

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ AMAR TELIDJI DE LAGHOUAT
FACULTÉ DES SCIENCES
DÉPARTEMENT D'AGRONOMIE



Mémoire de Master

Domaine : Science de la nature et de la vie (SNV)

Filière : Agro-alimentaire et Contrôle de qualité

Spécialité : Science agro-alimentaire et contrôle de qualité

Présentée par : **HOUYOU Khadidja**

Thème :

**Extraction et dosage des Phénols totaux et flavonoïdes et
l'étude de l'activité anti bactérienne des fleurs d'hibiscus
(*Hibiscus sabdariffa* L.)**

Juin 2023

Devant le jury composé de :

M. SAIDAT Boubakeur	Pr.	Président
Mme. ALLALI Khadidja	MCB	Examinatrice
Mme. HAMINI Faiza	MAA	Encadrante

Année universitaire : 2022-2023

Remerciements

*Je remercie tout d'abord **Dieu** tout puissant de m'avoir donné la force et la connaissance pour accomplir cette action*

Dans le cadre de ce mémoire, je tiens à remercier, profondément, ma promotrice « M^{me} Hamini Faiza » pour la qualité d'encadrement, la rigueur scientifique et le soutien dont j'ai bénéficié tout au long de la période d'élaboration de ce mémoire.

Je voudrais exprimer mes sincères remerciements au personnel du laboratoire de recherche "Biologique, Chimique et Physique des Matériaux" et le « Laboratoire de recherche fondamentale » de l'université de Laghouat pour leur soutien et leur aide ont été essentiels dans la réalisation de mon mémoire en particulier M. Saidat Boubakeur.

Toute ma gratitude a « Mme Bennamara » du laboratoire vétérinaire de Laghouat qui m'a guidé durant mon travail, pour sa rigueur, sa gentillesse et pour m'avoir fait profiter de son expérience.

Je voudrais remercier aussi M. BENAMAR Ibrahim, Mlle Saidat Roua, Melle Dahkal Fatima Zohra, et ceux qui ont aidé à l'élaboration de ce travail.

Je remercie membre du jury Mme Allali Khadidja et M. Saidat Boubakeur qui vont contribuer à l'amélioration de cette étude

Mes sincères remerciements s'adressent aussi à l'ensemble des enseignants de département de d'agronomie de l'université de Laghouat pour la qualité de formation et d'encadrement dont j'ai bénéficié tout au long de mon année théorique.

A tous ceux et à toutes celles dont les acronymes n'apparaissent pas sur cette page, ils sont nombreux, qu'ils demeurent convaincus, que je ne les ai point oubliés et qu'ils soient assurés de ma profonde gratitude. Merci.

Dédicace

A mes chers parents, mes deux yeux à travers lesquels je peux voir l'univers, la vie, la joie, les deux éclaireurs de ma vie, mes deux idoles, ceux qui ont toujours été là à mes côtés, et qui m'ont soutenu dans toutes les situations, qui m'aiment inconditionnellement, ceux qui ont fait de moi qui je suis aujourd'hui et qui donnent un sens à ma vie.

Maman, Papa aucun mot ne peut exprimer ce que je ressens en parlant de vous deux, tant de fierté et de gratitude, je vous aime énormément, vous êtes ceux qui méritent le plus grand merci, grâce à vous je suis cette fille déterminante et ambitieuse, grâce à vous j'atteins toujours mes objectifs, je suis tellement chanceuse, j'espère que vous êtes toujours fiers de moi, comme je suis toujours fière de vous en tant que personnes et en tant que parents.

A mon âme sœur, Zineb avec qui j'ai partagé tant de choses et de souvenirs que j'apprécie énormément, j'ai tellement de la chance de t'avoir toujours à mes côtés.

A mes chers frères Mahmoud et Mohamed, je vous remercie énormément pour votre amour et votre soutien moral pour moi tout le temps. Je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès. Que Dieu, vous protège et vous garde.

À mes chères tantes, Nacira et Maria, que Dieu leur fasse miséricorde, votre mémoire restera vivante dans mon cœur, et je vous suis infiniment reconnaissante pour tout ce que vous avez apporté à ma vie.

A mon cher grand-père Mahmoud. Que Dieu vous accorde sa miséricorde, vous couvre de son amour et vous récompense pour tout le bien que vous avez semé dans ce monde. Votre souvenir continue de briller dans nos cœurs. Que votre âme repose en paix, et que votre amour continue de nous guider dans nos vies.

À ma chère grand-mère Mahalya, Il est difficile d'exprimer par des mots toute la gratitude et l'amour que je ressens en parlant de vous. Vous êtes un pilier de notre famille, une source infinie de sagesse et de bienveillance. Votre présence dans ma vie a été un véritable cadeau, et je suis honoré(e) d'avoir la chance de vous avoir comme grand-mère.

Vous êtes une figure inspirante, dotée d'une force et d'un courage exceptionnels. Votre bienveillance et votre amour inconditionnel ont guidé mes pas depuis mon enfance. Vos paroles pleines de sagesse et vos précieux conseils ont façonné ma vision du monde et m'ont aidé(e) à grandir en tant que personne.

Que Dieu vous comble de bénédictions, vous accorde une santé de fer et vous entoure de bonheur et de paix. Je chéris chaque instant passé avec vous, et je suis fière d'être liée à vous par le sang et par l'amour familial

À toutes les personnes qui m'aiment du fond du cœur, votre affection sincère et votre soutien inconditionnel ont illuminé mon chemin. Votre présence dans ma vie me rappelle que je suis entouré(e) de personnes qui me soutiennent et me chérissent. Je vous remercie du fond du cœur pour votre amour et votre bienveillance.

Cette dédicace est un témoignage de ma gratitude éternelle envers vous tous, qui avez joué un rôle si précieux dans ma vie. Que notre lien reste fort et que nos chemins continuent de se croiser avec amour et affection

Résumé

L'hibiscus est une fleur comestible présentant un grand potentiel industriel en raison de ces multiples propriétés bénéfiques. L'objectif de notre étude est la caractérisation et la valorisation de son contenu bioactif. Nous avons choisi de comparer deux échantillons l'un issue de l'Égypte et l'autre du Mali. L'extraction des composés phénoliques a été faite par un montage à reflux et le dosage par la méthode de Folin-ciocalteu. Les flavonoïdes ont été dosés par le trichlorure d'aluminium. Par la suite nous avons testé la sensibilité de deux bactéries aux deux extraits *Escherichia coli* (Gram-) et *Staphylococcus aureus* (Gram+). Nous avons relevé des taux importants de composés phénoliques pour les deux échantillons avec $329,8 \pm 0,006$ mg EAG/100g MS pour celui de l'Égypte et $222,8 \pm 0,014$ mg EAG/100gMS pour le Mali. Les teneurs en flavonoïdes étaient importantes également avec $145,6 \pm 0,02$ mg EQ/100g MS pour l'échantillon d'Égypte et $106,5 \pm 0,1$ mg EQ/100g MS pour celui du Mali. Les deux bactéries se sont révélées sensibles aux deux extraits. Nous concluons que la richesse de l'hibiscus en composés phénoliques et les caractéristiques de ceux-ci (antioxydant, anti-inflammatoire, antibactérien ..., etc.) pourraient être à la base de ses vertus thérapeutiques. L'hibiscus constitue une bonne source d'antioxydants naturels et pourraient être considérés comme un aliment fonctionnel ou ingrédient d'aliment fonctionnel.

Mots clés : *Hibiscus sabdariffa* L. ; Calices ; Composés phénoliques ; Flavonoïdes ; Activité antibactérienne.

Abstract

Hibiscus is an edible flower with great industrial potential due to its multiple beneficial properties. The objective of our study is the characterization and valorization of its bioactive content. We chose to compare two samples, one from Egypt and the other from Mali. The extraction of phenolic compounds was carried out using a reflux setup, and the quantification was done using the Folin-Ciocalteu method. Flavonoids were measured using aluminum trichloride. Subsequently, we tested the sensitivity of two bacteria, *Escherichia coli* (Gram-) and *Staphylococcus aureus* (Gram+), to the two extracts. We observed significant levels of phenolic compounds in both samples, with 329.8 ± 0.006 mg GAE/100g DW for the Egypt sample and 222.8 ± 0.014 mg GAE/100g DW for the Mali sample. The flavonoid contents were also significant, with 145.6 ± 0.02 mg QE/100g DW for the Egypt sample and

106.5 ± 0.1 mg QE/100g DW for the Mali sample. Both bacteria were found to be sensitive to the two extracts. We conclude that the richness of hibiscus in phenolic compounds and their characteristics (antioxydant, anti-inflammatory, antibacterial, etc.) could be the basis for its therapeutic virtues. Hibiscus is a good source of natural antioxidants and could be considered as a functional food or functional food ingredient.

Keywords: Hibiscus sabdariffa L.; Calyces; Phenolic compounds; Flavonoids; Antibacterial activity.

الملخص

الكرديه هو زهرة قابلة للأكل تتميز بإمكانات صناعية كبيرة بسبب خصائصها المتعددة المفيدة. هدفنا في هذه الدراسة هو توصيف وتسليط الضوء على محتواها الحيوي النشط. قررنا مقارنة عينتين، إحداهما من مصر والأخرى من مالي. تم استخلاص المركبات الفينولية باستخدام عملية الانصهار، وتم قياسها باستخدام طريقة فولين-سيوكالتو. تم قياس الفلافونويدات باستخدام كلوريد الألومنيوم الثلاثي. بعد ذلك، قمنا باختبار حساسية كل من البكتيريا إشريشيا كولاي (سالبة لصبغة غرام) والعنقوديات الذهبية (موجبة لصبغة غرام) تجاه العينتين. لاحظنا وجود تركيزات مهمة من المركبات الفينولية في العينتين بتراوح 0.006 ± 329.8 ملغ EAG/100 جم وزن جاف للعينة في حالة مصر، و 0.014 ± 222.8 ملغ EAG/100 جم وزن جاف للعينة في حالة مالي. وكانت تراكيز الفلافونويدات مهمة أيضاً، بتراوح 0.02 ± 145.6 ملغ EQ/100 جم وزن جاف للعينة في حالة مصر و 0.1 ± 106.5 ملغ EQ/100 جم وزن جاف للعينة في حالة مالي. كانت البكتيريا المستخدمة حساسة لكلا الاستخلاصتين. نستنتج أن ثراء الكرده بالمركبات الفينولية وخصائصها (مضادة للأكسدة، مضادة للالتهابات، مضادة للبكتيريا، إلخ) قد يكون أساس فوائدها العلاجية. الكرده تشكل مصدراً جيداً للمضادات الأكسدة الطبيعية ويمكن اعتبارها غذاءً وظيفياً أو مكوناً للأغذية الوظيفية.

كلمات مفتاحية: كرده سابداریفا الكباد; القرون; المركبات الفينولية; الفلافونويدات; النشاط المضاد للبكتيريا.

Liste des abréviations

%	Pourcentages
°C	Dégré Celsius
Abs	Absorbance
Dmso	Dimethylsulfoxyde
E-coli	Escherichia coli
EAG	Equivalent d'acide gallique par gramme de matière fraîche
EQ	Equivalent en quercétine.
FAO	Food and Agriculture Organisation
Fig	Figure
Tab	Tableau
Mm	Millimètre
g	gramme
ml	Millilitre
Ms	Matière sèche
Mb	Matière brute
µl	Microlitre
Cm	Centimètre
m	Mètre
Kg	Kilogramme

uv Ultraviolet

R% Rendement

L Litre

Liste des figures

Figure 01	Photo de l' <i>Hibiscus sabdariffa</i> L. (l'oseille de Guinée)	04
Figure 02	<i>Hibiscus sabdariffa</i> L. a. Présence naturalisée dans un environnement anthropisé. b. Détail du calice charnu dans le fruit et feuilles trilobées. c. Jeune fleur avec pétales roses. d. Détail de la fleur. e. Calice caduc dans le fruit. f. Fruit avec graine	06
Figure 03	Thé de l'Hibiscus	11
Figure 04	Différents produits alimentaires de l'Hibiscus. 1 : confiture d'hibiscus. 2 : Buche de fromage de chèvre à l'hibiscus.	13
Figure 05	Diagramme de fabrication de boisson de l'Hibiscus pour une entreprise sénégalienne.	14
Figure 06	Diagramme de fabrication de concentré de l'Hibiscus pour une entreprise sénégalienne.	15
Figure 07	Propriétés thérapeutiques et/ou pharmacologiques de l' <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.	18
Figure 08	Classification des composés phénoliques	23
Figure 09	Schéma de l'étude expérimentale	31
Figure 10	La poudre 'hibiscus	30
Figure 11	Extraction des échantillons avec le montage à reflux	31
Figure 12	Evaporation de l'échantillon avec l'évaporateur rotatif	32
Figure 13	Les étapes de l'extraction liquide/liquide	33
Figure 14	Protocole de préparation des extraits de l'Hibiscus	34
Figure 15	Dosage des phénols totaux	36
Figure 16	Dosage des flavonoïdes	37
Figure 17	Les dilutions de l'Hibiscus + le DMSO	38
Figure 18	L'appareille de McFarland	39
Figure 19	Préparation pour l'étude antibactérienne de l'Hibiscus	39
Figure 20	Histogramme représentant le taux d'extraction de deux échantillons de l'Hibiscus issue de pays différents	41
Figure 21	Courbe d'étalonnage de l'acide gallique	42
Figure 22	Histogramme représentant la teneur en composés phénoliques de deux échantillons de l'Hibiscus issue de pays différents	43
Figure 23	Courbe d'étalonnage de la Quercétine	47
Figure 24	Histogramme représentant la teneur en flavonoïdes de deux échantillons de l'Hibiscus issue de pays différents	47
Figure 25	L'activité antibactérienne de l'extrait de fleurs d'hibiscus sur la bactérie <i>Staphylococcus aureus</i>	51

Figure 26	L'activité antibactérienne de l'extrait de fleurs d'hibiscus sur la bactérie <i>Escherichia coli</i>	52
Figure 27	Photos des résultats des antibiogrammes	53
Figure 28	Graphique représentant les composés phénoliques par rapport à la fraction totale de l'échantillon de l'Egypte	58
Figure 29	Graphique représentant les composés phénoliques par rapport à la fraction totale de l'échantillon du Mali.	58
Figure 30	Graphique représentant les flavonoïdes par rapport aux composés phénoliques de l'échantillon de l'Egypte	59
Figure 31	Graphique représentant les composés phénoliques par rapport à la fraction totale de l'échantillon du Mali	60

Liste des tableaux

Tableau I.	Les différents noms de l'Hibiscus sabdariffa L. dans les différents pays	04
Tableau II.	La composition chimique de chaque partie de l'hibiscus	07
Tableau III.	Les composés nutritionnels de l'Hibiscus sabdariffa L. dans 100g de matière fraîche	08
Tableau IV.	Classifications des composés phénoliques selon Harborne et Simmonds (1964)	19
Tableau V.	Description du matériel végétal de l'étude	27
Tableau VI.	Description du matériel bactériologique	28
Tableau VII.	Classement des souches microbiennes selon leur sensibilité	40
Tableau VIII.	La teneur en composés phénoliques de l'Hibiscus de deux pays différents	43
Tableau IX.	Le dosage des composés phénoliques de l'hibiscus dans différents pays	44
Tableau X.	La teneur en flavonoïdes de l'hibiscus de l'étude	48
Tableau XI.	Teneur en Flavonoïdes totaux de l'hibiscus selon le pays et le solvant de l'extraction.	49
Tableau XII.	Diamètres moyens des zones d'inhibition en mm (moyenne \pm écart type) des extraits de calices de l'hibiscus (<i>Hibiscus sabdariffa L.</i>)	53
Tableau XIII.	Résultats de l'antibiogramme	54
Tableau XIV.	Les résultats de la zone d'inhibition et détermination de CMI et CMB avec deux différentes méthodes d'extraction	56
Tableau XV.	Représentation globale des résultats de l'étude	57

Table de matière

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Résumé

Introduction générale

Partie 1. Synthèse bibliographique

Chapitre I. Généralité sur l'hibiscus

I.1. Généralité	03
I.2. Production dans le monde	04
I.3. Description botanique	04
I.4. Exigences edapho-climatiques	07
I.5. Composition chimique	08

Chapitre II. Utilisation de l'hibiscus

II.1. En agro-alimentaire de l' <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.	09
II.1.1. Boisson de l'hibiscus	11
II.2. Utilisation thérapeutique	14
II.2.1 Hypertension artérielle	14
II.2.2 Hyperlipidémie	14
II.2.3 Effet Hépatoprotecteurs	15
II.2.4 Antimicrobienne	15
II.3 En Cosmétique	16
II.3.1 La peau	16
II.3.1.1 Anti-âge	16
II.3.1.2 Anti-inflammatoire	17
II.3.1.3 Hydratant	17
II.3.1.4 Éclaircissant	17
II.4 Les cheveux	17
II.4.1 Améliore la santé du cuir chevelu	17
II.4.2 Favorise la croissance	17
II.4.3 Conditionne et hydrate les cheveux	17
II.4.4 Réduit les pointes fourchues	18

Chapitre III. Composés phénoliques

III.1 Définition	19
III.2 Classification	19
III.2.1 Les acides phénoliques	20
III.2.2 Les flavonoïdes	21
III.2.3 Les tannins	21
III.3 Rôle dans les plantes	21
III.4 Propriétés chimiques	22
III.4.1 Activité Antioxydante	22
III.4.1 Activité anti-inflammatoire	22
III.4.2 Activité hépatoprotectrice	22
III.4.3 Activité antimicrobienne	22
III.5 Intérêt	23
III.5.1 Intérêt agroalimentaire	23
III.5.2 Intérêt thérapeutique	24
III.5.3 Intérêt cosmétique	24

Partie 2. Etude expérimentale

I. Methodologie de travail

I.1 Lieu de réalisation du travail	25
I.2 Schéma de l'étude expérimentale	26

II. Matériels et méthodes

II.1 Matériels utilisés	27
II.1.1 Matériel biologique	27
II.1.2 Liste des produits utilisés	28
II.1.3 Principaux outils et appareils utilisés	29
II.2 Méthodes	29
II.2.1 Échantillonnage	29
II.2.2 Préparation des échantillons	30
II.3 Extraction solide/liquide	30
II.4 Extraction liquide/liquide	33
II.4.1 Rendement de l'extraction	35
II.5 Dosage des phénols totaux	35
II.6 Dosage des flavonoïdes	36

II.7 Activité antimicrobienne	37
II.7.1 Classement des souches testées selon leurs sensibilités aux antibiotiques, antifongiques et aux extraits	39
III. Statistiques	40

III. Résultats et discussion

III.1 Taux d'extraction	41
III.2 Teneurs en phénols totaux	42
III.3 Teneurs en flavonoïdes	46
III.4 Activité antibactérienne	50
III.5 Analyse globale des résultats	57

Conclusion générale et perspectives

Références bibliographiques

Annexe

introduction

Plus de 500 espèces d'Hibiscus sont connues dans le monde. Ces plantes se rencontrent à la fois dans les régions tropicales et subtropicales. Elles possèdent des calices de couleur verte ou rouge. La majorité des variétés sont utilisées comme plantes ornementales à l'exception de l'espèce *sabdariffa* dont deux variétés ont été identifiées. Il s'agit d'*Hibiscus sabdariffa* variété *altissima* et d'*Hibiscus sabdariffa* variété *sabdariffa* L. (Kerharo, 1974 ; Morton, 1987)

L'*Hibiscus sabdariffa* var. *altissima* est une plante de grande taille, vigoureuse, peu ramifiée et très fibreuse (McClintock, 2004). Elle est d'ailleurs cultivée principalement pour ses fibres qui sont destinées à l'industrie du textile.

La variété *sabdariffa* L. est une plante buissonnante dont les calices sont comestibles. En fait, c'est l'une des fleurs comestibles les plus populaires dans le monde (Aziz, 2013 ; Zihad, 2019). La partie principalement utilisée de la plante d'hibiscus est le calice floral, qui possède des propriétés médicinales. Traditionnellement, l'hibiscus est consommé sous forme de boisson en infusant ses pétales, que l'on peut servir soit froide soit chaude (Mojica, 2012). De nos jours, l'hibiscus est également largement utilisé dans diverses industries, notamment dans l'industrie agroalimentaire, cosmétique et pharmaceutique (Pham, 2019).

L'utilisation de l'*Hibiscus sabdariffa* L. dans l'industrie agroalimentaire englobe une gamme des produits spécialisés tels que des infusions, des boissons, des sirops, des confitures et des bonbons, appréciés pour leur goût unique, leurs propriétés sensorielles attrayantes et leurs bénéfiques potentiels pour la santé (Mohammed, 2012).

Au cours des dernières années, la demande pour les aliments fonctionnels a connu une augmentation significative (Pires, 2019). Il serait donc pertinent d'intégrer davantage ce produit naturel dans le développement de produits agroalimentaire, en exploitant notamment l'attrait des fleurs comestibles et ses propriétés biologiques.

Les composés phénoliques sont des composés bioactifs qui ont suscité un vif intérêt ces dernières années. Ils représentent le groupe le plus important de métabolites secondaires présents dans les plantes et sont des molécules aromatiques. Leur étude a gagné en importance et de nombreux composés ont été identifiés pour leurs propriétés antioxydantes,

anti-inflammatoires, antibactérienne, antifongiques, antivirales et anticancéreuses (Macheix, 2005).

Les composés phénoliques et flavonoïdes présents dans les plantes leur confèrent un fort potentiel antioxydant et antimicrobien, bénéfique pour la préservation des aliments et la promotion de la santé.

L'objectif de notre étude est d'évaluer la teneur en composés phénoliques et flavonoïdes de l'*Hibiscus sabdariffa* L. Nous avons choisi de comparer l'hibiscus provenant de deux pays différents, l'Égypte et le Mali, et d'étudier leur activité antibactérienne contre deux types de bactéries, *Staphylococcus aureus* et *E. coli*.

Notre travail est organisé de manière classique en deux parties distinctes, La première partie est consacrée à une synthèse bibliographique et comprend trois chapitres. Le premier chapitre aborde les généralités sur l'hibiscus le deuxième chapitre explore les utilisations de l'hibiscus dans différents domaines tels que l'agro-alimentaire, la pharmacologie et la cosmétique. Le dernier chapitre se concentre sur les composés phénoliques, leurs propriétés chimiques et leur intérêt.

La deuxième partie est de nature expérimentale et décrit les démarches méthodologiques ainsi que les techniques utilisées. Elle englobe aussi les résultats obtenus et propose une discussion approfondie. Enfin la conclusion où nous résumons les principaux résultats et proposons des perspectives pour la suite de nos recherches, afin de clôturer notre manuscrit.

Partie 1. Synthèse bibliographique

Chapitre I. Généralité sur l'hibiscus

I.1 Généralité

L'Hibiscus sabdariffa L. pourrait avoir été domestiquée dans l'ouest du Soudan avant 4000 années elle a été Signalée pour la première fois en Europe en 1576. Il semble qu'elle ait été transportée d'Afrique vers le Nouveau Monde par les esclaves pour être utilisée comme plante alimentaire (**Babiker, 2012**).

Il existe plus de 500 espèces d'hibiscus réparties dans les régions tropicales et subtropicales du monde, avec des calices de couleur verte ou rouge. La plupart des variétés sont cultivées comme plantes ornementales, sauf pour la variété *sabdariffa*, qui se décline en deux sous-espèces : *Hibiscus sabdariffa var.altissima* et *Hibiscus sabdariffa var. sabdariffa L.* (**Mady, 2008 ; Kane, 2017**).

Hibiscus sabdariffa L. est un harbus, vigoure, peu ramifiée et très fibreuse, principalement cultivée pour ses fibres (figure 01). D'un autre côté, la variété *sabdariffa L.* est une plante dense qui possède des calices comestibles (**Mady, 2008**).



Figure 01 . Photo de l'*Hibiscus sabdariffa L.* (l'oseille de Guinée)
(Anonyme, 2022).

Hibiscus sabdariffa L. est connue dans différents pays sous divers noms communs, et dans le tableau suivant on a les différents nomes de l'hibiscus :

Tableau I. Les différents noms de *Hibiscus sabdariffa L.* dans les différents pays

Pays	Le nom
Sénégal	Basap, Bisap, Bondio, Fasap
Soudan	Kuges, Karkadeh
Egypte	Karkade, Roselle
Italie	Karakade
Bangladesh	Mesta
Inde	Patwa, Roselle rouge
Mexique	Roselle
Algeria	Karkadé

Source : (Ross, 2013).

