

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université ABOU BEKR BELKAID –TLEMCEM–



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, des Sciences de
la Terre Et de l'Univers



Département de Biologie

*Laboratoire Antibiotiques Antifongiques : physico-chimie, synthèse et activité
Biologique*

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Sciences Biologiques

Option : Biochimie

Thème :

**Etude phytochimique et évaluation *in vitro* de l'activité
antioxydante et antidiabétique des extraits des graines de coriandre
(*Coriandrum sativum* L)**

Présenté par : M^{elle} BOUGHERARA Nihel

Soutenu le 30-06-2025 devant les membres de jury :

Président	Pr. AZZI Rachid	Professeur	Université de Tlemcen
Encadrant	Dr. ABBOU Fayza	Maître de conférence B	Université de Tlemcen
Examinatrice	Dr. BOUALI Wafaa	Maître de conférence A	Université de Tlemcen

Année Universitaire : 2024/2025

Remerciement

Avant tout, nous tenons à remercier Allah جل جلاله le Tout puissant et Miséricordieux, qui nous a accordé la bonne santé, le courage, et la volonté pour mener ce travail jusqu'à son bout.

J'exprime d'abord mes profonds remerciements à, **M^{elle} ABBOU Fayza**, maître assistant de classe B, au département de Biologie, faculté des sciences de la nature et de la vie, sciences de la terre et de l'univers Université Abou Bakr Belkaïd de Tlemcen pour avoir accepté de m'encadrer et diriger ce modeste travail, pour sa gentillesse, sa bienveillance, son soutien, sa disponibilité permanente et ses précieux conseils. J'ai eu le grand plaisir de travailler sous sa direction.

J'exprime également mes remerciements à **Mr. AZZI Rachid** professeur au département de Biologie, faculté des sciences de la nature et de la vie, sciences de la terre et de l'univers, Université Abou Bakr Belkaïd - Tlemcen, pour l'honneur qu'il me fait de présider le jury ainsi que pour sa sympathie.

J'adresse mes sincères remerciements à **Mme BOUALI Wafaa**. Maître de conférences A au département de Biologie, université Abou-Bekr Belkaid-Tlemcen, d'avoir accepté d'examiner ce travail ainsi que sa gentillesse.

C'est un grand merci que j'adresse à tous les membres du laboratoire Antibiotiques, Antifongiques, Physico-chimiques, Synthèse et activité biologique de l'Université de Tlemcen pour leurs gentillesse et leurs conseils.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À ma chère mère **Benmansour Hafida**, Ce qui a eu tout le mérite de mon succès et pour j'ai atteint ce niveau de réussite.

À mon père **Moulay Driss**, qui a fait de son mieux et a essayé de me mettre à l'aise dans mon parcours universitaire.

À ma chère sœur et à mes chers frères : **Ikram, Nassim, Abdelkader**.

À mes chéries grands père : **Bougherara Abdelkader, Benmansour Mustapha, Bougherara Malika** الله يرحمهم et **Bougherara khadidja** .

À tous les membres de ma famille (**Bougherara, Benmansour**).

À une amie exceptionnelle : « **Bensalah Hadjer** »

Que notre amitié soit un voyage remplis de souvenirs inoubliables et de moments de bonheur partagés.

Une grande dédicace pour moi, pour tous mes efforts et ma patience.

Et finalement à tous les professeurs qui m'ont enseigné et ont veillé à ce que

J'atteigne ce jour.

المخلص

الكزبرة (*Coriandrum sativum* L) هي نبتة من فصيلة الأبيسيه (Apiécées) ، وهي منتشرة على نطاق واسع في منطقة البحر الأبيض المتوسط وتستخدم في الطب التقليدي لخصائصها العلاجية العديدة.

الهدف من عملنا هو دراسة الكيمياء النباتية وتقييم النشاط المضاد للأكسدة والتحقق في التأثير المثبط لمستخلصات المائية - الايثانولية من بذور الكزبرة.

التحليل النوعي الذي اجري على المستخلصات الخام المائية الايثانولية المحضرة بواسطة النقع والغلي والنقع اظهر وجود الفلويديات والمواد العفصية (التانينات) والكينونات الحرة والتربينويدات والسكريات المختزلة.

أظهر تحديد نسبة المركبات الفينولية أن المستخلص المحضر بواسطة النقع يحتوي على أعلى نسب من البوليفينولات والفلافونويدات الكلية حيث بلغت القيم على التوالي 0.23 ± 199.7 ميكروغرام مكافئ حمض الغاليك /ملغ المستخلص و 0.94 ± 83 ميكروغرام مكافئ كاتيشين /ملغ من المستخلص.

تم تقييم النشاط المضاد للأكسدة باستخدام اختبار محاصرة الجذور الحرة DPPH ، حيث اظهر المستخلص المحضر بواسطة النقع أقوى نشاط مضاد للجذور الحرة بقيمة IC_{50} تبلغ 2.89 ملجم/مل. و مع ذلك يظل هذا النشاط ضعيفا مقارنةً بنشاط حمض الأسكوربيك ($IC_{50} = 0,098 \pm 0,001$ ملغ/مل) BHA ($IC_{50} = 0,003 \pm 0,073$ ملغ/مل).

فيما يخص النشاط المضاد لمرض السكري الذي تم تقييمه في المختبر من خلال اختبار تثبيط نشاط إنزيم الألفا-أميلاز فقد أظهرت النتائج أن مستخلص المائي الايثانولي الخام المحضر بواسطة النقع قد ابدى أفضل تأثير مثبط على إنزيم الألفا اميلاز ، حيث بلغت قيمة IC_{50} 0.14 ± 7.48 ملغ/مل.

الكلمات المفتاحية: بذور الكزبرة؛ مركبات فينولية؛ نشاط مضاد للأكسدة؛ ألفا أميلاز.

Résumé

La coriandre (*Coriandrum sativum* L) est une plante de la famille des Apiécées, largement répandue dans la région méditerranéenne et utilisée en médecine traditionnelle pour ses nombreuses vertus thérapeutiques.

L'objectif de notre travail est l'étude phytochimique, l'évaluation de l'activité antioxydant et recherche de l'effet inhibiteur des extraits hydro-éthanoliques des graines de coriandre vis-à-vis de l'alpha amylase.

L'analyse qualitative réalisé sur les extraits bruts hydro-éthanoliques préparés par infusion, macération et décoction a mis en évidence la présence des alcaloïdes, des tanins, des quinones libres, des terpénoïdes et des sucres réducteurs.

Le dosage des composés phénoliques a montré que l'extrait préparé par infusion a présenté les teneurs les plus élevées en polyphénols et flavonoïdes totaux avec des valeurs de l'ordre de $199,7 \pm 0,23 \mu\text{g Eq AG/ mg E}$ et $83 \pm 0,94 \mu\text{g Eq C/mg E}$ respectivement.

L'activité antioxydant a été évaluée par la méthode de piégeage du radical libre DPPH dont l'extrait préparé par infusion a assuré l'activité antiradicalaire la plus puissante avec une IC_{50} de l'ordre de $2,89 \text{ mg/ml}$. Cette activité reste faible par rapport à celle de l'acide ascorbique ($\text{IC}_{50} = 0,098 \pm 0,001 \text{ mg/ml}$) et de BHA ($\text{IC}_{50} = 0,073 \pm 0,003 \text{ mg/ml}$).

Concernant l'activité antidiabétique évaluée *in vitro* par le test d'inhibition de l'activité de l' α -amylase. Les résultats obtenus ont montré que l'extrait brut hydro-éthanolique préparé par infusion a exercé le meilleur effet inhibiteur vis-à-vis de l' α -amylase avec un IC_{50} de l'ordre de $7,48 \pm 0,14 \text{ mg/ml}$.

Mots clés : les graines de coriandre ; composés phénoliques ; activité antioxydante ; alpha amylase.

Abstract

Coriander (*Coriandrum sativum* L) is a plant of the Apiaceae family. It is widespread in the Mediterranean region and widely used in traditional medicine for its many therapeutic virtues.

The aim of our work is to study the photochemistry, evaluate the antioxidant activity and investigate the inhibitory effect of hydro-ethanol extracts of coriander seeds.

Qualitative analysis of hydro-ethanolic crude extracts prepared by infusion, maceration and decoction revealed the presence of alkaloids, tannins, free quinones, terpenoids and reducing sugars.

Determination of phenolic compounds showed that the extract prepared by infusion presented the highest levels of total polyphenols and flavonoids, with values of around $199,7 \pm 0,23 \mu\text{g Eq AG/ mg E}$ and $83 \pm 0,94 \mu\text{g Eq C/ mg E}$ respectively.

Antioxidant activity was assessed using the DPPH free radical scavenging method, with the extract prepared by infusion providing the most potent free radical scavenging activity, with an IC_{50} of around $2,89 \text{ mg/ml}$. This activity remains low compared to that of ascorbic acid ($\text{IC}_{50} = 0,098 \pm 0,001 \text{ mg/ml}$) and BHA ($\text{IC}_{50} = 0,073 \pm 0,003 \text{ mg/ml}$).

Anti-diabetic activity assessed in vitro using the α -amylase inhibition assay. Results showed that the crude hydro-ethanol extract prepared by infusion exerted the best inhibitory effect on α -amylase, with an IC_{50} of $7,48 \pm 0,14 \text{ mg/ml}$.

Key words: coriander seeds; phenolic compounds; antioxidant activity; alpha amylase.

Table des matières

Dédicace	
Résumé	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction générale.....	1
Synthèse bibliographique	2
Chapitre 1 Généralités sur la plante.....	3
1.Généralités.....	4
2.Classification botanique	4
3.Description botanique	4
4.Répartition géographique	5
5.Composition chimique.....	5
6.Utilisation traditionnelle	5
7.Propriétés biologiques	6
Chapitre II Diabète sucré et alpha- amylase	8
1.Le diabète sucré	9
1.1.Classification.....	9
1.2.Traitement	9
2.Alpha-amylase (α-amylase).....	10
2.1. L'origine	10
2.2. Structure.....	11
2.3. Plantes médicinales à activité inhibitrice de l' α -amylase	12
Chapitre III Stress oxydatif.....	13

1. Le stress oxydatif	14
1.1. Définition	14
1.2. Les radicaux libres	14
1.3. Espèces réactives de l'oxygène (ERO)	14
1.4. Espèces réactives de l'azote (ERN)	14
1.5. Sources des radicaux libres	14
1.6. Cibles des radicaux libres	15
1.6.1. L'ADN	15
1.6.2. Les lipides	15
1.6.3. Les protéines	15
1.7. Les Antioxydants	15
MATERIEL ET METHODES.....	18
1. Matériel végétal.....	19
2. Préparation des extraits	19
2.1. Dégraissage du matériel végétal	19
2.2. Extraction par infusion.....	20
2.3. Extraction par macération	20
2.4. Extraction par décoction ou extraction à reflux	20
2.5. Calcul du rendement	21
3. Les tests phytochimiques.....	21
3.1. Les composés azotés	21
3.2. Les composés phénoliques.....	21
3.3. Composés terpéniques	22
4. Dosage des composés phénoliques.....	22
4.1. Dosage des polyphénols totaux.....	22
4.2. Dosage des flavonoïdes totaux.....	23
5. Activité antioxydant	24

5.1. Test de piégeage du radical libre DPPH (2,2 diphenyl-1-picryl hydrazyl).....	24
6. Activité antidiabétique	25
6.1. L'effet inhibiteur des extraits de graine de coriandre vis-à-vis de l'alpha amylase ;	25
Résultats et discussion.....	27
1. Etude phytochimique	28
1.1. Caractéristiques des extraits	28
1.2. Tests phytochimique :	28
1.3. Dosage des composés phénoliques :	29
2. Etude Biologique.....	32
2.1. Activité antioxydant.....	32
2.1.1. Test de piégeage de radical libre DPPH.....	32
2.2. Activité antidiabétique	34
2.2.1. L'effet inhibiteur des extraits des graines de coriandre vis-à-vis de l'alpha amylase	34
Conclusion.....	Erreur ! Signet non défini.
Références bibliographiques	39

Liste des tableaux

Tableau 1: classification botanique de <i>C. sativum</i> (Joujeh et al., 2018).....	4
Tableau 2: Les plantes médicinales inhibitrices de l'enzyme α -amylase.	12
Tableau 3: Les caractéristiques des extraits préparés des graines de coriandre :	28
Tableau 4: Les tests phytochimique des extraits bruts hydro-éthanoliques préparés à partir des graines de coriandre	29
Tableau 5: Teneurs en polyphénols et flavonoïdes totaux des différents extraits des graines de coriandre.....	31
Tableau 6: capacité de piégeage de radical libre DPPH des différents extraits des graines de coriandre.....	34
Tableau 7: Représente les IC50 des extraits bruts de graine de coriandre (EBI, EBM, EBD) et de l'Acarbose.....	36

Liste des figures

Figure 1: la partie aérienne et les graines de <i>Coriandrum sativum</i> L.,	5
Figure 2: Structure 3D de l' α -amylase.	12
Figure 3: image représente les graines de coriandre avant et après broyage (Photo originale 2025).	19
Figure 4: Le montage de soxhlet (A/ avant l'extraction par soxhlet ; B/après l'extraction par soxhlet)	20
Figure 5: Courbe d'étalonnage de l'acide gallique pour le dosage des polyphénols totaux ...	30
Figure 6: Courbe d'étalonnage de la catéchine pour le dosage des flavonoïdes totaux.....	31
Figure 7: Pourcentages d'inhibition de radical DPPH en fonction des concentrations de l'acide ascorbique et BHA.	32
Figure 8: Pourcentages d'inhibition de radical DPPH en fonction des concentrations des extraits (EBM, EBD, EBI).	33
Figure 9: Pourcentage d'inhibition de l'alpha amylase en fonction des concentrations de l'acarbose	35
Figure 10: Représente pourcentage d'inhibition des extraits (EBM EBD EBI) sur alpha amylase en fonction des concentrations.	35

Liste des abréviations

IC₅₀ : Concentration inhibitrice à 50%.

