

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Blida 1



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département Agro-alimentaire

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master en

Spécialité : Nutrition et diététique humaine

Filière : Sciences Alimentaires

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

THEME

Utilisation du Sorgho dans les préparations culinaires et industrielles

Présenté par

Mr IGHILI ZERROUK ABDELMOUMENE

Soutenu le **30/ 09/2020** devant le jury composé de :

Président	Mr OUSSADOU.L	MCB	USDB1
Examinatrice	Mme HAMZI W.	MAA	USDB1
Promotrice	Mme KADRI .F	MCB	USDB1

Année universitaire 2019-2020

Remerciements

Je remercie, en premier lieu, ALLAH pour m'avoir donné la force et la résolution pour réaliser ce travail

Pour débiter ce manuscrit et pour clôturer mes études je tiens à remercier toutes les personnes avec qui j'ai interagi durant ce modeste projet :

*Je suis particulièrement reconnaissant envers ma promotrice de mémoire **Mme Kadri maître de conférence B** de m'avoir offert l'opportunité de réaliser ce mémoire, de m'avoir fait confiance avec beaucoup de patience et finalement, de m'avoir encadré durant tout ces mois. Je ne peux pas oublier ses encouragements et ses conseils.*

Je remercie tous les membres de mon jury de mémoire :

*J'exprime ma profonde gratitude à **MADAME HAMZI** Maître de Conférence B dans l'université de Blida 1 qui a eu la lourde tâche de lire mon manuscrit.*

*Je remercie **MONSIEUR OUSSADOU** Maître de Conférence B dans l'université de Blida 1 d'avoir fait l'honneur de présider mon jury.*

J'ai été particulièrement bien entouré dans mon environnement de travail et je tiens à rendre un petit hommage à toutes les personnes qui m'ont côtoyé

J'adresse mes remerciements également envers tous mes collègues de promo NDH 2020 pour l'aide morale que j'ai pu trouver auprès eux.

ZERROUK ABDELMOUMEN

Dédicace

*J*e dédie ce travail particulièrement

*Je tiens, au terme de ce travail, à présenter mes vives dédicaces à toutes les personnes qui ont contribués, de près ou de loin.
A ma mère source de tendresse et d'amour pour son soutien tout le long de ma vie scolaire.*

*Mon père qui a toujours soutenu et qui a fait tout possible pour m'aider.
Aux enseignants du département de sciences agroalimentaire spécialement à madame KADRI.*

*A ma sœur et mon frère que j'aime beaucoup .à ma grande famille, à tout ceux qui ont collaborés de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.
Que dieu leurs accorde santé et prospérité*

*A NORA OUWAIS AISSA RAYAN ANIS OUSSAMA GHILES ABDELLAH NADHIR
AMINE WAFIA ET KENZA*

Mes amis, amies ! Merci pour tout ! Vous m'avez aidé et soutenue mon projet, pour le meilleur et pour le pire ! Au travail, j'ai pu compter sur vous pour discuter de mes problèmes scientifiques afin de les surmonter. Vous m'avez rendu de grands services

Résumé

Le sorgho est une importante culture céréalière mondiale à très haute valeur nutritionnelle et sanitaire. Il présente notamment des concentrations élevées et une grande variété de composés phénoliques que l'on ne trouve pas souvent dans les autres céréales.

Malgré les bienfaits pour la santé, l'utilisation du sorgho a diminué dans les régions où le sorgho était traditionnellement utilisé comme principal aliment de base, à mesure que les gens s'enrichissent et adoptent un régime alimentaire plus occidental.

L'utilisation du sorgho comme aliment nécessite davantage de publicité et de promotion. Le développement et les applications de sorgho dans le système alimentaire en est encore à ses débuts.

Le sorgho est l'une des céréales qui constituent une source majeure de protéines, de calories, de minéraux pour des millions de personnes en Afrique et en Asie.

Cette céréale est principalement considérée comme une culture de subsistance en raison de sa tolérance unique à la sécheresse et de son adaptation aux écosystèmes tropicaux et subtropicaux secs dans le monde entier. La culture est riche en minéraux, mais sa biodisponibilité varie de moins de 1 % pour certaines formes de fer à plus de 90 % pour le sodium et le potassium. Les raisons de cette situation sont variées et complexes, car de nombreux facteurs interagissent pour déterminer la biodisponibilité ultime d'un nutriment.

Le sorgho est riche en nutriments, d'antioxydants, minéraux et vitamines qui peuvent prévenir de certaines maladies comme le cancer, maladies cardiovasculaire et le diabète .

Le sorgho est souvent consommé sous forme de bouillies, couscous, galettes et beignets préparés à partir de farine, cette dernière est obtenue après une succession d'opération (nettoyage décorticage, lavage, et mouture), elle est utilisée pour préparer du pain ou de la Fura qui est une pate fermentée cuite à la vapeur, la Fura est très populaire, en Afrique de l'ouest.

D'autres préparations comme les, gâteaux, cookies, tortillas, pates et nouilles sont élaborées en industries agro-alimentaires pour élargir la gamme de produits sans gluten destinés aux personnes atteints de la maladie cœliaque.

Abstract

Sorghum is an important world cereal crop with a very high nutritional and health value. In particular, it has high concentrations and a wide variety of phenolic compounds not often found in other cereals.

Despite the health benefits, the use of sorghum has declined in areas where sorghum was traditionally used as a main staple food as people become more affluent and adopt a more Western diet.

The use of sorghum as a food requires more advertising and promotion. The development and application of sorghum in the food system is still in its infancy.

Sorghum is one of the cereals that are a major source of protein, calories and minerals for millions of people in Africa and Asia.

This cereal is mainly considered a subsistence crop because of its unique tolerance to drought and its adaptation to tropical and subtropical dry ecosystems around the world. The crop is rich in minerals, but its bioavailability ranges from less than 1% for some forms of iron to over 90% for sodium and potassium. The reasons for this are varied and complex, as many factors interact to determine the ultimate bioavailability of a nutrient.

Sorghum is rich in nutrients, antioxidants, minerals and vitamins that can prevent certain diseases such as cancer, cardiovascular disease and diabetes through their hypoglycemic power.

Sorghum is often eaten in the form of porridges, couscous, cakes and fritters prepared from flour, the latter is obtained after a succession of operations (cleaning, husking, washing and milling), it is used to prepare bread or Fura which is a fermented dough cooked by steaming, the fura is very popular in West Africa.

Other preparations such as cakes, cookies, tortillas, pasta and noodles are made in the food industry to expand the range of gluten-free products for people with celiac disease.

تعتبر الذرة الرفيعة من محاصيل الحبوب العالمية الهامة ذات القيمة الغذائية والصحية العالية. على وجه الخصوص، يحتوي على تركيزات عالية ومجموعة متنوعة من المركبات الفينولية التي لا توجد غالبًا في الحبوب الأخرى.

على الرغم من الفوائد الصحية، فقد انخفض استخدام الذرة الرفيعة في المناطق التي يستخدم فيها الذرة الرفيعة تقليديًا كغذاء رئيسي، حيث يصبح الناس أكثر ثراءً ويتبنون نظامًا غذائيًا غربيًا.

يتطلب استخدام الذرة الرفيعة كغذاء المزيد من الدعاية والترويج. لا يزال تطوير واستخدام الذرة الرفيعة في النظام الغذائي في مراحلها الأولى.

الذرة الرفيعة هي واحدة من الحبوب التي تعد مصدرًا رئيسيًا للبروتين والسكريات الحرارية والمعادن لملايين الأشخاص في إفريقيا وآسيا.

تعتبر هذه الحبوب في المقام الأول محصولًا كافيًا نظرًا لتحملها الفريد للجفاف والتكيف مع النظم البيئية الاستوائية وشبه الاستوائية الجافة في جميع أنحاء العالم. المحصول غني بالمعادن، لكن توافره الحيوي يختلف من أقل من 1٪ لبعض أشكال الحديد إلى أكثر من 90٪ للصدويوم والبتاسيوم. أسباب ذلك متنوعة ومعقدة، حيث تتفاعل العديد من العوامل لتحديد التوافر البيولوجي النهائي للمغذيات.

الذرة الرفيعة غنية بالمغذيات ومضادات الأكسدة والمعادن والفيتامينات التي يمكن أن تمنع الأمراض مثل السرطان وأمراض القلب والأوعية الدموية والسكري بفضل قوتها الخافضة لسكر الدم.

غالبًا ما يتم استهلاك الذرة الرفيعة على شكل عصيدة وكسكي وفتائر وكعك محضر من الدقيق، ويتم الحصول على هذا الأخير بعد سلسلة من العمليات (التنظيف، التقشير، الغسيل، الطحن)، ويستخدم لتحضير الخبز أو الفورة عبارة عن عجينة مطهوه على البخار، تحظى بشعبية كبيرة في غرب إفريقيا.

يتم إنتاج مستحضرات أخرى مثل الكعك والبسكويت والتورتيللا والمعكرونة في صناعة المواد الغذائية لتوسيع نطاق المنتجات الخالية من الغلوتين المخصصة للأشخاص الذين يعانون من مرض الاضطرابات الهضمية.

Liste des figures

Figure 1. : la plante de <i>Sorghum bicolor</i> .	3
Figure 2 : Formes des panicules et des grains des cinq races principales de sorgho.	4
Figure 3 : Schéma d'une section longitudinale d'un grain de sorgho.	6
Figure 04 : L'origine et la diffusion des races de <i>Sorghum bicolor</i> en Afrique et en Asie	7
Figure 05 : Production mondiale moyenne (en tonnes) pour divers produits de base	8
Figure 06 : Production mondiale de sorgho en conditions pluviales pour l'année 2010	8
Fig. n° 7: Petit pain composé de sorgho	9
Figure n 08 : Schéma de production de sirop de glucose par conversion enzymatique de l'amidon de sorgho	10
Fig. n° 9 : Fura en purée et non en purée à mélanger avec du lait et du sucre	23
	27
	28
	29

Liste des tableaux

Tableau I : Nom scientifique et commun des groupes inventoriés de sorgho.	4
Tableau II : production mondiale du sorgho	8
Tableau III : La composition nutritionnelle de Sorgho	11
Tableau IV : Composition approximative de la Fura	29
Tableau V : valeur nutritionnelle pour 100g de kiswa	32

TABLE DES MATIERES

RESUMES

REMERCIEMENTS

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHES ET TABLEAUX

Introduction	1
Chapitre I. Le <i>Sorghum bicolor</i>	3
1.1. Généralité.....	03
I.1.1. définition	03
I.1.2. classification de la plante	04
I.1.3. Présentation du Grain de sorgho.....	05
I.1.4. Exigences écologiques.....	06
I.2.origine et historique.....	07
I.3. Production de Sorgho.....	07
1.3.1. Production mondiale	08
1.3.2. Production de sorgho en Algérie.....	08
1.3.3. Variétés de Sorgho en Algérie	10
1.5. La composition chimique et la valeur nutritionnelle	10
Chapitre II. Transformation de sorgho	11
2.1. Farine de Sorgho.....	13
2.1.1. Transformation.....	15
2.1.1.1. Le décorticage en humide	15
2.1.1.2. La mouture traditionnelle des grains.....	16
2.1.1.3. Fermentation	17
2.1.1.4. Décoloration.....	18
2.1.1.5. Fermentation et germination partielle (maltage)	18
2.2. Utilisation	18
2.2.1. Dans les préparations culinaires	19
traditionnelles.....	19
2.2.2. Dans l'agro-industrie (moderne)	20
2.3. Effet de la transformation sur la qualité nutritionnelle du sorgho	21
Chapitre III. Produits à base de Sorgho	22
3.1. Préparation culinaires Traditionnelle	23
3.1.1. Pain composé de Sorgho ou Petit pain	23

