
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université SAAD DAHLEB -BLIDA 1-



Faculté de Science de la Nature et de la Vie
Département de Biologie et Physiologie Cellulaire «BPC»

Mémoire

Présenté à l'Université SAAD DAHLEB -BLIDA 1-
En vue de l'obtention du diplôme de
Master en Biologie
Option : *Microbiologie et Toxicologie Alimentaire*

**Effets antimicrobiens des extraits phénoliques dans
les grains de sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.)**

Présenté par : BOUSOLTANE Asma et TAIL Naima

Soutenu le : 07 Octobre 2017

Devant les jurys d'examen :

Mme ABDULHUSSAIN A.	Présidente	MCB
Mme BOUDJEMAA N.	Examinatrice	MCB
M ^{lle} KADRI F.	Promotrice	MAA

Année Universitaire : 2016 – 2017

Remerciement :

Avant toute chose, nous remercierons Dieu, le tout puissant, pour nous 'avoir donnée la force et la patience.

Nous exprimons d'abord nos profonds remerciements et nos vive connaissance à **M^{lle} KADRI F**, Maître Assistante, au département de biologie et physiologie cellulaire, Université de - Blida 1- pour avoir encadré et dirigé ce travail avec une grande rigueur scientifique, sa disponibilité, ses conseils et la confiance qu'elle nous a accordé nous a permis de réaliser ce travail.

Nos remerciements sont adressés aux membres du Jury qui ont pris sur leur temps et ont bien voulu accepter de juger ce modeste travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à **Mme ABDULHUSSEIN A**,Maître de conférence à l'université de -Blida 1- d'avoir accepté de présider le jury.

Nous exprimons nos vifs remerciements à **Mme BOUDJEMA N**, Maître de conférence à l'Université de -Blida 1- pour l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant d'examiner ce mémoire.

A **Mme MEKLAT A**, Maître de Conférence à l'université de- Blida 1- Qui nous a accueilli au sein du son Laboratoire ; **Mme MATMOURA** enseignante de département de biologie et physiologie cellulaire qui nous a aidé de réaliser ce travail.

Nous tenons également à adresser nos remerciements à tous les membres du laboratoire de PFE de l'université de -Blida 1- à **Mme HANIA**et **Mme FATIHA**ingénieures de ce laboratoire.

Nous exprimons notre profonde gratitude à **Mme CHIKHI** responsable du laboratoire de microbiologie du groupe SAIDAL Gué de Constantine ALGER ainsi que **Mme CHADDAR** ingénieure dans ce laboratoire pour leurs orientations.

Sans oublier de présenter nos vifs remerciements à tous les personnels du laboratoire d'hygiène Blida, surtout **Ami Djamal** pour ses efforts.

Nous remercions toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Un grand merci à tous

Dédicace

Je rends grâce à Dieu de m'avoir donné tout de courage, de volonté et de patience pour l'élaboration de ce modeste projet de fin d'étude que je dédie :

A mes chers parents Mohammed et Lakhdar Khadidja

Que nulle dédicace ne puisse exprimer mes sincères sentiments pour leur patience illimitée, leur encouragement continu, leur aide, en témoignage de mon profond amour et respect pour leurs grands sacrifices.

A mes adorables sœurs

Yamina, Khadidja et Samia

Merci d'être toujours à mes côtés, par votre présence, par votre amour dévoué et votre tendresse.

A mes très chers, les petits enfants

Mohamed El Amine, Meriem, Youcef et Khadidja

Qui donne du goût et de sens à notre vie de famille. Je prie Dieu, le tout puissant pour qu'il vous donne bonheur, succès et de prospérité.

Un spécial dédicace à Belkhither Mohamed et Bouamama Sofiane, que Dieu vous protège.

A mes oncles et mes tantes spécialement ma chère tante Yamina, que Dieu prolonge votre vie et vous donne ce que vous désirez

A toutes ma famille

A tous ceux qui m'ont supporté, encouragé et soutenue.

Bousoltane Asma

DEDICACE

*Je dédie ce modeste travail à mes chers **grands parents, Kacem Mohamed et Medjiah Fatma** qu'Allah puisse vous accorder encore santé, bonheur, et longévité.*

*Un grand Merci à **mes parents**, qui m'auront permis de poursuivre mes études jusqu'à aujourd'hui et qui continue de croire en moi malgré toutes les difficultés et tous les obstacles.*

*A ma mère **Zahra**, les mots ne suffisent pas pour exprimer toute l'affection que j'éprouve pour toi, tu as été toujours une mère idéale.*

*A mes chères sœurs : **Narimene et Chafika**, Merci pour les conseils et les encouragements.*

*A mes chers frères : **Abdallah Brahiti , AbdElkader Tabouche et Mohamed** que dieu les protège.*

*Mes tentes : **Salima, Djamila et Razika** merci d'être là pour tous ces moments passés ensemble.*

*A mes oncles : **Omar et Ahmed Kacem**.*

*Mon oncle : **Ali Mechouche** et sa femme ma tante **Khadidja**; et leur fils mes frères **Hassen et Omar**.*

*A tout membre de la famille **Tail et Kacem** ; Merci.*

*A mes amies : **Salima, Hanane, Zakia, Ahlam, Imene, Asma, Meriem, Hassina, Wahiba et Amina**. Merci pour votre présence, votre écoute durant toutes ces années.*

*Et je dédie spécialement ma collègue de ce travail **Asma**.*

Naima Tail

Résumé

Cette étude vise à estimer l'activité antimicrobienne des extraits méthanoliques de quatre cultivars sélectionnés parmi 40 cultivars algériens de *Sorghum bicolor* en fonction de leurs caractéristiques morphologiques et phytochimiques.

Parmi les grains de 40 cultivars, 18 sont de couleur blanche et 22 sont pigmentés, et parmi les cultivars pigmentés 7 sont des sorghos à tanins.

Le rendement le plus important de l'extraction par le méthanol à 80% a été enregistré avec le cultivar S12 (3.91%). La teneur en polyphénols totaux déterminée par la méthode de Folin-Ciocalteu, a varié entre 45,62 et 1170,14 mg équivalent d'acide gallique/100 g de farine. Le taux des flavonoïdes évalué par la méthode du chlorure d'Aluminium $AlCl_3$ a varié entre 3.7 et 65.47 mg équivalent quercitrine /100 g de farine.

L'activité antimicrobienne des extraits contre 25 bactéries (11 Gram positif et 15 Gram négatif) dont 6 bactéries de références et 19 d'origine hospitalière et 2 champignons de référence évaluée par la méthode de diffusion sur gélose a révélé une efficacité sur les bactéries à gram positif et les souches de référence.

Un effet remarquable a été exercé par les quatre extraits sur deux bactéries de *S.aureus* résistante à la méticilline et *B.subtilis* ATCC6333. Aucun effet n'a été observé contre *Aspergillus brasiliensis*, par contre *Candida albicans* a montré une sensibilité vis-à-vis les extraits S12, S20 et S27.

Le profil de résistance des souches de *Bacillus subtilis* 6333 et 10876 montre qu'elles sont les plus sensibles aux antibiotiques. Les entérobactéries isolées du milieu hospitalier ont montré une résistance vis-à-vis des extraits.

L'extrait S20 a été le plus efficace contre les staphylococcus cliniques à de faible concentration (CMI= 0.02mg/ml).

Mots clés :

Sorghum bicolor, polyphénols, flavonoïdes, antibiotique, CMI, effet antibactérien.

Abstract

This study aims to estimate the antimicrobial activity of methanol extracts of four cultivars selected from 40 Algerian cultivars of *Sorghum bicolor* according to their morphological and phytochemical characteristics.

Among the grains of 40 cultivars, 18 are white color, and 22 are pigmented, and among the pigmented cultivars 7 are tannin sorghums.

The highest yield of extraction by 80% methanol was recorded with the cultivar S12 (3.91%). The total polyphenol content determined by the Ciocalteufollin method varied between 45.62 and 1170.14 mg gallic acid equivalent / 100 g flour. The flavonoids evaluated by the Aluminum chloride AlCl₃ method gave values, varying between 3.7 and 65.47 mg equivalent quercitrin / 100 g of flour.

The antimicrobial activity of the extracts against 25 bacteria (11 Gram positive and 15 Gram negative) including 6 bacteria of reference and 19 of hospital origin and 2 reference fungi evaluated by the disk diffusion method.

A significant effect exerted by the four extracts on two bacteria (*S. aureus* resistant to meticillin and *B. subtilis* ATCC6333). No effect was observed against the filamentous fungi, whereas *Candida albicans* showed sensitivity towards the extracts S12, S20 and S27.

The resistance profiles displayed *Bacillus subtilis* strains ATCC 6333 and ATCC10876 as the most sensitive strains to antibiotics.

S20 extract was the most effective against clinical staphylococci in low concentrations (MIC=20% equivalent of 0.8mg / ml).

Keywords :

Sorghum bicolor, polyphenols, flavonoids, antibiotics, CMI, antibacterialeffect.

المخلص

تهدف هذه الدراسة إلى تقدير النشاط المضاد للجراثيم لمستخلصات الميثانول من أربعة أصناف مختارة من بين 40 صنفجراثي لنبتة *Sorghumbicolor* وفقا لخصائصها المورفولوجية والكيميائية النباتية. 18 صنف من الحبوبهي بيضاء اللون، ومن بين الاصناف الملونة 7 منها تحتوي على الدباغ. يسجل اعلى عائد للاستخلاصالميثانول بنسبة 80% مع الصنف S12 (3.91%). يتراوح محتوى متعدد الفينول الكلي الذي تم تحديده بطريقة folinCiocalteu بين ما يعادل 45.62 و 1170.14 ملغ من حمض الغاليك / 100 غرام من الطحين. تم تقييم محتولالفلافونويدات بطريقة كلوريد الألومنيوم AICI3 لإعطاء مستويات تتراوح بين 3.7 و 65.47 ملغ الكرسيتين / 100 غراممن الدقيق.

تمت دراسة النشاط المضاد للجراثيم للمستخلصات ضد 25بكتيريا (11 غرام إيجابية و 15 غرام سالبة) بما في ذلك 6 بكتيريا مرجعية و 19 عزلت من المستشفيات و سلالتين من الفطريات المرجعية وفقا لطريقة انتشار محتوى القرص. المستخلصات أكثر فعالية ضد البكتيريا إيجابية الجرام، و تأثير ملحوظ للمستخلصات الأربعة على اثنين من البكتيريا السريرية (*B.subtilis* و *S.aureus*).

لم يلاحظ أي تأثير ضد الفطريات الخيطية، في حين أظهرت *Candida albicans* حساسية اتجاه S12، S20 و S27. *SubtilisBacillus* هي البكتيريا الأكثر حساسية لكل المضادات الحيوية.

S20 هو المستخلصالأكثر فعالية ضد *staphylococcus* بتركيزات منخفضة (CMI = 20% يعادل 0.8مغ/مل).

كلمات مفتاحية

Sorghum bicolor, متعدد الفينول, الفلافونويد, المضادات الحيوية, CMI, تأثير مضاد الجراثيم

Glossaire

Catéchine : est un composé de la famille des flavonoïdes de la sous-classe des flavanols. Elle est aussi connue sous le nom de catéchol.

Catéchol-O-méthyltransferase : est un enzyme qui dégrade les catécholamines et les substances ayant la structure de catéchole.

Conidies : Spore asexuée située à l'extrémité d'un filament de mycélium.

Elastase : Enzyme catalysant l'hydrolyse de l'élastine ;

Elastine : Scléroprotéine présente dans le tissu élastique, insoluble dans l'eau, et pouvant être digérée par la pepsine et la trypsine.

Eriodictyol : L'ériodictyol est une flavanone extraite des feuilles de l'Herba Santa, une plante poussant dans le nord du Mexique et dans l'État de Californie.

Hyaluronidase : Enzyme polysaccharidase rencontrée dans lesperme, la rate et dans certaines bactéries pathogènes (streptocoques) qui lyse l'acide hyaluronique des barrières polysaccharidiques protectrices et qui permet la diffusion rapide de l'agent infectieux.

Hydrocolloïde : ce sont des additifs naturels ou chimiques selon leur origine. Ce sont des polymères complexes de nature glucidique d'où leur nom de glycanes ; fournissant des dispersions colloïdes an phase aqueuse, pour cela, on les appelle hydrocolloïdes.

Kaempférol : est un flavonoïde de type flavonol que l'on trouve dans les fraises et les épinards. C'est un pigment jaune, légèrement soluble dans l'eau et soluble dans l'éthanol chaud et l'éther diéthylique

lipooxygénase : Enzyme qui catalyse l'addition d'oxygène dans les doubles liaisons des acides gras non saturés, avec formation de dérivés peroxydés. Le substrat le mieux connu est l'acide linoléique, et son dérivé, l'acide arachidonique.

Myricétine : est un composé organique de la famille des flavonols, naturellement présent dans de nombreux types de végétaux, et en particulier dans le raisin. Les noix sont aussi une source alimentaire riche en myricétine.

Quercétine : est un flavonoïde de type flavonol présent chez les plantes comme métabolite secondaire.

Stérols : sont un groupe de lipides composés d'une structure chimique particulière appelée noyaustérol. Les stérols sont présents chez les animaux et les végétaux. Ils sont des constituants essentiels des membranes des cellules.

Liste des abréviations

ATTC : Collection du type Américain de culture

Al_2Cl_3 : Trichlorure d'ammonium.

BLSE : β -lactamase à spectre élargi.

CMI : Concentration minimal inhibitrice.

DO : Densité optique.

EAG : Equivalent d'acide gallique.

EAQ : Equivalent de Quercitine.

ED : Eau distillé.

FAO : Food and agriculture organisation.

Icresat :ICRISAT (International CropsResearch Institute for the Semi AridTropics ; la collection mondiale de sorgho(collecter, détenir et distribuer les ressources génétiques de sorgho).

Ms : Matière sèche.

Na_2CO_3 : Carbonate de sodium.

S20 : Extrait méthanolique 20.

SM : Solution mère.

Liste des tableaux

Tableau 01 :	Principaux caractères identitaires des races de sorgho.....	4
Tableau 02 :	la composition chimique du grain de sorgho en comparaison au diverses grains des céréales.....	7
Tableau 03 :	Teneur en vitamines du grain de sorgho en comparaison avec les grains d'autres céréales.....	7
Tableau 04 :	Les principales classes des composés phénoliques.....	11
Tableau 05 :	La structure générale des acides phénoliques de sorgho.....	14
Tableau 06 :	La teneur de grain de sorgho en acides phénoliques en comparaison avec les grains des céréales principales : Acides phénoliques reportés chez les céréales.	15
Tableau 07 :	Les souches microbiennes utilisées de référence et cliniques.....	20
Tableau 08 :	Reconstitution des extraits pour l'activité antimicrobienne.....	22
Tableau 09 :	Distribution des antibiotiques par groupe microbien et par boite.....	26
Tableau 10 :	Volume d'extrait et de milieu de culture MH utilisés pour la préparation des géloses pour la détermination de la CMI.....	27
Tableau 11 :	Les caractéristiques morphologiques des différents cultivars.....	29
Tableau 12 :	Rendement et couleurs des extraits a testé.....	32
Tableau 13 :	Antibiogramme des germes étudiés en présence des différents antibiotiques....	37
Tableau 14 :	Les profils de résistance des souches de <i>staphylococcus aureus</i> étudiées.....	39
Tableau 15 :	Les profils de résistance des souches des entérobactéries et de <i>bacillus subtilus</i> étudiées.....	41
Tableau 16 :	Le profil de résistance des souches depseudomonaceae étudiées.....	42
Tableau 17 :	Résultats de l'activité antimicrobienne des extraits sur les souches étudiés.....	43
Tableau 18 :	Résultat de la CMI exprimés par présence ou absence de croissance des souches testées en fonction des dilutions des extraits.....	46

Listes des figures

Figure 01 :	<i>Sorghum bicolor</i> (L.)	3
Figure 02 :	Morphologie des épillets et des grains des différentes races de sorgho.....	5
Figure 03 :	Coupe schématique du grain de sorgho.....	6
Figure 04 :	Photomicrographie à fluorescence de la section transversale du son de sorgho.....	6
Figure 05 :	Les principales classes des flavonoïdes.....	13
Figure 06 :	Schéma récapitulatif du protocole expérimental.....	23
Figure 07 :	Repiquage des souches pour la CMI.....	28
Figure 08 :	Quantité des races des cultivars de sorgho.....	31
Figure 09 :	Taux en polyphénols totaux des différents cultivars de sorgho.....	34
Figure 10 :	Lestaux en flavonoïdes dans les différents cultivars de sorgho.....	35

Table de matière

Résumé

Glossaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction..... 1

Chapitre I Etude bibliographique

***Sorghum bicolor* (L.) Moench**

I.1.1. Définition..... 3

I.1.2. Races de sorgho..... 3

I.1.3. Ecologie..... 5

I.1.4. Le Grain de sorgho..... 5

I.1.5. La valeur nutritive de sorgho..... 7

I.1.6. Utilisation de sorgho..... 8

I.1.7. Le sorgho en Algérie..... 9

Composés phénoliques

I.2.1. Classification des composés phénoliques..... 11

I.2.1.1. Acides phénoliques simples..... 11

I.2.1.1.1. Acides hydroxybenzoïques..... 12

I.2.1.1.2. Acides hydroxycinnamiques..... 12

I.2.1.2. Coumarines..... 12

I.2.1.3. Flavonoïdes..... 12

I.2.1.3.1. Classification des flavonoïdes..... 12

I.2.1.4. Tannins..... 13

I.2.1.5. lignine.....	.13
I.3.Composés phénoliques de <i>Sorghum bicolor</i>	14
I.3.1.Acides phénoliques.....	14
I.3.2. Flavonoïdes.....	16
I.3.3.Anthocyanes.....	16
I.3.4. Tannins condensés.....	16
I.3.5.Stilbènes.....	16
Intérêts des composés phénoliques	
I.4.1.Activité antioxydante.....	17
I.4.2.Activité anti-inflammatoire.....	17
I.4.3.Activité anti-cancéreuse.....	17
I.4.4.Flavonoïdes comme Inhibiteurs enzymatiques.....	18
I.4.5.Autres effets biologiques.....	18
I.4.6.Activité antimicrobienne des composés phénoliques.....	18
Chapitre II Matériel et méthodes	
II.1 Matériel	
II.1.1 Matériel biologique.....	19
II.2. Méthodes	
II.2.1. Etude morphologique des cultivas.....	21
II.2.2. Etude phytochimique.....	21
II.2.2.1. Préparation des farines.....	21
II.2.2.2.Extraction	21
II.2.2.3.Dosage des polyphénols totaux.....	24
II.2.2.4.Dosage des flavonoïdes.....	25
II.2.3.Activité antimicrobienne.....	25

I1.2.3.1. Méthode de diffusion sur milieu gélosé.....	25
Chapitre III Résultats et discussion	
III.1. Etude morphologique.....	32
III.1.1. Caractérisation des différents cultivars de sorgho.....	32
III.1.2. Détermination des races.....	34
III.2. Etude phytochimique.....	35
III.2.1. Rendement des extraits.....	35
III.2.2. Teneur des polyphénols totaux.....	36
III.2.3. Teneur des flavonoïdes totaux	38
III.3. Etude microbiologique.....	40
III.3.1. Profil de résistance aux antibiotiques.....	40
III.3.2. Activité antimicrobienne des extraits phénoliques	46
III.3.2.1. Méthode de diffusion sur milieu gélosé.....	46
III.3.2.2. Concentration minimale inhibitrice.....	46
Conclusion.....	54
Références bibliographiques.....	56
Annexes	

Les céréales et leurs dérivées constituent l'alimentation de base dans beaucoup de pays en développement, particulièrement dans les pays maghrébins. En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. **(Djermoun, 2009).**

En raison d'une forte consommation de produits à base de céréales plusieurs études ont montré une reconnaissance croissante que de nombreux métabolites secondaires présents dans les céréales peuvent éventuellement exercer des effets bénéfiques sur la santé humaine. Les métabolites secondaires les plus présents chez les céréales semblent être **les composés phénoliques.** **(Baribeau 2005).**

Selon **Jiménez(2000) et Baribeau (2005)** de longues études d'observation ont montré une réduction du risque des maladies chroniques avec une consommation élevée des céréales. Cependant cette diminution est liée à l'association des polyphénols et des fibres contenues dans les céréales complètes **(Sarni-Manchado et Cheynier, 2006).**

Les composés phénoliques jouent un rôle dans les mécanismes de défense, d'où les plus grandes concentrations se retrouvent aux téguments des grains en effet l'acide férulique est le plus courant des acides phénoliques dans les grains des céréales se concentre dans les parties extérieures du grain. **Manachet al.(2004)**

En considérant le grain entier de diverses céréales, on constate une grande analogie dans leur composition chimique ainsi dans leur composition en composés phénoliques mais aussi ils existent quelques différences. Dans ce contexte, nous sommes intéressés à l'étude du grain qui occupe le cinquième rang mondial des céréales, après le blé, le riz, le maïs **(FAO, 2007)** et l'orge. C'est le sorgho, à savoir *Sorghum bicolor* (L.) Moench.