I.2 Production dans le monde

Les principaux pays producteurs d'hibiscus dans le monde incluent le Soudan, la Chine, la Thaïlande, le Mexique et l'Égypte. Le Soudan est souvent considéré comme le plus grand producteur mondial grâce à ses conditions climatiques favorables, tandis que la Chine et la Thaïlande disposent de vastes zones de culture et se distinguent par la qualité de leur produit. Le Mexique est connu pour sa production d'hibiscus dans les régions du sud et du centre, tandis que l'Égypte se concentre sur l'exportation grâce à ses bonnes conditions climatiques. D'autres pays tels que le Nigéria, le Mali, le Burkina Faso, l'Inde, le Pakistan, le Sénégal, la Tanzanie et la Jamaïque sont également des producteurs d'hibiscus (Tridage,2021).

I.3 Description botanique

La plante est une herbe annuelle érigée de la famille des **Malvacea** avec une tige cylindrique rougeâtre, presque glabre. Les feuilles sont simples, ayant un pétiole, une lame à 3-5 lobes ou divisée, les lobes dentés ou obtusément dentelés. Les fleurs sont solitaires, axiales, presque sessiles, de 5 à 7 cm de diamètre, composées de segments d'épicalice de 8 à 12 distincts lancéolés à linéaires adnés à la base du calice, le calice est épais, rouge et charnu, en forme de coupe profondément divisé nettement nervurer, les pétales sont au

nombre de 5 jaunes deux fois plus longs que le calice. Les étamines sont nombreuses, les filaments sont unis en une colonne staminale, le style est unique ramifié en 5 branches près du sommet avec un stigmate en forme de tête, Le fruit est une capsule ovoïde, pointue, de 1 à 2 cm de long plus courte que le calice avec des poils denses, pointus et raides (**Da-Costa-Rocha, 2014**).



Figure 02 . *Hibiscus sabdariffa* L. a. Présence naturalisée dans un environnement anthropisé. b. Détail du calice charnu dans le fruit et feuilles trilobées. c. Jeune fleur avec pétales roses. d. Détail de la fleur. e. Calice caduc dans le fruit. f. Fruit avec graine (Coelho,2019).

I.4 Exigences edapho-climatiques

La plante a été trouvée pour prospérer dans un large éventail de conditions de sol. Elle peut bien se développer sur des sols relativement infertiles, mais pour des raisons économiques, un sol bien fourni en matières organiques et en nutriments essentiels. Elle peut tolérer des températures relativement élevées tout au long de la période de croissance et de fructification. La plante nécessite une pluviométrie optimale d'environ 45 à 50 cm répartie sur une période de croissance de 90 à 120 jours (**Ross, 2013**).

La plante prend environ 3 à 4 mois pour atteindre le stade de maturité commerciale avant que les fleurs ne soient récoltées. Les plantes de l'hibiscus conviennent aux climats tropicaux avec une pluviométrie bien répartie de 1500 à 2000 mm/an, du niveau de la mer jusqu'à environ 600 m d'altitude. La plante tolère un climat plus chaud et plus humide avec une température nocturne ne descendant pas en dessous de 21°C et est très sensible aux dommages causés par le gel et le brouillard. De plus, elle nécessite 13 heures de lumière solaire pendant les premiers mois de croissance pour éviter une floraison prématurée (**Ross, 2013 ; Brink, 2012**).

I.5 Composition chimique

La feuille, la fleur, les calices et les graines d'hibiscus contiennent différents composants tels que des protéines, des graisses, des glucides, des fibres, des cendres, du calcium, du phosphore, du fer, de la thiamine de la β -carotène, de la riboflavine, de la niacine et de l'acide ascorbique. La fleur produit une teinture jaune grâce à la daphniphylline, tandis que les calices contiennent des flavonoïdes tels que l'hibiscitrine, l'hibiscétine et la gossypétine. Les graines, quant à elles, sont riches en protéines, en graisses, en fibres alimentaires, ainsi qu'en minéraux tels que le phosphore, le magnésium, le calcium, la lysine et le tryptophane. L'huile de graines est particulièrement riche en acides gras insaturés, dont l'acide linoléique constitue une grande partie. Enfin, la plante contient également des polysaccharides, des stéroïdes, des tocophérols et d'autres composants tels que la quercétine, la citrusin C, le 2,3-dihydro-2-(4'-hydroxy-3'-méthoxyphényl) -3- β -D-glucopyranosylméthyl-7-hydroxy-5-benzof (**Da-Costa-Rocha, 2014**). Le tableau suivant présente la composition chimique de chaque partie de l'hibiscus :

Tableau II. La composition chimique de chaque partie de l'hibiscus

Partie de la plante	Composition chimique
Fleure	Glucides, arabinanes, mannose, saccharose, thiamine, xylose, mucilage, niacine, pectine, protéines, matières grasses, arabinogalactanes, rhamnogalacturanes, riboflavine, β -carotène, phytostérols, acide citrique, acide ascorbique, acides de fruits, acide maléique, acide malique, acide hibiscique, acide oxalique, acide tartrique, (+)-allooxycitronique acide-lactone, allohydroxycitrique acide, acide glycolique, acide utalonic, acide protocatéchuique, cyanidine-3-glucoside, cyanidine-3-sambubioside, cyanidine-3-xyloglucoside, delphinidine, delphinidine-3-glucoside, delphinidine-3-sambubioside, delphinidine-3-xyloglucoside, delphinine, gossypétine, gossypétine-3-glucoside, hibiscétine, hibiscine, hibiscitrine, sabdarétine, sabdaritrine, fibres (brutes), résine, fibres (alimentaires), minéraux et cendres.
Graines	Amidon, cholestérol, cellulose, glucides, campestérol, β -sitostérol, ergostérol, acide propionique, pentosanes, acide pelargique, acide palmitoléique, acide palmitique, acide oléique, acide myristique, méthanol, acide malvalique, acide linoléique, acide sterculique, acide caprylique, acide formique, acide stéarique, acide cis-12,13-époxy-cis-9-octadécénoïque, alcool isopropylique, alcool isoamylique, éthanol, 3-méthyl-1-butanol, fibres et minéraux.
Feuilles	α -Terpinyl acétate, anisaldéhyde, β -carotène, β -sitostérol, β -D-galactoside, β -sitostéryle benzoate, niacine, matières grasses, alcool isoamylique, alcool isopropylique, méthanol, 3-méthyl-1-butanol, alcool benzylique, éthanol, acide malique, fibres et cendres.
Fruits	α -Terpinyl acétate, pectine, anisaldéhyde, acide ascorbique, oxalate de calcium, acide caprylique, acide citrique, acide acétique, éthanol, acide formique, acide pelargonique, acide propionique, alcool isopropylique, méthanol, alcool benzylique, 3-méthyl-1-butanol, benzaldéhyde et minéraux.
Racines	Acide tartrique et saponine

Source : (Mahadevan, 2008).

Le tableau suivant résume les composés nutritionnels de chaque partie anatomique de la plante :

Tableau III. Les composés nutritionnelles de l'*Hibiscus sabdariffa* L. dans 100g de matière fraîche

Composés nutritionnelles	Calices (Mg)	Feuilles fraîches (%)	Graines (%)
Humidité	9,2	26,2	12,9
Protéine	1,145	1,7-3,2	3,29
Graisse	2,61	1,1	\
Carbohydrates	\	10	\
L'huile grasse	\	\	12,9
Cellulose	\	\	12,9
Pentoses	\	\	15,8
Amidon	\	\	11,1
Fibre	12	\	\
Calcium	1,263	0,18	\
Phosphore	273,2	0,04	\
Fer	8,98	0,0054	\
Thiamine	0,117	\	\
Riboflavine	0,277	\	\
Niacine	3,765	\	\
Ascorbique acide	6,7	\	\
Malique acide	\	1,25	\

Source : (Izquierdo-Vega, 2020).

Chapitre II. Utilisation de l'hibiscus

II.1 Utilisation agro-alimentaire de l'*Hibiscus sabdariffa* L.

Les fleurs de l'hibiscus (fraîches ou séchées), sont couramment utilisées pour préparer une variété de boissons à base de plantes, qu'elles soient chaudes ou froides, ainsi que des boissons fermentées, du vin, des confitures, des confiseries à base de gelée, des glaces, des chocolats, des arômes, des puddings et des gâteaux (Mohamed, 2012).

En Egypte, les gros calices charnus sont utilisés pour préparer le "thé de cacodie" (figure 03), ainsi que des boissons fermentées. Au Soudan et au Nigéria, les calices sont bouillis avec du sucre pour produire une boisson populaire appelée "Karkade" ou "Zobade". Au Mexique, cette boisson est appelée Jamaïque ou "agua de Jamaica" ou "thé de Jamaïque". Dans les Antilles, les calices peuvent également être utilisés comme ingrédient pour la fabrication du rom (Da-Costa-Rocha, 2014).



Figure 03. Thé de l'hibiscus (gandhara,2 020).

Les graines sont quant à elles consommées rôties ou moulues dans les repas, tandis que les feuilles et les pousses sont souvent consommées crues ou cuites, en tant que légume ou condiment à la saveur aigre (Da-Costa-Rocha,2014).

Au Soudan les feuilles sont par exemple cuites avec des oignons et des arachides, tandis qu'en Malaisie, les feuilles cuites sont consommées comme des légumes. En Afrique, les graines sont souvent grillées ou réduites en poudre pour être utilisées dans les soupes et

les sauces huileuses, et en Chine et en Afrique de l'Ouest, les graines sont également utilisées pour produire de l'huile. Enfin, les graines peuvent également servir de substitut au café (Mohamed, 2012).

Les feuilles de la plante Roselle peuvent être consommées comme un légume vert, préparées de la même manière que les épinards. Cependant, les graines de Roselle sont très bénéfiques d'un point de vue nutritionnel car elles contiennent beaucoup de protéines, de calories, de fibres et de micronutriments précieux. En Chine, les graines sont utilisées pour leur huile. Les jeunes feuilles et les tiges peuvent être mangées crues ou cuites en salade, ou utilisées comme assaisonnement dans les currys. Dans divers pays, on utilise également des produits alimentaires, des aliments fermentés et des boissons fabriqués à partir d'hibiscus (Shruthi, 2016).

Les calices frais, qui constituent la partie extérieure de la fleur, peuvent être consommés crus en salade ou cuits et utilisés comme assaisonnement dans les gâteaux. Ils sont également utilisés dans la préparation de gelées, de soupes, de sauces, de cornichons et de puddings, entre autres. Les calices sont riches en acide citrique et en pectine, ce qui en fait des ingrédients utiles pour la préparation de confitures et de gelées. Les graines contiennent quant à elles entre 17 et 20% d'huile fixe comestible, ayant des propriétés similaires à l'huile de graines de coton. Enfin, l'extrait de couleur des calices secs est riche en anthocyanines, acides aminés, composés organiques, sels minéraux et en vitamine C. Cet extrait peut être utilisé comme colorant naturel pour remplacer les agents de coloration synthétiques rouges dans la préparation de boissons gazeuses, de confitures, de jus, de gelées, de sauces, de chutneys, de vins, de conserves et d'autres aliments acides (Da-Costa-Rocha, 2014).

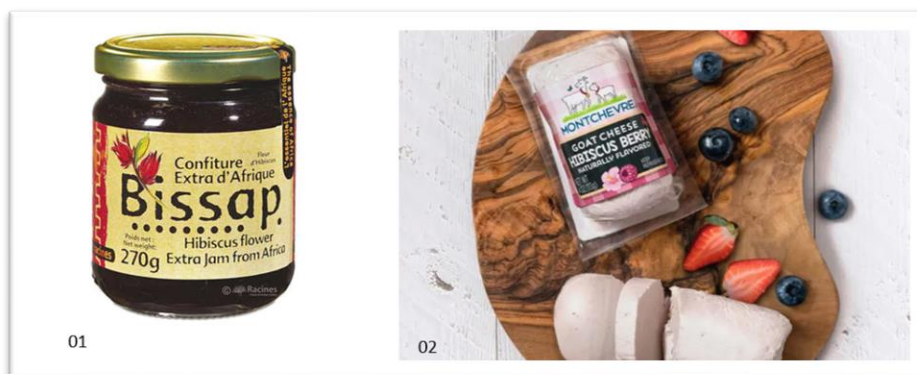


Figure 04. Différents produits alimentaires de l'hibiscus. 1 : confiture d'hibiscus (anonyme 2, 2017). 2 : Buche de fromage de chèvre à l'hibiscus (anonyme 3, 2018).

II.1.1 Boisson de l'hibiscus

Des groupements féminins produisent artisanalement des boissons à partir de la transformation des calices d'hibiscus (figure 05), qui sont vendues sur les marchés locaux et aux hôtels des zones touristiques. Les productrices utilisent généralement un ratio de 1 kg de calices secs pour 35 kg d'eau potable, qu'elles laissent macérer pendant 3 heures avant de filtrer et sucrer le liquide à raison de 150 g de sucre par litre de filtrat. D'autres ingrédients, tels que de l'eau de fleurs d'oranger ou des morceaux de fruits, peuvent également être ajoutés à la boisson. Certaines productrices pasteurisent la boisson à des températures proches de 100 °C pendant 10 minutes, puis la conditionnent à chaud dans des bouteilles en verre. Pour fabriquer du concentré de bissap (figure 06), le ratio est de 1 kg de calices secs pour 5 à 10 kg d'eau potable. Une fois que le sucre est ajouté, les productrices évaporent le liquide par ébullition à pression atmosphérique jusqu'à obtenir une solution plus ou moins concentrée. Faute de moyens techniques adéquats, tel qu'un réfractomètre, les femmes utilisent leur savoir-faire et leur expérience pour déterminer la fin du chauffage (CISSE, 2009).

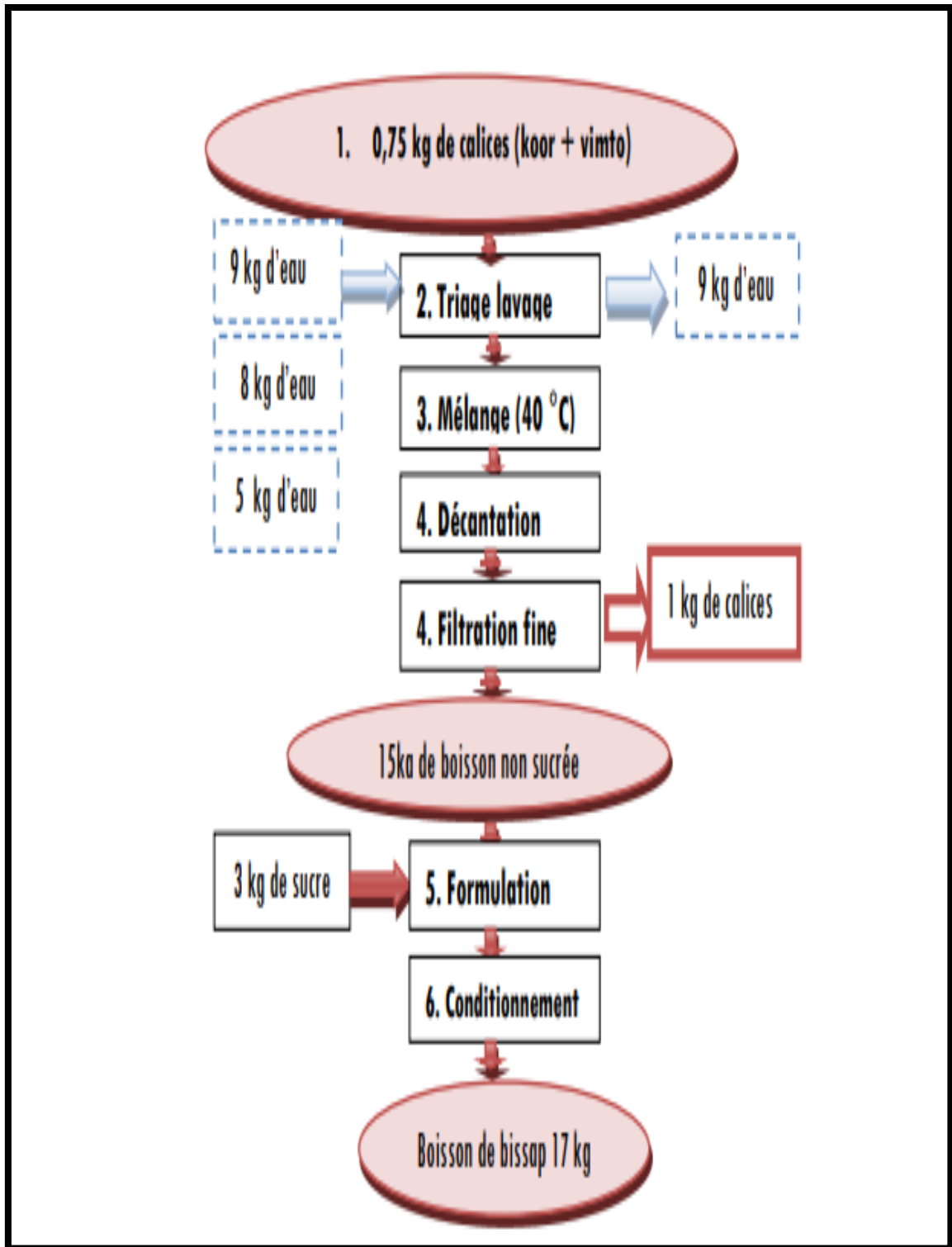


Figure 05. Diagramme de fabrication de boisson de l'hibiscus pour une entreprise sénégalienne (Ndaiye, 2015).

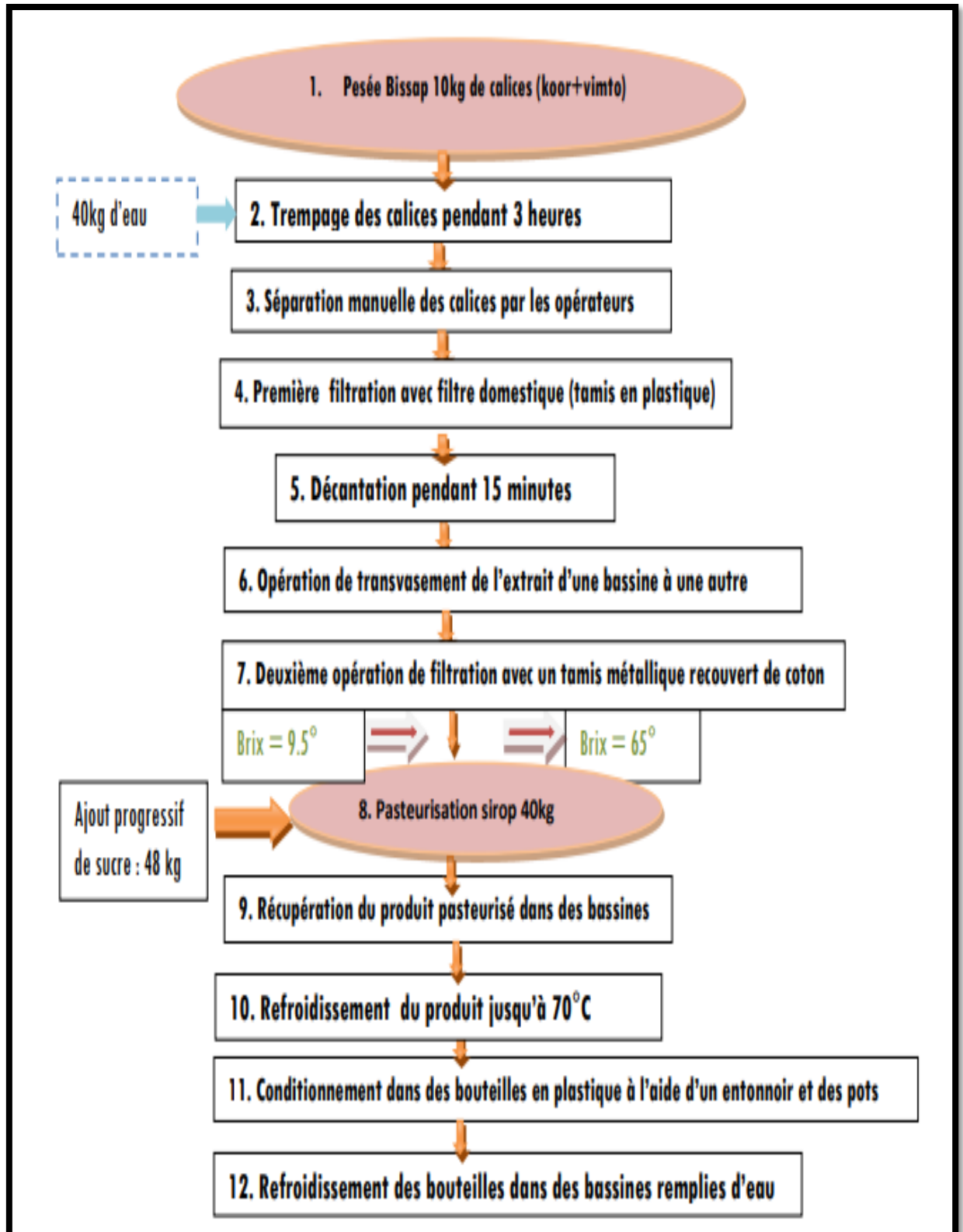


Figure 06. Diagramme de fabrication de concentré de l'hibiscus pour une entreprise sénégalienne (Ndaiye,2015).

II.2 Utilisation thérapeutique

Les infusions de feuilles ou de calices de *Hibiscus sabdariffa* sont traditionnellement utilisées pour leurs effets diurétiques, cholérétiques, fébrifuges et hypotenseurs, ainsi que pour réduire la viscosité du sang et stimuler la motilité intestinale. Au Sénégal, elle est également recommandée comme hypotensive. En Égypte, les préparations à base de calices ont été employées pour traiter les maladies cardiaques et nerveuses, ainsi que pour stimuler la diurèse, c'est-à-dire l'émission d'urine. En Égypte et au Soudan, une infusion de calices de Karkadé est également utilisée pour aider à abaisser la température corporelle. Dans la région Nord-Africaine, on utilise des préparations à base de calices pour soigner les maux de gorge, la toux et également les problèmes génitaux. Par ailleurs, la pulpe de feuilles émoulliente est employée pour traiter les plaies externes ainsi que les abcès. Au Brésil, les racines sont réputées avoir des propriétés stomachiques et émoullientes. En médecine traditionnelle chinoise, elle est utilisée pour traiter les troubles hépatiques et l'hypertension artérielle, tandis qu'en Iran, le thé d'hibiscus aigre est rapporté comme un traitement traditionnel de l'hypertension artérielle. Au Nigeria, la décoction des graines est traditionnellement utilisée pour améliorer ou induire la lactation dans les cas de faible production de lait, de mauvaise descente de lait et de mortalité maternelle (**Da-Costa-Rocha,2014**).

II.2.1 Hypertension artérielle

Des études ont montré que l'hibiscus peut aider à réduire la pression artérielle chez les personnes souffrant d'hypertension. Une méta- assai de sept essais cliniques randomisés a révélé que la consommation d'hibiscus a entraîné une réduction significative de la pression artérielle systolique et diastolique chez les cases atteintes d'hypertension (**Mozaffari-Khosravi,2009**).

II.2.3 Hyperlipidémie

L'hibiscus peut également aider à réduire les taux de lipides sanguins élevés, ce qui peut réduire le risque de maladies cardiovasculaires. Une étude clinique randomisée a montré que la consommation de thé d'hibiscus pendant un mois avait réduit significativement les niveaux de cholestérol agrégat, de triglycérides et de LDL- cholestérol chez les cases atteints d'hyperlipidémie (**Kafeshani,2017**).

II.2.4 Effets hépato protecteurs

L'hibiscus peut également avoir des effets hépato protecteurs. Des études ont montré que l'hibiscus avait un effet protecteur contre les dommages hépatiques induits par diverses substances toxiques, telles que le tétrachlorure de carbone (**Krishnakumar, 2008**).

