	18
3.2. Fermentation du blé dur à l'extérieur du <i>Matmor</i>	18
4. Microorganismes impliqués dans la fermentation.....	19
4.1. Flore lactique.....	19
4.2. Flore fongique.....	20
4.3. Interaction entre microorganismes.....	22
5. Effets de la fermentation.....	22
5.1. Modifications biochimiques.....	22
5.2. Formation de l'arôme et de la saveur.....	23
Chapitre 3. Couscous	24
1. Définition.....	24
2. Origine et appellation.....	24
3. Fabrication traditionnelle.....	25
3.1. Matériels de fabrication.....	25
3.1.1. Ustensile de malaxage.....	25
3.1.2. Tamis.....	26
3.1.3. Ustensiles de cuisson.....	27
3.2. Procédé de fabrication.....	27
3.2.1. Préparation de la semoule.....	27
3.2.2. Hydratation, agglomération et roulage.....	27
3.2.3. Calibrage et tamisage.....	28
3.2.4. Pré-cuisson.....	28
3.2.5. Séchage.....	28
4. Fabrication industrielle.....	29
4.1. Hydratation et malaxage.....	29
4.2. Roulage, tamisage et calibrage.....	29
4.3. Cuisson à la vapeur et émottage.....	30
4.4. Séchage, refroidissement et stockage.....	30
5. Couscous <i>Lemzeïet</i>	32
5.1. Définition.....	32
5.2. Fabrication.....	32
6. Consommation du couscous.....	32
7. Qualité du couscous.....	33
7.1. Qualité technologique.....	33
7.1.1. Granulométrie.....	33
7.1.2. Forme des particules.....	34
7.1.3. Couleur.....	34
7.2. Qualité culinaire.....	35
7.2.1. Indice de gonflement.....	35

7.2.2. Degré de délitescence.....	35
7.2.3. Temps de cuisson.....	35
7.3. Qualité nutritionnelle.....	36
Étude expérimentale	
Matériel et méthodes	
Partie 1. Enquête sur le couscous <i>Lemzeïet</i>.....	39
1. Objectifs de l'enquête.....	39
2. Type, temps et lieu de l'enquête.....	39
3. Echantillonnage et population ciblée.....	40
4. Elaboration du questionnaire.....	40
4.1. Identification des personnes interrogées.....	41
4.2. Fabrication du couscous <i>Lemzeïet</i>	41
4.2.1. Ingrédients utilisés.....	41
4.2.2. Matériels utilisés.....	41
4.2.3. Étapes.....	41
5. Déroulement de l'enquête.....	42
6. Analyse statistique.....	42
Partie 2. Étude des modifications du blé dur durant la fermentation.....	43
1. Matière première.....	43
2. Préparation du blé dur fermenté <i>Lemzeïet</i>	43
3. Caractérisation microbiologique du blé dur fermenté.....	44
3.1. Préparation de la solution mère et des dilutions décimales.....	44
3.2. Isolement et dénombrement de la flore totale.....	45
3.3. Isolement et dénombrement de la flore fongique.....	45
3.4. Isolement et dénombrement de la flore lactique.....	45
3.5. Identification des bactéries lactiques.....	46
4. Caractérisation biochimique du blé dur fermenté.....	47
4.1. Teneur en eau.....	47
4.2. pH et teneur en acidité titrable totale.....	47
4.3. Teneur en protéines totaux.....	47
4.4. Teneur en lipides totaux.....	47
4.5. Teneur en glucides totaux.....	48
4.6. Teneur en amidon.....	48
4.7. Teneur en cendres.....	48
5. Analyse statistique.....	48
Partie 3. Effet de la fermentation sur les propriétés du couscous <i>Lemzeïet</i>	49
1. Préparation du couscous <i>Lemzeïet</i>	49
2. Caractérisation technologique.....	49
2.1. Rendement en couscous.....	49
2.2. Propriétés physiques des particules.....	50
2.2.1. Taille des particules.....	50
2.2.2. Forme des particules.....	50
2.2.3. Couleur.....	50
2.2.4. Dynamiques de sorption de vapeur.....	52

2.3. Qualité culinaire.....	53
2.3.1. Indice de gonflement.....	53
2.3.2. Degré de délitescence.....	53
2.3.3. Capacité de rétention d'eau.....	54
2.3.4. Temps de cuisson.....	54
3. Caractérisation de la microstructure.....	54
3.1. Microscopie électronique à balayage environnemental.....	54
3.2. Microscopie électronique à balayage.....	55
3.3. Microscopie confocale à balayage laser.....	55
4. Evaluation sensorielle.....	55
5. Analyse statistique.....	56
Résultats et discussion	
Partie 1. Enquête sur le couscous <i>Lemzeïet</i>.....	57
1. Caractéristiques des personnes interrogées.....	57
2. Informations sur la fabrication traditionnelle du couscous <i>Lemzeïet</i>	58
2.1. Ingrédients utilisés.....	58
2.2. Matériel utilisé.....	61
2.3. Étapes de fabrication.....	62
2.3.1. Préparation et hydratation de la semoule.....	62
2.3.2. Agglomération de la semoule.....	64
2.3.3. Finition du couscous.....	64
2.3.4. Cuisson, séchage et stockage.....	65
Partie 2. Étude des modifications du blé dur durant la fermentation.....	67
1. Caractéristiques microbiologiques.....	67
1.1. Flore totale.....	67
1.2. Flore fongique.....	68
1.3. Flore lactique.....	68
1.4. Caractéristiques morphologiques et physiologiques des isolats de BL.....	71
2. Propriétés biochimiques.....	74
2.1. Teneur en eau.....	74
2.2. PH et teneur en acidité titrable totale.....	74
2.3. Protéines totaux.....	75
2.4. Lipides totaux.....	76
2.5. Glucides totaux.....	76
2.6. Amidon.....	77
2.7. Cendres.....	77
Partie 3. Effet de la fermentation sur les propriétés du couscous <i>Lemzeïet</i>.....	79
1. Rendement en couscous.....	79
2. Caractéristiques technologiques.....	79
2.1. Caractéristiques granulométriques.....	79
2.2. Caractéristiques de la forme des particules.....	80
2.3. Couleur.....	85
2.4. Dynamiques de sorption de vapeur.....	87
3. Propriétés culinaires.....	88

3.1. Indice de gonflement.....	88
3.2. Degré de délitescence.....	89
3.3. Capacité de rétention d'eau.....	89
3.4. Temps de cuisson.....	90
4. Microstructure.....	91
4.1. Microscopie électronique à balayage.....	91
4.2. Microscopie électronique à balayage environnemental.....	92
4.3. Microscopie confocale à balayage laser.....	92
5. Qualité sensorielle.....	96
Conclusion et perspectives.....	98
Références bibliographiques.....	101
Annexes	

Liste des abréviations

AACC Association Américaine des Chimistes des Céréales	MCBL Microscopie Confocale à Balayage Laser
AFNOR Association Française de Normalisation	MEB Microscopie Électronique à Balayage
AV Avec vinaigre	MEBE Microscopie Électronique à Balayage Environnemental
Aw Activité d'eau	MRS DeMan, Rogosa, Sharpe medium
B Blanc	NM Norme marocaine
BBC Bacilles à Bâtonnets Courts	OGA Gélose Oxytétracycline et Glucose
BF Blé dur Fermenté	PDA Gélose Dextrose de Pomme de terre
BL Bactéries Lactiques	RDT Rendement en couscous
BNF Blé dur Non Fermenté	R Rondeur
C Convexité	RA Rapport Aspect
Co Cocci	S Sphéricité
Covid Maladie du Corona Virus	SAU Superficie Agricole Utile
CBD Couscous de Blé Dur	SBD Semoule de Blé Dur
CIC Conseil International des Céréales	SBDF Semoule de Blé Dur Fermenté
CQIASA Centre Québécois d'Inspection des Aliments et de Santé Animale	SF Semoule Fine
CL Couscous <i>Lemzeïet</i>	SG Semoule Grosse
CRE Capacité de Rétention d'Eau	SV Sans Vinaigre
D <i>Dkak</i>	TAT Teneur en Acidité Titrable
DD Degré de Délitescence	TE Tamis <i>Ezzraâ</i>
DG Distribution Granulométrique	TS Tamis <i>Sekkat</i>
DMSO Diméthyl sulfoxyde	TM Tamis <i>Meâaoudi</i>
dm/dt Changement de masse par minute	TR Tamis <i>Raffad</i>
DVS Sorption Dynamique des Vapeurs	TD Tamis <i>Dekkak</i>
EQPC Diamètre d'un Cercle de surface de Projection Égale	TAm Teneur en Amidon
ES Extrait Sec	TC Temps de Cuisson
F <i>Fetla</i>	TCd Teneur en Cendres
FAO Organisation pour l'Alimentation et l'Agriculture	Te Teneur en Eau
FTAM Flore Totale Aérobie Mésophile.	TGT Teneur en glucides Totaux
GRAS Généralement Reconnu comme Sûr	TLT Teneur en Lipides Totaux
GSED Détecteur d'Électrons Secondaires Gazeux	TPT Teneur en Protéines Totaux
HéF Hétéro-Fermentaire	TMx Temps Maximal
HR Humidité relative	TMn Temps Minimal
HoF Homo-Fermentaire	TOp Temps Optimal
IB Indice de brun	UFC Unité Format Colonie
IG Indice de gonflement	UNESCO Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture
ISO Organisation Internationale de Normalisation	
J Jaune	
Lab Laboratoire	
LB Lisse et Brillant	
Max Maximum	
Min Minimum	
M17 Milieu de croissance bactérienne	

Liste des figures

Figure 1. Schéma histologique d'une coupe longitudinale d'un grain de blé (Surget et Barron, 2005).....	07
Figure 2. Image de la partie centrale de l'albumen obtenue par MEB ; les gros grains d'amidon (SA) et les petits (SB), englobés dans une matrice protéique (P) (Mills <i>et al.</i> , 2005).....	08
Figure 3. Différents systèmes de stockage des céréales (Fellows, 2011; CIMAS,2013)....	14
Figure 4. Blé dur fermenté (A) et ouverture du <i>Matmor</i> (B) (Bekhouche <i>et al.</i> , 2013).....	18
Figure 5. Ustensiles de fabrication du couscous (Galleze, 2018).....	25
Figure 6. A : Diagramme traditionnel adopté pour la fabrication du couscous (Boucheham, 2009) ; B : Schéma de fabrication industrielle du couscous (Abecassis <i>et al.</i> , 2012).....	31
Figure 7. Microstructure du grain de couscous en microscope électronique environnemental (Abecassis <i>et al.</i> , 2012).....	34
Figure 8. Dispositif expérimental des différentes parties de la thèse.....	38
Figure 9. Carte géographique montrant les wilayas enquêtées dans la zone Nord-est de l'Algérie.....	39
Figure 10. Carte de la commune de Bouhatem (wilaya de Mila) (plan Satellite).....	43
Figure 11. Mise en place de la fermentation du blé dur dans les bidons en plastique.....	44
Figure 12. Photographies d'ustensiles traditionnels (<i>Guessâa</i> , couscoussier et cinq tamis).....	61
Figure 13. Diagramme traditionnel de la fabrication du couscous <i>Lemzeïet</i>	63
Figure 14. Échantillons de blé dur non fermenté (BNF) et de blé dur fermenté (BF) pendant 3, 6, 9 et 12 mois, sans vinaigre (SV) et avec un ajout initial de vinaigre (AV).....	67
Figure 15. Caractéristiques des colonies et vue microscopique ($\times 1000$) de l'isolat BL après coloration de Gram.....	72
Figure 16. Distribution granulométrique des échantillons de couscous <i>Lemzeïet</i> (les résultats ont été exprimés en pourcentage volumique (%) en fonction du diamètre granulométrique (μm)).....	81
Figure 17. Image des particules avec des descripteurs de taille et de forme correspondant aux particules les plus petites (Min) et les plus grandes (Max) mesurées dans les échantillons de couscous <i>Lemzeïet</i>	82

Figure 18. Isothermes de sorption/adsorption d'échantillons de couscous <i>Lemzeïet</i> à 25°C.....	88
Figure 19. Caractérisation d'une vue générale des particules de couscous <i>Lemzeïet</i> et de leur détail de surface par microscopie électronique à balayage avec 90% HR et anhydride.....	94
Figure 20. Observations en microscopie confocale (×10 ; × 40) par marquage des protéines et des lipides de couscous <i>Lemzeïet</i>	95
Figure 21. Attributs sensoriels des différents échantillons de couscous.....	97

Liste des tableaux

Tableau 1. Classement des principaux producteurs et importateurs mondiaux de blé (Statista, 2021; CIC, 2021).....	05
Tableau 2. Classification botanique du blé dur (Feillet, 2000).....	06
Tableau 3. Composition biochimique du grain de blé (limites habituelles de variation) (Feillet, 2000).....	08
Tableau 4. Principaux céréales fermentés de l’Afrique et BL isolées au cours de leurs productions (Yao <i>et al.</i> , 2009 ; Merabti <i>et al.</i> , 2015 ; Mokhtari <i>et al.</i> , 2016).....	21
Tableau 5. Classification par ordre croissant des tamis utilisés dans la fabrication du couscous en Afrique du Nord et en Afrique de l’Ouest (Benatallah, 2009).....	26
Tableau 6. Caractéristiques sociodémographiques de la population interrogée.....	58
Tableau 7. Différentes formules de fabrication du couscous Lemzeïet selon le pourcentage de la population enquêtée.....	60
Tableau 8. Evolution de la flore microbienne (UFC/g) du blé dur au cours de la fermentation	70
Tableau 9. Caractéristiques morphologiques et physiologiques des isolats des BL à partir des échantillons du blé dur au cours de la fermentation	73
Tableau 10. Évolution des propriétés biochimiques du blé dur au cours de la fermentation sans vinaigre ou avec vinaigre.....	78
Tableau 11. Descripteurs de la taille des particules des échantillons de couscous <i>Lemzeïet</i>	83
Tableau 12. Descripteurs de la forme des particules des échantillons de couscous <i>Lemzeïet</i>	84
Tableau 13. Profil de couleur des échantillons de couscous <i>Lemzeïet</i>	85
Tableau 14. Applicabilité de l'équation GAB aux données d'adsorption d'humidité des échantillons couscous <i>Lemzeïet</i>	88
Tableau 15. Propriétés culinaires des échantillons de couscous <i>Lemzeïet</i>	93

Liste des publications et des communications

1. Publications scientifiques relatives à la thèse

Becila, F. Z., Bouasla, A., Turchiuli, C., Giana, A., Gabrielle, M., Bekhouche, F. (2023). Fermentation effects on physical, microstructural, cooking and sensory characteristics of a traditional Algerian couscous based on fermented wheat *Lemzeïet*. *Food Bioscience*, 53, 102505.

Becila, F. Z., Bouasla, A., Turchiuli, C., Boussekine, R., Bekhouche, F., Wójtowicz, A. (2022). Biochemical and microbiological changes associated with fermentation of durum wheat for *Lemzeïet* Processing, a traditional Algerian fermented food. *Processes*, 10, 2347.

2. Communications affichées relatives à la thèse

Becila, F. Z., Boussekine, R., Merabti, R., Bekhouche, F. (2017). Different formulas characterizing traditional manufacture of couscous *Lemzeïet*. International conference on advances in science and arts (Thermal engineering), Istanbul, Turkey.

3. Autres publications scientifiques

Boussekine, R., Merabti, R., Barkat, M., **Becila, F. Z.**, Belhoula, N., Mounier, J., Bekhouche, F. (2020). Traditional Fermented Butter Smen/Dhan: Current Knowledge, Production and Consumption in Algeria. *Journal of Food Research*, 9 (4), 1-12.

Merabti, R., Madec, M. N., Chuat, V., **Becila, F. Z.**, Boussekine, R., Bekhouche, F., Valence, F. (2019). First insight into the technological features of lactic acid bacteria isolated from Algerian fermented wheat *lemzeïet*. *Current Microbiology*, 1076, 10, 1095-1104.

4. Autres communications affichées

Merabti, R., Madec, M. N., Chuat, V., **Becila, F. Z.**, Boussekine, R., Bekhouche, F., Valence, F. (2018). Caractérisation moléculaire et étude des propriétés technologiques de la flore lactique du blé dur fermenté ». Séminaire International des Sciences Alimentaires (SISA), Constantine, Algérie.

Merabti, R., Madec, M. N., Chuat, V., **Becila, F. Z.**, Boussekine, R., Bekhouche, F., Valence, F. (2018). Caractérisation moléculaire et étude des propriétés technologiques de la flore lactique du blé dur fermenté » Séminaire International des Sciences Alimentaires (SISA), Constantine, Algérie.

Boussekine, R., Merabti, R., Belhoula, N., **Becila, F. Z.**, Barkat, M., Bekhouche, F. (2018). Enquête sur la préparation du *Dhan* traditionnel auprès d'un échantillon de la wilaya de Sétif. Séminaire International des Sciences Alimentaires (SISA), Constantine, Algérie.

Merabti, R., Bekhouche, F., **Becila, F. Z.**, Chuat, V., Madec, M. N., Thierry, A., Valence, F. (2017). Impact de la fermentation sur les propriétés fonctionnelles de la matrice du blé dur. 3^{ème} Congrès International de la SAN, Constantine, Algérie.

Boussekine, R., Merabti, R., Belhoula, N., **Becila, F. Z.**, Barkat, M., Bekhouche, F. (2017). Qualité hygiénique du *dhan* consommé dans les ménages algériens. 3^{ème} Congrès International de la SAN, Constantine, Algérie.

Introduction

Dans tous les pays du monde, particulièrement les pays en développement, les céréales constituent la base de l'alimentation humaine en tant que sources protéiques et énergétiques, notamment le riz, l'orge et le blé (**Djermoun, 2009**).

Le blé dur (*Triticum durum*) et la semoule qui en est extraite se prêtent à la fabrication d'un nombre extraordinairement diversifié d'aliment : *Frik*, pain, galette, pâtes alimentaires, et couscous (**Benbelkacem et al., 1995 ; Feillet, 2000**). Ce dernier, fait désormais partie du patrimoine immatériel mondial de l'UNESCO, après que le Maghreb uni (l'Algérie, le Maroc, la Mauritanie et la Tunisie) a déposé une candidature conjointe pour que le plat ancestral hérité de différentes générations, soit inscrit (**Hammami et Sissons, 2020**).

Le couscous est un plat de base pour les Algériens. Il est très diversifié, il existe autant de variantes que de régions, de saisons ou de fêtes (**Chemache et al., 2018**). Il reflète les plus grandes et les plus belles créations culinaires dont lesquelles les connaissances et les compétences traditionnelles sont héritées de génération en génération. De la préparation artisanale, manuelle, la graine de couscous devient industrielle avec l'introduction de minoteries en Algérie par les établissements Maison Ricci à Blida en 1853 ou Ferrero à Alger en 1907 (**Beji-Becheur et al., 2008**).

En Algérie, le couscous à base de blé fermenté est appelé *Lemzeïet* ou *El-Machroub* ou encore *El-Hammoum*, dont la particularité est l'isolation du grain de blé dur dans des puits garnis de paille, fermée appelée *Matmor*, jusqu'à fermentation. Il se caractérise par une couleur brune, une odeur aigrelette et un goût acide. Il est très apprécié et particulièrement recherché dans les régions d'Est de l'Algérie (**Hefied, 2010 ; Bekhouche et al., 2013 ; Gourchala et al., 2014 ; Merabti et al., 2015 ; Mokhtari et al., 2016 ; Mokhtari et al., 2020**).

Le *Matmor* crée une atmosphère confinée autour des grains favorisant le développement des microorganismes anaérobies (**Bartali et al., 1989 ; Mokhtari et al., 2020**). Suite à l'infiltration d'eau et l'augmentation de la température à l'intérieur du *Matmor* au-delà des teneurs en eau correspondant à des activités thermodynamiques de l'eau (A_w) de l'ordre de 0,90, des processus microbiens de fermentation apparaissent : fermentation alcoolique par des levures ou fermentation lactique par des bactéries lactiques, qui sont les microorganismes dominants retrouvés au cours de la fermentation dans la majeure partie des aliments. Leurs principales fonctions comprennent la

production d'acides organiques et de composés aromatiques, l'inhibition des microorganismes pathogènes, les propriétés probiotiques, l'élaboration de la texture de l'aliment et la dégradation des composés toxiques (**Diawara et al., 1989 ; Yao et al., 2009 ; Mokhtari et al., 2016 ; Mokhtari et al., 2020**).

Après l'installation des populations dans les zones urbaines et l'industrialisation du système de stockage, la fermentation du blé en Algérie ne se fait plus que très rarement dans les *Matmors*. Elle a continué à être pratiquée par quelques artisans mais à l'extérieur du *Matmor* selon un nouveau procédé rapide (3 mois à 1 année) que celui réalisé dans les *Matmors* (3 à 9 ans), dans des ustensiles de différentes formes et tailles pour répondre aux demandes des consommateurs (**Boudreau et Menard, 1992 ; Parveen et Hafiz, 2003 ; Jeantet et al., 2006 ; Bekhouche et al., 2013 ; Merabti et al., 2015**).

Le couscous *Lemzeïet* c'est d'abord un type de couscous particulier et original (**Bekhouche et al., 2013 ; Merabti et al., 2015**) qui est devenu moins préparé, ce qui est lié au déclin des pratiques traditionnelles et des savoir-faire de préparation, ainsi sa qualité dépend de la mise en œuvre de la matière première et des conditions de fabrication, qui se distinguent par une série d'étapes (**Donnelley et al., 1994**).

C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail de thèse qui a pour objectifs :

- Détermination des différentes formules utilisées et diagramme traditionnel de fabrication du couscous traditionnel *Lemzeïet* dans le Nord-est Algérien ;
- Étude des modifications microbiologiques et biochimiques induites par le nouveau procédé de fermentation sur blé dur avec et sans ajout de vinaigre pendant une année de stockage ;
- Étude des effets du temps de la fermentation et de l'ajout du vinaigre lors de la fermentation du blé dur sur les propriétés technologiques, culinaires, microstructurales et sensorielles du couscous *Lemzeïet*.

Afin d'atteindre ces objectifs, outre l'introduction et la conclusion, ce manuscrit expose d'abord une étude bibliographique répartie en trois chapitres : le premier chapitre met l'accent sur des généralités relatives au blé dur, le deuxième chapitre est consacré au blé dur fermenté *Lemzeïet*, et le dernier chapitre présente le couscous.

Ensuite, il présente une étude expérimentale qui regroupe le matériel et les méthodes mis en œuvre, et qui comporte trois parties, la première partie décrit l'enquête sur le couscous *Lemzeïet*, la deuxième partie a été consacrée à l'étude des modifications biochimiques et microbiologiques associées à la fermentation du blé dur, la troisième partie sur l'étude des effets de la fermentation sur les propriétés technologiques, culinaires, microstructurales et sensorielles du couscous *Lemzeïet*, Enfin la présentation des différents résultats obtenus au cours des différentes parties d'étude et leurs discussions.

Étude bibliographique

Chapitre 1. Blé dur

1. Origine du blé

Le terme blé, qui apparaît dans la langue française en 1080, a longtemps désigné toutes les céréales indifféremment tout comme corn, en anglais (**Dauzat et al., 1971**). Le blé est l'une des premières espèces cueillies et cultivées par l'homme (7000 à 10000 ans) dans le Croissant Fertile, zone couvrant la Palestine, la Jordanie, la Syrie, l'Irak, et une grande partie de l'Iran (**Croston et Williams, 1981**).

Le Moyen-Orient serait le centre géographique d'origine. À partir duquel, l'espèce s'est différenciée dans trois centres : Méditerranée, le sud d'union des républiques socialistes soviétiques et le proche et Moyen-Orient. L'Afrique du Nord est considérée comme un centre secondaire de diversification de l'espèce (**Chikhi, 1992**).

2. Production et consommation du blé

2.1. Mondiale

La culture des céréales et particulièrement le blé a connu un véritable essor, ceci est dû à la forte croissance des populations consommatrices et donc à son intérêt majeur au niveau du marché mondial. Cet essor est très remarquable au niveau de la production mondiale, qui a connu une évolution notable d'une décennie à une autre (**Djelti, 2014 ; FAO, 2020a**). Cependant, la récolte mondiale de blé dur en 2019 était marquée par une forte baisse pour la plupart des pays producteurs à cause de la pandémie mondiale qui secoue la planète (Covid-19). Les zones de production les plus touchées par cette baisse étaient l'Union Européenne dont la France en particulier, mais aussi l'Espagne et l'Italie. En 2020 et 2021, la production mondiale de blé a été de 776,5 millions de tonnes. Dans ce cadre, la Chine vient au premier rang (**Statista, 2021 ; FAO, 2022b**) ([Tableau 1](#)).

Dans le marché mondial, le blé est considéré comme étant un élément stratégique. Il représente environ 55% de la consommation globale en céréales (**FAO, 2022b**). La consommation mondiale moyenne de blé était de 67 kg pour l'année 2018/2019 (**Statista, 2021**). L'utilisation de blé par habitant dans les pays en développement a continué d'augmenter et la plupart de ces pays sont de plus en plus dépendant des importations. C'est le cas de l'Afrique du Nord et du Moyen-Orient, producteurs et consommateurs historiques de blé. Le premier importateur en Afrique est l'Égypte suivi par l'Algérie (5^{ème} rang) et le Maroc (9^{ème} rang) (**Djermoun, 2009 ; Statista, 2021 ; CIC, 2021**).

Tableau 1. Classement des principaux producteurs et importateurs mondiaux de blé (Statista, 2021; CIC, 2021).

N°	Pays producteurs 2020/21 (Mt)		N°	Pays importateurs (2017/18 (Mt)	
1	Chine	134,25	1	Philippines, Thaïlande, Vietnam	13,90
2	Union européenne	125,94	2	Égypte	12,50
3	Inde	107,86	3	Indonésie	10,50
4	Russie	85,35	4	Brésil	7,50
5	États-Unis	49,69	5	Algérie	7,20
6	Canada	35,18	6	Bangladesh	7,00
7	Australie	33,00	7	Chine	4,50
8	Ukraine	25,24	8	Yémen	3,00
9	Pakistan	24,94	9	Maroc	3,00

Selon un rapport du Conseil International des Céréales (CIC, 2021), durant la campagne 2019-2020, les principaux pays exportateurs des céréales étaient la Russie, le Canada, l'Ukraine, l'Australie, l'Argentine et le Kazakhstan.

2.2. Nationale

En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. La production des céréales jachère comprise, occupe environ 80% de la superficie agricole utile (SAU) du pays. Les superficies annuellement récoltées représentent 63% des emblavures (Laib et Aknouche, 2017).

La production totale de céréales en 2021 est estimée à 3,5 millions de tonnes qui ne couvrent que 50% de la demande nationale malgré l'étendue des superficies réservées à cette culture. La cause principale est le faible niveau de productivité obtenue due à des contraintes abiotiques (pluviométrie), biotique et humaine (FAO, 2022b).

Le taux de couverture en blés par les importations s'établit à 74% sur la période 2010-2019 pour des besoins nationaux de 7,6 millions de tonnes. L'Algérie est donc confrontée à un problème de dépendance extérieure qui s'accompagne de lourdes factures en raison de la volatilité des marchés (Hales, 2019).

3. Grain de blé

3.1. Morphologie

Le grain de blé a une forme ovoïde et présente sur la face ventrale un sillon qui s'étend sur toute la longueur. À la base dorsale du grain, se trouve le germe qui est surmonté par une brosse. Le grain de blé mesure entre 5 et 7 mm de long et entre 2,5 et 3,5

mm d'épaisseur, pour un poids compris entre 20 et 50 mg. La couleur de blé varie du roux au blanc. En rapport avec le pays d'origine, le sol, la culture et le climat (**Surget et Barron, 2005**).

3.2. Taxonomie

Le blé est une monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* (Tableau 2). C'est une céréale dont le grain est un fruit sec, appelé caryopse. Les deux espèces les plus cultivées sont le blé tendre (*Triticum aestivum*) et le blé dur (*Triticum durum*) (**Boudreau et Menard, 1992**).

Tableau 2. Classification botanique du blé dur (**Feillet, 2000**)

Règne	Plantea	Famille	Poaceae
Embranchement	Angiospermes	Sous famille	Hordées
Sous embranchement	Spermaphytes	Tribu	Triticinae
Classe	Monocotylédones	Sous tribu	Triticinae
Sous classe	Commelinidae	Genre	<i>Triticum</i>
Ordre	Poales	Espèce	<i>Triticum durum</i> Desf
Super ordre	Comméliniflorales		

3.3. Composition histologique

La portion comestible du grain de blé (Figure 1) comporte trois parties distinctes : les enveloppes, l'albumen, et le germe (**Godon et Willm, 1991 ; Feillet ; 2000**).

3.3.1. Enveloppes de la graine

L'enveloppe (le son) représente 13% - 20% du poids du grain et elle est composée de plusieurs couches qui protègent la partie principale du grain (**Matz, 1969 ; Feillet, 2000**).

3.3.1.1. Péricarpe ou tégument

Les tissus du péricarpe forment une mince couche de protection sur le grain de blé entier. L'examen microscopique du péricarpe montre qu'il est composé de plusieurs couches, nommées suivant leur position de l'extérieur vers l'intérieur du grain comme suit : l'épiderme, l'hypoderme, les restes de cellules à parois minces, les cellules intermédiaires, les cellules transversales et les cellules tubulaires (**Matz, 1969**).

3.3.1.2. Testa

Le testa, appelé aussi tégument séminal, est composé de deux tissus : le testa et le film pigmentaire. La couche interne du tégument de blé est souvent très pigmentée qui

donne au grain sa couleur caractéristique (Srilakshmi, 2007). Ensemble ces deux tissus recouvrent la surface complète de la graine. Ils participent de manière coopérative à la maturation de celle-ci par un contrôle de la circulation de l'eau et des nutriments (Bechtel *et al.*, 2009).

3.3.1.3. Cellules nucellaires ou épiderme du nucelle

Encore appelée bande hyaline ou épiderme du nucelle, cette couche est composée d'une assise cellulaire dont l'écrasement progressif lié au remplissage de l'albumen amylicé, ne laisse place qu'aux parois cellulaires à maturité (Fulcher et Wong 1980).

3.3.2. Amande farineuse

Encore appelée albumen, représente la majeure partie de blé (77% à 85% du poids du grain) et elle est limitée à sa partie inférieure par le germe. Elle est constituée d'un ensemble de cellules renfermant les grains d'amidon, réunis entre eux par un réseau de gluten. C'est ce dernier qui confère à la farine la propriété de former une pâte élastique lorsqu'on y ajoute de l'eau. Lorsque l'on va de la périphérie de l'amande vers le centre, les grains d'amidon deviennent plus nombreux (Godon, 1991 ; Feillet ; 2000).

3.3.4. Germe

C'est l'embryon (3%) qui donnera naissance à une future plante. Il est constitué de deux parties: l'axe embryonnaire d'une part, composé de cellules parenchymateuses mérismatiques, dont les parois sont fines et non lignifiées, et d'autre part le scutellum (cotylédon), qui fonctionne comme un organe de stockage (Feillet, 2000).

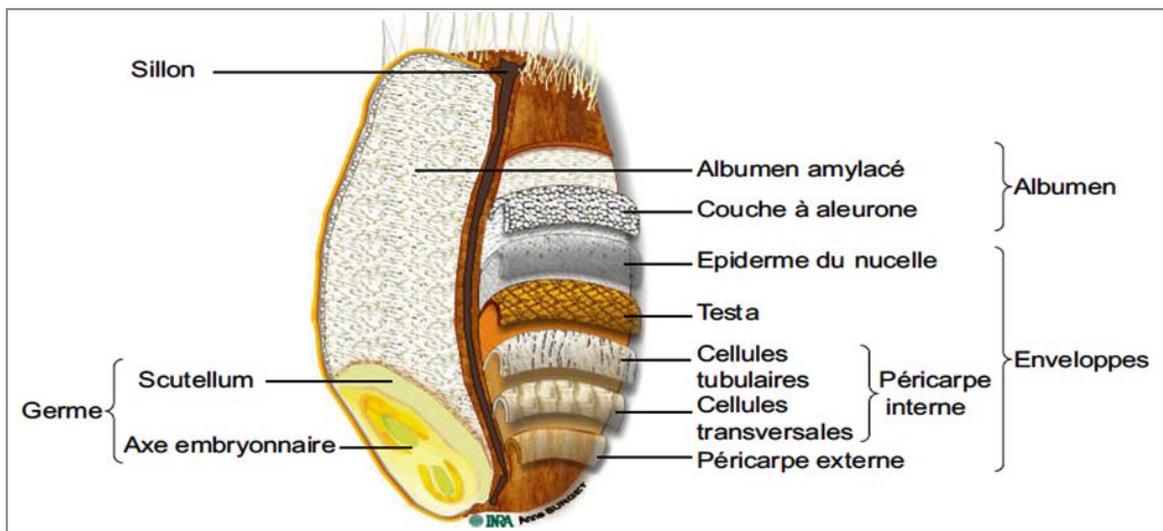


Figure 1. Schéma histologique d'une coupe longitudinale d'un grain de blé (Surget et Barron, 2005)

4. Composition biochimique

Le grain est principalement constitué d'amidon, de protéines et de pentosanes (Tableau 3). Les autres constituants (lipides, cellulose, sucres libres, minéraux et vitamines) sont mineurs. Ces constituants se répartissent de manière inégale au sein des différentes fractions histologiques du grain (Feillet, 2000).

Tableau 3. Composition biochimique du grain de blé (limites habituelles de variation) (Feillet, 2000)

Nature des composants	Teneur (% matière sèche)
Amidon	67-71
Protéines	10-15
Lipides	2-3
Sucres réducteurs	2-4
Pentosanes	8-10
Cellulose	2-4
Minéraux	1,5-2,5

4.1. Macro-éléments

4.1.1. Glucides

▪ **Amidon** : l'amidon est le principal constituant de l'albumen amylicé. Il est composé de deux polymères de glucose : l'amylose (26% - 28%) et l'amylopectine (72% - 74%). Ces deux polymères présentent différents degrés de polymérisation et de ramification (Colonna et Buleon, 1992). La structure de l'amidon (Figure 2) lui confère des propriétés spécifiques dans certaines conditions d'hydratation et de température : solubilité, viscosité, gélatinisation et adhésion (Kulp, 1972).

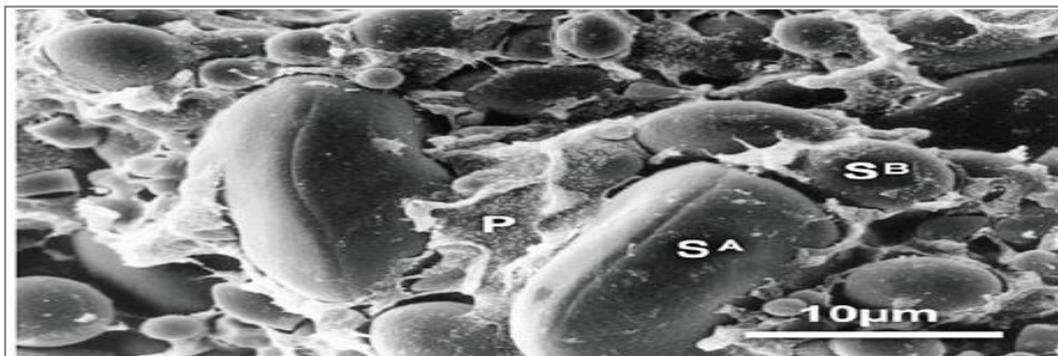


Figure 2. Image de la partie centrale de l'albumen obtenue par MEB ; les gros grains d'amidon (SA) et les petits (SB), englobés dans une matrice protéique (P) (Mills *et al.*, 2005)

▪ **Glucides non assimilables (fibres)** : les parois cellulaires constituent une source de polysaccharides non amylacés qui sont les principaux composants des fibres alimentaires. Ils représentent plus de la moitié de la composition du son (53%). La fibre de son de blé est complexe, elle contient la cellulose, les pentosanes et des polymères de xylose et d'arabinose, qui sont étroitement liés aux protéines (**Šramkova et al., 2009**).

4.1.2. Protéines

Les protéines du blé sont divisées selon leurs caractéristiques biologiques et leur localisation dans le grain. On distingue deux classes de protéines (**Jeantet et al., 2006**) :

- Protéines métaboliques qui sont les albumines et les globulines (15% - 20%), encore appelées protéines solubles. Ils se différencient par leurs propriétés physico-chimiques (poids moléculaire, point isoélectrique, acide aminé) et fonctionnelles (activités enzymatiques : amylase, protéases, oxydoréductases, inhibiteurs enzymatiques, pouvoir émulsifiant et moussant) ;
- Protéines de réserve qui sont les gliadines et les gluténines (80% - 85%), aussi appelées prolamines en raison de leur richesse en proline et en glutamine, représentent une source d'acides aminés pour la germination et pour le développement de la graine. Ces protéines sont majoritairement localisées au sein de l'albumen amylacé. Elles sont également les principaux constituants du gluten (**Šramkova et al., 2009**).

4.1.3. Lipides

Les lipides sont des constituants mineurs du blé, riches en acides gras insaturés. Ils sont localisés surtout dans le germe et les enveloppes et ils ont un effet significatif sur la qualité et la texture des aliments en raison de leur capacité à associer à des protéines et la formation de complexes d'inclusion avec l'amidon (**Šramkova et al., 2009**).

4.2. Micro-éléments

4.2.1. Pigments et vitamines

L'embryon est la partie du grain la plus colorée, suivie du son. Les pigments (caroténoïdes, flavones et xanthophylles) sont présents en très faible quantité. Les caroténoïdes principalement constitués par la lutéine, sont à l'origine de la composante jaune recherchée dans la semoule de blé dur et les pâtes alimentaires (**Samson et Morel, 1995**).

Le blé est une source intéressante en vitamines du groupe B (**Cheftel, 1992**) qui sont inégalement réparties dans les différentes parties du grain. La seule vitamine liposoluble présente est la vitamine E (**Vierling, 2008**).

4.2.2. Enzymes

▪ **Enzymes amylolytiques** : les enzymes amylolytiques (α -amylases et β -amylases) sont naturellement présentes dans le blé et ils sont capables d'hydrolyser l'amidon et ses produits de dégradation (dextrines et oligosaccharides) (**Feillet, 2000**).

▪ **Enzymes lipolytiques** : lipases qui sont des enzymes qui hydrolysent des longues chaînes de triglycérides avec la formation des diglycérides, des monoglycérides, des glycérols et des acides gras libres (**Cauvain, 2003**). Les lipoxygénases sont des enzymes qui oxydent spécifiquement des acides gras libres ou des monoglycérides (**Feillet, 2000**). Ils sont principalement localisés dans la partie périphérique du grain. Ils sont plus abondants dans le germe du grain que dans l'albumen (**Icard et Feillet, 1997**).

▪ **Enzymes protéolytiques** : phosphatases qui sont des estérases qui hydrolysent les esters de phosphate, tel que la phytase, qui agit sur l'acide phytique présent en grande quantité dans les enveloppes. compensant la complexation des minéraux précieux comme le calcium, le zinc et le fer (**Cauvain, 2003**). Les polyphénoloxydases catalysent l'oxydation des phénols en quinones. Elles sont concentrées dans les parties périphériques du grain et présentes en très faible quantité (**Feillet, 2000**).

4.2.3. Eau et minéraux

L'eau est un constituant instable et son taux susceptible de varier dans le temps, par suite des échanges avec l'atmosphère, ou entre les particules constituant le produit. Un taux d'humidité inférieur à 14% prolonge la durée de conservation sans risque d'altération par les microorganismes (**Bouferis, 2019**).

Le blé dur est une source de multiples minéraux: phosphore, manganèse, magnésium, zinc, sélénium, cuivre. Ces constituants sont distribués principalement dans les couches extérieures et dans le germe (**Manay et Shadaksharaswamy, 2001**).

5. Stockage du blé

La production des céréales est assurée par une seule récolte dans l'année alors que la consommation est prolongée toute au long de l'année, d'où la nécessité du stockage (**Pfohl-Leszkowicz et Mandervilleal, 2007**). Le choix de conditions convenables

d'entreposage des graines de céréale pendant des périodes prolongées revêt une grande importance économique (Gacem *et al.*, 2011).

5.1. Traitements obligatoires pour une bonne conservation

5.1.1. Triage, séchage et nettoyage des grains

Afin de limiter l'échauffement du tas, de limiter les contaminations, de baisser l'humidité, d'assurer une bonne durée de conservation et une réduction des pertes, le nettoyage et le tri sont des opérations importantes avant le stockage du grain (Rolland, 2013). Les grains de blé doivent être séchés afin d'éviter les détériorations du grain et l'échauffement qui peut en résulter. Ils ne doivent pas contenir de poussière, d'insectes ou de mauvaises graines (Berghofer *et al.*, 2003). Le brossage et l'élimination des enveloppes externes des grains de blé réduisent considérablement le taux de contamination fongique de la farine (Tahani *et al.*, 2008).

5.1.2. Nettoyage des locaux

Un nettoyage régulier des locaux de stockage est une excellente mesure préventive qui évite la contamination des lots sains, en éliminant les poussières et les déchets végétaux et les traitements insecticides effectués après le nettoyage, minimum quatre semaines avant de réceptionner la nouvelle récolte (Tahani *et al.*, 2008).

5.2. Structures de stockage

5.2.1. Stockage dans les entrepôts souterrains (*Matmor*)

L'utilisation des entrepôts souterrains pour le stockage des grains est une pratique traditionnelle, très ancienne et largement utilisée dans certaines régions des pays du Maghreb sous le nom vernaculaire de *Matmor*. Le *Matmor* est un local souterrain sous forme sphéro-tronconique (Bartali, 1995 ; Kermiche, 2013). Il est revêtu d'un enchevêtrement de paille de blé et d'orge ou bien par des feuilles de plastique qui jouent un rôle important dans la réduction des risques de détérioration du grain stocké par l'infiltration des eaux souterraines (Kanafani-Zahar, 1994). Le *Matmor* est creusé généralement à l'entrée de la maison ou à proximité. Ce mode de stockage est aussi utilisé dans plusieurs pays de l'Afrique, au Proche-Orient et en Asie (Fertahi, 1992 ; Bartali, 1995). En Inde, il existe plusieurs formes de silos souterrains (carrée, circulaire et en forme d'amphore). Ces silos portent le nom de *pathra*, *khatti*, *bandha* ou *Koh* (O'Kelly et Forster, 1983).