DPPH : 2, 2-diphényl-1-picrylhydrazyl.

BHA : Butyl hydroxy anisol.

EBI : Extrait brut hydro-éthanolique préparé par infusion.

EBM : Extrait brut hydro-éthanolique préparé par macération.

EBD : Extrait brut hydro-éthanolique préparé par décoction.

I% : Pourcentage d'inhibition.

ERO : Espèces réactives de l'oxygène.

ERN : Espèces réactives de l'azote.

µg Eq AG/mg E : Microgramme équivalent d'acide gallique par milligramme d'extrait.

µg Eq C/mg E : Microgramme équivalent catéchine par milligramme d'extrait.

Introduction générale

Le stress oxydatif, est défini comme un déséquilibre entre la production excessive d'oxydants et la capacité des systèmes antioxydants à les neutraliser, ce qui conduit à des dommages oxydatifs des biomolécules (les protéines, les lipides et les acides nucléiques) **(Garza-Lombó et al., 2020 ; Zhang et al., 2023)**. L'oxydation des macromolécules est corrélée à un risque de développement de plusieurs pathologies, notamment les maladies cardio-vasculaires, les maladies neurodégénératives, le cancer et le diabète sucré **(Favier, 2003)**.

Les plantes médicinales ont acquis une place importante dans l'arsenal thérapeutique dans le monde. Elles renferment divers métabolites secondaires, tels que les flavonoïdes, les tanins, les stéroïdes, les saponines et les alcaloïdes, qui contribuent de manière significative à leur effets thérapeutiques **(Crozier et al., 2009 ; Davies et Espley, 2013)**.

L'organisation mondiale de la santé (OMS) a estimé qu'environ 80% des habitants du monde ont recours à la médecine traditionnelle à base de plantes en tant que soins de santé primaire **(OMS, 2000 ; Eddouks et al., 2007)**. De nos jours, plus de 50% des médicaments sont d'origine végétale **(Jamshidi-Kia et al., 2018)**.

La valorisation des plantes médicinales de la flore nationale sera d'un grand apport pour l'industrie pharmaceutique Algérienne et aura un impact économique certain, cette flore regorge de plusieurs espèces de plantes encore peu ou pas étudiées mais dotées de réelles propriétés pharmacologique ; c'est le cas de *Coriandrum sativum*. La *Coriandrum sativum* est une plante appartenant à la famille des Apiacées, elle est employée dans la médecine traditionnelle et connue par leur propriétés antioxydants, anticancéreuses, hypolipidémiantes, hypotensives, antimicrobiennes et anti-inflammatoires **(Agisho et al., 2014 ; Prachayasittikul et al., 2018)**.

L'objectif de notre étude est de réaliser une analyse phytochimique et évaluer *in vitro* l'activité antioxydant et antidiabétique des extraits bruts des graines de coriandre (*Coriandrum sativum*).

Synthèse bibliographique

Chapitre I

Généralités sur la plante

1. Généralités

La famille des Apiécées (Apiaceae), anciennement appelée Ombellifères est une vaste famille qui comprend environ 3600 espèces réparties en 455 genres (**Abdulmanea et al., 2012 ; Demir et Korukluoglu, 2020**). Parmi lesquels la coriandre (*Coriandrum sativum*), également connue sous le nom de coriandre ou persil chinois en et en arabe appelée Kuzbarahn (كزبرة) (**Chahal et al., 2018**). Est une plante de la famille des Apiacées, originaire du bassin méditerranéen. Elle est largement utilisée en médecine traditionnelle et moderne en raison de ses nombreux bienfaits nutritionnels et médicaux liés à ses propriétés médicinales (**Pate e al., 2011 ; Pham et al., 2019**).

2. Classification botanique

La classification botanique de l'espèce *C. sativum* est représentée dans le tableau suivant :

Tableau 1: classification botanique de *C. sativum* (**Joujeh et al., 2018**).

Domaine : Eucaryote
Règne : Plantae
Embranchement : Spermaphyte
Sous embranchement : Agiosperme
Classe : Magnoliopsida
Sous classe : Asteranae
Ordre : Apiales
Famille : Apiaceae
Genre : <i>Coriandrum</i> L.
Espèce : <i>Coriandrum sativum</i> L

3. Description botanique

Coriandrum sativum est une plante herbacée annuelle qui peut atteindre 60 cm de hauteur. Elle se caractérise par des tiges grêles qui portent des feuilles glabres, luisantes, divisées en segments ovales, cunéiformes, dentées pour les feuilles inférieures et bipennatiséquées pour les feuilles supérieures (**Wichtl et Anton, 2003 ; Bruneton, 2009**). Cette plante se distingue par ses involucelles et ses fleurs de petite taille, d'une blancheur immaculée. Ces fleurs sont disposées en ombelles composées de 3 à 8 rayons. Les pétales présentent une échancrure et une orientation vers l'extérieur (**Figure 1**).



Figure 1: La partie aérienne et les graines de *Coriandrum sativum* L., (Asgarpanah et Kazemivash, 2012).

4. Répartition géographique

La coriandre est originale de la Méditerranée orientale. Elle est distribuée en Europe (Danemark, Finlande, Irlande, Belgique, Allemagne, France et Espagne), en Afrique du Nord (Algérie, Maroc, Tunisie et Éthiopie), ainsi qu'en Asie (Iran, Irak, Palestine, Jordanie, Liban, Syrie, Turquie, Chine, Inde et Pakistan) (Al Sanafi, 2016).

5. Composition chimique

Coriandrum sativum est une plante riche en composés phénoliques, notamment en acides phénoliques tels que l'acide chlorogénique, l'acide vanillique, l'acide caféique, l'acide férulique, l'acide p-coumarique, et en flavonoïdes dont la quercétine, le kaempférol et l'apigénine (Sahib et al, 2013 ; El-Zaeddi et al., 2017). Les feuilles de *Coriandrum sativum* sont également riches en vitamines (vitamine B2, vitamine C, vitamine A) (Sahib et al., 2013). De plus le Linalol, l' α -pinène et le décénal sont les principaux constituants de l'huile essentielle de *Coriandrum sativum* (Wichtl, Anton ; 2003 ; Bruneton, 2009, Tisserand et al.,2014 ; Matasyoh et al.,2009).

6. Utilisation traditionnelle

La coriandre est utilisée en médecine traditionnelle associée au miel, pour traiter les fractures osseuses. Elle est également employée pour traiter l'herpès (Manniche, 2006). Les feuilles de *Coriandrum sativum* sont utilisées dans le traitement du diabète, des maladies cardiovasculaires, de l'hépatite et de l'hypertension artérielle. De plus l'huile essentielle de coriandre a des propriétés spasmolytiques. Elle stimule l'excrétion de suc gastrique (stomacique) et possède également des vertus carminatives (Khare, 2007).

En Égypte, elle est utilisée en bain tiède pour lutter contre la fièvre (**Manniche, 2006**). Au Maghreb, les femmes en Tunisie préparent traditionnellement la marmite de l'accouchée, qui contient de la coriandre, pour faciliter l'allaitement. En Libye, les graines servent à fabriquer un sirop contre les affections de la poitrine (**Ghedira, Goetz, 2015**). En Algérie, l'huile essentielle des graines de coriandre est utilisée dans le domaine pharmaceutique et cosmétique où ils possèdent des effets anti inflammatoires, et elle est aussi utilisée en parfumerie (**Peana et al., 2002 ; Clarke, 2008**). Les graines et les feuilles de coriandre sont largement utilisés dans les aliments comme épice, condiment et arôme (**Gil et al., 2002**).

7. Propriétés biologiques

Selon la bibliographie *Coriandrum sativum* présente plusieurs propriétés biologiques :

➤ **Activité antimicrobienne**

L'huile des graines de coriandre est un produit naturel aux multiples bienfaits. Elle est classée au deuxième rang des huiles essentielles les plus puissantes au monde. Elle possède des propriétés antimicrobiennes qui lui permettent de lutter contre un large éventail de bactéries, Gram-positives et Gram-négatives (**Silva et Domingues, 2017**).

De même, l'évaluation de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle de coriandre a montré leur efficacité envers *Bacillus subtilis*, ainsi que *Stenotropomonas maltophilia* et *Penicillium expansum* (**Kačániová et al., 2020**).

(**Amin et al., (2021)**) ont montré que l'extrait de graines de coriandre agit sur plusieurs microorganismes pathogènes. Ces microorganismes sont notamment *Salmonella typhi*, *Staphylococcus aureus* et *Candida tropicalis Mucor*sp, *Emericella nidulans*.

➤ **Activité antioxydante**

Les différents extraits des feuilles (Les extraits aqueux, fractions acétate d'éthyle) de coriandre ont montré une activité antiradicalaire, un pouvoir chélateur de métaux et un pouvoir réducteur de fer (**Maser et al., 2023**). De plus l'huile essentielle des graines de coriandre a montré une activité antioxydante remarquable avec une valeur de IC₅₀ de l'ordre 1,53mg/ml (**Nouioura et al., 2024**).

➤ **Activité antidiabétique**

Une étude a montré l'activité hypoglycémiant de l'huile essentielle des grains de coriandre et cela pourrait être attribuée à l'action synergique de ses composés bioactifs, à savoir le linalol, le géranyle acétate et γ terpinene. En effet l'action anti hypoglycémique de

l'huile essentielle des graines de coriandre est associée à la stimulation de la sécrétion d'insuline et l'amélioration de l'absorption du glucose et leur métabolisme par le muscle (**Abou el-Soud et al.,2012**). De plus les travaux réalisés par **Maser et al., (2023)** ont montré que les extraits des feuilles de coriandre inhibent l'activité enzymatique de l'alpha-glucosidase, de l'alpha-amylase et de la lipase.

Chapitre II

Diabète sucré et alpha- amylase

1. Le diabète sucré

De nombreuses pathologies sont associées au stress oxydatif. La production excessive des radicaux libres oxygénés, tels que le superoxyde, le radical hydroxyle et le peroxyde d'hydrogène peuvent entraîner des modifications métaboliques et des mutations d'ADN ce qui favorise l'installation de certaines maladies chroniques et le développement de leurs complications, comme les cancers, les maladies neurodégénératives et le diabète sucré, (**khebièch et al., 2011 ; Pisoschi et al., 2021**).

Selon l'OMS, le diabète sucré 7ème cause de décès dans le monde. Le diabète sucré est un trouble métabolique caractérisé par une hyperglycémie chronique résultant d'une réduction de la sécrétion de l'insuline, ou de l'action de l'insuline, ou les deux associées (**OMS, 2016**).

