

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE

INSTITUT DE LA NUTRITION, DE L'ALIMENTATION ET DES TECHNOLOGIES
AGRO-ALIMENTAIRES
I.N.A.T.A.A.

DEPARTEMENT DES TECHNOLOGIES ALIMENTAIRES

N° d'ordre :

N° de série :

Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magister en Sciences

Alimentaires, option de Technologies Alimentaires

Par

MEZROUA Lyamine

ETUDE DE LA QUALITE CULINAIRE DE QUELQUES COUSCOUS
INDUSTRIELS ET ARTISANAUX ET EFFET D'ADJONCTION DE LA
MATIERE GRASSE DURANT LA CUISSON

Soutenu le : 06/07/ 2011

Devant les membres de jury

Président :	BELARIBI M.	Professeur	Fac. S.N.V., U.M.C.
Rapporteur :	NAMOUNE H.	Professeur	I.N.A.T.A.A., U.M.C.
Examineurs :	BARKAT M.	Maître de conférences	I.N.A.T.A.A., U.M.C.
	BOUDOUR L.	Maître de conférences	Fac. S.N.V., U.M.C.

REMERCIEMENTS

Je remercie profondément Pr. NAMOUNE Hacène pour avoir dirigé ce mémoire et pour qui j'exprime toute ma reconnaissance pour son aide, son soutien, sa disponibilité et ses conseils pertinents tout au long de ce travail. Il m'est aussi d'agréable devoir de t'adresser un grand merci pour la sympathie, la confiance et la liberté dont j'ai bénéficié au cours de la réalisation de ce mémoire.

Je voudrais remercier Pr. BELARIBI Mostapha pour avoir accepté de présider le jury de soutenance. Soyer assuré de mon plus profond respect.

Je tiens à remercier Dr. BARKAT Malika et Dr. BOUDOUR Leila pour avoir accepté d'examiner ce travail. Veuillez accepter ma sincère gratitude.

Je remercie tous les ingénieurs et techniciens des laboratoires pédagogiques (I.N.A.T.A.A.), du laboratoire de complexe MEXICALI (Didouche ; Constantine), du laboratoire de complexe GRANDS MOULINS DU SUD (Oumèche ; Biskra), du laboratoire de l'unité d'alimentation de bétail (Ain Melila ; Oum El Bouaghi) pour leur aide et contribution à la réalisation de ce travail.

Je tiens à remercier M. CHEMECHE Loucif, mon camarade et mon collègue, pour son aide, son encouragement, sa sympathie et sa confiance tout au long de la formation de Magister.

Mes remerciements s'adressent aussi à M. HAMIRA Ammar et M. SAID Oussama, mes camarades et mes frères, pour leur soutien et encouragement illimités.

Je voudrais adresser mes remerciements à mes amis M. BOUASLA Abdallah et BENSALEM Adel, pour leur aide à la réalisation de ce mémoire.

Mes remerciements s'adressent aussi à mes amis et mes collègues : ZOUAOUI Nassim, BOUGUIRRA Ali, GOMRI Mohammed Amine, CHIKHOUNE Anis, LOUIZA Himad, BOUHKEROUFA Azzeddine, BOULOUIDENINE Oussama, Abdelaziz, CHERMAT Fayçal et à tous les gents qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	1
<u>PREMIERE PARTIE</u> <u>SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE</u>	
CHAPITRE 1 : COMPOSITION ET FABRICATION DU COUSCOUS	
1. Etymologie du mot couscous.....	3
2. Définition du couscous.....	3
3. Composition du couscous.....	3
4. Microstructure des particules	4
5. Fabrication du couscous.....	5
5.1 Mode artisanal.....	5
5.2 Mode industriel.....	9
6. Mécanisme d'agglomération de la semoule au cours du roulage.....	9
CHAPITRE 2 : QUALITE DU COUSCOUS	
1. Qualité nutritionnelle.....	14
2. Qualité hygiénique.....	14
3. Qualité organoleptique.....	14
3.1. Couleur du couscous.....	14
3.2. Granulométrie des particules.....	17
3.3. Forme des particules.....	18
3.4. Masse volumique de couscous.....	20
CHAPITRE 3 : QUALITE CULINAIRE DU COUSCOUS	
1. Notion de la qualité culinaire de couscous.....	21
2. Paramètres de la qualité culinaire du couscous.....	22
2.1. Indice de solubilité dans l'eau.....	22
2.2. Temps de l'absorption d'eau	23
2.3. Indice de gonflement	24
2.4. Indice de prise en masse.....	26
2.5. Propriétés de texture.....	28
3. Influence d'adjonction de matière grasse sur la qualité culinaire de couscous.....	30
4. Effet du traitement hydrothermique sur les constituants biochimiques du couscous.....	33

DEUXIEME PARTIE
MATERIEL ET METHODES

1. Echantillonnage.....	35
2. Fabrication du couscous artisanal.....	35
2.1. Matériel de fabrication.....	35
2.1.1. Matière première	35
2.1.2. Ingrédients.....	35
2.1.3. Matériel utilisé.....	36
2.2. Conditions fabrication artisanale de couscous.....	37
2.3. Procédé de fabrication artisanale	40
2.3.1. Hydratation.....	40
2.3.2. Roulage.....	40
2.3.3. Tamisage.....	41
2.3.4. Précuisson.....	42
2.3.5. Emottage et calibrage.....	43
2.3.6. Séchage.....	44
2.4. Détermination du rendement.....	44
3. Fabrication industrielle de couscous.....	45
3.1. Hydratation et malaxage.....	45
3.2. Roulage et tamisage	45
3.3. Précuisson.....	46
3.4. Séchage.....	46
3.4. Refroidissement et calibrage.....	46
4. Caractérisation de la matière première (semoule) des échantillons artisanaux.....	47
4.1. Analyses physico-chimiques.....	47
4.1.1. Taux d'humidité	48
4.1.2. Dosage des lipides libres	48
4.1.3. Dosage des protéines totales.....	48
4.1.4. Taux de cendres	49
4.1.5. Teneur en gluten humide	50
4.1.6. Teneur en gluten sec.....	50
4.1.7. Granulométrie.....	50
4.1.8. Taux d'extraction.....	51
4.2. Analyses technologiques.....	51

4.2.1. Extensibilité du gluten	51
4.2.2. Ramollissement du gluten	52
5. Appréciation de la qualité du couscous sec industriel et artisanal.....	52
5.1. Analyses physico-chimiques.....	53
5.1.1. Taux d'humidité	53
5.1.2. Dosage des lipides libres	53
5.1.3. Dosage des protéines totales.....	53
5.1.4. Taux de cendres	53
5.2. Analyses technologiques.....	53
5.2.1. Granulométrie.....	53
5.2.2. Masse volumique.....	54
6. Appréciation de la qualité culinaire du couscous industriel et artisanal	54
6.1. Temps de cuisson.....	54
6.1.1 Cuisson de couscous.....	54
6.1.2 Détermination du temps de cuisson.....	55
6.2. Indice gonflement.....	55
6.3. Degré de Délitescence	56
7. Effet de la matière grasse sur la qualité culinaire de couscous.....	56
7.1. Effet des doses de la matière grasse sur le temps optimale de cuisson.....	56
7.2. Détermination de la dose raisonnable des matières grasses ajoutées.....	57
7.3. Effet de la matière grasse sur le gonflement de couscous.....	58
7.4. Effet de la matière grasse sur la fermeté, le collant et la délitescence de couscous.....	58
7.5. Evaluation sensorielle.....	59
8. Traitement statistique des résultats	60

TROISIEME PARTIE
RESULTATS ET DISCUSSION

1. Caractérisation physico-chimique de la matière première (semoule) des échantillons artisanaux	61
1.1. Composition biochimique.....	61
1.2. Granulométrie de la matière première.....	62
2. Procédé artisanal et industriel de couscous.....	63
3. Caractérisation des échantillons du couscous.....	64
3.1 Caractéristiques physico-chimiques.....	64

3.1.1 Humidité.....	64
3.1.2 Teneur en lipides libres.....	66
3.1.3 Teneur en protéines.....	67
3.1.4. Taux des cendres.....	68
3.2. Caractérisation granulométrique du couscous.....	69
3.2.1. Paramètre de position (granulométrie médiane).....	69
3.2.2. Paramètre de dispersion.....	73
3.3. Masse volumique de couscous sec.....	74
4. Appréciation de la qualité culinaire du couscous.....	75
4.1. Temps de cuisson.....	75
4.1.1. Temps minimal.....	75
4.1.2. Temps optimal	77
4.1.3. Temps de surcuisson.....	78
4.2. Gonflement du couscous.....	80
4.3. Degré de délitescence.....	82
5. Effet des caractéristiques physico-chimiques sur la qualité culinaire de couscous de blé dur	84
6. Influence de la matière grasse sur la qualité culinaire du couscous.....	87
6.1. Détermination des doses raisonnables des matières grasses ajoutées.....	87
6.2. Effet de la matière grasse sur le temps optimal de cuisson.....	88
6.3 Effet de la matière grasse sur le gonflement du couscous.....	93
6.4. Effet de la matière grasse sur la fermeté, le collant et la délitescence	95
6.4.1. Analyses sensorielles.....	95
6.4.2. Sur la fermeté.....	96
6.4.3. Sur le collant.....	97
6.4.4. Sur la délitescence.....	99
Conclusion.....	103
Références bibliographiques.....	107
Annexes	

LISTE DES TABLEAUX

Synthèse bibliographique

Tableau 1. Composition biochimique de la semoule de blé dur et du couscous industriel moyen (Hebrard, 2002).....	3
Tableau 2. Capacité de production de couscous industriel de certains pays (Anonyme, 2004).....	5
Tableau 3. Comparaison des diagrammes traditionnels de fabrication du couscous (Boucheham, 2009).....	6
Tableau 4. Effet de la teneur en protéines sur la délitescence et la fermeté des pâtes alimentaires durant la cuisson (Edwards et al., 1993).....	29
Tableau 5. Composition nutritionnelle d'huile de tournesol, du beurre et de la margarine végétale pour 100 g de produit (Souci et al., 1994).....	32

Matériel et méthodes

Tableau 6. Caractéristiques technologiques de la fabrication de couscous industriel de blé dur.....	47
--	-----------

Résultats et discussion

Tableau 7. Teneur en gluten et ses propriétés technologiques.....	61
Tableau 8. Caractéristiques physico-chimiques des échantillons du couscous.....	65
Tableau 9. Comparaison des moyennes d'humidité des couscous par le test de Tukey HSD au seuil de 5 %.....	66
Tableau 10. Comparaison des moyennes des lipides libres des échantillons de couscous par test de Tukey HSD au seuil 5%.....	67
Tableau 11. Comparaison des moyennes de la teneur en protéines des différents échantillons du couscous avec le test de Tukey HSD au seuil de 5%.....	68
Tableau 12. Comparaison des moyennes de taux de cendres des échantillons du couscous avec le test Tukey HSD au seuil de 5%.....	69
Tableau 13. Paramètres de position (D_{50}) et de dispersion des échantillons du couscous.....	73
Tableau 14. Masse volumique des échantillons du couscous.....	74

Tableau 15. Comparaison des moyennes de la masse volumique des couscous par le test de Tukey HSD au seuil 5%.....	75
Tableau 16. Comparaison des moyennes du temps minimal de cuisson des couscous par le test de Tukey au seuil de 5%.....	77
Tableau 17. Comparaison des moyennes du temps optimal de cuisson des couscous par le test de Tukey au seuil de 5%.....	78
Tableau 18. Comparaison des moyennes du temps de surcuisson des couscous par le test de Tukey au seuil de 5%.....	80
Tableau 19. Analyse des moyennes de la délitescence des couscous par le biais de test de Tukey au seuil de 5%.....	84
Tableau 20. Coefficient de corrélation linéaire (r) des caractéristiques physico-chimiques et culinaires du couscous de blé dur.....	86
Tableau 21. Fermeté des différents couscous.....	96
Tableau 22. Comparaison des moyennes de la fermeté des couscous traités par la matière grasse par le test de Tukey HSD au seuil de 5 %.....	97
Tableau 23. Collant des différents couscous.....	98
Tableau 24. Comparaison des moyennes du collant des couscous traités par la matière grasse par le test de Tukey HSD au seuil de 5%.....	99
Tableau 25. Délitescence des différents couscous.....	100
Tableau 26. Comparaison des moyennes de la délitescence des couscous traités par la matière grasse par le test de Tukey HSD au seuil de 5 %.....	100
Tableau 27. Matrice de corrélation des paramètres de la qualité culinaire et la matière grasse	102

LISTE DES FIGURES

Synthèse bibliographique

Figure 1. Microstructure d'électron de balayage des grains de couscous industriel (Pons <i>et al.</i> , 1999).....	4
Figure 2. Microstructure d'agglomérat humide après le roulage (Hebrard, 2002).....	4
Figure 3. Diagramme traditionnel de fabrication de couscous selon la préparation du Nord Est d'Algérie (Benatallah <i>et al.</i> , 2008).....	8
Figure 4. SEM description de la microstructure des particules de la semoule de blé dur (A), des grains formés après hydratation et malaxage : nucléi (B ,C), des agglomérats (D,E) et des pièces de pâte (F,G) (Mohamad Saad <i>et al.</i> , 2011).....	10
Figure 5. Mécanisme d'agglomération de la semoule de blé dur (Mohamad Saad <i>et al.</i> , 2010).....	11
Figure 6. Evolution de la taille médiane des particules de la semoule de blé dur après l'étape de l'hydratation/ malaxage en fonction de la teneur en eau (Mohamad Saad <i>et al.</i> , 2010).....	12
Figure 7. Impact de niveau d'addition de l'eau sur le diamètre médiane (D_{50}) des particules après l'agglomération humide de la semoule de blé dur (Mohamad Saad <i>et al.</i> , 2011).....	12
Figure 8. Exemples des courbes de distribution de dimension particulaire pour le couscous industriel moyen et le couscous artisanal (Guezlane, 1993).....	17
Figure 9. Micrographes électroniques de balayage (12 x) (A) des grains du couscous artisanal et (B) des grains du couscous industriel (barre = 830 μm) (Debbouz et Donnelly, 1996).....	19
Figure 10. Diagramme de cuisson traditionnelle de couscous (Derouiche, 2003).....	22
Figure 11. Influence de matière grasse sur le temps de cuisson du couscous de blé dur (Feliachi et Guerfi, 2002).....	31
Figure 12. Modifications hydrothermiques de l'amidon (Buleon <i>et al.</i> , 1990).....	33

Matériel et méthodes

Figure 13. Matériel de fabrication artisanale de couscous (Benatallah <i>et al.</i> , 2008).....	36
Figure 14. Diagramme de fabrication artisanale de couscous fin.....	38
Figure 15. Diagramme de fabrication artisanale de couscous moyen.....	39

Figure 16. Hydratation de la semoule grosse.....	40
Figure 17. Roulage de la semoule grosse.....	41
Figure 18. Addition de la semoule fine.....	41
Figure 19. Tamisage de couscous.....	42
Figure 20. Précuisson de couscous humide.....	43
Figure 21. Emottage (A) et calibrage (B) de couscous précuit.....	43
Figure 22. Séchage de couscous à l'ombre.....	44
Figure 23. Présentation de la méthode de Kosmina et Kranz modifiée par Muller (1969).....	51
Figure 24. Présentation de la méthode de Kauzes <i>et al.</i> (1966).....	52
Figure 25. Diagramme de la cuisson de couscous.....	57
Figure 26. Fiche de notation des analyses sensorielles de couscous.....	58
Figure 27. Formulaire de dégustation de couscous.....	59
 <u>Résultats et discussion</u>	
Figure 28. Granulométrie de la semoule supérieure de blé dur (GRANDS MOULINS DU SUD).....	63
Figure 29. Courbe granulométrique du couscous artisanal.....	70
Figure 30. Courbe granulométrique du couscous industriel (Complexe MEXICALI).....	71
Figure 31. Courbe granulométrique du couscous industriel (Complexe GRANDS MOULINS DU SUD).....	71
Figure 32. Courbe granulométrique du couscous industriel (Complexe BENAMOR).....	72
Figure 33. Courbe granulométrique du couscous industriel (Complexe SOPI).....	72
Figure 34. Temps minimal de cuisson des couscous	76
Figure 35. Temps optimal de cuisson des couscous	77
Figure 36. Temps de surcuisson des couscous	79
Figure 37. Cinétique du gonflement des couscous fins	81
Figure 38. Cinétique du gonflement des couscous moyens	82

Figure 39. Désagrégation des couscous (% ms) en fonction de l'origine et de la granulométrie.....	83
Figure 40. Cercle de corrélation des caractéristiques physico-chimiques et les paramètres de la qualité culinaire du couscous.....	85
Figure 41. Evolution de l'intensité de caractéristiques sensorielles du couscous en fonction de la dose de l'huile de tournesol ajoutée	87
Figure 42. Evolution de l'intensité des caractéristiques sensorielles du couscous en fonction de la dose de la margarine végétale ajoutée.....	87
Figure 43. Evolution de l'intensité des caractéristiques sensorielles du couscous en fonction de la dose du beurre ajouté.....	88
Figure 44. Temps optimal de la cuisson des couscous fins en fonction de la matière grasse ajoutée.....	89
Figure 45. Temps optimal de la cuisson des couscous moyens en fonction de la matière grasse ajoutée.....	90
Figure 46. Temps optimal de cuisson de couscous fin en fonction de la dose de la margarine végétale ajoutée.....	90
Figure 47. Temps optimal de cuisson de couscous moyen en fonction de la dose de la margarine végétale ajoutée.....	91
Figure 48. Temps optimal de cuisson de couscous fin en fonction de la dose du beurre ajoutée.....	91
Figure 49. Temps optimal de cuisson de couscous moyen en fonction de la dose du beurre ajoutée.....	92
Figure 50. Temps optimal de cuisson de couscous fin en fonction de la dose de huile de tournesol ajoutée.....	92
Figure 51. Temps optimal de cuisson de couscous moyen en fonction de la dose de huile de tournesol ajoutée.....	93
Figure 52. Effet de la matière grasse sur le gonflement (absorption d'eau) des couscous fins.....	93
Figure 53. Effet de la matière grasse sur le gonflement (absorption d'eau) des couscous moyens.....	94
Figure 54. Cercle de corrélation des paramètres de la qualité culinaire du couscous en présence de la matière grasse.....	102

LISTE DES ABREVIATIONS

ACP	analyse en composantes principales
ANOVA	analyse de variance
d	densité du produit chimique
D	diamètre
D₅₀	diamètre médian
DD	degré de la délitescence
dm	dry matter
ENASEL	entreprise nationale de la fabrication du sel
GMS	grands moulins du sud
HMWG	high molecular weight glutenin
IG	indice de gonflement
IPMT	indice de prise en masse par tamisage
IS	indice de solubilité de l'amidon
K	facteur de conversion
LMWG	low molecular- weight glutenin
ms	matière sèche
N	normalité du produit chimique
R	rendement
SARL	société à responsabilité limitée
SEM	scanning electron microscope
SF	semoule fine
SG	semoule grosse
Sg	standar deviation geometric
SGM	semoule grosse moyenne
SM	semoule moyenne
SOPI	société des pâtes industrielles
SSSE	semoule super sasse extra
tr	tour
vs	volume sec

Introduction

Introduction

La fabrication des pâtes alimentaires au niveau familial est une tradition chez les populations d'Afrique du Nord (Guezlane *et al.*, 1986). Le couscous est l'une des pâtes alimentaires les plus antiques développées par les habitants indigènes (Berbers) de l'Afrique du Nord (Kaup et Walker, 1986 ; Debbouz et Donnelly, 1996 ; Ugrinovits *et al.*, 2004). Il est issu d'une longue histoire et porteur de signification profonde (Beji-Becheur, 2008). C'était seulement à partir des années 70 qu'on avait pu entièrement automatiser des chaînes de production du couscous qui ont commencées en Afrique du Nord, et plus tard dans d'autres régions du monde, comme la France, l'Italie, la Grèce et plus récemment aux Etats-Unis (Debbouz et Donnelly, 1996).

Le couscous est parmi les principaux plats chez les familles algériennes surtout dans les régions du Nord (régions kabyles et rurales) (Namoune *et al.*, 2004). Malgré l'actuelle diversification de l'alimentation, ce plat est coutumier et plus apprécié par la population rurale et urbaine du Maghreb et reste le plat des occasions et des fêtes (Guezlane *et al.*, 1986). Le couscous constitue le symbole de l'identité alimentaire des populations du Maghreb. Il a réussi à conquérir la France (Beji-Becheur, 2008). Du fait de sa qualité culinaire et sa technologie particulière, il reste jusqu'ici apprécié par toutes les générations (Yousfi, 2002).

En comparaison avec les pâtes alimentaires, il existe seulement très peu d'études sur le procédé et les mécanismes physico-chimiques impliqués dans la qualité de couscous (Kaup et Walker, 1986 ; Guezlane *et al.*, 1986 ; Dick et Matsuo, 1988 ; Quaglia, 1988 ; Guezlane et Abecassis, 1991 ; Guezlane, 1993 ; Debbouz *et al.*, 1994 ; Debbouz et Donnelly, 1996 ; Yettou 1998 ; Tigroudja et Bendjoudiouadda, 1998 ; Idir, 2000 ; Yousfi, 2002 ; Angar et Belhouchet, 2002 ; Derouiche, 2003 ; Dahoun –Lefkir, 2005 ; Ounane *et al.*, 2006).

Le marché comporte plusieurs types de couscous d'origines différentes (matières premières et procédés technologiques) et du couscous artisanal. Toutefois, l'addition de matière grasse durant la cuisson du couscous est une pratique très fréquente. Guezlane *et al.* (1998 b) et Ounane *et al.* (2006) ont souligné que le produit est soumis à deux cuissons successives interrompues par l'adjonction de matières grasses (beurre ou huile d'olive).

Malgré la fréquence de cette pratique, l'effet de l'incorporation de cette matière sur la qualité culinaire du couscous n'a pas pris sa part de la recherche scientifique. Nous ne trouvons pas beaucoup d'études qui révèlent l'effet de ces matières sur la qualité culinaire de couscous. Les seuls travaux relatifs à ce sujet sont :

-Ceux de Belaid *et al.* (1994) sur le rôle des monoglycérides dans l'expression de la qualité technologique du couscous industriel de blé dur ;

-Ceux de Feliachi et Guerfi (2002) sur influence de l'incorporation de la matière grasse durant la cuisson sur la qualité culinaire du couscous de la semoule supérieure et courante.

De même, Ounane *et al.* (2006) ont essayé de montrer l'influence des lipides des semoules du blé dur algérien sur la qualité technologique du couscous.

A ce propos, trois problèmes demeurent posés:

-Malgré l'importance de la qualité culinaire dans l'appréciation de ce plat traditionnel, peu d'études concernant cette qualité.

-Absence des méthodes d'analyse bien définies et normalisées pour l'appréciation de la qualité culinaire de couscous.

-Il n'y a pas beaucoup de travaux scientifiques pouvant contribuer d'une façon pratique à la connaissance de l'effet de l'incorporation de matière grasse pendant la cuisson sur le rendement (gonflement) et la texture du couscous et expliquent les mécanismes physico-chimiques engendrant ces modifications au cours de traitement hydrothermique (cuisson à la vapeur d'eau).

Dans ce contexte général, notre travail sera entrepris, en vue d'étudier la qualité culinaire du couscous industriel et artisanal de blé dur et de montrer l'effet d'addition de la matière grasse sur leur qualité culinaire. La stratégie adoptée pour répondre à l'objectif principal de la présente étude consiste à :

- 1- Collecter un certain nombre de couscous commercialisés en Algérie ;
- 2- Fabriquer deux échantillons de couscous artisanal ;
- 3-Etudier leurs caractéristiques physico-chimiques et déterminer leur qualité culinaire ;
- 4-Etudier l'effet de l'incorporation de quelques matières grasses durant la cuisson sur la qualité culinaire des couscous concernés.

Synthèse bibliographique

CHAPITRE 1 : COMPOSITION ET FABRICATION DU COUSCOUS

1. Etymologie du mot couscous

L'origine berbère du mot couscous ne fait pratiquement pas de doute, même si sa formation exacte présente quelques obscurités. En effet, le terme, sous la forme de base *seksu*, est attesté dans quasiment tous les dialectes berbères algéro-marocains : kabyle, chleuh, rifain. Les dialectes berbères sahariens (touareg, Ghadames) présentent une forme légèrement différente : *keskesu* (Chaker, 1995 ; Beji-Becheur, 2008).

2. Définition du couscous

Le couscous, c'est le produit composé de la semoule de blé dur (*Triticum durum*) dont les éléments sont agglomérés en ajoutant de l'eau potable et qui a été soumis à des traitements physiques tels que la cuisson et le séchage (normes de *codex alimentarius* 202-1995).

3. Composition du couscous

Le *codex alimentarius* (norme de *codex* 202-1995) indique que la teneur en humidité du couscous ne doit pas dépasser 13,5 %, avec une teneur en cendres au maximum de 1,1 %. La composition biochimique du couscous industriel est semblable à celle de la semoule de blé dur qui est utilisée comme matière première (Tableau 1).

Tableau 1. Composition biochimique de la semoule de blé dur et du couscous industriel moyen (Hebrard, 2002).

Composition	Semoule du blé dur	Couscous moyen
Teneur en eau (g / 100 g de produit)	14,5 ± 0,4	9,8 ± 0,3
Teneur en amidon (g / 100 g de matière sèche)	86,2 ± 6,0	85,6 ± 6,0
Teneur en amidon gélatinisée (g / 100 g de matière sèche)	5,9 ± 0,3	71,8 ± 3,6
Teneur en protéines totales (g / 100 g de matière sèche)	13,5 ± 0,5	13,5 ± 0,5
Teneur en protéines solubles (g / 100 g de matière sèche)	12,7 ± 0,6	2,2 ± 0,1
Teneur en pentosanes totales (g / 100 g de matière sèche)	1,7 ± 0,2	1,4 ± 0,1
Teneur en pentosanes solubles (g / 100 g de matière sèche)	0,1	0

D'autre part, Le couscous est caractérisé par des teneurs faibles en protéines solubles (2,2%) et des teneurs élevées en amidon gélatinisé (71,8 %), en comparaison avec la semoule

de blé dur (12,7 % et 5,9 %, respectivement), ces différences sont dues aux changements physico-chimiques induits par le processus de fabrication (Hebrard, 2002).

4. Microstructure des particules

Les micrographes électroniques de balayage sont utilisés pour l'évaluation de la microstructure des grains de couscous. Les grains de couscous sec apparaissent comme des grandes particules agglomérées (Figure 1), établies par l'association de petites particules de semoule plus ou moins fondues (300-500 μm) (Pons *et al.*, 1999).

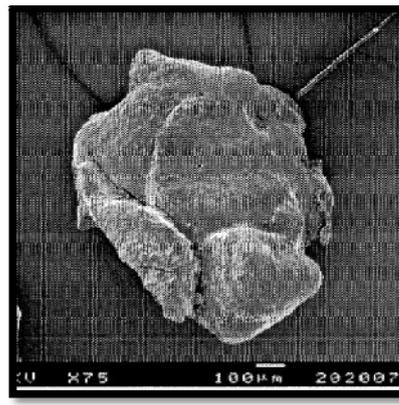


Figure 1. Microstructure d'électron de balayage des grains de couscous industriel (Pons *et al.*, 1999).

Hebrard (2002) a montré que la rigidité des grains de couscous est due aux ponts fondus entre les petites particules initiales agglomérées (Figure 2).

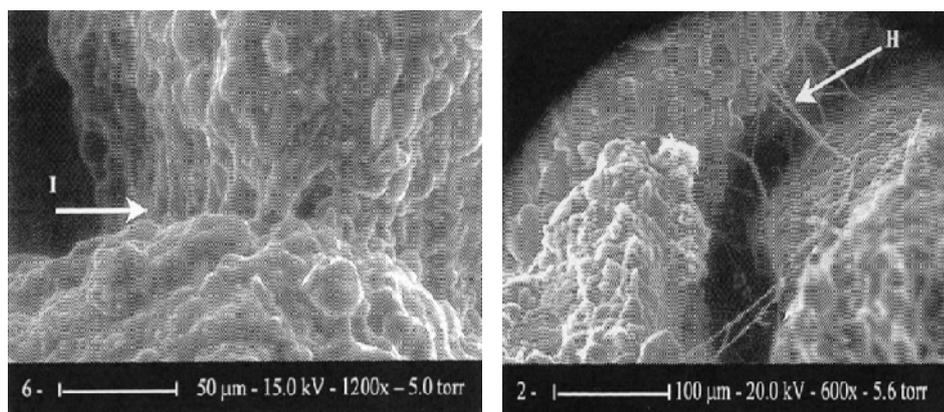


Figure 2. Microstructure d'agglomérat humide après le roulage (Hebrard, 2002)

La présence d'un vide résiduel entre les particules plus ou moins fondues de semoule permet une certaine porosité à l'intérieur des grains de couscous (Hebrard, 2002).

5. Fabrication du couscous

Le couscous est préparé à partir d'un mélange de semoule grosse et de semoule fine. Il peut aussi être préparé à partir de la semoule dite «grosse-moyenne» (norme de *codex* 202-1995). Pendant la fabrication de couscous, la semoule doit être hydratée avec de l'eau salée de 4-5 g de NaCl / l (Kaup et Walker, 1986).

Le couscous est fait à partir du millet perlé au Sénégal et du maïs au Togo (Kaup et Walker, 1986). Le couscous de maïs, de sorgho et de millet sont des aliments traditionnels de plusieurs pays de l'Afrique de l'Ouest, d'Amérique Centrale et de l'Est (Galiba *et al.*, 1988). Leur fabrication ressemble à celle de couscous de blé dur du Nord-Africain sur certains points (Aluka *et al.*, 1985). Environ 10 % du blé dur au Proche Orient est employé pour fabriquer le couscous (Williams, 1985). Les étapes de fabrication de couscous commercial sont identiques à celles de couscous traditionnel (Kaup et Walker, 1986). Traditionnellement, les femmes d'Afrique du Nord fabriquent leur couscous à la main, mais depuis 1953, la fabrication de ce dernier a été industrialisée grâce aux frères FERRERO. Nous soulignons que dans le monde, il se produit environ 300 000 tonnes de couscous par an (Desousa, 2001).

Le couscous est industrialisé et connaît un développement international. Les capacités installées dans certains pays sont indiquées dans le tableau 2.

Tableau 2. Capacité de production de couscous industriel installée dans certains pays

(Anonyme, 2004).

Pays	Capacité (tonnes/ an)
Tunisie	85000
Algérie	50000 dont 20000 tonnes sont en cours
Maroc	80000
Mauritanie	9500
France	112 500
Italie	14 000
USA	11 600
Canada	6 300

5.1 Mode artisanal

Traditionnellement, le couscous est produit en petite quantité dans la maison (Seiler, 1982). La préparation du couscous demeure globalement identique (Tableau 3).

Tableau 3. Comparaison des diagrammes traditionnels de fabrication du couscous (Boucheham, 2009)

	BAHCHACHI (2002, Constantine)	YOUSFI (2002, Est Algérien)	DEROUICHE (2003, Constantine)	BENATALLAH <i>et al.</i> (2008, Constantine)	
Etape 1 : Classification de la semoule	Classes	Fella ($\varnothing > 600 \mu\text{m}$) et semoulette (SM+SF)($\varnothing < 100 \mu\text{m}$)	Semoule de blé dur et farine de blé dur ($\varnothing \leq 280 \mu\text{m}$)	SM ($\varnothing > 525 \mu\text{m}$) et SF ($\varnothing \leq 525 \mu\text{m}$)	SG ($\varnothing > 500 \mu\text{m}$) et SF ($\varnothing \leq 500 \mu\text{m}$)
	Tamis utilisé	<i>Reffad</i> (600 μm) et <i>Semmad</i> (100 μm)	/	<i>Dekkak</i> (525 μm)	<i>Dekkak</i> (500 μm)
Etape 2 : Prétraitement	/	/	/	Précuisson de la SG à la va peur d'eau.	
Etape 3 : Hydratation et calibrage	Mélange	Fella + eau salée	Semoule de BD+farine	SG + SF + eau	SG + eau salée
	Tamis utilisé	<i>Sekkat</i> (1000 μm) et <i>Mâaoudi</i> (800 μm)	<i>R effad</i> sud (1610 μm)	<i>Mâaoudi</i> (1400 μm)	<i>Sekkat</i> (1280 μm)
Etape 4 : Roulage , calibrage et tamisage	Mélange	<i>Passant du Mâaoudi</i> + eau + semoulette	<i>Passant du Reffad</i> sud + eau	<i>Passant Mâaoudi</i>	<i>Passant du Sekkat</i> + eau + SF
	Tamis utilisé	<i>Sekkat</i> , <i>Mâaoudi</i> et <i>Reffad</i> (600 μm)	<i>R e f f a d</i> nord (1110 μm) et tamis (525 μm)	<i>Sekkat</i> (1110 μm), <i>Mâaoudi</i> (1400 μm), <i>Reffad</i> (800 μm)	<i>Sekkat</i> et <i>Mâaoudi</i> (1130 μm)
Etape 5 : Roulage et tamisage	Mélange	Couscous humide (refus <i>Reffad</i>)	Refus (525 μm) + far in e de BD	/	refus <i>Mâaoudi</i>
	Tamis utilisé	<i>Semmad</i> (80 μm)	Tamis (525 μm)		<i>R e f f a d</i> (1000 μm)
Etape 6 : Précuisson à la vapeur, émottage et calibrage	Mélange	Couscous (refus <i>Semmad</i>)	Couscous(refus 525 μm)	Couscous (refus <i>Reffad</i>)	Couscous (refus <i>Reffad</i>)
	Tamis utilisé	<i>Ssekkat</i>	/	/	<i>Sekkat</i>
Etape 7 : Séchage	Séchage de couscous à l'air ambiant et au soleil	Séchage de couscous à l'air ambiant et au soleil	Séchage de couscous à l'air ambiant et au soleil	Séchage de couscous à l'air ambiant et au soleil	Séchage de couscous à l'air ambiant et au soleil

BD : Blé dur ; SF : Semoule fine ; SM : Semoule moyenne ; SG : Semoule grosse

D'après les travaux de Bahchachi (2002), Yousfi (2002), Derouiche (2003) et Benatallah *et al.* (2008) cités dans le tableau 3, le couscous artisanal est le produit de l'agglomération de la semoule (grosse et fine) sous l'effet de l'hydratation et de roulage. La matière première est d'abord subie une classification pour séparer les particules grosses ($\varnothing > 500\mu\text{m}$) et les particules fines ($\varnothing \leq 500 \mu\text{m}$) de la semoule (Tableau 3). Ensuite la semoule grosse est hydratée par l'eau salée et roulée à la main plusieurs fois, en ajoutant chaque fois une quantité de la semoule fine et par fois de la farine de blé dur ($\varnothing \leq 280 \mu\text{m}$). Dans certaines régions, la semoule grosse est antérieurement traitée à la vapeur d'eau avant de la passer à l'étape de l'hydratation. L'agglomérat de la semoule est par la suite tamisé pour obtenir le couscous humide qui ultérieurement précuit à la vapeur d'eau, émotté, calibré et séché à l'air libre et au soleil. Dagher (1991) a souligné que le grain de couscous est fait à partir de la semoule, de l'eau et du sel, hydraté et roulé avec les mains et tamisé par 5 types de tamis. Ensuite, il est précuit puis séché sur un linge à l'air libre.

Selon Namoune *et al.* (2004), la femme fabrique le couscous toute seule ou par fois elle demande l'aide de ses cousines ou ses voisines qui se réunissent pour cet objectif.

Le couscous humide est préparé de la même manière que le couscous sec mais ne subit pas le séchage. Il est généralement préparé et consommé le même jour (Derouiche, 2003). Les traitements artisanaux se distinguent uniquement par la nature du roulage et de précuisson par rapport aux traitements industriels. Ils sont mieux adaptés à la fabrication d'un couscous de qualité (Yousfi, 2002).

La figure 3 montre les différentes étapes du procédé de la fabrication artisanale du couscous selon la préparation du Nord Est de l'Algérie.

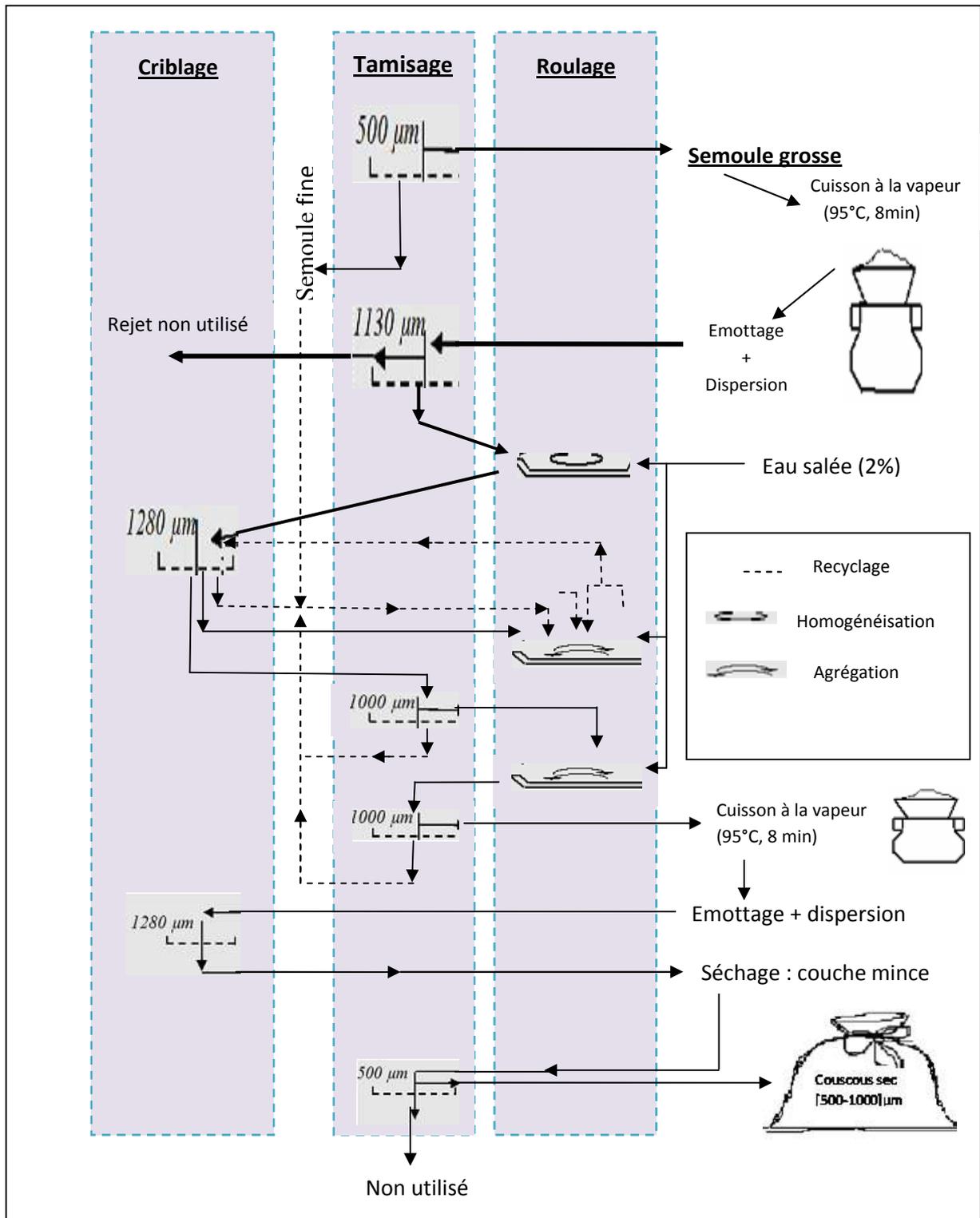


Figure 3. Diagramme traditionnel de fabrication de couscous selon la préparation du Nord Est d'Algérie (Benatallah *et al.*, 2008).

5.2 Mode industriel

Le couscous industriel est préparé à partir d'un mélange d'un tiers de grosses semoules (630 à 800 μm) et deux tiers de fines semoules (250 à 630 μm) (Boudreau *et al.*, 1992). D'après l'auteur, la fabrication du couscous industriel débute par l'hydratation en continu de la semoule et du sel (environ 30 litres d'eau pour 100 kilogrammes de semoule), suivie par les étapes du roulage et de cuisson à la vapeur (180°C pendant 8 minutes). Après cuisson, le couscous humide subit les étapes de séchage (en deux stades, le premier à 65°C pendant 120 minutes et le second à 55°C pendant 270 minutes), de refroidissement et de tamisage à l'aide d'un plansichter.

Le couscous industriel, appelé couscous rapide du fait qu'il est considéré comme étant précuit, est obtenu par roulage mécanique, précuisson puis séchage. Il est fabriqué dans des lignes distinctes de celles des pâtes alimentaires (Anonyme, 2004). Industriellement, le couscous peut être produit en mode continu à 500 kilogrammes par heure (Seiler, 1982).

6. Mécanisme d'agglomération de la semoule au cours du roulage

L'agglomération humide est principalement répandue dans les procédés des différentes industries (pharmaceutique, agro-chimique et agro-alimentaire, etc.). Elle est décrite comme la succession de trois étapes : mouillage et nucléation, consolidation et coalescence, et attrition et rupture (Iveson *et al.*, 2001). Les mécanismes de croissance observés pendant l'agglomération humide, qui sont habituellement accompagnés avec les changements structuraux profonds, ont été étudiés par plusieurs auteurs (Yu *et al.*, 1995). Cependant, l'agglomération des poudres de blé (semoule et farine) n'a pas été vraiment étudiée (Landillon *et al.*, 2008). Ceci peut être attribué à la réactivité extérieure élevée des particules après avoir été hydraté en raison du comportement de gonflement, solubilisation de quelques composants de blé et la possibilité de formation des réseaux macromoléculaires aussi bien que des interactions des protéines (Mohamad Saad *et al.*, 2011).

