

République Algérienne Démocratique et Populaire

Université Abdelhamid Ibn  
Badis-Mostaganem  
Faculté des Sciences de la  
Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد ابن باديس  
مستغانم  
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DEPARTEMENT DES SCIENCES ALIMENTAIRES

## MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

**BENAHMED Mechri et GHENNOU Abdelnour**

Pour l'obtention du diplôme de

**MASTER EN SCIENCES ALIMENTAIRES**

**Spécialité : Nutrition et Pathologies**

THÈME

**Couscous fonctionnel à base de  
farines diététiques.**

Soutenu le 25/06/2023

DEVANT LE JURY

Présidente

Pr. SAIDI HOUAT NAWEL

Pr. U. Mostaganem

Examinatrice

Dr. YAHLA IMENE

MCA U. Mostaganem

Encadrante

Pr. ZIAR HASNIA

Pr. U. Mostaganem

Co-directrice de mémoire Melle KEDDAR KAWTAR

4ème année doctorat LMD

## Résumé

Dans la présente étude, nous proposons la substitution partielle (40%) de la semoule de blé dur par de la farine entière de souchet comestible ou de Frick en vue d'en faire un couscous à fonctionnalités diététiques. Les compositions chimique et structurale, les caractéristiques de couleur, technologique, antioxydante et sensorielle des deux couscous fonctionnels comparés au témoin (100% semoule de blé dur), ont été déterminées. Nos résultats ont montré que les teneurs en humidité des trois couscous étaient comprises entre 12.62 à 13.9%. Les couscous témoin et celui à base de souchet comestible présentaient des teneurs en cendres, en protéines et en matière grasses les plus élevées comparés au couscous à base de farine de Frick. La microscopie électronique à balayage environnementale ( $\approx 0\%$  RH) a montré la structure des particules des échantillons de couscous diététiques comparés au couscous témoin où nous avons remarqué que la matrice végétale a conduit au développement de surfaces rigides. Les deux couscous composites présentaient des valeurs de luminance  $L^*$  ou de clarté inférieures à celle observée dans le couscous témoin. Les composantes chromatique  $a^*$  rouge et  $b^*$  jaune étaient distinctes entre les deux types de couscous et aussi comparées au témoin, reflétant la couleur des farines premières utilisées. L'indice de gonflement à la cuisson « IG » des échantillons de couscous diététiques et élaborés était entre 4.5 et 5 au bout de 25 à 30 min de cuisson et comparables à celui noté dans le couscous témoin. Le degré de délitescence DD de nos échantillons de couscous variait de 8.2 à 17% et se situait légèrement en dessus de la fourchette établie. Nos résultats ont aussi indiqué un contenu en gluten sec moins important dans le couscous composite au souchet comestible comparé aux couscous témoin ou à base de Frick. En termes d'activité antioxydante, les couscous fonctionnels au souchet comestible et au Frick affichaient des valeurs supérieures à celle trouvée dans le couscous témoin. L'aspect organoleptique des couscous a révélé une couleur plus foncée pour les couscous fonctionnels comparés au témoin. Ceci n'a apporté aucun effet négatif sur l'acceptabilité du couscous auprès de nos panélistes qui préféraient « énormément » le couscous à base de souchet comestible (84.6%). Il est souhaitable de concrétiser dans le futur proche, l'effet diététique *in vivo* de ces couscous.

**Mots clefs** : Effet diététique, souchet comestible, Frick, semoule de blé dur, analyse chimique, qualité technologique, aspect organoleptique.

## Abstract

In this study, we recommend using nutsedge or Frick flour at 40% and the durum wheat semolina to make a couscous with nutritious functions. The chemical and structural compositions, color, technical, antioxidant, and sensory properties of the two functional couscous were determined in comparison to the control (100% durum wheat semolina). The moisture contents of the three couscous ranged from 12.62 to 13.9%, according to our findings. When compared to Frick flour couscous, the control and edible nutsedge couscous had the maximum ash, protein, and fat levels. Environmental scanning electron microscopy (0% RH) revealed the particle structure of the dietary couscous samples compared to the control couscous, where we observed that the plant matrix resulted in the formation of rigid surfaces. The L\* luminance or brightness levels of both composite couscous were lower than those of the control couscous. The chromatic components a\* red and b\* yellow, were distinguishable between the two varieties of couscous as well as when compared to the control, reflecting the color of the utilized raw flours. After 25 to 30 minutes of cooking, the swelling index (GI) of the dietetic and elaborated couscous samples was between 4.5 and 5, which was equivalent to the control couscous. Our couscous samples had a disintegration degree DD ranging from 8.2 to 17%, which was slightly higher than the defined range. In addition, when compared to control or Frick couscous, the edible nutsedge composite couscous had lower dry gluten content. In terms of antioxidant activity, functional couscous with edible nutsedge or Frick outperformed control couscous. When the functional couscous was compared to the control, its organoleptic appearance indicated a darker color. This had no detrimental impact on the couscous' acceptability among our panelists, who preferred "very much" the couscous with edible nutsedge (84.6%). It would be ideal to confirm the *in vivo* dietary effect of those couscous in the near future.

**Key words:** Dietary effect, edible nutsedge, Frick, durum wheat semolina, chemical analysis, technological quality, organoleptic aspect.

## Liste des abréviations

**L\*** : attribut chromatique clarté, lightness ou luminance d'une farine ou un produit alimentaire selon le système trichromatique CIE.

**a\*** : attribut chromatique rouge-vert ou Redness d'une farine ou un produit alimentaire selon le système trichromatique CIE.

**b\*** : attribut chromatique jaune-bleu ou Yellowness d'une farine ou un produit alimentaire selon le système trichromatique CIE.

# *Dédicace*

*Avec l'aide du bon DIEU, le tout puissant, ce travail est achevé ; je le dédie à  
toutes les personnes qui me sont chères ;*

*mes chers parents, vous avez été mes premiers mentors, mes sources d'inspiration et  
mes plus grands supporters. Vos encouragements constants, vos sacrifices et votre  
confiance en moi m'ont donné la force de poursuivre mes rêves. Votre soutien  
financier, moral et émotionnel a été essentiel à chaque étape de ce voyage. Je suis  
profondément reconnaissant de tout ce que vous avez fait et continuez de faire pour  
moi. Ce mémoire est le fruit de notre amour, de notre persévérance commune et de  
notre complicité. Je vous dédie ce travail avec tout mon amour et ma reconnaissance  
éternelle.*

*A toute ma famille.*

*A tous mes amis.*

*A tous mes enseignants tout au long de mes études. A tous ceux et celles qui me  
sont chers et que j'ai omis involontairement de citer.*

ABDELENOUR

# *Dédicace*

*Avec l'aide du bon DIEU, le tout puissant, ce travail est achevé ; je le dédie à toutes  
les personnes qui me sont chères et j'aime ;*

*Je dédie ce travail à l'être le plus Cher de ma vie ma mère a Celui qui ma fait de moi  
un homme*

*A la mémoire du mon père que dieu lui garde dans son vaste paradis*

*A ma chère sœur Hayet et ses enfants*

*A tous mes amis*

*A toute ma famille*

*A tous mes enseignements*

MECHRI

# Remerciements

*En premier lieu, je tiens à remercier **ALLAH** de m'avoir donné le courage et la volonté d'aller jusqu'au bout et ramener ce présent travail à son point ultime.*

*Nous tenons tout particulièrement à adresser nos remerciements à notre encadrante, **Pr. Ziar Hasnia** qui nous a fait l'honneur de diriger notre mémoire sur un sujet passionnant et nous a bien voulu prendre en charge et nous guidés tout au long de son élaboration. Nous lui sommes très reconnaissants pour ses conseils, sa disponibilité et son sérieux dans le travail*

*Nos remerciement sont adressés également au **Pr. Saadi Houat Nawel** d'avoir accepté de présider le jury et au **Dr. Yahla Imène** d'avoir accepté d'examiner ce modeste travail.*

*Nous remercions tous les enseignants et les étudiants de la promotion de master II Nutrition et pathologie 2022-2023.*

*Enfin nous remercions tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail de recherche ; en l'occurrence Melle Kawtar Keddar.*

## LISTES DES TABLEAUX

<b>Tableau 01 :</b> Ordre de grandeur des teneurs en protéines et en amidon (g/100 g de matière sèche) de la semoule de blé dur, des coproduits générés au cours du processus de fabrication des grains de couscous.....	06
<b>Tableau 02 :</b> Composition physico-chimique (g) du couscous à base de farine de souchet comestible ou de farine de Frick, comparés au couscous témoin.....	26
<b>Tableau 03 :</b> Les caractéristiques chromatiques des farines diététiques utilisées dans la préparation des différents types de couscous.....	29
<b>Tableau 04 :</b> Les caractéristiques chromatiques des couscous diététiques préparés.....	30
<b>Tableau 05 :</b> Degrés de délitescence et contenu en gluten des couscous fonctionnels.....	32
<b>Tableau 06 :</b> Rendement d'extraction (%) des composés phénoliques à partir des échantillons de couscous .....	33
<b>Tableau 07 :</b> Pouvoir antioxydant des échantillons de couscous.....	34
<b>Tableau 08 :</b> Classement par rang des différents couscous élaborés et cuits.....	36

## LISTES DES FIGURES

<b>Figure 01 :</b> Observation de la microstructure des particules de semoule de blé dur par microscopie électronique à balayage (Saad, 2011). .....	04
<b>Figure 02 :</b> Représentation schématique des transitions et des zones de réactivité physico-chimique des composants du blé (amidon et protéines) en fonction des conditions de température et de teneur en eau (Abecassis, 2012 ; Cuq, 2001 ; Ruiz, 2014).....	06
<b>Figure 03 :</b> Diagramme de production et modèle structurel pour la transformation des grains de couscous à partir de semoule de blé dur (Ruiz, 2014). .....	09
<b>Figure 04 :</b> Diagramme des chemins hydrothermaux pour chaque opération unitaire du procédé du grain de couscous sur le diagramme d'état des composants du blé dur .....	11
<b>Figure 05 :</b> Représentation schématique des mécanismes d'agglomération par voie humide de la semoule de blé dur pour la génération d'agglomérats (Ruiz, 2014). .....	11
<b>Figure 06 :</b> Schéma de la fabrication traditionnelle du couscous selon le procédé artisanal utilisé dans le nord de la Méditerranée.....	12
<b>Figure 07 :</b> Les ustensiles utilisés pour la fabrication domestique du couscous en Tunisie ..	13
<b>Figure 08 :</b> (Guassâa) en aluminium (a) et en terre cuite (b). .....	13
<b>Figure 09 :</b> Différents tamis utilisés pour le calibrage de la semoule et le façonnage du couscous .....	14
<b>Figure 10 :</b> Exemples de couscoussiers, cuiseurs à vapeur traditionnels pour la préparation du couscous, en cuivre (a) ou en métal (aluminium) (b).....	15
<b>Figure 11 :</b> Classification de la semoule : (a) tamis utilisé pour la classification de la semoule appelée (ghorbel) en arabe et (agherval); en langue berbère ; (b) classification de la semoule ; (c) semoule séparée en 2 fractions : semoule grossière (CS) et semoule fine (FS).....	15
<b>Figure 12 :</b> Vue d'ensemble du couscous traditionnel fait à la main selon la méthode utilisée dans le nord de la Méditerranée .....	18
<b>Figure 13 :</b> Les tubercules de souchet comestible et les grains de Frick utilisés dans cette étude. ....	21

<b>Figure 14</b> : Diagramme de la fabrication artisanale de couscous fonctionnel.....	22
<b>Figure 15</b> : Vue générale des grains de couscous et détail de leur surface par microscopie électronique à balayage environnementale à 0% d'humidité relative pour les échantillons de couscous diététiques .....	28
<b>Figure 16</b> : Indice de gonflement (IG) des gains de couscous pendant la cuisson.....	31
<b>Figure 17</b> : Aspect organoleptique des couscous préparés dans cette étude. 211 : couscous témoin 100% blé dur ; 212 : couscous à 40% de farine de souchet comestible ; 213 : couscous à 40% de farine de Frick .....	35
<b>Figure 18</b> : Résultats du test hédonique des couscous préparés dans cette étude.....	37