De nombreux aliments et boissons au sorgho africain sont soumis à une fermentation lactique par des bactéries lactiques, généralement du genre *Lactobacillus*. Cette fermentation est d'une importance cruciale en ce qui concerne la durée de conservation. **(Taylor, 2003).**

La production d'acide lactique diminue le pH d'aliment, ce qui ralentit ou empêche sa détérioration par d'autres microorganismes pathogènes tels que :

Escherichia coli, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Listeria monocytogenes*, *Campylobacter jejuni*, *Candida spp.*, *Zygosaccharomyces spp.*, *Fusarium spp.*, *Aspergillus spp.*, *Rhizopus spp.*, *Penicillium spp.* Et *Salmonella spp.*

Les objectifs assignés à notre travail sont :

-Etude de la variation de la teneur des polyphénols totaux et des flavonoïdes présents au niveau des extraits méthanolique des grains de *Sorghum bicolor* (L.) Moench.

-Etude de l'activité antifongique et antibactérienne des extraits bruts sur des souches microbiennes pathogènes.

Pour cela nous avons réalisé notre étude selon le plan suivant :

- Identification des cultivars par la caractérisation de la morphologie des grains de *Sorghum bicolor*(L.)Moench.
- Extraction méthanolique des composés phénoliques à partir des farines délipidées.
- Analyse quantitative de contenu en polyphénols, et en flavonoïdes des différents extraits.
- Réalisation de l'antibiogramme vis-à-vis des souches cliniques et des souches ATCC afin de déterminer le profil de résistance.
- Etude de l'activité antimicrobienne des extraits phénoliques vis-à-vis des souches cliniques et des souches ATCC par Test de diffusion sur milieu gélosé et la détermination de la concentration minimale inhibitrice par culture des souches sur milieu gélosé (contenant des dilutions de l'extrait).

Sorghum bicolor(L.) Moench

I.1.Définition

Le sorgho cultivé genre *Sorghum*, espèce *Sorghumbicolor* est une plante annuelle céréalière appartenant à la famille des poacées (Chantereau *et al.*, 2013). Cultivée dans les zones intertropicales de l'Afrique (Dicko *et al.*, 2005). Il est connu sous divers noms: grand mil et herbe de Guinée en Afrique de l'Ouest, blé kafir en Afrique du Sud, dura au Soudan, jowar en Inde et kaoliang en Chine. Aux Etats-Unis, on l'appelle généralement milo ou milo-maïs (FAO, 1995).



Figure 01 : *Sorghum bicolor*(L.) .

I.2. Races de sorgho

Il existe plus de dix races divers de sorgho, le tableau 01 présente les principales caractéristiques des races (voir également les illustrations : forme paniculaire, forme des glumes, et type de grain) et la figure 02 présente la morphologie des épillets et des grains des différents races.

Tableau 01 : Les principaux caractères identitaires des races de sorgho(**Chantereau et al.,2013**).

Races	Glumes	Grains	Panicules
Bicolor	Glumes longues recouvrant les 3/4 ou la totalité du grain	Poids de 1000 grains de 15 à 25g	Panicules lâches
Guinea	Glumes généralement longues, ouvertes.	Grains elliptiques, plus au moins aplatis dorso-ventralement, de taille variable.	Panicules lâches à semi-lâches, souvent longues à port retombant
Caudatum	Glumes courtes adhérent au grain en le recouvrant partiellement.	Grains dissymétriques, de taille moyenne à grosse.	Panicules compactes à semi-compactes forme à tendance fusioïde.
Durra	Glumes courtes adhérent au grain en le recouvrant partiellement.	Grains plus ou moins sphériques, de taille variable mais le plus souvent gros à très gros.	Panicules compactes à semi-compactes souvent portées par un pédoncule crossé.
Kafir	Glumes courtes adhérent au grain en le recouvrant partiellement	Grains elliptiques de taille moyenne, poids de 1000 grains de 20 à 35g.	Panicules moyennement compactes, souvent de forme longue et cylindrique.



Figure 02: Morphologie des épillets et des grains des différentes races de sorgho (1) **bicolor** (2) **caudatum** (3) **durra** (4) **guinea** (5) **kafir** (d'après vom Brocke *et al.*, 2008).

I.3. Ecologie

Le sorgho est surtout une plante des milieux tropicaux chauds et semi-arides. Il est particulièrement adapté à la sécheresse en raison d'un ensemble de caractéristiques morphologiques et physiologiques, notamment un système racinaire étendu, et une aptitude à interrompre sa croissance pendant les périodes de sécheresse et à la reprendre une fois le stress disparu (Chantreau *et al.*, 2013).

I.4. Grain de sorgho

Le grain de sorgho est un caryopse ou fruit sec à un seul germe. Il est composé de trois parties principales : l'enveloppe, l'albumen et le germe (Balole et Legwaila, 2006). La couleur de grain de sorgho varie en fonction de la pigmentation du péricarpe et du testa, du blanc au jaune pâle au brun rouge profond, en passant par différentes tonalités de rouge et de brun (FAO, 1995). Figure (03) et (04).



Figure 03 : Coupe schématique du grain de sorgho (Miche,1980)

Le péricarpe constitue l'enveloppe externe de la graine. Certaines variétés ont sous le péricarpe, une couche pigmentaire brune appelée testa. La présence ou l'absence de la testa est importante à considérer vue que sa présence signifié la contenance du grain en tannins(Dykes et Rooney, 2004)figure 04.

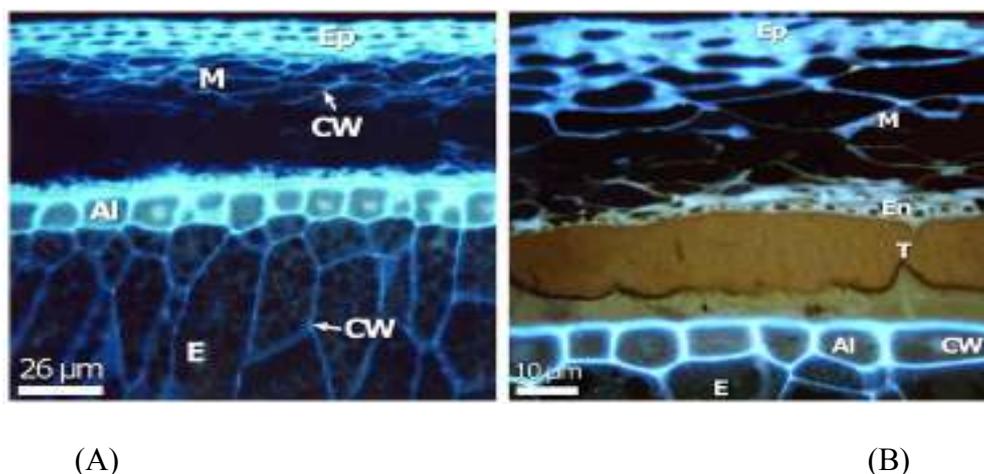


Figure 04 :Photomicrographie à fluorescence de la section transversale du son de sorgho Al : couched'aleurone ;CW : paroi de la cellule ;E :endosperme ;En :endocarpe ;Ep : épicarpe ; M :mésocarpe ;T : testa pigmenté.(Dykes et Rooney,2006)

L'albumen, qui est le tissu de réserve de la graine, présente à sa surface une couche périphérique unicellulaire, c'est une couche à aleurone riche en minéraux, vitamines, protéines et lipides. L'albumen est d'abord vitreux puis farineux au centre de la graine.(Dykes et al.,2005)

A la base de la graine et en grande partie enchâssé dans l'albumen, se trouve le germe. Il comprend l'embryon et le scutellum. au contact de l'albumen, le scutellum est un tissu de réserve riche en protéines, lipides, enzymes et vitamines (**Rooney,1978**).

I.5. La valeur nutritive de sorgho

Pour ces principaux constituants biochimiques, le sorgho a une composition comparable à celle des autres céréales nues (tableau 02 et tableau 03).

Tableau 02 : La composition chimique du grain de sorgho en comparaison au diverses grains des céréales (g /100g MS) (**Prosky et al.,1988** et **Souci et al., 2000**).

Compositions Grains	Glucides	Fibres totales	Protéines brutes	Lipides
Sorgho	73,8	9,4	12,3	3,6
Blé	59,6	13,3	11,7	1,8
Maïs	64,2	9,7	9,2	3,8
Mil	71,6	7,7	13,3	6,3
Orge	63,3	9,8	10,6	2,1
Riz	74,1	2,2	7,8	2,2
Avoine	55,7	9,7	12,6	7,1

Tableau 03 : Teneur en vitamines du grain de sorgho en comparaison avec les grains d'autres céréales (teneurs en vitamines en mg/100g) selon **Serna-Saldivar et Rooney(1995)** **Souci et al.,(2000)**.

Vitamine Grain	B1	B2	B3	B5	B6	E
Sorgho	0,24	0,14	2,92	1,25	0,59	0,07
Blé	0,38	0,12	5,47	0,95	0,30	1,00
Maïs	0,39	0,20	3,63	0,42	0,62	0,49
Mil	0,42	0,29	4,72	0,85	0,38	0,05
Orge	0,65	0,29	4,60	0,28	0,32	0,57
Riz	0,40	0,09	5,09	1,49	0,51	0,68
Avoine	0,76	0,14	0,96	1,35	0,12	1,09

D'après les deux tableaux, Les glucides représente jusqu'à 84% MS du grain de sorgho, l'amidon est le sucre majoritaire (55%à 75% Ms) suivi par l'amylose (23%à 30%) et les autres sont des sucres libres (1,2% MS)(**J.Chantereau et al.,2013**).

Le grain de sorgho contient environ 3,5% MS des lipides dont la majorité sont des triglycérides neutres : les acides gras saturés tels que l'acide palmitique et l'acide linoléique (**Arendet et al.,2013**) ; et les acides gras insaturés dont l'acide oléique est l'élément essentielle (**Saldivar et Rooney,1995**).

La prolamine (Kafarine)est le majeur protéine constituant du grain de sorgho (protéine de réserve),qui représentent plus de 50% des protéines totales,(**Belton et al.,2006**). Par contre le grain de sorgho ne contient pas du gluten facilement tolérée par les patients atteints de la maladie cœliaque(**Schober et al.,2005**).

Les sels minéraux présents dans le grain de sorgho sont:le phosphore, le magnésium et le potassium (**Kent et Evers, 1994**).

I.6.Utilisation de sorgho

I.6.1.Dans l'alimentation humaine

Le grain de sorgho est utilisé dans l'alimentation humaine pour la préparation de différents mets traditionnels(couscous, galettes,etc). Il est consommé sous forme grillée ou cuite comme le riz(**Balole et Legwaila, 2006**). Les grains peuvent être consommés à l'état frais en particulier par les gens en déplacement qui n'ont pas les moyens ni le temps pour cuisiner (**Gast et Jean., 2001**).

On peut obtenir du pain de bonne qualité (texture, aspect extérieur, cohésion de la mie) ; comparable au pain préparé avec une farine 100 % de blé tendre ; avec une farine composite à 30% d'incorporation de farine de sorgho (**Ballaet al.,1999**).

La teneur nulle de la farine de sorgho en gluten la rende un meilleur choix pour les malades cœliaques,en lui ajoutant des additives tels que les œufs et les hydrocolloïdes pour améliorer ces propriétés rhéologiques et la rendre panifiable afin de préparé des gâteaux ou des cookies (**Taylor et al.,2006**).

I.6.2. Alimentation de bétail

Les résidus de récolte (feuilles, tiges et panicules égrainées) sont utilisés pour l'alimentation du bétail. La plante entière est souvent ensilée pour l'engraissement des ruminants **(Balole et Legwaila, 2006)**.

I.6.3. Méthanisation de la biomasse du sorgho

Le processus repose sur la dégradation anaérobie naturelle de la biomasse par des microorganismes, une dégradation qui conduit à la production de méthane. **(chantereau et al., 2015)**.

La fibre de sorgho permet grâce à la méthanisation de sa biomasse, la fabrication de biomatériaux destinés à la fabrication de films plastiques biodégradables. La Kafirin, la protéine de stockage de sorgho (prolamin), est un bon choix pour fabriquer des bioplastiques car elle est la plus hydrophobe des prolamines **(Duodu et al., 2003; Belton et al., 2006)**.

I.7. Le sorgho en Algérie

Dans le passé, cette céréale a joué un rôle prépondérant dans l'alimentation humaine des citoyens d'Ahaggar. Actuellement, le sorgho est en régression dans certaines oasis pour plusieurs raisons parmi lesquelles, le manque d'eau, le chamboulement social créé par l'industrialisation, les facteurs économiques. **(Gast et Jean, 2001)**.

En Ahaggar il produit des grains de meilleures qualités. Le sorgho blanc peut être semé à partir de Mars et se récolte de juin au début décembre ; il mûrit principalement en septembre, octobre. Il met environ quatre mois à donner un épi. **(Gast et Jean, 2001)**.

Alors que la filière lait compte environ 966.000 vaches laitières au niveau national, l'introduction de nouvelles cultures fourragères comme le sorgho ne peut être que positive pour la filière lait car l'alimentation est la seule solution pour sortir de la dépendance du marché de la poudre de lait. Le sorgho est une céréale d'été cultivée depuis très longtemps dans les oasis de la région saharienne. **(Soltani, 2014)**.

Les nouvelles variétés de sorgho sont actuellement cultivées à Maghnia, Béjaïa, El Oued, Mostaganem et Tiaret dont les rendements obtenus atteignent jusqu'à 100 tonnes par hectare. Ces nouvelles variétés de sorgho ont couvert une superficie de 10.000 ha en 2014, qui devrait tripler pour passer à 30.000 ha en 2015. L'une de ces variétés, le sorgho géant, qui

peut atteindre quatre (4) mètres de haut, est cultivé non seulement comme fourrage vert, en ensilage (conservation du fourrage en zone humide) mais aussi en guise de brise-vent pour protéger les cultures maraîchères contre les tempêtes de sable dans le sud du pays. **(Soltani, 2014)**.

En Ahhagar le sorgho rouge est cultivé pour le colorant rouge contenu dans ses feuilles afin de l'utiliser en teinturerie. **(Gast et Jean, 2001)**.

Les tanins confèrent des propriétés agronomiques précieuses au sorgho, y compris la protection contre les insectes, les oiseaux et les dommages causés par les intempéries **(Waniska et al., 1989)**.

I. Les polyphénols

Les polyphénols (8000 composés connus) représentent un groupe des métabolites secondaires complexes, exclusivement synthétisés dans le règne végétal. **(Collin et al., 2006)**.

Les composés phénoliques étudiés chez les végétaux ont tous en commun la présence dans leur structure d'un ou de plusieurs cycles benzéniques portant des fonctions hydroxyles.

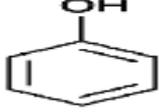
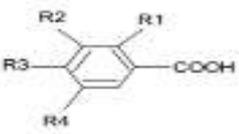
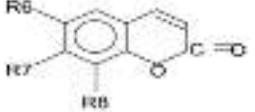
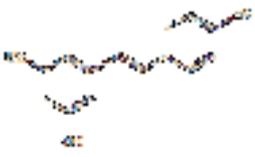
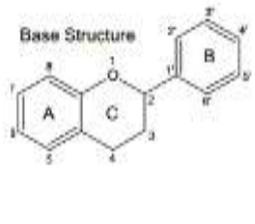
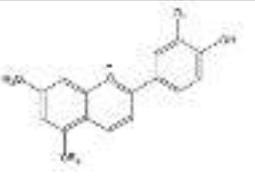
De ce fait, l'utilisation du terme « polyphénols » concerne les molécules portant plusieurs hydroxyles phénoliques **(Thierry, 2006)**.

Ils sont en effet des éléments importants de qualités sensorielles (couleur, astringence...) et nutritionnelles des végétaux que consomme l'homme. Leur intervention dans la santé est maintenant reconnue : action antioxydante, action anticancérogène variées **(Macheix et al., 2006)**.

Les polyphénols sont présents dans toutes les parties des végétaux supérieurs: racine, tiges, feuilles, fleurs, fruits **(Boizot et Charpentier., 2006)**. On retrouve :

- Les flavonoïdes (flavanols, flavonoïde, chalcones et dihydrochalcones, naphthopyridines et tanins condensés)
- Les acides phénoliques de type benzoïque ou cinnamique et les tanins hydrolysables (gallo- et ellagitannins)
- Les stilbenes
- Les lignines et subérines **(Collin et al., 2006) (tableau 04)**

Tableau 04 :Principales classes des composés phénoliques.**Merghem, (2009)**

Nombre de C	Classe	Exemple	Structure
C ₆	Phénols simple	Hydroquinine,catéchol	
C ₆ -C ₃	Acide phénols (Sarni- Manchado et Cheynier.,2006)	Acides hydroxybenzoïques (Acide gallique)	
(C ₆ -C ₃) ₂	Coumarines (Machiex <i>et al.</i> ,2005)	Daphnétole	
(C ₆ -C ₃) _n	Lignane	Pinorésinol	
C ₆ -C ₃ -C ₆	Lignines	Bois, noyau des fruits.	
C ₆ -C ₃ -C ₆	Flavonoides Isoflavonoides Anthocyanes (Dusan et Vesna.,2006)	Apigénine, lutéoline,quercétine(Fruits) Génistéine (Soja,Pois) Pélagonidine(Flleurs,Fruits rouge)	
(C ₆ -C ₃ -C ₆) _n	Proanthocyane (tanins condensés)	Procyanidine, Prodelphinidine (Raisin rouge)	

II.1. Classification des composés phénoliques

II.1.1. Les acides phénoliques simples

II.1.1.1. Acides hydroxybenzoïques

Ils sont des dérivés de l'acide benzoïque et ont une formule de base de type (C6-C1). Ces molécules existent souvent sous forme d'esters ou de glycosides et peuvent également être intégrés dans des structures complexes comme certains tanins. (Macheix *et al.*, 2006).

II.1.1.2. Acides hydroxycinnamiques

Ils représentent une classe très importante dont la structure de base (C6-C3) dérive de celle de l'acide cinnamique. Ces acides sont rarement présents à l'état libre et existe généralement sous forme d'ester ou de glycoside (Macheix *et al.*, 2006). Dans certains cas, la liaison avec stéroïdes conduit à des composés à caractère très apolaire (Hakala *et al.*, 2002).

II.1.2. Les coumarines

Les coumarines dérivent des acides hydroxycinnamiques par cyclisation interne de la chaîne latérale (Macheix *et al.*, 2006).