La figure 4 montre la microstructure de produit de différents stades d'agglomération de la semoule de blé dur au cours de la mise en forme du couscous.

Mohamad Saad *et al.* (2011) ont observé des petites particules (Figure 4-A). Au niveau d'hydratation (w) compris entre 0,15 et 0,25 (g d'eau/ g de matière sèche) qui représentent les particules natives de la semoule de blé dur qui ne sont pas encore en contact avec l'eau durant le stade d'hydratation et malaxage.

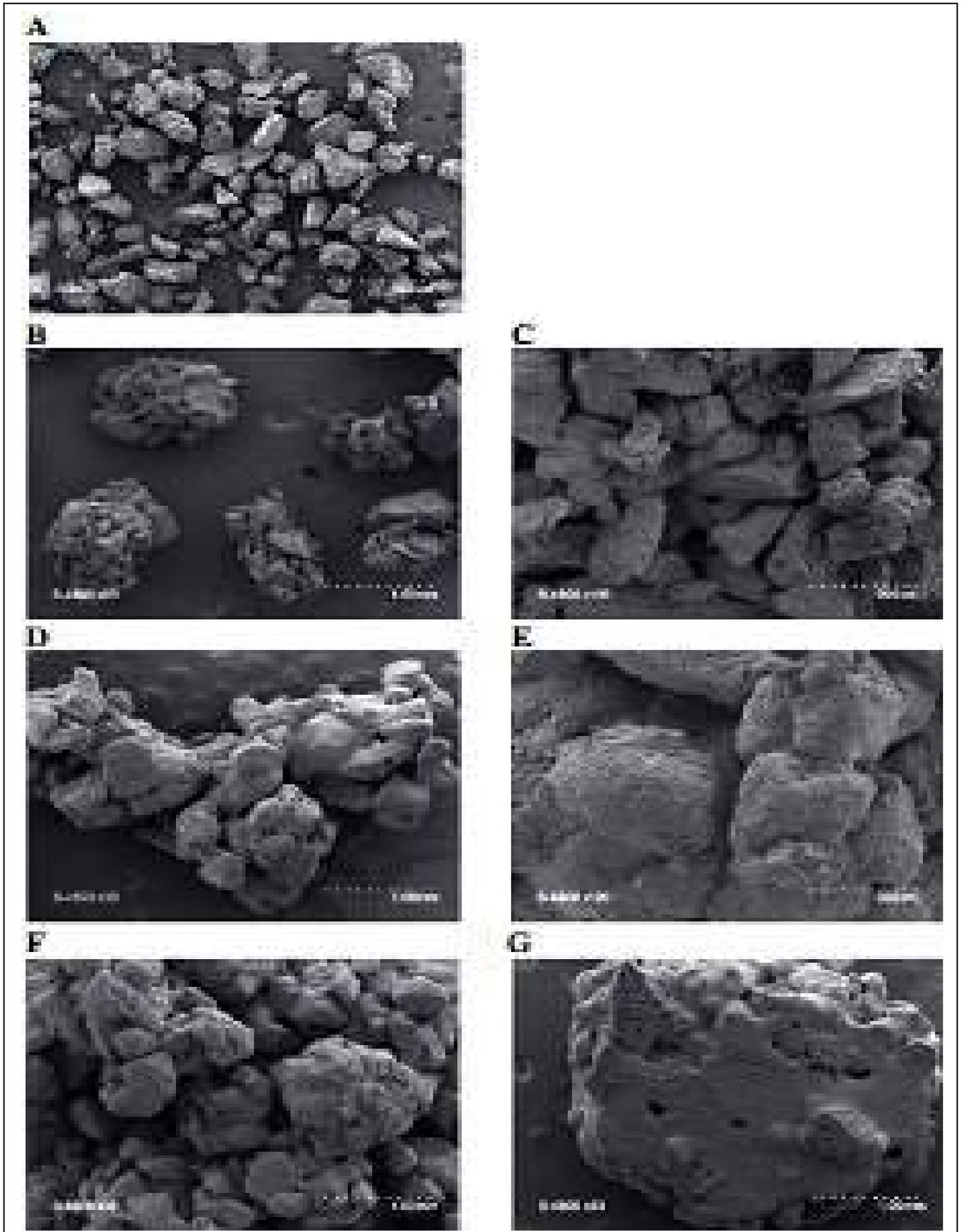


Figure 4. Microstructure d'électron de balayage des particules de la semoule de blé dur (A), des grains formés après hydratation et malaxage : nucléi (B,C), des agglomérats (D,E) et des pièces de pâte (F,G) (Mohamad Saad *et al.*, 2011).

Selon Mohamad Saad *et al.* (2011), quelques grains de diamètre compris entre 0,6 et 1 mm sont observés au niveau d'hydratation compris entre 0,25 et 0,40 (g d'eau/ g de matière sèche). Ces grains sont considérés comme le nucléi qui est le résultat de la première association des particules de la semoule (Figure 4-B). Ces particules adhérentes forment la structure du nucléi (Figure 4-C) qui est stable grâce aux ponts capillaires générés par la force de frottement entre les particules de la semoule. Beaucoup de nucléi peuvent être associés selon le mécanisme de coalescence en donnant des agglomérats à hydratation comprise entre 0,40 et 0,55 (g d'eau/ g de matière sèche) (Figure 4-D). Ce mécanisme de cohésion est accompagné par un changement dans la microstructure des particules de la semoule dû au comportement réactif de ces particules. La stabilité des agglomérats est assurée par les ponts capillaires comme le cas du nucléi et par les interactions biochimiques dues au large changement dans la microstructure des particules de la semoule. A hydratation supérieure à 0,55 (g d'eau/ g de matière sèche), de larges grains (4-6 mm) appelés pièces de pâte sont observés (Figure 4-F). La structure interne des pièces de pâte semble d'être formée d'une structure continue de pâte dont il est impossible d'identifier les particules natives de la semoule (Figure 4-G). Ceci peut être dû aux interactions biochimiques prolongées entre les composants de blé qui contribuent à la génération de la structure interne continue des pièces de pâte qui représentent la structure transitoire entre l'agglomérat et la pâte continue comme le représentent les figures 5 et 6.

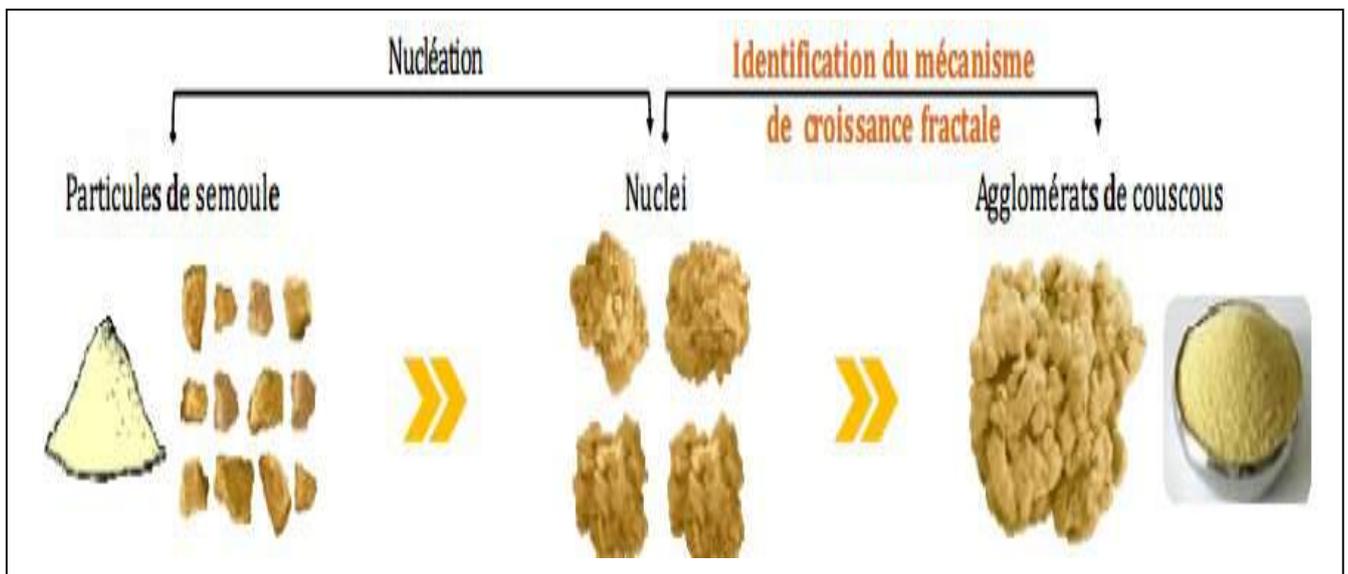


Figure 5. Mécanisme d'agglomération de la semoule de blé dur (Mohamad Saad *et al.*, 2010).

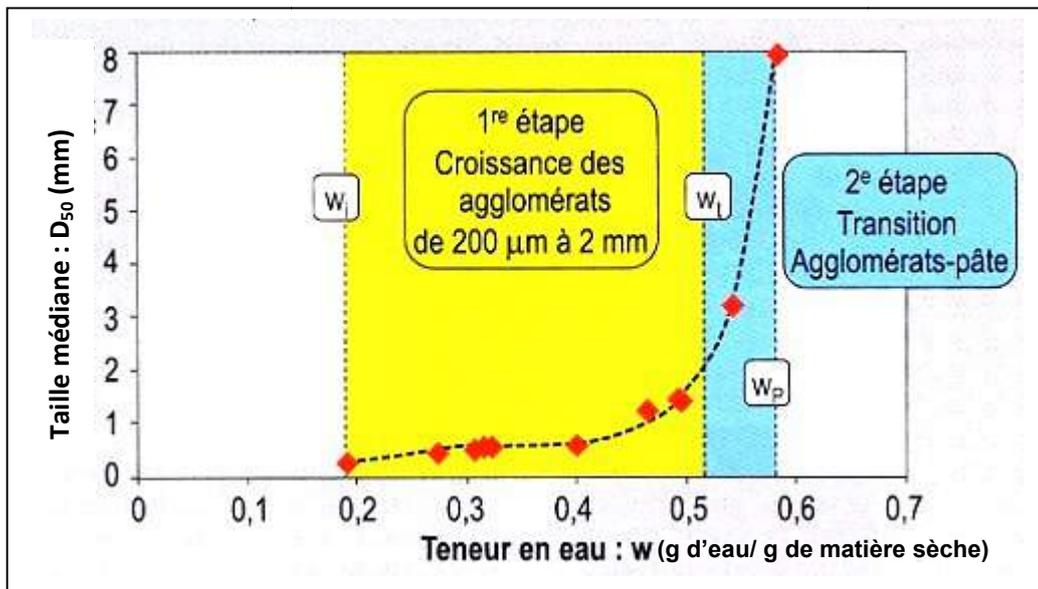


Figure 6. Evolution de la taille médiane des particules de la semoule de blé dur après l'étape de l'hydratation/ malaxage en fonction de la teneur en eau (Mohamad Saad *et al.*, 2010).

La disposition des distributions granulométriques permet de proposer un rapport entre le diamètre médian de la masse humide (D_{50}) et le niveau d'addition de l'eau (w) (Figure 7).

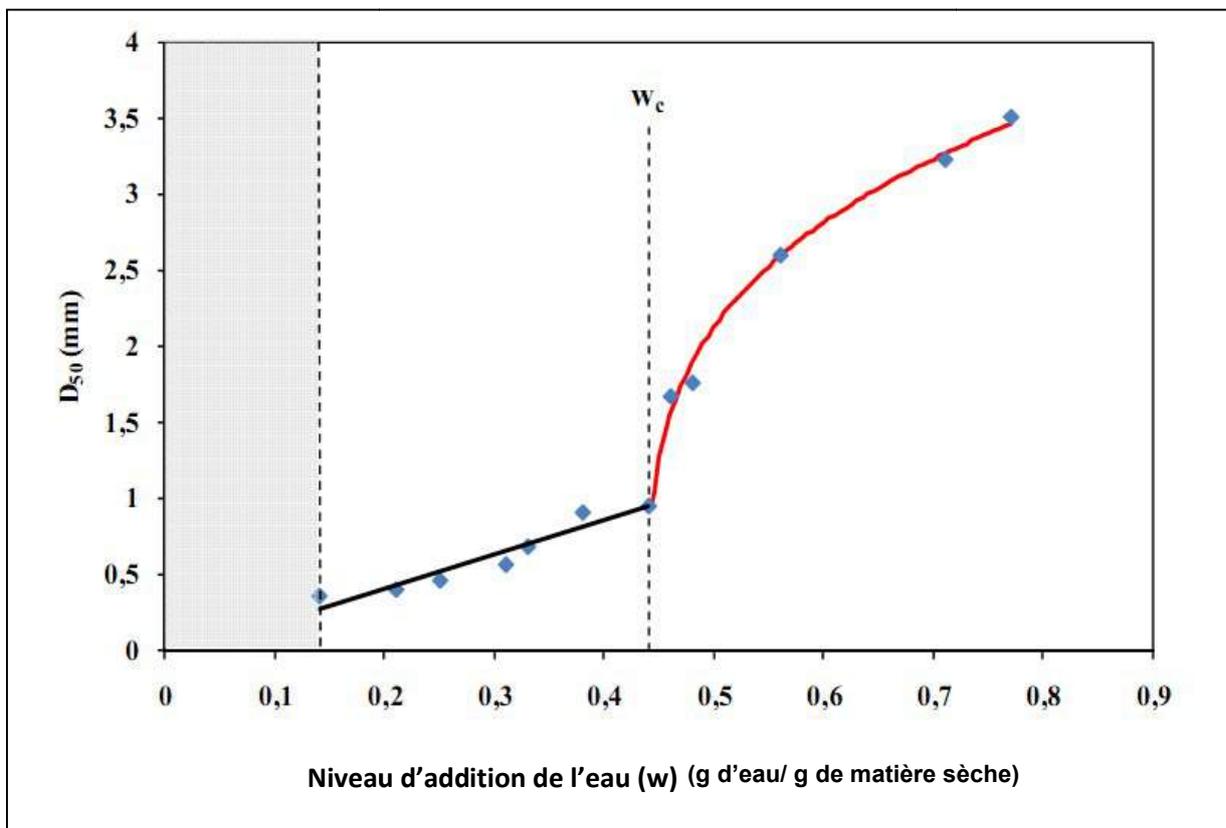


Figure 7. Impact de niveau d'addition de l'eau sur le diamètre médian (D_{50}) des particules après l'agglomération humide de la semoule de blé dur (Mohamad Saad *et al.*, 2011).

Selon Mohamad Saad *et al.* (2011), le rapport entre le diamètre médian de la masse humide (D_{50}) et le niveau d'addition de l'eau (W) qui caractérise la semoule de blé dur n'est pas monotone. Il est divisé en deux parties (Figure 7). Au niveau bas d'addition de l'eau ($0,16 < W < 0,44$), le rapport est linéaire et le diamètre médian change de 0,358 mm (semoule native) à 0,95 mm. Mais, au niveau élevé d'addition de l'eau ($W > 0,44$), la deuxième partie de ce rapport suit l'équation suivante : $D_{50} = (w-w_c)^n$ dont ;

D_{50} : diamètre médian correspond à la taille de 50 % des particules

W : niveau d'addition de l'eau, il est exprimé en g d'eau / g de matière sèche.

w_c : plus basse limite d'addition de l'eau pour le modèle de la loi exponentielle
($w_c=0,44$)

n : puissance de la loi exponentielle ($n= 0,29$).

A la fin du modèle, le diamètre médian des agglomérats se rapproche de 3,5 mm (Mohamad Saad *et al.*, 2011).

CHAPITRE 2 : QUALITE DU COUSCOUS

1. Qualité nutritionnelle

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

2. Qualité hygiénique

Selon le *codex alimentarius* (norme de *codex* 202-1995), le couscous doit être exempt de microorganismes susceptibles de se développer dans le produit dans des conditions normales d'entreposage et ne doit contenir aucune substance provenant de micro-organismes en quantités pouvant présenter un risque pour la santé.

3. Qualité organoleptique

Selon Guezlane (1993), le couscous de "bonne qualité" est un produit jaune ambré, d'une capacité d'absorption d'eau élevée, ses grains restent individualisés et fermes une fois hydratés.

La qualité organoleptique du couscous regroupe la qualité commerciale qui concerne l'aspect du couscous (couleur, granulométrie, forme des particules, etc.) et la qualité culinaire qui représente le comportement des grains du couscous au cours de la cuisson (gonflement, prise en masse, délitescence, fermeté, etc.). Cette dernière fait l'objet du chapitre 3.

Les paramètres de la qualité commerciale du couscous sont :

3.1. Couleur du couscous

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

Ces caractéristiques de couleur sont comprises entre 0-4 pour la teinte rouge (a^*), 27-45 pour la teinte jaune (b^*) et 21-72 pour l'éclat (L^*) (Guezlane, 1993; Debbouz *et al.*, 1994 ; Debbouz et Donnelly, 1996). Le couscous artisanal est caractérisé par des valeurs légèrement plus élevées de b^* (30,7) et L^* (71,3) que le couscous industriel ($b^*= 27,1$ et $L^*= 68,9$), car le

couscous industriel perd plus des pigments de carotènes pendant le traitement (Guezlane *et al.*, 1986 ; Debbouz et Donnelly, 1996). Guezlane (1993) et Yousfi (2002) ont indiqué que la coloration du couscous cru dépend principalement des caractéristiques de la matière première, et de la contribution des facteurs du procédé de fabrication. Selon Tigroudja et Bendjoudiouadda (1998), les semoules issues de la variété *Mexicali* donnent des couscous avec des indices de jaune élevés. En revanche, la variété *Shen's* présente des faibles valeurs pour le même indice.

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

Idir (2000) a noté que l'augmentation du taux d'extraction de la semoule conduit à une augmentation de l'indice de brun. Selon les études de Debbouz *et al.* (1994), l'augmentation des dimensions des particules de semoule conduit à une légère diminution de l'éclat de couscous (L^*). Par contre, Idir (2000) a montré que le couscous devient terne avec la diminution de la granulométrie de la semoule dont il issu c'est-à-dire des indices de brun plus élevés. Ainsi, La granulométrie du couscous affecte considérablement sa couleur (Boudreau *et al.*, 1992 ; Debbouz *et al.*, 1994). Yousfi (2002) a enregistré une corrélation positive entre les pigments caroténoïdes et la granulométrie médiane (D_{50}) du couscous ($r = 0,598$ au seuil de 1%), c'est-à-dire la coloration des échantillons à granulométrie élevée est mieux préservée.

Selon Kobrehel *et al.* (1972), Feillet *et al.* (1974) et Kherrif (1996), la coloration des pâtes alimentaires et du couscous est affectée par l'accélération du brunissement des produits lors de l'augmentation de l'hydratation. Le roulage et l'hydratation de semoule sont responsables d'une oxydation notable des pigments caroténoïdes par l'action de lipases, lipoxygénases, peroxydases et polyphénoloxydases (Kobrehel *et al.*, 1972 ; Feillet *et al.*, 1974 ; Boudreau *et al.*, 1992 ; Yousfi, 2002), ce qui provoque un développement de la composante brune qui réduit la clarté des pâtes (Kim *et al.*, 1986 ; Taha et Sagi, 1987).

Guezlane (1993) a indiqué que la dégradation de la coloration initiée antérieurement au niveau du malaxeur, se poursuit au roulage et se traduit par un brunissement plus prononcé des produits roulés sur plansichter. Cette dégradation peut être freinée par la réduction de la durée de la phase d'agglomération et par la réduction du nombre de recyclages. La perte en

caroténoïdes par comparaison à la semoule, s'évalue à 37,05 % pour le roulage traditionnel contre 31,08 % pour son homologue industriel à cause de l'hydratation des semoules conjuguées à une légère augmentation de la température (due à l'effet du frottement induit par l'action du roulage manuel) et à un temps plus long (6 roulages répétés) qui seront les premiers précurseurs d'une dégradation des caroténoïdes par les enzymes du brunissement (Yousfi, 2002).

Par ailleurs, l'indice de jaune augmente au cours de la précuisson du couscous (Bekradouma, 1992 ; Boudreau *et al.*, 1992 ; Guezlane, 1993 ; Belaid *et al.*, 1994). Yousfi (2002) a observé que la perte en caroténoïdes est plus élevée chez les échantillons non précuits (ayant leurs enzymes d'oxydation préservées d'une dénaturation thermique) que ceux précuits. En effet, l'échantillon industriel non précuit affiche une perte plus importante que son homologue industriel précuit, soit 38,59 % de la teneur en caroténoïdes contre 32,77 %. De même, l'échantillon artisanal non précuit affiche une perte supérieure à son homologue artisanal précuit soit 48,54 % contre 33,07 %. En ce qui concerne l'indice de brun, Belaid *et al.*, (1994) n'a pas remarqué d'évolution de cet indice (Belaid *et al.*, 1994). Par contre, selon Guezlane (1993), l'apparition d'un léger brunissement au cours de la précuisson est attribuée aux réactions non enzymatiques car la précuisson du couscous se fait à haute température (130°C) ce qui inhibe les enzymes du brunissement.

Les caroténoïdes appréciés en quantité dans les pâtes alimentaires peuvent subir une perte de 10 % lors du séchage (Matsuo et Irvine, 1970). Yousfi (2002) a observé que la plus grande perte en caroténoïdes est enregistrée en industrie (36,44 %). Comparativement au séchage à l'ombre, le séchage industriel est plus énergique. Le déclassement du couscous industriel sur le plan coloration, au niveau de l'opération du séchage, nous semble dû à une poursuite de la dégradation enzymatique après la précuisson. En effet, l'inhibition enzymatique à haute température prévue au cours de la précuisson ne semble pas être totale. Les hautes températures n'auraient pas atteint le cœur du produit : la hauteur du produit en précuisson (120 mm), la présence de boulettes de couscous et une granulométrie élevée du produit ($D_{50} = 1353 \mu\text{m}$) semblent faire obstacle à la pénétration en profondeur de la température, ce qui fait que la dégradation des caroténoïdes initiée en tête de ligne se poursuivait à toutes les étapes de fabrication industrielle. Par ailleurs, Manser (1985) a souligné que la coloration brune indésirable est beaucoup plus renforcée par des séchages de longue durée et mal conduits. Guezlane (1993) a observé que le séchage a un effet négatif à haute température (3h à 95°C) par rapport à basse température (17h à 55°C).

3.2. Granulométrie des particules

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

Le couscous industriel est habituellement vendu sous trois types différents selon la taille de grain (fin, moyen et gros). La description de granulométrie de couscous doit être envisagée par des courbes de distribution de dimension particulaire (Guezlane, 1993) ou par des histogrammes des distributions de densité et des distributions cumulatives (Anonyme, 1998).

La valeur de diamètre moyen pour les grains de couscous artisanal moyen ($D_{50} = 800 \mu\text{m}$) est inférieure à celle de son homologue industriel (Figure 8). Le couscous artisanal est proche de couscous industriel fin. On observe une dispersion relativement grande dans la dimension particulaire autour du diamètre moyen ($D_{84} / D_{50} = 1,30$) pour les grains de couscous.

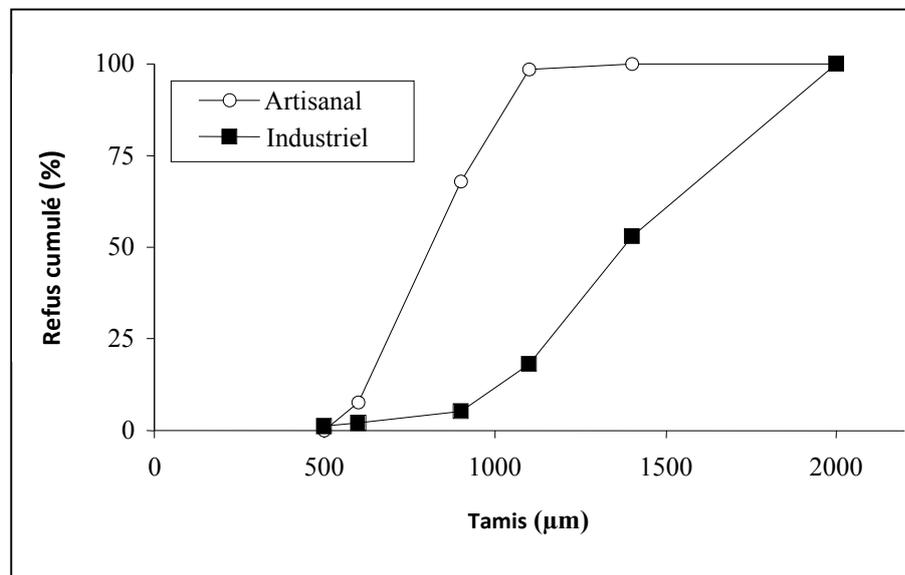


Figure 8. Exemples des courbes de distribution de dimension particulaire pour le couscous industriel moyen et le couscous artisanal (Guezlane, 1993).

Idir (2000) a noté une diminution de la D_{50} avec l'augmentation du taux d'extraction. Par contre, il n'a observé aucun effet de ce dernier sur l'écart-type géométrique (S_g) des couscous. Selon Senator (1983), l'hydratation des semoules lors de fabrication de couscous ne dépend pas uniquement de l'humidité initiale de la matière première et de sa granulométrie, mais aussi de la grosseur des particules de couscous désirée. Guezlane (1993) a confirmé cette expression, l'obtention de couscous de granulométrie élevée est une conséquence d'une hydratation élevée. A l'opposé, Lefkir et Sehili (1996) ont remarqué que les procédés BRAIBANTI et BASSANO produisent un couscous de granulométrie identique malgré que ces procédés utilisent des taux d'hydratations de 29 % et 22 % respectivement. Par ailleurs,

concernant le couscous artisanal, Tigroudja et Bendjoudiouadda (1998), indiquent que le taux d'hydratation est corrélé positivement au diamètre équivalent du couscous (D_{50}).

L'augmentation du temps de malaxage favorise l'obtention d'un couscous à un diamètre équivalent (D_{50}) et un écart type géométrique (S_g) élevés (Guezlane, 1993). Par ailleurs, Abecassis *et al.* (1990) conseillent une réduction du temps de malaxage lorsqu'on travaille avec des semoules fines. Selon Aluka *et al.* (1985), dix minutes de malaxage semblent suffire pour avoir une granulométrie homogène et un rendement élevé.

Debbouz *et al.* (1994) ont observé que, dans le cas du roulage par plansichter, une diminution du taux des grosses particules roulées au profit des fines. Par contre le roulage par tambour fait augmenter le taux des particules de taille moyenne malgré un taux hydratation élevé. Selon Lefkir et Sehili (1996), il existe un effet très hautement significatif du procédé sur la granulométrie du couscous. Certains procédés technologiques semblent mieux adaptés que d'autres et la conduite des opérations de fabrication au sein d'un même procédé influe sur la granulométrie du couscous (Yettou, 1998).

Yousfi (2002) a souligné que lorsque le couscous est roulé traditionnellement ($D_{50}=790 \mu\text{m}$), il reste dans les limites exigées par le consommateur ($D_{50}= 585-900 \mu\text{m}$). Mais lorsqu'il est roulé industriellement, il est loin d'être accepté ($D_{50}= 1353 \mu\text{m}$). Selon l'auteur, malgré que l'effet de la précuisson sur la granulométrie du couscous est très hautement significatif au seuil de 5 %, la différence observée entre procédé industriel et artisanal ($47 \mu\text{m}$) est très faible pour être perceptible par l'œil du consommateur. Par ailleurs, l'effet du séchage reste non significatif au seuil de 5 % sur la granulométrie.

3.3. Forme des particules

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

Debbouz et Donnelly (1996) ont indiqué que la forme presque sphérique des grains de couscous peut être décrite en utilisant les micrographes électroniques de balayage (Figure 9).

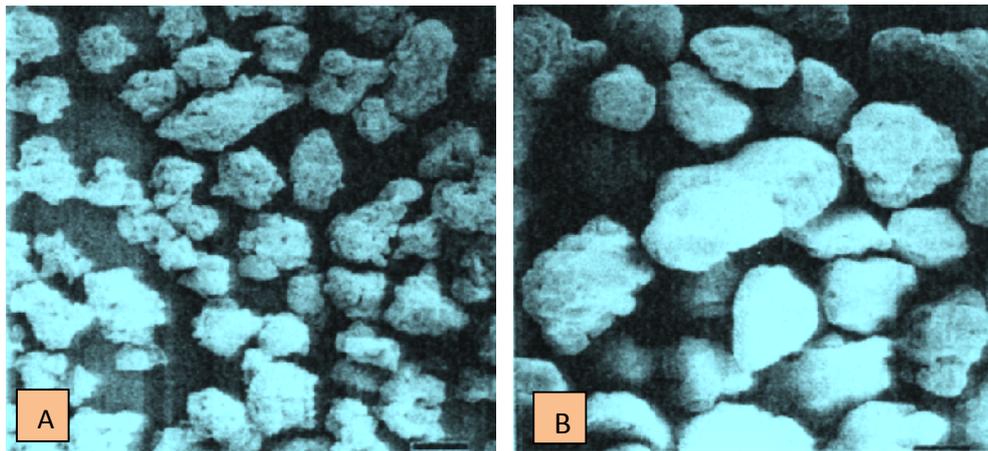


Figure 9. Micrographes électroniques de balayage (12 x) (A) des grains du couscous artisanal et (B) des grains du couscous industriel (barre = 830 μm) (Debbouz et Donnelly, 1996).

Les grains de couscous artisanal (Figure 9-A) sont des particules irrégulières, avec une forme plus ou moins sphérique et de surface rugueuse (Debbouz et Donnelly, 1996). Le couscous industriel présente des surfaces rugueuses et des formes hétérogènes (Guezlane *et al.*, 1986 ; Boudreau *et al.*, 1992). Cependant, d'après Debbouz et Donnelly (1996), les grains de couscous industriel (Figure 9-B) sont des particules plus régulières, avec une forme plus homogène et plus sphérique et de surface lisse. Cette contradiction peut être due à la disqualification de fabrication de couscous artisanal pour Debbouz et Donnelly (1996).

Guezlane (1993) a mesuré la forme des grains de couscous en utilisant l'analyse d'image et a évalué plusieurs paramètres de forme. D'un ensemble environ de dix échantillons de couscous industriel et artisanal, la forme presque sphérique des grains de couscous a été décrite par une basse dispersion du facteur de circularité (0,68 - 0,73) et du facteur d'élongation (0,70 - 0,74).

3.4. Masse volumique de couscous

La masse volumique est mesurée en remplissant un cylindre gradué (Guezlane, 1993 ; Debbouz et Donnelly, 1996). La masse volumique des grains est influencée par l'espace intergranulaire (Scotti, 1984) qui est influé par la forme des particules et leur hétérogénéité de taille (Guezlane, 1993). Les valeurs de la masse volumique s'étendent entre $0,60 \text{ g/cm}^3$ pour le couscous artisanal, et $0,79 \text{ g/cm}^3$ pour le couscous industriel (Debbouz et Donnelly, 1996). Derouiche (2003) a souligné que le couscous de la semoule supérieure présente une masse volumique légèrement supérieure à celle du couscous de la semoule courante, elle est de l'ordre de $0,75 \text{ g/cm}^3$ pour le couscous issu de la semoule supérieure (Derouiche, 2003 ; Boucheham, 2009) et de $0,71 \text{ g/cm}^3$ pour son homologue de la semoule courante.

Selon Angar et Belhouchet (2002), la masse volumique du couscous ne semble pas être influencée par sa granulométrie, toutefois elle dépasse celle de la semoule utilisée. Ceci due d'après les auteurs à la mise en forme des grains de couscous qui provoque un compactage intense donnant donc des grains de masse volumique supérieure. Par contre, Yousfi (2002) a observé une corrélation négative entre la masse volumique et la granulométrie médiane ($r = -0,536$ au seuil de 5%). L'auteur a souligné que cette corrélation négative explique que se sont les échantillons de faible granulométrie qui sont les plus denses c'est-à-dire les échantillons les plus homogènes, les plus uniformément arrondis. Yousfi (2002) a constaté que ces caractéristiques correspondent bien aux échantillons roulés traditionnellement que ceux roulés industriellement et cela dû au fait que les produits industriels ont subi que deux roulages par simple passage sur tamis rouleuse. Alors que les produits artisanaux ont subi 6 roulages pressés sous mains.

Yousfi (2002) a souligné qu'après la précuisson, le couscous artisanal mou subi une fluidification manuelle contre une grille ce qui aurait pour conséquence une perte infime de matière sans pour autant qu'il y ait diminution du volume acquis par les particules de couscous, ce qui réduira la densité (exprimée par la masse/ le volume) comparativement aux échantillons roulés industriellement.

Dans le séchage industriel, le couscous constamment retourné sur lui-même, subit l'action énergétique des rotantes qui peuvent lui faire perdre, comme dans le cas de la précuisson, une quantité infime de matière sans qu'il y ait diminution du volume des particules de couscous. Ce qui aura pour conséquence une réduction de la densité comparativement au couscous artisanal séché par simple exposition à la chaleur ambiante (Yousfi, 2002).

CHAPITRE 3 : QUALITE CULINAIRE DU COUSCOUS

1. Notion de la qualité culinaire de couscous

La qualité culinaire d'un produit alimentaire correspond au comportement de l'aliment pendant et après sa cuisson (Yettou, 1998). Par ailleurs, selon l'auteur, la cuisson des produits céréaliers a pour but de gélatiniser l'amidon pour le rendre hydrophile, de modifier l'aspect textural des produits de manière à leur conférer les caractéristiques souhaitées et d'élever la température des produits.

Selon Feillet (1986), l'aspect culinaire de couscous est similaire à celui des pâtes alimentaires sauf en ce qui concerne le mode de cuisson. Les caractéristiques culinaires des pâtes alimentaires sont : le gonflement, la texture, l'état de désintégration ou de surface et les différents temps de cuisson, (minimal, optimal et maximal). Les temps minimal, optimal et maximal correspondent respectivement au temps à partir duquel l'amidon est gélatinisé, le temps nécessaire pour donner à la pâte cuite la texture recherchée et le temps au-delà duquel les produits se désintègrent dans l'eau de cuisson. Or, Boudreau *et al.* (1992) ont souligné que la qualité culinaire du couscous est appréciée par sa tenue à la cuisson telle que reflétée par l'état de surface qui doit être non collant et par la délitescence qui traduit la désintégration des particules de couscous. Par ailleurs, Guezlane (1993) a indiqué que le couscous de bonne qualité culinaire doit présenter un bon gonflement, une consistance qui n'est pas trop ferme, un aspect moelleux, une facilité à la mastication.

Selon Debbouz et Donnelly (1996), la capacité de couscous d'absorber rapidement la sauce et de maintenir sa fermeté est considérée comme indicateur de couscous de bonne qualité. L'indice d'absorption est utilisé pour estimer ce facteur de qualité. Si le couscous n'absorbe pas l'eau en quantité suffisante, il demeure dur et manque de la tendreté désirée.

L'analyse sensorielle est la méthode de référence utilisée pour évaluer la qualité culinaire des produits alimentaires (Idir, 2000). Elle peut être évaluée par des jurys en utilisant différents paramètres : aspect, sensation dans la bouche, saveur et acceptabilité globale (Kaup et Walker, 1986 ; Debbouz *et al.*, 1994 ; Debbouz et Donnelly, 1996).

La cuisson du couscous se fait à la vapeur en 2 ou 3 étapes successives contrairement aux autres pâtes dont la cuisson se fait dans l'eau. La figure 10 donne le diagramme de cuisson traditionnelle du couscous.

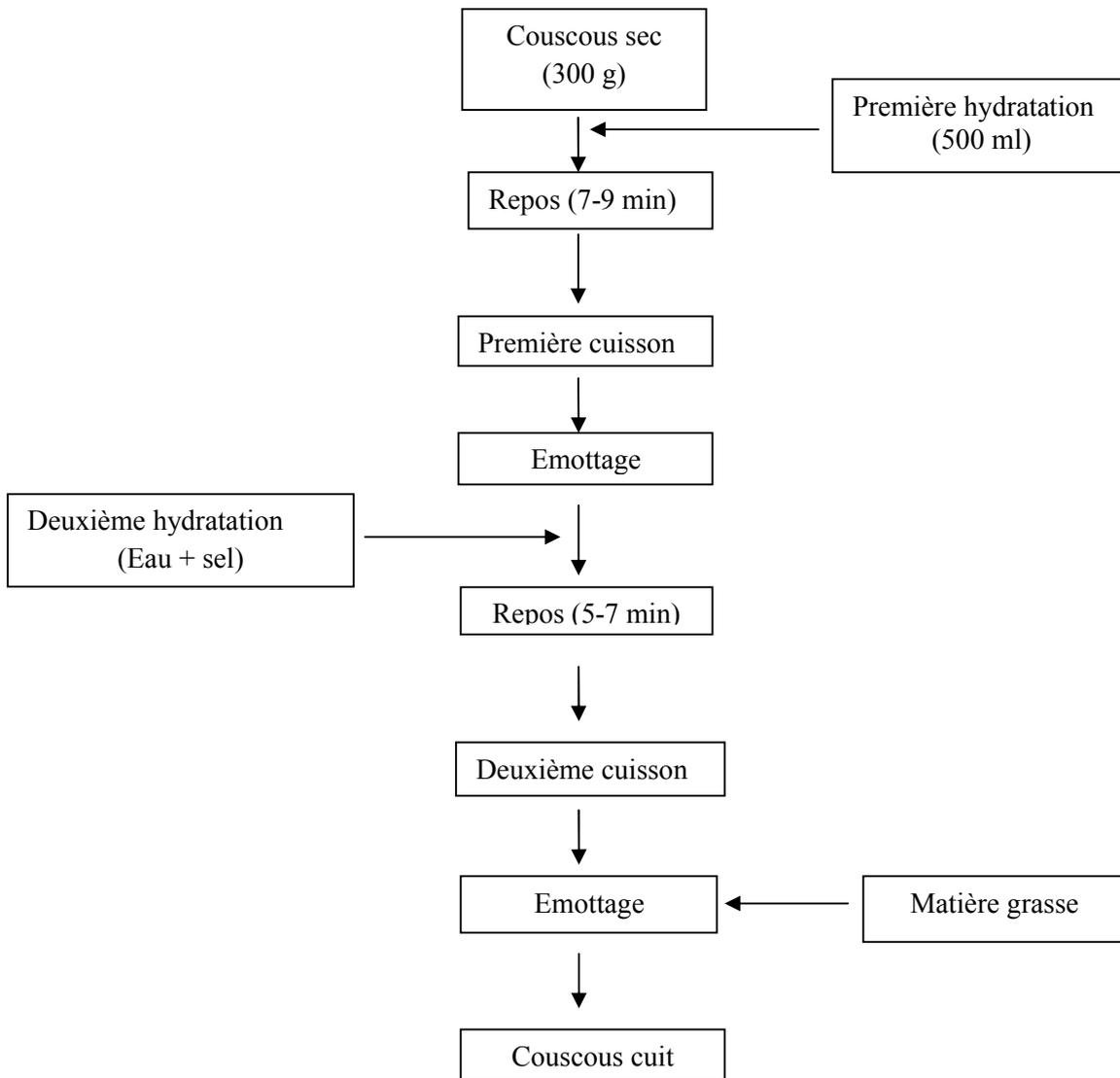


Figure 10. Diagramme de cuisson traditionnelle de couscous (Derouiche, 2003)

2. Paramètres de la qualité culinaire du couscous

2.1. Indice de solubilité dans l'eau

Il exprime le degré de la désintégration de couscous pendant l'absorption de l'eau. L'indice de solubilité dans l'eau est mesuré comme quantité des solides qui sont solubilisés pendant l'immersion d'un échantillon de couscous dans un excès d'eau (Debbouz *et al.*, 1994 ; Ounane *et al.*, 2006). Selon Debbouz et Donnelly (1996), la quantité de matière soluble dans l'eau est liée avec le collant de couscous. Les valeurs basses de l'indice de solubilité dans l'eau sont indicatives des produits de haute qualité (Ounane *et al.*, 2006). Les valeurs de l'indice de solubilité dans l'eau s'étendent entre 4 et 16 %.

Tigroudja et Bendjoudiouadda (1998) et Idir (2000) ont constaté que les semoules fines donnent des produits finis qui sont susceptibles de présenter des valeurs élevées de la délitescence et de l'indice de solubilité. De même, Yettou (1998) a indiqué que l'indice de solubilité de l'amidon du couscous fin est supérieur à celui du couscous moyen.

Par ailleurs, Idir (2000) a constaté que le taux d'extraction n'exerce pas d'effet significatif sur la solubilité de l'amidon. En outre, Ounane *et al.* (2006) ont souligné que la teneur en lipides apolaires est significativement corrélée au seuil de 5% avec l'indice de solubilité dans l'eau ($r = -0,54$). Selon Tigroudja et Bendjoudiouadda (1998), la variété du blé dur exerce un effet prépondérant sur la délitescence. Idir (2000) a confirmé ce propos, le couscous de la variété MBB présente une tendance plus importante à la délitescence avec un indice de solubilité élevé.