## Table des matières

Remerciements .....	
Résumé .....	
Abstract .....	
Liste des abréviations .....	
LISTES DES FIGURES .....	
LISTES DES TABLEAUX.....	
INTRODUCTION .....	01
Chapitre I : I.1. L'histoire du couscous .....	03
I.1. 1. Origines .....	03
I.1. 2. Étymologie .....	03
I.1. 3. Migration .....	03
I.1. 4. Semoule de blé dur .....	04
I.2. Diagramme d'état des composants du blé dur.....	04
I.2.1. Caractéristiques physiques .....	04
I.2.2. Composition et réactivité des composants .....	05
I.2.3. Plastification et diagramme d'état des composants .....	07
I.2.4. Diagramme de processus et mécanismes de structuration .....	08
Phase 01 .....	08
Phase 02 .....	08
Phase 03 .....	09
Phase 04 .....	09
I.2.5. Agglomération .....	10
Chapitre II : Production traditionnelle de couscous. ....	12
II.1. La fabrication du couscous .....	12
II.2. Préparation et classification de la semoule .....	14
II.2.1. Choix de la semoule .....	14

II.2.2. Hydratation et mélange .....	16
II.2.3. Roulage et étalonnage .....	16
II.2.3.1. Nucléation .....	16
II.2.3.2. Mise en forme .....	16
II.2.4. Tamisage .....	17
II.2.5. Finition .....	17
II.2.6. Cuisson à la vapeur .....	17
II.2.7. Séchage .....	19
II.2.8. Notation .....	19
II.3. Préparation du couscous pour consommation .....	19
Partie II .....	21
La partie expérimentale .....	21

### CHAPITRE III MATERIELS ET METHODES

III.1. Matériels .....	22
III.1.1. Matériel biologique .....	22
III.2. Méthodes .....	23
III.2.2. Extraction des composés phénoliques libres et liés des échantillons de couscous ....	24
III.2.3. Mesure de la couleur .....	24
III.2.4. Appréciation de la qualité des couscous .....	24
Détermination de l'indice de gonflement .....	24
Détermination du degré de délitescence (DD) .....	24
III.2.5. Analyse chimique .....	25
III.2.6. Activité antioxydante .....	25
III.2.7. Analyses sensorielles .....	26
III.3. Analyse statistique.....	26

### Chapitre IV: Résultats et discussion

IV.1. Composition physico-chimique des couscous.....	27
IV.2. Microstructure des couscous .....	28

IV.3. Analyse de la couleur .....	30
IV.3.1. Couleur des matières premières .....	30
IV.3.2. Couleur des couscous .....	31
IV.4. Qualités technologiques.....	32
- Indice de gonflement .....	32
- Degrés de délitescence et taux du gluten.....	33
IV.5. Qualités antioxydantes .....	34
Rendement de l'extraction .....	34
Expression du pouvoir antioxydant par DPPH et FRAP.....	35
IV.6. Qualités sensorielles.....	36
Aspect organoleptique.....	36
Classement par rang.....	37
Test hédonique.....	37
Conclusion.....	39
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	

# **INTRODUCTION**

# INTRODUCTION

Le couscous fonctionnel est une présentation innovante et nutritive du couscous traditionnel qui utilise des farines diététiques. Cette version du célèbre plat d'Afrique du Nord offre une alternative saine et délicieuse en incorporant les bienfaits des ingrédients nutritifs et actifs des farines diététiques dans chaque bouchée. En plus de ses qualités nutritionnelles, le couscous fonctionnel est également polyvalent en cuisine. Il peut être préparé de la même manière que le couscous traditionnel, en le cuisant à la vapeur pour obtenir une texture légère et moelleuse. On peut l'accompagner de légumes, de viandes maigres ou de poissons, ainsi que d'épices et d'herbes aromatiques pour créer une expérience gustative unique.

Le couscous se caractérise en effet par une teneur réduite en matières grasses et un faible indice glycémique. De plus, il s'agit d'un aliment à base de céréales et il est connu que ces céréales contiennent une large gamme de composés phénoliques, notamment des acides benzoïques et cinnamiques, des anthocyanidines, des quinones, des flavonols, des chalcones, des flavanones et des aminophénols, qui ont des effets positifs sur la santé humaine. Cependant, la quantité de polyphénols dans les céréales est très variable selon qu'il s'agit de grains entiers ou raffinés et dépend, également, de la variété de céréales et de la procédure de mouture.

Ces dernières années, les pays industrialisés ont de plus en plus mis l'accent sur une alimentation plus saine, ce qui, conjugué à la demande constante des consommateurs pour de nouveaux aliments tels que des aliments nouveaux sans gluten et complets, a encouragé l'industrie du couscous à produire et à commercialiser des produits dans lesquels le blé dur a été partiellement ou totalement remplacé par d'autres céréales, des pseudo-céréales ou des farines de légumineuses, tout en conservant les formes traditionnelles (**Schoenlechner, 2016**).

Ce couscous fonctionnel à base de farines diététiques est une excellente option pour ceux qui cherchent à ajouter plus de nutriments à leur alimentation, tout en savourant un plat délicieux et gratifiant. Il incarne l'innovation culinaire en combinant les bienfaits des légumineuses avec la tradition et la convivialité du couscous et ce, que ce soit pour des raisons de santé ou simplement pour diversifier les repas.

Le frick est les grains de blé dur mais verts car il a été récolté avant sa maturité. Les épis ont été légèrement brûlés pour stopper la germination des grains, puis séchés au soleil.

## ***INTRODUCTION***

---

Les grains peuvent rester entiers ou sont concassés. Le frick est très tendre, a une saveur assez sucrée et un petit goût de fumée.

Très utilisé dans la cuisine orientale depuis des millénaires, le frick entre dans la composition de nombreuses recettes salées ou sucrées dont la fameuse « chorba Fick » algérienne. Dans l'est du bassin méditerranéen (Jordanie, Syrie, Liban,...), il est cuisiné en soupe, mais aussi en plat principal, mélangé à de la viande (agneau, poulet) et bien assaisonné (avec de la cannelle, entre autre, pour équilibrer ce goût fumé).

La farine de souchet comestible (pois sucré) est riche en nutriments et ont une large gamme d'applications. Elle peut être transformée en biscuits, en boissons et en pain sans gluten (**Aguilar et al., 2014**) grâce à sa saveur sucrée et noisette, ses fibres alimentaires et ses sucres fermentescibles. En outre, le pois sucré possède certaines propriétés médicales.

La demande en produits sans gluten augmente en raison de l'augmentation de la prévalence de la maladie cœliaque, mais la production de produits céréaliers sans gluten et de haute qualité est un grand défi (**Demirkesen et al., 2011**). Afin de pouvoir proposer une version fonctionnelle du couscous algérien, les farines de souchet comestible et de Frick ont été introduites à côté de la semoule afin de réaliser une combinaison parfaite de goût et de valeur nutritionnelle.

# **CHAPITRE I :**

**Le couscous un plat méditerranéen.**

## Chapitre I : Le couscous un plat méditerranéen.

### I.1. L'histoire du couscous

#### I.1. 1. Origines

Le couscous est un produit alimentaire très ancestral, vieux de près de 2000 ans (**Hammami, 2020**). Les origines combinées entre les habitudes alimentaires berbères et celles provenant d'Andalousie suite à la vague de migration massive des musulmans et des juifs après la chute de l'Andalousie aux mains des chrétiens font partie des nombreuses caractéristiques historiques du couscous. Une partie de l'origine du couscous est liée aux Numides, la population berbère de Numidie. L'historien culinaire Lucie Bolens décrit des pots primitifs qui ressemblent étroitement au principal ustensile de cuisine de couscous, qui est le couscoussier, trouvé en Kabylie dans des tombes datant de la période de roi berbère Massinissa, qui régna sur l'Algérie entre 238 et 149 av. J.-C. (**Samrakandi, 2006**) Archéologique des preuves trouvées en Afrique du Nord datant du 10<sup>ème</sup> siècle couvrent les ustensiles de cuisine nécessaire pour préparer le couscous. La cuisson à la vapeur de grains sur un bouillon dans un pot spécial a été découverte pour la première fois dans la partie occidentale de l'Afrique du Nord.

Les Berbères ont inventé une façon originale d'humidifier légèrement et de rouler la semoule de blé dur en petits grains sphériques et succulents. Le couscous était de base la préparation des Berbères avant même la conquête arabe. Ni dans le monde antique ni dans le monde arabe oriental connaît-on cette façon de traiter les grains. Les premières références émis sur le couscous ont été écrits au 13<sup>ème</sup> siècle dans le livre de cuisine nord-africain.

#### I.1. 2. Étymologie

L'étymologie du mot couscous, connue dans le monde entier, peut être dérivée du mot arabe "kaskasa" et se rapportant également à son "keskes" provenant du tamisage des grains ou du mot berbère "seksu" signifiant "bien roulé" ou "bien formé" (**Chemache, 2018**). Le couscous ou "seksu" se prononce "koos-koos" en langue berbère.

#### I.1. 3. Migration

Le couscous a été répandu par les Arabes du bassin méditerranéen dans toute l'Europe en le 17<sup>ème</sup> siècle et s'est déplacé vers les Amériques avec des cargaisons portugaises du Maroc. Le bassin méditerranéen connaît d'importants flux migratoires : souvenirs, sens, images, goûts et les arômes voyagent avec des groupes ou des individus en mouvement (**Hammami, 2020 ; Caglar,**

**1995 et Béji-Bécheur, 2014).** Au XVI<sup>e</sup> siècle, le couscous arriva en Turquie depuis la Syrie. En 1699, une lettre mentionne le couscous répandu en France et en Bretagne. Les migrants méditerranéens d'Espagne, d'Italie et de Malte faisaient partie de la population européenne du vivant le nord de l'Afrique. Depuis la fin du siècle dernier, le couscous maghrébin s'est répandu dans de nombreux pays du monde. Aujourd'hui, le couscous est produit et mangé dans le monde entier.

#### **I.1. 4. Semoule de blé dur**

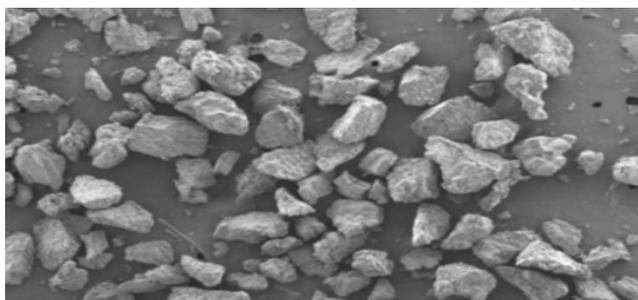
Le couscous n'est pas né par hasard et était la réponse à un besoin. En Afrique du Nord, le couscous est fabriqué à partir de semouline de blé dur. Au-delà des aspects agronomiques et technologiques, la semouline de blé de *Durum* est fermement ancrée dans le régime régional méditerranéen. La semouline de blé de *Durum* est une matière première « traditionnelle » pour la production de plats que l'on trouve dans le Maghreb et la Méditerranée avec une couleur et une qualité parfaitement correspondantes (**Kaup, 1994**). Semé à l'automne pour germer sous la pluie, d'où son nom de « blé d'hiver », le blé contient beaucoup de protéines (**Toussaint, 1994**).

### **I.2. Diagramme d'état des composants du blé dur**

La semoule de blé dur est la matière première traditionnelle pour la fabrication des grains de couscous (**Abecassis, 2012 et Ruiz, 2014**). La semoule est extraite par broyage des grains et correspond principalement à l'endosperme amylicé.

#### **I.2.1. Caractéristiques physiques**

La semoule de blé dur est une poudre à faible teneur en eau (10-14%) formée de particules hétérogènes et non poreuses (**Figure 1**). Elle présente une forte dispersion de diamètre (entre 100 et 400  $\mu\text{m}$ ) avec un diamètre médian ( $d_{50}$ ) de près de 300  $\mu\text{m}$ .



