



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية.

République Algérienne démocratique et populaire.

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي.

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique.



Université Frère Mentouri Constantine1.

جامعة الاخوة منتورى قسنطينة 1.

Faculté des Sciences de la Nature et de la vie.

كلية علوم الطبيعة والحياة.

Mémoire présenté en vue d'obtention du diplôme de Master.

Domaine : Science de la nature et de la vie.

Filière : Science Biologique.

Spécialité : Biodiversité et Physiologie végétale.

Intitulé :

Étude de la capacité de germination, extraction et valorisation des huiles et des extraits issues des graines de

Hippophae rhamnoides et Pistacia vera

Présenté par :

BENARIOUA Ahmed Achraf et BENSEBBANE Amani Yasmine

Jury dévaluation :

Président : MADI Aicha

MCA - U Constantine 1 Frères Mentouri.

Encadrant : CHAIB Ghania

PROF - U Constantine 1 Frères Mentouri.

Co-encadrant : HARRAT Wahiba

MRB - INRAA - Unité de recherche

Constantine.

Examinateur(s) : BOUZID Salha

MCA - U Constantine 1 Frères Mentouri.

Soutenue le : 24/06/2025

REMERCIEMENT

Avant tout, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à **Allah, Le Tout-Puissant**, qui m'a accordé la santé, la patience, la volonté et la force nécessaires pour mener à bien ce stage et rédiger ce modeste rapport. *L'homme propose, mais Allah dispose.*

Je tiens à remercier sincèrement **Mme. CHAIB Ghania**, mon encadrante universitaire, pour avoir accepté de superviser ce travail. Sa disponibilité, ses conseils précieux, son soutien constant et sa confiance m'ont été d'une grande aide tout au long de cette expérience.

Je remercie également **Mme. HARATH Wahiba**, cheffe du centre de recherche de l'INRAA (Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie), pour son accueil chaleureux, les moyens mis à ma disposition et les conditions favorables qu'elle a su créer pour la réussite de mon stage.

Mes sincères remerciements vont également à **Dr. MADI Aicha** qui a bien voulu présider mon jury et pour sa précieuse aide, ses encouragements et ses conseils et pour l'aide compétente.

Mes remerciements vont également à **Dr. Bouzid Salha** pour avoir accepté d'examiner ce travail et d'apporter les critiques nécessaires à la mise en forme de cet ouvrage.

Mes remerciements vont également à **Dr. BEN KARA Asma**, pour ses encouragements, sa bienveillance et son accompagnement. Son implication et sa gentillesse ont fortement contribué à rendre cette expérience enrichissante.

Enfin, je tiens à adresser mes sincères remerciements à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont participé à la réalisation de ce travail, que ce soit par leur soutien moral ou matériel. Qu'elles trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Dédicace

Tout d'abord, je tiens à remercier le DIÉU de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Je dédie ce travail :

A ma merveilleuse mère SABRINA, qui a toujours cru en moi et m'a encouragé à poursuivre mes rêves. Sans toi, je n'aurais pas acquis la force et la résilience nécessaires pour aboutir à ce stade. Je t'aime maman et j'imploré le tout puissant pour qu'elle t'accorde une bonne santé et une vie longue et heureuse.

A mon cher père M. LAZHAR, ton soutien fut une lumière dans tout mon parcours. Ce modeste travail est le fruit de tous les sacrifices que tu as déployés pour mon éducation et ma formation.

Que dieu te garde et te protège.

A mon adorable petite sœur HANA qui a partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail.

A mes grands-parents pour leur encouragement dans mon parcours.

A tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à me remonter le moral et me soutenir dans les moments difficiles.

Et bien sûr à moi

Ahmed Achraf

Dédicace

Tout d'abord, je tiens à remercier le DIEU de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Je dédie ce travail :

A ma merveilleuse mère FATIMA EL ZAHRA, qui a toujours cru en moi et m'a encouragé à poursuivre mes rêves. Sans toi, je n'aurais pas acquis la force et la résilience nécessaires pour aboutir à ce stade. Je t'aime maman et j'imploré le tout puissant pour qu'elle t'accorde une bonne santé et une vie longue et heureuse.

A mon cher père DJAMEL, ton soutien fut une lumière dans tout mon parcours. Ce modeste travail est le fruit de tous les sacrifices que tu as déployés pour mon éducation et ma formation.

Que dieu te garde et te protège.

A mon adorable oncle LAMRI, l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir. Que Dieu vous garde et vous accorde santé, bonheur et longue vie.

A mon grand frère AYMENE, mon bras droit qui est tout jour là pour moi.

A mon adorable petite sœur RACHA qui a partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail.

A mes amies MARWA, WARDA, ANGHAM, BOUCHRA pour leur encouragement dans mon parcours.

A tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à me remonter le moral et me soutenir dans les moments difficiles.

Amani Yasmine

Table des matières

Remerciements

Dédicace

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Résumé

Introduction générale	1
I. Synthèse bibliographique	3
Chapitre 1 - Présentation des espèces	3
1. Présentation de la plante de L'argousier (<i>Hippophae rhamnoides L</i>)	3
1.1. Famille des Eleagnaceae	3
1.2. Classification de (<i>Hippophae rhamnoides L</i>)	4
1.3. Description botanique	5
1.3.1 Port	5
1.3.2 Feuillage	6
1.3.3 Fleurs	6
1.3.4 Fruits	7
1.3.5 Système racinaire	8
1.4. Origine et répartition géographique	9
1.5. Les espèces d'argousier	9
1.6. Intérêt économique et écologique	11
1.6.1. Intérêt économique	11
1.6.2. Intérêt écologique	11
1.7. La culture de l'argousier (<i>Hippophae rhamnoides</i>)	12
1.7.1. La germination	12
1.7.2. La culture de l'argousier en pratique	13
2. Présentation de la plante de pistachier (<i>Pistacia vera L</i>)	16

2.1	La famille anacardiacée.....	16
2.2	Classification de (<i>Pistacia vera L</i>)	17
2.3	Description botanique	18
2.3.1	Port	18
2.3.2	Feuillage.....	19
2.3.3	Fleurs.....	19
2.3.4	Fruits	20
2.3.5	Système racinaire	21
2.4	Origine et Répartition Géographique	21
2.5	Les espèces de pistaches	23
2.6	Intérêts économiques et écologique	23
2.6.1.	Intérêt économique.....	23
2.6.2.	Intérêts écologiques.....	24
2.7	La culture de pistachier (<i>Pistacia vera</i>)	24
2.7.1.	La germination	24
2.7.2.	La culture de pistachier en pratique	25
Chapitre 2 - Description phytochimique	27
1.	L'argousier (<i>Hippophae rhamnoides L</i>)	27
1.1.	Molécules issues de métabolisme primaire	27
1.1.1.	Les Glucides.....	27
1.1.2.	Lipides et Acides Gras	29
1.1.3.	Les acides aminés et les protéines.....	29
1.1.4.	Acides Organiques	30
1.2.	Molécules issues de métabolisme secondaire	31
1.2.1.	Composés Phénoliques	31
1.2.2.	Composés Terpéniques.....	34
1.2.3.	Caroténoïdes.....	34

1.2.4. Tocophérols	35
1.2.5. Composés Azotés (Alcaloïdes)	35
1.2.6. Saponines et Coumarines	35
2. Le pistachier (<i>Pistacia vera</i>)	37
2.1. Molécules issues de métabolisme primaire.	37
2.1.1. Les Glucides.....	37
2.1.2. Les lipides	37
2.1.3. Protéines et Acides Aminés	38
2.2. Molécules issues de métabolisme secondaire	39
2.2.1. Composés Phénoliques	39
2.2.2. Terpènes et Terpénoïdes	40
2.2.3. Caroténoïdes.....	40
Chapitre 3 - Propriétés pharmacologiques.....	41
1. L'argousier (<i>Hippophae rhamnoides L</i>)	41
1.1 Propriétés Antioxydantes.....	41
1.2 Propriétés Anti-inflammatoires	41
1.3 Effets Immunomodulateurs	42
1.4 Actions Hépatoprotectrices	42
1.5 Actions Cardioprotectrices	42
1.6 Potentiel Anticancéreux.....	42
1.7 Effets Neuroprotecteurs.....	43
1.8 Applications Dermatologiques et Cicatrisation des Plaies.....	43
2. Le pistachier (<i>Pistacia vera</i>)	45
2.1 Propriétés antioxydantes	45
2.2 Effets anti-inflammatoires	46
2.3 Potentiel antidiabétique	46
2.4 Activités anticancéreuses et cytotoxiques	47

2.5	Bienfaits pour la santé cardiovasculaire	47
2.6	Effets neuroprotecteurs et amélioration cognitive.....	47
2.7	Propriétés antimicrobiales et antivirales	48
II.	Matériels et méthodes	50
1.	Le matériel végétal	50
1.1.	L'argousier (<i>Hippophae rhamnoides</i>)	50
1.2.	Le pistachier (<i>Pistacia vera</i>)	51
1.3.	Etude morphologique de matériels végétale	51
2.	La germination	53
2.1.	Germination d'argousier (<i>Hippophae rhamnoides</i>)	53
2.1.1.	Préparation des graines	53
2.1.2.	Prétraitement	53
2.1.3.	Analyse statistique	56
2.1.4.	Levée de dormance (stratification à froid)	56
2.1.5.	Prégermination	56
2.2.	Germination de pistache (<i>Pistacia vera</i>).....	57
2.2.1.	Préparation des graines	57
2.2.2.	Imbibition des graines	57
2.2.3.	Analyse statistique	58
2.2.4.	Levée de dormance (stratification à froid)	58
2.2.5.	Prégermination	58
3.	Extraction d'huile et matière des deux espèces <i>Hippophae rhamnoides</i> et <i>Pistacia vera</i>	59
3.1.	Extraction matière de l'argousier	59
3.1.1.	Broyages des baies sèche d'argousier	59
3.1.2.	Séchage de la poudre.....	59
3.1.3.	Extraction de la matière	60

3.2. Extraction huile d'argousier	61
3.3. Extraction huile de pistache	62
4. Évaluation de la Teneur en Polyphénols Totaux (TPC)	63
5. Détermination de la teneur en flavonoïdes totaux (TFC).....	64
6. Détermination de la concentration des tannins condensé.....	65
7. L'activité antioxydante	66
8. Evaluation de l'activité antibactérienne des deux huiles végétales obtenues (<i>Hippophae rhamnoides</i> et <i>Pistacia vera</i>) :.....	67
8.1. Matériel utilisé pour le test de l'activité antibactérienne	67
8.2. Les étapes de teste de l'activité antibactérienne.....	68
8.2.1. Préparation de l'inoculum.....	68
8.2.2. Ensemencement des bactéries	68
8.2.3. Préparation des puis	69
8.2.4. Préparation des dilutions des huiles	70
8.2.5. Application des échantillons	70
8.2.6. Incubation.....	70
8.2.7. Lecture et interprétation	71
8.2.8. Analyse statistique	71
9. Evaluation de l'activité antifongique des deux huiles végétales obtenues (<i>Hippophae rhamnoides</i> et <i>Pistacia vera</i>) :.....	72
9.1. Matériel utilisé pour le test de l'activité antifongique.....	72
9.2. Les étapes de teste de l'activité antifongique	72
9.2.1. Préparation de l'inoculum fongique.....	72
9.2.2. Préparation du milieu PDA	73
9.2.3. Ensemencement des champignons.....	74
9.2.4. Création des puits	74
9.2.5. Préparation des dilutions	75
9.2.6. Application des échantillons	75

9.2.7. Incubation.....	75
9.2.8. Lecture et interprétation	75
9.2.9. Analyse statistique	76
III. Résultats et discussions.....	78
1. Étude morphologique des graines d'argousier et de pistachier	78
1.1 Graines d'argousier (<i>Hippophae rhamnoides</i>)	78
1.2 Graines de pistachier (<i>Pistacia vera</i>)	78
2. La germination	79
2.1 Résultats morphométriques des graines après imbibition	79
2.1.1. Les graines d'argousier après imbibition	79
2.1.2. Les graines de pistachier après imbibition	88
2.2 Le Poste germination (résultats).....	89
3. Extraction d'huile et matière des deux espèces <i>Hippophae rhamnoides</i> et <i>Pistacia vera</i>	92
3.1 L'extrait de l'argousier (<i>Hippophae rhamnoides</i>)	92
3.2 Huile de l'argousier.....	94
3.3 Huile de pistachier (<i>Pistacia vera</i>).....	95
4. Évaluation de la Teneur en Polyphénols Totaux (TPC)	97
4.1. Teneur en polyphénols de l'argousier	97
4.2. Teneur en polyphénols de Pistachier.....	98
5. Évaluation de la Teneur en flavonoïdes Totaux (TFC).....	98
6. Détermination de la concentration des tannins condensé.....	99
7. L'activité antioxydante	101
8. L'activité antibactérienne	103
9. L'activité antifongique.....	109
Conclusion générale.....	113
References bibliographiques.....	116

Annexe	131
---------------------	-----

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Illustration botanique de l'Argousier (<i>Hippophae rhamnoides</i>)	5
Figure 2: L'arbuste de l'argousier	5
Figure 3: Port de l'argousier (<i>Hippophae rhamnoides</i>)	5
Figure 4: Les feuilles de l'argousier (<i>Hippophae rhamnoides</i>)	6
Figure 5: Fleur femelle de l'argousier (<i>Hippophae rhamnoides</i>)	7
Figure 6: Fleur male de l'argousier (<i>Hippophae rhamnoides</i>)	7
Figure 7 : Le fruit de <i>Hippophae rhamnoides</i>	7
Figure 8 : Le système racinaire d' <i>Hippophae rhamnoides</i>	8
Figure 9 : Carte représente la répartition géographique de l'argousier	9
Figure 10: Arbre de <i>Pistacia vera</i> (pistachier)	18
Figure 11: Illustration botanique de pistachier (<i>Pistacia vera</i>)	18
Figure 12: Port générale d'un arbre de <i>Pistacia vera</i> (pistachier)	18
Figure 13: Les feuilles de l'arbre de pistachier (<i>Pistacia vera</i>) (mguntow, 2008)	19
Figure 14: Fleur femelle de pistachier. (<i>Pistacia vera</i>)	20
Figure 15: Fleur mâle de pistachier.	20
Figure 16: Fruit de pistachier (<i>Pistacia vera</i>). (pcryl, 2017).....	21
Figure 17: Carte représente la répartition géographique de pistachier	22
Figure 18: La structure des glucides présentes au fruit d'argousier	28
Figure 19: La structure des acides organiques chez l'argousier	31
Figure 20: A : Les baies d'argousier (<i>Hippophae rhamnoides</i>)	50
Figure 21: Graines de pistachier (Photo original, 2025).	51
Figure 22: Les grains d'argousier et Pistachier A : Mesure Largeurs et hauteurs des deux espèces ; B : Observation binoculaire des deux espèces (40X).	52
Figure 23: A : pesée d'acide gebrillique (GA3), B : Acide gebrillique (GA3)	54
Figure 24: Imbibition des graines d'argousier dans la solution de H ₂ O ₂	54
Figure 25: Imbibition des graines d'argousier dans la solution de KNO ₃	55
Figure 26: Imbibition des graines d'argousier dans l'eau distillée(témoin)	55
Figure 27: Stratification à froid des graines d'argousier	56
Figure 28: Les graines dans un endroit chaud, sombre et humide.	57
Figure 29: Nettoyage et imbibition des graines.....	57
Figure 30: Stratification à froid des graines de pistachier	58
Figure 31: Les graines dans un endroit chaud, sombre et humide	58

Figure 32: Poudre d'argousier.....	59
Figure 33: Séchage de la poudre d'argousier	59
Figure 34: Extraction de la matière A : La pesée de poudre d'argousier B : Placement de poudre dans la cartouche, C : Extraction par soxhlet, D : Evaporation d'éthanol par rotavapor.....	60
Figure 35: La procédure d'extraction d'huile d'argousier.....	61
Figure 36: A : L'extraction d'huile de pistachier ; B : Machine de pression à froid ; C : Huile et résidus de pistachier.....	62
Figure 37: A : La solution d'argousier utilisé ; B : le réactif de Folin-Ciocâlteu ;	63
Figure 38: La réaction entre AlCl ₃ et la solution d'argousier	64
Figure 39: A : La vanilline ; B : Pesée de quantité de vanilline utilisé	65
Figure 40: La solution de DPPH	66
Figure 41: A : Ensemencement de l'agar Mueller-Hinton ; B : préparation de milieu de culture Mueller-Hinton	69
Figure 42: Realisation des puits	69
Figure 43: Les dilution d'huiles préparé	70
Figure 44: Préparation de l'inoculum fongique.....	73
Figure 45: A : L'agar ; B : Bouillisement de pomme de terre ; C : Versement de mélange dans les boites de petri.....	73
Figure 46: Ensemencemnt des champignons	74
Figure 47: Creation des puits.....	74
Figure 48: L'incubation des boites de pétrie.....	75
Figure 49: Histogramme des paramètres (Poids, Hauteur, Largeur) avant et après imbibition	79
Figure 50: Moisissures des graines d'argousier	89
Figure 51: A : L'extrait après évaporation d'éthanol	92
Figure 52: A : huile d'argousier obtenue après évaporation d'hexane	94
Figure 53: Huile de pistachier	95
Figure 54: Histogramme de rendement d'huile et extrait d'argousier	96
Figure 55: Histogramme de rendement d'huile d'argousier et de pistachier	96
Figure 56: La réaction d'extrait avec le réactif de Folin-Ciocalteu	97
Figure 57: La réaction de l'extrait de l'argousier avec vanilline-HCl	99
Figure 58: Histogramme des teneurs en TPC, TFC, Tannins de l'Argousier et Pistachier100	
Figure 59: Test DPPH de l'argousier.....	101

Figure 60: Histogramme des pourcentages d'inhibitions du radical DPPH par l'extrait de Hippophae rhamnoides	101
Figure 61: A : Zone d'inhibition a concentration 100%	103
Figure 62: Histogramme des pourcentages d'inhibition des huiles sur E. coli et Bacillus	103
Figure 63: Zone d'inhibition des huiles testé	109
Figure 64 : Histogramme de la moyenne d'effet inhibiteur des huiles sur les champignons	109
Figure 65 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique pour la teneur des polyphenols totaux.	131
Figure 66: Courbe d'étalonnage de quercétine pour la teneur des flavonoïdes totaux. ...	131
Figure 67: Courbe d'étalonnage de catéchine pour la teneur des tannins.	132

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Classification Cronquist et APG 3 du <i>Hippophae rhamnoides</i>	4
Tableau 2: Les espèces de genre <i>Hippophae</i> et les sous especes de <i>Hippophae rhamnoides</i>	10
Tableau 3: Les principaux genres de pistachier (<i>Pistacia vera</i>) (Aronson J.K., 2009).....	17
Tableau 4: Classification de pistachier (<i>Pistacia vera</i>).....	17
Tableau 5: Les espèce de pistachier (<i>Pistacia vera</i>)	23
Tableau 6: Composition en Sucres et Alcools de Sucre dans les Fruits de l'Argousier	28
Tableau 7: Profil des Acides Aminés Essentiels et Non-Essentiels dans les fruits de l'argousier.....	30
Tableau 8: Profil des principaux acides gras de l'huile de <i>Pistacia vera</i>	38
Tableau 9: Activités Pharmacologiques de <i>Hippophae rhamnoides</i> et Preuves à l'Appui (In Vitro, In Vivo, Clinique).....	44
Tableau 10: Les souches bactérienne testé	68
Tableau 11: Rapports volumétriques DMSO	70
Tableau 12: Analyse de variance poids des graines d'argousier.....	80
Tableau 13: Groupes homogènes de traitement pour le paramètre poids des graines.....	81
Tableau 14: Groupes homogènes de traitement pour le paramètre poids des graines.....	81
Tableau 15: Groupes homogènes de l'interaction (Variétés, traitement) pour le paramètre poids des graines.....	82
Tableau 16: Analyse de variance longueur des graines d'argousier	82
Tableau 17: Groupes homogènes de traitement pour le paramètre longueur des graines ..	83
Tableau 18: Groupes homogènes de traitement pour le paramètre longueur de graines....	83
Tableau 19: Groupes homogènes de l'interaction (Variétés, traitement) pour le paramètre longueur des graines	83
Tableau 20: Analyse de la variance pour le paramètre largeur des graines.....	84
Tableau 21: Groupes homogènes de traitement pour le paramètre largeur des graines.	85
Tableau 22: Groupes homogènes de traitement pour le paramètre largeur des graines.	85
Tableau 23: Groupes homogènes de l'interaction (Variétés, traitement) pour le paramètre largeur des graines	86
Tableau 24: Analyse de la variance pour le paramètre longueur des graines.....	88
Tableau 25: Groupes homogènes de traitement pour le paramètre longueur des graines. ..	88

Tableau 26: Taux de germination observé chez <i>Hippophae rhamnoides</i> et <i>Pistacia vera</i> après différents traitements pré-germinatifs	90
Tableau 27: Paramètres et rendement d'extraction	93
Tableau 28: Analyse de variance huile-bactéries-concentration.....	104
Tableau 29: Groupes homogènes de traitement pour le paramètre huile	105
Tableau 30: Groupes homogènes de traitement pour le paramètre bactéries.....	106
Tableau 31: Groupes homogènes de traitement pour le paramètre concentration	106
Tableau 32: Groupes homogènes de traitement pour le paramètre huile \times bactéries	107
Tableau 33: Analyse de variance huile - champignons - concentrations.....	110

LISTE DES ABRÉVIATIONS

TPC	Teneur en Polyphénols Totaux
TFC	Teneur en Flavonoïdes Totaux
EC	Équivalent Catéchine
EQ	Équivalent Quercétine
EAG	Équivalent Acide Gallique
DPPH	2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle
FCR	Réactif de Folin-Ciocalteu
GA ₃	Acide gibbérellique
H ₂ O ₂	Peroxyde d'hydrogène
KNO ₃	Nitrate de potassium
AlCl ₃	Chlorure d'aluminium
NaNO ₂	Nitrite de sodium
NaOH	Hydroxyde de sodium
PDA	Potato Dextrose Agar
MH	Mueller-Hinton
DMSO	Diméthylsulfoxyde
ANOVA	Analyse de la Variance
NSK	Test de Newman-Keuls
g	Gramme (masse)
mg	Milligramme (masse)
µg	Microgramme (masse)
L	Litre (volume)
ml	Millilitre (volume)
µL	Microlitre (volume)
nm	Nanomètre (longueur d'onde)
mm	Millimètre (longueur zone d'inhibition)
°C	Degré Celsius (température)
%	Pourcentage (concentration, rendement)
n	Nombre d'échantillons (répétition)
R%	Rendement d'extraction en pourcentage
A ₀	Absorbance du témoin (contrôle)
A _s	Absorbance de l'échantillon

R²

Coefficient de détermination (corrélation)

Résumé

L'argousier (*Hippophae rhamnoides*) et le pistachier (*Pistacia vera*) sont deux espèces végétales riches en composés bioactifs d'intérêt thérapeutique, tels que les flavonoïdes, les caroténoïdes, les acides gras insaturés, les tocophérols et les stérols végétaux. Leurs huiles, extraites à froid, sont reconnues pour leurs propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et antimicrobiennes, ce qui leur confère un potentiel significatif dans l'industrie pharmaceutique. La présente étude vise à évaluer comparativement l'activité antibactérienne, antifongique et antioxydante des huiles d'argousier et de pistache à travers des tests *in vitro*. L'activité antimicrobienne a été analysée par la méthode des puits contre *Escherichia coli* et *Bacillus subtilis*, tandis que l'effet antifongique a été étudié sur milieu PDA contre *Fusarium* spp. et *Verticillium* spp. L'activité antioxydante a été mesurée par le test DPPH. Les résultats ont révélé que l'huile d'argousier présente un forte capacité antioxydante et antifongique, tandis que l'huile de pistache a montré une efficacité plus marquée contre les bactéries Gram positives. Ces résultats soulignent l'intérêt de ces deux huiles dans la formulation de produits pharmaceutiques naturels à visée antimicrobienne et antioxydante.