En Algérie, le paysan, sur les hauts plateaux, conservait surtout le produit de ses champs d'orge et de blé dans des enceintes creusées dans un sol argileux (Gacem, 2011). Cette technique de stockage nécessite des matériaux peu coûteux pour la construction et protège le grain stocké contre les fluctuations de la température extérieure. Ce système de stockage offre une capacité totale estimée à 10 millions de quintaux. La capacité de ces lieux de stockage est variable et dépend de la quantité à stocker et aussi de la nature de terrain (Bartali *et al.*, 1989). La trop forte humidité et les eaux d'infiltration sont les inconvénients majeurs de cette méthode de stockage favorisant le développement des moisissures et les phénomènes de fermentations bactériennes (Mokhtari, 2012). Le stockage souterrain a été progressivement abandonné par les agriculteurs à cause des difficultés qu'il présente lors de la vidange, et aussi pour les pertes qui peuvent résulter de la non-étanchéité du système (Bartali *et al.*, 1989).

5.2.2. Greniers traditionnels (stockage domestique)

Les grains de blé sont conservés en épis ou en vrac très souvent au milieu des champs. Ils sont généralement surélevés pour éviter l'attaque des insectes et des rongeurs. Ces greniers (3 à 7 tonnes) ont souvent une forme cylindrique avec un chapeau au-dessus (Ndiaye, 1999). Il y a plusieurs types de greniers selon la matière de construction : greniers à base de terre, greniers à armature de bambou et greniers en paille (Kodio, 1989).

5.2.3. Cribs améliorés (à la ferme ou communautaires)

Le crib est une structure aérée, de forme rectangulaire, carrée ou ronde, en matériaux métalliques ou en matériaux locaux (grosses pièces de bois formant l'ossature, pailles, cordes, branches d'arbres ou grillage de fortune constituant les parois). Ce type de structure a été diffusé auprès des producteurs de l'ouest du Burkina Faso dans les années 1986-1987, mais sa vulgarisation a été découragée par les coûts élevés de la structure métallique et par les difficultés d'obtenir du bois d'œuvre pour la construction des structures en matériaux locaux (Bartali, 1995).

5.2.4. Bidons et fûts

Ils constituent le meilleur système de stockage et de conservation au niveau villageois. Avec l'introduction des fûts métalliques hermétiques en 1970 par l'institut technologie alimentaire (Sénégal), des gros tonneaux métalliques, sont également employés, aussi bien pour les semences que pour les denrées de consommation. Ainsi avec la disponibilité des fûts en matière plastique qui ont des coûts très faibles (Ndiaye, 1999).

Les bidons en plastique ou de métal sont peu touchés par les pertes, mais ils représentent une faible proportion des moyens de stockage et servent pour une courte durée de conservation (**Rochat et Guenat, 2013**).

5.2.5. Magasins (stockage commercial, administratif ou privé)

Ces magasins sont généralement de forme rectangulaire. Les parois sont en banco et la toiture est faite de zinc en tôles ondulées. Les grains y sont conservés en sacs. Malgré des traitements phytosanitaires qui sont parfois appliqués l'infestation par les insectes est souvent présente. La capacité de ces magasins va de 5 à 10 tonnes (**Ndiaye, 1999**).

5.2.6. Silos (stockages centralisés)

En général, les silos sont métalliques en tôle lisse galvanisée où bien en béton armé de forme cylindrique de 40 tonnes doté de systèmes de manutention et de ventilation mécaniques. Ils sont munis de thermocouples qui indiquent les températures du blé, de plus un système d'aspiration central et de cyclones de séparation pour assurer la récupération des poussières. Des prises d'aspiration sont installées aux endroits critiques (à la tête des silos et au-dessus de tous les transporteurs et machines) comme mesure préventive de pollution et d'explosion (**Bartali et Lamzouri, 1990 ; Bartali, 1995**).

À l'intérieur de ces structures de stockage (**Figure 3**), les céréales peuvent être conditionnées en sacs ou en vrac. Le stockage en sac est le plus économique, ce fait dans des sacs empilés sur des palettes. La conservation est notablement améliorée si le sac en toile de jute est doublé intérieurement par un sac plastique (**Appert, 1985**). Le stockage en vrac exige des contraintes particulières de la structure : étanchéité, élimination de la condensation contrainte de pression et contrôle de l'atmosphère et de la température (**Ntsam, 1989**).



Figure 3. Différents systèmes de stockage des céréales (Fellows, 2011; CIMAS, 2013)

5.3. Modifications du blé au cours du stockage

5.3.1. Action des microorganismes

Le développement de micro-organismes s'accompagne par une réduction du pouvoir de germination des grains (Christensen et Sauer, 1982). Beaucoup de champignons provoquant une acidification et une décoloration des grains (Pitt, 1996). Cette décoloration peut être causée par les champignons de champ et de stockage (Heredia *et al.*, 2009). À la surface des grains, la croissance des moisissures crée une apparence terne au lieu de l'apparence brillante observée chez les grains normaux. À mesure que se poursuit l'invasion fongique des germes des grains, leurs tissus deviennent bruns, puis noirs. Les changements de couleur provoqués par les champignons entraînent une déclassification des grains (Mills, 1990). *Aspergillus flavus* se développe dans le blé entreposé et provoque une décoloration rapide du germe et du grain entier (Brooker *et al.*, 1992). La maladie de la fusariose est due à *Fusarium nivale* et *Fusarium roseum*. *Fusarium nivale* provoque un noircissement à la base des tiges et un dessèchement précoce de l'épi et une diminution du nombre de grains par épi (Akinsanmi *et al.*, 2004).

D'autre part, le développement des moisissures s'accompagne d'un dégagement d'odeur de moisi et de l'échauffement des stocks et la dégradation des grains par la

formation de blocs et l'agglomération des grains dû à leur activité respiratoire (**Mathew, 2010**).

5.3.2. Modifications biochimiques et technologiques

5.3.2.1. Dégradation des lipides

Les premières modifications biochimiques que subissent les grains en cours du stockage mal conduit s'observent le plus souvent au niveau des lipides (**Pomeranz, 1974**). La dégradation débute par l'hydrolyse des glycérides sous l'action des lipases microbienne, conduisant à une augmentation de la teneur en acides gras libres. Les lipases microbiennes provoquent souvent une dégradation partielle des triglycérides en di et monoglycérides. De très nombreuses levures et moisissures telles que *Candida*, *Mucor*, *Penicillium* et *Aspergillus* sont capables d'activités lipolytiques importantes s'exerçant souvent au niveau du germe des céréales plus riche en huile que l'amande (**Richard-Molard, 1998**).

5.3.2.2. Dégradation des glucides

Les grains ne contiennent généralement que de faibles quantités de sucres directement assimilables par les microorganismes. Il faut donc l'intervention d'enzymes extracellulaires (cellulases et amylases par exemple) pour réduire les macromolécules glucidiques en fragments assimilables comme le glucose (**Cochrane, 1976**).

La dégradation de la cellulose est assez rare et se limite à quelques moisissures et bactéries. L'amidon est hydrolysé par l'action d'amylases présente dans les grains et l'amylase fongique et quelques bactéries et levures. Cette dégradation fait intervenir des types d'enzymes selon l'espèce : l'alpha-amylase à une action endomoléculaire conduisant à la formation de maltose et d'une petite quantité de maltodextrine (*Bacillus*, nombreuses moisissures, quelques levures), gluco-amylase qui libère des unités glucose à partir des extrémités non réductrices des polymères (moisissures, levures et des bactéries) et la β -amylase qui a une action du type exomoléculaire donnant du maltose et des dextrines (*Bacillus*, levures et bactéries). Le glucose ainsi formé est utilisé par les champignons comme source d'énergie ou pour la production du sucre ribose utilisé pour la synthèse d'acides nucléiques (**Guiraud, 2003**).

Les sucres simples, après transport dans la cellule, sont dégradés par glycolyse, suivant les voies classiques (Embden-Meyerhof, pentoses phosphates) pour ne citer que les principales reconnues chez les moisissures (**Cochrane, 1976**). Bien entendu, le grain est lui-même un organisme vivant, qui respire en même temps que les microorganismes dont il

est porteur. Il a été longuement discuté de la part de responsabilité revenant au grain et aux microorganismes, dans les processus d'échauffement. Les données expérimentales paraissent suffisantes pour affirmer que dans la plupart des cas, ce sont les microorganismes et principalement les moisissures qui sont responsables, par leur respiration, de l'échauffement des stocks de grains (**Christensen et Kaufmann, 1969**).

5.3.2.3. Dégradation des protéines

La plupart des microorganismes présents sur les grains stockés montrent, à des degrés divers, des activités protéolytiques. L'hydrolyse des protéines en polypeptides et en acides aminés assimilables par les microorganismes ne se fait que très lentement dans les conditions habituelles de stockage (**Pomeranz, 1974**).

6. Utilisation du blé dans l'alimentation humaine

Les principaux produits du blé sont la farine et la semoule. C'est à partir de ces deux dérivés que peuvent être obtenus tous les autres produits de l'industrie agroalimentaire qui sont principalement le pain et les pâtes, mais également les produits de la pâtisserie, de la viennoiserie. Le blé est aussi consommé dans l'alimentation humaine sous forme de graines germées et qui est utilisée notamment comme accompagnement en salade et dans des sandwiches. D'autre part, le germe de blé est un coproduit dont il est possible d'en extraire de l'huile (**Viaux, 1999**).

Chapitre 2.

Blé dur fermenté *Lemzeiet*

1. Définition de la fermentation

La fermentation est un procédé ancestral et l'une des méthodes économiques les plus utilisées dans la conservation et la transformation des matières premières alimentaires (fruit, légume, céréale, légumineuse, lait, poisson, viande, *etc.*) (Merabti, 2015). Les produits alimentaires sont soumis à l'action des microorganismes et/ou des enzymes pour donner des changements biochimiques désirables et des modifications significatives de la qualité des aliments qui sont connus sous le nom des « produits fermentés » (Osungbaro, 2009).

Il y a plusieurs catégories de fermentations classées selon le résultat final : alcoolique est utilisée dans la confection des boissons (vin, bière) et du pain ; lactique, propionique et butyrique intervient dans la transformation de produits laitiers, de charcuterie, des céréales, et des légumes ; acétique se fait en présence d'oxygène, elle est réalisée par des bactéries acétiques qui transforment l'alcool en acide acétique principal constituant du vinaigre (Merabti, 2015).

2. Céréales fermentées

Les céréales fermentées en Afrique sont très populaires et contribuent à l'alimentation des populations et sont produites à l'échelle locale dans les foyers, les villages et par de petites unités de production (coopératives de femmes) (Yao *et al.*, 2009). Contrairement aux aliments fermentés des pays développés où les fermentations sont en majorité contrôlées (Merabti, 2015).

Les céréales fermentées sont élaborées à partir d'une grande variété de céréales (mil, maïs, riz, sorgho, blé) et ils sont consommés sous forme de pâtes, de purées, boissons, bouillies, soupes *etc.* (Osungbaro, 2009; Guyot, 2010). La diversité de matières premières et de procédés se traduit par une grande variété des acteurs de la fermentation.

3. Obtention du blé dur fermenté *Lemzeïet*

La fermentation des céréales est provoquée à fin d'obtenir un mélange riche en levures, bactéries et substances secondaires, utilisables très intéressant d'un point de vue santé. Le gout du blé dur fermenté (BF) est alors découvert et entré dans les habitudes alimentaires pour la fabrication du couscous "*Lemzeïet*", "*Elmachroub*" ou encore "*Elhmoum*" (Mokhtari, 2012; Bekhouche *et al.*, 2013; Merabti, 2015).

3.1. Fermentation du blé dur dans le *Matmor*

Les entrepôts souterrains destinés au stockage des grains sont une pratique traditionnelle, très ancienne utilisée dans plusieurs pays. Cependant dans certaines régions en Algérie, le blé dur est fermenté depuis longtemps dans le *Matmor*. Donc ce type de stockage est responsable de la fermentation des grains (Figure 4). Suite à l'infiltration des eaux de précipitation dans le *Matmor*, les grains de blé humidifiés ou inondés, en périphérie et en profondeur (Mokhtari, 2012 ; Kermiche, 2013 ; Bekhouche *et al.*, 2013 ; Merabti, 2015).



Figure 4. Blé dur fermenté (A) et ouverture du *Matmor* (B) (Bekhouche *et al.*, 2013)

Le *Matmor* est fermé, ceci crée une atmosphère confinée autour des grains favorisant le développement des microorganismes anaérobies (Bartali *et al.*, 1989). Au-delà d'une Aw de 0.90, des processus microbiens de fermentation apparaissent, surtout pour la couche des grains situés en contact de la périphérie de la paroi de la fosse. Les modifications biochimiques et technologiques qui en résultent sont d'autant plus intenses (ou se produisent d'autant plus rapidement) que la teneur en eau est plus élevée. Après quelques années (4 à 9 ans), les modifications sont irréversibles mais l'acidification du grain n'exclut pas l'utilisation en alimentation humaine (Diawara *et al.*, 1989).

3.2. Fermentation du blé dur à l'extérieur du *Matmor*

Actuellement, avec l'évolution du mode de vie et la sédentarisation, la fermentation du blé est réalisée dans des ustensiles (fûts, jerricans) par des artisans commerçants dans certaines villes de l'Est de l'Algérie. Elle est plus rapide (1 année) que celle-ci utilisée dans le *Matmor* (4 à 9 ans) (Kermiche, 2013 ; Merabti, 2015).

4. Microorganismes impliquées dans la fermentation

Les céréales fermentées abritent divers microorganismes (bactéries lactiques, levures et champignons filamenteux). La composition et la diversité du microbiote des céréales fermentées dépendent principalement de l'environnement (ustensiles) et de l'adaptation des microorganismes aux conditions de fermentation (substrats, température, pH, activité de l'eau) (Guyot, 2010). Pour ces aliments, le microbiote est dominé par des BL (Tableau 4) associées à des champignons présents en moindre proportion (Yao *et al.*, 2009).

4.1. Flore lactique

Les BL sont des bactéries à Gram positif, anaérobies, catalases négative et oxydase négative (Muto et Osawa, 1987). Elles sont de métabolisme chimio organotrophes, ce qui signifie qu'elles utilisent comme source énergétique des substances hydrocarbonées telles que les sucres, les alcools et les acides organiques. Ils sont des microorganismes ubiquitaires susceptibles d'être retrouvés dans tous types d'habitat. Une caractéristique commune permet cependant de les unifier en un seul et vaste groupe, leur capacité à fermenter les hydrates de carbone en acide lactique en fonction de la voie métabolique homo ou hétérolactique. Ces molécules peuvent être mobilisées pour la production de l'énergie nécessaire aux biosynthèses et à la multiplication cellulaire (Dellaglio *et al.*, 1994).

Les BL forment un groupe complexe et hétérogène, qui a subi de nombreux remaniements au cours de son existence, depuis les premières observations d'Orla-Jensen dans les années 1920, jusqu'aux méthodes moléculaires d'aujourd'hui (Carine et Philippe, 2009). Les principaux genres de BL sont : *Aerococcus*, *Carnobacterium*, *Enterococcus*, *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Oenococcus*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Tetragenococcus*, *Vagococcus* et *Weissella*. Les BL peuvent être divisées en bâtonnets (*Lactobacillus spp.* et *Carnobacterium spp.*) et en coques (tous les autres genres). Une exception pour le genre *Weissella* qui, par définition, peut inclure à la fois des coques et des bâtonnets (Axelsson, 2004 ; Giraffa et Carminati, 2008).

Plusieurs types de microorganismes ont été isolés à partir du BF (fermentation naturelle). Il en ressort que dans tous les procédés de transformation utilisés (à l'intérieur ou à l'extérieur de *Matmor*), les BL représentent la microflore majoritaire principalement du genre *Enterococcus*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Streptococcus* et

Weissella, où le genre *Lactobacillus* constitue la flore dominante du processus (Louembé *et al.*, 2003 ; Merabti *et al.*, 2015 ; Mokhtari *et al.*, 2016).

4.2. Flore fongique

Les champignons sont des organismes eucaryotes unis- ou pluricellulaires, incluant des espèces macroscopiques (macromycètes) et d'autres microscopiques (micromycètes) d'aspect filamenteux ou lévuriforme. Ces derniers peuvent devenir visibles lorsque leur développement est important. Ces champignons sont appelés couramment moisissures, véritables agglomérats de filaments mycéliens et d'organes fructifères capables de coloniser des substrats très divers. Il s'agit d'organismes hétérotrophes et ubiquistes. Une caractéristique majeure des champignons est leur mode de reproduction ; ils produisent un grand nombre de spores, ce qui leur assure un pouvoir de contamination considérable. Les spores sont issues de plusieurs modalités de reproduction sexuée ou asexuée (Cahagnier *et al.*, 1998).

Les levures interviennent principalement dans la fabrication des boissons alcoolisées à base de céréales telles que *Mawé*, *Idli*, *Puto*, *Pozol* et les pâtes au levain (Kofi *et Nout*, 2010). Ces levures sont principalement représentées par *Saccharomyces fibuligeria*, *Saccharomyces burtonii*, *Saccharomyces cerevisiae* et *Candida lactosora*. D'autres levures des genres *Hansenula*, *Pichia* et *Torulopsis* sont également détectées dans certains starters amylolytiques et boissons fermentées (Tamang *et Fleet*, 2009).

Les champignons filamenteux dans les aliments à base de céréales sont relativement limités et ne semblent pas avoir un rôle important dans le processus de fermentation. Ils sont surtout présents dans les aliments et les boissons fermentées asiatiques traditionnelles (*Shoyu* à base du blé et soja, *Miso*, *Tempeh'*, *Sufu*, *Hamanatt* à base du soja, et *Koji* à base du blé et riz) préparés par des starters amylolytiques mixtes. Les espèces rapportées appartiennent aux genres *Aspergillus*, *Rhizopus* et *Mucor* (Tamang, 2010b).

Les champignons filamenteux isolés du BF appartiennent principalement au genre *Penicillium* et *Mucor* tel que : *Penicillium sp*, *Penicillium fellutanum*, *Mucor sp*, *Saccharomyces sp*, *Candida sp*, *Pichia sp* (Kermiche, 2013 ; Merabti *et al.*, 2015).

Tableau 4. Principaux céréales fermentés de l’Afrique et BL isolées au cours de leurs productions (Yao *et al.*, 2009 ; Merabti *et al.*, 2015 ; Mokhtari *et al.*, 2016)

Produit	Substrat	Bactéries lactiques	Pays	Référence
Kenkey	Maïs	<i>L. brevis</i> , <i>L. plantarum</i> , <i>L. acidophilus</i> , <i>L. fermentum</i> .	Ghana, Nigéria	Yao <i>et al.</i> (2009)
Ogi-Baba	Maïs	<i>L. plantarum</i> , <i>S. lactis</i> , <i>L. plantarum</i> , <i>L. plantarum</i> , <i>L. casei</i> , <i>L. pentosus</i> ,	Nigéria, Bénin,	
Ogi		<i>L.fermentum</i> , <i>Lactobacillus sp</i> , <i>L. fermentum</i> , <i>L. raffinolactis</i> , <i>P. sp</i> , <i>P. pen-</i> <i>tasaceus</i> , <i>L. planrarum</i> , <i>L. suebicus</i> , <i>L. brevis</i>	Ghana	
Mawè	Maïs	<i>L. fermentum</i> , <i>L. brevis</i> , <i>L. fermentum</i>	Bénin, Togo	
Ben-Saalga	Mil	<i>L. plantarum</i> , <i>L. fermentum</i>	Burkina-Faso	
Koko	Mil	<i>W. confusa</i> , <i>L. fermentum</i> , <i>L. salivarius</i> , <i>P. acidilactici</i> , <i>L. paraplantarum</i>	Ghana	
Gowé	Sorgho	<i>L. fermentum</i> , <i>W.confusa</i> , <i>L. mucosae</i> .	Bénin	
Lemzeïet	Blé dur	<i>L. brevis</i> , <i>P. pentosaceus</i> , <i>E. faecium</i> , <i>E. faecalis</i> , <i>L. buchneri</i> , <i>L.</i> <i>namurensis</i> , <i>Leu. mesenteroides</i> , <i>P. acidilactici</i> , <i>L. rapi</i> , <i>L. coryniformis</i> , <i>S.</i> <i>mitis</i> , <i>E. hirae</i> , <i>W. paramesenteroides</i> , <i>Leu. Fallax</i> , <i>L. curvatus</i> , <i>L. pentosus</i> .	Algérie	Merabti <i>et al.</i> (2015)
El-Hamoum	Blé dur	<i>L. plantarum</i> , <i>L. lactis</i> , <i>Leu. descranicum</i> , <i>S. boris</i> , <i>E. sp</i> , <i>L. lactis subsp</i> <i>sremolis</i>	Algérie	Mokhtari <i>et al.</i> (2016)

E : *Enterococcus* ; *L* : *Lactobacillus* ; *Leu*; *Leuconostoc* ; *P* : *Pediococcus* ; *S* : *Streptococcus* ; *W* : *Weissella*.

4.3. Interaction entre microorganismes

Dans les aliments où boissons amylacées et fermentées, les BL coexistent souvent avec d'autres microorganismes. Le développement des BL pourrait être stimulé par la présence de composés azotés solubles et de facteurs (vitamines B, CO₂, pyruvate, propionate, succinate, acétate) produits par les levures. De plus, l'environnement acide créé par les BL favoriserait la croissance des levures. Ainsi, l'alcool produit par la levure, les acides produits par les bactéries et l'anaérobiose induite par la fermentation, permettraient de supprimer les champignons filamenteux et les bactéries associées à la détérioration des aliments (Yao *et al.*, 2009).

5. Effets de la fermentation

5.1. Modifications biochimiques

Les techniques employés pour la fabrication de céréales fermentées sont très variées et résultent en de nombreux et complexes changements biochimiques. La production d'acides organiques au cours de la fermentation entraîne une réduction importante du pH, qui associée à la formation de composés antimicrobiens, détermine la stabilité microbienne des produits ainsi que la motilité des bactéries pathogènes et d'autres microorganismes nuisibles (Raimbault, 1995). Ces propriétés probiotiques des BL sont particulièrement importantes, dès lors qu'il a été signalé que les aliments fermentés contribuaient à réduire la durée et la sévérité des diarrhées infantiles (Yao *et al.*, 2009).

Certaines mycotoxines sont aussi détruites. Par exemple, les aflatoxines, substances cancérigènes produites par des champignons sur l'arachide et le soya, suite à des conditions d'entreposage défectueux, sont détruites lors de la fermentation (Aubert, 1985).

La fermentation du blé dur provoque la diminution du pH et l'augmentation des taux de l'acidité titrable (Doukani *et al.* ; 2013 ; Gourchala *et al.*, 2014 ; Merabti, 2015 ; Mokhtari *et al.*, 2020). Ainsi, ces modifications biochimiques rendent les aliments fermentés plus nutritifs et plus assimilables que les aliments dont ils proviennent. Cela est du à la digestion partielle de l'amidon, des protéines et des lipides (Zhang *et al.*, 2012 ; Doukani *et al.*, 2013 ; Gourchala *et al.*, 2014 ; Merabti, 2015 ; Mokhtari *et al.*, 2020), ainsi qu'à la synthèse de nutriments (comme les vitamines du

groupe B, la vitamine C et la vitamine K) par les microorganismes (**Aubert, 1985 ; Nout et al., 2003**).

La fermentation naturelle des céréales entraîne une réduction significative ou une élimination totale de certains facteurs antinutritionnels (phytates et inhibiteurs d'enzymes) (**Nout et al., 2003**). La réduction des phytates peut augmenter les quantités de fer soluble, de zinc et de calcium de façon significative (**Kamal-Eldin, 2012**). Pour le blé fermenté, **Doukani et al. (2013)** et **Gourchala et al. (2014)** ont rapporté une augmentation de la teneur en cendres, alors que **Mokhtari et al. (2020)** ont rapporté une augmentation des taux de fer et du zinc.

5.2. Formation de l'arôme et de la saveur

L'action des BL au cours de la fermentation a été associée tout d'abord à l'élaboration de l'arôme et de la texture du produit final (**Mensah et al., 1990**). L'acétoïne et ses dérivés ainsi que certains composés aromatiques (1-propanol, acétate d'isoamyle, acétate d'éthyle, 3-méthyl-1-butanol, acétoïne), sont les principaux composés volatils identifiés, respectivement, dans la pâte de maïs fermenté et l'*Agbelima* (aliments à base de manioc), proviendrait de l'action des BL et donnerait au produit ses caractéristiques organoleptiques (**Yao et al., 2009**).

Selon l'étude de **Merabti (2015)**, 40 composés aromatiques sont identifiés, dont dix alcools, neuf aldéhydes, huit esters, six acides, quatre cétones, et trois composés soufrés dans le BF pendant 24 mois.

Chapitre 3. Couscous

1. Définition

Le couscous est défini comme le produit composé de la semoule de blé dur (SBD) dont les éléments sont agglomérés en ajoutant de l'eau potable éventuellement salée (chlorure de sodium) et qui a été soumis à des traitements physiques tels que la cuisson et le séchage. Le couscous est préparé à partir d'un mélange de la semoule grosse (SG) et de semoule fine (SF). Il peut être aussi préparé à partir de semoule dite "grosse moyenne" (Codex Alimentarius, 2007).

2. Origine et appellation

Le couscous est issu d'une longue histoire et il est porteur de significations profondes. Symbole de l'identité alimentaire des populations du Maghreb, il est né dans la Numidie, la région des Berbères. Sans qu'il y ait de l'unanimité sur la date exacte de son apparition, les différents écrits permettent de conclure que les Berbères utilisent depuis l'Antiquité la cuisson à la vapeur et qu'ils sont à l'origine de la création d'une nouvelle méthode de cuisson des céréales permettant ainsi d'en conserver les qualités nutritives. Ainsi, il est impossible de définir le couscous en dehors de la préparation de la semoule roulée cuite à la vapeur (Magali, 1996).

Le couscous est un plat traditionnel populaire en Afrique du Nord et en Europe du Sud. Il est connu sous plusieurs noms : en Berbère *Seksu*, chez les Tuareg *Keskesu*, en Tunisie *Ta'âm*, au Maroc *Maftol*, en Libye *Kusksi*, au Liban *Moghrabieh*, en Turquie *Kuskus* et en Grèce *Kouskousaki* (Valensi, 1975 ; Coskun, 2013).

L'appellation « couscous » peut être attribuée à des produits destinés aux mêmes usages mais préparés à partir d'autres céréales que le blé dur, à condition que cette appellation soit immédiatement suivie d'une spécification des céréales utilisées (FAO, 1996).

Dans les pays du Maghreb, le couscous le plus courant est sous forme de petits grains fabriqués à base de blé dur. Cependant, d'autres variantes existent telles que le couscous à gros grain à base de blé dur "*Aïch*" ou "*M'hammes*". On trouve aussi l'appellation *Barküks* qui désigne une sorte de couscous, aux grains plus gros, toutefois la cuisson se fait, non à la vapeur, mais à pleine eau. Il y a aussi le couscous à base de blé fermenté (BF) "*Lemzeïet*" appelé aussi "*El- machroub*" dans le Constantinois et le couscous à base d'orge dénommé "*Maghlout*". En Tunisie, cette même dénomination décrit

le couscous *Farina* qui est fabriqué à base de blé tendre (*Triticum aestivum*) (Rosenberger, 1989 ; Benatallah, 2009 ; Chemache *et al.*, 2018).

3. Fabrication traditionnelle

Les processus de fabrication du couscous Algérien, Tunisien et Marocain se ressemblent beaucoup (Derouiche, 2003).

3.1. Matériels de fabrication

3.1.1. Ustensile de malaxage

Les récipients de préparation de couscous en Afrique du Nord sont en bois issus de troncs d'arbre et appelés *Guessâa* (Figure 5) qui est un récipient large et à fond plat, classiquement appelé aussi *Gjefna* (Rosenberger, 1989 ; Yousfi, 2002 ; Bahchachi, 2002 ; Derouiche, 2003 ; Benatallah, 2009 ; Bekhouche *et al.*, 2013 ; Chemache *et al.*, 2018).



Figure 5. Ustensiles de fabrication du couscous (Galleze, 2018)

3.1.2. Tamis

Qu'il s'agisse d'Afrique de l'Ouest ou d'Afrique du Nord, la différence réside essentiellement dans le nombre de tamis utilisés dans chaque diagramme de fabrication, leur ordre chronologique d'utilisation, leurs ouvertures de mailles et leurs appellations (Tableau 5).

La comparaison des différents tamis utilisés, au cours de la fabrication des couscous, montre que les couscous du Sud de l'Algérie et de Tunisie sont de granulométrie plus importante comparés à ceux fabriqués dans l'Est Algérien. Les couscous d'Afrique de l'Ouest seraient encore plus gros (Benatallah, 2009 ; Okki, 2013). Dans la région de Constantine (Nord-est de l'Algérie) quatre tamis différents nommés tamis *Dekkak* (TD), tamis *Reffad* (TR), tamis *Meâaoudi* (TM) et tamis *Sekkat* (TS) sont utilisés dans le tamisage (Benatallah, *et al.*, 2008 ; Coskun, 2013).

Tableau 5. Classification par ordre croissant des tamis utilisés dans la fabrication du couscous en Afrique du Nord et en Afrique de l'Ouest (Benatallah, 2009)

Tamis	Rôle dans le diagramme	Ouvertures de mailles (μm)						
		Afrique du Nord				Afrique de l'Ouest		
		A	B	C	D	E	F	G
<i>Dekkak</i> ou <i>Azzel</i>	Séparer la grosse semoule "Fetla" de la fine "Dkak"	80	-	ND	-	-	-	-
<i>El-Berram</i> ou <i>Semmad</i>	Séparer après roulage le couscous des particules non roulées	100	-	-	-	-	-	-
<i>Mesfouff</i>	Séparer le gros et moyen couscous d'un plus fin appelé <i>Mesfouff</i>	-	525	525	-	-	-	-
<i>Reffad</i>	Séparer le couscous des grains trop fins ou non roulés	600	1110/ 1610*	800	1600	1000	-	1500
<i>Meaâoudi</i>	Calibrage plus fin du couscous	800	-	1110	2290	-	2000	-
<i>Sekkat</i> ou <i>Kherredj</i>	Premier calibrage des graines roulées	1000	-	1140	2800	-	2500	2500

*Tamis utilisés uniquement dans le Sud Algérien ; ND : Tamis utilisés par l'auteur mais non définis, - : Tamis non utilisés par l'auteur dans le diagramme de fabrication ; Quelques villes de l'Est et du Sud Algérien (A : Bahchachi (2002) à Constantine ; B : Yousfi (2002) à Est Algérien ; C : Derouche (2003) à Constantine) et en Tunisie (D : Kaup et Walker, 1986) ; En Afrique de l'Ouest : (E : Vodouhe (1998) ; F : Aluka *et al.* (1985) ; G : Galiba *et al.* (1987).

3.1.3. Ustensiles de cuisson

Traditionnellement, le couscoussier était un plat en terre cuite, épais et percé de trous «*Kiskas*» qui s'emboîte étroitement sur une marmite contenant un bouillon de viande et de légumes (Rosenberger, 1989 ; Oubahli, 2006). Il permettait une cuisson parfaite du couscous. Aujourd'hui, le couscoussier est fabriqué en métal (aluminium ou en inox) permettant ainsi la cuisson du couscous à la vapeur. Ce récipient est composé d'une partie inférieure appelée aussi marmite, contenant habituellement de l'eau et d'une partie supérieure appelée aussi couscoussière, sorte de passoire, dont le bas est percé de trous permettant de laisser passer la vapeur d'eau permettant la cuisson du couscous (Oubahli, 2006).

3.2. Procédé de fabrication

3.2.1. Préparation de la semoule

La préparation artisanale du couscous (Figure 6) consiste dans un premier temps à choisir le calibre des semoules en fonction du couscous désiré (moyen, fin ou gros), après une opération de classement et de purification (Ziane, 2014).

Le tamis utilisé pour la préparation de la semoule est le tamis *Dekkak* (TD) qui a l'ouverture de maille la plus fine dans la gamme des tamis utilisés pour la fabrication traditionnelle du couscous. Donc la semoule est classée en deux classes granulométriques : SF ($> 500 \mu\text{m}$) appelée traditionnellement *Fetla* (F), et SG ($< 500 \mu\text{m}$) appelée *Dkkak* (D) (Derouiche, 2003 ; Boucheham, 2009).

La précuisson à la vapeur des matières premières est une variante du diagramme de fabrication du couscous dans le constantinois. Elle consiste à cuire à la vapeur la SG une fois pendant 8 à 10 min, la veille du lancement d'une fabrication de couscous. La SG est ensuite étalée en couche mince sur un drap propre et laissée sécher toute une nuit (Vodouche *et al.*, 1998).

3.2.2. Hydratation, agglomération et roulage

La SG est mise dans le *Guessâa* et elle est arrosée d'eau et remuée des doigts à demi fléchis, des deux mains, formant râteau pour répartir également l'humidité dans la masse. Une désagrégation des grumeaux ayant pris naissance au cours de l'hydratation-malaxage de la semoule, à l'aide d'un tamis, est indispensable. Le tamis le plus cité pour cette opération est le TS mais d'autres tamis peuvent être utilisés (TM, ou TR).

Le TS est celui qui possède la maille la plus large dans la gamme des tamis utilisés dans la fabrication traditionnelle du couscous (**Bahchachi, 2002**).

Un grossissement des grains formés résulte par l'addition tantôt de l'eau, tantôt de la SF. L'eau est ajoutée pour humidifier les grains et faciliter l'adhésion de la SF. À ce stade la fabricante utilise le plat des mains et, avec un mouvement répété d'essuie-glace, applique une certaine force sur les particules qu'elle roule pour avoir des gains compacts et de forme bien ronde. Les grains de couscous ainsi formés sont séparés par le TM (refus) et mis à part pour éviter qu'ils prennent des tailles excessives. Le passant de ce dernier subit les mêmes opérations (addition de l'eau, de SF, roulage et tamisage) (**Bahchachi, 2002 ; Yousfi, 2002 ; Derouiche, 2003 ; Boucheham, 2009**).

3.2.3. Calibrage et tamisage

C'est une opération qui suit le roulage et qui a comme but de sélectionner, calibrer et purifier les grains de couscous. Les grains obtenus (le couscous) sont passés au *Sekkat* puis au *Mâaoudi* pour calibrer les grains, brisés ceux qui sont trop grands ou qui se sont agglutinés. Pour réduire les grumeaux qui peuvent se former au fond du tamis, on y jette seulement un peu de SF et l'on roule sous la paume. Enfin le couscous est passé au TR pour éliminer la semoule restée libre ou les grains trop fins qui sont roulés à nouveau dans la *Guesâa* et nourrit des dernières traces de SF. C'est une finition des grains de couscous formés (**Bahchachi, 2002 ; Yousfi, 2002 ; Derouiche, 2003 ; Boucheham, 2009**).

3.2.4. Pré-cuisson

Dans les pays du Maghreb, le couscous est cuit à la vapeur dans une couscoussière. Ce traitement est répété plusieurs fois (3 fois) en fonction de la de qualité du grain (gonflement). La température peut atteindre 98°C au fond en contact avec la vapeur (**Ziane, 2014**). Pour faire inactiver les enzymes, et essentiellement, pour réaliser la gélatinisation de l'amidon et la coagulation des protéines (**Yousfi, 2002**). Les cycles de cuisson sont séparés par un délai de repos de 10 à 20 min à la température ambiante (**Ziane, 2014**). Le gâteau du couscous formé à la fin de cuisson est émotté, et tamisé à l'aide du TS (**Boucheham, 2009**).

3.2.5. Séchage

Il consiste à exposer le couscous à l'air et aux rayons solaires. Il se fait en général en couche mince sur des draps propres pour arriver à une teneur en eau finale d'environ 13%. Le couscous est remué occasionnellement pour un bon processus de séchage.

La plupart des personnes préfèrent le séchage sous l'ombre (**Derouiche, 2003 ; Benatallah, 2009 ; Coskun, 2013**). Cependant, selon **Yousfi (2002)** et **Chemache et al. (2018)**, le couscous est mis à l'ombre puis séché au soleil pour garantir un bon séchage. À la fin du séchage le couscous est repris au TD pour éliminer les débris de la semoule et la poussière (**Derouiche, 2003**).

4. Fabrication industrielle

La fabrication du couscous est passée de l'échelle artisanale à l'échelle semi-industrielle ou industrielle (**Figure 6**). Elle a débuté en 1953 en Afrique du Nord (Tunisie, Algérie et Maroc) et la première ligne industrielle de couscous a été mise en place en Tunisie, à Sfax, en 1979. Elle est basée sur le même principe que la préparation artisanale. Les semoules sont mélangées à l'eau puis roulées. Après une série de calibrages, les grains obtenus sont cuits à la vapeur puis séchés par un sécheur rotatif avant d'être refroidi (**Kaup et Walker, 1986 ; Fortin, 1996 ; Yousfi, 2002 ; Mandato, 2012 ; Ziane, 2014 ; Chemache, 2020**).

4.1. Hydratation et malaxage

La SBD est mise en contact avec de l'eau en présence d'énergie mécanique dans un premier équipement de malaxage. La quantité d'eau ajoutée à la semoule doit être comprise entre deux limites : une limite basse au-delà de laquelle la teneur en eau sera trop faible pour permettre une gélatinisation totale de l'amidon à la cuisson, et une limite haute au-delà de laquelle il y a formation d'une pâte continue (**Mandato, 2012**). L'ajout du sel est environ 0,5 kg du sel dans 30 L d'eau pour 100 kg de semoule. Cette opération dure environ 15 min à 25 min (**Feillet, 2000**).

4.2. Roulage, tamisage et calibrage

C'est l'étape clé du procédé. Elle consiste à former les grains de couscous et les sélectionner en fonction de la taille souhaitée (**Ziane, 2014**), habituellement comprise entre 500 et 800 μm , parfois plus. Cette opération est réalisée dans des cylindres alvéolés rotatifs (rouleurs) ou de simples plansichters (succession verticale de tamis vibrants) muni d'un mouvement circulaire dans un plan horizontal. Dans les deux cas, les grains de couscous humides sont tamisés pour ne retenir que la fraction correspondant au calibre commercial (**Feillet, 2000**). Les particules trop fines sont directement recyclées en début de ligne de production alors que les boules sont broyées avant d'être tamisées à nouveau. Généralement, on note que les grains de couscous formés par roulage en tambour rotatif

sont plus sphériques et denses que ceux obtenus en plansichter (**Mandato, 2012**). En revanche, on obtient une plus faible proportion de grains trop gros par l'utilisation d'un plansichter (**Guezlane, 1993**).

4.3. Cuisson à la vapeur et émottage

Le couscous est alors cuit à la vapeur. Dès lors, les grains de couscous garderont leur forme définitive sans se désagréger (**Maata, 2012**). Ce traitement est réalisé dans des cuiseurs qui fonctionnent en continue en utilisant des cylindres ou des cuves isothermes où la vapeur d'eau est arrosée ou diffusée sur le couscous. La température de cuisson est d'environ 180°C pendant 8 min (**Yousfi, 2002**) dans le but de gélatiniser l'amidon afin de rendre le produit digestible et de lui conférer sa capacité de gonflement lors de son utilisation finale (**Mandato, 2012**).

4.4. Séchage, refroidissement et stockage

L'objectif de cette étape est de stabiliser la quantité d'eau à fin de garantir une longue durée de conservation. Le séchage est réalisé à l'aide de sècheurs rotatif (**Ziane, 2014**). À 50°C à 70°C pendant 3 h pour atteindre une humidité finale de 12% - 14 %, suivi d'un refroidissement à température ambiante (**Feillet, 2000**). En Algérie, le couscous industriel est généralement emballé dans des paquets en plastique (**Ziane, 2014**).

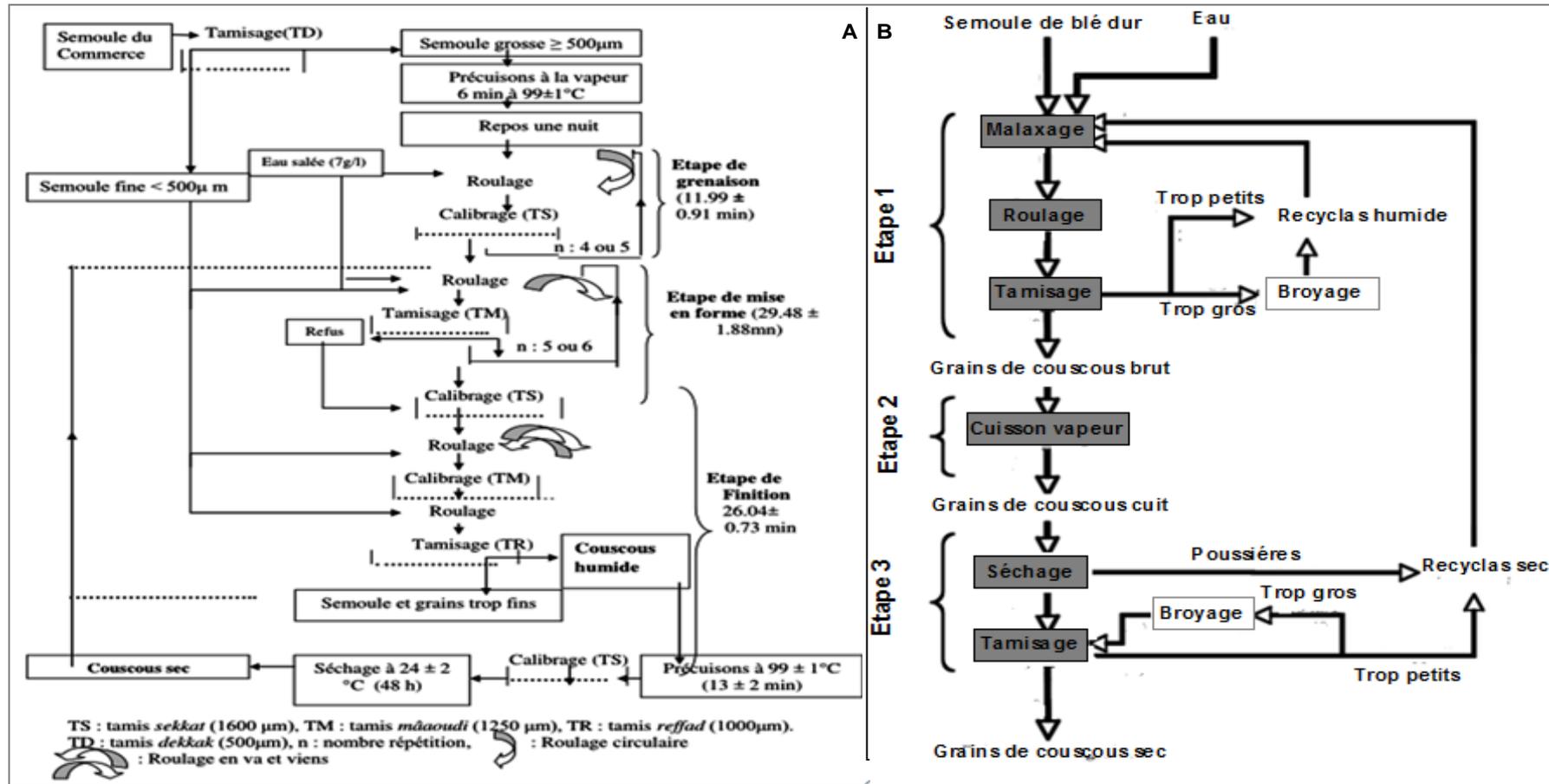


Figure 6. A : Diagramme traditionnel adopté pour la fabrication du couscous (Boucheham, 2009) ; B : Schéma de fabrication industrielle du couscous (Abecassis et al., 2012)

5. Couscous *Lemzeïet*

5.1. Définition

Le couscous fermenté est un aliment traditionnel connu et préparé dans certaines régions du monde. Selon les pays et les traditions, le couscous fermenté peut-être préparé à base de différents céréales (Yao *et al.*, 2009).