II.2.5 Antimicrobienne

L'Hibiscus sabdariffa L. présente des propriétés antimicrobiennes efficaces contre plusieurs bactéries, y compris des souches résistantes aux antibiotiques. Une étude a démontré que l'extrait aqueux d'*Hibiscus sabdariffa L.* était capable d'inhiber la croissance de souches de *Staphylococcus aureus* résistantes à la méthicilline (SARM). De plus, cette plante peut également empêcher la croissance d'*Escherichia coli* qui est une bactérie causant des infections gastro-intestinales (**Tabataba,2015**).

La figure suivante présente un résumé pour l'utilisation thérapeutique de l'*Hibiscus sabdariffa L.* :

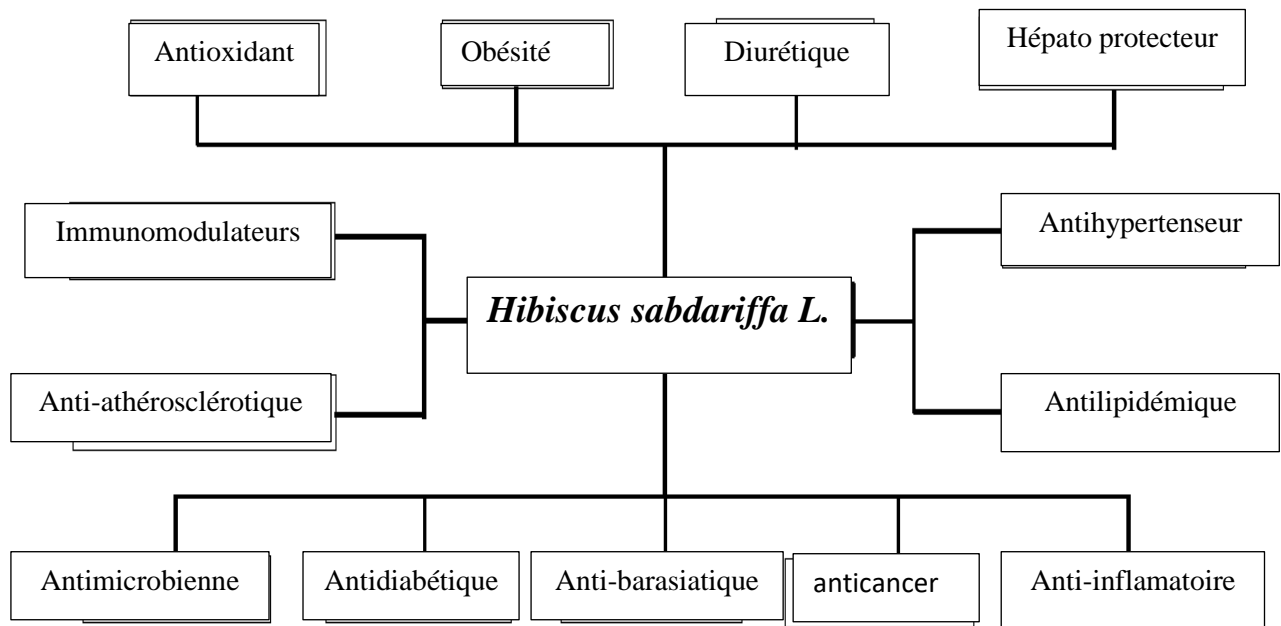


Figure 07. Propriétés thérapeutiques et/ou pharmacologiques de *Hibiscus sabdariffa L.* (Izquierdo-Vega,2020).

II.3 En cosmétique

L'hibiscus est utilisé dans les produits cosmétiques pour ses propriétés bénéfiques pour la peau et les cheveux. Voici quelques utilisations courantes de cette plante en cosmétique.

II.3.1 La peau

L'hibiscus est un ingrédient populaire dans les produits de soin de la peau en raison de ses propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et hydratantes, qui peuvent aider à améliorer la texture, la luminosité et l'apparence générale de la peau (Chen, 2013).

II.3.1.1 Anti-âge

L'hibiscus contient des acides alpha-hydroxy (AHA) naturels, tels que l'acide citrique et l'acide malique, qui aident à exfolier la peau en douceur, à stimuler le renouvellement cellulaire et à améliorer la texture de la peau. De plus, les propriétés antioxydantes de l'hibiscus sabdariffa aident à protéger la peau contre les dommages des radicaux libres, qui peuvent causer des rides et des signes de vieillissement prématuré (Chen, 2013).

II.3.1.2 Anti-inflammatoire

Les propriétés anti-inflammatoires de l'hibiscus peuvent aider à calmer et à réduire les rougeurs et l'irritation de la peau, en particulier pour les peaux sensibles ou sujettes à l'acné (**Hamrita,2022**).

II.3.1.3 Hydratant

L'hibiscus est riche en mucilage, une substance qui aide à retenir l'humidité de la peau. En utilisant des produits contenant de *l'Hibiscus sabdariffa*, vous pouvez aider à garder votre peau hydratée, douce et souple (**ushuaia, 2021**).

II.3.1.4 Éclaircissant

L'hibiscus contient des acides de fruits naturels qui aident à éclaircir et à uniformiser le teint de la peau. En utilisant des produits contenant de l'hibiscus, vous pouvez aider à réduire l'apparence des taches brunes, des cicatrices d'acné et de l'hyperpigmentation (**DIONGOMA, 2020**).

II.4. Les cheveux

II.4.1 Améliore la santé du cuir chevelu

L'hibiscus contient des acides alpha-hydroxy (AHA) qui peuvent exfolier le cuir chevelu, éliminer les cellules mortes de la peau et réduire les pellicules. Les propriétés antifongiques de l'hibiscus peuvent également aider à lutter contre les infections du cuir chevelu (**Jonemann,2023**).

II.4.2 Favorise la croissance

L'hibiscus est riche en vitamine C, qui favorise la production de collagène. Le collagène est essentiel pour maintenir la santé des follicules pileux et stimuler la croissance des cheveux. De plus, les propriétés antioxydantes de l'hibiscus peuvent aider à prévenir les dommages causés par les radicaux libres, ce qui peut contribuer à la perte de cheveux (**Kanedi,2022**).

II.4.3 Conditionne et hydrate les cheveux

L'hibiscus est également un excellent conditionneur naturel pour les cheveux. Il contient des mucilages, qui sont des substances visqueuses qui peuvent adoucir et hydrater

les cheveux. Les acides aminés présents dans l'hibiscus peuvent également renforcer les cheveux et les rendre plus résistants aux dommages (Özmen,2010).

II.4.4 Réduit les pointes fourchues

Les propriétés conditionnantes de l'hibiscus peuvent aider à réduire les pointes fourchues en hydratant les cheveux et en les rendant plus résistants aux dommages. De plus, l'hibiscus contient des acides gras essentiels qui nourrissent les cheveux et les rendent plus forts (Crepus,2023).

Chapitre III. Composés phénoliques

III.1 Définition

Les polyphénols sont une classe importante de produits chimiques que l'on trouve dans les tissus superficiels des plantes. Ce sont des composés photochimiques polys hydroxylés comprenant au moins un noyau aromatique à six carbones. Ces molécules constituent la base des principes actifs présents dans les plantes et jouent un rôle essentiel dans la vie des plantes.

III.2 Classification

Il existe une grande variété de composés phénoliques, y compris les acides phénoliques, les flavonoïdes et les tanins, entre autres. Chacun de ces groupes est composé de molécules spécifiques qui diffèrent par leur structure chimique et leurs propriétés biologiques (Lyu,2020).

Leur classification peut se faire selon différents critères. Harborne et Simmonds (1964) ont choisi de les regrouper en fonction du nombre de carbones présents dans leur structure moléculaire (tableau IV) (Vermerris,2006).

Tableau IV. Classifications des composés phénoliques selon Harborne et Simmonds (1964) in (Vermerris, 2006).

Structure	Class
C ₆	simple phenolics
C ₆ - C ₁	phenolic acids and related compounds
C ₆ - C ₂	acetophenones and phenylacetic acids
C ₆ - C ₃	cinnamic acids, cinnamyl aldehydes, cinnamyl alcohols
C ₆ - C ₃	coumarins, isocoumarins, and chromones
C ₁₅	chalcones, aurones, dihydrochalcones
C ₁₅	flavans
C ₁₅	flavones
C ₁₅	flavanones
C ₁₅	flavanonols
C ₁₅	anthocyanidins
C ₁₅	anthocyanins
C ₃₀	biflavonyls
C ₆ -C ₁ -C ₆ , C ₆ -C ₂ -C ₆	benzophenones, xanthones, stilbenes
C ₆ , C ₁₀ , C ₁₄	quinones
C ₁₈	betacyanins
Lignans, neolignans	dimers or oligomers
Lignin	polymers
Tannins	oligomers or polymers
Phlobaphenes	polymers

Les composés phénoliques peuvent être essentiellement classés en plusieurs catégories, comme indiqué dans la figure suivante :

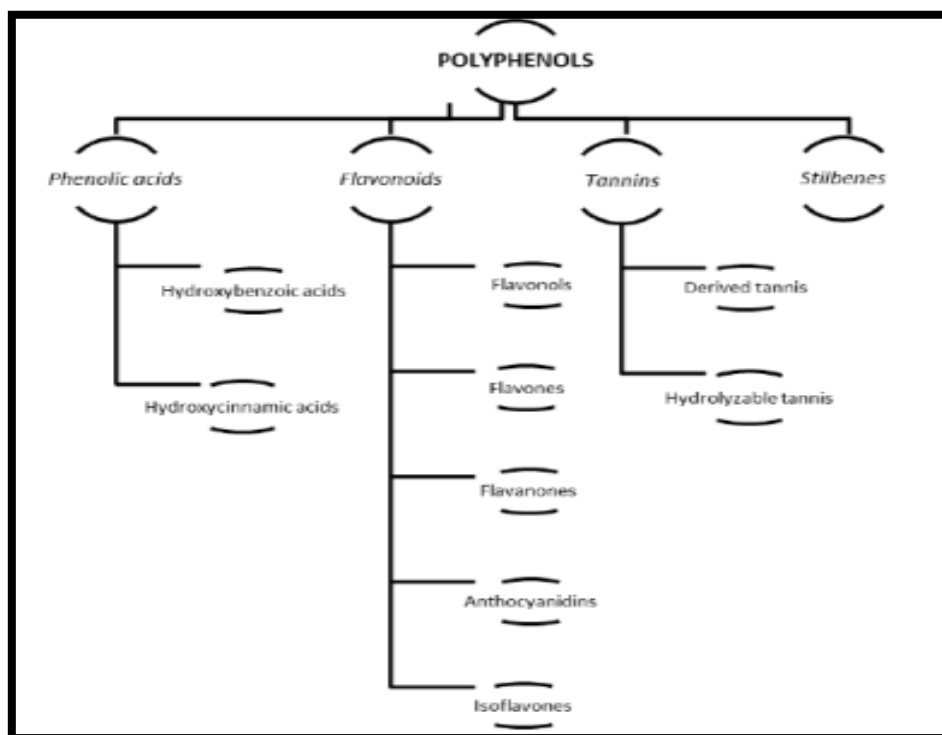


Figure 08. Classification des composés phénoliques (Selamoglu, 2017).

III.2.1 Les acides phénoliques

Les composés phénoliques peuvent être divisés en plusieurs classes, dont les acides phénoliques qui sont eux-mêmes constitués de deux sous-groupes distincts : les acides hydroxybenzoïques et les acides hydroxycinnamiques (Hapsari, 2021).

Les acides hydroxybenzoïques, tels que l'acide gallique, l'acide p-hydroxybenzoïque, l'acide protocatéchuïque, l'acide vanillique et l'acide syringique, possèdent une structure C6-C1 commune (Selamoglu, 2017).

Les acides hydroxycinnamiques, quant à eux, sont des composés aromatiques ayant une chaîne latérale de trois carbones (C6-C3) représentent une classe importante de composés phénoliques, parmi lesquels on retrouve principalement l'acide caféique, l'acide férulique, l'acide p-coumarique et l'acide sinapique (Selamoglu, 2017).

Les principales sources d'acides phénoliques incluent des fruits tels que la myrtille, la canneberge, la poire, la cerise (douce), la pomme, l'orange, le pamplemousse, le jus de cerise, le jus de pomme, le citron et la pêche, ainsi que des légumes comme la pomme de terre, la laitue et les épinards, et des boissons telles que le café, le thé et le cidre (Harborne, 1964).

III.2.2 Les flavonoïdes

Les flavonoïdes sont les polyphénols les plus répandus dans l'alimentation humaine, représentant plus de la moitié des huit mille composés phénoliques naturels que l'on trouve principalement dans des fruits tels que les mûres, les cassis, les myrtilles, les raisins, les fraises, les cerises, les prunes, les canneberges, les grenades et les framboises. Ces composés de faible poids moléculaire contiennent quinze atomes de carbone et présentent une structure C6-C3-C6. Les flavonoïdes sont principalement classés en deux catégories :

- Les anthocyanes (des dérivés glycosylés d'anthocyanidine présents dans des fleurs et des fruits colorés)
- Les anthoxanthines (un groupe de composés incolores subdivisés en plusieurs catégories, tels que les flavones, les flavanes, les flavonols, les isoflavones et leurs glycosides) **(Daniel, 1999)**.

III.2.3 Les tannins

Les tanins, des composés de poids moléculaire relativement élevé se trouvant en complexes avec des alcaloïdes, des polysaccharides et des protéines, sont un groupe de polyphénols hydrosolubles. Ils peuvent être subdivisés en tanins hydrolysables et en tanins condensés. Les tanins hydrolysables sont des esters d'acide gallique (tanins galliques et ellagiques), tandis que les tanins condensés (également appelés proanthocyanidines) sont des polymères de monomères de polyhydroxyflavan-3-ol. Une troisième subdivision, les phlorotannins, constituée entièrement de phloroglucinol, a été isolée à partir de plusieurs genres d'algues brunes. On les trouve principalement dans les pépins et les peaux de raisin (noir/clair), le jus de pomme, les fraises, les framboises, la grenade, les noix, le raisin muscadine, la pêche, la mûre, l'olive, la prune, le pois chiche, les haricots noirs, les lentilles, les haricots blancs, le vin rouge/blanc, le cacao, le chocolat, le thé, le cidre, le café et les fruits immatures **(Somu, 2012 ; Selamoglu, 2017)**.

III.3 Rôle dans les plantes

Les composés phénoliques sont des métabolites secondaires produits par les plantes pour se protéger contre les stress environnementaux tels que les rayonnements UV, les agents pathogènes et les herbivores. Ils jouent également un rôle important dans la pigmentation des plantes et dans leur communication chimique avec les pollinisateurs et les agents pathogènes **(Chalker-Scott, 1989)**.

III.4 Propriétés chimiques

III.4.1 Activité Antioxydante

Les propriétés antioxydantes des composés phénoliques de *Hibiscus sabdariffa L.* ont fait l'objet de recherches en raison de leur capacité à neutraliser les radicaux libres et à prévenir les dommages cellulaires. D'après une étude, les extraits aqueux de fleurs d'hibiscus ont présenté une activité antioxydante supérieure à celle de la vitamine C. De plus, une autre étude a montré que les anthocyanes présents dans les calices de l'hibiscus ont une activité antioxydante significative, et qu'ils sont plus efficaces que les extraits de pépins de raisin (Makni, 2011 ; Tseng, 1997).

III.4.1 Activité anti-inflammatoire

L'hibiscus possède des propriétés anti-inflammatoires attribuées à sa teneur élevée en antioxydants, notamment les flavonoïdes et les acides phénoliques. Des études suggèrent que les extraits d'hibiscus peuvent réduire la production de cytokines inflammatoires, inhiber des enzymes impliquées dans les voies inflammatoires et protéger les tissus contre les dommages causés par l'inflammation (Somu, 2012).

III.4.2 Activité hépatoprotectrice

Les propriétés hépatoprotectrices des composés phénoliques de l'hibiscus ont également été étudiées en raison de leur capacité à protéger le foie contre les dommages. Selon une étude, l'extrait d'hibiscus a un effet protecteur sur le foie chez des rats soumis à un stress oxydatif induit par un médicament toxique (Ali, 2005).

III.4.3 Activité antimicrobienne

Les propriétés antimicrobiennes des composés phénoliques de l'hibiscus ont été examinées dans différentes études en raison de leur capacité à inhiber la croissance de divers micro-organismes. Des recherches ont montré que les extraits d'hibiscus avaient une activité antimicrobienne contre plusieurs souches de bactéries pathogènes, telles que *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli*. De même, des extraits d'hibiscus ont été montrés efficaces contre plusieurs souches de champignons, notamment *Candida albicans* (Krishnakumar, 2008).

III.5 Intérêt

III.5.1 Intérêt agroalimentaire

Les composés phénoliques contribuent à la coloration des fruits rouges, des jus et des vins rouges, ainsi qu'à la réaction de brunissement enzymatique qui peut survenir lorsqu'ils sont exposés à l'air. En outre, ils sont impliqués dans les propriétés gustatives de ces aliments, car ils peuvent contribuer à leur amertume, astringence et saveur fruitée, et on peut les utiliser comme des colorants et des conservateurs alimentaires (**Cheyrier, 2012**).

Les composés phénoliques trouvent également de nombreuses utilisations dans l'industrie agroalimentaire. En raison de leurs propriétés antioxydantes, antimicrobiennes et de leur capacité à améliorer la stabilité des aliments, les composés phénoliques sont souvent utilisés comme additifs naturels dans les produits alimentaires.

Par exemple, les extraits de polyphénols, tels que l'extrait de pépins de raisin, sont fréquemment utilisés comme agents de conservation naturels dans les aliments. Selon une étude publiée dans le *Journal of Food Science*, "les extraits de polyphénols ont montré une activité antimicrobienne significative contre un large éventail de micro-organismes responsables de la détérioration alimentaire, tels que les bactéries, les levures et les moisissures" (**Santos-Buelga, 2007**).

De plus, les composés phénoliques sont souvent utilisés pour améliorer les propriétés sensorielles des aliments, tels que la couleur, le goût et l'arôme. Les anthocyanes, un groupe de pigments phénoliques présents dans de nombreux fruits et légumes, sont utilisées comme colorants naturels dans divers produits alimentaires. Selon une étude publiée dans le *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, "les anthocyanes ont été utilisées avec succès comme colorants naturels dans divers produits alimentaires tels que les jus de fruits, les confitures, les yaourts et les bonbons" (**Mphahlele, 2008**).

Les extraits de plantes riches en composés phénoliques sont souvent utilisés comme additifs alimentaires pour améliorer la stabilité et prolonger la durée de conservation des aliments. Par exemple, les extraits de romarin riches en phénols, tels que l'acide rosmarinique et le carnosol, sont utilisés comme agents antioxydants naturels dans les huiles et les graisses alimentaires. Ils aident à prévenir l'oxydation des lipides, ce qui peut altérer la qualité des produits alimentaires. Une étude publiée dans le *Journal of Food Science* a montré que l'ajout

d'extraits de romarin riches en composés phénoliques pouvait retarder la rancidité des huiles alimentaires (**Velasco, 2001**).

De plus, les composés phénoliques peuvent être utilisés comme agents de conservation naturels pour inhiber la croissance des microorganismes indésirables dans les aliments. Par exemple, l'acide ellagique, un composé phénolique présent dans certains fruits, est connu pour son activité antimicrobienne. Une étude publiée dans le *Journal of Agricultural and Food Chemistry* a montré que l'acide ellagique pouvait inhiber la croissance de différentes souches de bactéries pathogènes d'origine alimentaire, ce qui en fait un agent de conservation potentiel (**PuupponenPimiä, 2005**).

Enfin, certains composés phénoliques naturels, tels que les anthocyanes, sont utilisés comme colorants naturels dans l'industrie agroalimentaire. Les anthocyanes, présents dans de nombreux fruits et légumes colorés, offrent une large gamme de couleurs allant du rouge au violet. Ils sont utilisés pour colorer divers produits alimentaires, tels que les confiseries, les boissons et les produits laitiers. Une étude publiée dans le *Journal of Agricultural and Food Chemistry* a examiné l'utilisation des anthocyanes de maïs pour colorer les boissons et a montré leur stabilité et leur potentiel en tant que colorants naturels (**Wu X, 2002**).

III.5.2 Intérêt thérapeutique

Les composés phénoliques sont essentiels pour la santé humaine, car ils peuvent réduire le risque de certaines maladies, telles que le diabète, le cancer, les maladies cardiovasculaires et les maladies chroniques. Quant aux flavonoïdes, des études épidémiologiques et cliniques ont montré que la majorité d'entre eux présentaient des activités antioxydantes et antimicrobiennes, notamment des effets antiviraux, antifongiques et antibactériens (**Huang, 1992**).

III.5.3 Intérêt cosmétique

Les composés phénoliques présentent un intérêt cosmétique en raison de leurs propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et photo protectrice. Ces composés sont capables de neutraliser les radicaux libres, de réduire les signes du vieillissement cutané, d'améliorer la fermeté de la peau et de diminuer l'inflammation associée à des problèmes de peau tels que l'acné et l'eczéma. De plus, les composés phénoliques peuvent aider à protéger la peau contre les dommages causés par les rayonnements UV (**Sun, 2023**).

Partie 2. Etude experimentale

Méthodologie de travail

Dans le cadre de ce mémoire, notre étude se concentre sur l'analyse des composés phénoliques et flavonoïdes présents dans l'hibiscus, en utilisant la méthode d'extraction par décoction. Nous avons ensuite procédé au dosage de ces phénols et flavonoïdes. Les méthodes sélectionnées pour cette étude sont fiables et couramment utilisées dans l'analyse de ces composés. En complément de notre analyse chimique, nous avons également mené des études antimicrobiennes afin d'évaluer l'efficacité de l'hibiscus contre les bactéries *E. coli* et le *Staphylococcus aureus*. Les propriétés antimicrobiennes de l'hibiscus sont bien connues depuis longtemps.

I.1. Lieux de réalisation du travail

Le travail expérimental, subdivisé en plusieurs étapes et a été réalisé en 4 différents lieux :

- L'échantillonnage, j'ai procédé à l'acquisition du kakadé auprès des magasins locaux de notre région.
- Une partie de l'extraction des compose phénoliques et flavonoïdes ont été réalisé au laboratoire de recherche des sciences fondamentales à l'université de Laghouat.
- L'extraction des composés phénoliques, leur dosage, le dosage des flavonoïdes, ainsi qu'une partie des tests d'activité microbiennes ont été effectués au laboratoire de biochimie du département d'agronomie de l'Université Ammar Telidji Laghouat.
- Le test de l'activité microbiennes a été réalisés au laboratoire régional de vétérinaire de Laghouat.

I.2. Schéma de l'étude expérimentale

Les étapes de cette étude expérimentale sont résumées dans la figure suivante :

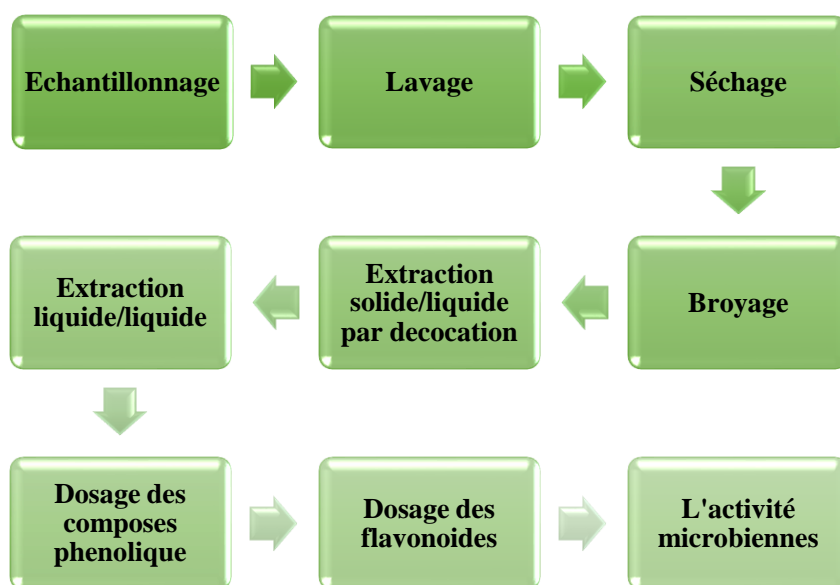


Figure 09. Schéma de l'étude expérimentale.