II.1.3. Les flavonoïdes

Les flavonoïdes (flavus-yellow), ou bioflavonoïdes, sont un groupe de substances polyphénoliques qui sont présentes dans la plupart des plantes, concentrées dans les graines, la peau ou le pelage des fruits, l'écorce et les fleurs (Dusan et Vesna., 2006).

Les flavonoïdes sont capables de moduler l'activité de certaines enzymes et de modifier le comportement de nombreux systèmes cellulaires, ce qui suggère qu'ils pourraient exercer une multitude d'activités biologiques, notamment des activités antioxydantes, vasculoprotectrices, antihépatotoxiques, antiallergiques, anti-inflammatoires, antiulcérogènes et même antitumorales (Collin *et al.*, 2006).

II.3.1.1. Classification des flavonoïdes

Selon l'état d'oxydation de l'anneau hétérocyclique, les flavonoïdes sont classés comme flavones, flavanonols, flavonols, flavanones ou isoflavones (figure 05).

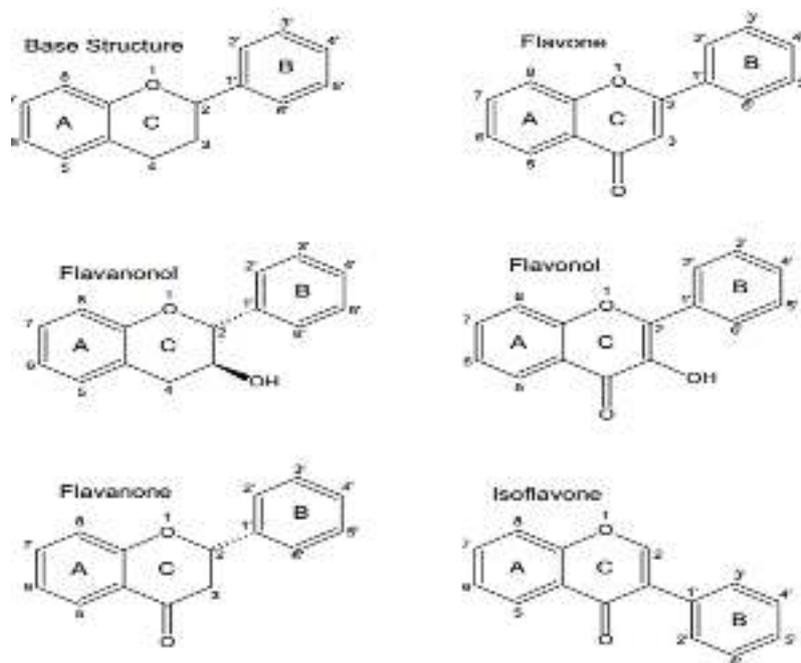


Figure 05 : Principales classes des flavonoïdes : le noyau flavonoïde consiste en benzo- γ -pyrone (anneau A et anneau C) et benzène (anneau B). (Dusan et Vesna.,2006)

II.1.4 Les tanins

Les tanins sont des composés polyphénoliques hydrosolubles qui ont la capacité de précipiter des protéines (Smith et Swain.,1962). Les tanins sont de deux types hydrolysables et condensé.

Les tanins hydrolysables sont des polyphénols avec un noyau central de polyol (Castels *et al.*,2005) ils sont caractérisés par le fait qu'ils peuvent être dégradés par hydrolyse chimiques (alcaline ou acide) ou enzymatiques. Ils libèrent alors une partie phénolique qui peut être soit de l'acide gallique soit un dimère de ce même acide, l'acide ellagique et une partie non phénolique. (Macheix *et al.*,2006).

Les tanins condensés sont des polymères de flavon-3-ol, qui sont liés par des obligations carbone-carbone (Castels *et al.*,2005), ils sont résistants à l'hydrolyse et seules des attaques chimiques fortes permettent de les dégrader. Ainsi, par traitement acide à chaud, ils se transforment en pigment rougeâtre et, pour cette raison, ils sont dénommés « proanthocyanidines ». (Macheix *et al.*,2006).

II.1.5. La lignine

La lignine est un constituant polyphénolique complexe de la paroi cellulaire secondaire végétale, les efforts d'ingénierie des usines ont systématiquement cherché à modifier la

quantité, la composition et la structure de la lignine en exploitant la plasticité inhérente à la biosynthèse de la lignine.

II.2. Les composés phénoliques de *Sorghum bicolor* (L.) Moench

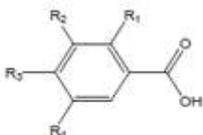
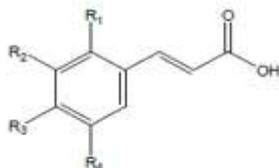
Le sorgho est une source riche et variée en composés phytochimiques comme les tanins, les acides phénoliques, les anthocyanes et les flavonoïdes.

Les polyphénols majoritaires du sorgho se regroupent en quatre grandes catégories : les acides phénoliques, les tanins et les anthocyanes, les flavonoïdes et les stilbènes. (Mottiar *et al.*, 2016).

II.2.1. Les acides phénoliques de sorgho

Comme dans d'autres céréales, les acides phénoliques du sorgho sont plus concentrés dans le son (enveloppe céréalière). Il existe deux types des acides phénoliques : les acides hydroxybenzoïques et les acides hydroxycinnamiques ils se trouvent majoritairement sous forme liée. (Tableau 05)

Tableau 05 : La structure générale des acides phénoliques de sorgho. (Collin *et al.*, 2006)

Groupe d'acides phénoliques	Acides hydroxybenzoïques	acides hydroxycinnamiques																																																										
Structure générale	 <table border="0"> <tr> <td></td> <td>R₁</td> <td>R₂</td> <td>R₃</td> </tr> <tr> <td>Acide gallique</td> <td>H</td> <td>OH</td> <td>OH</td> </tr> <tr> <td>Acide gertaisique</td> <td>OH</td> <td>H</td> <td>H</td> </tr> <tr> <td>Acide salicylique</td> <td>OH</td> <td>H</td> <td>H</td> </tr> <tr> <td>Acide p-hydroxybenzoïque</td> <td>H</td> <td>H</td> <td>OH</td> </tr> <tr> <td>Acide syringique</td> <td>H</td> <td>OCH₃</td> <td>OH</td> </tr> <tr> <td>Acide protocatechuique</td> <td>H</td> <td>OH</td> <td>OH</td> </tr> </table>		R ₁	R ₂	R ₃	Acide gallique	H	OH	OH	Acide gertaisique	OH	H	H	Acide salicylique	OH	H	H	Acide p-hydroxybenzoïque	H	H	OH	Acide syringique	H	OCH ₃	OH	Acide protocatechuique	H	OH	OH	 <table border="0"> <tr> <td></td> <td>R₁</td> <td>R₂</td> <td>R₃</td> <td>R₄</td> </tr> <tr> <td>Acide caféique</td> <td>H</td> <td>OH</td> <td>OH</td> <td>H</td> </tr> <tr> <td>Acide férulique</td> <td>H</td> <td>OCH₃</td> <td>OH</td> <td>H</td> </tr> <tr> <td>Acide o-coumarique</td> <td>OH</td> <td>H</td> <td>H</td> <td>H</td> </tr> <tr> <td>Acide p-coumarique</td> <td>H</td> <td>H</td> <td>OH</td> <td>H</td> </tr> <tr> <td>Acide sinapique</td> <td>H</td> <td>OCH₃</td> <td>OH</td> <td>OCH₃</td> </tr> </table>		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	Acide caféique	H	OH	OH	H	Acide férulique	H	OCH ₃	OH	H	Acide o-coumarique	OH	H	H	H	Acide p-coumarique	H	H	OH	H	Acide sinapique	H	OCH ₃	OH	OCH ₃
	R ₁	R ₂	R ₃																																																									
Acide gallique	H	OH	OH																																																									
Acide gertaisique	OH	H	H																																																									
Acide salicylique	OH	H	H																																																									
Acide p-hydroxybenzoïque	H	H	OH																																																									
Acide syringique	H	OCH ₃	OH																																																									
Acide protocatechuique	H	OH	OH																																																									
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄																																																								
Acide caféique	H	OH	OH	H																																																								
Acide férulique	H	OCH ₃	OH	H																																																								
Acide o-coumarique	OH	H	H	H																																																								
Acide p-coumarique	H	H	OH	H																																																								
Acide sinapique	H	OCH ₃	OH	OCH ₃																																																								

Il y'a deux catégories des acides phénoliques :

- Acides phénoliques libres : sont retrouvés dans la couche externe de la graine ;
exemple : l'acide cinnamique.
- Acides phénoliques liés : sont liés avec les membranes cellulaires de la graine ;
l'acide férulique est le dominant (24-47%).
- L'acide gallique retrouvé seulement à l'état lié. (Dykes *et al.*, 2005)

En comparaison avec les autres céréales le grain de sorgho à une teneur considérables en acides phénoliques, (tableau 6).

Tableau 06 : La teneur du grain de sorgho en acides phénoliques en comparaison avec les grains des céréales principales : Acides phénoliques reportés chez les céréales (**Andreasen et al., 2001**).

Acides phénoliques	Grains	Auteurs
<u>Acides hydroxybenzoïques</u>		
Gallique	sorgho Mils, riz.	Hahn et al 1983 ;Zhou et al.,2004 ; Suba et al.,2002.
Protocatéchique	Sorgho,Orge,maïs,mils,avoine,seigle, blé et le riz	Matillaet al.,2005,Mazza et Gao,2005 ;McDonough et Rooney .2000. Hahn et al.,1983
-P-hydroxy benzoïques	Sorgho,orge,maïs, avoine, Seigle, blé, riz,mils	Mattila et al.,2005 ;Kim et al 2006 ;Mazza et Gao,2005 .
-Salicylique	Sorgho,orge,blé	Mazza et Gao,2005,Kim et al.,2006
-Vanillique	Sorgho,maïs,orge,mils,avoine ,seigle,blé,riz	Kim et al., 2006 ;Mattila et al.,2005 ;Zhou et al.,2004.
Syringique	Sorgho,Orge,maïs,mils,avoine,seigle,blé,riz.	Kim et al., 2006 ;Mattila et al.,2005 ;Mazza et Gao,2005 ;McDonough et Rooney,2000.
<u>Acides hydroxycinnamiques</u>		
Férulique	Sorgho,maïs,mils,avoine,seigle,blé,riz	Andreasen et al.,2000. Kim et al., 2006 ;Zhou et al.,2004.
caféique	Sorgho,maïs,mils,avoine,seigle,blé,riz	Kim et al., 2006 ; Zhou et al.,2004 ; Suba et al.,2002.
-cinnamique	Sorgho,blé,maïs.	Mazza et Gao,2005 ;Mattila et al.,2005;Zhou et al.,2004 2005 ;McDonough et Rooney,2000.
Sinapique	Sorgho,maïs,mils,avoine,seigle,riz.	Mattila et al.,2005; ; Zhou et al.,2004 ; Andreasen et al.,2000.

III.2.2. Les flavonoïdes

Le grain de sorgho est riche en flavonoïdes particulièrement :

1-a : Flavonols

Un glycoside du kaempférol a également été identifié dans le sorgho (**Nip et Burns,1969**).

1-b : Flavon-3-ols et procyanidines :

Les deux isomères (+)-catéchine et (-)-épicatechine sont trouvés dans le sorgho (10-180mg/L) (**Freidrich et Galensa 2002**)

1-C : Flavanones dérivés :

Le sorgho est une source significative d'ériodictyols, ainsi que des deux flavones correspondants, l'apigénine et la lutéoline. (**Nip et Burns,1969**).

II.2.3. Les anthocyanes

Les anthocyanes identifiées au niveau du sorgho sont l'apigéninidine, l'apigéninidine-5-glucoside, la lutéolinidine, la lutéolinidine-5-glucoside, ainsi que la 7-O- méthylapigéninidine, la fisétinidine, la cyanidine et enfin la pélargonidine. (**Dykes Et Rooney,2006**)

Les anthocyanines de sorgho sont unique car ils ne possèdent pas le groupement hydroxyle dans la position C3; ils prennent la nomination de **3-deoxyanthocyanines**. Cette propriété augmente leur stabilité dans un pH élevé par rapport les anthocyanines communes. Ceci les rendent comme des colorants alimentaires naturels de bonne qualité. (**Dykes Et Rooney,2006**)

La 3- deoxyanthocyanines contient l'apigéninidine de couleur jaune et la luteolinidine de couleur orange (**Rooney,2005**).

II.2.4. Les tannins condensés

Les tanins de sorgho sont principalement des tanins condensés, ils sont majoritairement polymérisés en flavan-3,4-diols, ils forment des proanthocyanidines. La catéchine est l'unité monomère la plus rapportée (**Dykes et al,2009**).

La présence des tannins condensés (proanthocyanidines) est en relation avec la présence du testa pigmentée. Ces tannins prouvent une résistance contre les moisissures. (**Rooney,2005**).

II.2.5. Stilbènes

La présence de stilbènes a été mise en évidence dans les grains de sorgho, notamment le trans-resvératrol et le trans-picéide et plus particulièrement au niveau des grains du sorgho rouge. (**Brohan et al.,2011**).

III. Rôle et propriétés des polyphénols

Les composants phénoliques impliqués dans de nombreux processus physiologiques comme la croissance cellulaire, la germination des graines et la maturation des fruits (**Boizot et Charpentier, 2006**) ; ils sont largement utilisés en thérapeutique comme ; anti-inflammatoires, inhibiteurs enzymatiques, antioxydants, anti radicalaires et antimicrobiens (**Bahorun, 1997 ; Cetkovic et al., 2008**).

III.1. Activité anti-oxydante

Les polyphénols sont les antioxydants les plus abondants dans notre alimentation (**D'Archivio et al., 2007**), ils possèdent encore plus de potentiel antioxydant *in vitro* que les vitamines et les caroténoïdes (**Weichselbaum et Buttriss, 2010**).

En plus de piéger les radicaux, les polyphénols sont également connus comme chélateurs des métaux empêchant ainsi l'oxydation provoquée par des radicaux hydroxyles très réactifs.

Les polyphénols n'agissent pas seuls ; il a été constaté qu'ils peuvent effectivement fonctionner comme un co-antioxydant (**Tsao, 2010**).

III.2. activité anti-inflammatoires

Plusieurs flavonoïdes sont capables de modifier le métabolisme de l'acide arachidonique plaquettaire *In vitro* (**Middleton, 1998 ; Pelzer et al., 1998 ; Yeon, 2001**). Il est même reporté que les effets de la quercétine et la myricétine sont dose-dépendants a de fortes concentrations, ils inhibent la cyclooxygénase et la lipooxygénase. Cependant à de faibles concentrations, seule la lipooxygénase est affectée. En outre, d'autres flavonoïdes tels que la lutéoline, la morine, l'apigénine et la chrysine agissent principalement sur l'activité de la cyclooxygénase (**Laughton, 1991 ; Read, 1995 ; Sánchez de Medina et al., 2002**).

III.3. Activité anticancéreuse

Certains flavonoïdes possèdent une activité antitumorale et anticancérogénique significative. Par blocage de la production de la tumeur de la peau, la quercétine peut être considérée effective dans la prévention du cancer de la peau.

D'ailleurs, la quercétine inhibe la croissance cellulaire en empêchant certaines phases du cycle cellulaire et en bloquant les sites récepteurs des hormones (**Marfak, 2003**).

III.4. Flavonoïdes comme inhibiteurs enzymatiques

Les flavonoïdes sont des inhibiteurs enzymatiques, ils inhibent plusieurs enzymes intervenant dans divers mécanismes biologiques.

Ils inhibent l'histidine décarboxylase, l'élastase, la hyaluronidase ce qui permettrait de conserver l'intégrité de la substance fondamentale de la gaine vasculaire ; ils inhibent aussi d'une manière non spécifique la catéchol-O-méthyltransférase, ce qui augmenterait la quantité de la catécholamine disponible et donc provoquerait une élévation de la résistance vasculaire. **(Bruneton, 1999).**

III.5. Autres activités biologiques

Les flavonoïdes sont capables de moduler le fonctionnement du système immunitaire, mais leur action est complexe et demeure encore mal élucidée. A doses élevées, les flavones et flavonols sont de puissants inhibiteurs de la prolifération des lymphocytes B et T, mais, à concentrations plus faibles, ils pourraient agir comme immunostimulants chez les sujets immunodéprimés **(Namgoong *et al.*, 1994 ; Middleton, 1998).**

Les flavonoïdes peuvent prévenir le diabète ou au moins le réduire en inhibant l'enzyme aldose réductase. La myricétine possède un effet hypoglycémiant chez des animaux diabétiques **(Ong et Khoo, 2000).**

Les flavonoïdes sont capables de protéger la muqueuse gastrique contre divers agents ulcérogènes. La naringine et la quercétine exercent ainsi une activité anti-ulcérogène mise en évidence chez le rat dont l'ulcère gastrique a été induit par l'éthanol **(Martin *et al.*, 1994).**

III.6. Activité antimicrobienne des polyphénols

Mécanismes des effets antimicrobiens des polyphénols est sans doute très complexe. Parmi les hypothèses avancées, il faut citer :

- L'inhibition des enzymes extracellulaires microbiennes.
- Séquestration de substrat nécessaire à la croissance microbienne ou la chélation de métaux tels que le fer.
- L'inhibition du métabolisme microbien **(Milane, 2004).**

Les polyphénols notamment les flavonoïdes et les tannins sont reconnus par leur toxicité vis-à-vis des microorganismes. Le mécanisme de toxicité peut être lié à l'inhibition des enzymes hydrolytiques (les protéases et les carbohydrolases) ou d'autres interactions pour inactiver les andésines microbiennes, les protéines de transport et d'enveloppe cellulaire **(Cowan, 1999).**

Notre travail a été réalisé durant la période (Mars- Juin2017) au niveau de 5 laboratoires : Laboratoire de culture *in vitro* des végétaux à l'ENS de Kouba pour l'extraction, le laboratoire de PFE du département de biologie et physiologie cellulaire (BPC) pour les dosage; or la partie microbiologique a été effectuée au niveau du laboratoire de valorisation des micro-organismes Kouba, laboratoire de microbiologie groupe Saidal de Gué de Constantine (Alger) et le laboratoire d'hygiène de la wilaya de Blida.

I.1. Matériel

I.1.1 Matériel biologique

Les grains de 40 cultivars de sorgho provenant d'In Salah sous forme de panicule ou des lots des grains emballés dans des sacs en plastiques. La caractérisation morphologique de ces derniers ne sera pas complète et par conséquence les races ne peuvent pas être déterminées. Tout le matériel a été conservé à 4°C jusqu'à son utilisation.

Les souches microbiennes

Les souches dont des souches de référence de l'American Type Culture Collection (ATCC) (6 bactéries et 2 champignons) et 19 bactéries isolées au niveau de l'hôpital Frantz Fanon à partir de l'environnement et des surfaces (tableau 8), ont fait l'objet d'une étude microbiologique.