3.1.2. Procédé de production de sirop de Glucose à partir du Sorgho	25
3.1.3. FURA.....	28
3.1.4. Couscous	29
3.2. PRODUITS INDUSTRIELS.....	30
3.2.1. Gâteaux et cookies.....	32
3.2.2PÂTES ET NOUILLES.....	33
3.2.3 tortillas.....	33
Conclusion	35

Références bibliographiques

Annexes

INTRODUCTION

Introduction

Le monde entier a traversé depuis quelques années une phase de transition épidémiologique suite au développement et l'industrialisation, il a connu une mutation radicale de l'alimentation que durant laquelle de nouveaux comportements alimentaires ont apparus et d'autres ont disparus. Cette mutation a mis notre santé en danger. **(Bouchenak, 2004).**

Nous savons bien que l'homme est le fils de son environnement, et conséquemment il serait inspiré des éléments de son environnement, cette inspiration s'appuie sur ses traditions, son mode de vie, sa culture ainsi son histoire alimentaire. **(Iserin et al., 2001).** La maladie cœliaque est une maladie auto-immune d'origine génétique affectant le système gastro-intestinal et caractérisée par une intolérance à vie à l'ingestion de gluten, terme utilisé pour englober les prolamines (protéines spécifiques solubles dans l'éthanol) du blé (gliadine), du seigle (secaline) et de l'orge (hordeine) **(Sollid et Lundin, 2009 ; Capriles et Areas, 2014).**

Le sorgho est une herbacée annuelle de la famille des *Poaceae*, céréale de base de l'alimentation de nombreuses populations des régions tropicales sèches en Afrique, en Asie ou en Amérique centrale. Représente source principale d'énergie, de protéines et de minéraux, y compris des oligo-éléments comme le zinc et le fer, dans l'alimentation des populations africaines et indiennes.

Le travail présent repose sur la problématique suivante : comment sont fabriqués les produits à base de farine de sorgho ?

Pour bien répondre à notre problématique, notre travail est devisé en deux parties :

Une première partie qui présente une étude sur le sorgho, farine de sorgho et en fin son utilisation dans les préparations culinaires traditionnelle et l'industrie agro-alimentaire.

Une deuxième partie qui porte sur différent méthodes de préparation des produits à base de sorgho.

Chapitre I :
Le
Sorghum bicolor

Le *Sorghum bicolor*

I.1.Généralité

I.1.1.définition

Le sorgho (Figure n°1) est une herbacée annuelle de la famille des Poaceae (ex-Graminées), sous famille des Panicoïdeae, tribu des Andropogoneae et du genre *Sorghum* (Doggett, 1988).

Il qui est d'ailleurs une des seules espèces agricoles importantes à avoir ses origines dans le continent africain. IL occupe la 4^{ème} position des céréales vivrières au monde en termes de quantités produites annuellement, en venant après le blé le maïs et l'orge. (FAO 2006 ; Raihanatu et al., 2011 ; Chantereau et al., 2013). En Afrique, il arrive à la seconde place après le maïs en termes de production (Brink & Belay, 2006). Il est cultivé sur plus de 40 millions d'hectares dans le monde (FAOSTAT, 2019) et l'Afrique détient plus de la moitié (55%) de la sa production mondiale (Taylor et al. 2002. Taylor, 2003). Actuellement, le nombre de variétés de sorgho identifiées se chiffre à plus de 7000 (Dicko et al. 2006).

Le sorgho est une source principale d'énergie, de protéines et de minéraux, y compris des oligo-éléments comme le zinc et le fer, dans l'alimentation des populations africaines et indiennes (FAO 2006 ; Mohammed et al. 2011).



Fig n°1 : la plante de *Sorghum bicolor* (Tugizimana et al., 2019).

I.1.2. classification de la plante

Le genre *Sorghum* comprend 20 à 30 espèces (Balole et Legwaila, 2006) et les variétés cultivées de *Sorghum bicolor* présentent une grande diversité morphologique, c'est pourquoi, une classification simplifiée en a été établie par Harlan et de Wet (1972). Elle définit, sur la base de la morphologie du grain (Fig.n° 1), de la forme des glumes et du type de panicule, cinq races principales :

- Les Bicolor sont les sorghos aux caractères les plus primitifs. On les trouve en Asie, mais aussi dans toute l'Afrique. Leur panicule est lâche et leur grain, petit, est enveloppé par des glumes adhérentes.
 - Les Guinea sont les sorghos typiques de l'Afrique de l'Ouest, mais ils se trouvent aussi en Afrique australe. Ils sont généralement grands et photosensibles avec une panicule lâche. Leur grain est elliptique, bien exposé par le bâillement des glumes.
 - Les Durra se rencontrent essentiellement en Afrique de l'Est, au Moyen Inde. Ils ont une panicule compacte et des grains globuleux souvent portés par un pédoncule crossé.
 - Les Kafir sont répandus en Afrique australe. Ce sont des sorghos de petite taille et leur panicule est compacte et cylindrique.
- Les Caudatum sont surtout cultivés en Afrique du Centre et de l'Est. Leur panicule a une forme variable. Leur grain est dissymétrique aplati sur la face ventrale et bombé

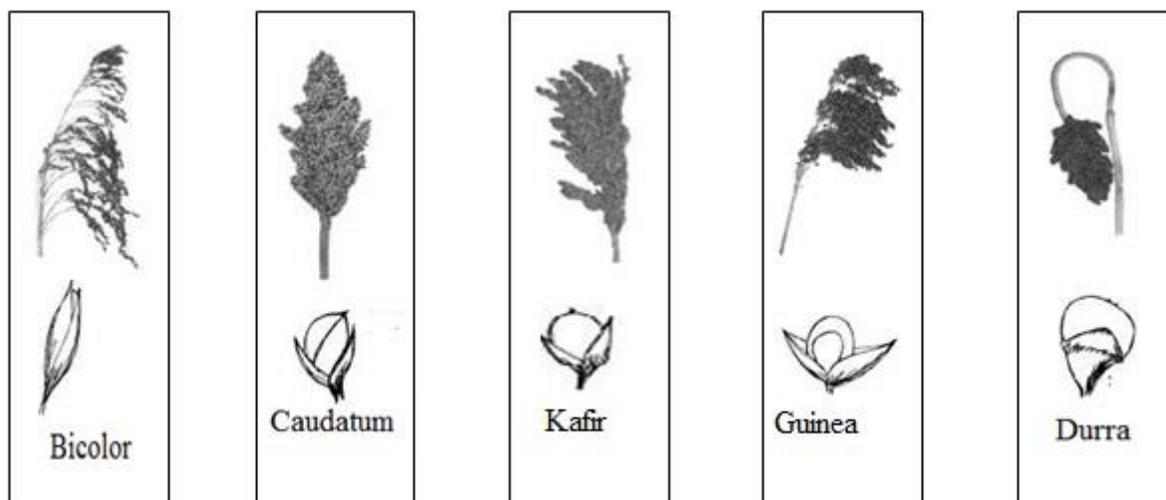


Figure n° 2 : Formes des panicules et des grains des cinq races principales de sorgho, Dessins d'après Harlan et De Wet (1972), photos d'après Clerget (2004)

En Algérie, le nom de Tafsout est utilisé à Tidikelt, abora (sorgho blanc) et talak (sorgho pigmenté) dans la région d'Ahaggar. Le sorgho cultivé aujourd'hui provient de son ancêtre sauvage appartenant à la sous-espèce *verticilliflorum* De Wet a montré que le *Sorghum verticilliflorum* est la première céréale à être domestiquée il y a 3000 à 5000 ans (**House, 1995**).

Tableau I : Nom scientifique et commun des groupes inventoriés de sorgho (Algérie)

Nom scientifique	Nom commun local		Nom commun (FAO, 1995)
	Tidikelt	Ahaggar	
Sorgho			
<i>Sorghum bicolor</i> (L.) <i>Moench</i>	tafsout elbeida In Salah, tafsout In Salah, tafsout lhamra In Salah	tallak ouan hagggar, tafsout lhamra, abora	sorgho, grand mil, herbe de guinée, kafir, dura, mtama, jowar, cholam, koaliang, milo, milo-maïs

Les grains de sorgho sont utilisés par ces personnes (surtout les agriculteurs), qui n'ont souvent pas les moyens de se nourrir avec d'autres sources alimentaires riches en protéines, vitamines et minéraux. Dans ces régions, elles sont destinées à être consommées sous forme de pâtes, de semoule, de boissons bouillies et traditionnelles (**Awika et al. 2004**). La demande croissante de ces céréales en Afrique de l'Ouest, en particulier au Nigeria, au Ghana et au Burkina Faso, a été attribuée à ses applications industrielles dans la production de bioéthanol et de fourrage pour l'alimentation animale ainsi qu'à la croissance démographique (**Khady et al., .2010**)

I.1.3. Présentation du Grain de sorgho

Le sorgho à graines est généralement cultivé comme une culture annuelle, produisant une seule récolte. Cependant, comme toutes les graminées, le sorgho à grains peut générer des branches appelées talles qui poussent à la base de la plante, près de la surface du sol.

La plupart des plants de sorgho sont capables, dans de bonnes conditions, de faire germer de nouvelles talles même après que les pousses d'origine se soient allongées, aient produit des graines mûres et aient séché.

La figure (Fig. 3) montre un schéma des différentes parties constituant le grain de sorgho, La proportion d'endosperme corné et d'endosperme farineux détermine la texture du grain. Elle représente l'un des paramètres les plus importants de la qualité alimentaire et de la transformation des céréales. (Boudris-Kaci, 2017).

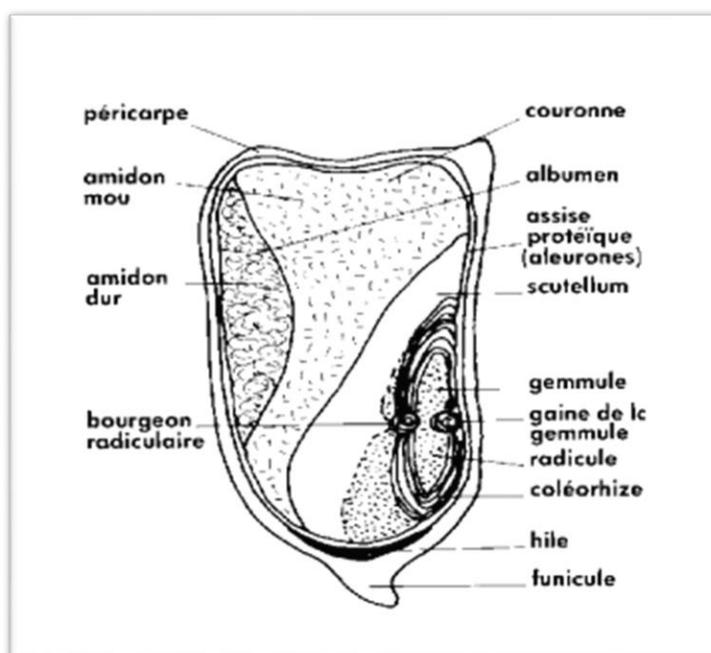


Fig. n°3 : Schéma d'une section longitudinale d'un grain de sorgho. (FAO)

I.1.4. Exigences écologiques

Dans les environnements tropicaux ou semi-tropicaux, le tallage tardif crée la possibilité de produire une deuxième récolte de céréales, ou une récolte de repousses. La récolte de céréales du peuplement de repousses est cependant beaucoup plus faible que celle du peuplement semé à l'origine (Sezen et al., 2016).