1.1. Classification

Le diabète sucré comprend principalement le diabète de type 1, le diabète de type 2 et d'autres types tels que le diabète gestationnel ;

- ✚ Diabète de type 1 : est une maladie auto-immune qui entraîne carence totale en insuline, due à la destruction des cellules β des îlots de Langerhans. Ce qui oblige les patients diabétiques de prendre l'insuline exogène pour maintenir la glycémie ;
- ✚ Diabète de type 2 : est causé par un insulino-déficience combiné à une résistance à l'insuline (**ElSayed, 2021**).
- ✚ Diabète gestationnel : un diabète diagnostiqué suite à une intolérance au glucose au cours du deuxième ou du troisième trimestre de la grossesse et qui parfois disparaît après accouchement (**Punthakee et al., 2018**).

1.2. Traitement

L'hyperglycémie non traitée provoque des complications aiguës et chroniques, dont la rétinopathie, la neuropathie et la cardiopathie. En fonction de type de diabète et des complications développées, le traitement repose sur les mesures hygiéno-diététiques, l'insuline exogène, et/ou les antidiabétiques oraux (**Pillon et al., 2014 ; OMS, 2016**). Le traitement médicamenteux englobe trois catégories principales :

- ✚ Les agents qui stimulent la sécrétion d'insuline (sulfamides hypoglycémisants et les glitinides) ;
- ✚ Les agents qui augmentent la sensibilité à l'insuline (la metformine et les biguanides) ;

✚ Les agents qui inhibent l'hydrolyse des glucides dans l'intestin en limitant ainsi leur absorption intestinale ; cette approche thérapeutique consiste à diminuer l'hyperglycémie postprandiale, par inhibition de l' α -amylase, une enzyme intestinale responsable de la digestion des glucides, et par la suite l'inhibition de leur absorption intestinale.

2. Alpha-amylase (α -amylase)

L' α -amylase (EC 3.2.1.1), sont des endoamylases qui catalysent l'hydrolyse des liaisons glycosidiques α -(1-4) présentes dans la partie interne de la chaîne d'amylose pour produire un maltotriose et un maltose, ou d'amylopectine pour produire le glucose, le maltose et la dextrine limite. Les α -amylases sont des métalloenzymes calciques dont leur activité dépend de la présence des ions Ca^{2+} .

En effet, elles sont largement utilisées dans divers domaines industriels tels que l'industrie pharmaceutique, l'industrie de détergents, du papier et du pain (**kumari et al., 2012 ; Tiwari et al., 2015**).

2.1. L'origine

Elle est largement présente dans la nature, provient des plantes, d'animaux, des champignons, des bactéries et des archées (**Kerényiová et Janeček, 2020**).

➤ Origine animale :

L' α -amylase est présente dans la salive et le pancréas des mammifères (**Nouadri, 2011**) ; elle n'est pas largement utilisée dans l'industrie en raison de son approvisionnement limité et des coûts élevés liés à l'environnement et aux espèces animales (**Khairuddin et al., 2016**).

➤ Origine végétale :

Les α -amylases végétales jouent un rôle essentiel dans le métabolisme glucidique, car elles participent à la conversion de l'amidon en sucres réducteurs qui sont la source énergétique nécessaire à la germination. Ces enzymes végétales sont synthétisées par un mécanisme cellulaire complexe durant la germination des graines, qui requiert une activité enzymatique très importante pour mobiliser les réserves et permettre le développement de l'embryon. (**Amaral et al., 2024**).

➤ **Origine microbienne :**

Les α -amylases sont produits par une grande variété de microorganismes tels que les bactéries du genre *Bacillus* comme *Bacillus Amyloliquefaciens*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus stearothermophilus* ; et les champignons filamenteux du genre *Aspergilluse* tels que *Aspergillus oryzae* et *Aspergillus niger* (Tiwari et al., 2015).

2.2. Structure

Les alpha-amylases sont des enzymes caractérisées par une structure tridimensionnelle à trois domaines (figure 4) :

- **Domaine A** : est constitué d'un repliement hautement symétrique de huit brins β parallèles disposés en tonneau, entouré de huit hélices α .
- **Domaine B** : est situé entre le domaine A et le domaine C. il est relié au domaine A par des ponts disulfures.
- **Domaine C** : a une structure en feuillet β attachée au domaine B via une simple chaîne polypeptidique (Macgregor et al., 2001).

Le site actif de l'alpha-amylase se situe dans une fente entre les domaines A et B, et est constitué de trois résidus d'acides aminés : un résidu de glutamate (Glu) et deux résidus d'aspartate (Asp). Le calcium est situé entre les domaines A et B, et peut agir soit comme stabilisateur de la structure tridimensionnelle, soit comme activateur allostérique (De Souza et al., 2010).

Un ion chlorure est représenté par une sphère jaune, tandis qu'un ion calcium est indiqué par une sphère bleue. Les résidus au niveau du site catalytique sont illustrés sous forme de bâtonnets rouges (figure 2) (Kalinovskii, 2023).

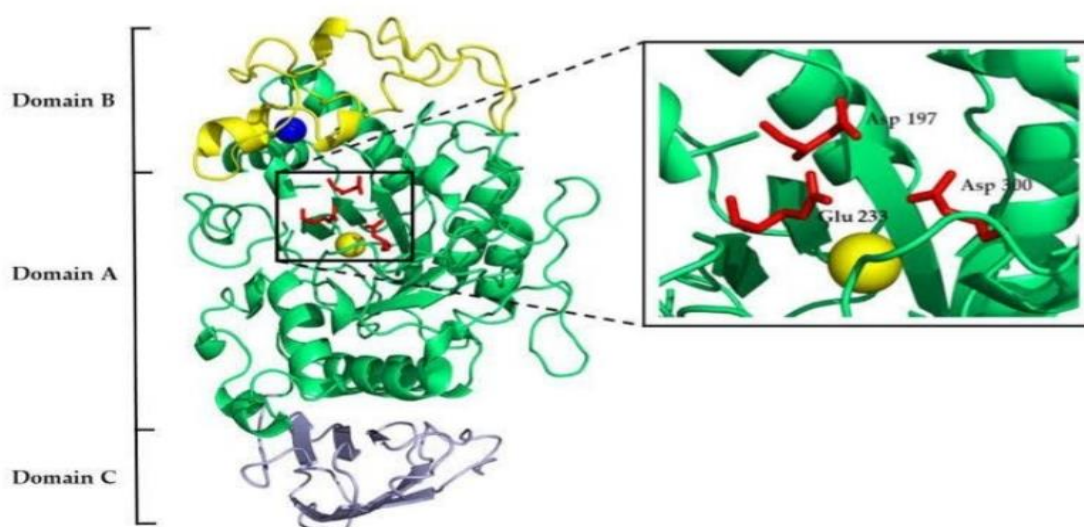


Figure 2: Structure 3D de l' α -amylase (Kalinovskii, 2023).

2.3. Plantes médicinales à activité inhibitrice de l' α -amylase

A l'échelle mondiale plusieurs extraits de plantes médicinales sont utilisés pour leurs vertus thérapeutiques, montrant une activité inhibitrice de l' α -amylase (Kashtoh et Beak, 2023). Le tableau suivant représente les différentes parties des plantes médicinales qui ont un effet inhibiteur vis-à-vis de l' α -amylase ainsi que leur concentration inhibitrice (IC_{50}).

Tableau 2: Les plantes médicinales inhibitrices de l'enzyme α -amylase.

Plante	Partie utilisée	Extrait	IC_{50}	Référence
<i>Juglans regia</i>	Les feuilles	Extrait aqueux	0,32 mg/ml	(Rahimzadeh et al., 2014)
<i>Hibiscus sabdariffa</i>	Les fleurs	Extrait méthanol	29,3 μ g/ml	(Buchholz et Melzig, 2015)
<i>Globularia alypum</i>	Partie aérienne	Fraction acétate d'éthyle	0,57 \pm 0,05 mg/ml	(Ouffai et al., 2021)
<i>Mentha pulegium</i>	Partie aérienne	Fraction acétate d'éthyle	16,37 \pm 0,11 μ g/ml	(Abbou et al., 2022)

Chapitre III

Stress oxydatif

1. Le stress oxydatif

1.1. Définition

Le stress oxydatif est un phénomène provoqué par un déséquilibre entre un niveau excessif des radicaux libres et la capacité des antioxydants à neutraliser ces produits réactifs (Pizzino et al., 2017).

1.2. Les radicaux libres

Les réactions de transfert d'électrons sont l'une des réactions chimiques les plus courantes dans les systèmes vivants (Valko et al.2004; Jomova et al.2022). Au cours de ces réactions, des espèces transitoires contenant des électrons non appariés se forment. On appelle ces espèces « radicaux libres ». Les radicaux libres peuvent être dérivés principalement de l'oxygène et de l'azote.

1.3. Espèces réactives de l'oxygène (ERO)

Parmi les EROs, on peut voir des espèces radicalaires tels que le radical hydroxyle (OH•), le radical superoxyde (O₂•), le radical peroxy (ROO•) et les espèces non radicalaires comme le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) et l'oxygène singulet (¹O₂) (Munné et Pinto, 2017).

1.4. Espèces réactives de l'azote (ERN)

Les espèces réactives d'azote (ERN) sont des espèces dérive de l'azote. Il existe deux espèces réactives très connues qui sont le peroxy-nitrite (ONOO•) et le monoxyde d'azote (NO•). Le monoxyde d'azote est synthétisé par le nitrique oxyde synthase (NOS) lors du métabolisme de l'arginine. Tandis que peroxy-nitrite est formé à partir de la combinaison de monoxyde d'azote avec l'oxygène (Singh et al., 2019 ; Martemucci et al., 2022).

1.5. Sources des radicaux libres

Les radicaux libres présents dans les systèmes biologiques peuvent être de sources extracellulaires (source exogène) ou intracellulaires (source endogènes). Les sources extracellulaires de radicaux libres comprennent les rayons ultraviolets, les rayonnements ionisants, le tabagisme, la consommation excessive d'alcool, une alimentation malsaine et certains médicaments. Les sources intracellulaires les plus importantes sont les mitochondries, le réticulum endoplasmique, les peroxysomes, et le NADPH oxydase (Aranda Rivera et al., 2022).

1.6. Cibles des radicaux libres

Lors d'un stress oxydant, les radicaux libres non détoxiqués par le système antioxydant attaquent et endommagent par oxydation les macromolécules notamment les lipides, les protéines et l'ADN (Ba, 2015 ; Sahiner, 2018).

1.6.1. L'ADN

Les bases azotées de l'ADN représentent les principales cibles d'oxydation par le radical hydroxyle. Par exemple, la guanine peut réagir avec le radical hydroxyle pour constituer la 8-hydroxy-2'-déoxyguanosine qui s'associera avec l'adénine au lieu de s'associer avec la cytosine, ce qui entraîne des mutations de l'ADN et des altérations du message génétique impliquées dans le développement du cancer et le vieillissement cellulaire (Favier, 2003 ; Halliwell., 2022).

1.6.2. Les lipides

Les lipides membranaires sont les cibles les plus susceptibles de l'action des radicaux libres, car ils contiennent des lipides insaturés, comme l'acide linoléique et l'acide arachidonique (Zielinski et Pratt, 2017). Les radicaux peuvent déclencher une chaîne de réactions de peroxydation au niveau des acides gras et des phospholipides membranaires. Ce processus induit une modification de la fluidité, de la perméabilité et de l'excitabilité des membranes (Tvrd et al., 2017).

1.6.3. Les protéines

Les chaînes latérales de tous les résidus d'acides aminés des protéines, notamment les résidus de cystéine et de méthionine, sont susceptibles d'être oxydées par l'action des ERO/ERN (Valko et al., 2007 ; Pisoschi et Pop, 2015). L'oxydation des protéines altère leur capacité à se fixer correctement à un récepteur ou à se fixer spécifiquement à un ligand, ce qui peut perturber la signalisation cellulaire (Koechlin-Ramonatxo, 2006 ; Bensakhria., 2018).

1.7. Les Antioxydants

Les antioxydants jouent un rôle essentiel dans la prévention ou la retardation de l'oxydation des molécules biologiques au sein des systèmes biologiques. Ils réduisent en effet le stress oxydatif, ce qui atténue les dommages induits par l'oxydation sur les molécules biologiques. (Gulcine, 2020). Un système de défense antioxydant complexe comprenant à la fois les antioxydants enzymes et des antioxydants non enzymatiques.