Tableau 08 : Les souches microbiennes utilisées de références et cliniques

	Gram -		Gram +	
	Espèce	Abréviatio n	Espèce	Abréviatio n
Souches Bactériennes	<i>Escherichia coli</i> (25922)	EcR	<i>Bacillus subtilis</i> (10876)	BsR
	<i>Escherichia coli</i>	Ec	<i>Bacillus subtilis</i> (6333)	Bs
	<i>Klebsiellapneumoniae</i> (4352)	KpR	<i>Staphylococcus aureus</i> (6538)	SaR
	<i>Klebsiellapneumoniae</i>	Kp1	<i>Staphylococcus aureus</i> 1	Sa1
	<i>Klebsiellapneumoniae</i>	Kp2	<i>Staphylococcus aureus</i> 2	Sa2
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (27853)	PaR	<i>Staphylococcus aureus</i> 3	Sa3
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Pa	<i>Staphylococcus aureus</i> 4	Sa4
	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Pf	<i>Staphylococcus aureus</i> 5	Sa5
	<i>Flavimonasorzyhabitans</i>	Fo	<i>Staphylococcus aureus</i> 6	Sa6
	<i>Salmonella arizonae</i>	Sz	<i>Staphylococcus aureus</i> résistance à la méticilline	SaM
	<i>Enterobactercloaceae</i>	Ea		
	<i>Enterobacterancerogenu</i> <i>s</i>	Eg		
	<i>Bordetellaspp</i>	Bt		
	<i>Citrobacterspp</i>	Cs		
	<i>Morganellaspp</i>	Ms		
Champignon s	Moisissure	Abréviatio n	Levure	Abréviatio n
	<i>Aspergillus braziliensens</i> (16404)	Ab	<i>Candida albicans</i> (24433)	Ca

I.1.2. Matériel non biologique

Appareillage, petit matériel de laboratoire, les réactifs, les solvants et la verrerie utilisés dans les différentes étapes de notre travail sont illustrés en annexe (01).

I.2. Méthodes

I.2.1. Etude morphologique des cultivars

L'étude morphologique a porté sur la caractérisation des glumes, des grains et des panicules selon le descripteur de sorgho (ICRISAT, 1993), et la race de chaque cultivar a été déduite suivant la classification de Harlan et De Wet (1972).

I.2.2. Etude phytochimique

I.2.2.1. Préparation des farines

Broyage : Les farines sont obtenues après nettoyage, décorticage et broyage des grains à l'aide d'un moulin à café ordinaire. Les farines sont conservées dans des flacons en plastique à 4°C.

Délipidage de la farine : Nous avons effectué le délipidage des farines par macération dans l'hexane (solvant apolaire) à un ratio de (1 :5), durant 1 heure avec agitation à l'aide d'un agitateur mécanique. Le surnageant a été éliminé après une centrifugation pendant 10 minutes à une vitesse de 3000 tr/min. La farine est laissée sécher pendant une nuit à l'air libre.

I.2.2.2. Extraction

L'extraction par macération a été réalisée sur une farine délipidée avec du méthanol à 80% à raison de (1:5) et avec agitation pendant une heure. Ensuite le mélange est centrifugé à 3000 tr pendant 10 minutes. L'opération est répétée une seconde fois et les surnageants obtenus sont rassemblés et évaporés à sec à l'aide d'un évaporateur à 40 °C sous vide. L'extrait sec est conservé au réfrigérateur.

Reconstitution des extraits secs : afin d'évaluer leur activité antimicrobienne : les extraits S12, S20, S27 et S40 ont été reconstitués à une concentration de 20 mg/ml dans du méthanol pure (tableau 9). Figure 06.

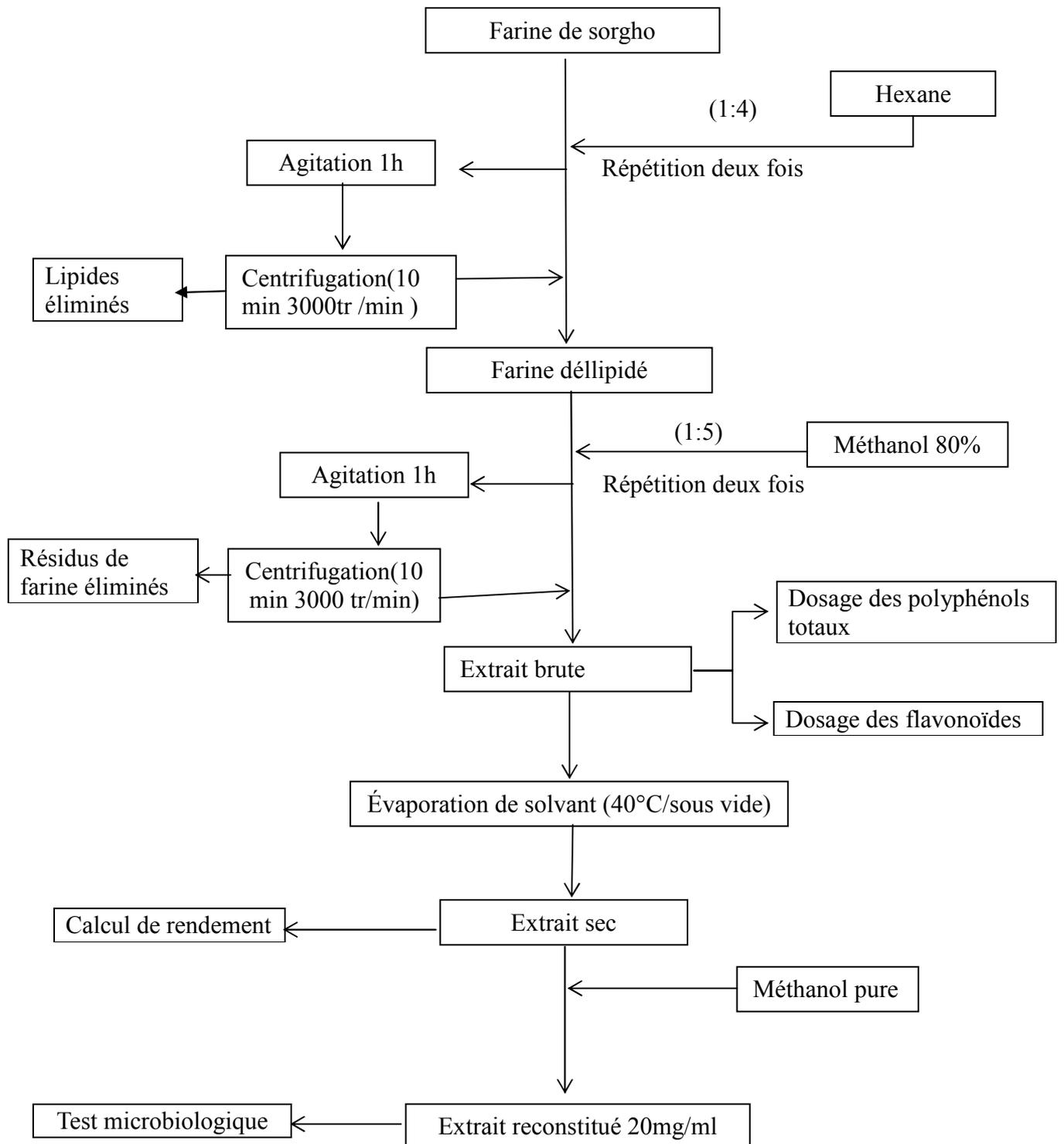
Calcul du rendement (R) : Le rendement de l'extraction est le rapport entre le poids de l'extrait sec et le poids de la farine (biomasse végétale), il est exprimé en pourcentage et calculé selon la formule suivante :

$$R = \frac{P_1}{P_2} * 100 \text{ où } P_1 : \text{ poids de l'extrait sec et } P_2 : \text{ poids de la farine (auteur)}$$

P_1 = Poids du flacon avec l'extrait après évaporation du solvant – Poids du flacon vide.

Tableau 09 : Reconstitution des extraits pour l'activité antimicrobienne.

Variétés	Poids de farine g	Poids de l'extrait mg	Volume de méthanol ajouté ml
S12	17,12	670,9	33,545
S20	2,1351	54,9	2,745
S27	4,0332	97,9	4,895
S40	8,1	232,3	11,61

**Figure 06 :** Schéma récapitulatif du protocole expérimental

I.2.2.3 Dosage des polyphénols totaux

Le dosage des polyphénols totaux dans les différents extraits est réalisé par la méthode de Folin-Ciocalteu (Singleton *et al.*, 1999).

Principe :

L'extrait sera traité avec le Follin-Ciocalteu et le carbonate de sodium. Le réactif de Folin-Ciocalteu est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique et phosphomolibdique, il est réduit par les phénols dans un milieu alcalin en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène (Ribéreau-Gayonet *al.*, 1972). Cette coloration bleue due à la formation d'un complexe molybdène tungstène mesuré au spectrophotomètre à une longueur d'onde 765nm contre un blanc ne contenant pas de polyphénols (standard). La concentration est déterminée par extrapolation sur une courbe d'étalonnage, réalisée auparavant.

L'acide gallique est le standard utilisé pour établir la courbe d'étalonnage à partir de laquelle la concentration des polyphénols totaux des extraits est calculée. Le résultat est exprimé en mg d'équivalents d'acide gallique par 100 gramme de farine.

Une solution mère (SM) d'acide gallique a été préparée à une concentration de 200ppm. Des dilutions de 20, 40, 60, 80 et 100 ppm (tableau 01, annexe 4) ensuite ont été réalisées à partir de cette solution mère.

Mode opératoire : Mettre 100 µl de chaque extrait de *Sorghum bicolor* dans des tubes à essais; ajouter 500 µl de réactif de Folin-Ciocalteu dilué 10fois; agiter puis laisser agir 2min avant d'ajouter 2ml de carbonate de sodium à une concentration de 20%. Après 30 minutes d'incubation à température ambiante et à l'abri de la lumière, lire les absorbances à 765 nm.

Effectuer la même opération pour l'acide gallique à différentes concentrations en introduisant 100 µl de ces dernières dans une série de tubes et ajout des autres réactifs. Le blanc est représenté par l'éthanol additionné du Folin-Ciocalteu, et de carbonate de sodium.

Les concentrations des polyphénols totaux contenus dans les extraits sont calculées en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue.

I.2.2.4 Dosage des flavonoïdes

L'estimation de la teneur en flavonoïdes totaux contenus dans les extraits de *S.bicolore* est réalisée par la méthode de **Bahorunet al. (1996)**.

Principe

Les flavonoïdes possèdent un groupement hydroxyle (OH) libre, en position 5 qui est susceptible de donner avec le groupement CO, un complexe coloré avec le chlorure d'aluminium. Les flavonoïdes forment des complexes jaunâtres par chélation des métaux (fer et aluminium). Ceci traduit le fait que le métal (Al) perd deux électrons pour s'unir à deux atomes d'oxygène de la molécule phénolique agissant comme donneur d'électrons (**RibéreauGayonet al., 1972**).

La concentration des flavonoïdes contenus dans les extraits est calculée en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue en utilisant la quercétine comme standard.

Mode opératoire : Mettre 1,50 ml de l'extrait ou de la solution diluée de quercétine dans un tube à essai ; ajouter 1,5 ml de chlorure d'aluminium à 2 %, incubé pendant 10 min à température ambiante et lire les absorbances à 415 nm.

Les résultats sont exprimés en mg équivalent en quercétine par 100g de farine.

I.2.3. Activité antimicrobienne

L'évaluation de l'activité antimicrobienne a été réalisée par la méthode de diffusion de disque sur la gélose (**Sokmenet al., 2004**).

I.2.3.1 Méthode de diffusion sur milieu gélosé

Notre travail sur l'étude de l'activité antimicrobienne a été commencé par la détermination des profils de résistance des souches microbiennes aux antibiotiques puis leur sensibilité aux extraits par diffusion des disques sur milieu gélosé a été explorée ainsi que la détermination de la concentration minimale inhibitrice.

Tout le matériel de cette étude est stérilisé dans un autoclave à 120°C ainsi que le travail est réalisé dans des conditions stériles afin d'éliminer la contamination.

Les souches bactériennes de référence ont été testées contre les extraits et des antibiotiques sur le milieu Muller-Hinton(MH) et ainsi que l'antibiogramme des bactéries cliniques ont été testées sur gélose nutritif et l'activité antifongique est testée sur sabouraud(S).

Préparation de l'inoculum : chacune des souches microbiennes à tester a été ensemencée dans la gélose nutritive et incubée à 37°C pendant 24 h, afin d'optimiser sa croissance. Des suspensions microbiennes ont été obtenues par l'homogénéisation de quelques colonies (bien isolées et identiques de chaque culture) dans 10 ml d'eau physiologique stérile .

Ensemencement et dépôt des disques : L'ensemencement de la suspension microbienne est réalisé par écouvillonnage sur milieu gélosé. L'écouvillon est frotté sur la totalité de la surface gélosée, de haut en bas en stries serrées. L'opération est répétée deux fois en tournant la boîte de 60° à chaque fois. L'ensemencement est fini en passant l'écouvillon une dernière fois sur toute la surface gélosée.

Les disques de 9mm saturés de l'extrait sont déposés délicatement sur la surface de la gélose inoculée à l'aide d'une pince stérile. Un disque imprégné de méthanol a été utilisé comme témoin négatif.

De même, les antibiogrammes ont été réalisés suivant les mêmes étapes ; pour toutes les souches microbiennes avec des disques d'antibiotiques afin d'obtenir leurs profils de résistance (tableau 10).

Tableau 10: Distribution des antibiotiques par groupe microbien et par boîte

Groupe Microbien	Antibiotique a testé
Staphylocoques	Nutrofurantoine (FTN), Prémazol (PRM), Ciprofloxacine (CIP), Tétracycline (TET).Oxacilline (OX), Penicilline (P) Gentamicine (G).
Entérobactéries, <i>Bacillus subtilis</i>	Amoxilline + Ac. Clavulanique (AMC), Ciprofloxacine (CIP)Céfoxitine (FOX) Gentamicine (G), Nutrofurantoine (FTN).
Pseudomanadaceae	Ticarcilline (TIC), Pipéracilline(PIP),
Champignons	Lamidaz

Les boîtes de Pétri sont incubées dans une étuve pendant 18 à 24 heures à 37°C pour les bactéries et pendant 48 heures à 25 °c pour les champignons.

Lecture des antibiogrammes : La lecture des antibiogrammes a été faite par la mesure des diamètres des zones d'inhibitions autour des disques , par ailleurs la détermination de la sensibilité ou la résistance de ces souches a été faite on comparant les zones d'inhibition autour de nos souches avec celles qui ont été déterminés par le comité français de la microbiologie (Casfem) pour les mêmes souches et les mêmes antibiotiques qui ont les mêmes charges.

Concentration minimale inhibitrice (CMI)

Pour les concentrations minimales inhibitrices (CMI), Il s'agit de déterminer les plus petites concentrations auxquelles les extraits présentent encore une activité antibactérienne visible à l'œil nu.

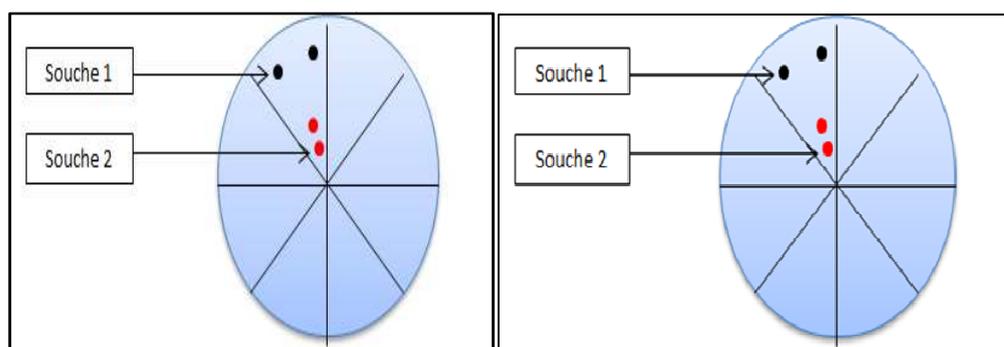
Cette méthode passe par les mêmes étapes précédentes mais cette fois l'extrait a été coulé avec le milieu puis les suspensions bactériennes ont été repiquées à l'aide d'une micropipette (10µl). Les boîtes pétries ensuite seront incubé à 37°C pendant 18 à 24 h, la lecture exprime l'absence ou la présence de la croissance bactérienne.

La CMI des bactéries a été déterminée pour les 3 extraits (S12, S20, et S27) à des concentrations décroissantes, 100%, 80%, 50%, 20% selon le tableau 11.

Tableau 11 : Volume d'extrait et de milieu de culture MH utilisés pour la préparation des géloses pour la détermination de la CMI.

	Concentration	100%	80%	50%	20%
	volume ajouté	2mg/ml	1.6mg/ml	1mg/ml	0.4mg/ml
Les dilutions	Volume d'extrait à 20mg/ml (µl)	600	480	300	120
	Volume de méthanol pur (µl)	0	120	300	480
Volume de milieu de culture MH (ml)		5,4	5,4	5,4	5,4

Une boîte de gélose a été utilisée pour le repiquage de plusieurs souches bactériennes. Chaque boîte représente une concentration d'un extrait dont chaque triangle contient deux souches différentes (chaque souche est repiquée dans deux points).



Extrait S12 à 100%

Extrait S12 à 80%.

Figure 07 : Repiquage des souches pour la CMI

III.1. Etude morphologique

III.1.1. Caractérisation morphologique des différents cultivars de sorgho

Le sorgho cultivé présente une très grande diversité de formes décrites par différentes classification botanique. La classification la plus récente et la plus utilisée est celle de **Harlan et DeWet (1972)**. Elle est fondée sur des caractéristiques des épillets (grain et glume) et de la forme des panicules. Cinq races de bases sont distingués à savoir les races bicolor, guinea, caudatum, durra et kafir ainsi que les 10 combinaisons deux à deux de ces races de base tels que durra-caudatum(**Chantereauet al.,2013**). En effet, nous avons adopté cette classification et nous avons identifié la race de chaque cultivar en se basant sur les critères résumés dans le tableau 12.

Tableau 12 :Les caractéristiques morphologiques des différents cultivars

Numéro de cultivars	FORME DES GRAINS	COUVERTURE DES GRAINS	FORME DE LA PANICULE	RACE	COULEUR DES GRAINS	COULEUR DES GLUMES	Endosperme farineux	Présence de testa
S 2	Globulaire	75%	ND	Guinea	Blanc	Noire	75%	-
S3	Elliptique	50%	ND	Kafir	Brun	terre de sienne	75%	-
S4	Dissymétriques	75%	ND	Guinea	Blanc	Blanc	75%	-
S6	ND	ND	ND	ND	Blanc	ND	ND	-
S7	ND	ND	ND	ND	Chamois	ND	ND	-
S8	Elliptique	75%	ND	Kafir	Rouge	terre de sienne	50%	-
S9	ND	ND	ND	ND	Blanc	ND	ND	-
S10	Dorsale ventrale (aplatie/bombé)	ND	ND	Kafir	Rouge	ND	75%	+
S11	ND	ND	ND	ND	Blanc	ND	ND	-
S12	Elliptique	75%	ND	Durra	rouge	terre de sienne	50%	+
S13	Globulaire	50%	ND	Durra	Blanc	Beige	50%	-
S14	Elliptique	ND	ND	Durra	Blanc	ND	25%	-
S15	Elliptique	ND	ND	ND	Blanc	ND	25%	-
S16	Elliptique	75%	ND	Durra	Blanc	Blanc	75%	-
S17	Dissymétriques	75%	ND	Durraguinea	Brun	terre de sienne	50%	-
S18	Globulaire	50%	ND	Durra	Blanc	Blanc	50%	-
S19	Dissymétriques	75%	ND	Durra	Blanc	Blanc	50%	-
S20	Elliptique	100%	ND	Bicolor	Rouge	Noire	75%	+
S21	Elliptique	ND	ND	Bicolor	Rouge	ND	75%	+

S22	Elliptique	75%	2	<i>Durra/ caudatum</i>	Blanc	Blanc	75%	-
S23	Globulaire	50%	ND	Durra	Blanc	Acajou	25%	-
S25	Pointue à la base	50%	4	Durra	Rouge	Jaune	50%	+
S26	Dorso-ventrale (aplatie/bombé)	50%	3	<i>Durracaudatum</i>	Rouge	Jaune	75%	+
S27	dissymétriques	50%	//	Kafir	Brun	Jaune	75%	+
S28	Pointue à la base	75%	4	Durra	Rouge	Acajou	50%	-
S29	Dorsale ventrale	50%	2	Durra	Blanc	Blanc	75%	-
S30	Elliptique	50%	ND	Durra	Blanc	Blanc	50%	-
S31	Globulaire	75%	4	Kafir	Rouge	Jaune	25%	-
S33	Globulaire	75%	2	Kafir	Brun	Jaune	75%	-
S34	Globulaire	75%	1	<i>DurraKafir</i>	Brun	Acajou	25%	-
S35	Elliptique	75%	2	<i>Kafircaudatum</i>	chamois	Noire	50%	-
S36	Dorso-ventrale (aplatie/bombé)	grain complètement recouvert	ND	<i>Durra bicolor</i>	Blanc	Blanc	75%	-
S37	Elliptique	75%	2	Kafir	Brun	Noire	100%	-
S38	Pointue à la base	60%	ND	Durra	Blanc	Blanc	75%	-
S39	Globulaire	75%	ND	Kafir	Blanc	ND	100%	-
S40	Globulaire	75%	ND	Durra	Blanc	Beige		-
S41	Globulaire	50%	ND	<i>Durracaudatum</i>	Blanc	Beige	75%	-
S42	Dorso-ventrale	75%	4	Kafir	Rouge	Noire	75%	-
S43	Pointue à la base	75%	4	Durra	Blanc	Blanc	75%	-
S46	Elliptique	75%	//	Durra	Noire	Noire	100%	-

ND : Non Définie (les cultivars provient sous forme des lots des grains emballés dans des secs en plastiques)

(*Forme de la panicule* : **1.** Lâche a ramification primaire érigé ; **2.** Demi lâche a ramification primaire érigé ; **3.** Elliptique compacte ; **4.** Ovale compacte).