L'impact du changement climatique progressif sur le secteur agricole mondial préoccupe beaucoup les décideurs politiques, les experts en développement et les agriculteurs.

Dans les pays en développement dont l'économie repose sur l'agriculture, la hausse des températures, l'imprévisibilité des précipitations et les phénomènes climatiques extrêmes sont particulièrement préjudiciables aux moyens de subsistance des populations rurales et à la sécurité alimentaire nationale (Maather, 2018).

Selon Mundia et al., (2019), les principaux facteurs affectant la production de sorgho n'ont pas été classés ex ante, mais plutôt déterminés à partir de son étude.

Dix facteurs majeurs ont été identifiés comme ayant des impacts notables sur la production de sorgho : le changement climatique, la croissance démographique / le développement économique, la demande non alimentaire, les intrants agricoles, la demande d'autres cultures, la rareté des ressources agricoles, la biodiversité, l'influence culturelle, le prix.

I.2. Origine et historique

Le sorgho est originaire d'Afrique de l'est (Ethiopie, Soudan). Il est particulièrement bien adapté aux régions tropicales semi-arides où il reste avec le mil une culture vivrière essentielle pour la sécurité alimentaire de centaines de millions de personnes des régions sèches d'Afrique subsahariennes et d'Asie du sud (figure 4). Le sorgho est la céréale de base de l'alimentation de nombreuses populations des régions tropicales sèches en Afrique, en Asie ou en Amérique centrale (Chantereau et al., 2013).

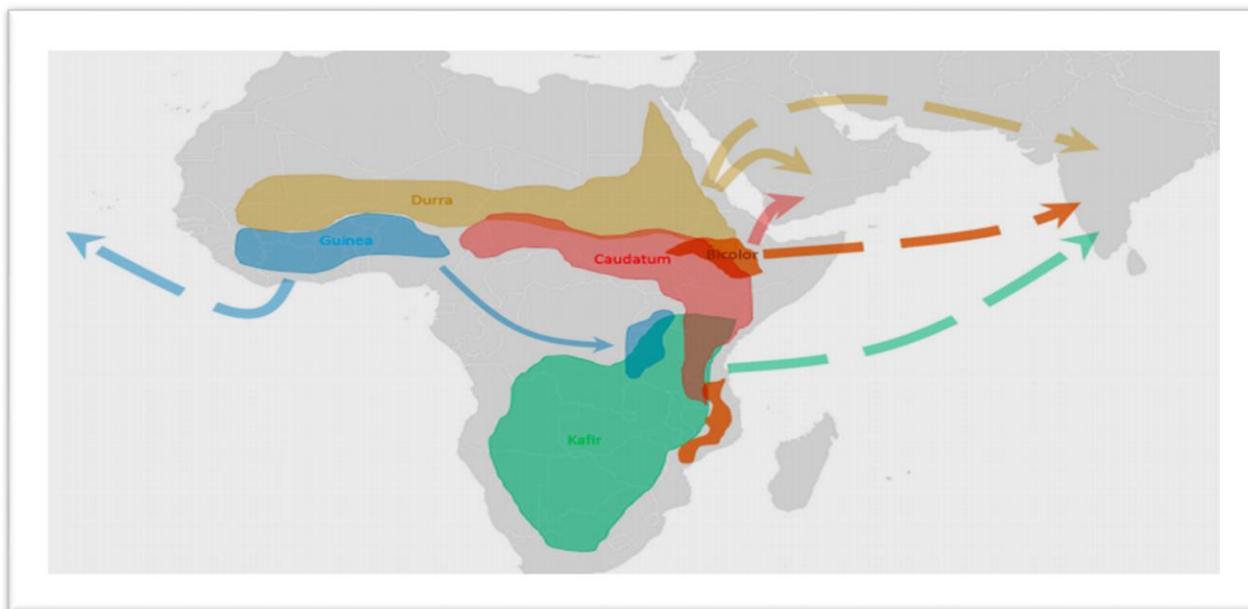


Fig n° 4 : L'origine et la diffusion des races de *Sorgho* en Afrique et en Asie (Olsen, 2012 ; OECD, 2016)

Vavilov considérait les anciennes régions abyssiniennes (éthiopiennes) comme le centre d'origine du sorgho, mais d'autres (Harlan, Snowden 1936 ;1972) pensaient que le sorgho provenait de plusieurs centres distincts et de différentes espèces : les races durra et bicolor de *S. aethiopicum*, guinea de *S. arundinaceum*, et kafir de *S. verticilliflorum*. Selon de Wet, le *S. verticilliflorum* a été le premier à être domestiqué il y a environ 3000 à 5000 ans (**David et Dendy 1995**).

I.3. Production de Sorgho

1.3.1. Production mondiale

Avec la croissance démographique, la consommation de viande devrait augmenter de 40 % entre 2000 et 2050 (**Nellemann et al., 2009**). Par la suite elle entraînera une augmentation de la demande de produits animaux et d'autres types d'aliments (Figure n°5).

En 2007, la production mondiale totale de sorgho était estimée à près de 63 millions de tonnes, cette production s'est élevée à plus de 68 millions de tonnes récoltées dans le monde en 2014. En 2017 la production a baissé jusqu'à près de 57 millions de tonnes (FAOSTAT, 2019) .

Selon les statistiques données par **FAOSTAT (2015)** pour l'année 2014 (Données officielles), les Etats-Unis, l'Inde et le Mexique ont produit respectivement 10.987.910; 5.390.000 et 8.394.057 tonnes. En Afrique, la plus grande production a été enregistrée au Nigeria avec 6.741.100 tonnes. L'Algérie a contribué avec 46.500 tonnes seulement.

Le sorgho est très répandu dans 38 pays. Il est cultivé aux États-Unis au Mexique et en Argentine, au Nicaragua, au Pérou, en Uruguay, au Honduras, au Brésil, en Colombie, au Salvador, au Guatemala, à Haïti et au Venezuela en Amérique du Sud. Il est également cultivé dans les pays européens suivants : France, Italie, Espagne, Roumanie et Albanie, et Plus de 90 % de la superficie mondiale (Figure 6) totale de sorgho récolté se trouve en Afrique et en Asie (**Baquedano et al., 2014**) (Tableau 1)

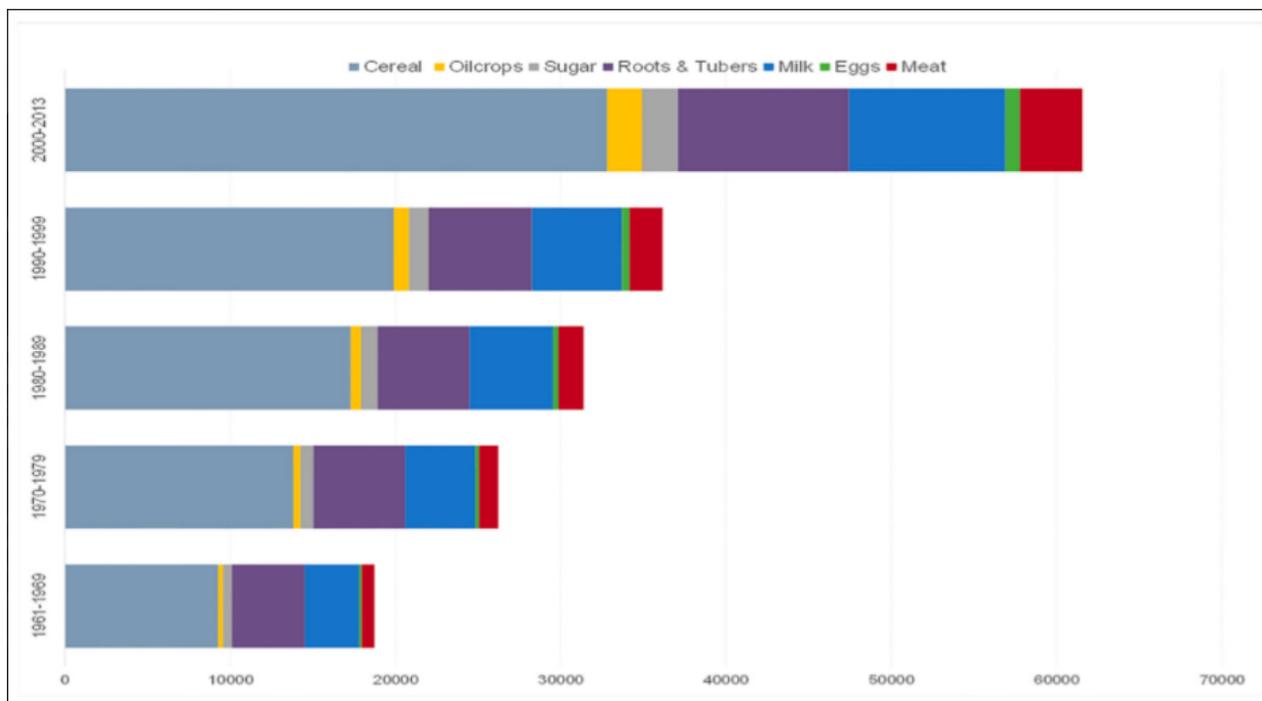


Fig n° 5 : Production mondiale moyenne (en tonnes) pour divers produits de base (Mundia et al., 2019).

Environ 90 pour-cent des superficies cultivées en sorgho dans le monde et 70 pour-cent de la production mondiale se trouvent dans les pays en développement. L'Asie et l'Afrique produisent chacune de 25 à 30 pour-cent de la production mondiale (World Agricultural Production, 2019).

Tableau II : production mondiale du sorgho (Bhagavatula et al., 2013 ; World Agricultural Production, 2019).