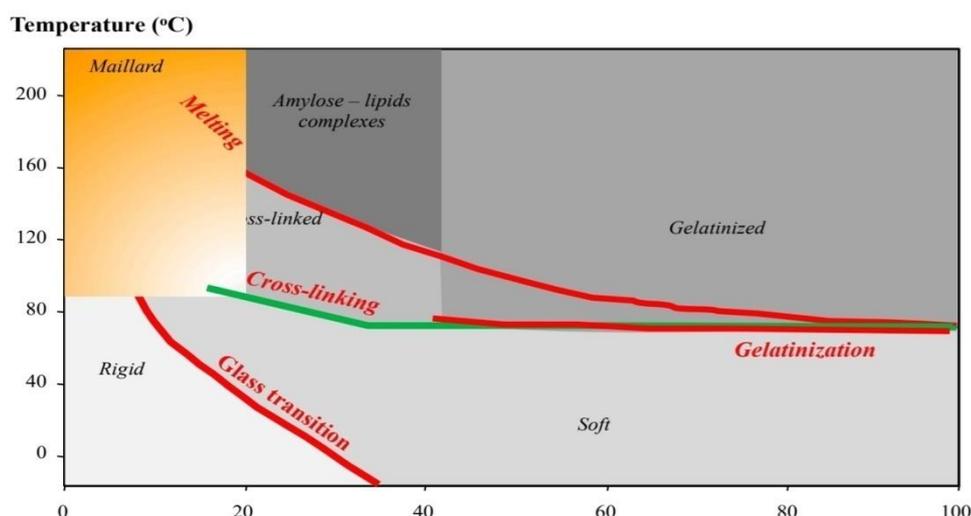
**Figure 1 :** Observation de la microstructure des particules de semoule de blé dur par microscopie électronique à balayage (**Saad, 2011**).

### I.2.2. Composition et réactivité des composants

Les deux principaux composants de la semoule de blé dur sont l'amidon et les protéines (**tableau 1**), avec de faibles quantités de lipides, de fibres et de minéraux (**Abecassis, 2012 et Ruiz, 2014**). Les propriétés physico-chimiques de l'amidon et des protéines peuvent être décrites à l'aide d'un diagramme d'état montrant leur réactivité physicochimique en fonction de la température et de la teneur en eau (**figure 2**) (**Ruiz, 2014**).

**Tableau 1** : Ordre de grandeur des teneurs en protéines et en amidon (g/100 g de matière sèche) de la semoule de blé dur, des co-produits générés au cours du processus de fabrication et des grains de couscous sec (**Abecassis, 2012 ; Ruiz, 2014**).

Composition	Blé dur La semoule	Recyclas humides	Cuit et sec	Plage autorisée
Teneur en eau	13 -15	30 - 35	08 - 11	10 - 13
Teneur en amidon gélatinisé	84 - 88	84 - 88	84 - 88	84 - 88
Teneur en amidon gélatinisé	04 - 06	15 - 25	80 - 90	80 - 90
Teneur en amidon gélatinisé	11 - 15	11 - 15	11 - 15	11 - 15
Teneur en protéines solubles	11 - 13	09 - 11	02 - 04	02 - 04
Teneur totale en pentosanes	01 - 02	01 - 02	01 - 02	01 - 02
Teneur en pentoses solubles	0 - 0.1	0 - 0.1	0 - 0.1	0 - 0.1



**Teneur en eau (g / 100 g de matière sèche)**

**Figure 2 :** Représentation schématique des transitions et des zones de réactivité physico-chimique des composants du blé (amidon et protéines) en fonction des conditions de température et de teneur en eau (Abecassis, 2012 ; Cuq, 2001 ; Ruiz, 2014)

L'amidon est le principal composant (70-75%) de la semoule de blé dur. L'amidon est un assemblage de chaînes d'amylose linéaires et de chaînes d'amylopectine ramifiées qui interagissent par le biais de liaisons H. À l'état natif, les molécules d'amidon sont regroupées dans des granules d'amidon sphériques individualisés (diamètre compris entre 1 et 20  $\mu\text{m}$ ). Dans les granules d'amidon, les macromolécules sont assemblées en couches concentriques alternativement cristallines et amorphes. Pour la fabrication du couscous, l'amidon est principalement impliqué par ses propriétés fonctionnelles

D'absorption d'eau et de gélatinisation, qui s'expriment lors de procédés à des températures supérieures à 50-60 °C et à des teneurs en eau supérieures à 40 % (Figure 2) (Abecassis, 2012 et Ruiz, 2014). Au cours du traitement du couscous, la gélatinisation de l'amidon est décrite comme la disparition des structures cristallines et la libération partielle de certaines chaînes d'amylose. L'application de traitements thermiques supérieurs à 100 °C pourrait induire la formation d'interactions non covalentes entre les chaînes d'amylose libérées et les lipides présents qui conduisent à la formation de complexes amylose-lipides (Figure 2).

Les protéines du blé représentent 10 à 14 % de la semoule et sont structurées sous forme de fibrilles amorphes individuelles situées autour des granules d'amidon. Les protéines sont

stabilisées par la présence d'une forte densité de liaisons à faible énergie (principalement des liaisons H et des interactions hydrophobes) et de quelques liaisons disulfures covalentes. À des températures supérieures à 70 °C, les groupes thiols présents sur les chaînes de protéines peuvent participer à des réactions de réticulation via les liaisons disulfures covalentes. Formation de ponts disulfures (**Figure 2**) (**Abecassis, 2012 et Ruiz, 2014**). Certaines protéines (alpha-amylases, (lipolyse-gênasse, poly phénol-oxydases) présentent une activité enzymatique qui peut avoir des conséquences technologiques sur le couscous.

La réaction de Maillard peut se produire entre la fonction amine libre d'une protéine et le groupe carbonyle d'une fonction réductrice des sucres. La réaction de Maillard est principalement observée dans des conditions de température élevée (80 °C) et de faible teneur en eau (18%) (**Figure 2**) et conduit à des composés volatils et/ou colorés.

### **I.2.3 Plastification et diagramme d'état des composants**

Les changements de structure et de réactivité des principaux composants du blé ont été décrits en fonction de la température et de la teneur en eau sur leur diagramme d'état (**Figure 2**) (**Ruiz, 2014 et Cuq, 2001**). Dans la semoule native à 20 °C et 12% de teneur en eau, la structure des macromolécules est stabilisée par une forte densité de liaisons H, à l'état amorphe (amidon et protéines) et/ou cristallin (amidon). La forte densité de liaisons H contribue à leur faible mobilité et à leur faible disponibilité pour participer aux réactions.

La plastification est associée à la sensibilité des liaisons H aux changements de température ou de teneur en eau (**Cuq, 2003**). La plastification thermique décrit la diminution de la densité des liaisons H entre les macromolécules en raison d'une augmentation de la température. La plastification moléculaire décrit la capacité des molécules d'eau ajoutées à établir des liaisons H avec les groupes hydrophiles des macromolécules, ce qui induit une diminution globale de la densité d'interaction entre les macromolécules.

Au cours de la transformation de la semoule native, de légères augmentations de la température et/ou de la teneur en eau réduisent donc la densité des liaisons H, ce qui permet des mouvements locaux de faible amplitude, impliquant des groupes localisés de chaînes de macromolécules (**Abecassis, 2012 et Ruiz, 2014**). Ces évolutions modérées sont observées jusqu'à une zone de transition brutale, qui correspond à l'expression de phénomènes coopératifs générant des mouvements de grande amplitude impliquant l'ensemble des chaînes de macromolécules. Cette zone de transition brutale est appelée (transition vitreuse) pour les structures amorphes et (fusion) pour les structures cristallines. La construction du diagramme

d'état des composants du blé dur en fonction de la température et de la teneur en eau permet de localiser leurs zones de transition et les différentes zones de réactivité.

La transition vitreuse des structures amorphes sépare deux états (**Abecassis, 2012 et Ruiz, 2014**). En dessous de la transition vitreuse (c'est-à-dire à basse température et/ou teneur en eau), la forte densité de liaisons H décrit l'état (vitreux) : les macromolécules sont peu mobiles et ne sont pas disponibles pour participer aux réactions. Au-dessus de la transition vitreuse (c'est-à-dire à haute température et/ou teneur en eau), la faible densité des liaisons H décrit l'état (caoutchouteux): les macromolécules sont mobiles et peuvent participer aux réactions. La zone de transition vitreuse est classiquement décrite par une plage de température à une teneur en eau donnée. La diminution de la température de transition vitreuse sous l'effet d'une augmentation de la teneur en eau reflète l'équivalence de la plastification thermique et moléculaire. Dans le cas du blé dur, la transition vitreuse affecte les structures amorphes des protéines et des chaînes d'amidon à l'intérieur des granules.

Au-dessus de la température de transition vitreuse à des températures supérieures à 80 °C, les protéines sont disponibles pour participer à la réticulation. Au-dessus de la transition vitreuse à température ambiante, une augmentation de la teneur en eau peut activer les activités enzymatiques.

#### **I.2.4 Diagramme de processus et mécanismes de structuration**

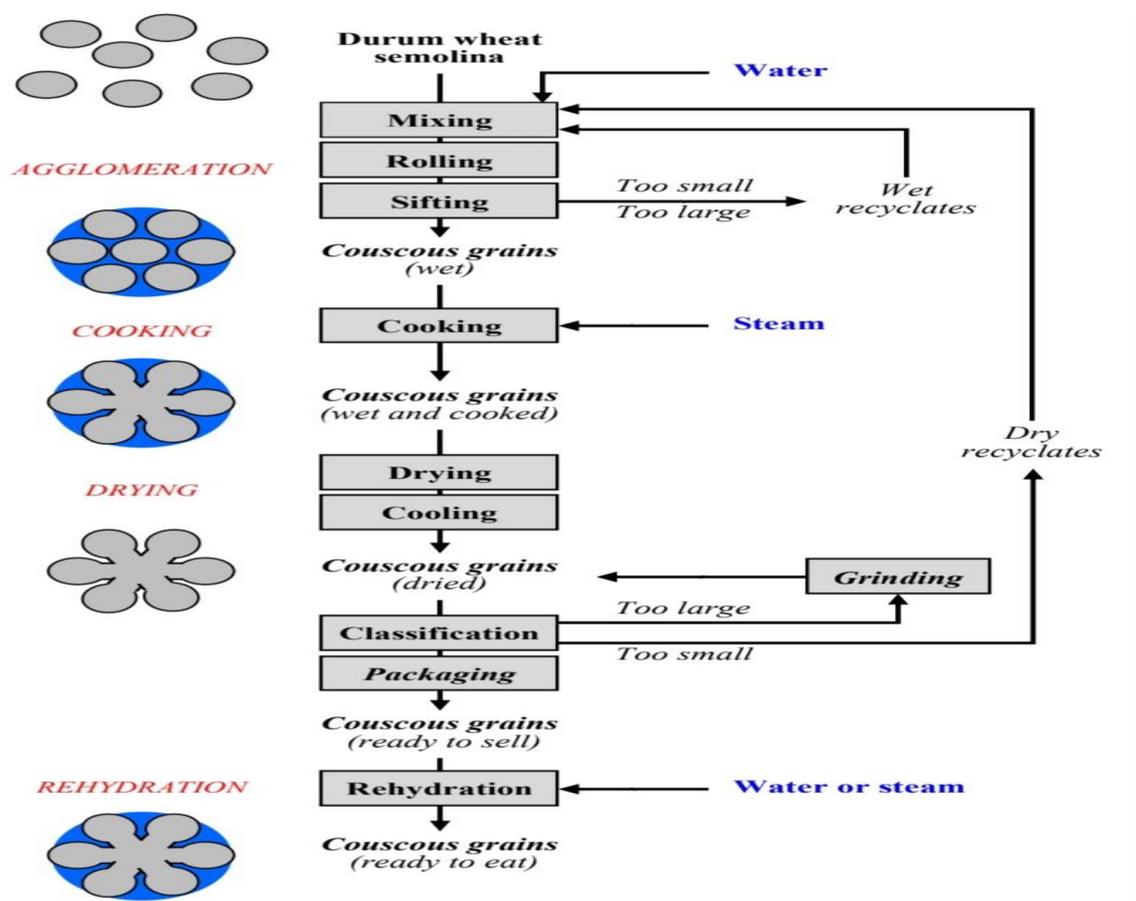
Les grains de couscous sont fabriqués à partir de semoule de blé dur selon des opérations unitaires successives. Un modèle structurel pour décrire la transformation des particules de semoule de blé dur en grains de couscous est proposé en considérant quatre phases (**Figure 3**) (**Abecassis, 2012 et Ruiz, 2014**).