Les glumes recouvrent les grains de 50 jusqu'à 100%, la couverture complète des grains par les glumes est un caractère de la race de bicolor (**Harlan et DeWet, 1972**). Les grains de 21 cultivars étaient de couleur blanche, 10 sont de couleur rouge, 6 cultivars sont coloré en brun alors que un seul cultivar est coloré en noire, ainsi que la couleur chamois n'apparaitre que sur 2 cultivars.

III.1.2.Détermination des races

Harlan et De Wet ont divisé la sous-espèce sorghum bicolor en cinq races ou groupes fondamentales sur la base de la morphologie du grain, de la forme de la glume et de type de la panicule .

L'histogramme montre que les cinq races sont présentées au moins par deux cultivars de sorgho dans la race et que la majorité des cultivars appartienne à la race kafir (12) et Durra (11). Certaines races intermédiaires où le cultivar rassemble les caractères morphologiques de la race Durra et une autre race différente, sont également représentés par un ou deux cultivars.

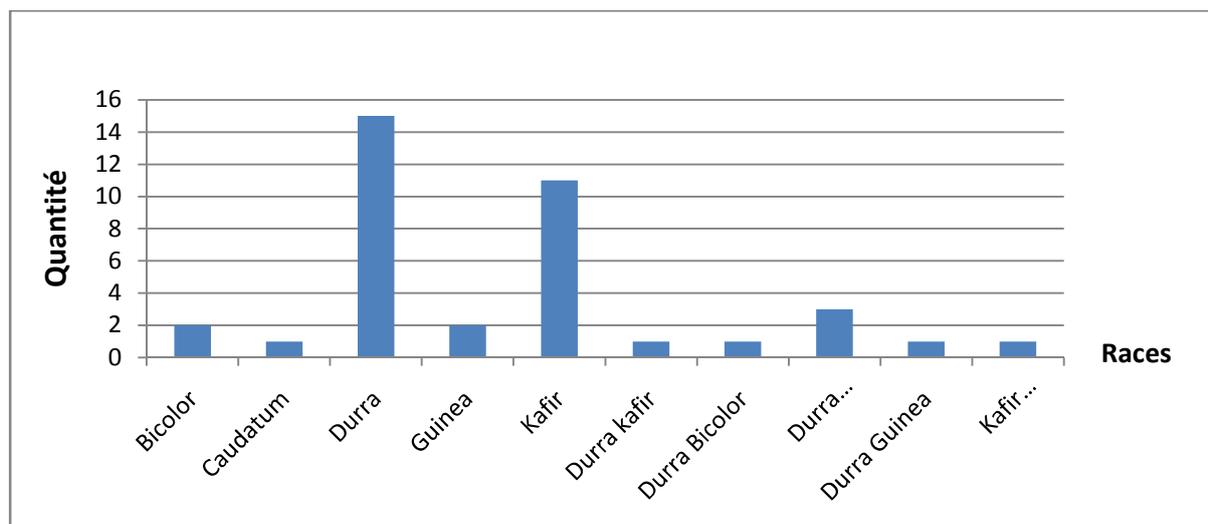


Figure 08 : Quantité des races des cultivars de sorgho étudié.

D'après les résultats obtenus, La race Durra (15) et la race Kafir (11) sont les plus abondants que les autres races (Figure 08). Certains cultivars présentent une combinaison des caractéristiques de deux races de base, selon l'identification de celles-ci, ces formes hybrides rentrent dans des classes additionnelles de la classification de **Harlan et De Wet**.

Une étude réalisée sur des sorghos cultivés dans les zones Centre-Nord et Nord-Ouest de la Côte d' Ivoire dont la majorité des cultivars appartient à la race guineaqui constitue le centre de diversité des sorghos en Afrique de l'Ouest.: bicolor, guinea, caudatum, kafir et durra.

Cependant, la plupart des races intermédiaires enregistrées sont des combinaisons de la race durra et une autre; Nos résultats concordent avec ceux de **Doggett (1988)** qui a noté que le type principalement cultivé au Moyen Orient correspond à la race durra. En plus, Les études de **Kadiri et Ater (1997)** et **Djèet al. (1998)** ont montré l'appartenance des types observés au nord-ouest du Maroc à la race durraet à des hybrides inter races incluant la race durra.

Par ailleurs, la combinaison durra-cuadatum est la plus importante combinaison représentée dans notre étude et cela se concordent avec les résultats de la collection mondiale de sorgho de l'Icrisat qui rapporte sa haute fréquence à côté de la combinaison Kafir-caudatum(**Chantereauet al.,2013**).

III.2. Etude phytochimique

III.2.1. Rendement des extraits

Le rendement et la couleur des extraits a testé leur activité antimicrobienne sont situé dans le tableau 13.

Tableau 13 : Rendements et couleurs des extraits a testé.

Numéro de cultivars	Couleurs	Rendements(%)
12	orange claire	3,919
20	orange foncé	2,571
27	orange foncé	2,427
40	Violacé	2,868

Les extraits des sorghos à tannin sont de couleur orange clair ou foncé or les sorghos non tannin sont de couleur jaune, rouge ou rose qui vire dans certains cas vers le violet comme le cas du sorgho S40.

La couleur de l'extrait ne reflète pas le taux de rendement d'où on observe que le rendement le plus élevé (3,92%) a été obtenu avec le sorgho S12 dont l'extrait était de couleur orange clair. La différence est non significative entre le rendement des trois extraits S20, S27 et S40.

Ces rendements sont faibles par rapport à ceux obtenus par **Vasudeva et al. (2004)** qui a obtenu des rendements plus élevés avec un extrait méthanolique allant de 4,03 jusqu'à 39,45%.

III.2.2. Teneur des polyphénols totaux

La courbe montre une linéarité ($R^2 = 0,9995$) de l'absorbance en fonction des concentrations de l'acide gallique (figure 1, annex 5). Les quantités des polyphénols correspondantes de chaque extrait ont été rapportées en équivalent milligramme d'acide gallique et déterminé par l'équation suivante : $y = 0,0037x$ (figure 9).

Les taux des polyphénols totaux dans les extraits des farines de sorgho varient entre 45,62 à 1170,14 mg équivalents d'acide gallique par 100 gramme de farine.

Les taux les plus élevés ont été enregistrés dans les farines des sorghos à tannin à savoir S20 et S21 suivie par S27, S46, S12 et S10. Ces cultivars ont une testa pigmentée et qui contient des tanins condensés et qui est contrôlé par deux gènes B1-B2. (**Dykes et Rooney, 2006**)

Parmi les sorghos non tannin, les extraits S17 et S40 ont présenté les taux les plus élevés en polyphénols (plus de 300 mg EAG/100g) par contre les autres cultivars ont présenté des taux inférieurs à 218,35 mg EAG/100g de farine. Le taux le plus faible (45,62 mg EAG/100g) en polyphénols a été enregistré avec le cultivar S18.

La gamme de concentration en polyphénols dans les grains blancs varié entre 45,62 dans S18 et 301,89 mg EAG/100g dans S40. Ces résultats sont différents de ceux obtenus par **Afify et al. (2012)** leur résultats révélés que le taux des polyphénols totaux de trois variétés qui contiennent de 109,21 à 116,70 mg EAG/100g de la farine est probablement due aux nombres de cultivars étudiés et le taux de diversité que nous avons déjà observé sur le plan morphologique.

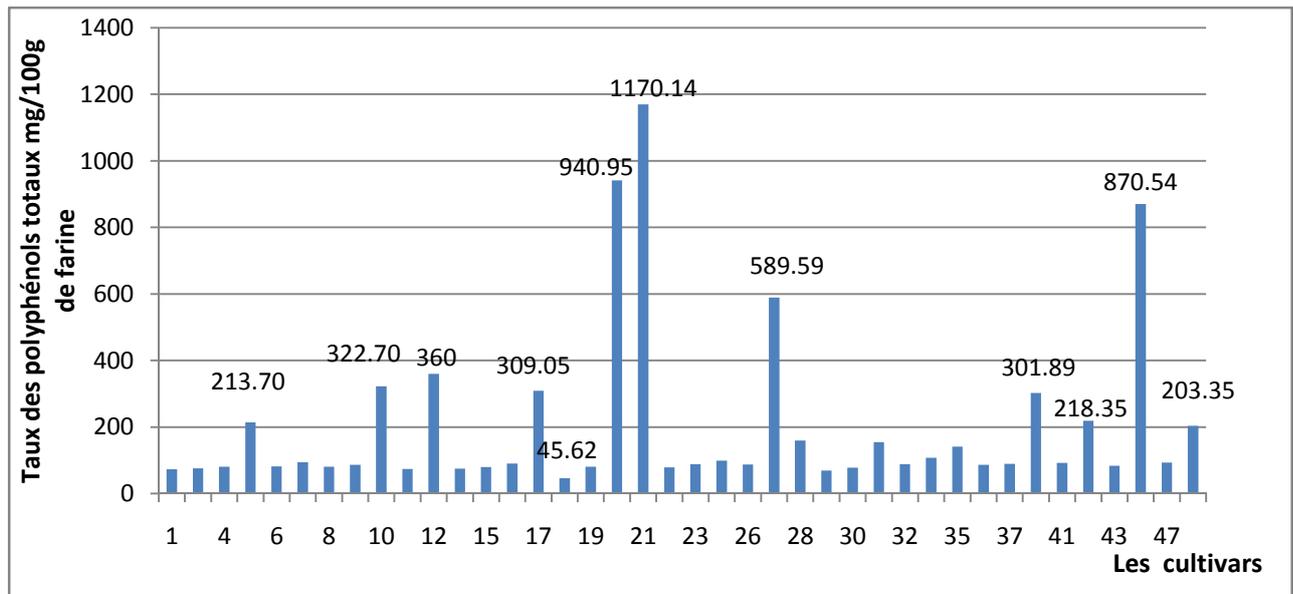


Figure 09: Taux en polyphénols totaux des différents cultivars de sorgho

Le sorgho et l'orge ce sont des grains alimentaire importants contient des quantités significatives des composées phénoliques (**Dicko, 2002**).

La gamme des concentrations des polyphénols dans nos cultivars sont plus importants par rapport à ceux obtenus par **Vasudeva G et al., (2004)** avec des variétés indiennes localesde sorgho blanc qui a été variaient entre 10 et 46.1 mg EAG/100 g de farine extraite avec le méthanol (60%), et plus important aussi à celles signalées par **Suganyadevi (2012)** et qui variaient entre 4 et 580 mg EAG/100g de farine (Figure 09).

Les taux élevés en polyphénols sont probablement due aux conditions de stress dans lesquelles nos sorghos ont été cultivés. L'environnement a un effet important sur la présence des polyphénols dans le sorgho; il est aussi bien de connaitre l'environnement le plus adapté pour la sélection des cultivars qui donnent les meilleurs rendements en composés phénoliques.

Afin de les utiliser dans la production des aliments fonctionnels dans l'industrie alimentaire (**Lee et al., 2005; Downey et al., 2006**).

Nos résultats ne correspondent pas à ceux trouvé par **Afify et al. (2012)** leur résultats révélés que le taux de polyphénols totaux de trois variétés de sorgho blancrécolté en Egyptevarié de 109.21 à 116.70mg/100g. et ceux de **Glennie et al.,(1983)** qui ont rapporté que la teneur en polyphénols totaux des variétés blanches de sorgho est varié de 80 à mg /100g de la farine.

Duoduet al. (2006) a indiqué que les compositions chimiques des extraits dépendent du solvant utilisé pour l'extraction.

Le dosage par ce réactif donne donc une évaluation brute de tous les composés phénoliques d'un extrait. Il n'est pas spécifique aux polyphénols, mais beaucoup de composés peuvent réagir avec le réactif, donnant un taux phénolique apparent élevé (**Tawahaet al., 2007**). D'après **Suganyadevi (2012)** les fractions de sorgho blanc avait des taux de phénols bien inférieur à ceux mesuré dans les sorghos noirs et rouges.

III.2.3. Teneur des flavonoïdes totaux

Les concentrations des flavonoïdes (Figure 10) sont relativement importants dans les extraits S46 suivie de celles des extraits S10, S12, S17, S27 et S40 qui dépassent légèrement les 20 MEQ/100g. Cependant, l'extrait S20 renferme un taux plus élève en flavonoïdes (30,87 MEQ/100g) et l'extrait S21 est encore deux fois plus riche (65,47 MEQ/100g) que ce dernier.

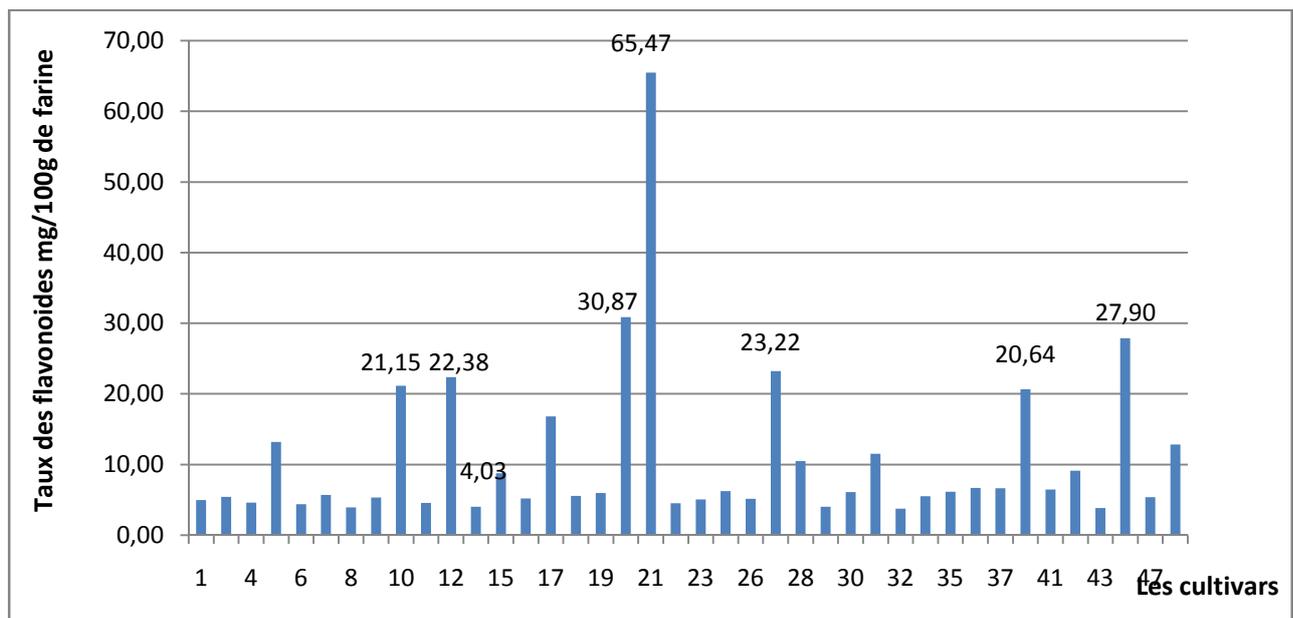


Figure 10: Les taux en flavonoïdes dans les différents cultivars de sorgho

Les teneurs en flavonoïdes de nos cultivars sont bien inférieure à ceux obtenus par **Suganyadevi (2012)** avec des taux de 20 à 11100 mg EQ/100 g de farine, et aussi par rapport à ceux obtenue par **Afifyet al. (2012)** avec les sorghos égyptien, 45.91-54.68 mg EQ/100 g (valeurs se rapprochant des teneurs maximales obtenues 30.87 et 65.47 avec les échantillons S20 et S21 respectivement). **Whatronet al. (2000)** ont rapporté que le sorgho rouge possède

des composés de flavonol qui sont produits à partir de flavonones et peuvent être des précurseurs d'anthocyanidines dans le sorgho.

L'échantillon S46 contient un taux assez élevé par rapport aux autres, il s'agit d'un sorgho noir, il doit renfermer les anthocyanes. Les anthocyanes constituent la principale classe des flavonoïdes dans le sorgho (Suganyadevi, 2012).

Selon Awika *et al* (2004a,b) la luteolinidine et l'apigénidine 36-50% des anthocyanes totaux dans les grains noirs et bruns de *Sorghum bicolor* (L.) Moench et 19% de luteolinidine est noté pour les grains rouges.

III.3. Etude microbiologique

III.3.1. Profil de résistance aux antibiotiques

Les bactéries de référence et les bactéries pathogènes (Gram+ et Gram-) ont montré des sensibilités variables vis-à-vis des différents antibiotiques standards testés (Tableau 14).

Tableau 14 : Diamètres des zones d'inhibition en mm issus des antibiogrammes des germes étudiés en fonction des différents antibiotiques testés.

		Antibiotiques (DZI en mm)											M	
		GE N	P	O X	CI P	FO X	AM C	TE T	PR M	FT N	TI C	PI R		
Souches de référence	<i>Staphylococcus aureus</i>	22	R	R	24			7	23					
	<i>Bacillus subtilis</i>	29			35	26	43			23				
	<i>Bacillus subtilis</i>	39			32	37	30			22				
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>										26	26		
	<i>Escherichia coli</i>	16			18	30	10			10				
	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	29			35	26	R			23				
	<i>Candida albicans</i>													17
	<i>Aspergillus brasiliensis</i>													40
Souches Cliniques	<i>Staphylococcus aureus</i> 1	18	20	R	R			R	R	R				
	<i>Staphylococcus aureus</i> 2	25	11	R	12			16	26	12				
	<i>Staphylococcus aureus</i> 3	22	7	7	22			20	25	20				
	<i>Staphylococcus aureus</i> 4	15	10	R	25			21	23	20				
	<i>Staphylococcus aureus</i> 5	27	8	11	21			10	12	11				
	<i>Staphylococcus aureus</i> 6	15	15	R	22			9	23	9				
	<i>Staphylococcus aureus</i>	20	15	R	26			24	25	9				
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>										20	26		
	<i>Pseudomonas fluorescens</i>										15	25		
	<i>Escherichia coli</i>	10			35	8	15			7				
	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	18			15	8	7			10				
	<i>Klebsiella pneumoniae</i> 2	26			22	19	12			8				
	<i>Morganella</i> sp	31			22	19	13			20				
	<i>Bordetella</i> sp	15			30	12	13			10				
	<i>Flavomonas oryzae</i>										R	18		
	<i>Enterobacter cancerogenus</i>	20			25	25	15			20				
	<i>Enterobacter cloacae</i>	10			20	19	7			10				
<i>Salmonella arizonae</i>	20			15	10	8			20					
<i>Citrobacter</i> sp	31			25	20	28			25					

III.3.1.1. *Staphylococcus aureus*

Selon le comité française de la microbiologie 2014 :

Toutes les souches de *S.aureus* ont présenté un taux élevé de résistance vis-à-vis des antibiotiques de la famille des β -lactamines (P, OX, PRM) et de FTN (la famille des nitrofurannes).