Région	2000	2005	2010	2013	2015
Monde	55.8	59.6	60.0	61.3	63.5
Afrique	18.4	24.8	24.7	25.7	24.8
N. C. Amérique	18.0	15.7	15.9	16.4	17.2
Amérique du Sud	4.9	5.3	6.2	6.8	5.5
Asie	11.3	18.2	10.5	8.7	8.0
Europe	0.7	0.5	0.7	1.1	0.9
Océanie, y compris l'Australie	2.1	2.0	1.6	2.2	2.1

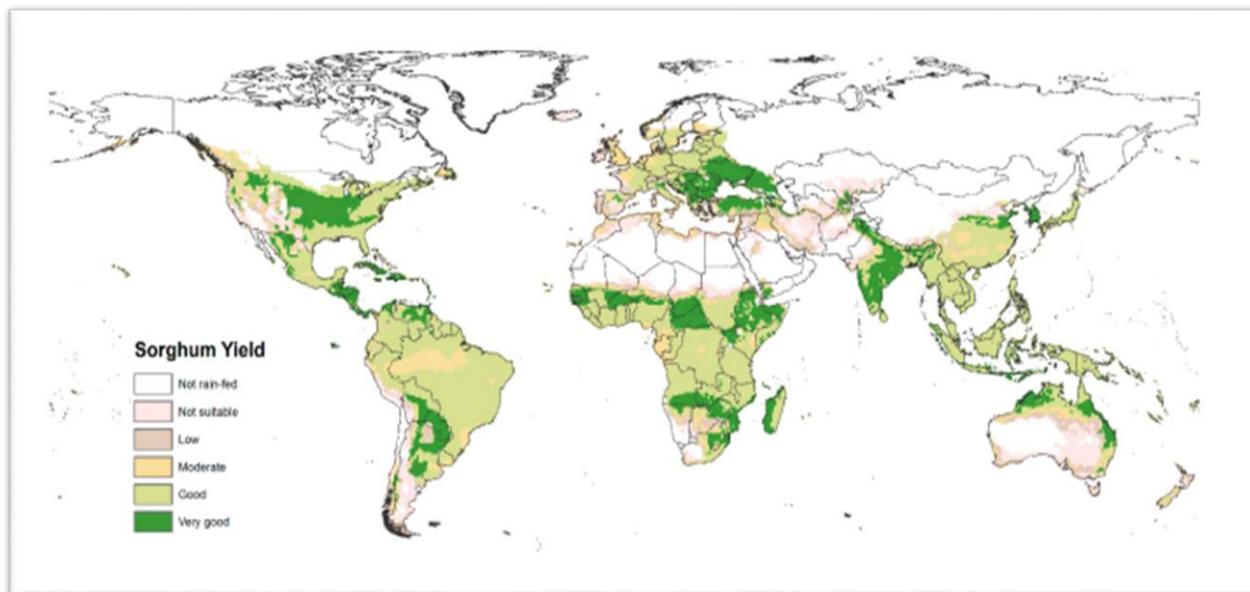


Fig n° 06 : Production mondiale de sorgho en conditions pluviales pour l'année 2010 (PIK)

1.3.2. Production de sorgho en Algérie

Le sorgho a été introduit par l'expansion du commerce de troc en Afrique du Nord après avoir été domestiqué au Sahel en 2000 avant J.-C. et il est devenu un aliment de base. Dans cette région, la principale race est la Guinée, en raison de sa diversité et de sa capacité d'adaptation aux conditions environnementales locales difficiles (**Vom Brocke et al., 2010**).

En Algérie, le sorgho est entretenu en culture vivrière dans les régions sahariennes et plus particulièrement à l'extrême Sud (ain salah, adrar, ouargla) (**Rahal Bouziane et al., 2004**).

Grâce à leur savoir-faire, les populations de ces régions ont préservé ces ressources avec leur diversité. Elles l'ont utilisé pour se nourrir, pour se soigner et pour nourrir leurs cheptels (**Rahal Bouziane, 2008**).

La culture des variétés traditionnelles, et la préservation de la diversité génétique pour les générations futures est donc primordiale. (**Allam et al., 2018**)

1.4. La composition chimique et la valeur nutritionnelle

La composition chimique est un paramètre important dans la détermination de la valeur nutritive des céréales. Elle permet l'interprétation de certaines caractéristiques fonctionnelles et rhéologiques. En effet elle possède une influence indéniable sur la qualité des textures et par conséquent sur les procédés de transformation

Les caractéristiques nutritionnelles et fonctionnelles de sorgho fermenté a fait l'objet d'une enquête dans de nombreux rapports comme **Elkhalifa et al., (2005) ; Marengo et al., 2015)**

Le sorgho a une valeur nutritionnelle est essentiellement composé de protéines et d'amidon, qui est plus lentement digéré que celui d'autres céréales, de protéines de faible digestibilité (principalement des kafirines), de lipides insaturés.

La composition chimique et la valeur nutritionnelle du sorgho entier sont similaires à celles du riz, du maïs et du blé. La valeur énergétique de 100 g de grains de sorgho varie entre 296,1 et 356,0 kcal (**Martino, et al., 2012 ; U.S. Department of Agriculture, 2012).**

Les principaux composants du sorgho sont les polysaccharides (amidon et non-amidon), suivis des protéines et des lipides **Martino, et al., 2012 ; U.S. Department of Agriculture, 2012).**

L'endosperme, partie la plus importante du grain, est relativement pauvre en matières minérales, cendres et lipides. Il contient en revanche 80 % des protéines du grain entier, 94 % de l'amidon et jusqu'à 75 % des vitamines du complexe B. (**Boudris-kaci, 2017).**

Tableau III : La composition nutritionnelle de Sorgho

Acides aminés	Maïs	Blé	<i>Sorgho</i>	Seigle	Orge	Riz
Leucine	10.7	12.3	6.8	12.9	5.4	6.8
Isoleucine	4.4	3.6	3.3	3.7	2.0	3.6
Valine	4.9	5.1	4.3	4.6	3.0	4.9
Threonine	4.0	3.8	2.8	3.7	2.8	3.4
Arginine	4.6	4.9	4.9	3.9	4.4	5.0
Lysine	3.1	2.8	2.7	2.1	2.8	3.7
Methionine	1.1	2.1	1.7	1.7	1.5	1.9
Cysteine	1.5	1.8	2.0	1.9	Na	2.0
Tryptophan	1.4	0.7	1.3	1.2	1.0	

Composés phénoliques

Le sorgho contient une grande quantité d'antioxydants d'acides phénoliques, de flavonoïdes, et de tanins condensés (Awika et Rooney, 2004 ; Dykes & Rooney, 2007 ; Serna-Saldivar & Rooney, 1995).

Le sorgho a une gamme variée de composés phénoliques que l'on ne trouve pas couramment dans d'autres grains de céréales et certains de ces composés, par exemple les 3-désoxyanthocyanes, n'existent pas dans d'autres plantes comestibles (Awika et Rooney, 2004).

' En outre, certaines variétés, notamment des couleurs rouge, brune et noire, ont une teneur élevée en composés phénoliques, en particulier en 3-désoxyanthocyanidines et en tanins, qui sont bénéfiques pour la santé humaine. **(De Morais et al., 2015).**

Plus important encore, les composés phénoliques et autres composés présents dans le sorgho semblent avoir des propriétés bioactives importantes pour la prévention du cancer, les maladies cardiovasculaires et la réduction de l'inflammation chronique et du stress oxydatif. **(Awika et al., 2009 ; Burdette et coll., 2010; Carr et coll., 2005; Chen et coll., 1993; Yang et coll., 2009, 2012, 2015).**

Des données récentes suggèrent également que les tanins du sorgho pourraient être utiles comme ingrédients naturels pour réduire l'impact calorique de l'amidon **(Amoako et Awika, 2016 ; Barros et coll., 2012, 2014).**

Les fibres

Les fibres alimentaires du sorgho sont principalement dérivées des hydrates de carbone de la paroi cellulaire cellulosique ; plus de 90 % des fibres alimentaires du sorgho sont insolubles.

En outre, il est important de noter que le sorgho ne contient pas les gluténine , qui sont responsables des allergies au gluten, sont couramment associés au blé et aux céréales connexes. Ainsi, le sorgho est « sans gluten ».

Micronutriments

La composition en micronutriments du sorgho n'est pas remarquable par rapport aux autres céréales. Toutefois, le sorgho contient en moyenne deux fois plus de fer que le maïs.

La plupart de ces micronutriments se trouvent dans le péricarpe et le germe, de sorte que la transformation des grains a un impact majeur sur la quantité nutritionnelle de sorgho.

Minéraux et vitamines

Le sorgho est une source de certains minéraux (phosphore, potassium et zinc) et de certaines vitamines du complexe B (thiamine, riboflavine et pyridoxine) et de vitamines liposolubles (D, E et K).

Chapitre II :
Transformation de sorgho,
Du grain à la Farine

Chapitre II : Transformation de sorgho, du grain à la farine

Le sorgho En Afrique et en Asie, le sorgho est utilisé en alimentation humaine. Par contre, dans les pays développés, presque la totalité de la production est destinée à l'alimentation animale. Signalons néanmoins que la proportion du sorgho destinée à l'alimentation humaine s'accroît progressivement. Cette croissance est due à une plus forte consommation en Afrique (Taylor, 2016) et aux Etats-Unis (Dahlberg et al., 2011).

Des tentatives ont été faites récemment pour utiliser des grains entiers ou des ingrédients de sorgho pour l'incorporer dans des aliments, tels que le pain et les produits carnés, afin d'améliorer la qualité des aliments et les avantages pour la santé ainsi que fabriquer de nouveaux aliments tels que le thé au grain de sorgho (Cabral et al., 2019 ; Wu et al., 2018 ; Xiong et al., 2019).

2.1. Farine de Sorgho

En alimentation humaine, le sorgho est souvent consommé sous la forme de bouillies, de couscous, de galettes ou de beignets préparés à partir de farine.

2.1.1. Transformation

La transformation primaire consiste à obtenir de la farine ou de la semoule à partir des grains de sorgho. Elle est constituée d'une succession d'opérations (nettoyage, décorticage, vannage, lavage, mouture) réalisées quasi quotidiennement par les femmes pour la préparation des repas. Les deux principales opérations que sont le décorticage et la mouture sont effectuées par pilage des grains dans un mortier en bois. (Chantreau et al., 2013)

2.1.1.1. Le décorticage en humide

Le décorticage est réalisé sur des grains préalablement nettoyés, puis réhumidifiés par lavage ou simple ajout d'eau. Cette réhumidification rapide permet d'assouplir les enveloppes des grains et facilite leur détachement de l'amande.

Le rendement de décorticage peut dépendre des variétés de sorgho mais aussi du niveau de décorticage souhaité et du savoir-faire des opératrices (Fliedel, 1994).

Après décortilage, les grains sont vannés pour séparer les sons et lavés pour éliminer les particules de son et de poussières qui restent collées à la surface des grains.

Pour certaines préparations, les grains décortiqués et lavés sont laissés à ressuyer et sont alors le siège d'un début de fermentation qui donne un goût acide très recherché par les consommateurs des plats traditionnels. (**Chantereau et al., 2013**).

2.1.1.2. La mouture traditionnelle des grains

Les opérations de mouture conduisent à la préparation de farines ou semoules avec ou sans « issues » (enveloppes et germes) qui servent de base à la préparation des mets traditionnels ou des plats nouveaux. La finesse de la mouture est variable selon les usages.

Si des semoules grossières sont utilisables pour certaines bouillies, il faut une mouture plus fine pour la fabrication des farines infantiles, dont la consistance plus ferme et appréciée des populations locales.

La qualité de la farine est variable selon son utilisation et la qualité nutritionnelle est irrégulière selon le mode de décortilage, le mode de préparation et la durée de conservation. Une farine de grains entiers broyés est plus nutritive mais elle ne peut pas se conserver sans risques d'altération ou rancissement.

À l'inverse, la farine obtenue à partir de grains bien décortiqués peut se conserver longtemps mais elle est appauvrie en certains nutriments (minéraux, vitamines, acides gras, etc.). Aujourd'hui, la plupart des ménagères qui habitent en agglomération préfèrent utiliser les moulins de quartier ou de village. (**Chantereau et al., 2013**)

2.1.1.3. Fermentation

La fermentation est la plus ancienne forme connue de biotechnologie alimentaire.

C'est une technique importante dans les pays en développement où le manque de ressources limite l'utilisation de techniques récentes telles que l'enrichissement des aliments en vitamines et l'utilisation de procédés à forte intensité d'énergie et de capital pour la conservation des aliments.

La plupart des variétés de sorgho ont acquis une renommée universelle pour la production d'aliments fermentés, en raison de leur grande adaptabilité et de leur faible coût de production. Le Soudan semble avoir le plus grand nombre de produits de sorgho fermenté.

Il existe environ 30 produits de ce type qui sont fondamentalement différents les uns des autres (**Dirar, 1991**)

La fermentation rend les aliments plus faciles à digérer et les nutriments plus faciles à assimiler, et elle retient les enzymes, les vitamines et autres nutriments qui sont généralement détruits par la transformation des aliments (**Dirar, 1991**)

La fermentation est utilisée depuis plusieurs milliers d'années comme un moyen efficace et peu coûteux de préserver la qualité et la sécurité des aliments.