Mots-clés : Huile d'argousier, Huile de pistache, Composés bioactifs, Activité antimicrobienne, Antioxydant, Industrie pharmaceutique.

Abstract

Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) and pistachio (*Pistacia vera*) are two plant species known for their richness in bioactive compounds with therapeutic potential, including flavonoids, carotenoids, unsaturated fatty acids, tocopherols, and plant sterols. Their cold-pressed oils exhibit antioxidant, anti-inflammatory, and antimicrobial properties, making them valuable for pharmaceutical applications. This study aims to comparatively evaluate the antibacterial, antifungal, and antioxidant activities of sea buckthorn and pistachio oils through in vitro assays. Antibacterial activity was tested using the well diffusion method against *Escherichia coli* and *Bacillus subtilis*, while antifungal effects were assessed on PDA medium against *Fusarium* spp. and *Verticillium* spp. Antioxidant capacity was determined using the DPPH radical scavenging assay. The results showed that sea buckthorn oil demonstrated strong antioxidant and antifungal activity, whereas pistachio oil was more effective against Gram-positive bacteria. These findings highlight the potential of both oils in the formulation of natural pharmaceutical agents with antimicrobial and antioxidant properties.

Keywords: Sea buckthorn oil, Pistachio oil, Bioactive compounds, antimicrobial activity, Antioxidant, Pharmaceutical industry.

الملخص

يُعد نبات النبق البحري (*Pistacia vera*) ونبات الفستق (*Hippophae rhamnoides*) من المصادر النباتية الغنية بالمركبات الحيوية الفعالة مثل الفلافونويدات، الكاروتينات، الأحماض الدهنية غير المشبعة، التوكوفيرولات والستيرولات النباتية. وُظهرت الزيوت المستخلصة من هذه النباتات، باستخدام تقنية العصر البارد، خصائص بيولوجية مهمة مثل النشاط المضاد للأكسدة، والمضاد للالتهابات، والمضاد للميكروبات، مما يجعلها مرشحة قوية للاستخدام في الصناعات الصيدلانية الطبيعية.

تهدف هذه الدراسة إلى التقييم المقارن للنشاط البيولوجي لزيت النبق البحري وزيت الفستق، من خلال اختبارات مخبرية شملت ثلاثة جوانب رئيسية: النشاط المضاد للبكتيريا، النشاط المضاد للفطريات، والقدرة المضادة للأكسدة. تم تقييم الفعالية المضادة للبكتيريا باستخدام طريقة الانتشار ضد *Bacillus subtilis* و *Escherichia coli*، بينما تم تحليل النشاط المضاد للفطريات باستخدام وسط PDA ضد سلالات *Fusarium* و *Verticillium*. أما النشاط المضاد للأكسدة فقد تم قياسه بواسطة اختبار DPPH.

أظهرت النتائج أن زيت النبق البحري يتمتع بنشاط قوي كمضاد للأكسدة وفعالية واضحة ضد الفطريات، في حين أظهر زيت الفستق فعالية أكبر ضد البكتيريا موجبة الجرام. وتشير هذه النتائج إلى إمكانية توظيف هذين الزيتين في تطوير مستحضرات صيدلانية طبيعية ذات خصائص علاجية فعالة.

الكلمات المفتاحية: زيت النبق البحري، زيت الفستق، نشاط مضاد للميكروبات، مضاد أكسدة، مركبات نباتية فعالة، الصناعات الصيدلانية

Introduction générale

Introduction générale

Depuis plusieurs décennies, l'intérêt pour les substances naturelles d'origine végétale ne cesse de croître, en réponse aux limites rencontrées avec les traitements chimiques conventionnels, notamment dans les domaines de la santé, de l'agriculture et de l'agroalimentaire. La montée alarmante de la résistance microbienne aux antibiotiques, les effets secondaires indésirables des antifongiques de synthèse, ainsi que les préoccupations croissantes liées à l'oxydation des aliments et au vieillissement cellulaire ont orienté la recherche vers des alternatives plus sûres, durables et écologiques.

L'huile d'argousier (*Hippophae rhamnoides*), extraite des baies de cet arbuste pionnier, est particulièrement appréciée pour sa forte teneur en caroténoïdes, flavonoïdes, acides gras essentiels, ainsi que ses vitamines antioxydantes (C et E). Elle est traditionnellement utilisée pour ses propriétés anti-inflammatoires, cicatrisantes et antimicrobiennes. L'huile de pistache (*Pistacia vera*), bien que moins étudiée, possède-t-elle aussi un potentiel intéressant grâce à sa composition en acides gras insaturés, en tocophérols et en stérols végétaux, lui conférant des propriétés antioxydantes et protectrices notables.

L'exploration des effets biologiques de ces huiles, notamment leur activité contre les agents pathogènes et leur pouvoir antioxydant, ouvre la voie à des applications dans divers secteurs : cosmétique, agroalimentaire, biomédical, ou encore phytosanitaire. Toutefois, il subsiste un manque d'études comparatives rigoureuses évaluant ces deux huiles selon des critères expérimentaux homogènes.

Dans ce contexte, le présent mémoire vise à évaluer et comparer l'activité antibactérienne, antifongique et antioxydante de l'huile d'argousier et de l'huile de pistache, extraites à froid. L'analyse repose sur des tests *in vitro* : la méthode des puits pour les bactéries (*Escherichia coli* et *Bacillus subtilis*), l'inhibition fongique sur milieu PDA pour les champignons (*Fusarium* et *Verticillium*), et le test DPPH pour la mesure de la capacité antioxydante. L'objectif est de déterminer l'efficacité de ces huiles, d'identifier les différences entre elles, et d'envisager leur valorisation dans une démarche naturelle de lutte contre les micro-organismes et le stress oxydatif.

Partie 1

Synthèse

bibliographique

I. Synthèse bibliographique

Chapitre 1 - Présentation des espèces

1. Présentation de la plante de L'argousier (*Hippophae rhamnoides* L.)

1.1. Famille des Eleagnaceae

La famille des Eleagnaceae est un groupe de plantes diversifié, comprenant des arbres, des arbustes et des arbrisseaux, appartient à l'ordre des Rosales et se compose de trois genres (Elaeagnus L., Hippophaë L., Sherpherdia Nutt.) et de 60 espèces (APG IV, 2016).

Les Éléagnacées ont été découvertes pour la première fois en Europe au XVIII^e siècle, bien que des espèces de cette famille aient été identifiées dans d'autres régions du monde bien avant. La famille des Éléagnacées a été décrite pour la première fois par le botaniste français Pierre André Pourret en 1823 cependant ces espèces telles que l'argousier et le chalef (Pourret 1877).

Cette famille est largement répandue à travers le monde, avec une forte concentration dans les régions tempérées et subtropicales. On les trouve principalement en Asie, en Europe, en Afrique du Nord, ainsi qu'en Amérique du Nord et du Sud (Flora of North America, 1993 ; POWO, 2025).

Les Éléagnacées sont utilisées pour leur bois, leurs fruits comestibles et leurs propriétés médicinales. Elles sont également utilisées comme plantes ornementales (Cieśla, 2002 ; Li et Beveridge, 2003).

Il comprend trois genres :

- **Elaeagnus** : ce genre regroupe des arbustes et des arbres, souvent épineux, originaires des régions tempérées d'Asie, d'Europe et d'Amérique du Nord. Ils sont appréciés pour leur feuillage argenté et leurs fleurs parfumées (Flora of China, 1999).
- **Hippophae** : ce genre ne comprend qu'une seule espèce, l'argousier (*Hippophae rhamnoides*), un arbuste épineux que l'on trouve dans les régions côtières et montagneuses d'Europe et d'Asie. Ses fruits orange sont riches en vitamines et en antioxydants (Flora of China, 1999).
- **Shepherdia** : ce genre comprend deux espèces d'arbustes originaires d'Amérique du Nord. Ils sont utilisés pour leurs fruits comestibles et leur capacité à fixer l'azote atmosphérique (Benson et Silvester, 1993).

1.2. Classification de (*Hippophae rhamnoides* L)

Hippophaë rhamnoides est un **arbuste épineux** appartenant au **genre Hippophaë**, de la **famille des Elaeagnaceae** et classé dans l'**ordre des Rosales** (APG IV, 2016).

Tableau 1:Classification Cronquist et APG 3 du *Hippophae rhamnoides*

Rang taxonomique	Système de Cronquist (1981)	Système APG III (2009)
Règne	Plantae	Plantae
Clade	—	Angiospermes
Clade	—	Eudicotylédones
Clade	—	Rosidées
Division	Magnoliophyta	— (inclus dans les clades)
Classe	Magnoliopsida	— (inclus dans les clades)
Sous-classe	Dilleniidae	—
Ordre	Elaeagnales	Rosales
Famille	Elaeagnaceae	Elaeagnaceae
Genre	Hippophae	Hippophae
Espèce	<i>Hippophae rhamnoides</i> L.	<i>Hippophae rhamnoides</i> L.

1.3. Description botanique

L'argousier (*Hippophae rhamnoides*) est un arbuste rustique, épineux et dioïque c'est-à-dire que les fleurs mâles et femelles sont portées sur des individus différents est reconnaissable grâce à ses petites baies orange (Rousi, 1971 ; Li et Beveridge, 2003).



Figure 2: L'arbuste de l'argousier (*Hippophae rhamnoides*)

Maja Dumat, *Flickr*, 2014.



Figure 1: Illustration botanique de l'Argousier (*Hippophae rhamnoides*)

HIPPOPHAE RHAMNOIDES. WIKIMEDIA COMMONS, 2007

1.3.1 Port

Arbuste pouvant atteindre 3 à 6 mètres de hauteur, au port buissonnant et épineux (Liu et al., 2013). Il possède une écorce rugueuse, de couleur brune ou noire, et une couronne épaisse, de couleur gris-vert.



Figure 3: Port de l'argousier (*Hippophae rhamnoides*)

Flogaus-Faust, Robert. Wikimedia Commons

1.3.2 Feuillage

Ses feuilles caduques sont lancéolées de type simples entières, dense, de petite dimension mesurent généralement entre 2 et 8 cm de longueur (Ahmed et al., 2015), possèdent une cuticule épaisse de couleur vert terne au-dessus et vert glauque sur leur face inférieure. Elles sont couvertes de trichomes, ou petits poils écailleux, dont la disposition donne une forme étoilée lui permettent de réduire son taux de transpiration et de tolérer des conditions plutôt sèches sans mettre en péril sa survie (Arumugam et al., 2021).



Figure 4: Les feuilles de l'argousier (*Hippophae rhamnoides*)
julia_HalleFotoFan Flickr, 2014.

1.3.3 Fleurs

L'argousier est une plante dioïque, avec des individus mâles et femelles distinctes. Les fleurs sont discrètes, petites, de couleur jaune-vert (femelles) ou brunâtre (mâles). Elles apparaissent au printemps avant la feuillaison. Les fleurs apparaissent avant les feuilles elles sont formées en petits racèmes (grappes) à l'aisselle des feuilles et sont apétales (sans pétales) (Singh et al., 2011). La fleur femelle est constituée de sépales soudés à la base (hypanthium), d'un périanthe à 2 lobes et d'un pistil. Ce dernier renferme un ovaire contenant lui-même un ovule (Rousi, 1990).

Les bourgeons floraux mâles sont plus gros que les bourgeons femelles. L’inflorescence mâle est composée de quatre à six fleurs apétales (Tutin et al. 1964).



Figure 5: Fleur femelle de l'argousier
(*Hippophae rhamnoides*)
Proton02. Wikimedia Commons



Figure 6: Fleur male de l'argousier
(*Hippophae rhamnoides*)
Ziarnek, Krzysztof. Wikimedia Commons,

1.3.4 Fruits

Les argouses sont des petites baies ovales, moins de 1 cm de diamètre, ils pèsent généralement moins de 1 gramme, charnu comme une cerise de couleur varie du jaune allant vers le rouge, et parfois jusqu’au noir, selon les espèces, sous-espèces et variétés et possède un petit noyau qui contient une graine (Beveridge and Li, 2012). L’épiderme du fruit, très mince, elles sont riches en vitamines, minéraux et antioxydants (Zeb, 2020).



Figure 7 : Le fruit de *Hippophae rhamnoides*
Kühn, J. Wikimedia Commons

1.3.5 Système racinaire

Le système racinaire de l'Argousier est composé de racines superficielles et étendues, s'étalant horizontalement sur une grande surface, capable de former des drageons. Ces racines contribuent à la stabilité de l'arbuste et lui permettent de s'ancrer fermement dans le sol, facilitant ainsi sa résistance aux conditions environnementales difficiles. (SUGNY and SANGLIER2022) (Harnois-Blouin, 2022). La combinaison de racines pivotantes profondes pour la tolérance à la sécheresse, de racines horizontales étendues pour l'acquisition des nutriments et de la capacité à fixer l'azote le rend bien adapté à la croissance dans des environnements marginaux. La formation de drageons contribue à son potentiel invasif, mais offre également un moyen de propagation naturelle. Il est également capable de fixer l'azote atmosphérique grâce à une symbiose avec des bactéries du genre *Frankia* au sein de nodosités racinaires, ce qui lui permet de prospérer dans des sols pauvres (Dawson, 1990).



Figure 8 : Le système racinaire d'*Hippophae rhamnoides*
Shah, Syed, 2015

1.4. Origine et répartition géographique

Hippophae rhamnoides, communément connu sous le nom d'argousier, est originaire d'Europe et d'Asie. Il pousse à l'état sauvage sur les côtes d'Allemagne, Finlande, Norvège, Suède, Estonie, Lituanie, Lettonie, Belgique, Pologne, Pays-Bas, et la Russie.

L'argousier pousse naturellement en Hongrie, Roumanie, Autriche, Moldavie, Ukraine, Russie, Allemagne, Turquie, Géorgie, Arménie, Kirghizstan, Afghanistan, Ouzbékistan, Kazakhstan, Népal, Chine, Mongolie, Tibet. (Martin Trépanier, 2011).



Figure 9 : Carte représentant la répartition géographique de l'argousier (*Hippophae rhamnoides*) (GBIF.org, 2025)

1.5. Les espèces d'argousier

Le genre *Hippophae*, communément appelé argousier, appartient à la famille des Elaeagnaceae. Il est composé de plusieurs espèces, et l'espèce la plus connue et la plus étudiée, notamment pour ses propriétés bénéfiques, est *Hippophae rhamnoides*.

Selon les classifications taxonomiques actuelles, le genre *Hippophae* comprend généralement entre 6 et 7 espèces principales, toutes originaires d'Europe et d'Asie (Rousi, 1971 ; Lu, 1999 ; Plants of the World Online, 2025).

Tableau 2: Les espèces de genre Hippophae et les sous espèces de *Hippophae rhamnoides*

Nom scientifique	Nom commun	Description	Répartition géographique	Sous espèces
Hippophae rhamnoides	Argousier commun	<ul style="list-style-type: none"> • Arbuste épineux • Feuilles argentées • Fruits orangeâtres. 	Europe et Asie	ssp. carpatica ssp. fluviatilis ssp. mongolica ssp. rhamnoides ssp. sinensis ssp. turkestanica ssp. wolongensis ssp. yunnanensis
Hippophae salicifolia	Argousier à feuilles de saule	Arbuste à feuilles étroites, ressemblant à celles du saule.	Asie (Himalaya)	
Hippophae tibetana	Argousier du Tibet	<ul style="list-style-type: none"> • Arbuste de haute altitude • Fruits plus gros que les autres espèces. 	Asie (Tibet)	
Hippophae goniocarpa		Arbuste à fruits noirs.	Asie (Chine)	
Hippophae gyantsensis		Arbuste à fruits rouges.	Asie (Tibet)	
Hippophae litangensis		Arbuste à fruits jaunes.	Asie (Chine)	
Hippophae neurocarpa		Arbuste à fruits bruns.	Asie (Chine)	sp. neurocarpa

1.6. Intérêt économique et écologique

L'argousier (*Hippophae rhamnoides*) présente un intérêt économique et écologique significatif.

1.6.1. Intérêt économique

- **Fruits** : Les baies d'argousier constituent une source naturelle remarquable de composés bioactifs, notamment de vitamines hydrosolubles et liposolubles en particulier les vitamines C et E, d'antioxydants tels que les flavonoïdes et les caroténoïdes, ainsi que d'acides gras essentiels (Li et Beveridge, 2003 ; Zeb, 2004). En raison de cette composition nutritionnelle et fonctionnelle, elles sont largement valorisées dans les secteurs agroalimentaires et cosmétique. Elles sont utilisées pour la fabrication de jus, de confitures, de compléments alimentaires à visée nutraceutique, ainsi que de produits cosmétiques destinés à la protection, l'hydratation et la régénération cutanée (Teleszko and Wojdylo, 2015).
- **Huile** : L'huile extraite des graines et de la pulpe des fruits est utilisée dans l'industrie cosmétique et pharmaceutique pour ses propriétés anti-âge, cicatrisantes et anti-inflammatoires (Zeb, 2004).
- **Feuilles** : Les feuilles peuvent être utilisées pour faire du thé ou comme complément alimentaire pour leur richesse en antioxydants (Springer, 2023).
- **Bois** : Le bois d'argousier peut être utilisé pour la fabrication d'outils ou comme bois de chauffage.
- **Fixation des sols** : L'argousier est souvent utilisé pour stabiliser les sols et lutter contre l'érosion grâce à son système racinaire développé (Li and Beveridge 2003).

1.6.2. Intérêt écologique

- **Fixation de l'azote** : L'argousier a la capacité de fixer l'azote atmosphérique grâce à des nodules présents sur ses racines, ce qui améliore la fertilité des sols (Li et Beveridge).
- **Biodiversité** : L'argousier peut servir d'habitat et de source de nourriture pour diverses espèces animales, notamment les oiseaux (Wikipedia contributors 2025).
- **Protection des sols** : Grâce à son système racinaire, il contribue à stabiliser les sols et à prévenir l'érosion.

- **Adaptation aux milieux difficiles** : L'argousier est résistant à la sécheresse, au froid et aux sols pauvres, ce qui en fait une espèce intéressante pour la restauration des milieux dégradés.

1.7. La culture de l'argousier (*Hippophae rhamnoides*)

1.7.1. La germination

- **Description et structure des graines de l'argousier**

Les graines d'*Hippophae rhamnoides*, communément appelées graines d'argousier, sont de petites graines de couleur brune ou noire, mesurant généralement entre 3 et 5 mm de long et 2 à 3 mm de large. Elles sont caractérisées par leur forme ovale et leur surface lisse et brillante. Les graines sont contenues à l'intérieur des baies charnues et orange de l'arbuste d'argousier *Hippophae rhamnoides* (Li and Schroeder, 1996).

- **Les stades phénologique de la germination des graines d'argousier**

Phase 1 : Dormance

Les graines d'argousier ont une dormance profonde et nécessitent une période de stratification froide (4°C pendant 90 jours) pour germer. Cette période de froid simule les conditions hivernales et permet de lever la dormance des graines (Li & Schroeder, 1996).

Phase 2 : Préparation

Avant la stratification, les graines peuvent être scarifiées et trempées dans l'eau tiède pendant 48 heures pour faciliter la germination.

Phase 3 : Stratification

Il existe deux principales méthodes de stratification pour les graines d'argousier :

- **Stratification à froid en réfrigérateur**

Les graines sont mélangées à un substrat humide (sable, vermiculite ou tourbe) et placées au réfrigérateur ou à l'extérieur pendant 2 à 3 mois, à une température entre 3 et 5°C.

- **Stratification à froid en extérieur**

Les graines sont semées d'environ 1-5 cm dans un sillon ou un pot rempli de terre. Le pot ou le sillon placer à l'extérieur, dans un endroit où les graines seront exposées au froid pendant l'hiver avec assurance que le sol reste humide pendant toute la période de stratification (Effects of Cold Stratification and H₂SO₄ 14)

Phase 4 : Germination

Après la stratification, les graines sont semées dans un sol bien drainé. La germination a lieu généralement dans les 2 à 6 semaines suivant le semis, en fonction de la température et de l'humidité (Effects of Cold Stratification and H₂SO₄ 14).

1.7.2. La culture de l'argousier en pratique

❖ Sol

L'argousier s'adapte à une grande variété de sols. Cependant, pour une croissance optimale et une production abondante de fruits, il préfère certaines conditions de sol.

Ces conditions de type de sol sont :

- **Bien drainé** : L'argousier ne tolère pas l'excès d'humidité et préfère un sol qui draine bien l'eau. Un sol trop humide peut entraîner la pourriture des racines et d'autres problèmes de santé pour la plante (Antropocene.it 2023).
- **Limono-sableux** : Un sol limono-sableux, qui est un mélange de limon et de sable, est idéal pour l'argousier. Ce type de sol offre un bon drainage tout en retenant suffisamment d'humidité pour la croissance de la plante (Antropocene.it 2023).
- **Texture légère à moyenne** : Les sols trop argileux ou trop lourds peuvent retenir trop d'eau et empêcher un bon drainage. Les sols plus légers, comme les sols sableux ou limoneux, sont préférables.

• PH du sol

- **Neutre à légèrement alcalin** : L'argousier tolère une large gamme de pH, mais il préfère un sol avec un pH entre 6 et 7. Un pH légèrement alcalin est optimal pour l'absorption des nutriments par la plante (Lu, 1992).

• Matière organique :

- **Riche en matière organique** : L'argousier bénéficie d'un sol riche en matière organique. La matière organique améliore la structure du sol, retient l'humidité et fournit des nutriments essentiels à la plante.

❖ Expositions (Lumière)

L'argousier est une plante fortement héliophile, c'est-à-dire qu'il **nécessite une exposition en plein soleil** pour un développement optimal et une fructification abondante (Li and Schroeder, 1996). Une exposition insuffisante peut entraîner une croissance ralentie, une floraison réduite et une faible production de fruits (Antropocene.it 2023).

❖ L'entretien de l'argousier :

L'argousier est relativement peu exigeant en entretien. L'arrosage est crucial durant les premières années de plantation pour favoriser l'enracinement, mais une fois adulte, il est très tolérant à la sécheresse grâce à son système racinaire étendu (Beveridge et al., 1999). La fertilisation est rarement nécessaire sur des sols de fertilité moyenne, l'argousier étant capable de fixer l'azote atmosphérique grâce à une symbiose avec des bactéries du genre *Frankia* au niveau de ses racines. Cependant, un apport léger de compost ou d'engrais équilibré peut stimuler la croissance sur des sols très pauvres. La taille n'est généralement pas intensive. Elle consiste principalement à éliminer le bois mort, les branches malades ou endommagées, et à éclaircir l'intérieur de l'arbuste pour améliorer la circulation de l'air et l'exposition à la lumière. Une taille de formation peut être effectuée pour maintenir une structure souhaitée (Li and Schroeder, 1996).

❖ La reproduction

L'argousier peut être multiplié par diverses méthodes, notamment par graines (reproduction sexuée par semis), qui peuvent être semées à l'automne ou nécessitent une stratification (une période de traitement froid et humide) pour rompre leur dormance (Rousi, 1971). La propagation végétative par bouturage est également efficace, qu'il s'agisse de boutures de bois tendre prélevées sous brumisation ou de boutures de branches lignifiées de tout âge, qui forment facilement des racines adventices. Le marcottage est une méthode plus simple pour obtenir des plantes de sexe connu, ce qui est particulièrement important étant donné la nature dioïque de l'espèce (Li and Schroeder 1996 ; Quentier).

❖ La récolte

Les plants d'argousier commencent généralement à fructifier après 3 à 4 ans, selon la méthode de propagation, et atteignent leur rendement maximal vers 7 à 8 ans. La période de maturation peut varier en fonction de la région et de la sous-espèce, allant de fin septembre à début octobre dans certaines zones.