En Algérie, et selon la région, le couscous *Lemzeïet* est un couscous traditionnel fabriqué à partir du BF. Ce couscous se caractérise par une couleur brune et une variété de saveurs et d'arômes particuliers (Kaup et Walker, 1986 ; Bekhouche *et al.*, 2013 ; Merabti, 2015) qui ressemble à celle du fromage de gruyère (Montel *et al.*, 2005). Il est très fortement apprécié dans l'Est d'Algérie (Bekhouche *et al.*, 2013).

5.2. Fabrication

La majorité des pays de l'Afrique de l'Ouest fabriquent et consomment traditionnellement du couscous fermenté à saveur acide à partir d'autres céréales que le blé : sorgho (*Sorghum bicolor*), millet perlé (*Pennisetum americanum*), maïs (*Zea mays*) ou fonio (*Digitaria exilis*). En Afrique du Nord, on le consomme essentiellement le couscous de blé dur (CBD) ou à base d'orge (Benatallah, 2009).

La fabrication du couscous *Lemzeïet* jusqu'au aujourd'hui repose sur la méthode traditionnelle. A l'Est de l'Algérie, la fabrication du couscous *Lemzeïet* comporte deux étapes essentielles, qui sont l'étape d'agglomération et l'étape de finition, avec les mêmes opérations, qui sont le roulage, le calibrage, le tamisage, la précuisson à la vapeur, l'émottage, et le séchage. Cependant, les différences concernent notamment le nombre et les noms des tamis utilisés, où le tamis *Ezzraâ'* (TE) sert notamment à calibrer le couscous, le nombre de roulage, et aussi l'ajout de quelques ingrédients tels que la matière grasse (*Smen*, beurre) et les œufs lors de la finition du couscous *Lemzeïet* (Bekhouche *et al.*, 2013 ; Becila *et al.*, 2017).

6. Consommation du couscous

Le couscous c'est d'abord une façon particulière et originale de préparer la SBD, l'orge, ou même d'autres céréales. En tant que source énergétique et protéique, les aliments à base de blé demeurent la principale nourriture des humains. Le couscous vient en tête des produits consommés par la famille algérienne, constitue bel et bien un symbole fort de la cuisine algérienne (Doukani, 2015).

Le couscous est un "objet culturel" consommé au quotidien comme dans des jours de fête (événements familiaux, sociaux...), où les femmes donnent plusieurs recettes selon les régions, les saisons ou les occasions (**Magali, 1996**). Il existe en versions salées et sucrées, Il peut être accompagné d'un bouillon de légumes et de viande (**Monkachi, 1997**), au poulet ou au poisson, avec ou sans raisins secs ou *Osban* (boulettes de tripes farcies et épicées). Par exemple, le couscous du « pauvre » est réalisé avec du cardon sauvage et des pois chiches, celui des classes aisées avec de la viande et des fruits secs (**Babès, 1996**).

Le couscous est dans d'autres cultures, car il est largement diffusé en Europe occidentale, avec plus de 52 recettes (**Magali, 1996 ; Beji-Becheur et al., 2008**).

Le couscous *Lemzeïet* peut être consommé en l'accompagnant d'une sauce aux légumes et viande ou avec du lait ou *L'ben* (lait fermenté) (**Nessah, 2007 ; Drabo et al., 2019**).

7. Qualité du couscous

7.1. Qualité technologique

7.1.1. Granulométrie

La granulométrie est un facteur de qualité du couscous sec, elle doit être comprise entre 630 et 2000 μm avec une tolérance de 6% (**Codex Alimentarius, 2007**).

L'analyse granulométrique du couscous consiste à déterminer la taille d'un ensemble significatif et représentatif de particules, puis à représenter les résultats obtenus sous forme d'une distribution granulométrique (DG). Les principales techniques utilisées pour déterminer la DG sont le tamisage, l'analyse d'images, la diffraction et la diffusion d'un faisceau laser (**Saleh et Guigon, 2009**).

À partir de la DG, il est possible de déduire les diamètres moyens les plus courants, qui sont d_{10} , d_{50} et d_{90} , correspondent respectivement aux valeurs dites centiles. Ils indiquent la taille en dessous de laquelle se trouvent 10%, 50% ou 90% de toutes les particules, le span $(d_{90}-d_{10})/d_{50}$, qui donne une indication de la distance entre les points de 10% et de 90%, normalisée avec le point médian, rapport d'aspect (RA), qui est le rapport entre la plus grande dimension et la plus petite de la forme de la particule (**Li et al., 2002**).

Le couscous artisanal fin est obtenu à partir des semoules de granulométrie médiane élevée. Les SFs et les semoules moyennes à taux élevé d'hydratation donnent par contre des couscous de granulométrie élevée (Yousfi, 2002).

La SF absorbe plus d'eau au cours de l'étape de malaxage et d'agglomération que la semoule de tailles intermédiaires ou grosses. Ceci affecte négativement le rendement en couscous et engendre la formation d'agglomérats très grands. Par ailleurs, les SFs contenant des amidons composés de 100% d'amylopectine donneraient des couscous collants inacceptables par les consommateurs (Debbouz *et al.*, 1994).

7.1.2. Forme des particules

La forme des particules est le facteur le plus important car elle agit sur la porosité intergranulaire, les forces interparticulaires et les phénomènes de friction. Le facteur de forme caractérise l'écart d'une particule à une particule de référence. Ces facteurs de forme sont nombreux et varient selon la forme de référence choisie. Dans le cas des diamètres de sphères équivalentes, on parle de coefficients de sphéricité, convexité, et circularité (Mandato, 2012).

Le grain de couscous sec apparaît comme une grosse particule agglomérée par association de plusieurs particules élémentaires de semoule plus ou moins fondues (Figure 7). Cet indice de qualité semble être influencé par le mode de fabrication. Les grains de couscous artisanal présentent une granulométrie homogène et des formes arrondies, alors que ceux qui sont issus du procédé industriel ont une granulométrie et des formes hétérogènes (Chemache, 2020).

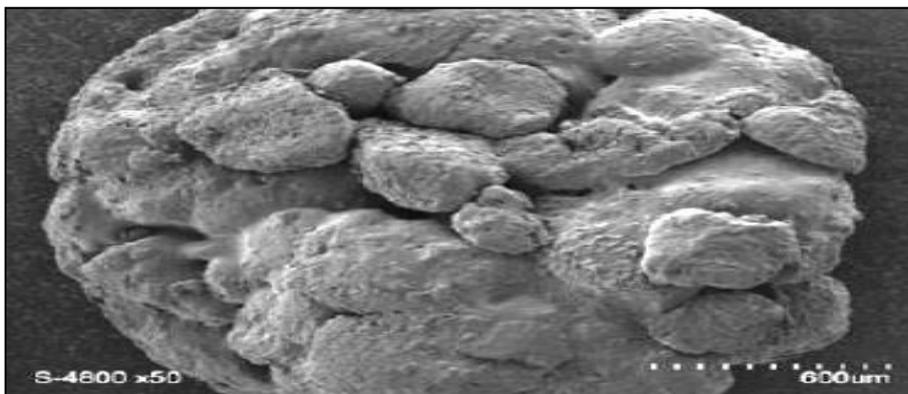


Figure 7. Microstructure du grain de couscous en microscope électronique environnemental (Abecassis *et al.*, 2012)

7.1.3. Couleur

La couleur des couscous secs constitue pour le consommateur un critère d'appréciation important. En Afrique du Nord, les produits clairs, peu bruns de coloration jaune sont les plus recherchés. Cette coloration dépend en grande partie de la couleur initiale de la SBD, liée au taux de pigments caroténoïdes et flavonoïdes qui varient en fonction de la variété de la matière première utilisée ainsi qu'aux réactions de brunissement enzymatiques et non enzymatiques (**Guezlane, 1993 ; Debbouz *et al.*, 1994**).

7.2. Qualité culinaire

La qualité culinaire d'un produit alimentaire correspond au comportement de l'aliment pendant et après sa cuisson (**Yettou, 1998**), de manière à leur conférer les caractéristiques souhaitées. À l'état hydraté et cuit, les grains de couscous doivent être intègres et individualisés, et doivent présenter un bon gonflement, une consistance qui n'est pas trop ferme, un aspect moelleux, une facilité à la mastication, il ne doit pas apparaître asséché ni donner l'impression d'un produit qui manque de sauce ou de cuisson (**Guezlane et Abecassis, 1991 ; Guezlane, 1993 ; Yousfi, 2002 ; Derouiche, 2003 ; Boucheham, 2009**).

7.2.1. Indice de gonflement

Il correspond à la capacité d'absorption d'eau pendant la cuisson (**Feillet, 1986 ; Yettou *et al.*, 1997**). Il est mesuré par les changements du volume apparent d'un échantillon de couscous une fois immergé dans l'eau froide (25°C) ou chaude (100°C). Les valeurs élevées (4-6 g/g) de la capacité du couscous à absorber l'eau rapidement et à maintenir sa fermeté sont des indicateurs de bonne qualité (**Guezlane et Abecassis, 1991 ; Guezlane, 1993 ; Ounane *et al.*, 2006**). D'après **Debbouz et Donnelly (1996)** et **Ounane *et al.* (2006)**, l'indice de gonflement du couscous augmente nettement avec l'augmentation du taux d'hydratation des semoules (**Aluka *et al.*, 1985 ; Guezlane, 1993**).

7.2.2. Degré de délitescence

Le degré de délitescence correspond à la perte d'extraits secs de couscous cuit dans l'eau salée à 25°C. De faibles valeurs de degré de délitescence indiquent une bonne qualité des particules de couscous (**Ounane *et al.*, 2006**). Donc, la délitescence est l'aptitude de particules à conserver leur intégrité durant et après la cuisson, elle diminue avec l'accroissement de la taille des particules de couscous et avec l'accroissement du taux d'hydratation (**Aluka *et al.*, 1985 ; Yettou, 1998 ; Ounane *et al.*, 2006**).

7.2.3. Temps de cuisson

Selon **Yousfi (2002)** et **Derouiche (2003)**, la cuisson du couscous réhydraté est réalisée par vapeur et comprend deux cuissons consécutives ; le temps de cuisson (TC) peut être présentée comme suit : le temps minimal (TMn) est déterminé visuellement quand le flux de vapeur apparaît à la surface du couscous ; le temps optimal (TOp) est compté en additionnant les deux TCs (première et deuxième cuisson). A ce temps, les grains de couscous sont individualisés et présentent une certaine tendreté ; le temps maximal (TMx) (sur-cuisson) est le temps pour lequel le produit forme des mottes importantes, ce qui donne un aspect déplaisant.

7.3. Qualité nutritionnelle

Au plan biochimique, la composition du couscous est presque semblable à celle de la matière première (semoule). La différence qui existe est au niveau des protéines solubles (teneur faible) et l'amidon gélatinisé (teneur élevée). Aussi un changement peut affecter la teneur en glucides (teneur élevée) durant le processus de fabrication (**Dagher, 1991 ; Hebrard, 2002**). Selon **FAO (1996)**, la composition globale de 100 g de couscous sec est la suivante : 12,5 g d'eau, 11,5 g de protéines, 74 g de glucides, 1,5 g de lipides, avec une énergie totale de 360 kcal.

7.3.1. Qualité organoleptique

Les critères de jugement portaient essentiellement sur une appréciation visuelle de la couleur, l'odeur, la sensation en bouche du degré de grenaison et d'agglutination (fermeté), et l'aspect collant (**Guezlane et Abecassis, 1991**). Selon **Guezlane et al. (1986)**, des tests de dégustation mettent en évidence une supériorité du couscous artisanal sur le plan du collant, de la délitescence et de l'acceptabilité.

Étude expérimentale

Le présent travail présente initialement un projet de thèse de doctorat qui a été ensuite introduit dans le cadre du projet de recherche PRFU (D00L01UN250120190001) intitulé « Aliments traditionnels fermentés (*Dhan* et *Lemzeïet*) : étude d'investigation, aspects physicochimiques et identification du microbiote et de son potentiel technologique » au sein du laboratoire de recherche Biotechnologie et Qualité des Aliments (BIOQUAL) de l'INATAA.

Une partie de ce travail de thèse a été réalisée au niveau du laboratoire de Recherche de l'UMR Agro-Paris-Tech, Centre de Massy (France).

Pour conduire cette recherche, la démarche méthodologique (Figure 8) suivante a été adoptée :

- La première partie présente une enquête alimentaire descriptive qui a pour but l'établissement d'un seul diagramme traditionnel qui décrit les différents ingrédients, ustensiles et étapes de fabrication du couscous *Lemzeïet* ;
- La deuxième partie a été consacrée à la description du procédé de la fermentation du blé dur, ainsi que les différentes analyses microbiologiques et biochimiques afin d'étudier les modifications du blé dur durant la fermentation ;
- La troisième partie a été réalisée à fin étudier les effets du temps de fermentation et de l'ajout de vinaigre lors de la fermentation du blé dur sur les propriétés technologiques, culinaires, microstructurales et sensorielles du couscous *Lemzeïet*.

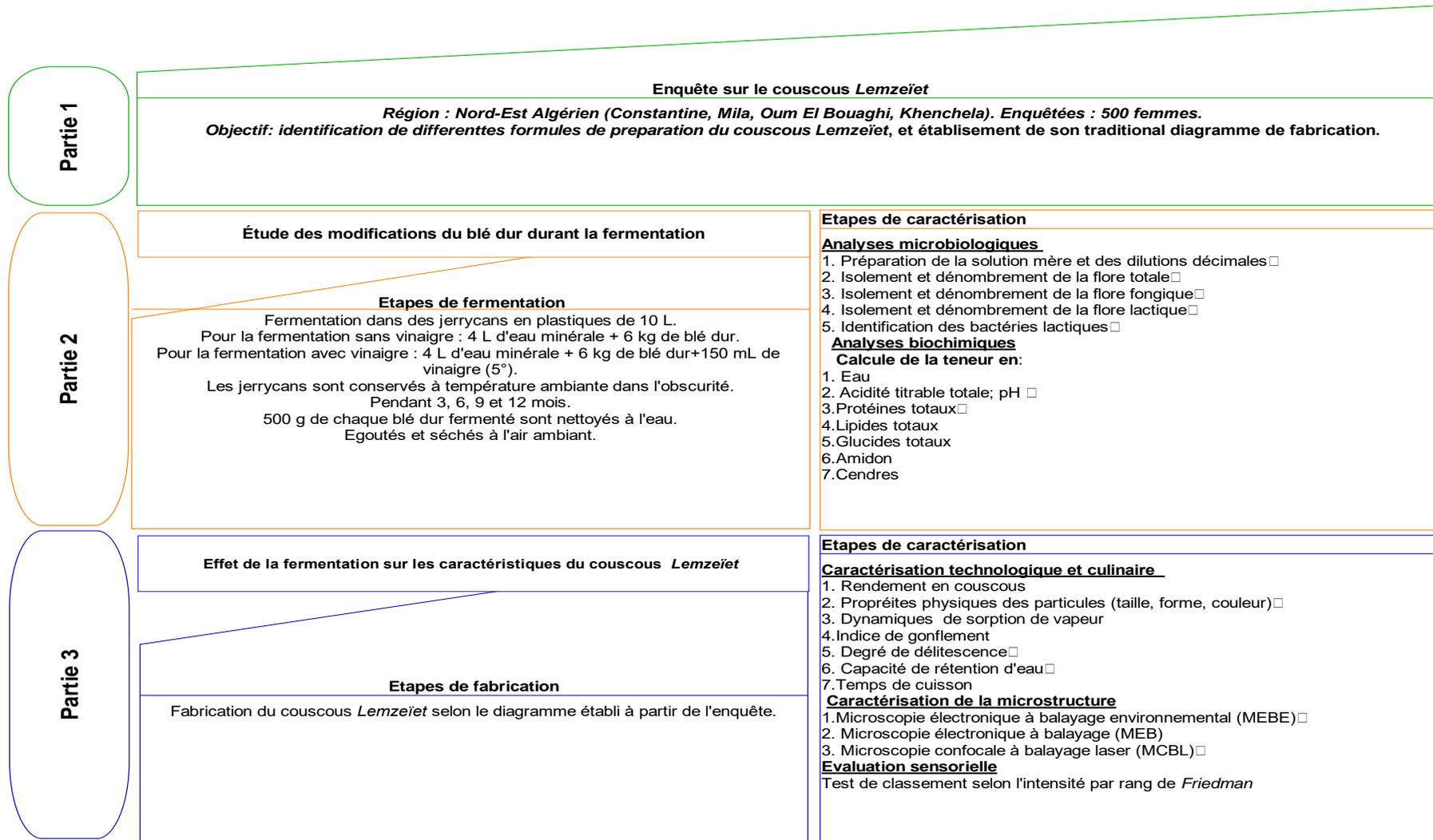


Figure 8. Dispositif expérimental des différentes parties de la thèse

Matériel et méthodes

Partie 1.

Enquête sur le couscous *Lemzeiet*

1. Objectif de l'enquête

Jusqu'à présent, il n'y a qu'une seule étude (**Bekhouche et al., 2013**) sur la préparation du couscous *Lemzeïet* qui est fabriqué par la méthode traditionnelle.

L'enquête a été réalisée pour identifier les différentes formules de préparation du couscous *Lemzeïet* et à établir son diagramme traditionnel.

2. Type, temps et lieu de l'enquête

Nous avons réalisé une enquête descriptive transversale non exhaustive. L'enquête sur la préparation traditionnelle (artisanale) du couscous *Lemzeïet* a été menée entre février et décembre (2016) au Nord-est algérien au niveau de quatre wilayas : Constantine, Mila, Oum El Bouaghi et Khenchela (**Figure 9**). Elle a couvert vingt communes (Aïn Abid, Hamma Bouziane, Ibn Ziad, Zighoud Youcef, Aïn Tine, Chelghoum Laid, Ferdjioua, Oued Athmania, Sidi Maroune, Zghaia, Aïn Diss, Aïn Kercha, Aïn Zitoun, Aïn Fekroune et Ouled Rechache).

Le choix de cette zone géographique s'est basé sur les résultats des enquêtes précédentes (**Bekhouche et al., 2013 ; Merabti et al., 2015**) qui indiquent que la préparation et la consommation du couscous *Lemzeïet* sont assez répandues dans ces villes.

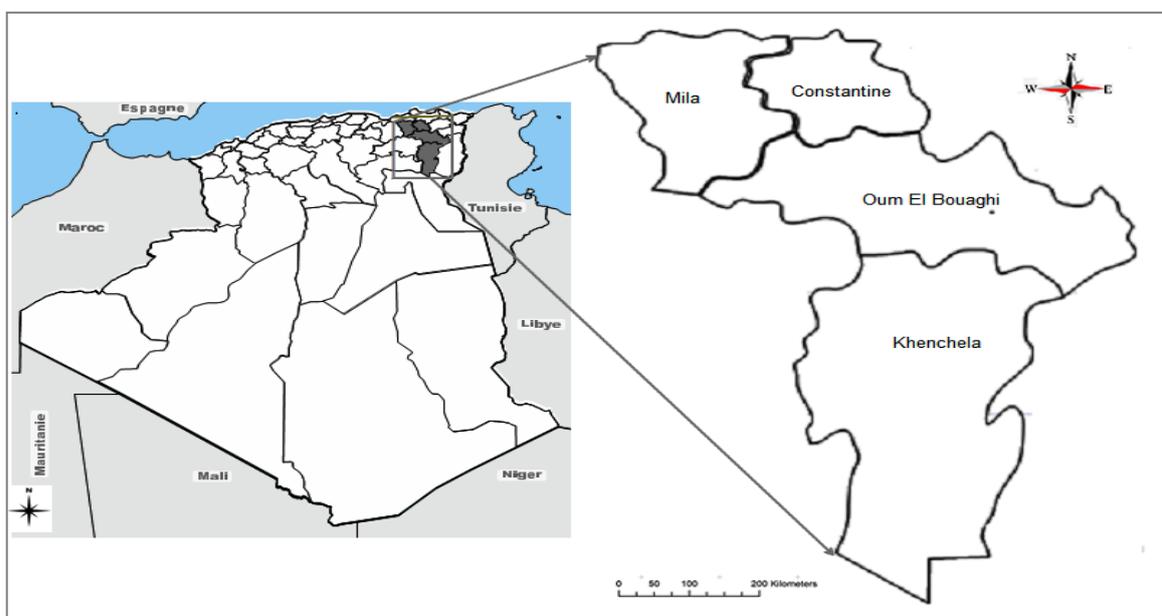


Figure 9. Carte géographique montrant les wilayas enquêtées dans la zone Nord-est de l'Algérie

3. Echantillonnage et population ciblée

L'échantillon de population a été choisi de façon raisonnée, avec le souci de respecter une certaine diversité géographique et une représentativité au sein de la population (**Letrillart et al., 2016**). Pour ce faire, des enquêtés sur terrain sont recrutées selon la technique théorique, qui est une modalité d'échantillonnage dans la voie publique (route, jardin, marché), où nous avons retenu seulement les femmes adultes ayant le savoir-faire et une expérience dans la fabrication traditionnelle du couscous *Lemzeïet*.

Un total de 558 femmes habitant dans les villes du Nord-est Algérien a été interviewé. Cependant, 48 femmes sont exclues car elles connaissent seulement le procédé traditionnel de fabrication du couscous *Lemzeïet* (elles ne préparent pas le couscous), et 10 femmes sont exclues car elles ne connaissaient pas le procédé traditionnel de fabrication du couscous *Lemzeïet* ([Annexe 1](#)).

4. Questionnaire de l'enquête

Les données ont été collectées par le biais d'un questionnaire qui a été établi et présenté en français. Il a été testé préalablement auprès d'un échantillon de 15 femmes de l'entourage pour vérifier sa compréhensibilité par les enquêtés, éliminer ou ajouter des questions et comprendre le comportement des enquêtés vis-à-vis de ce questionnaire. Cette pré-enquête nous a permis d'élaborer le questionnaire définitif. Ce dernier (deux pages de taille A4) est rédigé en langue française et comprend au total 35 questions ([Annexe 2](#)).

Pour faciliter le recueil des informations, nous avons utilisé (**Dabis et al., 1992**) :

- Des questions fermées (17 questions) où les réponses sont à cocher. Ces questions présentent l'avantage de produire des réponses plus uniformes et peuvent être traitées facilement.
- Des questions ouvertes (18 questions) qui permettent une plus grande liberté de réponse. Elles mettent à l'épreuve la mémoire des gens et permettent de clarifier leur position. Elles n'influencent pas le sujet d'où l'obtention de réponses plus sincères et plus révélatrices.

Globalement, le questionnaire est divisé en deux volets : un premier volet qui récapitule des renseignements sur l'identification de la personne interrogée et un deuxième volet qui regroupe des renseignements sur la fabrication du couscous *Lemzeïet*.

4.1. Identification des personnes interrogées

Ce volet du questionnaire a pour but d'identifier le profil des femmes interrogées telles que:

- L'âge des interrogées pour savoir quelle tranche d'âge est la plus impliquée dans la fabrication du couscous *Lemzeïet* ;
- L'origine des interrogées permet de vérifier qu'ils sont originaires de la région Nord-est de l'Algérie ;
- Le niveau d'instruction (aucun, primaire, moyen, secondaire, universitaire) permet de classer les sujets et de les comparer entre eux ;
- L'occupation (femmes au foyer ou femmes qui travaillent) permet de connaître la disponibilité des femmes enquêtées et son effet possible sur la fabrication du couscous *Lemzeïet*.

4.2. Fabrication du couscous *Lemzeïet*

Ce volet regroupe des données réservées aux ingrédients et matériel utilisés ainsi aux étapes à suivre dans la fabrication du couscous *Lemzeïet*.

4.2.1. Ingrédients utilisés

Cette partie vise à connaître les choix de la matière première :

- La nature, la quantité (pourcentage) et le type (fine ou grosse) de la semoule utilisée.
- La quantité de la semoule de blé dur (SBD) utilisée pour la fabrication du couscous ;
- L'utilisation de la semoule de blé dur fermenté (SBDF), et sa quantité (pourcentage) pour la fabrication du couscous ;
- L'utilisation d'autres ingrédients pour la fabrication du couscous.

4.2.2. Matériels utilisés

Le nom, le nombre et le matériau de confection du matériel utilisé comme *Guessâa*, tamis, incluent la taille d'ouverture des mailles des tamis et couscoussier.

4.2.3. Étapes de fabrication

C'est la partie la plus importante du questionnaire. Elle se base essentiellement sur le déroulement des pratiques de chaque étape.

- L'existence d'une étape préliminaire de précuissons de la semoule sélectionnée.
- Les différentes étapes réalisées durant la fabrication : le nombre des opérations, tamis, ingrédients et nature de mouvement effectué.
- La tendance des fabricantes a recyclé ou à réutilisé le reste de la semoule dans d'autres fabrications.
- La description détaillée des opérations réalisées en se basant sur la durée, le mode de réalisation et l'estimation de la fin de chaque opération.
- Enfin l'estimation du rendement en couscous par nombre de classes granulométriques.

5. Déroulement de l'enquête

L'enquête en face à face (02/2024-12/2024) reste le moyen le plus sûr d'obtenir les informations recherchées. Nous avons expliqué aux enquêtés le cadre et le but de l'enquête, et nous avons insisté sur la confidentialité des renseignements personnels.

Le remplissage du questionnaire est assuré par le répondant lui-même, sauf pour les femmes illettrées, où l'enregistrement des réponses sur le questionnaire a été effectué par l'enquêteur.

L'entretien (30 à 45 min) a été réalisé en français ou en arabe selon le niveau d'instruction des interrogées.

6. Analyse statistique

Les données recueillies sont saisies et analysées à l'aide du logiciel XLSTAT version 2015.4. Les réponses sont présentées et exprimées en pourcentage (%) ou en moyenne plus au moins l'écart-type ($\text{moy} \pm \text{ET}$). Le test du Chi-deux (χ^2) d'indépendance a été effectué pour analyser les différences de groupe de chaque variable étudiée à un seuil de signification de 0.05.

Partie 2.

Étude des modifications du blé dur durant la fermentation

1. Matière première

Le blé dur (*Triticum Durum Desf*) a été obtenu à partir de la récolte de juin 2016 de la variété locale « *Mohamed Ben Bachir* » cultivée à *Bouhatem* (wilaya de Mila, Nord-est de l'Algérie) (Figure 10). Il se caractérise par des grains allongés, ambrés et translucides (Abdelguerfi et Laouaral, 2000).

Le blé dur (140 kg) a été nettoyé à sec manuellement pour éliminer les corps étrangers et les parties non comestibles (rachis et les épillets). Les grains de blé dur nettoyés ont été stockés dans des sacs en toile de jute à température ambiante.



Figure 10. Carte de la commune de *Bouhatem* (wilaya de Mila) (plan Satellite :

<https://www.google.dz/maps>)

2. Préparation du blé dur fermenté *Lemzeïet*

La fermentation du blé dur a été réalisée au mois d'août 2016 selon le protocole décrit par Merabti *et al.* (2015). À l'échelle du laboratoire, deux lots de fermentation, avec vinaigre (AV) ou sans ajout initial de vinaigre (SV) ont été reproduits dans huit bidons en plastique stériles d'une capacité de 10 L (Figure 11). Pour les deux lots de fermentation, 4 L d'eau minérale et 6 kg de blé dur ont été introduits dans les bidons. Pour la fermentation AV, l'eau a été préalablement mélangée avec 150 mL d'une solution commerciale de vinaigre (Nassah 5%). Les bidons ont été ensuite scellés à l'aide de silicone sanitaire pour créer une anaérobiose et ils ont été conservés à température ambiante dans un endroit

sombre. La fermentation a été réalisée en trois exemplaires pour chaque lot. Le blé dur non fermenté (BNF) a été considéré comme témoin (temps de fermentation 0 mois).

Les échantillons du BF ont été recueillis durant une année à des intervalles de temps spécifiés (tous les trois mois). À chaque période (trois mois), deux bidons des fermentations AV et SV ont été ouverts à l'aide d'un couteau métallique stérilisé au bec benzène. Les bidons ont été ouverts, en coupe longitudinale, de façon à observer l'évolution du gradient de modification du blé (du centre aux cotés). Les échantillons de BF ont été prélevés, à partir du mélange après homogénéisation du contenu, ensuite ils ont été nettoyés à l'eau, égouttés pour séparer l'eau, et séchés sur un tapis propre (couches minces avec retournement et mélange des grains) à l'air ambiant où les grains ont été exposés au soleil et au vent. 500 g de chaque échantillon ont été collectés dans des bocaux en verre stériles bien fermés.

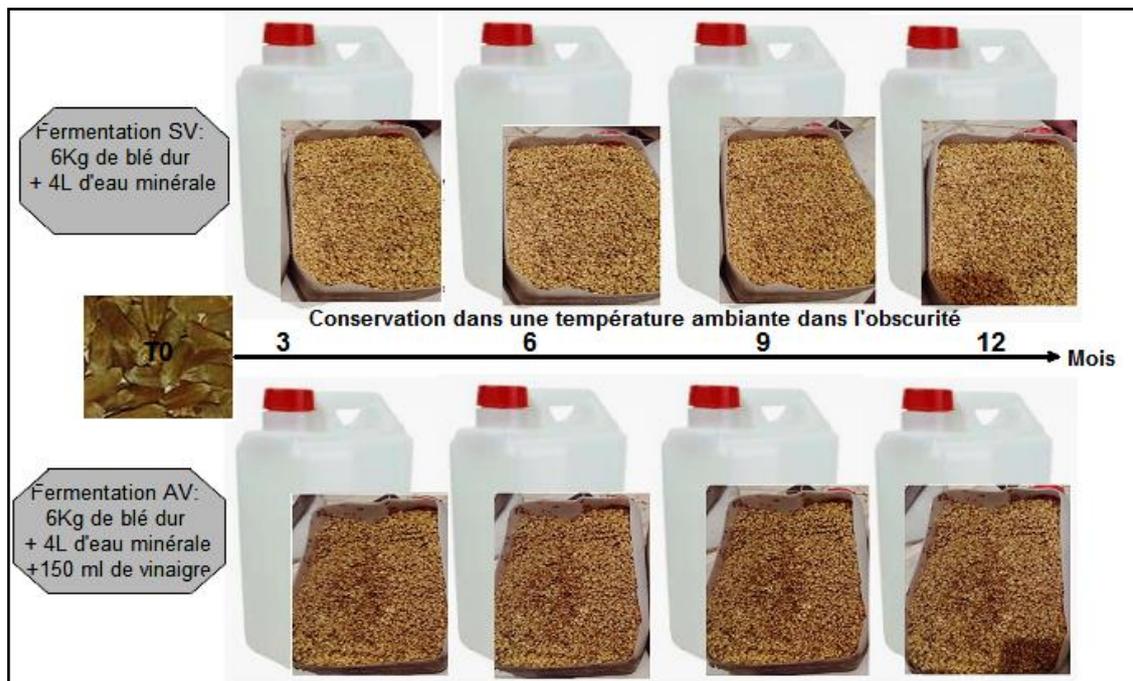


Figure 11. Mise en place de la fermentation du blé dur dans les bidons en plastique

3. Caractérisation microbiologique du blé dur fermenté

3.1. Préparation de la solution mère et des dilutions décimales

Pour obtenir la solution mère, 10 g de chaque échantillon ont été broyés à l'aide d'un broyeur électrique stérile, puis homogénéisés avec 90 mL d'eau peptonée stérile pendant 2 min à vitesse maximale dans un mélangeur Stomacher 400 (Seward Lab-blender, Worthing, Royaume-Uni).

Des dilutions décimales ont été préparées en incorporant 1 mL de la solution mère dans 9 mL d'eau physiologique (Guiraud, 2003 ; Orole et Adejumo, 2011). Les analyses microbiologiques ont été réalisées en triplicata.

3.2. Isolement et dénombrement de la flore totale

Pour l'isolement de la flore mésophile aérobie totale (FMAT), nous avons prélevé 1 mL de chaque solution mère et de chaque dilution décimale et réalisons un ensemencement en profondeur dans une boîte de Pétri avec utilisation du milieu gélosé Plate Count Agar (PCA) (Biokar Diagnostics, Beauvais, France). L'incubation est effectuée à 30°C pendant 72 h (Guiraud, 2003). La charge microbienne obtenue est prise en compte uniquement sur un intervalle compris entre 30 à 300 au maximum (Godon et Loisel, 1997).

3.3. Isolement et dénombrement de la flore fongique

Pour l'isolement des moisissures, 0,1 mL de chaque solution mère et de chaque dilution décimale a été ensemencé sur la surface de la gélose Potato Dextrose Agar (PDA) (Biokar Diagnostics, Beauvais, France) durant 7 jours à 25°C (Pitt et Hocking, 2009).

Pour l'isolement des levures, 0,1 mL de chaque solution mère et de chaque dilution décimale a été ensemencé sur la surface de la gélose OGA (Oxytetracycline Glucose Agar), supplémenté avec de la gentamicine (0,004 g/L). Les boîtes de Pétri sont incubées à 25°C durant 72 h (Pitt et Hocking, 2009).

3.4. Isolement et dénombrement de la flore lactique

Un isolement sélectif des bactéries lactiques (BL) est effectué. 0,1 mL de chaque solution mère et de chaque dilution décimale est ensemencé sur la surface des boîtes de Pétri. La gélose de De Man, Rogosa et Sharpe (MRS) (pH 5,4) (Biokar Diagnostics, Beauvais, France) a été utilisée pour l'isolement des bacilles à 35°C pendant 72 h dans des conditions anaérobies (Anaerocult®AMerck, Allemagne), tandis que M17 agar (Biokar Diagnostics, Beauvais, France) est utilisé pour le dénombrement et l'isolement des coques lactiques à 30°C pendant 72 h (Terzaghi et Sandineal, 1975).

L'isolement des BL est effectué en ne sélectionnant que les colonies qui sont apparues morphologiquement distinctes. Ils ont été purifiés par 3 repiquages successifs en gélose MRS/M17 à 30°C. La pureté des isolats a été vérifiée par des observations microscopiques (Motic BA-210, Chapelle-sur-Erdre, France) (tiges immobiles) et par le

test de coloration de Gram et de formation de catalase, par ajout du peroxyde d'hydrogène (H₂O₂ à 3%, v/v) (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, États-Unis d'Amérique) sur les colonies cultivées (**Bennani et al., 2017**). Des souches immobiles Gram-positives et catalase négatives ont été sélectionnées (**Godon et al., 1992**). Les isolats purs de BL ont été conservés à -20°C dans le bouillon d'isolement (MRS ou M17) avec 20% (v/v) de glycérol (**Idoui et al., 2009**).

Le nombre de colonies par souche est évalué en unité formant colonie (UFC) par gramme d'échantillon selon la formule suivante (**Guiraud, 2003**) :

$$N = \frac{\sum c}{(n1 + 0,1 n2) \times d}$$

N : Nombre d'UFC par g de produit initial.

Σc: Nombre de colonies comptées par boîte de Pétri.

n1, n2 : Nombre de boîtes de Pétri.

d : Facteur de dilution à partir duquel les premiers comptages ont été obtenus.

3.5. Identification des bactéries lactiques

Cette partie concerne uniquement l'identification préliminaire des isolats de BL selon le manuel de Bergey (**De Vos et al., 2011**). En effet, la plupart des aliments fermentés à base de céréales impliquent une étape de fermentation lactique dans laquelle les BL sont la communauté microbienne la plus impliquée (**Kalui et al., 2010**).

La morphologie des cellules a été déterminée à l'aide d'une loupe binoculaire pour décrire les caractères macroscopiques des colonies (forme cellulaire, couleur cellulaire et surface). Pour l'observation microscopique, nous avons utilisé un microscope relié à une caméra pour prendre des photos (grossissement × 1000) afin d'observer la coloration de Gram et le mode de regroupement. Les caractéristiques physiologiques sont déterminées à partir de :

- Le test Mannitol-mobilité est basé sur la fermentation du mannitol. Il a été réalisé sur un milieu gélosé semi-solide mannitol rouge phénol (Sigma-Aldrich, St Louis, MO, États-Unis d'Amérique) (**Guiraud, 2003**).
- La capacité de croissance à différentes températures (10°C, 15°C et 45°C) a été réalisée dans un bouillon MRS ou M17 pendant 24 h (**Terzaghi et Sandine, 1975**).

- La résistance des BL à la chaleur a été vérifiée après inoculation des souches à 63,5°C pendant 30 min, après refroidissement à température ambiante, elles ont été incubées à 30°C pendant 72 h. Les tubes qui présentent un trouble indiquent une prolifération bactérienne et des souches résistantes à la chaleur (**Rouisset et Bensoltane, 2006**).
- Le profil de fermentation (homo- ou hétérofermentaire) des isolats a été étudié en fonction de leur capacité ou non à produire du CO₂ à partir du glucose. Le test a été réalisé à l'aide de tubes Durham inversés sur milieu MRS et bouillon M17 (**Guiraud, 2003 ; Bennani et al., 2017**).

4. Caractérisation biochimique du blé dur fermenté

Les analyses biochimiques ont été déterminées en triplicata.

4.1. Teneur en eau

La teneur en eau (Te) de l'échantillon a été mesurée en séchant à 103°C un échantillon de 5 g jusqu'à poids constant, dans une étuve isotherme (MEMMERT sous vide modèle 700), selon la norme ISO 712 (**ISO, 2009**).

4.2. pH et teneur en acidité titrable totale

Les méthodes approuvées par l'AACC ont été utilisées pour déterminer le pH (AACC 02.52.01) et la teneur en l'acidité titrable (TAT) (AACC 02.31.01) (**AACC, 1995**).

Le pH a été mesuré en mélangeant 20 g de chaque échantillon broyé avec 80 mL d'eau distillée. Ensuite, le mélange a été homogénéisé pendant 2 min à vitesse maximale à l'aide d'un mélangeur (Lab-blender, Worthing, Royaume-Uni). Le pH a été déterminé sur le surnageant directement à l'aide d'un pH-mètre (PH-3C numérique modèle Bante, Jiangsu, Chine).

Le TAT a été déterminé immédiatement en titrant 10 mL du surnageant avec de l'hydroxyde de sodium 0,1N (250 mL), en utilisant 1% de phénolphtaléine comme indicateur.

4.3. Teneur en protéines totaux

La teneur en protéines totaux (TPT) a été évaluée selon la norme ISO 1871 par la méthode de Kjeldahl à partir de la teneur en azote (N) multipliée par le facteur de conversion de 5.7 (**ISO, 2009**).

4.4. Teneur en lipides totaux

La teneur en lipides totaux (TLT) (méthode ISO 7302) a été obtenue en hydrolysant l'échantillon broyé (3 g) à l'aide d'acide chlorhydrique (37%, 50 mL) en présence de 20 mL d'éthanol (95°) et d'acide formique (80%, 50 mL, densité = 1,18). L'extraction des lipides a été réalisée avec l'hexane (2%, 50 mL) à 140°C dans d'un extracteur Soxhlet (Behrotest, Düsseldorf, Allemagne) pendant un minimum d'une heure. Puis ce solvant a été évaporé à l'aide d'un Rotavapor (Buchi, Flawil, Suisse). Le ballon contenant la matière grasse extraite a été séché dans un bain de vapeur jusqu'à poids constant (**ISO, 1982**).

4.5. Teneur en glucides totaux

La teneur en glucides totaux (TGT) a été calculée par la somme des teneurs des constituants en ajoutant la teneur en humidité, en matières grasses, en protéines et en cendres et en déduisant la valeur du total (100%) pour donner la teneur en glucides par différence (**Pearson, 1976**).

4.6. Teneur en amidon

La méthode polarimétrique (méthode ISO/TC 93/WGL) a été utilisée pour déterminer la teneur en amidon (AM). Cette méthode est basée sur l'hydrolyse acide partielle de l'amidon pendant 15 min d'ébullition dans une solution de chlorure de calcium (0,15 M) suivie d'une mesure du pouvoir rotatoire de la solution résultante avec un polarimètre (MCP 150, Anton Paar GmbH, Les Ulis, France) (**ISO, 1965**).

4.7. Teneur en cendres

La teneur en cendres (TCd) a été déterminée selon la norme ISO 2171 par la combustion complète de la matière organique à poids constant à 550°C dans un four à moufle (Buhler, Labbox, Paris, France) d'une prise d'essai de 5 g (**ISO, 2010**).

5. Analyse statistique

L'analyse statistique des données a été réalisée à l'aide du logiciel SPSS (IBM SPSS Statistics 23). Les données ont été exprimées en moyenne plus au moins l'écart-type. L'analyse de variance à un facteur (ANOVA) suivie du test *post-hoc* de Tukey HSD a été utilisée pour déterminer des différences significatives entre les moyennes à $p < 0,05$.