Tissus animaux et végétaux soumis à l'action de micro-organismes et/ou d'enzymes qui ont provoqué des changements biochimiques souhaitables et une modification significative de la qualité des aliments.

2.1.1.4. Décoloration

Le processus de décoloration est aussi appelé décorticage, bien qu'en fait les grains de sorghum exempts de leur coque (les glumes) utilisés dans de nombreux produits traditionnels à base de sorgho impliquent le décorticage mécanique des couches extérieures de sorgho dans le but principal d'enlever le péricarpe.

Ceci est fait pour améliorer l'attrait sensoriel du grain, car le péricarpe est riche en dérivés de cellulose et d'hémicellulose et en métabolites végétaux secondaires comme les polyphénols qui donnent une texture, une saveur et une couleur indésirables aux produits

Le processus de décoloration, peut également augmenter la stabilité à la conservation (réduisant la sensibilité à la rancidité oxydative) de la farine obtenue par la suite en éliminant une grande partie du germe qui est riche en lipides et en enzymes lipolytiques.

Ainsi, la décoloration du sorgho produit essentiellement le même effet que le processus de raffinage du blé aux cours de la mouture à rouleaux, où l'obtention d'un produit en-dosperm pur est l'objectif ultime.

Un avantage nutritionnel positif de la décoloration est la réduction des niveaux d'« antinutriments » comme les tanins (là où ils sont présents), qui sont concentrés dans les couches externes du grain.

Les tanins (discutés plus loin) sont de grands polyphénols, présents dans un petit sous-ensemble de variétés de sorgho, qui peuvent inhiber les enzymes digestives et/ou complexes avec les macropolymères alimentaires, en particulier les protéines, pour réduire leur digestibilité globale et leur valeur biologique.

Les polyphénols, en général, peuvent aussi chélater les ions métalliques divalents, réduisant la biodisponibilité des micronutriments clés comme le fer et le zinc.

Ainsi, la décoloration, qui peut réduire la teneur en polyphénol et en tanin du sorgho de 80 à 95 % (**Awika et coll., 2005; Dlamini et coll., 2007**), devraient théoriquement améliorer la biodisponibilité de ces minéraux.

2.1.1.5. Fermentation et germination partielle (maltage)

Les deux processus de fermentation des bactéries lactiques et de germination partielle (comme cela se fait pendant le maltage) améliorent la digestibilité globale des protéines du sorgho.

Ainsi que de l'amidon. Comme mentionné précédemment, cet effet est principalement dû à l'activation des enzymes endogènes des graines (maltage) et des enzymes microbiennes (fermentations) qui déclenchent l'hydrolyse des macromolécules accessible aux enzymes digestives humaines. Cependant, la fermentation est également connue pour entraîner une réduction des niveaux de protéase et d'inhibiteurs de α -amylase (**Dlamini et coll., 2007**

2.2. Utilisation

Le sorgho est consommé sous diverses formes selon les régions. En général, le grain entier ou la farine sont utilisés dans la préparation de plats traditionnels. On compte quatre groupes principaux d'aliments à base de sorgho :

- Pain plat, généralement sans levain, fait avec une pâte fermentée ou non, consommé en Asie et dans certaines parties d'Afrique
- Bouillie, fluide ou épaisse, fermentée ou non, consommée surtout en Afrique
- Produits bouillis semblables à ceux préparés à partir du gruau de maïs ou du riz
- Aliments frits à l'huile.

Un autre aspect important du sorgho grain, surtout en Afrique, est son utilisation dans la production de boissons alcoolisées. Un intérêt particulier est porté à la production d'aliments adaptés aux enfants en améliorant leur digestibilité.

Wambugu et al. (2006) déclarent que les gruaux produits à partir de farines de sorgho fermentés et maltés présentent de faibles viscosités associées à une digestibilité acceptable.

Enfin, le sorgho apporte déjà sa touche à la révolution énergétique. Les sorghos dits « biomasse », du fait de leur grande productivité, permettent ainsi la production de méthane, lui-même transformé en électricité (méthanisation).

Le sorgho est utilisé pour d'autres procédés énergétiques : la combustion ou la fermentation alcoolique de sorghos sucriers (70 à 80 % de saccharose) et pour la production du biocarburant comme l'éthanol. (**Boudries, 2017**).

2.2.1. Dans les préparations culinaires traditionnelles

Outre l'utilisation du sorgho pour la fabrication d'aliments fonctionnels, le sorgho peut être utilisé comme ingrédient et incorporé dans d'autres aliments pour améliorer la qualité des aliments, la nutrition et la fonction sanitaire (**Xiong et al., 2019**)

Le sorgho et le millet sont les céréales les plus tolérantes à la sécheresse et nécessitent peu d'intrants pendant la croissance, mais, comme pour les autres cultures, ils donnent de meilleurs résultats avec une bonne gestion (**ICRISAT/FAO, 1996**).

Avec l'augmentation de la population mondiale et la diminution des réserves d'eau, elles représentent d'importantes les cultures destinées à un usage humain futur.

Si le sorgho et le mil sont des cultures vivrières vitales pour des millions de personnes dans certaines régions d'Afrique et d'Asie, ils constituent une ressource sous-utilisée dans la plupart des pays développés, le sorgho étant principalement utilisé comme l'alimentation animale et le millet peu cultivé (**ICRISAT/FAO, 1996**).

Plusieurs études antérieures ont abordé en profondeur le sujet des aliments traditionnels à base de sorgho et de millet, par exemple **McDonough et al. (2000)**, **Murty et Kumar (1995)** et **Rooney et Serna-Saldivar (2000)**.

Cette revue présente l'état de la science et de la technologie du sorgho et du millet en ce qui concerne leur nouvelle utilisation dans les principaux produits alimentaires et boissons, y

compris les produits de boulangerie et la bière blonde et brune, et l'utilisation du sorgho pour les produits bio-industriels tels que l'éthanol, l'amidon et les plastiques.

L'accent est mis sur la manière dont les caractéristiques structurelles et chimiques particulières de la composition du sorgho et des grains de millet influencent leurs applications potentielles et les technologies de transformation requises.

2.2.2. Dans l'agro-industrie (moderne)

Le marché des aliments à grignoter connaît une croissance des ventes dans le monde entier et la recherche pour le développement de nouveaux produits aux caractéristiques améliorées implique la recherche de sources de céréales alternatives et de sous-produits de l'industrie alimentaire (**Navarro-Cortezet *al.*, 2016 ; Riaz, 2016**).

Il a un large éventail d'autres applications qui sont explorées avec un intérêt mondial pour les ressources renouvelables.

La collection de germoplasme de sorgho des États-Unis contient plus de 41 000 accessions qui représentent des races de pays et des cultivars de plus de 115 pays.

Traditionnellement, cette collection a été évaluée pour des traits tels que le stress abiotique ou biotique et d'autres caractéristiques agronomiques et peu de travaux ont été effectués sur la collection pour la caractériser pour ce qui pourrait être considéré comme des utilisations "non traditionnelles".

Le sorgho est une céréale sans gluten et des recherches récentes ont commencé à l'évaluer pour les caractéristiques de la farine qui la rendraient plus adaptée à la boulangerie et à d'autres technologies de transformation (**Dahlberg *et al.*, 2011**)

Parce que le sorgho est considéré comme une alternative sûre au blé pour les coeliaques, et parce qu'il faut trouver des alternatives locales au blé dans les pays tropicaux où le blé ne peut pas être cultivé (**Taylor *et al.*, 2006 ; Schober *et al.*, 2008**).

2.3. Effet de la transformation sur la qualité nutritionnelle du sorgho

Le sorgho est traditionnellement utilisé dans divers produits, y compris diverses formes de porridge mince et épais en Afrique de l'Est et de l'Ouest, pains plats, comme roti en Inde, injera en Éthiopie, et kiswa au Soudan, avec des boissons alcoolisées.

Ces produits nécessitent souvent une transformation qui comprend diverses combinaisons de procédés mécaniques (décoloration, réduction de la taille), biochimiques (fermentation, maltage) et hydrothermiques (cuisson humide).

Selon la combinaison des procédés utilisés, l'impact sur le profil nutritionnel du sorgho sera différent.

Selon **Marston, (2016)**, La durée et la température optimales pour améliorer la farine de sorgho étaient de 125 °C pendant 30 minutes.

L'analyse immédiate de la farine de sorgho a révélé que la farine a une teneur en humidité de 10,72%, 5,96% de protéines, 3,05% de matières grasses, 0,24% de fibres et 1,39% de cendres. La teneur en fibres semble un peu faible, mais le reste des analyses proches sont des chiffres typiques trouvés dans la farine de sorgho (**Trappey et al., 2015**).

Chapitre III :

Préparation à

Base de Sorgho

Le sorgho, une céréale ancienne qui est une culture de base en Inde et dans toute l'Afrique, a longtemps été considéré comme une alternative céréalière sûre pour les personnes souffrant de maladie cœliaque et d'insensibilité au gluten.

Le gluten est la protéine flexible contenue dans les céréales communes comme le blé, l'orge et le seigle, qui leur donne une qualité moelleuse et élastique lorsqu'elles sont cuites pour en faire du pain ou des pâtes. Le gluten déclenche des inflammations des réactions chez les personnes atteintes de la maladie coeliaque ou d'une sensibilité au gluten pouvant provoquer des douleurs abdominales et des problèmes digestifs, et finissent par provoquer des douleurs articulaires et des lésions intestinales (Dykes et al., 2006 ; Hakeem et al., 2018)

3.1. Préparation culinaires Traditionnelle

3.1.1. Pain composé de Sorgho ou Petit pain

Le pain composite au sorgho est un repas enrichi qui se prend surtout au petit déjeuner et parfois en collation. Les farines sont fabriquées à partir de grains de sorgho mélangés à de la farine de manioc/blé, ce qui les rend plus appétissants et plus moelleux à manger. (Hakeem et al., 2018)



Fig. n°7 ; Petit pain composé de sorgho (Hakeem et al., 2018)

Méthode de préparation

- Ajoutez une petite quantité de sucre à la levure dans une tasse d'eau chaude,
- Verser tous les ingrédients dans un mixer et battre à grande vitesse pendant 10 à 15 minutes
- Si vous mélangez à la main, continuez à mélanger vigoureusement jusqu'à ce qu'il se forme une boule souple et lisse ou pâte. Les pains ont été préparés selon la méthode donnée par **Martínez et al., 2013**)
- Pétrir en boule, couvrir dans un endroit chaud, jusqu'à ce qu'elle double de taille. C'est pour la fermentation.
- Faites retomber la pâte en la chauffant plusieurs fois sur la surface d'un four et roulez-la dans différentes formes et tailles. Après 2 heures de refroidissement, l'humidité de la mie de pain a été déterminée selon le **AACC 2000**. Les mesures de volume ont été effectuées en double sur deux pains de chaque élaboration. Le volume spécifique a été calculé comme étant le rapport entre le volume du pain et son poids.
- Badigeonner la surface de la pâte façonnée avec de l'œuf cru battu pour obtenir une couleur brun doré.
- Mettre dans des moules à pain et faire cuire à 350oC pendant 20 à 25 minutes ou jusqu'à ce que le pain soit bien doré. (**Hakeem et al., 2018**).