Partie 2 : Matériel et méthodes

I. Matériel utilisé

I.1. Matériel biologique

Le matériel végétal de l'étude est décrit dans le tableau ci-dessous (tableau V). Nous avons choisi de comparer la composition des fleurs d'hibiscus de deux pays différents (les plus présentes sur le marché algérien et malien).

Tableau V. Description du matériel végétal de l'étude

<i>Origine</i>	<i>Date</i>	<i>Source</i>	<i>Couleur</i>	<i>Photo</i>
	<i>d'échantillonnage</i>			
Egypte	Septembre 2022	Algérie	Pourpre foncé	
Mali	Septembre 2022	Mali	Rose foncé	

Pour le test de sensibilité, nous avons utilisé deux bactéries pathogènes pour l'homme. Le tableau ci-dessous renseigne sur leurs caractéristiques.

Tableau VI. Description du matériel bactériologique de l'étude

	<i>Staphylococcus aureus</i> Gram+	<i>Escherichia coli</i> Gram-
Référence	Isolée	ATCC 25922
Provenance	Université de Laghouat « Laboratoire de département de biologie »	Laboratoire vétérinaire
Source	Viande de poulet cru prélevé à plusieurs endroits dans la région de Laghouat	-
Maladies	Infection cutanée, poumon, endocardite.	Infection urinaire (la plus fréquente), Infection entérique (certaines souches), Infection invasive (rare, sauf chez les nouveau-nés), Infection à d'autres sites
Symptômes	Diarrhée, fièvre, Vomissements, déshydratation.	Une diarrhée inflammatoire, crampes abdominales

(Obasuyi, 2020 ; omhover,2 023 ; larry,2022 ; Saidat, 2023).

I.2 Liste des produits utilisés

- Ethanol
- Méthanol
- Réactif de Folin-Ciocalteu
- Carbonate de sodium
- Trichlorure d'aluminium
- Acide gallique
- Quercétine
- Éther de pétrole
- Acétate d'éthyle
- Sulfate de sodium anhydre
- Eau distillée
- Eau physiologie
- Milieu Muller-Hinton

- Bouillon Nutritif
- Diméthylsulfoxyde DMSO

I.3 Principaux outils et appareils utilisés

- Balance de précision
- Etuve ventilée
- Evaporateur rotatif type BUCHI
- Spectrophotomètre UV/visible
- Réfrigérant (Soxhlet)
- Chauffe-ballon
- Ampoule à décanter
- Micropipette 100-1000 μ l ACCUMAX PRO
- Boîtes pétries
- Autoclave
- Bec-benzène
- La hotte
- Papier buvard
- Papier filtre

II. Méthodes

II.1 Échantillonnage

L'échantillons de l'Egypte ont été collecté de manière aléatoire de plusieurs commerces à Laghouat, en Algérie. Puis ils ont été mélangés, et pour le deuxième échantillon provient du Mali via le transport.

II.1.1 Préparation des échantillons

Avant d'être utilisé dans notre étude, l'hibiscus a été soigneusement nettoyé, séché à l'air et broyé à l'aide d'un mixeur (**figure 09**).



Figure 10. La poudre d'hibiscus obtenus après broyage. 01. Mali, 02. Egypte.

II.2 Extraction solide/liquide

Nous avons utilisé la méthode d'extraction par décoction de **Hamini et Yousfi (2015)** modifiée. Pour cela, un échantillon pesant 10 g a été combiné avec 100 ml d'une solution éthanol-eau distillée dans un rapport de 80/20 (v/v). L'extraction a été réalisée par reflux en utilisant un montage approprié (**figure 10**) pendant une période de 6 heures. Après cette étape, le contenu des ballons a été filtré pour obtenir uniquement la phase aqueuse, tandis que l'éthanol a été récupéré à l'aide d'un évaporateur rotatif (**figure 11**).

Partie 2.
Matériel et méthodes



Figure 11. Extraction des échantillons avec le montage à reflux

Partie 2.
Matériel et méthodes



Figure 12. Evaporation de l'échantillon avec l'évaporateur rotatif

II.3 Extraction liquide/liquide

Nous avons suivi le protocole de **Hamini et Yousfi (2015)**. Nous avons mis en œuvre une méthode d'extraction liquide-liquide. Tout d'abord, nous avons placé l'échantillon dans une Ampoule à décanter, en prenant soin d'effectuer cette opération sous une hotte. Par la suite, nous avons ajouté 30 ml d'éther de pétrole et procédé à une agitation vigoureuse. Cette étape nous a permis d'obtenir deux phases distinctes, que nous avons soigneusement séparées. Cette procédure d'extraction a été répétée à trois reprises afin d'optimiser le processus.

Dans la deuxième étape, nous avons introduit 20 ml d'acétate d'éthyle et effectué un mélange approfondi pour assurer une bonne répartition des composants. Par la suite, nous avons procédé à la séparation des deux phases obtenues. Comme précédemment, cette étape a été répétée trois fois pour maximiser l'extraction.

Pour la troisième et dernière étape, nous avons ajouté 2 cuillères à café de sulfate de sodium anhydre afin d'éliminer toute trace d'eau présente dans le mélange. Après avoir filtré le mélange, nous l'avons transféré dans des flacons vides et stériles, en garantissant ainsi la préservation de l'échantillon extrait.

Après avoir réalisé l'extraction liquide-liquide, nous avons procédé à la concentration de l'extrait d'acétate d'éthyle par évaporation sous une pression réduite de 40C. Ensuite, nous avons récupéré la fraction obtenue dans 10 ml de méthanol.



Figure13. Les étapes de l'extraction liquide/liquide

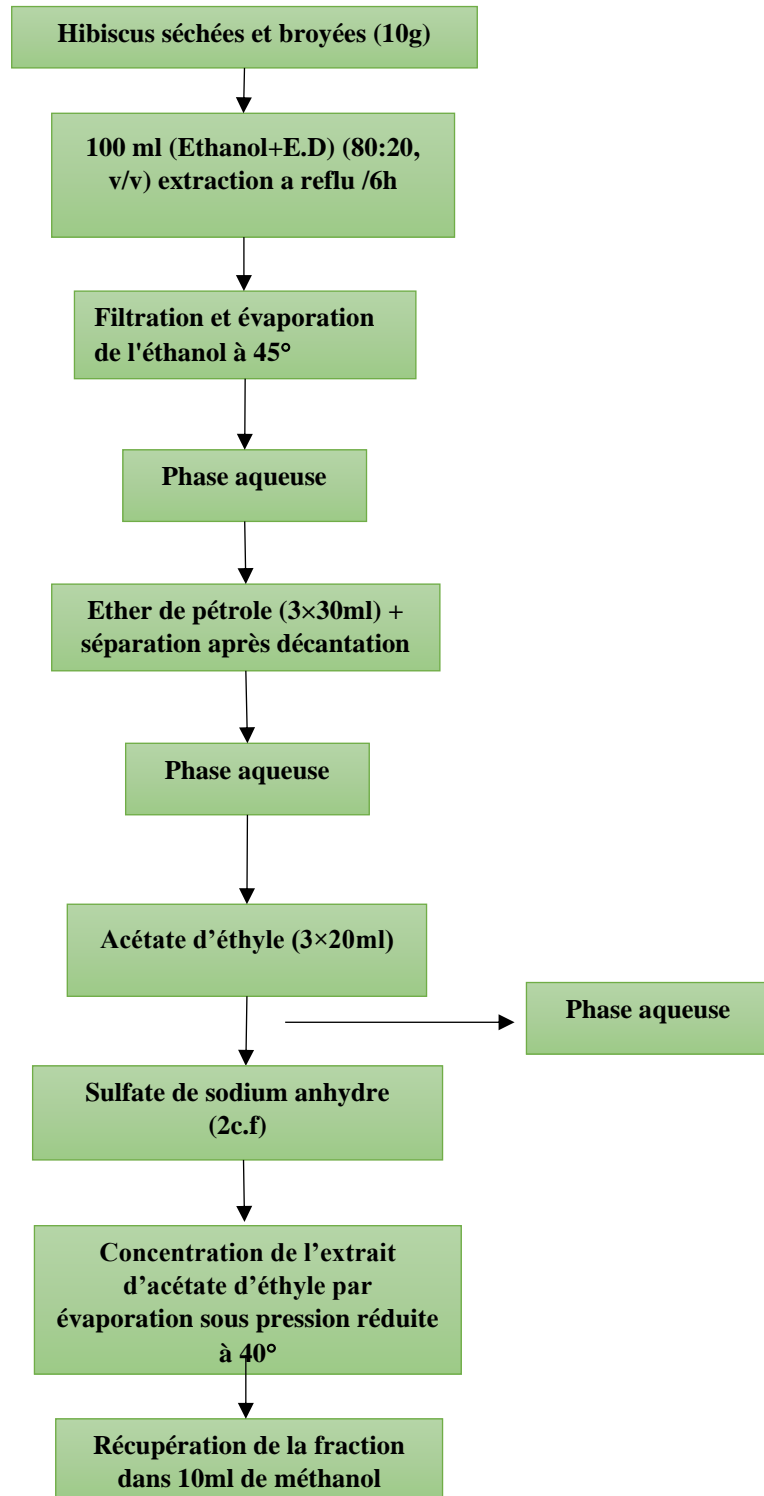


Figure 14. Protocole de préparation des extraits d'hibiscus

II.3.1 Rendement de l'extraction

Le rendement (R%) de l'extraction représente le pourcentage de la masse de la fraction récupéré après extraction (Mr) par rapport à la masse sèche de l'hibiscus utilisée (MS).

$$R\% = \frac{Mr}{MS}$$

II.4 Dosage des phénols totaux

La quantification des phénols totaux sera effectuée selon la méthode adaptée par Singleton et Ross (**Lamaison,1990**). Cette méthode utilise le réactif de Folin-Ciocalteu, qui est un mélange d'acide phosphotungstique (H3PW12O40) et d'acide phosphomolybdique (H3PMo12O40). Lorsque les phénols sont oxydés, ce réactif est réduit en un mélange d'oxydes bleus (figure 14) de tungstène (W8O23) et de molybdène (Mo8O23). La couleur bleue formée est proportionnelle à la concentration de phénols totaux présents dans l'échantillon.

Pour réaliser le dosage (avec 3 répétitions), 100 µl de l'extrait est mélangé avec 500 µl du réactif Folin-Ciocalteu (10%) et 2 ml de carbonate de sodium Na₂CO₃ (2%) dans un tube à essai. Ces deux composants sont solubles dans l'échantillon. Après agitation, l'échantillon est incubé dans l'obscurité pendant 30 minutes. Ensuite, l'absorbance à 760 nm est mesurée en utilisant un blanc de référence (solution contenant seulement le milieu et les réactifs, sans l'extrait).

Afin de tracer une courbe d'étalonnage, nous avons préparé une série de neuf concentrations d'acide gallique à partir d'une solution mère ayant une concentration de 0,8 g/l. La concentration en phénols totaux dans l'échantillon sera déterminée en se référant à cette courbe d'étalonnage de l'acide gallique.

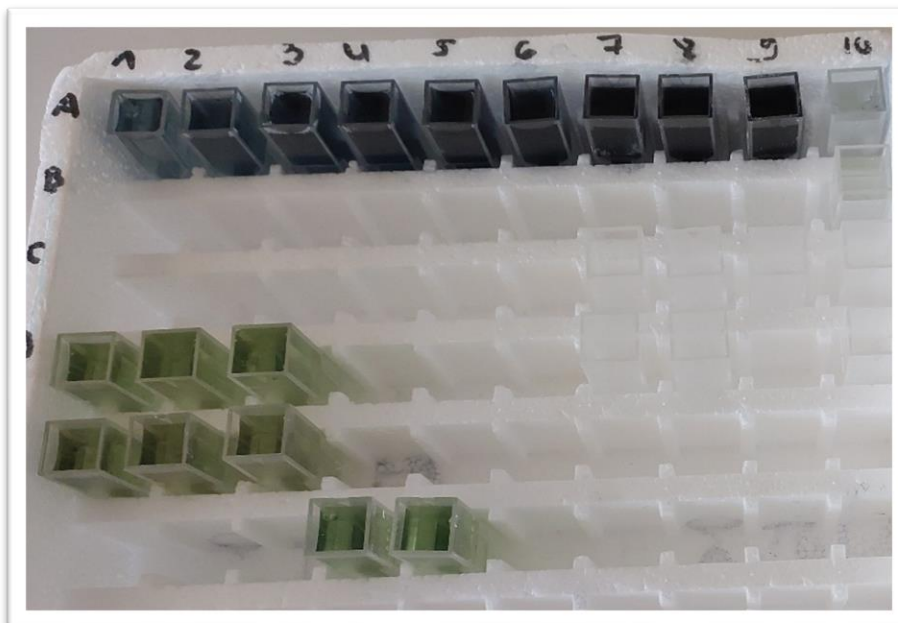


Figure 15. Dosage des phénols totaux

II.5 Dosage des flavonoïdes

La méthode utilisée pour estimer les taux de flavonoïdes est basée sur la méthode décrite par Bahorun (**Bahorun,1997**). Cette méthode repose sur la formation d'un complexe entre le chlorure d'aluminium et les atomes d'oxygène présents sur les carbones 4 et 5 des flavonoïdes, ce qui donne une coloration jaunâtre (figure15) caractéristique.

Pour effectuer le dosage (avec 3 répétitions), vous devez prendre 1 ml de l'extrait et le mélanger avec 1 ml de trichlorure d'aluminium $AlCl_3$ (soluble dans le méthanol) à une concentration de 2% dans un tube à essai. Après agitation, l'échantillon est incubé à l'obscurité pendant 20 minutes, puis l'absorbance est mesurée à 409 nm en utilisant un blanc de référence (méthanol + réactifs, sans l'extrait).

Afin d'élaborer une courbe d'étalonnage, une série de neuf concentrations de quercétine (soluble dans le méthanol) allant de 0,003 à 0,025 mg/ml a été préparée à partir d'une solution mère de concentration 0,1 g/l. La concentration en flavonoïdes dans l'échantillon sera déterminée en se référant à cette courbe d'étalonnage établie à partir de la quercétine utilisée comme standard.

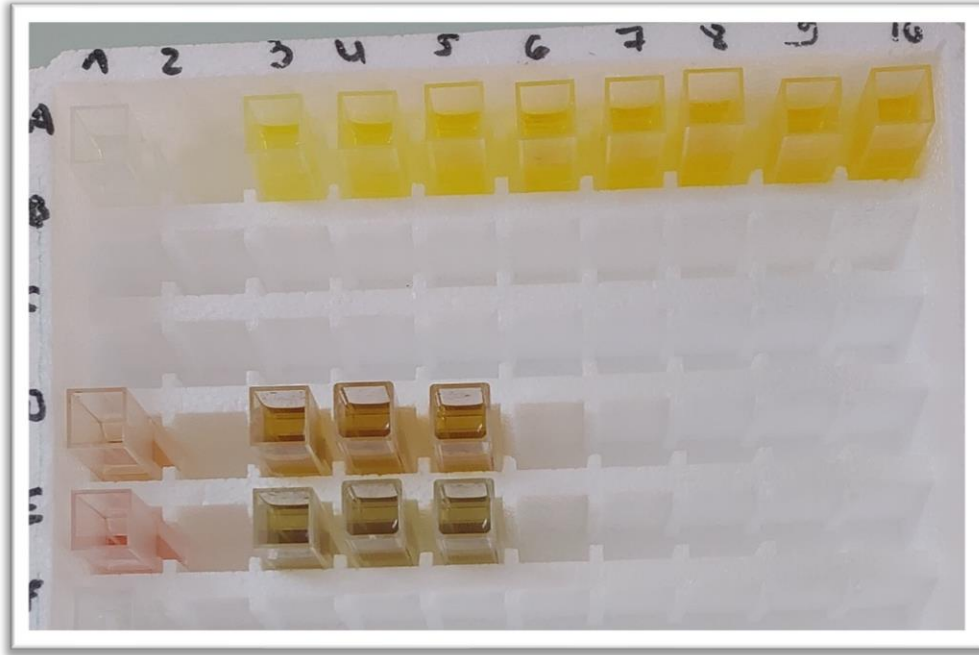


Figure16. Dosage des flavonoïdes

II.5 Activité antibactérienne

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'activité antimicrobienne des extraits d'hibiscus contre *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli* Test de diffusion sur disque d'agar développé en 1940 (Biochem, 1944).

Les extraits d'hibiscus ont été dissous dans du diméthylsulfoxyde (DMSO) pour obtenir différentes concentrations : 0,5 g/l, 0,25 g/l et 0,125 g/l (figure 16).

Pour le test de la bactérie *Escherichia coli*, nous avons préparé l'inoculum en repiquant la souche dans une boîte de Petri contenant de la gélose Mueller-Hinton et en l'incubant à 37°C pendant 24 heures. Après les 24 heures, nous avons prélevé une colonie de la souche bactérienne à tester en utilisant une pipette Pasteur stérile et on l'a mélangé avec de l'eau physiologique. Par la suite nous l'avons ajusté afin d'obtenir une opacité de 0,5 unités selon l'appareil Mc Farland (figure17)

Pour le test de la bactérie *Staphylococcus aureus*, nous avons préparé un bouillon nutritif BHIB pour récupérer la bactérie.

Nous les avons préalablement les disques stérilisés avec un diamètre de 0,6 mm. En utilisant des écouvillons stériles, nous avons étalé uniformément l'inoculum sur toute la surface de la gélose, en tournant la boîte de 60 degrés à chaque fois pour assurer une

répartition homogène. Ensuite, nous avons placé nos disques de papier Buvard et nous avons ajouté 20 ml d'extraits d'hibiscus avec les trois concentrations différentes. Les boîtes de Petri ont été ensuite placées dans une étuve à une température constante de 37 degrés Celsius pendant 24 heures (figure 18).

Afin d'obtenir des résultats fiables et reproductibles, des répétitions ont été réalisées pour chaque expérience. Des témoins positifs, constitués de disques imprégnés d'antibiotiques différents (chloramphénicol, pénicilline, ampicilline, gentamicine, nadlixi) connus pour leur activité antimicrobienne, ont été inclus. Ces témoins ont permis de vérifier la sensibilité des bactéries aux antibiotiques utilisés comme référence. Des témoins négatifs, composés de disques imprégnés de méthanol en présence de diméthylsulfoxyde (DMSO), ont également été inclus pour évaluer l'effet spécifique de l'hibiscus sur la croissance bactérienne.

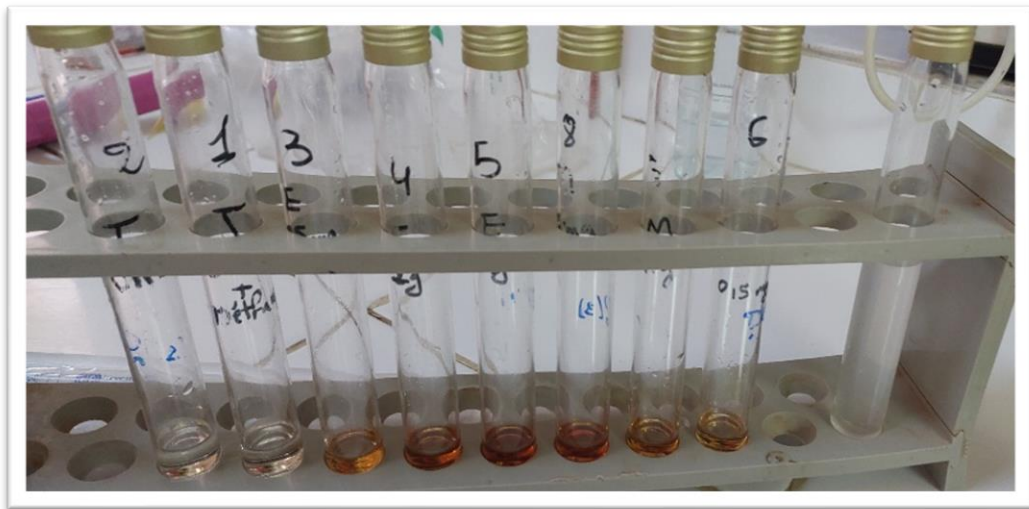


Figure 17. Les dilutions de l'hibiscus + le DMSO

Partie 2.

Matériel et méthodes



Figure 18. L'appareil de McFarlane

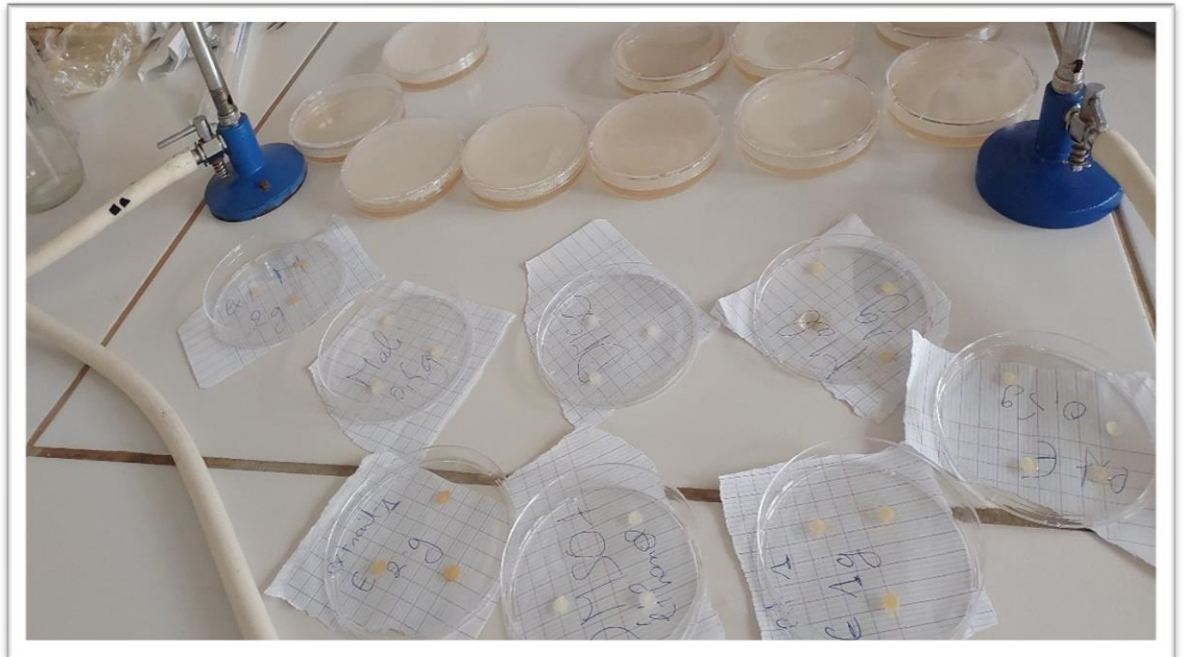


Figure 19. Préparation pour l'étude antibactérienne de l'hibiscus

II.5.1 Classement des souches testées selon leurs sensibilités aux antibiotiques, antifongiques et aux extraits

La sensibilité des bactéries aux différents extraits d'hibiscus est mesurée en fonction des diamètres des zones d'inhibition comme le montre le tableau XII :

Tableau IIX : classement des souches microbienne selon leur sensibilité

Catégorie	Diamètre de la zone d'inhibition	Symbole
Résistant	$\emptyset < 6 \text{ mm}$	(-)
Intermédiaire	$13 \text{ mm} \geq \emptyset \geq 6$	(±)
Sensible	$\emptyset > 13 \text{ mm}$	(+)

(bonnet, 2012).

III. Statistiques

Les résultats ont été exprimés en valeurs moyennes \pm erreur standard de la moyenne (SEM). La signification statistique a été déterminée en utilisant un seuil de $p < 0,05$. Les données présentées dans le texte, les tableaux et les figures représentent les valeurs moyennes de trois répétitions indépendantes ($n = 3$). Les corrélations linéaires entre les variables ont été évaluées à l'aide des coefficients de corrélation de Pearson ($p < 0,05$). Des analyses de corrélation ont été effectuées à l'aide des fonctions de corrélation et de régression du programme XLSTAT version 2014.

Résultats et discussion

III.1. Taux d'extraction

La figure 20 représente la comparaison des rendements d'extraction calculés par rapport à la masse sèche de l'hibiscus de l'Égypte et du Mali.