Les antioxydants enzymatiques sont considérés comme une la première ligne de défense des cellules contre les agressions des radicaux libres tels que le superoxyde dismutase, catalase et glutathion peroxydase ;

➤ **Superoxyde dismutase (SOD)**

Le superoxyde dismutase (SOD) est l'antioxydant cellulaire le plus intense et représente la première ligne de défense antioxydante d'un organisme contre les oxydants biologiques. Les SOD sont des enzymes contenant des métaux de transition qui sont présentes dans tous les organismes vivants en présence d'oxygène. Il existe trois isoformes différentes : la SOD 1 cytosolique (Cu et Zn dépendante), la SOD 2 mitochondriale (Mn dépendante) et la SOD 3 extracellulaire (Younus, 2018).

➤ **Catalase**

La CAT est une enzyme qui joue un rôle crucial dans la transformation du peroxyde d'hydrogène en eau et en oxygène moléculaire (Saify et al., 2016). Elle est exprimée dans la majorité des cellules, des tissus et des organes, et présente des concentrations élevées dans le foie et les érythrocytes (Mehibel et Merghem, 2006 ; Pisoschi et Pop, 2015).

➤ **Glutathion peroxydase**

La glutathion peroxydase (GPx) est une famille d'enzymes antioxydantes observée et présente dans tous les organismes vivants. La famille des protéines GPx possède diverses fonctions biologiques qui affectent de nombreux processus cellulaires (Pei et al., 2023). À ce jour, huit isoformes différentes de GPx (GPx1 à GPx8) ont été identifiées chez l'homme. La plus abondante est la glutathion peroxydase 1 (GPx1), présente dans le cytoplasme de tous les tissus, et en particulier dans le cœur. Il s'agit d'une enzyme tétramérique composée de quatre sous-unités identiques. Chaque sous-unité contient une cystéine sélénocystéine protéinogène, sensible à l'oxydoréduction. La sélénocystéine est également connue comme le 21e acide aminé du code génétique et joue un rôle important dans la réduction enzymatique du peroxyde d'hydrogène et des hydroperoxydes (Lubos et al., 2011 ; Handy et Loscalzo, 2022).

La deuxième ligne de défense antioxydante implique des antioxydants de faible poids moléculaire tels que la vitamine C, la vitamine E, les caroténoïdes, les flavonoïdes et autres antioxydants exogènes de faible poids moléculaire.

➤ **Vitamine C**

L'ascorbate est un antioxydant hydrosoluble qui possède des propriétés antiradicalaires. Il pénètre dans les cellules via deux cotransporteurs de vitamine C dépendants du sodium, à savoir les SVCT1 et SVCT2 (**Zhitkovich, 2020**).

Ces deux transporteurs régulent l'accumulation de vitamine C dans les tissus. Alors que le SVCT1 est présent dans les cellules épithéliales et réabsorbe l'ascorbate dans les tubules rénaux, le SVCT2 est principalement exprimé dans les cellules non épithéliales du cerveau (**Higdon et al., 2023**).

➤ **Vitamine E (alpha-tocophérol)**

Est une vitamine liposoluble naturellement présente sous forme de huit isoformes. L'activité antioxydante de la vitamine E est due à la présence d'un groupe hydroxyle sur le cycle chromanol. Le mécanisme de piégeage des radicaux de l'oxygène (ROS) implique le don de l'atome d'hydrogène du groupe hydroxyle du cycle chromanol de la vitamine E (TOH) aux ROS (R), laissant derrière eux des radicaux de la vitamine E (radical tocophéryle, TO•) et le produit non radicalaire terminé (RH) (**Jomova et al.2023**).

➤ **Caroténoïdes**

Les caroténoïdes sont des pigments liposolubles de couleur jaune, orange à rouge, produits par les plantes et les micro-organismes. Ils sont des piègeurs des radicaux hydroxyles et peroxydes, ce qui leur permet d'inhiber les chaînes de peroxydation lipidique (**Zuluaga et al., 2017**).

➤ **Flavonoïdes**

Les flavonoïdes constituent la classe la plus abondante de polyphénols végétaux, avec plus de 9 000 structures chimiques identifiées (**Wang et al., 2018**). Responsables de la couleur variée des fleurs, des fruits et des feuilles, les flavonoïdes représentent une source importante d'antioxydants. Chimiquement, les flavonoïdes sont formés par une structure C6-C3-C6, composée de deux cycles benzéniques (A et B) liés par une chaîne de trois atomes de carbone formant un hétérocycle oxygéné (**Abotaleb et al., 2018**). Les flavonoïdes peuvent être subdivisés en plusieurs classes, dont les plus importantes sont les suivantes : flavonones, flavanols, flavanones, isoflavones, flavones et anthocyanidines.

MATERIEL ET METHODES

Notre étude expérimentale a été réalisée au sein de laboratoire de recherche antibiotiques, antifongiques, physico-chimie, synthèse et activité biologiques « LAPSAB », Faculté des sciences de la nature et de la vie, des sciences de la terre et l'univers, Université Abou Bekr Belkaïd « Tlemcen ».

1. Matériel végétal

Les graines de *Coriandrum sativum*, ont fait l'objet de cette étude. Ils ont été achetés chez un herboriste au niveau de la ville de Tlemcen (**figure 3**). Le matériel végétal est broyé à l'aide d'un moulin électrique jusqu'à l'obtention d'une poudre fine et homogène pour la préparation des extraits bruts.



Figure 3: Les graines de coriandre avant et après broyage (**Photo originale 2025**).

2. Préparation des extraits

2.1. Dégraissage du matériel végétal

Pour éliminer les graisses et les lipides contenus dans notre échantillon, nous avons effectué un dégraissage du matériel végétal en utilisant le soxhlet. Une cartouche contenant 30 g de poudre des graines de *Coriandrum sativum* broyées est dans un extracteur de type soxhlet équipé à sa base d'un ballon dans lequel on introduit le mélange de 250 ml de l'éther de pétrole. En chauffant pendant 3 h à l'aide d'un chauffe ballon, le solvant s'évapore puis se condense tout en restant en contact avec le matériel végétal (**figure 4**).



Figure 4: Le montage de soxhlet (A/ avant l'extraction par soxhlet ; B/après l'extraction par soxhlet)

2.2. Extraction par infusion

10 g du matériel végétal broyée et dégraissé est mis en contact avec 100 ml d'un mélange eau-éthanol (30/70 ; V/V) préalablement chauffer jusqu'à l'ébullition. La préparation est laissée refroidir. Après filtration, le Filtrat est soumis à une évaporation à l'aide d'un Rotavapor et puis sécher dans l'étuve à 37°C. L'extrait ainsi récupéré est conservé à 4°C.

2.3. Extraction par macération

10 g du matériel végétal broyée et dégraissé ont été macéré dans 100 ml d'un mélange eau-éthanol (30/70 ; V/V) pendant 48 heures à l'obscurité et à température ambiante. Après filtration, le Filtrat est soumis à une évaporation à l'aide d'un Rotavapor et puis sécher dans l'étuve à 37°C. L'extrait ainsi récupéré est conservé à 4°C.

2.4.Extraction par décoction ou extraction à reflux :

10g du matériel végétal dégraissé est mis en contact avec 100 ml d'un mélange eau-éthanol (30/70 ; V/V). Le mélange est porté sous reflux pendant 45 min sous agitation. Après refroidissement à température ambiante, Après filtration, le Filtrat hydro-éthanolique est soumis à une évaporation à l'aide d'un Rotavapor et puis sécher dans l'étuve à 37°C. L'extrait ainsi récupéré est conservé à 4°C.

2.5. Calcul du rendement

Le rendement de chaque extrait est calculé selon la formule :

$$R (\%) = (M0/M1) \times 100$$

- R (%) : rendement exprimé en pourcentage ;
- M0 : masse en gramme « g » de l'extrait obtenu ;
- M1: masse en gramme « g » de la matière végétale sèche initiale ;

3. Les tests phytochimiques

Les tests phytochimiques sont des tests qualitatifs effectués principalement pour identifier la présence ou l'absence de divers groupes des métabolites secondaires dans les extraits de graine de coriandre. Ces tests sont basés sur des réactions de coloration, de précipitation et d'observation sous lumière ultra-violette. Cette analyse été réalisée selon les protocoles décrites par **Bruneton, (1999) et Harbone (1998)**.

3.1. Les composés azotés

➤ Les alcaloïdes

Dans deux tubes à essai, introduire 0,5 ml de l'extrait à analyser. Acidifier le milieu par quelques gouttes de HCl (1%) et ajouter 0,5 ml de réactif de Mayer dans le premier tube et 0,5ml de réactif de Wagner dans le second tube. L'apparition d'un précipité blanc ou brun, respectivement, révèle la présence d'alcaloïdes.

3.2. Les composés phénoliques

➤ Les tanins

Dans un tube à essai, introduire 1 ml d'extrait à analyser et ajouter 0,25 ml d'une solution aqueuse de FeCl₃ (1%). Le mélange est incubé pendant 15 min à température ambiante. La présence des tanins est indiquée par une coloration verdâtre ou bleu noirâtre.

➤ Les flavonoïdes

Dans un tube à essai, introduire 1 ml d'extrait à analyser et ajouter 1 ml de HCl concentré et quelques copeaux de magnésium. L'apparition d'une coloration rose ou rouge ou jaune prouve la présence des flavonoïdes.

➤ Les quinones libres

Dans un tube à essai, introduire 1 ml d'extrait à analyser et ajouter 0,1 ml d'hydroxyde de sodium (NaOH à 1%). L'apparition d'une couleur qui vire au jaune, rouge ou violet indique la présence des quinones libres.

➤ **Les Anthraquinones ;**

Dans un tube à essai, introduire 1 ml d'extrait à analyser et ajouter 1ml de NH_4OH (10%) puis agiter. L'apparition d'une coloration violette indique la présence des anthraquinones.

➤ **Les coumarines : Fluorescence UV ;**

Dans deux tubes à essai, introduire 1ml de l'extrait à analyser, prendre le premier comme témoin et ajouter à l'autre 0,1 ml de NH_4OH (10%). Mettre deux taches sur un papier filtre et examiner sous la lumière UV à 366 nm. Une fluorescence intense indique la présence des coumarines.

3.3. Composés terpéniques

➤ **Les saponines : test de mousse**

Dans un tube à essai, introduire 10 ml de l'extrait à analyser, agiter pendant 15 secondes et laisser le mélange au repos pendant 15min. l'apparition d'une mousse persistante de hauteur supérieure à 1 cm indique la présence de saponines.

➤ **Les terpénoïdes : Test de Slakowski**

Dans un tube à essai, introduire 1 ml de l'extrait à analyser, ajouter 0,4 ml de chloroforme et 0,6 ml d'acide sulfurique concentré. La formation de deux phases et une couleur marron à l'interphase indique la présence des terpénoïdes.

4. Dosage des composés phénoliques

4.1. Dosage des polyphénols totaux

➤ **Principe**

Le dosage des polyphénols totaux des extraits de graine de coriandre a été réalisé selon la méthode utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu. Ce dernier est un mélange d'acide phosphotungstique ($\text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($\text{H}_3\text{PMO}_{12}\text{O}_{40}$) de couleur jaune. L'oxydation des phénols réduit ce réactif en un mélange d'oxyde bleu de tungstène et de molybdène de couleur bleue. L'intensité é de la coloration produite caractérisée par une absorbance maximale comprise entre 725 et 750 nm.

➤ **Mode opératoire (Vermerius et Nicholson (2006)) :**

- Mélanger 0,1 ml d'extrait (1mg/ml) avec 2 ml de la solution de carbonate de sodium Na_2CO_3 (2%) ;
- Agiter et incubé pendant 5 minutes ;
- Ajouter 0,1 ml de réactif Folin-Ciocalteu à 1N ;
- Incuber pendant 30 minutes à l'abri de la lumière et à température ambiante ;
- Mesurer l'absorbance est à 725 nm contre un blanc ;

En parallèle nous avons préparé une gamme d'étalonnage dans les mêmes conditions à partir d'acide gallique à différentes concentrations allant de 50 à 350 $\mu\text{g/ml}$.

➤ **Expression des résultats**

Les résultats sont exprimés en en microgramme Equivalent d'acide gallique par milligramme d'extrait ($\mu\text{g Eq AG/ mg E}$).

4.2. Dosage des flavonoïdes totaux

➤ **Principe**

Le taux de flavonoïdes dans les extraits préparés a été déterminé par la méthode colorimétrique au trichlorure d'aluminium (AlCl_3) et la soude (NaOH). Dans le milieu réactionnel, la soude ionise tous les hydroxyles phénoliques du squelette flavonique. La présence du chlorure d'aluminium dans la solution mène à la formation d'un complexe entre les ortho-hydroxyles des flavonoïdes et les fonctions carbonyles des noyaux aromatiques. Le complexe formé de couleur jaune-orange absorbe dans le visible à 510 nm.