Partie 3.

**Effet de la fermentation sur les
propriétés du couscous *Lemzeïet***

1. Préparation du couscous *Lemzeïet*

Les échantillons de BF de chaque processus de fermentation (type et durée) ont été lavés par l'eau du robinet pendant 10 min, égouttés, séchés à l'air ambiant durant sept jours (grain exposé au soleil et au vent), puis broyés (grain entier de blé dur) à l'aide d'un broyeur GEMCO (M6 FFC-160, Chine). La semoule résultante a été ensuite tamisée en deux fractions : la SF (granulométrie $\leq 500 \mu\text{m}$) et la SG (granulométrie $> 500 \mu\text{m}$).

Les matières premières utilisées étaient 50% de SF de BF, 25% de SF de BNF, 25% de SG de BNF et d'eau potable salée (5 g/L).

Huit échantillons de couscous *Lemzeïet* (CL) ont été préparés par une femme professionnelle de la région de Constantine dans les mêmes conditions selon le diagramme traditionnel établi à partir de l'enquête (partie 1 de la thèse).

Les échantillons de couscous ont été codés CL3AV, CL3SV, CL6AV, CL6SV, CL9AV, CL9SV, CL12AV et CL12SV, où CL : couscous *Lemzeïet*, AV : avec vinaigre, SV : sans vinaigre, les chiffres (3, 6, 9 et 12) représentent la durée de la fermentation.

La préparation du couscous s'est déroulée suivant six opérations successives :

- Agglomération humide de la semoule de départ (SG du BNF) avec de l'eau salée (5 g/L) ;
- Roulage avec ajout de SF (le mélange de BF et du BNF) ;
- Calibrage par TE (2500 μm) ;
- Tamisage avec l'utilisation de deux tamis : TM (1600 μm) et TR (1000 μm) pour améliorer la taille des grains de couscous ;
- Cuisson à la vapeur pendant 20 min pour raffermir la texture ;
- Séchage à température ambiante pour réduire la teneur en eau et assurer la stabilité au stockage.

2. Caractérisation technologique du couscous *Lemzeïet*

2.1. Rendement en couscous

Le rendement en couscous sec (Rdt) a été calculé en pourcentage par le rapport entre la masse de couscous sec obtenu et la masse de la semoule utilisée dans sa fabrication (**Benatallah et al., 2008**).

Les résultats du Rdt ont été estimés comme une moyenne de deux tests pour évaluer les différences de productivité entre tous les échantillons.

2.2. Propriétés physiques des particules

Les échantillons de couscous ont été caractérisés sur la base des propriétés physiques. En fonction de chaque mesure, 5 g à 10 g (précision 0,5%) des échantillons de couscous ont été utilisés. Pour chaque détermination, le résultat était la moyenne des trois mesures.

2.2.1. Taille des particules

La DG du couscous a été mesurée par diffraction de la lumière laser à l'aide d'un granulomètre (Mastersizer 2000, Malvern, France) en mode sec (Scirocco 2000, Malvern, France) avec une pression d'air de 2.105 Pa pour la circulation des particules. Le principe de cette technique repose sur la déviation de la lumière par les particules. Lorsque les particules traversent le faisceau laser, elles dévient la lumière selon un angle inversement proportionnel à leur taille : les grosses particules diffusent la lumière à de petits angles vers l'avant, tandis que les petites particules diffusent la lumière à des angles plus larges (**Bodhmagé, 2006**).

Les résultats ont été analysés en mode « polydispersé » en utilisant la théorie de Fraunhofer (à l'aide du logiciel Malvern 2000 version 5.60 fourni avec l'instrument), permettant l'estimation de la DG en volume des particules dans l'échantillon et la détermination des diamètres volumiques caractéristiques d10, d50 et d90 (le critère d10 (d50 ou d90) signifie que 10% (50% ou 90%) du volume total de particules correspond à des particules de diamètre inférieur à ce critère). La span value caractérisant l'étalement de la distribution de taille a été calculée selon l'équation suivante (**Li et al., 2002**) :

$$\text{Span} = (d90 - d10) / d50$$

2.2.2. Forme des particules

La forme des particules des couscous a été mesurée à l'aide du morpho-granulomètre QicPic (SYMPATEC, France) avec module GRADIS équipé d'une fente de 4 mm. Les échantillons ont été alimentés par gravimétrie avec une intensité de vibration de 50%. L'analyse a été effectuée à l'aide de l'objectif M7 avec conformité ISO pour la détection de la taille et de la forme dans la plage de 4 à 2 888 µm. Pour chaque échantillon, trois mesures ont été réalisées, caractérisant entre 120 et 150 particules individuelles pour chacune d'elles. Les images binaires capturées par la caméra ont été analysées par le logiciel QicPic de l'instrument.

Les descripteurs de forme étudiés étaient :

- **Le diamètre équivalent en surface des particules (EQPC)** : c'est le diamètre du disque ayant la même surface que la particule. Les descripteurs de forme sont choisis de telle sorte que pour les particules sphériques, leur valeur soit 1, et plus la valeur du descripteur est petite, plus la forme de la particule est irrégulière (SYMPATEC, 2017) ;
- **Le rapport d'aspect (RA)** : c'est le rapport hauteur/largeur correspond respectivement, à la longueur maximale et minimale mesurée perpendiculairement entre deux droites parallèles restreignant la particule. Les petites valeurs du rapport hauteur/largeur correspondent à des particules allongées. Le rapport hauteur/largeur ne reflète que l'allongement de la particule, et son utilisation est limitée (Li *et al.*, 2002) ;
- **La convexité (C)** : c'est le rapport de l'aire de projection de la particule elle-même (A) à l'aire de l'enveloppe convexe de la particule (somme de (A) et de l'aire des régions concaves ouvertes (B)). Il caractérise la compacité de la particule. En raison des limitations dans la détermination du périmètre (pixels carrés de la caméra), la valeur maximale calculée est limitée à 0,99 pour les particules régulières sans régions concaves (SYMPATEC, 2017) ;
- **La circularité de Cox (Cox, 1927) ou rondeur (R)** : c'est un rapport du rayon de courbure moyenne de toutes les régions convexes au cercle circonscrit de la particule (SYMPATEC, 2017) ;
- **La sphéricité (S)** : elle représente le degré de circularité d'un grain dans un corps tridimensionnel et correspond au rapport du périmètre du cercle avec un diamètre égal au diamètre de la surface des particules (EQPC) au périmètre de la zone de projection de la particule (Yan et Shi , 2014 ; SYMPATEC, 2017 ; Liu et Yang, 2018).

$$EQPC = \sqrt[2]{A/\pi}$$

$$RA = D_{\text{Feret Min}} / D_{\text{Feret Max}}$$

$$C = A/(A+B)$$

$$R = \sum_{i=1}^n \left(\frac{r_i}{r} \right) / n$$

$$S = 2\pi Re/Pr$$

Où A : surface de projection de la particule ; B : zone des régions concaves ouvertes ; D : diamètre ; r : rayon du cercle circonscrit ; r_i : rayon du cercle inscrit au coin convexe i ; Re : diamètre équivalent ; Pr : périmètre projeté.

2.2.3. Couleur

La couleur du couscous a été déterminée selon la méthode AACC 14-22.01 (AACC, 2010) en mesurant les valeurs L^* , a^* et b^* dans l'espace colorimétrique CIElab avec un illuminant D65 et un observateur à 2° comme référence à l'aide d'un colorimètre numérique Hunter Lab CM-5 (Konica Minolta, Japon).

La valeur L^* mesure la blancheur ou la luminosité/l'obscurité (100 blanc ; 0 noir), la valeur a^* mesure la rougeur lorsqu'elle est positive et la verdeur lorsqu'elle est négative (+, rouge ; -, vert) et la valeur b^* mesure le jaune lorsqu'il est positif et le bleu lorsqu'il est négatif (+, jaune ; -, bleu).

La différence de couleur entre deux échantillons dans l'espace colorimétrique CIElab a été calculée à l'aide de l'équation suivante. La valeur ΔE doit être supérieure à 2,3 pour une différence de couleur notable (Sharma, 2003) :

$$\Delta E = ((a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2 + (L_1^* - L_2^*)^2)^{1/2}$$

La couleur a été exprimée en ce qui concerne le brun par la mesure de l'indice de brun (IB) par l'équation suivante (AACC, 2010) : $IB = 100 - L^*$

2.2.4. Dynamiques de sorption de vapeur

Les échantillons CL3SV, CL12SV et CL12AV ont été analysés. Les mesures de sorption ont été réalisées sur un appareil DVS (Surface Measurement Systems, Intrinsic), équipé d'une microbalance ultrasensible (précision de 0,1 µg). Un échantillon de 50 mg a été placé dans le bac à échantillon pour réduire le temps d'équilibre de jours à heures pour chaque point de l'isotherme de sorption. Un flux constant d'azote est mélangé à la vapeur d'eau pour assurer l'humidité relative (HR) souhaitée (précision de 0,5%) à une température constante de 25°C (précision de 0,1°C). Les cycles de sorption ont commencé avec un plateau à 0% d'HR, à la fin duquel la masse sèche a été déterminée. Les cycles d'adsorption/désorption de HR variaient de 0% à 90% - 0% (avec des pas de 20% de 0% à 80% HR et de 10% de 80% à 90% HR). Les échantillons ont été maintenus à un niveau d'HR constant jusqu'à ce que le changement de masse par minute (dm/dt) atteigne 0,002 %/min.

Les paramètres du modèle Guggenheim–Anderson–de Boer (GAB) (Anderson, 1946 ; Guggenheim, 1966 ; Boer, 1968) ont été ajustés aux courbes d'adsorption pour minimiser l'erreur quadratique moyenne :

$$X_{eq} = \frac{M_0 C K a_w}{(1 - K a_w)(1 + (C - 1) K a_w)}$$

Où X_{eq} est la teneur en humidité à l'équilibre [kg/100 kg, base sèche] ; M_0 est la teneur en humidité de la monocouche [kg/100 kg, base sèche] ; a_w est l'activité de l'eau; C et K sont des constantes liées à la chaleur de sorption.

Le modèle GAB a été ajusté aux courbes par régression non linéaire, via la méthode de Marquardt, sur le logiciel Statgraphics Centurion (Version 18, 2022, Statgraphics Technologies Inc., USA). Des valeurs de coefficient de détermination (R^2) proche de 1 ont été obtenues.

2.3. Qualité culinaire

2.3.1. Indice de gonflement

L'indice de gonflement (IG) a été mesuré selon la norme Marocaine NM 08.1.255 (IMANOR, 2007). Une quantité de 50 g de couscous sec ont été placée dans une éprouvette graduée de 250 mL pour mesurer le volume occupé (V1). L'éprouvette graduée a été vidée et l'échantillon a été soigneusement conservé. L'éprouvette a été remplie de 200 mL d'eau du robinet (20°C) puis l'échantillon a été rapidement versé. Le mélange a été agité pour s'assurer qu'aucune particule ne flottait. Après 30 min, le volume V2 occupé par le couscous dans l'éprouvette est enregistré. L'IG a été calculé par le rapport V2 sur V1.

2.3.2. Degré de délitescence

Le degré de délitescence (DD) a été déterminé selon la méthode décrite par **Benatallah et al. (2008)**. 10 g de couscous ont été cuits à la vapeur à 95°C pendant 8 min puis réhydratés avec 50 mL d'eau distillée à 25°C. Après agitation pendant 6 min avec un agitateur magnétique, le surnageant est récupéré par filtration sur tamis (1000 µm). Une aliquote de 10 mL a été séchée à 100°C jusqu'à poids constant (extrait sec : ES). Le DD est calculé par l'équation suivante :

$$DD (\%) = (ES \times 50) \times 10$$

2.3.3. Capacité de rétention d'eau

L'échantillon de couscous (1 g) a été placé dans un tube à centrifuger et 10 mL d'eau distillée ont été ajoutés. Après stabilisation pendant 30 min à 25°C sous agitation continue, les suspensions ont été centrifugées à 3000 × g à température ambiante (22 à

25°C) pendant 20 min. Le surnageant obtenu a été séché à 105°C et la capacité de rétention d'eau (CRE) a été calculée selon les équations suivantes (**Boucheham et al., 2019**) :

$$\text{CRE (g/g)} = \frac{\text{Poids de précipité (g)} - \text{Poids de l'échantillon (g)} \times 100}{\text{Poids de l'échantillon sec (g)} \times (100 - \text{solubilité})}$$

$$\text{Solubilité (\%)} = \frac{\text{Poids du surnageant séché (g)} \times 100}{\text{Poids de l'échantillon sec (g)}}$$

2.3.4. Temps de cuisson

Deux litres d'eau du robinet ont été préalablement bouillis dans la marmite du couscoussier. Le couscous a été hydraté par 100 mL d'eau froide (20°C), égoutté et agité avec une cuillère pendant 2 min, puis il a été placé dans le couscoussier à petit feu. Les TCs ont été notés après que les échantillons ont été reposés et agités à la main durant 5 min (**Boudreau et al., 1992 ; Feillet, 2000 ; Derouiche, 2003**) :

- **Le TMn** : il correspond au dégagement minimum du premier flux de vapeur à la surface du couscous ;
- **Le Top** : il correspond au temps de cuisson minimum (TMn) plus le temps enregistré lorsque la vapeur sort de toute la surface (à ce moment, le couscous change de couleur, ses granules s'individualisent et il devient mous) ;
- **Le TMx** : c'est le temps de sur-cuisson pendant lequel le produit forme des grumeaux (aspect collant entre les grains), ce qui donne un aspect désagréable.

3. Caractérisation de la microstructure

L'observation de l'aspect général, des détails de surface et de la structure interne des particules de couscous ont été réalisées en utilisant la microscopie électronique à balayage environnemental (MEBE), la microscopie électronique à balayage (MEB) et la microscopie confocale à balayage laser (MCBL).

3.1. Microscopie électronique à balayage environnemental

Les observations MEBE ont été effectuées sur un microscope FEI Quanta 200 à 7 Torr, 8,5 kV, en réglant la taille du spot à 4,5, une distance de travail d'environ 5 mm, et en utilisant un détecteur d'électrons secondaires gazeux. Les échantillons ont été dispersés sur un ruban de carbone. L'HR à l'intérieur de la chambre d'observation a été modifiée en réglant la pression à vide et la température de l'échantillon placé sur une platine porte-

échantillon avec effet Peltier (refroidissement), ce qui a permis d'observer la modification de la surface des grains de couscous au contact de l'air humide.

Pour chaque essai, à une pression constante de 785 Pa, la température a été lentement abaissée (30 min) de 20°C à 5 °C. À ce stade, l'HR à l'intérieur de la chambre était d'environ 90% (5°C, 785 Pa). L'observation a été réalisée avec différents grossissements ($\times 100$, $\times 150$, $\times 300$, $\times 600$, $\times 1200$ et $\times 2500$).

3.2. Microscopie électronique à balayage

La structure du couscous a été observée à l'aide d'un microscope électronique à balayage FEI Quanta 200. Les échantillons ont été fixés sur un talon en aluminium pour MEB à l'aide d'un ruban adhésif double face en carbone. Les images ont été obtenues directement à partir des grains de couscous sans revêtement. Les conditions suivantes ont été appliquées : détecteur d'électrons secondaires, mode vide faible, pression de 0,6 Torr (80 Pa), tension de 12,5 kV, taille de spot de 4 et distance de travail d'environ 8 mm. Les mêmes grossissements que MEBE ont été appliqués.

3.3. Microscopie confocale à balayage laser

La microstructure des grains de couscous a été observée à l'aide d'un microscope confocale à balayage laser Leica TC2 SP8 (Wetzlar, Allemagne). Dy Light 488 (0,5 mg/mL dans diméthyle sulfoxyde (DMSO) et Bodipy 665/676 (2,5 mg/mL dans DMSO) ont été utilisés afin de marquer respectivement les protéines (vert) et les lipides (rouge). Une goutte de 1,5 μL d'un mélange de solutions Dylight 488 et Bodipy 665/676 (1/1 v/v) a été versée sur une tige de verre avant d'observer le grain de couscous. Après excitation à 488 nm (vert) et 638 nm (rouge) à l'aide de deux lasers, la fluorescence émise a été détectée dans deux canaux dans les gammes de longueurs d'onde de 497–601 nm et 643–765 nm. Les images ont été acquises à des grossissements $\times 10$ et $\times 40$ en utilisant une vitesse de balayage de 400 Hz, un sténopé de 70,7 μm et un mode de balayage xyz.

4. Evaluation sensorielle

L'appréciation sensorielle a été basée sur un test de classement par rang de *Friedman* qui permet d'évaluer les différences selon l'intensité perçue de la caractéristique sensorielle selon la norme ISO 8587 (ISO, 2006). Il est utilisé pour voir s'il y a des différences, mais il ne peut pas déterminer le degré des différences entre les échantillons.

L'évaluation a été menée au cours de trois séances différentes, contenant chacune huit échantillons de couscous, et qui sont présentés simultanément à chaque dégustateur dans un ordre choisi au hasard (la répétition permet d'évaluer l'erreur expérimentale et améliorer la fiabilité et la validité des résultats). Celui-ci consiste à présenter à un jury de 10 dégustatrices (femmes expertes dans la confection du couscous *Lemzeïet*) 5 g de couscous (cuit à la vapeur d'eau) dans des récipients identiques codés avec une lettre différente (A, B, C, D, E, F, I, G). Les dégustateurs ont évalué les produits sur une échelle structurée en 8 points allant de 1 (pour une intensité faible) à 8 (pour une intensité élevée). Les attributs suivants ont été évalués (**Guezlane et Abecassis, 1991**) :

- **Collant** : à la fourchette comme en bouche (1 : pas collant, 8 : très collant) ;
- **Fermeté** : sous la dent (1 : moins ferme, 8 : plus ferme) ;
- **Couleur** : par vision (1 : clair, 8 : foncé) ;
- **Odeur** : par olfaction (1 : moins forte, 8 : plus forte).

Tous les attributs étudiés ont été utilisés pour déterminer l'impression globale qui a pour objectif de déterminer l'acceptabilité des couscous en utilisant une échelle allant de 1 (acceptabilité faible) à 8 (acceptabilité forte) sans donner d'égalités. Le bulletin de l'analyse sensorielle est présenté dans [l'annexe 3](#).

5. Analyse statistique

L'analyse statistique des données a été réalisée à l'aide du logiciel SPSS (IBM SPSS Statistics 23). Les résultats ont été exprimés en moyenne plus au moins l'écart-type. L'ANOVA à un facteur suivi du test *post-hoc* de Tukey a été utilisée pour déterminer les différences significatives entre les échantillons de couscous. L'ANOVA à deux facteurs a été utilisée pour évaluer l'effet du temps de fermentation et de l'ajout de vinaigre sur les caractéristiques du couscous. Le test de corrélation entre les différentes variables a également été effectué. L'analyse de variance (ANOVA à un facteur) de *Friedman* a été utilisée pour déterminer des différences significatives entre les attributs sensoriels. Le seuil de signification a été fixé à 0,05.

Résultats et discussion

Partie 1.

Enquête sur le couscous *Lemzeïet*

1. Caractéristiques des personnes interrogées

Les personnes interrogées (500 femmes) se répartissent comme suit : 186 dans la wilaya de Mila, 136 femmes dans la wilaya de Constantine, 100 femmes dans la wilaya d'Oum El Bouaghi et 78 femmes dans la wilaya du Khenchela. Toutes les femmes interrogées ont une expérience dans la fabrication artisanale du couscous *Lemzeïet*. La répartition inégale d'effectif total des femmes interrogées selon les wilayas d'enquête est jugé d'une part pour des raisons des commodités d'accès et d'autre part, au niveau de wilaya de Constantine et de Mila la pratique de couscous *Lemzeïet* semble être plus répandue.

L'origine des femmes interrogées était toujours de la région de l'Est algérien (Batna , Bejaïa, Biskra, Constantine, Jijel, Khenchela, Mila, Oum El Bouaghi et Guelma)

L'âge des répondants variait entre 20 et 92 ans (Tableau 6). L'âge moyen était de 62 ± 13 ans. Nous avons remarqué que 51% des femmes avaient plus de 60 ans, ce qui est associé à une capacité native de préparation des aliments attribuée aux mères et aux grands-mères. En plus, la fabrication du couscous a besoin de l'expérience pour garantir le succès de sa préparation, comme mentionné dans l'étude de **Bekhouche et al. (2013)**, où le couscous *Lemzeïet* était principalement préparé par des femmes âgées de 40 à 60 ans ; l'expérience dans la fabrication de couscous dépend significativement de l'âge comme déjà mentionné dans l'étude de **Chemache et al. (2018)**.

La plupart des répondants étaient des femmes au foyer (92%) et des analphabètes (76%). Cette catégorie n'a pas été exclue de l'étude car elle est considérée comme passionnante en matière d'alimentation et de cuisine. Elles sont principalement responsables de la préparation des aliments notamment le couscous, qui demande plus d'efforts et de temps. Alors que les femmes instruites (24%) comprennent l'intérêt de ce couscous et peuvent garder son existence.

Tableau 6. Caractéristiques sociodémographiques de la population interrogée

Variable	Classe	Pourcentage (%)
Age (ans)] 20-40]	5
] 40-60]	38
] 60-80]	49
] 80-100]	8
Niveau d'instruction	Analphabète	76
	Primaire	3,83
	Secondaire	8,87
	Moyen	5,45
	Universitaire	5,85
Occupation	Femmes au foyer	92
	Femmes qui travaillent	8

2. Informations sur la fabrication traditionnelle du couscous *Lemzeïet*

Les informations relatives au procédé de fabrication traditionnelle du couscous *Lemzeïet* ont été collectées lors des interviews. Nous avons pris en considération le pourcentage le plus élevé ($p < 0,05$) pour chaque réponse.

2.1. Ingrédients utilisés

La plupart des répondants (71%) ont préparé *Lemzeïet* à partir d'un mélange de deux fractions : SF ($\leq 500 \mu\text{m}$) et SG ($> 500 \mu\text{m}$) à partir de SBDF et SBD. Différentes formules de fabrication ont été identifiées (Tableau 7) et la majorité des répondants (26,5%) utilisaient la formule F4B qui est un mélange de la semoule fine de BF (50%) et la semoule fine de BNF (25%) avec la semoule grosse de BNF (25%).

60% des répondants ont confirmé que de l'eau salée (5 g/L) à température ambiante est ajoutée pour l'hydratation de la semoule, tandis que 40%, ont ajouté du sel sec dans le couscous fini avant son stockage ou lors de sa préparation à la consommation. Des résultats similaires ont été rapportés par **Bekhouche et al. (2013)** pour le couscous *Lemzeïet* et par **Chemache et al. (2018)** pour le CBD traditionnel. **Coskun (2013)** a déclaré que le sel offre au couscous plus de goût et améliore sa force.

La majorité des répondants (77,4%) n'utilisaient aucun ingrédient lors de la finition du couscous ($p < 0,05$), pour éviter les odeurs de rancissement lors de son stockage.

Cependant, certaines femmes (13,6%) ajoutaient un mélange de jaunes d'œufs et de beurre pour assurer la brillance de la couleur du couscous et renforcer ses qualités sensorielles. D'autres femmes ajoutaient de l'amidon de riz (9%) pour bien individualiser les grains de couscous.

Tableau 7. Différentes formules de fabrication du couscous *Lemzeïet* selon le pourcentage de la population enquêtée

Formules	Zones d'enquête (%)					Type de la semoule (%)					Motif de sélection
	Constantine	Mila	Oum El Bouaghi	Khenchela	Total	Fraction 1 (SF: D)		Fraction 2 (SG: F)		CBD	
						D1 (BF)	D 2 (BNF)	F1 (BF)	F2 (BNF)		
F1A	7	0,1	1,6	8	16,7	50	0	50	0	0	Produire un couscous fermenté
F1B	1	0,3	5,6	1	7,9	75	0	25	0	0	complet
F2A	5,6	0	0,4	0	6	50	0	0	50	0	Produire un couscous moins
F2B	5,4	4	6,1	2	17,5	66,66	0	0	33,33	0	acide
F2C	4	13	2	0	19	75	0	0	25	0	
F3A	0	0	0	0,1	0,1	50	0	0	0	50	Accélérer et faciliter la
F3B	2,8	0	1,2	0,1	4,1	66,66	0	0	0	33,33	formation des grains de
F3C	0	0	0	0,2	0,2	75	0	0	0	25	couscous
F4A	1	1	0	0	2	33,33	33,33	0	33,33	0	Produire un couscous encore
F4B	1	19	3,5	3	26,5	50	25	0	25	0	moins acide et garantir une longue durée de sa conservation

Semoule fine (SF) ; Semoule grosse (SG) ; *Dkak* (D) ; *Fetla* (F) ; Blé dur fermenté (BF) ; Blé dur non fermenté (BNF) ; Couscous de blé dur (CBD) ; Formule 1 (F1): 100% BF (très appréciée à Khenchela) ; Formule 2 (F2): mélange du BF et BNF (la plus utilisée à Mila) ; Formule 3 (F3) : mélange du BF et CBD (la plus utilisée à Constantine) ; Formule 4 (F4) : mélange du BF avec BNF pour obtenir seulement la SF, et BNF pour SG (la plus réalisée à Mila).

2.2. Matériel utilisé

Tous les répondants ont confirmé l'utilisation de *Guessâa* et de cuiseur à vapeur (couscoussier) comme déjà été déclaré par la plupart des études précédentes réalisées en Algérie sur le couscous : **Bahchachi (2002)**, **Yousfi (2002)**, **Derouiche (2003)**, **Benatallah et al. (2008)**, **Bekhouché et al. (2013)**, **Chemache et al. (2018)**.

Dans notre étude, 14% des répondants ont répertorié cinq tamis: TE, TS, TM, TR et TD (**Figure 12**). Le maillage de chacun de ces tamis a été déterminé en fonction des tamis disponibles dans le marché Algérien. Selon les études de **Bahchachi (2002)**, **Yousfi (2002)**, **Derouiche (2003)** et **Benatallah et al. (2008)** qui ont été menée dans l'est et le sud de l'Algérie, les ouvertures de mailles des tamis sont les suivantes: 1140 à 2532 μm pour le TE, 1000 à 1280 μm pour le TS, 800 à 1140 μm pour le TM, et 600 à 1610 μm pour le TR et 80 à 525 μm pour le TD. Pour le même tamis, on peut trouver un tamis *Mehloul* avec mailles larges, un tamis normal avec ouverture de mailles moyennes et un tamis *Matbouk* avec ouverture de mailles plus serrée.

Plus de la moitié des répondants (57%, $p < 0,05$) ont confirmé l'utilisation des quatre premiers tamis (TE, TS, TM et TR). Cela est justifié par l'achat des deux fractions (SF et SG). 21% des répondants ont utilisé trois tamis (TE, TM et TS) parce que le TS peut être utilisé à la place du TR pour séparer le couscous des grains fins. Seulement 8% des femmes ont utilisé deux tamis (TE et TS) car elles estimaient que le calibrage et le tamisage ne pouvaient être effectués que par ces deux tamis.

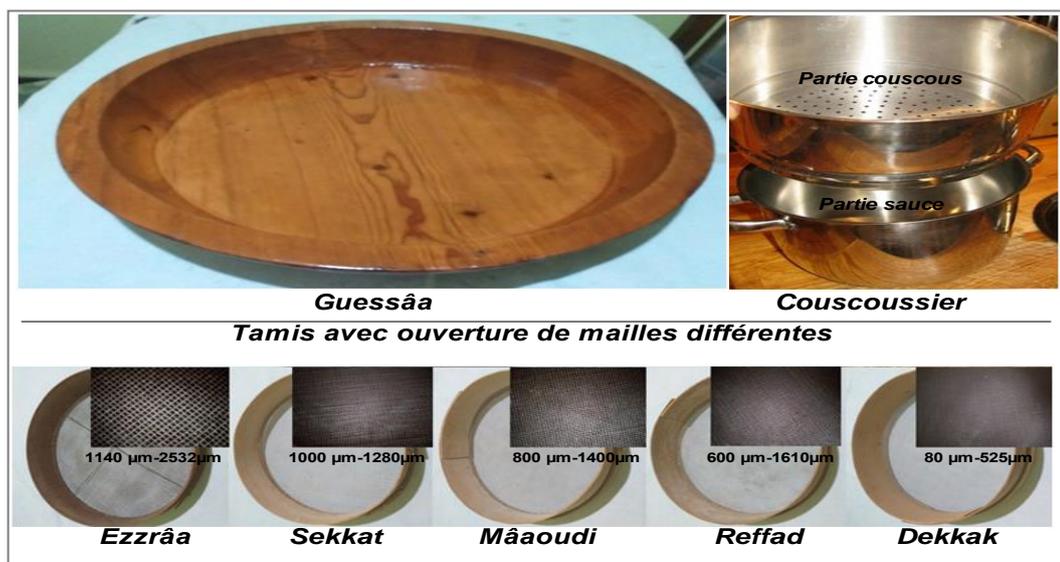


Figure 12. Photographies d'ustensiles traditionnels (*Guessâa*, couscoussier et cinq tamis)

2.3. Etapes de fabrication

2.3.1. Préparation et hydratation de la semoule

Certains répondants (14%) ont utilisé le TD (500 μm) pour classer les semoules (SBD et SBDF) en deux fractions : SF (passant du tamis) et SG (refus du tamis). Les deux fractions sont ensuite mélangées (Étape 1) selon la formule F4B mentionnée dans le [Tableau 7](#) et [Figure 13](#). En revanche, les autres répondants ($p < 0,05$) n'ont pas utilisé le TD car ils achètent ces deux fractions.

Avant l'hydratation de la semoule, 11% des répondants, ont déclaré qu'un traitement hydrothermique (10 min) de la fraction SG est nécessaire pour éviter la formation de grumeaux de pâte lors de l'étape d'agglomération. Ce résultat est rapporté par [Benatallah et al. \(2008\)](#) et [Chemache et al. \(2018\)](#). La plupart des femmes (89%) ($p < 0,05$) ont déclaré que ce n'était pas nécessaire. Des résultats similaires ont été rapportés par [Bahchachi \(2002\)](#), [Yousfi \(2002\)](#) et [Derouiche \(2003\)](#).

Pour l'hydratation de la semoule, 60% des répondants ont utilisé une solution d'eau salée (5 g/L) équivalant à 0,5% (Étape 2), tandis que 40% n'ont utilisé que de l'eau, mais il est nécessaire de vérifier le volume d'eau ajoutée pour éviter la formation de pâte comme signalé par [Benatallah et al. \(2008\)](#) et [Chemache et al. \(2018\)](#).

Le processus d'hydratation consistait en un mélange de semoules avec de l'eau, suivi d'un roulage manuel pour agglomérer et former des granulés (premier roulage) (Étape 2) est effectué avec une pression des mains dans un mouvement circulaire pour répartir l'humidité et favoriser l'agglomération et la cohésion des particules qui commencent à gonfler progressivement comme indiqué par [Bahchachi \(2002\)](#), [Benatallah et al. \(2008\)](#) et [Bekhouche et al. \(2013\)](#).

Plus de la moitié des personnes interrogées (57%) ont déclaré que le roulage doit être répété trois fois en ajoutant du *Dkak* jusqu'à la formation des premiers grains de couscous. D'autres femmes (43%) ont déclaré que cela peut dépasser trois fois, tout dépend du type et de la proportion de semoule. Selon [Barkouti \(2012\)](#), la SF adhère facilement contre les vides des grosses particules pour former des grains de couscous.

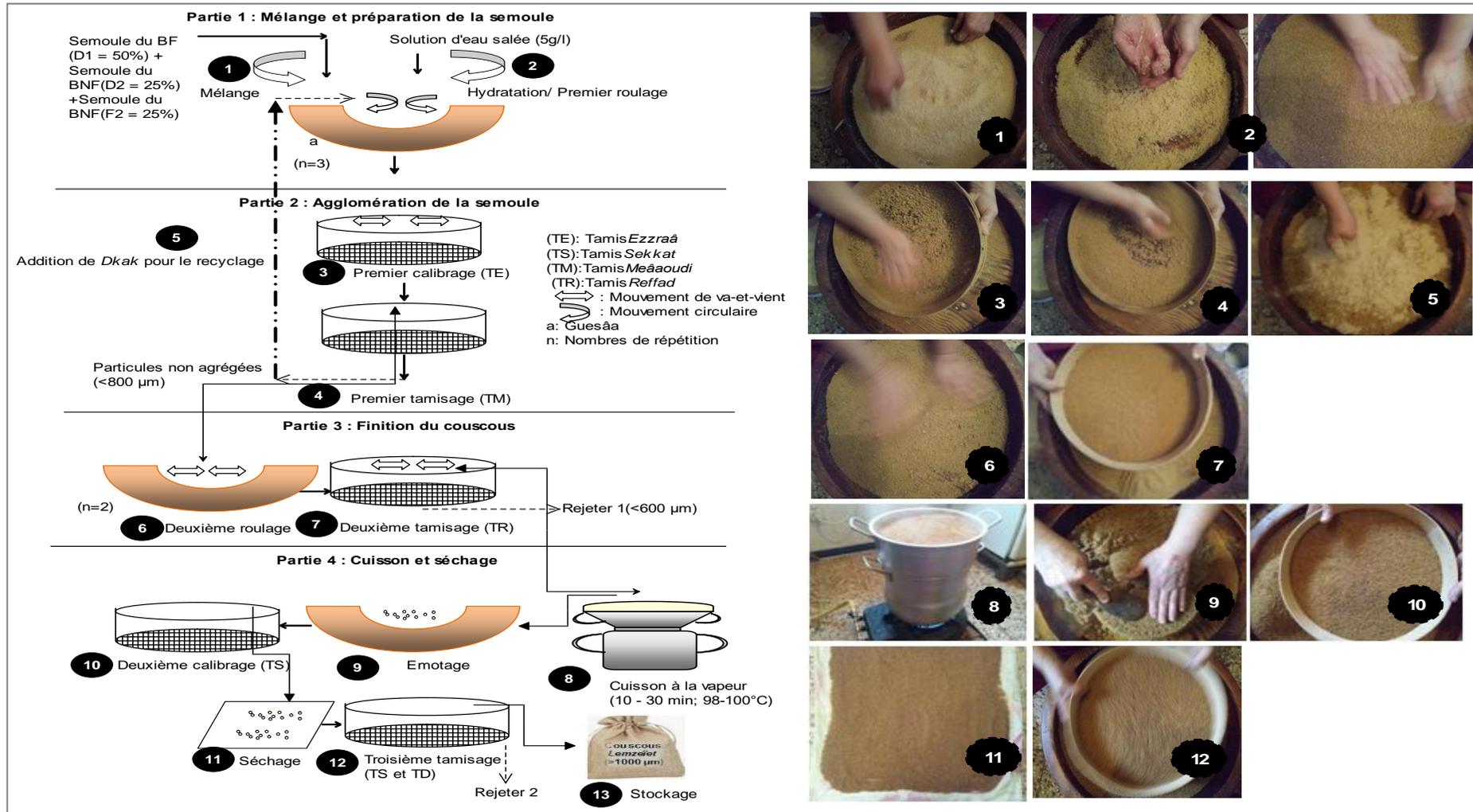


Figure 13. Diagramme traditionnel de la fabrication du couscous Lemzeïet

2.3.2. Agglomération de la semoule

Tous les répondants ont confirmé que les premiers grains de couscous devaient passer à travers la maille du tamis pour le premier calibrage (Étape 3) en forçant les grains à la main avec un mouvement de va-et-vient comme rapporté par **Benatallah et al. (2008)**. Selon 65% des répondants ($p < 0,05$), cette opération a été réalisée par TE (tamis le plus large) pour accélérer le calibrage du couscous. Pour cela, on trouve toujours que le TE est renforcé par un fil métallique. Les autres femmes (35%) ont utilisé le TS comme mentionné par **Bahchachi (2002)**, **Derouiche (2003)** et **Benatallah et al. (2008)**. Pour séparer les grains de couscous et les particules non agglomérées, la totalité des répondants ont utilisé le TM pour le premier tamisage (Étape 4), et les particules qui sont passées de ce tamis doivent être recyclées (Étape 5) trois fois avec l'ajout de *Dkak* pour épuiser la semoule.

2.3.3. Finition du couscous

Pour séparer le couscous du reste de la SF, tous les répondants ont effectué un deuxième roulage (Étape 6) par un mouvement de va-et-vient. La plupart des répondants (63%) ont répété le deuxième roulage deux fois pour s'assurer de la taille souhaitée du couscous. Cependant, 37% des femmes procédaient directement au tamisage car la répétition du roulage manuel, conduit à la formation de petits grains de couscous, ce qui n'est pas souhaitable selon les avis des répondants.

La majorité des répondants (74,8%) ont déclaré que le deuxième tamisage (Étape 7) est réalisé par TR comme rapporté par **Bekhouche et al. (2013)**, tandis que 25,2% des femmes ($p < 0.05$) ont utilisé le TS pour obtenir un couscous appelé *Marfoud* (gros couscous).

Presque la moitié des répondants (47,2%) ont déclaré que le reste de la semoule non roulée (Rejet 1) n'est pas recyclé car elle est lisse, sous forme d'agrégats et impossible de la transformer en couscous. **Debbouz et Donnelly (1996)** et **Chemache et al. (2018)** ont déclaré qu'il est impossible d'obtenir un rendement au roulage de 100%, quels que soit l'expérience et l'équipement utilisé. Selon respectivement 47,4% et 5,4% des répondants, le reste de la semoule est souvent réutilisé pour préparer d'autres plats traditionnels comme le pain *Elmachroub* ou pour nourrir les oiseaux. Ces résultats sont aussi rapportés par **Bekhouche et al. (2013)** et **Chemache et al. (2018)**.

2.3.4. Cuisson, séchage et stockage

Selon tous les répondants, la cuisson du couscous (Étape 8) a été réalisée immédiatement au couscoussier pour maintenir la qualité du couscous, le couscous précuit était, ensuite, émotté (Étape 9) à la main ou à l'aide d'une cuillère à soupe dans le *Guessâa*.

Plus de la moitié des répondants (52%) ont effectué le deuxième calibrage (Étape 10) en utilisant le TS après refroidissement du couscous pour éviter la formation de mottes et obtenir des grains de couscous fermes et non collants. D'autres femmes (41%) ont utilisé le TE comme également rapporté dans l'étude de **Bekhouché et al. (2013)**.

Tous les répondants ont confirmé que le séchage du couscous (étape 11) prolongeait sa durée de conservation. Cette étape s'effectue en étalant une fine couche de couscous sur un drap propre.

Plus de la moitié des femmes (57,2%), ont séché le couscous à l'ombre puis au soleil pour assurer un séchage progressif et obtenir un produit propre sans odeur indésirable. Néanmoins, certaines femmes (41,4%) ont préféré de sécher le couscous à l'ombre dans un endroit ouvert pendant une période plus longue pour éviter d'en modifier l'odeur et le goût. Seulement 1,4% des répondants ont effectué le séchage au soleil qui permet un séchage rapide et évite un changement de couleur excessif.

Tous les répondants ont affirmé que le couscous est retourné régulièrement pour accélérer le temps de séchage. Tous les répondants ont aussi rapporté que la durée du séchage varie en fonction des conditions climatiques comme la température saisonnière et la durée d'ensoleillement. La fin de séchage est évaluée soit par frottement des grains de couscous entre les mains pour apprécier la dureté des grains (53% des cas), soit par écrasement de quelques grains de couscous entre les doigts ou entre les dents (47% des cas).

Le troisième tamisage du couscous sec (Étape 12) a été réalisé par la majorité des répondants (95%). Elles utilisent respectivement deux tamis (TS et TD) pour éliminer les grosses et les petites impuretés (cailloux, débris de semoule). Les autres femmes (5%) ont déclaré que les impuretés pouvaient être retirées lors de la préparation du couscous après son immersion dans l'eau. Tous les répondants jettent les débris de semoule (Rejet 2).

Seulement 23,2% des répondants font une classification granulométrique du couscous par TS pour obtenir un gros couscous (11,6%), soit par TM ou TR pour obtenir un couscous fin (6,8%), d'autres ont utilisé ces deux tamis pour avoir deux classes de couscous *Lemzeïet* (4,8%). Cependant, la majorité des femmes (76,8%) ne font pas ce classement.

D'après la totalité des répondants, le couscous sec est emballé dans des sacs en toile (Étape 13) et doit être conservé dans un endroit sec à température ambiante.

Partie 2.

Étude des modifications du blé dur durant la fermentation

1. Caractéristiques microbiologiques

Huit échantillons de BF ont été obtenus au cours des fermentations AV et SV pendant 3, 6, 9 et 12 mois. Leur aspect visuel est similaire à celui du BNF à l'exception de la couleur brune due à la fermentation (Figure 14).

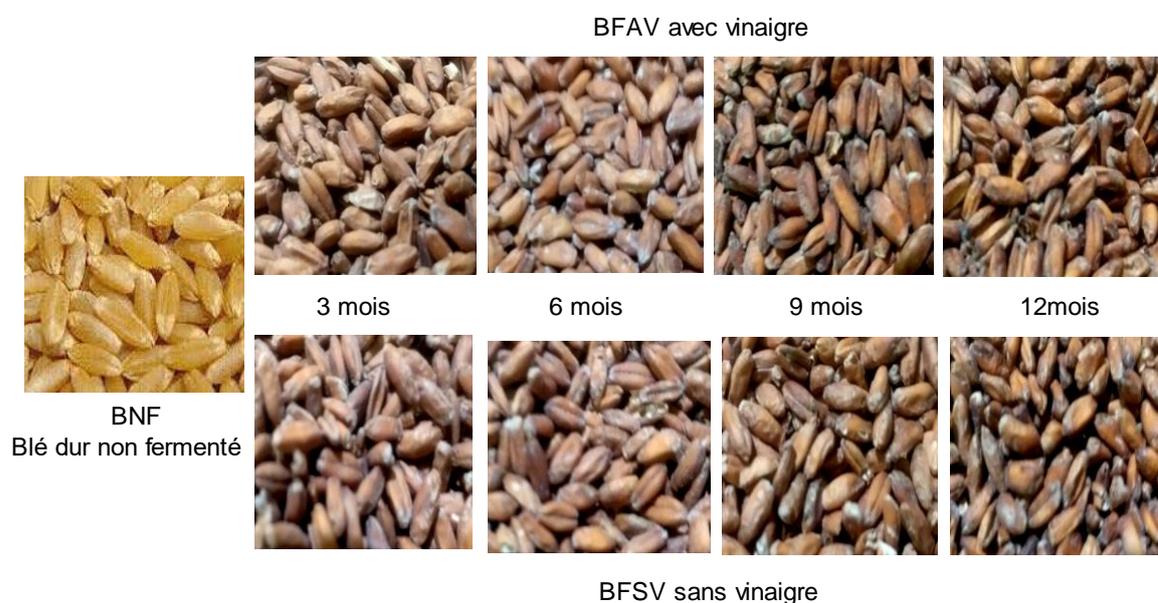


Figure 18. Échantillons de blé dur non fermenté (BNF) et de blé dur fermenté (BF) pendant 3, 6, 9 et 12 mois, sans vinaigre (SV) et avec un ajout initial de vinaigre (AV)

L'échantillon de BNF est la référence pour nos tests. Il répond aux critères microbiologiques et biochimiques du Codex Stan 199-1995 (FAO, 1996).