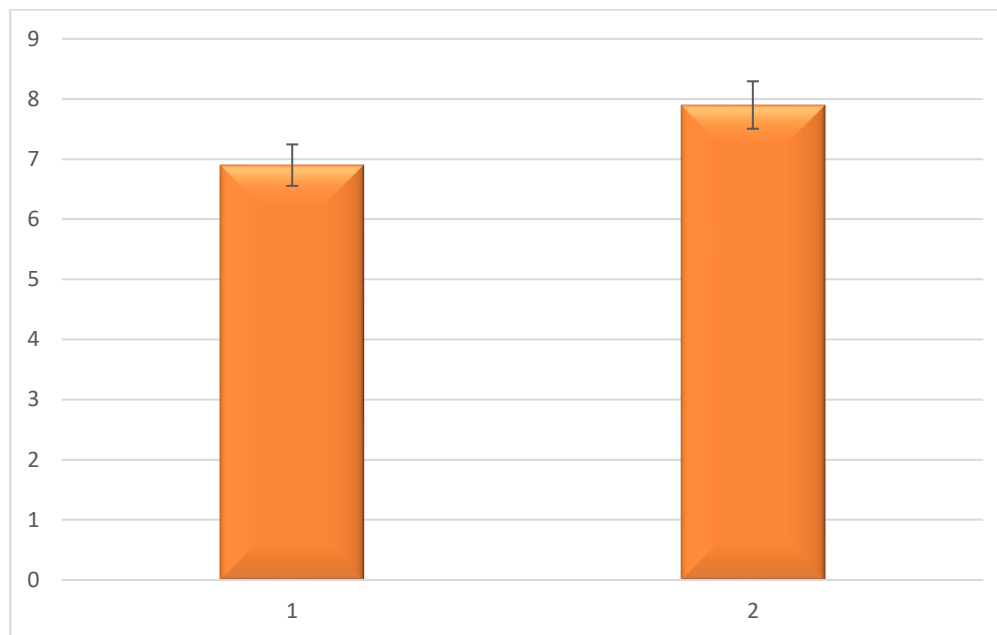


Figure 20. Histogramme représentant le taux d'extraction de deux échantillons de l'hibiscus issue de pays différents. 1 : l'Égypte, 2 : le Mali.

Le taux de récupération de l'hibiscus provenant d'Égypte est de 6,9% de la masse sèche, tandis que celui provenant du Mali est de 7,9% de la masse sèche. Il y a une différence significative entre les deux taux de récupération.

Le taux de récupération de l'extrait dépend de plusieurs facteurs, notamment le processus et les conditions d'extraction, l'espèce et l'origine géographique de la plante, les conditions et la durée de stockage, ainsi que la période de récolte. Ces différents éléments peuvent influencer le rendement global de l'extraction de diverses substances à partir de la plante, y compris l'hibiscus (**Haddouchi, 2016**).

D'après (**Lahmar, 2017**), le rendement d'extraction est déterminé par le degré de solubilité des composés dans le solvant utilisé lors du processus d'extraction. Ils ont constaté que l'extraction des composés bioactifs à température ambiante et sous agitation continue permet d'extraire les composés les plus bioactifs tout en prévenant leur dégradation. Cependant, l'utilisation d'une température spécifique peut entraîner l'inactivation des produits chimiques bioactifs, réduisant ainsi le rendement de leur extraction en laboratoire.

Ainsi, les conditions de température et d'agitation lors de l'extraction jouent un rôle important dans le rendement et la préservation des propriétés bioactives des composés extraits.

III.2. Teneurs en phénols totaux

L'estimation de la teneur en composés phénoliques extractibles totaux a été réalisée par la méthode de Folin-Ciocalteu qui donne une coloration bleue, Le réactif Folin-Ciocalteu est utilisé pour obtenir une estimation approximative de la quantité de composés phénoliques présents dans un extrait (**Husseina, 2010**), L'intensité de la couleur bleue est proportionnelle aux taux de phénols totaux présents dans le milieu.

La figure 21 représente la courbe d'étalonnage de l'acide gallique qui a été réalisée afin de calculer les concentrations des extraits en composés phénoliques.

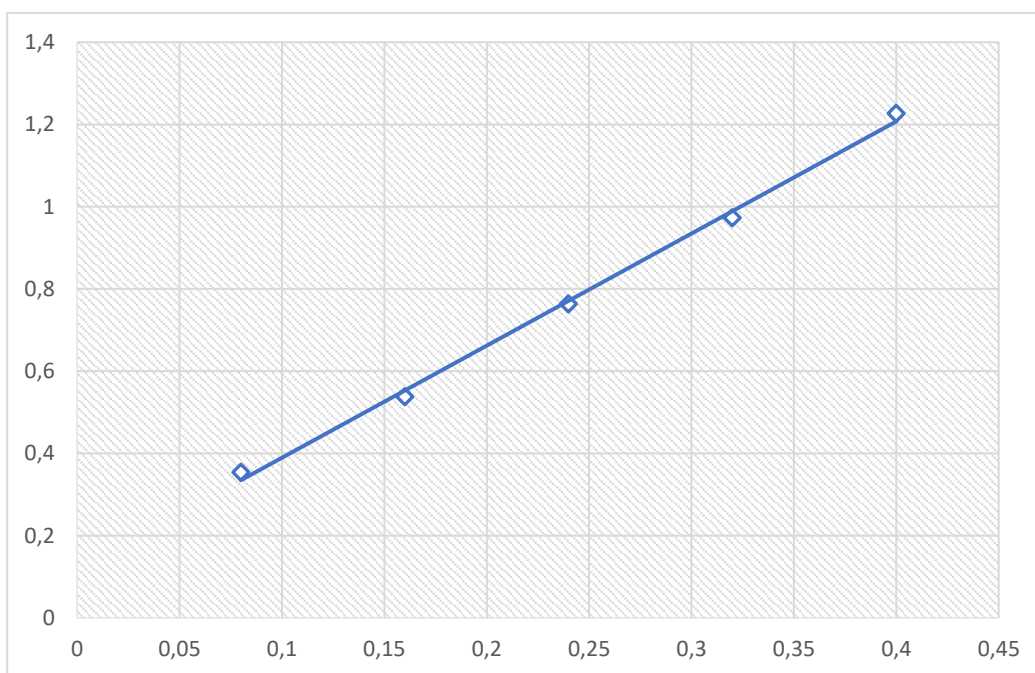


Figure 21. Courbe d'étalonnage de l'acide gallique

La figure 22 représente une comparaison des teneurs en composés phénoliques des deux échantillons de *Hibiscus sabdariffa L.* le 1^{er} est de l'Égypte et le 2^{ème} est de Mali.

III. Résultats et discussion

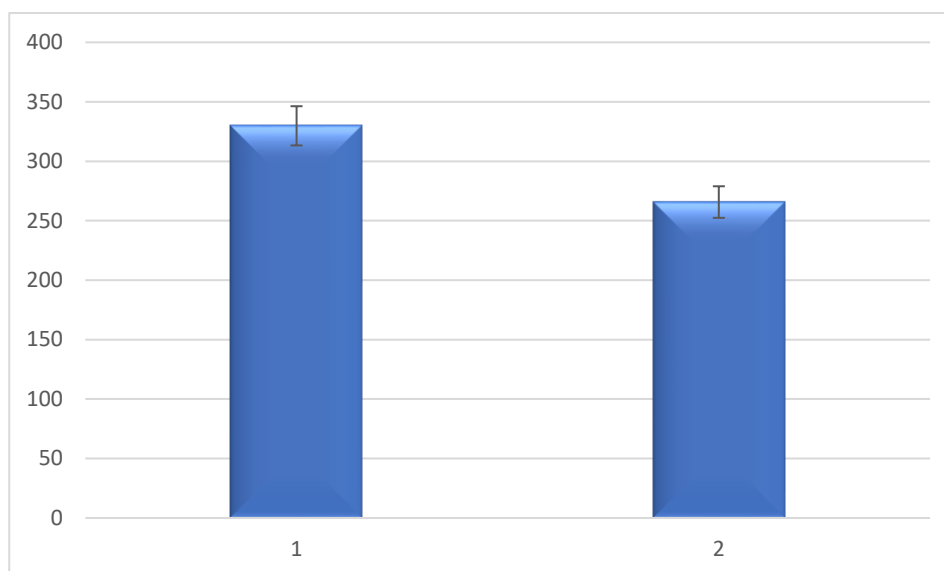


Figure 22. Histogramme représentant la teneur en composés phénoliques de deux échantillons de l'Hibiscus issue de pays différents. 1 : Égypte, 2 : Mali.

Les résultats indiquent clairement que l'extrait d'Égypte présente une teneur plus élevée en composés phénoliques que l'extrait du Mali et le tableau suivant présente les valeurs précises de la concentration des composés phénoliques pour les deux échantillons.

Tableau VIII. La teneur en composés phénoliques de l'hibiscus de deux pays différents

<i>Pays</i>	<i>Teneur (mg EAG/100 g MS)</i>
Egypte	329,8 ± 0,006
Mali	222,8 ± 0,014

Les valeurs sont présentées sous forme de moyenne ± SD (n = 3)

Les résultats ont révélé une différence significative entre les deux échantillons. En effet, la teneur en phénols totaux de l'hibiscus égyptien était de 329,8 (mg EAG/100 g MS) d'équivalent d'acide gallique pour 100g de matière sèche, tandis que celle de l'hibiscus malien était de 265,8 (mg EAG/100 g MS) d'équivalent d'acide gallique pour 100g de matière sèche. Ces résultats indiquent une concentration plus élevée de composés phénoliques dans l'hibiscus égyptien par rapport à celui du Mali. Cette disparité peut être expliquée par plusieurs causes possibles dont le génotype et les conditions de culture et de stockage.

Partie 2.

III. Résultats et discussion

Les composés phénoliques naturellement présents dans l'hibiscus sont les acides phénoliques et les flavonoïdes. Les acides phénoliques décrits dans l'hibiscus comprennent l'acide néochlorogénique, l'acide chlorogénique, l'acide cryptochlorogénique, le chlorogénate de méthyle, l'acide coumaroylquinique, l'acide dihydrofêrulique-4-O-glucuronide, le chlorogénate d'éthyle et l'acide 5-O-caffeoyl shikimique. Au moins 95 flavonoïdes ont été identifiés dans le calice de la roselle (**Alara, 2019**). D'autres composés importants tels que les acides organiques sont également présents dans les roselles, tels que l'acide hydroxycitrique, l'acide d'hibiscus, l'ester hydroxyéthylrique d'acide d'hibiscus et l'ester diméthylrique d'acide d'hibiscus (**Pimentel-Moral, 2019**).

Selon l'étude de (**Savio, 2015**) portant sur le dosage des composés phénoliques de l'hibiscus dans plusieurs pays, il a été observé des différences de résultats, comme le montre (Tableau IX). Les résultats obtenus dans notre étude sont nettement supérieurs à ceux présents dans le tableau. Ces variations peuvent être attribuées à l'efficacité de la méthode d'extraction. Cela se confirme si l'on se réfère à l'étude comparative faite par (**Hapsari, 2021**) ou ils comparent différentes méthodes d'extraction pour l'hibiscus comprenant l'extraction a ultrason (*Cf. annexe 2*).

Tableau IX. Le dosage des composé phénoliques de l'hibiscus dans différents pays

<i>Pays</i>	<i>Dosage des composes phénoliques (mg EAG/100 g MS)</i>
Cuba	29.9 ± 0.5
Georgia	20.5 ± 1.2
Ghana	23.2 ± 4.0
India	25.7 ± 2.1
Jamaica	23.8 ± 3.8
Malaysia	20.6 ± 3.5
Nigeria	23.7 ± 0.8
Poland	27.2 ± 1.2
Sénégal	24.1 ± 2.8
South africa	25.5 ± 3.9

Partie 2.

III. Résultats et discussion

Soudan	24.9 ± 3.3
Taiwan	22.2 ± 0.9
Taïland	22.4 ± 3.1
Zambie	22.2 ± 2.0

La source : (Jing Zhen, 2015)

L'extraction des composés phénoliques est une étape cruciale dans les études portant sur ces substances bioactives. Ce processus complexe est influencé par un ensemble de paramètres qui doivent être soigneusement pris en compte. Parmi ces paramètres, la nature chimique des composés phénoliques joue un rôle déterminant. En effet, la diversité des structures chimiques des phénols peut entraîner des différences dans leur solubilité et leur extractibilité, ce qui nécessite l'utilisation de méthodes d'extraction adaptées. Parallèlement, des facteurs tels que la taille des particules d'échantillon et la durée de l'extraction sont également essentiels. Une plus grande surface de contact entre l'échantillon et le solvant favorise l'extraction des composés phénoliques, tandis qu'une durée d'extraction adéquate permet une diffusion optimale de ces substances dans le solvant. De plus, la maturation des fruits est un élément clé à prendre en considération. En effet, la composition et la concentration en composés phénoliques peuvent varier selon le stade de maturité des fruits. Certains composés peuvent s'accumuler davantage à mesure que les fruits mûrissent, tandis que d'autres peuvent diminuer. Ainsi, il est primordial de choisir le stade de maturité approprié pour obtenir des résultats significatifs. En somme, l'extraction des composés phénoliques est un processus multidimensionnel qui nécessite une approche méthodologique rigoureuse pour garantir l'obtention de résultats fiables et représentatifs (Telli, 2010).

La solubilité des composés phénoliques dans les plantes est déterminée par leur composition chimique, allant des composés simples aux composés hautement polymérisés tels que les acides, les composés phénoliques, les phénylpropanoïdes, les anthocyanes et les tanins. Ces composés peuvent être présents à des concentrations variables dans les matières végétales. La diversité structurale de ces composés entraîne une large gamme de paramètres physico-chimiques qui influencent l'extraction des polyphénols (Mahmoudi, 2013).

Cette disparité de composition peut aussi être attribuée à divers facteurs tels que les conditions de culture, les variations génétiques des plantes, les pratiques agricoles et les méthodes de récolte. Ces résultats soulignent l'importance de prendre en compte l'origine

géographique des échantillons lors de l'évaluation de leur potentiel thérapeutique ou de leur utilisation dans des applications cosmétiques, afin de garantir des résultats optimaux en termes de teneur en composés phénoliques et de bénéfices potentiels pour la santé ou pour les différentes industries.

L'échantillon d'Égypte ayant une couleur plus foncée, il s'est révélé être plus riches en composés phénoliques. Selon l'étude menée par (**Refaei, 2010**) sur l'hibiscus d'Égypte de différentes couleurs, il a été constaté que les extraits d'hibiscus présentent une quantité significative de composés phénoliques. Les résultats ont révélé que tous les extraits d'hibiscus étudiés ont une teneur élevée en polyphénols, ce qui est en corrélation avec leur activité antioxydante. Les extraits ayant une activité antioxydante plus élevée ont également montré une plus grande quantité de polyphénols. Par contre, les extraits ayant une activité antioxydante modérée présentaient également une teneur en polyphénols modérée. De plus, il a été observé que plus l'intensité de la couleur rouge est élevée, plus la concentration des composés phénoliques est élevée.

III.3. Teneurs en flavonoïdes

La quantification de la teneur en flavonoïdes a été effectuée en utilisant la méthode du chlorure d'aluminium, qui produit une coloration jaunâtre. L'intensité de cette coloration est directement proportionnelle aux niveaux de flavonoïdes présents dans l'échantillon. Ainsi, plus la coloration jaune est intense, plus la concentration de flavonoïdes dans le milieu est élevée.

La figure 23 représente la courbe d'étalonnage de la Quercétine qui a été réalisée afin de calculer les concentrations des extraits en flavonoïdes.

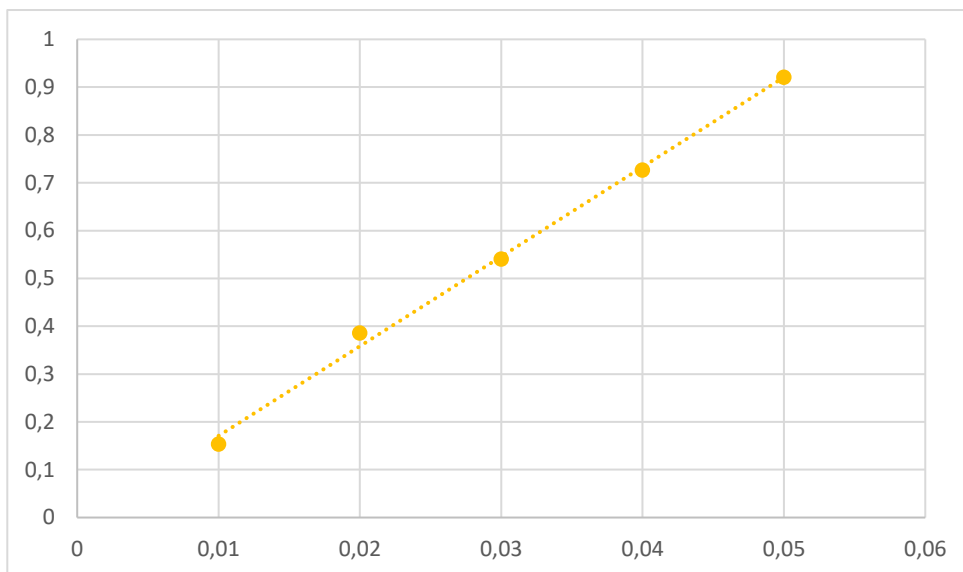


Figure 23. Courbe d'étalonnage de la Quercétine

La figure 24 présente une comparaison des teneurs en flavonoïdes de l'hibiscus provenant de deux pays différents, l'Égypte et le Mali, en utilisant la méthode d'extraction par décoction.

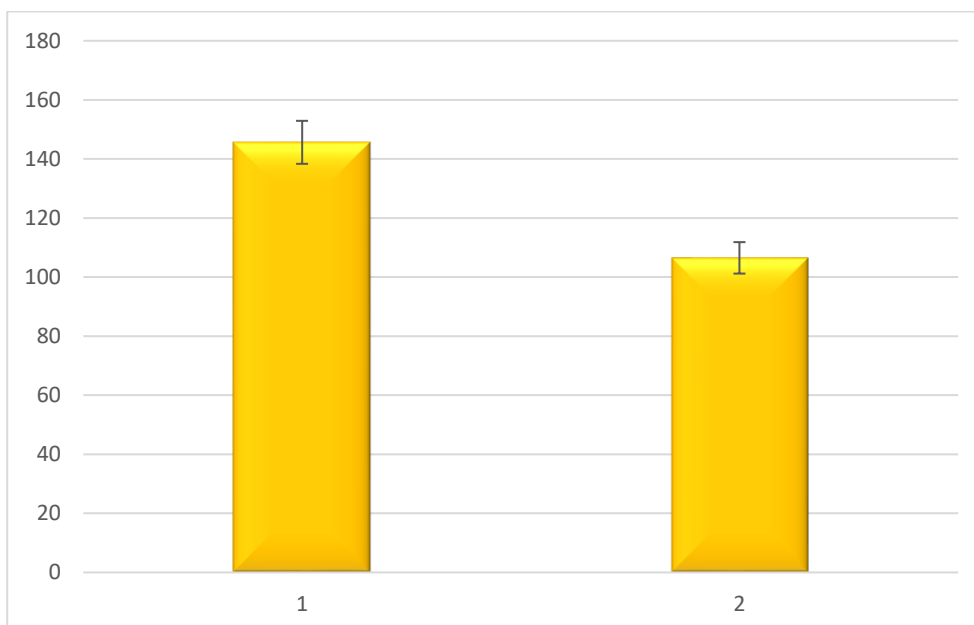


Figure 24. Histogramme représentant la teneur en flavonoïdes de deux échantillons de l'Hibiscus issue de pays différents. 1.Egypte 2. Mali

Les résultats obtenus mettent en évidence une différence significative de teneur en flavonoïdes entre l'extrait provenant d'Égypte et celui du Mali. L'extrait égyptien présente une concentration plus élevée de flavonoïdes par rapport à l'extrait malien. Le tableau ci-

III. Résultats et discussion

dessous présente en détail les valeurs de concentration des flavonoïdes pour les deux échantillons.

Tableau X. La teneur en flavonoïdes de l'hibiscus de l'étude

<i>Pays</i>	<i>Teneur (mg EQ/100 g MS)</i>
Egypte	145,6 ± 0,02
Mali	106,5 ± 0,1

Les valeurs sont présentées sous forme de moyenne ± SD (n = 3)

L'échantillon provenant d'Égypte présente un taux de 145,6 mg EQ/100g, tandis que celui du Mali présente un taux de 106,5 mg EQ/100g. Cette disparité peut être expliquée par plusieurs causes possibles dont le génotype et les conditions de culture et de stockage.

Au moins 95 flavonoïdes ont été identifiés dans le calice de la roselle (**Alara, 2019**). Parmi les flavonoïdes identifiés, les anthocyanes sont les plus abondantes et sont principalement constituées de delphinidine-3-O-sambubioside et de cyanidine-3-O-sambubioside (**Zhang, 2018**). Les flavonoïdes fréquemment signalés comprennent également la quercétine-3-glucoside, la méthylépigallocatechine, la myricétine, la quercétine et le kaempférol (**Pimentel-Moral, 2019**).

D'après l'étude réalisée par (**Samaké, 2020**), en se référant au tableau XI, on peut observer le dosage des flavonoïdes en fonction de la concentration du solvant et du pays. Nous remarquons que les résultats obtenus dans notre étude sont nettement supérieurs à ceux présents dans le tableau. Ces variations peuvent être attribuées à l'efficacité de la méthode d'extraction. Cela se confirme si l'on se réfère à l'étude comparative faite par (**Hapsari, 2021**) ou ils comparent différentes méthodes d'extraction pour l'hibiscus comprenant l'extraction a ultrason (Cf. annexe 3).

Tableau XI : Teneur en flavonoïdes totaux de l'hibiscus selon le pays et le solvant de l'extraction.

Solvant	Pays	Flavonoïdes totaux mg ER/100g
Eau	Bamako	0,086±0,009
	Banamba	0,037±0,009
	Tominian	0,045±0,005
	Tousséguéla	0,079±0,008
Acetone à 70%	Bamako	0,095±0,007
	Banamba	0,055±0,001
	Tominian	0,063±0,002
	Tousséguéla	0,090±0,002
Ethanol à 70%	Bamako	0,044±0,003
	Banamba	0,024±0,008
	Tominian	0,033±0,003
	Tousséguéla	0,033±0,009
Methanol à 70%	Bamako	0,055±0,003
	Banamba	0,016±0,001
	Tominian	0,019±0,003
	Tousséguéla	0,050±0,003

(Samaké,2020)

Selon les travaux de (Bourgou, 2016), la méthode d'extraction des composés phénoliques et flavonoïdes peut avoir un impact sur le rendement et la concentration obtenus. En raison de la complexité de la structure des flavonoïdes, il n'existe pas de méthode d'extraction universelle adaptée à toutes les plantes. Différents solvants organiques tels que le méthanol, l'éthanol et l'acétate d'éthyle ont été utilisés pour extraire les flavonoïdes. Cependant, l'utilisation de ces solvants nécessite souvent des étapes de traitement complexes et des conditions de température élevées (Liu, 2022).

Selon (Liu, 2022), il a été également mentionné que les conditions de stockage jouent un rôle crucial dans la préservation de la qualité des flavonoïdes. En effet, les flavonoïdes sont des composés instables et sont facilement sujets à des modifications pendant le stockage. Diverses voies de dégradation des flavonoïdes sont affectées par des facteurs tels

III. Résultats et discussion

que l'oxygène, la lumière et la température. Les conditions de stockage, incluant la température, la durée et les techniques utilisées, ont un impact sur la synthèse, la rétention et la décomposition des flavonoïdes. Le taux de dégradation peut varier en fonction de la complexité du traitement appliqué. Ces processus peuvent altérer les structures des flavonoïdes et, par conséquent, leurs activités antioxydantes.

Même en l'absence de lumière avec une faible quantité d'oxygène, les flavonoïdes se révèlent être des composés instables. La stabilité des flavonoïdes et leur activité biologique sont fortement influencées par l'exposition à la lumière. La magnitude de la dégradation dépend quant à elle de la structure moléculaire. Les flavonoïdes qui ne possèdent pas de structure alpha-énone sont généralement plus stables, tandis que ceux contenant un groupe hydroxyle en position 3 sont plus susceptibles d'être altérés. Il a été observé que l'activité antioxydante de la rutine et du mesquitol augmente au fur et à mesure que les flavonoïdes se dégradent. Cette observation suggère que les produits de dégradation peuvent présenter une activité antioxydante plus élevée que les composés d'origine (**Chaaban, 2017**).