3.1.2. Procédé de production de sirop de Glucose à partir du Sorgho

L'ensemble de ces opérations ont pour but d'extraire les granules d'amidon natifs.

Trempage des grains

Une tonne de grains est trempée dans la solution alcaline NaOH 0,25 % avec un rapport de 30 % pendant 24 h. Broyage humide Les grains trempés sont lavés à l'eau jusqu'à un pH neutre et soumis ensuite à un broyage humide pendant 10 minutes

Filtration

La suspension passe successivement à travers deux filtres de 355 et 50 μm .

Centrifugation et purification

La suspension d'amidon filtrée est centrifugée pendant 20 minutes à 5000 rpm. Le culot obtenu est débarrassé de la couche superficielle de résidus

Gélatinisation

Les granules d'amidon remis en suspension à 35 % (30-40 % m /m) à pH 6,5 (6,0-6,5), contenant 40 ppm de Ca^{2+} (20 à 80 ppm, Ca^{2+} stabilise et active l'enzyme) sont chauffés à 100-105 °C avec de la vapeur vive pendant 10 minutes.

Liquéfaction

L' α -amylase bactérienne Termamyl est ajoutée (via une pompe doseuse) avec des doses de 0,5 à 0,6 kg par tonne d'amidon (environ 1500 U kg^{-1} de matière sèche) à 95-100 °C pendant 2h. L'amidon liquéfié contient majoritairement des oligosaccharides. Le glucose et le maltose sont en quantités infimes.

Saccharification

Le pH est ajusté par ajout d'acide chlorhydrique HCl à une valeur de 4,5 et l'hydrolysats est refroidi à 60-65 °C. L'enzyme saccharifiante, glucoamylase 150 U/kg est introduite au réservoir avec un temps de séjour de 24 à 90 h (72 h). Le sirop de glucose ainsi obtenu contient majoritairement (jusqu'à 97 %) du glucose et des quantités très faibles de maltose, isomaltose et autres oligosaccharides. A la fin de l'opération, les enzymes sont inactivées par une augmentation de la température.

Neutralisation

Le sirop est neutralisé avec du carbonate de sodium ou de la chaux afin éliminer l'acide libre et amener la valeur du pH entre 5,0-7,0. Le chlorure de sodium formé dans le sirop, en petite quantité, reste dans la solution.

Filtration

La technique classique de clarification met en œuvre des filtres utilisant les terres de diatomées (kieselguhr) ou de la perlite. Ces additifs ont beaucoup d'inconvénients (prix, volatilité...). C'est pourquoi le filtre-presse ou le filtre en céramique sont actuellement employés. Décoloration La technologie la plus utilisée pour la décoloration du sirop de sucre est le traitement avec le charbon actif en poudre. Le charbon actif permet, par adsorption, d'éliminer du filtrat brun-clair obtenu les impuretés responsables de la couleur et de l'odeur. Généralement, un temps de contact de 30 minutes est considéré optimal. Un procédé récent consiste à utiliser l'électrodialyse afin d'obtenir un sirop de glucose de qualité supérieure. Déminéralisation Le sirop est déminéralisé par échange d'ion. En raison de la température et de la concentration des sirops de glucose, il faut des résines très stables physiquement telles que :

- DowexTM 88 (résine fortement acide)
- Dowex 66 (résine faiblement basique)

Concentration/Evaporation

Le glucose est totalement nettoyé par les filtres, puis envoyé vers l'évaporateur pour se concentrer afin d'atteindre DE désirer pour le produit final. L'évaporation est réalisée sous vide dans des convertisseurs simples ou par échangeurs thermiques jusqu'à un extrait sec de 80 à 85 %.

Stockage et transport

Le sirop produit par les unités industrielles ne doit pas être stocké en grandes quantités pendant de longues périodes à cause d'une détérioration possible de sa couleur. Le transport est réalisé en fûts ou en citernes. Un schéma reprenant ces étapes et le procédé sont donnés à la figure 8 suivante :

L'hydrolyse d'amidon comporte essentiellement trois étapes : la gélatinisation, la liquéfaction et la saccharification,

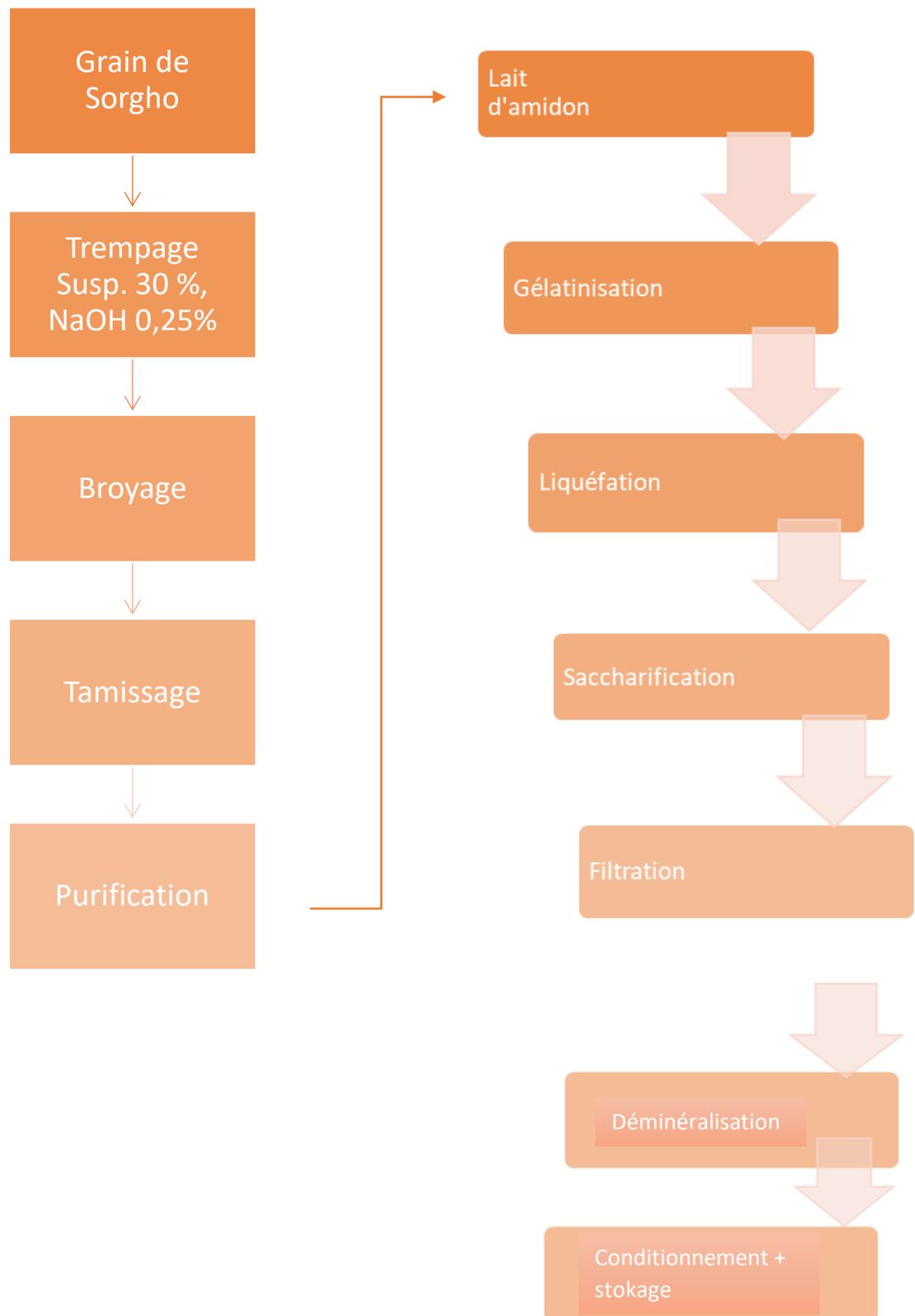


Fig.n°8 : Schéma de production de sirop de glucose par conversion enzymatique de l'amidon de sorgho (Boudris, 2017)

3.1.3. FURA

La Fura est une pâte non fermentée, cuite à la vapeur, principalement à base de sorgho, de millet ou d'une combinaison des deux.

Fura est généralement pris avec du lait, du yaourt ou du lait cru (Hakeem *et al.*, 2018) est un produit principalement mélangées à des épices, comprimées en boulettes et peut être bouillies pendant trente minutes (Adebayo-Oyetero *et al.*, 2017) est populaire dans toute l'Afrique de l'Ouest. (Ampofo-Asiama, *et al.*, 2019)



Fig. n° 9 : Fura à mélanger avec du lait et du sucre(Hakeem *et al.*, 2018)

Selon Hakeem (2018) la Préparation de Fura est come suite :

- Moudre le grain de sorgho ou de millet trié et propre pour en faire de la farine
- Mélangez la farine et les épices (poivre, clous de girofle, gingembre) dans un bol.
- Saupoudrer une certaine quantité d'eau dans le mélange, suffisante pour servir de liant pour les ingrédients.
- Mouler en boules de taille moyenne.
- Mettre une certaine quantité d'eau sur le feu pour la faire bouillir
- Plongez les boules moulées dans l'eau bouillante et laissez cuire pendant environ 20 à 30 minutes.
- Transférez les boulettes cuites de la marmite dans un mortier et pilonnez bien.
- Moulez-les à nouveau en petites boules.
- Saupoudrer de farine de sorgho/millet pour garder les boules humides
- Pour servir, versez le lait cru (nono) et les boules dans un bol, écrasez-les ensemble et ajouter du sucre au goût

Tableau IV : Composition approximative de la Fura (**Ampofo, et al., 2019**).

Composition	Estimate
Humidité (g/100 g)	49.65 ± 3.56
Graisses brutes (g/100 g)	2.65 ± 0.69
Protéines brutes (g/100 g)	10.63 ± 2.65
Cendres (g/100 g)	2.87 ± 0.69
Fibre (g/100 g)	8.64 ± 1.65
Glucides	26.69 3.67

3.1.4. Couscous

Les couscous de type pâtes et les couscous africains sont des produits très populaires dans le monde.

Le couscous de type turc est produit et consommé généralement en Turquie, en Géorgie, en Azerbaïdjan et en Arménie.

Selon l'Union des organisations de fabricants de pâtes alimentaires de l'UE, environ 14,3 millions de tonnes de pâtes (y compris le couscous) sont produites dans le monde en 2015

En Afrique de l'Ouest, le sorgho est utilisé pour la fabrication du couscous, ce dernier couscous est composé de grosses particules d'endosperme de céréales qui ont été cuites à la vapeur.

Processus de fabrication

Selon **Galiba et al., (1987)** le processus consiste à mélanger de la farine de sorgho provenant de grains décortiqués et de l'eau pour produire des particules agglomérées de taille uniforme. Les particules sont ensuite tamisées à l'aide d'un tamis de 1,5 mm.

On procède à un nouveau tamisage si nécessaire et on peut ajouter du mucilage végétal pour améliorer la texture (utilisation de ces substances en Afrique occidentale pour la fabrication de la bière).

Ces particules plus fines sont cuites à la vapeur jusqu'à trois fois en utilisant un couscoussier.

3.1.5 Kisra

Le Kisra est un pain de sorgho fermenté qui constitue l'alimentation de base de la population soudanaise. La fermentation de Kisra de trois variétés de sorgho populaires a été étudiée (Dabar ,Fetirita ,Mayo).

L'objectif était de déterminer la teneur en nutriments ainsi que le schéma des acides aminés, pendant cette fermentation. Les résultats ont indiqué qu'il y avait une légère augmentation de la teneur en protéines résultant de la fermentation de la Kisra et d'une baisse sensible de l'amidon.