**Phase 1 :** Les particules de semoule natives sont agglomérées par ajout d'eau et mélange pour générer la structure granulaire des grains de couscous. L'étape d'agglomération est suivie d'une étape de classification granulométrique afin de sélectionner les grains qui répondent aux spécifications granulométriques et d'isoler les grains trop petits ou trop gros, qui seront recyclés.

**Phase 2 :** Les grains humides sont consolidés par un traitement à la vapeur afin de renforcer la structure interne. La structure de la semoule est assurée par la gélatinisation de l'amidon, la réticulation des protéines et la formation de complexes amylose-lipides. Ces composants forment une colle entre les particules de semoule.

**Phase 3 :** Les grains cuits sont séchés afin d'éliminer une grande partie de l'eau. pour assurer la stabilité physico-chimique et microbiologique des grains de couscous, en réduisant L'activité de l'eau à environ 0.5.

**Phase 4 :** Les grains de couscous séchés doivent être réhydratés avant d'être consommés. Réhydrata- La cuisson peut être complétée par l'ajout d'eau froide, par la cuisson la vapeur ou par l'immersion dans l'eau chaude. Cette étape est essentielle pour donner aux grains de couscous la texture ferme et fondante.



**Figure 3 :** Diagramme de production et modèle structurel pour la transformation des grains de couscous à partir de semoule de blé dur (Ruiz, 2014).

La description du processus du grain de couscous sur le diagramme d'état des composants du blé dur permet de relier les changements des paramètres du processus pour chaque opération unitaire avec les mécanismes induits (**Figure 4**) (**Ruiz, 2014**).

### **I.2.5. Agglomération**

L'agglomération de la semoule est induite par l'ajout simultané d'eau (jusqu'à une teneur en eau d'environ 45%) et le mélange, à température constante autour de 20-25 °C. Les mécanismes D'agglutination correspondent à la structuration par l'assemblage de petites particules de semoule pour former des agglomérats plus importants.

Une quantité nécessaire et suffisante d'eau doit être ajoutée pour induire la formation de contacts cohésifs entre les particules natives, générer une structure granulaire et assurer la cohésion interne des agglomérats (**Ruiz, 2014**). Le mélange assure la dispersion homogène de l'eau, favorise les contacts entre les particules hydratées et génère des mécanismes de croissance (**figure 5**). Propriétés d'hydratation de la semoule et les mécanismes d'agglomération humide par mouillage et mélange ont été étudiés dans plusieurs fonctionne (**Chemache, 2018 et Deng, 2019**). La multiplicité des mécanismes identifiés lors de l'agglomération des la semoule contrôle les caractéristiques des grains de couscous.

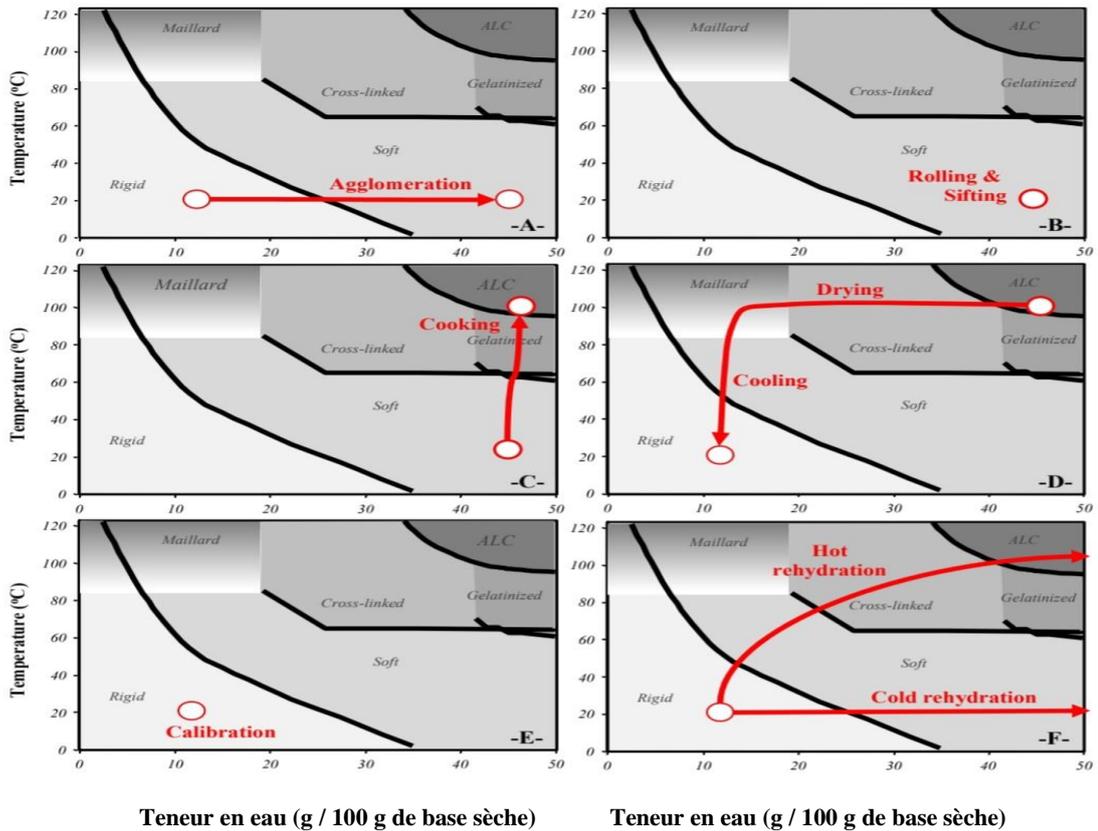
L'étape d'hydratation et de mélange joue un rôle essentiel dans les mécanismes d'agglomération des particules de semoule, générant différentes structures granulaires hétérogènes (**Hébrard, 2003**).

- Les particules fines (diamètre 0,5 mm) sont des particules résiduelles de semoule native ou de petites particules humides générées par des mécanismes d'érosion de plus grands agglomérats.

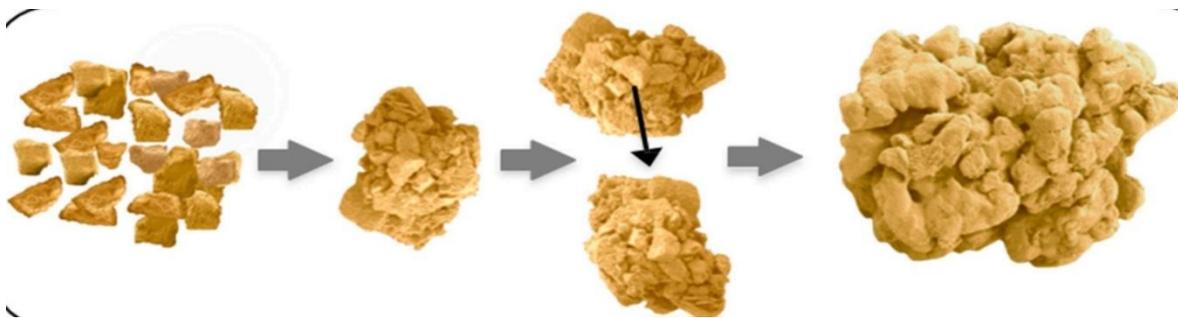
- Noyaux humides (0,5 diamètre 0,8 mm).

- Les agglomérats humides (0,8 diamètre 2 µm) sont les structures recherchées et donneront les grains de couscous.

- Gros morceaux de (pâte) (2 mm diamètre).



**Figure 4 :** Diagramme des chemins hydrothermiques pour chaque opération unitaire du procédé du grain de couscous sur le diagramme d'état des composants du blé dur (ALC représente les complexes amylose-lipides) : (A) étape d'agglomération ; (B) étape de laminage et de tamisage ; (C) étape de cuisson ; (D) étape de séchage et de refroidissement ; (E) étape d'étalonnage ; (F) stade de réhydratation (Abecassis, 2012).



**Figure 5 :** Représentation schématique des mécanismes d'agglomération par voie humide de la semoule de blé dur pour la génération d'agglomérats (Ruiz, 2014).

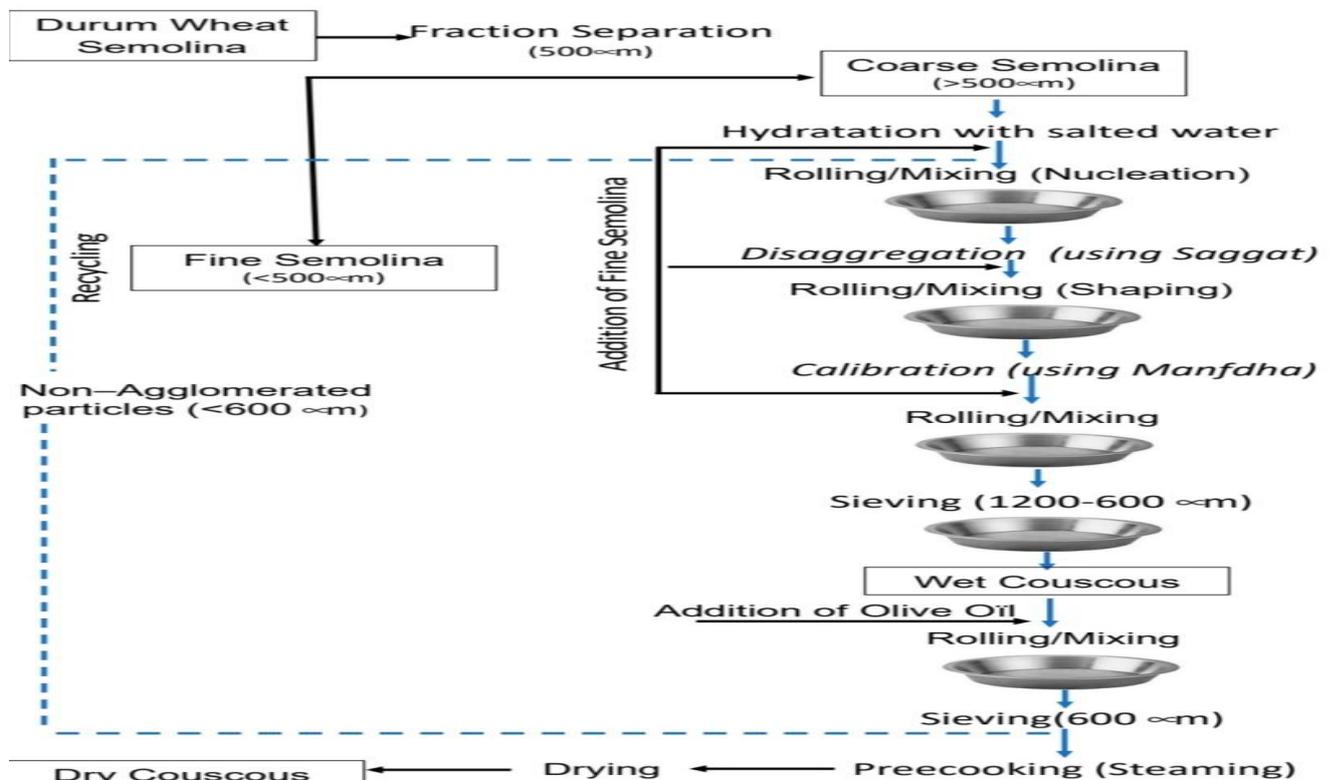
## **CHAPITRE II :**

# **Production traditionnelle de couscous.**

## Chapitre II : Production traditionnelle de couscous.

### II.1. La fabrication du couscous

La fabrication du couscous artisanal ou domestique se fait en été (de mai à septembre) à la maison dans une pièce propre et bien ventilée (Hammami, 2020). Des femmes expérimentées se consacrent à la fabrication du couscous en suivant des étapes successives (figure 6). La production traditionnelle de couscous nécessite une main-d'œuvre importante. Le processus consiste à mélanger de l'eau et de la semoule de blé dur dans un grand plat en bois, puis à frotter le mélange entre les paumes des mains pour former des agglomérats ou de petits granulés de forme irrégulière. Les granulés sont ensuite séparés par un ensemble de tamis appropriés et la portion souhaitée est conservée. Le contrôle des processus d'agglomération et d'hydratation est très important pour produire un couscous de la qualité souhaitée. Dans les pays du Maghreb, les procédés de fabrication du couscous artisanal diffèrent d'une région à l'autre, voire d'une personne à l'autre. Les détails concernant la préparation ethnique du couscous en Tunisie sont présentés dans les sections suivantes.