La récolte des fruits est difficile en raison de la présence d'épines sur les tiges et les branches. Les baies, riches en vitamine C et autres composés bioactifs, mûrissent généralement de la fin de l'été au début de l'automne, selon le cultivar et la région (Li and Schroeder, 1996).

Plusieurs méthodes de récolte peuvent être employées :

- **Manuelle** : Très laborieuse et lente, elle est réservée aux petites productions ou à la consommation fraîche.
- **Mécanique** : Des peignes vibrants ou des machines spécialisées peuvent être utilisés pour secouer les branches et faire tomber les baies sur une toile.
- **Par congélation des branches** : Une méthode courante dans les exploitations commerciales consiste à couper des branches entières chargées de fruits, puis à les congeler. Les baies congelées se détachent alors plus facilement par simple percussion ou vibration (Beveridge et al., 1999). Cette méthode permet une récolte plus rapide et moins dommageable pour les baies, mais nécessite une bonne gestion de la taille pour ne pas affaiblir l'arbuste sur le long terme.

2. Présentation de la plante de pistachier (*Pistacia vera L*)

2.1 La famille anacardiacée

La famille des Anacardiacées (Anacardiaceae), rattachée à l'ordre des Sapindales, comprend environ 80 genres et entre 800 et 870 espèces, principalement répartis dans les régions tropicales et subtropicales du globe (Acevedo-Rodríguez 2024 ; Encyclopaedia Britannica 2025).

Le botaniste Robert Brown a été le premier à reconnaître, en 1818, l'existence d'un groupe distinct de plantes apparentées à *Anacardium*, qu'il désigna sous le nom de Anacardiaceae (World Flora Online 2024). Cette famille regroupe principalement des arbres, des arbustes et parfois des plantes grimpantes, adaptées aux régions chaudes, mais certaines espèces sont également présentes sur le pourtour méditerranéen et dans les zones tempérées d'Amérique du Nord (ScienceDirect Topics 2025 ; Wikipedia 2025).

Selon les sources, la diversité estimée varie : Brown recensait environ 70 genres et 800 espèces, tandis que des études plus récentes suggèrent plutôt 60 à 74 genres et environ 600 à 740 espèces (World Flora Online 2024 ; ScienceDirect Topics 2025).

Morphologiquement, les feuilles sont généralement alternes, non stipulées, simples ou composées (pennées, trifoliées ou unifoliées), avec une nervation pennée (Judd et al. 2002). Le feuillage contient souvent des résines irritantes, comme l'urushiol, présent chez des genres tels que *Toxicodendron* (Acevedo-Rodríguez 2024).

Les fleurs, généralement petites, régulières, hermaphrodites ou unisexuées, sont regroupées en panicules ou grappes axillaires (Judd et al. 2002). Le fruit est typiquement une drupe, charnue ou sèche, contenant un noyau unique (Judd et al. 2002).

Tableau 3: Les principaux genres de pistachier (*Pistacia vera*) (Aronson J.K., 2009).

Les principaux genres :
Magnifira (mango).
Pistacia (pistachio).
Melanorrhoea (melanorrhoea).
Metopium (Floridapoisontree).
Rhus (sumac).
Schinus (peppertree).
Schinopsis (schinopsis).
Semecarpus (semecarpus).
Sclerocarya (sclerocarya).
Spondias (mombin).
Toxicodendron (poisonoak).

2.2 Classification de (*Pistacia vera L*)

L'étude monographique du genre pistacia, faite par ZOHARY en 1952 montre que ce genre comprend 04 sections et 11 espèces. *Pistacia vera* est la seule espèce produisant des fruits comestibles (Crossa-Raynaldi and Germain 1982).

Tableau 4: Classification de pistachier (*Pistacia vera*)

Rang taxonomique	Système de Cronquist (1981)	Système APG III (2009)
Règne	Plantae	Plantae
Clade	—	Angiospermes
Clade	—	Eudicotylédones
Clade	—	Rosidées
Division	Magnoliophyta	—
Classe	Magnoliopsida	—
Sous-classe	Rosidae	—
Ordre	Sapindales	Sapindales
Famille	Anacardiaceae	Anacardiaceae
Genre	Pistacia	Pistacia
Espèce	<i>Pistacia vera L.</i>	<i>Pistacia vera L.</i>

2.3 Description botanique

Le pistachier est un arbre caduc dioïque (mâles et femelles séparés), appartenant à la famille des Anacardiaceae. Il atteint généralement 5 à 10 mètres de hauteur et présente un port étalé avec des feuilles composées imparipennées, vert foncé (Zohary 1952).



Figure 10: Arbre de Pistacia vera (pistachier)
(Nobis et al., 2020)



Figure 11: Illustration botanique de pistachier (Pistacia vera)
(Curtis, pl. 24, 1787)

2.3.1 Port

Le Pistachier cultivé est un arbre de faible vigueur, de 3 à 10 m de hauteur, le tronc strié, grisâtre et court : l'écorce des branches est blanchâtre. Le Pistachier vrai est une espèce dioïque. C'est à dire que l'on distingue des pieds mâles et des pieds femelles. Le port du pied mâle est plus érigé que celui du pied femelle : ce dernier a parfois un port retombant et on peut le confondre avec le figuier lorsqu'il a perdu ses feuilles (BOUTBOUL, 1986).



Figure 12: Port générale d'un arbre de Pistacia vera (pistachier). (GomezDavid, 2022)

2.3.2 Feuillage

Le pistachier cultivé (*Pistacia vera*) est un arbre caduc dont les feuilles tombent en octobre dans les zones dotées d'hivers froids, et réapparaissent en avril. Elles sont alternes, composées imparipennées, avec 3 à 5 folioles (parfois 7), ovales à orbiculaires, mesurant en moyenne 10 cm de long. La face supérieure du limbe est vert brillant, tandis que le pétiole est velu, particulièrement au sommet (Wikipedia 2025 ; Fruitier Extraordinaire 2025).



Figure 13: Les feuilles de l'arbre de pistachier (*Pistacia vera*) ([mguntow](#), 2008)

2.3.3 Fleurs

Chez le pistachier (*Pistacia vera*), les fleurs sont unisexuées et groupées en inflorescences. Étant une espèce dioïque, les inflorescences mâles et femelles sont portées par des arbres distincts. La différentiation des bourgeons floraux, qu'ils soient mâles ou femelles, débute en été et se poursuit jusqu'au printemps suivant, vers avril (Wikipedia 2025).

Les inflorescences apparaissent sur les rameaux d'un an en avril, après les dernières gelées. L'inflorescence mâle est une grappe compacte d'environ 6 cm de long, comportant environ 190 à 260 fleurs (LeMarchéVert 2025). Chaque fleur mâle, petite et apétale, comprend un androcée formé de 3 à 8 étamines (le plus souvent 5), centralisées autour d'un réceptacle plat et protégées par un calice de 3 à 4 bractées membraneuses (JardinierMalin 2025 ; Wikipedia 2025).

Les étamines sont dotées d'un filet mince et court et d'une anthère intorse, biloculaire. Les grains de pollen, libérés à maturité, sont jaunes, sphériques, et présentent quatre pores germinatifs (Fruitiers-Rares 2025 ; Wikipedia 2025).

L’inflorescence femelle est une grappe plus lâche et ramifiée, formée de 450 à 500 fleurs (LeMarchéVert 2025). La fleur femelle, également petite et apétale, possède un calice avec 3 à 5 bractées, et un gynécée constitué d’un ovaire sessile à 3 carpelles soudés, sans cloison intermédiaire. Cet ovaire contient un ovule unique, relié par un long funicule, surmonté d’un style court et d’un stigmate trifide aux divisions inégales. Les papilles stigmatiques, de couleur vert-jaune, sont très développées et frisées, avec une surface d’environ 4 mm^2 (Wikipedia 2025 ; Wikipedia Pistacia 2025).



Figure 15: Fleur mâle de pistachier.
(*Pistacia vera*) ([Bερναρδ](#),2011)



Figure 14: Fleur femelle de pistachier.
(*Pistacia vera*) (Miguel Porto,flora.on 2012)

2.3.4 Fruits

La pistache (*Pistacia vera*) produit une drupe sèche de la taille d’une olive mûre, monosperme, ovoïde et généralement déhiscente, mûrissant en septembre. Elle est composée des éléments suivants (Sambuc éd., 2023 ; Wikipedia, 2025) :

Péricarpe : vertâtre avant maturité, devenant rose-jaunâtre ou rouge vif à maturité ; il se dessèche et se détache facilement.

Mésocarpe : spongieux à maturité.

Endocarpe (coque) : vibrant ; bivalve (déhiscente ou non), lignifié et de couleur blanchâtre.

Amandon (noyau comestible) : contient deux **cotylédons** à chair verte-jaunâtre – couleur « pistache » – enveloppés d’un **tégument brun** strié de rouge autour du hile (Sambuc éd., 2023 ; Wikipedia, 2025).

Selon **Abou Salim et Kali (1992)**, la teneur en **huile** de la pistache varie de **48,3 % à 58,3 %**, les **protéines** de **19,4 % à 28,9 %**, et les **sucres** entre **6,1 % et 8,4 %** (Salim and Kali 1992).



Figure 16: Fruit de pistachier (*Pistacia vera*). (pcryl, 2017)

2.3.5 Système racinaire

Son système radiculaire est très puissant. En germant, la graine émet un très long pivot, il atteint parfois 7 m de profondeur et un système racinaire latérale pouvant atteindre la longueur de 5 – 10 m du collet de l'arbre. Cet ensemble de racines permet au pistachier de supporter les périodes sèches de l'année en cherchant l'humidité dans le sol et se développer dans sols médiocres et dans les zones arides (BOUTBOL, 1986) et (LEMAISTRE.J, 2000).

2.4 Origine et Répartition Géographique

L'origine du genre *Pistacia L.* reste controversée, mais il est généralement considéré comme originaire d'Asie centrale. De là, il s'est étendu vers l'Asie de l'Ouest, le bassin méditerranéen, l'Afrique de l'Est et le Nouveau Monde. La présence de restes fossiles du genre dans les îles de l'océan Atlantique atteste de son ancienneté. Les pistachiers sont probablement originaires des régions forestières subtropicales et de l'ancienne zone méditerranéenne, ayant ensuite subi une forte xérophytisation (Nezami et al. 2022 ; Al-Saghir et al. 2019).

En ce qui concerne *Pistacia vera*, l'espèce la plus importante car elle est la seule à produire des fruits comestibles, la détermination de son aire géographique d'origine est difficile en raison de l'ancienneté de sa culture, qui a entraîné une vaste dispersion dans les pays chauds d'Asie occidentale. Bien qu'on la trouve actuellement dans les pays méditerranéens, en Crimée et en Transcaucasie, elle n'a été observée à l'état sauvage que dans la partie orientale de son aire actuelle : Syrie, Iran, Afghanistan, et surtout Turkestan (Mir-Makhamad et al. 2022).

Le pistachier est cultivé dans de nombreux pays, notamment au Moyen-Orient (Iran, Irak, Turquie, Syrie, Liban, Jordanie), en Asie centrale (Afghanistan, Turkménistan, Ouzbékistan, Tadjikistan), en Europe (Grèce, Italie, Espagne, Portugal), en Amérique du Nord (États-Unis, Mexique), et en Afrique du Nord (Maroc, Algérie, Tunisie). L'Iran est le premier producteur mondial de pistaches, suivi par les États-Unis (Lemaître 123-135, Ministère de l'Agriculture, "Culture du pistachier dans le monde").

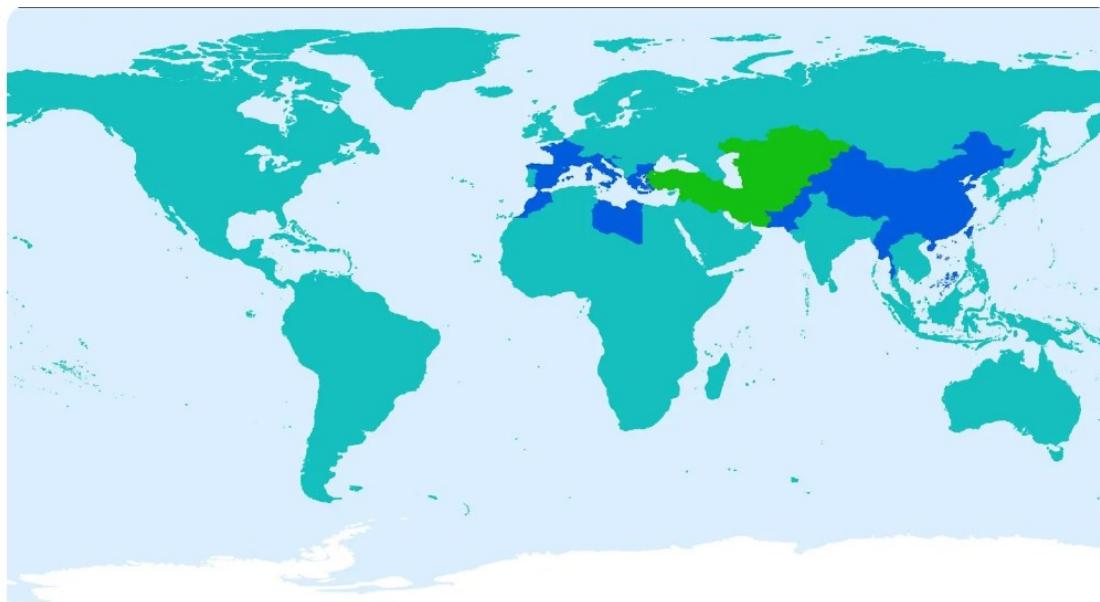


Figure 17: Carte représentant la répartition géographique de pistachier (*Pistacia vera*) (picturthis,2025)

2.5 Les espèces de pistaches

Il existe plusieurs espèces de pistaches, qui appartiennent toutes à la famille de l'anacardiacée. Voici quelques-unes des espèces les plus connues :

Tableau 5: Les espèce de pistachier (*Pistacia vera*)

Les espèces	Origine
Pistacia vera.	L'Asie centrale.
Pistacia lentiscus	La Méditerranée
Pistacia atlantica	Maghreb et de la péninsule ibérique.
Pistacia malacocarpa	La Grèce et de la Turquie
Pistacia khinjuk	L'Iran et de l'Afghanistan
Pistacia integerrima	L'inde et du Pakistan.
Pistacia chenesis	Chine
Pistacia terbinthus	La Méditerranée.

2.6 Intérêts économiques et écologique

L'importance économique du genre *Pistacia* L. repose sur l'espèce *Pistacia vera* pour ses graines comestibles, aujourd'hui connues sous le nom de pistache. La pistache est considérée comme une délicatesse depuis le début de l'histoire écrite et est cultivée depuis des siècles dans son aire d'origine.

2.6.1. Intérêt économique

- **Production et commerce** : les pistaches sont une culture importante pour de nombreux pays, notamment l'Iran, les États-Unis, la Turquie et la Grèce. Le commerce des pistaches génère des revenus importants pour les producteurs et les exportateurs (Wikipedia 2025).
- **Emplois et revenus** : la production et la transformation des pistaches créent des emplois et des revenus pour les populations rurales.
- **Diversification des revenus** : les pistaches peuvent être utilisées pour diversifier les revenus des agriculteurs, en complément d'autres cultures ("Pistachio Production and Environmental Benefits", FAO 2013).

2.6.2. Intérêts écologiques

- **Fixation du carbone** : les pistachiers sont des arbres qui fixent le carbone atmosphérique, contribuant ainsi à la lutte contre le changement climatique (FAO 2013).
- **Protection des sols** : les racines des pistachiers aident à stabiliser les sols et à prévenir l'érosion.
- **Biodiversité** : les pistachiers fournissent un habitat pour de nombreuses espèces d'insectes, d'oiseaux et de mammifères.
- **Résistance à la sécheresse** : les pistachiers sont des arbres résistants à la sécheresse, ce qui les rend adaptés aux régions à faible précipitation.
- **Amélioration de la qualité de l'air** : les feuilles des pistachiers absorbent les polluants atmosphériques, contribuant ainsi à améliorer la qualité de l'air ("Pistachio Production", FAO 2013).

2.7 La culture de pistachier (*Pistacia vera*)

2.7.1. La germination

• Description et structure des graines de pistachier

Les graines du pistachier (*Pistacia vera*), communément appelées pistaches, présentent une structure complexe et adaptée à leur dispersion et à leur survie en milieu semi-aride. Morphologiquement, elles se caractérisent par une coque dure (endocarpe) de couleur beige à brun clair, mesurant généralement entre 1,5 et 2 cm de longueur, avec une forme ovale et une ouverture caractéristique le long de la suture à maturité (Kafkas et Perl-Treves 2001). Cette ouverture naturelle, unique parmi les fruits à coque, facilite la récolte et la consommation humaine. Sous cette coque protectrice se trouve une fine pellicule rougeâtre (tégument) recouvrant les deux cotylédons comestibles, qui constituent la partie commercialement valorisée de la graine. Ces cotylédons vert pâle à vif sont particulièrement riches en lipides (45-55%), en protéines (20-25%) et en glucides, avec une composition notable en acides gras insaturés bénéfiques pour la santé cardiovasculaire (Tomaino et al. 2005).

• Les stades phénologique de la germination des graines de pistachier

Phase 1 : Dormance

Les graines de pistachier présentent souvent une dormance physiologique due à des inhibiteurs naturels ou à une imperméabilité du tégument (Esfandiyari et al. 143). Pour lever

cette dormance, une stratification à froid (entre 4 et 7 °C pendant 4 à 6 semaines) est généralement nécessaire, imitant les conditions hivernales naturelles (Kafkas et Perl-Treves 2011).

Phase 2 : Préparation

Avant la stratification, les graines peuvent être scarifiées et trempées dans l'eau tiède pendant 48 heures pour faciliter la germination.

Phase 3 : Stratification

Il existe deux principales méthodes de stratification pour les graines de pistachier :

- **Stratification à froid en réfrigérateur**

Les graines sont mélangées à un substrat humide (sable, vermiculite ou tourbe) et placées au réfrigérateur ou à l'extérieur pendant 2 à 3 mois, à une température entre 3 et 5°C.

- **Stratification à froid en extérieur**

Les graines sont semées d'environ 1-5 cm dans un sillon ou un pot rempli de terre. Le pot ou le sillon placer à l'extérieur, dans un endroit où les graines seront exposées au froid pendant l'hiver avec assurance que le sol reste humide pendant toute la période de stratification.

Phase 4 : Germination

Après la stratification, les graines sont semées dans un sol bien drainé. La germination a lieu généralement dans les 2 à 6 semaines suivant le semis, en fonction de la température et de l'humidité (FAO 2013).

2.7.2. La culture de pistachier en pratique

❖ Sols

Cet arbre est remarquable pour sa **tolérance à une large gamme de sols**. Il peut pousser dans des sols pauvres, rocheux, salins ou même calcaires, à condition qu'ils soient bien drainés. Un bon drainage est crucial pour éviter l'asphyxie racinaire. Sa capacité à développer un système racinaire profond lui permet d'accéder à l'eau et aux nutriments situés en profondeur, ce qui est un avantage considérable dans les régions où l'eau est une ressource limitée (Food and Agriculture Organization of the United Nations, "Pistachio Production and Environmental Benefits », 2013).

❖ Expositions

L'arbre de pistachier a besoin d'une exposition en plein soleil et d'une bonne circulation de l'air pour minimiser les risques de maladies fongiques.

❖ L'entretien de pistachier

Le pistachier prospère dans des **climats arides et semi-arides**. Cela signifie qu'il a besoin d'été longs, chauds et secs pour que les fruits mûrissent correctement. Paradoxalement, il requiert également une période de froid hivernal suffisante – un certain nombre d'heures de froid sous un seuil de température donné – pour stimuler la floraison et assurer une bonne nouaison (formation des fruits). Toutefois, il est sensible aux gelées tardives au printemps, qui peuvent endommager les bourgeons floraux émergents, réduisant ainsi la récolte potentielle (Lemaitre 123-135).

Bien que le pistachier soit résistant à la sécheresse une fois bien établi, l'apport en eau est un facteur déterminant pour optimiser les rendements. L'irrigation est particulièrement importante pendant les phases critiques de croissance, comme la floraison, la nouaison et le grossissement des fruits. Dans l'agriculture moderne, l'irrigation au goutte-à-goutte est couramment utilisée pour fournir de l'eau de manière efficace et réduire le gaspillage ("Culture du pistachier dans le monde", Ministère de l'Agriculture).

❖ Récolte

La récolte a lieu généralement à la fin de l'été ou au début de l'automne, lorsque l'épicarpe (l'enveloppe charnue externe) se fend et se sépare facilement de la coque dure, révélant la pistache (coque ouverte) à l'intérieur. Le changement de couleur de l'épicarpe (du vert au jaune-rouge) est également un indicateur.

La méthode de récolte peut être réalisée manuellement en secouant les branches pour faire tomber les fruits sur des bâches étendues au sol, ou mécaniquement dans les grandes exploitations à l'aide de secoueurs d'arbres.

Après la récolte, il est crucial de traiter rapidement les pistaches. Les fruits doivent être dépelliculés (retrait de l'épicarpe et du mésocarpe) et séchés rapidement pour réduire leur teneur en humidité et prévenir le développement de moisissures (notamment d'aflatoxines) et la détérioration de la qualité des amandes. Les pistaches sont ensuite triées, et souvent légèrement salées et torréfiées avant d'être commercialisées (FAO 2013)

Chapitre 2 - Description phytochimique

Le métabolisme représente l'ensemble des réactions biochimiques qui se déroulent au sein d'un organisme vivant, produisant des molécules appelées métabolites (Labbani 2021 ; Bouchaala 2022). Chez les végétaux, ces métabolites sont traditionnellement classés en deux catégories principales : les métabolites primaires et les métabolites secondaires. Les métabolites primaires, tels que les glucides, les lipides et les protéines, sont des composés phytochimiques directement impliqués dans les processus vitaux fondamentaux de la plante.

En revanche, le métabolisme secondaire est une caractéristique distinctive du règne végétal, produisant des molécules qui ne sont pas directement essentielles à la survie immédiate de la plante (Labbani; Bouchaala).

1. L'argousier (*Hippophae rhamnoides* L.)

Hippophae rhamnoides, communément appelé argousier, est largement reconnu pour ses propriétés nutritionnelles et médicinales exceptionnelles (Chauhan & Chauhan 2022 ; Sharma & Deswal 2018).

Ces attributs découlent en grande partie de la diversité et de l'abondance de ses métabolites primaires présents dans toutes ses parties, y compris les fruits, les feuilles, les graines et les racines (Chauhan & Chauhan 2022 ; Stobdan et al. 2013).

1.1. Molécules issues de métabolisme primaire

1.1.1. Les Glucides

Les fruits de l'argousier sont particulièrement riches en divers sucres et alcools de sucre. Les monosaccharides dominants sont le fructose et le glucose, d'autres sucres identifiés incluent le saccharose et la xylose. Parmi les alcools de sucre, le L-quebrachitol est un composant majeur, avec une concentration de 0,15 à 0,24 g/100 mL de jus (CAB International, 2010). D'autres alcools de sucre comme le mannitol, le sorbitol, le xylitol, l'éthyl β -D glucopyranose et le méthyl inositol sont également présents (Bayır et al., 2022).

La teneur élevée en sucres, notamment le fructose et le glucose, dans les fruits de l'argousier ne se limite pas à un simple fait nutritionnel, elle contribue directement à la douceur et à l'attrait gustatif des baies. Cette caractéristique organoleptique est un facteur clé qui influence la préférence des consommateurs et, par conséquent, la valeur économique et la popularité de l'argousier en tant qu'aliment et complément de santé. Ainsi, la voie métabolique primaire de synthèse des glucides chez *Hippophae rhamnoides* est un pilier de son utilité commerciale et de son utilisation généralisée (Gatlan et al. *International Journal*

of Environmental Research and Public Health 2021; Galili et al. *Frontiers in Plant Science* 2019).