D'après Dahoun-Lefkir (2005), La diminution de la température de l'eau d'hydratation jusqu'à température proche de 0°C conduit à la formation des produits présentent un indice de solubilité plus faible. Guezlane (1993) a constaté que le temps et la pression hydrothermique exercent une influence prépondérante sur la solubilité de l'amidon. L'auteur a observé que l'indice de solubilité en fonction du temps de précuisson est tout à fait comparable à l'évolution de la prise en masse du couscous. Selon Yettou (1998), le procédé BUHLER reste le plus adapté, le mieux conduit puisque ses produits affichent le plus faible indice de solubilité et le plus grand indice de gonflement. Par ailleurs, d'après Yousfi (2002), la précuisson artisanale affiche un indice de solubilité de l'amidon (IS) de 3,16 % ms contre 5,34 % ms en précuisson industrielle. Cet indice renseigne en fait de l'importance des matières solubilisées causées par une gélatinisation incomplète dont l'insuffisance de précuisson industrielle est à l'origine. L'auteur a souligné que l'effet des traitements (roulage et séchage) reste non significatif (au seuil de 5%).

2.2 Temps de l'absorption d'eau

Il est évalué en mélangeant le couscous sec et l'eau, et en mesurant le temps requis pour que les grains absorbent complètement l'eau (Debbouz *et al.*, 1994 ; Debbouz et Donnelly, 1996).

Debbouz *et al.* (1994) ont montré que le temps de réhydratation du grain sec de couscous diminue lorsque les dimensions des particules de la semoule sont diminuées, et supposé que les particules fines de semoule se réhydratent plus rapidement que les particules grosses de semoule.

2.3 Indice de gonflement

Il correspond à la capacité d'absorption d'eau par les pâtes 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 (à 25°C) ou chaude (à 100°C). Les valeurs élevées du gonflement de couscous sont indicatives d'un produit de haute qualité (Guezlane et Abecassis 1991 ; Guezlane, 1993 ; Ounane *et al.*, 2006).

Les valeurs typiques de l'indice de l'absorption d'eau à 30 °C sont comprises entre 460 et 490 g d'eau/100g de couscous (Debbouz *et al.*, 1994). Mais ces valeurs sont de l'ordre de 280-320 ml d'eau/100 g de couscous à 25°C, et de 380-410 ml d'eau/100 g de couscous à 100°C (Guezlane et Abecassis 1991 ; Guezlane, 1993 ; Ounane *et al.*, 2006). Debbouz (1992) a trouvé une corrélation élevée ($r = 0,90$) entre l'indice de l'absorption d'eau et le degré de la gélatinisation d'amidon dans les grains de couscous. Ainsi, Ounane *et al.* (2006) ont indiqué que le gonflement de couscous à 100°C est en partie corrélé avec l'indice de solubilité dans l'eau ($r = 0,55$).

Selon Quaglia (1988), les protéines et le gluten de la semoule ainsi la taille de ses particules sont des facteurs importants pour décrire la qualité du couscous. Les études de D'Egidio *et al.* (1990) et de Novaro *et al.* (1993) ont montré que la teneur en protéines et la qualité du gluten sont les paramètres les plus importants pour décrire la qualité culinaire des pâtes alimentaires. Selon Ounane *et al.* (2006), aucune corrélation n'était démontrée entre la teneur en lipides totaux de semoule et le gonflement du couscous. Par contre, la teneur en lipides apolaires est significativement corrélée au seuil de 5% avec le gonflement ($r = -0,68$), les lipides polaires contribuent aussi au gonflement de couscous ($r = 0,53$). La qualité des pâtes alimentaires est définie par la viscoélasticité du gluten mesurée au viscoélastographe (Kovacs *et al.*, 1994).

D'après Kaup et Walker (1986), la qualité semoulière exigée pour la fabrication de couscous est semblable à celle des pâtes alimentaires. Cependant, il est prouvé que la semoule de qualité supérieure utilisée pour la fabrication des pâtes alimentaires n'est pas exigée pour la production de couscous et la semoule de qualité inférieure peut être utilisée (Quaglia, 1988).

Idir (2000) a noté que l'indice de gonflement diminue chez les couscous issus des semoules fines. Ainsi, le taux d'extraction n'exerce pas d'effet significatif sur l'ensemble des critères de la qualité culinaire du couscous. Par contre, la différence variétale joue un rôle dans la détermination de la qualité du produit, le couscous de la variété MBB présente une tendance plus faible au gonflement.

Par ailleurs, l'hydratation prise indépendamment des autres traitements ne semble par avoir un effet direct sur le gonflement du couscous. Par contre, l'interaction hydratation – pression de précuisson et/ou l'interaction hydratation-séchage ont un effet négatif sur le gonflement à froid (Guezlane, 1993). Dahoun-Lefkir (2005) a souligné que, le gonflement à froid et à chaud était plus important chez le couscous roulé à l'eau minérale. Ainsi, l'influence de la température de l'eau d'hydratation sur le gonflement à froid agit par effet d'interaction avec la variété. La diminution de la température de l'eau d'hydratation jusqu'à température proche de 0°C conduit à la formation des produits présentent un indice de gonflement plus élevé. Selon Dahoun-Lefkir (2005), l'augmentation du taux d'hydratation à 36 % augmente l'indice de gonflement jusqu'au maximum et il diminue pour le taux de 38%. Par ailleurs, le gonflement à froid et à chaud diminue avec l'addition du sel.

Aluka *et al.* (1985) ont constaté une baisse de l'indice de gonflement sur le couscous de maïs, au-delà de 10 minutes de malaxage. Par contre, Guezlane (1993) montrent qu'une augmentation du temps de malaxage se traduit par amélioration de la capacité du gonflement à froid. Selon Yousfi (2002), le gonflement du couscous est plus faible chez les échantillons roulés industriellement (258,98 ml/100g ms) que chez les échantillons roulés manuellement (303,18 ml/100g ms). Il a trouvé une corrélation positive entre le gonflement du couscous et sa masse volumique ($r = 0,552$). Les valeurs élevées du gonflement se rencontrent chez les échantillons dont la masse volumique est grande (couscous roulé traditionnellement). L'auteur a souligné que le roulage manuel permet l'obtention de grains de couscous compacts et donc de masse volumique élevée, ce qui permet des gonflements plus importants.

En outre, la durée de précuisson doit être courte (8 min), ce temps correspond à un maximum de gonflement (Guezlane, 1993). Ainsi que, Guezlane (1993) et Belaid *et al.* (1994) s'accordent au temps optimum de gonflement du couscous à haute et à basse température. Il est respectivement 40 min à 100 °C et 60 min à 25 °C. Selon Khendak et Guezlane (1994), la capacité de gonflement du couscous est en fait proportionnelle aux temps du traitement de

précuisson (0-24 min). Lefkir et Sehili (1996) ont remarqué que le gonflement dans le procédé BRAIBANTI est moins important qu'en procédé BASSANO, dont le temps de précuisson pour les deux procédés est 6 mn et 15 mn respectivement. Yousfi (2002) a relevé que l'indice de gonflement du couscous (IG) est inversement proportionnel à son indice de solubilité (IS), cet indice est plus élevé en précuisson industrielle qu'en précuisson artisanale. Yousfi (2002) a montré que le gonflement est plus faible en précuisson industrielle qu'en précuisson artisanale. Ceci selon l'auteur est redevable en fait à une faible gélatinisation de l'amidon lors de la précuisson industrielle ce qui a pour conséquence une diminution du gonflement du produit lors de sa réhydratation

La température de séchage a un effet négatif hautement significatif sur le gonflement du couscous (Guezlane, 1993 ; Yettou, 1998) .Ainsi, Yousfi (2002) a souligné que le séchage industriel étant plus intense (81°C et 70°C) serait à l'origine de la réduction du gonflement du couscous. Selon le même auteur, les valeurs enregistrées du gonflement suivent la même tendance que la masse volumique. Ces deux variables sont plus faibles au séchage industriel qu'au séchage artisanal. La réduction de la masse volumique au niveau du séchage industriel pourrait donc être à l'origine de la réduction du gonflement du couscous.

2.4. Indice de prise en masse

Il est lié au phénomène d'agglomération des grains de couscous après la réhydratation (Guezlane, 1993 ; Ounane *et al.*, 2006), il correspond au pourcentage de prise en masse (collant) de couscous qui forme des gros agglomérats (>3 mm) (Yettou *et al.*, 1997). Cet indice peut être évalué par tamisage après hydratation et essorage. Les faibles valeurs de l'indice de prise en masse de couscous sont des indicatives d'un produit de qualité supérieure. Ounane *et al.* (2006) ont trouvé que les valeurs de l'indice de prise en masse (IPMT) sont comprises entre 8,2 – 32,6 % pour différents types de couscous.

D'après Debbouz *et al.* (1994), la semoule fine donne des grains de couscous plus collants que ceux de la semoule grosse. Idir (2000) a noté que le collant, augmente avec la diminution de la taille des particules de la semoule. Selon le même auteur, l'analyse sensorielle a montré que le couscous de la semoule grosse est plus facile à émotter et reste moins collant que les autres couscous issus des semoules fines et moyennes. Par ailleurs, Idir (2000) a constaté que le taux d'extraction n'exerce pas d'effet significatif sur la prise en masse.

Selon Ounane *et al.* (2006), aucune corrélation n'était démontrée entre la teneur en lipides totaux de semoule et l'indice de prise en masse. Par contre, la teneur en lipides apolaires et

polaires est significativement corrélée au seuil de 5% avec cet indice ($r = -0,48$), ($r = 0,70$) respectivement.

Debbouz *et al.* (1994) ont constaté que la collosité diminue avec l'augmentation de la teneur en protéines dans la semoule. Ainsi, Tigroudja et Bendjoudiouadda (1998) ont souligné que la qualité du gluten joue un rôle déterminant sur l'indice de prise en masse. Les semoules à gluten index élevé donnent des couscous se caractérisant par une valeur faible de cet indice (IPMT). En outre, selon l'auteur, la variété du blé dur exerce un effet pondérant surtout sur l'indice de prise en masse par tamisage. Idir (2000) a confirmé ce propos, le couscous de la variété MBB présente une tendance plus importante au collant.

D'après Guezlane (1993), l'augmentation du taux d'hydratation des semoules et de la durée de malaxage a tendance à élever le collant du couscous. Dahoun-Lefkir (2005), a noté que la nature de l'eau d'hydratation n'a pas eu d'effet sur l'indice de prise en masse. La diminution de la température de l'eau d'hydratation jusqu'à température proche de 0°C conduit à la formation des produits collent moins que les produits roulés avec de l'eau à $T = 20^{\circ}\text{C}$ et $T = 40^{\circ}\text{C}$. L'augmentation du taux d'hydratation, ainsi l'addition du sel diminue la prise en masse.

Guezlane (1993) a montré qu'une augmentation du temps de malaxage se traduit par une dégradation de l'indice de prise en masse par tamisage (IPMT). Les interactions Malaxage-Roulage et Roulage – Hydratation ont un effet positif sur cette propriété (IPMT). Alors le roulage n'a pas d'effet sur la prise en masse que lorsqu'il est combiné à l'hydratation et/ou malaxage.

Selon Yousfi (2002), le taux d'agrégation des particules de couscous industriel (IPMT) est supérieur à celui du couscous roulé traditionnellement ; soit respectivement 47,75 % et 43,27 %. Le taux d'hydratation, le temps de malaxage et l'interaction roulage-malaxage sont supposés être à l'origine de cette différence. L'indice de prise en masse est corrélé positivement à l'indice de solubilité ($r = 0,906$ au seuil de 1 %). Ceci explique que les matières solubilisées qui serraient à l'origine de l'apparition du collant. Ce dernier se manifeste plus chez les échantillons présentant insuffisante ou mal conduite (cas de couscous précuit industriellement).

Yettou (1998) a souligné que les paramètres de la précuisson notamment la durée et la température de vapeur d'eau déterminent le collant du produit cuit.

D'après Ounane *et al.* (2006), Quand les grains de couscous sont cuits à la vapeur, une partie exsude due de la gélatinisation de l'amidon qui peut émigrer à la surface des grains, et produit de la collosité du couscous. Guezlane (1993) a indiqué qu'au-delà de 8 minutes et en deçà de ce temps limite de précuisson, il y aura augmentation du collant. La prise en masse constatée au-delà de 8 minutes est attribuée par l'auteur à l'absence de complexation de l'amylose (responsable du collant) qui continue sa diffusion en l'absence de lipide.

Par ailleurs, Yettou (1998) a noté que les hautes températures de séchage peuvent exercer un effet bénéfique dans la diminution du degré d'agrégation. En revanche, Badaoui (1984) a remarqué que le séchage à haute température (80°C, 100°C) d'échantillon de couscous augmente la prise en masse (agglutination) de couscous. Par contre, Guezlane (1993) a remarqué un effet positif entre l'interaction hydratation-séchage à (17h à 55°C) et (3h à 95°C) et la prise en masse (IPMT). Yousfi (2002) a montré que le séchage industriel bien qu'il soit intense, a le même effet sur l'IPMT que le séchage artisanal.

2.5 Propriétés de texture

Elles concernent la fermeté, le collant et la masticabilité des pâtes après cuisson (Feillet, 1986 ; Yettou *et al.*, 1997). Les propriétés de texture du couscous cuit peuvent être évaluées avec une méthode de compression classiquement utilisée pour les spaghettis (Yettou *et al.*, 1997 ; Ounane *et al.*, 2006). Les propriétés de texture du couscous sont évaluées en se basant sur les paramètres de la fermeté (5,79 à 7,53 mm), d'élasticité (0,3 à 0,8 mm), et de l'indice de visco-élasticité (1,3 à 1,9). Elle est liée aux caractéristiques extérieures des grains de couscous après réhydratation, en utilisant un analyseur de texture selon une méthode qui a été employée pour des pâtes (Debbouz *et al.*, 1994 ; Debbouz et Donnelly, 1996). Selon Ounane *et al.* (2006), Les faibles valeurs de l'indice de fermeté et de visco-élasticité sont des indicatives d'un produit de qualité supérieure.

Par ailleurs, d'après Idir (2000), les couscous issus des semoules grosses présentent des indices de viscoélasticité et une fermeté plus élevée que ceux issus des semoules fines. Ainsi, la variété MBB donne un couscous de faibles propriétés viscoélastiques.

Selon les études de Guezlane (1993), l'amidon du couscous précuit joue un rôle important et fondamental dans la détermination de la texture du couscous cuit. Ounane *et al.* (2006) ont souligné qu'aucune corrélation n'était démontrée entre la teneur en lipides totaux de semoule et les propriétés de texture (fermeté, viscoélasticité). Par contre, la teneur en lipides apolaires

est significativement corrélée au seuil de 5 % avec l'état de la surface extérieure des grains de couscous. Cependant, les lipides polaires de la semoule affectent la fermeté de couscous ($r = 0,57$).

D'autre part, Ounane *et al.* (2006) ont montré que la qualité de couscous n'a pas été affectée par les caractéristiques de protéine de semoule. Debbouz *et al.* (1994) ont constaté que la collosité diminue avec l'augmentation de la teneur en protéines dans la semoule. Edwards *et al.* (1993) ont observé que la teneur en protéines a un effet sur la texture des pâtes alimentaires cuites (Tableau 4)

Tableau 4. Effet de la teneur en protéines sur la délitescence et la fermeté des pâtes alimentaires durant la cuisson (Edwards *et al.*, 1993)

	Teneur en protéines (%)		
	10,3	13,3	17,6
Cuisson optimum			
Délitescence (%)	9,40	8,90	7,10
Fermeté (kg/mm)	1,10	1,44	2,02
Surcuisson			
Délitescence (%)	15,50	13,70	13,30
Fermeté (kg/mm)	0,83	0,97	1,32

3. Influence d'adjonction de matière grasse sur la qualité culinaire de couscous

Il n'y a pas beaucoup des travaux qui révèlent l'effet de la matière grasse sur la qualité culinaire de couscous.

Selon Belaid *et al.* (1994), la qualité culinaire est nettement améliorée pour les produits précuits et traités aux monoglycérides. Ils sont plus fermes et plus résistants à la cuisson. Dès les premières minutes de traitement à la vapeur, l'amylose solubilisée va être complexée par les acides gras et les monoglycérides de la semoule et ceux ajoutés lors du malaxage, ce qui entraîne une diminution du collant entre les particules du couscous. D'après Godet *et al.* (1993), Godet *et al.* (1995) et Tufvesson *et al.* (2003), la formation du complexe amylose-lipide est affectée par : la température de complexation, la structure du lipide (monoglycéride, acide gras libre) et la longueur de la chaîne de l'amylose.

Pour éviter le problème du collant, la précuisson de couscous doit être de faible durée (8 minutes) (Guezlane, 1993). Ainsi, l'augmentation de la prise en masse (IPMT) de 48 % à 24 minutes diminue à 2,8 % par l'addition pendant le roulage de 0,5 % de DIMODAN –PVP (glycéryl monopalmitate) à la semoule. Belaid *et al.* (1994) ont confirmé l'efficacité de l'addition de DIMODAN surtout celle du type PVP (0,5 %) dans l'amélioration de la qualité des produits traités. En effet même les traitements de longue durée (supérieur à 8 min) combinés à l'ajout des monoglycérides, améliorent l'aspect et la qualité culinaire de couscous.

D'après Namoune *et al.* (2004), l'addition de matière grasse diminue le collant et la délitescence des grains du couscous, et cela considéré comme un facteur positif pour la qualité culinaire du couscous. En général, malgré l'effet négatif de matière grasse sur le gonflement, il est conseillé d'ajouter cette matière au couscous durant sa cuisson.

Yousfi (2002) a souligné que l'utilisation de la matière grasse comme ingrédient est conseillée pour la préparation du couscous industriel pour améliorer sensiblement la qualité organoleptique et retarder le temps de la prise en masse de produit.

De même, selon Feliachi et Guerfi (2003), l'addition de la matière grasse avant la deuxième cuisson exerce un effet améliorant sur la qualité culinaire du couscous artisanal (Figure 11).

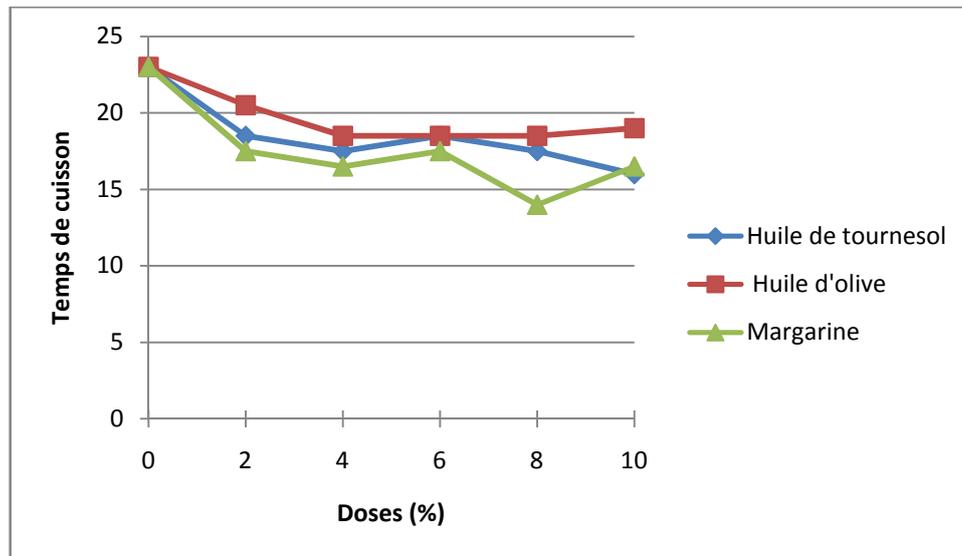


Figure 11. Influence de matière grasse sur le temps de cuisson du couscous de blé dur (Feliachi et Guerfi, 2003).

Il ressort des résultats de Feliachi et Guerfi (2003) que l'influence de matière grasse sur les caractéristiques culinaires de couscous diffère selon le type de matière grasse. Cette différence peut être justifiée par la diversification de la composition de matière grasse.

La composition biochimique de quelques matières grasses utilisées couramment durant la cuisson du couscous est mentionnée dans le tableau 5.

Tableau 5. Composition nutritionnelle d'huile de tournesol, du beurre et de la margarine végétale pour 100 g de produit (Souci *et al.*, 1994).

Constituants	Unités	Huile de tournesol	Beurre	Margarine
Eau	g	-	15,30	19,10
Protéines	g	-	0,67	0,20
Lipides	g	100	83,20	80,00
Glucides	g	-	-	0,40
Minéraux	g	-	0,11	0,26
Sodium	mg	-	5,10	101,00
Chlorure	mg	-	21,00	158,00
Fer	µg	30,00	-	-
Cuivre	µg	700,00	-	-
Vitamine A (rétinol)	µg	-	590,00	500,00
Rétinol équivalent	µg	4,33	653,33	608,33
Caroténoïdes totaux	µg	26,00	380,00	650,00
β-Carotène	µg	26,00	380,00	650,00
Vitamine E	mg	62,53	2,02	16,00
Vitamine D	µg	-	1,24	2,50
Vitamine K	µg	7,50	2,02	-
Tocophérol totaux	mg	66,28	2,02	-
α tocophérol	mg	61,40	11,91	-
β tocophérol	mg	2,15	-	-
δ tocophérol	mg	2,73	-	-
Acide caprylique	mg	-	900,00	310,00
Acide caprique	mg	-	2000,00	380,00
Acide laurique	g	-	2,20	3,40
Acide myristique	g	-	8,10	1,80
Acide palmitique	g	5,95	21,10	10,70
Acide stéarique	g	4,30	9,70	4,90
Acide arachidique	mg	395,00	-	230,00
Acide oléique	g	20,50	2,10	27,50
Acide eicosénoïque	mg	-	-	460,00
Acide pamiloléique	g	0,50	1,23	-
Acide linoléique	g	62,65	1,80	23,10
Acide linoléinique	mg	500,00	1200,00	2400,00
Stérol totaux	mg	350,00	110,00	310,00
Stérol libres	mg	160,00	60,00	-
Brassicastérol	mg	Trace	-	14,00
Campestérol	mg	31,50	-	74,00
5-avénastérol	mg	14,00	-	-
Cholestérol	mg	Trace	249,00	7,40
β sitostérol	mg	210,00	-	173,00
Stigmastérol	mg	34,50	-	26,00

4. Effet du traitement hydrothermique sur les constituants biochimiques du couscous

Le traitement hydrothermique (cuisson à la vapeur d'eau) provoque des modifications profondes sur les composants biochimiques du couscous. Collonna et Rouau (1986) ont souligné que l'amidon est altéré par les traitements physiques. Lorsque les grains d'amidon soumis à un traitement en milieu aqueux, ils gonflent en absorbant de l'eau, tandis qu'une fraction des chaînes passe en solution, essentiellement de l'amylose.

La figure 12 résume les modifications enregistrées sur l'amidon sous l'effet d'un traitement hydrothermique.

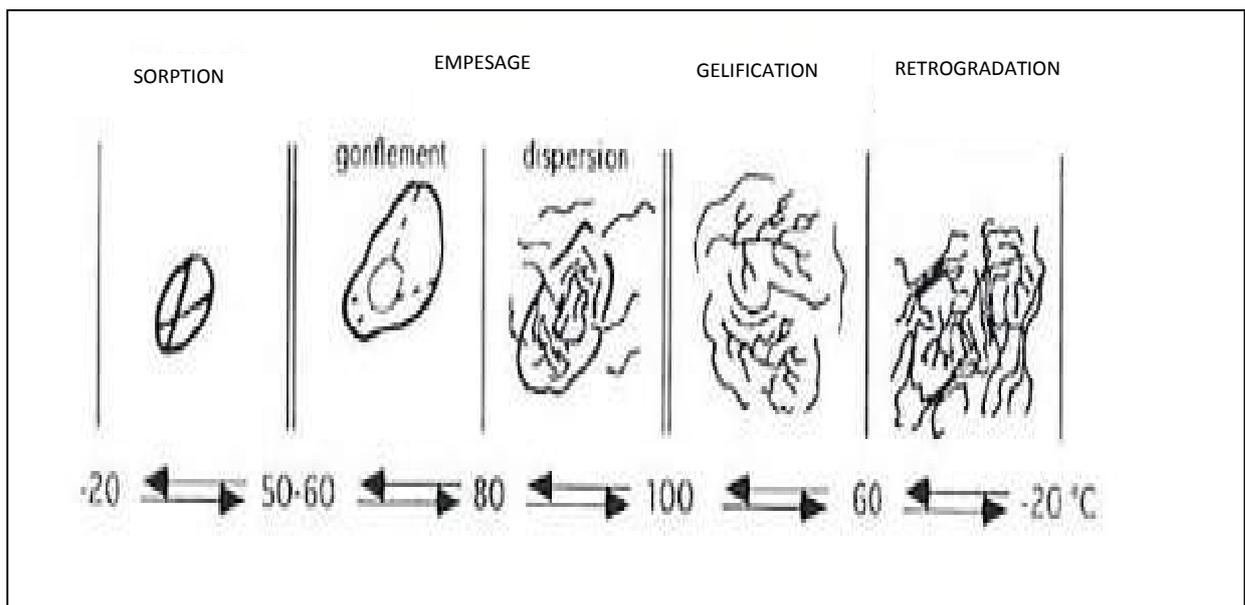


Figure 12. Modifications hydrothermiques de l'amidon (Buleon *et al.*, 1990)

Selon Guezlane *et al.* (1998 b), le traitement hydrothermique du couscous de blé dur provoque deux phénomènes :

- Une diffusion de l'amylose hors des fantômes des grains d'amidon (Figure 12). Ce phénomène intervient dès la gélatinisation et se poursuit pendant toute la durée du traitement hydrothermique.
- La complexation de l'amylose avec les lipides monoacylés présents dans la semoule forme une réticulation partielle au sein des particules de couscous (pseudo-gélification). Cette complexation n'est pas fonction de l'intensité du traitement mais seulement de la durée du traitement.

Selon Adrian et Frangne (1987), l'intensité de gélatinisation de l'amidon est proportionnelle au volume d'eau, à la température, à la durée de traitement et à toutes les modalités de cuisson.

Les traitements thermiques ont un effet évident sur les protéines, Hosoney et Debi (1990) ont obtenu 2 pics montrant la dénaturation des protéines solubles associées au gluten par DSC (differential scanning calorimetry) durant un traitement thermique. Guezlane *et al.* (1998 a) ont étudié l'influence des traitements hydrothermiques du couscous sur le comportement des protéines, ils indiquent que les traitements hydrothermiques entraînent une dénaturation des protéines, les HMWG et LMWG s'agrègent très rapidement, cette agrégation des protéines intervient par la création de liaisons disulfures, ces liaisons covalentes imposent une nouvelle structure plus rigides aux protéines, ce qui réduit leurs possibilités d'interagir et pourrait ainsi limiter l'apparition du collant entre les particules de couscous.

Par ailleurs, Abecassis *et al.* (1990) indiquent que l'effet principal de traitement thermique à haute température sur les lipides est la formation des liaisons avec d'autres constituants. Buleon *et al.* (1990) rapportent qu'une interaction importante des acides gras et des monoglycérides avec l'amylose (complexe amylose-lipide) a pour effet de modifier la répartition de l'amylose, le gonflement de l'amidon et le mode de rétrogradation.

Guezlane *et al.* (1998 b) ont confirmé l'expression précédente et indiquent que, durant le traitement hydrothermique, la complexation de l'amylose avec les lipides monoacylés présents dans la semoule forme une réticulation partielle au sein des particules de couscous (pseudo-gélification), cette complexation est fonction seulement de la durée du traitement. Par ailleurs, selon les mêmes auteurs, la teneur en lipides complexables constituerait donc le facteur limitant à l'amélioration de la qualité culinaire du couscous.

Matériel et méthodes

II- MATERIEL ET METHODES

1. Echantillonnage

Le matériel d'étude est constitué de 10 lots de couscous sec de blé dur dont 2 lots sont artisanaux (fin et moyen) et 8 lots de type industriel (fin et moyen), c'est la granulométrie disponible au marché. De chaque entreprise, nous avons prélevé deux lots (fin, moyen).

Les entreprises concernées sont :

- Complexe MEXICALI – Constantine ;
- Complexe GRANDS MOULINS DU SUD – Biskra ;
- SARL SOPI pâtes alimentaires – Blida ;
- Complexe Moulins AMOR BENAMOR – Guelma.

Le couscous artisanal est fabriqué à partir de la semoule supérieure de GRANDS MOULINS DU SUD – Biskra car le produit est le plus disponible à la ville d'Ouled-djellal où se trouve la fabricante, parmi les semoules des complexes de fabrication des pâtes alimentaires choisies pour faire l'étude. Nous avons choisi seulement le couscous produit par les entreprises de l'Est d'Algérie qui nous ont permis de faire un stage au niveau de l'unité de fabrication de couscous.

2. Fabrication du couscous artisanal

2.1. Matériel de fabrication

2.1.1. Matière première

Nous avons utilisé la semoule supérieure de blé dur qui a été achetée du commerce et produite le 16 avril 2010 par les GRANDS MOULINS DU SUD (Biskra). L'échantillon est conditionné dans un sac en fibres synthétiques de 25 kg et conservé à température ambiante dans un endroit sec.

2.1.2. Ingrédients

- Eau : l'eau utilisée est l'eau potable légèrement froide afin d'éviter l'agglomération excessive de la semoule de blé dur.

- Sel : nous avons utilisé le sel de cuisine iodé produit par l'ENASEL, conditionné en sachet de 1 kg acheté du commerce.

2.1.3. Matériel utilisé

-“ **Guessâa** ” : large écuelle en bois du diamètre de 50 cm, utilisée couramment pour la fabrication de couscous, le pétrissage d'autres pâtes et rarement utilisée pour servir le plat de couscous et de Chakhchoukha pendant les grandes fêtes afin de manger en ensemble.

-**Tamis** : les tamis utilisés sont classés selon leurs produits finis. Ils sont convenablement adoptés pour l'obtention de la granulométrie désirée.

➤ Couscous moyen :

-**Sakkat de couscous moyen** : il a l'ouverture des mailles de l'ordre de 2000 μm , permet de réaliser la première opération de criblage.

-**Reffad de couscous moyen** : ayant l'ouverture de maille de 1000 μm , permet de séparer le couscous de la granulométrie désirée de celui trop fin et de la semoule.

➤ Couscous fin :

-**Sakkat de couscous fin**: il a l'ouverture des mailles de l'ordre de 1200 μm , permet de réaliser la première opération de criblage.

-**Reffad de couscous fin** : ayant l'ouverture des mailles de 800 μm , permet de séparer le couscous de la granulométrie désirée de celui trop fin et de la semoule

-**Couscoussier**

C'est l'ustensile de la cuisson de couscous, il est en aluminium et constitué d'une partie supérieure renfermant des trous identiques qui permettent le passage de la vapeur aux grains de couscous, et une partie inférieure plus grande que la partie supérieure dans laquelle est placée l'eau à bouillir (Figure 13).

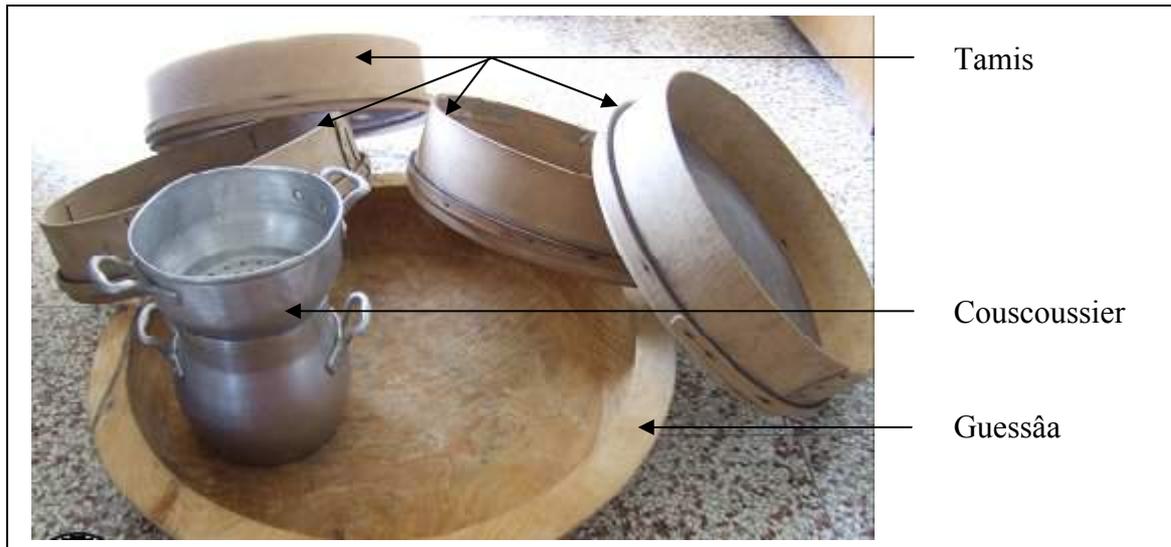


Figure 13. Matériel de fabrication artisanale de couscous (Benatallah *et al.*, 2008)

2.2. Conditions de fabrication artisanale de couscous

Le couscous artisanal a été fabriqué au mois de mai 2010, selon un protocole traditionnel courant dans la région de Biskra (Figure 14 et 15). La fabrication des couscous a été réalisée hors laboratoire, à la maison dans une chambre propre et bien aérée à température de 25°C par une praticienne expérimentée qui a travaillé dans les conditions habituelles avec le matériel couramment utilisé.

Nous avons mis à la disposition de la fabricante 4155 g de semoule grosse, 7845 g de semoule fine et 6 litres d'eau salée à 20 g/l pour chaque type de couscous.

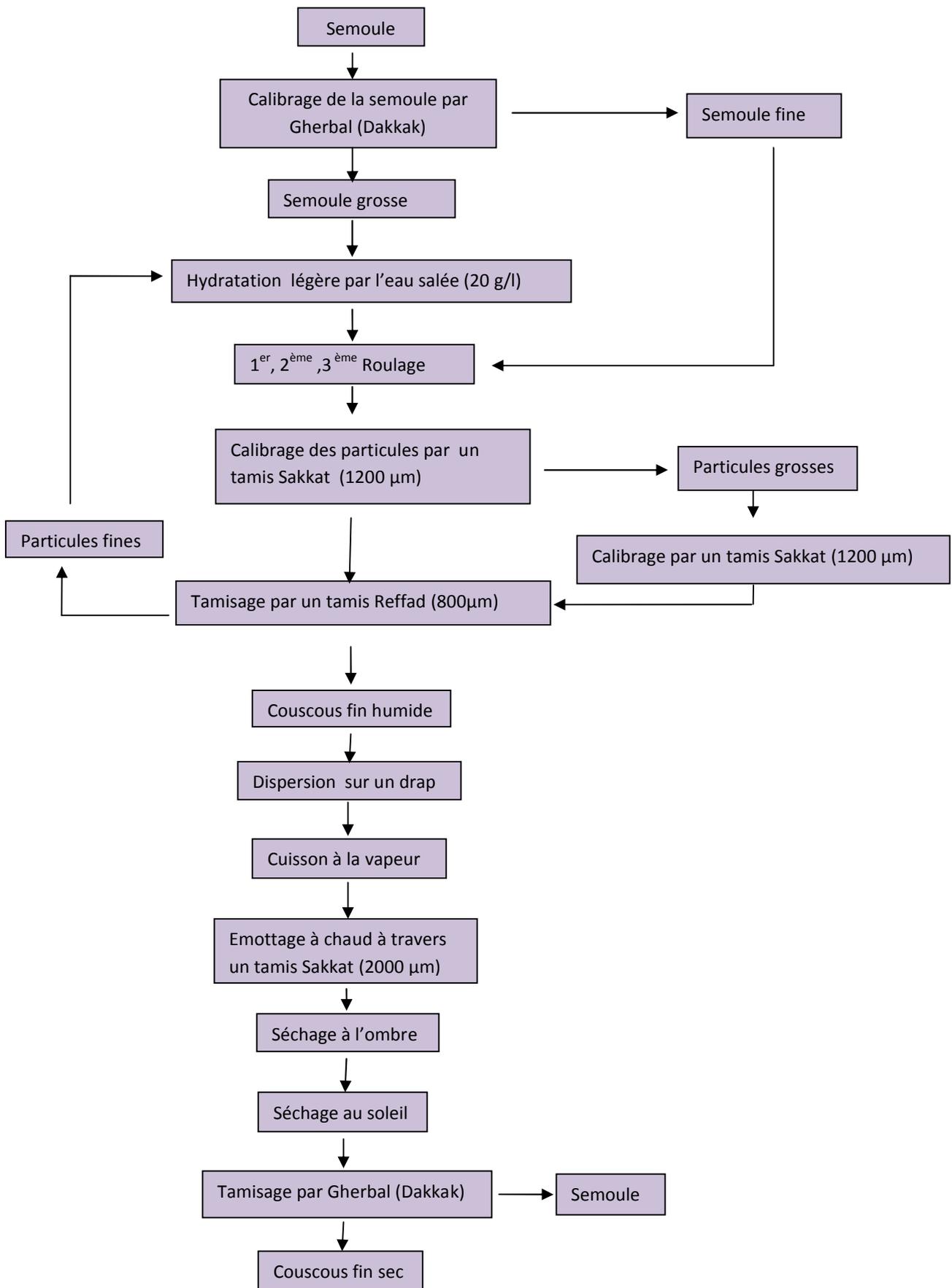


Figure 14. Diagramme de fabrication artisanale de couscous fin

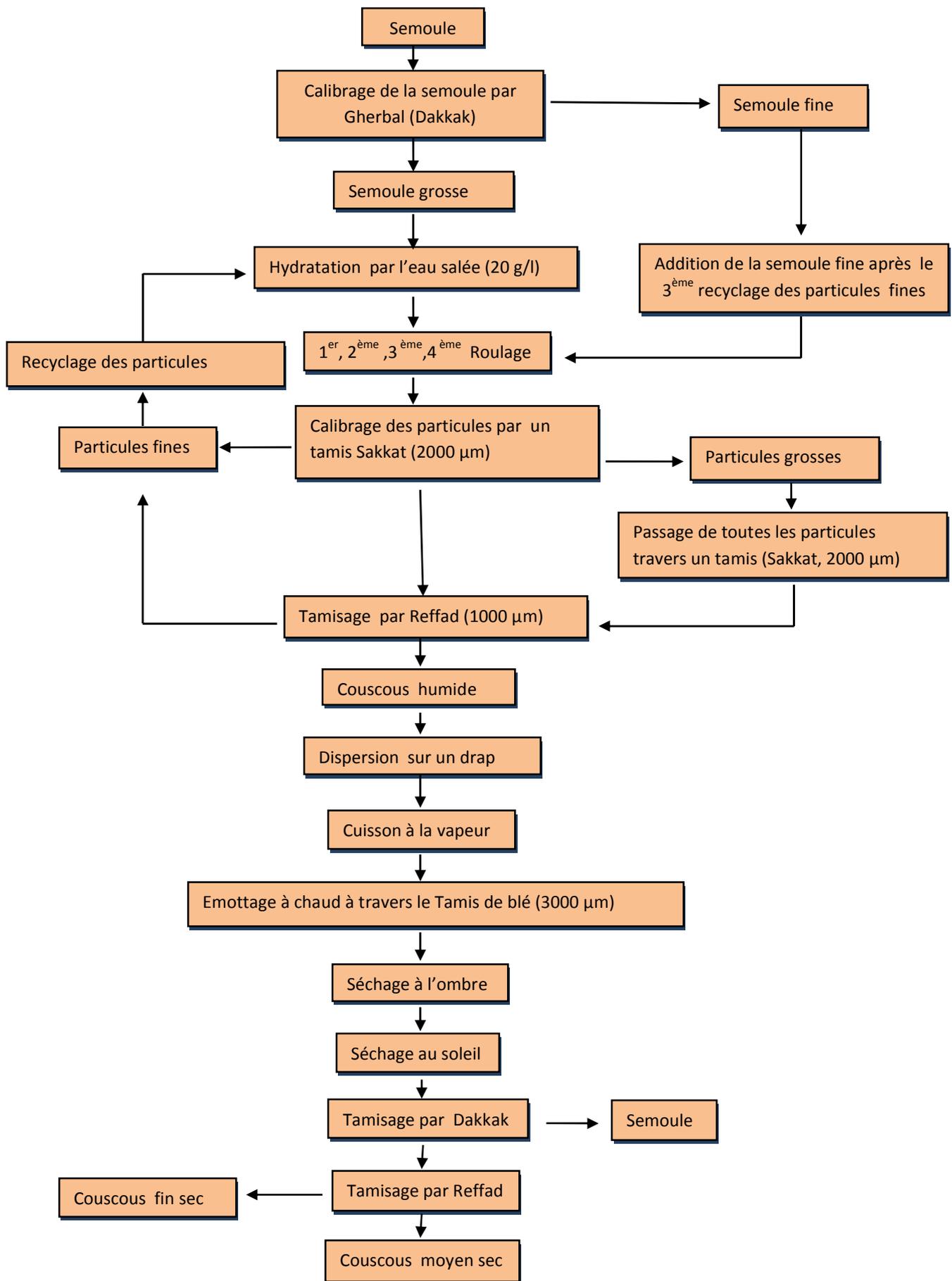


Figure 15. Diagramme de fabrication artisanale de couscous moyen

2.3. Procédé de fabrication artisanale

2.3.1. Hydratation

Cette opération permet de préparer la semoule grosse à l'agglomération, par l'addition de l'eau légèrement froide et salée par l'intermédiaire d'une louche (Figure 16). Grâce à l'hydratation, des liens se forment entre particules de semoule et permettent leur agglomération (Hebrard *et al.*, 2003). Cette étape est délicate, il faut d'une part assurer le mouillage de la semoule, et d'autre part éviter la sur-agglomération qui conduit à la formation d'une pâte due à l'humidification excessive de la semoule.