➤ **Mode opératoire (Zhishen et al., 1999) :**

- Mélanger 250 μl de l'extrait (1mg/ml) avec 1 ml d'eau distillée et 75 μl NaNO_2 à 15 % ;
- Laisser incubé pendant 6 min à température ambiante puis ajouter 75 μl du réactif chlorure d'aluminium AlCl_3 à 10% ;
- Après 6 min, ajouter 1 ml d'hydroxyde de sodium NaOH (4%) ;
- Compléter le volume total à 2,5 ml d'eau distillée ;
- Agiter le mélange et laisser incubé à température ambiante et à l'abri de la lumière pendant 15 min ;
- Mesurer l'absorbance à 510 nm.

Une gamme d'étalonnage est préparée dans les mêmes conditions avec la catéchine à différentes concentrations (50 à 350µg/ml).

➤ Expression des résultats

Les résultats obtenus sont exprimés en microgramme équivalent catéchine par milligramme d'extrait (µg Eq C /mg E).

5. Activité antioxydante

Il existe plusieurs méthodes pour évaluer l'activité antioxydant *in vitro*, dans notre étude nous avons utilisé le test de piégeage du radical libre DPPH.

5.1. Test de piégeage du radical libre DPPH (2,2 diphenyl-1-picryl hydrazyl)

➤ Principe

Le DPPH est un radical libre qui possède une couleur violette en solution. Lorsqu'un antioxydant est ajouté à une solution de DPPH, il peut le réduire en lui donnant un électron, ce qui entraîne une décoloration de violet au jaune. L'évaluation de l'activité antioxydant de l'extrait testé se fait en mesurant la diminution de l'absorbance de la solution à 517 nm (Mensor et al., 2001).

➤ Mode d'opération ;

Le test de DPPH a été réalisé suivant la méthode décrite par **Bektas et al., (2005)**.

- Préparer une série de concentration des extraits étudiés : EBI et EBM et EBD solubilisés dans l'eau distillée ;
- Ajouter à chaque 50 µl de concentrations préparées, 1950µl d'une solution méthanolique de DPPH;
- Préparer pour chaque concentration d'extraits étudiés un tube blanc en mélangeant 50µl d'extraits préparés avec 1950µl du méthanol ;
- Préparer un témoin négatif en ajoutant 50µl de méthanol à 1950µl d'une solution méthanolique de DPPH ;
- Incuber l'ensemble des tubes 30 min à l'obscurité et à température ambiante ;
- Lire l'absorbance à 517 nm ;

Dans les mêmes conditions opératoires l'acide ascorbique et le BHA sont utilisés comme molécules antioxydantes de référence.

➤ Expression des résultats

Les résultats du piégeage du radical libre DPPH sont exprimés en pourcentage d'inhibition (I %) calculé selon la formule suivante :

$$I \% = [(Absorbance \text{ Témoin négatif} - Absorbance \text{ échantillon}) / Absorbance \text{ Témoin négatif}] \times 100$$

Les résultats sont aussi exprimés en valeurs de IC₅₀ qui représente la concentration de l'extrait responsable de la réduction de 50% du DPPH•.

6. Activité antidiabétique

6.1. L'effet inhibiteur des extraits de graine de coriandre vis-à-vis de l'alpha amylase ;

➤ Préparation de la solution enzymatique :

L'enzyme utilisée dans cette technique est l'α-amylase d'origine animal (pancréas du porc), elle présente une activité spécifique de 13U/mg. Pour préparer une solution enzymatique à 3,9 UI/mL, 3 mg d'enzyme est dissous dans 10 mL du tampon phosphate (0,02 M; 6,7 mM NaCl; pH 6,9).

➤ Préparation de la solution du substrat :

Le substrat utilisé est l'amidon soluble de pomme de terre à 1% préparé à chaud et sous agitation (50-70°C) dans le tampon phosphate (0,02 M ; 6,7 mM NaCl; pH 6,9).

➤ Préparation de la solution du DNSA :

30g du tartrate double de sodium et de potassium est solubilisé dans 20 mL de la solution NaOH (2N) préalablement chauffée à 60°C sous agitation. 1g du DNSA a été dissoute dans 40mL d'eau distillée préchauffée. Les deux solutions obtenues sont mélangées sous agitation pour obtenir un réactif limpide de couleur jaune-orange. Le volume final est ajusté à 100 mL avec de l'eau distillée. Le réactif obtenu est conservé à l'abri de la lumière et à 4°C.

➤ Mode d'opération

Le milieu réactionnel est constitué de 200µL de la solution d'extrait (EBI et EBM et EBD) ou d'acarbose (contrôle positif), et 200 µL de la solution d'enzyme. Après incubation pendant 10 min à 37°C, 200 µL du substrat (amidon) est additionné au milieu réactionnel. Une deuxième incubation est effectuée pendant 15 min à 37°C. Ensuite, 400 µL du DNSA est ajouté au mélange. Les tubes sont placés dans un bain-marie bouillant (100°C) pendant 5 min. Cette réaction est arrêtée par un choc thermique, en plaçant les tubes directement dans un bain d'eau glacée. L'absorbance est mesurée à 540 nm contre un blanc (milieu réactionnel sans enzyme).

➤ Expression des résultats

Calculer le pourcentage d'inhibition selon la formule suivante :

$$\% \text{ d'inhibition d}'\alpha\text{-amylase} = [(A \text{ contrôle} - A \text{ échantillon}) / A \text{ contrôle}] \times 100$$

Déterminer l'IC₅₀ ; qui représente la concentration inhibitrice de 50% de l'activité enzymatique. Elle est déterminée graphiquement à partir des équations des courbes des pourcentages d'inhibition en fonction des concentrations des extraits et de l'Acarbose

Résultats et discussion

1. Etude phytochimique

1.1. Caractéristiques des extraits

Les extraits bruts des graines de coriandre (*coriandrum sativum* L) ont été préparé selon trois méthodes distinctes : infusion (EBI), macération (EBM) et décoction (EBD). Leur caractéristiques physiques et rendement sont représentées dans le tableau ci-dessus ;

Tableau 3: Les caractéristiques des extraits préparés des graines de coriandre :

Les extraits	Rendement %	Solubilité	Couleur	Aspect
EBI	4,8 %	Eau distillé	Marron	Pâteuse
EBM	5,99 %	Eau distillé	Marron	Pâteuse
EBD	5,88 %	Eau distillé	Marron	Pâteuse

EBI : extrait brut préparé par infusion ; EBM : extrait brut préparé par macération ;

EBD : extrait brut préparé par décoction.

D'après les résultats obtenus, nous avons noté que les extraits bruts hydro-éthanoliques préparés par infusion (EBI) et macération (EBM) et décoction (EBD) sont récupérés sous forme de pate de couleur marron, avec des rendements de l'ordre de 4,8 %, 5,99 % et 5,88 %, respectivement. Ces extraits sont solubles dans l'eau distillée.

Dans l'étude de **Muhammad Khuram Shahwar et al., (2012)** l'extrait méthanolique des graines et des feuilles de coriandre a enregistré un rendement de l'ordre de 5,43% et 9,38 %, respectivement.

1.2. Tests phytochimiques

Le tableau ci-dessous présente les résultats de l'analyse phytochimique qualitatif des extraits étudiés (EBI, EBD, EBM). Cette analyse vise à identifier la présence ou l'absence de différents métabolites secondaires par l'observation d'un changement de couleur ou formation d'une mousse ou par une précipitation.

Tableau 4: Les tests phytochimique des extraits bruts hydro-éthanoliques préparés à partir des graines de coriandre

Métabolite secondaires		EBI	EBD	EBM
Alcaloïdes	Mayer	+	+	+
	Wagner	+	+	+
Tanins		+	+	+
Flavonoïdes		-	-	-
Quinones libres		+	+	+
Anthraquinones		-	-	-
Coumarines		-	-	-
Saponines		-	-	-
Terpénoïdes		+	+	+
Sucres réducteurs		+	+	+

(+) : présence ; (-) : Absence

EBI : extrait brut préparé par infusion ; EBD : extrait brut préparé par décoction ;

EBM : extrait brut préparé par macération.

D'après les résultats, nous avons remarqué que les alcaloïdes, les tanins, les quinones libres, les terpénoïdes et les sucres réducteurs sont présents dans l'ensemble des extraits de graines de coriandre (EBI, EBD, EBM).

Une absence totale des flavonoïdes, des anthraquinones, des coumarines, des saponines dans tous les extraits est observée.

Dans l'étude menée par **Dhakshayani et al., (2022)** les tests phytochimique réalisés sur les extraits aqueux et éthanoliques de feuilles matures de coriandre a révélé la présence de composés phytochimiques tels que des alcaloïdes, des terpénoïdes, des stéroïdes, des tanins, et des flavonoïdes. Les saponines sont absentes dans les extraits aqueux et éthanoliques.

1.3. Dosage des composés phénoliques :

Une analyse quantitative en composés phénoliques des extraits bruts hydro-éthanoliques (EBI, EBM, EBD) issus de graines de coriandre a été réalisée par des méthodes spectrophotométriques, pour déterminer leur teneur en polyphénols et en flavonoïdes totaux.

Résultats et discussion

- Les teneurs en polyphénols totaux sont quantifiés à l'aide de la méthode de Folin-Ciocalteu. Ils sont déterminés à partir de l'équation de régression linéaire de la courbe d'étalonnage de l'acide gallique (**figure 5**).

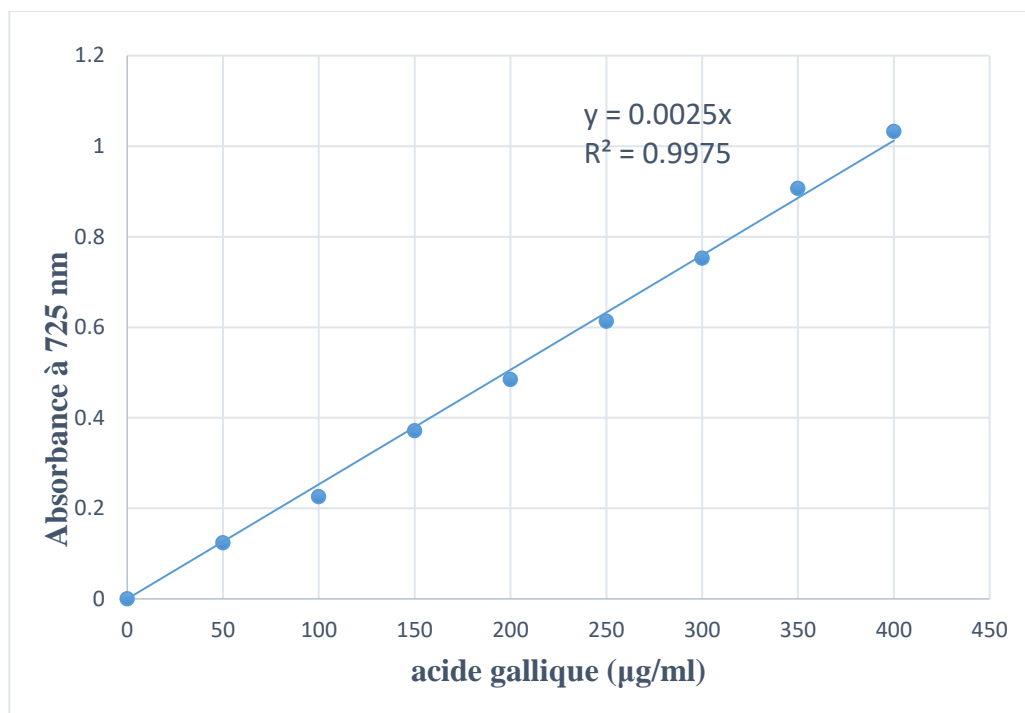


Figure 5: Courbe d'étalonnage de l'acide gallique pour le dosage des polyphénols totaux

- Les teneurs en flavonoïdes totaux : sont effectués par des réactions chimiques en milieu alcalin en présence du nitrite de sodium (NaNO_2) et le chlorure d'aluminium (AlCl_3). Les teneurs sont obtenues à partir de l'équation de régression linéaire de la courbe d'étalonnage de la catéchine (**Figure 6**).