Tableau 6: Composition en Sucres et Alcools de Sucre dans les Fruits de l'Argousier

Nom du Composé	Concentration/Plage	Source
Fructose	0,2-3,5 g/100 mL	Jus
Glucose	1,5-4,2 g/100 mL	Jus
Total Sucres	2,7-5,3 g/100 mL	Jus
Total Sucres	1,34-2,87 g/100g PF	Fruits
Total Sucres	9-25 g/L	Espèce
L-quebrachitol	0,15-0,24 g/100 mL	Jus
Saccharose	Présent	Fruits
Xylose	Présent	Fruits
Mannitol	Présent	Fruits
Sorbitol	Présent	Fruits
Xylitol	Présent	Fruits
Éthyl β-D glucopyranose	Présent	Fruits
Méthyl inositol	Présent	Fruits

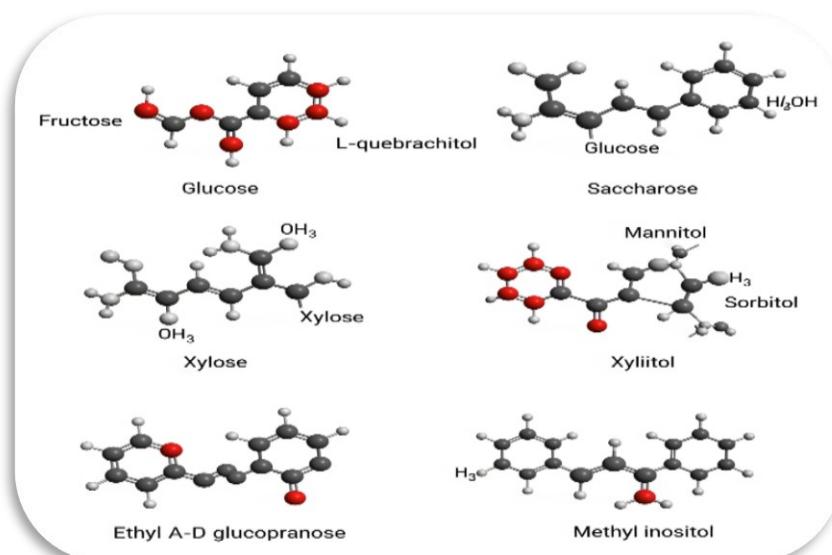


Figure 18: La structure des glucides présentes au fruit d'argousier

1.1.2. Lipides et Acides Gras

L'huile de pulpe se caractérise par des niveaux élevés d'acide palmitoléique (ω -7) monoinsaturé, généralement entre 32% et 42). D'autres composants incluent l'acide palmitique et l'acide oléique. L'huile de graines, quant à elle, est particulièrement riche en acides gras essentiels : l'acide linoléique (ω -6) à 33-36% et l'acide α -linolénique (ω -3) à 30-36%. Cette composition se traduit par un rapport ω -6 : ω -3 bénéfique, proche de 1 :1, ce qui la distingue de nombreuses autres huiles végétales et contribue à ses propriétés anti-inflammatoires. D'autres acides gras présents dans l'huile de graines incluent l'acide oléique, l'acide stéarique et l'acide cis-vaccénique (Fatima et al. 2012).

1.1.3. Les acides aminés et les protéines

Les fruits de l'argousier (*Hippophaë rhamnoides*) contiennent 18 des 22 acides aminés protéinogènes, dont l'aspartate, la sérine, la glutamine, la glycine, l'alanine, la cystéine, la valine, la tyrosine, l'isoleucine, la méthionine, la proline, la phénylalanine, l'histidine, la lysine, la thréonine et l'arginine, offrant ainsi un profil nutritionnel quasi complet (Güllü et al. 2021). Cette richesse contribue à renforcer le statut de l'argousier en tant que "plante miraculeuse" (Güllü et al. 2021).

Les feuilles de l'argousier présentent également une teneur significative en protéines, avec des proportions d'acides aminés comparables à celles des fruits (Akyüz et al. 2022). Les graines, quant à elles, sont particulièrement riches en globulines et albumines, renforçant leur valeur protéique (Güllü et al. 2021).

Tableau 7: Profil des Acides Aminés Essentiels et Non-Essentiels dans les fruits de l'argousier

Nom de l'Acide Aminé	Classification (pour l'homme)
Acide Aspartique	Non-essentiel
Sérine	Non-essentiel
Glutamine	Non-essentiel
Glycine	Non-essentiel
Alanine	Non-essentiel
Cystéine	Non-essentiel (conditionnel)
Valine	Essentiel
Tyrosine	Non-essentiel (conditionnel)
Isoleucine	Essentiel
Méthionine	Essentiel
Proline	Non-essentiel
Phénylalanine	Essentiel
Histidine	Essentiel
Lysine	Essentiel
Thréonine	Essentiel
Arginine	Non-essentiel (conditionnel)

1.1.4. Acides Organiques

Les fruits de *H. rhamnoides* (argousier) sont riches en acides organiques, qui leur donnent leur saveur caractéristique. L'acide malique est l'acide prédominant, suivi par l'acide quinique, responsable de l'astringence. Ensemble, ces deux acides constituent environ 98 % des acides présents dans les fruits (Su et al. 2023 ; “Phytochemical Analysis” 2021). On trouve également d'autres acides comme l'acide citrique, tartrique, oxalique et succinique. Les feuilles d'argousier contiennent en moyenne 1 % d'acides organiques (Qiao, Geng, and Feng 1988).

Ces acides organiques sont également essentiels pour aider l'argousier à s'adapter aux stress environnementaux, notamment le stress alcalin. En cas de stress alcalin, la plante accumule des acides comme le malate, l'oxalate et le citrate dans ses feuilles et ses tiges pour maintenir son équilibre ionique interne (Su et al. 2023).

Les racines de l'argousier, notamment les racines en grappes contiennent des composés comme l'asparagine, la glycine et le malate. Ces substances jouent un rôle crucial dans la mobilisation du phosphore présent dans le sol. Cette stratégie métabolique spécialisée permet à *H. rhamnoides* de s'adapter et de se développer même dans des sols pauvres en nutriments, ce qui est un avantage majeur pour cette espèce pionnière (Shah and Lundquist 2015).

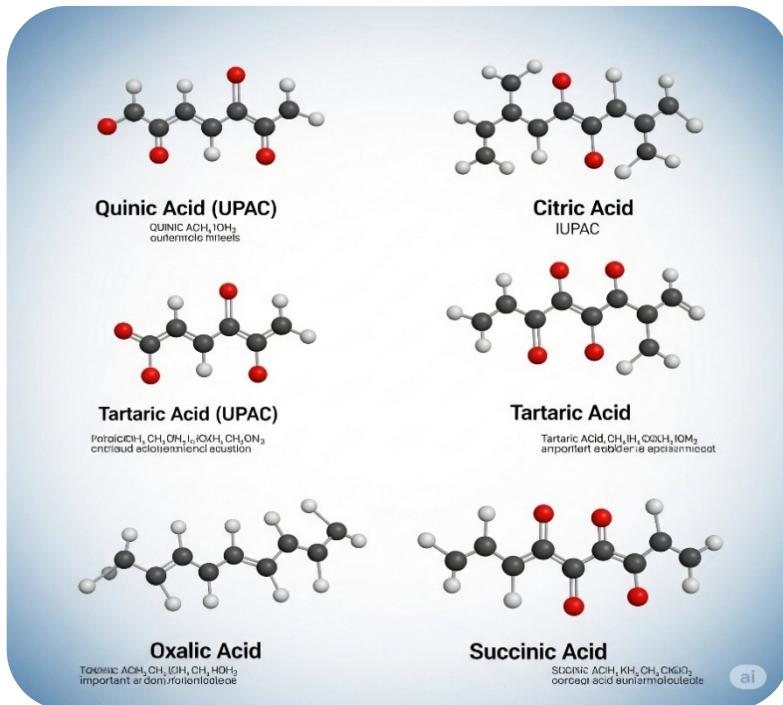


Figure 19: La structure des acides organiques chez l'argousier

1.2. Molécules issues de métabolisme secondaire

L'argousier est une source exceptionnellement riche et diversifiée de métabolites secondaires, présents dans toutes les parties de la plante : fruits, feuilles, graines, écorces, branches et racines (Prakash, Hurmat, and Yadav 2024).

1.2.1. Composés Phénoliques

Les composés phénoliques sont l'une des classes les plus abondantes et les plus étudiées de métabolites secondaires chez l'argousier. Ils sont reconnus pour leurs puissantes activités antioxydantes, cytoprotectrices et cardioprotectrices, et leur capacité à favoriser la cicatrisation des plaies (Phcog Rev, 2024).

- **Les flavonoïdes**

Les flavonoïdes sont la classe de polyphénols la plus répandue dans l'argousier, particulièrement abondants dans les fruits, les branches et les graines. Ils sont caractérisés par une structure de base en C6-C3-C6. Les flavonoïdes de l'argousier se présentent sous diverses formes, y compris les aglycones et leurs glycosides (Phcog Rev, 2024).

- **Quercétine, Kaempférol, Isorhamnétine** : Ces flavonols sont les principaux aglycones de flavonoïdes trouvés dans les feuilles, les fruits (baies), le jus, et le marc de l'argousier (Phcog Rev, 2024). Ils sont souvent présents sous forme de glycosides, tels que la quercétine-3-O-galactoside, la quercétine-3-O-glucoside, l'isorhamnétine-3-O-rutinoside, et la quercétine-3-O-rutinoside. L'isorhamnétine a montré une activité antitumorale et des effets antiprolifératifs contre les cellules cancéreuses (Prakash, Hurmat, and Yadav 2024).
- **Catéchine, Épicatéchine, Gallo catéchine, Épigallocatéchine** : Ces flavan-3-ols sont présents dans les graines, l'écorce/branches, le jus et le marc. Les proanthocyanidines dimères, y compris la catéchine-(4 α -8) -catéchine et la catéchine-(4 α -8) -épicatéchine, sont également identifiées (Taylor & Francis, 2010). Les procyanidines peuvent induire l'apoptose dans les cellules cancéreuses du sein (Prakash, Hurmat, and Yadav 2024).
- **Rutine** : Un glycoside de quercétine, la rutine est abondante dans le marc et les feuilles (Prakash, Hurmat, and Yadav 2024).

Autres flavonoïdes : Myricétine, rhamnétine, lutéoline, quercétine 3-rhamnoside, quercétine 3-galactoside, et diverses formes glycosylées complexes ont été identifiées (Prakash, Hurmat, and Yadav 2024).

Les activités biologiques des flavonoïdes de l'argousier sont vastes. Ce sont de puissants antioxydants, protégeant les cellules contre les dommages oxydatifs (Phcog Rev, 2024).

- **Les tannins**

Les tannins sont des polymères de composés phénoliques. Dans l'argousier, on distingue principalement deux grandes classes de tannins :

- **Tannins hydrolysables (TH)**

Les tannins hydrolysables (ellagitannins comme casuarinin, stachyurin) sont prédominants dans les feuilles, notamment sous forme de composés nommés I-III (Ma et al. 2008). Les tannins condensés (proanthocyanidines) sont abondants dans les pousses et jeunes baies (Liu et al. 2008).

- **Tannins condensés (TC) ou Proanthocyanidines**

- Ce sont des polymères de flavan-3-ols, tels que la catéchine et l'épicatéchine.
- Ces tannins ne s'hydrolysent pas facilement.
- La concentration de tannins condensés peut varier considérablement selon les parties de la plante (feuilles, baies, pousses) et la saison de récolte. Les pousses et les jeunes baies peuvent contenir des concentrations élevées de tannins condensés (Liu et al., 2008).

- **Acides Phénoliques**

Les acides phénoliques constituent une autre sous-classe importante de polyphénols que l'on retrouve dans l'argousier, particulièrement abondants dans ses feuilles et ses baies. Parmi eux, on identifie l'**acide gallique** (présent dans les feuilles et le jus), l'**acide ellagique** (trouvé dans les feuilles et le marc), l'**acide férulique** (identifié dans les feuilles), l'**acide protocatéchique** (abondant dans le marc et le jus), ainsi que l'**acide salicylique**, l'**acide m-coumarique** et l'**acide p-coumarique**. Ces composés contribuent fortement aux **propriétés antioxydantes** de l'argousier et jouent un rôle crucial dans la protection contre les maladies liées au stress oxydatif, incluant certains cancers et maladies cardiovasculaires (Prakash, Hurmat, and Yadav 2024).

Les activités biologiques des acides phénoliques contribuent fortement aux propriétés antioxydantes de l'argousier. Ils jouent un rôle dans la protection contre les maladies associées au stress oxydatif, y compris le cancer et les maladies cardiovasculaires (Prakash, Hurmat, and Yadav 2024).

1.2.2. Composés Terpéniques

• Terpènes et Terpénoïdes

Les terpénoïdes sont dérivés d'unités d'isoprène (C5) et sont classés en monoterpènes, sesquiterpènes, diterpènes, triterpènes, etc., selon le nombre d'unités d'isoprène.

- **Triterpénoïdes pentacycliques** : Principalement de type oléanane et ursane, tels que l'acide oléanolique, l'acide ursolique, l'acide 19- α -hydroxyursolique et l'acide dolicioïque. Des triterpénoïdes acylés, comme l'acide maslinique 2-O-trans-p-coumaroyl et l'acide maslinique 2-O-caffeoyle, ont été isolés de l'écorce des branches. L'acide ursolique et l'aldéhyde ursolique ont montré une activité ostéogénique (Prakash, Hurmat, and Yadav 2024).
- **Monoterpènes et sesquiterpènes** : Le limonène est un exemple de monoterpène. Deux nouveaux sesquiterpénoïdes, hipponorterpènes A et B, ont été isolés du jus (Prakash, Hurmat, and Yadav 2024).

Les activités biologiques des terpénoïdes présentent un large éventail, y compris des propriétés antioxydantes, antimicrobiennes, anti-inflammatoires, anticancéreuses et antiallergiques. Ils peuvent inhiber la production d'oxyde nitrique (NO), un médiateur de l'inflammation. Les triterpénoïdes peuvent également avoir des propriétés anticoagulantes (MDPI, 2024).

1.2.3. Caroténoïdes

Les **caroténoïdes** sont les pigments naturels responsables de la couleur orange vif des baies d'argousier (MDPI, 2024). Ce sont des tétra-terpènes et des précurseurs de la vitamine A (PMC, 2024).

- **Caroténoïdes Spécifiques** : Lycopène, β -carotène, zéaxanthine, lutéine, et β -cryptoxanthine sont les principaux caroténoïdes identifiés dans les feuilles et les baies. La zéaxanthine et le β -carotène sont des composés majeurs dans le marc d'argousier (Prakash, Hurmat, and Yadav 2024).

Les activités biologiques des caroténoïdes sont multiples. Ce sont de puissants antioxydants, protégeant contre les dommages photo-oxydatifs (MDPI, 2024). Ils contribuent à la synthèse du collagène et à l'épithérialisation ((Prakash, Hurmat, and Yadav 2024)).

1.2.4. Tocophérols

Les **tocophérols**, collectivement connus sous le nom de **vitamine E**, sont des composés liposolubles présents dans l'argousier (Prakash, Hurmat, and Yadav 2024).

- **Tocophérols Spécifiques** : α -Tocophérol, β -Tocophérol, γ -Tocophérol, δ -Tocophérol ainsi que les tocotriénols correspondants (α -, β -, γ -Tocotriénol) ont été identifiés (Prakash, Hurmat, and Yadav 2024).

Les **activités biologiques** des tocophérols sont principalement antioxydantes, minimisant l'oxydation des lipides et contribuant à soulager la douleur. Ils sont essentiels pour la protection des membranes cellulaires et la régénération cellulaire (Prakash, Hurmat, and Yadav 2024).

1.2.5. Composés Azotés (Alcaloïdes)

Bien que moins étudiés que les polyphénols et les terpénoïdes, les alcaloïdes sont également présents dans l'argousier (MDPI, 2024).

- **Alcaloïdes Spécifiques** : Deux nouveaux alcaloïdes amides organiques, le 4-[(E)-p-coumaroylamino] butan-1-ol et le 4-[(Z)-p-coumaroylamino] butan-1-ol, ainsi qu'un alcaloïde pyridoindole rare, l'hippophamide, ont été isolés des résidus de graines. La sérotonine, un composé azoté, est également un constituant dominant dans certaines fractions de graines (OuYang et al., 2015).

Les activités biologiques des alcaloïdes de l'argousier ont montré des effets protecteurs contre les lésions myocardiques induites par l'ischémie/reperfusion, en augmentant la capacité antioxydante et anti-apoptotique.

1.2.6. Saponines et Coumarines

Les **saponines** sont des glycosides de triterpénoïdes ou de stéroïdes, tandis que les **coumarines** sont des dérivés de la benzopyrone (MDPI, 2024).

- **Saponines Spécifiques** : Deux nouvelles saponines triterpéniques, hippophosides E et F, ont été isolées du résidu de graines. Des saponines triterpénoïdes ont également été détectées dans les feuilles (OUCI, 2015).
- **Activités Biologiques des Saponines** : La fraction saponique des feuilles d'argousier réduit la peroxydation lipidique plasmatique et la carbonylation des protéines induites par le stress oxydatif, et diminue les dommages oxydatifs à l'ADN. Elles ne montrent pas de cytotoxicité aux concentrations testées (OUCI, 2015.).

- **Coumarines** : L'argousier contient des **coumarines**. Bien que les composés spécifiques ne soient pas toujours nommés dans la littérature accessible, elles sont associées au contrôle de l'appétit, à la promotion du sommeil et à l'amélioration de la mémoire et de l'apprentissage (Prakash, Hurmat, and Yadav 2024).

2. Le pistachier (*Pistacia vera*)

2.1. Molécules issues de métabolisme primaire.

2.1.1. Les Glucides

Les noix de pistache contiennent une quantité notable de glucides, généralement comprise entre 27,2 et 28 grammes pour 100g (Mandalari et al., 2023). Cette composition inclut à la fois des sucres simples et de l'amidon (Mandalari et al., 2021). Dans les graines, les glucides constituent une réserve significative, avec environ 20% du poids sec attribué à l'amidon et 5,7% aux sucres non réducteurs (da Silva et al., 2023). Il est à noter que l'huile de pistache, extraite des graines, ne contient pas de glucides (Terre Exotique, 2023).

Les glucides servent de sources d'énergie cruciales et de composants structurels. Les sucres solubles sont particulièrement vitaux pour soutenir la croissance précoce des semis, fournissant une énergie facilement disponible (da Silva et al., 2023).

2.1.2. Les lipides

Les noix de pistache sont remarquablement riches en matières grasses, avec une teneur totale en lipides généralement comprise entre 45,3 et 49 grammes pour 100g (Mandalari et al., 2021). Le profil lipidique est particulièrement favorable, étant majoritairement composé d'acides gras insaturés sains (environ 87% des acides gras insaturés totaux), avec une proportion relativement faible d'acides gras saturés (environ 13%) (Akyuz et al., 2024)

Les pistaches contiennent une quantité significative d'acides gras monoinsaturés (AGMI), principalement l'acide oléique, reconnu pour ses effets anti-inflammatoires, hypcholestérolémiants (réduction du cholestérol) et cardioprotecteurs. Elles renferment également des acides gras polyinsaturés (AGPI), dont l'acide linoléique est le plus important. D'autres acides gras comme les acides palmitique, stéarique, palmitoléique et linolénique sont aussi présents. Cette composition lipidique est associée à de nombreux avantages pour la santé (Akyuz et al., 2024).

- **Phytostérols**

Les pistaches sont une bonne source de phytostérols. Le bêta-sitostérol est le phytostérol dominant. Ces composés sont efficaces pour réduire le taux de cholestérol LDL (mauvais cholestérol) dans le sang en bloquant son absorption intestinale (Mandalari et al., 2023).

Tableau 8: Profil des principaux acides gras de l'huile de Pistacia vera

Acide Gras	Teneur (g/100g) / Pourcentage (%)
Lipides Totaux	45,3 - 49 g/100g
Acides Gras Saturés	5,6 - 5,9 g/100g
Acides Gras Monoinsaturés	23,3 - 33,8 g/100g
Acides Gras Polyinsaturés	13 - 14,4 g/100g
Acide Oléique	32,4 - 67,30 %
Acide Linoléique	7,49 - 29,54 %
Acide Palmitique	9,65 - 10,560 %
Acide Stéarique	1,432 - 2,94 %
Acide Palmitoléique	0,614 - 2,04 %
Acide Linolénique	0,248 - 0,638 %

2.1.3. Protéines et Acides Aminés

Les pistaches sont une excellente source de protéines, avec une teneur allant généralement de 20,2 à 24,5 grammes pour 100g. Ce qui distingue particulièrement la protéine de pistache est qu'elle est considérée comme une protéine complète d'origine végétale. Cela signifie qu'elle fournit les neuf acides aminés essentiels que le corps humain ne peut pas produire et qui sont indispensables à la santé (Mandalari et al., 2023).

La qualité de la protéine de pistache est également très élevée, comme en témoignent ses scores de 73% pour les pistaches crues et 81% pour les grillées, ainsi qu'un DIAAS (Digestible Indispensable Amino Acid Score) de 86 et 83 respectivement. Ces scores la classent comme une source de protéines de "bonne qualité". Dans les graines de pistache, les protéines de stockage représentent environ 14,5% du poids sec (da Silva et al., 2023).

2.2. Molécules issues de métabolisme secondaire

Pistacia vera se distingue par son profil riche et diversifié de métabolites secondaires, qui sont non seulement cruciaux pour l'adaptation et la défense de la plante, mais offrent également un large éventail de bienfaits pour la santé et d'applications potentielles pour l'homme.

2.2.1. Composés Phénoliques

- **Acides Phénoliques** : Divers acides phénoliques sont présents dans *P. vera*, notamment l'acide gallique, l'acide protocatéchique, l'acide gentisique, l'acide anacardique, l'acide p-coumarique, l'acide syringique, l'acide caféïque et l'acide p-protocatéchique (Al-Snafi et al., 2024). Ces composés contribuent aux propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et allélopathiques de la plante (Yilmaz et al., 2022). L'acide gallique, par exemple, est un composant majeur des coques de pistache (Gharibi et al., 2023). Certains acides phénoliques comme les acides vanillique, férulique et p-coumarique ont montré une inhibition allélopathique de la croissance d'autres plantes, et sont impliqués dans l'absorption des nutriments (Al-Yahyai et al., 2022).
- **Les flavonoïdes** : sont les composés phénoliques les plus abondants chez les plantes (Al-Yahyai et al., 2022). *Pistacia vera* contient une variété de flavonoïdes, y compris la catéchine, l'épicatéchine, la quercétine, l'ériodictyol, la lutéoline, la naringénine, le kaempférol, l'apigénine et la rutine (Al-Snafi et al., 2024). Les anthocyanines (par exemple, la cyanidine-3-galactoside, la cyanidine-3-glucoside) et les proanthocyanidines sont également présentes, principalement dans la peau et les noyaux (Mandalari et al., 2021 ; Mandalari et al., 2023 ; Nobari et al., 2022). Des isoflavones comme la génistéine ont aussi été identifiées (Mandalari et al., 2021). Ces flavonoïdes sont reconnus pour leurs puissantes propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, antimicrobiennes, antivirales et antidiabétiques (Musarra-Pizzo et al., 2024).
- **Tanins** : Les tanins sont également présents dans les espèces de *Pistacia* (Al-Snafi et al., 2021 ; Boumerfeg et al., 2020). Bien qu'ils contribuent aux propriétés antioxydantes, leur teneur peut restreindre l'utilisation de certaines parties de la plante comme aliments pour ruminants en raison d'une toxicité potentielle et d'une interaction avec les biomolécules (Azadedel et al., 2020).