**Figure 6 :** Schéma de la fabrication traditionnelle du couscous selon le procédé artisanal utilisé dans le nord de la Méditerranée.

Dans les pays du Maghreb, le couscous est encore préparé manuellement (**figure 7**) à la maison à l'aide de différents ustensiles (**Hammami, 2020**). L'humidification et le roulage de la semoule sont effectués sur la ( guassâa ) un large bol et une plaque creuse en bois ou en argile d'aluminium (**figure 8**). Le calibrage et L'étalonnage des grains humides sont effectués sur différents tamis appelés ( saggat), (manfdha), (thannaya) et (tallâa) (**figure 9**), en fonction de l'ouverture des mailles (2.3, 1.2, 1 et 0.6 mm),



**Figure 7** : Les ustensiles utilisés pour la fabrication domestique du couscous en Tunisie.

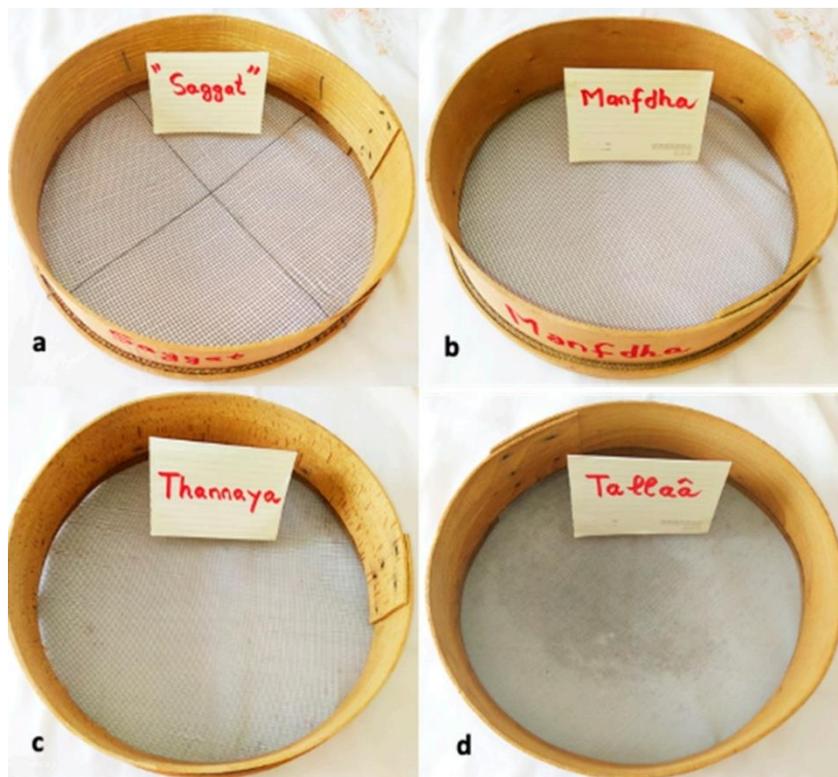


**Figure 8** : (Guassâa) en aluminium (a) et en terre cuite (b).

## II.2. Préparation et classification de la semoule

### II.2.1. Choix de la semoule

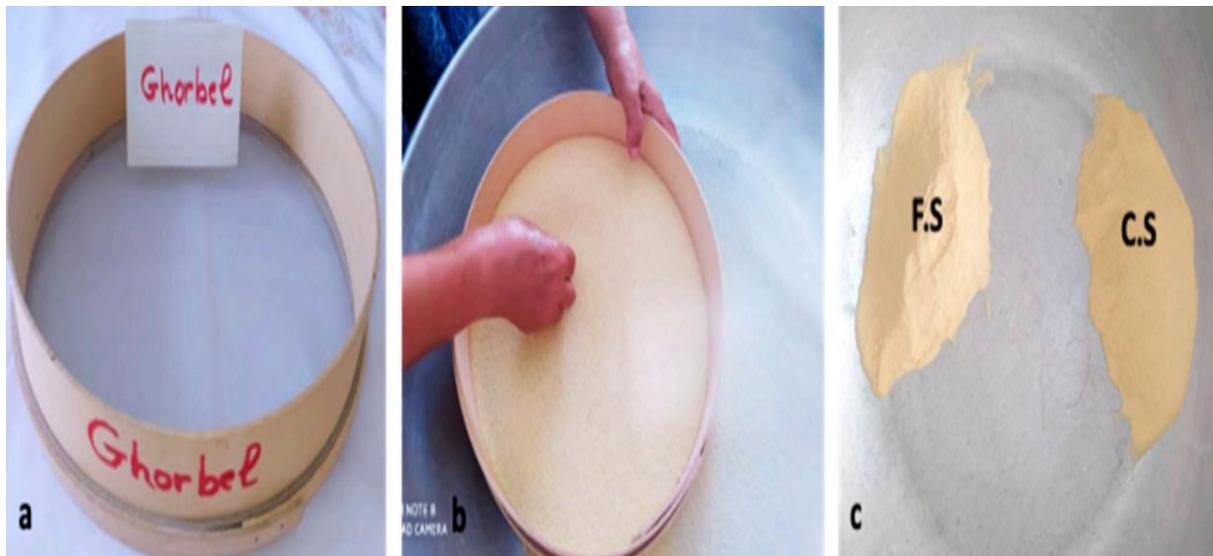
Le couscous maison est classiquement préparé à partir de semoule grossière. La classification de la semoule est effectuée pour séparer deux fractions à l'aide d'un tamis à ouverture de maille de 0.5 mm (appelé ghorbel chaâr) : la semoule grossière (appelée fetla) et la semoule fine (appelée dkak ) ( **figure 11**). La classification améliore le rendement d'agglomération de la semoule en permettant la formation d'agglomérats plutôt que d'amas de pâte. En Algérie, la fabrication du couscous artisanal obéit à l'étape de classification, mais la semoule grossière est utilisée directement sans tamisage.



**Figure 9** : Différents tamis utilisés pour le calibrage de la semoule et le façonnage du couscous : (a) (saggat) utilisé pour la désagrégation des grumeaux ; (b) (manfdha) utilisé pour le calibrage du couscous ; (c) (thannaya) utilisé 2 ou 3 fois pour le tamisage du couscous ; (d) (tallâa) utilisé pour le tamisage et la finition de la semoule.



**Figure 10** : Exemples de couscoussiers, cuiseurs à vapeur traditionnels pour la préparation du couscous, en cuivre (a) ou en métal (aluminium) (b).



**Figure 11** : Classification de la semoule : (a) tamis utilisé pour la classification de la semoule appelée (ghorbel) en arabe et (agherval); en langue berbère ; (b) classification de la semoule ; (c) semoule séparée en 2 fractions : semoule grossière (CS) et semoule fine (FS).

## II.2.2. Hydratation et mélange

L'agglomération humide est généralement réalisée dans la (guassâa) (**figure 12a,b**). Elle nécessite le double effet du mélange et de l'ajout d'eau froide salée sur la semoule grossière qui permet l'adhérence des particules. Cette étape critique conduit à l'agglomération de la semoule pour former les grains de couscous (**Lefkir, 2017**). Il est très important d'obtenir un mouillage homogène de la semoule et d'assurer la formation de pâtons qui rendront l'opération de laminage difficile. L'eau froide permet d'éviter la formation de gros agglomérats. Du sel est ajouté (la teneur en sel est de 1.6 %) pour améliorer la saveur du produit final. Les caractéristiques des agglomérats humides obtenus contribuent grandement à la qualité du grain de couscous final.

## II.2.3. Roulage et étalonnage

Le laminage est l'opération de mise en forme du couscous par agglomération des particules de semoule hydratée. Cette opération se déroule en quatre sous-étapes principales : la nucléation, le façonnage, le tamisage et la finition.

### II.2.3.1. Nucléation

Le processus de laminage commence par l'arrosage et le mélange simultanés des deux fractions de semoule. Tout d'abord, l'arrosage est effectué progressivement avec de petits volumes d'eau salée à l'aide d'une louche ou à la main (**figure 12b**). Dans un deuxième temps, l'ensemble est mélangé par mouvements circulaires avec les doigts de la main à demi pliés pour répartir le liquide de mouillage dans le lit de poudre de façon homogène (**figure 12c**). L'ajout de petites quantités de semoule fine permet d'initier la nucléation des particules (**figure 12d**).

### II.2.3.2. Mise en forme

Les grains primaires formés lors de l'étape d'hydratation sont cultivés par l'addition de semoule fine (**Chemach, 2018**). A ce stade, le laminage est effectué en appliquant des mouvements énergiques et circulaires avec la paume sur le lit de particules (**figure 12e**). La semoule fine s'agglomère sur les grains primaires (nucléés). Cette étape permet la formation plus importante d'agglomérats par effet « boule de neige » et de coalescence. La semoule fine adhère aux vides des grains et donne des agglomérats sphériques et lisses. L'opération de laminage de la semoule est effectuée deux ou trois fois pour s'assurer qu'elle a absorbé toute l'eau ajoutée. Cette étape permet une bonne cohésion entre les particules de semoule. Au

cours de cette étape, les grumeaux sont brisés à travers un tamis à mailles (appelé : saggat) (**figure 12f**).

#### II.2.4. Tamisage

L'opération de tamisage correspond à la mise en mouvement des agglomérats sur la surface d'une succession de tamis à mailles décroissantes pour assurer une classification par taille. L'étape du tamisage est importante pour obtenir l'homogénéité et la taille souhaitées du couscous. Les agglomérats formés lors de l'étape précédente sont décomposés à travers des tamis successifs (appelés : manfdha), (thannaya) et (tallâa) (**figure 12i l, m**). La fraction de taille inférieure subira plusieurs laminages avant d'être calibrée ou tamisée (**figure 12n**).