La majorité des souches de *staphylococcus aureus* (Sa1, Sa2, Sa5, Sa6 et SaR) ont révélés une résistance à la tetracycline (TET).

Deux souches d'entre elles (*S aureus*1, *S aureus*2) ont résisté aux effets du CIP (quinolone) et *S aureus*5 a présenté une résistance intermédiaire; par contre, *S aureus* 6 a était la plus sensible (26mm).

Deux souches seulement de staphylocoques ont présentés une résistance pour les aminosides (GEN) avec des diamètres des zones d'inhibitions de 15 mm et les autres ont présenté une sensibilité avec des diamètres variables de zones d'inhibition.

La sensibilité des souches de *S.aureus* sauvage aux β - lactamines varie selon la molécule, 80% à 95 % des souches produisent une pénicillinase qui inactive la pénicilline G et l'ampicilline, rendent leurs indications obsolètes dans le cadre d'une infection à *S.aureus*(**Daurel et Leclerq 2008**). Selon **Diouara(2006)** le taux de la sensibilité des *S.aureus* à la Pénicilline était de 86.25%, mais par contre il a rapporté un taux faible pour l'Amoxicilline (43%). Ainsi selon **Ramoul (2014)**, 37.5% des *S.aureus* isolés d'infection respiratoire basse sont résistants à l'Oxacilline.

Par ailleurs, la résistance acquise des staphylocoques pour la Gentamicine est de phénotype KTG c'est-à-dire résistante croisé à la Kanamicine, l'Amikacine et la Sipamicine d'une part et à la Tobramycine et Dibekacine d'autre part. La résistance aux aminosides est essentiellement liée à l'acquisition d'enzyme inactivant ces antibiotiques.

Tableau 15 : Les profils de résistance des souches de *staphylococcus aureus* déduits Selon la société française de la microbiologie 2014

	β- lactamines			Aminosides	tétracyclines	Quinolones	nitrofuranes
	P(10)	Ox(1)	prm	GEN(10)	TET(30)	CIP(5)	FTN(300)
	≥29s<29r	≥20s<20r		≥20s<20r	≥19s<17r	≥22s<19r	≥15s<15r
Sa1	R	R	R	S	R	R	R
Sa2	R	R	R	S	R	R	R
Sa3	R	R	R	S	S	S	R
Sa4	R	R	R	R	S	S	R
Sa5	R	R	R	S	R	I	R
Sa6	R	R	R	R	R	S	R
SaM	R	R	R	S	S	S	R
Sa 6538	R	R	R	S	R	S	R

En ce qui concerne la Tétracycline, la résistance acquise due à deux mécanismes par efflux sous l'action d'une protéine membranaire TET ou à une modification de la cible ribosomale de ces antibiotiques. Dans ce cas il y'a une résistance à tous les Tétracyclines. (Jehlet *al.*,2003)

III.3.1.2. Entérobactéries

Escherichia coli

Les 2 souches d'*E coli* résistent aux antibiotiques de la famille de β-lactamines et des nitrofuranes (FTN). Une différence est observée entre les deux souches concernant leurs réponses vis-à-vis de CIP et GEN d'où *E coli* ATCC 259202 a montré une résistance totale vis-à-vis CIP et une résistance intermédiaire pour GEN, par contre *E coli* isolé du milieu hospitalier a présenté une résistance totale à la GEN et une sensibilité vis-à-vis CIP (quinolones)

Klebsiella pneumoniae les trois souches *k. pneumoniae* ont montré une résistance à l'AMC et une sensibilité à la GEN (aminoside). Une souche ont présenté une sensibilité et deux ont présenté une résistance totale ou intermédiaire vis-à-vis le CIP.

Salmonella arizonae cette bactérie montre une résistance pour tous les antibiotiques testés, par contre elle est sensible à la GEN.

Enterobacter : les deux souches d'enterobacter ont présenté une résistance totale vis-à-vis l'AMC et FTN, *Enterobactercloaceae* résiste encore à deux autres antibiotiques (CIP, GEN) par contre elle est sensible vis-à-vis le FOX, la souche *Enterobacterecancerogenas* montre une résistance intermédiaire à FOX et une sensibilité totale vis-à-vis CIP et GEN.

Bordetellasp : une résistance totale pour tous les antibiotiques testés (AMC, FOX, GEN, FTN), à l'exception à l'antibiotique CIP.

Morganellasp a marqué une résistance totale à AMC, et intermédiaire vis-à-vis le FOX et le CIP, en revanche une sensibilité totale à GEN et à FTN.

Citrobactersp cette souche montre une résistance totale à quatre antibiotiques testés (AMC, CIP, GEN, FTN), et une résistance intermédiaire vis-à-vis FOX de la famille des β -lactamines.

La majorité des entérobactéries ont été sensibles à la gentamicine. Les entérobactéries à l'exception, de *Providenciastuartii*, sont naturellement sensibles aux aminosides, la résistance acquise est peu fréquente (**Edelstein, 2003**).

Il est important de mettre en évidence la synergie entre l'ampicilline et l'Amoxicilline en association avec un inhibiteur de β -lactamines tel que l'acide clavulanique d'une part et un antibiotique indicateur (Céphalosporine de troisième génération) d'autre part, dans la détection de la production de β -lactamase chez les entérobactéries (**Casfem, 2006**).

Enterobactercloaceae(Ea), *Klebsiellapneumoniae*(Kp1) et *Salmonella arizonae* (Sz) ont été résistants à AMC et CIP. La résistance de *Klebsiella* au β -lactame est importante, le genre *Klebsiellasp* est l'hôte le plus fréquent de BLSE (**Edelstein, 2003**).

La production de β -lactamase constitue le plus important mécanisme de résistance au β -lactamines chez les entérobactéries (**Medeiros, 1984 ; Bonnet, 2004**). À cet effet les β -lactamase à spectre élargi constituent un vrai problème de santé publique, elles sont à l'origine d'échec thérapeutique aussi bien dans les infections communautaires que hospitalières, isolées ou épidémiques. Cette situation est attribuable aux caractères transférables qui porte le gène BLSE, qui se trouve sur les plasmides et assez souvent sur des éléments génétiques mobiles tels que les séquences d'insertion et des intégrons (**Villa, 2000**).

A cela s'ajoute la précision de sélection directe ou indirecte exercé par les antibiotiques utilisés, de façon massive, insuffisante ou inopportune (Arlet et Philippon, 1997).

Tableau 16 : Les profils de résistance des souches des entérobactéries et de *Bacillus subtilis* étudiées déduire Selon la société française de la microbiologie 2014

Antibiotiques Bactéries	β-lactamines		Quinolones	Aminosides	nitrofuranes
	AMC(30)	Fox(30)	Cip(5)	Gen(10)	FTN(30)
	≥21s<14r	≥22s<15r	≥25s<22r	≥18s<16r	≥17s<14r
Ec	R	R	S	R	R
Ec 25922	R	R	R	I	R
Kp1	R	R	R	S	R
Kp2	R	I	I	S	R
Kp4352	R	S	S	S	S
Eg	R	I	S	S	R
Ea	R	S	R	R	R
Bt	R	R	S	R	R
Cs	R	I	R	R	R
Sz	R	R	R	S	R
Ms	R	I	I	S	S
Bs 10876	S	S	S	S	S
Bs 6333	S	S	S	S	S

III.3.1.3. *Bacillus subtilis* les deux souches ont présenté une sensibilité à tous les antibiotiques testés.

III.3.1.4. *Pseudomonas* sp

Une résistance totale par les trois bactéries *Pseudomonas* et une résistance intermédiaire par *F. orizhabitans* ont été enregistré vis-à-vis le pipéracilline. Les deux souches de *P. fluorescens* et *F. orizhabitans* montre une résistance totale à la ticarcilline, une résistance intermédiaire a été présenté par *P. aeruginosa* vis-à-vis le même antibiotique, par contre une sensibilité totale a été marqué par *P. aeruginosa* (27853) a cette antibiotique.

Le *Pseudomonas* est naturellement résistant à de nombreux antibiotiques. Il possède également la capacité d'acquérir très rapidement d'autres résistances soit par mécanisme enzymatique (protéase) soit non enzymatique (impermeabilité). Parmi ces modes de résistance la résistance adaptative tient une place essentielle (Chaibdraaet *al.*, 2008).

Tableau 17 : Le profil de résistance des souches de pseudomonadaceae étudiées déduire Selon la société française de la microbiologie 2014

Antibiotique	Tic (75)	Pip (100)
	≥22s<18r	≥20s<17r
Pa	I	R
Pa 27853	S	R
Pf	R	R
Fo	R	I

III.3.1.5. Champignons

Les deux champignons dont *Aspergillsbraziliensens* et la levure *Candida albicans* sont sensibles à Lamidaz.

III.3.2. Activité antimicrobienne des extraits phénoliques

L'activité antimicrobienne des différentes variétés de *Sorghum bicolor* a été évalué par la méthode de diffusion sur milieu gélosé, les CMI ont été définie pour ces extraits ayant une activité. Une variation d'activité en fonction de l'extrait de l'espèce microbienne a été observée.

III.3.2.1. Méthode de diffusion sur milieu gélosé

Les effets inhibiteurs de la croissance des germes exercés par les quatre extraits sur la majorité des germes de référence et sur quelques bactéries pathogènes ont été enregistrés. Aucun effet sur *Aspergillus braziliensens* (Tableau 18).

Tableau 18 : Résultats de l'activité antimicrobienne des extraits S12, S20, S27 et S40 sur les souches test exprimée en diamètre de la zone d'inhibition en mm.

		Extraits			
		S12	S20	S27	S40
Souche de référence	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 6538	12	11	13	-
	<i>Bacillus subtilis</i> ATCC10876	-	15	15	-
	<i>Bacillus subtilis</i> ATCC6333	28	15	13	22
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC27853	11	12	11	13
	<i>Escherichia coli</i> ATCC25922	11	11	11	11
	<i>Klebsiella pneumoniae</i> 4352	11	10	12	-
	<i>Candida albicans</i> ATCC24433	11	12	13	-
	<i>Aspergillus brasiliensis</i> ATCC16404	-	-	-	-
Souche cliniques	<i>Staphylococcus aureus</i> 1	11	18	11	38
	<i>Staphylococcus aureus</i> 2	-	-	-	12
	<i>Staphylococcus aureus</i> 3	-	-	-	-
	<i>Staphylococcus aureus</i> 4	-	-	-	-
	<i>Staphylococcus aureus</i> 5	-	-	12	-
	<i>Staphylococcus aureus</i> 6	18	11	13	-
	<i>Staphylococcus aureus</i>	15	20	16	14
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	-	-	-	-
	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	-	-	-	-
	<i>Escherichia coli</i>	-	-	-	-
	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	-	-	-	-
	<i>Klebsiella pneumoniae</i> 2	-	-	-	-
	<i>Morganella</i> sp	-	-	-	-
	<i>Bordetella</i> sp	-	-	-	-
	<i>Flavimonas orizhabitans</i>	-	-	-	-
	<i>Enterobacter cancerogenus</i>	-	-	-	-
<i>Enterobacter cloacae</i>	-	-	-	-	
<i>Salmonella arizonae</i>	-	-	-	-	

III.3.2.1.1. Extrait S12

Présente une activité sur *Candida albicans* et sur 9 souches bactérienne dont 5 bactéries sont de Gram positif et quatre sont de gram négatif, l'effet le plus remarquable de cet extrait est observé sur les bactéries à gram positif notamment *Staphylococcus aureus* (Sa6), *staphylococcus aureus* résistante à la méticilline et *Bacillus Subtilis* (ATCC 6333) avec un diamètre de 18, 15 et 28mm respectivement.

Une zone d'inhibition de 11mm de diamètre a été relevé pour les bactéries suivantes : *P.aeruginosa*, *E.coli*, *K.pneumoniae* et *S.aureus* ainsi que pour *Candida albicans*.

III.3.2.1.2. Extrait S20

L'extrait S20 montre une activité contre 9 souches bactériennes et aussi contre *Candida albicans* avec des diamètres des zones d'inhibition de 12mm, l'activité de cet extrait est plus élevée contre les bactéries Gram positif, *B subtilis* (ATCC 10876 et ATCC 6333), *S aureus* (1), *S aureus* résistance à la méticilline, avec des diamètres de 15, 18, 20 mm respectivement, une activité modéré de l'extrait avec des diamètres entre 10 et 12 mm a été observé contre les bactéries a Gram négatif (*P.aeruginosa*, *E.coli*, *K.pneumoniae*).

III.3.2.1.3. Extrait S27

L'extrait S27 a manifesté une activité antimicrobienne contre 11 souches dont une levure *Candida albicans*, une activité remarquable a été observée contre les staphylocoques. *S aureus* ATCC 6538, Sa1, Sa 5, Sa 6 et même Sa résistante à la méticilline qu'ont donné des zones d'inhibition de 13, 11, 12, 13 et 16 mm de diamètre, respectivement. Des diamètres de 15 et 13 mm ont été observé contre les deux souches *B subtilis* ATCC 6333, *B subtilis* ATCC 10876 respectivement.

L'extrait s'est révélé moins actif contre les Gram négatif avec des diamètres des zones d'inhibition de 11mm pour *P. aeruginosa* et *E. coli* et de 12 mm pour *K.pneumoniae* ATCC 4352.

III.3.2.1.4. Extrait S40

L'extrait S40 a montré une activité contre 6 souches bactériennes dont 3 souches de staphylocoques et 2 bactéries à Gram négatif à savoir *P.aeruginosa*, *E.coli* avec des diamètres des zones d'inhibition allant de 11 à 38 mm. Le meilleur effet a été observé sur *S.aureus* (Sa1) et *B.subtilis* ATCC 6333 avec des diamètres de zones d'inhibition de 38 et 22 mm respectivement. Aucun effet n'a été observé sur les champignons.

III.3.3. La concentration minimale inhibitrice des extraits

Les CMI ont été réalisés pour 3 extraits S12, S20 et S27, les CMI de l'extrait S40 n'ont pas été déterminés faute de quantité insuffisante d'extrait. Les dilutions des extraits sont ajoutées à la gélose Muller-Hinton (EUCAST., 2003) et la gélose témoin a été additionnée de méthanol. Les résultats exprimés par présence ou absence de croissance bactérienne sont relevés dans le tableau 19.

Tableau 19 : Résultats de la CMI exprimés par présence ou absence de croissance des souches testées en fonction des dilutions des extraits.

Extrait Bactérie	S12		S20				S27		
	100 %	80%	100%	80%	50%	20%	100%	80%	50%
<i>Staphylococcus aureus</i> 6538	+		-	-	-	+	+		
<i>Staphylococcus aureus</i> 1	-	+	-	-	-	+	-	-	+
<i>Staphylococcus aureus</i> 2	+		+				+		
<i>Staphylococcus aureus</i> 3	-	+	+				+		
<i>Staphylococcus aureus</i> 4	+		+				+		
<i>Staphylococcus aureus</i> 5	+		+				+		
<i>Staphylococcus aureus</i> 6	-	+	+				-	+	
<i>Staphylococcus aureus</i> M	-	+	+				-	+	
<i>Bacillus subtilis</i> 10876	+		-	+			+		
<i>Bacillus subtilis</i> 6333	-	+	-	+			-	+	
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> 27853	+		-	+			+		
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	+		+				+		
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	+		+				+		
<i>Flavimonas orizhabitans</i>	+		+				+		
<i>Escherichia coli</i> 25922	+		+				+		
<i>Escherichia coli</i>	+		+				+		
<i>Klebsiella pneumoniae</i> C	+		-	+			+		
<i>Klebsiella pneumoniae</i> 1	+		+				+		
<i>Klebsiella pneumoniae</i> 2	+		+				+		
<i>Enterobacter cancerogenus</i>	+		+				+		
<i>Enterobacter cloacae</i>	+		+				+		
<i>Bordetella</i> sp	+		+				+		
<i>Morganella</i> sp	+		+				+		

+ : présence de croissance bactérienne

- : Absence de croissance bactérienne

III.3.3.1 L'extrait S12

A partir de l'extrait nous avons réalisés deux dilutions, à 100% l'extrait S12 inhibe la croissance de 5 souches bactériennes à Gram positif dont quatre souches des staphylocoques (*S aureus* 1, *S aureus* 5, *S aureus* 6 et *S aureus* résistante à la méticilline) et *Bacillus subtilis* (TCC6333), l'apparition de ces souches à 80 % nous permet de déterminé leur CMI=2mg/ml.

III.3.3.2.L'extrait S20

Cet extrait a été actif sur 6 souches bactériennes, l'apparition de la croissance des 2 souches de *Bacillus subtilis* et des 2 bactéries gram négatif (*P aeruginosa* 27853, *K pneumoniae*) à

80% signifie que leurs **CMI=2mg/ml**. Pour les 2 souches staphylocoques (*S aureus* 6538, *S aureus* 1) sont inhibé jusqu'à 50% donc la **CMI=1mg/ml**.

III.3.3.3.L'extrait S27

L'activité inhibitrice de l'extrait a été observé sur quatre souches a gram négatif trois souches de staphylocoque et une souche de *Bacillus subtilis*, l'effet le plus important a été observé contre *S aureus* (Sa1) à 50% donc la **CMI=1.6mg/ml**, pour *S aureus* (5), *S aureus* (6) et *B.subtilis* (ATCC 6333) l'apparition de leurs croissance à 80% signifie que leurs **CMI=2mg/ml**.

L'extrait S20 est avéré le plus actif sur 10 souches avec des diamètres des zones d'inhibition varient entre 12 et 20mm et CMI=1mg/ml, suivie de l'extrait S27 qui a montré une activité antimicrobienne contre 11 souches avec un diamètre allant de 11 à 16 mm et une CMI=1.6mg/ml. L'extrait S12 vient en 3^{ème} position avec une activité contre 9 souches avec des diamètres variant entre 11 et 28mm et une CMI 2mg/ml. Moins des souches sensibles à l'extrait S40 (6bactéries) avec des diamètres de 11 à 38 mm, ce qui classe cet extrait en dernière position par rapport aux autres.

Nos résultats se rapprochent de ceux de (Kil *et al.*, 2009) qui ont rapporté une activité antimicrobienne et une efficacité d'inhibition de l'extrait méthanolique de *S.bicolor* testé sur plusieurs souches, notamment : *E. coli*, et *S. aureus*, *B subtilis.*, *C. Albicans*, *S. typhimurium* et *K .pneumoniae*.

La classification c'est dessus est en corrélation avec la classification de ces extraits en fonction de leur contenance en polyphénols et en flavonoïdes. De ce fait l'efficacité de nos extrais est probablement due à la présence des composés bioactifs tels que les polyphénols et les flavonoïdes et les anthocyanes (Seitz, 2004 et Wu *et al.*,2005).

Tous les extrais ont une activité contre *E. coli* ATCC 25922 et *P.aerogenosa* ATCC27853 avec des diamètres allant de 11 à 13mm. Plusieurs travaux ont démontré l'efficacité de l'extrait méthanolique de sorgho contre des souches de *S aureus*, *E coli*, et *C albicans*(Soetanet *al.*,2006: Kil *et al.*, 2009).