2.2.2. Terpènes et Terpénoïdes

L'huile essentielle dérivée de *Pistacia vera*, en particulier de sa gomme, est exceptionnellement riche en monoterpènes, représentant près de 90% de sa composition (Alma et al., 2004). Les principaux composants incluent l' α -pinène (75,6%), le β -pinène (9,5%), le limonène (1,0-26,21%), l' α -thujène (9,31%) et l' α -terpinolène (9,28%) (Fasihi et al., 2016). Des monoterpènes oxygénés (par exemple, le trans-verbenol, le trans-pinocarveol) et des diterpènes sont également présents (Alma et al., 2004). Ces composés présentent une activité antimicrobienne significative contre une gamme de bactéries et de levures, indiquant leur rôle dans la défense des plantes et leur potentiel pour des applications pharmaceutiques (Alma et al. 2004 ; Fasihi et al., 2016).

2.2.3. Caroténoïdes

Caroténoïdes : *Pistacia vera* contient divers caroténoïdes, notamment le β -carotène, l' α -carotène, la lutéine et la zéaxanthine. Ces pigments sont non seulement responsables de la couleur caractéristique des noix, mais possèdent également de puissantes propriétés antioxydantes (Musarra-Pizzo et al., 2024).

Chapitre 3 - Propriétés pharmacologiques

A. L'argousier (*Hippophae rhamnoides* L)

L'argousier présente un large éventail de propriétés pharmacologiques, principalement attribuées à sa composition phytochimique riche et diversifiée. Ces activités sont étayées par des preuves scientifiques accumulées provenant d'études *in vitro*, *in vivo* (animales) et d'études cliniques préliminaires (Prakash, Hurmat, and Yadav 2024).

1.1 Propriétés Antioxydantes

L'argousier est riche en antioxydants puissants qui protègent efficacement les cellules des dommages causés par les radicaux libres et le stress oxydatif (Varshneya et al. 2023 ; Zhang et al. 2017)

Cette action contribue au bien-être cellulaire général et peut ralentir les processus de vieillissement. Les principaux composants responsables incluent les polysaccharides, les flavonoïdes, les caroténoïdes, les vitamines (C, E, A), les acides phénoliques, le squalène et divers acides gras. L'huile d'argousier, en particulier l'huile de graines, prévient partiellement la génération d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) induites par les UV et augmente les niveaux d'antioxydants non enzymatiques comme le glutathion (GSH), la thiorédoxine (Trx) et les vitamines E et A. Elle stimule également l'activité de Nrf2, un régulateur clé des enzymes antioxydantes, renforçant ainsi les défenses antioxydantes intrinsèques de l'organisme (Zhang et al. 2017).

1.2 Propriétés Anti-inflammatoires

La plante aide à gérer les troubles inflammatoires, tels que l'arthrite, en modulant efficacement les réponses immunitaires et en diminuant l'inflammation. Les acides phénoliques, un type de polyphénol trouvé dans les graines d'argousier, jouent un rôle crucial dans la lutte contre l'inflammation et le stress oxydatif (Verywell Health, 2024).

Des ingrédients actifs spécifiques comme l'isorhamnétine, l'acide ursolique, l'acide oléanolique et la casuarine contribuent à ces effets, notamment en inhibant la voie de signalisation NF- κ B, un régulateur central des réponses inflammatoires (Fu et al. 2021). L'huile d'argousier influence les récepteurs activés par les proliférateurs de peroxyosomes (PPARs), indiquant son potentiel anti-inflammatoire (Acharya Balkrishna et al. 2019 ; Rodriguez et al. 2024).

1.3 Effets Immunomodulateurs

L'argousier agit comme un stimulant du système immunitaire, en grande partie grâce à sa teneur élevée en Vitamine C et autres nutriments essentiels. Les polysaccharides, en particulier, présentent une immunorégulation. L'extrait de feuilles, l'huile et les composants actifs tels que les flavones et les polysaccharides ont montré qu'ils améliorent la fonction immunitaire, augmentent les réponses immunitaires humorales et cellulaires, et protègent contre la suppression de l'activité des cellules tueuses naturelles (Fu et al. 2021 ; Hou et al. 2017).

1.4 Actions Hépatoprotectrices

L'argousier améliore significativement la fonction hépatique, prévient les dommages au foie et soutient les processus de détoxicification, favorisant ainsi la santé globale du foie. Les extraits bruts, les polysaccharides et d'autres composants bioactifs ont démontré des effets protecteurs contre les dommages hépatiques induits par divers produits chimiques, y compris la nicotine et le tétrachlorure de carbone (Prakash, Hurmat, and Yadav 2024).

1.5 Actions Cardioprotectrices

L'argousier contribue à réduire le risque de maladies cardiovasculaires en prévenant l'athérosclérose et en diminuant les niveaux de triglycérides, de cholestérol et la pression artérielle (Verywell Health, 2024). Ses polyphénols et flavonoïdes jouent un rôle clé en réduisant le stress oxydatif, en inhibant l'agrégation plaquettaire et en améliorant la santé vasculaire. Des acides gras spécifiques comme l'acide oléique aident à réduire le cholestérol, tandis que l'acide linoléique régule la pression artérielle, et l'acide linolénique réduit la pression artérielle et aide à dissoudre les graisses accumulées (Fu et al. 2021 ; Scialert 2011).

1.6 Potentiel Anticancéreux

Les composés bioactifs de l'argousier présentent des propriétés anti-tumoriales, capables d'entraver la croissance et la propagation des cellules. Des composés spécifiques comme les flavonoïdes (par exemple, kaempférol, quercétine, isorhamnétine), les acides phénoliques, les caroténoïdes et les vitamines A, C et E contribuent à ces effets anti-tumoraux (Martiniakova et al. 2024 ; Prakash, Hurmat, and Yadav 2024).

1.7 Effets Neuroprotecteurs

L'argousier protège les cellules neuronales de la toxicité et offre une protection au cerveau contre les maladies neurodégénératives telles que les maladies d'Alzheimer et de Parkinson. Il a été observé qu'il inverse les troubles cognitifs, réduit les biomarqueurs du stress oxydatif dans le cerveau et régule la fonction dopaminergique (Martiniakova et al. 2024 ; Prakash, Hurmat, and Yadav 2024).

1.8 Applications Dermatologiques et Cicatrisation des Plaies

Il améliore significativement l'état et le teint de la peau, et aide activement à la cicatrisation des plaies. La plante est utilisée pour diverses maladies de peau, y compris le psoriasis, l'acné, les brûlures, l'eczéma et la dermatite atopique.

L'acide palmitoléique, présent dans l'huile d'argousier, est un composant clé qui aide à la cicatrisation des plaies et des brûlures lorsqu'il est appliqué localement. L'administration orale d'acide palmitoléique peut également nourrir la peau. Les antioxydants et les acides gras sont particulièrement bénéfiques pour les soins de la peau ; les antioxydants combattent les radicaux libres et réduisent les signes du vieillissement, tandis que les acides gras hydratent la peau (Acharya Balkrishna et al. 2019 ; Rodriguez et al. 2024).

Tableau 9: Activités Pharmacologiques de *Hippophae rhamnoides* et Preuves à l'Appui (In Vitro, In Vivo, Clinique)

Activité Pharmacologique	Mécanisme Proposé / Composés Clés	Type de Preuve à l'Appui
Antioxydant	Élimination des radicaux libres, activation de Nrf2, Polysaccharides, Flavonoïdes, Caroténoïdes, Vit. C, E, A	In vitro, In vivo, Préliminaire Clinique
Anti-inflammatoire	Inhibition de NF- κ B, modulation des PPAR, Acides phénoliques, Polysaccharides, Flavonoïdes	In vitro, In vivo, Préliminaire Clinique
Immunomodulateur	Vitamine C, Polysaccharides, Flavones	In vitro, In vivo
Hépatoprotecteur	Polysaccharides, extraits bruts, composants bioactifs	In vivo, Préliminaire Clinique
Cardioprotecteur	Réduction du stress oxydatif, inhibition de l'agrégation plaquettaire, Flavonoïdes, Polyphénols, Acides gras (oléique, linoléique, linolénique), Phytostérols	In vivo, Préliminaire Clinique
Anticancéreux	Suppression de la croissance cellulaire, induction de l'apoptose, inhibition de PI3K-Akt-mTOR, Flavonoïdes, Acides phénoliques, Caroténoïdes, Vit. A, C, E	In vitro, In vivo, Préliminaire Clinique
Régulation Métabolique	(Hypoglycémiant, Hypolipidémiant, Anti-obésité)	Polysaccharides, Antioxydants
Neuroprotecteur	Protection des cellules neuronales, régulation de la dopamine	In vivo
Dermatologique / Cicatrisation	Acide palmitoléique, Antioxydants, Acides gras, Vitamines	In vitro, In vivo, Préliminaire Clinique
Respiratoire	Réduction de l'inflammation	In vivo, Préliminaire Clinique

Ophthalmologie	Protection contre les infections/sécheresse, Amélioration de la vision	In vivo, Préliminaire Clinique
Santé Osseuse et Articulaire	Minéraux, propriétés anti-inflammatoires	In vivo
Gastro-intestinal	Régulation de la flore intestinale, gastroprotecteur	In vivo, Préliminaire Clinique
Antimicrobien	Antibactérien, Antifongique, Antiviral	In vitro, In vivo

2. Le pistachier (*Pistacia vera*)

Pistacia vera présente un large éventail d'activités pharmacologiques étayées par des preuves *in vitro*, *in vivo* et, de plus en plus, par des essais cliniques humains.

2.1 Propriétés antioxydantes

Pistacia vera figure parmi les sources alimentaires ayant l'un des potentiels antioxydants les plus élevés, en raison de sa richesse en composés phénoliques, notamment l'acide gallique, la catéchine, l'épicatéchine et les anthocyanes. Cette richesse en antioxydants se manifeste dans divers extraits de la plante, particulièrement les coques, qui présentent une activité antioxydante remarquable dans plusieurs tests standards (DPPH, ABTS, FRAP). Les extraits de feuilles ont également montré une capacité élevée à neutraliser les espèces réactives de l'oxygène (Yuan et al. 2022 ; Siracusa et al. 2017 ; Liu 2022). Ces résultats *in vitro* sont corroborés par des études cliniques chez l'homme, où la consommation quotidienne de pistaches s'est traduite par une augmentation significative de l'activité antioxydante plasmatique (Liu et al. 2022).

Les mécanismes d'action sous-jacents reposent sur plusieurs voies biochimiques. Les acides phénoliques présents dans la plante, comme l'acide gallique, agissent en tant que donneurs d'électrons et d'atomes d'hydrogène, interrompant les réactions radicalaires en chaîne. Les proanthocyanidines, quant à elles, inhibent la peroxydation lipidique induite par les métaux, protégeant ainsi les membranes cellulaires. Par ailleurs, les extraits de coque ont démontré une capacité à inhiber la production d'oxyde nitrique (NO) et à limiter la formation d'espèces réactives de l'oxygène (ROS). Ces effets se traduisent par une réduction globale

du stress oxydatif, un facteur physiopathologique central dans le développement de nombreuses maladies chroniques (*Cornell Liu*, 2022 ; *Mandalari et al.*, 2017).

2.2 Effets anti-inflammatoires

Des extraits aqueux et éthanoliques de feuilles ont démontré une efficacité significative dans des modèles animaux d'inflammation aiguë et chronique. Dans le modèle d'œdème auriculaire induit par le xylène chez la souris, ainsi que dans le test du granulome au coton, l'extrait éthanolique a montré une activité comparable à celle du diclofénac (médicament) (*Mandalari et al.*, 2017). En contexte clinique, une préparation topique d'huile de graines a permis de réduire les douleurs articulaires, d'améliorer la mobilité et de diminuer la raideur chez des patients souffrant d'arthrose du genou, avec une efficacité parfois supérieure à celle des médicaments. De plus, la consommation de pistaches a été associée à une diminution des taux de protéine C-réactive (CRP), un marqueur majeur d'inflammation systémique, chez les patients diabétiques (*Abbasifard et al.*, 2023).

Les mécanismes anti-inflammatoires de *P. vera* reposent sur l'action synergique de plusieurs composés phytochimiques, en particulier les proanthocyanidines polymériques (*Mandalari et al.*, 2017).

2.3 Potentiel antidiabétique

Les études cliniques et expérimentales démontrent que *Pistacia vera* possède un effet antidiabétique significatif. La consommation régulière de pistaches réduit la glycémie à jeun, l'HbA1c, l'insulinémie et l'indice HOMA-IR chez les patients diabétiques ou prédiabétiques. Ces effets s'expliquent par plusieurs mécanismes synergiques : inhibition des enzymes digestives impliquées dans l'absorption des glucides (α -amylase, α -glucosidase) et des lipides (lipase pancréatique, cholestérol estérase), amélioration de la sensibilité à l'insuline grâce aux acides gras insaturés et au magnésium, stimulation de la sécrétion de GLP-1, ainsi que réduction du stress oxydatif. Ces actions métaboliques multiples font de *P. vera* un aliment fonctionnel prometteur dans la prévention et la prise en charge du diabète de type 2 et du syndrome métabolique (*Camacho-Vega et al.*, 2024).

2.4 Activités anticancéreuses et cytotoxiques

Les extraits des coques de *Pistacia vera* ont démontré une activité cytotoxique marquée contre les cellules cancéreuses du sein, avec une concentration inhibitrice (IC₅₀) d'environ 15 µg/ml (Yuan et al. 2022 ; Camacho Vega 2024). Des études complémentaires confirment l'effet sur les lignées gastrique (HGC-27) et prostatique (PC-3), avec un effet synergique lorsqu'ils sont associés au cisplatine (« *Pistacia vera and its Combination with Cisplatin...* », 2024). La voie mitochondriale de l'apoptose, via la libération de cytochrome c, la régulation des gènes BAX, P53 et BCL-2, ainsi qu'un effet anti-angiogénique *in vivo*, illustrent une action anticancéreuse robuste et ciblée (« *Cytotoxic Effects and Anti-Angiogenesis Potential...* », 2017).

2.5 Bienfaits pour la santé cardiovasculaire

La consommation de pistaches a montré une amélioration systématique du profil lipidique : baisse du LDL (−6 %) et du rapport LDL/HDL, avec augmentation du HDL (« *Pistachio Nut Effects on the Blood Lipid Profile...* », 2021 ; American Pistachio Growers, 2023). Ces effets s'accompagnent d'une réduction de la pression artérielle systolique, ainsi que d'une amélioration de la résistance vasculaire périphérique grâce aux acides gras sains, aux antioxydants et à la teneur en potassium (American Pistachio Growers, 2023).

L'extrait de coque de *P. vera* protège également le muscle cardiaque en limitant l'apoptose et les dommages à l'ADN (American Pistachio Growers 2023 ; Liu et al. 2024).

2.6 Effets neuroprotecteurs et amélioration cognitive

Chez les modèles animaux, *Pistacia vera* améliore la mémoire et les performances cognitives après des déficits induits. Une étude pilote chez l'homme a mis en évidence une amélioration des fonctions exécutives, une meilleure prise de décision et une réduction de l'anxiété chez de jeunes adultes en surpoids par simple consommation de pistaches (American Pistachio Growers, 2023). Ces effets sont liés à l'inhibition des cholinestérases (AChE/BuChE) par des polyphénols comme l'acide anacardique, ainsi qu'à une réduction de la peroxydation lipidique cérébrale et à une augmentation des défenses antioxydantes (AChE/BuChE inhibition studies, 2019).

2.7 Propriétés antimicrobiales et antivirales

Pistacia vera présente une activité in vitro et in vivo contre divers pathogènes : *Listeria monocytogenes*, *S. aureus* (y compris MRSA), *Candida albicans* et *Aspergillus flavus* («Pistachios and Heart Health Research», 2023). Il a également démontré une efficacité contre *Leishmania tropica* et *L. major*. Sur le plan antiviral, des extraits riches en zéaxanthine ont bloqué l'entrée du SARS-CoV-2 (variantes Alpha et Omicron) (American Pistachio Growers, 2023). Les composés volatils comme l'α-pinène, le limonène et le terpinolène perturbent les membranes microbiennes sans cytotoxicité significative pour les cellules hôtes (« Cytotoxic Effects and Anti-Angiogenesis Potential... », 2017 ; American Pistachio Growers, 2023).

Partie 2

Matériel et méthodes

II. Matériels et méthodes

Ce travail est réalisé au niveau du laboratoire de Bio-pôle de département de Biologie Végétale à l'université Constantine 1 Frères Mentouri, en vue d'étudier les exigences et les facteurs nécessaires pour la germination des deux espèces *Hippophae rhamnoides* et *Pistacia vera*, d'établir l'extraction des graines de ces deux espèces et de valoriser leurs huiles végétales.

1. Le matériel végétal

1.1. L'argousier (*Hippophae rhamnoides*)

Les graines et les baies d'argousier utilisées pour ce présent travail ont été achetées par un site commercial Greek spécialisé à la commercialisation des produits et matériels végétaux (fruits, graines, herbe...).

La source de ces baies d'argousier fournie par ce site est à origine d'une ferme située en Grèce à Pantocrators 33 Patras. (Figure 20)



Figure 20: A : Les baies d'argousier (*Hippophae rhamnoides*)
B : La source des baies d'argousier (Photo original, 2025)

1.2. Le pistachier (*Pistacia vera*)

Les graines de notre variété de pistachier utilisées à cette présente étude ont été achetées de l'un des marchés locaux de la wilaya de Constantine (Souika).



Figure 21: Graines de pistachier (Photo original, 2025).

1.3. Etude morphologique de matériels végétale

Une dizaine de graines de chaque espèce ont été sélectionnées aléatoirement. Les graines ont été nettoyées, séchées à température ambiante et observées

L'observation a été réalisée à l'œil nu et à l'aide d'une loupe binoculaire. Les caractéristiques macroscopiques suivantes ont été relevées : la forme générale (elliptique, ovoïde, réniforme, etc.), la couleur du tégument, la texture de la surface (lisse, rugueuse, nervurée), ainsi que la présence ou l'absence de structures particulières telles qu'un arille, un micropyle ou des fissures.

Les mesures morphométriques ont été effectuées à l'aide d'un pied à coulisse de précision (0,01 mm) sur 10 grains / espèce pour déterminer la longueur, la largeur et l'épaisseur de chaque graine. La masse individuelle a été mesurée pour un sous-échantillon de dix graines à l'aide d'une balance de précision (0,001 g). Pour chaque espèce, les valeurs moyennes, les écarts-types et le rapport longueur/largeur (L/l) ont été calculés afin d'évaluer la variabilité morphologique au sein de l'échantillon.

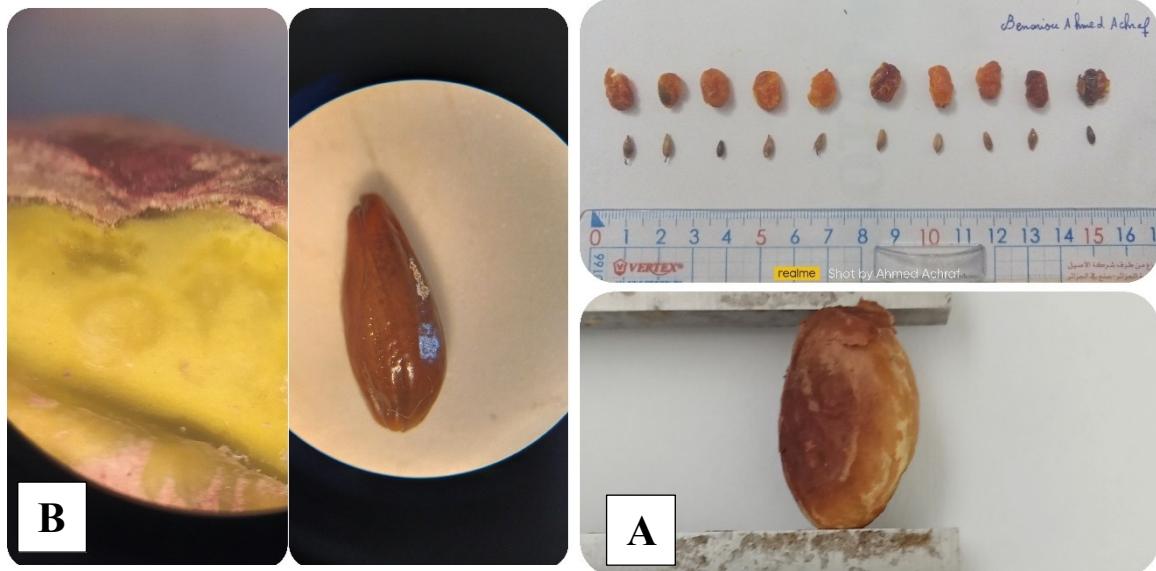


Figure 22: Les grains d'argousier et Pistachier **A** : Mesure Largeurs et hauteurs des deux espèces ; **B** : Observation binoculaire des deux espèces (40X).

2. La germination

2.1. Germination d'argousier (*Hippophae rhamnoides*)

2.1.1. Préparation des graines

Les graines sont collectées à partir des baies d'argousier sèches, par séparation manuel des graines de la pulpe des baies.

Les grains sont nettoyés, et stérilisées par trempage pendant 10 à 15 minutes l'eau de javel 5 %.

2.1.2. Prétraitemet

Les graines d'argousier ont une dormance interne empêche de germer immédiatement. La stratification à froid stimule les conditions hivernales nécessaires pour déclencher le processus de germination. Mais la durée recommandée pour la stratification à froid est généralement entre 30 à 90 jours qui rassemblent une longue durée.

Pour soulever la dormance des graines et de diminuer la durée de stratification à froid nous avons imbibés les graines dans différentes solutions (Acide gibbérellique (GA_3), H_2O_2 , KNO_3).

Chaque traitement a été réalisé sur 10 graines.

2.1.2.1. Acide gibbérellique (GA_3)

➤ Préparation de solutions de GA_3

- **Concentration :** La concentration optimale de GA_3 pour l'argousier peut varier de 50 ppm à 200 ppm. Un bon point de départ pourrait être 100 ppm.
- **Dissolution :** Pour une solution à 100 ppm dans 100 ml d'eau une quantité de 10 mg de GA_3 dans quelques millilitres d'éthanol. Ensuite de l'eau distillée jusqu'à un volume total de 100 ml, en agitant doucement pour bien mélanger.
- Les graines sèches sont placées directement dans la solution de GA_3 préparée pour une durée de 24h.

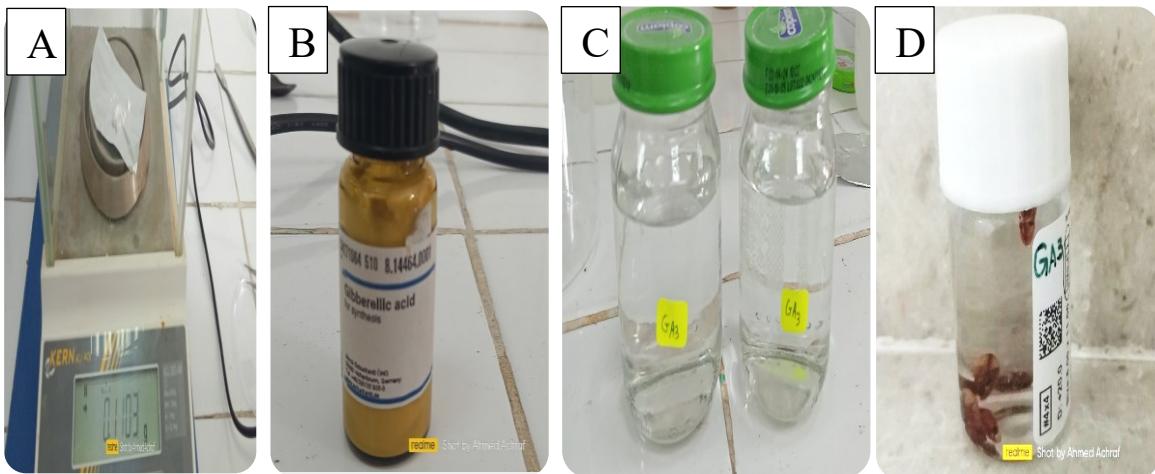


Figure 23: A : pesée d'acide gebrillique (GA3), B : Acide gebrillique (GA3)
C : La solution de GA3 préparé, D : Imbibition des graines d'argousier dans la solution de GA3

2.1.2.2. Peroxyde d'hydrogène (H₂O₂)

➤ Préparation de la solution de peroxyde d'hydrogène

- **Concentration :** La concentration de H₂O₂ utilisée est **0.5%** et le peroxyde d'hydrogène commercial est souvent à 3 %.
- **Pour une solution à 0.5 %** un volume de 5 ml de H₂O₂ à 3 % mélangé avec 10 ml d'eau distillée pour 30 ml de solution à 0.5 %).
- Nous avons placé directement les graines sèches à la solution de H₂O₂ pour une courte durée de 3 h.