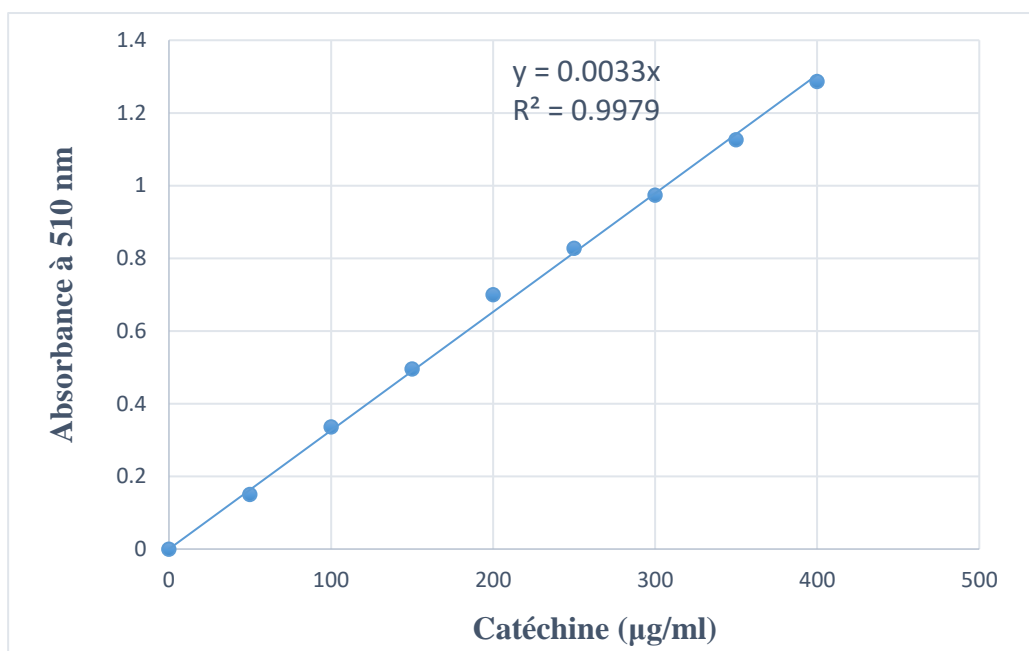


Figure 6: Courbe d'étalonnage de la catéchine pour le dosage des flavonoïdes totaux

Tableau 5: Teneurs en polyphénols et flavonoïdes totaux des différents extraits des graines de coriandre.

Extraits	Polyphénols totaux (µg Eq AG/ mg E)	Flavonoïdes (µg Eq C/mg E)
EBI	199,7 ±0.23	83 ±0,94
EBM	156,47 ±0.17	63,93 ±0,27
EBD	194,36 ±0.23	65,67 ±0,22

EBI : extrait brut préparé par infusion ; EBM : extrait brut préparé par macération ;

EBD : extrait brut préparé par décoction.

D'après les résultats obtenus, nous avons remarqué que la teneur la plus élevée en polyphénols et flavonoïdes totaux est assignée à l'extrait brut préparé par infusion (EBI) avec des valeurs de l'ordre de $199,7 \pm 0,23$ µg Eq AG/ mg E et $83 \pm 0,94$ µg Eq C/mg E respectivement, Par contre l'extrait brut préparé par macération (EBM) a présenté les teneurs les plus faibles en polyphénols totaux ($156,47 \pm 0,17$ µg Eq AG/ mg E) et en flavonoïdes totaux ($63,93 \pm 0,27$ µg Eq AG/ mg E).

Selon les études réalisées par **Belfeki et al., (2018)** et **Kiani et al., (2023)**, La teneur en flavonoïdes totaux dans l'extrait aqueux des graines de coriandre est de l'ordre de 8656,66 mg Eq C/100 g et sa teneur en polyphénols totaux est de $1316,22 \pm 2 898,6$ mg Eq AG/100 g.

L'extrait éthanolique de racines de coriandre a montré des teneurs de l'ordre de $31,39 \pm 1,80$ mg QE/g d'extrait en flavonoïdes et de l'ordre de $2,46 \pm 0,34$ mg GAE/g d'extrait en composés phénoliques (Lanlita et al., 2024).

2. Etude Biologique

2.1. Activité antioxydante

2.1.1. Test de piégeage de radical libre DPPH

Le DPPH est un radical libre stable couramment utilisé pour évaluer le pouvoir piégeant des extraits végétaux, en raison de sa sensibilité à interagir avec des composés antioxydants même à faible concentration.

L'activité anti radicalaire a été mesurée par spectrophotométrie en suivant la diminution d'absorbance du DPPH à une longueur d'onde de 517 nm (Maisuthisakul, 2007).

Les résultats sont exprimés graphiquement sous forme de pourcentage d'inhibition (DPPH) en fonction des concentrations des extraits (EBI, EBM, EBD) et des molécules de références (l'acide ascorbique et BHA) (Figures 7 et 8).

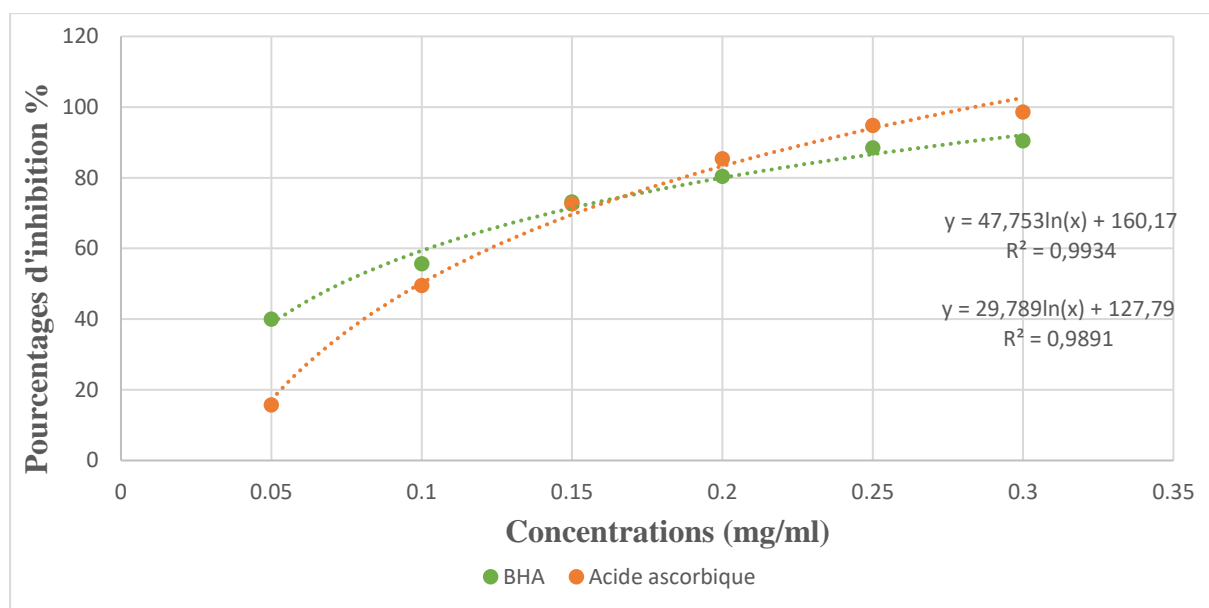
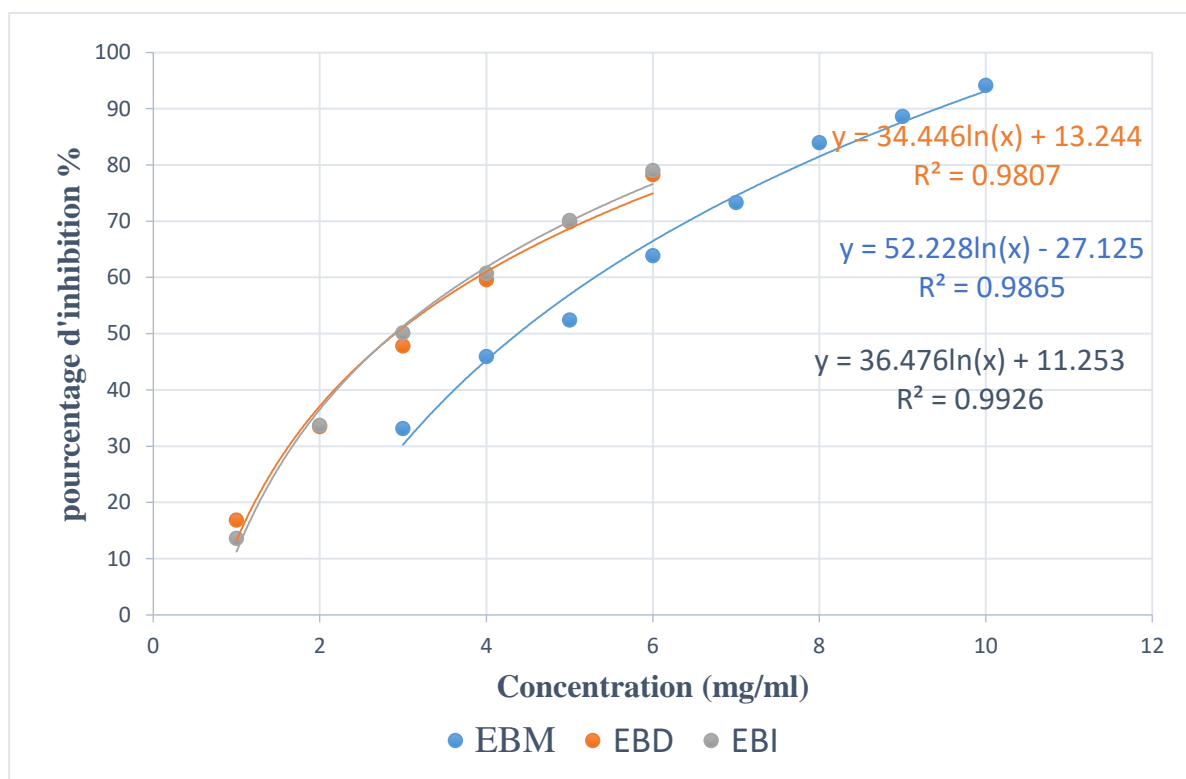


Figure 7: Pourcentages d'inhibition de radical libre DPPH en fonction des concentrations de l'acide ascorbique et BHA.



EBM : extrait brut préparé par infusion ; EBM : extrait brut préparé par macération ;

EBD : extrait brut préparé par décoction.

Figure 8: Pourcentages d'inhibition de radical libre DPPH en fonction des concentrations des extraits (EBM, EBD, EBI).

Les résultats ont montré une augmentation proportionnelle des pourcentages d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des concentrations des molécules de références (Acide ascorbique et BHA) et des extraits bruts hydro-éthanolique des graines de coriandre testés.

L' IC_{50} est la concentration nécessaire pour inhiber 50 % de radical DPPH. Elle a été déterminée à partir des équations de régression logarithmiques de courbes tracées illustrées dans les figures 7 et 8. Les résultats des IC_{50} sont représentés dans le **Tableau 6**

Tableau 6: capacité de piégeage de radical libre DPPH des différents extraits des graines de coriandre.

Extraits	IC ₅₀ (mg/ml)	Moyenne± erreur standard
EBI	2,89	2,89±0,09
EBM	4 ,38	4,38±0,02
EBD	2,90	2,90±0,03
Acide ascorbique	0,098	0,098± 0,001
BHA	0,073	0,073±0,003

L'extrait brut préparé par infusion (EBI) a présenté une activité anti radicalaire très importante avec une IC₅₀ de l'ordre de 2,89 ±0,09 mg/ml, avec les standards de référence, à savoir l'acide ascorbique (IC₅₀= 0,098± 0,001mg/ml) et le BHA (IC₅₀= 0,073±0,003mg/ml).

Selon la bibliographie Belfeki et al., (2016) ont signalé que l'extrait aqueux des graines de coriandre a montré une activité anti radicalaire avec une IC₅₀ de l'ordre de 1,5 mg/ml en utilisant le test de piégeage de radical DPPH.

Lanlita et al. (2024) ont montré que l'extrait aqueux et éthanolique des racines de coriandre (*coriandrum sativum*) ont enregistré une activité antiradicalaire avec des IC₅₀ respectives de l'ordre de 2,78 ± 0,24 mg/ml et 1,13 ± 0,23mg/ml.