Les sucres totaux et non réducteurs ont nettement diminué au début du processus de fermentation ; tandis que la teneur en fibres brutes a augmenté. La thréonine et la lysine sont restées pratiquement inchangés pendant la fermentation de la Kisra. La Tyrosine et méthionine ont été enrichies par la fermentation pour les trois variétés de sorgho.

Les kisras à base de Dabar et Fetirita ont été enrichies en thréonine et en valine. (**Tinay *et al.*, 1979**).

Préparation de la pate

Trois variétés populaires de grains de sorgho, à savoir Dabar, Fetirita et Mayo, ont été obtenues à partir du marché local. Ceux-ci ont été nettoyés et débarrassés des matières étrangères, et les grains ont été moulus en farine fine.

La pâte fermentée et la Kisra étaient préparées selon la méthode traditionnelle utilisée par les femmes ménagères.

La farine de sorgho (1 kg) a été mélangée à 2 litres d'eau dans un récipient rond en terre cuite. la pate Précédemment fermentée (300 g) a ensuite été ajoutée au mélange de farine et d'eau pour servir d'amorce. des échantillons de mélange ont été prélevés à 3 h d'intervalle jusqu'à la fin de la fermentation qui a été arrêtée après 18 h (pH 3,7) à température ambiante (28-29°C). Ces échantillons ont été séchés dans une étuve à vide à 50°C et finement broyé.

À la fin du processus de fermentation (pH 3,7), le reste de la pâte a été cuit sur une plaque chauffante de (150-160°C) en fines feuilles (3 oz) pendant 1,5-2 s. Pour l'analyse chimique, les feuilles ont été découpées en petits morceaux et séchées dans un four sous vide (SOT).

La valeur nutritive pour 100g de kiswa est illustrée dans le tableau 5

Tableau n°5 : valeur nutritive pour 100g de kiswa

<i>variétés</i>	<i>humidité</i>	<i>N.P.N</i> (g)	<i>protéines</i> (g)	<i>amidon</i> (g)	<i>sucres totaux</i> (g)	<i>sucres non réducteurs</i> (g)	<i>fibres brutes</i> (g)
Dabar	52	0.98	10.6	60.0	2.1	1.9	3.8
Fetirita	53	0.80	11.5	60.0	2.0	1.7	3.8
Mayo	52	0.99	0.5	61.0	1.9	1.6	3.9

3.2. PRODIOTS INDUSTRIELS

Ces dernières années, l'Afrique a développé un goût pour les aliments et les boissons non traditionnels tels que le pain levé, les pâtes et la bière blonde, qui sont produits à partir des céréales tempérées que sont le blé et l'orge.

Ces céréales ne peuvent pas être cultivées de manière économique dans la plupart des régions du continent. C'est pourquoi de grandes quantités de céréales tempérées doivent être importées. En 1996/7, L'Afrique a importé 16,4 millions de tonnes de blé, et les pays en développement ont importé au total 67 millions de tonnes.

3.2.1. Gâteaux et cookies

Pour faire des gâteaux de sorgho, on utilise un procédé de pâte à frire similaire à celui du pain. Le sucre, la graisse et les œufs sont écrasés de la manière habituelle.

Ensuite, la farine de sorgho finement moulue (taille des particules < 150 ~m) (70 parties), l'amidon de manioc (30 parties) et la levure chimique pré-mélangée dans l'eau (60-80% de la base de la farine) sont lentement mélangés pour former une pâte.

La pâte est cuite à 180°C pendant environ 30 minutes (**Olantunji et al., 1992**) Les biscuits n'ayant généralement pas de structure levée, l'absence de gluten dans la farine de sorgho ne constitue pas un inconvénient majeur et le sorgho peut être utilisé pour fabriquer des produits de qualité raisonnable.

Cependant, deux problèmes se posent. Les biscuits ont tendance à être fragiles et ont une texture granuleuse (**Badi et Hoseney, 1976**).

Le premier problème est lié à l'absence de gluten, qui assure normalement la cohésion de la pâte.

Le second est dû à l'endosperme externe dur et vitreux du sorgho, causé par le complexe de kafirine hautement réticulé qui encapsule les granules d'amidon (**Bressani et al., 1993**) et retarde l'absorption d'eau et la gélatinisation des granules d'amidon (**Paredes-Lopez et al., 1989**)

L'ajout d'émulsifiants tels que la lécithine (**Badi et Hoseney, 1976**) et les esters gras de saccharose réduit la fragilité des biscuits de sorgho, tout comme l'utilisation d'un procédé de type crème pour produire les biscuits (**Radosavljevic et al., 1998**).

La granulométrie est quelque peu réduite en augmentant le pR de la pâte (**Badi et Hoseney, 1976**).

Cependant, de meilleurs résultats semblent être obtenus par des solutions plus radicales telles que l'extrusion d'une partie de la farine de biscuit (**Grflmdal 1988**, cité par **Munck**).

On pense que le processus d'extrusion perturbe le complexe sorgho-kafirine. Une autre solution consiste à séparer les parties dures et molles de l'endosperme de la farine de sorgho et à produire des biscuits uniquement à partir de la farine d'endosperme molle (**Bressani et al., 1990**).

Cette farine ressemble davantage à la farine de blé tendre préférée pour les biscuits, car la teneur en protéines et la quantité d'amidon endommagé sont plus bas.

La production de pain, de gâteaux, et les biscuits de sorgho font l'objet d'une vaste enquête. En raison de ces caractéristiques, cette céréale est devenue une option intéressante à inclure dans des produits transformés très consommés tels que les biscuits, le pain et les snacks (**Taylor et al., 2006 ; Jiang et al., 2018**)

L'évaluation sensorielle de ces biscuits au sorgho enrichis en protéines par les enfants de l'école primaire a montré pour qu'ils soient aussi acceptables que les biscuits 100 % blé Commercialisation de la production de biscuits enrichis à la farine de soja. (**Ojha et al., 2017**).

3.2.2 PÂTES ET NOUILLES

Faure (**1992**) a passé en revue le peu de recherches qui ont été menées à utiliser le sorgho pour produire des pâtes. Les principaux problèmes rencontrés liée à un manque de cohésion dû à l'absence de gluten. L'ajout de l'amidon de maïs pré gélatinisé (25%) à la farine de sorgho non traitée à augmenté la fermeté du produit final et la réduction des pertes pendant la cuisson (**Miche et al. 1977**).

Cependant, un tel processus est clairement non économique, en particulier pour les pays en développement. Le traitement thermique à 90°C des pâtes au sorgho pendant le séchage semble être un moyen potentiellement bien meilleur de réduire les pertes durant la cuisson (**Faure, 1992 ; Taylor, 2001**)

3.2.3 tortillas :

Les tortillas et les pains plats similaires à base de maïs, qui sont traditionnels en Amérique latine sont des aliments de plus en plus populaires aux États-Unis et dans le monde (**Rooney, 1993**). L'étape clé de la fabrication est que les grains de maïs sont cuits et trempés dans de la chaux pour préparer la pâte, un processus connu sous le nom de nixtamalisation.

La cuisson à la chaux affaiblit les parois cellulaires, provoque la formation d'amidon granulés pour les faire gonfler et, dans certains cas, les détruire partiellement, et modifie l'aspect physique des corps protéiques (**Gomez et al., 1989**).

Ces effets sur la structure cellulaire sont intensifiés lorsque les noyaux sont moulu en masa (pâte de maïs). La modification de la structure cellulaire La cuisson, le trempage et le broyage de la chaux permettent la formation d'un produit semi-plastique cohésif et souple après cuisson.

Dans certaines régions d'Amérique centrale et du Mexique, le sorgho est utilisé avec succès en remplacement complet ou partiel du maïs dans la production de la tortillas (**Murty et Kumar, 1995**).

L'utilisation du sorgho nécessite des changements relativement mineurs dans le traitement. Comme la proportion du sorgho dans le masa est augmenté, les temps de cuisson et de trempage doivent être réduits (**Choto et al., 1985**).

Le sorgho entier peut donner une couleur jaune verdâtre aux tortillas en raison des polyphénols présents dans la partie extérieure du grain (**Bedolla et al., 1983**).

Si le sorgho est décortiqué, cette couleur est réduite ou éliminée. Cependant, il est nécessaire de réduire le temps de cuisson et la chaux lorsque le sorgho décortiqué est utilisé, afin d'éviter la masa de devenir trop collante. En général, l'utilisation du sorgho blanc améliore la couleur des tortillas par rapport au maïs jaune (**Choto et al., 1985**).

Hypothèse et Discussion

Les préoccupations nutritionnelles passent de la question de la vertu des aliments qui ne contiennent pas de composants "indésirables" partiels à l'angle plus positif des aliments contenant des composants désirables.

Le sorgho, à certains égards, est un aliment qui remplit les deux critères. En ce qui concerne les indésirables, comme toutes les céréales, il a une densité énergétique relativement faible, environ 1380 kJ 100 g⁻¹

Le sorgho est la principale source d'énergie alimentaire et une importante culture de base dans les zones tropicales arides et semi-arides. Dans les pays en développement, principalement sur les continents africain et asiatique, le grain de sorgho est cultivé principalement pour l'alimentation. On estime que plus de 300 millions de personnes dans ces pays dépendent essentiellement du sorgho comme source d'énergie (**Godwin et Gray, 2000**)

Sur le plan nutritionnel, le sorgho a souvent été considéré de manière négative, car tous les types de sorgho contiennent des polyphénols, parfois assimilés à tort à des tanins.

Aujourd'hui, cependant, les tanins sont de plus en plus considérés sous un angle positif, car il est de plus en plus évident que la consommation d'aliments contenant des polyphénols peut contribuer à réduire le risque d'accidents vasculaires cérébraux, de maladies coronariennes, de certains cancers et de troubles hépatiques, grâce à leur activité d'antioxydants.

Il n'est donc pas inconcevable qu'à l'avenir, le sorgho soit considéré comme un aliment fonctionnel (nutraceutique).

Ces derniers temps, la population urbaine est de plus en plus consciente du fait que le sorgho est un aliment sain en tant que "grain nutritif" en raison de sa supériorité nutritionnelle, en particulier de sa teneur élevée en fibres alimentaires et de sa capacité antioxydante due à la présence de substances phytochimiques connues auparavant comme antinutritionnelles (**Hariprasanna et al., 2015**).

De nouvelles preuves moléculaires confirment que le sorgho est totalement exempt de gluten, et signale que la céréale apporte des bienfaits pour la santé qui en font un complément valable à tout régime alimentaire.

Le sorgho est une riche source de divers produits phytochimiques, notamment des tanins, des acides phénoliques, des anthocyanes, des phytostérols et des policosanols, qui ont tous un

impact important sur la santé humaine (**Taylor et al., 2014 ; De Morais Cardoso et al., 2017**).

Des études montrent que le sorgho est comparable, voire supérieur aux principales céréales sur le plan nutritionnel (**Duodu et al., 2003 ; Kaur et al., 2014**).

Cependant, le pain de sorgho sans blé reste le principal défi.

L'appétibilité et la qualité de nombreux produits alimentaires fabriqués à partir de sorgho dépendent de la qualité de son grain, en particulier de la composition de l'amylose et de l'amylopectine.

Il y a toujours eu un manque de génotype spécifique au produit final et leur disponibilité en grandes quantités pour répondre à la demande du marché. Dans presque tous les pays d'Asie et d'Afrique, la consommation d'aliments à base de sorgho a diminué et a été remplacée par d'autres céréales telles que le maïs.