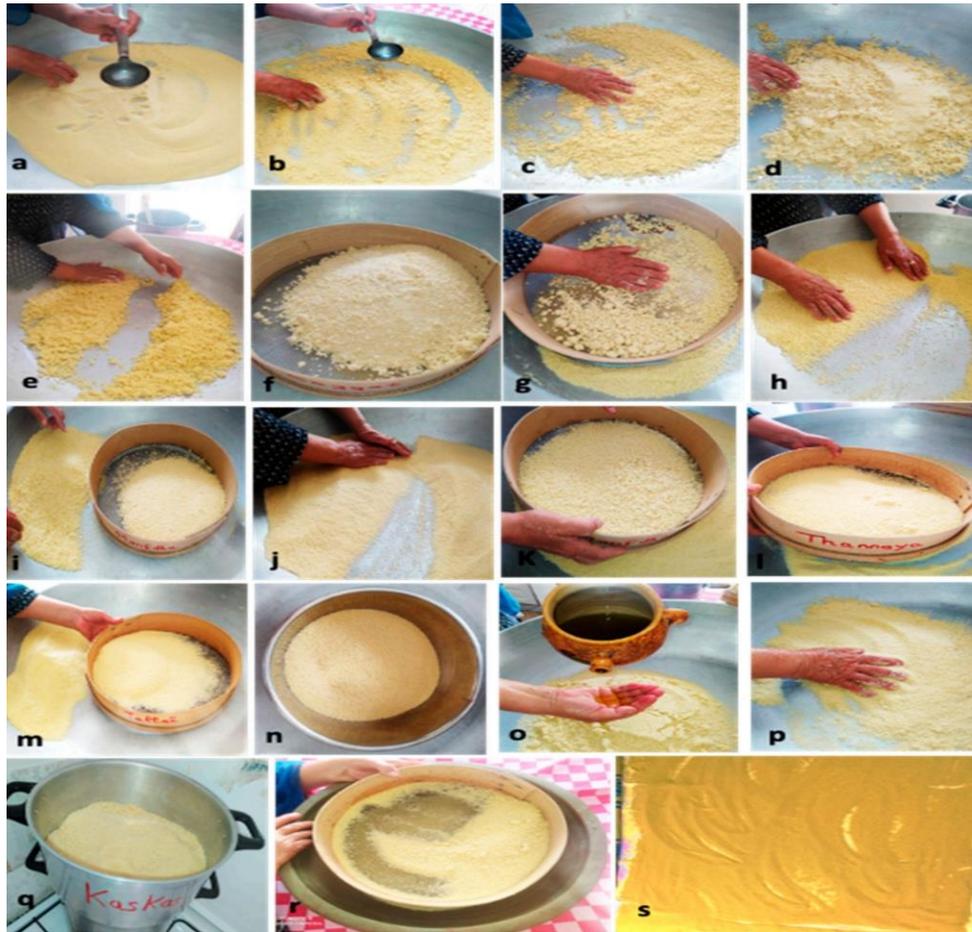
#### II.2.5. Finition

Cette étape consiste à rouler les grains de couscous humides avec une petite quantité d'huile d'olive. Les femmes ajoutent une petite quantité d'huile d'olive et effectuent plusieurs fois un mouvement circulaire (**figure 12o**). L'huile d'olive est utilisée pour homogénéiser et améliorer la texture des grains de couscous en leur donnant une forme plus sphérique et une surface lisse et en produisant des grains bien individualisés (**Figure 12p**).

#### II.2.6. Cuisson à la vapeur

Le couscous humide fini de la granulométrie souhaitée est placé dans la partie supérieure du couscoussier contenant de l'eau bouillie. Le couscous est cuit à la vapeur pendant 15 minutes (**figure 12q**). Le temps de cuisson à la vapeur dépend de l'épaisseur de la couche de couscous et de la granulométrie du couscous : les gros grains de couscous nécessitent un temps de cuisson plus court car la vapeur d'eau circule plus rapidement entre les grains plus grossiers (**Angar, 2002**). Le temps de précuisson est déterminé lorsque la vapeur se trouve à la surface du couscous. Les grains de couscous cuits se brisent entre les doigts sous forme de pâte et ont une couleur jaune. Immédiatement après la cuisson à la vapeur, le cassage manuel des grumeaux (**figure 12r**) est effectué à l'aide du tamis (thannaya) pour obtenir des grains cuits séparés, prêts à être séchés.

Lors de la cuisson traditionnelle à la vapeur, le couscous peut être soumis à deux étapes de cuisson successives interrompues par l'ajout de matières grasses (beurre ou huile d'olive) (**Guezlane, 1998 et Belaid, 2002**).



**Figure 12 :** Vue d'ensemble du couscous traditionnel fait à la main selon la méthode utilisée dans le nord de la Méditerranée: (a ,b) hydratation de la semoule avec de l'eau salée ; (c) mélange par roulement de la semoule grossière et de l'eau salée ; (d) ajout d'une petite quantité de semoule fine pour éviter une trop grande agglomération ; (e) mélange par roulement ; (f,g) fragmentation des grumeaux à l'aide de ( saggat ) ; (h) mélange par roulement ; i-m) tamisage à l'aide de différents types de tamis à mailles ouvrables ; n) couscous humide ; o) ajout d'une petite quantité d'huile d'olive ; p) mélange par roulement ; q) cuisson à la vapeur ; r) tamisage à l'aide de (thannaya) ; s) séchage.

Les chaînes d'amylose libérées par la gélatinisation de l'amidon au cours de la première étape de cuisson à la vapeur peuvent former des complexes avec les lipides ajoutés, en plus de ceux présents dans la semoule native.

### II.2.7. Séchage

L'étape de séchage du couscous se déroule en deux phases. Le couscous est d'abord étalé sur une feuille propre à l'ombre à température ambiante (**figure 12s**) pendant une durée qui dépend de la température de l'air et de l'humidité relative. Cette première phase permet de préserver les qualités du couscous. Lorsque le couscous est (suffisamment) sec, le couscous est ensuite séché au soleil pour assurer une élimination optimale de l'eau. Le couscous est remué de temps en temps pour un bon séchage. L'étape du séchage est strictement liée aux conditions climatiques qui expliquent la production de couscous artisanal pendant les mois d'été ensoleillés (**Kaup, 1994**). Le couscous séché au soleil se conserve longtemps.

### II.2.8. Notation

Le couscous est séparé en fin, moyen et gros. Le produit final est classé en trois tailles différentes : le petit couscous (diamètre 1,5 mm) est recommandé pour la préparation des déserts ; le couscous moyen (1,7 diamètre 2,0 mm) est le plus apprécié pour les plats traditionnels ; le gros couscous (2,5 mm diamètre) est utilisé pour préparer le couscous avec une sauce aux légumes (**Kaup, 1994**).

## II.3. Préparation du couscous pour consommation

L'étape finale de réhydratation avant consommation peut être réalisée à l'aide d'eau froide ou chaude. Le couscous sec est trempé dans de l'eau chaude pendant quelques minutes, puis égoutté dans une marmite à couscous. Ensuite, le couscous réhydraté est immédiatement égoutté, laissé au repos pendant environ 8-10 minutes, remué et dispersé de temps en temps avant que le couscous réhydraté ne soit ajouté à la matière grasse. Plusieurs types de matières grasses peuvent être utilisés, comme l'huile d'olive. Le choix des matières grasses ajoutées se fait en fonction de leur disponibilité et de leur consommation lors des événements familiaux. Le beurre fondu (dehane) est le plus utilisé pour préparer le couscous qui sera servi lors des fêtes. Le couscous hydraté est mis dans la couscoussière (kaskas) qui est placée au-dessus d'une marmite contenant la sauce en cours de cuisson. Plusieurs critères ont été répertoriés pour arrêter la cuisson finale : la montée de la vapeur, le développement de la couleur jaune vif et l'augmentation du volume des grains de couscous cuits (**Chemach, 2018**). Ensuite, le

couscous est émiétté et arrosé d'une petite quantité d'eau. Le couscous peut être servi de différentes manières et avec une grande variété d'aliments.

**CHAPITRE III :**  
**MATERIELS ET METHODES**

## CHAPITRE III : MATÉRIELS ET MÉTHODES.

L'ensemble de ce travail a été réalisé au laboratoire des micro-organismes bénéfiques, des aliments fonctionnels et de la santé (LMBAFS, site II ex. INES de chimie) et au laboratoire des moulins SPA de Mostaganem (Mostaganem ville). Les analyses de couleur et de la microstructure ont été gracieusement réalisées, respectivement par IMPROVE (France) et Gloor Instruments AG (Suisse).

### III.1. Matériels

#### III.1.1. Matériel biologique

Le matériel végétal est constitué des graines de souchet comestible (Hab Alazziz) (**figure 13**), procuré des herboristes de Sud algérien et provenant de l'Est du Tchad plus précisément de la région d'Ouaddaï. Le Frick est une préparation locale faite à la maison par un particulier (récolte 2023, Mostaganem).



**Figure 13 :** Les tubercules de souchet comestible et les grains de Frick utilisés dans cette étude.

**Tubercules de souchet comestible :** *Cyperus esculentus*, est une plante herbacée vivace à tubercules, gélive (les tubercules sont détruits par le gel), appartenant à la famille des Cypéracées, qui est celle des papyrus. Ce légume oublié est consommé depuis des millénaires,

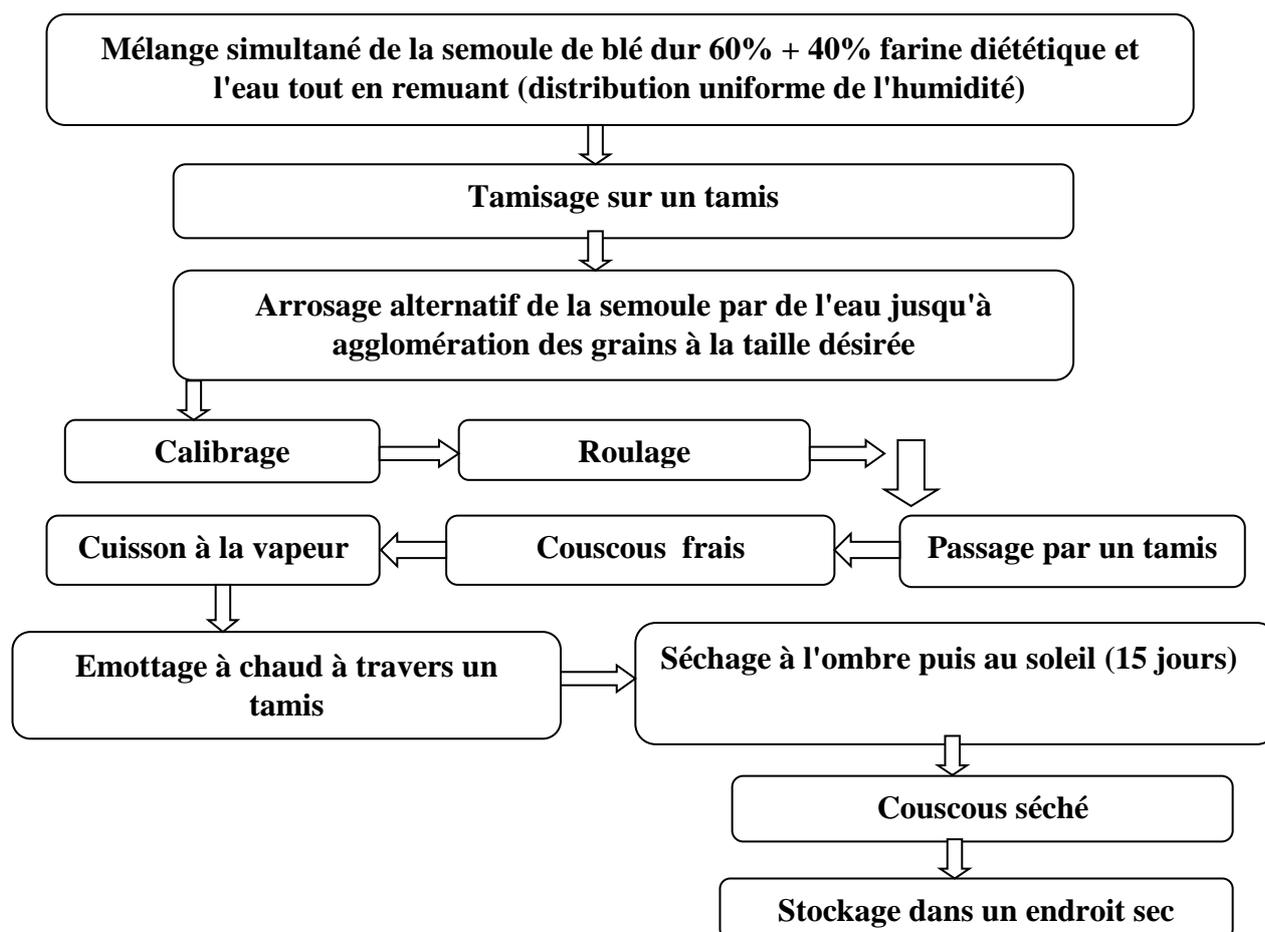
comme en témoigne la multitude de noms qui le désignent (noix tigrée, souchet tubéreux, amande de terre, gland de terre, souchet sucré, pois sucré, "chufa" en espagnol).