2.2. Activité antidiabétique

2.2.1. L'effet inhibiteur des extraits des graines de coriandre vis-à-vis de l'alpha amylase

L'évaluation de l'activité antidiabétique *in vitro* a été réalisée en utilisant le test de l'effet inhibiteurs des extraits vis-à-vis l'activité de l'α-amylase.

Nous avons exprimé les résultats sous forme des graphes de pourcentage d'inhibition en fonction des concentrations des extraits (EBM, EBI, EBD) et molécule standard (Acarbose) (figure 9 et 10).

Résultats et discussion

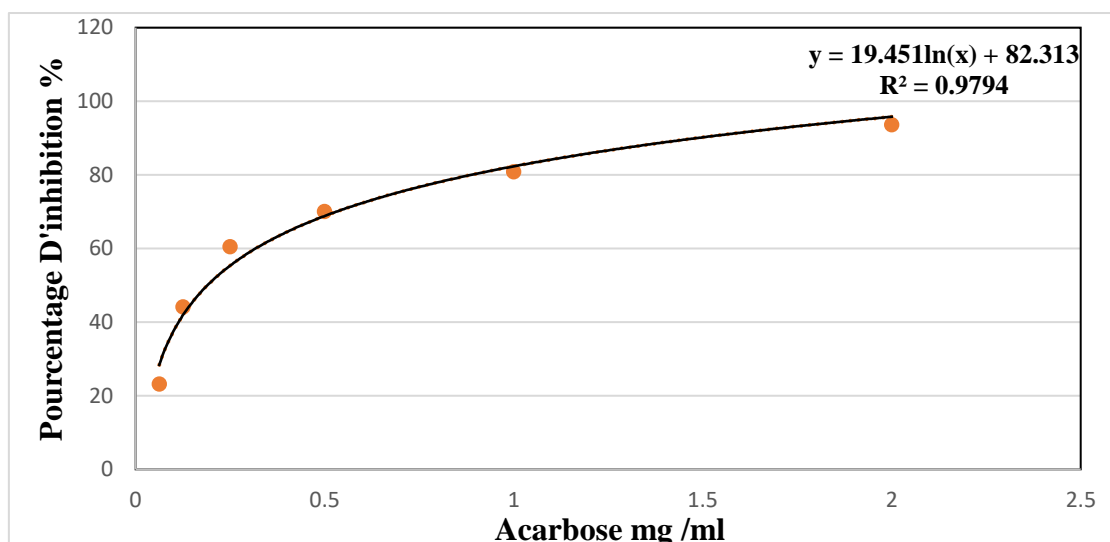


Figure 9: Pourcentage d'inhibition de l'alpha amylase en fonction des concentrations de l'acarbose

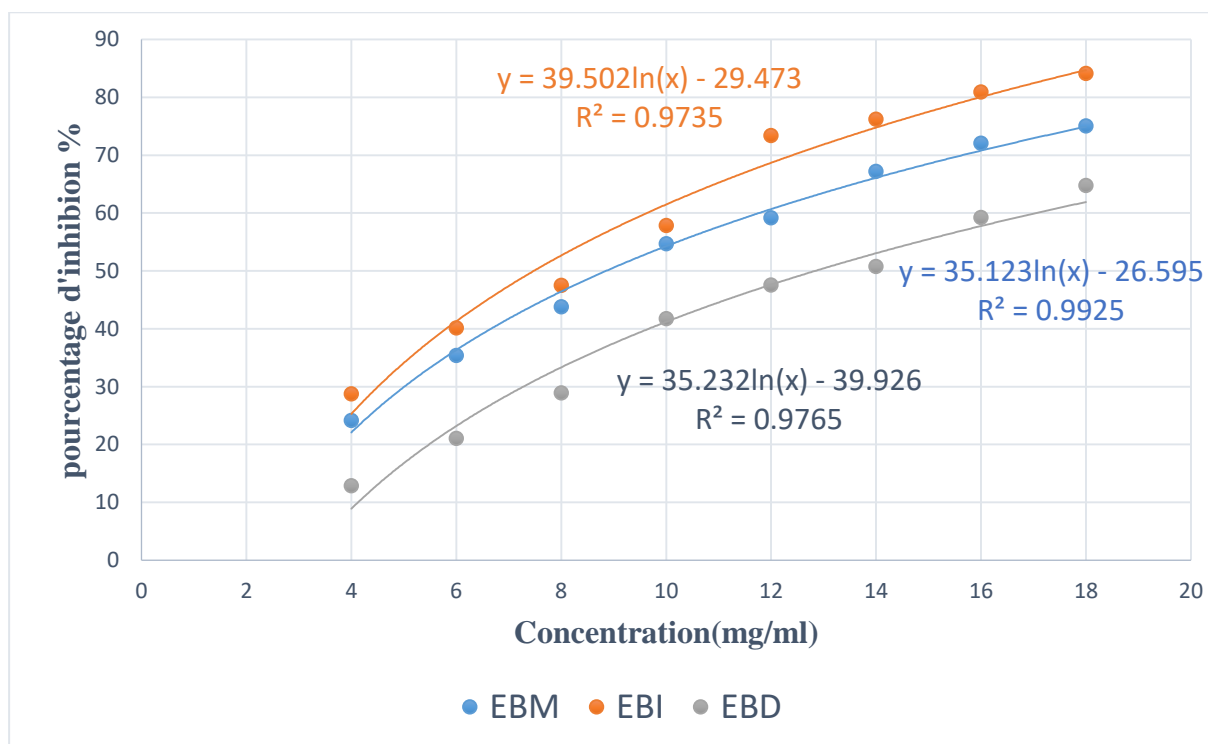


Figure 10: Représente pourcentage d'inhibition des extraits (EBM EBD EBI) sur alpha amylase en fonction des concentrations.

Tableau 7: Représente les IC₅₀ des extraits bruts de graine de coriandre (EBI, EBM, EBD) et de l'Acarbose.

Extraits	IC ₅₀ (mg/ml)
EBI	7,48± 0,14
EBM	8,85±0,10
EBD	12,84±0,23
Acarbose	0,19±0,001

EBI : extrait brut préparé par infusion ; EBM : extrait brut préparé par macération ;
EBD : extrait brut préparé par décoction.

D'après les résultats représentés dans **les figures (9 et 10)** et **le tableau 7** nous avons constaté que l'ensemble des extraits ont montré un effet inhibiteur vis-à-vis de l'alpha amylase.

Le meilleur effet inhibiteur a été observé pour l'extrait brut préparé par infusion (EBI) avec une IC₅₀ de l'ordre de 7,48 ± 0,14 mg/ml, suivi par l'extrait brut préparé par macération (EBM) (IC₅₀=8,85 ± 0,1mg/ml) et décoction (EBD) (IC₅₀= 12,84 ± 0,23 mg/ml).

Selon les résultats trouvés par le **Naquvi et al. (2004)**, l'huile de graines de *Coriandrum sativum* possède a un effet inhibiteur vis-à-vis de l'alpha amylase avec une IC₅₀ de 79,43 ± 1,50 mg/ml.

Jin et al., (2025) ont montré la capacité inhibitrice de polysaccharides de coriandre sur l'alpha amylase avec une IC₅₀ était de l'ordre de 0,634 mg/ml.

L'extrait éthanolique de la coriandre a montré une activité inhibitrice de l'alpha amylase avec une IC₅₀ de 39,62 ± 1,71 (**Hajlaoui et al., 2021**).

L'étude réalisée par **Dhakshayani et al., (2022)** montre que les extraits aqueux et éthanoliques de micropousses de la coriandre ont enregistré une inhibition de l'alpha-amylase avec des IC₅₀ respectives de l'ordre de 222,2 µg/ml et 84,25 µg/ml. Ces résultats étaient inférieurs à ceux des valeurs des IC₅₀ des feuilles matures, qui étaient respectivement de 228,31µg/ml et 206,82µg/ml .

Conclusion

Conclusion

Notre travail porte sur l'étude phytochimique et les activités biologiques ; l'activité antioxydant, et l'activité antidiabétique des extraits bruts de graines de coriandre (*Coriandrum sativum*).

Qualitativement, l'évaluation préliminaire de la composition phytochimique a permis de mettre en évidence la présence des alcaloïdes, des tanins, des quinones libres, des terpénoïdes et aussi des sucres réducteurs. Quantitativement, le dosage des composés phénolique montre que l'extrait brut préparé par infusion présente la teneur le plus élevée en polyphénols et flavonoïdes totaux.

L'évaluation de l'activité antioxydant des extraits de graines de *Coriandrum sativum* L., par le test de piégeage de radicale libre DPPH a révèle que l'extrait brut préparé par infusion possède le meilleur pouvoir antiradicalaire. Le même extrait a enregistré la meilleure activité inhibitrice vis-à-vis de l'alpha amylase.

Les perspectives :

A la lumière des résultats obtenus, plusieurs perspectives peuvent être envisagées pour approfondir cette étude. Il serait tout d'abord :

- Elargir l'analyse phytochimique afin d'isoler et identifier les composés bioactifs de *Coriandrum sativum*.
- Utiliser d'autres méthodes d'extraction modernes, comme extraction par ultrasons ou par micro-ondes, pour comparer leur efficacité avec celle utilisées dans la présente étude.
- Analyser d'autre parties de la plante, comme les feuilles, les tiges ou les racines, pourrait révéler d'autres sources intéressantes de substances actives.
- Réaliser des études *in vivo* afin de confirmer les activités antioxydants et antidiabétiques observées *in vitro*.

Références bibliographiques

A

- **Abbou, F., Azzi, R., Ouffai, K., El Haci, I. A., Belyagoubi-Benhammou, N., Bensouici, C., Benamar, H. (2022).** Phenolic profile, antioxidant and enzyme inhibitory properties of phenolic-rich fractions from the aerial parts of *Mentha pulegium* L. South African Journal of Botany, 146, 196-204.
- **Agisho, H., Osie, M., Lambore, T. (2014).** Traditional medicinal plants utilization, management and threats in Hadiya Zone, Ethiopia. Journal of Medicinal Plants Studies, 2(2), 94-108.
- **Al-Snafi, A.E. (2016).** A review on chemical constituents and pharmacological activities of *Coriandrum sativum*. IOSR Journal of Pharmacy, 6 (7): 17-42.
- **Aranda-Rivera, A. K., Cruz-Gregorio, A., Arancibia-Hernández, Y. L., Hernández-Cruz, E. Y., Pedraza-Chaverri, J. (2022).** RONS and oxidative stress: an overview of basic concepts. Oxygen, 2(4), 437-478.
- **Asgarpanah, J., Kazemivash, N. (2012).** Phytochemistry, pharmacology and medicinal properties of *Coriandrum sativum* L. African Journal of Pharmacy and Pharmacology, 6 (31), 2340-2345.

B

- **Bektas, T., Dimitra, D., Atalay, S., Munevver, S., Moschos, P. (2005).** Antimicrobial and antioxidant activities of essential oil and various extracts of *Salvia tomentosa* Miller. Food Chemistry, 90, p. 333-340.
- **Belfeki, H., Mejri, M., Hassouna, M., 2018.** Activités antioxydantes et inhibitrices de l' α -amylase de certaines plantes aromatiques tunisiennes 31, 31–1775.
- **Bensakhria, A. (2018).** Le stress oxydatif. Toxicologie générale, 70-86.
- **Bruneton, J., (1999).** Pharmacognosie, phytochimie, plante médicinale. 3ème édition. Edition Technique ET documentation, Paris, P 783-823.
- **Buchholz, T., Melzig, M. F. (2015).** Polyphenolic compounds as pancreatic lipase inhibitors. Planta medica, 81(10), 771-783.

C

- **Chahal, K., Singh, R., Kumar, A., Bhardwaj, U. (2018).** Composition chimique et activité biologique de *Coriandrum sativum* L.: Une revue. I.8(3). 193-203.
- **Crozier, A., Jaganath, I. B., Clifford, M. N. (2009).** Dietary phenolics: chemistry, bioavailability and effects on health. Natural product reports, 26(8), 1001-1043.

D

- **Davies, K. M., Espley, R. V. (2013).** Opportunities and challenges for metabolic engineering of secondary metabolite pathways for improved human health characters in fruit and vegetable crops. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 41(3), 154-177.
- **De Souza, P. M., Oliveira Magalhães, P. (2010).** Application of microbial α amylase in industry—A review. Brazilian journal of microbiology, 41(4), 850-861.
- **Dhakshayani, S., Janaki, A. P. (2022).** Une étude comparative du potentiel phytochimique, antioxydant, anticancérigène et antidiabétique de la coriandre (*Coriandrum sativum* L.): Micro-pousses et plantes matures. Aliments et matières premières.10(2):283–29.