L'utilisation de l'eau froide permet d'éviter la formation de gros agglomérat. La température de l'eau est un facteur nécessaire pour maîtriser la grenaison de couscous. Dahoun-Lefkir (2005) a montré que les basses températures de l'eau d'hydratation (proche de 0°C) sont favorables pour la formation des granules de couscous puisqu'elles engendrent moins de grumeaux et de semoules non agglomérées.

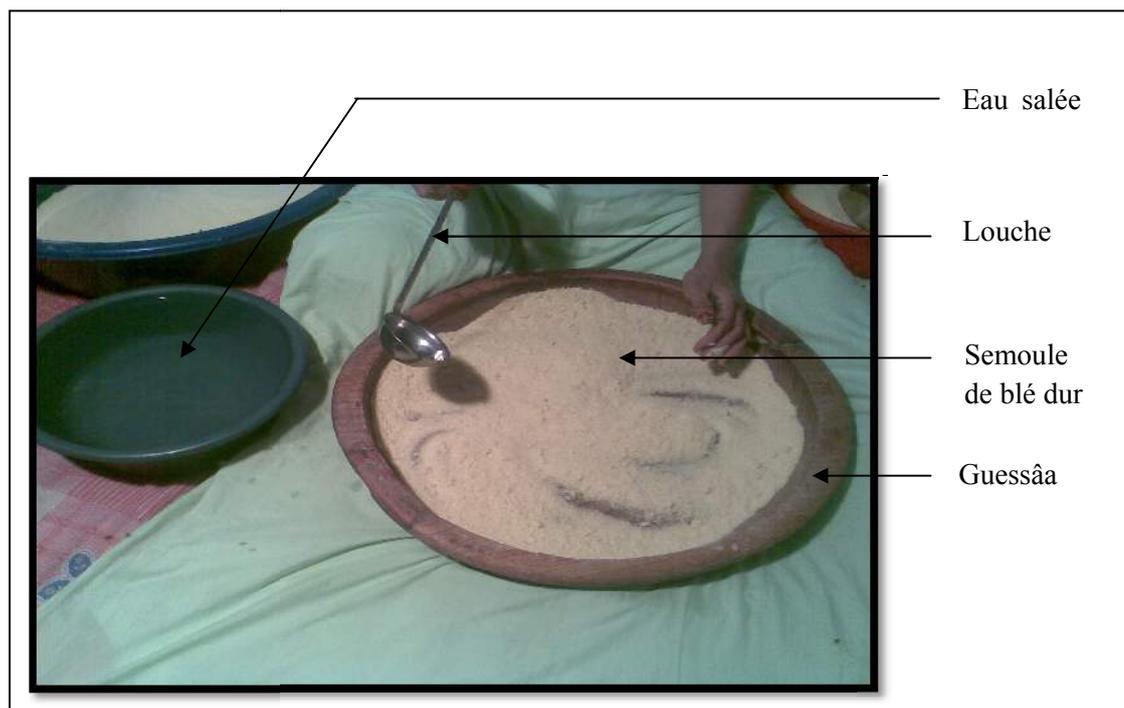


Figure 16. Hydratation de la semoule grosse

2.3.2. Roulage

Cette étape se fait dans une large écuelle en bois appelée Guessâa (Figure 16), et assurée par le mouvement de va et vient des mains ouvertes, paumes vers le bas avec un léger

écartement des doigts (Figure 17) afin de garantir un bon mélange et faciliter l'absorption de l'eau par les particules de la semoule grosse qui débutent d'adhérer les unes aux autres et à gonfler, c'est le début de l'agglomération. L'addition de la semoule fine se fait progressivement (Figure 18) en fonction du taux d'hydratation qui doit être toujours convenable à l'agglomération de la semoule jusqu'à l'obtention de la granulation souhaitée.

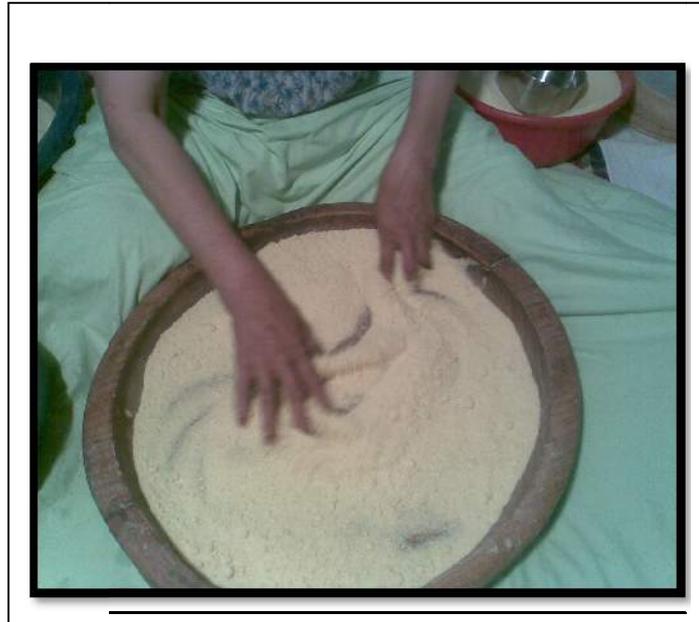


Figure 17. Roulage de la semoule grosse



Figure 18. Addition de la semoule fine

2.3.3. Tamisage

L'homogénéité et la granulométrie recherchées sont assurées par le choix des ouvertures des mailles du tamis.

Pour répondre à ces critères de qualité il faut faire un double tamisage où nous avons besoin d'utiliser deux tamis dont le premier a des ouvertures des mailles supérieures à la granulométrie désirée pour éliminer les gros agglomérats (grumeaux) (Figure 19-A) et le second (Reffad) a des ouvertures des mailles inférieures à la granulométrie désirable afin d'éliminer les fines particules de semoule non agglomérée et les agrégats insuffisamment agglomérés (Figure 19-B), les deux produits éliminés subissent un recyclage.

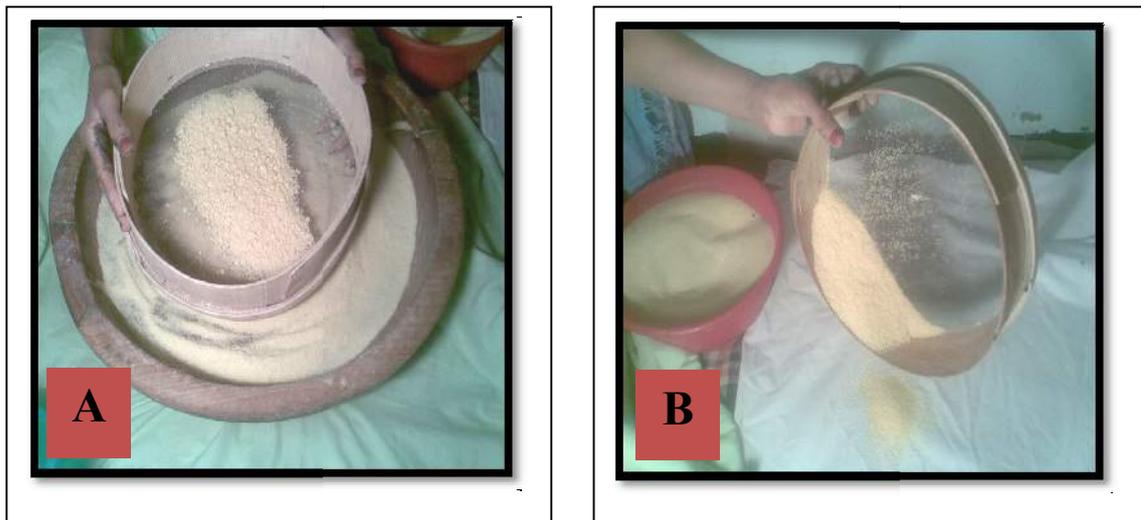


Figure 19. Tamisage de couscous

2.3.4. Précuisson

Le refus du Reffad (couscous de granulométrie recherchée) est mis dans une passoire en aluminium d'un couscoussier contenant de l'eau portée à ébullition. Le couscous est précuit à la vapeur d'eau pendant 14 ± 3 min à température de $98 \pm 2^\circ\text{C}$ (Figure 20). Ce temps varie en fonction de :

- la granulométrie de couscous. Plus la granulométrie augmente plus le temps de précuisson diminue car la vapeur d'eau circule plus vite entre les gros grains de couscous (Angar et Belhouchet, 2002).
- l'épaisseur de la couche de couscous mis dans la passoire et cela en fonction de la profondeur de ce dernier.

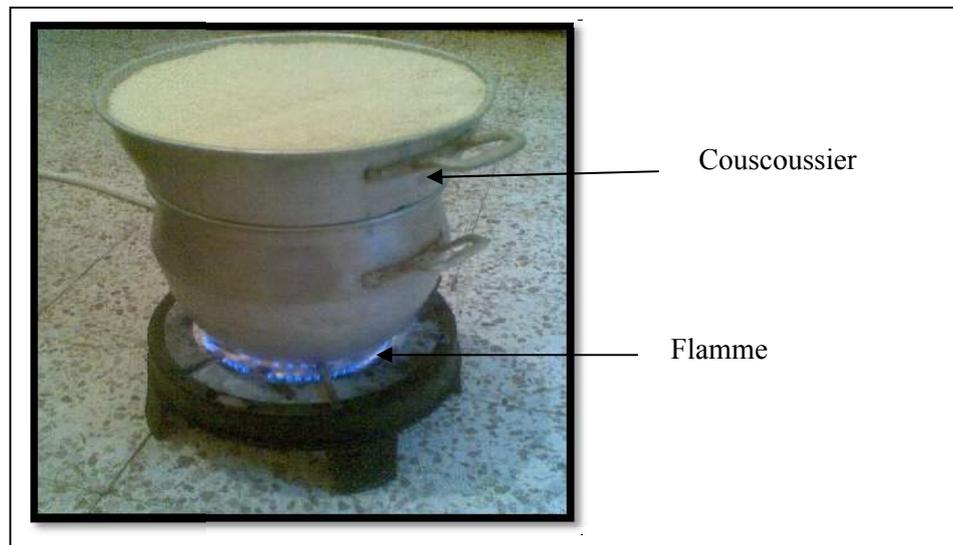


Figure 20. Précuison de couscous humide

Généralement, nous déterminons le temps de précuisson par :

- l'apparition de la vapeur d'eau à la surface de couscous.
- les grains de couscous se désagrègent entre les doigts sans former de pâtons et présentent une couleur jaune.
- le test de frapper légèrement sur le couscous lorsque ce dernier est bien précuit, ses grains n'adhèrent pas sur la main ouverte imbibée d'eau.

2.3.5. Emottage et calibrage

Le couscous précuit qui se présente sous la forme du gâteau (forme de la partie supérieure du couscoussier), est émotté manuellement ou par l'intermédiaire d'un outil, à chaud (Figure 21-A) car son émottage devient difficile à froid. Ensuite, il est calibré à travers un tamis de manière que tous les grains de couscous passent à travers les mailles de ce tamis (Figure 21-B)

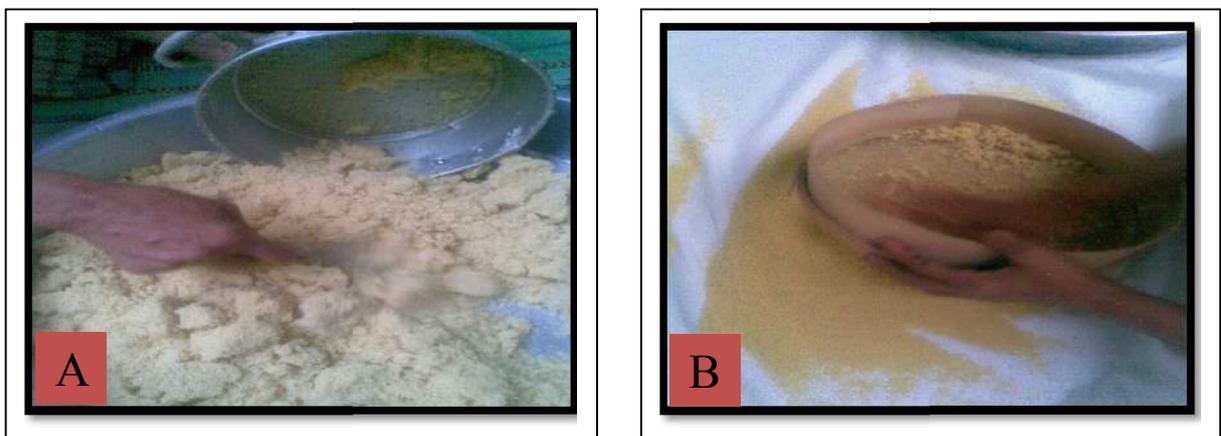


Figure 21. Emottage (A) et calibrage (B) de couscous précuit

2.3.6 Séchage

Le séchage du produit fini se fait en deux phases :

-Séchage à l'ombre : le couscous est bien étalé sur un linge propre, à l'ombre et à la température ambiante (Figure 22). Le produit commence à perdre son humidité progressivement. Le temps de séchage est fonction de la température ambiante et de l'humidité relative de l'air. Lorsque notre produit est bien séché, nous passons le couscous au séchage au soleil.

-Séchage au soleil : se fait à l'air libre dans un endroit bien exposé au soleil, cette phase est nécessaire afin de garantir le séchage de produit.



Figure 22. Séchage de couscous à l'ombre

2.4. Détermination du rendement

Le rendement de procédé artisanal de couscous est déterminé par la pesée de couscous sec (fin, moyen) à l'aide d'une balance technique.

$$R = [\text{masse de couscous sec} \times 100] / [\text{masse de grosse et fine semoule utilisée}]$$

R : rendement.

3. Fabrication industrielle de couscous

La fabrication industrielle de couscous passe par des étapes qui sont généralement similaires pour tous les procédés : hydratation et malaxage, roulage et tamisage, précuisson, séchage, refroidissement et finalement calibrage. Les paramètres de ces étapes diffèrent d'un procédé à l'autre ce qui donne des produits finis de qualité différente. Alors, il nous apparut utile de décrire les procédés de fabrication de nos échantillons. Pour répondre à cet objectif nous avons fait deux stages de courte durée (15 jours) au niveau des unités de fabrication de couscous industriel au complexe MEXICALI – Constantine et au complexe GRANDS MOULINS DU SUD – Biskra qui nous ont accueilli pour ces stages.

3.1. Hydratation et malaxage

Cette étape permet l'addition d'eau et le malaxage du complexe semoule-eau ce qui rend la matière première apte à la mise en forme (grenaison). Le procédé AFREM (Figure 1-Annexe 1) qui est installé au complexe GRANDS MOULINS DU SUD – Biskra utilise pour l'hydratation de la semoule (30% SSSE (150-500 μm) et 70% SGM (500-800 μm)) un appareil de dosage d'eau combiné à celui de dosage de semoule. Le procédé STORCI (Figure 3- Annexe 1) (complexe MEXICALI – Constantine) est muni d'une centrifugeuse (650 tr/min) au dessous du doseur, cette dernière facilite l'hydratation uniforme de la semoule (100% SSSE). Les deux procédés STORCI et AFREM utilisent une cuve mélangeuse qui favorise l'hydratation et le malaxage du complexe semoule-eau pour atteindre à un mélange qui est intimement homogène grâce à des palettes placés sur deux axes et tournant en sens inverse par vitesse de 55 tr/min pour le procédé STORCI et de 174 tr/min pour celui de AFREM.

3.2. Roulage et tamisage

C'est l'opération de la mise en forme de couscous grâce à l'agglomération des particules hydratées de la semoule sous l'effet du mouvement de la rouleuse. Cette dernière est constituée d'un tambour cylindrique légèrement incliné muni des palettes tournant en sens inverse (Figure 2-Annexe 1) et à une vitesse différente de celle de tambour. Ce dernier est divisé en deux parties dont la première favorise l'agglomération et la mise en forme des grains de couscous par le frottement des palettes sur la toile du tambour et la deuxième est perforée et assure le tamisage des particules en donnant trois produits.

Les particules fines et les particules grosses subissent un recyclage vers la cuve mélangeuse dans le cas de procédé d'AFREM et vers la centrifugeuse en procédé STORCI par un transporteur pneumatique. Les grains de granulométrie désirée poursuivent la ligne de procédé vers le cuiseur à la vapeur.

3.3. Précuisson

Cette opération est faite grâce à un traitement hydrothermique (précuisson à la vapeur d'eau). C'est une étape utile pour maintenir la forme des grains de couscous (amidon gélatinisé) et éviter l'agglomération de couscous au cours de sa réhydratation (Guezlane *et al.*, 1998 b) d'une part et afin d'assurer la préservation de couscous contre les altération microbiologiques par la diminution de la charge microbienne d'autre part (Yousfi, 1983).

Le couscous traverse un tunnel saturé de vapeur d'eau sur un tapis transporteur à mailles en inox, pour un temps de passage de 8-12 min en procédé STORCI et 12 min pour le procédé AFREM. Par conséquent les grains de couscous sont totalement précuits grâce la vapeur d'eau qui traverse les mailles du tapis.

3.4. Séchage

Le séchage est destiné à prolonger la durée de conservation de couscous. Il faut bien le sécher jusqu'à une teneur en eau de 12 % (Guezlane *et al.*, 1998 b). Le couscous cuit est transféré par un transporteur pneumatique vers le séchoir à tambour perforé dont le passage de couscous à travers le séchoir nécessite 35 minutes dans les conditions de température de 110°C et d'humidité relative de 8 % pour le procédé STORCI et 30 minutes à température de 130°C pour le procédé AFREM.

3.4. Refroidissement et calibrage

Cette étape complète le séchage et remet le couscous à la température ambiante. Puis le couscous sec est transporté vers le plansichter par un système pneumatique. Il est constitué de quatre tamis superposés qui permettent de classer les grains de couscous comme suit :

- les particules grosses sont cassées puis reviennent au plansichter.
- le couscous moyen et fin sont stockés dans les silos avant de les conditionner.
- les particules fines sont recyclées vers la cuve mélangeuse.

Nous résumons les paramètres technologiques de la fabrication du couscous industriel dans le tableau 6.

Tableau 6. Caractéristiques technologiques de la fabrication de couscous industriel de blé dur.

Caractéristiques	STORCI	AFREM
Semoule	SSSE	30% SSSE et 70% SGM
Taux d'hydratation (%)	34.2	37
Vitesse de malaxeur (tr/min)	55	174
Vitesse de rouleuse (tr/min)	16	12-25
Température de cuiseur (°C)	100	105
Durée de précuisson (min)	8-12	12
Température de séchage (°C)	110	130
Durée de séchage (min)	35	30
Taux d'humidité de couscous sec	11.5-12.5	11.5-12.5
Rendement en couscous moyen (%)	60	70
Rendement en couscous fin (%)	40	30
Capacité de production (kg/h)	500	1200

AFREM utilise la grosse semoule ce qui conduit à l'augmentation du rendement du couscous moyen contrairement à STORCI.

4. Caractérisation de la matière première

La semoule du GRANDS MOULINS DU SUD a seulement subi des analyses physico-chimiques et technologiques en raison de la disponibilité dans le marché. Ces analyses sont effectuées afin de bien caractériser le produit qui représente la matière première du couscous artisanal (fin et moyen).

4.1. Analyses physico-chimiques

Nous avons réalisé 3 essais pour toutes les analyses physico-chimiques.

4.1.1. Taux d'humidité

Il est déterminé par un séchage dans une étuve à 130°C pendant 2 heures sur 05 grammes de produit en présence d'un agent desséchant. (AFNOR N.F.V03-707, 1991 a).

L'humidité (H) pour 100 grammes d'échantillon est donnée par la formule suivante :

$$H = 100 \times \frac{(M0 - M1)}{M0}$$

H : teneur en eau en pourcentage

M0 : masse en gramme de la prise d'essai avant séchage

M1 : masse en gramme de la prise d'essai après séchage

4.1.2. Dosage des lipides libres

La teneur en lipides libres est déterminée grâce à un extracteur SOXTEC. Il s'agit d'extraire les lipides libres d'une prise d'essai de 3 grammes par un solvant organique (Hexane). Le taux des lipides est exprimé en pourcentage en masse du produit, selon la formule suivante :

$$\text{lipides libres (\%)} = \frac{w3 - w2}{w1} \times 100$$

w1 : masse en gramme de la prise d'essai (3 g)

w2 : masse de nacelle avant extraction

w3 : masse de nacelle après extraction

4.1.3. Dosage des protéines totales

La teneur en azote est mesurée par la méthode de Kjeldahl (ISO 5983-1979), c'est une méthode de dosage de l'azote total. Elle consiste en la minéralisation de la matière organique en présence d'un catalyseur, alcalinisation des produits de la réaction, distillation et titrage de l'ammoniac libéré.

La minéralisation est réalisée dans des matras de 300 ml, par l'acide sulfurique (96%, d=1,84) à chaud en présence de sulfate de potassium et sulfate de cuivre comme catalyseur.

L'azote organique est transformé en azote minéral sous forme ammoniacale par l'action oxydative du H₂SO₄ bouillant (Audigie *et al.*, 1984). L'azote minéral (NH₄)₂SO₄ est transformé en ammoniac NH₃ en présence de la soude caustique (NaOH) et récupéré dans l'acide borique (H₃BO₄) à 4%. L'ammoniac récupéré est titré avec une solution H₂SO₄ 0,01N.

La teneur en azote, exprimée en pourcentage en masse du produit, est égale à :

$$N = \frac{1.4(V1 - V0) \times T}{M}$$

N : teneur en azote ;

V1 : volume en millilitres de la solution d'acide sulfurique utilisé pour le titrage;

V0 : volume en millilitres de la solution d'acide sulfurique utilisé pour l'essai à blanc ;

T : normalité de la solution d'acide sulfurique utilisé pour le titrage ;

M : masse en gramme de la prise d'essai (1g).

La teneur en protéines (P) pour les céréales est estimée en multipliant la teneur en azote par un facteur de conversion K = 5,7 (Bar, 1995).

$$P = NT \times K$$

4.1.4. Taux de cendres

Il est déterminé par l'incinération jusqu'à combustion complète de la matière organique de 3 grammes de produit dans un four à moufle à 900°C, pendant 90 minutes (AFNOR NF-03-720,1991 b). Les résultats exprimés en pourcentage, sont donnés par la formule :

$$C = M1 \times \frac{100}{M0} \times \frac{100}{100 - H}$$

C : teneur en cendre

M1 : masse de résidu en gramme

M0 : masse de la prise d'essai en gramme (3g)

H : teneur en eau de l'échantillon en pourcentage

4.1.5. Teneur en gluten humide

La teneur en gluten est déterminée selon la méthode de Kiger et Kiger (1967). Le principe consiste à peser le gluten extrait d'une pâte préparée de 25 g de semoule et les résultats exprimés en pourcentage selon la formule suivante :

$$GH = \frac{P1 \times 100}{M}$$

GH : teneur en gluten humide

P1 : poids de gluten humide

M: masse en gramme de la prise d'essai (25 g)

4.1.6. Teneur en gluten sec

Pour la détermination de la teneur en gluten sec, il suffit de sécher le gluten humide dans une étuve à 130°C pendant 2 heures, la teneur en gluten sec s'exprime selon la formule :

$$GS = \frac{P2 \times 100}{M}$$

GS : teneur en gluten sec

P2 : poids de gluten sec

M : masse en gramme de la prise d'essai (25 g)

Le coefficient d'hydratation (CH) est déterminé à partir de la teneur en gluten humide et sec :

$$CH = \frac{100 \times (GH - GS)}{GH}$$

4.1.7. Granulométrie

Elle est réalisée sur 100 g d'échantillon par pesage des refus de chaque tamis. Le tamisage est réalisé par un plansichter de laboratoire type RHOTEX pendant 10 minutes.

Les ouvertures des mailles des tamis utilisés : 500 µm ; 450 µm ; 355 µm ; 300 µm ; 180 µm ; 160µm.

4.1.8. Taux d'extraction

Ce paramètre est fourni par l'unité de production. Ce paramètre est très important pour la caractérisation de la matière première car il modifie sensiblement sa composition en fibres, cendres, protéines et vitamines. Selon Idir (2000), le taux d'extraction de la semoule peut influencer sur les propriétés technologiques de produit fini.

4.2. Analyses technologiques

Nous avons réalisé 3 essais pour la détermination de l'extensibilité et le ramollissement du gluten.

4.2.1. Extensibilité du gluten

Elle est déterminée par la mesure de l'allongement en centimètre pendant 2 heures d'une boulette du gluten humide de 2 g soumis une charge de 4 g, l'ensemble est placé dans une éprouvette de 100 ml et de 25 cm de longueur munie d'un papier millimétré et remplie par l'eau de robinet, selon la méthode de Kosmina et Kranz modifiée par Muller (1969), cité par Namoune (1989).

Cette méthode nous permet de classer le gluten en 5 catégories :

- Gluten très bon : garde sa longueur après 2 heures,
- Gluten bon : s'allonge jusqu'à 1,5 cm,
- Gluten doux : s'allonge vite (plus de 1,5 cm),
- Gluten faible : s'allonge considérablement et casse avant la fin de l'essai,
- Gluten court : s'allonge légèrement mais casse vite.

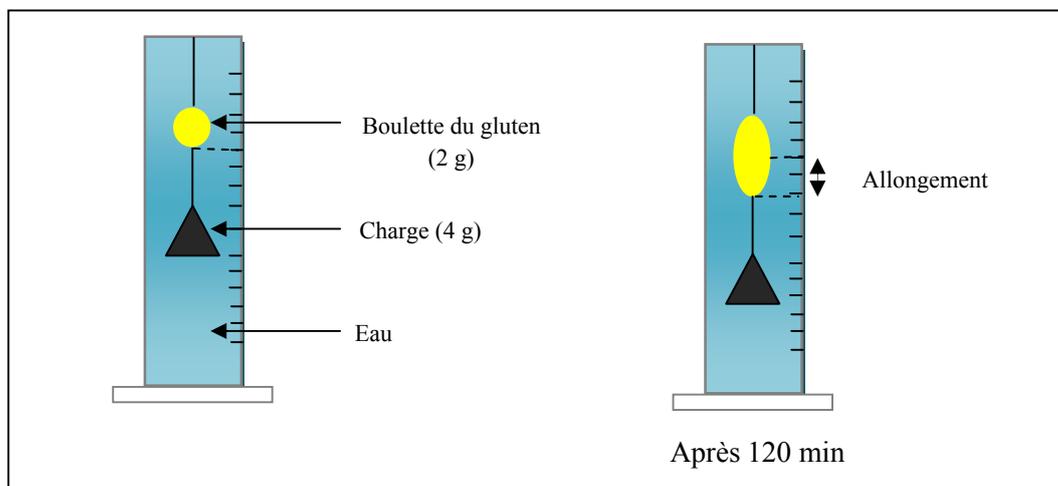


Figure 23. Présentation de la méthode de Kosmina et Kranz modifiée par Muller (1969)

4.2.2. Ramollissement du gluten

Il est déterminé par le calcul de la différence après 60 minutes entre deux diamètres moyens (initial et final) d'une boulette de gluten humide de 5 g déposée sur une plaque de verre munie d'un papier millimétré, l'ensemble est couvert avec un cristalliseur muni d'un papier buvard imbibé d'eau afin de maintenir le milieu humide selon la méthode de Kauzes *et al.* (1966) cité par Kezih (1998).

Cette méthode nous permet de distinguer 4 types de gluten :

- Ramollissement < 2 mm : gluten ferme, tenace, développement très difficile lors de la fermentation ce qui donne un pain plat,
- Ramollissement de 2 à 4 mm : gluten de bonne qualité,
- Ramollissement de 4 à 8 mm : gluten de qualité moyenne,
- Ramollissement de 8 à 13 mm : gluten de mauvaise qualité.

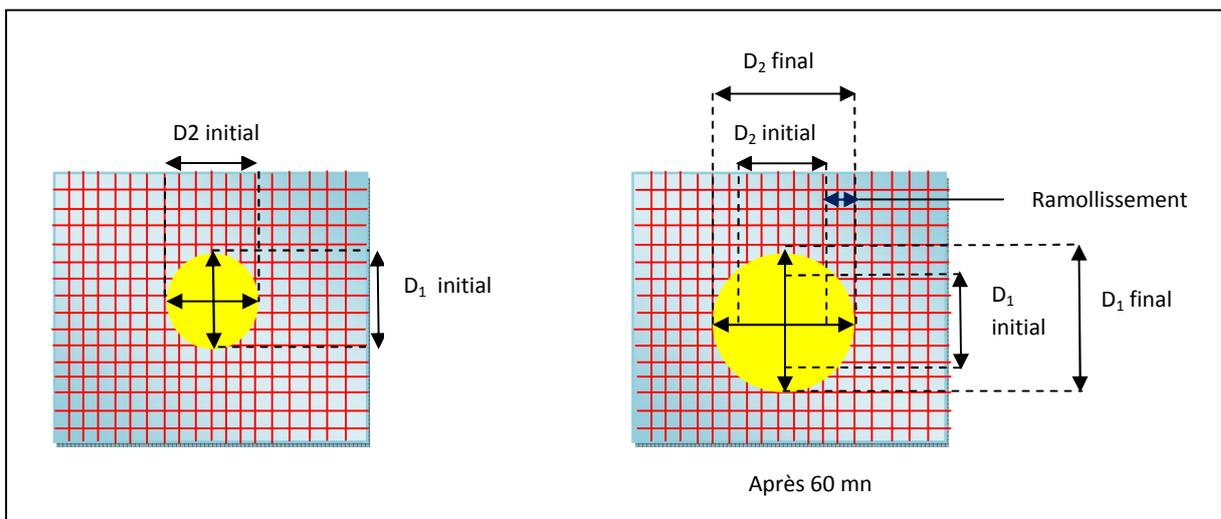


Figure 24. Présentation de la méthode de Kauzes *et al.* (1966)

5. Appréciation de la qualité du couscous sec industriel et artisanal

Nous avons réalisé 3 essais pour les analyses physico-chimiques et technologiques du couscous sec industriel et artisanal.

5.1. Analyses physico-chimiques

Les échantillons de couscous sec sont broyés afin de faciliter les différents dosages physico-chimiques.

5.1.1. Taux d'humidité

Elle est déterminée par un séchage dans une étuve à 130°C pendant 2 heures sur 05 ± 10^{-4} grammes de produit en présence d'un agent desséchant (AFNOR N.F.V03-707, 1991a) (Paragraphe 4.1.1).

5.1.4 Dosage des lipides libres

Il s'agit d'extraire les lipides libres d'une prise d'essai de 3 g pesé à 10^{-4} g près, par un solvant organique (Hexane) (Paragraphe 4.1.2).

La teneur en lipides libres est exprimée en pourcentage en masse du produit.

5.1.3. Dosage des protéines totales

La teneur en azote est mesurée par la méthode de Kjeldahl (ISO 5983-1979) (Paragraphe 4.1.3).

5.1.4. Taux de cendres

Il est déterminé par l'incinération jusqu'à combustion complète de la matière organique de 3 ± 10^{-4} grammes de produit dans un four à moufle à 900 °C, pendant 90 minutes (AFNOR NF-03-720,1991 b) (Paragraphe 4.1.4).

5.2. Analyses technologiques

5.2.1. Granulométrie

Elle est réalisée par le tamisage de $100 \pm 0,1$ g de couscous sec par un plansichter de laboratoire type RHOTEX (amplitude = 30 mm) pendant 10 minutes. Selon Guezlane (1993), pour caractériser la granulométrie de couscous il faut retenir les tamis d'ouverture de mailles allant du N° 12 (2000 μ m) au N° 38 (500 μ m).

Les ouvertures des mailles des tamis utilisés sont : 500 μm , 600 μm , 710 μm , 800 μm , 900 μm , 1000 μm , 1400 μm , 2000 μm .

Les résultats sont exprimés pour chaque tamis en pourcentage de refus cumulé de la masse totale. Ils sont généralement présentés par les courbes granulométriques de refus cumulé (Guezlane 1993). Selon Pfof et Headley (1976) cité par Guezlane (1993), les données peuvent aussi être traitées pour obtenir les grandeurs caractéristiques de la distribution des particules.

Sg = écart-type géométrique ($D_{84}/D_{50}=D_{50}/D_{16}$) dont :

D_{84} = diamètre des particules à 84 % de probabilité.

D_{50} = diamètre des particules à 50 % de probabilité.

D_{16} = diamètre des particules à 16% de probabilité.

5.2.2. Masse volumique

Une éprouvette de 100 ml est utilisée pour déterminer le volume occupé par $25 \pm 0,01\text{g}$ de couscous sec (Angar et Belhouchet, 2002). La masse volumique de ces échantillons est ensuite exprimée en g/cm^3 .

6. Appréciation de la qualité culinaire du couscous industriel et artisanal

Nous avons réalisé 3 essais pour la détermination des paramètres de la qualité culinaire.

6.1. Temps de cuisson

6.1.1. Cuisson de couscous

Des essais préliminaires ont été faits afin de bien adopter le diagramme de la cuisson de couscous en déterminant la prise d'essai de couscous, la quantité de l'eau utilisée à l'hydratation et le temps de repos nécessaire. Ces paramètres sont présentés dans la figure 25. Le récipient inférieur du couscoussier utilisé pour la réalisation des tests déterminant la qualité culinaire de couscous ayant la capacité de 2 litres et les dimensions du récipient supérieur sont :

-Diamètre du fond : 15 cm

-Diamètre du haut : 17 cm

-Hauteur : 12 cm

6.1.2. Détermination du temps de cuisson

Un chronomètre est utilisé pour la détermination du temps de cuisson, ce dernier est comptabilisé à partir de l'apparition de la vapeur d'eau à la surface de couscous selon l'enquête réalisée par Derouiche (2003). Les temps de cuisson de couscous selon le même auteur sont :

a-Temps minimal : est déterminé visuellement, quand le flux de vapeur apparaît à la surface du couscous.

b-Temps optimal : est compté en additionnant les 2 temps de cuisson (première et deuxième cuisson). A ce temps, les grains de couscous sont individualisés et présentent une certaine tendreté.

c-Temps de surcuisson (maximal) : c'est le temps pour lequel le produit forme des mottes importantes, ce qui donne un aspect déplaisant.

6.2. Indice gonflement

Un échantillon de $20 \pm 0,01$ g de couscous sec est versé dans une éprouvette graduée de 200 ml contenant 50 ml d'eau. L'éprouvette est bouchée. On effectue 10 retournements successifs de manière à bien hydrater l'ensemble des particules. On ajoute 50 ml d'eau pour faire descendre les particules restées collés le long de la paroi. Celle-ci est bouchée et mise debout dans un bain Marie à température de 95°C, puis on note le volume du couscous après 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 et 60 mn (Guezlane et Abecassis, 1991) citée par Derouiche (2003). On détermine le gonflement (G) selon la relation:

$$IG (\%) = 100 \times (V_f - V_i) / V_i$$

V_f : volume final du couscous lu sur l'éprouvette

V_i : volume initial du couscous sec sur l'éprouvette

6.3. Degré de délitescence

Au départ, les échantillons de couscous ont subi une cuisson rapide selon la méthode de Guezlane et Abecassis (1991). Une prise d'essai de 10g de couscous sec est placée dans un bécher de 200 ml et hydratée avec 16,5 ml d'eau distillée bouillante salée à 5g/l. Après addition de l'eau, le bécher est immédiatement recouvert et placé pendant 12 minutes dans une étuve maintenue à 90°C, puis le degré de la délitescence est déterminé selon la méthode décrite par Boucheham (2009).

Un volume de 50 ml d'eau distillée à 25 °C est ajouté au couscous cuit dans un bécher de 200 ml. Après une agitation durant 6 minutes par un agitateur magnétique ; le surnageant est récupéré par filtration sur un tamis d'ouverture de maille 1000 µm. Une partie aliquote de 10 ml est séchée dans l'étuve à 100°C jusqu'au poids constant.

Le degré de délitescence (DD%) exprimé pour 100g de matière sèche (couscous sec étudié) est donné par la relation :

$$DD \% = (ES \times 5 \times 100) \times 100 / 10 (100 - H)$$

ES : extrait sec en gramme issu des 10 ml de prise aliquote;

H : teneur en eau du couscous en pourcentage.

7. Effet de la matière grasse sur la qualité culinaire du couscous

7.1. Effet des doses de la matière grasse sur le temps optimal de cuisson

Pour montrer l'influence de la matière grasse sur le temps de cuisson, nous avons utilisé les doses de 2 ml, 4 ml, 6 ml, 8 ml et 10 ml pour l'huile de tournesol et les quantités de 2 g, 4 g, 6 g, 8 g et 10 g pour la margarine végétale et le beurre, pour 100 g du couscous sec. La cuisson de couscous a été effectuée à la vapeur d'eau dans un couscoussier (Figure 20) et l'addition de la matière grasse est faite après la deuxième hydratation et avant la deuxième cuisson comme indiqué dans la figure 25.

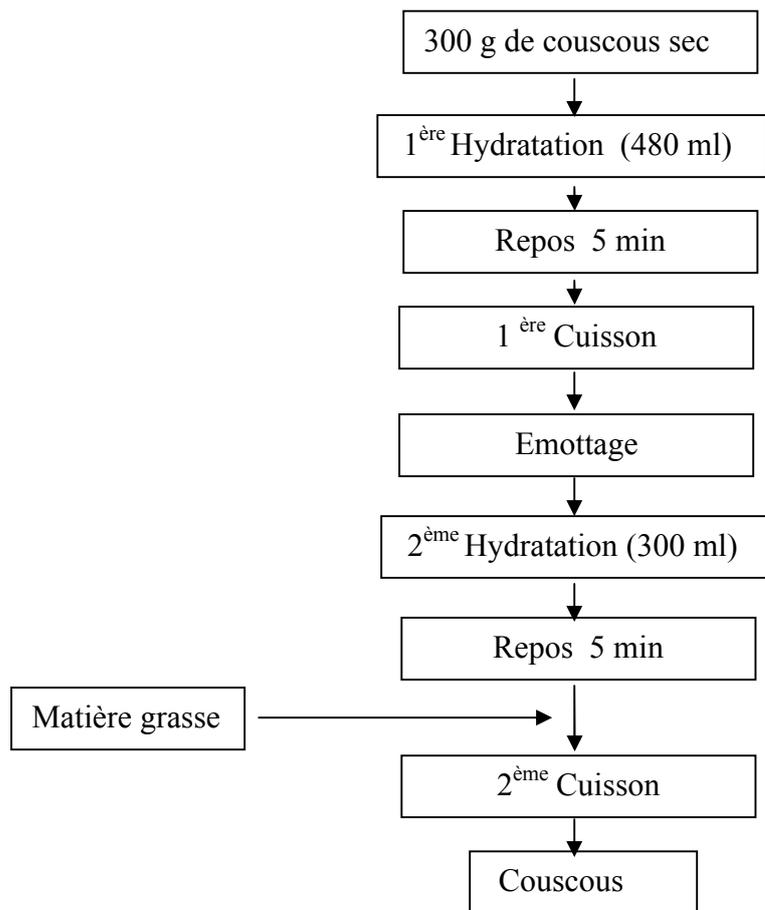


Figure 25. Diagramme de cuisson à la vapeur du couscous

7.2. Détermination de la dose raisonnable des matières grasses ajoutées

Pour déterminer l'effet de l'addition des matières grasses durant la cuisson de couscous sur sa qualité culinaire, il faut en premier lieu fixer la dose qui doit être ajoutée pour laquelle le couscous garde son appréciation habituelle. Le choix de la dose raisonnable de chaque matière grasse ajoutée est déterminé par un test de classement en utilisant une échelle d'ordre croissant de 1 à 9 selon l'intensité de caractère. Ce test est fait au laboratoire du complexe GRANDS MOULINS DU SUD dont la température est constante et l'éclairage est blanc et homogène. Les couscous ont été cuits suivant le mode de cuisson ménager dans un couscoussier, en additionnant des doses correspondantes au 100 g de couscous sec : 2 ml, 4 ml, 6 ml, 8 ml et 10 ml pour huile de tournesol et 2 g, 4 g, 6 g, 8 g, 10 g pour la margarine végétale et le beurre. Les couscous sont servis sans sauce dans des assiettes codées : A, B, C, D et E respectivement, contenant 20 à 30 g de couscous chacune. Le jury est composé de 7 personnes préalablement familiarisées avec le produit. Les caractères concernés sont : le

critère huileux et brillant appréciés visuellement, et le critère lisse déterminé à la bouche (Figure 26).

Nom :	Date :																								
Prénom :																									
<p style="text-align: center;">Vous avez 5 échantillons de couscous cuit codés A, B, C, D et E. Donnez une note de 1 à 9 selon l'intensité de caractère des couscous suivant l'échelle ci-dessous.</p>																									
[1-3] moins huileux [1-3] moins lisse [1-3] moins brillant																									
[4-6] moyennement huileux [4-6] moyennement lisse [4-6] moyennement brillant																									
[7-9] très huileux [7-9] très lisse [7-9] très brillant																									
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;"></th> <th style="width: 25%;">HUILEUX</th> <th style="width: 25%;">LISSE</th> <th style="width: 35%;">BRILLANT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>D</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>E</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			HUILEUX	LISSE	BRILLANT	A				B				C				D				E			
	HUILEUX	LISSE	BRILLANT																						
A																									
B																									
C																									
D																									
E																									
Quel produit préférez-vous ?																									

Figure 26. Fiche de notation du test sensoriel des couscous

7.3. Effet de la matière grasse sur le gonflement de couscous

La mise en évidence de l'influence de la matière grasse sur le gonflement de couscous (fin, moyen) est faite en utilisant la dose raisonnable de chaque matière grasse, selon la méthode de Derouiche (2003), la masse de couscous est mesurée au cours de cuisson et rapportée en pour cent de matière sèche. Les pesées sont réalisées par une balance technique, après la cuisson. Le résultat des pesés présente la moyenne de 3 essais. Il est exprimé en grammes.