**Graines de Frick :** la graine frick est une céréale préparée à partir de grains de blé récoltés verts, concassés, fumés et frottés. Elle est utilisée dans la cuisine moyen-orientale et méditerranéenne pour sa texture croquante, son goût fumé et ses qualités nutritionnelles.

## III.2. Méthodes

### III 2.1. Préparation du couscous

Le couscous a été produit en utilisant la procédure traditionnelle (**figure 14**) faite à la main. Pour formuler un couscous fonctionnel, 40% p/p de semoule ont été remplacés par une fraction de millet perlé ou de souchet comestible pour obtenir un couscous 60/40, et un couscous 100% semoule de blé dur a été pris comme contrôle.



**Figure 14 :** Diagramme de la fabrication artisanale de couscous fonctionnel.

### III.2.2. Extraction des composés phénoliques libres et liés des échantillons de couscous

La fraction phénolique libre et liée des échantillons de couscous a été déterminée selon la méthode de **Verardo et al. (2011)**. En bref, pour la fraction phénolique libre, 3 g d'échantillons ont été extraits avec 30 mL d'éthanol/eau (4:1 v/v) pendant 15 min dans un bain à ultrasons. L'extraction a été répétée deux fois et la fraction organique a été regroupée, évaporée et reconstituée avec 2 mL de méthanol/eau (1:1 v/v). Les extraits ont été conservés à -18 °C jusqu'à leur utilisation.

Pour extraire la fraction phénolique liée, les résidus de l'extraction phénolique libre ont été digérés avec 100 mL de NaOH 1 mol/L à température ambiante pendant une nuit en agitant sous azote gazeux. La solution hydrolysée a été acidifiée à pH 2 à l'aide d'acide chlorhydrique dans un bain de glace réfrigérant et a été extraite deux fois avec de l'acétate d'éthyle. Les fractions organiques ont été regroupées et évaporées à sec. Les composés phénoliques ont été reconstitués dans 2 mL de méthanol/eau (1:1 v/v).

### III.2.3. Mesure de la couleur

Les valeurs de couleur ont été mesurées à l'aide du chromamètre Hunter Lab (Minolta CR-400, Osaka, Japon). L'instrument a été calibré avant les mesures. La couleur des échantillons a été évaluée en mesurant les valeurs L\* (100 = blanc ; 0 = noir), a\* (+, rouge ; -, vert) et b\* (+, jaune ; -, bleu). Les valeurs correspondent à la moyenne de trois déterminations.

### III.2.4. Appréciation de la qualité des couscous

#### - Détermination de l'indice de gonflement

L'indice de gonflement a été calculé selon la méthode de **Yettou et al. (2000)**. La cinétique de gonflement des couscous a été suivie dans un bain marie pendant 1 heure de temps (0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 et 60 min) à 25 °C et à 100 °C.

#### - Détermination du degré de délitescence (DD)

Pour l'évaluation de la CL, l'eau de cuisson des pâtes a été évaporée et le solide restant a été pesé.

Les échantillons de couscous ont été préparés selon la méthode décrite par **Guezlane et Abecassis (1991)**. Environ 10 g de couscous sec sont introduits dans un bécher de 200 ml. On y ajoute 16,5 ml d'eau distillée bouillante salée à 5 g/l. Le bécher est immédiatement recouvert et placé dans une étuve à 90 °C. Au bout de 12 mn, le bécher est sorti de l'étuve et

on y ajoute 50 ml d'eau distillée à 25 °C. Le mélange est agité pendant 6 minutes à vitesse constante et le surnageant est récupéré par filtration sur un tamis d'ouverture de maille 1000 µm. 10 ml de l'aliquote est prélevée et séchée à l'étuve à 133 °C jusqu'à obtention d'une masse constante. Le degré de délitescence qui représente la perte en matière est donnée en pourcentage.

### III.2.5. Analyse chimique

Les méthodes standard de l'American Association of Cereal Chemists ont été utilisées pour la détermination de la teneur en humidité (méthode 44-19), en cendres (méthode 08-01), en protéines (méthode 46-12) et en graisses (méthode 30-25) des échantillons de couscous (AACC, 1990).

### III.2.6. Activité antioxydante

Les analyses de l'activité antioxydante des échantillons ont été effectuées selon la méthode DPPH (2,2-Diphényl-2-picrylhydrazyl) et le pouvoir antioxydant ferrique réducteur (FRAP). La méthode DPPH a été utilisée selon la méthode modifiée de **Beta et al. (2005)**. Un réactif DPPH de 60 µmol/L a été préparé dans du méthanol. Ensuite, 3,9 mL de solution de DPPH-ont été ajoutés à 0,1 mL d'échantillon, et l'absorbance à 515 nm a été mesurée à t = 60 min. Pour déterminer l'absorbance à t = 0 min, la mesure a été prise immédiatement après avoir ajouté 3,9 ml de solution de DPPH à 0,1 ml de méthanol. L'activité antioxydante a été calculée comme suit

$$\% \text{ d'activité de piégeage de DPPH} = (1 - [A \text{ échantillon}, t / A \text{ témoin}, t = 0]) \times 100 \quad (1)$$

Un tracé de la concentration de trolox avec le pourcentage d'activité de piégeage de DPPH a été utilisé comme courbe standard. Sur la base de cette courbe, les concentrations des échantillons de farine ont été exprimées en équivalent micromole de trolox/g.

Pour déterminer l'activité antioxydante par « FRAP », le réactif FRAP a été préparé 250 mL de tampon acétate de sodium (300 mmol/L, pH 3.6), 25 mL de 2,4,6-tripyridyl-s-triazine (TPTZ, 10 mmol/L) et 25 mL de FeCl<sub>3</sub> (20 mmol/L). Ensuite, 50 µl d'extrait d'échantillon et 700 µl de réactif radicalaire (TPTZ) ont été mélangés et incubés dans l'obscurité pendant 5 min à température ambiante, et l'absorbance a été enregistrée à 593 nm à l'aide du spectrophotomètre.

Les valeurs FRAP sont exprimées en termes d'équivalents FeSO<sub>4</sub> (mM FeSO<sub>4</sub>/g de poids sec).

### **III.2.7. Analyses sensorielles**

Les échantillons de couscous ont été soumis à une analyse sensorielle. Le goût, l'odeur, l'apparence, le caractère collant et l'acceptabilité générale des échantillons de couscous cuits ont été notés par 13 panélistes naïfs (âgés de 25 à 81 ans).

Un test de classement par rang (de 1 à 3) des couscous codés a été réalisé suivi d'un test hédonique. Les propriétés sensorielles des échantillons de couscous ont été notées à l'aide d'une échelle hédonique en 9 points, de 9 = aimé énormément à 1 = détesté (voir fiche en annexe).

### **III.3. Analyse statistique**

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du programme statistique JMP, version 10.0 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Les données ont été analysées en utilisant l'analyse de la variance (ANOVA). Les valeurs moyennes ont été comparées à des niveaux de signification  $p < 0.05$ .

# **CONCLUSION**

## Conclusion

Nous proposons un couscous fonctionnel innovant en utilisant un mélange de semoule et de farine de souchet comestible brute ou de Frick. Le but était de formuler un couscous fonctionnel qui présente une concentration plus élevée de fibres alimentaires totales et en polyphénols ainsi qu'une teneur en amidon plus faible comparé au couscous conventionnel (100 % de semoule de blé dur).

En outre, lors de la préparation du couscous, il a été possible de vérifier que la présence de la fraction de souchet comestible ou de Frick n'entraînait pas de problèmes technologiques ou sensoriels et que les couscous innovants présentaient une valeur nutritionnelle améliorée en plus d'une bonne qualité de cuisson. C'est pourquoi la farine diététique a été introduite à 40% (p/p).

Les propriétés physico-chimiques des matières premières et des couscous préparés ont été étudiées :

- Les teneurs en humidité des farines et de la semoule étaient comprises entre 8.03 à 12.1%, celles des couscous entre 12.62 à 13.9%. Les valeurs les plus élevées étaient observées dans le couscous témoin à base de 100% de semoule de blé dur, suivi des couscous diététiques à base de farines de Frick et de souchet comestible, respectivement.
- Les couscous témoin et celui à base de souchet comestible présentaient des compositions chimiques plus élevées comparés au couscous à base de farine de Frick et étaient cohérentes avec celles des matières premières.
- La microscopie électronique à balayage environnementale ( $\approx 0\%$  RH) a montré la structure des particules des échantillons de couscous diététiques comparés au couscous témoin avec des surfaces lisse et ridée présentes, respectivement dans le couscous à base de Frick et de souchet comestible. La microstructure du couscous au Frick ressemble le plus au témoin.

Les deux couscous composites présentaient des valeurs de luminance  $L^*$  ou de clarté inférieures à celle observée dans le couscous témoin. Par ailleurs, l'apport de semoule dans la composition du couscous composite apporte un changement significatif dans la couleur des deux couscous diététiques, résultant d'une clarté élevée. Les composantes chromatiques  $a^*$  et  $b^*$  étaient élevées dans le couscous au Frick comparé à celui de souchet comestible.

Les qualités technologiques des couscous fonctionnels étaient aussi très acceptables où l'indice de gonflement (IG) des échantillons de tous les couscous élaborés dans cette étude se

situait entre 4.5 et 5 au bout de 25 à 30 min de cuisson à 100°C. Le degré de délitescence était plus élevé dans les couscous fonctionnels comparé au témoin, expliquant leur fragilité à la cuisson prolongée. Le taux du gluten le plus faible était enregistré dans le couscous au souchet comestible. Ceci pourrait être dû à la farine première qui est reconnue d'en être exempte.

Le pouvoir antioxydant était présent dans tous les extraits phénoliques des couscous préparés. La méthode au DPPH a montré la supériorité des deux couscous fonctionnels, alors que dans la méthode de FRAP, les résultats n'ont pas montré de différences significatives entre les trois types de couscous.

En termes d'appréciation sensorielle, le couscous fonctionnel cuit à base de souchet comestible était le plus apprécié par la majorité de nos panélistes qui l'ont classé le premier (84.6%) du à son gout « sucré naturel » et lui ont attribué la notation la plus élevée « 9= aimé énormément ». A l'opposition, le couscous cuit au Frick était le moins apprécié, peut être en raison de l'odeur de fumée caractéristique de ses grains. Nos panélistes l'ont classé au 3<sup>ème</sup> rang (76.9%) et le couscous cuit témoin à la semoule en 2<sup>ème</sup> position (84.6%).

En général, le contenu phénolique libre et lié est énormément plus élevé dans le couscous composite que dans le témoin. D'autres travaux pourraient être développés afin d'évaluer la bioactivité de ces nouveaux couscous produits dans des modèles *in vivo*.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

### A

**Aguilar, N.; Albanell, E.; Miñarro, B.; Guamis, B.; Capellas, M. (2014)**, Effect of durum wheat-derived products. In M. Sissons, J. Abecassis, B. Marchylo, & M. Carcea (Eds.), *Durum wheat: Chemistry and technology* (pp. 177–199).

**Abecassis, J.; Cuq, B.; Boggini, G.; Namoune, H.** Other traditional durum-derived products. In *Durum Wheat: Chemistry and Technology*, 2nd ed.; Sissons, M., Abecassis, J., Marchylo, B., Carcea, M., Eds.; AACC: St. Paul, MN, USA, **2012**; pp. 177–199.

**Aboubacar, A., & Hamaker, B. R. (2000)**. Low molecular weight soluble starch and its relationship with sorghum couscous stickiness. *Journal of Cereal Science*, *31*(2), 119–126.