Cette disparité de composition peut aussi être attribuée à divers facteurs tels que les conditions de culture, les variations génétiques des plantes, les pratiques agricoles et les méthodes de récolte. Ces résultats soulignent l'importance de prendre en compte l'origine géographique des échantillons lors de l'évaluation de leur potentiel thérapeutique ou de leur utilisation dans des applications cosmétiques, afin de garantir des résultats optimaux en termes de teneur en flavonoïdes potentiels.

III.4. Activité antibactérienne

Nous avons réalisé une étude visant à évaluer l'effet antibactérien de divers extraits d'hibiscus. Pour ce faire, nous avons utilisé la méthode de diffusion en milieu gélosé appelée encore méthode des disques pour tester la sensibilité des bactéries. Les diamètres des zones d'inhibition ont ensuite été mesurés. Cette méthode est la plus utilisée dans les laboratoires de diagnostic en Algérie (**Benchiha, 2016**). C'est la méthode internationale officielle utilisée dans de nombreux laboratoires de microbiologie clinique pour les tests de routine de sensibilité aux antimicrobiens. De nos jours, de nombreuses normes acceptées et approuvées sont publiées par le Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI) pour les tests de bactéries et de levures (**Belaroui, 2016**).

Partie 2.

III. Résultats et discussion

Dans le but de réduire les erreurs expérimentales et d'obtenir des résultats plus précis, nous avons effectué deux fois la sensibilité de chaque souche aux différents extraits de l'hibiscus. Le témoin négatif n'a présenté aucune zone d'inhibition.

Les figures 25,26 illustrent les zones d'inhibition autour des disques imprégnés d'extraits de plantes.

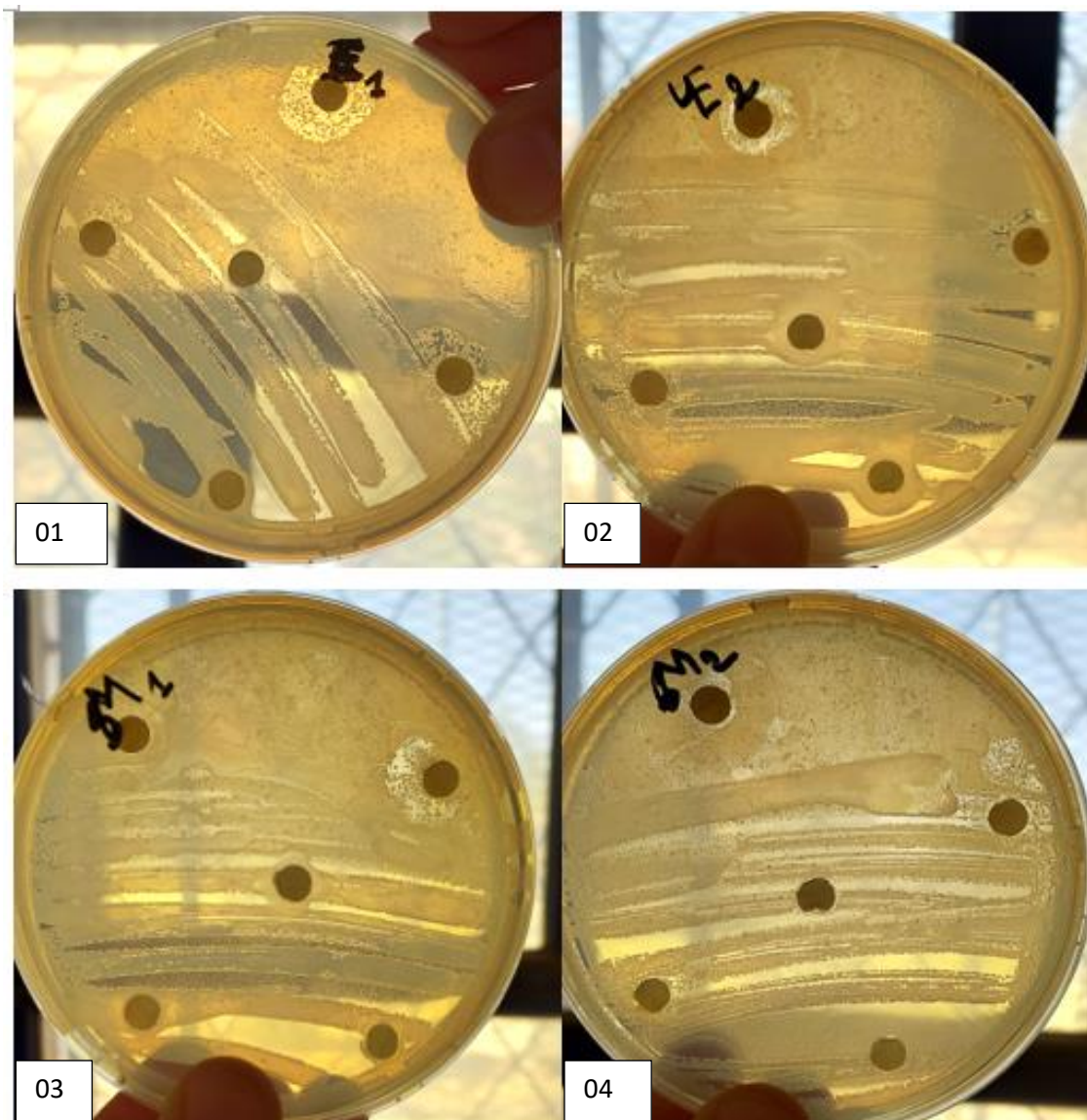


Figure 25. L'activité antibactérienne de l'extrait de fleurs d'hibiscus sur la bactérie *Staphylococcus aureus*. 1 : représente la zone d'inhibition l'extrait de l'Égypte la 1^{er} répétition, 2 : représente la zone d'inhibition l'extrait de l'Égypte la 2^{eme} répétition, 3 : représente la zone d'inhibition l'extrait de Mali la 1^{er} répétition, 4 : représente la zone d'inhibition l'extrait de Mali la 2^{eme} répétition

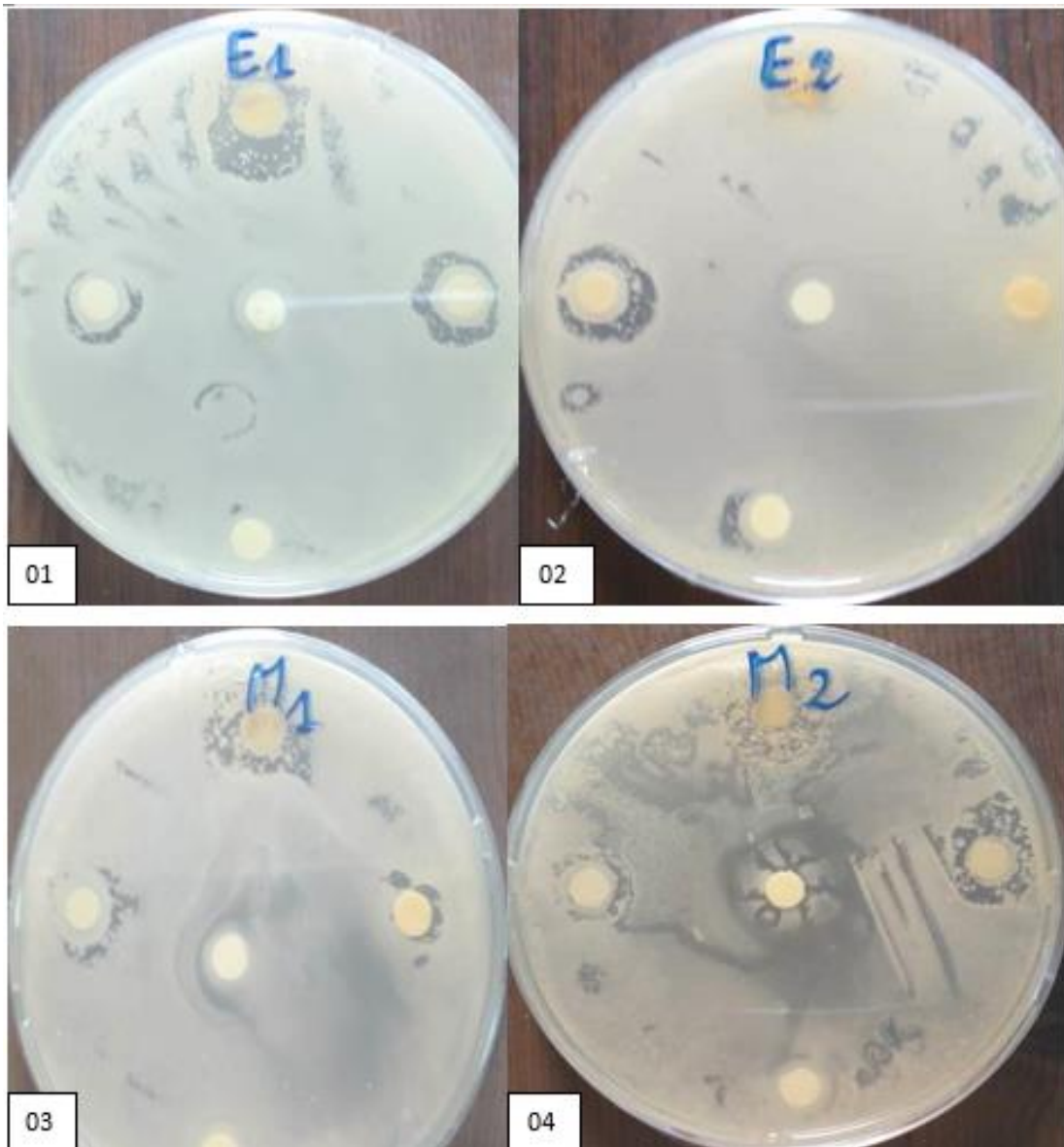


Figure 26. L'activité antibactérienne de l'extrait de fleurs d'hibiscus sur la bactérie *Escherichia coli*. 1 : représente la zone d'inhibition l'extrait de l'Égypte la 1^{er} répétition, 2 : représente la zone d'inhibition l'extrait de l'Égypte la 2^{eme} répétition, 3 : représente la zone d'inhibition l'extrait de Mali la 1^{er} répétition, 4 : représente la zone d'inhibition l'extrait de Mali la 2^{eme} répétition.

III. Résultats et discussion

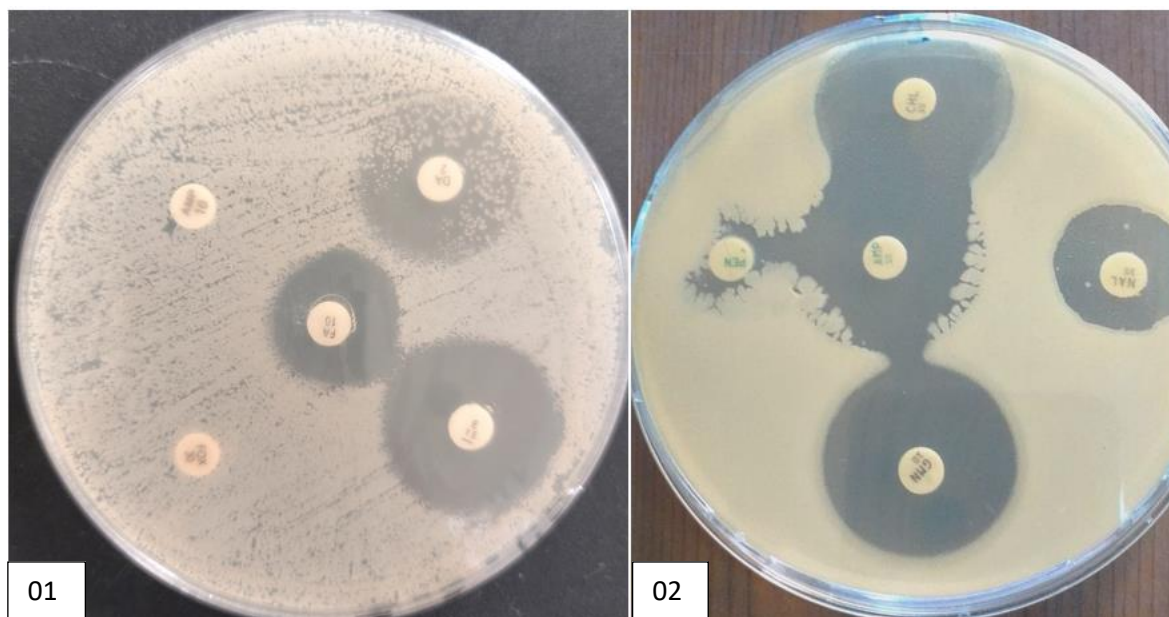


Figure 27. Photos des résultats des antibiogrammes. 1 : staphylococcus aureus ; 2 : E-coli.

Les photos ont été capturés lors de la mesure des diamètres des zones d'inhibition après 24 heures de croissance bactérienne à une température de 37°C. Les bactéries se développent à la surface des milieux de culture et leur sensibilité se manifeste par l'apparition d'une zone d'inhibition transparente autour des disques contenant les différents extraits.

Les tableaux XII ci-dessous présente les valeurs en millimètres des zones d'inhibition observées après avoir mis les extraits en contact avec les différentes souches étudiées.

Tableau XII. Diamètres moyens des zones d'inhibition en mm (moyenne \pm écart type) des extraits de calices de l'hibiscus (*Hibiscus sabdarifa* L.)

Bactérie	C (mg/ml)	Égypte			Mali		
		2	1	0,5	2	1	0,5
<i>E. coli</i>	Q (μ g)	20	10	5	20	10	5
Gram (-)	D (mm)	16 \pm 0,6	06 \pm 0,84	02 \pm 0,35	18 \pm 0,28	06 \pm 0,84	02 \pm 0,35

Partie 2.

III. Résultats et discussion

		Sensibilité	+	±	-	+	±	-
S.	C		2	1	0,5	2	1	0,5
	(mg/ml)							
aureus	Q		20	10	5	20	10	5
	(µg)							
Gram	D		16±0,6	14±0,6	02±0,35	07±0,6	03±0,4	02±0,35
	(mm)							
		Sensibilité	+	+	-	±	-	-

Les valeurs sont présentées sous forme de moyenne ± SD (n = 2). + : sensible, - : résistante, ± plus ou moins. Q : quantité de composés phénolique/disc. C : concentration. D : diamètre d'inhibition.

Le tableau XIII qui représente les résultats de l'antibiogramme des deux bactéries avec les antibiotiques les plus susceptibles d'être efficaces. La classification a été faite en suivant les recommandations de 2019 du SMF (comité de l'antibiogramme de la société française de microbiologie) de EUCAST (European committee on antimicrobial susceptibility testing) (EUCAST, 2019).

Tableau XIII. Résultats de l'antibiogramme.

Les bactéries	Les anti biotiques	Diamètre (mm)	La charge en µg/ml	Catégorie
S.aureus	Fusidique Acid	15	10	Intermédiaire
	Clindamycine	20	2	Sensible
	Ampicilline	0	10	Résistante
	Cefoxitin	0	30	Résistante
	Erythromycine	30	15	Sensible
E- coli	Chloramphénicol	30	30	Sensible
	Pénicilline	0	1	Résistante
	Ampicilline	26	10	Sensible
	Gentamicine	27	10	Sensible
	Nalidixic	21	10	Sensible

Partie 2.

III. Résultats et discussion

Les résultats de tableau XIII montre des tests d'activité antibactérienne des extraits des calices de l'hibiscus ont révélé ce qui suit :

Lorsque l'extrait d'Égypte était utilisé à une concentration de 2 mg, le diamètre de la zone d'inhibition était similaire, avec une valeur moyenne de 16 mm pour les deux bactéries. En revanche, pour l'extrait du Mali à la même concentration, on a observé que *E. coli* était plus sensible que *S. aureus*, avec un diamètre de 18 mm pour *E. coli* et 7mm pour *S. aureus*.

À une concentration de 1 mg, les résultats ont différencié. Pour l'extrait d'Égypte, *S.aureus* s'est révélé plus sensible que *E-coli*, avec un diamètre de 14 mm pour *S.aureus* et 6mm pour *E-coli*. Pour l'extrait du Mali, les résultats ont également différencié, où *E-coli* était plus sensible que *S.aureus*, avec un diamètre de 6 mm pour *E-coli* et 3 mm pour *S. aureus*.

À la dernière concentration de 0,5 mg, les résultats étaient les mêmes pour les extraits et les deux bactéries, avec une valeur moyenne de 2 mm.

La sensibilité d'un microorganisme dépend certainement de la variabilité de composition de l'extrait et aussi du microorganisme lui-même.

D'après l'étude qui a été fait par (**marquez-rodriguez, 2020**) Les bactéries Gram-négatives se sont révélées plus sensibles aux composés phénoliques que les bactéries Gram+ positives dans son étude sur les extraits phénoliques d'hibiscus. Cela a été attribué aux variations structurelles observées dans l'enveloppe cellulaire des bactéries (y compris les composants de la membrane cytoplasmique et de la paroi cellulaire) entre les bactéries Gram-positives et Gram-négatives.

En analysant le tableau XII qui représente les résultats de l'antibiogramme, nous avons observé que les différences entre les zones d'inhibition des antibiotiques et les diamètres des zones de nos extraits étaient relativement faibles. Parmi les antibiotiques testés, la plus grande zone d'inhibition était de 30 mm, tant pour le *Staphylococcus aureus* que pour *Escherichia coli* (Staphylocoque avec l'érythromycine et *E-coli* avec le chloramphénicol). Le plus petit diamètre de zone d'inhibition était de 15 mm, observé chez *E-coli* avec l'acide fusidique, tandis que chez *S. aureus*, le plus petit diamètre était de 21mm avec la nalidixic acid.

Nous avons également remarqué que *S. aureus* était résistant à deux antibiotiques, l'ampicilline et la céfoxitine. De même, *E-coli* s'est révélée résistante à la pénicilline.

Partie 2.

III. Résultats et discussion

Ces observations indiquent que nos extraits n'ont pas montré des diamètres de zone d'inhibition nettement supérieurs à ceux des antibiotiques testés. Cependant, il convient de noter que nos extraits peuvent contenir des composés actifs qui agissent différemment des antibiotiques traditionnels, ce qui pourrait expliquer leur efficacité malgré les différences de taille des zones d'inhibition.

D'après (**Hamirat, 2022**), les résultats du test de diffusion sur agar révèlent que l'activité antibactérienne des extraits dépend de la bactérie cible. En effet, l'extrait aqueux d'hibiscus a montré une activité antimicrobienne modérée avec un diamètre d'inhibition de la croissance de 18,33 mm. En réalité, les extraits méthanoliques d'hibiscus ont montré un diamètre d'inhibition de 17,12 mm, la sensibilité d'un microorganisme dépend certainement de la variabilité de la composition de l'extrait et aussi du microorganisme lui-même le tableau suivant montre les résultats :

Tableau XIV. Les résultats de la zone d'inhibition et détermination de CMI et CMB avec deux différentes méthodes d'extraction

Extrait aqueux de <i>H. sabdariffa</i>					Extrait méthanolique de <i>H. sabdariffa</i>			
/	ZI	CMI	CMB	CMB/ CMI	ZI	CMI	CMB	CMB/ CMI
<i>S. aureus</i>	18±0	2,342	9,375	4	17±1	2,342	4,68	2
<i>E-coli</i>	17±1	2,342	9,375	4	15±1	2,343	9,375	4

ZI. Zone d'inhibition ; CMI. Concentrations Minimales Inhibitrices ; CMB. Concentrations Minimales Bactéricides

Si nous comparons nos résultats avec ceux de ce tableau, nous constatons que les résultats ne diffèrent pas beaucoup, mais il existe une différence dans la sensibilité des souches. Les souches de staphylocoques sont plus sensibles que *E-coli* pour les deux méthodes d'extraction.

Les différences observées entre notre résultat et ceux d'une étude antérieure peuvent être attribuées à plusieurs facteurs. Tout d'abord, l'origine des extraits, les différences dans la méthodologie, les conditions expérimentales et les méthodes d'analyse peuvent influencer les résultats obtenus. De plus, les souches bactériennes utilisées dans les deux études peuvent présenter des sensibilités différentes aux extraits de *H. sabdariffa* en raison de leurs caractéristiques intrinsèques. De plus, la variabilité naturelle dans la composition chimique

Partie 2.

III. Résultats et discussion

des extraits de plantes peut jouer un rôle dans les divergences observées. Enfin, les conditions environnementales pendant les tests antimicrobiens peuvent également contribuer aux différences de résultats.

Cette activité antibactérienne d'*H.sabdariffa* peut être attribuée à l'action des composés bioactifs qui sont connus par leur action antimicrobienne (Al-Hashimi, 2012).

III.5. Analyse globale des résultats

Le tableau ci-dessous rassemble les résultats obtenus dans notre étude :

Tableau XV. Représentation globale des résultats de l'étude

<i>Ech.</i>	<i>Masse globale mg</i>	<i>Masse de la fraction extraite mg</i>	<i>Masse des composés phénoliques mg</i>	<i>Masse des flavonoïdes mg</i>	<i>Activité antibactéri enne</i>
<i>Egypte</i>	10000	690	32,97	14,56	+
<i>Mali</i>	10000	790	22,23	10,65	+

+ : actif

Selon le tableau XV, nous constatons que les composés phénoliques ne représentent qu'une infime fraction de la masse totale de l'hibiscus car ils sont issus du métabolisme secondaire de la plante comme indiqué dans la partie bibliographique et sont actifs à de faibles concentrations (*cf. chapitre 2*).

D'ailleurs l'hibiscus aurait un taux de TPC plus élevé par rapport au chou (*Brassica oleracea*) et à la betterave (*Beta vulgaris*) (Abdel-Chaafi, 2019). D'autres études ont également rapporté que la roselle avait un niveau de TPC plus élevé par rapport à quatre autres fleurs comestibles : les œillets (*Dianthus caryophyllus*), les tournesols (*Helianthus annuus*) et les violettes pourpres et roses (*Saintpaulia ionantha*) (Rezend, 2019) ; dix plantes traditionnelles des îles Andaman et Nicobar (Singh, 2011) ; et dix espèces de plantes comestibles communes trouvées dans la région méditerranéenne (Rbabah, 2011).

D'après le tableau XIV et les figures 28 et 29, nous constatons que les composés phénoliques ne représentent qu'une petite partie de la fraction totale d'extraite (5% pour l'hibiscus de l'Egypte et 3% pour celui du Mali) et qu'il n'existe pas de corrélation entre le taux d'extraction le taux de phénols totaux.

III. Résultats et discussion

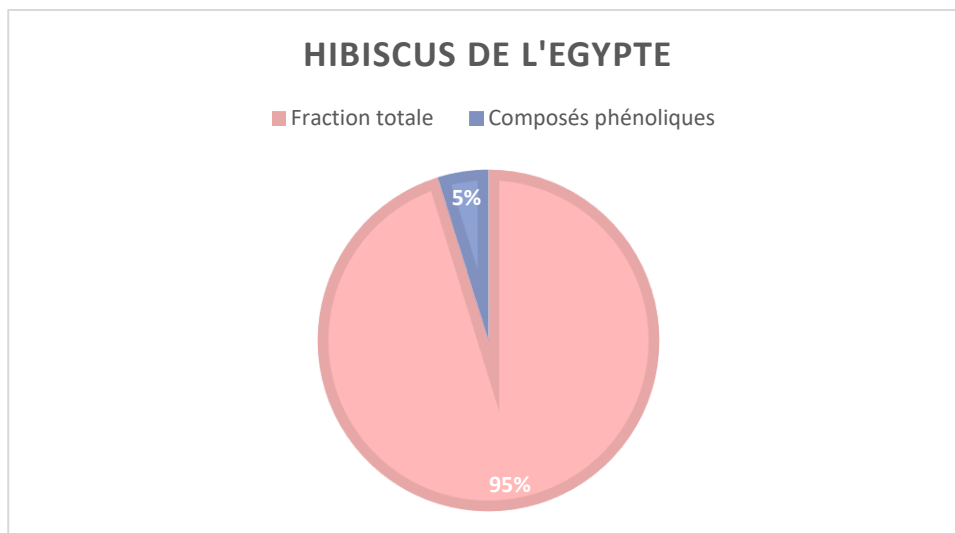


Figure 28. Graphique représentant les composés phénoliques par rapport à la fraction totale de l'échantillon de l'Egypte.