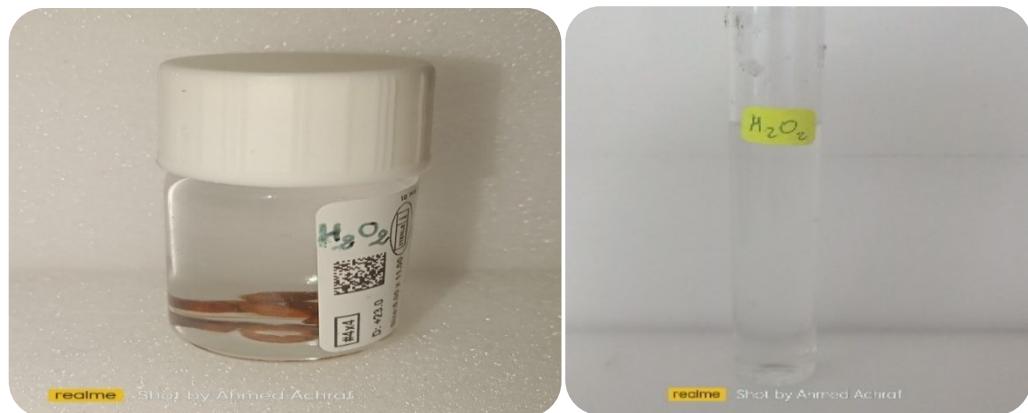


Figure 24: Imbibition des graines d'argousier dans la solution de H₂O₂

2.1.2.3. Nitrate de potassium (KNO₃)

➤ Préparation de la solution de nitrate de potassium

- **Concentration :** La concentration de KNO₃ utilisée est 0.5 % (5 grammes par litre d'eau).
- **Dissolution :** 5 g de nitrate de potassium mélangé avec l'eau distillée en agitant doucement jusqu'à ce qu'il soit complètement dissous.
- Les graines sèches sont trempées directement dans la solution de KNO₃ préparé pour une durée de 24h.



Figure 25: Imbibition des graines d'argousier dans la solution de KNO₃

- Un lot de graines **non prétraitées**, mais désinfectées de la même manière que les autres, est conservé comme témoin pour comparaison.

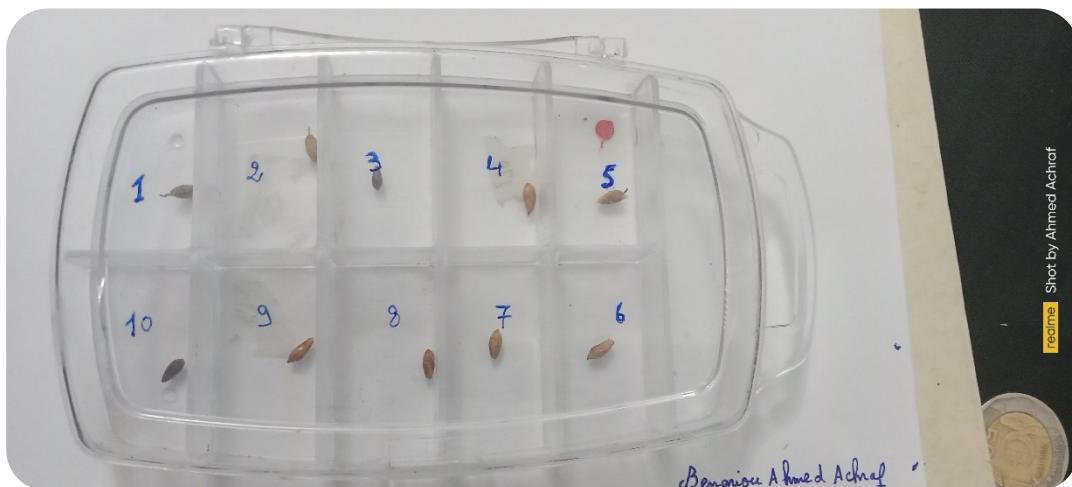


Figure 26: Imbibition des graines d'argousier dans l'eau distillée(témoin)

2.1.3. Analyse statistique

Après chaque imbibition a différent traitements les graines sont mesurées a nouveau (Poids, largeur, hauteur).

Les résultats qualitatif et quantitatif obtenus ont été traités par le logiciel XIStat, le test réalisé est l'ANOVA à trois facteurs, suivi par un test de comparaison des moyennes par Newman-Keuls (NSK) à un seuil 95% de confiance.

2.1.4. Levée de dormance (stratification à froid)

Tout les graine imbibée a différentes solutions de prétraitement sont placées dans un substrat humide (papier absorbant) enfermée dans des boîtes plastiques hermétiques.

Les boîtes sont stockées au réfrigérateur à 4°C pendant 15 jour



Figure 27: Stratification à froid des graines d'argousier

2.1.5. Prégermination

Après les 15 jours de stratification à froid, les graines sont transférées dans un endroit chaud (20–25°C), sombre et humide.

Chaque traitement est réalisé en triplicat, y compris le lot témoin, afin de garantir la validité des comparaisons statistiques.

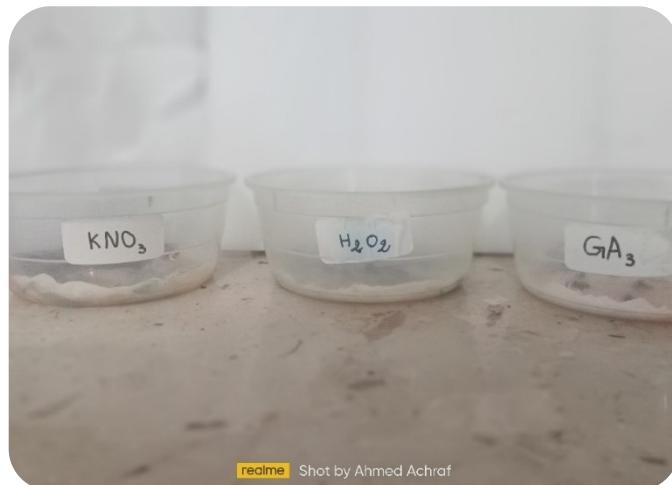


Figure 28: Les graines dans un endroit chaud, sombre et humide.

2.2. Germination de pistache (*Pistacia vera*)

2.2.1. Préparation des graines

Afin d'obtenir des graines de qualité nous avons séparées et filtrer manuellement les graines non-complet (cassé), percées, fissures, tailles très petites (immatures) ou attaquées par les champignons.

2.2.2. Imbibition des graines

Les graines sont placées dans un bécher contenant de l'eau distillée et l'eau de javel 5 % pendant 5 minutes pour éliminer les impuretés de surface. Les graines sont trempées dans de l'eau distillée à température ambiante pendant 24 heures afin d'activer les processus physiologiques de germination.



Figure 29: Nettoyage et imbibition des graines

2.2.3. Analyse statistique

Après l'imbibition les graines sont mesurées à nouveau (Poids, largeur, hauteur).

Les résultats qualitatif et quantitatif obtenus ont été traités par le logiciel XLStat, le test réalisé est l'ANOVA à trois facteurs, suivi par un test de comparaison des moyennes par Newman-Keuls (NSK) à un seuil 95% de confiance.

2.2.4. Levée de dormance (stratification à froid)

Les graines sont placées dans un substrat humide (papier absorbant) enfermé dans des boîtes plastiques hermétiques.

Les boîtes sont stockées au réfrigérateur à 4 °C pendant 15 jours.



Figure 30: Stratification à froid des graines de pistachier

2.2.5. Prégermination

Après les 15 jours de stratification, les graines sont transférées à un endroit chaud (20–25°C), sombre et humide.



Figure 31: Les graines dans un endroit chaud, sombre et humide

3. Extraction d'huile et matière des deux espèces *Hippophae rhamnoides* et *Pistacia vera*

Pour l'extraction d'huile et matière d'argousier, La méthode de SOXHLET est appliquée par deux types de solvants (éthanol pour la matière et n-hexane pour l'huile).

L'extraction d'huile de pistache fait par la pression à froid.

3.1. Extraction matière de l'argousier

L'extraction de matière passé par trois étapes essentielles

3.1.1. Broyages des baies sèche d'argousier

Les fruits d'argousier sec, été réduits en poudre fine à l'aide d'un broyeur électrique. La poudre obtenue a été conservée dans un récipient hermétique à l'abri de la chaleur et de l'humidité.

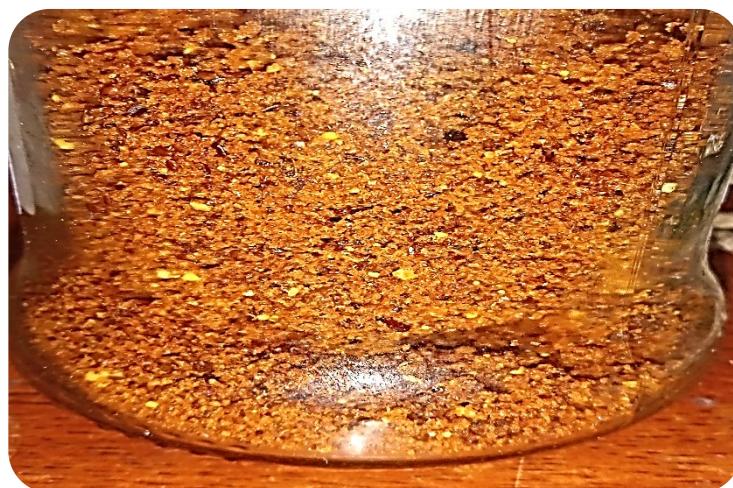


Figure 32: Poudre d'argousier

3.1.2. Séchage de la poudre

La poudre obtenue est un peu humide donc nécessite un séchage en étuve a 60C°.



Figure 33: Séchage de la poudre d'argousier

3.1.3. Extraction de la matière

Une quantité de 20g de poudre d'argousier au cartouche de soxhlet et 300 ml d'éthanol au ballon pour une durée de 4h sur une température de 70C°.

Une fois l'extraction terminée, la solution extraite a été versée dans un ballon à fond sphérique et raccordé à un rotavapeur pendant 25 minutes à 45C° et sous une pression de 50 mbar. L'extrait brut a été séché à 40 °C jusqu'à masse constante, puis pesé et stocké à 4 °C. Le rendement été exprimé en pourcentage et se calculé à l'aide de la formule suivante : $R\% = (M / Mv) \times 100$

R% rendement en huiles végétale en %,

M : quantité de matière récupérée exprimée en gramme (g).

Mv : quantité de la matière végétale utilisée pour l'extraction exprimée en gramme (g).

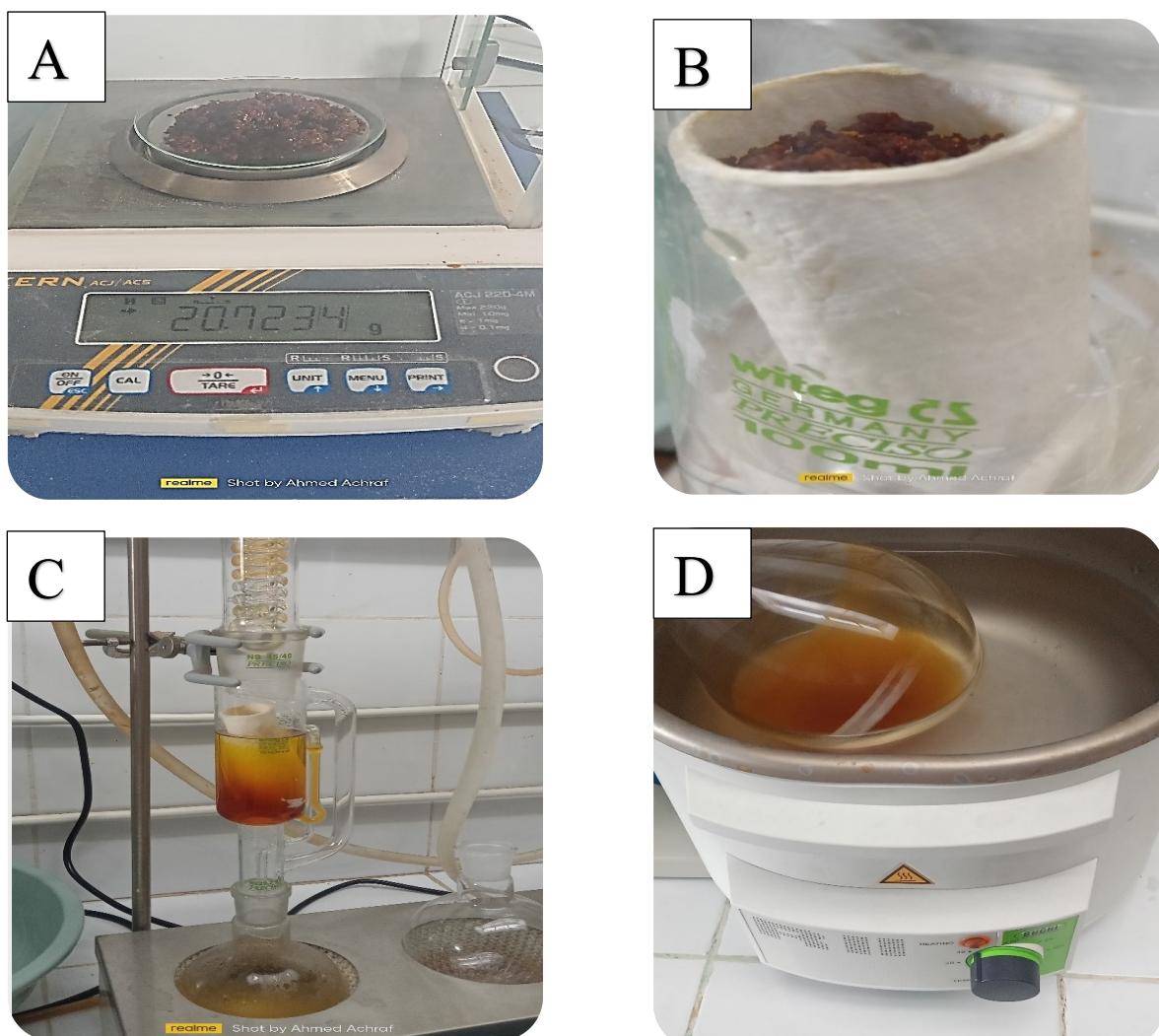


Figure 34: Extraction de la matière **A** : La pesée de poudre d'argousier **B** : Placement de poudre dans la cartouche, **C** : Extraction par soxhlet, **D** : Evaporation d'éthanol par rotavapor

3.2. Extraction huile d'argousier

Une quantité de 20 g de poudre d'argousier est d'abord pesée puis placée dans la cartouche d'extraction. Un volume de 300 ml d'hexane ajouté au ballon pendant 4 h sous une température 60C°.

Après 4 h, l'extraction est terminée et la solution extraite versée dans un ballon à fond sphérique et raccordé à rotavapeur pendant 20 minutes et une température de 45C° et sous une pression de 150 mbar.

Le rendement été exprimé en pourcentage et se calculé à l'aide de la formule suivante : $R\% = (H / Mv) \times 100$

R% rendement en huiles végétale en %,

H : quantité d'huile récupérée exprimée en gramme (g)

Mv : quantité de la matière végétale utilisée pour l'extraction exprimée en gramme (g)

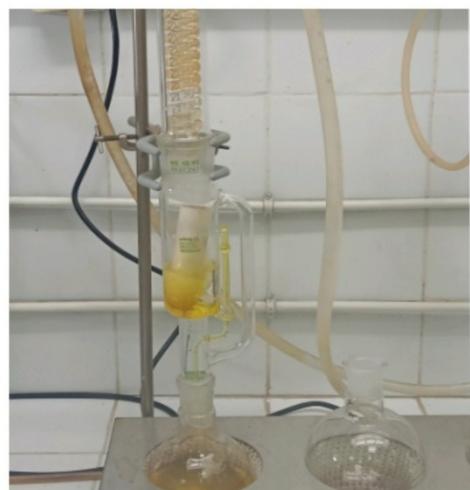


Figure 35: La procédure d'extraction d'huile d'argousier

3.3. Extraction huile de pistache

Quantité de 200 g de pistaches pelées sont transformées en pâte. La pâte est pressée mécaniquement à l'aide d'un pressoir à vis à une température inférieure à 40°C.

Le rendement est exprimé en pourcentage et se calcule à l'aide de la formule suivante : $R\% = (H / Mv) \times 100$

R% rendement en huiles végétale en %,

H : quantité d'huile récupérée exprimée en gramme (g)

Mv : quantité de la matière végétale utilisée pour l'extraction exprimée en gramme (g)

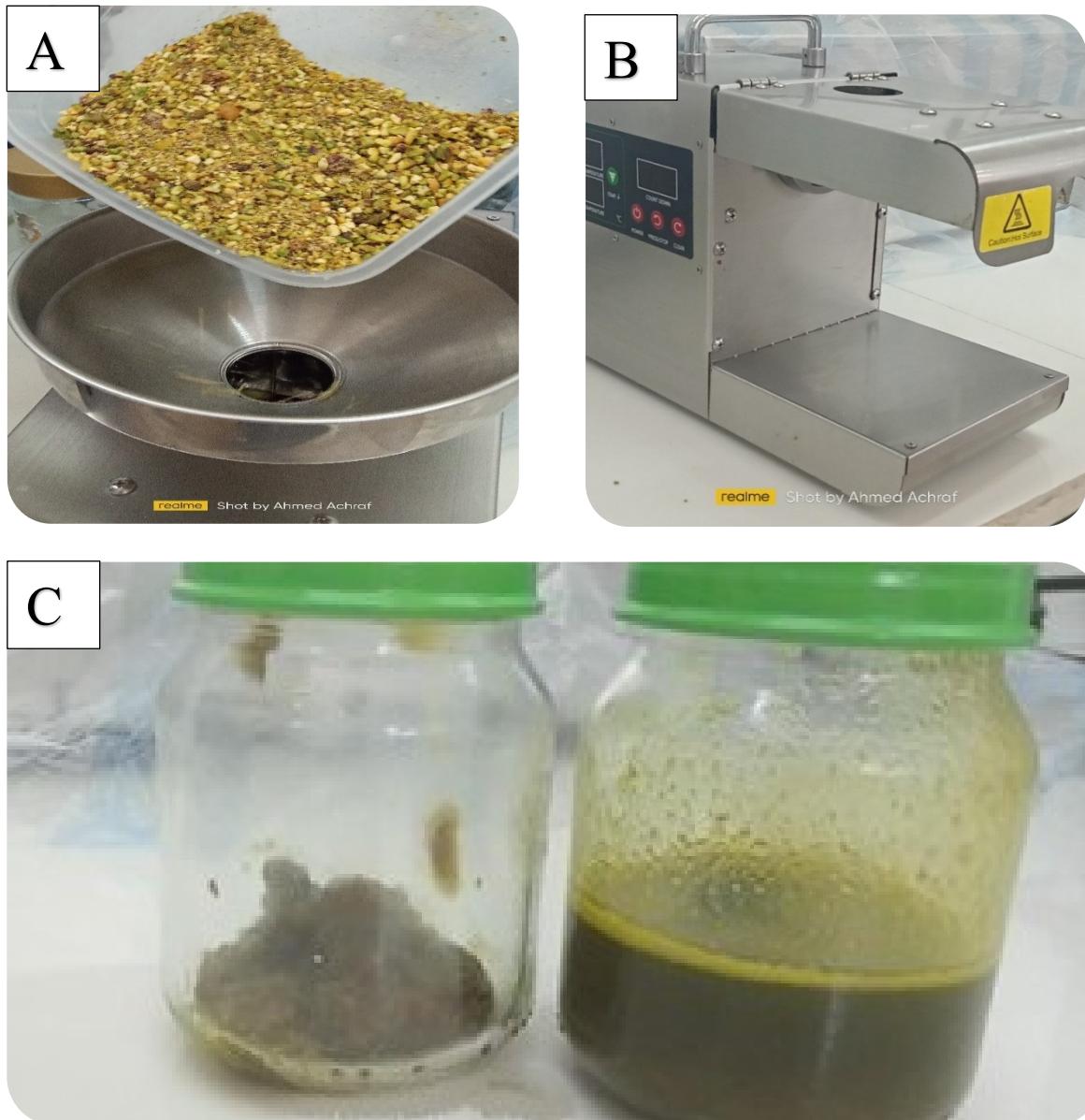


Figure 36: A : L'extraction d'huile de pistachier ; B : Machine de pression à froid ; C : Huile et résidus de pistachier

4. Évaluation de la Teneur en Polyphénols Totaux (TPC)

La teneur en polyphénols totaux (TPC) a été évaluée en utilisant la méthode de Folin-Ciocâlteu (FCR) exprimée en **équivalents d'acide gallique** selon Constantin et al. (2018) avec des fines modifications.

Le réactif de Folin-Ciocâlteu (FCR) a été préparé à partir d'une solution mère de Folin-Ciocâlteu (10 ml) et d'eau (90 ml). Une solution d'argousier été préparé par dissout 0.005g d'extrait éthanolique de l'argousier dans 10 ml d'éthanol pour une solution a concentration de 0.5mg/ml.

Une solution de pistachier été préparé par dissout 1g d'huile de pistachier dans 10 ml d'éthanol.

125 μ L de chaque solution d'argousier et pistachier préparée a été ajouté au 125 μ L de FCR et à 1250 μ L de la solution de Na₂CO₃ (carbonate de sodium 7.5%) mélangé à 500 μ L de l'eau distillée, puis maintenu pendant 30 minutes dans l'obscurité. L'absorption a été mesurée à 760 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

Pour la gamme d'étalonnage de l'acide gallique, 2 mg d'acide gallique est dissout dans 10 ml d'éthanol pour la solution mère (SM). 10 dilutions préparées pour des concentrations allants de 20 μ g/ml à 200 μ g/ml.

La teneur en composés phénoliques est déterminée en référence à la courbe d'étalonnage d'acide gallique obtenue selon l'équation suivante (**Annex figure 65**) :

$$y = 0,0029x + 0,0412 \quad R^2 = 0,9964$$

Les résultats sont d'abord exprimés en μ g d'acide gallique par mg d'extrait (μ l/mg), puis convertis en mg de quercétine par g de matière sèche (mg EAG/g).