1.1. Flore totale

Le comptage microbien a révélé que la FTAM de l'échantillon du BNF constitue 71% ($1,54 \times 10^2$ UFC/g), les levures 25% ($0,54 \times 10^2$ UFC/g), et les BL seulement 4% (11 UFC/g) (Tableau 8). De plus, nous avons remarqué l'absence de moisissures ce qui montre une bonne qualité mycologique et les conditions de stockage sains selon les normes du *Codex Alimentarius* (FAO, 1996).

La FTAM des échantillons de BF a augmenté significativement durant la fermentation passant de 1,54 UFC/g à 14,00 UFC/g après le 9^{ème} mois de fermentation SV et à 14,66 UFC/g après le 6^{ème} mois de fermentation AV. Une diminution ultérieure a été observée ($p < 0,05$) pour atteindre 1,65 UFC/g et 3,08 UFC/g pour la fermentation SV et

AV respectivement. Cette flore n'a pratiquement aucun rapport avec la fermentation, mais elle est un indicateur d'hygiène important du produit pour nous renseigner sur son âge (Merabti, 2015).

1.2. Flore fongique

Bien que les moisissures soient absentes dans l'échantillon BNF, elles ont été détectées dans presque tous les échantillons de BF. Les espèces de moisissures du BF appartiennent aux genres *Aspergillus*, *Mucor* et *Rhizopus* comme rapporté par Merabti (2015).

L'échantillon du BNF contenait une charge faible de levure ($0,54 \times 10^2$ UFC/g). Une augmentation ($p < 0,05$) a été notée pour les échantillons AV après 6 et 9 mois de fermentation ($3,06 \times 10^2$ et 14×10^2 UFC/g, respectivement). À la fin de la période de fermentation, la charge de levure a diminué significativement pour atteindre $0,41 \times 10^2$ UFC/g. Les espèces de levures du BF signalées par Merabti (2015) appartiennent à *Candida*, *Pichia* et *Hansenula*.

La charge de la flore fongique dans les échantillons de BF ne dépassait pas 10^3 UFC/g. Cette valeur est conforme aux limites microbiologiques standards (10^2 – 10^3 UFC/g) (Barthe *et al.*, 2009).

Au cours de la fermentation, les champignons ont progressivement disparu en raison de la production de composés naturels antifongiques (acides organiques, CO₂, peroxyde d'hydrogène, diacétyl, éthanol et bactériocines) qui rendent le produit plus sûr pour la consommation (Haas *et al.*, 1989 ; Mandal *et al.*, 2013 ; Crowley *et al.*, 2013 ; Giraffa, 2014 ; Nachi *et al.*, 2018 ; Afzali *et al.*, 2020).

1.3. Flore lactique

Nous avons révélé le succès de la vitalité des BL qui ont été augmenté rapidement malgré leurs charges initiales (7 UFC/g et 4 UFC/g pour les bacilles et les cocci, respectivement). Les BL sont devenus la principale flore microbienne dans cette fermentation spontanée. Le grain de blé est naturellement contaminé par des bactéries du sol telles que *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* et *Streptococcus*, alors que les grains ne constituent pas un environnement favorable pour les microorganismes pathogènes ou toxigènes tels que *Salmonella*, *Clostridium* et *Staphylococcus* (Alfonzo *et al.*, 2013; Merabti *et al.*, 2015).

Les BL sont les principaux acteurs considérés comme *Generally Recognized As Safe* (GRAS) de la transformation naturelle des produits agricoles et primaires en aliments sûrs, délicieux et de longue conservation pour la consommation humaine (**Kröckel, 2013**).

La plupart des espèces de BL vivent sur un métabolisme de fermentation avec des rendements énergétiques inférieurs. Cependant, le stress naturel comme l'acidité générée par les BL pourrait également entraîner une diminution spectaculaire de leur croissance, comme nous l'avons constaté pendant la période de fermentation (**Carr et al., 2002 ; Guyot, 2010 ; Guyot, 2012 ; Tamang, 2010a ; Tamang, 2010b ; Merabti et al., 2015**).

Le nombre de BL dans les échantillons de BF est inférieur à celui rapporté par dans d'autres aliments et boissons fermentés à base de céréales fermentés traditionnellement comme : *Hussuwa* (pâte fermentée à base du sorgho) (**Mugula et al., 2003**), *Ben- Saalga* (boisson fementée à base de millet de perle) (**Tou et al., 2006**) et *Togwa* (boisson fementée à base de maïs) (**Yousif et al., 2010**). Pour ces études, le nombre de BL était généralement surveillé pendant des heures, des jours ou un maximum d'un mois, alors que nos résultats étaient obtenus après une longue période de fermentation (une année) et ils étaient satisfaisants. **Rezac et al. (2018)** ont rapporté que les céréales fermentées contenaient des BL et de la FTAM dans un intervalle compris entre 10^5 et 10^9 UFC/g.

Tableau 8. Evolution de la flore microbienne (UFC/g) du blé dur au cours de la fermentation

Temps (mois)	FTAM ($\times 10^2$)	Moisissures ($\times 10^2$)	Levures ($\times 10^2$)	Bactéries lactiques	
				Bacilles ($\times 10^4$)	Coques ($\times 10^4$)
0	$1,54 \pm 0,053^a$	$0,00 \pm 0,00^a$	$0,54 \pm 0,05^{bcd}$	$0,0007 \pm 1,15^a$	$0,0004 \pm 0,57^a$
<i>Sans vinaigre</i>					
3	$4,80 \pm 0,20^a$	$0,085 \pm 0,005^b$	$0,64 \pm 0,02^{bcd}$	Uncountable	$112,50 \pm 0,03^a$
6	$9,66 \pm 0,053^b$	$0,10 \pm 0,00^b$	$0,74 \pm 0,02^{cd}$	$12,3 \pm 0,41^{ab}$	$2,93 \pm 0,04^a$
9	$14,00 \pm 0,20^c$	$0,105 \pm 0,012^{bc}$	$0,82 \pm 0,03^d$	$333 \pm 0,57^d$	$174 \pm 0,05^a$
12	$1,65 \pm 0,32^a$	$0,00 \pm 0,00^a$	$0,00 \pm 0,00^a$	$26,2 \pm 0,12^{bc}$	$4,41 \pm 0,01^a$
<i>Avec vinaigre</i>					
3	$3,30 \pm 0,10^a$	$0,14 \pm 0,02^{cd}$	$0,37 \pm 0,05^b$	$0,34 \pm 0,20^a$	$44002,55 \pm 0,31^d$
6	$14,66 \pm 3,05^c$	$0,00 \pm 0,00^a$	$3,06 \pm 0,30^f$	$753 \pm 0,11^e$	$12400 \pm 0,05^c$
9	$9,00 \pm 0,30^b$	$0,16 \pm 0,02^d$	$14,00 \pm 0,20^e$	Uncountable	$1700 \pm 0,05^b$
12	$3,08 \pm 1,09^a$	$0,07 \pm 0,02^b$	$0,41 \pm 0,03^{bc}$	$36 \pm 0,16^c$	$9,21 \pm 0,02^a$

Les valeurs dans une colonne avec la même lettre ne sont pas significativement différentes ($p > 0,05$) ; UFC/g : unités formant des colonies par gramme ; Indénombrable : > 300 colonies par boîte.

1.4. Caractéristiques morphologiques et physiologiques des isolats de BL

Un total de 13 isolats de BL a été sélectionné à partir de différents échantillons de BNF et soumis à une coloration de Gram et examinés au microscope. Ils ont tous des bactéries Gram-positives et immobiles (Figure 15, Tableau 9).

Les souches caractérisées possèdent deux types de formes de colonies : cocci (7/13) ou de bâtonnets courts (6/13). Les souches avaient une couleur blanche (8 /13) ou une couleur jaune (5/13). Leur surface était lisse, brillante et bombée. Le mode de groupement cellulaire présent des morphologies différentes : (i) groupées en chaîne courte et longue, (ii) en paire, tétrade, chaîne courte et (iii) paire et chaîne.

Tous les isolats sont catalase négative et mannitol positive. La plupart des souches (11/13) sont capables de se développer entre 10 et 45°C et elles ont montré une résistance à la température de 63,5°C. **Tailliez (2004)** et **Badis et al. (2004)** ont indiqué que les lactobacilles prolifèrent dans la plage de température optimale qui varie de 15 à 42 °C, et que certaines souches de « *Lactobacilles thermophiles* » restent viables à 55 °C.

La capacité de croissance à haute température est une caractéristique souhaitable qui pourrait augmenter la croissance des bactéries et la production d'acide lactique, d'acide acétique, de saveur et d'arôme. Elle affecte également la durée de conservation et le goût du produit en raison de la production continue d'acide lactique, ce qui pourrait réduire les risques de contaminations par d'autres microorganismes (**Bisen, 2015**).

La majorité des isolats (9/13) sont HoF, et seulement quatre isolats sont HéF (produisant, en plus de l'acide lactique, de l'acétate, de l'éthanol et du CO₂). Cela contribue à la création d'une atmosphère confinée par l'accumulation de CO₂ dans les jerricans, ce qui pourrait avoir un impact considérable sur leur viabilité et leur activité métabolique (**Haas et al. (1989)**). Il pourrait également affecter la croissance fongique en présence d'autres facteurs tels que l'acidité et la pression osmotique, révélant sa nocivité pour les moisissures et les levures en tant qu'activité antifongique (**Mandal et al., 2013 ; Crowley, et al., 2013 ; Bisen, 2015**). Les espèces HoF et HéF des BL sont généralement associées ensemble, et la plupart des groupes de HoF comprennent *Lactococcus*, *Streptococcus* et *Pediococcus*, ainsi que certains *Lactobacillus*. Les bactéries HéF sont *Leuconostoc*, *Betabacterium* et *Lactobacillus* (**Badis et al., 2004**).

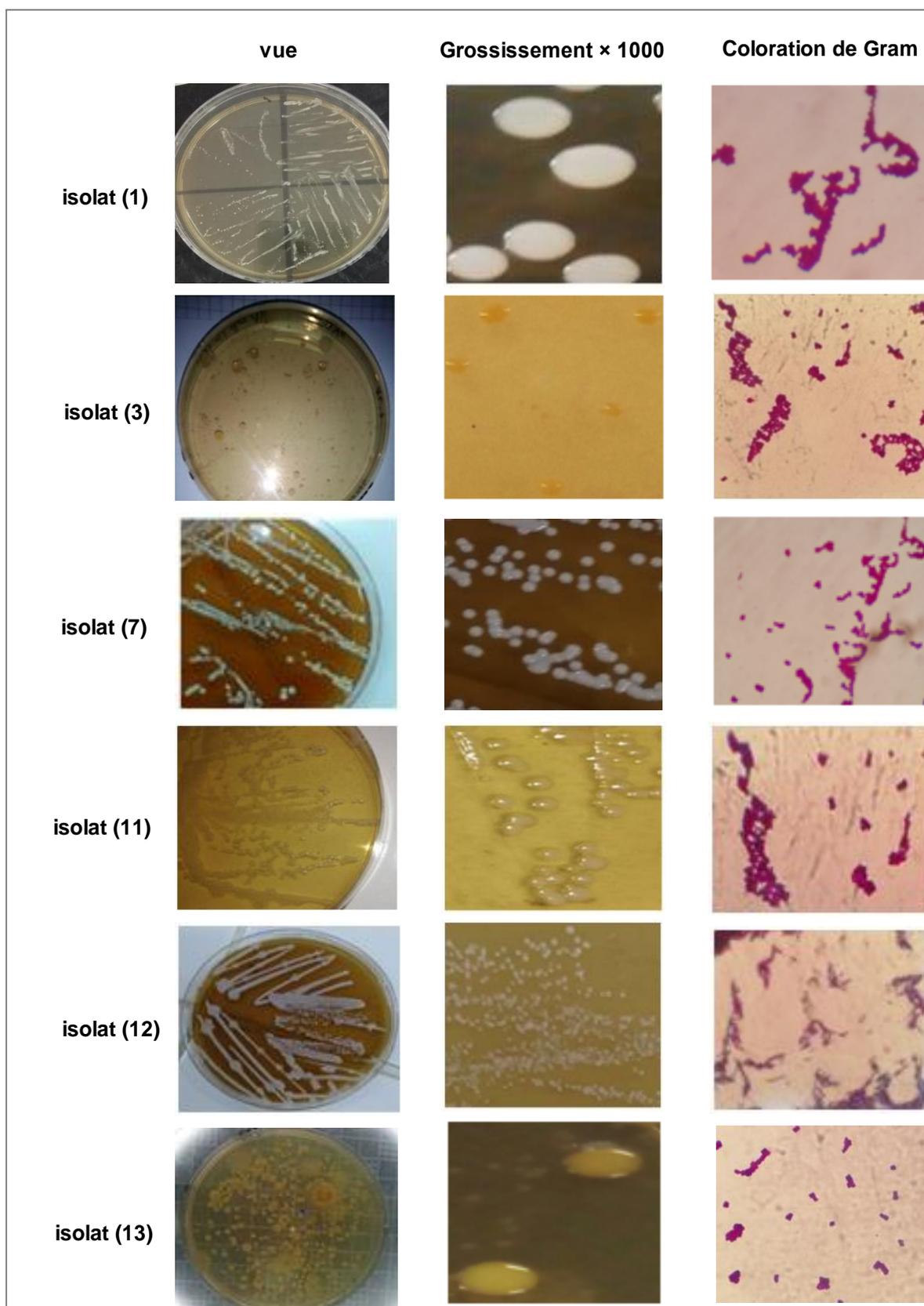


Figure 15. Caractéristiques des colonies et vue microscopique (× 1000) de l'isolat BL après coloration de Gram.

Tableau 9. Caractéristiques morphologiques et physiologiques des isolats des BL à partir des échantillons du blé dur au cours de la fermentation

Temps (mois)	Code d'isolats (BL)	Présence de vinaigre	Milieu	Couleur et forme de colonie	Groupement cellulaire	Croissance (°C)			Survie (°C) 63,5	Fermentation du mannitol	Fermentation du glucose
						10	15	45			
3	1	+	M17	B/Co/LB	A	+	+	+	+	+	HoF
3	2	-	MRS	B/ BBC/LB	B	+	+	+	+	+	HoF
6	3	+	MRS	J/ BBC/LB	C	+	+	+	+	+	HéF
6	4	-	M17	J/Co/LB	C	-	+	+	+	+	HéF
9	5	+	MRS	B/ BBC/LB	A	+	+	+	+	+	HoF
9	6	+	M17	J/ Co/LB	B	+	+	+	+	+	HoF
9	7	-	MRS	J/ BBC/LB	C	+	+	+	+	+	HoF
12	8	+	M17	B/Co/LB	A	+	+	+	+	+	HéF
12	9	+	MRS	J/ BBC/LB	B	+	+	+	+	+	HoF
12	10	+	MRS	J/ BBC/LB	B	+	+	+	+	+	HéF
12	11	-	M17	B/Co/LB	A	+	+	+	+	+	HoF
12	12	-	M17	B/Co/LB	C	+	+	+	+	+	HoF
12	13	+	M17	J/ Co/LB	C	-	+	+	+	+	HoF

MRS (deMan, Rogosa Sharpe Medium) et M17 : milieu de croissance bactérienne pour BL ; B : blanc ; J : jaune ; Co: cocci; BBC : bacilles à bâtonnets courts ; LB : lisse et brillant ; A : chaîne courte et longue ; B : paires et chaîne ; C : paire, tétrade et chaîne courte; HoF : homofermentaire ; HéF: hétérofermentaire ; + : résultat positif ; - : résultat négatif.

2. Propriétés biochimiques

2.1. Teneur en eau

La Te a augmenté significativement au cours des trois premiers mois de fermentation passant de 12,41% à 16,51% (Tableau 10). Cela est dû à l'immersion des grains de blé dur dans l'eau pendant le processus de fermentation ce qui favorise un environnement très humide au niveau des grains. Des résultats similaires ont été trouvés par **Merabti (2015)**. Après le troisième mois, la Te a diminué par l'échange entre l'humidité de grain de blé et de l'environnement à cause de différence de concentration en humidité (**Ampratwum, 1976**). À la fin de la fermentation, les échantillons de BF sont humides et nécessitent un séchage pour atteindre les normes d'utilisation optimale (**FAO, 1996**).

Les valeurs de Te des échantillons BF après le séchage variaient entre 9,70% et 10,80%. Ces résultats sont conformes à la norme Codex STAN 202-1995 pour le blé dur (teneur en eau $\leq 14,5\%$) (**Codex Alimentarius, 2007**), permettant une bonne conservation du produit. Ces valeurs étaient inférieures à celles rapportées par **Doukani et al. (2013)** pour le BF durant une période de trois mois (11,89%), **Gourchala et al. (2014)** pour le BF durant cinq ans (12,25%) et **Mokhtari et al. (2020)** pour le BF durant neuf ans (14,96%). **Merabti (2015)** a rapporté une teneur en eau qui varie de 8,21 à 9,87% pour le BF durant 24 mois.

2.2. pH et teneur en acidité titrable totale

Les valeurs de pH ont diminué significativement pendant la fermentation indépendamment de l'ajout de vinaigre. Le pH a passé de 6,48 pour le BNF à 5,47 et 5,50 après 12 mois de fermentation pour les échantillons SV et AV respectivement. Nos résultats sont supérieurs à ceux rapportés par **Merabti (2015)** des échantillons de BF dans les bidons en plastique pendant 3-24 mois (4.02-4.95). En comparant nos résultats avec ceux qui étudient les échantillons BF à l'intérieur du *Matmor*, il semble que les valeurs de pH soient supérieures à celles trouvées par **Doukani et al. (2013)** durant trois mois (4,45), et par **Mokhtari et al. (2020)** durant neuf ans (5,23). Cependant, nos résultats sont inférieurs à ceux rapportés par **Gourchala et al. (2014)** durant cinq ans (5,63).

La TAT a diminuée significativement de 0,01% pour le BNF à 0,44% après 12 mois de fermentation indépendamment de l'ajout de vinaigre. Nos résultats sont similaires

à ceux rapportés dans des études précédentes, allant de 0,01% à 0,39% (**Doukani et al., 2013 ; Gourchala et al., 2014 ; Mokhtari et al., 2020**).

L'accumulation d'acides organiques entraîne une réduction significative des valeurs de pH, inhibant ainsi les microorganismes pathogènes et contribuant à la conservation des aliments. De plus, les souches du BL ont à grand effet sur cette acidification chimique via la fermentation des glucides en acides organiques, qui contribuent au goût acide agréable de nombreux aliments fermentés (**Mugula et al., 2003 ; Tou et al., 2006 ; Kohajdova et Karovičová, 2007 ; Yousfi, 2002 ; Doukani et al., 2013 ; Gourchala et al., 2014 ; Merabti et al., 2015**).

2.3. Protéines totaux

La TPT a été marquée par deux étapes, indépendamment de l'ajout de vinaigre : une phase de diminution ($p < 0,05$) de 13,20% à 12,90% et 12,80% pendant les premiers trois mois de fermentation SV et AV respectivement. Une augmentation subséquente du 3^{ème} mois à la fin de la fermentation, atteignant 14,90% et 15,50% pour les échantillons de BF AV et SV respectivement.

Des résultats similaires ont été rapportés dans des études antérieures, bien que la durée et les méthodes de fermentation soient différentes. De 17,17% à 10,29% (**Doukani et al., 2013**), de 15,04% à 12,76% (**Mokhtari et al., 2020**), et de 10,01% à 9,33% (**Merabti, 2015**) en phase de diminution, et de 15,33% à 16,08% (**Gourchala et al., 2014**) en phase d'augmentation.

La diminution des taux de protéines au cours des premiers mois de fermentation est liée à leur hydrolyse par l'activité catabolique des levures et des BL (protéolytique), non seulement comme source d'azote mais aussi pour le métabolisme énergétique (**Kamal-Eldin, 2012**). Un pH bas favorise également les protéases endogènes des céréales par dépolymérisation et solubilisation des protéines du gluten (**Gourchala et al., 2014**).

L'augmentation du TPT est probablement due à l'accumulation d'acides aminés qui agissent comme précurseurs d'arômes et d'autres produits azotés issus du métabolisme des BL. La lyse des cellules par une charge microbienne élevée peut entraîner une augmentation des molécules d'azote (**Mugula et al., 2003**).

En effet, la méthode de Kjeldahl a évalué l'azote total (NT) après minéralisation et a permis de quantifier l'azote non protéique.

Les différentes activités protéolytiques améliorent la digestibilité des protéines et la valeur nutritionnelle par la disponibilité de la lysine, de la méthionine et du tryptophane à partir des céréales (**Blandino et al., 2003 ; Ardö, 2004 ; Gänzle et al., 2007 ; Kohajdova et Karovičová, 2007 ; Doukani et al., 2013 ; Gänzle, 2014 ; Mokhtari et al., 2020**).

2.4. Lipides totaux

La TLT a diminué de manière significative de 4,66% à 1,50% pour les échantillons de BF après 12 mois de fermentation, indépendamment de l'ajout de vinaigre. **Doukani et al. (2013)** ont rapporté des résultats similaires, tandis que **Mokhtari et al. (2020)** ont signalé une augmentation de la teneur en matières grasses après la fermentation. Une ré-augmentation a été notée après 3^{ème} mois, ce qui pourrait s'expliquer par l'extraction des lipides localisés dans le germe et la couche d'aleurone. De plus, la fraction liée à l'amidon est probablement libérée par les activités amylolytiques des BL et des enzymes endogènes pendant la fermentation (**Saulnier, 2012**).

Les lipides des grains s'avèrent particulièrement sensibles à la dégradation des microorganismes. Les *pseudomonas* et les *flavobactéries* ainsi que certaines moisissures et levures (*Rhizopus*, *Aspergillus*, *Geotrichum*, *Penicillium*, *Pichia*) synthétisent des lipases extracellulaires capables de métaboliser les lipides présents dans l'environnement (**Shahidan et al., 2011 ; Tiwari et Upadhyay, 2012 ; Doukani et al., 2013**).

La lipolyse est importante dans le développement de la texture et de la saveur des produits fermentés. La dégradation est appréciable car elle libère des acides gras, des aldéhydes et des esters qui contribuent à développer le goût acidulé et donc l'acceptabilité du produit par le consommateur (**Kamal-Eldin, 2012 ; Endo et Dicks, 2014**).

2.5. Glucides totaux

La TGT a augmenté significativement au cours de la fermentation passant de 68,70% à 75,03% pendant les trois premiers mois, ce qui peut être dû à l'accumulation de monosaccharides résultant de la dégradation de l'amidon et d'autres sucres (**Bothast, 1978 ; Nout et Ngoddy, 1997 ; Dunford, 2012**). Après, nous avons noté une diminution non significative du TGT expliquée par la production d'acides organiques en raison de l'activité amylolytique des BL (**Gourchala et al., 2014 ; Merabti, 2015**).

2.6. Amidon

Une diminution significative de l'amidon a été observée au cours de la fermentation avec vinaigre passant de 70,69% pour le BNF à 50,08% après 6 mois de fermentation. La réduction de l'amidon a été également mentionnée par **Gourchala et al. (2014)**. De nombreuses études confirment la dégradation de l'amidon par les BL amylolytiques (*Lactobacillus* et *Streptococcus*), les levures, ou les activités enzymatiques endogènes du grain de blé. Il semble jouer un rôle important dans le microbiote des céréales fermentées en rendant disponibles les substrats nécessaires à la croissance des BL non amylolytiques (**Cereda et Takahashi, 1996 ; Guiraud, 2003 ; Diaz-Ruiz et al., 2003 ; Songré-Quattara et al., 2008 ; Bauer et al., 2010 ; Guyot, 2010 ; Guyot, 2012 ; Gänzle et Follador, 2012 ; Gänzle, 2014**).

La modification de l'amidon, qui serait liée à une dégradation significative de la teneur en amylose et amylopectine qui est la fraction dominante et la plus assimilable, se traduit par une faible charge glycémique après la consommation de *Lemzeiet*, qui conduit à la production des produits améliorés pour la santé, d'où l'intérêt des diabétiques pour ce produit local (**Gourchala et al., 2014**).

2.7. Cendres

Après 6 et 9 mois de fermentation, indépendamment de l'ajout de vinaigre, les échantillons de BF avaient une teneur en cendres significativement plus élevée (1,41% - 1,45%) que l'échantillon de BNF (0,91%). Après le 9^{ème} mois de fermentation, la teneur en cendres a significativement diminué, atteignant respectivement 0,90% et 0,76% pour la fermentation avec et sans vinaigre. **Doukani et al. (2013)** et **Gourchala et al. (2014)** ont rapporté une augmentation de la teneur en cendres pour les échantillons de BDF, respectivement de 0,6% à 0,85% et de 1,71% à 1,72%. Cette augmentation pourrait être liée à la libération de cations polyvalents tels que le fer, le zinc, le calcium et le magnésium suite à la réduction des phytates (**Blandino et al., 2003 ; Tou et al., 2006 ; Kayodé et al., 2007**). Au contraire, **Mokhtari et al. (2020)** ont enregistré une teneur en cendres plus faible dans les échantillons de BF. Nos résultats sont en concordance avec la norme du Codex Alimentarius (**FAO, 1996**) pour le blé dur ($\leq 2,1\%$).

Tableau 10. Évolution des propriétés biochimiques du blé dur au cours de la fermentation sans vinaigre ou avec vinaigre

Temps (mois)	Te (1)	Te (2)	PH	TAT (%)	TPT (%)	TLT (%)	TGT (%)	TAm (%)	TCd (%)
0	12,41± 0,00 ^{bc}	12,41± 0,00 ^d	6,48 ± 0,24 ^d	0,01 ± 0,003 ^a	13,20 ± 0,10 ^b	4,66 ± 0,06 ^e	68,70 ± 0,16 ^a	70,69 ± 0,20 ^d	0,91± 0,01 ^{bc}
<i>Sans vinaigre</i>									
3	16,51 ± 0,00 ^d	10,70 ± 0,10 ^c	5,76 ± 0,01 ^{ab}	0,16 ± 0,15 ^{ab}	12,90 ± 0,10 ^a	1,00 ± 0,00 ^a	74,27 ± 0,15 ^f	68,90 ± 0,95 ^{cd}	0,96 ± 0,04 ^{cd}
6	13,00 ± 0,00 ^c	10,70 ± 0,26 ^c	5,77 ± 0,05 ^{ab}	0,24 ± 0,15 ^{ab}	13,82 ± 0,04 ^c	1,94 ± 0,04 ^d	68,28 ± 0,23 ^a	70,48 ± 0,89 ^d	1,45 ± 0,01 ^g
9	13,00 ± 0,00 ^c	10,70 ± 0,00 ^c	5,80 ± 0,10 ^{bc}	0,24 ± 0,10 ^{ab}	15,82 ± 0,03 ^f	1,54 ± 0,12 ^c	70,82 ± 0,09 ^b	57,84 ± 1,85 ^b	1,00 ± 0,06 ^d
12	12,00 ± 0,17 ^{ab}	10,80 ± 0,10 ^c	5,47 ± 0,06 ^a	0,44 ± 0,27 ^c	15,50 ± 0,10 ^e	1,50 ± 0,20 ^{bc}	71,35 ± 0,24 ^c	67,30 ± 0,80 ^{cd}	0,76 ± 0,02 ^a
<i>Avec vinaigre</i>									
3	16,01± 0,17 ^d	10,10 ± 0,10 ^b	5,87 ± 0,01 ^c	0,25 ± 0,15 ^{ab}	12,80 ± 0,10 ^a	1,00 ± 0,17 ^a	75,03 ± 0,21 ^g	65,00 ± 3,00 ^c	0,93 ± 0,00 ^{bc}
6	11,50 ± 0,20 ^a	9,70 ± 0,00 ^a	5,89 ± 0,01 ^c	0,16 ± 0,15 ^{ab}	17,46 ± 0,06 ^g	1,86 ± 0,26 ^d	73,10 ± 0,01 ^e	50,08 ± 0,88 ^a	1,41 ± 0,01 ^f
9	12,51± 0,30 ^{bc}	10,10 ± 0,13 ^b	5,80 ± 0,17 ^{bc}	0,15 ± 0,01 ^{ab}	15,40 ± 0,10 ^e	1,28 ± 0,02 ^b	71,95 ± 0,08 ^d	68,96 ± 0,94 ^{cd}	1,15 ± 0,06 ^e
12	12,33 ± 0,57 ^b	10,50 ± 0,10 ^c	5,50 ± 0,10 ^a	0,44 ± 0,28 ^c	14,90 ± 0,10 ^d	1,50 ± 0,10 ^{bc}	72,11± 0,09 ^d	55,10 ± 0,86 ^b	0,90 ± 0,01 ^b

Les valeurs dans une colonne avec la même lettre ne sont pas significativement différentes ($p > 0,05$) ; Te (1) : teneur en eau (1= avant séchage) ; Te (2) : teneur en eau (2= après séchage) ; TAT : teneur en acidité titrable ; TPT : teneur en protéines totaux ; TLT : teneur en lipides totaux ; TGT : teneur en glucides totaux ; TAm : teneur en amidon ; TCd : teneur en cendres.

Partie 3.

Effet de la fermentation sur les propriétés du couscous *Lemzeïet*

1. Rendement en couscous

Le Rdt en couscous variait de 78,92 à 98,99% sans aucune différence significative entre les échantillons, ce qui peut être dû à la similitude dans la proportion de la SF et la SG. L'application du même taux d'hydratation et du même nombre de recyclages de la semoule peut contribuer à ce résultat comme rapporté par **Yousfi (2002)**.

Le Rdt moyen était de 87,25%, ce qui est inférieur de celui rapporté par **Bekhouche et al. (2013)** pour le couscous *Lemzeïet* (93,13%) et supérieur aux rendements trouvés pour le CBD : 72,09% (**Bahchachi, 2002 ; Mezroua, 2011**) et 82,03% (**Benatallah et al., 2008**).

La fabrication traditionnelle permet une perte moyenne qui n'est pas excessif, compte tenu, qu'il est peut être incorporée à d'autres préparations alimentaires selon les habitudes des ménages (**Benatallah et al., 2008 ; Bekhouche et al., 2013 ; Chemache et al., 2018**).

2. Caractéristiques technologiques

2.1. Caractéristiques granulométriques

La DG est un test important pour prédire les caractéristiques de qualité du couscous. En raison du manque de données sur le couscous *Lemzeïet*, nous avons comparé nos résultats à ceux rapportés dans différentes études sur le CBD traditionnel.

Tous les échantillons CL étaient caractérisés par des distributions granulométriques similaires, relativement droites et monomodales. Ces résultats ont été confirmés par une ANOVA à deux facteurs (**Annexe 4**) qui a montré que le temps de fermentation et l'ajout de vinaigre n'avaient aucun effet significatif sur tous les descripteurs de taille de particules (**Figure 16**). La préparation des échantillons de CL par le même opérateur dans les mêmes conditions de fabrication pourrait expliquer les résultats obtenus puisque la granulométrie du couscous dépend du temps de roulage et de malaxage (**Guezlane, 1993**).

Les échantillons de CL avaient des valeurs élevées de : d₉₀, d₅₀ et d₁₀ (respectivement 1648 µm, 1315 µm et 997 µm comme valeur moyenne) (**Tableau 11**), indiquant que 80% (volume) des particules ont des diamètres compris entre 996 et 1649 µm. Cet intervalle est compris entre 630 µm et 2000 µm (avec une tolérance de 6%), spécifié par la norme Codex STAN 202-1995 (**Codex Alimentarius, 2007**).

Selon **Bekhouche et al. (2013)**, 50,11% des tailles de grains de *Lemzeïet* sont comprises entre 1523 μm et 2532 μm . De plus, sur la base des résultats de l'étude de **Guezlane (1993)** qui a rapporté que le d50 du CBD traditionnel de granulométrie moyenne était de 960-1100 μm , et l'étude de **Hebrard (2002)** qui a mentionné une granulométrie de 1000 à 2000 μm pour le couscous moyen, nous pouvons confirmer que tous les échantillons CL correspondaient à la catégorie moyenne.

Les valeurs de span étaient proches de 0,5 ce qui caractérise le couscous comme l'ont rapporté par **Chemache et al. (2019)** et **Boucheham et al. (2019)**.

2.2. Caractéristiques de la forme des particules

Les particules Min et Max des échantillons de CL ont un EQPC moyen de 820 μm et 2054 μm , respectivement (**Figure 17**). Ceci est en accord avec la distribution de taille mesurée. L'ANOVA à deux facteurs a montré un effet significatif du temps de fermentation sur tous les descripteurs de forme sauf RA. En revanche, l'ajout de vinaigre n'a eu aucun effet significatif sur tous les descripteurs de forme. CL12SV avait un EQPC significativement inférieur à celui de CL9SV (**Tableau 12**). Cela pourrait s'expliquer par sa plus faible sphéricité et sa plus grande fermeté comme le montre l'évaluation sensorielle. En effet, une corrélation positive a été trouvée entre l'EQPC et la sphéricité ($r = 0,66$).

Les particules de CL sont généralement régulières, homogènes, sphériques et non convexes (les valeurs des descripteurs de forme sont proches de 1). Le couscous est de bonne qualité lorsque la granulométrie est uniforme, avec une prédominance de formes arrondies et allongées (**Guezlane et al., 1986 ; Ounane et al., 2006**). Cependant, les valeurs de R comprises entre 0,102 μm et 0,186 μm ($<0,20 \mu\text{m}$) indiquent une forme angulaire et des particules non rondes qui contiennent de nombreux coins concaves (**Mora et Kwan, 1999 ; Arasan et al., 2011**).

Les valeurs de R peuvent être justifiées par la présence de quelques régions convexes (les coins concaves ont deux coins convexes consécutifs) résultant de la formation d'agrégats lors de la coalescence entre les fines et les grosses particules de semoule. La semoule fine s'hydrate plus facilement mais a tendance à s'agglutiner, tandis que la semoule grosse absorbe l'eau lentement et ne forme pas de grumeaux (**Barkouti, 2012**). Les régions angulaires influencent la distance minimale de contact entre deux particules et modifient l'aire de contact, et donc les forces de cohésion interparticulaire (**Bocquet et al., 2002**).

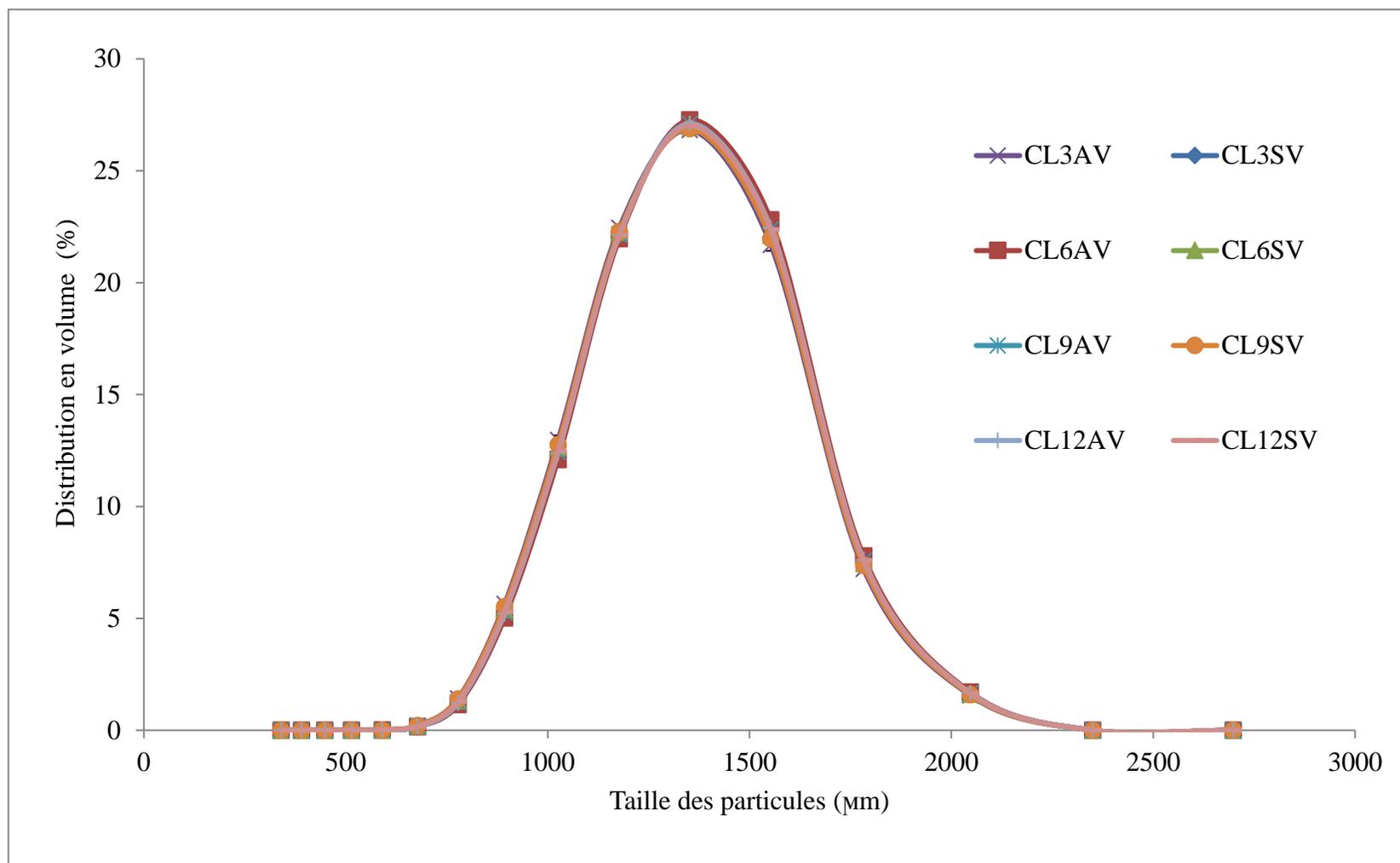


Figure 16. Distribution granulométrique des échantillons de couscous *Lemzeïet* (les résultats ont été exprimés en pourcentage volumique (%) en fonction du diamètre granulométrique (µm)).