7.4. Effet de la matière grasse sur la fermeté, le collant et la délitescence de couscous

La texture et la délitescence sont des paramètres très importants pour la détermination de la qualité culinaire de couscous. Selon Yettou (1998), La texture de couscous regroupe la fermeté et le degré d'agglomération des particules de couscous (collant) mais la délitescence

est l'aptitude de ces particules à conserver leur intégrité durant et après la cuisson. Afin de révéler l'influence de l'addition de la matière grasse durant la cuisson sur ces paramètres de qualité, nous avons adopté les analyses sensorielles pour répondre à cet objectif.

7.5. Evaluation sensorielle

Les couscous préparés à la vapeur d'eau, en additionnant la dose de 6 ml pour huile de tournesol et la quantité de 8 g pour la margarine végétale et le beurre, ont été appréciés par un jury composé de 9 sujets préalablement familiarisés avec le produit. Les paramètres analysés sont : la fermeté aux dents, la prise en masse (collant) et la délitescence appréciées visuellement et à l'aide d'une fourchette. Le formulaire de réponse a été expliqué à tous les membres de jury. Les essais de dégustation ont été réalisés dans un laboratoire bien éclairé dont la température est constante. Le produit a été servi dans des assiettes codées dont chacune contenait environ 30 g de couscous cuit. Les couscous ont été évalués par notation d'une échelle de 1 à 9 selon la norme AFNOR NF V09- 014 de 1982 (AFNOR, 1995).

FICHE DE DEGUSTATION DES COUSCOUS			
Nom :	Date :		
Prénom :			
4 échantillons de couscous cuit codés A, B, C, D vous sont servis. Donnez une note de 1 à 9 selon l'intensité de caractère des couscous suivant l'échelle ci-dessous.			
[1-3] moins ferme	[1-3] moins collant	[1-3] moins délitescents	
[4-6] moyennement ferme	[4-6] moyennement collant	[4-6] moyennement délitescents	
[7-9] très ferme	[7-9] très collant	[7-9] très délitescents	
	Fermeté	Collant	Délitescence
A			
B			
C			
D			

Figure 27. Formulaire de dégustation de couscous

8. Traitement statistique des résultats

Le calcul de la moyenne et de l'écart-type est réalisé par l'Excel (version 2007).

Le traitement des données fait appel à des méthodes statistiques (analyse de la variance (ANOVA) et analyse en composantes principales (ACP)). Les résultats statistiques sont calculés à l'aide du logiciel XLSTAT version 2008, au seuil de signification de 5%.

L'analyse de la variance (ANOVA) permet suivant le niveau de significativité, de comparer les moyennes et de tester s'il existe une différence significative entre les échantillons étudiés ou non. Le test du Tukey nous permet de présenter la différence entre les échantillons sous forme des groupes homogènes (A ,B,C....etc.). Chaque groupe homogène rassemble les échantillons identiques dont il n'a y pas de différence significative notée entre eux.

L'analyse en composantes principales (ACP) nous permet de déterminer les corrélations existant entre les différents variables étudiés et de rassembler les échantillons qui ont des caractéristiques identiques.

Résultats et discussion

III- RESULTATS ET DISCUSSION

Tous les résultats présentés sont la moyenne de 3 essais.

1. Caractérisation physico-chimique de la matière première.

1.1. Composition biochimique

La composition biochimique de la matière première concerne spécifiquement la semoule du complexe GRANDS MOULINS DU SUD qui est la matière première du couscous artisanal (fin, moyen).

La teneur en eau de la semoule de blé dur utilisée pour la fabrication de couscous artisanal (fin, moyen) est 12,72 %. Elle est inférieure au maximum indiqué à la norme du *codex alimentarius* 178-1991(FAO, 1996), à celle donnée par Souci *et al.* (1994) et à celle indiquée par Hebrard (2002), qui sont respectivement : 14,5 %, 13,10 % et 14,5 %. Une moindre teneur en eau peut être exigée pour certaines destinations, compte tenu du climat, de la durée du transport et de celle du stockage (FAO, 1996).

Par ailleurs, la teneur en protéines totales est en moyenne de 13,96 %. Cette valeur est proche de 13,5 % donnée par Hebrard (2002) et Ounane *et al.* (2006). Elle est comprise dans l'intervalle de la teneur en protéines de la semoule de blé dur rapportée par Turnbull (2001)(11-16 % ms) et Feillet (2000)(8-18 % ms).

Les caractéristiques physicochimiques de la semoule utilisée sont notées dans le tableau 7.

Tableau 7. Caractéristiques physicochimiques de la semoule supérieure du complexe GRANDS MOULINS DU SUD

Teneur en eau (%)	12,72 ± 0,08
Teneur en protéines totales (%)	13,96 ± 0,16
Teneur en gluten humide (%)	29,06 ± 1,60
Teneur en gluten sec (%)	10,22 ± 0,58
Capacité d'hydratation du gluten (%)	64,81 ± 1,43
Extensibilité du gluten (cm)	0,96 ± 0,20
Ramollissement du gluten (mm)	0,62 ± 0,10
Teneur en lipides libres (%)	0,77 ± 0,02
Teneur en cendres (%)	1 ± 0,06

La semoule utilisée présente une teneur en gluten humide de 29,06 %. Cette teneur est inférieure à l'intervalle de 33 - 34 (%) indiqué par Godon (1991). Notre matière première renferme 10,22 % de gluten sec, cette valeur est nettement inférieure à 12,50 % trouvée par Ounane *et al.* (2006). Selon Kiger et Kiger (1967), la capacité d'hydratation de la semoule est de 66 %, mais elle peut augmenter jusqu'à 69 % avec l'augmentation de taux d'extraction, ou diminuer jusqu'à 60% avec le vieillissement de la semoule. La capacité d'hydratation du gluten de notre semoule est 64,81 %. Elle est proche de celle indiquée par Kiger et Kiger (1967).

Par ailleurs, l'extensibilité du gluten de la semoule utilisée est $0,96 \pm 0,2$ cm, ce qui signifie que le gluten est de bonne qualité (allongement $\leq 1,5$ cm) selon Kosmina et Kranz cité par Namoune (1989). Ainsi, le ramollissement du gluten de notre semoule est de l'ordre de $0,62 \pm 0,1$ mm. Selon les normes décrites par Krauzers *et al.* (1966) cité par Kezih (1998), le gluten de notre semoule est de qualité tenace et ferme (ramollissement < 2 mm).

En ce qui concerne la teneur en lipides libres, elle est de 0,77 %. Cette teneur est évidemment inférieure à celle trouvée par Ounane *et al.* (2006) qui est égale à 1,15 % et cela peut être dû à la différence variétale de blé dur et le taux d'extraction qui influe nettement la composition chimique du produit.

Il est important de souligner que, le taux de cendres est un critère d'appréciation de la pureté des semoules. Idir (2000) a noté qu'une belle semoule doit avoir une teneur en cendres comprise entre 0,75 % et 0,95 % ms pour un taux d'extraction de 70 %. Dans le cas de notre semoule, le taux d'extraction est de 70 % et le taux de cendres est égal à 1 % ms. Notre résultat est légèrement supérieur à celui noté par Idir (2000).

1.2. Granulométrie de la matière première

La distribution granulométrique de la semoule est un facteur déterminant du fait qu'elle affecte les propriétés d'absorption des pâtes et par conséquent elle influe sur la qualité du produit fini (Dick et Matsuo, 1988).

Nous représentons la granulométrie de la semoule utilisée pour la fabrication du couscous artisanal (fin et moyen) dans la figure 28.

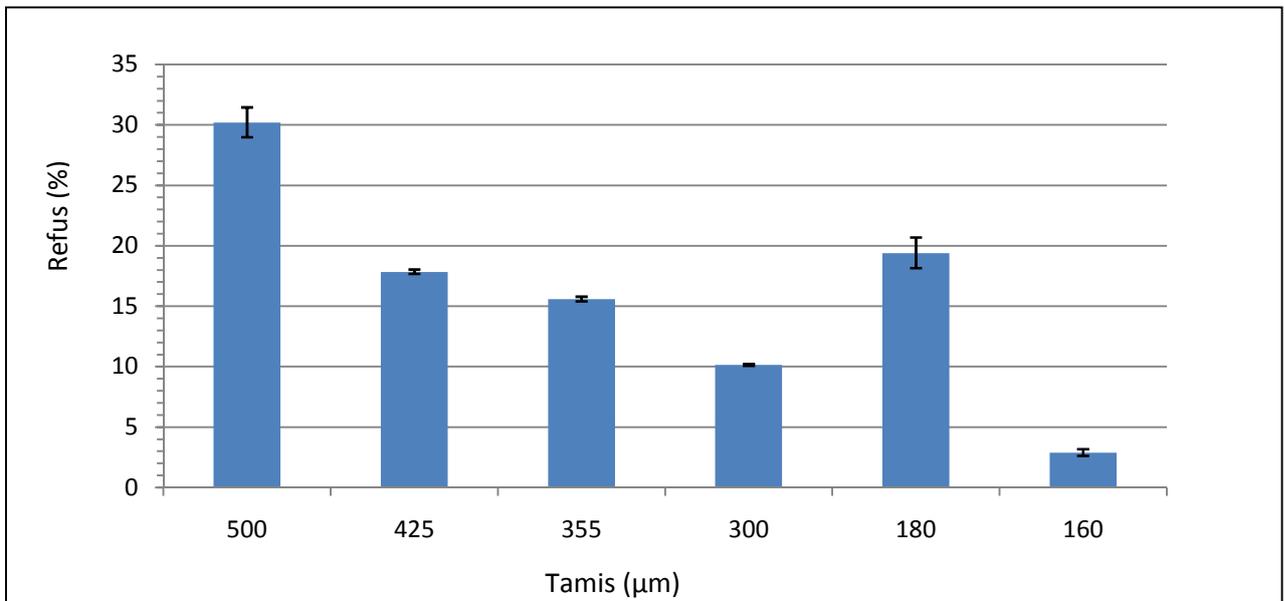


Figure 28. Granulométrie de la semoule supérieure de blé dur (GRANDS MOULINS DU SUD)

La figure 28 représente la distribution granulométrique de la matière première. Nous pouvons partager les particules de la semoule en deux fractions granulométriques importantes : les particules de granulométrie supérieure ou égal à 500 µm (SGM) ou Fetla. Ces particules représentent un pourcentage de 30,2 % des particules, cette valeur est inférieure à 60,55 % trouvé par Boucheham (2009). Par contre les particules de l'ordre granulométrique inférieur à 500 µm (SE) ou dite Dkik domine avec 69,8 % de la semoule, ces particules se repartent comme suit : 19,2 % des particules de granulométrie [300-180] µm, 17,84 % celles de l'ordre de [500-425] µm, 15,58 % celles de diamètre [425-355] µm, 10,14 % de la semoule sont des particules de diamètre [355-300] µm et 3,09 % celles de l'ordre de [180-160] µm et 3,95 % celles de diamètre inférieur à 160 µm.

2. Procédé artisanal et industriel de couscous

Le but du procédé artisanal est généralement destiné à la fabrication d'un seul type de couscous c'est-à-dire la fabricante fixe au début la granulométrie désirée (fine ou moyenne) et le procédé conduit à un seul produit final qui sera totalement homogène. Par contre, le procédé industriel donne plusieurs produits finaux de granulométrie différente (fine et moyenne), et ceci pour rentabiliser la production.

Le rendement du procédé artisanal exprimé en g de couscous sec pour 100 g de la semoule, augmente selon la granulométrie de couscous, il est 67,5 % pour le couscous fin et de 71,16 % pour le couscous moyen. Le rendement de couscous moyen est équivalent à 72,09 %, et

semblable à celui donné par Bahchachi (2002) et nettement inférieur à 95 %, le rendement cité au travail de Angar et Belhouchet (2002).

Par ailleurs, les rendements du procédé industriel sont de l'ordre de 60 % et de 40 % pour le couscous moyen et fin respectivement dans le procédé STORCI – complexe Mexicali-Constantine et de 70 % et de 30 % pour les mêmes types de couscous respectivement, pour le procédé AFREM- complexe GRANDS MOULINS DU SUD –Biskra.

En comparant entre les deux procédés artisanal et industriel, le rendement en couscous industriel est plus élevé que celui de couscous artisanal, il est de l'ordre de 100 % en parlant de la quantité de couscous produit sans indication de la granulométrie et cela grâce au recyclage de toutes les particules à tous les stades du procédé de la fabrication industrielle. Par contre, il n'existe pas de recyclage des particules après la précuisson de couscous dans le procédé artisanal.

Le rendement au roulage est corrélé positivement à l'absorption de l'eau par les semoules (Debbouz *et al.* 1994). Selon Dahoun-Lefkir (2005), l'accroissement du taux d'hydratation augmente les rendements en couscous et en grumeaux et diminue les rendements en semoules non agglomérées. Par contre, Tigroudja et Bendjoudiouadda (1998), remarquent que le rendement en couscous est hautement corrélé négativement aux taux d'hydratation de semoule ($r = -0,60$). L'optimisation de l'hydratation des semoules est donc d'une importance capitale dans la fabrication de couscous (Yousfi, 2002).

3. Caractérisation des échantillons du couscous

3.1 Caractéristiques physico-chimiques

3.1.1 Humidité

La teneur en eau de l'ensemble des échantillons de couscous est comprise entre 6,75 % et 13,23 % (Tableau 2). Ce taux n'excède pas 13,5%, valeur notée par la norme de *codex alimentarius* (202-1995). Par contre, en comparant nos résultats avec la norme algérienne N.A. 6396 adopté pour le couscous industriel (Anonyme, 1996), nous trouvons que l'humidité du couscous moyen du complexe GRANDS MOULINS DU SUD- Biskra et celle du complexe MEXICALI- Constantine sont supérieures à la norme algérienne (11,5 - 12,5 %), mais celles de couscous moyen et fin du complexe BENAMOR- Guelma sont inférieures à cette norme (Tableau 8). Hebrard (2002) a indiqué que l'humidité de couscous de blé dur analysé a été 9,8 %. Nous remarquons que l'humidité du couscous artisanal ne dépasse pas

le seuil de 8 % et cela peut être dû au double séchage effectué à l'air libre à l'ombre puis au soleil (étape de finition de séchage). Par contre, celui des produits industriels est fait dans des séchoirs dont les facteurs température et temps sont contrôlés. L'humidité du couscous artisanal est inférieure à celle de couscous artisanal analysé par Yettou (1998). En revanche, la teneur en eau des échantillons de couscous industriel est semblable à celle trouvée par Yettou (1998).

Tableau 8. Caractéristiques physico-chimiques des échantillons du couscous.

Processus	Echantillon	Humidité (%)	Protéines (% ms)	Lipides libres (% ms)	Cendres (% ms)
Artisanal	Moyen	6,75 ± 0,25	14,87 ± 0,66	0,10 ± 0,02	1,94 ± 0,09
	Fin	7,78 ± 0,11	14,74 ± 0,71	0,11 ± 0,07	1,92 ± 0,05
Industriel Complexe MEXICALI (Constantine)	Moyen	12,72 ± 0,15	12,93 ± 0,57	0,34 ± 0,06	1,52 ± 0,02
	Fin	11,81 ± 0,08	12,95 ± 0,90	0,22 ± 0,10	1,73 ± 0,25
Industriel Complexe GRANDS MOULINS DU SUD (Biskra)	Moyen	13,23 ± 0,20	13,19 ± 0,80	0,35 ± 0,07	1,44 ± 0,10
	Fin	11,92 ± 1,27	10,67 ± 0,64	0,27 ± 0,06	0,97 ± 0,32
Industriel Complexe AMOR BENAMOR (Guelma)	Moyen	11,16 ± 0,08	14,50 ± 0,33	0,22 ± 0,05	0,85 ± 0,12
	Fin	10,92 ± 0,17	14,79 ± 0,45	0,22 ± 0,02	1,13 ± 0,04
Industriel Complexe SOPI (Blida)	Moyen	11,55 ± 0,08	13,17 ± 1,36	0,29 ± 0,06	1,35 ± 0,08
	Fin	11,46 ± 0,09	11,92 ± 0,65	0,12 ± 0,05	1,2 ± 0,11

Le test de Tukey HSD au seuil de 5 %, montre que nos échantillons du couscous peuvent être distribués en 6 groupes homogènes (A, AB, ABC, BC, C, D) (Tableau 9).

Tableau 9. Comparaison des moyennes d'humidité des couscous par le test de Tukey HSD au seuil de 5 %.

Echantillon	Moyenne estimée	Groupes		
GMS moyen	13,23	A		
Mexicali moyen	12,72	A	B	
GMS fin	11,93	A	B	C
Mexicali fin	11,81		B	C
SOPI moyen	11,55		B	C
SOPI fin	11,47		B	C
Benamor moyen	11,17			C
Benamor fin	10,92			C
Artisanal fin	7,77			D
Artisanal moyen	6,75			D

3.1.2 Teneur en lipides libres

Les lipides de blé dur jouent un rôle important dans l'expression de la qualité de couscous, Ounane *et al.* (2006) ont montré que la qualité culinaire de couscous est partiellement liée à la teneur et la composition des lipides. La teneur en lipides libres de l'ensemble des échantillons est comprise entre 0,10 % et 0,35 % (Tableau 10). Ounane *et al.* (2006) ont trouvé que la teneur en lipides libres de la semoule des différents cultivars utilisée pour la fabrication de couscous est comprise entre 0,92 % et 1,47 % ms. Alors, les semoules utilisées pour la fabrication des différents types de couscous étudié, ont une teneur faible en lipides libres en comparant avec les semoules des cultivars utilisés par Ounane *et al.* (2006).

La comparaison des moyennes de la teneur en lipides libres par le biais du test Tukey HSD au seuil de 5 %, montre que nos échantillons du couscous sont regroupés en 5 groupes homogènes (A, AB, ABC, BC, C) (Tableau 10).

Tableau 10. Comparaison des moyennes des lipides libres des échantillons de couscous par test de Tukey HSD au seuil 5 %.

Echantillon	Moyenne estimée	Groupes		
GMS moyen	0,35	A		
Mexicali moyen	0,34	A		
SOPI moyen	0,29	A	B	
GMS fin	0,27	A	B	C
Bénamor moyen	0,23	A	B	C
Bénamor fin	0,22	A	B	C
Mexicali fin	0,22	A	B	C
SOPI fin	0,13		B	C
Artisanal fin	0,11		B	C
Artisanal moyen	0,10			C

3.1.3 Teneur en protéines

La teneur en protéines de l'ensemble des échantillons de couscous est comprise entre 10,67 % ms et 14,87 % ms (Tableau 11). Les résultats montrent que la teneur en protéines est similaire pour les différents types de couscous de même origine industriel grâce à l'utilisation de la même matière première pour la fabrication des couscous (fin et moyen). Ce résultat est identique aux ceux des travaux de Ounane (1983) sur les pâtes alimentaires et ceux de Senator (1983) sur le couscous. Les deux auteurs ont montré que la teneur en protéines du produit est sensiblement identique à celle de la semoule. En revanche, le couscous fin du complexe GRANDS MOULINS DU SUD –Biskra et celui du complexe SOPI-Blida a une teneur en protéines nettement inférieure à celle de couscous moyen de même origine industriel et cela parce que les couscous de ces complexes n'ont pas été du même lot à cause de la disponibilité du produit au commerce. Yettou (1998) a noté que la teneur en protéines des échantillons de couscous (fin et moyen) analysés est comprise entre 11,90 % ms et 14,10 % ms. Hebrard (2002) a trouvé un teneur en protéines de 13,5 % ms pour l'échantillon de couscous moyen analysé. La comparaison des résultats de notre étude avec ceux de Yettou (1998) montre que la teneur en protéines de nos échantillons est nettement relative à celle des échantillons utilisés à l'étude de Yettou (1998).

La comparaison des moyennes de la teneur en protéines avec le test Tukey HSD (honestly significantly different) (au seuil de 5 %), montre que les couscous analysés peuvent être regroupés en 4 groupes homogènes (AB, BC, CD, D) (Tableau 11).

Tableau 11. Comparaison des moyennes de la teneur en protéines des différents échantillons du couscous avec le test de Tukey HSD au seuil de 5 %.

Echantillon	Moyenne estimée	Groupes	
Artisanal moyen	14,87	A	B
Bénamor fin	14,79	A	B
Bénamor moyen	14,49	A	B
Artisanal fin	14,32	A	B
GMS moyen	13,19		B C
SOPI moyen	13,17		B C
Mexicali fin	12,95		B C
Mexicali moyen	12,93		B C
SOPI fin	11,92		C D
GMS fin	10,67		D

3.1.4. Taux des cendres

Le taux de cendres des échantillons artisanaux sont compris entre 1,92 % et 2,12 % ms. Nous constatons que ce taux augmente avec l'augmentation de la granulométrie (Tableau 12) et il est nettement supérieur à celui de la semoule. Ce résultat concorde avec celui des travaux de Angar et Belhouchet (2002). Guezlane *et al.* (1986) ont souligné qu'une nette augmentation du taux de cendres est enregistrée sur les couscous par rapport aux semoules dont ils sont issus. Cette augmentation est essentiellement due à l'apport des éléments minéraux contenus dans l'eau ajoutée au stade de roulage. Le taux de cendres indiqué par la norme algérienne N.A. 6396 est compris entre 0,9 % et 1,1 %. Nous constatons que sauf le couscous moyen du complexe BENAMOR –Guelma et le couscous fin du complexe GRANDS MOULINS DU SUD- Biskra sont conforme à la norme algérienne.

A l'aide du test Tukey HSD, nous pouvons regrouper nos échantillons de couscous selon la teneur en cendres, en 9 groupes homogènes (A, AB, ABC, BCD, CD, CDE, DEF, EF, F) (Tableau 12).

Tableau 12. Comparaison des moyennes de taux de cendres des échantillons du couscous avec le test Tukey HSD au seuil de 5 %.

Echantillon	Moyenne estimée	Groupes					
Artisanal moyen	1,93	A					
Artisanal fin	1,90	A	B				
Mexicali fin	1,69	A	B	C			
Mexicali moyen	1,50		B	C	D		
GMS moyen	1,46			C	D		
SOPI moyen	1,35			C	D	E	
SOPI fin	1,18				D	E	F
Bénomor fin	1,15				D	E	F
GMS fin	1,05					E	F
Bénomor moyen	0,83						F

3.2. Caractérisation granulométrique des couscous

La granulométrie du couscous et son homogénéité sont considérées parmi les paramètres essentiels qui définissent sa qualité pour la majorité des consommateurs (Guezlane, 1993 ; Yousfi, 2002). Ainsi, la granulométrie a un effet évident sur sa qualité culinaire notamment le gain du poids (absorption) et le temps de cuisson (Angar et Belhouchet, 2002).

La granulométrie des couscous peut être caractérisée par le paramètre de position et de dispersion.

3.2.1. Paramètre de position (granulométrie médiane)

Après l'analyse des courbes granulométriques des différents échantillons du couscous (artisanal et industriel), illustrées dans les figures (29, 30, 31, 32 et 33), nous pouvons d'après l'estimation du paramètre de position (D_{50}) diviser nos échantillons en deux types (fin et moyen). Les valeurs du D_{50} ou la granulométrie médiane des échantillons de couscous fin (artisanal et industriel) sont comprises entre 650 μm et 935 μm (Tableau 13) dont l'étendue granulométrique varie entre 500 μm et 1400 μm . Ainsi, nous constatons que la granulométrie médiane (D_{50}) de couscous artisanal fin et celui du complexe MEXICALI-Constantine sont identiques d'une part et d'autre part, elles sont plus élevées que celles des complexes : SOPI-Blida, BENAMOR –Guelma et GRANDS MOULINS DU SUD –Biskra. L'étendue granulométrique des produits de ces complexes est plus petite par rapport à celle du complexe MEXICALI-Constantine et celle du couscous artisanal, elle varie entre 500 μm et 1000 μm .

Par ailleurs, les échantillons de couscous moyen sont caractérisés par une granulométrie médiane varie entre 960 μm et 1100 μm (Tableau 13) et l'étendue granulométrique de ces échantillons comprise entre 600 μm et 1400 μm . Nous constatons que le D_{50} du couscous moyen du complexe GRANDS MOULINS DU SUD-Biskra est plus élevé que le D_{50} d'autres échantillons.

La différence en paramètre de position D_{50} et l'étendue granulométrique entre nos échantillons peut être expliquée par les caractéristiques de la matière première et les conditions opérationnelles au stade de roulage et le choix d'ouverture des mailles du plansichter (stade de tamisage).

Selon Guezlane (1993), la taille des particules et leur homogénéité dépendent pour une large part des conditions opératoires retenues pour réaliser l'opération de roulage et les caractéristiques des matières premières mises en œuvre. Dahoun-Lefkir (2005) a montré que la granulométrie médiane D_{50} augmente avec l'augmentation du taux d'hydratation et de la durée du malaxage et diminue avec l'augmentation de la température de l'eau de roulage, son état minéral et avec l'ajout de sel.

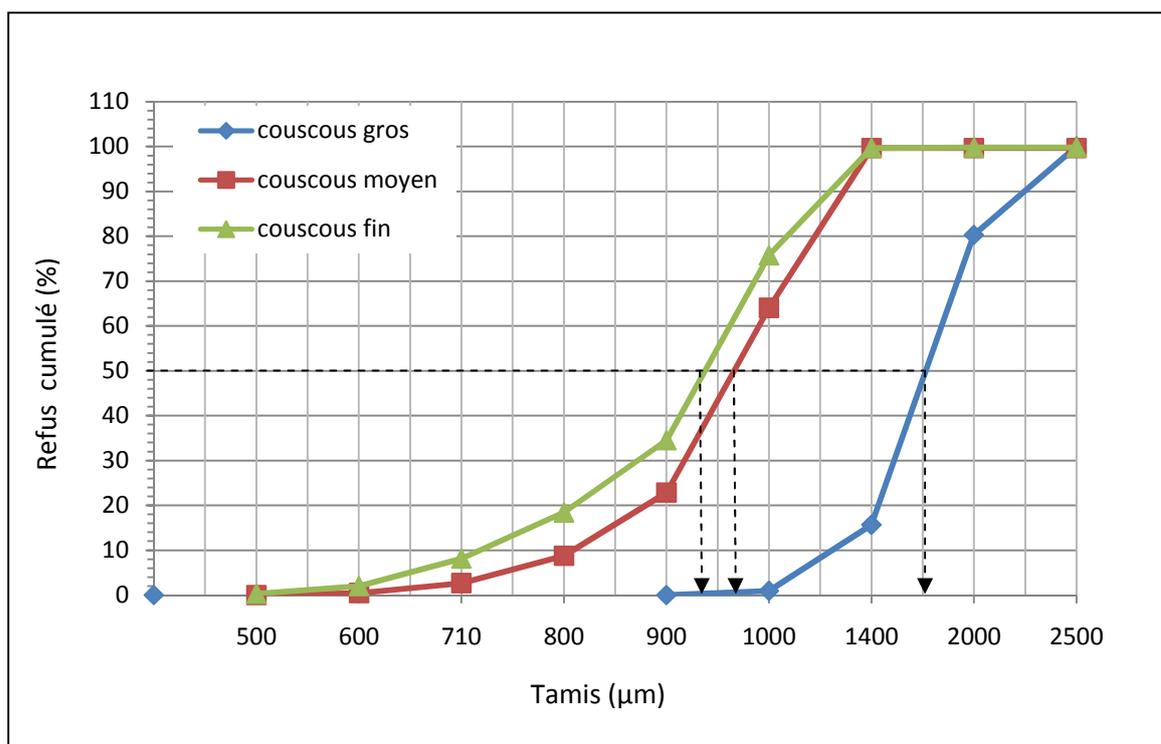


Figure 29. Courbe granulométrique du couscous artisanal

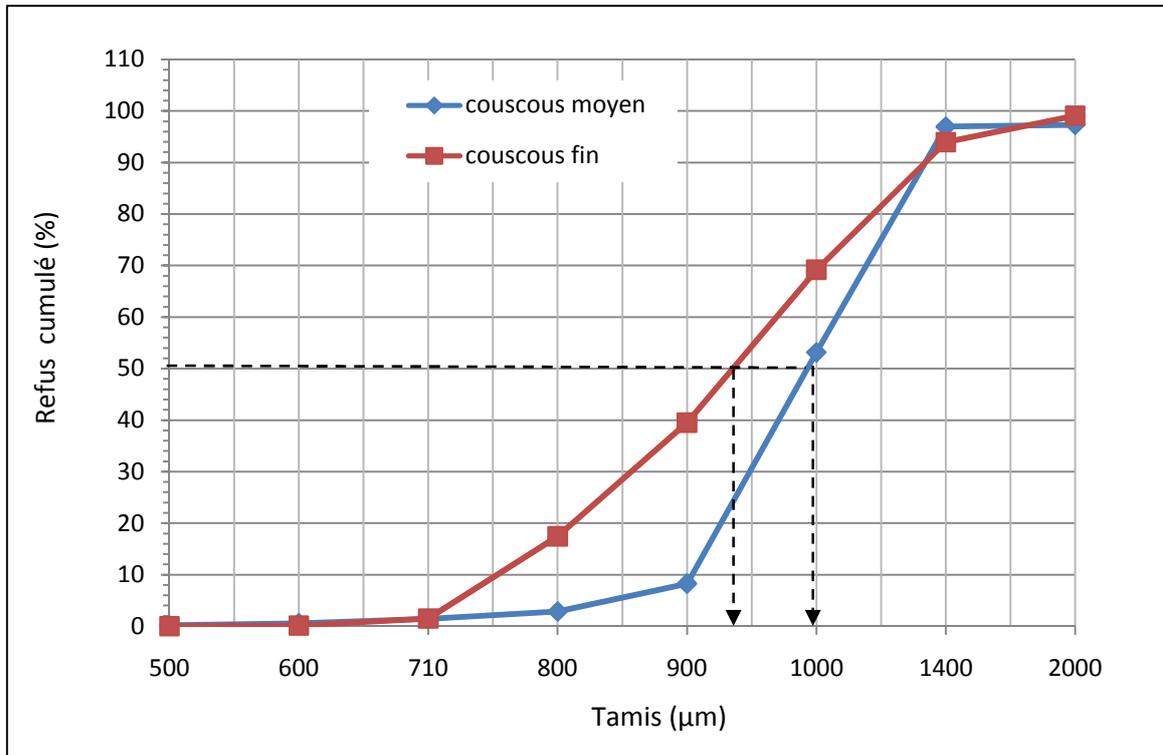


Figure 30. Courbe granulométrique du couscous industriel (Complexe MEXICALI)

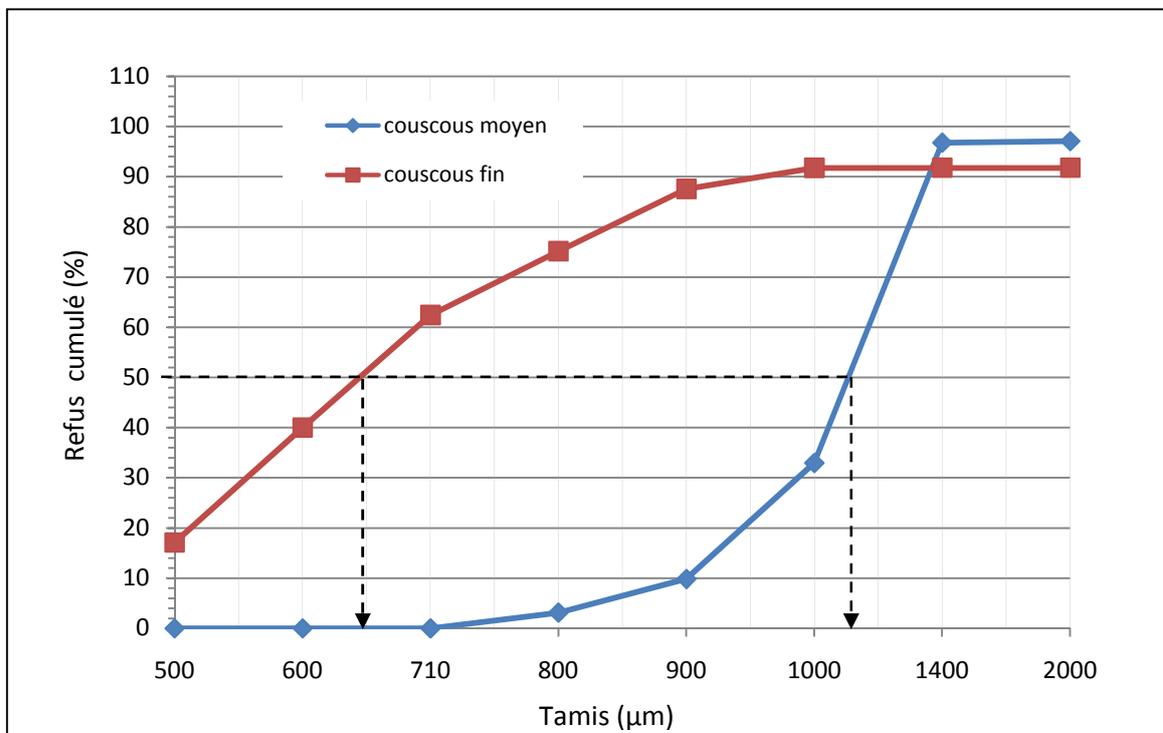


Figure 31. Courbe granulométrique du couscous industriel (Complexe GRANDS MOULINS DU SUD)

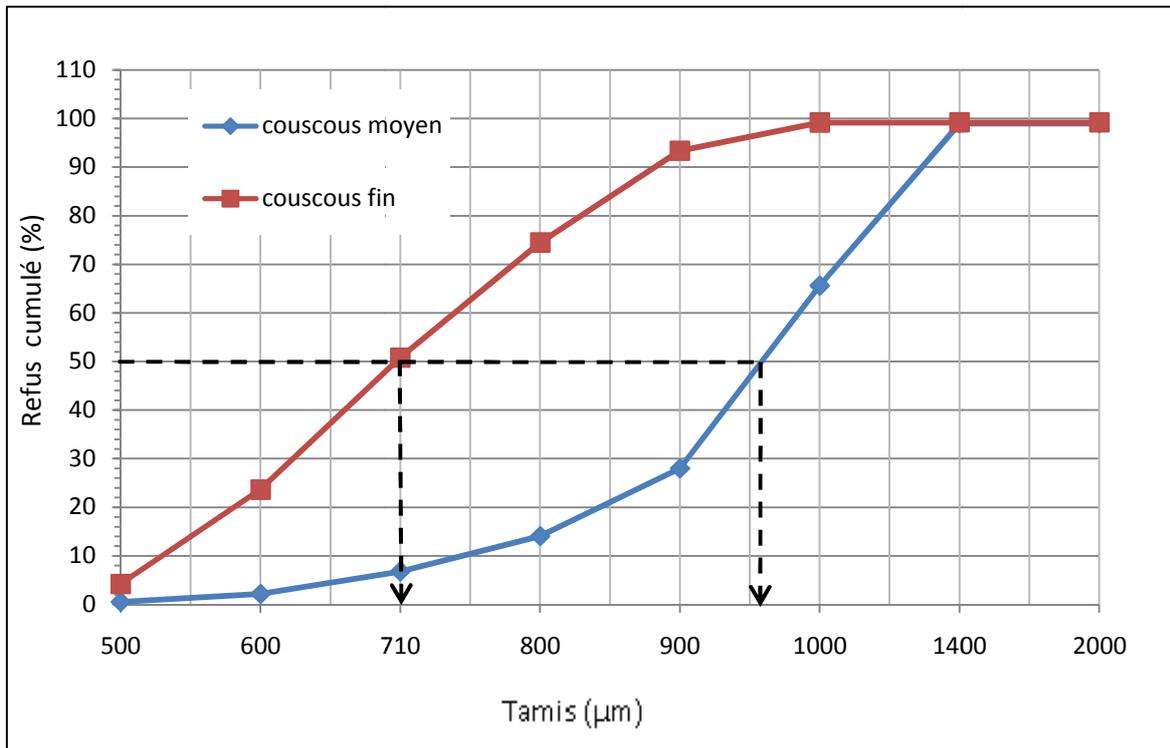


Figure 32. Courbe granulométrique du couscous industriel (Complexe BENAMOR)

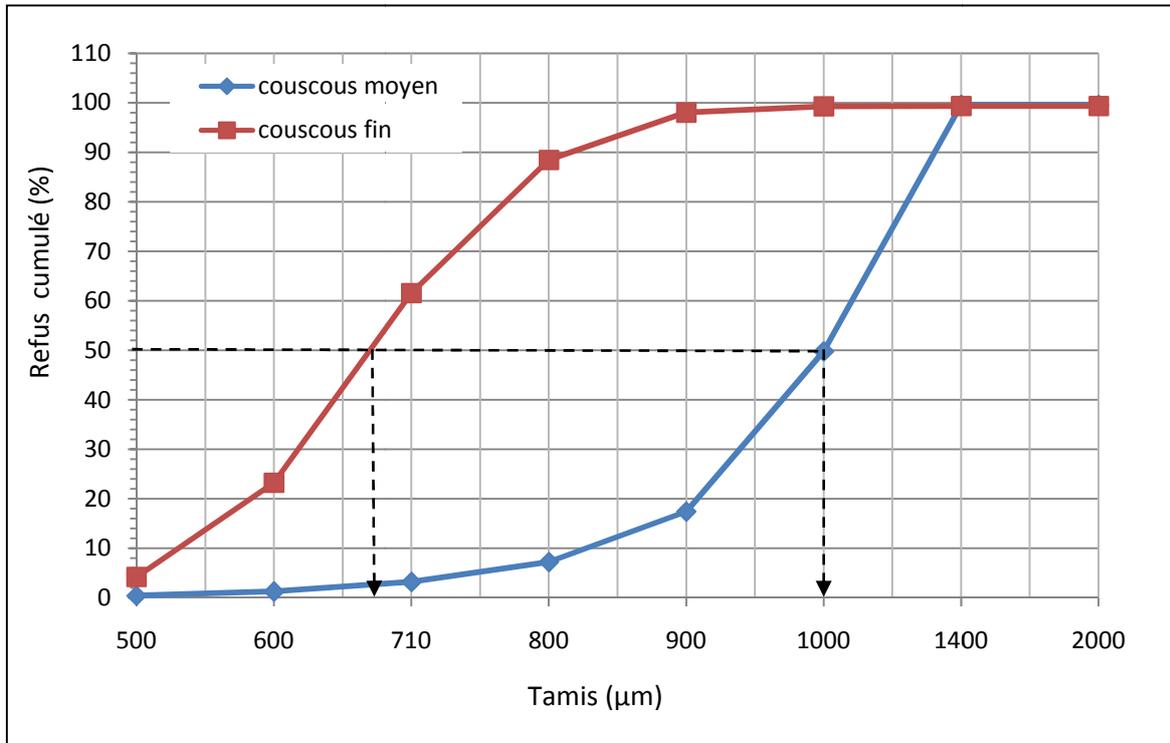


Figure 33. Courbe granulométrique du couscous industriel (Complexe SOPI)

3.2.2. Paramètre de dispersion

L'écart-type géométrique ($S_g = D_{84} / D_{50} = D_{50} / D_{16}$) ou distribution en tailles des grains de couscous de nos échantillons est mentionné dans le tableau 13.

Tableau 13. Paramètres de position (D_{50}) et de dispersion des échantillons du couscous

Processus	Echantillon	D_{50} (μm)	D_{84}/D_{50}
Artisanal	Moyen	965	1,27
	Fin	935	1,21
Industriel Complexe MEXICALI (Constantine)	Moyen	990	1,29
	Fin	935	1,32
Industriel Complexe GRANDS MOULINS DU SUD (Biskra)	Moyen	1100	1,20
	Fin	650	1,33
Industriel complexe AMOR BENAMOR (Guelma)	Moyen	960	1,28
	Fin	710	1,19
Industriel Complexe SOPI (Blida)	Moyen	1000	1,28
	Fin	677	1,15

En comparant les échantillons artisanaux, nous remarquons que le paramètre de dispersion (S_g) de couscous moyen est supérieur que celui de couscous fin. La comparaison de tous les échantillons artisanaux et industriels montre que le paramètre de dispersion de couscous moyen artisanal et ceux des complexes MEXICALI, BENAMOR et SOPI sont légèrement identiques.

En se basant sur le paramètre de dispersion (D_{84}/D_{50}), nous constatons que les couscous industriels fins sont moins homogènes par rapport aux couscous industriels moyens. Badaoui (1984) a montré que le séchage du couscous à basse température donne une bonne régularité et une bonne dispersion de la taille granulométrique du couscous. Selon Guezlane (1993), le paramètre de dispersion met clairement en évidence la différence entre le couscous de fabrication industriel et le couscous roulé à la main. Nos résultats ne concordent pas avec ceux obtenus par Guezlane (1993) et Yettou (1998) qui montre que le produit artisanal est plus homogène par rapport au couscous industriel.

3.3. Masse volumique des couscous secs

La masse volumique des couscous secs dépend de la compacité des grains (densité réelle) et de l'espace inter-granulaire. Elle correspond au volume occupé d'une éprouvette graduée par une masse de produit. Elle est exprimée en gramme par cm^3 (Guezlane, 1993 ; Debbouz et Donnelly, 1996).