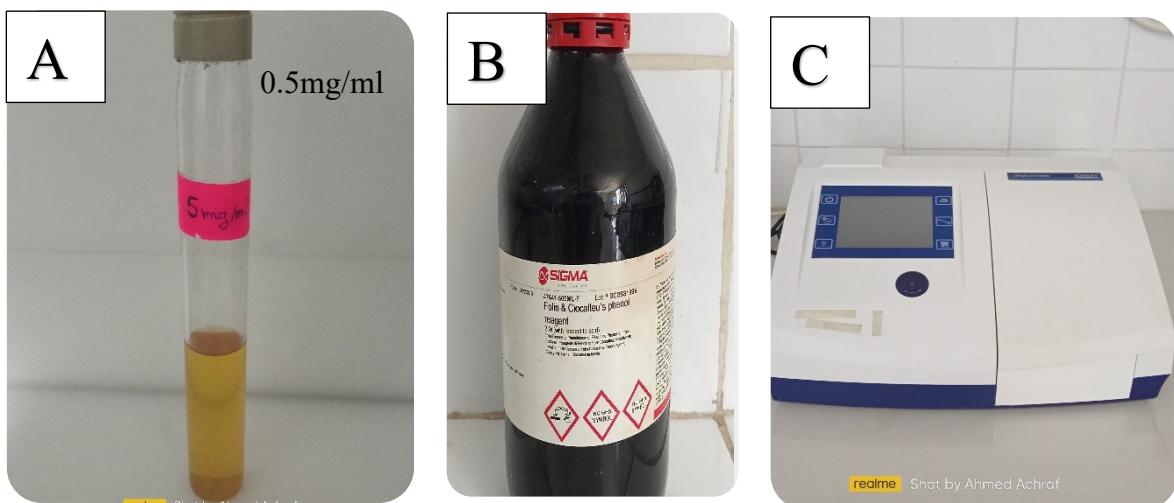


Figure 37: A : La solution d'argousier utilisé ; B : le réactif de Folin-Ciocâlteu ; C : Le Spectrophotomètre

5. Détermination de la teneur en flavonoïdes totaux (TFC)

La teneur totale des flavonoïdes a été déterminé par une méthode colorimétrique à base de AlCl₃ en équivalent de catéchine (Kalita et al., 2013) avec minces modifications.

Une solution d'argousier (extrait éthanolique + éthanol) a concentrations de 5mg/ml été utilisées. Un volume de 250µL de solution prépare mélangée avec 75µL de NaNO₂ (5%) et laissé réagir pendant 6 minutes, puis un volume de 150µL de AlCl₃ (10%) été ajouté et mélangé et laissé réagir sous agitation pendant 5 minute, après la réaction 500µL de NaOH (4%) et 2.5 ml de l'eau distillée été ajouté.

Après 15 minutes l'absorption a été mesurée à 510 nm à l'aide d'un spectrophotomètre et les résultats sont exprimés en équivalent de quercétine.

La teneur en flavonoïdes totaux est déterminée en référence à la courbe d'étalonnage de quercétine obtenue selon l'équation suivante (**Annex figure 66**) :

$$y = 0,0007x + 0,0507 \quad R^2 = 0,9975$$

Les résultats sont d'abord exprimés en µg de quercétine par mg d'extrait, puis convertis en mg de quercétine par g de matière sèche (mg EQ/g).

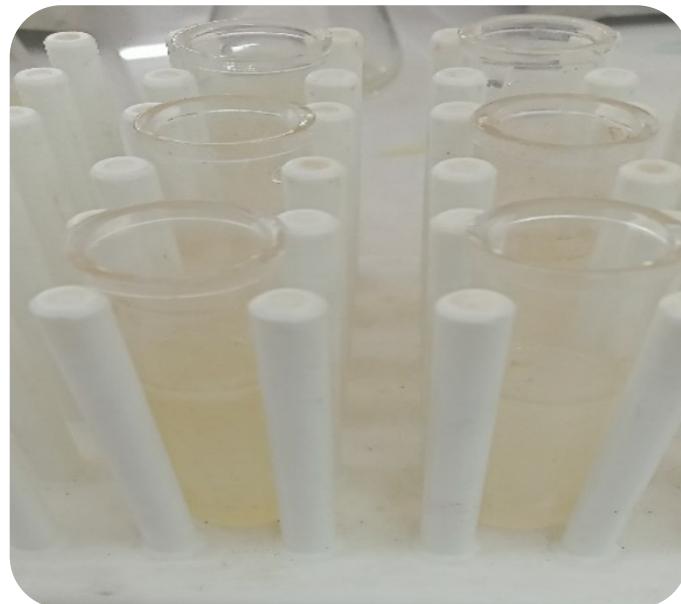


Figure 38: La réaction entre AlCl₃ et la solution d'argousier

6. Détermination de la concentration des tannins condensé

La concentration des tannins condensé est déterminé par la méthode décrit par Michel et al. (2012) avec quelques modifications.

Une concentration de 5mg/ml de la solution d'argousier (extrait éthanolique d'argousier + éthanol) été utilisé pour la détermination de la concentration des tannins.

Un volume de 50 μ L de solution prépare ajoutée sur un volume de 3 ml de solution à 4% de vanilline en méthanol (1.2g de vanilline dans 30 ml méthanol) et 1.5 ml d'HCl concentré. Après 15 minutes l'absorption a été mesurée à 510 nm à l'aide d'un spectrophotomètre et les résultats sont exprimés en équivalent de catéchine.

La teneur en tannins condense est déterminée en référence à la courbe d'étalonnage de catéchine obtenue selon l'équation $y = 0,0004x + 0,0098$, $R^2 = 0,9968$ (**Annex figure 67**) et les résultats sont exprimés en μ g de catéchine par mg d'extrait (μ l/mg), puis convertis en mg de quercétine par g de matière sèche (mg EC/g).



Figure 39: A : La vanilline ; B : Pesée de quantité de vanilline utilisé
C : HCl ; D : Catechine

7. L'activité antioxydante

A la détermination de l'activité antioxydante, un test de DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle) a été réalisé.

7.1. L'activité antioxydant de l'extrait éthanolique de l'argousier

Une solution mère de DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle) a concentration de 0.1Mm a été préparée par dissout 0.5 mg de DPPH a 100 ml de méthanol et son absorbance mesurée pour garantir sa stabilité. Ensuite, Cinque dilutions en série de l'extrait d'*Hippophae rhamnoides* ont été préparées à différentes concentrations (20 µg/ml, 50 µg/ml, 100µg/ml, 200 µg/ml, 300 µg/ml).

Un volume de 3ml de chaque dilution de l'extrait fut ensuite mélangé avec une quantité de 2ml de la solution de DPPH. Les mélanges ont été incubés dans l'obscurité à température ambiante pendant 30 minutes, permettant à la réaction de se produire. Après l'incubation, l'absorbance de chaque échantillon a été mesurée à une longueur d'onde de 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

- Le pourcentage d'inhibition du DPPH est calculé par la formule suivante :

$$R(\%) = \left(\frac{A_0 - A_s}{A_0} \right) \times 100$$

Où :

- A_0 = Absorbance du témoin (DPPH seul)
- A_s = Absorbance de l'échantillon

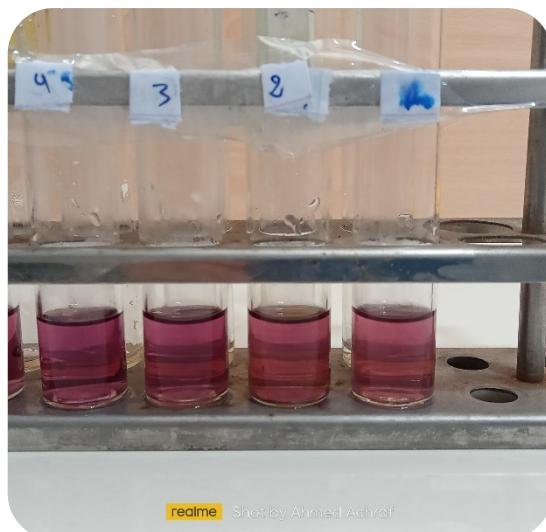


Figure 40: La solution de DPPH

8. Evaluation de l'activité antibactérienne des deux huiles végétales obtenues (*Hippophae rhamnoides* et *Pistacia vera*) :

La méthode de diffusion en puits a été utilisée pour évaluer l'activité antibactérienne, conformément aux procédures décrites par Balouiri et al. (2016), avec des ajustements adaptés au type de microorganismes et aux huiles testées.

8.1. Matériel utilisé pour le test de l'activité antibactérienne

L'évaluation de l'activité antibactérienne des deux huiles a été réalisée en utilisant les matériaux et équipements suivants :

- **Microorganismes** : souches bactériennes de référence (Tableau 1)
- **Milieu de culture** : gélose Mueller-Hinton (MH), standardisée pour les tests de sensibilité aux antimicrobiens
- **Huiles testées** : huile d'argousier (*Hippophae rhamnoides*) et huile de pistache (*Pistacia vera*)
- **Solvant** : diméthylsulfoxyde (DMSO), utilisé pour solubiliser les huiles
- **Matériel de microbiologie** :
 - Pipettes automatiques et embouts stériles.
 - Écouvillons stériles.
 - Tubes Eppendorf stériles.
 - Boîtes de Pétri stériles.
 - Anses de platine.
 - Étaloir stérile (pour ensemencement en nappe).
 - Incubateur (température standard : 37 °C).
 - Bec Bunsen (pour assurer une zone stérile).
 - Autoclave (pour la stérilisation des milieux et du matériel).
 - Vortex (pour homogénéiser les solutions).

Tableau 10:Les souches bactérienne testé

Souches bactériennes	Type	Gram+/-	Référence (ATCC)
Escherichia coli	Bacille	Gram –	ATCC 25922
Bacillus subtilis	Bacille	Gram +	ATCC 6633

8.2. Les étapes de teste de l'activité antibactérienne

8.2.1. Préparation de l'inoculum

Une fois les colonies isolées obtenues après activation, quelques-unes de chaque souche bactérienne ont été prélevées à l'aide d'une anse en platine, puis transférées dans un volume de 10 ml d'eau physiologique stérile. La suspension obtenue a été homogénéisée à l'aide d'un vortex pendant quelques secondes.

L'objectif est d'obtenir une suspension dont la turbidité corresponde à une opacité équivalente à 0,5 sur l'échelle de McFarland. Pour cela, la concentration bactérienne est estimée par mesure de la turbidité, exprimée en densité optique, avec des valeurs comprises entre 0,08 et 0,10 à une longueur d'onde de 625nm.

8.2.2. Ensemencement des bactéries

L'ensemencement est réalisé par écouvillonnage dans des conditions stériles, à proximité d'un bec Bunsen, à partir d'un inoculum fraîchement préparé. Un écouvillon en coton stérile est plongé dans la suspension bactérienne, puis l'excès de liquide est éliminé en le pressant contre les parois internes du tube, afin d'éviter toute sur-inoculation des boîtes de Pétri.

La gélose Mueller-Hinton est ensuite ensemencée par des stries serrées, en couvrant toute la surface. Pour garantir une répartition homogène, la boîte est tournée d'environ 60° à chaque passage de l'écouvillon, y compris sur le pourtour de la gélose.

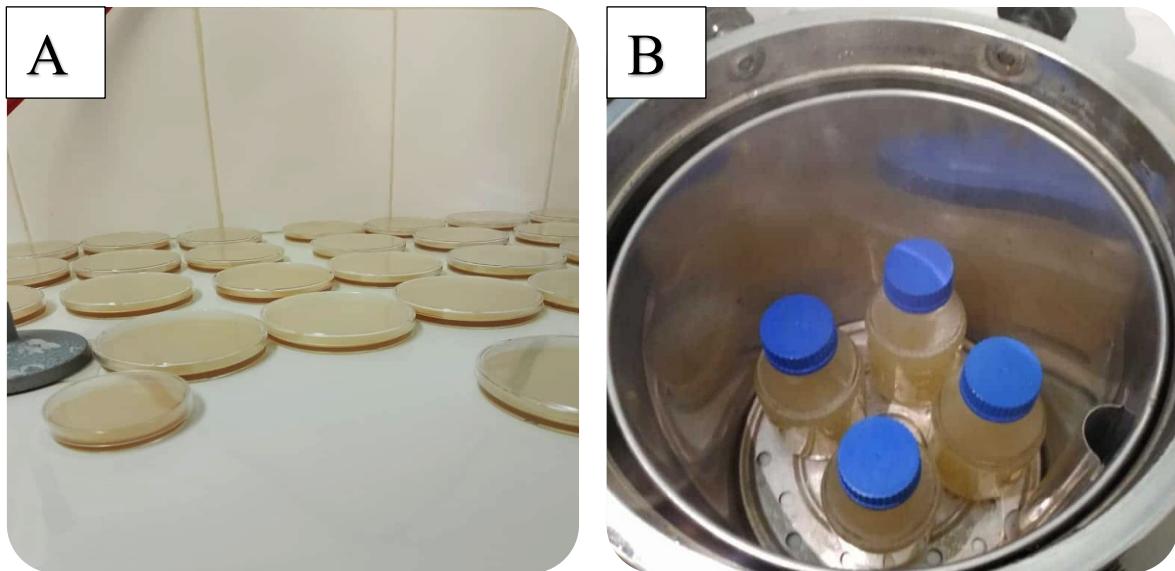


Figure 41: A : Ensemencement de l'agar Mueller-Hinton ; B : préparation de milieu de culture Mueller-Hinton

8.2.3. Préparation des puis

Des puits de 6 mm de diamètre ont été réalisés dans la gélose en utilisant un embout de pipette. Les cylindres de gélose ainsi découpés ont été soigneusement retirés à l'aide d'une pince stérile, en veillant à ne pas endommager le reste du milieu.



Figure 42: Realisation des puits

8.2.4. Préparation des dilutions des huiles

Les huiles végétales testées ont été diluées dans du diméthylsulfoxyde (DMSO) selon différents rapports volumétriques : 100 % et 50 %. Chaque solution a été homogénéisée au vortex afin d'obtenir une préparation uniforme. Le DMSO pur a été utilisé comme contrôle négatif,

Tableau 11: Rapports volumétriques DMSO

Rapport de dilution (H, V/DMSO)	50%	100%
Pourcentage (%)	50	100
$\mu\text{l H.V/ml DMSO}$	50	0



Figure 43: Les dilution d'huiles préparé

8.2.5. Application des échantillons

Une fois les dilutions prêtes, un volume de 50 μL de chaque solution a été déposé dans les puits creusés dans la gélose. Une attention particulière a été portée à la non-fusion des puits et à l'identification claire de chaque condition testée. Chaque essai a été réalisé en triplicat pour garantir la reproductibilité des résultats.

8.2.6. Incubation

Les boîtes de Pétri ont ensuite été incubées à 37 °C pendant une durée de 18 à 24 heures, en position inversée. Cette température a été choisie afin de favoriser une croissance optimale des bactéries.

8.2.7. Lecture et interprétation

Après incubation, les zones d'inhibition autour des trous ont été observées. Le diamètre de chaque halo clair a été mesuré en millimètres à l'aide d'un pied à coulisse. La présence d'une zone d'inhibition a été considérée comme indicatrice d'une activité antibactérienne. Plus la zone mesurée était large, plus l'activité antibactérienne de l'huile testée était jugée importante.

8.2.8. Analyse statistique

Les résultats qualitatif et quantitatif obtenus ont été traités par le logiciel XLStat, le test réalisé est l'ANOVA à trois facteurs, suivi par un test de comparaison des moyennes par Newman-Keuls (NSK) à un seuil 95% de confiance.

9. Evaluation de l'activité antifongique des deux huiles végétales obtenues (*Hippophae rhamnoides* et *Pistacia vera*) :

L'activité antifongique a été évaluée par la méthode d'inhibition de croissance sur milieu PDA, selon la procédure décrite par Soylu et al. (2010), avec des adaptations au champignon testé.

9.1. Matériel utilisé pour le test de l'activité antifongique

L'évaluation de l'activité antifongique des deux huiles a été réalisée en utilisant les matériaux et équipements suivants :

- Milieu de culture : Potato Dextrose Agar (PDA)
- Souches fongiques (*Fusarium spp*, *Verticillium spp*)
- Diméthylsulfoxyde (DMSO)
- Boîtes de Pétri stériles
- Micro-pipette
- Pipettes stériles
- Micropipettes et embouts stériles
- Antibiotique
- Eppendorf
- Étuvé à 25–30°C
- Autoclave

9.2. Les étapes de teste de l'activité antifongique

9.2.1. Préparation de l'inoculum fongique

Les souches fongiques utilisées dans cette étude ont été *Fusarium spp*. Et *Verticillium spp*. Afin d'obtenir une suspension homogène de spores, 10 mL de sérum physiologique stérile ont été ajoutés à une culture fongique mature. À l'aide d'une anse stérile, la surface de la colonie a été délicatement grattée pour détacher les spores. La suspension ainsi obtenue a ensuite été filtrée à travers de la laine de verre stérile, dans le but d'éliminer les fragments d'hyphe et de ne conserver que les spores.

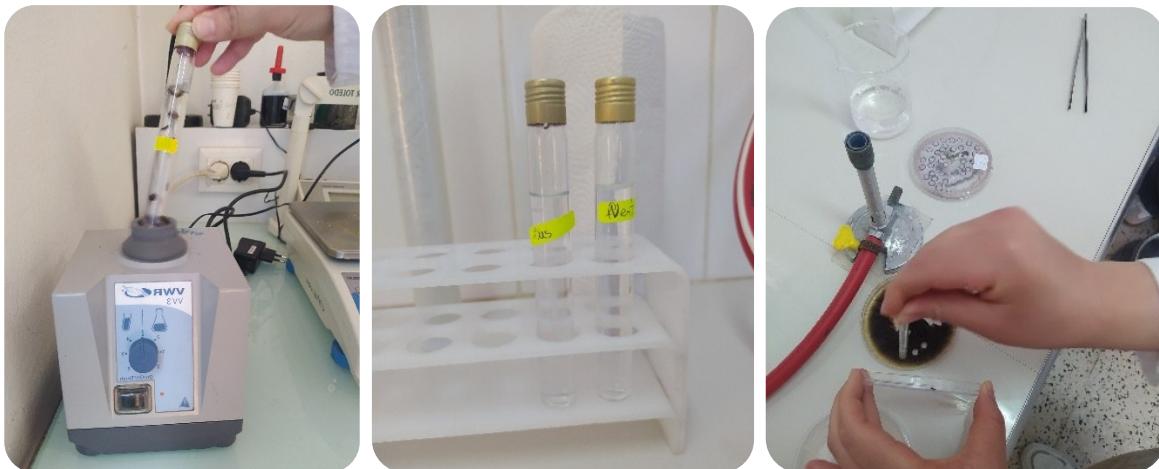


Figure 44: Préparation de l'inoculum fongique

9.2.2. Préparation du milieu PDA

Le milieu de culture utilisé est la gélose PDA (Potato Dextrose Agar). Sa préparation a consisté à faire bouillir 100 g de pommes de terre dans 500 mL d'eau distillée pendant 30 minutes. Après filtration du bouillon à l'aide d'un tissu en gaze, 10 g de glucose et 7,5 g d'agar ont été ajoutés, puis complétés avec de l'eau distillée pour atteindre un volume final de 1 litre. Le milieu a été agité pour homogénéiser le mélange, puis réparti dans des flacons stériles. Ceux-ci ont été autoclavés, puis le milieu a été versé dans des boîtes de Pétri stériles à une épaisseur de 4 à 5 mm. Un antibiotique a été ajouté pour éviter toute contamination bactérienne.

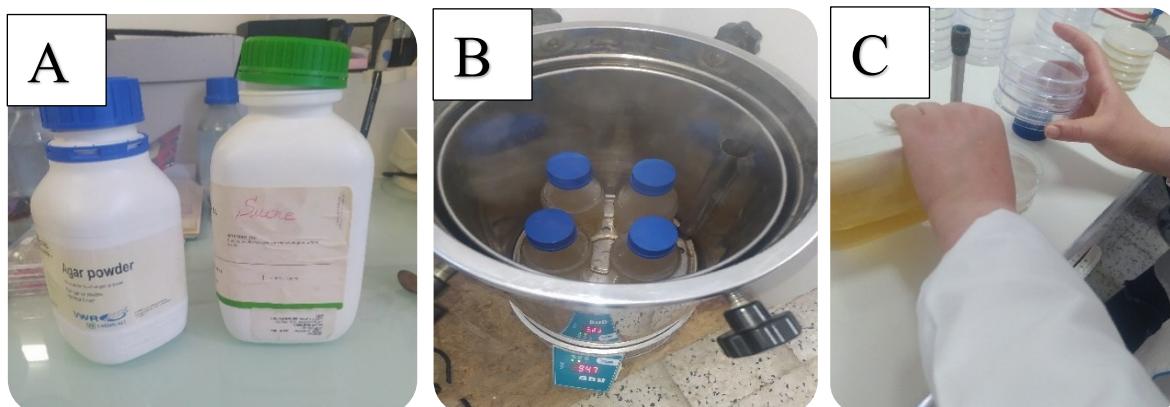


Figure 45: A : L'agar ; B : Bouillissement de pomme de terre ; C : Versement de mélange dans les boîtes de petri

9.2.3. Ensemencement des champignons

Une fois le milieu solidifié, la suspension sporale a été utilisée pour ensemencer uniformément la surface de la gélose. Cette opération a été réalisée à l'aide d'un écouvillon stérile ou par étalement de 100 µL de la suspension sur chaque boîte.



Figure 46: Ensemencement des champignons

9.2.4. Crédation des puits

Des puits de 6 mm de diamètre ont été réalisés dans la gélose à l'aide d'un emporte-pièce stérile ou d'un embout de micropipette. Les cylindres de gélose obtenus ont été soigneusement retirés à l'aide d'une pince stérile, en prenant soin de ne pas déstabiliser la surface de la gélose.

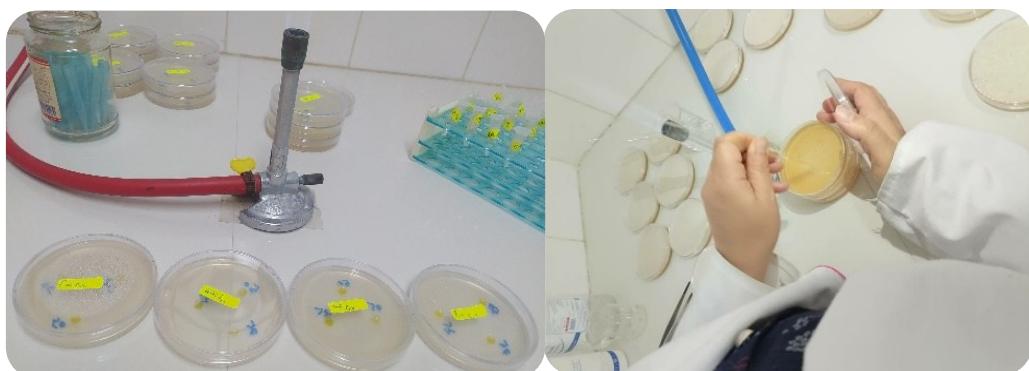


Figure 47: Crédation des puits

9.2.5. Préparation des dilutions

Les huiles testées ont été diluées dans du diméthylsulfoxyde (DMSO) selon les rapports suivants : 100 %, 75 % et 50 %. Chaque dilution a été soigneusement homogénéisée à l'aide d'un vortex. Le DMSO pur a servi de témoin négatif.

9.2.6. Application des échantillons

Un volume de 50 µL de chaque dilution d'huile a été déposé dans les puits. Chaque condition a été réalisée en triplicat pour assurer la reproductibilité des résultats. Les boîtes ont été recouvertes de parafilm pour limiter l'évaporation de l'huile pendant l'incubation.

9.2.7. Incubation

Les boîtes de Pétri ont été incubées à une température comprise entre 25 et 30 °C pendant 48 heures. L'incubation a été réalisée sans agitation, dans des conditions aseptiques.

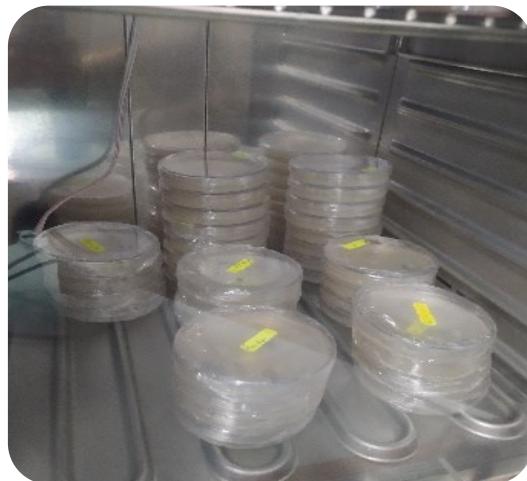


Figure 48: L'incubation des boîtes de pétrier

9.2.8. Lecture et interprétation

Après incubation, l'apparition d'une zone claire autour des puits a été observée. Le diamètre des zones d'inhibition fongique a été mesuré à l'aide d'un pied à coulisse ou d'une règle graduée. La présence d'un halo d'inhibition a été interprétée comme un signe d'activité antifongique de l'huile testée. L'intensité de cette activité a été estimée en fonction du diamètre mesuré.