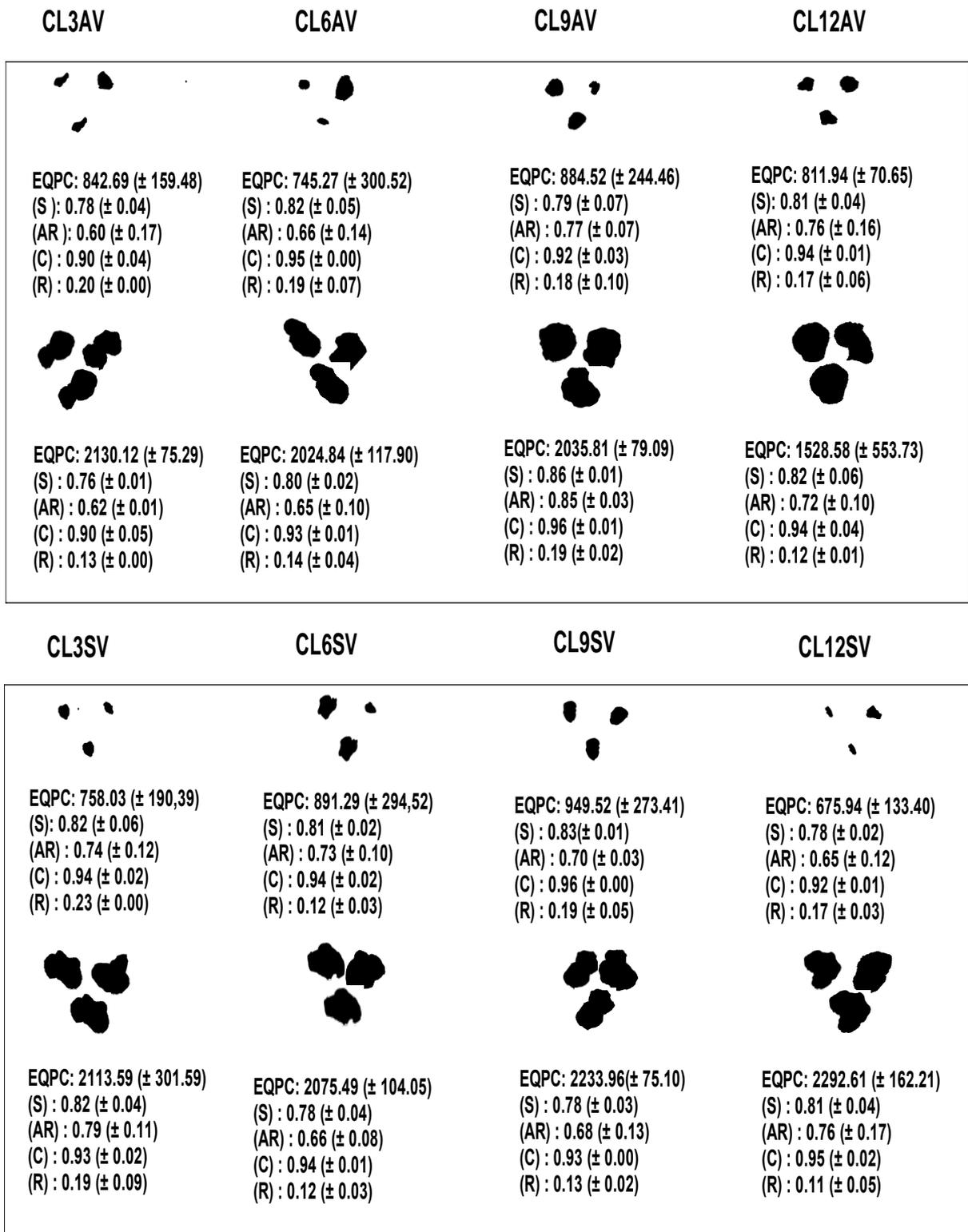


Figure 17. Image des particules avec des descripteurs de forme correspondant aux particules les plus petites (Min) et les plus grandes (Max) mesurées dans les échantillons de couscous *Lemzeïet*

Tableau 11. Descripteurs de la taille des particules des échantillons de couscous *Lemzeïet*

Echantillons	d10 (µm)	d50 (µm)	d90 (µm)	Span
CL3AV	988,629 ± 3,734 ^a	1307,108 ± 3,682 ^a	1640,601 ± 2,604 ^a	0,498 ± 0,002 ^a
CL6AV	1002,809 ± 9,936 ^a	1322,052 ± 10,691 ^a	1651,891 ± 8,276 ^a	0,491 ± 0,005 ^a
CL9AV	1002,261±10,836 ^a	1321,820 ± 11,323 ^a	1651,521 ± 8,481 ^a	0,491 ± 0,006 ^a
CL12AV	998,421± 11,007 ^a	1317,308 ± 12,160 ^a	1648,659 ± 9,519 ^a	0,493 ± 0,006 ^a
CL3SV	1000,722 ± 8,768 ^a	1311,603 ± 9,716 ^a	1650,121 ± 7,702 ^a	0,492 ± 0,004 ^a
CL6SV	994,027 ± 9,515 ^a	1313,035 ± 10,548 ^a	1645,240 ± 8,286 ^a	0,496 ± 0,005 ^a
CL9SV	990,832 ± 3,166 ^a	1310,553 ± 2,786 ^a	1643.596 ± 1,849 ^a	0,498 ± 0,002 ^a
CL12SV	996,267 ± 9,530 ^a	1316,113 ± 10,300 ^a	1648,237 ± 8,044 ^a	0,495 ± 0,005 ^a

Les valeurs dans les colonnes avec la même lettre ne sont pas significativement différentes ($p > 0,05$)

Tableau 12. Descripteurs de la forme des particules des échantillons de couscous *Lemzeïet*

Échantillons	EQPC ($\times 10^2 \mu\text{m}$)	RA	S	C	R
CL3AV	14,747 \pm 0,909 ^{ab}	0,749 \pm 0,038 ^a	0,837 \pm 0,003 ^{abc}	0,956 \pm 0,001 ^{ab}	0,184 \pm 0,000 ^b
CL6AV	14,986 \pm 0,275 ^{ab}	0,773 \pm 0,007 ^a	0,844 \pm 0,001 ^{bc}	0,961 \pm 0,001 ^{ab}	0,102 \pm 0,075 ^a
CL9AV	15,084 \pm 0,305 ^{ab}	0,759 \pm 0,032 ^a	0,846 \pm 0,005 ^c	0,962 \pm 0,002 ^b	0,186 \pm 0,003 ^b
CL12AV	14,644 \pm 0,486 ^{ab}	0,755 \pm 0,029 ^a	0,832 \pm 0,009 ^{ab}	0,958 \pm 0,004 ^{ab}	0,153 \pm 0,005 ^{ab}
CL3SV	14,667 \pm 0,125 ^{ab}	0,750 \pm 0,024 ^a	0,846 \pm 0,002 ^c	0,961 \pm 0,002 ^{ab}	0,183 \pm 0,003 ^b
CL6SV	14,712 \pm 0,198 ^{ab}	0,750 \pm 0,024 ^a	0,837 \pm 0,006 ^{abc}	0,959 \pm 0,002 ^{ab}	0,162 \pm 0,002 ^{ab}
CL9SV	15,502 \pm 0,180 ^b	0,750 \pm 0,023 ^a	0,847 \pm 0,002 ^c	0,962 \pm 0,000 ^b	0,175 \pm 0,002 ^b
CL12SV	14,067 \pm 0,457 ^a	0,760 \pm 0,008 ^a	0,830 \pm 0,003 ^a	0,956 \pm 0,001 ^a	0,159 \pm 0,002 ^{ab}

Les valeurs dans une colonne avec la même lettre ne sont pas significativement différentes ($p > 0,05$) ; RA : rapport d'aspect ; les valeurs de sphéricité (S), de convexité (C) et de rondeur (R) sont comprises entre [0 - 1].

2.3. Couleur

La couleur du couscous est un paramètre de qualité critique pour l'acceptabilité et la préférence des consommateurs (Nani et Krishnaswamy, 2021). La couleur du couscous est comparable aux valeurs de la couleur du blé dur d'origine, où la couleur jaune clair est généralement préférée (Guezlane, 1993). Avec leur coloration brune caractéristique, les échantillons CL présentaient une faible luminosité (25,49 - 29,71), un indice de brunissement élevé (BI > 70), un faible jaunissement (15,73 - 20,97) et des valeurs a^* positives (8,87 - 11,42) (Tableau 13). Ces résultats sont à l'opposé de CBD artisanal qui a une luminosité L^* élevée (30 - 75), un indice de jaune élevé (25 - 45) et des valeurs a^* faibles (0 - 4) (Debbouz et Donnelly, 1996 ; Hammami et al., 2022).

La couleur brune ou foncée est également appréciée par les consommateurs (Bekhouche et al., 2013 ; Gourchala et al., 2014 ; Merabti, 2015 ; Merabti et al., 2015 ; Mokhtari et al., 2016 ; Mokhtari et al., 2020).

Comme prévu, le temps de fermentation a eu un effet significatif sur tous les indices de couleur. Au cours des neuf premiers mois, une augmentation du temps de fermentation a entraîné une diminution de la luminosité (pour le CLAV), de l'indice de rouge et de l'indice de jaune, et une augmentation de l'IB.

Le faible indice de jaune peut être dû à la perte de pigments caroténoïdes et flavonoïdes causée par les bactéries lactiques pendant la fermentation (Bhanja et al., 2009 ; Faithong et Benjakul, 2012). Tandis que l'IB plus élevé pourrait être attribué à la couleur originale des grains de BF qui provient de l'oxydation chimique des composés phénoliques et de la production de pigments de brunissement (ô-quinones) lors de la fermentation du blé dur (Ramírez et al., 2015). Au-delà de 9^{ème} mois de fermentation, cette évolution de la couleur des échantillons semble s'inverser.

L'ajout de vinaigre a eu un effet significatif seulement sur les valeurs a^* qui étaient inférieures pour le CLAV à partir de 6^{ème} et 9^{ème} mois de fermentation.

Concernant la valeur ΔE , elle doit être supérieure à 2,3 pour une différence de couleur notable (Sharma, 2003). C'était le cas pour tous les échantillons de CL sauf un $\Delta E < 2,3$ entre CL3AV et CL6AV et entre CL3SV et CL9AV.

Tableau 13. Profil de couleur des échantillons de couscous Lemzeïet

Échantillons	L^*	a^*	b^*	IB	ΔE
CL3AV	$27,81 \pm 0,99^{abc}$	$10,06 \pm 0,18^{bc}$	$20,28 \pm 0,40^c$	$72,19 \pm 0,99^{abc}$	$> 2,3^{*1}$
CL6AV	$28,17 \pm 1,04^{abc}$	$9,52 \pm 0,22^b$	$19,72 \pm 0,48^{bc}$	$71,83 \pm 1,04^{abc}$	$> 2,3$
CL9AV	$29,72 \pm 0,88^c$	$9,62 \pm 0,22^{bc}$	$20,83 \pm 0,23^c$	$70,28 \pm 0,88^a$	$> 2,3$
CL12AV	$25,49 \pm 0,60^a$	$8,87 \pm 0,11^a$	$15,73 \pm 0,33^a$	$74,51 \pm 0,60^c$	$> 2,3$
CL3SV	$29,36 \pm 0,63^{bc}$	$9,82 \pm 0,14^{bc}$	$20,98 \pm 0,32^c$	$70,64 \pm 0,62^{ab}$	$> 2,3^{*2}$
CL6SV	$26,45 \pm 0,44^{ab}$	$10,16 \pm 0,07^c$	$18,71 \pm 0,22^b$	$73,55 \pm 0,44^{bc}$	$> 2,3$
CL9SV	$27,13 \pm 2,21^{abc}$	$11,42 \pm 0,39^d$	$20,55 \pm 0,98^c$	$72,87 \pm 2,21^{abc}$	$> 2,3$
CL12SV	$26,87 \pm 1,24^{abc}$	$9,44 \pm 0,25^{ab}$	$16,85 \pm 0,46^a$	$73,13 \pm 1,24^{abc}$	$> 2,3$

Les valeurs dans une colonne avec la même lettre ne sont pas significativement différentes ($p > 0,05$); L^* : luminosité (indice de blanc) ; a^* : indice de vert (valeur négative) et de rougeur (valeur positive) ; b^* : indice de jaune (valeur négative) et de bleu (valeur positive); IB : indice de brin ; différence totale de couleur ΔE ; *¹: sauf pour CL6AV; *²: sauf pour CL9AV.

2.4. Dynamiques de sorption de vapeur

Les courbes isothermes de sorption à 25°C (0% - 90% - 0% HR) des échantillons de CL (CL3SV, CL12SV et CL12AV) sont présentées dans la [Figure 18](#).

Trois régions peuvent être identifiées dans la courbe isotherme ; la première, dans laquelle les molécules d'eau sont les plus fortement adsorbées (de 0% à 20% d'humidité relative, HR), est la région monocouche où l'eau est liée par des liaisons hydrogènes sur les sites polaires de l'échantillon. Dans la deuxième région (de 20% à 80% HR), l'eau adsorbée en excès de la monocouche forme une multicouche (eau retenue par les composants). Au-delà de 80% HR (troisième région), l'eau condensée est maintenue dans des états faiblement liés, elle est mobile et est classiquement conçue comme de l'eau en phase massive.

Les résultats ont montré une hygroscopicité élevée pour les échantillons de CL, indiquant que leur stockage doit être situé dans la plage de 0% à 20% d'humidité relative (RH) (0 à 0,2 Aw).

Concernant l'ajustement du modèle GAB aux données d'adsorption, les paramètres GAB peuvent être observés dans le [Tableau 14](#). Les valeurs de teneur en humidité de la monocouche (M_0) sont considérées comme la capacité de sorption de l'adsorbant. Les valeurs obtenues sont du même ordre que celles obtenues pour la semoule (**Erbas *et al.*, 2005**). La sorption monocouche-multicouche est justifiée par les valeurs C et K obtenues à partir du modèle GAB. Lorsque K tend vers un, il n'y a presque plus de distinction entre les molécules multicouches et les molécules liquides. Dans ce cas, les molécules d'eau au-delà de la monocouche ne sont pas structurées en une multicouche. Les faibles valeurs de C, indiquent une petite différence d'enthalpie entre les molécules monocouches et les molécules multicouches (l'eau est faiblement liée dans la monocouche).

D'après **Blahovec et Yanniotis (2010)**, pour GAB constant $0 < C < 2$, les isothermes de sorption sont du type III (isothermes sans point d'inflexion). C'est une caractéristique de forme pour les produits à haute teneur en amidon et à structure poreuse (**Ocieczek, 2007**).

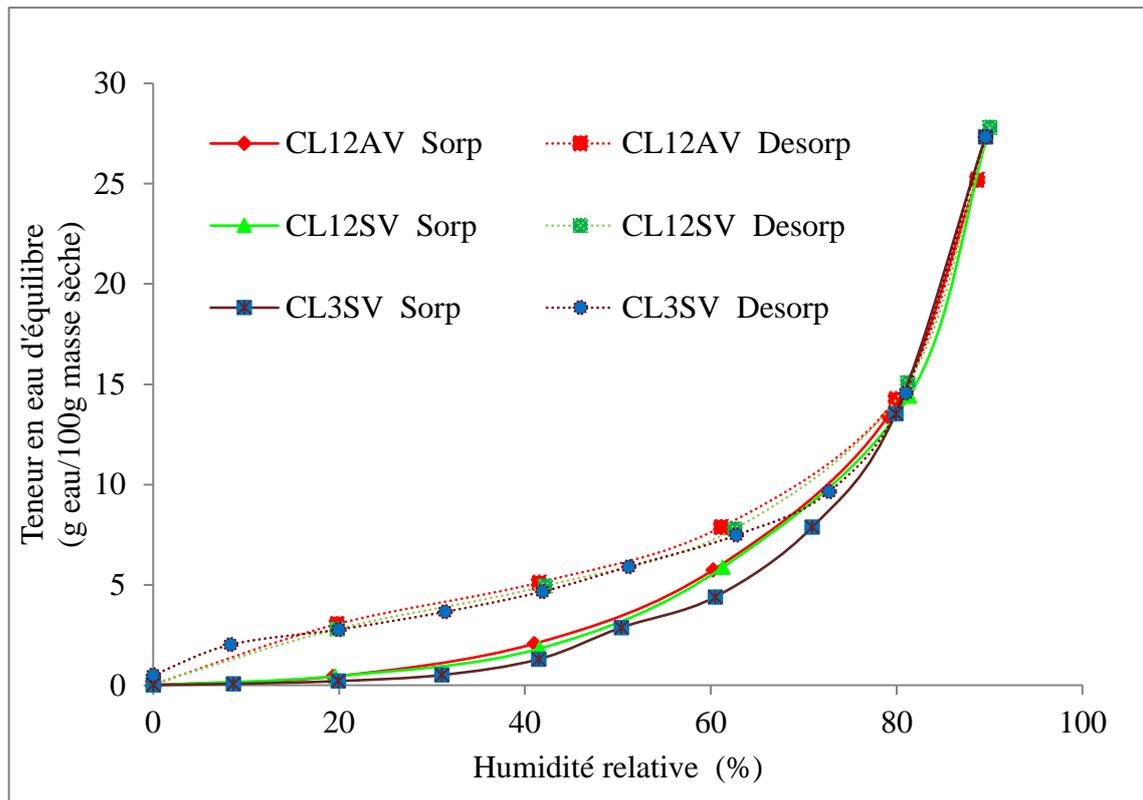


Figure 18. Isothermes de sorption/adsorption d'échantillons de couscous *Lemzeïet* à 25°C

Tableau 14. Applicabilité de l'équation GAB aux données d'adsorption d'humidité des échantillons couscous *Lemzeïet*

Échantillons	Parameters du GAB		
	C (-)	K (-)	M ₀ (kg/100 kg db)
CL3SV	0.39	0.96	5.41
CL12SV	0.51	0.94	5.88
CL12AV	0.73	0.97	4.13

3. Propriétés culinaires

3.1. Indice de gonflement

Le phénomène de gonflement résulte de la capacité de l'amidon à absorber l'eau, de la capacité de rétention d'eau des protéines et du rôle des particules désintégrées comme l'amidon endommagé dans l'absorption d'eau (Feillet, 2000 ; Aymard, 2010).

L'IG des échantillons de CL variait entre 3,46 et 5,13 (Tableau 15). Selon AFNOR (1992) et le Codex STAN 202-1995 (Codex Alimentarius, 2007).

Les échantillons de CL ont des valeurs élevées d'IG ($> 2,2$), indiquant une bonne qualité et une capacité du couscous à absorber l'eau rapidement tout en conservant sa fermeté (**Ounane et al., 2006**).

L'ajout de vinaigre a eu un effet significatif sur l'IG. Les échantillons CL3AV et CL6AV avaient un IG inférieur à CL3SV et CL6SV, ce qui peut être lié à leur plus faible teneur en amidon (résultats de la deuxième partie de la thèse), car ce composé joue un rôle important dans l'IG du couscous sec (**D'Egidio et Pagani, 2010**).

De plus, la structure des grains de couscous (porosité) joue probablement un rôle dans l'IG (**Guezlane et Abecassis, 1991**) puisque nous avons trouvé que le CLAV avait des pores **vides** plus gros que le CLSV.

3.2. Degré de délitescence

Le DD des échantillons de CL variait de 9,77% à 18% avec une valeur moyenne de 14,06% (**Tableau 15**), qui se situe dans la plage de 3% à 16% rapportée par **Hammami et al. (2022)**. Cependant, **Abecassis et al. (2012)** ont considéré un DD compris entre 4% et 6% comme valeurs classiques pour le CBD.

La DD a été affectée de manière significative par le processus de fermentation (le temps et l'ajout de vinaigre). DD a augmenté de manière significative avec l'augmentation du temps de fermentation. Cela pourrait être attribué à la dégradation de différents composés biochimiques lors de la fermentation (**Gourchala et al., 2014 ; Mokhtari et al., 2016 ; Mokhtari et al., 2020**).

De plus, DD était plus élevé ($p < 0,05$) pour les échantillons de CLSV quel que soit le temps de fermentation. Ces résultats pourraient être attribués à la teneur plus élevée en amidon du blé fermenté sans vinaigre (résultats dans la deuxième partie de la thèse), sachant que la solubilisation de l'amidon est liée aux pertes à la cuisson du couscous (**Chemache et al., 2019**).

3.3. Capacité de rétention d'eau

Le CRE (g d'eau /g de matières sèche) mesure la quantité d'eau absorbée par l'amidon comme indice de gélatinisation (**Nani et Krishnaswamy, 2021**). Les valeurs des échantillons de CL variaient entre 1,25 g/g et 2,33 g/g (**Tableau 15**). Ces résultats sont conformes à la fourchette 1,30-4,15 rapportée par **Hammami et al. (2022)** pour CRE.

Bien que la différence ne soit pas significative, le temps de fermentation et l'ajout de vinaigre ont eu un effet négatif sur le CRE. Une augmentation du temps de fermentation et l'ajout de vinaigre ont entraîné une diminution du CRE. Cela pourrait être lié à la dégradation de l'amidon principalement pour les échantillons de CLAV lors de la fermentation (résultats dans la deuxième partie de la thèse), connaissant son rôle dans l'absorption et la rétention d'eau pendant la cuisson (**D'Egidio et Pagani, 2010 ; Ounane et al., 2006**). Les valeurs CRE inférieures peuvent également être attribuées à la réduction de la fraction de gluténine pendant la fermentation (**Gourchala et al., 2014 ; Mokhtari et al., 2020**) qui a un effet positif sur l'absorption d'eau du couscous (**Hammami et al., 2022**). De plus, la réduction du CRE pourrait également être attribuée à l'augmentation de la teneur en matières grasses lors de la fermentation qui masque les sites hydrophiles responsables de la fixation des molécules d'eau (**Ounane et al., 2006**).

3.4. Temps de cuisson

La cuisson des produits céréaliers est déterminée par trois temps : TMn correspondant au dégagement minimum du premier flux de vapeur à la surface du couscous ; TOp requis pour qu'un flux de vapeur émerge sur toute la surface avec changeant de la couleur du couscous, il a été déterminé pour prédire le temps nécessaire à la cuisson, il a pour objectif de gélatiniser l'amidon, et de conférer au produit les caractéristiques organoleptiques souhaitées ; et TMx qui donne un aspect désagréable.

Nos échantillons ont presque les mêmes TMn et TMx, alors qu'une différence significative ($p < 0,05$) a été notée pour le TOp (**Tableau 15**). Le TOp des échantillons de CL variait entre 13 et 21 min avec une valeur moyenne de 17,45 min, ce qui est acceptable car un TC de 15-20 min est nécessaire pour assurer le flux de vapeur et le transfert de chaleur dans la couche de couscous (**Hammami et al., 2022**).

Le temps de fermentation n'a pas affecté de manière significative le TOp. Au contraire, le TOp a été affecté ($p < 0,05$) par l'ajout de vinaigre où les échantillons AV avait un temps de cuisson plus court principalement après 12 mois de fermentation par rapport aux échantillons CLSV. Le CL12AV se caractérise par sa faible teneur en protéines et en amidon (résultats dans la deuxième partie de la thèse), ce qui peut accélérer la gélatinisation de l'amidon. Le temps de cuisson plus court des échantillons CLAV pourrait également s'expliquer par le plus grand espace intra-particule comme le montrent les résultats de la microstructure, par conséquent, la vapeur d'eau circule plus rapidement entre

les vides des grains conduisant à un temps de cuisson plus court (**Feillet, 2000 ; Dunford, 2012 ; Guillard *et al.*, 2013 ; Hammami *et al.*, 2022**).

4. Microstructure

4.1. Microscopie électronique à balayage

La MEB a montré la structure des particules des échantillons (CL3SV, CL12AV et CL12SV) (**Figure 19**), qui a deux types de surface : une surface lisse concerne des morceaux de pâte (région a) et une surface ridée, bosselée et pliée (région b). La matrice de la structure végétale a conduit au développement de ces grandes surfaces rigides.

La structure interne des pâtons (pièces de pâte) est une structure continue, résulte d'une hydratation incontrôlée lors du roulage, et elle est due à la fabrication traditionnelle où le roulage a été réalisé sous les mains. Ainsi, il est impossible d'identifier les particules de semoule natives en raison des interactions biochimiques étendues entre les composants du blé responsable des interactions amidon-gluten ; c'est une structure de transition entre les agglomérats et la pâte continue (**Saad *et al.*, 2011**).

La surface des particules est composée de cellules d'endosperme avec des granules d'amidon (région c). D'autres structures cellulaires telles que la couche d'aleurone, la couche d'épicarpe des parties de son et des cellules tubulaires (région d). De nombreuses populations de grains d'amidon de taille et de forme différentes ont été observées (région e) : petits grains sphériques ou elliptiques à surface lisse de dimensions comprises entre 4-7 μm et gros grains d'amidon irréguliers, variant de 12 μm à environ 26 μm . Il est possible de voir des espaces qui indiquent une disparition de l'amidon (région f) et par conséquent sa dégradation au cours de la fermentation.

Les échantillons de CLAV comprennent des pores vides plus gros que les échantillons de CLSV (région g), ils sont donc moins bien soudés malgré la similitude du processus de fabrication. Cela peut être dû à la différence de force capillaire et électrostatique entre le liquide (eau/vinaigre) et le solide (grain de couscous) dans les échantillons après l'ajout de vinaigre.

La rigidité des grains de couscous est due aux ponts fondus entre les petites particules initiales agglomérées. Un vide résiduel entre les particules de semoule plus ou moins fondues permet une certaine porosité à l'intérieur des grains de couscous (**Guezlane, 1993 ; Debbouz et Donnelly, 1996 ; Hebrard, 2002**).

4.2. Microscopie électronique à balayage environnemental

La MEBE (90% HR) (Figure 19) montre que les particules de surface présentaient presque la même morphologie par rapport aux particules anhydres (régions (a)-(g)). Cependant, il a montré plus de détails sur les couches de composants, en particulier sur les parties de son qui ont été conservées après la mouture du blé (région h) et certains résultats inattendus tels que les poils de la brosse (région i). Aussi, il montre une diversité dans l'aspect de ces couches, ce qui implique qu'elles ne se sont pas « collées » dans la même mesure lors de l'étape d'agglomération.

4.3. Microscopie confocale à balayage laser

La surface des particules de CL est principalement composée de matrice protéique (de couleur verte) issue de l'étape d'agglomération de la semoule de blé (Figure 20), qui peut être attribuée à la forte réactivité de surface des particules après avoir été hydratées en raison du comportement de gonflement, de solubilisation de certains composants du blé et la possibilité de formation de réseaux macromoléculaires ainsi que des interactions protéiques. Les mécanismes d'agglomération aboutissent à terme à la formation d'un système pâteux continu par hydratation incontrôlée due au processus de roulage manuel (Saad *et al.*, 2011). Cependant, il n'y a pas de véritables interactions protéine-amidon; les protéines entourent les grains d'amidon dans le réseau protéique (Barkouti, 2012). Il n'y a probablement aucun effet de la fermentation sur les interactions protéiques.

Les lipides principalement distribuent sous forme de petites et grosses gouttelettes (de couleur rouge) déposées dans les sphérosomes (gouttelettes d'huile) à l'extérieur de la matrice protéique. Selon Feillet (2000), ils représentent des triglycérides. Une diminution de la distribution des sphérosomes gras (en nombre et en taille) a été observée en fonction du temps de fermentation concernant l'ajout de vinaigre, où il semble qu'il ne soit pas lié à la teneur en matières grasses dans les échantillons de CL (résultats dans la deuxième partie de la thèse).

Tableau 15. Propriétés culinaires des échantillons de couscous Lemzeïet

Échantillons	Rdt (%)	IG	DD (%)	CRE (g water /g dry matter)	TC (min)		
					TMn	Top	TMx
CL3AV	87,07 ± 7,07 ^a	3,46 ± 0,05 ^a	9,77 ± 0,43 ^a	2,04 ± 0,52 ^a	1,37 ± 0,54 ^a	17,00 ± 2,00 ^{ab}	25 ± 5,00 ^a
CL6AV	91,78 ± 3,93 ^a	4,10 ± 0,05 ^{ab}	12,88 ± 0,44 ^b	2,03 ± 0,30 ^a	3,00 ± 0,00 ^a	15,00 ± 2,00 ^{ab}	22 ± 1,00 ^a
CL9AV	84,79 ± 8,19 ^a	3,76 ± 0,05 ^{ab}	14,55 ± 0,11 ^c	1,27 ± 0,15 ^a	2 ± 1,00 ^a	14,00 ± 3,00 ^{ab}	18 ± 3,00 ^a
CL12AV	86,91 ± 4,36 ^a	4,10 ± 0,17 ^{ab}	14,52 ± 0,11 ^c	1,25 ± 0,14 ^a	2 ± 1,00 ^a	13,00 ± 3,00 ^a	18 ± 2,64 ^a
CL3SV	90,31 ± 4,68 ^a	4,50 ± 0,62 ^{bc}	12,65 ± 0,08 ^b	2,33 ± 0,60 ^a	2,72 ± 0,55 ^a	21,67 ± 2,51 ^b	26 ± 2,64 ^a
CL6SV	98,99 ± 0,47 ^a	5,13 ± 0,50 ^c	14,00 ± 0,30 ^c	2,17 ± 0,60 ^a	3 ± 0,00 ^a	18,00 ± 3,00 ^{ab}	24 ± 2,00 ^a
CL9SV	79,23 ± 7,40 ^a	4,30 ± 0,50 ^{abc}	16,11 ± 0,37 ^d	1,61 ± 0,51 ^a	2 ± 1,00 ^a	20,00 ± 3,00 ^{ab}	24 ± 3,00 ^a
CL12SV	78,92 ± 5,76 ^a	4,63 ± 0,15 ^{bc}	18,00 ± 0,11 ^e	1,50 ± 0,14 ^a	2 ± 1,00 ^a	21,00 ± 3,60 ^b	24 ± 3,60 ^a

Les valeurs dans une colonne avec la même lettre ne sont pas significativement différentes ($p > 0,05$); Rdt : rendement en couscous; DD : degré de désintégration ; TC : temps de cuisson; TMn: temps minimal, TOP: temps optimal, TMx: temps maximal; IG: indice de gonflement ; CRE : capacité de rétention d'eau.

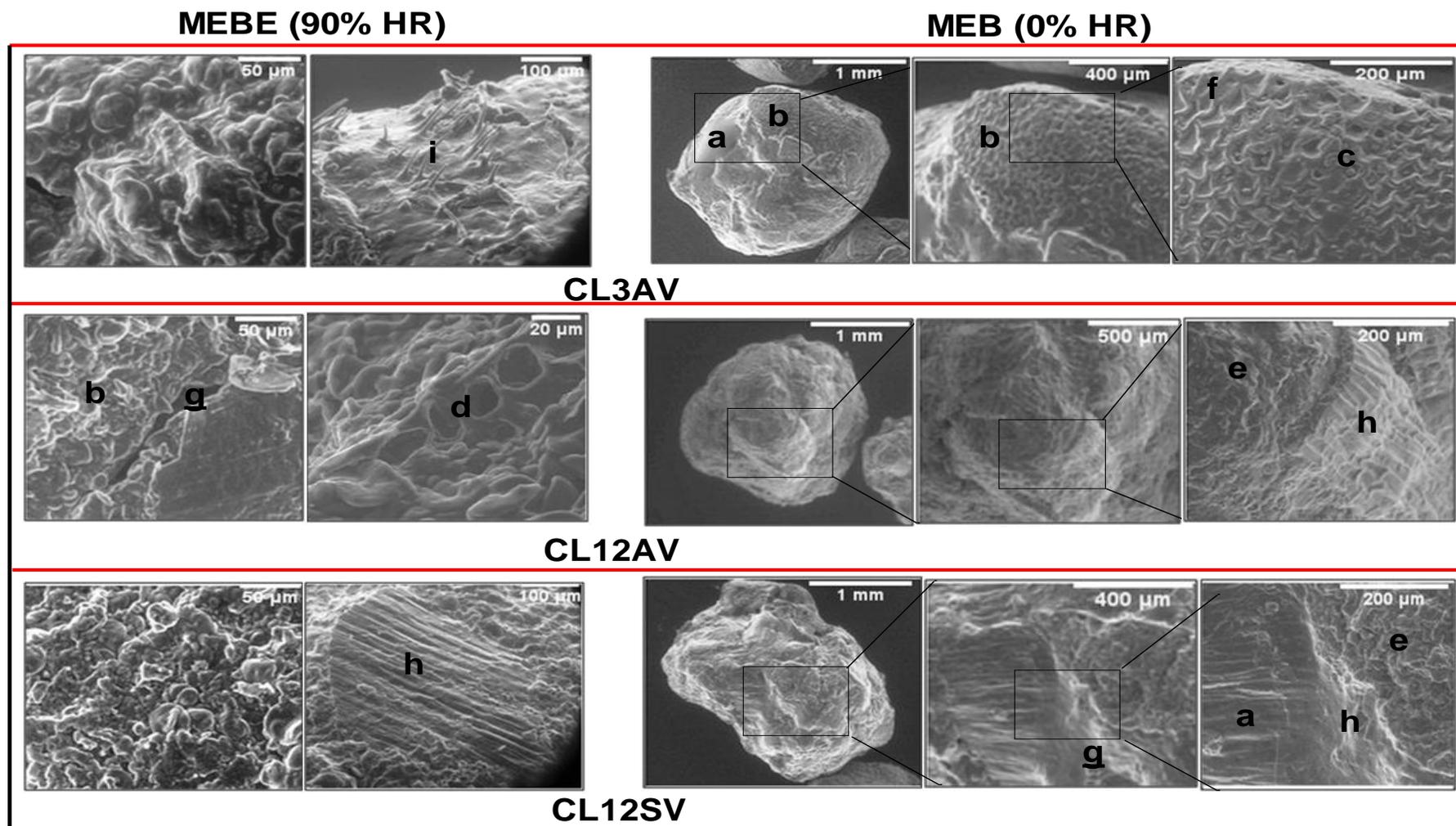


Figure 19. Caractérisation d'une vue générale des particules de couscous *Lemzeïet* et de leur détail de surface par microscopie électronique à balayage avec 90% HR et anhydride

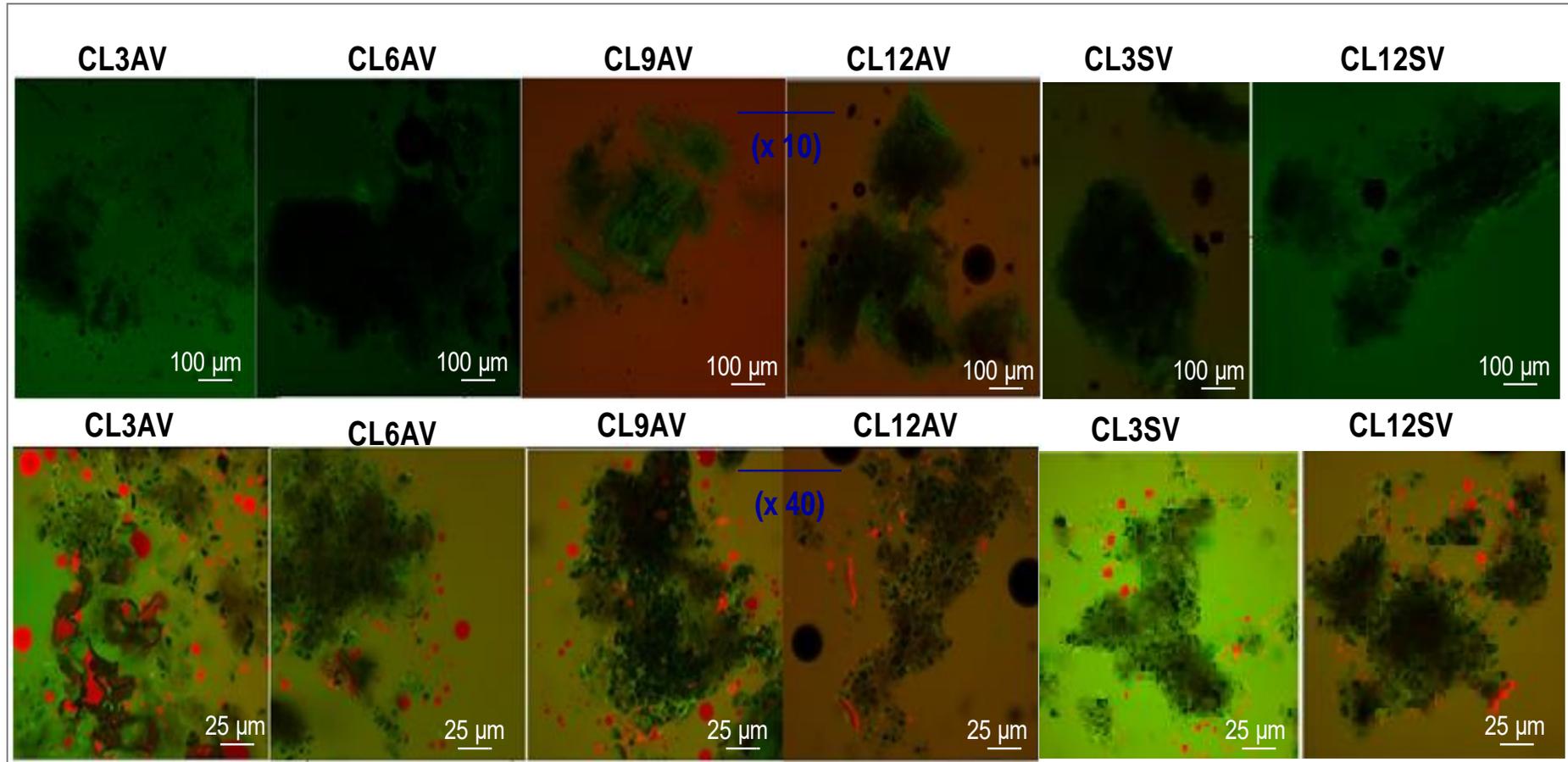


Figure 20. Observations en microscopie confocale ($\times 10$; $\times 40$) par marquage des protéines et des lipides de couscous *Lemzeïet* (Le vert montre les réseaux protéiques, et le rouge représente les sphérosomes lipidiques)

5. Qualité sensorielle

L'appréciation sensorielle par le test de classement de *Friedman* a été basée sur l'intensité des attributs pour évaluer la différence entre les échantillons de couscous (Figure 21 ; Annexe 5).

Le temps de fermentation, ainsi l'ajout de vinaigre ont eu un effet significatif sur tous les attributs sensoriels. L'augmentation du temps de fermentation a augmenté les scores de couleur, d'odeur et d'impression globale, et a diminué les scores de collant. En ce qui concerne la fermeté, il n'y a pas eu d'effet linéaire du temps de fermentation. L'augmentation des scores de la couleur est en accord avec les résultats des mesures de couleur où le temps de fermentation a eu un impact positif sur l'IB.

Le développement de composés aromatiques et colorés au cours de la fermentation pourrait expliquer ces résultats qui peuvent être à l'origine des scores plus élevés pour l'impression globale puisque les consommateurs apprécient la couleur brune du CL comme rapporté dans des études antérieures (**Bekhouché et al., 2013 ; Gourchala et al., 2014 ; Merabti et al., 2015 ; Mokhtari et al., 2016 ; Mokhtari et al., 2020**).

La diminution du caractère collant peut être liée à l'augmentation de la teneur en protéines (résultats dans la deuxième partie de la thèse). **Debbouz et al. (1994)** ont rapporté une corrélation négative entre le caractère collant et la teneur en protéines. Les faibles scores de collant indiquent une qualité élevée du couscous appréciée par sa tenue à la cuisson telle que reflétée par l'état de surface qui doit être non collant (**Aboubacar et Hamaker, 2000 ; Boudreau et al., 1992**).

Les échantillons AV avaient des scores plus élevés pour l'odeur et des scores inférieurs pour la couleur, la fermeté et l'impression générale. Les scores plus élevés d'odeur pour les échantillons CLAV pourraient être liés à l'effet de l'ajout de vinaigre sur la quantité de 20 composés volatils (par exemple, sulfure de diméthyle, propanol, acétate de propyle, 2-méthylbutanol, acide 3-méthylbutanoïque, etc.) comme indiqué par **Merabti et al. (2015)**.

Comme la montre la microstructure des échantillons CLAV, il semble qu'ils aient plus de porosité, connaissant sa relation avec la consistance du matériau et la fermeté du produit.

Les scores inférieurs pour l'impression globale peuvent être attribués aux scores inférieurs pour la couleur et la fermeté et aux scores supérieurs pour l'odeur.

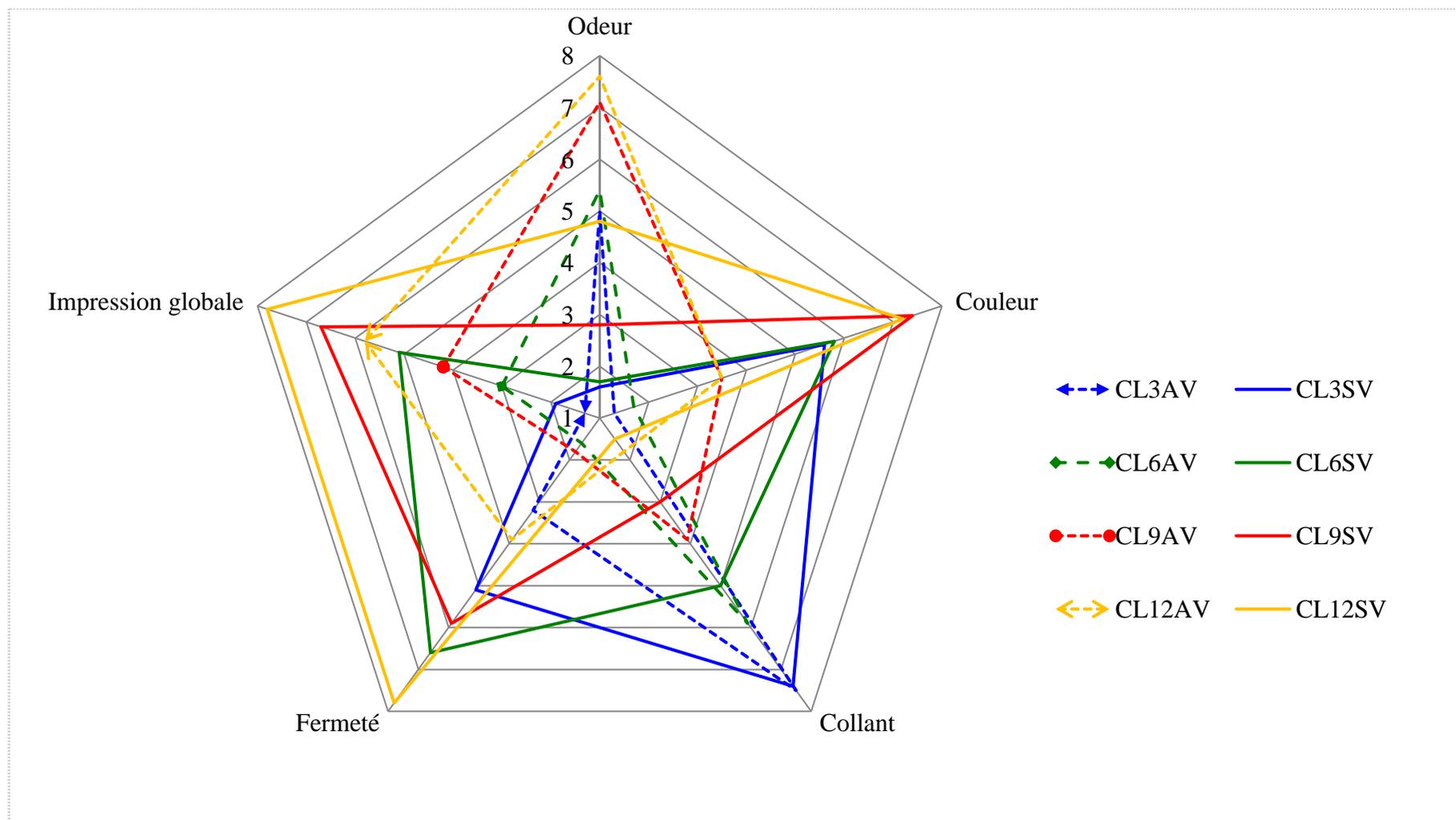


Figure 11. Attributs sensoriels des différents échantillons de couscous

Conclusion et perspectives

La présente thèse avait trois objectifs principaux : (1) l'identification des différentes formules utilisées dans la fabrication du couscous *Lemzeïet* et établissement de son diagramme traditionnel dans le Nord-est Algérien, (2) l'étude des modifications microbiologiques et biochimiques du blé dur durant quatre périodes (3, 6, 9 et 12 mois) de fermentation avec et sans ajout de vinaigre, et (3) l'étude des effets du temps de fermentation et de l'ajout de vinaigre lors de la fermentation du blé dur sur les propriétés technologiques, culinaires, microstructurales et sensorielles du couscous *Lemzeïet*.