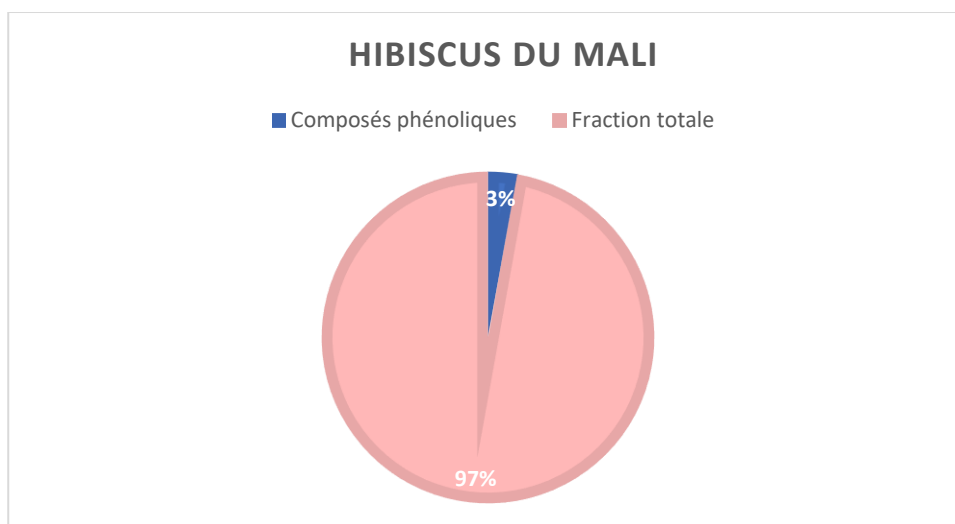


Figure 29. Graphique représentant les composés phénoliques par rapport à la fraction totale de l'échantillon du Mali.

Cela suggère que les solvants utilisés sont suffisamment sélectifs pour attirer spécifiquement les composés phénoliques, mais qu'une purification supplémentaire serait recommandée pour éviter les interférences lors de la lecture au spectrophotomètre et obtenir de meilleurs résultats. Elles soulignent également que l'utilisation d'un seul étalon, comme l'acide gallique, peut présenter des limites, et qu'il serait judicieux de confirmer les résultats par une analyse HPLC afin de compléter l'étude.

Partie 2.

III. Résultats et discussion

D'après (Fukushima, 2009), La méthode HPLC est un moyen précis de quantifier la quantité de chaque molécule de polyphénol, offrant ainsi une mesure précise. Cependant, étant donné la dispersion importante des molécules de polyphénols, il est impossible de mesurer toutes les molécules en utilisant seulement quelques échantillons standard, ce qui peut parfois entraîner une surestimation de l'hypothèse.

En revanche, la méthode de dosage colorimétrique de la teneur en polyphénols, comme la méthode de Folin-Ciocalteu, est simple à réaliser et permet d'estimer les teneurs globales en polyphénols, qui regroupent une variété de molécules.

Selon les données présentées dans le tableau XVI et représentées dans les figures 30 et 31, le pourcentage de flavonoïdes par rapport aux composés phénoliques est très important. Il est de 44 % pour l'hibiscus d'Égypte et de 52 % pour l'hibiscus du Mali. Il a été rapporté que l'hibiscus aurait les niveaux les plus élevés en flavonoïdes par rapport au chou (*Brassica oleracea*) et aux betteraves (*Beta vulgaris*) (Abdel-Chaafi et al., 2019).

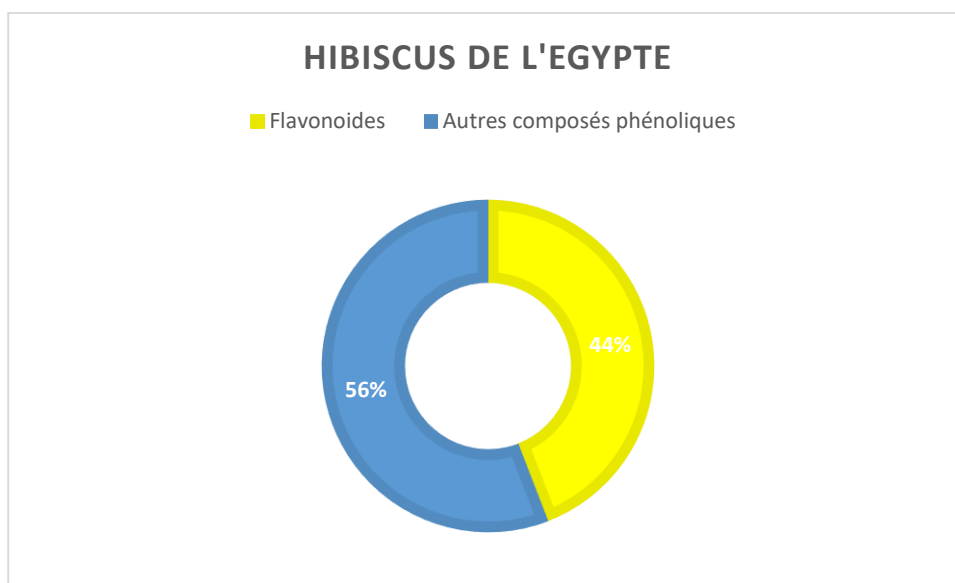


Figure 30. Graphique représentant les flavonoïdes par rapport aux composés phénoliques de l'échantillon de l'Égypte.

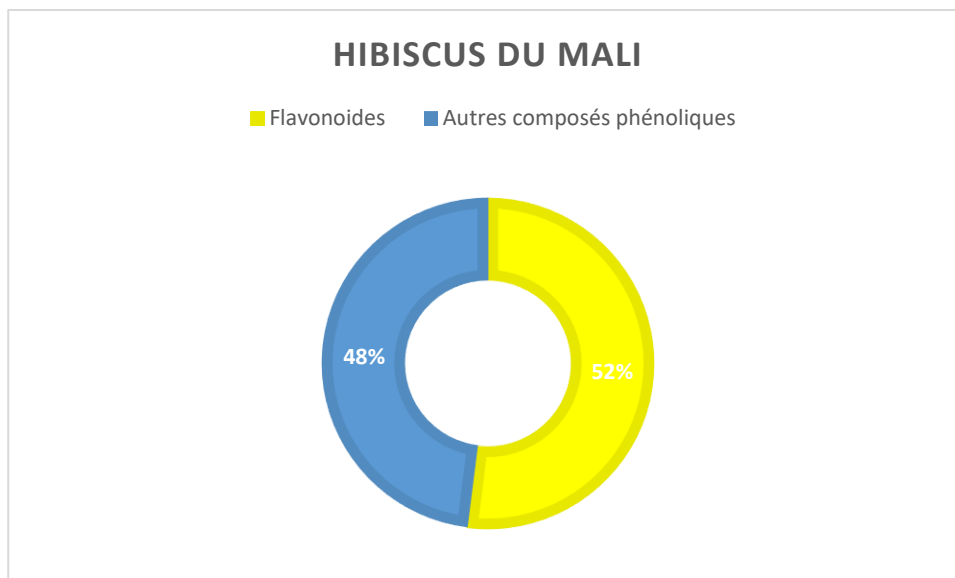


Figure 31. Graphique représentant les composés phénoliques par rapport à la fraction totale de l'échantillon du Mali.

Nous remarquons une corrélation positive entre le taux de phénols totaux et le taux de flavonoïdes trouvés dans notre étude. Le même résultat a été trouvé dans les études menés par (Amaya-Cruz, 2018) et (Deli, 2019).

L'activité antibactérienne des extraits peut être attribué à leur richesse en composés bioactifs. En effet ils se sont révélé être remarquablement riches en composés phénoliques et surtout en flavonoïdes, qui sont connus pour leurs propriétés antimicrobiennes. Ces composés peuvent jouer un rôle clé dans l'activité inhibitrice contre les bactéries.

Les flavonoïdes sont des substances antimicrobiennes efficaces contre un large éventail de micro-organismes, dont ils sont capables à se complexer avec des protéines extracellulaires et des protéines solubles et complexer avec les parois cellulaires bactériennes (Al-Hashimi, 2012)

conclusion

Conclusion

Notre étude visait à investiguer le contenu bioactif d'*Hibiscus sabdariffa L.* dans le but de valoriser cette plante. Cette étude comparative que nous avons menée entre deux échantillons d'origine différentes a permis d'obtenir des résultats soulignant des différences significatives quant à la teneur en composés phénoliques et flavonoïdes ainsi qu'à l'activité antibactérienne des deux localités.

Les résultats obtenus démontrent que cette plante est très riche en composés phénoliques et en flavonoïdes ce qui peut expliquer en partie ses propriétés thérapeutiques. En comparant les valeurs obtenues avec ceux trouvés dans la bibliographie, nous avons pu constater qu'elles étaient supérieures à la plupart des études menées. Cela peut être dû à l'efficacité de la méthode d'extraction ou à d'autres facteurs génétiques et environnementaux.

Nous avons constaté que l'échantillon de l'Égypte issu du marché algérien présentait une concentration plus élevée en composés phénoliques et en flavonoïdes par rapport à celui du Mali. Cette différence peut être attribuée à des facteurs environnementaux et à des variations génétiques.

De plus, nos résultats ont démontré que les deux échantillons possédaient une activité antibactérienne contre les deux types de bactéries testées, *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli*. Cependant, il est important de noter que l'extrait d'hibiscus de l'Égypte s'est révélé plus actif et a montré une inhibition plus prononcée des bactéries par rapport à celui du Mali. Ces observations indiquent la présence de substances bioactives efficaces dans l'*Hibiscus sabdariffa L.*, qui peuvent être utilisées comme agents antibactériens potentiels.

L'activité antibactérienne s'est révélée corrélée à la concentration en composés phénoliques et en flavonoïdes. Ce qui démontre que les composés phénoliques sont responsables de l'inhibition des bactéries. Cependant des études complémentaires sont nécessaires pour comprendre les mécanismes spécifiques aux composés actifs et pour explorer davantage afin de maximiser leur potentiel bénéfique.

En conclusion, l'hibiscus est une plante qui offre de nombreuses utilisations dans le secteur agroalimentaire comme matière première ou comme additif alimentaire d'origine naturel. Tout d'abord, ses fleurs riches en pigments naturels sont utilisées comme colorant naturel pour divers produits alimentaires tels que les jus, les confiseries et les glaces. En plus

Conclusion

d'apporter une teinte rouge vif, l'hibiscus offre également des propriétés conservatrices grâce à ses composés antimicrobiens, permettant ainsi d'améliorer la durée de conservation des aliments. De plus, cette plante est réputée pour sa teneur élevée en antioxydants, ce qui en fait un ajout précieux pour lutter contre les radicaux libres et préserver la qualité nutritionnelle des aliments transformés. Ainsi, l'hibiscus est un aliment nutraceutique et un ingrédient polyvalent qui peut apporter à la fois couleur, conservation et valeur antioxydante aux produits agroalimentaires.

Cette étude sur l'*Hibiscus sabdariffa L.* fournit des informations précieuses pour la valorisation de cette plante et ouvre la voie à de nombreuses perspectives intéressantes. La poursuite de la recherche dans ces domaines permettra d'approfondir notre compréhension de cette plante, d'optimiser son utilisation dans l'industrie agroalimentaire et de développer de nouveaux produits innovants répondant aux besoins des consommateurs en matière de naturalité, de qualité et de sécurité alimentaire.

Référence bibliographique

Les références bibliographiques:

A

- Agronomie. (2023). Rôle antioxydant des polyphénols. Récupéré de <https://agronomie.info/fr/role-antioxydant-polyphenols/>
- AL-HASHIMI, Alaa G. Antioxidant and antibacterial activities of Hibiscus sabdariffa L. extracts. Food Science and Biotechnology Department, Agriculture College, Basrah University, Iraq. African Journal of Food Science, 15 November, , vol.6(21), p. 506-511.
- Ali, B. H., Al Wabel, N., & Blunden, G. (2005). Phytochemical, pharmacological and toxicological aspects of Hibiscus sabdariffa L.: a review. Phytotherapy Research, 19(5), 369-375. doi: 10.1002/ptr.1628
- Aziz, Z.; Wong, S.Y.; Chong, N.J.2013, Effects of Hibiscus sabdariffa L. on serum lipids: A systematic review and meta-analysis.J. Ethnopharmacol. 150, 442–450.

B

- Bahorun T., (1997). « Substances naturelles actives: la flore mauricienne, une source d’approvisionnement potentielle », Food Agric, Res. N° special: 83-95.
- Bourgou S, Beji R S, Medini F et Ksouri R., (2016). « Effet du solvant et de la méthode d’extraction sur la teneur en composés phénoliques et les potentialités antioxydantes d’Euphorbia helioscopia », Journal of New Sciences, Volume 28, Issue 12, pages 1649-1655, April 2016.
- Brink, M., Achigan-Dako, E. G., Chauvet, M., & Sremonsma, J. S. (2012). Ressources végétales de l’Afrique tropicale 16 : Plantes à fibre. Fondation PROTA/CTA. Wageningen, Pays-Bas. ISBN 978-92-9081-483-2.
- Bush, L. M., & Vazquez-Pertejo, M. T. (avr. 2022). Infections par Escherichia coli (E. coli). Examen médical. Récupéré de <https://www.msmanuals.com/fr/professional/maladies-infectieuses/bacilles-gram-n%C3%A9gatifs/infections-par-escherichia-coli>

C

- Cassidy, A., Hanley, B., & Lamuela-Raventos, R. M. (2000). Isoflavones, lignans and stilbenes – origins, metabolism and potential importance to human health. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(7), 1044-1062. doi: 10.1002/(SICI)1097-0010(20000515)80:7<1044::AID-JSFA586>3.0.CO;2-N
- Cassol, L. ; Rodrigues, E. ; Zapata Noreña, C.P.,2019. Extracting phenolic compounds from *Hibiscus sabdariffa* L. calyx using microwave assisted extraction. *Ind. Crops Prod*, 133, 168–177.
- Chaaban H, Ioannou I, Paris C, Charbonnel C et Ghoul M., (2017). « The photostability of flavanones, flavonols and flavones and evolution of their antioxidant activity », *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, Volume 336, pages 131-139.
- Chaaban H, Ioannou I, Paris C, Charbonnel C et Ghoul M., (2017). « The photostability of flavanones, flavonols and flavones and evolution of their antioxidant activity », *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, Volume 336, pages 131-139.
- Chalker-Scott, L. and Fuchigami, L. H. (1989). The Role of Phenolic Compounds in Plant Stress Responses. In *Low Temperature Stress Physiology in Crops* (1st Edition, pp. 14). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781351074186>
- Chen, J. H., Wang, C. J., Wang, C. P., Sheu, J. Y., Lin, C. L., & Lin, H. H. (2013). *Hibiscus sabdariffa* leaf polyphenolic extract inhibits LDL oxidation and foam cell formation involving up-regulation of LXR α /ABCA1 pathway. *Food Chemistry*, 141(1), 397-406.
- CISSE, M., DORNIER, M., SAKHO, M., DIOP, C. M., REYNES, M., & SOCK, O. (2009). La production du bissap (*Hibiscus sabdariffa* L.) au Sénégal. *Fruits*, 64, 111-124. doi: 10.1051/fruits/2009006

- Cisse, M., Dornier, M., Sakho, M., Ndiaye, A., Reynes, M., & Sock, O. (2009). Le bissap (*Hibiscus sabdariffa* L.) : composition et principales utilisations. *Fruits*, 64, 179-193. DOI: 10.1051/fruits/2009013.
- Coelho, C. A., & Amorim, B. S. (2019). Expandindo a distribuição geográfica de *Hibiscus sabdariffa* L. (Malvaceae) : uma espécie naturalizada e negligenciada para a flora brasileira. *Hoehnea*, 46(1), e1012018. <http://dx.doi.org/10.1590/2236-8906-101/2018>
- Confiture extra de bissap. (2017). Récupéré sur bien manger: bienmanger.com/1F28557_Confiture_Extra_Bissap.html
- Crepus, K. (2023, 02 18). Bissap ou hibiscus : magique sur la pousse des cheveux. Récupéré sur kinky crepus: <https://kinkycrepus.com/bissap/>

D

- Da-Costa-Rocha, I., Bonnlaender, B., Sievers, H., Pischel, I., & Heinrich, M. (2014). *Hibiscus sabdariffa* L. – A phytochemical and pharmacological review. *Food Chemistry*, 165, 424-443. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.05.002.
- Daniel, O., Meier, M. S., Schlatter, J., & Frischknecht, P. (1999). Selected phenolic compounds in cultivated plants: ecologic functions, health implications, and modulation by pesticides. *Environmental health perspectives*, 107(Suppl 1), 109-114.
- DIONGOMA. (s.d.). Récupéré sur DIONGOMA: <https://www.diongoma.com/2020/10/21/lhibiscus-la-fleur-aux-multiples-bienfaits-a-integrer-dans-vos-cosmetiques/>

E

- Ellis, L.R., Zulfiqar, S., Holmes, M., Marshall, L., Dye, L., & Boesch, C. (2022). A systematic review and meta-analysis of the effects of Hibiscus sabdariffa on blood pressure and cardiometabolic markers. *Nutrition Reviews*VR, 80(6), 1723-1737.

G

- Garde-Cerdán, T, Gonzalo-Diago A, et Pérez-Álvarez E P., (2017). « Phenolic compounds: types, effects and research », Nova Science Publishers.
- GRABSSI Wissem. Etude phytochimique et évaluation des activités anti-oxydantes et antibactériennes des espèces : Hibiscus sabdariffa L. et Lepidium sativum L. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master II : Métabolisme secondaire et molécules bioactives. Constantine : Faculté des Sciences de la Nature et de la vie, 2016, p 1-97.

H

- Haddouchi F, Chaouche T M et Halla N., (2016). « Screening phytochimique, activités antioxydantes et pouvoir hémolytique de quatre plantes sahariennes d'Algérie », *Phytothérapie*, pages 1-9.
- Hamrita, B., Emira, N., Papetti, A., Badraoui, R., Bouslama, L., Ben Tekfa, M. I., Hamdi, A., Patel, M., Elsbali, A. M., Adnan, M., Ashraf, S. A., & Snoussi, M. (2022) Calyx Extracts: In Vitro and In Silico Modelling Approaches. *Phytochemical Analysis, Antioxidant, Antimicrobial, and Anti-Swarming Properties of Hibiscus sabdariffa L. Calyx Extracts: In Vitro and In Silico Modelling Approaches*,1252672. doi:10.1155/2022/1252672.
- Hamrita, B., Noumi, E., Papetti, A., Badraoui, R., Bouslama, L., Ben Tekfa, M. I., Snoussi, M et all. (2022). *Phytochemical Analysis, Antioxidant, Antimicrobial, and Anti-Swarming Properties of Hibiscus sabdariffa L. Calyx Extracts: In Vitro and In Silico Modelling Approaches. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2022, 1252672. doi: 10.1155/2022/1252672. PMID: 35646135; PMCID: PMC9142284.

- Hapsari, B.W.; Manikharda; Setyaningsih, W. Methodologies in the Analysis of Phenolic Compounds in Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.): Composition, Biological Activity, and Beneficial Effects on Human Health. *Horticulturae* 2021, 7, 35. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7020035>.
- Harborne, J. B. (1964). *Biochemistry of phenolic compounds*. London: Academic Press. Record Number: 19661105288.
- Huang, M.-T., Ho, C.-T., & Lee, C. Y. (Eds.). (1992). *Phenolic compounds in food and their effects on health II: Antioxidants and cancer prevention*. Developed from a symposium sponsored by the Division of Agricultural and Food Chemistry of the American Chemical Society at the Fourth Chemical Congress of North America (202nd National Meeting of the American Chemical Society), New York, New York, August 25-30, 1991. American Chemical Society.
- Husseina, R. M., Shaheinb, Y. E., El Hakimb, A. E., & Awadc, H. M. (2010). Biochemical and molecular characterization of three colored types of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Journal of American Science*.

I

- Izquierdo-Vega, J.A., Arteaga-Badillo, D.A., Sánchez-Gutiérrez, M., Morales-González, J.A., Vargas-Mendoza, N., Gómez-Aldapa, C.A., Castro-Rosas, J., Delgado-Olivares, L., Madrigal-Bujaidar, E. and Madrigal-Santillán, E. (2020). Organic Acids from Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.)—A Brief Review of Its Pharmacological Effects. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(9), 3194. doi: 10.3390/ijms21093194

J

- Jonemann, C. (2023, 30 mars). Hibiscus cheveux : bienfaits et préparation. AnotherTree. <https://anothertree.com/superfood/hibiscus/hibiscus-cheveux/>

K

- Kafeshani, M., Entezari, M. H., Karimian, J., Pourmasoumi, M., Maracy, M. R., Amini, M. R., & Hadi, A. (2017). A comparative study of the effect of green tea and sour tea on blood pressure and lipid profile in healthy adult men. *ARYA atherosclerosis*, 13(3), 109–116.
- Kane, A., Achor, N., Cosse, M., Pallet, D., Sakho, M., & Dornier, M. (2017). Identification of roselle varieties through simple discriminating physicochemical characteristics using multivariate analysis. *Food Science and Technology (Campinas)*, 39(2), 321-327. DOI: 10.1590/fst.27618.
- Kanedi, M. (2022). Indonesian plants potentially to be used as the hair growth promoting agent. *GSC Advanced Research and Reviews*, 10(03), 171-175. <https://doi.org/10.30574/gscarr.2022.10.3.0088>
- Kerharo J., Adam J.G., 1974. La pharmacopée sénégalaise traditionnelle – Plantes médicinales et toxiques, Vigot Frères, Paris, France.
- Krishnakumar, N. M., Latha, P. G., Suja, S. R., Shine, V. J., Shyamal, S., Anuja, G. I., ... & Rajasekharan, S. (2008). Hepatoprotective effect of *Hibiscus hispidissimus* Griffith, ethanolic extract in paracetamol and CCl₄ induced hepatotoxicity in Wistar rats. *Indian Journal of Experimental Biology*, 46(9), 653-659.
- Krishnakumar, N. M., Latha, P. G., Suja, S. R., Shine, V. J., Shyamal, S., Anuja, G. I., ... & Rajasekharan, S. (2008). Hepatoprotective effect of *Hibiscus hispidissimus* Griffith, ethanolic extract in paracetamol and CCl₄ induced hepatotoxicity in Wistar rats. *Indian Journal of Experimental Biology*, 46(9), 653-659.

L

- Lahmar I, Belghith H, Ben Abdallah F et Belghith K., (2017). « Nutritional Composition and Phytochemical, Antioxidative, and Antifungal Activities of *Pergularia tomentosa* L », *BioMed research international*, Volume 2017.

- Lamaison, J.L.C. and Carnet, A. (1990) Teneurs en Principaux Flavonoïdes des fleurs de *Crataegus Monogyna* Jacq et de *Crataegus Laevigata* (Poiret D. C) en Fonction de la Vegetation. *Pharmaceutica Acta Helvetia*, 65, 315-320.
- Les villes des innovations alimentaires. (2018). Récupéré sur La Communauté Pour nourrir demain: <https://www.pour-nourrir-demain.fr/une-buche-de-chevre-a-lhibiscus>
- Liu X M, Liu Y, Shan C H, Yang X Q, Zhang Q, Xu N et Song W., (2022). « Effects of five extraction methods on total content, composition, and stability of flavonoids in jujube », *Food Chemistry*, Volume 14, URL: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100287>.
- Lyu, J. I., Ryu, J., Jin, C. H., Kim, D. G., Kim, J. M., Seo, K. S., ... & Kwon, S. J. (2020). Phenolic compounds in extracts of *Hibiscus acetosella* (Cranberry Hibiscus) and their antioxidant and antibacterial properties. *Plants*, 9(9), 1131. doi: 10.3390/plants9091131.