E

- **Eddouks, M., Ouahidi, M. L., Farid, O., Moufid, A., Khalidi, A., Lemhadri, A. (2007).** L'utilisation des plantes médicinales dans le traitement du diabète au Maroc. Phytothérapie, 5(4), 194-203.
- **El-Zaeddi, H., Calín-Sánchez, Á., Nowicka, P., Martínez-Tomé, J., Noguera-Artiaga, L., Burló, F., Wojdyło, A., Carbonell-Barrachina, Á. A. (2017).** Preharvest treatments with malic, oxalic, and acetylsalicylic acids affect the phenolic composition and antioxidant capacity of coriander, dill and parsley. Food chemistry, 226, 179–186.

F

- **Favier, A. (2003).** Le stress oxydant. L'actualité chimique, 108(10), 863-832.

G

- **Garza-Lombó, C., Pappa, A., Panayiotidis, M. I., & Franco, R. (2020).** Redox homeostasis, oxidative stress and mitophagy. *Mitochondrion*, 51, 105-117.
- **Ghedira, K., Goetz, P. (2015)** *Coriandrum sativum* L. (Apiaceae):coriander.phytothérapie 13:130-134.
- **Gil, A., Fuente, E, B., Lenardis A, E. (2002).** Composition de l'huile essentielle de coriandre de deux géotypes cultivés dans des conditions environnementales différentes.*J Agric Food Chemistry* .50(10):2870-2877.

H

- **Halliwell, B. (2022).** Reactive oxygen species (ROS), oxygen radicals and antioxidants: Where are we now, where is the field going and where should we go. *Biochemical and biophysical research communications*, 633, 17-19.
- **Hajlaoui, H., Arraouadi, S., Noumi, E., Aouadi, K., Adnan, M., Khan, MA, Kadri, A., Snoussi, M. (2021).** Propriétés antimicrobiennes, antioxydantes, anti-acétylcholinestérase, antidiabétiques et pharmacocinétiques de *Carum carvi* Atterrir *Coriandrum sativum* Huiles essentielles de L. seules et en association. *Molécules*, 26(12), 3625.
- **HARBONE, J. B. (1998).** A guide to modern techniques of plant analysis. *Pytochemical methods*, 3rd edition. Published by Chapman and Hall, London.

J

- **Jamshidi-Kia, F., Lorigooini, Z., Amini-Khoei, H. (2018).** Medicinal plants: Past history and future perspective. *Journal of herbmed pharmacology*, 7(1), 1-7.
- **Janíčková, Z., Janeček, Š. (2020).** Fungal α -amylases from three GH13 subfamilies: Their sequence-structural features and evolutionary relationships. *International Journal of Biological Macromolecules*, 159, 763-772.
- **Jin, W., Zhou, H., Pei, Y., Su, F., Li, Y., Luo, T., (2025).** Isolement, capacité antioxydante *in vitro*, activité hypoglycémique et évaluation de l'immunoactivité des polysaccharides *Coriandrum Sativum* L. *Antioxydants*, 14,149.

- **Jomova, K., Makova, M., Alomar, SY. Alwasel, SH., Nepovimova, E., Kuca, K., Rhodes, C.J., Valko, M. (2022).** Essential metals in health and disease. *Chem Biol Interact* 367:110173.
- **Joujeh, R., Kattaa, A., Naseh, O. M., Joujeh, D. (2018).** Essential oil composition of coriander (*Coriandrum sativum* L.) fruits. *International Journal Comparative Sociology*, 2(1), 10-15.

K

- **Kačániová, M., Galovičová, L., Ivanišová, E., Vukovic, N. L., Štefániková, J., Valková, V., Borotová, P., Ľiarovská, J., Terentjeva, M., Felšöciová, S., Tvrďá, E. (2020).** Antioxidant, Antimicrobial and Antibiofilm Activity of Coriander (*Coriandrum sativum* L.) Essential Oil for Its Application in Foods. *Foods*, 9(3), 19.
- **Kalinovskii, A. P., Sintsova, O. V., Gladkikh, I. N., Leychenko, E. V. (2023).** Natural inhibitors of mammalian α -Amylases as promising drugs for the treatment of metabolic diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(22), 16514.
- **Kashtoh, H., Baek, K. (2023).** New Insights into the Latest Advancement in α -Amylase Inhibitors of Plant Origin with Anti-Diabetic Effects. *Plants*, 12(16), 2944.
- **Khairuddin, M., Norazan M., Parasuraman R., Othman N., Roslinda Abd M., Ramlan, A., Azzam A., El Enshasy H. (2016).** Production of Cysteine Proteases by Recombinant Microorganisms: A Critical Review. Institute Bioproduct Development, Universiti Teknologi Malaysia. *Journal of Pharmacy and Biological Sciences*, Vol. 11.
- **Koechlin-Ramonatxo, C. (2006).** Oxygène, stress oxydant et suppléments antioxydants ou un aspect différent de la nutrition dans les maladies respiratoires. *Nutrition clinique et métabolisme*, 20(4), 165-177.

L

- **Lanlita, C., Thanutchaporn, N., Savita, C., Jintana, S., Rodjana, C (2024).** *In vitro* antioxidant and alpha-glucosidase inhibitory activities of coriander (*Coriandrum sativum* L.) root extracts. *Functional Foods in Health and Disease* (6): 416-429.

M

- **MacGregor, E.A., Janecek, S. (2001).** And Svensson B. Relationship of structure to specificity in the α -amylase family of enzymes. *Biochim. Biophys. Acta.* 1546: 1-20.
- **Martemucci, G., Costagliola, C., Mariano, M., D'andrea, L., Napolitano, P., D'Alessandro, A. (2022).** Free Radical Properties, Source and Targets, Antioxidant Consumption and Health. *Oxygen*, 2(2), 48-78.
- **Mehibel, M., Merghem, R. (2006).** Etude phytochimique et évaluation de l'activité antibactérienne et antioxydante des polyphénols extraits de *Rosmarinus officinalis* L. et *Quercus suber* L. de la région de Jijel (Doctoral dissertation).
- **Mensor, L. L., Menezes, F. S., Leitão, G. G., Reis, A. S., Santos, T. C., Coube, C. S. (2001).** Criblage d'extraits de plantes brésiliennes pour l'activité antioxydante par l'utilisation de la méthode des radicaux libres DPPH. *Recherche en phytothérapie*, 15(2), 127-30.
- **Khuram, S., El-Ghorab, H., Faqir, M., Shahzad, H. (2012).** Characterization of Coriander (*Coriandrum sativum* L.) Seeds and Leaves: Volatile and Non-Volatile Extracts, *International Journal of Food Properties*, 15:4, 736-747.
- **Munné-Bosch, S., PintûMarijuan, M. (2017).** Free radicals, oxidative stress and antioxidants. *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*, 2, 16-19.

N

- **NOUADRI. (2011).** L'alpha amylase de penicillium camemberti PL21: Production, Purification, Caractérisation et Immobilisation. Mémoire de Magister 160p. Université Mentouri. Constantine.

O

- **Oms, O., Agustí, J., Gabàs, M., Anadón, P. (2000).** Lithostratigraphical correlation of micromammal sites and biostratigraphy of the Upper Pliocene to Lower Pleistocene in the Northeast Guadix-Baza Basin (southern Spain). *Journal of Quaternary Science: Published for the Quaternary Research Association*, 15(1), 43-50.
- **OMS, (2016).** Rapport mondial sur le diabète, Résumé d'orientation.

- **Ouffai, K., Azzi, R., Abbou, F., Mahdi, S., El Haci, I. A., Belyagoubi-Benhammou, N., Lahfa, F. B. (2021).** Phenolics compounds, evaluation of Alpha-amylase, alpha-glucosidase inhibitory capacity and antioxidant effect from *Globularia alypum* L. *Vegetos*, 34, 477-484.

P

- **Pillon, F., Tan, K., Jouty, P., Frullani, Y. (2014).** Le traitement médicamenteux du diabète de type 2. *Actualités pharmaceutiques*, 53(541), 23-28.
- **Pisoschi, A. M., Pop, A., Iordache, F., Stanca, L., Predoi, G., Serban, A. I. (2021).** Oxidative stress mitigation by antioxidants-an overview on their chemistry and influences on health status. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 209, 112891.
- **Pisoschi A.M., Pop A. (2015).** The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: A review. *European Journal of Medicinal Chemistry* 97, 55-74.
- **Pizzino, G., Irrera, N., Cucinotta, M., Pallio, G., Mannino, F., Arcoraci, V., Squadrito, F., Altavilla, D., Bitto, A. (2017).** Oxidative Stress : Harms and Benefits for Human Health. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2017, 1-13.
- **Prachayasittikul, V., Prachayasittikul, S., Ruchirawat, S., Prachayasittikul, V. (2018).** Coriander (*Coriandrum sativum*): A promising functional food toward the well-being. *Food Research International*, 105, 305-323.
- **Punthakee, Z., Goldenberg, R., Katz, P., (2018).** Clinical Practice Guidelines Definition, Classification and Diagnosis of Diabetes, Prediabetes and Metabolic Syndrome Diabetes Canada Clinical Practice Guidelines Expert Committee.

R

- **Rahimzadeh, M., Jahanshahi, S., Moein, S., Moein, M. R. (2014).** Evaluation of alpha-amylase inhibition by *Urtica dioica* and *Juglans regia* extracts. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 17(6), 465.

S

- **Saify, K., Saadat, I., Saadat, M. (2016).** Influence of A-21T and C-262T genetic polymorphisms at the promoter region of the catalase (CAT) on gene expression. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 21(5), 382-386.

- **Sahib, N., Anwar, F., Gilani, A., Hamid, A., Saari, N., Alkharfy, K. (2013).** Coriandre (*Coriandrum sativum* L.) : une source potentielle de composants de grande valeur pour les aliments fonctionnels et les nutraceutiques - une revue. *Phytother Res.* 27 : 1439-56.
- **Singh, A., Kukreti, R., Saso, L., Kukreti, S. (2019).** Oxidative stress: a key modulator in neurodegenerative diseases. *Molecules*, 24(8), 1583.

V

- **Valko, M., Izakovic, M., Mazur, M. (2004).** Role of oxygen radicals in DNA damage and cancer incidence. *Mol Cell Biochem* 266(1–2):37–56.
- **Valko M. D., Leibfritz, J., Moncol M.T.D., Cronin, M., Mazur, J., Telser. (2007).** Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *Biocell.*39, 44-84.
- **Vermerris W., Nicholson R., (2006).** Phenolic compound biochemistry. Springer, Netherlands.

W

- **Wang, J., Jacobs, P., Ohinmaa, A., Dezetter, A., Lesage, A. (2018).** Public Expenditures for Mental Health Services in Canadian Provinces: Dépenses publiques pour les services de santé mentale dans les provinces canadiennes. *The Canadian Journal of Psychiatry*, 63(4), 250-256.
- **Wang, L., Zhang, B., Xiao, J., Huang, Q., Li, C., Fu, X. (2018).** Propriétés physicochimiques, fonctionnelles et biologiques des polysaccharides hydrosolubles de *Rosa roxburghii* TrattFruit. *Chimie alimentaire*, 249, 127–135.
- **Wang, T.Y., Li, Q., Bi, K.S. (2018).** Bioactive flavonoids in medicinal plants: Structure, activity and biological fate. *Asian J Pharm Sci.* 13(1): 12-23.

Z

- **Zhang, S., Huo, H., Ye, B., Wang, J., Feng, C. (2023).** Preparation of low hygroscopicity ADN-based energetic composite microspheres and their performance study. *AIP Advances*, 13(5).

- **Zhishen, J., Mengcheng, T. and Jianming, W., (1999).** The determination of flavonoid contents in mulberry and their scanenging effects on superoxide radicals”. *Food Chem.* 64: pp. 555-559.
- **Zielinski, Z. A., Pratt, D. A. (2017).** Lipid peroxidation: kinetics, mechanisms, and products. *The Journal of organic chemistry*, 82(6), 2817-2825.
- **Zuluaga, M., Gueguen, V., Pavon-Djavid, G, Letourneur, D. (2017).** Carotenoids from microalgae to block oxidative stress. *Bioimpacts.* 7: 1-3.