L'enquête menée sur le couscous *Lemzeïet* dans le Nord-est de l'Algérie nous a permis d'établir un diagramme bien détaillé de la fabrication traditionnelle du couscous *Lemzeïet* en se basant sur le savoir-faire des femmes interrogées. Selon le diagramme établi, la préparation du couscous *Lemzeïet* nécessite des ustensiles traditionnels qui sont un *Guessâa*, un couscoussier, des tamis (*Ezzraâ*, *Mâaoudi*, *Reffad*, et *Sekkat*). Les ingrédients sont de la semoule de blé dur, la semoule de blé dur fermenté, du sel et de l'eau. Plusieurs pratiques ont été envisagées comme des étapes clés dans la fabrication du couscous. Parmi ces pratiques, nous pouvons citer : (i) mélange de la semoule fine de blé dur fermenté (50%) et la semoule fine de blé dur (25%) avec la semoule grosse de blé dur non fermenté (25%), c'est la formule la plus utilisée dans le Nord-est d'Algérie, (ii) mélange et hydratation de la semoule avec l'eau salée, (iii) roulage avec ajout de la semoule fine (*Dkak*), (iv) calibrage du couscous, (v) tamisage, (vi) cuisson à la vapeur, (vii) émottage et en fin séchage.

Les résultats relatifs aux modifications microbiologiques et biochimiques associées à la fermentation du blé dur ont montré que la fermentation provoquait un changement significatif de la charge microbienne, où les bactéries lactiques augmentaient significativement et devenaient le principal facteur de fermentation avec disparition de la flore fongique. Treize souches de BL ont été isolées à partir des échantillons de couscous *Lemzeïet*. Ils étaient des coques ou des bacilles, blancs ou jaunes, et étaient généralement regroupés en chaînes, paires et tétrades. La plupart des isolats sont homofermentaires, mannitol positifs, thermophiles et mésophiles (pouvant se développer à différentes températures (10°C, 15°C, 45°C et 63,5°C). La fermentation a également affecté les propriétés biochimiques du blé dur par l'accumulation d'acides organiques, entraînant une diminution significative du pH et une amélioration des propriétés nutritives (par la réduction de la teneur en amidon et en lipides et par l'augmentation de la teneur en protéines et en cendres).

Les résultats relatifs à l'étude des propriétés du couscous *Lemzeïet* ont montré la possibilité de préparer un couscous de qualité acceptable à partir du blé dur fermenté *Lemzeïet* avec et sans ajout de vinaigre. Les distributions granulométriques de la taille des échantillons de couscous *Lemzeïet* n'ont pas été affectées par les conditions de fermentation. Cependant, le temps de fermentation a affecté tous les descripteurs de forme (à l'exception du rapport d'aspect), les indices de couleur, les propriétés culinaires (à l'exception de la capacité de rétention d'eau et du temps de cuisson) et tous les attributs sensoriels. En ce qui concerne l'ajout de vinaigre, il a eu un impact sur toutes les propriétés culinaires (sauf la capacité de rétention d'eau), l'indice de rouge et tous les attributs sensoriels. La microstructure a montré que l'ajout de vinaigre pendant la fermentation pouvait augmenter la porosité des grains (les pores intraparticulaires) et réduire les gouttelettes lipidiques dans les particules du couscous *Lemzeïet*. Malgré les différents effets des conditions de fermentation sur les propriétés des échantillons de couscous *Lemzeïet*, tous les échantillons avaient une qualité globale acceptable. Ainsi, les consommateurs peuvent choisir le couscous *Lemzeïet* adapté en fonction de leurs préférences en termes de cuisson et de caractéristiques sensorielles.

En perspective, il sera intéressant de procéder à un inventaire et une caractérisation rigoureuse des pratiques alimentaires traditionnelles avec plus d'analyse permettant de les situer autour de l'identité de la population, des localités, ainsi que des habitudes alimentaires, pour rendre possibles la durabilité et la perpétuation de l'anthropologie de l'alimentation pour les futures générations, ainsi la promotion de la production locale pour la fabrication à l'échelle pilote, non seulement pour l'autoconsommation, mais aussi pour contribuer à soutenir l'industrie alimentaire à travers notre alimentation au sein de notre système alimentaire.

Le blé fermenté *Lemzeïet* sera une matière première très intéressante pour de nouveaux produits fonctionnels à base de blé comme le couscous, les pâtes, *etc.* Par conséquent, les bactéries lactiques qui ont potentiellement des avantages pour la santé peuvent être incluses dans les procédures de transformation des aliments pour augmenter l'attractivité et la sécurité des produits. De plus, les bactéries lactiques sélectionnées peuvent être utilisées comme cultures fermentaires pour des processus de fermentation alimentaire rationnellement contrôlés de l'industrie de production de *Lemzeïet* en sélectionnant des ferments sûrs, précis et efficaces à l'aide de ferments lactiques composé

de plusieurs souches ayant chacune une fonctionnalité spécifique lorsqu'elles sont utilisées en association dans la matrice du blé et confirmant les propriétés du produit fermenté final.

Des études complémentaires évaluant d'autres propriétés physiques telles que la densité, la porosité et la valeur nutritionnelle seraient intéressantes pour promouvoir le couscous *Lemzeïet* en tant que produit fonctionnel et sain, et arriver à sa labelisation.

Enfin, nous proposons de réaliser la fermentation du blé dans d'autres récipients en bois ou en terre cuite et d'optimiser le procédé de fermentation.

Références bibliographiques

1. **AACC. (1995).** Approved Methods of the AACC, 9th ed.; American Association of Cereal Chemists: St. Paul, MN, USA, 1995.
2. **AACC (1999).** Approved Methods of the AACC, 10th ed.; American Association of Cereal Chemists: St. Paul, MN, USA, 1999.
3. **AACC (2010).** Approved Methods of the AACC, 11th ed.; American Association of Cereal Chemists: St. Paul, MN, USA, 2010.
4. **Abdelguerfi, A., Laouar, M. (2000).** Les ressources génétiques des blés en Algérie : passé, présent et avenir. In 'Blé 2000... Enjeux et Stratégie. Actes du 1^{er} Symposium International sur la Filière Blé. OAIC Alger, Algérie, 133-148.
5. **Abecassis, J., Cuq, B., Boggini, G., Namoune, H. (2012).** Other Traditional Durum-Derived Products. In Durum Wheat: Chemistry and Technology. Sissons, M., Abecassis, J., Marchylo, B., and Carcea, M (eds.). AACC international. St. Paul, MN, USA, 177-199.
6. **Aboubacar, A., Hamaker, B. R. (1999).** Physicochemical properties of flours that relate to sorghum couscous quality. *Journal of Cereal Chemistry*, 76 (2), 308-313.
7. **Aboubacar, A., Hamaker, B. R. (2000).** Low molecular weight soluble starch and its relationship with sorghum couscous stickiness. *Journal of Cereal Science*, 31 (2), 119-126.
8. **AFNOR. (1992).** Céréales et Produits à Base de Céréales: Couscous Spécifications, Association Française de Normalisation, Paris, France, 1-8.
9. **Afzali, S., Edalatian-Dovom, M. R, Habibi-Najafi., M. B, Mazaheri-Tehrani, M. (2020).** Determination of the anti-yeast activity of *Lactobacillus* spp. isolated from traditional Iranian cheeses in vitro and in yogurt drink (Doogh). *Scientific Reports*, 10, 6291, 1-11.
10. **Akinsanmi, O. A., Mitter, V., Simpfendorfer, V., Backhouse, D., Chakraborty, S. (2004).** Identity and pathogenicity of *Fusarium* spp. isolated from wheat fields in Queensland and northern New South Wales. *Australian Journal of Agricultural Research*, 55 (1), 97-107.
11. **Alfonzo, A., Ventimiglia, G., Corona, O., Gerlando, R. D., Gaglio, R., Francesca, N., Moschetti, G., Settanni, L. (2013).** Diversity and technological potential of lactic acid bacteria of wheat flours. *Food Microbiology*, 36 (2), 343-354.
12. **Aluka, K., Miche, J. C Faure, J. (1985).** Conditions d'une fabrication mécanique du couscous de maïs en Afrique de l'Ouest. *Revue Industries Agricoles et Alimentaires*, 102 (5), 457-461.
13. **Ampratwum, D. B. (1976).** Heat and moisture transfer and exchange in bulk grain. PhD thesis. Iowa State University, Ames, Iowa, USA, 154.
14. **Anderson, R .B. (1946).** Modification of the Brunauer, Emmett and Teller equation¹ . *Journal of the American Chemical Society*, 68(4), 686-691.
15. **Appert, J. (1985).** *Le Stockage des produits vivriers et semenciers: Dégâts, pertes et moyens de stockage.* CTA (ed.), Maisonneuve et Larose, Paris, France, 113.

16. **Ardö, Y. (2004).** Flavour formation by amino acid catabolism. *Biotechnology Advances*, 24 (2), 238-242.
17. **Aubert, C. (1985).** *Les aliments lacto-fermentés traditionnels: une richesse méconnue.* Terre Vivante (ed.), Clément, Paris, France, 261.
18. **Axelsson, L. (2004).** Lactic Acid bacteria: Classification and physiology. In *Lactic Acid Bacteria: Microbiological and functional aspects.* Salminen, S., Von Wright, A., and Ouwehand A (eds.). Marcel Dekker Inc. N Y, USA, 1-66.
19. **Aymard, P. (2010).** Amélioration nutritionnelle des produits céréaliers par les fibres: Un challenge technologique. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 45 (5), 246-254.
20. **Babès, L. 1996.** Couscous as a gift and sacrifice. *Mauss review*, 8, (1), 267-276.
21. **Badis, A., Guetarni, D., Boudjema, B. M., Henni, D., Kihal, M. (2004).** Identification and technological properties of lactic acid bacteria isolated from raw goat milk of four Algerian races. *Food Microbiology*, 21(5), 579-588.
22. **Bahchachi, N. 2002.** Incorporation du gluten de maïs dans la fabrication de deux produits céréaliers traditionnels: Trida et Couscous. Thèse de Magistère. Université des Frères Mentouri, Constantine, Algérie, 134.
23. **Blahovec, J., Yanniotis, S. (2010).** ‘Gab’ Generalized equation as a basis for sorption spectral analysis. *Czech Journal of Food Science*, 28 (5), 345-354.
24. **Barkouti, A. (2012).** Wet agglomeration of surface reactivity powders. Mechanistic approach to the morphogenesis of agglomerated food structures. PhD thesis. Montpellier University, Montpellier, France, 189.
25. **Bartali, E. H., Afie, S., Persoons, E. (1989).** Stockage des céréales dans des entrepôts souterrains. In *Céréales en régions chaudes : conservation et transformation.* Parmentier, M (ed.), John Libbey Eurotext, Paris, France, 27-38.
26. **Bartali, E. H., Lamzouri, J. (1990).** Les Silos en terre armée de paille. In *Structures de stockage des céréales des légumineuses et de leurs dérivés: Comptes rendus.* Bartali, E. H., International Commission of Agricultural Engineering., et Moroccan Committee of CIGR (eds.) ANAFID, Rabat, Maroc, 110-127.
27. **Bartali, E. H. (1995).** *Système post récolte des céréales au Maroc.* FAO (ed.), FAO, Rome, Italie, 1995. p. 32.
28. **Barthe, C., Daigle, P., Desroches, F. P. (2009).** *Lignes directrices et normes pour l'interprétation des résultats analytiques en microbiologie alimentaire.* CECMA (ed.), Centre québécois d'inspection des aliments et de santé animale (CQIASA) Québec, ON, Canada, 59.
29. **Bauer, W J., Badoud, R., Lölinger, J., Eturnaud, A. (2010).** Sciences et technologies des aliments : In *Principe de chimie des constituants et de technologie des procédés.* Bauer, W. J., Badoud, R., Lölinger, J., and Eturnaud, A (eds.). PPUR Polytechnic Press, Lausanne, Suisse, 15-717.

- 30. Bechtel, D. B, Abecassis, J., Shewry, P. R. D, Evers A. (2009).** Development, structure and mechanical properties of the wheat. In *Wheat chemistry and technology*. Khan, K., Shewry, P. R (eds.). Elsevier, New York, USA, 51-95.
- 31. Becila, F. A., Boussekine, R., Merabti, R., Bekhouche, F. (2017).** Different formulas characterizing traditional manufacture of couscous *Lemzeïet*. International conference on advances in science and arts. Thermal engineering, Istanbul, Turkey, 198.
- 32. Beji-Becheur, A., Ozcaglar-Toulouse, N. (2008).** Couscous connection: The story of a migrant dish. 13th Marketing Research Days of Bourgogne. Wiley, Bourgogne, France, 1-17.
- 33. Bekhouche, F., Merabti, R., Baily, J. D. (2013).** *Lemzeïet* traditional couscous manufacture from fermented wheat (Algeria): investigation of the process and estimation of the technological and nutritional quality. *African Journal of Food Science and Technology*. 4, (8), 167-175.
- 34. Benatallah, L. (2009).** Couscous et pain sans gluten pour malades coeliaques : aptitude technologique de formules à base de riz et de légumes secs. Thèse de Doctorat. Université des Frères Mentouri Constantine, Algérie, 423.
- 35. Benatallah, L., Agli, A., and Zidoune, M. N. (2008).** Gluten-free couscous preparation: Traditional procedure description and technological feasibility for three rice-leguminous supplemented formulae. *Journal of agricultural food and environmental sciences*, 6 (2), 105-112.
- 36. Benbelkacem, A., Sadli, F., Brinis, L. (1995).** La recherche pour la qualité des blés durs en Algérie. In *Durum wheat quality in the Mediterranean region*. Kaan, F., Nachit, M., and Fonzo, N (eds.). CIHEAM, Zaragoza, Espagne, 61-65.
- 37. Bennani, S., Mchiouer, K., Rokni, Y., Meziane, M. (2017).** Characterisation and Identification of lactic acid bacteria isolated from. *Journal of Materials and Environmental Science*, 8 (S), 4934-4944.
- 38. Boer, J.H. (1968).** *The Dynamical Character of Adsorption*. Clarendon Press, ISBN 0198519168, 9780198519164, Californie, USA, 240.
- 39. Berghofer, L. K., Ailsa, D., Hocking, A. D, Miskelly, D., Jansson, E. (2003).** Microbiology of wheat and flour milling in Australia. *International Journal of Food Microbiology*, 85 (1-2), 137-149.
- 40. Bhanja, T., Anjali, K., Rintu, B. (2009).** Enrichment of phenolics and free radical scavenging property of wheat koji prepared with two filamentous fungi. *BioresourceTechnology Journal*, 100 (11), 2861-2866.
- 41. Bisen, P. S. (2015).** Selective enumeration, isolation and identification of *streptococcus thermophilus* from Indian *Traditional Curd* to produce starter culture along with elevation of nutrient media for its mass commercial production. PhD thesis. Rani Durgavati University, Jabalpur, Inde, 255.

- 42. Blandino, A., AL-Aseeri, M. E, Pandiella, S. S., Cantero, D, Webb, C. (2003).** Cereal-based fermented foods and beverages. *International Food Research Journal*, 36 (6), 527-543.
- 43. Bocquet, L., Charlaix, E., Restagno, F. (2002).** Physics of humid granular media. *Compte Rendu de Physique*, 3 (2), 207-215.
- 44. Bodhmag, A. (2006).** Correlation between physical properties and flowability indicators for fine powders. Thèse de master. Université de la Saskatchewan, Saskatoon, Canada, 122.
- 45. Bothast, R. J. (1978).** Fungal deterioration and related phenomena in cereals, legumes and oilseeds. In Postharvest biology and biotechnology. Hultin, H. O., Milner, M (eds.), Food and Nutrition Press Inc, N Y, USA, 210-243.
- 46. Boucheham, N. (2009).** Aptitude technologique de trois formules a base de riz pour la fabrication de couscous sans gluten. Thèse de magister. Université des Frères Mentouri, Constantine, Algérie, 103.
- 47. Boucheham, N., Galet, L., Patry, S Zidoune, M. N. (2019).** Physicochemical and hydration properties of different cereal and legume gluten free powders. *Food science and nutrition*, 7 (9), 3081-3092.
- 48. Boudreau, A., Menard, G. (1992).** *Le blé : éléments fondamentaux et transformation*. Sainte- Foy (ed.), Presses Université Laval, Québec, Canada, 439.
- 49. Boudreau, A., Matsuo, R., Laing, W. (1992).** L'industrie des pâtes alimentaires. In *Le blé : Eléments fondamentaux et transformation*. Boudreau, A., and Menard, G (eds.), Presses Université Laval, Québec, Canada, 193-223.
- 50. Bouferis, M. R. (2019).** Etude comparative du rendement et de la qualité de quelques variétés de blé tendre (*triticum Aestivum*) cultivées dans trois zones agro-écologiques d'Algérie. Thèse de master. Université des Frères Mentouri, Constantine, Algérie, 2019, 93.
- 51. Brooker, D. B, Bakker-Arkema, F. W., Hall, C. W. (1992).** *Drying and storage of grains and oilseeds*. Brooker, D. B., Bakker-Arkema, F. W., and Hall, C. W (eds.). Springer N Y, USA, 468.
- 52. Cahagnier, B., Francis, F. L. (1996).** Bonnes conditions du grain à l'entreposage (et moyens de maîtrise des altérations en cours de stockage). Guide des bonnes pratiques du GLCG : stockage à plat des céréales pour une durée indéterminée. GLCG, Rochelle, France, 7-14.
- 53. Carine, D., Philippe, T. (2009).** Les bactériocines des bactéries lactiques : caractéristiques et intérêts pour la bioconservation des produits alimentaires. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 13 (1), 143-154.
- 54. Carr, F. J, Chill, D., Maida, N. (2002).** The lactic acid bacteria: a literature survey. *Critical Reviews in Microbiology*, 28 (4), 281-370.

55. **Cauvain, S. P. (2003).** *Bread Making: Improving Quality*. Cauvain, S. P (ed.), FL, CRC Press, Boca Raton, N Y, USA, 500-514.
56. **Cereda, M. P Takahashi, M. (1996).** Cassava wastes: their characterization and uses and treatment in Brazil. In *Cassava flour and starch: Progress in research and development*. Dufour, D., O'Brien, G. M., Best, R (eds.), CIAT publication, Cali, Colombia, 221-232.
57. **Cheftel, J. C. (1992).** *Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments*. Cheftel, J. C., and Nouv (eds.) Tec et Doc Lavoisier, Paris, France, 400.
58. **Chemache, L., Kehal, F., Namoune, H., Chaalal, M., Gagaoua, M. (2018).** Couscous: ethnic making and consumption patterns. *Journal of ethnic food*, 5(3), 211-219.
59. **Chemache, L., Lecoq, O., Namoune, H., Oulahna, D. (2019).** Agglomeration properties of gluten-free flours under water addition and shearing conditions. *LWT- Food Science and Technology*, 110, 40-47.
60. **Chemache, L. (2020).** Enquête sur le couscous et effets de quelques paramètres sur sa qualité et sur le phénomène d'agglomération humide de la semoule de blé dur, de la farine d'orge et de farines sans gluten (maïs, sarrasin, quinoa, amarante et manioc). Thèse de Doctorat. Université Frères Mentouri, Constantine, Algérie, 220.
61. **Chikhi, A. C. (1992).** Situation de la céréaliculture et perspectives de l'irrigation de complément du blé au niveau de la Mitidja. Mémoire d'ingénieur. Ecole Nationale Supérieure Agronomique Hassen Badi El Harrach, Alger, Algérie, 1992, 317.
62. **Christensen C. M., Kaufmann H. H. (1969).** Heating and respiration. In *Grain Storage: The Role of Fungi in Quality Loss*. Christensen C. M., and Kaufmann H. H (eds.), University of Minnesota Press, Mineapolis, Minnesota, 238-255.
63. **Christensen, C. M., Sauer, D. B. (1982).** Microflora. In *Storage of cereal grains and their product*. Christensen, C. M (ed.), AACC, St. Paul, MN, USA, 219-240.
64. **CIC. 2021.** Commerce mondial des céréales. Dans Conseil International des Céréales. [En ligne- <https://www.willagri.com/2019/10/20/neuf-pays-et-lunion-europeenne-se-partagent-85-du-marche-mondial-des-cereales/>]. Consulté le 20/10/2019.
65. **CIMAS. 2013.** Céréales Stockage. [En ligne- <http://www.cimasindustrie.tn/fr/index.php>]. Consulté le 22/10/2018.
66. **Cochrane, V.W. 1976.** *Glycolysis*. Arnold Pub (ed.), LTD, London, U K, 1976, 25-59.
67. **Codex Alimentarius. (2007).** Céréales, légumes secs, légumineuses et matières protéiques végétales. Norme codex pour le couscous. OMS/FAO (eds.), Rome, Italy, 18-21.
68. **Colonna, P., Buléon, A. (1992).** New insights on starch structure and properties. In *Cereal Chemistry and Technology: a Long Past and a Bright Future*. Proceedings of the 9th International Cereal and Bread Congress, Paris, France, Institut de Recherche Technologique Agroalimentaire des Céréales (IRTAC), Paris, France, 1992, 25-42.

- 69. Coskun, F. (2013).** Production of couscous using the traditional method in Turkey and couscous in the world. *African Journal of Agricultural Research*, 8 (22), 2609-2615.
- 70. Croston, R. P., Williams, J. T. (1981).** *A World Survey of Wheat Genetic Resources*. International Board for Plant Genetic Resources (ed.), FAO, Rome, Italy, 37.
- 71. Crowley, S., Mahony, J., Sinderen, D. V. (2013).** Current perspectives on antifungal lactic acid bacteria as natural bio-preservatives. *Trends in Food Science and Technology*, 33 (2), 93-109.
- 72. Dabis, F., Drucker, J., Moren, A. (1992).** *Épidémiologie d'intervention: Réalisation d'une enquête épidémiologique*. Université Victor Segalen Bordeaux 2-ISPED (ed.), Arnette Press, Paris, France, 421.
- 73. Dagher, M. S. (1991).** *Traditional foods in the Near East*. FAO (ed.), Food Nutrition paper. Rome, Italy, 161.
- 74. Dautzat, A., Dubois, J., Mitterand, H. (1971).** *Nouveau dictionnaire étymologique et historique*. Librairie Larousse (ed.), Paris, France, 162.
- 75. Debbouz, A., Dick, J. W Donnelly, B. J. (1994).** Influence of raw material on couscous quality. *Cereal Foods World Journal*, 39 (4), 213-236.
- 76. Debbouz, A., Donnelly, B. J. (1996).** Process effect on couscous quality. *Cereal Chemistry Journal*, 73 (6), 668-671.
- 77. D'Egidio, M.G. Pagani, M. A. (2010).** Pasta and couscous: Basic foods of Mediterranean tradition. *Tecnica Molitoria International*, 6, 105-115.
- 78. Dellaglio, F., De Roissart, H., Torriani, S., Curk, M., Janssens, D. (1994).** Caractéristiques générales des bactéries lactiques. In *Bactéries Lactiques*. De Roissart, H., et Luquet, F. M., (eds.), Uriage, Lorica, France, 25-116.
- 79. Derouiche, M. (2003).** Couscous : enquête consommation à Constantine, artisanat et qualité. Thèse de Magistère. Université des Frères Mentouri, Constantine, Algérie, 2003, 105.
- 80. De Vos, P., Garrity, G. M., Jones, D., Krieg, N. R., Ludwig, W., Rainey, F. A., Schleifer, K. H, Whitman, W. B. (2011).** *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Springer, ISBN: 978-0-387-95041-9, 978-0-387-68489-5, NY, USA, 19-1317.
- 81. Diawara, B., Richard-Molard, D., Cahagnier, B. (1989).** Conservation des céréales humides sous atmosphère contrôlée: Limites théoriques et pratiques. In *Céréales en régions chaudes: conservation et transformation*. Parmentier, M., (ed.), John Libbey Eurotext, Paris France, 1989, 105-116.
- 82. Diaz-Ruiz, G., Guyot, J. P., Ruiz-Teran, F., Morlon-Guyot, J., Wachter, C. (2003).** Amylolytic lactic acid bacteria from pozol: A natural potential to produce complementary foods? Proceedings of the 2nd International Workshop on Food-Based Approaches for a Healthy Nutrition, Ouagadougou, Bukina Faso, 411-417.

- 83. Djaouti, M. (2009).** Renforcement des capacités des acteurs de la filière céréalière en Algérie dans le cadre d'un partenariat Nord-Sud : cas de la wilaya de Sétif. Thèse de Master. Université Montpellier III, Montpellier, France, 106-137.
- 84. Djelti, H. (2014).** Etude de la qualité du blé tendre utilise en meunière Algérienne. Mémoire d'ingénieur. Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, Algérie, 78.
- 85. Djermoun, A. (2009).** La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. *Revue Nature et Technologie*, 1 (6), 45-53.
- 86. Doukani, K., Tabak, S., Gourchala, F., Mihoub, F., Ounes, M., Benbaguara, M. (2013).** Caractérisation physico-chimique du blé fermenté par Stockage Souterrain (*Matmora*). *Revue Ecologie Environnement*, 9, 1-9.
- 87. Doukani, K. (2015).** Etude comparative entre le couscous industriel et le couscous à base de glands. *Revue Nature and Technologie*, 13, 2-11.
- 88. Drabo, M. S., Khadem, H., Benatmane, N., Ouhab, A., Mazouzi, F. Z., Soualmi, K., Badra, B. (2019).** Qualité microbiologique du blé dur fermenté de *Matmor Hamoum* : Indispositions. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 27 (1), 11-18.
- 89. Dunford, N. T. (2012).** *Food and industrial bioproducts and bioprocessing*. John Wiley and Sons (ed.), Wiley-Blackwell, Oklahoma, USA, 392.
- 90. Elias, E. M. (1995).** Durum wheat products. In Durum wheat quality in the Mediterrzanean region. Di Fonzo, N., Kaan, F., and Nachit, M (eds.). CIHEAM, Zaragoza, Spain, 23-30. **Endo, A., Dicks, L. M. T. (2014).** Physiology of the LAB. In Lactic acid bacteria: biodiversity and taxonomy. Holzapfel, W. H., and Wood, B. J. B (eds.). John Wiley and Sons, West Sussex, U K, 13-30.
- 91. Erbas, M., Ertugay, M. F Certe, M. (2005).** Moisture adsorption behaviour of semolina and farina. *Journal of Food Engineering*, 69, (2), 191-198.
- 92. Faithong, N., Benjakul, S. (2012).** Changes in antioxidant activities and physicochemical properties of Kapi, a fermented shrimp paste, during fermentation. *Journal of Food Sciences and Technology*, 10, 2463-2471.
- 93. FAO. (1996).** Céréales, légumes secs, légumineuses, produits dérivés et protéines végétales. In Codex Alimentarius 7. FAO (ed.), Rome, Italy, 1996, 65-69.
- 94. FAO. (2022a).** *Crop prospects and Food situation*. FAO (ed.), ISBN 978-92-5-135858-0 Rome, Italy, 46.
- 95. FAO. (2022b).** Bulletin de la FAO sur l'offre et la demande de céréales. [En ligne-<https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/fr/>] Consulté le 03/01/2022.
- 96. Feillet, P. (1986).** L'industrie des pâtes alimentaires : technologies de fabrication, qualité des produits finis et des matières premières. *Revue Industries alimentaires et agricoles*, 103 (10), 979-989. **Feillet, P. (2000).** *Le grain de blé: Composition et utilisation*. Quae INRA (ed.), ISBN: 2-7380-0896-8, Paris, France, 308.

- 97. Fellows, P. (2011).** *Le conditionnement des produits agricoles*. Fondation Agromisa et CTA (ed.), Série Agrodok, N°: 50, Wageningen, NL, 79.
- 98. Fertahi, A. (1992).** Contribution à l'étude des besoins en capacité de stockage et des performances des structures alternatives. Mémoire de 3ème cycle. IAV Hassan II, Rabat, Maroc, 60.
- 99. Fortin, F. (1996).** *L'encyclopédie visuelle des aliments*. Québec Amérique Internationales (ed.). Québec Amérique Int, London, UK 1996, 689.
- 100. Fulcher, R. G., Wong, S. I. (1980).** Inside Cereals; A fluorescence microchemical view. In *Cereals for food and beverages*. George, E., and Inglett, G. E (eds.), Academic Press, N Y, USA, 1980, 557.
- 101. Gacem, M. A., Ould El Hadj Khelil, A., Gacemi, B. (2011).** Etude de la qualité physico-chimique et mycologique du blé tendre local et importé stocké au niveau de l'office algérien interprofessionnel des céréales (OAIC) de la localité de Saida (Algérie). *Algerian Journal of Arid Environment*, 1 (2), 67-76.
- 102. Gacem, M. A. (2011).** Contribution à l'étude de l'activité antifongique et antimycotoxinogène des extraits méthanolique et aqueux des graines de *Citrullus colocynthis* sur la croissance de quelque moisissure d'altération de blé tendre stocké. Thèse de magister. Université Kasdi Merbah, Ouargla, Algérie, 149.
- 103. Galleze, O. (2018).** Le Couscous : sa place et son rôle dans la vie sociale. Patrimoine culturel immatériel Algérien [En ligne- <https://www.cnrpah.org/pci-bnd/index.php/9-photos/2-le-couscous-sa-place-et-son-role-dans-la-vie-sociale>]. Consulté le 12/03/2019.
- 104. Gänzle, M. G., Ermeulen, N. V., Vogel, R. F. (2007).** Carbohydrate, peptide and lipid metabolism of lactic acid bacteria in sourdough. *Food Microbiology*, 24 (2), 128-138.
- 105. Gänzle, M. G., Follador, R. (2012).** Metabolism of oligosaccharides and starch in lactobacilli: a review. *Frontiers in Microbiology*, 3 (340), 1-15.
- 106. Gänzle, M. G. (2014).** Enzymatic and bacterial conversions during sourdough fermentation. *Food Microbiology*, 37 (C), 2-10.
- 107. Giraffa, G., Carminati, D. (2008).** Molecular Techniques in Food Fermentation: Principles and Applications. In *Molecular Techniques in the Microbial Ecology of Fermented Foods*. Food Microbiology and Food Safety. Cocolin, L., and Ercolini, D (eds.), Springer (ed.), N Y, USA, 2008, 280.
- 108. Giraffa, G. (2014).** Overview of the ecology and biodiversity of the LAB. In *Lactic acid bacteria - biodiversity and taxonomy*. Holzappel, W. H., Wood, B. J. B and Ltd John Wiley and Sons (eds.), Chichester, West Sussex, UK, 45-54.
- 109. Godon, B. (1991).** *Biotransformation des produits céréaliers*. APRIA (ed.), ISBN 2852066874, 9782852066878, Paris, France, 221.
- 110. Godon, B., Willm, C. L. (1991).** *Les industries de première transformation des céréales*. Tec et Doc Lavoisier (ed.), ISBN 2-7430-0263-8, Paris, France, 78-91.

- 111. Godon, J. J., Delorme, C., Ehrlich, S. D., Renault, P. (1992).** Divergence of genomic sequences between *Lactococcus lactis subsp. lactis* and *Lactococcus lactis subsp. Cremoris*. *Applied and Environmental Microbiology Journal*, 58 (12), 4045-4047.
- 112. Godon, B., Loisel, W. (1997).** *Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales*. 2nd Edition. Tec et Doc Lavoisier (ed.), ISBN 2-7430-0123-2, Paris, France, 819.
- 113. Gourchala, F., Hobamahoro, A. F., Mihoub, F., Henchiri, C. (2014).** Effect of natural fermentation on the nutritional quality "El-Hammoum" durum wheat (*Triticum Durum*) fermented product of the Algerian country. *International Journal of Bio-Technology and Research*, 4 (4), 9-18.
- 114. Guezlane, L., Selselet-Attou, G., Senator, A. (1986).** Etude comparée de couscous de fabrication industrielle et artisanale. *Revue Industries des céréales*, 43, 25-29.
- 115. Guezlane, L., Abecassis, J. (1991).** Méthodes d'appréciation de la qualité culinaire du couscous de blé dur. *Revue Industrie Alimentaire et Agricole*, 108, (11), 966-971.
- 116. Guezlane, L. (1993).** Mise au point de méthodes de caractérisation et d'étude des modifications physico-chimiques sous l'effet des traitements hydro thermiques en vue d'optimiser la qualité du couscous de blé dur. Thèse de doctorat. Ecole Nationale Supérieure Agronomique Hassen Badi El Harrach, Alger, Algérie, 89.
- 117. Guillard, V., Bourlieu, C., Gontard, N. (2013).** Food structure and moisture transfer: a modeling approach, Springer Briefs in food, health, and nutrition. Springer. ISBN 1461463416, 9781461463412, N Y, USA, 60.
- 118. Guiraud, J. P. (2003).** Microbiologie alimentaire. Nouv- Dunod (ed), ISBN 2100072595, 9782100072590 Paris, France, 2003. p. 696.
- 119. Guggenheim, E.A. (1966).** Applications of statistical mechanics. Oxford Clarendon Press ISBN 10: 0198553315, 13: 9780198553311, U K, 211.
- 120. Guyot, J. P. (2010).** Fermented cereal products. In Fermented foods and beverages of the world. Taylor and Francis (ed.), CRC Press. Boca Raton, FL, USA, 2010, 247-262.
- 121. Guyot, J. P. (2012).** Cereal-based fermented foods in developing countries: ancient foods for modern research. *International Journal of Food Science & Technology*, 47 (6), 1109-1114.
- 122. Haas, G. J., Prescott, H. E., Dudley, E., Dik, R., Hintlian, C., Keane, L. (1989).** Inactivation of microorganisms by carbon dioxide under pressure. *Journal of Food Safety*, 9 (4), 253-265.
- 123. Hales, N. (2019).** Global Agricultural Information, Network: Grain and feed Annual. United States Department of Agriculture (USDA) Report AG1904, 1-15.
- 124. Hamadache, A., Abdellaoui, Z., Aknine, M. (2002).** Acteurs agrotechniques d'amélioration de la productivité du blé dur en Algérie. Cas de la zone sub-humide. *Recherche Agronomique*, 6 (10), 5-18.

- 125. Hammami, R., Sissons, M. (2020).** Durum wheat products, couscous. In Wheat quality for improving processing and human health. Igrejas, G., Ikeda, T., and Guzmán, C (eds.), International Publishing Springer, 347-367.
- 126. Hammami, R., Barbar, R., Laurent, M., Cuq, B. (2022).** Durum wheat couscous grains: An ethnic Mediterranean food at the interface of traditional domestic preparation and industrial manufacturing. *Foods*. 11, (7), 902-932.
- 127. Hebrard, A. (2002).** Granulation de semoules de blé dur. Thèse de doctorat. ENSA Montpellier, France, 1-40.
- 128. Hefied, N. (2010).** 100 bons couscous. In Couscous, boulgour et polenta. Transformer et consommer les céréales dans le monde. Chastanet, M (ed.), Karthala, Montpellier, France, 2010, pp. 462-463.
- 129. Heredia, N. L, Wesley, I. V Garcia, J. S. (2009).** *Microbiologically Safe Foods*. John Wiley and Sons (ed.), ISBN 0470439068, 9780470439067, N J, USA, 696.
- 130. Icard, C., Feillet, P. (1997).** Effets des phénomènes d'oxydo-réduction au cours de la fabrication des pâtes alimentaires. *Industries Alimentaires et Agricoles*. 114, 4-19.
- 131. Idoui, T., Leghouchi, E., Karam, N. (2009).** Lactic acid bacteria from “*Sheep's Dhan*”, a traditional butter: Isolation, identification and major technological traits. *Grasas y Aceites*. 60, 6 (2), 177-183.
- 132. IMANOR (2007).** Couscous : Détermination de l'indice de gonflement. Institut Marocain de normalisation. Maroc.
- 133. ISO 7302. (1982).** Cereals and Cereal Products. Determination of Total Fat Content. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland.
- 134. ISO 8587. (2006).** Sensory Analysis, Methodology Ranking. International Organization for Standardization, Geneva: Switzerland.
- 135. ISO 712. (2009).** Cereals and Cereal Products. Determination of Moisture Content. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland.
- 136. ISO 1871. (2009).** Food and Feed Products: General Guidelines for the Determination of Nitrogen by the Kjeldahl Method. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland.
- 137. ISO 2171. (2010).** Cereals, Pulses and By-Products. Determination of Ash Yield by Incineration. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland.
- 138. ISO/TC 93/WGL. (1965).** Determination of Starch by Extraction and Dispersion with Hydrochloric Acid. ISO: Geneva, Switzerland.
- 139. Jeantet, R., Croguennec, T., Schuck, P., Brule, G. (2006).** *Sciences des aliments: biochimie microbiologie procédés produits*. Tec et Doc Lavoisier (ed.), ISBN 2743008881, 9782743008888, Paris, France, 453.
- 140. Kalui, C. M, Mathara, J. M Kutima, P. M. (2010).** Probiotic potential of spontaneously fermented cereal. *African Journal of Biotechnology*, 9 (17), 2490-2498.

- 141. Kamal-Eldin, A. (2012).** Fermented cereal and legume products. In *Fermentation Effects on Food Properties*. Kamal-Eldin, A., and Iwanski, R. Z (eds.), CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 209-230.
- 142. Kanafani-Zahar, A. (1994).** La conservation alimentaire traditionnelle au Liban. La Maison des Sciences de l'Homme (ed.), ISBN 2735105393, 9782735105397, Paris, France, 263.
- 143. Kaup, S. M Walker, C. E. (1986).** Couscous in North Africa. *Cereal Food World*. 1986, 31 (2), 179-182.
- 144. Kayodé, A. P. P., Hounhouigan, D. J., Nout, M. J. R. (2007).** Impact of brewing process operations on phytate, phenolic compounds and in vitro solubility of iron and zinc in opaque sorghum beer. *LWT - Food Science and Technology*, 40 (4), 834-841.
- 145. Kermiche, M. (2013).** Caractérisation de certaines souches microbiennes évoluant dans le blé fermenté et mise en évidence de leurs activités enzymatiques. Thèse de magister. Université des Frères Mentouri, Constantine, Algérie, 123.
- 146. Kodio, O. (1989).** Structures paysannes de stockage. In *Cereals en régions chaudes : conservation et transformation*. Parmentier, M (ed.), John Libbey Eurotext, Paris, France, 1989, 19-25.
- 147. Kofi, E. A., Nout, A. J. R. (2010).** Functional Yeasts and Molds in Fermented Foods and Beverages. In *Fermented Foods and Beverages of the world*. Taylor and Francis (ed.), CRC Press, Boca Raton, N Y, USA, 129-424.
- 148. Kohajdova, J., Karovičová, Z. K. J. (2007).** Fermentation of cereals for specific purpose. *Journal of Food and Nutrition Research*, 46 (2), 51-57.
- 149. Kröckel, L. (2013).** The Role of Lactic Acid Bacteria in safety and flavour development of meat and meat products. In *Lactic Acid Bacteria-R and D for Food, Health and Livestock Purposes* (ed.), Intech Open, Rijeka, Kongo, 129-152.
- 150. Kulp, K. (1972).** Physicochemical properties of starches of wheat and flours. *Cereal Chemistry*, 49, 697-706.
- 151. Laib, R., Aknouche, D. (2017).** Amélioration de la production du blé dur : cas de la zone sud de. Mémoire de Master. Université des Frères Mentouri, Constantine, Algérie, 95.
- 152. Letrillart, L., Bourgois, I., Vega, A., Cittée, J., Lutsman, M. (2016).** Un glossaire d'initiation à la recherche qualitative. *La revue française de médecine générale*, 20 (87), 74-79.
- 153. Li, Z., Yang, J., Xu, X., Yu, W., Yue, X., Sun, C. (2002).** Particle shape characterization of fluidized catalytic cracking catalyst powders using mean value and distribution of shape factors. *Advanced Powder Technology*, 13 (3), 249-263.
- 154. Liu, X., Yang, J. (2018).** Shear wave velocity in sand: effect of grain shape. *Géotechnique Journal*, 68 (8), 742-748.

- 155. Louembé, D., Kéléké, S., Kobawila, S., Nzouzi, J. (2003).** Bactéries lactiques de la pâte fermentée de maïs au Congo. *Tropicultura*, 21 (1), 3-9.
- 156. Maata, M. (2012).** Etude de la thermodésistance chez la flore dominante de contamination de trois variétés de couscous commercialisés dans la région de Tlemcen. Thèse de master. Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, Algérie, 56.
- 157. Magali, M. (1996).** *Le monde des couscous et recettes de couscous*. Edisud (ed.), Aix-en-Provence, Paris, France, 1996.
- 158. Magan, N., Hope, R., Cairns, V., Aldred, D. (2003).** Post-harvest fungal ecology: Impact of fungal growth and. *European Journal of Plant Pathology*, 109, 723-730.
- 159. Manay, O., Shakuntala, N. (2001).** Food: facts and principles. New Age International. (ed.), ISBN 8122422152, 9788122422153 N D, India, 564.
- 160. Mandal, V., Sen, S. K., Mandal, N. C. (2013).** Production and partial characterization of an inducer-dependent novel antifungal compound(s) by *Pediococcus acidilactici* LAB 5. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93 (10), 2445-2453.
- 161. Mandato, S. (2012).** Génie des procédés d'agglomération de poudres alimentaires : éléments de phénoménologie des apports d'eau et d'énergie mécanique. Thèse de doctorat. Sup Agros Montpellier, France, 256.
- 162. Mathew, S. (2010).** An evaluation on the viability on the post-harvested stored wheat grains. *International Journal of Pharmaceutical and Applied sciences*, 1(4), B192-B198.
- 163. Matz, S. A. (1969).** *Cereal Science*. CT Westport (ed.). AVI Publishing Company Inc, USA, 241.
- 164. Medjerab, A., Henia, L. (2005).** Régionalisation des pluies annuelles dans l'Algérie nord-occidentale. *Revue Géographique de l'Est*, 45 (2), 1-14.
- 165. Mensah, P., Tomkins, A., Drasa, R., Harrison, T. (1990).** Fermentation of cereals for reduction of bacterial contamination of weaning foods in Ghana. *Lancet Journal*, 336, 140-143.
- 166. Merabti, R. (2015).** Blé dur fermenté *Lemzeïet* : étude du nouveau procédé de fermentation à l'extérieur du *Matmor* et caractérisation de l'écosystème (interactions du microbiote avec la matrice). Thèse de doctorat. Université Frères Mentouri, Constantine, Algérie, 2015, 189.
- 167. Merabti, R., Bekhouche, F., Chuat, V., Madec, M. N., Maillard, M. B., Bailly, S., Thierry, A., Valence, F. (2015).** A large diversity of lactic acid bacteria species is involved in the fermentation of wheat used for the manufacture of *Lemzeïet*. *European Food Research and Technology*, 241 (1), 137-149.
- 168. Mezroua, L. (2011).** Etude de la qualité culinaire de quelques couscous industriels et artisanaux et effet d'adjonction de la matière grasse durant la cuisson. [Thèse de Magister]. Université des Frères Mentouri, Constantine, Algérie, 2011, 139.