L'analyse du tableau 14 en fonction de la taille des grains, montre que la masse volumique des couscous fins (artisanal et industriels) est légèrement supérieure à celle des couscous moyens (artisanal et industriels). Ceci peut être dû à la taille des particules des couscous moyens (D_{50}) qui est plus grand que celle des couscous fins ce qui laisse un espace inter-particulaire plus important que celui produit par les particules des couscous fins. Scotti (1984) a souligné que la masse volumique des grains est influencée par l'espace inter-granulaire.

Debbouz et Donnelly (1996) ont trouvé que la masse volumique de couscous est de $0,60 \text{ g/cm}^3$ pour le couscous artisanal et de $0,79 \text{ g/cm}^3$ pour celui industriel. Nos résultats ne confirment pas ceux de Debbouz et Donnelly (1996) concernant le couscous artisanal dont sa masse volumique est plus élevée à celle mentionnée par les auteurs mais concordent avec ceux de couscous industriel. En général, les résultats de nos échantillons de couscous concernant la masse volumique concordent avec les résultats de Derouiche (2003) et Yousfi (2002).

Tableau 14. Masse volumique des échantillons du couscous

Processus	Echantillon	Masse volumique (g/cm^3)
Artisanal	Moyen	$0,71 \pm 0,01$
	Fin	$0,74 \pm 0,01$
Industriel Complexe MEXICALI (Constantine)	Moyen	$0,73 \pm 0,01$
	Fin	$0,78 \pm 0,01$
Industriel Complexe GRANDS MOULINS DU SUD (Biskra)	Moyen	$0,78 \pm 0,01$
	Fin	$0,79 \pm 0,01$
Industriel Complexe AMOR BENAMOR (Guelma)	Moyen	$0,73 \pm 0,01$
	Fin	$0,77 \pm 0,01$
Industriel Complexe SOPI (Blida)	Moyen	$0,73 \pm 0,01$
	Fin	$0,78 \pm 0,01$

L'analyse des moyennes de la masse volumique des échantillons du couscous par le biais du test de Tukey HSD au seuil de 5% montre que nos échantillons du couscous peuvent être répartis en 3 groupes homogènes (A, BC, C) (Tableau 15).

Tableau 15. Comparaison des moyennes de la masse volumique des couscous par le test de Tukey HSD au seuil 5%.

Echantillon	Moyenne estimée	Groupes	
Bénamor fin	0,79	A	
SOPI fin	0,79	A	
Bénamor moyen	0,78	A	
Mexicali fin	0,78	A	
GMS fin	0,77	A	
Artisanal fin	0,73		B C
GMS moyen	0,73		B C
Mexicali moyen	0,73		B C
SOPI moyen	0,73		B C
Artisanal moyen	0,71		C

4. Appréciation de la qualité culinaire du couscous

4.1. Temps de cuisson

Le temps de cuisson est un facteur très important pour la définition de la qualité culinaire des pâtes alimentaires ainsi que de couscous. Il est déterminé selon les résultats de l'enquête réalisé par Derouiche (2003), en se basant sur l'apparition d'un flux de la vapeur d'eau à la surface de couscous. Nous pouvons distinguer 3 temps de cuisson, le temps minimal et optimal de cuisson et le temps de surcuisson.

4.1.1 Temps minimal

Il correspond à la première cuisson de couscous. Les temps de la première cuisson de l'ensemble des échantillons sont compris entre 15 et 22 minutes. Les résultats des échantillons de couscous concernant ce paramètre sont représentés dans la figure 34.

En fonction de la taille de couscous, nous constatons que les couscous fin (artisanal et industriel) nécessitent un temps plus grand par rapport au couscous moyen de la même origine (industrielle ou artisanale).

Par ailleurs, le temps minimal de cuisson des couscous industriels fins est supérieur à celui de couscous artisanal fin. Il est en moyenne de 20,5 minutes pour le couscous industriel fin et

de 18 minutes pour le produit artisanal fin. D'autre part, le temps minimal du produit fin du complexe de MEXICALI est le plus faible par rapport aux autres produits industriels.

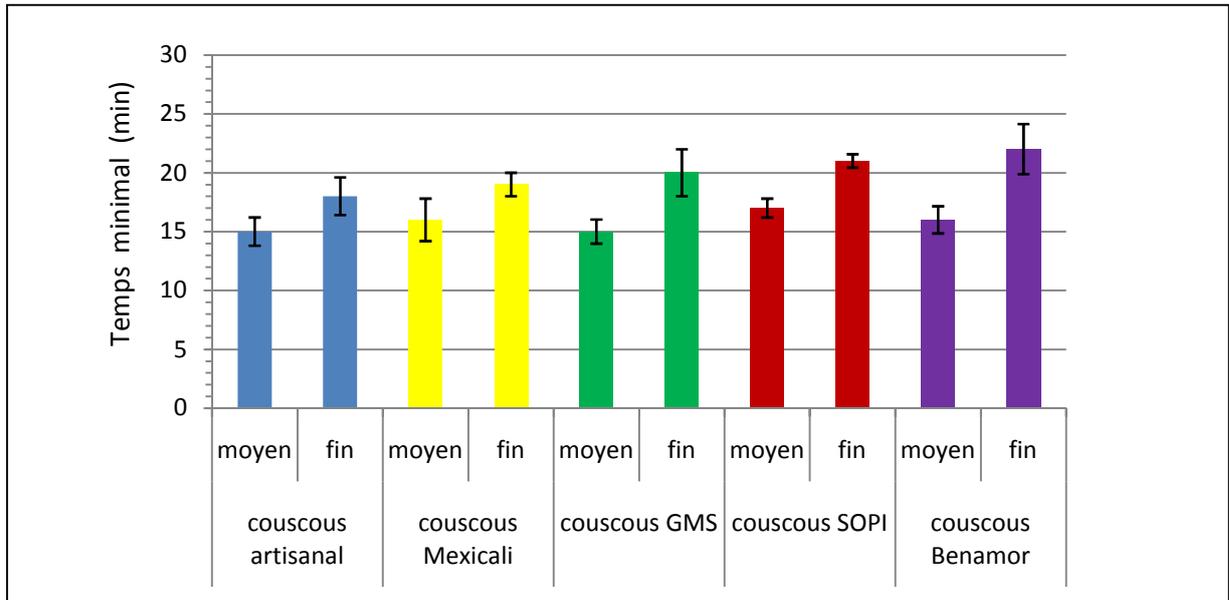


Figure 34. Temps minimal de cuisson des différents couscous

En ce qui concerne le produit moyen, nous remarquons que le temps de la première cuisson de couscous artisanal est de 15 minutes, il est légèrement inférieur à la moyenne du temps minimal des couscous industriels 16 minutes. Derouiche (2003) a souligné que le temps minimal de cuisson de couscous sec est de 13 minutes pour celui issu de la semoule supérieure contre 15 minutes pour celui de la semoule courante. En comparant les produits industriels moyens, nous constatons que le temps minimal de cuisson du produit du complexe de GRANDS MOULINS DU SUD est inférieur que ceux des autres produits.

Le temps minimal de cuisson est plus élevé pour le couscous fin. Donc, on peut imaginer que les grains du couscous fin laissent moins d'espace inter-particulaire, ce qui rend le passage de la vapeur d'eau entre les particules du couscous fin très lent et par conséquent, le temps de cuisson du produit fin devient plus long par rapport à celui de couscous moyen.

L'analyse des moyennes du temps minimal de cuisson des échantillons du couscous par le biais du test de Tukey HSD au seuil de 5 %, montre que nos échantillons du couscous peuvent être regroupés en 6 groupes homogènes (A, B, C, CD, DE, E) (Tableau 16).

Tableau 16. Comparaison des moyennes du temps minimal de cuisson des couscous par le test de Tukey au seuil de 5%.

Echantillon	Moyenne estimée	Groupes			
Bénamor fin	22,33	A			
GMS fin	20,33		B		
SOPI fin	20,33		B		
Mexicali fin	18,33			C	
Artisanal fin	17,50			C	D
SOPI moyen	17,33			C	D
Bénamor moyen	16,33				D E
Mexicali moyen	16,00				D E
Artisanal moyen	15,33				E
GMS moyen	14,67				E

4.1.2. Temps optimal

Il est déterminé par la somme du temps de la première et la deuxième cuisson. C'est le temps réel de cuisson. Avant ce temps, le couscous n'est pas apte à la consommation. Les résultats du temps optimal de cuisson sont présentés dans la figure 35.

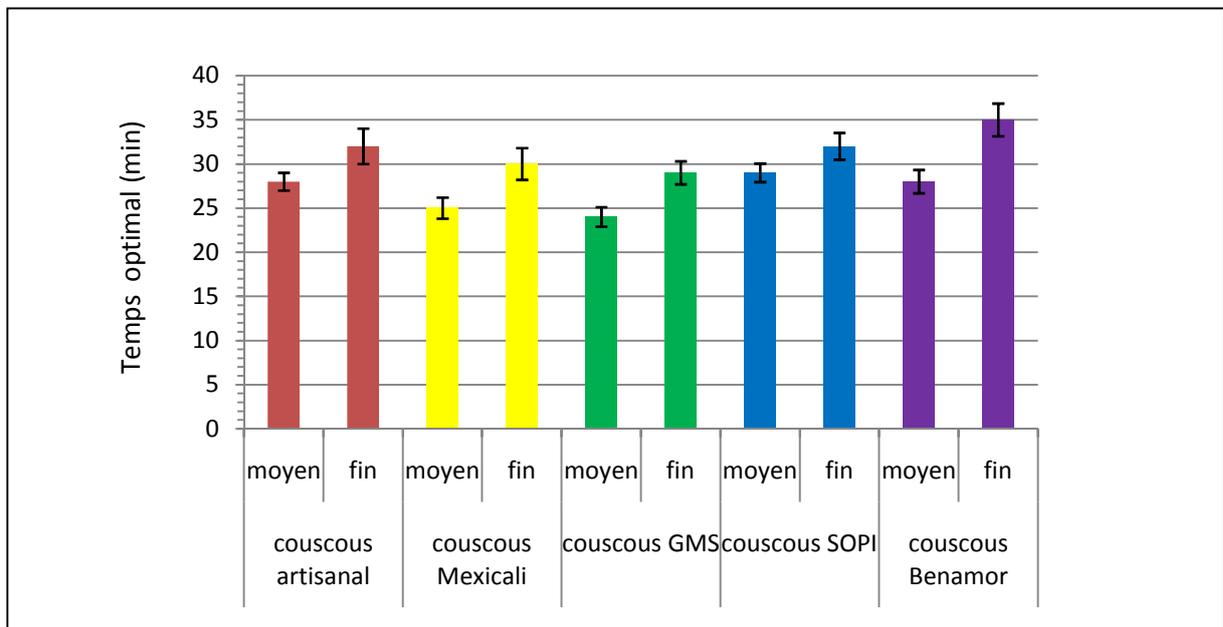


Figure 35. Temps optimal de cuisson des différents échantillons couscous

L'analyse des moyennes du temps optimal de cuisson des échantillons du couscous par le biais du test de Tukey HSD au seuil de 5 %, montre que nos échantillons peuvent être regroupés en 7 groupes homogènes (A, B, BC, BCD, CD, D, E) (Tableau 17) .

Tableau 17. Comparaison des moyennes du temps optimal de cuisson des couscous par le test de Tukey au seuil de 5%.

Echantillon	Moyenne estimée	Groupes				
Bénomor fin	34,66	A				
Artisanal fin	31,50		B			
SOPI fin	30,67		B	C		
Mexicali fin	30,00		B	C	D	
GMS fin	29,33		B	C	D	
Bénomor moyen	28,66			C	D	
Artisanal moyen	28,33				D	
SOPI moyen	28,33				D	
Mexicali moyen	25,00					E
GMS moyen	23,66					E

L'analyse des résultats des couscous artisanaux montre que le temps optimal de couscous artisanal moyen est de 28 minutes contre 32 minutes pour son homologue fin. Angar et Belhouchet (2002) montrent que le temps de cuisson diminue lorsque la granulométrie augmente. Dans ce sens, nos résultats concordent avec ceux de travail réalisé par Angar et Belhouchet (2002).

En comparant entre le produit artisanal et industriel, nous constatons que le temps optimal de cuisson de l'ensemble des échantillons industriels fins est compris entre 29 et 35 minutes avec une moyenne de 31,5 minutes ce qui rapproche nettement du temps optimal de couscous artisanal fin. Derouiche (2003) a indiqué que le temps optimal de couscous issu de la semoule supérieure est de 31 minutes.

D'autre part, le temps optimal de couscous artisanal moyen (28 min) est plus élevé que la moyenne des temps optimaux des couscous industriels (26,5 min). L'ensemble des échantillons industriels ont un temps de cuisson optimal compris entre 24 et 29 minutes.

4.1.3. Temps de surcuisson

Le temps de surcuisson de couscous correspond au temps à partir duquel le couscous forme des mottes avec la présence du caractère collant (Derouiche, 2003).

D'après les résultats (Figure 36), nous remarquons que le temps de surcuisson augmente avec l'augmentation de la granulométrie de couscous. Ce qui signifie que l'apparition des mottes (collant) est plus lente chez le couscous moyen par rapport au couscous fin, c'est-à-dire le collant augmente avec la diminution de la taille des particules. De même, Yettou (1998) a souligné que la prise de masse mesurée par tamisage diminue avec l'augmentation de la taille des particules. Mais, Guezlane et Abecassis (1991) ont observé que les couscous industriels plus fin obtiennent des valeurs de prise en masse plus faible.

En comparant les échantillons selon le procédé de fabrication, nous trouvons que les couscous artisanaux fins et moyens sont plus résistants à la surcuisson par rapport aux produits industriels (Figure 36) dont les moyennes des temps de surcuisson des couscous fins et moyens sont 77,75 et 79,50 minutes respectivement. Les travaux de Guezlane (1993) ont montré que la prise en masse diminue avec l'accroissement de la durée du traitement avec un optimum de 8 minutes quelque soit l'intensité du traitement subi. Au-delà de cet optimum, l'indice de prise en masse par tamisage augmente progressivement (de 37 à 48 %) respectivement après 16 et 24 minutes.

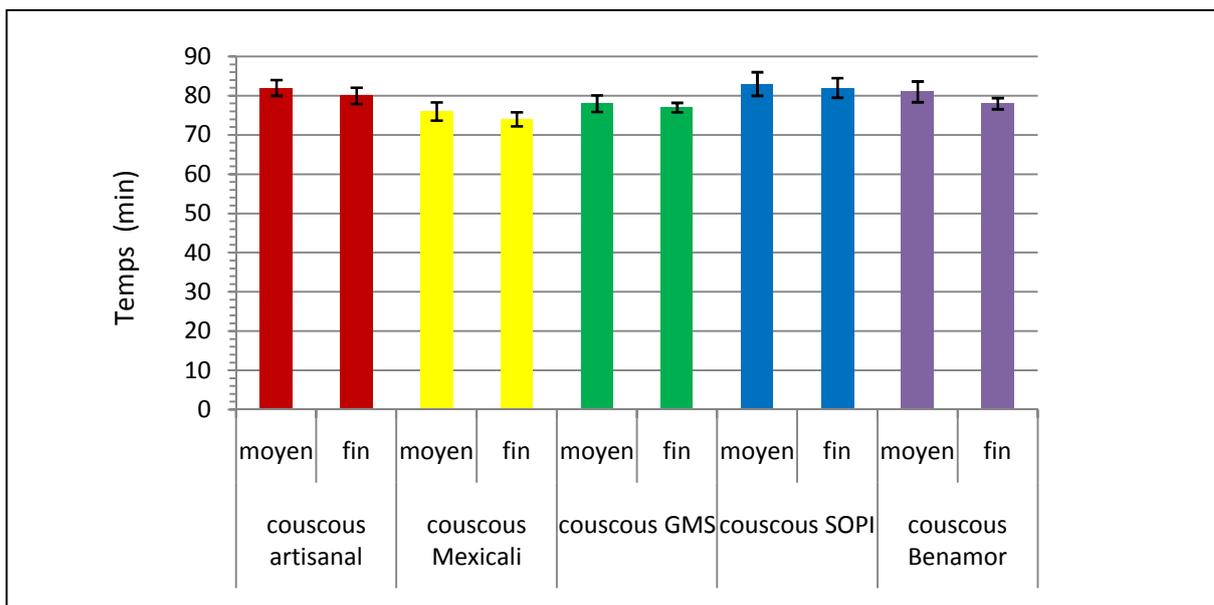


Figure 36. Temps de surcuisson des différents couscous

Les travaux de Debbouz *et al.* (1994) et de Idir (2000) montrent que les couscous issus des semoules fines ont des valeurs de prise en masse plus élevées par rapport à ceux issus des semoules grosses et intermédiaires. Dexter *et al.* (1983) ont remarqué la même chose sur les pâtes alimentaires (Spaghetti) issues des semoules fines.

L'analyse des moyennes du temps de surcuisson des échantillons du couscous par le biais du test de Tukey HSD au seuil de 5 %, montre que nos échantillons peuvent être regroupés en 7 groupes homogènes (A, AB, B, BC, CD, D, E) (Tableau 18).

Tableau 18. Comparaison des moyennes du temps de surcuisson des couscous par le test de Tukey au seuil de 5 %

Echantillon	Moyenne estimée	Groupes			
SOPI moyen	84,00	A			
SOPI fin	82,67	A	B		
Artisanal moyen	82,33	A	B		
Bénamor moyen	81,67		B		
Artisanal fin	80,50		B	C	
Bénamor fin	78,33			C	D
GMS moyen	78,33			C	D
GMS fin	76,67				D
Mexicali moyen	76,66				D
Mexicali fin	74,00				E

4.2. Gonflement du couscous

En fonction de la taille des grains de couscous, nous pouvons diviser nos résultats de l'indice du gonflement mesuré à température de 94 °C selon la méthode décrite par Guezlane et Abecassis (1991) et exprimé en pourcentage par rapport au volume sec du couscous, en deux sections pour faciliter la comparaison : gonflement des couscous fins et des couscous moyens illustrés dans les figures 37 et 38 respectivement.

Nous constatons que nos échantillons fins gonflent rapidement pendant les cinq premières minutes. Puis, le gonflement continue à augmenter lentement jusqu'à la trente cinquième minute moment à partir duquel le gonflement tend à se stabiliser jusqu'à la soixantième minute. Toutefois, il apparaît que l'indice de gonflement diffère d'un couscous à l'autre. Les couscous des complexes GRANDS MOULINS DU SUD, SOPI et BENAMOR ont presque les mêmes comportements du gonflement qui sont nettement supérieurs à celui du complexe MEXICALI et celui artisanal qui présente le gonflement le plus faible et le plus lent parmi nos échantillons (Figure 34). La différence du gonflement du couscous entre les échantillons peut être due à la composition de la matière première, Sasaki *et al.* (2002) ont noté que la capacité du gonflement de l'amidon de blé est négativement corrélée avec la teneur en amylose.

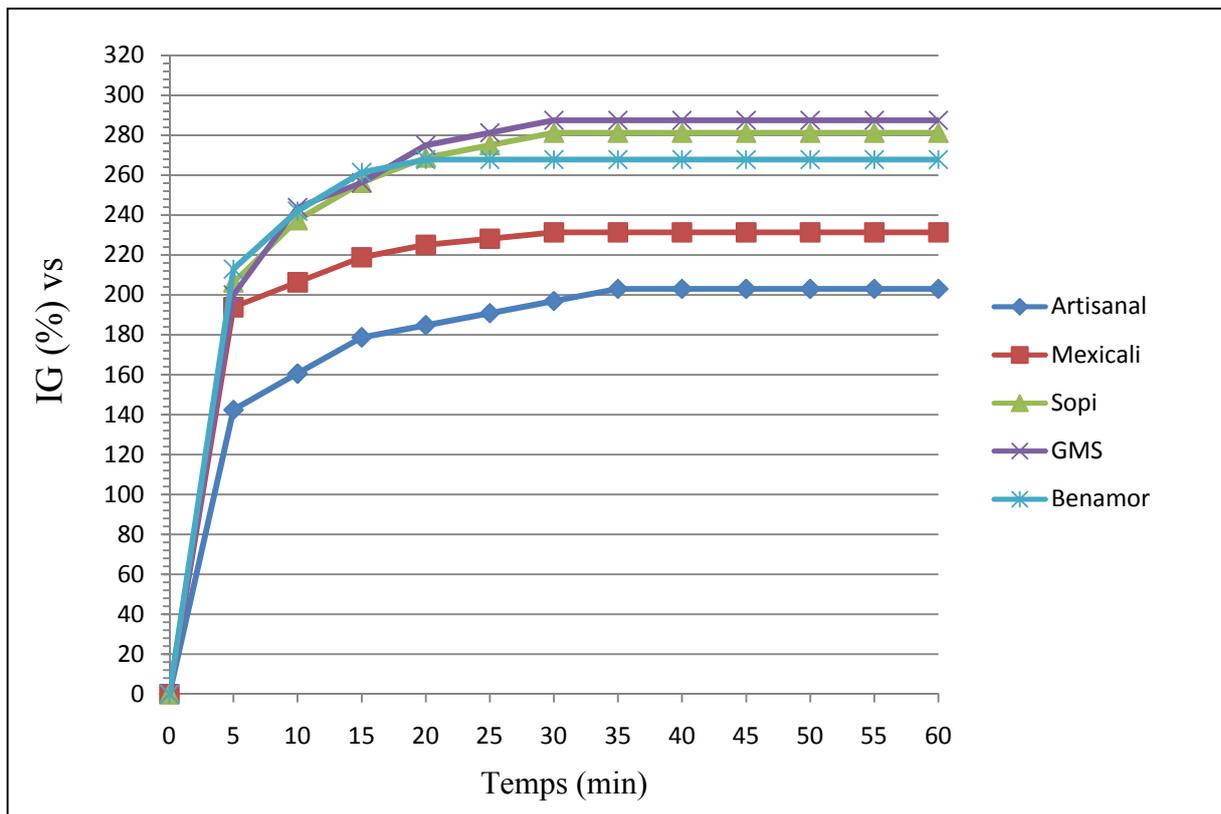


Figure 37. Cinétique du gonflement des couscous fins

En ce qui concerne les échantillons de couscous moyen, nous remarquons que tous les produits passent par les mêmes phases que les produits fins : phase du gonflement accéléré jusqu'à la cinquième minute, phase du gonflement lent dure trente minute et une phase stationnaire à partir la trente-cinquième minute (Figure 38).

De la même manière, le gonflement diffère selon le type de couscous. Le produit artisanal moyen présente l'indice du gonflement le plus faible par rapport aux produits industriels de la même catégorie granulométrique. Par contre, Les produits des complexes BENAMOR et GRANDS MOULINS DU SUD présentent les indices du gonflement les plus élevés.

En comparant les couscous moyens et fins (artisanal et industriel), nous notons que les produits fins absorbent beaucoup plus d'eau que les produits moyens. Selon Angar et Belhouchet (2002), le gain de poids ou l'absorption d'eau évolue suivant la finesse du couscous. Lorsque la granulométrie du couscous diminue, le gain de poids augmente. Alors nos résultats confirment les résultats des auteurs.

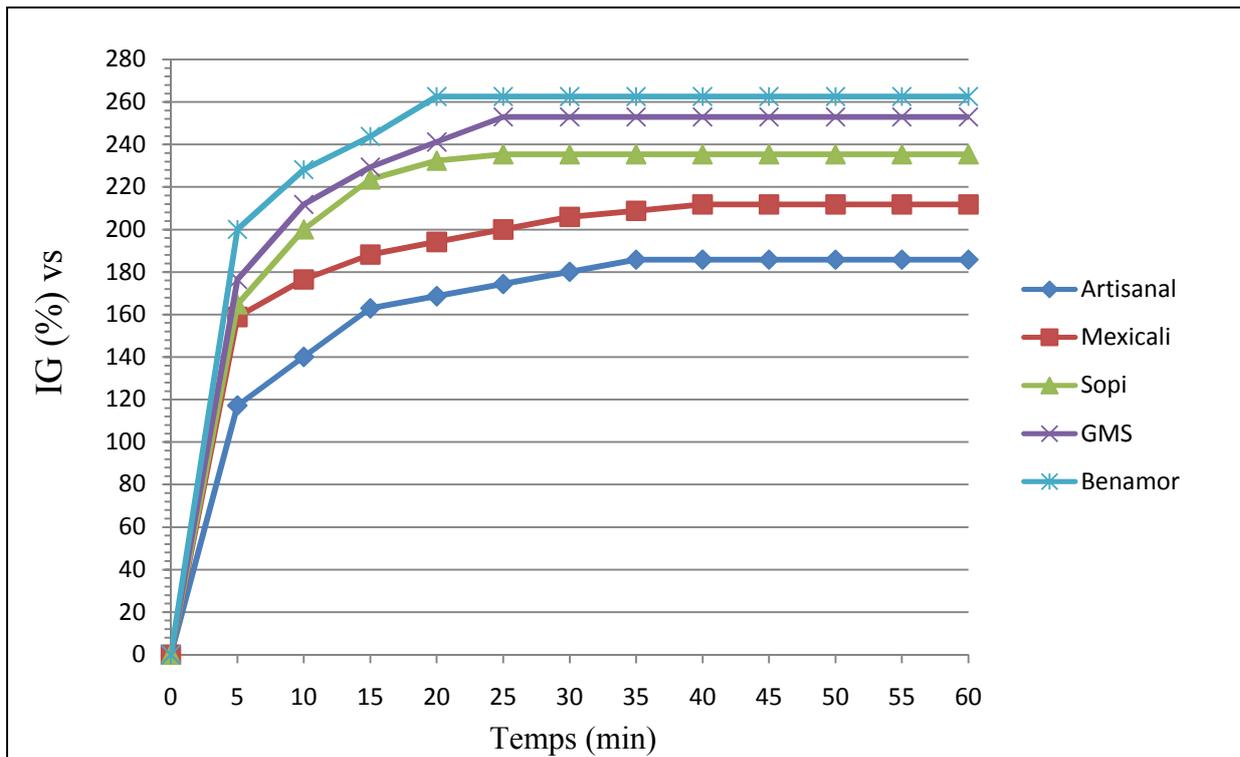


Figure 38. Cinétique du gonflement des couscous moyens

4.3. Degré de délitescence

La désagrégation du couscous est un facteur important pour la détermination de la qualité culinaire de couscous (Yettou, 1998). Les résultats de désagrégation des échantillons de couscous sont représentés dans la figure 39.

L'analyse détaillée des résultats des échantillons de couscous (artisanal et industriel) montre que la délitescence des couscous fins est supérieure à celle des couscous moyens (Figure 39). Donc, il apparait que la délitescence augmente nettement avec la diminution de la taille des particules de couscous. Ceci peut être expliqué par la force de cohésion entre les particules de la semoule qui augmente avec l'augmentation de la taille des grains de couscous. Yettou (1998) a souligné que la diminution de la délitescence en fonction de la taille des grains de couscous se traduit par une augmentation de la force de cohésion des particules de semoule avec l'augmentation du diamètre des granules de couscous. Nos résultats confirment ceux de Guezlane *et al.* (1986) et ceux de Yettou *et al.* (2000). Par ailleurs, les produits industriels présentent une délitescence plus importante que le produit artisanal. Nous pouvons expliquer ce résultat par la qualité du roulage artisanal par rapport à son homologue industriel pour donner de couscous ferme et moins délitescents. Les travaux de Yousfi (2002) montrent

que le roulage et la précuisson traditionnels sont mieux adaptés par rapport aux traitements industriels à la fabrication d'un couscous de qualité.

Nous remarquons aussi que les couscous des complexes de BENAMOR et de MEXICALI sont moins délitescents par rapport aux produits des complexes de GANDS MOULINS DU SUD et de SOPI. Nous justifions cette différence par les paramètres de fabrication de couscous qui diffèrent d'un procédé à d'autre. Hebrard *et al.* (2003) ont souligné que par hydratation, des liens se forment entre particules de semoule et permettent leur agglomération. Les travaux de Guezlane (1993) montrent que l'augmentation du temps de roulage renforce la liaison des particules de la semoule hydratée formant le granule de couscous. Ainsi, Lefkir et Sehili (1996) ont souligné que l'utilisation d'un taux d'hydratation élevé des semoules contribue à diminuer le degré de désagrégation du couscous.

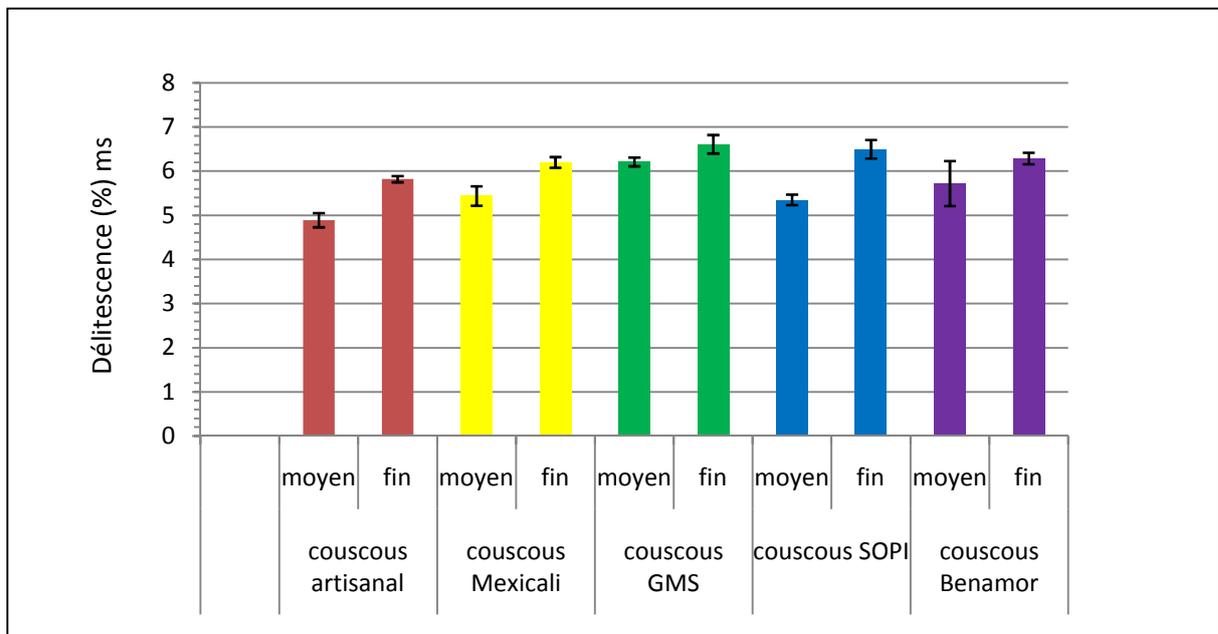


Figure 39. Désagrégation des couscous (% ms) en fonction de l'origine et de la granulométrie

L'analyse des moyennes de la délitescence des échantillons du couscous par le biais du test de Tukey HSD au seuil de 5 %, montre que nos échantillons du couscous peuvent être regroupés en 7 groupes homogènes (A, AB, ABC, BCD, CD, DE, E) (Tableau 19).

Tableau 19. Analyse des moyennes de la délitescence des couscous par le biais de test de Tukey au seuil de 5 %.

Echantillon	Moyenne estimée	Groupes				
GMS fin	6,61	A				
SOPI fin	6,51	A	B			
Bénamor fin	6,29	A	B	C		
GMS moyen	6,21	A	B	C		
Mexicali fin	6,21	A	B	C		
Artisanal fin	5,78		B	C	D	
Bénamor moyen	5,65			C	D	
Mexicali moyen	5,45				D	E
SOPI moyen	5,36				D	E
Artisanal moyen	4,89					E

5. Effets des caractéristiques physico-chimiques sur la qualité culinaire de Couscous de blé dur

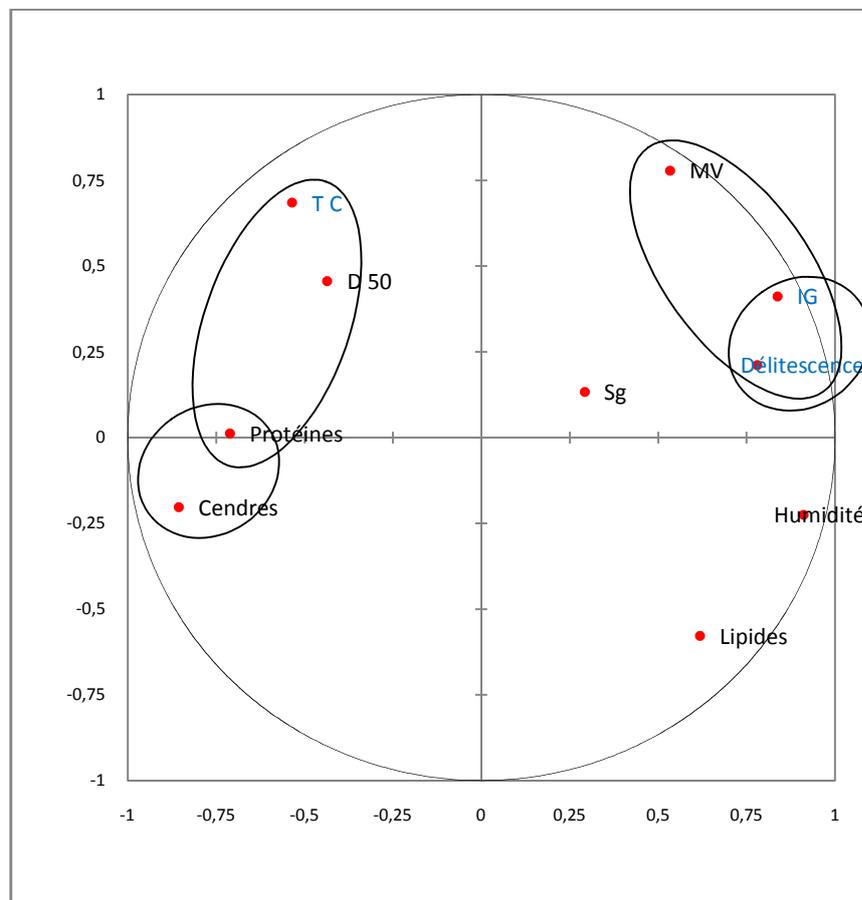
L'observation des résultats des analyses physico-chimiques et des tests culinaires par le biais d'analyse en composantes principales (ACP) au seuil de ($P < 0,05$) (Figure 40 et tableau 20), montre que la teneur en protéines du couscous est négativement corrélée avec l'indice du gonflement ($r = - 0,571$) et la délitescence ($r = - 0,586$). De même, une corrélation négative et significative est observée entre le taux de cendres et l'indice de gonflement ($r = - 0,838$) et le taux de cendres et la délitescence ($r = - 0,584$). Par contre, la teneur en lipides libres est positivement corrélée avec le gonflement ($r = 0,303$) et avec la délitescence ($r = 0,322$). Ounane *et al.* (2006) ont observé que la teneur en lipides libres apolaires est négativement corrélée avec le collant ($r = - 0,480$) et avec la délitescence ($r = - 0,540$). Par contre, les lipides polaires influent positivement la fermeté ($r = 0,570$), le gonflement ($r = 0,530$) et le collant ($r = 0,700$).

Aboubacar et Hamaker (1999) ont observé que le collant est positivement corrélé ($r = 0,890$, $P < 0,01$) avec la teneur en amidon endommagé. Par ailleurs, La fermeté du couscous cuit est positivement corrélée ($r = 0,790$, $P < 0,05$) avec la teneur en amylose de la farine de sorgho et négativement corrélée ($r = -0,750$, $P < 0,05$) avec le maximum de viscosité de la farine (Aboubacar et Hamaker, 1999).

Par ailleurs, en ce qui concerne le temps optimal de la cuisson, la teneur en lipides libres présente une corrélation négative ($r = - 0,586$) avec ce temps. En revanche, le taux de protéines est positivement corrélés avec le temps optimal de la cuisson du couscous ($r = 0,405$).

Nous remarquons aussi que le paramètre de position (D_{50}) a une corrélation significativement positive avec le temps optimal de la cuisson. Ainsi, nous observons la masse volumique est positivement corrélée avec l'indice du gonflement ($r = 0,743$) et d'autre part, avec la délitescence ($r = 0,510$).

Les paramètres de la qualité culinaire du couscous ont des corrélations entre eux, l'indice du gonflement a une corrélation significativement positive avec la délitescence ($r = 0,670$), par contre cette dernière est négativement corrélée avec le temps optimal de la cuisson.



D_{50} : diamètre médiane ; Sg : dispersion granulométrique ; MV : masse volumique ;
IG : indice de gonflement ; TC : temps optimal de cuisson

Figure 40. Cercle de corrélations des caractéristiques physico-chimiques et les paramètres de la qualité culinaire du couscous

Tableau 20. Coefficient de corrélation linéaire (r) des caractéristiques physico-chimiques et culinaires du couscous de blé dur

Variabes	Protéines	Cendres	Humidité	Lipides	D ₅₀	Sg	MV	IG	Délitescence	T C
Protéines	1									
Cendres	0,448**	1								
Humidité	-0,620**	-0,682**	1							
Lipides	-0,304	-0,401*	0,744**	1						
D ₅₀	0,187	0,428*	-0,455**	-0,463**	1					
Sg	-0,236	-0,256	0,146	-0,044	-0,056	1				
MV	-0,237	-0,607**	0,349*	-0,036	0,023	0,301	1			
IG	-0,571**	-0,838**	0,647**	0,303	-0,305	0,091	0,743**	1		
Délitescence	-0,586**	-0,584**	0,660**	0,322	0,096	0,181	0,510**	0,670**	1	
T C	0,405*	0,289	-0,587**	-0,586**	0,349*	-0,293	0,301	-0,069	-0,464**	1

(**) Significatif au seuil de 1 %

(*) Significatif au seuil de 5 %

D₅₀ : diamètre médiane ; Sg : dispersion granulométrique ; MV : masse volumique ; IG : indice de gonflement ; TC : temps optimal de cuisson

6. Influence de la matière grasse sur la qualité culinaire du couscous

6.1. Détermination des doses raisonnables des matières grasses ajoutées

Les résultats des analyses sensorielles réalisées sur le couscous en déterminant l'intensité des caractéristiques brillant, lisse et huileux en fonction des doses de la matière grasse sont représentés dans les figures 41, 42 et 43.

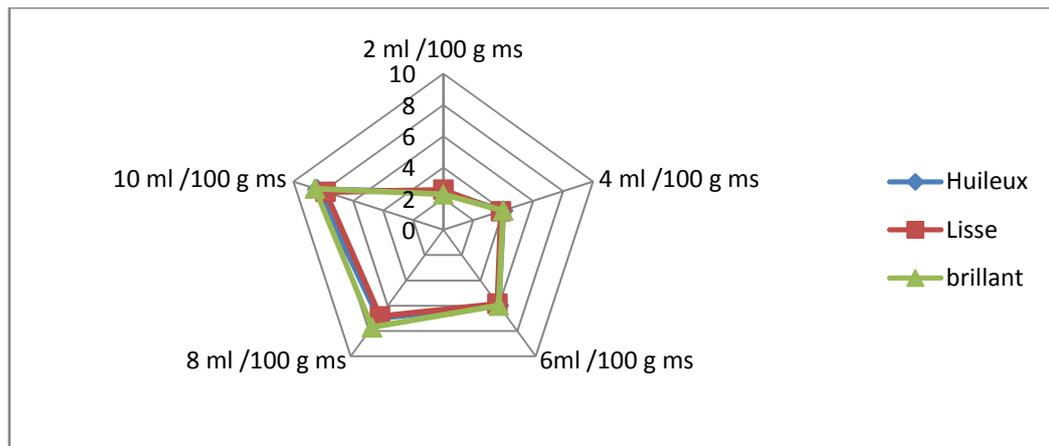


Figure 41. Evolution de l'intensité de caractéristiques sensorielles du couscous en fonction de la dose de l'huile de tournesol ajoutée

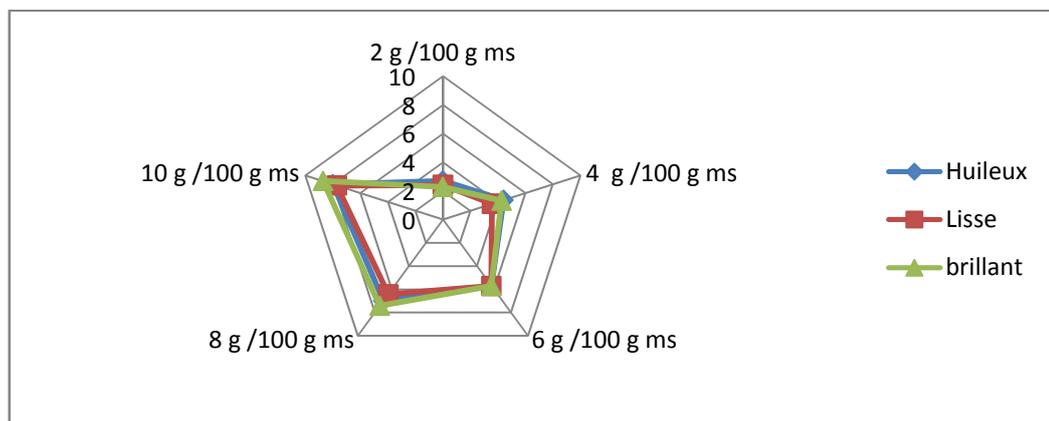


Figure 42. Evolution de l'intensité des caractéristiques sensorielles du couscous en fonction de la dose de la margarine végétale ajoutée

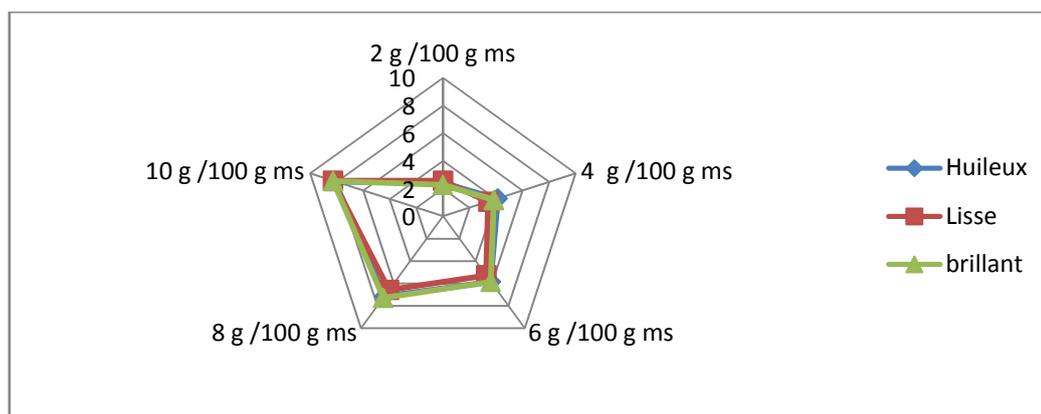


Figure 43. Evolution de l'intensité des caractéristiques sensorielles du couscous en fonction de la dose du beurre ajouté

Nous constatons que l'intensité des caractères brillant, lisse et huileux du couscous augmente avec l'augmentation de la dose de la matière grasse additionnée (Figures 41, 42 et 43). Par ailleurs, nous ne remarquons pas une différence entre l'effet des différentes matières grasses sur le couscous en ce qui concerne les caractères précédemment considérés.