M

- Macheix J, Fleuriet A et Jay-Allemand C., (2005). « Les composés phénoliques des végétaux : un exemple de métabolites secondaires d'importance économique », Presse phytotechnique et universitaire, Romandes.
- Mahadevan, N., Shivali, & Kamboj, P. (2009). *Hibiscus sabdariffa* Linn. –An overview. *Natural Product Radiance*, 8(1), 77-83.
- Mahmoudi S, Khali M et Mahmoudi N., (2013). « Etude de l'extraction des composés phénoliques de différentes parties de la fleur d'artichaut (*Cynara scolymus* L.) », *Nature & Technology*, Volume 9, pages 35-40.
- Makni, M., Chtourou, Y., Fetoui, H., Garoui, E. M., Boudawara, T., & Zeghal, N. (2011). Evaluation of the antioxidant, anti-inflammatory and hepatoprotective properties of vanillin in carbon tetrachloride-treated rats. *European Journal of Pharmacology*, 668(1-2), 133-139. doi: 10.1016/j.ejphar.07.001. PMID: 21777577.

- McClintock N.C., El Tahir I.M.,2004, Hibiscus sabdariffa L., in: Grubben G.J.H., Denton, O.A. (Ed.), PROTA 2 (Plant Resources of Tropical Africa): vegetables [CD-Rom], PROTA, Wagening., Neth.
- Mehinagic E, Bourles E et Jourjon F., (2011). « Composés des fruits d'intérêt nutritionnel: impact des procédés de transformation sur les polyphénols », Revue Suisse de Viticulture Arboriculture et Horticulture, Volume 43, Issue 6, 364.
- Mohamed, B. B., Sulaiman, A. A., & Dahab, A. A. (2012). Roselle (Hibiscus sabdariffa L.) in Sudan, Cultivation and Their Uses. Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences, 1(6), 48-54. ISSN 2277-1808.
- Mojica, L.; Rui, L.; de Mejia, E.G.2019, Hibiscus sabdariffa L.: Phytochemical Composition and Nutraceutical Properties. ACS Symp. Ser, 1109, 279–305.
- Morton J.F.,1987, Roselle, in: Dowling C.F. (Ed)., Fruits of warm climates, Media, Inc., Greensborough, USA, pp. 281–286.
- Mozaffari-Khosravi, H., Jalali-Khanabadi, B. A., Afkhami-Ardekani, M., & Fatehi, F. (2009). Effects of sour tea (Hibiscus sabdariffa) on lipid profile and lipoproteins in patients with type II diabetes. Journal of alternative and complementary medicine (New York, N.Y.), 15(8), 899-903. doi: 10.1089/acm.2008.0540. PMID: 19678781.
- Mphahlele R.R., et al. "Anthocyanin stability and color of South African red wines during maturation," Journal of Agricultural and Food Chemistry, vol. 56, no 21, 2008, pp. 10057-10064.

N

- Ndaiye, N. A., Dieng, M., Kane, A., Cisse, M., Montet, D., & Toure, N. C. (2015). Diagnostic et caractérisation microbiologique des procédés artisanaux de fabrication de boissons et de concentrés d'Hibiscus sabdariffa L au Sénégal. Afrique Science, 11(3), 197-210. ISSN 1813-548X.

O

- Obasuyi, O., McClure, J., Oronsaye, F. E., Akerele, J. O., Conly, J., & Zhang, K. (2020). Molecular Characterization and Pathogenicity of *Staphylococcus aureus* Isolated from Benin-City, Nigeria. *Microorganisms*, 8(6), 912. doi:10.3390/microorganisms8060912.
- Omhover-Fougy, L., & Hezard, B. (2023). Toxi-infections alimentaires collectives et microbiologie de l'alimentation. *Revue Francophone des Laboratoires*, 2023(550), 66-73.
- Ooreka. (s.d.). Hibiscus sabdariffa. Récupéré sur <https://jardinage.ooreka.fr/astuce/voir/729177/hibiscus-sabdariffa>
- Özmen, A. (2010). Cytotoxicity of Hibiscus rosa-sinensis flower extract. *Caryologia*, 63(2), 157-161. <https://doi.org/10.1080/00087114.2010.10589721>

P

- Pham, T.N.; Phu Nguyen, T.N.; Duc, L.T.; Nguyen, M.T.; Toan, T.Q.; Hong Nhan, L.T.; N-Vo, D.V.; Vo, T.S.; Bui, L.M. 2019, Response surface modeling and optimizing conditions for anthocyanins extraction from Hibiscus sabdariffa L. (Roselle) grown in Lam Dong, Vietnam. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng*, 544.
- Pires, T.C.S.P. ; Barros, L. ; Santos-Buelga, C. ; Ferreira, I.C.F.R. 2019. Edible flowers: Emerging components in the diet. *Trends Food Sci. Technol*, 93, 244–258.
- Puupponen-Pimiä R., et al. "Antimicrobial properties of phenolic compounds from berries," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 53, no 21, 2005, pp. 8169-8176.

R

- Ross, I. A. (2013). Hibiscus sabdariffa. In *Medicinal Plants of the World, Vol. 1: Chemical Constituents, Traditional and Modern Medicinal Uses* (2nd ed.). Totowa, NJ: Humana Press Inc.

S

- Santos-Buelga C., et al. "Polyphenols as natural additives to improve food quality and stability," *Journal of Food Science*, vol. 72, no 8, 2007, R152-R159.
- SARNI-MANCHADO., VERONIQUE C., 2006. Les polyphénols en agroalimentaires. Collection sciences et technique agroalimentaire, édition TEC et DOC, Paris (France) : 398.
- Savio, S. E., Issiaka, T., & Fatoumata, T. (2020). Activité antioxydante in vitro des extraits des graines de *Hibiscus sabdariffa* L. récoltées dans quatre localités du Mali. *International Journal of Applied Research*, 6(10), 557-560.
<https://doi.org/10.22271/allresearch.2020.v6.i10i.7393>
- Savio, S. E., Issiaka, T., & Fatoumata, T. (2020). Activité antioxydante in vitro des extraits des graines de *Hibiscus sabdariffa* L. récoltées dans quatre localités du Mali. *International Journal of Applied Research*, 6(10), 557-560. DOI:
<https://doi.org/10.22271/allresearch.2020.v6.i10i.7393>
- Selamoglu, Z. (2017). Polyphenolic Compounds in Human Health with Pharmacological Properties. *Journal of Traditional Medicine & Clinical Naturopathy*, 6(4), 1000e137
- Shruthi, V. H., Ramachandra, C. T., Nidoni, U., Hiregoudar, S., Naik, N., & Kurubar, A. R. (2016). Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) as a source of natural colour: A review. *Plant Archives*, 16(2), 515-522.
- Sillero L, Prado R, Welton T et Labidi J., (2021). « Energy and environmental analysis of flavonoids extraction from bark using alternative solvents », *Journal Of Cleaner Production*, Volume 308, 127286, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.127286.
- Sillero L, Prado R, Welton T et Labidi J., (2021). « Extraction of flavonoid compounds from bark using sustainable deep eutectic solvents », *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, Volume 24, 100544, doi: 10.1016/j.scp.2021.100544.
- Sim, Y. Y., Ong, W. T. J., & Nyam, K. L. (2019). Effect of various solvents on the pulsed ultrasonic assisted extraction of phenolic compounds from *Hibiscus*

cannabinus L. leaves. *Industrial Crops and Products*, 140, 111708.

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111708>

- Somu, C. A., Ravindra, S., Ajith, S., & Ahamed, M. G. (2012). Efficacy of a herbal extract gel in the treatment of gingivitis: A clinical study. *Journal of Ayurveda and Integrative Medicine*, 3(2), 85–90. doi: 10.4103/0975-9476.96525. PMID: 22707865. PMCID: PMC3371564.
- Sun, W., & Shahrajabian, M. H. (2023). Therapeutic Potential of Phenolic Compounds in Medicinal Plants-Natural Health Products for Human Health. *Molecules*, 28(4), 1845. doi:10.3390/molecules28041845

T

- Tabataba i Yazdi, F., Ali Zadeh Behbahani, B., Vasi i, A. R., Mortazavi, S. A., & Moradi, S. (2015). Investigation of the extracts antibacterial effect of Hibiscus Sabdariffa against strains of antibiotic resistance on pathogenic bacteria "in vitro". *FSCT 2015*, 13(55), 23-31.
- Telli, A, Mahboub N, Boudjeneh S, Siboukeur O. E. K et Moulti-Mati F., (2010). « Optimisation des conditions d'extraction des polyphénols de dattes lyophilisées (Phoenix dactylifera L.) variété ghars », *Annales des sciences et technologie*, Volume 2, Issue 2, pages 107-114, Décembre 2010.
- The Gandhara. (2020, 21 octobre). Préparation du thé, thé d'hibiscus. Récupéré de <https://the-gandhara.com/the-hibiscus/>.
- Tridage (2021) hibiscus
 - <https://www.tridge.com/fr/intelligences/hibiscus/production>
- Tseng, T. H., Kao, E. S., Chu, C. Y., Chou, F. P., Lin Wu, H. W., & Wang, C. J. (1997). Protective effects of dried flower extracts of Hibiscus sabdariffa L. against oxidative stress in rat primary hepatocytes. *Food and Chemical Toxicology*, 35(12), 1159-1164. doi: 10.1016/s0278-6915(97)85468-3.

V

- ushuaia. (2021). Récupéré sur ushuaia: <https://www.ushuaia-beaute.fr/Nos-secrets-de-beaute/Beaute/hibiscus-connaissiez-vous-ses-bienfaits-pour-la-peau-et-les-cheveux>
- Velasco J., et al. "Antioxidant activity of brown pigments from oxidized sunflower oil," *Journal of Food Science*, vol. 66, no 7, 2001, pp. 1042-1046.
- Vermerris, W., & Nicholson, R. (2006). Families of phenolic compounds and means of classification. *Phenolic compound biochemistry*, 1-34.

W

- Wu X., et al. "Anthocyanins in corn: occurrence, identification, and use as functional food ingredients," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 50, no 10, 2002, pp. 2510-2516.

Z

- Zannou O, Pashazadeh H, Ibrahim S A, Koca I et Galanakis C M., (2022). « Green and highly extraction of phenolic compounds and antioxidant capacity from kinkeliba (*Combretum micranthum* G. Don) by natural deep eutectic solvents (NADESs) using maceration, ultrasound-assisted extraction and homogenate-assisted extraction », *Arabian Journal of Chemistry*, Volume 15, Issue 5, doi: 10.1016/j.arabjc.2022.103752.
- ZEGHAD Nadia. Etude des contenus polyphénoliques de deux plantes m'édicinales d'intérêt économique (*Thymus vulgaris*, *Rosmarinus officinalis*) et évaluation de leur activité antibactérienne. Thèse : université Mentouri. Constantine, 2009.
- Zihad, S.M.N.K.; Gupt, Y.; Uddin, S.J.; Islam, M.T.; Alam, M.R.; Aziz, S.; Hossain, M.; Shilpi, J.A.; Nahar, L.; Sarker, S.D.2019, Nutritional value, micronutrient and antioxidant capacity of some green leafy vegetables commonly used by southern coastal people of Bangladesh. *Heliyon*, 5, e02768.

Les annexes

Annexe 1. Composition des milieux de culture utilisés

1- Gelose Muller-Hinton

Infusion de viande de bœuf.....	300g
Hydrolysate de caséine.....	17.5g
Amidon.....	01,5g
Agar.....	17g
Eau distillée.....	1000ml

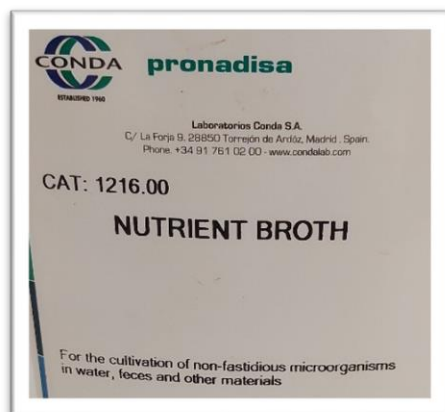
Ph=7,3



2- Bouillon nutritive

Peptones.....	10g
Extrait de bœuf.....	1g
Extrait de levure.....	2g
Chlorure de sodium.....	5g

Ph=6,3.



Annexe 2.

Tableau comparant les méthodes d'extraction utilisées pour les composés phénoliques de l'hibiscus sabdariffa et leurs activités antioxydantes. Abréviations : TPC (total des composés phénoliques), TFC (total des composés flavonoïdes), TAC (total des composés anthocyaniques), UAE (extraction assistée par ultrasons), MAE (extraction assistée par micro-ondes), SFE (extraction par fluide supercritique), GAE (équivalents d'acide gallique), Cy-3-GE (équivalents de cyanidin-3-glucoside), CE (équivalents de catéchine), QE (équivalents de quercétine), ACEI (inhibition de l'enzyme de conversion de l'angiotensine), FRAP (capacité de réduction des ions ferriques), ORAC (capacité d'absorption des radicaux libres d'oxygène), DPPH (1-diphényl-2-picrylhydrazyl) et ABTS (acide 2,2'-azino-bis-3-éthylbenzthiazoline-6-sulfonique).

Country of Origin	Extraction Method	Solvent	Extraction Condition	Phenolics and Antioxidant Activity
			sample:solvent ratio 1:7.7	
Vietnam	maceration	50% ethanol	extraction temperature 56.9 °C extraction time 33.29 min	TAC (186.01 mg/L)
			sample:solvent ratio 1:16.7	
Mexico	maceration	purified water	extraction temperature 95 °C extraction time 20 min particle size 250–177 µm	TPC (14.10 mg GAE/g), TFC (10.18 mg CE/g), and TAC (5.68 mg Cy-3-GE/g)
				TPC, TAC, FRAP, ABTS,
Saudi Arabia	maceration	water	sample:solvent ratio 1:10 extraction temperature 100 °C extraction time 10 min	delphinidin 3-sambubioside, delphinidin 3-glucoside, cyanidin 3-sambubioside, and cyanidin 3-glucoside
				TPC, TAC, DPPH,
Mexico	maceration	50% ethanol	sample:solvent ratio 1:10 extraction time 2 h light protection with aluminum foil	delphinidin-3-O- sambubioside, delphinidin-3-O-glucoside (myrtillin), and cyanidin-3-O-sambubioside)
			sample:solvent ratio 1:8	
Vietnam	maceration	50% ethanol	extraction temperature 60 °C extraction time 30 min	TAC (180,82 mg Cy-3-GE/L)
			extraction temperature 56 °C pH 10.2	
Brazil	maceration	50% ethanol	extraction time 110 min, stirring	TPC (5.01 mg GAE/g)
			sample:solvent ratio 1:12.5 extraction time 72 h	Yield (27.3%), TPC (29.2 mg GAE/g) TFC (36.7 mg QE/g), DPPH (78%), and TBARS (21%)
Nigeria	maceration	methanol		
			sample:solvent ratio 1:50	
Mexico	maceration	96% ethanol	extraction temperature 65 °C	TAC (1.50 mg Cy-3-GE/g)
			sample:solvent ratio 1:4	Yield (4.91%), TPC (0.05 mg GAE/g), DPPH, gallic acid (0.75 g/kg), caffeic acid

Thailand	maceration	95% ethanol	extraction time 24 h shaking at 150 rpm	(0.39 g/kg), ferulic acid (0.06 g/kg), chlorogenic acid (0.74 g/kg) and quercetin (0.45 g/kg)
Germany	maceration	70% ethanol	sample:solvent ratio 1:10 extraction temperature 50 °C extraction time 48 h shaking at 150 rpm	TPC (0.04 µg/mL), TAC (3.16 mg Cy-3-GE/L), and DPPH (60.38%)
Senegal	maceration	water	sample:solvent ratio 1:15 extraction temperature 30 °C extraction time 240 min	TAC (220 mg delphinidin 3-xylosylglucoside/L), ORAC (165 µmol Trolox/g)

Egypt	maceration	50% ethanol	sample:solvent ratio 1:50 extraction temperature 180 °C extraction time 30 min	TPC (43.1 mg GAE/g), gallic acid (0.91 mg/g), protocatechuic acid (163.20 mg/g)
Mexico	maceration	distilled water	sample:solvent ratio 1:50 extraction temperature 95 °C extraction time 60 min	TPC, phenolic acids, flavonoids, anthocyanins
China	maceration UAE	0.1% HCl aqueous solution HP β -CD aqueous solution	sample:solvent ratio 1:15 extraction temperature 25 °C extraction time 30 min sample:solvent ratio 1:27 extraction temperature 54 °C extraction time 53 min 300 W; 25 kHz	TAC (4.80 mg/g)
Malaysia	UAE	80% methanol	sample:solvent ratio 1:20 extraction temperature 60 °C extraction time 30 min	TPC, ACEI activity (0.01 μ g/mL), 36 identified metabolites, including flavonoids, anthocyanins, and organic acids
Brazil	UAE	25% ethanol	extraction temperature 65 °C extraction time 45 min	TPC (2.24 mg GAE/g), TAC (3.58 mg Cy-3-GE/g)
Mexico	UAE	80% ethanol	sample:solvent ratio 1:20 extraction temperature 60 °C extraction time 32 min 180 W; 40 KHz	Yield (red calyx: 20.84%; white calyx: 13.74%), TPC (red calyx: 13.02 mg GAE/g; white calyx: 12.74 mg GAE/g), TFC (red calyx: 4.42 mg CE/g; white calyx: 4.53 mg CE/g), TAC (red calyx: 1.80 mg Cy-3-GE/g; white calyx: 0.01 mg Cy-3-GE/g), DPPH activity (red calyx: 74.58%; white calyx: 36.95%)
Indonesia	UAE	water	sample:solvent ratio 1:15 extraction at room temperature extraction time 30 min frequency 40 kHz	TAC
Portugal	UAE	39.1% ethanol	extraction time 26.1 min power 296.6 W	TAC (51.76 mg/g), delphinidin-3-O-sambubioside, cyanidin-3-O-sambubioside
Malaysia	MAE	52% ethanol	sample:solvent ratio 1:15 extraction time 4 min microwave power 450 W	TFC (94.32 mg QE/g), 95 flavonoid compounds
NA	MAE	water	sample:solvent ratio 1:10 extraction time 15 min microwave power 10 W	yield (24.6%), TPC (2.72%)
Turkey	MAE	DES in 50% water	microwave power 550 W	TPC (31.90 mg GAE/g), TAC (3.00 mg Cy-3-GE/g), DPPH 95.89%

Country of Origin	Extraction Method	Solvent	Extraction Condition	Phenolics and Antioxidant Activity
Malaysia	MAE	distilled water	sample:solvent ratio 1:14 extraction temperature 60 °C extraction time 3 min microwave power 500 W	TPC (70.53 mg GAE/g) 77 phenolic compounds
Spain	SFE	16.7% ethanol	extraction temperature 64 °C pressure 391 bar	TPC (8.63 mg GAE/g) 22 identified and quantified phenolic compounds
Malaysia	SFE	CO ₂ , co-solvent 75% ethanol	extraction temperature 70 °C extraction pressure 8.90 MPa flow rate 9.49% particle size 350 μm	yield 26.73%
Indonesia	SFE	CO ₂ , co-solvent acetone (5% V/V)	extraction time 2.5 h extraction temperature 343.15 K pressure 24 Mpa	TPC (8.63 mg GAE/g)

Résumé

L'hibiscus est une fleur comestible présentant un grand potentiel industriel en raison de ces multiples propriétés bénéfiques. L'objectif de notre étude est la caractérisation et la valorisation de son contenu bioactif. Nous avons choisi de comparer deux échantillons l'un issue de l'Égypte et l'autre du Mali. L'extraction des composés phénoliques a été faite par un montage à reflux et le dosage par la méthode de Folin-ciocalteu. Les flavonoïdes ont été dosés par le trichlorure d'aluminium. Par la suite nous avons testé la sensibilité de deux bactéries aux deux extraits *Escherichia coli* (Gram-) et *Staphylococcus aureus* (Gram+). Nous avons relevé des taux importants de composés phénoliques pour les deux échantillons avec $329,8 \pm 0,006$ mg EAG/100g MS pour celui de l'Égypte et $222,8 \pm 0,014$ mg EAG/100gMS pour le Mali. Les teneurs en flavonoïdes étaient importantes également avec $145,6 \pm 0,02$ mg EQ/100g MS pour l'échantillon d'Égypte et $106,5 \pm 0,1$ mg EQ/100g MS pour celui du Mali. Les deux bactéries se sont révélées sensibles aux deux extraits. Nous concluons que la richesse de l'hibiscus en composés phénoliques et les caractéristiques de ceux-ci (antioxydant, anti-inflammatoire, antibactérien ..., etc.) pourrait être à la base de ses vertus thérapeutiques. L'hibiscus constitue une bonne source d'antioxydants naturels et pourraient être considérés comme un aliment fonctionnel ou ingrédient d'aliment fonctionnel.

Mots clés : *Hibiscus sabdariffa* L. ; Calices ; Composés phénoliques ; Flavonoïdes ; Activité antibactérienne.

Abstract

Hibiscus is an edible flower with great industrial potential due to its multiple beneficial properties. The objective of our study is the characterization and valorization of its bioactive content. We chose to compare two samples, one from Egypt and the other from Mali. The extraction of phenolic compounds was carried out using a reflux setup, and the quantification was done using the Folin-Ciocalteu method. Flavonoids were measured using aluminum trichloride. Subsequently, we tested the sensitivity of two bacteria, *Escherichia coli* (Gram-) and *Staphylococcus aureus* (Gram+), to the two extracts. We observed significant levels of phenolic compounds in both samples, with 329.8 ± 0.006 mg GAE/100g DW for the Egypt sample and 222.8 ± 0.014 mg GAE/100g DW for the Mali sample. The flavonoid contents were also significant, with 145.6 ± 0.02 mg QE/100g DW for the Egypt sample and 106.5 ± 0.1 mg QE/100g DW for the Mali sample. Both bacteria were found to be sensitive to the two extracts. We conclude that the richness of hibiscus in phenolic compounds and their characteristics (antioxydant, anti-inflammatory, antibacterial, etc.) could be the basis for its therapeutic virtues. Hibiscus is a good source of natural antioxidants and could be considered as a functional food or functional food ingredient.

Keywords: *Hibiscus sabdariffa* L.; Calyces; Phenolic compounds; Flavonoids; Antibacterial activity.

المخلص

الكرديه هو زهرة قابلة للأكل تتميز بإمكانات صناعية كبيرة بسبب خصائصها المتعددة المفيدة. هدفنا في هذه الدراسة هو توصيف وتسليط الضوء على محتواها الحيوي النشط. قررنا مقارنة عينتين، إحداهما من مصر والأخرى من مالي. تم استخلاص المركبات الفينولية باستخدام عملية الانصهار، وتم قياسها باستخدام طريقة فولين-سيوكالتو. تم قياس الفلافونويدات باستخدام كلوريد الألومنيوم الثلاثي. بعد ذلك، قمنا باختبار حساسية كل من البكتيريا *إشريشيا كولاي* (سالبة لصبغة غرام) والعنقوديات الذهبية (موجبة لصبغة غرام) تجاه العينتين. لاحظنا وجود تركيزات مهمة من المركبات الفينولية في العينتين بتراوح 0.006 ± 329.8 ملغ EAG/100 جم وزن جاف للعينة في حالة مالي. وكانت تراكيز الفلافونويدات مهمة أيضاً، بتراوح 0.02 ± 145.6 ملغ EQ/100 جم وزن جاف للعينة في حالة مصر، و 0.014 ± 222.8 ملغ EAG/100 جم وزن جاف للعينة في حالة مالي. وكانت تراكيز الفلافونويدات مهمة البكتيريا المستخدمة حساسة لكلا الاستخلاصتين. نستنتج أن ثراء الكركديه بالمركبات الفينولية وخصائصها (مضادة للأكسدة، مضادة للالتهابات، مضادة للبكتيريا، إلخ) قد يكون أساس فوائدها العلاجية. الكركديه تشكل مصدرًا جيدًا للمضادات الأكسدة الطبيعية ويمكن اعتبارها غذاءً وظيفيًا أو مكونًا للأغذية الوظيفية.

كلمات مفتاحية: كركديه سابداريفا الكباد، القرون، المركبات الفينولية، الفلافونويدات، النشاط المضاد للبكتيريا.