- 169. Mills, J.T. (1990).** Mycotoxins and fungi on cereal grains in western Canada. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 68 (7), 982-986.
- 170. Mills, E. N. C., Parker, M. L., Wellner, N., Toole, G., Feeney, K., Shewry, P. R. (2005).** Chemical imaging: the distribution of ions and molecules in developing and mature wheat grain. *Journal of Cereal Science*, 41 (2), pp. 193-201.
- 171. Mokhtari, S. (2012).** Effet protecteur de certaines bactéries lactiques isolées à partir de blé fermenté type hamoum. Mémoire de magister. Université d'Oran, Algérie, 2012, 165.
- 172. Mokhtari, S., Kheroua, O., and Saidi, D. (2016).** Isolation and identification of lactic acid bacteria from Algerian durum wheat (*Triticum Durum*) natural fermented in underground silos *Matmora "El-Hammoum"* and their antimicrobial activity again pathogenic germ. *Journal of Nutrition and Health Sciences*, Vol. 3, 403, 1-12.
- 173. Mokhtari, S., Taghouti, M., Saidi, D., and Kheroua, O. (2020).** Traditional Algerian fermented food: first data on nutritional characteristics of wheat (*Triticum Durum*) fermented in underground silos *Matmor* (Mascara, Algeria) compared to unfermented wheat. *Advances in Biology and Earth Sciences*, 5 (3), 176-192.
- 174. Monkachi, M. (1997).** L'alimentation traditionnelle dans les campagnes du nord du Maroc., *Médiévales* 1 (33), 91-102.
- 175. Montel, M. C, Béranger, C., Bonnemaire, J. (2005).** Les fermentations au service des produits de terroir. Quae (ed.), Paris, France, 2005, 296.
- 176. Mora, C. F., Kwan, A. K. H. (2000).** Sphericity, shape factor, and convexity measurement of coarse aggregate for concrete using digital image processing. *Cement and Concrete Research*, 30 (3), 351-358.
- 177. Mugula, J. K., Sorhaug, T., Stepaniak, L. (2003).** Proteolytic activities in togwa, a Tanzanian fermented food. *International Journal of Food Microbiology*, 84 (1), 1-12.
- 178. Muto, A., Osawa, S. (1987).** The guanine and cytosine content of genomic DNA and bacterial evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 84(1), 166-169.
- 179. Nachi, I., Fhoula, I., Smida, I., Ouzari, H. I., Hassouna, M. (2018).** Microbiological analysis and assessment of biotechnological potential of lactic acid bacteria isolated from Tunisian flours. *Annals of Microbiology*, 69 (2), 29-40.
- 180. Nani, M., Krishnaswamy, K. (2021).** Physical and functional properties of ancient grains and flours and their potential contribution to sustainable food processing. *International Journal of Food Properties*, 24 (1), 1529-1547.
- 181. Ndiaye, D. S. B. (1999).** Manuel de stockage et de conservation des céréales et des oléagineux, Coopérative Autrichienne pour le développement, Décolé Sidy Baba, Cellule centrale d'appui technique PADER, Thiès, Sénégal, 2, 61.
- 182. Nessah, E. (2007).** Couscous *Lemzeïet* à base de blé fermenté : enquête sur le mode de production, la préparation culinaire et l'analyse physique. Mémoire d'ingénieur. Université des Frères Mentouri, Constantine, Algérie, 2007, 65.

- 183. Nout, M. J. R Ngoddy, P. O. (1997).** Technological aspects of preparing affordable fermented complementary foods. *Food Control*, 8 (5-6), 279-287.
- 184. Nout, R., Hounhouigan, J. D., Boekel, T. V. (2003).** *Les aliments, transformation, conservation et qualité.* Nout, R., Hounhouigan, J. D., et Boekel, T. V (eds.), Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands, 279.
- 185. Ntsam, S. (1989).** Céréales en régions chaudes. In Céréales en régions chaudes: conservation et transformation. Parmentier, M (ed.), John Libbey Eurotext, Paris, France, 1989, 3-8.
- 186. O' Kelly, E Forster, R. H. (1983).** *Traitement et stockage des céréales vivrières par les ménages ruraux.* FAO (ed.), Bulletin des services agricoles, Roma, Italie, 1983, 134.
- 187. Ociczek, A. (2007).** Comparison of sorption properties of semolina and farina. *Acta Agrophysica Journal*, 9 (1), 135-145.
- 188. Okki, A. (2013).** Enquête sur la fabrication, la préparation et la consommation du couscous artisanal dans la wilaya de Guelma. Mémoire d'ingénieur. Université Mentouri, Constantine, Algérie, 2013, 56.
- 189. Orole, O. O Adejumo, T. O. (2011).** Bacterial and fungal endophytes associated with grains and roots of maize. *Journal of Ecology and the Natural Environment*, 3 (9), 298-303.
- 190. Osungbaro, T. O. (2009).** Physical and nutritive properties of fermented cereal foods. *African Journal of food Science*, 3 (2), 23-27.
- 191. Oubahli, M. (2006).** *Manger au Maghreb. Partie 1, Approche pluridisciplinaire des pratiques de table en méditerranée du moyen-âge à nos jours.* Oubahli, M., et Poulain, J.P (eds.). Presses universitaires du Mirail, impr, ISBN 2810707154, 9782810707157, Toulouse, France, 200.
- 192. Ounane, G., Cuq, B., Abecassis, J., Yesli, A., Ounane S. M (2006).** Effect of physicochemical characteristics and lipid distribution in Algerian durum wheat semolina on the technological quality of couscous. *Cereal Chemistry Journal*, 83 (4), 377-384.
- 193. Parveen, S., Hafiz, F. (2003).** Fermented Cereal from Indigenous Raw Materials. *Pakistan Journal of Nutrition*, 2 (5), 289-291.
- 194. Pearson, D. (1976).** *The Chemical Analysis of Food.* 7th Edition. Description, Edinburgh (ed.), Churchill Livingstone, London. 1976, 575.
- 195. Pfohl-Leskowicz, A., Manderville, R. A. (2007).** Ochratoxin A: An overview on toxicity and carcinogenicity in animals and humans. *Molecular Nutrition and Food Research*, 51 (1), 61-99.
- 196. Pitt, J. I. (1996).** What are mycotoxins? *Australian Mycotoxin Newsletter*, 7 (4), 1-2.
- 197. Pitt, J. I., Hocking, A. D. (2009).** *Fungi and Food Spoilage;* Springer (ed.), Science and Business Media, New York, NY, USA, 19-52.

- 198. Pomeranz, Y. (1974).** *Wheat chemistry and technology*. Cereal Chem (ed.), St. Paul, MN, USA, 25-65.
- 199. Ramírez, E., Gandul-Rojas, B., Romero, C., Brenes, M., Gallardo-Guerrero, L. (2015).** Composition of pigments and color changes in green table olives related to processing type. *Food Chemistry*, 166, 115-124.
- 200. Raimbault, M. (1981).** *Fermentation en milieu solide. Croissance de champignons filamenteux sur substrat amylicé*. Trav Doc ORSTOM (ed.), Paris. France, 127, 1-291.
- 201. Raimbault, M. (1995).** *Importance des bactéries lactiques dans les fermentations du manioc*. ORSTOM (ed.), Paris. France, 260-275.
- 202. Rezac, S., Kok, C.R., Heermann, M., Hutkins, R. (2018).** Fermented foods as a dietary source of live organisms. *Frontiers in Microbiology*, 9 (1785), 1-29.
- 203. Richard-Molard, M. (1998).** Microbiologie des céréales et des farines. In Les industries de première transformation des céréales. Godon, B., and Willm, C. L (ed.), Tec et Doc Lavoisier, Paris, France, 159-173.
- 204. RoCHAT, A., GuENAT, D. (2013).** Post-harvest losses of dry grains in North Western Benin. Agriculture and Food Security Network Brief No 4. School of Agricultural, Forest and Food Sciences (HAFL) Bern, Switzerland, 1-8.
- 205. Rolland, C. (2013).** Trier et stocker ses céréales à la ferme pour mieux les valoriser. *Symbiose*, 184, 12-13.
- 206. Rosenberger, B. (1989).** Les pâtes dans le monde musulman. In Presses Universitaires de Vincennes Stable (ed.), *Médiévales*, 16 (17), 77-98.
- 207. Rouisset, L., Bensoltane, A. (2006).** Physico-chemical, microbiological and biotechnological studies of Lactic Acid Bacteria isolated from ewe's milk of Algerian tow breeds (Ouled Djellal and El Hamra). *Egyptian Journal of Applied Sciences*, 21 (2b), 567-582.
- 208. Saad, M., Barkouti, A., Rondet, E., Ruiz, T., Cuq, B. (2011).** Study of agglomeration mechanisms of food powders: Application to durum wheat semolina. *Powder Technology*, 208 (2), 399-408.
- 209. Saleh, K., Guigon, P. (2009).** Caractérisation et analyse des poudres: Propriétés physiques des solides divisés. *Techniques de l'ingénieur Génie des procédés*, JC 1, (J 2251), 1-14.
- 210. Sall, K. (1972).** Contrôle de qualité des farines céréalières mises sur le marché au Sénégal. Thèse de doctorat. Université Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal, 1972, 118.
- 211. Samson, M. F., Morel, M. H. (1995).** Heat denaturation of durum wheat semolina β -amylase: effects of chemical factors and pasta processing conditions. *Journal of Food Science*, 60 (6), 1313-1320.
- 212. Saulnier, L. (2012).** Les grains de céréales : diversité et compositions nutritionnelles. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 47 (1), S4-S15.

- 213. Shahidan, N. H., Rahman, R. N. Z. A., Leow, T. C., Rosfarizan, M., Basri, M., Salleh, A. B. (2011).** The effect of carbon sources on the expression level of thermostable L2 lipase in *Pichia pastoris*. *African Journal of Biotechnology*, 10 (62), 13528-13535.
- 214. Sharma, G. (2003).** Digital Color Imaging Hand book. CRC Press (ed.), Florida, USA, 2003. ISBN 0-8493-0900-X, 764.
- 215. Songré-Quattara, L.T., Mouquet-Rivier, C., Icard-Vernière, C., Humblot, C., Diawara, B., Guyot, J.P. (2008).** Enzyme activities of lactic acid bacteria from a pearl millet fermented gruel (ben-saalga) of functional interest in nutrition. *International Journal of Food Microbiology*, 128, 2, 395-400.
- 216. Šramkova, Z., Gregova, E., Sturdik, E. (2009).** Chemical composition and nutritional quality of wheat grain. *Acta Chimica Slovaca*, 2 (1), 115-138.
- 217. Srilakshmi, S. (2007).** *Food Science*. Srilakshmi, S. (ed.), New Age International Pvt Ltd, N D, India, 456.
- 218. Statista. (2021).** La production et consommation de céréales, Principaux pays importateurs de blé dans le monde. [En ligne-<https://fr.statista.com/statistiques/559827/ble-consommation-volume-par-personne-monde>; <https://fr.statista.com/statistiques/550221/principaux-pays-importateurs-de-farine-de-ble-et-de-produits-de-ble/>]. Consulté le 05/01/2021.
- 219. Surget, A., Barron, C. (2005).** Histologie du grain de blé. *Revue Industrie des céréales*, 145, 3, 3-7.
- 220. SYMPATEC (2017).** Particle measurement and shape glossary. [En ligne -<https://www.sympatec.com/en/particle-measurement/glossary/>]. Consulté le 05/03/2020.
- 221. Tahani, N., Serghini-Caid, H., Ouzouline, M., Elamrani, A. (2008).** Mycologie du blé tendre : qualité technologique du grain et conséquences sur les produits finis. *Reviews in Biology and Biotechnology*, 7 (1), 27-32.
- 222. Tailliez, P. (2004).** Les lactobacilles : propriétés, habitats, rôle physiologique et intérêt en santé humaine. *Journal des Anti-infectieux*, 6 (1), 35-41.
- 223. Tamang, J. P., Fleet, G.H. (2009).** Yeasts Diversity in fermented foods and Beverages. In *Yeast Biotechnology: Diversité and Application*. Satyanarayana, T., and Kunze, G (eds.). Springer Netherlands, NY, USA, 169-198.
- 224. Tamang, J. P. (2010a).** Fermented cereals. In *Himalayan Fermented Foods: Microbiology, Nutrition, and Ethnic Values*; Tamang, J.P., (ed.), CRC Press, Boca Raton, FL, USA; New York, NY, USA, 117-138.
- 225. Tamang, J. P. (2010b).** Diversity of fermented foods. In *Fermented Foods and Beverages of the World*. Tamang, J.P., And Kailasapathy, K (eds.); CRC Press, Boca Raton, FL, USA; New York, NY, USA, 41-84.
- 226. Terzaghi, B. E., Sandine, W. E. (1975).** Improved medium for lactic Streptococci and their bacteriophages. *Applied Microbiology*, 29, 6, 807-813.

227. **Tiwari, P., Upadhyay, M. (2012).** Characterization of a thermo tolerant lipase from *Pichia anomala*. *Eurorean Journal of Experimental biology*, 2, 464-467.
228. **Tou, E. H., Guyot, J. P., Mouquet-Rivier, C., Rochette, I., Counil, E., Traoré, A. S., Trèche, S. (2006).** Study through surveys and fermentation kinetics of the traditional processing of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) into bensa alga, a fermented gruel from Burkina Faso. *International Journal of Food Microbiology*, 106 (1), 52-60.
229. **Valensi, L. (1975).** Consommation et usages alimentaires en Tunisie aux XVIIIe et XIXe siècles. *Annales Histoire, Sciences Sociales*, 30^e Année, 2 (3), 600-609.
230. **Viaux, P. (1999).** Une 3^{ème} voie en grande culture : *Environnement, Qualité, Rentabilité*. Agridécisions (ed.), Paris, France, 211.
231. **Vierling, E. (2008).** *Aliments et Boissons: Filière et Produits*. Rueil-Malmaison; Bordeaux Doin (ed.), Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine, Paris, France, 277.
232. **Vodouche, S. R., Zannou, A., Achigan Dako, E. (1998).** *Actes du premier atelier sur la diversité génétique du fonio en Afrique de l'Ouest*. IPGRI (ed.), International plant genetic resources institute, Conakry, Guinée, 81.
233. **Yan, W. M., Shi, Y. (2014).** Changes Evolution of grain grading and characteristics in repeatedly reconstituted assemblages subject to one-dimensional compression. *Géotechnique Letters*, 4, 223-229.
234. **Yao, A. A., Egonlety, M., Kouame, L., Thonart, P. (2009).** Les bactéries lactiques dans les aliments ou boissons amylicés et fermentés de l'Afrique de l'Ouest: leur utilisation actuelle. *Annales de Médecine Vétérinaire*, 153 (1), 54-65.
235. **Yettou, N., Ait Kaci, M., Guezlane, L., Ait-Amar, H. (1997).** Détermination des caractéristiques viscoélastiques du couscous cuit au moyen du viscoélastographe Chopin. *Industries alimentaires et agricoles*, 114 (12), 844-847.
236. **Yettou, N. (1998).** Les méthodes instrumentales d'appréciation de la qualité culinaire du couscous de blé dur. Thèse de Magister. INA El-Harrach, Alger, Algérie, 80.
237. **Yettou, N., Guezlane, L., Ounane, G. (2000).** Mise au point d'une méthode instrumentale d'évaluation de la délitescence du couscous de blé dur. Premier symposium de blé, Enjeux et stratégie, Alger, Algérie, 271-275.
238. **Yousfi, L. (2002).** Influence des conditions de fabrication et des méthodes de préparation sur la qualité du couscous industriel et artisanal. Thèse de Magistère. Université des Frères Mentouri, Constantine, Algérie, 141.
239. **Yousif, N. M. K., Huch, M., Schuster, T., Cho, G.S., Dirar, H.A., Holzapfel, W.H., Franz, C. M. A. P. (2010).** Diversity of lactic acid bacteria from Husuwa, a traditional African fermented sorghum food. *Food Microbiology*, 27 (6), 757-768.
240. **Zhang, Z., L. V, G., Pan, H., Fan, L., Soccol, C. R., Pandey, A. (2012).** Production of powerful antioxidant supplements via solid-state fermentatin of wheat (*Triticum*

aestivum Linn.) by cordyceps militaris. *Food Technology and Biotechnology*, 50 (1), 32-39.

241. Ziane, M. (2014). Caractérisation, identification et étude de la thermorésistance de souches de *Bacillus cereus* isolées de semoule de couscous. Thèse de doctorat. Université Aboubekr Belkaid, Tlemcen, Algérie, 99.

Annexes

Annexe 1. Recrutement des interrogées dans la voie publique

Zone	Wilayas	Effectif inclus	Effectif exclus	
		A	B	C
Nord-est d'Algérie	Constantine	136	12	0
	Mila	186	0	0
	Oum El Bouaghi	100	16	5
	Khenchela	78	20	5
Total		500	48	10

A : femmes ont le savoir-faire et acquises d'une expérience dans la fabrication artisanale du couscous *Lemzeïet* ;

B : femmes connaissant seulement le procédé traditionnel de fabrication du couscous *Lemzeïet* ;

C : femmes ne connaissant pas le procédé traditionnel de fabrication du couscous *Lemzeïet*.

Annexe 2. Questionnaire de la fabrication du couscous artisanal *Lemzeïet*

UNIVERSITE FRERES MENTOURI DE CONSTANTINE 1 (U.F.M.C.1)
INSTITUT DE LA NUTRITION, DE L'ALIMENTATION ET DES TECHNOLOGIES
AGRO-ALIMENTAIRES
(I.N.A.T.A.A.)

Enquête auprès des ménages sur le couscous *Lemzeïet* fabriqué à partir du blé fermenté

Date :

Questionnaire N°:

Lieu de l'enquête

Commune : Willaya :

Volet 1. Identification des ménages

Nom : Prénom : Age : Origine :

Niveau d'instruction : Aucun Primaire Moyen Secondaire Universitaire Occupation : Femmes au foyer Femmes qui travaillent **Volet 2. Fabrication du couscous *lemzeïet*****I. Ingrédients utilisées****1. Semoule**100% blé dur fermenté : Oui Non

Mélange de semoule de blé dur fermenté et de blé dur non fermenté :

Oui Non Pourcentage de semoule de blé dur fermenté

Mélange de semoule de blé dur fermenté et du couscous de blé dur (blanc):

Oui Non Pourcentage de semoule de blé dur fermenté Quel est le type de semoule de blé dur fermenté utilisé ? fine "*Dakak*" grosse "*Fetla*" **2. Autres**

Ingrédients	Nature des ingrédients	Quantité des ingrédients
Eau		
Sel		
Œufs		
Matière grasse ou autre		

II. Matériels utilisés**1. Guessâa**En bois Autre matière **2. Tamis**

Tamis par ordre	Nom du tamis	Taille d'ouverture des mailles		
		Fine	Moyenne	Grosse
Tamis 1				
Tamis 2				
Tamis 3				
Tamis 4				
Tamis 5				
Autres tamis				

3. Couscoussier

En acier En aluminium Autre

III. Étapes à suivre

Existence d'une étape de précuissons de la semoule : Oui Non

Les étapes de fabrication :

	Étape	Tamis utilisés	Mélange des ingrédients	Nature de mouvement effectué	Nombre de roulage
<u>Agglomération</u>	R				
	C				
	T				
<u>Finition</u>	R				
	T				
<u>Après cuisson</u>	T				
	C				

R : Roulage, C : Calibrage, T : Tamisage

Quel est le nombre de recyclage de la semoule passant sous le tamis après l'agglomération?.....

A la fin de l'étape de la finition la semoule qui passe à travers le tamis et elle recyclé ?

Oui Non

Si non sera destinée à quelle type de fabrication ?.....

Le couscous obtenu est il mit au repos avant la cuisson ? Oui Non

Si oui combien de temps ?

Quel est le mode de cuisson ? À la vapeur Autre Nombre de cuisson

Quel est le temps et le nombre nécessaire à la cuisson ?.....

La cuisson est jugée par l'apparition de vapeur à la surface : Oui Non

Si non, comment ?.....

Quel est le tamis utilisé pour l'émottage du couscous cuit ?.....

Vous séchez le couscous : Au soleil A l'ombre Autre

Pourquoi vous choisissez ce type de séchage ?.....

Le retournement du couscous pendant le séchage est il une opération :

Obligatoire Facultative

Comment évaluez-vous la fin du séchage ? Au toucher A la vue Autre

Est que vous effectuez un tamisage à la fin du séchage ? Oui Non

Quel est le tamis utilisé et pourquoi ?.....

Une fois le couscous obtenu est que vous le tamisez pour le classer selon la granulométrie ?

Oui Tamis utilisé ? Non

Estimation du rendement en couscous par nombre de classe granulométrique

Quels sont les conditions de stockage du couscous sec ?

Annexe 3. Bulletin du test de classement par rang de *friedman*

FICHE DE TEST DE CLASSEMENT PAR RANG DE FRIEDMAN

Date d'examen :

Nom et prénom du dégustateur :

Age :

1-Veuillez classer les huit échantillons de couscous (A, B, C, D, E, F, G, H) par ordre d'intensité. Jugez leurs caractères en les plaçant sur les échelles ci-dessous par ordre croissant d'intensité de 1 à 8.

Couleur:

1	2	3	4	5	6	7	8
Clair				Foncé			

Collant:

1	2	3	4	5	6	7	8
Pas collant				Très collant			

Odeur :

1	2	3	4	5	6	7	8
Moins forte				Plus forte			

Fermeté :

1	2	3	4	5	6	7	8
Très tendre				Très dur			

2-Veuillez classer les huit échantillons de couscous par ordre d'acceptabilité

Code	Classement

Annexe 4. ANOVA bidirectionnelle (à deux facteurs) pour les propriétés des échantillons de couscous *Lemzeiet*

Paramètres	Source	Somme des carrés	Degré de liberté	Carré moyen	Ratio- F	Valeur – p
Descripteurs de la taille						
D10	Temps de Fermentation (TF)	44,883	3	14,961	0,193	0,899
	Addition de Vinaigre (AV)	39,568	1	39,568	0,511	0,485
	Interaction TF-AV	498,378	3	166,126	2,145	0,135
D50	Temps de Fermentation (TF)	59,429	3	19,810	0,219	0,882
	Addition de Vinaigre (AV)	30,267	1	30,267	0,335	0,571
	Interaction TF-AV	518,387	3	172,796	1,911	0,169
d90	Temps de Fermentation (TF)	39,672	3	13,224	0,244	0,865
	Addition de Vinaigre (AV)	11,255	1	11,255	0,207	0,655
	Interaction TF-AV	285,521	3	95,174	1,755	0,196
Span	Temps de Fermentation (TF)	1,184E-005	3	3,947E-006	0,181	0,908
	Addition de Vinaigre (AV)	1,815E-005	1	1,815E-005	0,832	0,375
	Interaction TF-AV	0,000	3	5,366E-005	2,460	0,100
Descripteurs de la forme						
EQPC	Temps de Fermentation (TF)	2,712E-008	3	9,040E-009	4,723	0,015
	Addition de Vinaigre (AV)	9,848E-010	1	9,848E-010	0,514	0,484
	Interaction TF-AV	7,835E-009	3	2,612E-009	1,364	0,289
RA	Temps de Fermentation (TF)	0,000	3	0,000	0,229	0,875
	Addition de Vinaigre (AV)	0,000	1	0,000	0,378	0,548
	Interaction TF-AV	0,001	3	0,000	0,353	0,788
S	Temps de Fermentation (TF)	0,001	3	0,000	11,274	0,000
	Addition de Vinaigre (AV)	6,893E-009	1	6,893E-009	0,000	0,986
	Interaction TF-AV	0,000	3	5,948E-005	2,760	0,076

C	Temps de Fermentation (TF)	7,268E-005	3	2,423E-005	7,574	0,002
	Addition de Vinaigre (AV)	2,993E-006	1	2,993E-006	0,936	0,348
	Interaction TF-AV	1,106E-005	3	3,686E-006	1,153	0,358
R	Temps de Fermentation (TF)	0,009	3	0,003	6,548	0,006
	Addition de Vinaigre (AV)	0,001	1	0,001	2,273	0,156
	Interaction TF-AV	0,004	3	0,001	3,037	0,067
Profil de la couleur						
L*	Temps de Fermentation (TF)	22,477	3	7,492	5,845	0,007
	Addition de Vinaigre (AV)	0,704	1	0,704	0,549	0,469
	Interaction TF-AV	20,222	3	6,741	5,258	0,010
a*	Temps de Fermentation (TF)	5,620	3	1,873	38,772	0,000
	Addition de Vinaigre (AV)	2,884	1	2,884	59,695	0,000
	Interaction TF-AV	3,194	3	1,065	22,037	0,000
b*	Temps de Fermentation (TF)	76,487	3	25,496	107,598	0,000
	Addition de Vinaigre (AV)	0,100	1	0,100	0,422	0,525
	Interaction TF-AV	4,142	3	1,381	5,827	0,007
IB	Temps de Fermentation (TF)	22,477	3	7,492	5,845	0,007
	Addition de Vinaigre (AV)	0,704	1	0,704	0,549	0,469
	Interaction TF-AV	20,222	3	6,741	5,258	0,010
Propriétés culinaires						
IG	Temps de Fermentation (TF)	1,671	3	0,557	4,659	0,016
	Addition de Vinaigre (AV)	3,604	1	3,604	30,136	0,000
	Interaction TF-AV	0,351	3	0,117	0,979	0,427
DD (%)	Temps de Fermentation (TF)	89,876	3	29,959	360,305	0,000
	Addition de Vinaigre (AV)	30,691	1	30,691	369,110	0,000
	Interaction TF-AV	5,520	3	1,840	22,129	0,000

CRE	Temps de Fermentation (TF)	2,129	3	0,710	4,023	0,051
	Addition de Vinaigre (AV)	0,234	1	0,234	1,328	0,282
	Interaction TF-AV	0,036	3	0,012	0,069	0,975
Top	Temps de Fermentation (TF)	29,125	3	9,708	1,226	0,333
	Addition de Vinaigre (AV)	176,042	1	176,042	22,237	0,000
	Interaction TF-AV	20,125	3	6,708	0,847	0,488

Attributs sensorielles

Odeur	Temps de Fermentation (TF)	101,838	3	33,946	42,212	0,000
	Addition de Vinaigre (AV)	241,513	1	241,513	300,326	0,000
	Interaction TF-AV	6,638	3	2,213	2,751	0,049
Couleur	Temps de Fermentation (TF)	65,800	3	21,933	47,566	0,000
	Addition de Vinaigre (AV)	320,000	1	320,000	693,976	0,000
	Interaction TF-AV	1,000	3	,333	0,723	0,542
Collant	Temps de Fermentation (TF)	376,600	3	125,533	259,724	0,000
	Addition de Vinaigre (AV)	6,050	1	6,050	12,517	0,001
	Interaction TF-AV	2,550	3	,850	1,759	0,163
Fermeté	Temps de Fermentation (TF)	53,900	3	17,967	18,533	0,000
	Addition de Vinaigre (AV)	266,450	1	266,450	274,848	0,000
	Interaction TF-AV	23,850	3	7,950	8,201	0,000
Appreciation globale	Temps de Fermentation (TF)	267,944	3	89,315	160,207	0,000
	Addition de Vinaigre (AV)	65,413	1	65,413	117,335	0,000
	Interaction TF-AV	11,906	3	3,969	7,119	0,000

Annexe 5. Appréciation par classement d'intensité (ANOVA à un facteur de *Friedman*)

Attributs	Échantillons	CL3AV	CL3SV	CL6AV	CL6SV	CL9AV	CL9SV	CL12AV	CL12SV
	Codes	C	I	F	B	G	D	A	E
Odeur	Numérotation totale	50 ± 0,82	16 ± 0,70	54 ± 1,34	17 ± 0,82	71 ± 0,74	28 ± 0,63	76 ± 0,52	48 ± 1,03
	Rang moyen de <i>Friedman</i>	5,00 ± 0,82 ^b	1,90 ± 0,99 ^a	5,40 ± 1,50 ^b	1,70 ± 0,82 ^a	7,10 ± 0,73 ^c	2,80 ± 0,63 ^a	7,60 ± 0,52 ^c	4,80 ± 1,03 ^b
Couleur	Numérotation totale	13 ± 0,48	56 ± 0,52	17 ± 0,48	58 ± 0,79	35 ± 0,53	74 ± 1,26	35 ± 0,53	72 ± 0,42
	Rang moyen de <i>Friedman</i>	1,30 ± 0,48 ^a	5,60 ± 0,52 ^c	1,70 ± 0,48 ^a	5,80 ± 0,79 ^c	3,50 ± 0,53 ^b	7,40 ± 1,26 ^d	3,50 ± 0,53 ^b	7,20 ± 0,42 ^d
Collant	Numérotation totale	75 ± 0,71	74 ± 0,52	59 ± 0,32	50 ± 0,82	39 ± 0,87	30 ± 0,47	18 ± 1,03	15 ± 0,53
	Rang moyen de <i>Friedman</i>	7,50 ± 0,71 ^d	7,40 ± 0,52 ^d	5,90 ± 0,32 ^c	5,00 ± 0,82 ^c	3,90 ± 0,88 ^b	3,00 ± 0,47 ^b	1,80 ± 1,03 ^a	1,50 ± 0,53 ^a
Fermeté	Numérotation totale	32 ± 1,32	51 ± 1,00	17 ± 0,82	66 ± 0,97	18 ± 0,63	58 ± 1,03	40 ± 1,52	78 ± 0,63
	Rang moyen de <i>Friedman</i>	3,20 ± 1,32 ^b	5,10 ± 0,99 ^c	1,70 ± 0,82 ^a	6,60 ± 0,97 ^d	1,80 ± 0,63 ^a	5,80 ± 1,03 ^c	4,00 ± 1,25 ^b	7,80 ± 0,63 ^d
Appréciation Globale	Numérotation totale	16 ± 0,52	21 ± 0,57	29,66 ± 0,53	51 ± 0,74	43 ± 1,16	68 ± 0,79	57 ± 0,95	78 ± 0,42
	Rang moyen de <i>Friedman</i>	1,60 ± 0,52 ^a	2,10 ± 0,57 ^{ab}	2,90 ± 0,53 ^c	5,10 ± 0,74 ^{cd}	4,30 ± 1,16 ^d	6,80 ± 0,79 ^e	5,70 ± 0,95 ^d	7,80 ± 0,42 ^e

Les valeurs dans les lignes avec la même lettre ne sont pas significativement différentes ($p > 0,05$).

Résumés

Résumé

Le couscous *Lemzeïet* est un aliment traditionnel préparé à partir de blé dur fermenté en Algérie. Les objectifs des travaux de thèse étaient (1) recensement des différentes formules de préparation et établissement du diagramme traditionnel de fabrication du couscous *Lemzeïet* à travers une enquête dans le Nord-est Algérien ; (2) suivie de l'évolution des propriétés microbiologiques (flore totale et bactéries lactiques (BL)) et biochimiques (pH, acidité, teneur en protéines, en matières grasses, en sucres, en cendres et en amidon) du blé dur, au cours de la fermentation sans et avec ajout initial de vinaigre dans des bidons en plastique stériles (3, 6, 9 et 12 mois); (3) évaluation de l'influence du temps de fermentation et de l'ajout de vinaigre sur les caractéristiques du couscous *Lemzeïet* en termes de propriétés physiques (distribution granulométrique, diamètres équivalents, descripteurs de forme 2 D, cinétique de sorption de l'eau et la couleur), qualité culinaire (temps de cuisson, capacité de rétention d'eau, indice de gonflement et degré de déletescence), microstructure et attributs sensoriels (couleur, odeur, fermeté, adhérence et acceptabilité globale). L'enquête a permis de recenser dix formules. La formule la plus utilisée est composée de semoule fine de blé dur fermenté (50%), semoule fine de blé dur non fermenté (25%) et semoule grosse de blé dur non fermenté (25%). Le diagramme de fabrication établi comporte plusieurs étapes : mélange, hydratation, roulage, calibrage, tamisage, cuisson à la vapeur, émottage et séchage. Les résultats de la deuxième partie ont montré l'innocuité des échantillons de *Lemzeïet* après l'absence progressive des champignons. Il contenait également une charge importante de BL qui était des cocci ou des bâtonnets, blancs ou jaunes, regroupés en chaîne, paire et tétrade. Les isolats du BL étaient mannitol+, ont poussé entre 10 et 45°C, ont montré une résistance à 63,5°C et la majorité étaient homo-fermentaires. Les résultats ont montré une diminution significative du pH pendant la fermentation indépendamment de l'ajout de vinaigre. La teneur en protéines a augmenté jusqu'à 14,90% et 15,50% en fin de fermentation. Les teneurs en matières grasses et en amidon ont diminué après 12 mois de fermentation, indépendamment de l'ajout de vinaigre. La teneur en cendres est restée élevée (1,41% et 1,45%) après six mois de fermentation avec et sans vinaigre, respectivement. Les caractéristiques microbiologiques et biochimiques du *Lemzeïet* en font une matière première très intéressante dans la fabrication d'aliments sains. Les résultats de la troisième partie ont montré que les descripteurs de taille étaient similaires quelles que soient les conditions de fermentation. Les particules de couscous étaient généralement régulières, homogènes, sphériques et non convexes, malgré l'effet du temps de fermentation sur tous les descripteurs de forme à l'exception du rapport d'aspect. L'augmentation du temps de fermentation a diminué l'indice de jaune, l'indice de rouge et a augmenté l'indice de brun. La microstructure a mis en évidence presque la même morphologie pour tous les échantillons. Cependant, l'ajout de vinaigre semble augmenter les pores interparticules et diminuer les gouttelettes lipidiques. Le temps de fermentation a augmenté le degré de déletescence, tandis que l'ajout de vinaigre a provoqué l'effet inverse ainsi qu'une ré-augmentation de l'indice de gonflement (après 3 et 6 mois de fermentation) et une diminution du temps de cuisson (après 12 mois de fermentation). L'évaluation sensorielle a montré que l'augmentation du temps de fermentation augmentait la couleur, l'odeur et l'impression globale, et diminuait le caractère collant. L'ajout de vinaigre augmentait l'odeur et diminuait la couleur, la fermeté et l'impression globale. Les conditions de fermentation ont un impact sur les caractéristiques du couscous *Lemzeïet* en modifiant ses propriétés physiques, sa qualité culinaire et ses attributs sensoriels.

Mots clés. Blé dur fermenté, couscous *Lemzeïet*, bactéries lactiques, temps de fermentation, vinaigre, propriétés technologiques, qualité culinaire, attributs sensoriels, microstructure.

Abstract

Couscous *Lemzeïet* is a traditional food prepared from fermented durum wheat in Algeria. The objectives of the thesis work were (1) census of the different preparation formulas and establishment of the traditional diagram for *Lemzeïet* couscous manufacturing through a survey in the Northeast of Algeria ; (2) follow of the evolution of microbiological properties (total flora and lactic acid bacteria (LAB)) and biochemical properties (pH, acidity, protein, fat, sugar, ash and starch content) of durum wheat during fermentation without and with the initial addition of vinegar in sterile plastic canisters (3, 6, 9 and 12 months) ; (3) evaluation to the influence of fermentation time and vinegar addition on the characteristics of couscous *Lemzeïet* in terms of physical properties (grain size distribution, equivalent diameters, 2D-shape descriptors, water sorption kinetics and color), cooking properties (cooking time, water holding capacity, swelling index, and disintegration degree), microstructure and sensory attributes (color, odor, firmness, stickiness and overall acceptability). The survey allowed identifying ten formulas. The most used formula is composed of fine semolina of fermented durum wheat (50%), fine semolina of unfermented durum wheat (25%) and coarse semolina of unfermented durum wheat (25%). The production diagram established includes several steps: mixing, hydration, rolling, sizing, sieving, steam-cooking, emoting, and drying. The results of the second part showed the safety of *Lemzeïet* samples after the gradual absence of fungi. It also contained a significant load of LAB that, were cocci or rods, white or yellow, grouped in chain, pair and tetrad. LAB isolates were mannitol +, grew between 10 and 45°C, showed resistance at 63.5°C and the majority were homo-fermentative. Results showed a significant decrease in pH during fermentation regardless of the vinegar addition. Protein content increased up to 14.90% and 15.50% at the end of fermentation. The fat and starch contents decreased after 12 months of fermentation, regardless of the vinegar addition. Ash content remained high (1.41% and 1.45%) after six months of fermentation with and without vinegar, respectively. The microbiological and the biochemical characteristics of *Lemzeïet* make it a very interesting raw material in the manufacturing of healthy foods. The results of the third part showed that size descriptors were similar whatever the fermentation conditions. Couscous particles were generally regular, homogeneous, spherical and non-convex, despite the effect of fermentation time on all shape descriptors except aspect ratio. Increasing fermentation time decreased yellowness, redness and increased browning index. Microstructure highlighted almost the same morphology for all samples. However, vinegar addition seems to increase inter-particle pores and decrease lipid droplets. Fermentation time increased disintegration degree, while vinegar addition caused the reverse effect as well as increasing swelling index (after 3 and 6 months of fermentation) and decreasing cooking time (after 12 months of fermentation). Sensory evaluation showed that increasing the fermentation time increased color, odor, and overall impression, and decreased stickiness. Vinegar addition increased odor and decreased color, firmness and overall impression. Fermentation conditions have an impact on couscous *Lemzeïet* features by modifying its physical properties, cooking quality and sensory attributes.

Keywords: Fermented durum wheat, couscous *Lemzeïet*, lactic acid bacteria, fermentation time, vinegar, technological properties, culinary quality, sensory attributes, microstructure.

ملخص

الكسكس لمزيت هو طعام تقليدي يتم تحضيره من القمح الصلب المخمر في الجزائر. كانت أهداف عمل الأطروحة (1) تعداد صيغ التحضير المختلفة وإنشاء المخطط التقليدي لتصنيع كسكس لمزيت من خلال دراسة استقصائية في شمال شرق الجزائر؛ (2) متابعة تطور الخصائص الميكروبيولوجية (تعداد الميكروبات "مجموع فلورا" و بكتيريا حمض اللاكتيك) والخصائص الكيميائية الحيوية (درجة الحموضة والبروتين والدهون والسكر والرماد ومحتوى النشاء) للقمح الصلب خلال التخمر بدون و مع الإضافة الأولية للخل في عبوات بلاستيكية معقمة (3 و 6 و 9 و 12 شهرًا)؛ (3) تقييم أثر وقت التخمر وإضافة الخل على خصائص كسكس لمزيت في ما يخص خصائصه الفيزيائية (توزيع حجم الحبوب، الأقطار المكافئة، الواصفات ثنائية الأبعاد، حركية امتصاص الماء، واللون)، خصائص الطهي (وقت الطهي، سعة الاحتفاظ بالماء، مؤشر الانتفاخ، ودرجة التفكك)، البنية المجهرية والسمات الحسية (اللون، الرائحة، الصلابة، الالتصاق والقبول العام). سمحت الدراسة الاستقصائية بتحديد عشرة صيغ. وتتكون الصيغة الأكثر استخدامًا من السميد الناعم من القمح الصلب المخمر (50%) والسميد الناعم من القمح الصلب غير المخمر (25%) والسميد الخشن من القمح الصلب غير المخمر (25%). يتضمن مخطط الإنتاج الذي تم إنشاؤه عدة خطوات: مزج، والترطيب، والدرفلة، والتجفيف، والتجسيم، والغريلة، والطبخ بالبخار، وإزالة التكتل، والتجفيف. أظهرت نتائج الجزء الثاني سلامة عينات القمح القاسي لمزيت بسبب الغياب التدريجي للفطريات. كما احتوت أيضًا على حمولة كبيرة من بكتيريا حمض اللاكتيك التي كانت عبارة عن مكورات أو قضبان، بيضاء أو صفراء، مجمعة في سلسلة وزوج ورباعي. كانت عزلات بكتيريا حمض اللاكتيك مانيتول+، ونمت بين 10 و 45 درجة مئوية، وأظهرت مقاومة عند 63,5 درجة مئوية وكانت الغالبية متخمرة. أظهرت النتائج انخفاضًا معنويًا في الرقم الهيدروجيني أثناء التخمر بغض النظر عن إضافة الخل. ارتفع محتوى البروتين إلى 14,90% و 15,50% في نهاية التخمر. انخفض محتوى الدهون والنشاء بعد 12 شهرًا من التخمر بغض النظر عن إضافة الخل. ظل محتوى الرماد مرتفعًا (1,41% و 1,45%) بعد ستة أشهر من التخمر بالخل وبدونه على التوالي. الخصائص الميكروبيولوجية والكيميائية الحيوية للمزيت تجعلها مادة خام مثيرة للاهتمام للغاية في تصنيع الأطعمة الصحية. أظهرت النتائج الجزء الثالث أن واصفات الحجم كانت متشابهة بغض النظر عن ظروف التخمر. كانت جزيئات الكسكس بشكل عام منتظمة ومتجانسة وكروية وغير محدبة، على الرغم من تأثير وقت التخمر على جميع واصفات الأشكال باستثناء نسبة العرض إلى الارتفاع. أدت زيادة زمن التخمر إلى انخفاض المؤشر الأصفر والمؤشر الأحمر وزيادة المؤشر البني. أظهرت البنية المجهرية نفس الشكل تقريبًا لجميع العينات. و مع ذلك، يبدو أن إضافة الخل يزيد من المسام بين الجسيمات ويقلل من قطرات الدهون. زاد وقت التخمر من درجة التفكك بينما أدت إضافة الخل إلى التأثير المعاكس بالإضافة إلى إعادة زيادة مؤشر الانتفاخ (بعد 3 و 6 أشهر من التخمر) وانخفاض وقت الطهي (بعد 12 شهرًا من التخمر). و أظهر التقييم الحسي أن زيادة وقت التخمر يزيد من اللون والرائحة والانطباع العام ويقلل من الالتصاق. أدت إضافة الخل إلى زيادة الرائحة وتقليل اللون والصلابة والانطباع العام. تؤثر ظروف التخمر على خصائص كسكس لمزيت من خلال تعديل خصائصه الفيزيائية وجودة الطهي وسماته الحسية.

الكلمات الرئيسية. القمح الصلب المخمر، كسكس لمزيت، بكتيريا حمض اللاكتيك، وقت التخمر، الخل الخصائص التكنولوجية، جودة الطهي، الصفات الحسية، البنية المجهرية.