Tous les extrais ont une activité au minimum deux souches de *Staphylococcus aureus*. Et tous ont eu une activité contre *S.aureus* résistante à la méticilline avec des diamètres importants (14 à 20mm). Nos résultats sont similaires aux ceux de Gordana *et al.*, (2007) concernant le

haut niveau d'activité antimicrobienne exercé par l'extraits méthanolique de sorgho par rapport aux souches de *S.aureus*.

Tous les extraits à l'exception de l'extrait S40 ont une activité contre *Candida albicans*. Une étude est réalisée sur l'activité antimicrobienne de *Zeamays*(L.)par **Suketet al. (2014)** a montré l'efficacité de l'extrait méthanolique de cette plante sur la levure *C albicans*cette efficacité est due à la richesse de cet extrait en anthocyanes.

La zone d'inhibition la plus importante (38 mm) a été obtenue avec l'extrait S40 conte l'une des souches de *Staphylococcus sp* isolée du milieu hospitalier (SA1). La couleur violacé de l'extrait S40 (tableau 07) qui tourne en rouge n milieu acide (en en ajoutant de l'HCl ;données non démontrées dans ce manuscrit) suppose la présence des anthocyanes dans l'extrait, plus précisément les 3-deoxyanthocyanines caractéristiques de la plante de Sorgho. Les3-deoxyanthocyanines les plus communs sont : l'apigeninidin (jaune) et la luteolinidin(orange) (**Nip and Burns, 1971; Gous 1989; Awika et al 2004a, b; Wu and Prior 2005**).

Il a été remarqué que ces composants sont apparu lors de l'invasion par des champignons (**Lo et al 1999; Waniska and Rooney 2000; Seitz 2004**), sauf que nos extraits y compris S40 n'ont présenté aucune activité contre la soule moisissure testée à savoir *Aspergillus braziliensens*ATCC16404.

L'activité antimicrobienne des sorghos pigmentés S12, S20 et S27 peut être due à la présence des tannins. Le sorgho rouge contient de nombreux flavonoïdes et leur composition varie selon le génotype. (**Dykesa, L 2009**).

D'autres composés phytochimique de sorgho comme les saponines purifiées présentaient une activité antimicrobienne contre *S.aureus*(**Kil et al., 2009**). Lesacides phénoliques sont censés contribuer à la défense des plantes contre les parasites et les agents pathogènes. (**Awika JM et al., 2004**).

L'effet antimicrobien de ces phénols peut être expliqué par l'inhibition de la croissance bactérienne suite à leur adsorption sur les membranes cellulaires, l'interaction avec les enzymes et les effecteurs ou la privation en substrats et aussi des ions métalliques (**Dhaouadiet al., 2010**).

Cowan (1999) a déjà rapporté que les différentes classes de polyphénols essentiellement les tanins et les flavonoïdes peuvent augmenter la toxicité des extraits envers les microorganismes. Cette toxicité est fonction du site et du nombre de groupements

hydroxyles présents sur le composé phénolique. En outre, il est évident que l'augmentation de l'hydroxylation conduit à une augmentation de la toxicité.

L'efficacité optimale d'un extrait peut ne pas être due à un constituant actif majoritaire, mais plutôt à l'action combinée (synergie) de différents composés (**Essawi et Srouf, 2000**).

Conclusion

Il est connu depuis les époques antiques que quelques plantes et épices ont une activité antimicrobienne. Il y a eu un intérêt considérable de les utiliser pour éliminer les micro-organismes qui altèrent des aliments, qui causent des toxi-infections et des maladies nosocomiales et de plus qui ont développé une certaine résistance aux antibiotiques.

Dans le présent travail, nous avons tenté de contribuer à la valorisation de la graine de *sorghumbicolor* (L.) Moenchen Algérie en explorant ses activités antimicrobiennes contre des souches microbiennes pathogènes et de références (ATCC).

L'étude morphologique a montré la diversité des races de *Sorghum bicolor* (L.) Moenche en Ain Salah d'où les cinq races sont présentes avec des proportions différentes cependant la race Durra est la plus dominante (15 cultivars) suivi par la race Kafir (11 cultivars) tandis que la race intermédiaire durra-caudatum est la plus représentée que toutes les races intermédiaires (3 cultivars).

La majorité de nos cultivars ont une couleur blanche (19 cultivars), suivie par les sorghos rouges (10 cultivars).

La détermination des rendements en extraits méthanoliques bruts a montré une rentabilité importante concernant l'extrait S12 avec 3,919 % ; l'extrait S40 a aussi un rendement important 2,868% alors qu'elle devient plus faible en passant aux autres extraits l'extrait S20 (2,571%) et l'extrait 27 qui a le plus faible rendement (2,427%).

Les résultats montrent que tous les extraits sont riches en composés phénoliques.

Par ailleurs, le dosage des polyphénols a révélé que les extraits S20 et S27 sont les plus riches en polyphénols totaux 940,94 mg/ml et 589,59 mg/ml respectivement et en flavonoïdes ainsi 30,87 mg/ml et 23,22 mg/ml respectivement.

Les résultats de l'activité antimicrobienne ont révélé que les extraits S20 et S27 sont les plus actifs sur les souches testées notamment *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Candida albicans* de référence et les souches pathogènes à gram positif, *Staphylococcus aureus* 1, *Staphylococcus aureus* 6, *Staphylococcus aureus* M, *Bacillus subtilis*.

En outre, la détermination de la concentration minimale inhibitrice confirme l'efficacité de nos extraits contre les staphylocoques notamment des deux extraits S20 et S27. Le S20 peut inhiber la croissance bactérienne à une concentration de 1 mg/ml alors que l'extrait 27 est actif à partir de 1,6 mg/ml.

Par contre, *Abraxilliensis* a été révélée multirésistante à l'ensemble des extraits.

Conclusion

Cette activité a due Probablement à la richesse de ces extraits en polyphenols et en flavonoïdes, en générale l'inhibition augmente lorsque la concentration des extraits augmente.

De cet effet, et comme perspectives on propose de :

1. Déterminer les composants essentielles de nos extraits par HPLC.
2. Dosages des autres composés phénoliques de *Sorghum bicolor*.(L) Moench :les stilbènes et les tannins.
3. Tester plus de concentrations pour déterminer une CMI plus précise.

- Afify, A.E.M. El-Beltagi,H., Abd El-Salam,S.,Omran,A., (2012).** Biochemical changes in phenols, flavonoids, tannins, vitamin E, B-carotene and antioxidant activity during soaking of three white sorghum varieties. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 4,203-209.
- Andreasen, M.F., Christensen L.P., Meyer A.S., Hansen A., (2000).** Content of phenolic acids dehydrodimers in 17 rye (*SecaleCereale L*).and antioxidant activity of sorghum grains of varying genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 6813–6818.
- Andreasen, M.F., Landbo A.K., Christensen L.P., Hansen A., Meyer A.S.,(2001).** Antioxidant effects of phenolic rye (*Secalecereale L*. extracts, monomeric hydroxycinnamates, and ferulic acid dehydrodimers on human low-density lipoproteins. *J Agric Food Chem*; 49, 4090-4096.
- Arvouet-Grand, A. Vennat, B. Pourrat, A. Legret, P., (1994).**Standardisation d'un extrait de propolis et identification des principaux constituants.
- Awika , J.M., Rooney ,L.W., (2004).** Sorghum phytochemicals and their impact on human health.*Phytochemistry*,651199-1221.
- Awika, J.M., (2003).** Antioxidant properties of sorghum. Ph.D. Dissertation,Texas AM University, College Station, TX.
- Awika, J.M., McDonough, C.M., Rooney, L.W., (2005).** Decorticating sorghum to concentrate healthy phytochemicals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53, 6230–6234.
- Awika, J.M., Rooney, L.W., Waniska, R.D., (2004a).** Anthocyanins from black sorghum and their antioxidant properties.*Food Chemistry* 90,293–301.
- Awika, J.M., Rooney, L.W., Waniska, R.D.,(2004b).** Properties of 3-deoxyanthocyanins from sorghum. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52, 4388–4394.
- BahorumT.,(1997).**Substances Naturelles actives.La flore Mauricienne .une source d'approvisionnement potentielle *Food and Agricultural ResearchcouncilMauritias* pp 83-94.
- Bahorun, T. Gressier, B. Trotin, F. Brunet, C. Dine, T. Luyckx, M. Vasseur , J. Cazin, M. Cazin, JC. Pinkas, M., (1996).**Oxygen species scavenging activity of phenolic extracts from hawthorn fresh plant organs and pharmaceutical preparations.
- Balla,A., Blecker,C.,Oumarou,M., Paquot,M et Claude Deroanne., (1999).** Mise au point de pains composites à base de mélanges de farines de sorgho-blé et analyse texturale *Biotechnological. Agronomic.Socionomic.Environement*, 3, 69–77

- Balole, T.V. ,Legwaila, G.M., (2006).** Sorghum bicolor (L.)Moench In: Brink, M. & Belay, G. (Editeurs). PROTA 1: Cereals and pulses/Céréales et légumes secs. [CD-Rom]. PROTA, Wageningen, Pays Bas.
- Baribeau, H., Lemieux, S., (2005).** Quelques mots sur le blé. *Journal of Cereal Sci.*29: 103-107.
- Barro-Kondombo, C.P., Chantereau, J., Pulchérie, C., Sagnard, F. K., VomBrocke et Zongo,J.D., (2008).** *Cah. Agri.* 17 107 – 113.
- Beta, T., Rooney, L.W., Marovatsanga, L.T., Taylor, J.R.N., (1999).**Phenolic compounds and kernel characteristics of Zimbabwean sorghums.*J. Sci. Food Agric.* 79, 1003–1010.
- Boizot N et Charpentier J-P.,(2006).**Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre foustier. *Le cahier des Techniques de l'Inra.*pp79-82.
- Betts,G .D.,Linton,P.,Betteridge,R.J., (1999).**food spoilage teasts :effects of pH,NaCl and temperature on growth.foodcontrol, 10,27-33.
- Boyer, C.Ph.,(2013).** Lutte contre les bactéries multi-résistantes en ville : état des lieux et moyens mis en œuvre après une hospitalisation (thèse) université PARIS DIDEROT - PARIS
- Bruneton J. (1999).**, Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales, (3ème éd).Tec et Doc (Ed),Paris ,1120p.
- Casfem., (2006).** Comité de l'antibiogramme de la société française de la microbiologie.
- Castels, E. Penulas, J. Valentine, DW., (2005).** Effects of plant leachates from four boreal understory species on soil N mineralization, white spruce (*Piceaglauca*) germination and seedling growth.
- Cetkovic G ., Canadanovic-Brunet J ., Djilas S ., Savatovic S ., Mandic A ., Tumbas V., (2008).**Assessment of polyphenolic content and in vitro antiradical characteristics of apple pomace. *FoodChemistry*, **109**:340-347
- Chang,C.C., Yang,M.H., Wei-mei,H.M., Chern,J.C., (2002).** Estimation of Total Flavonoid Content in Propolis by Two Complementary Colorimetric Methods,10,178-182.
- Chantereau, J., Cruz , JF., Ratnadass , A .,Trouche, A ., Fliedel ,G., (2013).**le sorgho,Quae claire parmentier,presses agronomiques de Gembloux,Belgique.
- Chung K-t et Wei C-I.,(2001).** Are tannins a double edged sword in biology and health .?Trends in Food Science et Technology, **9**:168-175.
- Cowan, (1999).**,Plant products as antimicrobial agents. *Clinical microbiology reviews.*,12(4): 564-570.

- Dahir, M., Zhu, X., Guo, X.N., Aboshora, W., Peng, W., (2015).** Possibility to Utilize Sorghum Flour in a Modern Bread Making Industry. *Journal of Academia and Industrial Research Youth Education and Research Trust (JAIR)*, 4, 128-133.
- Dahlberg, J., Berenji, J., Sikora, V., Latković, S., (2011).** Assessing sorghum [*Sorghum bicolor* (L) Moench] germplasm for new traits: food, fuels & unique uses. Review Article. *Maydica* 56-1750
- D'Archivio, M., Filesi, C., Di Benedetto, R., Gargiulo, R. Giovannini, C. & Masella, R., (2007).** Polyphenols, dietary sources and bioavailability. *Ann. Ist. Super Sanità* 43(4) 348-361.
- Deu, M., Hamon, P., (1994)** *Agric. et Dével*, 3, 25 – 30.
- Dicko, M.H., 2002.** Comparison of content in phenolic compounds, polyphenol oxidase and peroxidase in grains of fifty sorghum varieties from Burkina Faso. *J. Agric. Food Chemistry*, 50, 3780-3788.
- Dicko, M. H., Gruppen, H., Traore, A.S., Voragen, A.G.J. and Van Berkel, W.J.H., (2006).** Sorghum grain as human food in Africa: Relevance of content of starch and amylase activities. *Afri. J. Biotechnol.* 5: 384 -396.
- Dicko, M.H., Gruppen, H., Traore, A.S., Van Berkel, W.J.H., and Voragen, A.G.J., (2005).** Evaluation of the effect of germination on phenolic compounds and antioxidant activities in sorghum varieties. *J. Agric. Food Chem.* 53:2581-2588.
- Djarmoun, A.E.K., (2009),** La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. *Nature et Technologie*, 01, 46-50.
- Djè, Y., Heuertz, M., Ater, M., Lefebvre, C., Vekemans, X (2007).** Évaluation de la diversité morphologique des variétés traditionnelles de sorgho du Nord-ouest du Maroc. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 39–46.
- De Luca, V. Brisson, N., (1995).** Creation of a metabolic sink for tryptophan alters the phenylpropanoid pathway and the susceptibility of potato to phytophthora infestans.
- Dlamini, N.R., Taylor, J.R.N., Rooney, L.W., (2007).** The effect of sorghum type and processing on the antioxidant properties of African sorghum-based foods. *Food Chemistry*. 105, 1412–1419.
- Doggett, H., (1988).** *Sorghum* (2nd ed.). Longman Scientific and Technical. London.
- Downey, M., (2006)** A genome-wide screen identifies the evolutionarily conserved KEOPS complex as a telomere regulator. *Cell* 124(6):1155-68

- Duodu, K.G., Taylor, J.R.N., Belton, P.S. and Hamaker, B.R., (2003).** Factors affecting sorghum protein digestibility. *J. Cereal Sci.* 38: 117 -131.
- Dušan, M. Vesna, K., (2006).** Investigation of metal–flavonoid chelates and the determination of flavonoids via metal–flavonoid complexing reactions. Institute of Physical Chemistry, Faculty of Pharmacy, University of Belgrade, Serbia.
- Dykes, L., (2008).** flavonoid composition and antioxidant activity of pigmented sorghums of varying genotypes. Université de Texas. Amérique.
- Dykes, L. and Rooney, L.W., (2006).** Sorghum and millet phenols and antioxidants. *J. Cereal Sci.* 44: 236-251.
- Dykes, L., Rooney, L. W., Waniska, R. D., Rooney, W. L., (2005).** Phenolic compounds
- Dykes, L., Seitz, L.M., Rooney, W.L., (2009)** Flavonoid composition of red sorghum genotypes. *Food Chemistry*, 116 , 313–317.
- Dykes, L. Hoffmann, L., Ostilio Portillo-Rodriguez, J.R., Rooney, L.W., Rooney, W., (2014).** Prediction of total phenols, condensed tannins, and 3-deoxyanthocyanidins in sorghum grain using near-infrared (NIR) spectroscopy. *Journal of Cereal Science*, 4, 1-4.
- Eggum, B. O., Monowart, L., Bach Knudsen, K. E., Munck, L., Axtell, J., (1983).** Nutritional Quality of Sorghum and Sorghum Foods from Sudan. *Journal of Cereal Science*, 1, 127-137.
- Ergene, A. Guler, P. Tan, S. Mirici, S. Hamzaoglu, E. Duran., (2006).** Antimicrobial and antifungal activity of *Heracleum sphondylium* African. *Journal Biotechnol.* 5, 1087-1089
- Essawi, T., M. Srour., (2000).** Screening of some Palestinian medicinal plants For antibacterial activity. *J. Ethnopharmacol.* 70, 343-349.
- Ezeaku, I.E., Mohammed, S.G. (2006).** Character association and path analysis in grain sorghum. *African Journal of Biotechnology* , 14, pp. 1337-1340 .
- FAO., (2007).** FAOSTAT ProdStat Database, Yearly Production. URL: <http://faostat.fao.org>
- FAO., (1995) :** Food and agriculture organisation 1995. le sorgho et le mil dans l'alimentation humaine. collection FAO, alimentation et nutrition , N°27, FAO, Rome, Italie, 198p.
- Favier, J.C., Ciquel, R., (2006)** Valeur nutritive et comportement des céréales au cours de leurs transformations, John Libbey Eurotext, *Paris, France*
- Functional Properties for Africa, Pretoria, South Africa, 9, 19-21.
- Friedrich, W., Galensa, R., (2002).** Identification of a new flavanolglucoside from barley (*Hordeum vulgare L.*) and malt *Eur Food Res Technol*, 214, 388–393.

- Glennie, C.W., (1983).** Polyphenol changes in sorghum during malting. *J Agric Food Chem*31:1295–1299.
- Gordana, SC. Jasna, MC. Sonja, MD. Tumbas, VT. Markov, SL. Dragoljub, DC., (2007).**Antioxidant potential, lipid peroxidation inhibition and antimicrobialactivitiesofSaturejamontanaL.Subsp. kitaibeliextracts.*International Journal of Molecular Sciences*, 8, 1013–1027.
- Hahn, D.H., Faubion, J.M. and Rooney, I.W., (1983).**Sorghum phenolic acids, their high-performance liquid-chromatography separation and their relation to fungal resistance.*Cereal Chem.* 60: 255-259.
- Hahn, D.H., Rooney, I.W. and Earp, C.F., (1984).** Tannins and phenols of sorghum.*Cereal Foods World.* 29: 776-779.
- Hakala, P. Lampi, Am. Ollilainen, V. Werner, U. Murkovic, M. Wahala, K.Karkola, S. Piironen, V., (2002).**Steryl phenolic acid ester in cereals and their milling fraction.*Agric food chemistry.*5300-5307p.
- Haraguchi H., Tanimoto K., Tamura Y., Mizutani K., Kinoshita T., (1998)** Mode of antibacterial action ofretrochalcones from *Glycyrrhizainflata*. *Phytochemistry.*48 : 125-129
- Harborne J. B., Williams C. A., (2000)** advances in flavonoid research since 1992. *Phytochemistry.*55 :481-504.
- Harlan, J.R.DeWet,J.M.J., (1972).**A simplified classification of cultivated Sorghum.crope science,12,175-178.
- Heatley, NG., (1944).**Method for the assay of penicillin.*Biochem. J.* 38: 61-65.
- Holtekjflen, A.K., Kinitz, C., Knutsen , S.H.,(2006).**Flavanol and bound phenolic acid contents in different barley varieties.*J.Agric. Food Chemistry*,54,2253,2006.
- Hilliard, J. J., Krause H. M., Bernstein J. I.,(1995)** A comparison of active site binding of 4-quinolones and novel flavone gyrase inhibitors to DNA gyrase. *Adv. Exp. Med. Biol.* 390 : 59-69
- Hugo, L.F., Rooney, L.W., Taylor J.R.N., (2003).**Fermented sorghum as a function ingredient in composite breads.*Cereal Chemistry.*80,495-499.
- ISO., (1996).**World Health Organization. Fermentation: Assessment and Research, WHO/FNO/FOS 96.1, WHO, Rome
- ICRISAT., (2006).** *Crops: Sorghum*, <http://test1.icrisat.org/sorghum/sorghum.htm>.