Le test de préférence montre que les dégustateurs ont préféré les couscous traités par les doses de 6 ml / 100 g ms et 8 g / 100 g ms pour huile de tournesol, la margarine végétale et le beurre respectivement dont 4 dégustateurs parmi les sept ont choisi le couscous traité par la dose (6 ml / 100 g ms) de huile de tournesol et 5/7 des membres de jury ont préféré le produit traité par la dose (8 g / 100 g ms) du beurre et de la margarine végétale.

6.2. Effet de la matière grasse sur le temps optimal de cuisson

Les figures 44 et 45 montrent que le temps optimal de la cuisson de couscous est nettement influencé par l'ajout de la matière grasse. Par ailleurs, en observant les figures (46, 47, 48, 49, 50, 51), nous constatons que le temps optimal de cuisson de couscous diminue avec l'augmentation de la dose du gras ajouté. Namoune *et al.* (2004) ont montré que l'addition des doses de 2 à 10 % de la matière grasse au couscous avant la deuxième cuisson diminue légèrement la durée de la cuisson. Donc, nos résultats concordent avec ceux de Namoune *et al.* (2004).

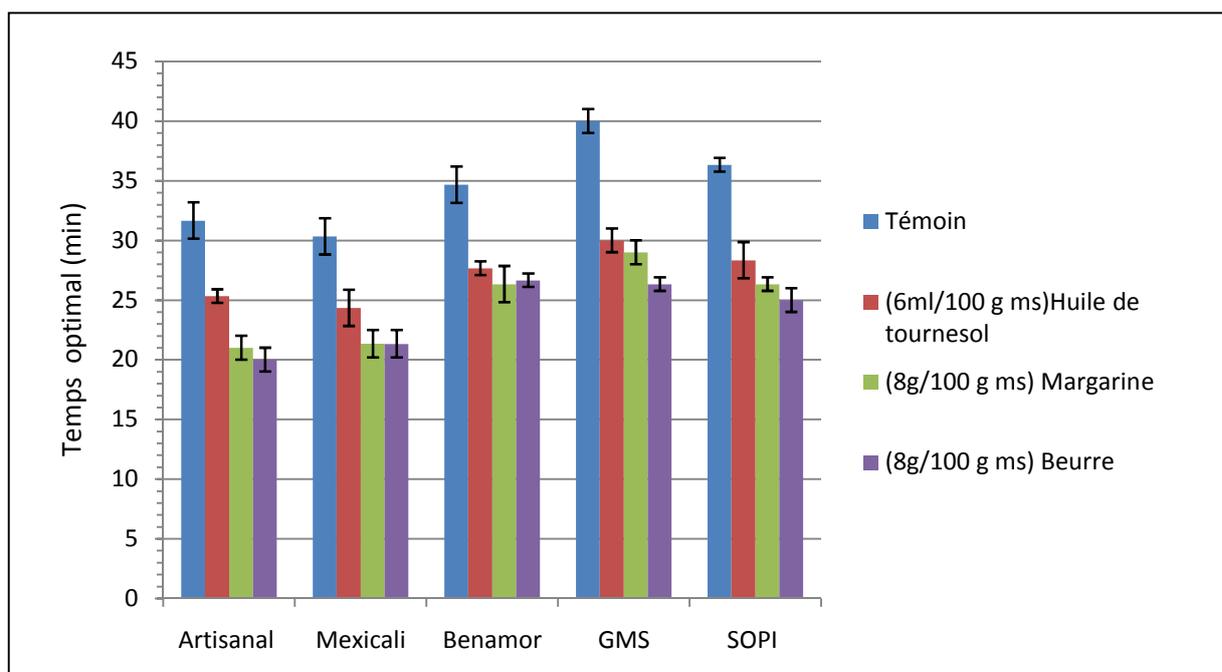


Figure 44. Temps optimal de la cuisson des couscous fins en fonction de la matière grasse ajoutée

Les diminutions des temps optimaux de cuisson des différents échantillons du couscous sous l'effet d'adjonction de la matière grasse sont exprimées en pourcentage par rapport au temps de cuisson de témoin (sans l'ajout de la matière grasse). La moyenne de diminution du temps optimal de cuisson des différents échantillons du couscous fin en cas d'utilisation du beurre, de la margarine végétale et de huile de tournesol sont respectivement : 30,98 %, 28,48 % et 21,38 %. En comparant ces résultats, nous remarquons que l'effet du beurre sur le temps optimal de la cuisson est plus fort que ceux de la margarine végétale et de l'huile de tournesol. Par contre, ces diminutions en utilisant les mêmes doses pour les mêmes matières grasses dans le cas de couscous moyen sont estimées respectivement à 30,04 %, 26,28 % et 14,86 %.

Si nous comparant les résultats des temps de cuisson des couscous fins et ceux des couscous moyens, nous observons que l'effet d'addition du corps gras est plus fort sur le couscous fin que le couscous moyen. En revanche Namoune *et al.* (2004) n'ont pas remarqué une différence significative entre l'effet des différents corps gras.

La diminution de temps optimal de cuisson avec l'utilisation de la matière grasse peut être due aux propriétés des corps gras parmi lesquelles le transfert de chaleur qui accélère la gélatinisation de l'amidon et par conséquent la cuisson du couscous.

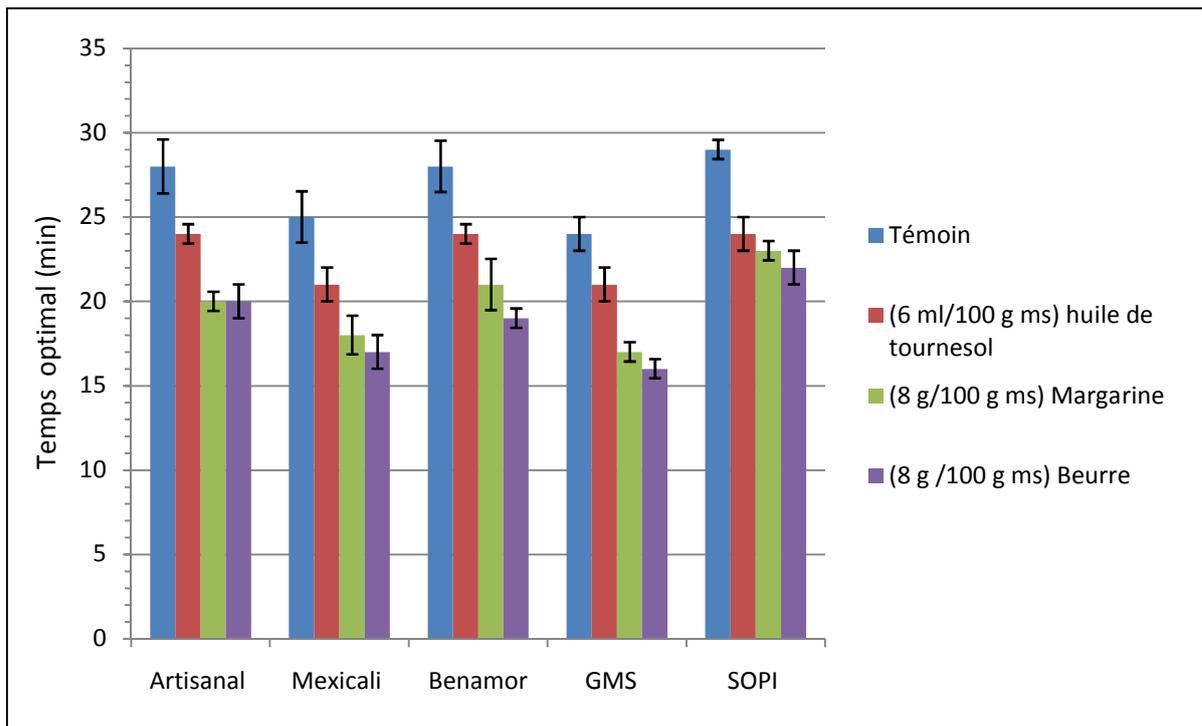


Figure 45. Temps optimal de la cuisson des couscous moyens en fonction de la matière grasse ajoutée

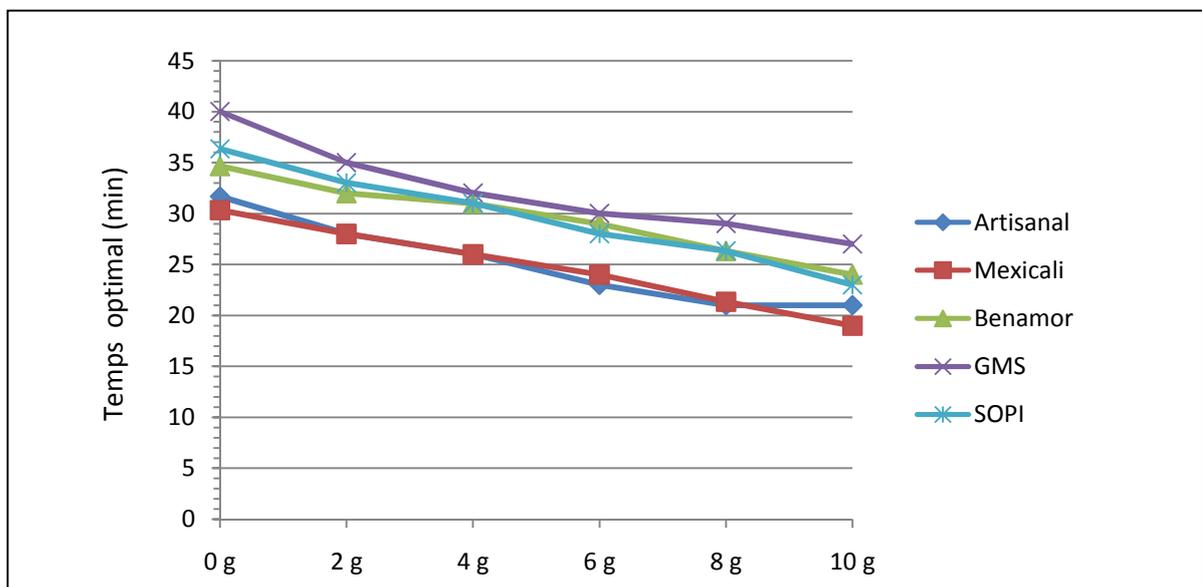


Figure 46. Temps optimal de cuisson des couscous fins en fonction de la dose de la margarine végétale ajoutée

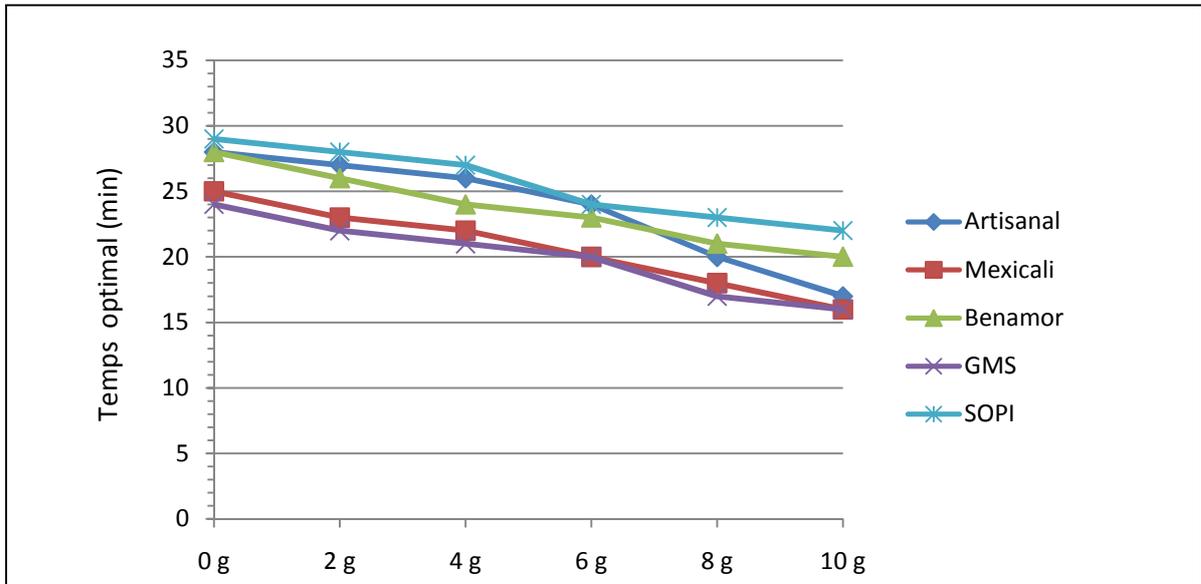


Figure 47. Temps optimal de cuisson des couscous moyens en fonction de la dose de la margarine végétale ajoutée

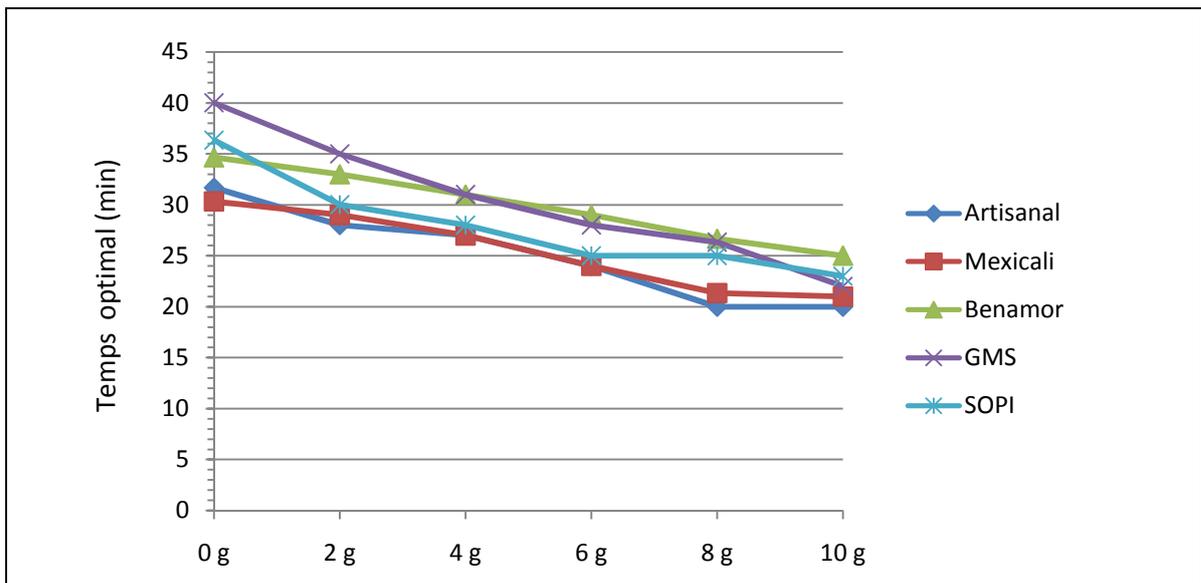


Figure 48. Temps optimal de cuisson des couscous fins en fonction de la dose du beurre ajouté

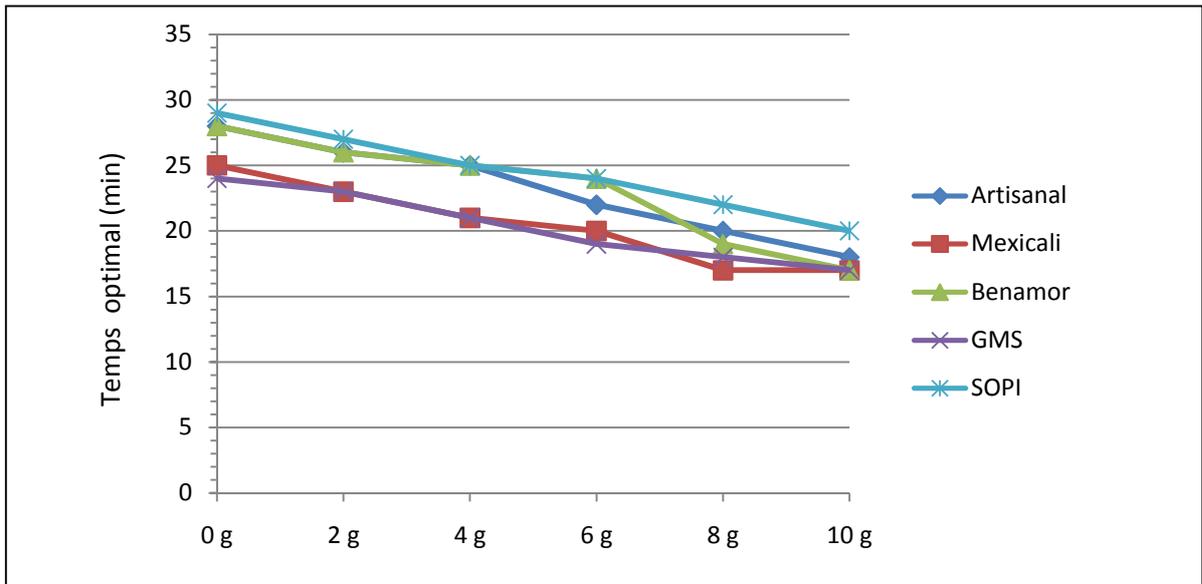


Figure 49. Temps optimal de cuisson des couscous moyens en fonction de la dose du beurre ajouté

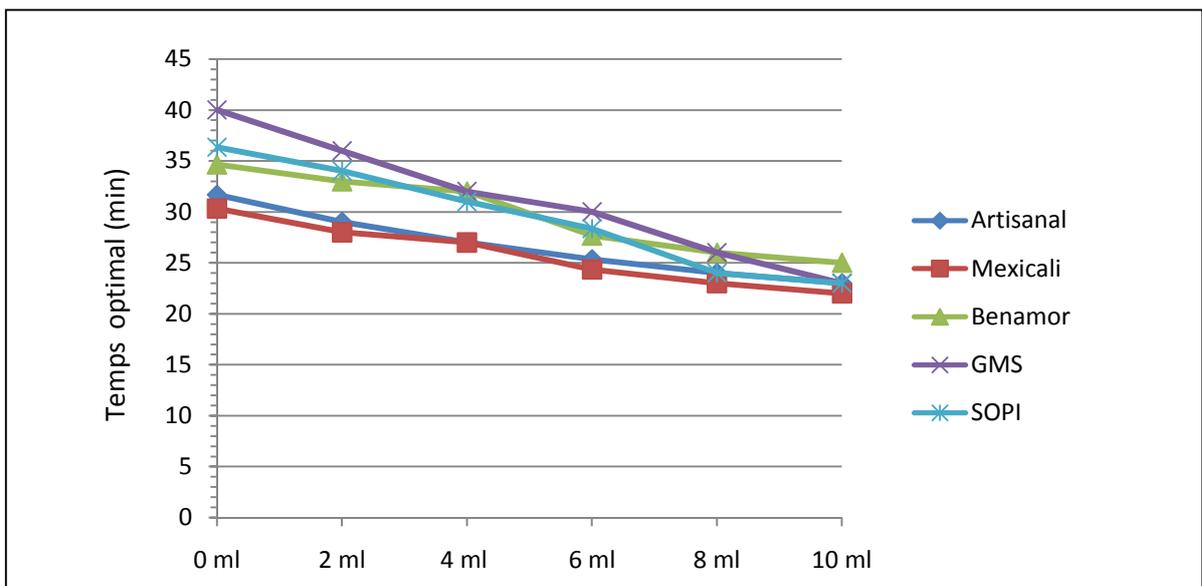


Figure 50. Temps optimal de cuisson des couscous fins en fonction de la dose de huile de tournesol ajoutée

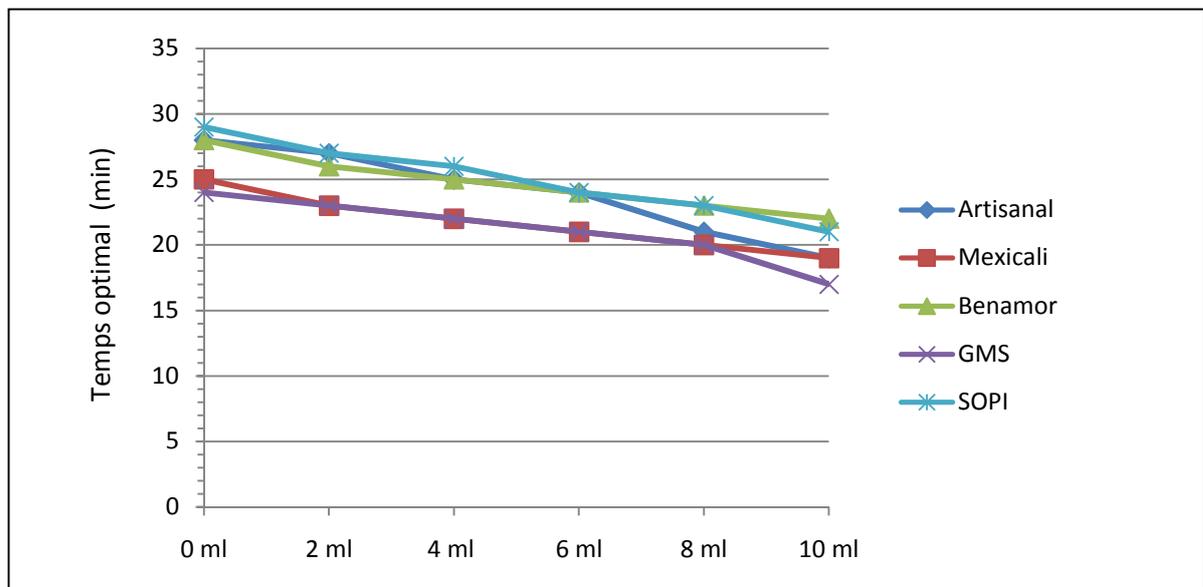


Figure 51. Temps optimal de cuisson des couscous moyens en fonction de la dose de huile de tournesol ajoutée

6.3 Effet de la matière grasse sur le gonflement du couscous

La détermination de l'indice de gonflement de couscous après l'ajout de la matière grasse au cours de la cuisson, est faite par estimation du poids à cause de l'inconvenance de la méthode de Guezlane et Abecassis (1991), puisque la matière grasse flotte à la surface d'eau ce qui empêche de voir l'effet de celle-ci sur le gonflement.

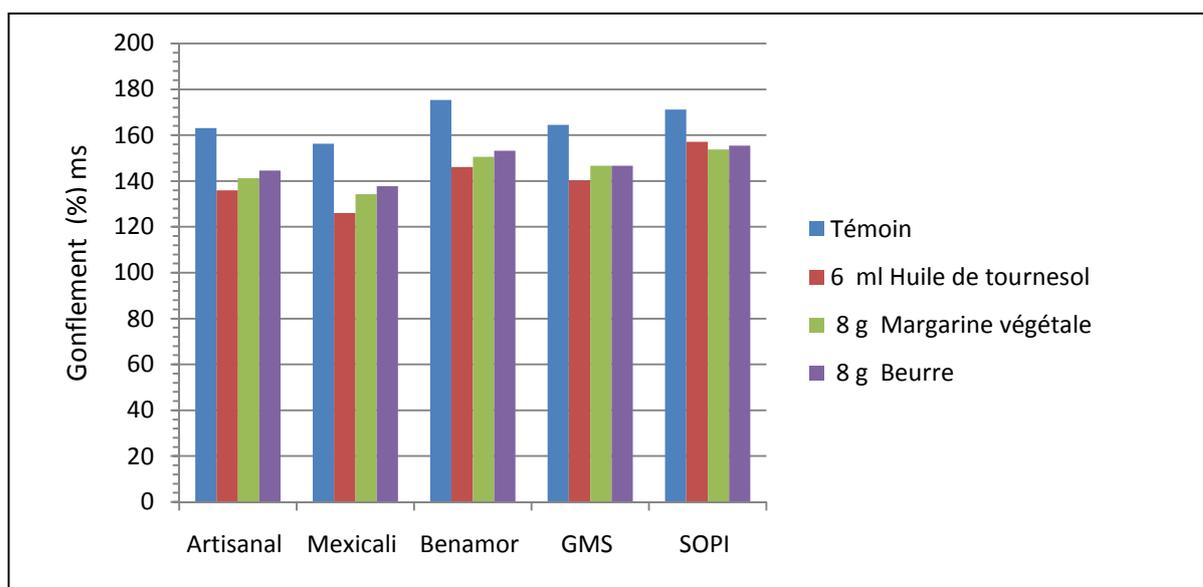


Figure 52. Effet de la matière grasse sur le gonflement (absorption d'eau) des couscous fins

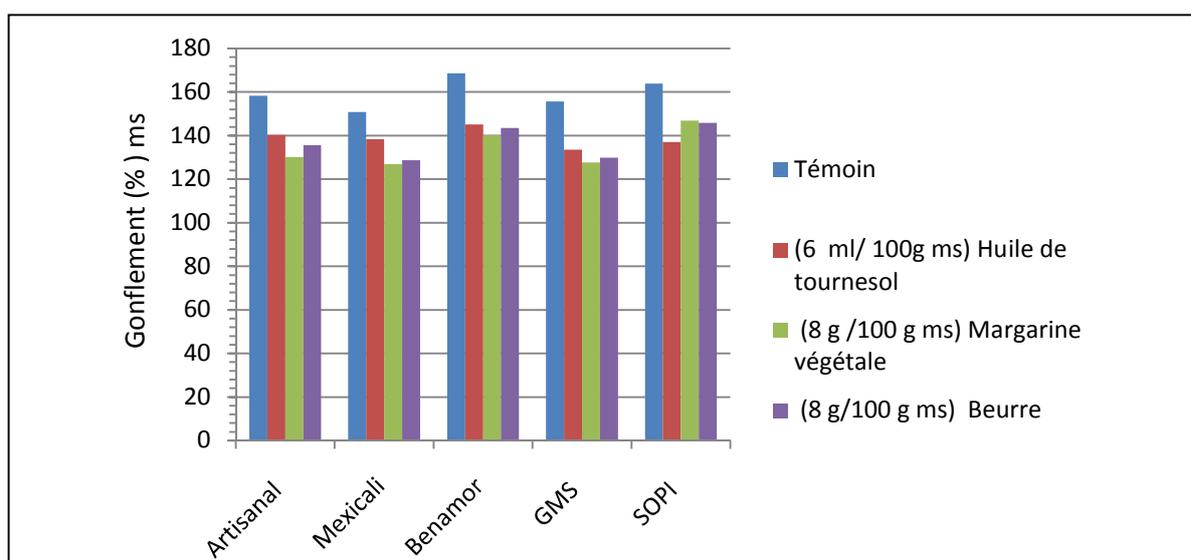


Figure 53. Effet de la matière grasse sur le gonflement (absorption d'eau) des couscous moyens.

Les figures 52 et 53 montrent que l'ajout de la matière grasse diminue également la capacité de l'absorption d'eau des échantillons de couscous fin et moyen. Cet effet est nettement remarquable pour le couscous artisanal et le couscous industriel représentés par les produits des complexes MEXICALI-Constantine, BENAMOR-Guelma, GRANDS MOULINS DU SUD (GMS)-Biskra et SOPI-Blida.

Par ailleurs, l'absorption d'eau de couscous artisanal fin est réduite de 11,34 %, 16,67 % et 13,42 % en utilisant respectivement, 6 ml/100 g ms de huile de tournesol, 8 g/100 g ms de la margarine végétale et la même dose pour le beurre. Par contre, la baisse de l'absorption de l'ensemble des échantillons industriels fins est comprise entre : 9,17 et 12,65 %, 13,49 et 19,42 % et 10,22 et 14,13 % dans le cas d'utilisation des mêmes doses et matières grasses précédentes.

D'autre part, le couscous artisanal moyen a perdu 11,73 %, 17,75 % et 14,33 % d'absorption sous l'effet d'addition de huile de tournesol, de la margarine végétale et du beurre. L'effet de ces matières grasses sur les échantillons de couscous industriel moyen est similaire à celui obtenu pour le couscous artisanal moyen. Le gonflement de ces échantillons est réduit en général de 11,15 %, 16,05 % et 12,80 % respectivement. D'après ces résultats, nous remarquons que l'effet de la margarine végétale est plus fort que celui du beurre et de huile de tournesol. Donc, en général nos résultats concordent avec ceux de Feliachi et Guerfi (2003).

Shamekh (2002) a souligné que les lipides présentent un effet important sur les propriétés technologiques de l'amidon par le changement de gonflement, de solubilisation du granule ainsi que la cristallisation des ses polymères. La diminution à la capacité d'absorption d'eau du couscous peut être due à la pellicule de la matière grasse qui enrobe le grain du couscous et joue le rôle de barrière vis-à-vis du passage de la vapeur d'eau à l'intérieur du grain en utilisant sa partie hydrophobe pour cette raison. Feillet (2000) a souligné que les phospholipides forment des films de multicouches à l'interface eau / amidon. Par ailleurs, Eliasson (1986, 1994) cités par Shamekh (2002), montrent que les monoglycérides ralentissent le mécanisme de la gélatinisation de l'amidon, et par conséquent diminue la capacité d'absorption d'eau. Niihara *et al.* (1982) cités par Matsuo *et al.* (1986), ont montré que les acides gras produits au stage de stockage contribuent à l'inhibition du gonflement du granule de l'amidon et influencent sa viscosité et sa gélatinisation après la cuisson de nouilles Japonaises. Selon Niihara (1984) cité par Matsuo *et al.* (1986), l'acide oléique est impliqué dans la diminution de la solubilité et du gonflement de l'amidon.

D'autre part, Addo et Pomeranz (1992) cités par Ounane *et al.* (2006), ont souligné que les lipides libres ont un impact négatif sur le gonflement de la pâte par le masquage des sites des groupes hydrophiles impliqués dans la fixation de l'eau. De même, Belaid *et al.* (1994) ont remarqué la supplémentation par des monoglycérides commerciaux au stade du malaxage diminue le gonflement du couscous.

6.4. Effet de la matière grasse sur la fermeté, le collant et la délitescence

6.4.1 Analyses sensorielles

L'analyse sensorielle est la méthode de référence pour la détermination de la qualité culinaire de couscous puisqu'elle exprime l'impression directe du consommateur vis-à-vis des caractéristiques préalablement bien définies de produit.

Afin de mettre en évidence l'effet des différentes matières grasses sur les autres paramètres de la qualité culinaire du couscous notamment : le collant, la fermeté et le degré de désagrégation, nous avons utilisé l'analyse sensorielle à l'aide d'un panel de dégustation familiarisé avec le produit.

Les essais sont réalisés sur le produit cuit de différents échantillons en utilisant les différentes matières grasses aux doses raisonnables : huile de tournesol (6 ml/ 100g ms), la margarine végétale et le beurre (8 g/ 100 g ms).

6.4.2 Sur la fermeté

Les résultats d'évaluation sensorielle de la fermeté des différents échantillons en utilisant des différentes matières grasses sont représentés dans le tableau 21.

La fermeté est notée selon l'échelle de notation de 1 à 9.

Tableau 21. Fermeté des différents couscous

Echantillon	Granulométrie	Témoin	Huile de tournesol*	Margarine végétale**	Beurre**
Artisanal	Fin	4,44	2,88	2,44	2,77
	Moyen	6	3,55	2,22	2,55
MEXICALI	Fin	4	2,88	2,77	2,88
	Moyen	6,11	4,11	2,33	2,66
GMS	Fin	4	2	2,55	3
	Moyen	6,33	6	3,88	4
BENAMOR	Fin	3	2,33	2,11	2,88
	Moyen	4,11	2	2,22	2,88
SOPI	Fin	3,88	2,11	2,22	3
	Moyen	5,88	4,55	2,22	2,77

* : dose de 6 ml/ 100 g matière sèche du couscous

** : dose de 8 g/100 g matière sèche du couscous

Lorsque nous analysons les résultats d'évaluation sensorielle de la fermeté des couscous témoins (non traités par la matière grasse) selon la granulométrie, nous observons que les couscous moyens sont jugés plus fermes que les couscous fins, c'est-à-dire ces derniers sont plus tendres que les couscous moyens. De même, la comparaison de la fermeté des différents produits industriels et artisanaux, montre que la fermeté du couscous fin artisanal et celui des complexes : MEXICALI –Constantine et GRANDS MOULINS DU SUD (GMS)-Biskra est supérieure à celle des complexes : BENAMOR- Guelma et SOPI- Blida. La même observation est obtenue pour les échantillons des couscous moyens.

D'après les résultats de dégustation mentionnés dans le tableau 21, nous constatons que la fermeté des échantillons du couscous artisanal et industriel, fin et moyen, diminue lorsque nous ajoutons une dose de 6 ml/100 g ms de huile de tournesol et 8 g/100 g ms de la margarine végétale et du beurre. L'analyse de variance (ANOVA) montre qu'il n'y a pas de

différence significative ($p < 0,05$) entre l'effet des différentes matières grasses. L'analyse des moyennes de la fermeté des échantillons du couscous après l'addition de la matière grasse par le biais du test de Tukey HSD au seuil de 5 %, montre que nos échantillons peuvent être regroupés en un seul groupe homogène (A) (Tableau 22).

Tableau 22. Comparaison des moyennes de la fermeté des couscous traités par la matière grasse par le test de Tukey HSD au seuil de 5 %

Echantillon	Moyenne estimée	Groupes
Mexicali moyen	3,033	A
Mexicali fin	2,843	A
artisanal moyen	2,773	A
Artisanal fin	2,697	A
GMS moyen	2,257	A
Benamor moyen	2,180	A
SOPI fin	1,960	A
SOPI moyen	1,923	A
Benamor fin	1,810	A
GMS fin	1,773	A

Par contre, Ounane *et al.* (2006) ont observé un effet positif de la teneur en lipides libres polaires sur la fermeté du couscous cuit, spécialement la teneur en glycolipides ($r = 0,630$). Selon les mêmes auteurs, la fermeté augmente avec l'augmentation de la teneur en lipides libres polaires de la semoule ($r = 0,570$).

6.4.3 Sur le collant

L'effet d'addition de la matière grasse sur le collant des différents échantillons du couscous est indiqué dans le tableau 23. L'échelle de notation utilisée pour le collant est de 1 à 9.

Tableau 23. Collant des différents couscous

Echantillon	Granulométrie	Témoin	Huile de tournesol*	Margarine végétale**	Beurre**
Artisanal	Fin	6,44	1,88	1,66	1,77
	Moyen	6	3,55	2,22	2,55
MEXICALI	Fin	7	2	1,55	1,55
	Moyen	6,44	2,11	1,66	1,44
GMS	Fin	6,77	2,44	1,33	1,55
	Moyen	5,88	2,22	2,11	2,44
BENAMOR	Fin	7,11	2,11	1,66	1,66
	Moyen	7	2,33	1,77	2,44
SOPI	Fin	7	2,22	1,66	2
	Moyen	6,44	2	1,44	2,33

* : dose de 6 ml/ 100 g matière sèche du couscous

** : doses de 8 g/100 g matière sèche du couscous

D'après les résultats du tableau 23, nous remarquons que le collant est plus perçu par les dégustateurs pour les couscous fins que les couscous moyens. Cette remarque concorde avec les résultats de Yettou (1998). L'auteur a souligné que la prise en masse mesurée par tamisage diminue avec l'augmentation de la taille des particules. Le jury de dégustation remarque que l'ensemble des échantillons non traités par la matière grasse (témoin) présente un niveau du collant plus élevé que les produits traités.

Nous remarquons que, le collant de l'ensemble des échantillons du couscous est considérablement diminué à des niveaux plus bas avec l'addition du corps gras. Par ailleurs, l'analyse de variance (ANOVA) montre qu'il n'y a pas de différence significative ($p < 0,05$) entre l'effet des différentes matières grasses sur le collant. L'analyse des moyennes du collant des échantillons du couscous après l'addition de la matière grasse par le biais du test de Tukey HSD au seuil de 5 %, montre que nos échantillons peuvent être regroupés en un seul groupe homogène (A) (Tableau 24).

Tableau 24. Comparaison des moyennes du collant des couscous traités par la matière grasse par le test de Tukey HSD au seuil de 5%

Echantillon	Moyenne estimée	Groupes
Artisanal moyen	2,773	A
GMS moyen	2,257	A
Benamor moyen	2,180	A
SOPI fin	1,960	A
SOPI moyen	1,923	A
Benamor fin	1,810	A
GMS fin	1,773	A
Artisanal fin	1,770	A
Mexicali moyen	1,737	A
Mexicali fin	1,700	A

Namoune *et al.* (2004) ont souligné un effet négatif significatif à seuil de 5 % de la matière grasse sur le collant des couscous moyens issus d'une semoule courante et supérieure ($r = - 0,720$). Ainsi, Belaid *et al.* (1994) ont remarqué une diminution de la prise en masse en fonction de l'ajout des monoglycérides, de 13,8 % à 3,1 % avec l'ajout de 1% de monostéarate (PV) et de 13,8 % à 2,2 % avec 1 % monopalmitate (PVP).

Par ailleurs, Ounane *et al.* (2006) ont trouvé un effet négatif de la teneur en phospholipides de la semoule sur le collant du couscous ($r = - 0,48$). Nos résultats concordent avec ceux de Namoune *et al.* (2004) et Belaid *et al.* (1994).

6.4.4 Sur la délitescence

Les résultats du niveau désagrégation en présence la matière grasse sont représentés dans le tableau 25.

L'évaluation sensorielle du degré de la délitescence des échantillons du couscous (témoin) nous ne permet pas de distinguer une différence entre le couscous artisanal et industriel. D'autre part, la différence par rapport la granulométrie n'est pas visible.

Il n'existe pas d'effet remarquable des matières grasses sur la délitescence à l'exception du couscous artisanal qui fait apparaître une baisse du degré de délitescence.

Tableau 25. Délitescence des différents couscous

Echantillon	Granulométrie	Témoin	Huile de tournesol*	Margarine végétale**	Beurre**
Artisanal	Fin	5,44	4,66	4,11	4,66
	Moyen	5	3,77	3,44	3,11
MEXICALI	Fin	5,22	5,22	4,55	5
	Moyen	5,55	4,77	5,11	3,66
GMS	Fin	5,22	4,88	4	5,77
	Moyen	5	4,55	4,44	5,11
BENAMOR	Fin	4,55	4,11	4	4,77
	Moyen	4,88	4,77	4	6
SOPI	Fin	5,22	5,22	3,77	4,55
	Moyen	6	5,11	5,88	4,55

* : dose de 6 ml/ 100 g matière sèche du couscous

** : doses de 8 g/100 g matière sèche du couscous

Par ailleurs, l'analyse de variance (ANOVA) montre qu'il n'y a pas de différence significative ($p < 0,05$) entre l'effet des différentes matières grasses sur la délitescence du couscous. L'analyse des moyennes de la délitescence des échantillons du couscous après l'addition de la matière grasse par le biais du test de Tukey HSD au seuil de 5%, montre que nos échantillons peuvent être regroupés en un seul groupe homogène (A) (Tableau 26).

Tableau 26. Comparaison des moyennes de la délitescence des couscous traités par la matière grasse par le test de Tukey HSD au seuil de 5 %

Echantillon	Moyenne estimée	Groupes
SOPI moyen	5,180	A
Benamor moyen	4,923	A
Mexicali fin	4,923	A
GMS fin	4,883	A
GMS moyen	4,700	A
SOPI fin	4,513	A
Mexicali moyen	4,513	A
Artisanal fin	4,477	A
Benamor fin	4,293	A
Artisanal moyen	3,440	A

L'analyse des données des analyses sensorielles par le biais de l'analyse en composantes principales (ACP) (Tableau 27 et figure 54) montre la présence des corrélations entre les paramètres étudiés de la qualité culinaire.

La matrice de corrélation fait apparaître une corrélation négative et significative au seuil de 5 % entre la matière grasse et le collant ($r = -0,962$). Deux autres corrélations négatives entre la matière grasse et la fermeté et la délitescence sont observées, toute fois elles ne sont pas significatives au seuil de 5 %. Ceci montre que la matière grasse exerce un effet sur la texture du couscous (collant, fermeté, délitescence). Ces résultats sont similaires à ceux de Feliachi et Guerfi (2003) à l'exception de la délitescence, les auteurs ont remarqué une forte corrélation négative et significative ($r = -0,733$).

Donc, à la lumière de ces résultats, il apparaît que la matière grasse joue un rôle prépondérant dans l'amélioration de la qualité culinaire du couscous.