**AFNOR. (1992)**. *Céréales et Produits à Base de Céréales : Couscous Spécifications (NF V 50- 001)*. France: Association Française de Normalisation.

**Angar, O.; Belhouchet, L.** Granulométrie du Couscous: Relation avec Quelques Paramètres de Fabrication et la Qualité Culinaire. Ph.D. Thesis, Université de Constantine, Constantine, Algeria, **2002**.

**Aymard, P. (2010)**. Amélioration nutritionnelle des produits céréaliers par les fibres : Un challenge technologique. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, *45*(5), 246–254.

### B

**Becila, F. Z., Bouasla, A., Turchiuli, C., Almeida, G., Moulin, G., & Bekhouche, F. (2023)**. Fermentation effects on physical, microstructural, cooking and sensory characteristics of a traditional Algerian couscous based on fermented wheat Lemzeiet. *Food Bioscience*, *53*, 102505.

**Belaïd, M.R.; Khendek, D.; Belarbi, A.** Rôle des Monoglycérides dans L'expression de la Qualité du Couscous de Blé Dur. Complexation Amylose-Monoglycérides. Ph.D. Thesis, INA El Harrach, Oued Smar, Algeria, **1994**

**Beta T., Nam S., Dexter J.E., Sapirstein H.D.** Phenolic content and antioxidant activity of pearled wheat and roller-mill fractions. *Cereal Chem.* 2005;82:390–393. doi: 10.1094/CC-82-0390

## C

**Caglar, A. McDöner: Döner kebab** and the social positioning struggle of german turks. In *Marketing in a Multicultural World: Ethnicity, Nationalism and Cultural Identity*; Costa, J.A., Bamossy, G.J., Eds.; Sage Publications: London, UK; New Delhi, India, **1995**; pp. 209–239.

**Chemache, L., Namoune, H., & Oulahna, D. (2020).** *Enquête sur le couscous et effets de quelques paramètres sur sa qualité et sur le phénomène d'agglomération humide de la semoule de blé dur, de la farine d'orge et de farines sans gluten (maïs, sarrasin, quinoa, amarante et manioc)* (Doctoral dissertation, Université Frères Mentouri-Constantine 1).

**Chemache, L.; Kehal, F.; Namoune, H.; Chaalal, M.; Gagaoua, M.** Couscous: Ethnic making and consumption patterns in the Northeast of Algeria. *J. Ethnic Foods.* **2018**, 5, 211–219.

**Chemache, L.; Kehal, F.; Namoune, H.; Chaalal, M.; Gagaoua, M.** Couscous: Ethnic making and consumption patterns in the Northeast of Algeria. *J. Ethnic Foods.* **2018**, 5, 211–219.

**Codex alimentarius (1995).** [https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B202-1995%252FCXS\\_202f.pdf](https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B202-1995%252FCXS_202f.pdf)

**Codex Alimentarius. (1995).** *Standard for couscous: Codex STAN 202-1995.*

**Cuq, B.; Abecassis, J.; Guilbert, S.** State diagrams help describe wheat bread processing. *Int. J. Food Sci. Technol.* **2003**, 38, 759–766.

**Cuq, B.; Icard-Vernière, C.** Characterization of glass transition of durum wheat semolina using modulated differential scanning calorimetry. *J. Cereal Sci.* **2001**, 33, 213–221.

## D

**Debbouz, A., & Donnelly, B. J. (1996).** Process effect on couscous quality. *Cereal Chemistry*, 73(6), 668–671

**Debbouz, A., Dick, J. W., & Donnelly, B. J. (1994).** Influence of raw material on couscous quality. *Cereal Foods World*, 39(4), 213–236.

**Demirkesen, I.; Sumnu, G.; Sahin, S. (2011).** Quality of Gluten-Free Bread Formulations Baked in Different Ovens. *Food Bioprocess Technol.*, 6, 746–753.

**Deng, L.; Manthey, F.A. Flowability, wet agglomeration, and pasta processing properties of whole-durum flour: Effect of direct single-pass and multiple-pass reconstituted milling systems. Cereal Chem. 2019, 99, 708–716.**

## F

**Frick TJ, Olsen WA. Celiac disease and the spectrum of gluten sensitivity. Gastroenterologist. 1994, 2(4):285-92.**

**Guezlane, L., & Abecassis, J. (1991).** Méthodes d'appréciation de la qualité culinaire du couscous de blé dur. *Revue Industrie Alimentaire et Agricole*, 108(11), 966–971.

## G

**Guezlane, L.; Morel, M.H.; Abecassis, J. Effect du traitement hydrothermiques du couscous de blé dur sur les modifications physiques de l'amidon. Ann. Inst. Nat. Agron. 1998, 19, 62–71**

## H

**Hammami, R., Barbar, R., Laurent, M., & Cuq, B. (2022).** Durum wheat couscous grains: An ethnic Mediterranean food at the interface of traditional domestic preparation and industrial manufacturing. *Foods*, 11(7), 902–932.

**Hammami, R.; Sissons, M. Durum wheat products, couscous. In Wheat Quality for Improving Processing and Human Health; Igrejas, G., Ikeda, T.M., Guzman, C., Eds.; Springer Nature: Cham, Switzerland, 2020; pp. 347–367.**

**Hebrard, A. (2002).** *Granulation de semoules de blé dur* (Doctoral dissertation, PhD thesis, ENSA Montpellier).

**Hébrard, A.; Oulahna, D.; Galet, L.; Cuq, B.; Abecassis, J.; Fages, J.** Hydration properties of durum wheat semolina: Influence of particle size and temperature. *Powder Technol.* **2003**, 130, 211–218.

## I

**Islas-Rubio, A.R., de la Barca, A.M.C., Cabrera-Chávez, F., Cota-Gastélum, A.G., Beta, T., 2014.** Effect of semolina replacement with a raw: popped amaranth flour blend on cooking quality and texture of pasta. *LWT - Food Sci. Technol. (Lebensmittel- Wissenschaft - Technol.)* 57 (1), 217–222.

## K

**Kaup, S.M.; Walker, C.E.** Couscous in North-Africa. *Cereal Foods World* **1986**, 31, 179–182.

**Kaup, S.M.; Walker, C.E.** Couscous in North-Africa. *Cereal Foods World* **1986**, 31, 179–182.

## L

**Lefkir, S.; Karima, K.; Yesli, A.; Ounane, G.** Hydration rate influence on the couscous quality. *J. Food Agric. Environ.* **2017**, 15, 5–11

## M

**Ma D, Li Y, Zhang J, Wang C, Qin H, Ding H, Xie Y, Guo T.** Accumulation of Phenolic Compounds and Expression Profiles of Phenolic Acid Biosynthesis-Related Genes in Developing Grains of White, Purple, and Red Wheat. *Front Plant Sci.* **2016**, 22;7:528.

**McCallum J. A., Walker J. R. L. (1990).** Phenolic biosynthesis during grain development in wheat: change in phenylalanine ammonia-lyase activity and soluble phenolic content. *J. Cereal Sci.* 11, 35–49. 10.1016/S0733-5210(09)80179-3

**Messia, M. C., Oriente, M., Angelicola, M., De Arcangelis, E., & Marconi, E. (2019).** Development of functional couscous enriched in barley  $\beta$ -glucans. *Journal of Cereal Science*, 85, 137–142.

**Mokhtari, S., Kheroua, O., & Saidi, D. (2016).** Isolation and identification of lactic acid bacteria from Algerian durum wheat (*Triticum Durum*) natural fermented in underground silos Matmora “El-Hammoum” and their antimicrobial activity against pathogenic germs. *Journal of Nutrition and Health Sciences*, 3(4), 403.

**Mokhtari, S., Taghouti, M., Saidi, D., & Kheroua, O. (2020).** Traditional Algerian fermented food: First data on nutritional characteristics of wheat (*Triticum durum*) fermented in underground silos matmor(mascara, Algeria) compared to unfermented wheat. *Advances in Biology and Earth Sciences*, 5(3), 176–192.

## N

**Nani, M., & Krishnaswamy, K. (2021).** Physical and functional properties of ancient grains and flours and their potential contribution to sustainable food processing. *International Journal of Food Properties*, 24(1), 1529–1547.

of tiger nut-derived products in gluten-free batter and bread. *Food Sci. Technol. Int.* 21, 323–331

## O

**Ounane, G., Cuq, B., Abecassis, J., Yesli, A., & Ounane, S. M. (2006).** Effect of physicochemical characteristics and lipid distribution in Algerian durum wheat semolina on the technological quality of couscous. *Cereal Chemistry*, 83(4), 377–384.

## R

**Rayas-Duarte, P., Mock, C.M., Satterlee, L.D., 1996.** Quality of spaghetti containing buckwheat, amaranth, and lupin flours. *Cereal Chem.* 73 (3), 381–387.

**Ruiz, T.; Rondet, E.; Cuq, B.** La graine de couscous: De l’artisanat à la croissance fractale. In *Sciences Culinaires*; Lavelle, C., Ed.; Collection Echelles, Belin: Paris, France, 2014; pp. 28–51

## S

**Saad, M., Barkouti, A., Rondet, E., Ruiz, T., & Cuq, B. (2011).** Study of agglomeration mechanisms of food powders: Application to durum wheat semolina. *Powder Technology*, 208(2), 399–408.

**Saad, M.; Barkouti, A.; Rondet, E.; Ruiz, T.; Cuq, B.** Study of agglomeration mechanisms of food powders: Application to durum wheat semolina. *Powder Technol.* **2011**, 208, 399–408.

**Samrakandi, M.H.** Arts culinaires en Méditerranée et pratiques culturelles. *Horiz. Maghrébiens Droit Mémoire* **2006**, 55, 4–5.

## T

**Toussaint-Samat, M.** Couscous. In *Histoire Gourmande des Grands Plats*; Canta, L., Dechaux, C., Eds.; Casterman: Paris, France, **1994**.

## V

**Verardo, V., Arráez-Román, D., Segura-Carretero, A., Marconi, E., Fernández-Gutiérrez, A., & Caboni, M. F. (2011).** Determination of free and bound phenolic compounds in buckwheat spaghetti by RP-HPLC-ESI-TOF-MS: Effect of thermal processing from farm to fork. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 7700–7707.

## Y

**Yilmaz, V.A., Koca, A.F., 2020.** Quality, sensorial and textural properties of einkorn and durum bulgur produced with several methods. *Int. J. Gastron. Food Sci.* 22, 100263

**Yettou N, Guezlane L, Ounane G. 2000.** Mise au point d'une méthode instrumentale d'évaluation de la délitescence du couscous de blé dur. *Actes du 1er Symposium de blé : Enjeux et stratégie*, Alger, 7-9 février 2000, OAIC : 271-275.

AACC. (1990). In *Approved methods of analysis of American association of cereal Chemists* (10th ed.) St. Paul, MN, USA.

## Z

**Žilić S, Basić Z, Hadži-Tašković Šukalović V, et al.** Can the sprouting process applied to wheat improve the contents of vitamins and phenolic compounds and antioxidant capacity of the flour? *International Journal of Food Science and Technology*. 2014;149(4):1040–1047.

Nom :

Prénom :

Type de maladie chronique :

Age :

### **Test de classement par rang**

Goûtez chacun des échantillons dans l'ordre indiqué ci-dessous. Donnez la cote 1 à l'échantillon dont la texture est la plus acceptable, la cote 2 à l'échantillon suivant le plus acceptable, et la cote 3 à l'échantillon le moins acceptable. ....

Ne pas donner la même cote à deux échantillons.

Code

Classement par rang

### **Test hédonique**

Veillez examiner et goûter chaque échantillon dans l'ordre de gauche à droite. Indiquez dans quelle mesure vous avez aimé ou pas aimé chaque échantillon en cochant la mention appropriée en dessous du numéro de code de chaque échantillon.

Code

aimé énormément

aimé beaucoup

aimé modérément

aimé un peu

indifférent

pas aimé beaucoup

pas aimé

pas aimé du tout

détesté

Commentaires :

Signature :