- Jimenez, L., (2000).** Cereal product with high antioxydant power.<http://www.freepatensonline.Com / Ep 1541026.html>.
- Jones, W .P.,Kinghorn A D. (2005).**Extraction of plant secondary metabolites.*In: Sarker S D, Latif Z and Gray A I. Natural products isolation. HumanaPress (Totowa), pp: 323-411.*
- Kadiri M., Ater M. (1997).** Diversité des variétés « locales » du sorgho grain (*Sorghum bicolor* Moench L.) au nord ouest du Maroc. *In* Rejidal M., Birouk H. (eds). *Ressources phytogénétiques et développement durable*. Actes Rabat, Maroc, p. 203–218.
- Kayodé, A. P. P., Ahouanse ,I. S., Kotchoni, S.O., Hounhouigan, J. D.,(2011).** Optimisation du procédé traditionnel de maltage du sorgho pour la production de boissons fermentées.*International Journal of Biological Chemical Sciences. 5(4): 1552-1561.*
- Khadambi ,T. N., (2007)** Effect of sorghum crude phenolic extracts on *Bacillus cereus*, *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes*.
- Kil,H.Y., SooSeong,E., Ghimire,B.K ., Chung,K., (2009).** Antioxidant and antimicrobial activities of crude sorghum extract.*Food chemistry, 115,1234-1239.*
- Kila, HY. Seonga, ES. Ghimireb, BK .Chungb, IM. Kwona, SS., (2009).** Antioxidant and antimicrobial activities of crude sorghum extract.
- Kim, K. H., Tsao R., Cui S. W., (2006).** Phenolic acid profile and antioxidant activities of wheat bran extracts and the effect hydrolysis conditions. *Food Chem.95: 466.*
- Kouamé, G.C.K.,Akanvou, L. ,Akanvou,R., Zoro,B.I.A., Kouakou,C.K., (2011).**diversitémorphologique du sorgho (*sorghum bicolor*l. moench) cultivé au nord de la côte d'ivoire .*rev. ivoir. sci. technol, 17,125 – 142.*
- Laughton M. J., Evans P.J., Moroney M. A., (1991)** Inhibition of mammalian 5-lipoxygenase and cyclo-oxygenase by flavonoids and phenolic dietary additives. *Biochem. Pharmacol. 42* : 1673-1681.
- Lo, S.C.C, De Verdier, K., and Nicholson, R.L., (1999).**Accumulation of 3-deoxyanthocyanidin phytoalexins and resistance to *Colletotrichumsublineolumin* sorghum.*Phys. Mol. Plant Path. 55:263-273.*
- Macheix, JJ. Fleuriet, A. Jay-Allemand, C., (2005).**Les composés phénoliques des végétaux : un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. Universitaires romandes, Lausanne, 4, 5p.

- Macheix, J.J. Fleuriet, A. Sarni-Manchado, P. (2006).** Les polyphénols en agroalimentaire : Composés phénoliques dans la plante, structure, biosynthèse, répartition et rôle. Paris.
- Malešev, D. Kunti, V., (2007).** Investigation of metal–flavonoid chelates and the determination of flavonoids via metal–flavonoid complexing reactions. University of Belgrade, Serbia.
- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Remesy, C., Jimenez, L., (2004) .** Polyphenols: Food sources and bioavailability . *Am. J. Clin. Nutr.* , 79 , 727 – 747 .
- Marceau. Gast. Jean, A., (2001).** Mils et sorgho en Ahhagar. Thèse de doctorat. université de Paris, France.
- Marfak, A., (2003).** Radiolyse Gamma des Flavonoïdes. Etude de Leur Réactivité avec Les Radicaux issus des Alcools : Formation de depsides. Thèse de doctorat.
- Martin, M. J. Marhuenda, E. Perez-Guerrero, C., (1994)** Antiulcer effect of naringin on gastric lesions induced by ethanol in rats. *Pharmacology* **49** (3) : 144-150.
- Mathur, R. (2013).** phytochemical and antimicrobial avaluation of plant extrats of *Enicostemma hyssopifolium*. *journal of pharmacognosy and phytochemistry*, 4, 30-36 .
- Mattila, P. Pihlava. J. M. Hellström, K., (2005).** Contents of phenolic acids, alkyl and alkyl sorcinols, and avenanthramides in commercial grain product. *J. Agric. Food chem.* 53: 8290-2005.
- Mazza G., Gao L., (2005).** Blue and purple grains. In: *Phenolic Compounds in Cereal Grains and Their Health Benefits* .pp 313-350.
- Merghem, R., (2009).** Eléments de biochimie végétale
- Miche, J.C., (1980).** utilisation potentielle du sorgho dans un système industriel intégré de mouture et de panification. In : *Amélioration des systèmes post-récolte en Afrique de l'ouest*, Agence de coopération culturelle et technique. Paris, France, 171-192.
- Middleton, E. J., (1998)** Effect of plant flavonoïdes on immune and inflammatory cell function. *Adv. Exp. Med. Biol.* **439**: 175-182.
- Milane, H., (2004).** La quercétine et ses derives: molécules à caractère peroxydant.
- Mottiar, Y. Vanholme, R. Boerjan, W. Ralph, John. Mansfield, SD., (2016).** Designer lignins: harnessing the plasticity of lignification. *Elsevier : science direct current opinion of biotechnology*, 37, 190-200.

- Namgoong, S. Y. Son, K. H. Chang, H. W. Kang, S. S., Kim H. P., (1994)** Effects of naturally occurring flavonoids on mutagen-induced lymphocyte proliferation and mixed lymphocyte culture. *Life Sci.* **54** (5) : 313-320.
- Nemera.Gelleta,A. Maryke ,T. Labuschagne. Chris, D., (2006).**Genetic diversity analysis in sorghum germplasm as estimated by AFLP,SSR and morpho-agronomical markers.biodiversity and conservation,15,3251-3265.
- Nip, W.K., Burns, E.E., (1969).**Pigment characterization in grain sorghum.I.Red varieties. *Cereal Chemistry* 46, 490–495.
- Ong K.C. ,Khoo H.E., (2000)** Effects of myricetin on glycemia and glycogen metabolism in diabetic rats.*Life Sci.* **67** : 1695-1705.
- Pelzer L. E., Guardia T., Juarez A. O., (1998)** Acute and chronic antiinflammatory effects of plant flavonoids. *Farmaco.***53** (6) : 421-424.
- Peterson C., (2000).** Catastrophic wind damage to North American forests and the potential impact of climate change. *Science of the Total Environment* 262: 287–311.
- Prosky, L., Asp, N.-G., Furda, I., De Vries, J. W., Schweizer,T.F., Harland, B. F., (1985).** Determination of total dietary fiber in foods and food products: Collaborative study. *J. AOAC* 68:677-679.
- Raj.Narayana ,M. Sripal Reddy, M., Chaluvadi, M.R.,Krishna, D.R., (2001).** bioflavonoids classification, pharmacological, biochemical effects and therapeutic potential. *Indian Journal of Pharmacology*, 33, 2-16.
- Rauha, J., Remes, S., Heinonen, M., Hopia, A., Kahkonen, M., Kujala, T., Pihlaja, K.Vuorela, H. and Vuorela, P., (2000).** Antimicrobial effects of Finnish plant extracts containing flavonoids and other phenolic .compounds. *International Journal of FoodMicrobiology* 56: 3–12
- Read M. A., (1995)** Flavonoids: naturally occurring anti-inflammatory agents *Vascular. Am.. J. Pathol.***147** (2) : 235-237.
- Ribéreau-Gayon , J. Peynaud, M. Ribéreau-Gayon, P. Sudraud, P., (1972).** *Sciences et techniques du vin. Tome 1, analyse et controle des vins.* Paris.
- Rooney, L.W. and Waniska, R.D., (2000).**Sorghum food and industrial utilization. In: *Sorghum: origin, history, technology, and production.* Wiley, New York, pp.689-729.
- Rooney, L.W.,(1978)** Sorghum and Pearl Millet lipids. *Cereal Chemistry* 55: 584-590.
- Rooney, L.W. (2005).**Ten myths about tannins in sorghums. *International Sorghum and Millets Newsletter* ,46, 3–5.

- Rooney, W.L., (2000).** Genetics and cytogenetics. In: Smith, C.W., Frederiksen, R.A., eds., *Sorghum: Origin, History, Technology, and Production*. John Wiley and Sons, Inc., New York, NY, pp.261–307.
- Sánchez de Medina F., Vera B., Gálvez J., (2002)** Effect of quercitrin on the early stages of hapten induced colonic inflammation in the rat. *Life Sci.* **70** (26): 3097-3108.
- Sarni-Manchado, P., Cheynier, V., (2006).** Les polyphénols en agroalimentaire. Ed. Tec & Doc, Paris, p. 2-10.
- Seidel, V., (2005).** Initial and Bulk Extraction. *In*: Sarker S D, Latif Z and Gray A I. Natural products isolation. Humana Press (Totowa), pp: 27-37.
- Seitz, L.M., (2004).** Effect of plant-type (purple vs. tan) and mold invasion on concentrations of 3-deoxyanthocyanidins in sorghum grain. AACC Annual Meeting Abstracts. URL: [/http://www.aaccnet.org/meetings/2004/abstracts/a04ma384.htm](http://www.aaccnet.org/meetings/2004/abstracts/a04ma384.htm)
- Serna-Saldivar, S. and Rooney, L.W., (1995)** Structure and chemistry of sorghum and millets. In ‘Sorghum and Millets: Chemistry and Technology’, (D.A.V. Dendy, ed), American Association of Cereal Chemists, St. Paul, USA pp 69-124.
- Serna-Saldivar, S. and Rooney, L.W., (1995).** Structure and chemistry of sorghum and millets. In D. A. V. Dendy (Ed.), Sorghum and Millets: Chemistry and Technology, pp.69-124.
- Singleton, D.L., Orthofer, R., Lamuela-Raventos, R.M., (1999).** Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent methods enzymol..
- Schober, M., Rebay, I., Perrimon, N., (2005).** Function of the ETS transcription factor Yan in border cell migration. *Development* **132(15)**: 3493--3504.
- Smith, E.C. Swain, T., (1962).** Flavonoid compounds in comparative biochemistry. In *Comparative Biochemistry*, eds. H.S. Mason and A.M. Florkin. Academic Press. New York, **3**, 764.
- Soetan, k., Oyekunle, M. A., Aiyelaagbe, O. O., Fafunso, M. A., (2006).** Evaluation of the antimicrobial activity of saponins extract of *Sorghum Bicolor* O., L. Moench. *African Journal of Biotechnology*, Vol. 5 (23), pp. 2405-2407.
- Société française de la microbiologie.recommandation (2014).**

Sokmen, A. Gulluce, M. AskinAkpulat, H. Daferera, D. Tepe, B. Polissiou, M. Sokmen M. Sahin, F., (2004). The in vitro antimicrobial and antioxidant activities of the essential oils and methanol extracts of endemic *Thymus spathulifolius*.

Solihah, M.A., Wan Rosli, W.I., Nurhanan, A.R., (2012). Phytochemicals screening and total phenolic content of Malaysian *Zea mays* hair extracts. *International Food Research Journal*, 19(4) 1533-1538 .

Soltani,L., (2014).Culture de nouvelles variétés de sorgho : Emergence de la filière en Algérie.société algérienne Agro consulting international (ACI), le maghreb

Souci SW,FachmannW,Kraut H ., (2000).food composition and nutrition tables.wissenschaftsverlagsGmbH,Stuttgart. arieties, J.Agriculture. *Food Chemistry*, 48:2837-2842.

Suganyadevi , P. Reshmi, S. K. Aravinthan, K.M., (2012). Antioxidant analysis of betacyanin extracted from *Basellaalba* fruit.*International Journal of PharmTech Research*, **Vol.4, pp 900-913.**

Suba A., Muralikrishna G., (2002). Evaluation of the antioxidant properties pf free and bound phenolic acids from native and malted finger mille.*J. Agric.Food Chem.*50:889.
<http://djazairiess.com/fr/lemaghreb/67315>

Tawaha, K., Alali,F.Q., Gharaibeh, M., Mohammad, M., El-Elimat, T., (2007).Antioxidant activity and total phenolic content of selected Jordanian plant species. *Food Chem*,104, 1372-1378.

Taylor, J.R.N., (2003). Overview: Importance of sorghum in Africa. In *Proceedings of AFRIPRO Workshop on the Proteins of Sorghum and Millets: Enhancing Nutritional and*

Taylor, J.R.N. and Dewar, J., (2001). Developments in sorghum food technologies.*Adv. Food Nutrit.Res.* 43:218 -264.

Taylor, J.R.N. and Robbins, D.J., (1993) Factors affecting beta-amylase activity in sorghum malt. *Journal of the Institute of Brewing*, **99**, 413-416.

Taylor, J.R.N., Schober, T.J. and Bean, S.R., (2006). Novel food and non-food uses for sorghum and millets. *J. CerealSci.* 44: 252 -271.

thérapeutiques. These de doctorat. Université Louis Pasteur Strasbourg I.155p

Thierry, F., (2006). Valorisation des polyphénols végétaux dans l'alimentation.

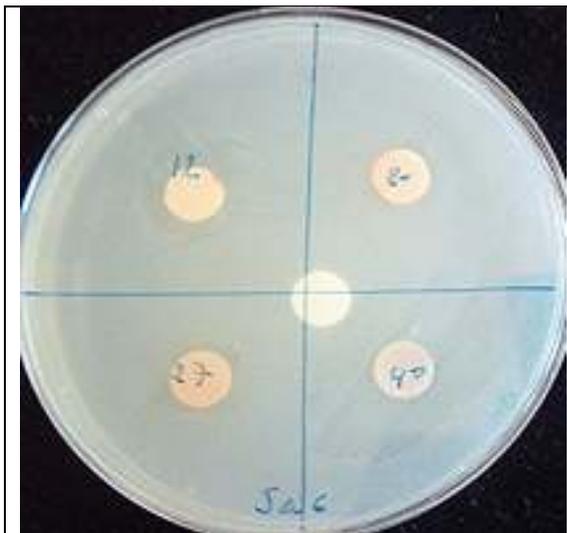
- Tian, E., (2009).** functions in autophagy-regulated processes and may encode a highly divergent Atg13 homolog in *C. elegans*. *Autophagy* 5(5):608-15
- Tomás-Barberán, F.A., Tomás-Lorente, F., Ferreres, F., García-Viguera, C., (1989).**Flavonoids as biochemical markers of the plant origin of bee pollen. *Journal Science Food Agriculture*, 47, 337-340.
- Tsuchiya H. et Iinuma M., (2000)** Reduction of membrane fluidity by antibacterial sophoraflavanone G isolated from *Sophora aexigua*. *Phytomedicine* 7:161–5.
- Ulanowska K., Majchrzyk A., Moskot M., Jak, bkiewicz-Banecka J.W., Âgrzyn, G.,(2007).** Assessment of antibacterial effects of flavonoids by estimation of generation times in liquid bacterial cultures. *Biologia*; 62: 132-135.
- Van der Bank., (2001)** biochemical systematics and ecology.469-483.
- Vombrocke K. Barro-Kondombo C. KambouD.,paléG.,Compaoré, D., (2008).**production de semens en milieu paysan au BurkinaFaso.Cirad,France,30p.
- Walker, S.J., (1988).** Major spoilage microorganisms in milk and dairy products.journal of the society of daity products,41,91-92.
- Waniska, R. D., Rooney, I. W. and Mcdonough C. M., (2004).**Sorghum utilization. In: Wrigley, C., Corke, H. and Walker,C. (Eds) Encyclopedia of Grain Science. Oxford: Elsevier.
- Waniska, R.D., Hugo, L.F., Rooney, L.W., (1992).**Practical methods to determine the presence of tannins in sorghum. *Journal of Applied Poultry Research* 1, 122–128
- Waniska, R.D., Poe, J.H., and Bandyopadhyay, R., (1989).** Effects of growth conditions on grain molding and phenols in sorghum caryopsis. *J. Cereal Sci.* 10:217-255.
- Weichselbaum ,E., Buttriss, J.L., (2010).**Polyphenols in the diet.*Nutr.Bull.*, 35,157-164.
- Wu ,C.S., Liao, H.T., (2005).**A new biodegradable blends prepared from polylactide and hyaluronic acid,polymer 46,10017-10026.
- Yang, L., (2009).**Chemopreventive potential of sorghum with different phenolic profiles. (M.Sc. thesis) Texas University;. pp. 1–117.
- Yeon, S.C., Hyon, G.J., Kun, H. S., (2001)** Effects of naturally occurring prenylated flavonoids on enzymes metabolizing arachidonic acid: Cyclooxygenases and lipoxygenases. *Biochem.Pharmacol.* 62 : 1185-1191.
- Zhou K., Yin J., Yu L.(2005).** Phenolic acid, tocopherol and carotenoid compositions, and antioxidant functions of hard red winter wheat bran. *J. Agri. Food Chem.* 53: 3916-3922.

Zielinski ,H., Kozłowska,H., (2000).Antioxidant activity and total phenolics in selected cereal grains and their different morphological fractions.Journal of Agricultur Food Chemistry,48(6),2008-16.

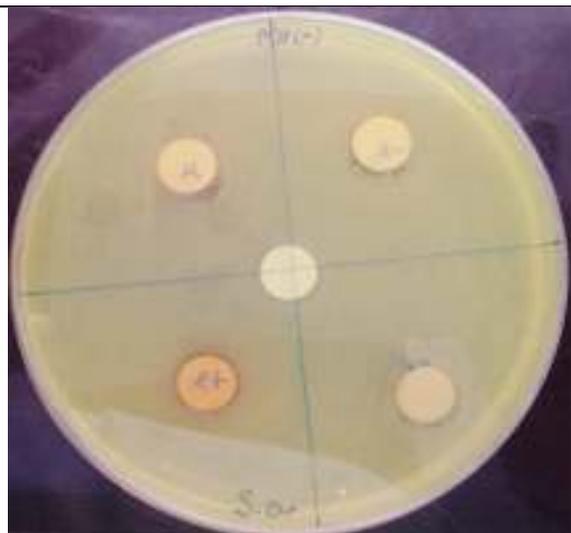
Activité des extraits

<p><i>Staphylococcus aureus</i> résistant à la méticiline clinique</p>	<p><i>Staphylococcus aureus</i> 1 clinique</p>
<p><i>Staphylococcus aureus</i> 3 clinique</p>	<p><i>Staphylococcus aureus</i> 3 clinique</p>
<p><i>Staphylococcus aureus</i> 4 clinique</p>	<p><i>Staphylococcus aureus</i> 5 clinique</p>

Activité des extraits



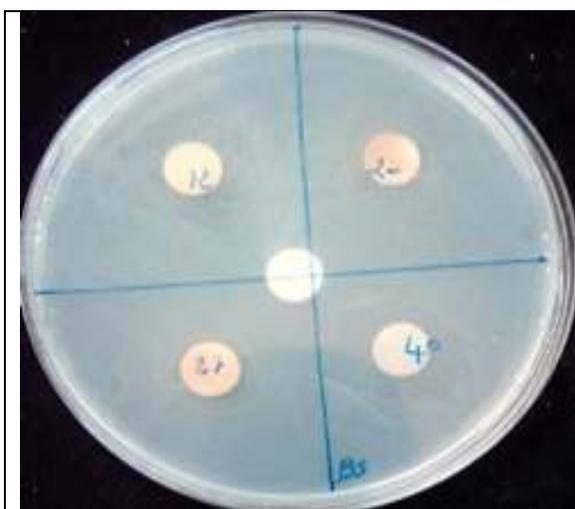
Staphylococcus aureus 6 clinique



Staphylococcus aureus ATCC 6538



Escherichia coli ATCC 25922



Bacillus subtilis ATCC 6333



Pseudomonas aeruginosa ATCC 27853

Activité des extraits



Candida albicans ATCC 24433