Yousfi (2002) a souligné que l'addition de la matière grasse par les ménagères est facultative (66,9 %). 76 % des ménagères ajoutent de huile, de beurre pour réduire la formation des mottes. 70 % des ménagères le font également pour améliorer d'une façon générale la qualité culinaire. Par ailleurs, Ounane *et al.* (2006) ont noté que l'impact positif des lipides sur la diminution du collant. Traditionnellement le couscous est cuit deux fois successives et la matière grasse est additionnée entre ces deux opérations. Ainsi, Aboubacar et Hamaker (2000) ont observé que les lipides améliorent la texture du couscous de sorgho.

Cette pratique a trouvé sa place à l'industrie. L'addition de monoglycérides aux farines facilite l'extrusion des pâtes et diminue leur collant (Eliasson et Krog, 1985). Matsuo *et al.* (1986) ont noté que l'addition des monoglycérides réduit la délitescence des spaghetti.

La diminution considérable du collant par l'addition de huile de tournesol, de la margarine végétale et du beurre peut être expliqué par la complexation de l'amylose avec les lipides. Selon Guezlane *et al.* (1998 b), la diffusion de l'amylose se poursuit au cours du traitement hydrothermique et provoque en absence de lipides complexables une légère remontée du collant. Le phénomène de la complexation de l'amylose par les lipides constitue le mécanisme de base conduisant à la diminution de la prise en masse du couscous lors de sa réhydratation.

Par ailleurs, Ounane *et al.* (2006) ont révélé que les lipides polaires présents sur la surface des particules peuvent se complexer avec l'amylose durant la cuisson et diminuent sa diffusion et sa désintégration. Selon Guezlane *et al.* (1998 b), la diffusion de l'amylose sur la surface des particules du couscous au cours de la cuisson est responsable de la désagrégation des particules qui peut être limitée par l'action des acides gras et des monoglycérides. Aboubacar et Hamaker (2000) ont expliqué l'effet positif d'adjonction de huile de soja sur la texture du couscous du sorgho par l'interaction lipides-amidon. De même, Priestley (1977) cité par Aboubacar et Hamaker (2000), a souligné que la diminution du collant chez le riz bouilli à demi peut être due à la présence du complexe insoluble de l'amylose-lipide.

Tableau 27. Matrice de corrélation des paramètres de la qualité culinaire et la matière grasse

Variables	Fermeté	Collant	Délicatescence	Matière grasse
Fermeté	1			
Collant	0,634	1		
Délicatescence	-0,389	0,465	1	
Matière grasse	-0,504	-0,962*	-0,564	1

* : significatif au seuil de 5 %.

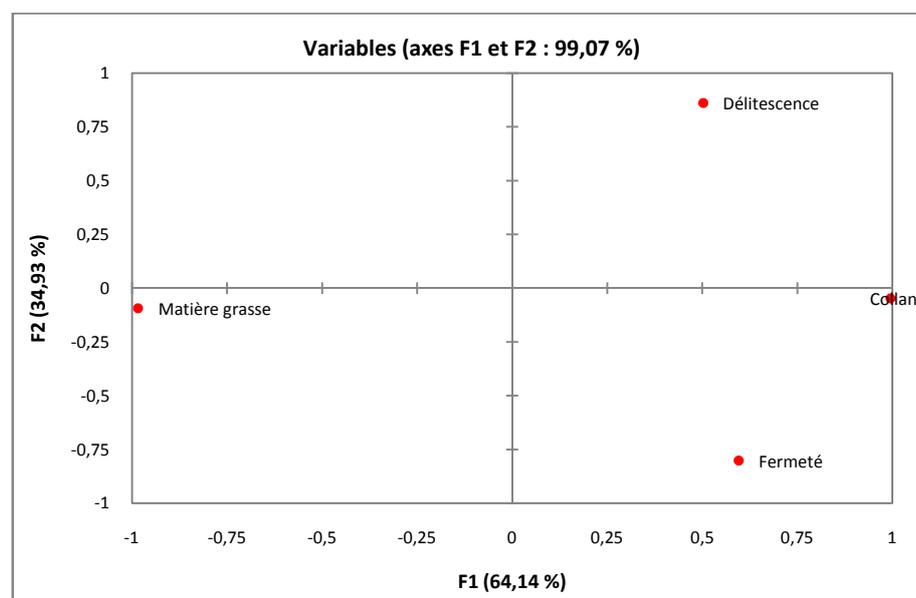


Figure 54. Cercle de corrélation des paramètres de la qualité culinaire du couscous en présence de la matière grasse.

Conclusion

Conclusion

Le but de la présente étude a été entrepris, en vue d'étudier la qualité culinaire du couscous industriel et artisanal de blé dur et de contribuer à la mise en évidence de l'influence d'adjonction de la matière grasse durant la cuisson sur la qualité culinaire.

L'analyse du procédé artisanal et industriel, montre que le procédé industriel conduit à la production de couscous de différentes granulométries, à l'opposé du procédé artisanal qui donne un couscous d'une seule granulométrie qui est préalablement choisie.

Le rendement du procédé industriel est plus élevé que celui du procédé artisanal. Il est très important pour le premier. Par contre, il est de l'ordre de 67,5 % pour le couscous fin dans procédé artisanal et de l'ordre de 71,16 % pour le couscous moyen.

L'étude physico-chimique des échantillons de couscous collectés et fabriqués montre que :

-Les couscous artisanaux se caractérisent par un taux d'humidité plus bas par rapport aux couscous industriels du fait du séchage en 2 phases à l'air libre et au soleil.

-L'ensemble des échantillons artisanaux et industriels présentent une faible teneur en lipides libres comprise entre 0,10 et 0,35%.

-La teneur en protéines est similaire pour les différents types de couscous du même procédé du fait de l'utilisation de la même matière première pour la fabrication des couscous.

- Le taux de cendres augmente avec l'augmentation de la granulométrie et il est nettement supérieur à celui de la matière première du fait de l'addition de NaCl au cours de la fabrication du couscous.

-La granulométrie médiane (D_{50}) et l'étendue granulométrique de couscous artisanal fin et moyen sont plus élevée que celles de couscous des complexes industriels.

-Le paramètre de dispersion (S_g) de couscous augmente avec l'augmentation du paramètre de position (D_{50}) ce qui signifie que les couscous fins sont moins homogènes que les couscous moyens.

-La masse volumique des couscous fins est légèrement supérieure à celle des couscous moyens à cause de l'espace inter-particulaire qui augmente avec l'augmentation de la taille des particules (D_{50}).

Sur le plan culinaire, l'étude de la qualité du couscous révèle que les propriétés culinaires du couscous artisanal sont nettement supérieures à celles des couscous industriels.

En ce qui concerne les temps de cuisson, le temps minimal et optimal de cuisson des couscous industriels fins sont supérieurs à ceux de couscous artisanal fin. Ils diminuent avec l'augmentation de la granulométrie du produit.

Le couscous artisanal présente la plus grande résistance à la surcuisson par rapport aux couscous industriels. Cette résistance augmente relativement avec la taille des particules (D_{50}).

En ce qui concerne le gonflement, il est plus important pour les produits industriels que pour les produits artisanaux, ceci peut être dû à la composition de la matière première. Ce paramètre culinaire est négativement corrélé à la granulométrie des grains (D_{50}).

Par ailleurs, la délitescence est plus prononcée chez les produits industriels que chez les produits artisanaux en raison de la qualité du roulage artisanal qui conduit à une importante force de cohésion entre les particules de la semoule. Cette caractéristique augmente en fonction de la taille des grains de couscous.

L'analyse en composantes principales (ACP), nous permet d'observer que la qualité culinaire du couscous est nettement influencée par les caractéristiques physico-chimiques du produit.

Le temps optimal de cuisson est positivement corrélé avec le paramètre de position (D_{50}) ($r = 0,349$. $P < 0,05$) et la teneur en protéines ($r = 0,405$. $P < 0,05$). Mais il est négativement corrélé avec le taux de lipides libres ($r = - 0,586$. $P < 0,01$).

Le gonflement du couscous est positivement corrélé avec la masse volumique ($r = 0,743$. $P < 0,01$). Par contre, il est négativement corrélé avec la teneur en protéines ($r = - 0,571$. $P < 0,01$) et en cendres ($r = - 0,838$. $P < 0,01$). Ceci peut s'expliquer par la grande capacité d'absorption de l'amidon par rapport aux protéines.

La délitescence de produit est positivement corrélée avec la masse volumique ($r = 0,510$. $P < 0,01$). En revanche, elle présente une corrélation négative avec le taux de protéines ($r = - 0,586$. $P < 0,01$) et de cendres ($r = - 0,584$. $P < 0,01$).

L'étude de l'influence de la matière grasse sur la qualité culinaire du couscous montre que :

- Le temps optimal de cuisson de couscous diminue avec l'augmentation de la dose de matière grasse ajoutée. Cet effet diffère selon le type de la matière grasse et augmente avec la réduction de la taille des particules (D_{50}). Le beurre exerce plus d'effet que la margarine végétale et l'huile de tournesol.

-La matière grasse a un impact négatif sur le gonflement du couscous du fait de son rôle d'inhibition de l'absorption d'eau et sans doute le masquage de sites des groupes hydrophiles impliqués dans la fixation de l'eau.

Cet impact diffère en fonction de type du corps gras utilisé. Il est plus marqué dans le cas de la margarine que dans le cas du beurre et de huile de tournesol.

Les résultats des tests de dégustation montrent que la fermeté des couscous moyens est plus élevée que celle des couscous fins. Autrement dit, les couscous fins sont plus tendres que les couscous moyens.

D'autre part, la fermeté du couscous artisanal et celui des complexes : MEXICALI-Constantine et GRANDS MOULINS DU SUD-Biskra est supérieure à celle des complexes : BENAMOR- Guelma et SOPI- Blida. Ainsi, les couscous des complexes : BENAMOR- Guelma et SOPI- Blida sont plus tendres que le couscous artisanal et ceux des complexes : MEXICALI-Constantine et GRANDS MOULINS DU SUD-Biskra.

En ce qui concerne le collant, il est plus apparent pour les dégustateurs chez les couscous fins que chez les couscous moyens. Le jury de dégustation remarque que l'ensemble des échantillons non traités par la matière grasse (témoins) présente un niveau du collant plus élevé que les couscous traités.

L'analyse des résultats de l'analyse sensorielle par le biais de l'analyse en composantes principales (ACP) montre que la matière grasse est négativement corrélée avec le collant ($r = - 0,962$. $P < 0,05$). Mais, elle ne donne pas de corrélation significative avec la fermeté ($r = - 0,504$) et la délitescence ($r = - 0,564$) au seuil de 5%.

A la lumière de cette étude, nous déduisons que les propriétés culinaires du couscous artisanal sont nettement meilleures que celles des couscous industriels. Malgré l'effet négatif de la matière grasse ajoutée durant la cuisson sur le gonflement du couscous, l'adjonction de cette matière joue tout de même un rôle dans l'amélioration de la qualité culinaire (augmente la tendreté et diminue le collant et la délitescence) du couscous artisanal et industriel.

Enfin, nous jugeons que d'autres études semblent nécessaires pour compléter cette étude et expliquer l'effet bénéfique de la matière grasse dans l'amélioration de la qualité culinaire du couscous. Des études microscopiques et physico-chimiques approfondies demeurent intéressantes pour expliquer le phénomène par lequel la matière grasse agit sur les caractéristiques culinaires du couscous et ses différents constituants biochimiques. Ainsi, il faut étudier l'effet de la matière grasse sur la qualité du couscous de différents types des céréales.

Références bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Abecassis J., Goutier M.F. et Autran J.C., 1990.** La filière blé dur-pâtes alimentaires : apports complémentaires de la technologie et de la génétique dans l'amélioration de la qualité. *Ind. Agric. Alim.* P: 475-479.
2. **Aboubacar A. et Hamaker B.R., 1999.** Physicochemical properties of flours that relate to sorghum couscous quality. *Cereal chem.* Vol. 76. P : 308-313.
3. **Aboubacar A. et Hamaker B.R., 2000.** Low molecular weight soluble starch and its relationship with sorghum couscous stickiness. *Journal of Cereal science.* Vol. 31. P : 119-126.
4. **Adrian J. et Frangne R., 1987.** Nature et propriétés de l'amidon, guide pratique d'information et de documentation publié par l'APIC. Vol. 46. P : 17-21.
5. **AFNOR, 1991 a.** Norme AFNOR NF-V03-707. Céréales et produits céréaliers: détermination de la teneur en eau. Méthode de référence pratique (juin 1989), pp : 8-12. In « Recueil de normes AFNOR contrôle de la qualité des produits alimentaires céréales et produits céréaliers ». 3^{ème} édition, Paris, 360 pages.
6. **AFNOR, 1991 b.** Norme AFNOR NF-V03-720. Céréales et produits céréaliers : détermination des cendres, méthode par incinération à 900 °C, pp : 8-12. In « Recueil de normes AFNOR contrôle de la qualité des produits alimentaires céréales et produits céréaliers ». 3^{ème} édition, Paris, 360 pages.
7. **AFNOR, 1995.** Recueil de normes- contrôle de la qualité des produits alimentaires : Analyse sensorielle. AFNOR. 5^{ème} édition. Paris. 400 pages.
8. **Aluka K., Miche J.C. et Faure J., 1985.** Conditions d'une fabrication mécanique du couscous de maïs en Afrique de l'Ouest, *Ind. Agric. Alim.* P : 448-451.
9. **Angar O. et Belhouchet L., 2002.** Granulométrie du couscous : relation avec quelques paramètres de fabrication et la qualité culinaire. Mémoire d'ingénieur. DNATAA, Université Mentouri Constantine. 53 pages.
10. **Anonyme, 1996.** Norme Algérienne N.A. 6396. Norme pour le couscous industriel. 1^{ère} édition. INAPI. 5 pages.
11. **Anonyme, 1998.** Method of Determining and Expressing Fineness of Feed Materials by Sieving. Standars ANSI/ASAE S3193. American National Standards Institute. P: 547-550.
12. **Anonyme, 2004.** Etude de positionnement stratégique de la branche « Pâtes alimentaires et couscous ». Coordination Européenne des Producteurs Indépendants (C.E.P.I), cahier du C.E.P.I. N° 23.
13. **Audigie C., Figarella J. et Zonszain F., 1984.** Manipulation des analyses biochimiques. Doi n. 1^{ère} édition. Paris. 274 pages.

14. **Badaoui D., 1984.** Influence du séchage sur la qualité du couscous industriel. Mémoire d'Ingénieur. INA, El-Harrach, Alger. 74 pages.
15. **Bahchachi N., 2002.** Incorporation du gluten de maïs dans la fabrication de deux produits céréaliers traditionnels : trida et couscous. Thèse de Magister. DNATAA. Université Mentouri de Constantine. 134 pages.
16. **Bar C., 1995.** Contrôle de la qualité des céréales et des protéagineux. Guide pratique. ITCF. Paris. 253 pages.
17. **Beji-Becheur A., 2008.** Couscous connexion: l'histoire d'un plat migrant. Session 2. P : 1-17.
18. **Bekradouma D., 1992.** Influence des traitements hydrothermiques de précuisson et de séchage sur la valeur nutritionnelle du couscous de blé dur. Mémoire DESS. Montpellier.
19. **Belaïd M.R, Belarbi A. et Khendek D., 1994.** Rôle des monoglycérides dans l'expression de la qualité du couscous de blé dur. Mémoire d'Ingénieur. INA, El-Harrach, Alger. 90 pages.
20. **Benatallah L., Agli A. et Zidoune M.N., 2008.** Gluten-free couscous preparation: traditional diagram description and technological feasibility for three rice leguminous supplemented formulae. Journal of Food, Agriculture et Environment. Vol. 6. P : 105-112.
21. **Boucheham N., 2009.** Aptitude technologique de trois formules à base de riz pour la fabrication du couscous sans gluten. Mémoire de Magister. INATAA, université Mentouri de Constantine, Algérie. 76 pages.
22. **Boudreau A., Matsuo R. et Laing W., 1992.** L'industrie des pâtes alimentaires, pp : 193-223. In « Le blé. Eléments fondamentaux et transformation ». Coordonnateurs : Boudreau A. et Menard G., Ed. Les presses de l'Université Laval, Canada. 439 pages.
23. **Buleon A., Colonna P. et Leloup V., 1990.** Les amidons et leurs dérivés dans les industries des céréales. Actualité des industries agro-alimentaires. Vol. 107. P : 515-532.
24. **Chaker S., 1995.** Linguistique berbère. Etudes de syntaxe et de diachronie, Paris/Louvain, Peeters.
25. **Codex alimentarius.** Norme codex 202-1995. Norme codex pour le couscous. P : 1-3.
26. **Collonna P. et Rouau X., 1986.** L'amidon, utilisations industrielles, Industries des Céréales. P : 13-17.
27. **D'Egidio M.G., Mariani B.M., Nardi S., Novaro P., et Cubadda R., 1990.** Chemical and technological variables and their relationships: A predictive equation for pasta cooking quality. Cereal chem. Vol. 67. P: 275-281.
28. **Dagher S.M., 1991.** Traditional food in the Near East, FAO, food and nutrition paper 50, Rome, 161 pages.

29. **Dahoun-Lefkir S., 2005.** Influence des conditions de l'hydratation sur la qualité technologique du couscous. Mémoire Magister. INA, El-Harrach, Alger. 100 pages.
30. **Debbouz A. et Donnelly B.J., 1996.** Process effect on couscous quality. Engineering and processing. Cereal chem. Vol. 73. P : 668-671.
31. **Debbouz A., 1992.** Influence of raw material and processing on couscous quality. PhD thesis, North Dakota State University, Fargo.
32. **Debbouz A., Dick, J.W., et Donnelly, B.J., 1994.** Influence of raw material on couscous quality. Cereal Foods World. Vol. 39. P : 231-236.
33. **Derouiche M., 2003.** Couscous : enquête de consommation à Constantine, fabrication artisanale et qualité. Mémoire de Magister. Université Mentouri Constantine, Algérie. 125 pages.
34. **Desousa A., 2001.** Le couscous. Tradition et Modernité, Agro-Ligne. Vol. 16. P : 32-35.
35. **Dexter J., Matsuo R.R. et Morgan B.C., 1983.** Spaghetti stickiness: some factors influencing stickiness and relationship to other cooking characteristics. Cereal chem. Vol 48. P : 1547-1551.
36. **Dick J. W. et Matsuo R.R., 1988.** Durum wheat and pasta products, pp: 507-547. In « Wheat Chemistry and Technology ». Ed. AACC. St. Paul Minnesota. USA.
37. **Edwards M.N., Izydorczyk M., Dexter J.E. et Biliaderis C.G., 1993.** Cooked pasta texture: comparison of dynamic viscoelastic properties to instrumental assessment of firmness. Cereal chem. Vol. 70. P : 122-126.
38. **Eliasson A.C. et Krog N., 1985.** Physical properties of amylose -monoglyceride complexes. Journal of Cereal science. Vol. 3. P : 239-248.
39. **FAO, 1996.** Codex alimentarius : Céréales, légumes secs, légumineuses, produits dérivés et protéines végétales. FAO. Vol. 7. 2^{ème} édition. Rome. 164 pages.
40. **Feillet P., Jeanjean M.F., Kobrehel K. et Laignelet B., 1974.** Le brunissement des pâtes alimentaires. Bull. E.N.S.M.I.C. Vol. 262. P : 190-194.
41. **Feillet P. et Abecassis J., 1976.** La valeur d'utilisation de blé dur. Compte rendu : semaine internationale de céréaliculture de Gembloux (Belgique). P : 551-560.
42. **Feillet P., 1986.** Industrie des pâtes alimentaires : technologies de fabrication, qualité des produits finis et des matières première. Ind. Alim. Agric. P : 979-990.
43. **Feillet P., 2000.** Le grain de blé, composition et utilisation. INRA. Paris. 308 pages.

44. **Feliachi K. et Guerfi N., 2003.** Influence de l'incorporation de la matière grasse durant la cuisson sur la qualité culinaire du couscous. Mémoire d'ingénieur. Université Mentouri Constantine, Algérie. 72 pages.
45. **Galiba M., Waniska R.D., Rooney L.W. et Miller F.R., 1988.** Couscous quality of sorghum with different kernel characteristics. *Cereal Science*. Vol 7. P : 183-193.
46. **Godet M.C., Buleon A., Tran V. et Colonna P., 1993.** Structural features of fatty acid-amylose complexes. *Carbohydrate Polymers*. Vol. 21. P : 91-95.
47. **Godet M.C., Bizot H. et Buleon A., 1995.** Crystallization of amylose-fatty acid complexes prepared with different amylose chain lengths. *Carbohydrate Polymers*. Vol. 27. P: 47-52.
48. **Godon B., 1991.** Composition biochimique des céréales, pp: 77-94. In « les industries de première transformation des céréales ». Godon B. et Will M.C. Lavoisier Tec et Doc. Apria. Paris. 221 pages.
49. **Guarda G., Padovan S. et Delogu G., 2004.** Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. *Eur. J. Agron*. Vol 21. P : 181-192.
50. **Guezlane L., Selselat-Attou G. et Senator A., 1986.** Etude comparée du couscous de fabrication industrielle et artisanale. *Industrie des Céréales*. Vol. 43. P : 25-29.
51. **Guezlane L. et Abecassis J., 1991.** Méthodes d'appréciation de la qualité culinaire du couscous de blé dur. *Industrie Alimentaire et Agricole*, Vol. 11. P : 966-971.
52. **Guezlane L., 1993.** Mise au point de méthodes de caractérisation et étude des modifications physico-chimiques sous l'effet des traitements hydrothermiques en vue d'optimiser la qualité du couscous de blé dur. Thèse de Doctorat d'Etat. INA, El Harrach, Algérie. 89 pages.
53. **Guezlane L., Colonna P. et Abecassis J., 1998 a.** Effet du traitement hydrothermique du couscous de blé sur le comportement des protéines. *Annales de l'Institut National Agronomique*. El Harrach. Vol. 19, N° 1 et 2. P : 72-81
54. **Guezlane L., Colonna P. et Abecassis J., 1998 b.** Effet du traitement hydrothermique du couscous de blé sur les modifications physiques de l'amidon. *Annales de l'Institut National Agronomique*. El Harrach. Vol. 19. N° 1 et 2. P : 62-71
55. **Hebrard A., 2002.** Granulation de semoules de blé dur. PhD thesis, ENSA Montpellier.
56. **Hebrard A., Oulahna D., Gali L., Cuq B., Abecassis J. et Fages J., 2003.** Hydration properties of durum wheat semolina: influence of particle size and temperature. *Powder Technology*. Vol. 130. P : 211-218.

- 57. Hentschel V., Kranl K., Hollmann J., Lindhauer M.G., Bohmand V. et Bitsch R., 2002.** Spectrophotometric determination of yellow pigment content and evaluation of carotenoids by high-performance liquid chromatography in durum wheat grain. *Journal Agriculture et Food Chem.* Vol. 50. P: 6663–6668.
- 58. Hoseney R.C. et Debi E.R., 1990.** The formation and properties of wheat flour dough. *Food Science and Nutrition.* Vol. 29. P : 73-92.
- 59. Idir D., 2000.** Influence du taux d'extraction et de la granulométrie de semoule sur la qualité technologique du couscous de blé dur. Mémoire de Magister. INA, El-Harrach, Alger. 84 pages.
- 60. Iveson S.M., Litster J.D., Hapgood K. et Ennis B.J., 2001.** Nucleation, growth and breakage phenomena in wet agglomeration processes. *Review Powder Technology.* Vol. 117. P : 3-39.
- 61. Kaup S.M. et Walker C.E., 1986.** Couscous in North Africa. *Cereal Foods World,* Vol. 31. P : 179-182.
- 62. Kezih R., 1998.** Galettes : mise au point des méthodes de préparation et évaluation de la qualité. Thèse de Magister. INATAA, Université Mentouri, Constantine, Algérie, 116 pages.
- 63. Khendak L. et Guezlane L., 1994.** Rôle des monoglycérides dans l'expression de la qualité technologique du couscous industriel de blé dur. *Céréaliculture.* Vol. 32. P : 10-14.
- 64. Kherrif A., 1996.** Effet de la variabilité protéique sur l'expression de la qualité technologique du couscous. Mémoire d'Ingénieur. INA, El-Harrach, Alger. 61 pages.
- 65. Kiger J.L. et Kiger J.G., 1967.** Techniques modernes de biscuiterie, pâtisserie, boulangerie industrielles et artisanales et des produits de régime. Tome 1, Dunod, Paris, 676 pages.
- 66. Kim H., Sieb P., Deyde G. et Yang H., 1986.** Milling hard red winter wheat to farina : Comparison of cooking quality and color of farina and semolina spaghetti. *Cereal Food World.* Vol. 31. P : 810-819.
- 67. Kobrehel K., Laignelet B. et Peillet P., 1972.** Relation entre les activités peroxydasiques et polyphénol oxydasiques des blés durs et le brunissement des pâtes alimentaires. *C.R Acad. Afric. Fr.* Vol. 58. P : 1099-1106.
- 68. Kovacs M.I.P., Dahlke G. et Noll J.S., 1994.** Gluten viscoelasticity: Its usefulness in the Canadian durum wheat breeding program. *J. Cereal sci.* Vol. 19. P : 251-257.
- 69. Landillon V., Cassan D., Morel M.H. et Cuq B., 2008.** Flowability, cohesive, and granulation properties of wheat powders. *Journal of Food Engineering.* Vol. 86. P : 178-193.

70. **Lefkir S. et Sehili R., 1996.** Effet des procédés de fabrication sur l'expression de la qualité technologique du couscous de blé dur (BRAIBANTI-BASSANO). Mémoire d'Ingénieur. INA, El-Harrach, Alger. 83 pages.
71. **Lepage M. et Sims R.P.A., 1968.** Carotenoids of wheat flour: their identification and composition. *Cereal chem.* Vol 45. P : 600–604.
72. **Manser J., 1985.** Degré de finesse des produits de mouture de blé dur dans l'optique de l'industrie des pâtes alimentaires. *Industrie des céréales.* Vol. 36. P : 19-29.
73. **Matsuo R.R et Irvine G.N., 1970.** Effect of gluten on the cooking quality of spaghetti. *Cereal chem.* Vol. 47. P : 173-180.
74. **Matsuo R.R, Dexter J.E, Boudreau A. et Daun J.K, 1986.** The role of lipids in determining spaghetti cooking quality. *Cereal chem.* Vol. 63. P : 484-489.
75. **Mohamad Saad M., Barkouti A., Rondet E., Ruiz T. et Cuq B., 2010.** Réactivité et mécanisme d'agglomération de la semoule de blé dur : description de la croissance et de la texture des agglomérats. *Industrie de céréales.* N° 169. P : 30-31.
76. **Mohamad Saad M., Barkouti A., Rondet E., Ruiz T. et Cuq B., 2011.** Study of agglomeration mechanisms of food powders: Application to durum wheat semolina. *Powder Technology.* Vol. 208. P : 399-408.
77. **Namoune H., 1989.** Détermination des aptitudes technologiques des principales variétés des blés tendres cultivés en Algérie. Thèse de Magister, option Génie Industriel Alimentaire. INATAA, Université Mentouri Constantine, Algérie. 109 pages.
78. **Namoune H., Kezih R., Feliachi K., Guerfi N. et Hamza N., 2004.** أثر استعمال بعض الدهون خلال عملية الطهي على نوعية الكسكسي. المؤتمر العلمي الرابع للعلوم الزراعية. أسيوط. مصر.
79. **Novaro P., D'Egidio M.G., Mariani B.M. et Nardi S., 1993.** Combined effect of protein content and high temperature drying systems of pasta cooking quality. *Cereal chem.* Vol.70. P :716-719.
80. **Ounane G., 1983.** Fabrication des pâtes alimentaires supplémentées avec de la farine de pois chiche : étude biochimique, technologique et de la valeur nutritionnelle. Mémoire de Magister. INA, El-Harrach, Alger.
81. **Ounane G., Cuq B., Abecassis J., Yesli A. et Ounane S.M., 2006.** Effects of physicochemical characteristics and lipid distribution in algerian durum wheat semolinas on the technological quality of couscous. *Cereal chem.* Vol. 83. P: 377–384.
82. **Pons M.N., Vivier H., Belaroui K., Bernard-Michel B., Cordier F., Oulhana D. et Dodds J.A., 1999.** Particle morphology: from visualization to measurement. *Powder Technology.* Vol. 103. P : 44-57.

- 83. Quaglia G.B., 1988.** Other durum wheat products. In « Durum Chemistry and Technology ». Fabriani, G. and Lintas, C. (eds). AACC, St. Paul, Minnesota. P : 263-282.
- 84. Sasaki T., Yasui T., Matsuki J. et Satake T., 2002.** Comparison of physical properties of wheat starch gels with different amylose content. *Cereal Chem.* Vol.79. P:861–866.
- 85. Scotti G., 1984.** Analyse physique des grains. In « Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales » Godon B. et Loisel W. Lavoisier. Tec et Doc. Paris. 685 pages.
- 86. Seiler W., 1982.** Couscous. *Molini Ital.* Vol. 33. P : 417-421.
- 87. Senator A., 1983.** Contribution à l'étude de la valeur couscoussière. Comparaison entre deux processus de fabrication. Mémoire d'Ingénieur. INA, El-Harrach, Alger.
- 88. Shamekh S.S., 2002.** Effects of lipids, heating and enzymatic treatment on starches. Technical Research Centre of Filand. VTT Publications. 43 pages.
- 89. Souci S. W., Fachman N.W. , Kraut H. (1994).** La composition des aliments: Tableaux des valeurs nutritives. Medpharm Scientific publishers, 5^{ème} édition. Stuttgart . Germany. 1091 pages.
- 90. Taha S.A. et Sagi F., 1987.** Relationships between chemical composition of durum wheat semolina and macaroni quality. II Ash, carotenoid pigments and oxidation enzymes, cereal, *Res. Com.* Vol. 15. P : 123-129.
- 91. Tigroudja F. et Bendjoudiouadda A., 1998.** Influence de la granulométrie de la semoule sur la qualité technologique du couscous artisanal de blé dur. Mémoire d'Ingénieur d'Etat. INA, El-Harrach, Alger. 85 pages.
- 92. Trono D., Pastore D. et Difonzo N., 1999.** Carotenoid Dependent Inhibition of Durum Wheat Lipoxygenase. *Journal of Cereal Science.* Vol. 29. P : 99-102.
- 93. Tufvesson F., Wahlgren M. et Eliasson A.C., 2003.** Formation of amylose lipid complexes and effect of temperature treatment. *Starch.* Vol . 55. P : 138–149.
- 94. Turnbull K., 2001.** Quality assurance in a dry pasta factory. In « Pasta and semolina technology ». Kill R.C., Turnbull K. Eds. Blackwell scientific. Oxford. P : 181-221.
- 95. Ugrinovits M., Arrigoni E., Dossenbach A., Haberli G., Hanich H., Rychener M., Thorman M. et Stalder U., 2004.** Céréales, produits de l'industrie meunière, prémélanges pour mélange de farine, farines instantanées. manuel suisse des denrées alimentaires. Chapitre 14. P : 1-15.
- 96. Williams P.C., 1985.** Survey of wheat flours used in the Near East. *Rachis.* Vol. 4. P : 17-20.
- 97. Yettou N., 1998.** Les méthodes instrumentales d'appréciation de la qualité culinaire du couscous de blé dur. Mémoire de Magister. INA, El-Harrach, Alger. 101 pages.

- 98. Yettou N., Aït Kaci M., Guezlane L. et Aït-Amar H., 1997.** Détermination des caractéristiques viscoélastiques du couscous cuit au moyen du viscoélastographe Chopin. Industrie Alimentaire et Agricole. Vol. 12. P : 844-847.
- 99. Yettou N., Guezlane L. et Ounane G., 2000.** Mise au point d'une méthode instrumentale d'évaluation de la délitescence du couscous de blé dur. Symposium blé 2000, en jeux et stratégies. Alger. P : 271 - 276.
- 100. Yousfi L., 1983.** Etude de la stabilité de la qualité du couscous industriel. Mémoire d'ingénieur. INA, El-Harrach, Alger.
- 101. Yousfi L., 2002.** Influence des conditions de fabrication et des modes de préparation sur la qualité du couscous industriel et artisanal. Thèse de magister. Université Mentouri Constantine, Algérie. 140 pages.
- 102. Yu A.B., Standish N. et Lu L., 1995.** Coal agglomeration and its effect on bulk density. Powder Technology. Vol. 82. P : 177-189.

Annexes

ANNEXES

ANNEXE 1



Figure 1. Chaîne AFREM pour la fabrication du couscous



Figure 2. Roulage industriel du couscous



1 : Centrifugeuse pour hydratation homogène ; 2 : Mélangeuse ; 3 : Rouleuse ; 4 : Cuiseur à la vapeur d'eau ;
5 : sécheur (rotante) ; 6 : refroidisseur vibrant ; 7 : plansichter virant pour tamisage

Figure 3. Chaine de STORCI pour la fabrication du couscous

ANNEXE 2

Tableau 1. Délitescence (% ms) des échantillons du couscous

Processus	Echantillon	Délitescence (%)
Artisanal	Moyen	4,89 ± 0,16
	Fin	5,82 ± 0,07
Industriel Complexe MEXICALI (Constantine)	Moyen	5,44 ± 0,22
	Fin	6,20 ± 0,12
Industriel Complexe GRANDS MOULINS DU SUD (Biskra)	Moyen	6,21 ± 0,1
	Fin	6,61 ± 0,21
Industriel Complexe AMOR BENAMOR (Guelma)	Moyen	5,35 ± 0,12
	Fin	6,50 ± 0,21
Industriel Complexe SOPI (Blida)	Moyen	5,72 ± 0,51
	Fin	6,29 ± 0,13

RESUME

Dans ce travail, nous avons étudié la qualité culinaire du couscous industriel et artisanal de blé dur et l'effet de l'adjonction de la matière grasse durant la cuisson sur cette qualité.

Pour répondre à cet objectif, nous avons collecté 8 échantillons du couscous industriel et fabriqué 2 échantillons du couscous artisanal de granulométrie fine et moyenne sur lesquels nous avons réalisé des analyses physico-chimiques et technologiques et caractérisé leur qualité culinaire. Nous avons utilisé 3 types de matière grasse : huile de tournesol (6 ml /100 g ms), margarine végétale et le beurre (8 g/100 g ms). Les paramètres de qualité culinaire évalués sont : le temps de cuisson, le gonflement, la fermeté, le collant et la délitescence.

L'étude de la qualité du couscous révèle que les couscous artisanaux présentent la plus grande résistance à la surcuisson par rapport aux couscous industriels. Par contre, le gonflement est plus marqué chez les produits industriels que les produits artisanaux. De même, la délitescence est plus prononcée chez les produits industriels que chez les produits artisanaux.

L'analyse en composantes principales (ACP) des caractéristiques physico-chimiques et culinaires des échantillons du couscous permet d'observer que le temps optimal de cuisson est négativement corrélé avec la teneur en lipides libres ($r = -0,586$). Par ailleurs, le gonflement du couscous est positivement corrélé avec la masse volumique ($r = 0,743$) et négativement corrélé avec la teneur en protéines ($r = -0,571$) et en cendres ($r = -0,838$). De même, la délitescence est positivement corrélée avec la masse volumique ($r = 0,510$) et négativement corrélée avec la teneur en cendres ($r = -0,584$) et en protéines ($r = -0,586$).

En ce qui concerne l'influence de la matière grasse sur la qualité culinaire du couscous, le temps optimal de cuisson de couscous diminue avec l'augmentation de la dose du gras ajouté. De même, la matière grasse a un impact négatif sur le gonflement du couscous. L'analyse en composantes principale (ACP) des résultats sensoriels montre que la matière grasse est négativement corrélée avec le collant ($r = -0,962$). Mais, elle n'est pas significativement corrélée avec la fermeté ($r = -0,504$) et la délitescence ($r = -0,564$).

Donc, les propriétés culinaires du couscous artisanal sont nettement supérieures à celles des couscous industriels. Malgré l'impact négatif de la matière grasse ajoutée durant la cuisson sur le gonflement du couscous, l'adjonction de cette matière joue un rôle améliorant dans la qualité culinaire du couscous artisanal et industriel.

Mots-clés : couscous, caractéristiques physico-chimiques, matière grasse, qualité culinaire, temps de cuisson, fermeté, gonflement, collant, délitescence.

ABSTRACT

In the present work, we studied the culinary quality of industrial and homemade couscous of durum wheat and the effect of the fat addition during cooking on this quality.

To achieve this objective, we collected 8 samples of industrial couscous and 2 manufactured samples of homemade couscous of fine and average size on which we did physico-chemical and technological analysis and characterized their culinary quality. We used 3 fat types: sunflower oil (6 ml/100 g dm), vegetable margarine and butter (8 g/100 g dm). The evaluated parameters of the culinary quality are: cooking time, swelling, firmness, sticky and cooking loss.

The study of couscous quality reveals that the homemade couscous has the greatest resistance to the overcooking compared to the industrial couscous. On the other hand, swelling appears at the industrial products rather than the homemade products. In addition, cooking loss is more observed at the industrial products than at the homemade products.

The analysis in principal components (ACP) of the physicochemical and culinary characteristics of couscous samples makes it possible to observe that the swelling of the couscous is positively correlated with the bulk density ($r = 0,743$) and negatively correlated with proteins ($r = -0,571$) and ashes content ($r = -0,838$). Likewise, cooking loss is positively correlated with the bulk density ($r = 0,510$) and negatively correlated with the ashes ($r = -0,584$) and proteins content ($r = -0,586$). Moreover, the optimal cooking time is negatively correlated with the free lipids content ($r = -0,586$).

Concerning the influence of the fat on the culinary quality of couscous, the optimal cooking time of couscous decreases with the increase in the amount of added fat. Also, the fat has a negative impact on the couscous swelling. The principal analysis in components (ACP) of the sensory results shows that the fat is negatively correlated with sticky ($r = -0,962$). But, it is not significantly correlated with firmness ($r = -0,504$) and cooking loss ($r = -0,564$).

Therefore, the culinary properties of the homemade couscous are clearly higher than those of the industrial couscous. In spite of the negative impact of the added fat during cooking on the couscous swelling, the addition of this substance plays an improving role in culinary quality of the homemade and industrial couscous.

Key -words: couscous, physicochemical characteristics, fat, culinary quality, cooking time, swelling, firmness, sticky, cooking loss.

ملخص

يهدف هذا العمل إلى دراسة نوعية طبخ الكسكس الصناعي و التقليدي للقمح الصلب ، و كذلك أثر إضافة الدهون خلال عملية الطهي على هذه النوعية.

للوصول إلى هذا الهدف ، جمعنا من جهة ثمانية عينات من الكسكس الصناعي ذو حجم صغير و متوسط ، و كذلك قمنا بصنع عينتين من الكسكس التقليدي ذو حجم صغير و متوسط أيضا. ومن جهة أخرى، إستعملنا ثلاثة أنواع من المواد الدسمة: زيت عباد الشمس (6 مل/100 غ م.ج)، مرجرين نباتية، و زبدة طبيعية (8 غ/100 غ م.ج). خصائص نوعية الطبخ الدروسة هي: مدة الطهي، الإنتفاخ، الصلابة، الإلتصاق ، و التفسخ.

من خلال دراسة نوعية الكسكس، بينت النتائج أن الكسكس التقليدي يظهر مقاومة كبيرة خلال عملية الطبخ الزائد، مقارنة بالكسكس الصناعي. و بالعكس ، نسجل إنتفاخ أكثر عند الكسكس الصناعي مقارنة بالكسكس التقليدي. و نلاحظ أيضا، أن التفسخ يظهر أكثر عند الكسكس الصناعي مقارنة بالكسكس التقليدي.

إن تحليل المركبات الأساسية (ACP) للخصائص الفيزيائية الكيميائية، و خصائص الطبخ لمختلف عينات الكسكس، بين أن إنتفاخ الكسكس مرتبط إيجابيا مع الكتلة الحجمية ($r = 0,743$)، و سلبيا مع محتوى البروتين ($r = -0,571$)، و الرماد ($r = -0,838$). كما أن تفسخ المنتج يظهر إرتباطا إيجابيا مع الكتلة الحجمية ($r = 0,510$) ، و سلبيا مع محتوى الرماد ($r = -0,584$) و البروتين ($r = -0,586$) . أما زمن الطهي فيرتبط سلبيا بمحتوى الدهون الحرة ($r = -0,586$).

إن دراسة تأثير الدهون على نوعية طبخ الكسكس، بينت أن زمن الطهي ينقص بزيادة كمية المواد الدسمة المضافة. كما أن للمواد الدسمة تأثير سلبي على معيار الإنتفاخ. إن تحليل المركبات الأساسية (ACP) لنتائج التحليل الحسي، بين أن الدهون مرتبطة إرتباطا سلبيا و معنويا مع إلتصاق الكسكس ($r = -0,962$) ، و سلبيا و غير معنوي مع معيار الصلابة ($r = -0,504$) و التفسخ ($r = -0,564$). من النتائج السابقة، نستنتج أن للكسكس التقليدي خصائص طبخ أحسن من الكسكس الصناعي. و رغم التأثير السلبي للدهون المضافة خلال عملية الطهي على معيار إنتفاخ الكسكس إلا أنها تبقى تلعب دورا محسنا لنوعية طبخ الكسكس الصناعي و التقليدي.

الكلمات الدالة: كسكس، خصائص فيزيائية كيميائية، مواد دسمة، نوعية الطبخ، زمن الطهي، الإنتفاخ، الصلابة، الإلتصاق، التفسخ.