Les problèmes d'approvisionnement en grains de sorgho de qualité constante seraient résolus par l'intervention des industries agroalimentaires dans la multiplication des semences de sorgho et l'agriculture contractuelle dans des zones de production agroécologiques appropriées pour les produits cibles.

Un effort plus soutenu est nécessaire pour encourager la production, par les agriculteurs, de cultivars de qualité alimentaire et industrielle améliorée, à identité préservée, en vue de leur transformation en produits à valeur ajoutée. (**Aruna et Visarada, 2019**).

La normalisation des technologies de transformation et la mise en place d'aliments à valeur ajoutée pour la promotion de la santé et des avantages nutritionnels, ainsi que la certification des aliments fonctionnels pour la santé, peuvent permettre d'étendre encore la zone de production du sorgho.

Pour remettre le sorgho en culture, la collaboration entre toutes les parties concernées, en particulier les sélectionneurs, les entreprises de semences, les entreprises de transformation alimentaire, les agriculteurs et le gouvernement est très importante.

Conclusion

Ce travail a été effectué pour but de présenter la bonne qualité nutritionnelle, organoleptique et sensorielle des produits préparés à base de farine de sorgho

Nous avons effectué notre travail autour de la problématique suivante : **comment sont fabriqués les produits à base de farine de sorgho ?**

Les différentes études menées sur l'utilisation du sorgho dans les préparations culinaire et l'industrie agro-alimentaire sorgho ont montrées :

- ❖ La farine de sorgho apporte de l'amidon, des protéines et des fibres alimentaires qui contribuent à la satiété. Il est également riche en minéraux tels que le fer, le calcium et le phosphore.
- ❖ Ainsi, le sorgho peut contribuer à atténuer certaines des préoccupations des consommateurs concernant les produits alimentaires amylicés courants comme le blé, le maïs ou les pommes de terre, qui contribuent largement à la prise de poids. Même si les études humaines sur l'effet du sorgho sur la réponse glycémique et la satiété sont limitées,

Les progrès ont déjà été faites pour utiliser le grain de sorgho dans la fabrication d'aliments fonctionnels, ainsi que l'incorporation de grains ou de composants de sorgho dans les aliments pour améliorer ces qualités et ces fonctionnalités

Le sorgho a un énorme potentiel pour une utilisation plus large, mais le défi pour améliorer l'utilisation du sorgho est à venir. Une plus grande utilisation du sorgho peut se faire grâce à l'utilisation de variétés améliorées, de technologies améliorées et de changements de politique gouvernementale qui favorisent les céréales indigènes.

Le sorgho a de beaux jours devant lui que ce soit pour diversifier l'alimentation ou soutenir une agriculture durable

En perspectives, afin de mieux valoriser notre alimentation et de bénéficier au maximum de la composition nutritionnelle et vertus de sorgho.

Il serait souhaitable d'approfondir cette étude par d'autres recherches *in vivo*, d'explorer plus ses vertus et bienfaits sur la santé, d'encourager plus sa production en Algérie ainsi que de l'intégrer plus dans les préparations destinées aux maladies cœliaques.

Références bibliographiques

1. AACC International, *Approved methods of the Association of Cereal Chemists International*, 10th edn. AACC, St Paul. (2000)
2. Adebayo-Oyetoro A.O and Shotunde A.B. and Adeyeye Samuel A.O. and Ogundipe, O.O. (2017) Quality evaluation of millet-based fura powder supplemented with Bambara Groundnut. *International Journal of Food Science, Nutrition and Dietetics (IJFS)*, 6 (3). pp. 358-362.
3. Ampofo-Asiama J, Atsrim E. S, & Asiamah P. (2019). Effect of Storage Temperature on the Microbial Quality of Fura. *Asian Food Science Journal*, 13(2), 1-6. <https://doi.org/10.9734/afsj/2019/v13i230101>
4. Awika JM, Rooney LW,(2004) Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry*. ;65(9):1199-1221
5. Baquedano F.G, Liefert W.M,(2014). Market Integration and Price Transmission in Consumer Markets of Developing Countries. *Food Policy* , 44, 103–114.
6. Bhagavatula S , Rao P.P, Basavaraj G ,Nagaraj N,(2013). Sorghum and Millet Economies in Asia–Facts, Trends and Outlook; International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics: Patancheru, India.
7. Bolade M. K., & Buraimoh M. S. (2006). Textural and sensory quality enhancement of sorghum tuwo. *International Journal of Food Science and Technology*, 41(s2), 115–123. doi:10.1111/j.1365-2621.2006.01437.x
8. Bolade M.K., Usman M.A., Rasheed A.A., Benson E.L. & Salifou, I. (2002). Influence of hydrothermal treatment of maize grains on the quality and acceptability of tuwon masara (traditional maize gel). *Food Chemistry*, 79, 479–483.
9. Cabral A R., Waters C, Laird H. L., Cavitt L. C., Miller R. K., Rooney W. L., Kerth C. R. (2019). Sorghum bran as an antioxidant in pork poultry products. *Meat and Muscle Biology*, 2(2), 83–83.
10. Dirar H.A. (1991). The Indigenous Fermented Foods and Beverages of Sudan. In: *Applications of Biotechnology to Food Processing in Africa. Selected Paper. UNIDO, Vienna.* 23-40.
11. Elkhalfifa AO, Schiffler B, Bernhardt R.(2005) ; 92 :1-5 Effect of fermentation on the functional properties of sorghum flour. *Food Chemistry*.

12. FAOSTAT Database Collections, FAO. Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data> (accessed on 15 December 2015).
13. FAOSTAT Database Collections, FAO. Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data> (accessed on 15 December 2015).
14. Galiba M, Rooney LW, Waniska RD, Miller FR (1987) The preparation of sorghum and millet couscous in west Africa. *Cereal Foods World* 32:878-884
15. Godwin I.D, Gray S.J, (2000). Overcoming productivity and quality constraints in sorghum: the role for genetic engineering. In: O'Brien, L., Henry, R.J. (Eds.), *Transgenic Cereals*. AACCC, St Paul, Minnesota, USA, pp. 153e177.
16. Khady B, Emmanuel T, Jacqueline D, Ndiaga C, Philippe T. (2010);14(1):131-139. Comparative study of phenolic compounds, the antioxidant power of various Senegalese sorghum varieties and amylolytic enzymes of their malt. *Biotechnol, Agron. Soc.*
17. Marengo M, Bonomi F, Marti A, Pagani MA, Elkhalfi AO, Iametti S.(2015) ;63:511–518. Molecular features of fermented and sprouted sorghum flours relate to their suitability as components of enriched gluten-free pasta. *LWT - Food Science and Technology*.
18. Marston K., Khouryeh H., & Aramouni F. (2016). *Effect of heat treatment of sorghum flour on the functional properties of gluten-free bread and cake*. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 637–644. doi:10.1016/j.lwt.2015.08.063
19. Martínez B, Oliete M, Gómez(2013) Effect of the addition of extruded wheat flours on dough rheology and bread quality. *J. Cereal Sci.* **57**, 424–429
20. Mundia C. W, Secchi S, Akamani K., & Wang G. (2019). *A Regional Comparison of Factors Affecting Global Sorghum Production: The Case of North America, Asia and Africa's Sahel*. *Sustainability*, 11(7), 2135. doi:10.3390/su11072135
21. Nellesmann C.M.M, Manders T, Eickout B, Svihus B, Prins A.G, Kaltenborn B.P. (2009)(Eds.) *The Environmental Food Crisis—The Environment's Role in Averting Future Food Crises; A UNEP Rapid Response Assessment; UNEP/Earthprint: Arendal, Norway* ;Available online: [https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/references/the-environmental-crisis.-the-environments-role-in-averting-future-food-crises-unep-\(2009\).pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/references/the-environmental-crisis.-the-environments-role-in-averting-future-food-crises-unep-(2009).pdf) (accessed on 15 December 2015).
22. Odusola KB, Ilesanmi FF, Akinloye OA, Ilesanmi OS, Zaka KO. Nutrient composition and acceptability of cereal gruel (Ogi) produced from sorghum

- (Sorghum bicolor) supplemented with soybeans (Glycine max) and Ginger (Zingiber officinale), A publication of the School of Agriculture Technology, The Federal University of Technology, Akure, Nigeria; (2015).
23. OECD. Consensus Document on the Biology of Sorghum (Sorghum bicolor L. Moench), 62nd ed.; Organization for Economic Co-operation and Development: Paris, France, (2016).
 24. Olantunji O, Koleoso OA, Oniwinde AB (1992) Recent experience on the milling of sorghum, millet, and maize for making nonwheat bread, cake, and sausage in Nigeria. In: Gomez MI, House LR, Rooney LW, Dendy DAV (eds) Utilization of sorghum and millets. ICRISAT, Patancheru, India, pp 83-88
 25. Olsen KM.(2012) One Gene's Shattering Effects. Nat. Genet., 44, 616–617. [CrossRef] [PubMed]
 26. Paredes-Lopez O, Schevenin ML, Hernandez-Lopez D, Carabez-Trejo A (1989) Amaranth starch-isolation and partial characterization. Starch/Staerke 41:205-207
 27. Radosavljevic M, Jane J, Johnson LA (1998) Isolation of amaranth starch by diluted alkaline-protease treatment. Cereal Chem 75:212-216
 28. Rahal- Bouziane H. (2008). Evaluation de la variabilité génétique chez quelques mils penicillaires (Pennisetum glaucum L.R. Br) cultivés dans les oasis de la région d'Adrar (Algérie). Journal Algérien des régions arides, 7: 35-43.
 29. Rahal-Bouziane H., Mossab K., Khelid M., Kharsi M, et Hamdi S. (2004). Résultats prometteurs chez une céréale d'été des oasis d'Adrar: le sorgho " Sorghum sp". INRAA, Recherche agronomique, 14:57-64.
 30. Sezen U.U, Barney J.N, Atwater D.Z, Pederson, G.A, Pederson J.F, Chandler J.M, Cox T.S, Cox S, Dotray P, Kopec D, et al. (2016) Multi-phase US spread and habitat switching of a post-Columbian invasive, *Sorghum halepense*. *PLoS ONE* , 11, e0164584.
 31. Shobana S, Malleshi NG. Preparation and functional properties of decorticated finger millet (Eleusine coracana). J Food Eng. (2007);79(2):529–38.45.
 32. Sorghum Annual Yield; Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK): Potsdam, Germany,(2006).
 33. USDA. World Agricultural Production; Circular Series WAP 3–19; USDA: Washington, DC, USA,(2019).

34. Vom Brocke K, Trouche G Weltzien, E Barro-Kondombo, C.P Gozé, E Chantereau J. (2010) Participatory Variety Development for Sorghum in Burkina Faso: Farmers' Selection and Farmers' Criteria. *Field Crop Res.* , 119, 183–194.
35. Wu, G., Shen, Y., Qi, Y., Zhang, H., Wang, L., Qian, H., . . . Johnson, S. K. (2018). Improvement of in vitro and cellular antioxidant properties of Chinese steamed bread through sorghum addition. *LWT—Food Science and Technology*, 91, 77–83.
36. Xiong Y, Zhang P, Luo J Johnson, S., & Fang Z. (2019). Effect of processing on the phenolic contents, antioxidant activity and volatile compounds of sorghum grain tea. *Journal of Cereal Science*, 85, 6–14.
37. (Cabral et al., 2019 ; Wu et al., 2018 ; Xiong et al., 2019).