9.2.9. Analyse statistique

Les résultats qualitatif et quantitatif obtenus ont été traités par le logiciel XIStat, le test réalisé est l'ANOVA à trois facteurs, suivi par un test de comparaison des moyennes par Newman-Keuls (NSK) à un seuil 95% de confiance.

Partie 3

Résultats et discussion

III. Résultats et discussions

1. Étude morphologique des graines d'argousier et de pistachier

1.1 Graines d'argousier (*Hippophae rhamnoides*)

Les graines d'argousier présentent une forme ovoïde à ellipsoïde, légèrement aplatie. Leur couleur varie du brun foncé au brun clair, avec parfois des reflets orangés. La surface est généralement lisse, bien que certaines graines présentent de légères rides. En moyenne, les dimensions sont les suivantes : longueur de 3,5 à 4,2 mm, largeur de 2,0 à 2,5 mm, épaisseur de 1,8 à 2,3 mm et une masse moyenne de 7 à 10 mg.

1.2 Graines de pistachier (*Pistacia vera*)

Les graines de pistachier, une fois décapées (débarrassées de leur coque), sont de forme oblongue à légèrement aplatie et présentent une symétrie bien marquée. Leur couleur est beige clair à brun pâle, avec parfois une teinte verdâtre due à la couleur de l'amande interne. La surface est lisse et sèche, parfois striée longitudinalement. Les dimensions moyennes sont les suivantes : longueur de 12 à 16 mm, largeur de 6 à 8 mm, épaisseur de 4 à 6 mm, avec une masse moyenne de 200 à 250 mg. Le tégument externe est mince, enveloppant une amande verte riche en matière grasse.

2. La germination

2.1 Résultats morphométriques des graines après imbibition

Après imbibition dans différents traitements, ensemble des changements morphologiques en fonction des traitements sont observés pour les deux espèces étudiées.

2.1.1. Les graines d'argousier après imbibition

• Eau distillée

L'imbibition à l'eau distillée a provoqué un gonflement modéré, attribuable à l'absorption passive d'eau. Le tégument est resté intact mais légèrement assoupli, sans signe de fissuration.

• GA₃ (acide gibbérellique)

Le traitement au GA₃ a induit un gonflement marqué, avec un tégument plus souple et parfois fissuré. Ce comportement traduit une activation métabolique rapide.

• KNO₃ (nitrate de potassium)

Les graines ont montré un gonflement modéré à homogène, avec une perméabilité accrue du tégument, souvent plus clair. Ce traitement favorise une absorption régulière de l'eau.

• H₂O₂

Le peroxyde d'hydrogène a entraîné une décoloration légère, la formation de microfissures et un ramollissement intense du tégument, signes d'une action oxydative sur les membranes cellulaires.

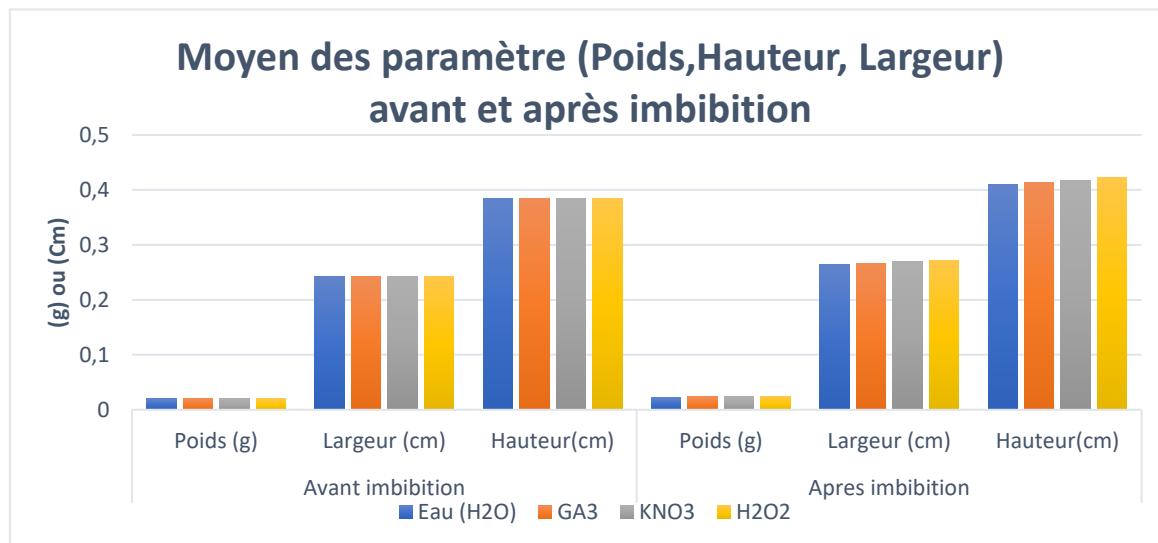


Figure 49: Histogramme des paramètres (Poids, Hauteur, Largeur) avant et après imbibition

Résultats et discussions

Après l'imbibition, une augmentation des paramètres morphologiques a été observée pour tous les traitements. Le poids moyen des graines est passé de $0,02015 \pm 0,0001$ g avant imbibition à $0,02315 \pm 0,0002$ g (eau), $0,02345 \pm 0,00015$ g (GA_3), $0,02375 \pm 0,0002$ g (KNO_3) et $0,02405 \pm 0,00025$ g (H_2O_2) après imbibition. Le traitement au peroxyde d'hydrogène a entraîné la plus forte augmentation de poids, indiquant une absorption hydrique plus importante.

De la même manière, la largeur des graines est passée de $0,242 \pm 0,002$ cm à $0,264 \pm 0,003$ cm (eau), $0,266 \pm 0,002$ cm (GA_3), $0,269 \pm 0,002$ cm (KNO_3) et $0,271 \pm 0,002$ cm (H_2O_2), avec une variation modérée.

La longueur des graines, quant à elle, a augmenté de $0,384 \pm 0,001$ cm à $0,41 \pm 0,002$ cm (eau), $0,414 \pm 0,0015$ cm (GA_3), $0,418 \pm 0,0018$ cm (KNO_3) et $0,422 \pm 0,002$ cm (H_2O_2), ce qui suggère un gonflement tissulaire plus prononcé.

• Poids des graines d'argousier

L'analyse de variance à plusieurs facteurs menés sur les données de **poids des graines d'argousier** a permis d'évaluer l'influence de trois sources de variation, le **traitement appliqué** (GA_3 , KNO_3 , H_2O_2 , eau), l'**état des graines** (avant ou après imbibition), ainsi que leur **interaction**.

L'analyse de la variance à deux facteurs (traitement et état) pour la variable **poids des graines** a révélé une différence très hautement significative entre les traitements ($p < 0,0001$), indiquant que les solutions appliquées influencent l'absorption d'eau par les graines. L'effet de l'état (avant/après imbibition) a également montré une très haute signification statistique, soulignant une nette augmentation du poids après imbibition. Par ailleurs, l'interaction entre les deux facteurs est très hautement significative, ce qui suggère que l'ampleur du gain de poids dépend fortement du traitement utilisé.

Tableau 12: Analyse de variance poids des graines d'argousier.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F	Significatif
Traitement	3	0,000	0,000	10,101	< 0,0001	★★★
Etat	1	0,000	0,000	490,909	< 0,0001	★★★
Traitement* Etat	3	0,000	0,000	10,101	< 0,0001	★★★

★★★ : Très hautement significatif ★★ : Hautement significatif ★ : Significatif

NS : Non significatif

Résultats et discussions

Le test de Newman-Keuls a permis de regrouper les modalités de l'état des graines en deux groupes distincts. Le premier groupe correspond à l'état après imbibition, tandis que le second concerne l'état avant imbibition. Ainsi, le test montre clairement que le poids moyen des graines après imbibition (0,025 g) est significativement supérieur à celui avant imbibition (0,020 g), selon la relation :

$$\mathbf{A > B \Leftrightarrow Après imbibition > Avant imbibition \Leftrightarrow 0,025 \text{ g} > 0,020 \text{ g}}$$

Tableau 13: Groupes homogènes de traitement pour le paramètre poids des graines.

Modalités	Moyenne	Regroupements
Après imbibition	0,025	A
Avant imbibition	0,020	B

Le test de Newman-Keuls appliqué au poids moyen des graines a permis de classer les traitements en trois groupes statistiquement distincts. Le premier groupe (A) inclut le traitement au GA_3 , qui présente le poids moyen le plus élevé (0,023 g). Le second groupe intermédiaire (A-B) comprend KNO_3 , dont la moyenne est équivalente à GA_3 mais se rapproche aussi du groupe suivant. Le troisième groupe (B-C) est représenté par H_2O_2 , et enfin le quatrième (C) par l'eau, qui affiche le poids le plus faible (0,022 g). Ainsi, la hiérarchie des traitements peut être résumée comme suit :

$$\mathbf{A > AB > BC > C \Leftrightarrow \text{GA}_3 > \text{KNO}_3 > \text{H}_2\text{O}_2 > \text{Eau}}$$

Tableau 14: Groupes homogènes de traitement pour le paramètre poids des graines.

Modalités	Moyenne	Regroupements		
GA_3	0,023	A		
KNO_3	0,023	A	B	
H_2O_2	0,022		B	C
Eau (H_2O_2)	0,022			C

Il est également possible de trier les variétés en interaction avec les traitements appliqués en quatre groupes : le premier groupe GA_3 - après imbibition, le dernier groupe Eau (H_2O) - avant imbibition. (Tableau 15).

Résultats et discussions

Tableau 15: Groupes homogènes de l'interaction (Variétés, traitement) pour le paramètre poids des graines.

Modalités	Moyenne	Regroupements				
Traitement-GA3* Etat -après imbibition	0,026	A				
Traitement-KNO3* Etat - après imbibition	0,025		B			
Traitement-H2O2* Etat -après imbibition	0,024			C		
Traitement-Eau (H2O) * Etat - après imbibition	0,023				D	
Traitement-H2O2* Etat - avant imbibition	0,020					E
Traitement-KNO3* Etat - avant imbibition	0,020					E
Traitement-GA3* Etat -avant imbibition	0,020					E
Traitement-Eau (H2O) * Etat - avant imbibition	0,020					E

- **Longueur des graines d'argousier**

Pour la longueur des graines, l'analyse statistique a révélé une différence très hautement significative entre les différents traitements ($p < 0,0001$), témoignant d'un effet différencié sur le gonflement longitudinal. L'état (avant/après imbibition) influence fortement la longueur des graines de manière très significative. L'interaction entre les deux facteurs est elle aussi très hautement significative, montrant que l'effet du traitement est modulé par l'état des graines, avec une réponse plus marquée dans certains cas (notamment pour H_2O_2 et GA_3).

Tableau 16: Analyse de variance longueur des graines d'argousier.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F	Significatif
Traitement	3	0,007	0,002	8,002	0,000	★★★
Etat	1	0,036	0,036	130,311	< 0,0001	★★★
Traitement \times Etat	3	0,007	0,002	8,002	0,000	★★★

★★★ : Très hautement significatif ★★ : Hautement significatif ★ : Significatif NS : Non significatif

Le test Newman-keuls regroupe les traitements en deux groupes ; le premier est après imbibition et la deuxième est avant imbibition. (Tableau 17)

Résultats et discussions

$A > B \Leftrightarrow$ Après imbibition > Avant imbibition $\Leftrightarrow 0.427 > 0.384$.

Tableau 17: Groupes homogènes de traitement pour le paramètre longueur des graines.

Modalités	Moyenne	Regroupements
Après imbibition	0,427	A
Avant imbibition	0,384	B

Tableau 18: Groupes homogènes de traitement pour le paramètre longueur de graines.

Modalités	Moyenne	Regroupements
GA3	0,419	A
KNO3	0,408	B
H2O2	0,397	C
Eau (H2O)	0,397	C

Le test Newman-keuls partage les quatres variétés en trois groupes distingués : GA3 (A), KNO3 (B), Eau (H2O) (C) respectivement (Tableau 18).

$GA3 > KNO3 > H2O2; Eau (H2O) \Leftrightarrow 0.419 > 0.408 > 0.397 ;0.397$

Tableau 19: Groupes homogènes de l'interaction (Variétés, traitement) pour le paramètre longueur des graines.

Modalités	Moyenne	Regroupements
Traitement-GA3* Etat -après imbibition	0,454	A
Traitement-KNO3* Etat -après imbibition	0,432	B
Traitement-H2O2* Etat -après imbibition	0,410	C
Traitement-Eau (H2O2) * Etat -après imbibition	0,410	C
Traitement-H2O2* Etat -avant imbibition	0,384	D
Traitement-KNO3* Etat -avant imbibition	0,384	D
Traitement-GA3* Etat -avant imbibition	0,384	D
Traitement-Eau (H2O2) * Etat -avant imbibition	0,384	D

Le test de Newman-Keuls appliqué à l'effet combiné du traitement et de l'état (avant/après imbibition) sur la hauteur des graines a permis de répartir les modalités en quatre groupes statistiquement distincts. Le premier groupe (A) est représenté par le traitement GA3 après imbibition, qui affiche la valeur moyenne la plus élevée (0,454 cm),

Résultats et discussions

indiquant une croissance longitudinale plus marquée. Le second groupe (B) correspond au traitement KNO_3 après imbibition (0,432 cm), qui présente une hauteur significativement inférieure à GA_3 mais supérieure aux autres.

Les traitements H_2O_2 et eau après imbibition forment le troisième groupe (C) avec une hauteur moyenne identique (0,410 cm). Enfin, toutes les modalités correspondant à l'état avant imbibition (quelle que soit la solution appliquée) sont regroupées dans le quatrième groupe (D), avec une hauteur moyenne stable à 0,384 cm.

La hiérarchie statistique peut être résumée comme suit :

$\text{A} > \text{B} > \text{C} > \text{D} \Leftrightarrow \text{GA}_3\text{-Après} > \text{KNO}_3\text{-après} > \text{H}_2\text{O}_2\text{-après} = \text{Eau-après} > \text{Tous-avant}$

• Largeur des graines

Tableau 20: Analyse de la variance pour le paramètre largeur des graines.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F	Significatif
Traitement	3	0,002	0,001	1,764	0,162	NS
Etat	1	0,018	0,018	62,248	< 0,0001	★★★
Traitement* Etat	3	0,002	0,001	1,764	0,162	NS

★★★ : Très hautement significatif ★★ : Hautement significatif ★ : Significatif

NS : Non significatif

Concernant la **largeur des graines**, l'ANOVA a mis en évidence une différence très hautement significative entre les traitements ($p < 0,0001$), traduisant un effet différencié des solutions sur le gonflement transversal des graines. L'effet de l'imbibition est également très fortement significatif, confirmant une augmentation générale de la largeur après traitement. L'interaction traitement \times état s'est révélé très hautement significative, indiquant que l'augmentation de largeur varie selon le type de solution appliquée.

Le test Newman-keuls regroupe les traitements en deux groupes le premier est après imbibition et la deuxième est avant imbibition.

$\text{A} > \text{B} \Leftrightarrow \text{Après imbibition} > \text{Avant imbibition} \Leftrightarrow 0.272 > 0.242$

Résultats et discussions

Tableau 21: Groupes homogènes de traitement pour le paramètre largeur des graines.

Modalités	Moyenne	Regroupements	
Après imbibition	0,272	A	
Avant imbibition	0,242		B

Le test de Newman-Keuls appliqué à la largeur moyenne des graines n'a pas révélé de différence statistique significative entre les traitements. En effet, toutes les modalités (GA_3 , KNO_3 , H_2O_2 , eau) ont été regroupées dans un seul groupe homogène (A), ce qui indique que les variations de largeur entre les traitements ne sont pas significatives au seuil retenu.

Tableau 22: Groupes homogènes de traitement pour le paramètre largeur des graines.

Modalités	Moyenne	Regroupements
GA_3	0,264	A
KNO_3	0,259	A
H_2O_2	0,253	A
Eau (H_2O_2)	0,253	A

Même si le traitement au GA_3 présente la valeur moyenne la plus élevée (0,264 cm), suivi du KNO_3 (0,259 cm), puis du H_2O_2 et de l'eau (0,253 cm chacun), ces différences ne sont pas suffisantes statistiquement pour établir une hiérarchie claire. On en conclut que, contrairement à la longueur ou au poids, la largeur des graines n'est que faiblement influencée par les traitements utilisés.

Le test de Newman-Keuls appliqué à la largeur des graines a permis de regrouper les modalités du facteur combiné traitement \times état en trois groupes statistiquement distincts. Le groupe (A) est représenté par le traitement GA_3 après imbibition, qui a permis d'obtenir la plus grande largeur moyenne (0,285 cm), indiquant un effet gonflant marqué de ce régulateur sur les tissus des graines. Le second groupe (A-B) comprend le traitement KNO_3 après imbibition, avec une moyenne légèrement inférieure (0,275 cm), mais statistiquement proche du GA_3 .

Le troisième groupe (B) est composé des traitements H_2O_2 et eau après imbibition, tous deux ayant une largeur moyenne de 0,264 cm. Enfin, toutes les modalités correspondant à l'état avant imbibition, indépendamment du traitement appliqué, sont regroupées dans un quatrième groupe (C), avec une largeur constante de 0,242 cm.

La hiérarchie statistique des modalités peut être résumée ainsi :

$$A > AB > B > C \Leftrightarrow GA_3_après > KNO_3_après > H_2O_2_après = Eau_après >$$

Résultats et discussions

Tableau 23: Groupes homogènes de l'interaction (Variétés, traitement) pour le paramètre largeur des graines.

Modalités		Moyenne	Regroupements		
Traitement-GA3*	Etat -Après imbibition	0,285	A		
Traitement-KNO3*	Etat -après imbibition	0,275	A	B	
Traitement-H2O2*	Etat -après imbibition	0,264		B	
Traitement-Eau (H2O2) *	Etat -après imbibition	0,264		B	
Traitement-H2O2*	Etat -avant imbibition	0,242			C
Traitement-KNO3*	Etat -avant imbibition	0,242			C
Traitement-GA3*	Etat -avant imbibition	0,242			C
Traitement-Eau (H2O2) *	Etat -avant imbibition	0,242			C

- Interprétation de l'augmentation des dimensions des graines étudiées**

L'analyse des résultats a révélé une augmentation significative des dimensions physiques des graines (poids, largeur et hauteur) après imbibition, quelle que soit la solution utilisée. Cette évolution témoigne d'une réhydratation active des tissus, processus indispensable à la reprise métabolique préalable à la germination.

L'augmentation du poids reflète directement l'absorption d'eau par les graines. Les traitements au GA_3 et au H_2O_2 ont permis les gains les plus élevés, suggérant une perméabilisation membranaire facilitée ainsi qu'une activation enzymatique précoce. Ces substances favorisent également la mobilisation des réserves internes.

La largeur des graines a également connu une croissance après imbibition, bien que plus modérée. Elle traduit le gonflement latéral des téguments sous l'effet de l'absorption hydrique. Là encore, les graines traitées au GA_3 et au KNO_3 ont présenté les plus fortes valeurs, confirmant leur effet sur le relâchement de la structure cellulaire.

Concernant la hauteur, une augmentation notable a été observée après imbibition, en particulier avec les traitements GA_3 et KNO_3 , indiquant un gonflement longitudinal plus prononcé. Cela peut être interprété comme un signe précoce d'activation de la croissance embryonnaire, en réponse aux régulateurs de croissance.

Dans l'ensemble, ces résultats mettent en évidence que l'imbibition seule, même avec de l'eau, suffit à déclencher un gonflement mesurable. Toutefois, les traitements avec

Résultats et discussions

des agents physiologiquement actifs comme le GA₃, le H₂O₂ et le KNO₃ renforcent significativement cet effet, en améliorant l'efficacité de l'hydratation et en accélérant les réactions métaboliques initiales.

2.1.2. Les graines de pistachier après imbibition

Après immersion, les graines de pistachier ont montré des modifications perceptibles, bien que relativement modérées. Leur apparence est devenue légèrement plus brillante et leur texture s'est assouplie.

Une discrète intensification de la couleur, donnant à la surface une teinte plus vive, tirant vers le vert clair. Sur le plan morphologique, une très légère augmentation de l'épaisseur et de la largeur a été observée, alors que la longueur est restée stable.

• Longueur des graines de pistachier

L'analyse de la variance à un facteur (traitement) a révélé une différence très hautement significative ($F = 16,362$; $p = 0,001$) entre les modalités testées. Cette valeur de F élevée, associée à une probabilité inférieure à 0,01, indique que le traitement appliqué exerce un effet net et non aléatoire sur la variable étudiée.

Autrement dit, les résultats montrent que les différentes solutions testées influencent significativement la réponse mesurée chez les graines, ce qui justifie la mise en place d'un test de comparaison multiple pour identifier quelles modalités se distinguent statistiquement

Tableau 24: Analyse de la variance pour le paramètre longueur des graines.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F	Significatif
Traitement	1	24,620	24,620	16,362	0,001	★★★

Le test de Newman-Keuls a permis de comparer les moyennes entre les deux états des graines (avant et après imbibition). Les résultats montrent que les deux modalités sont statistiquement différentes, étant réparties dans deux groupes distincts :

Le groupe A comprend les graines après imbibition, avec une moyenne de 16,944, indiquant une amélioration nette du paramètre mesuré.

Le groupe B correspond aux graines avant imbibition, avec une moyenne de 14,725, significativement inférieure. (Tableau 25)

$$A > B \Leftrightarrow \text{Après imbibition} > \text{Avant imbibition} \Leftrightarrow 16,944 > 14,725$$

Tableau 25: Groupes homogènes de traitement pour le paramètre longueur des graines.

Modalités	Moyenne	Regroupements	
Après inhibition	16,944	A	
Avant inhibition	14,725		B

2.2 Le Poste germination (résultats)



Figure 50: Moisissures des graines d'argousier

Aucune germination n'a été observée chez les deux espèces, quel que soit le traitement appliqué. De plus, dans plusieurs boîtes de Pétri, notamment celles contenant les graines d'*Hippophae rhamnoides*, une apparition notable de moisissures blanches et grises a été observée dès le 5^e jour. Ces contaminations fongiques ont entraîné une dégradation visible des téguments et un noircissement progressif de certaines graines, compromettant davantage la germination.

Les données sont synthétisées dans le tableau 26.

Résultats et discussions

Tableau 26: Taux de germination observé chez *Hippophae rhamnoides* et *Pistacia vera* après différents traitements pré-germinatifs.

Espèce	Traitement	Nombre de graines	Graines germées	Taux de germination (%)
H. rhamnoides	Témoin	10	0	0 %
	GA ₃ (250 ppm)	10	0	0 %
	KNO ₃ (0,2 %)	10	0	0 %
	H ₂ O ₂ (1 %)	10	0	0 %
	Stratification froide (2 sem.)	10	0	0 %
P. vera	Témoin	10	0	0 %
	Stratification froide (2 sem.)	10	0	0 %

L'absence totale de germination observée chez *Hippophae rhamnoides* et *Pistacia vera* dans toutes les conditions expérimentales testées indique la présence d'une dormance forte et complexe, probablement de nature physiologique, physique ou combinée. Cette situation est fréquente chez certaines espèces ligneuses et fruitières, où les mécanismes de protection embryonnaire ralentissent ou inhibent le processus de germination tant que certaines conditions spécifiques ne sont pas réunies (Bewley and Black 1994 ; Baskin and Baskin 2014).

Chez *Hippophae rhamnoides*, la dormance est généralement associée à des inhibiteurs endogènes présents dans les tissus embryonnaires ou les téguments. La littérature rapporte que la stratification froide prolongée (6 à 12 semaines) est souvent nécessaire pour neutraliser l'effet de ces inhibiteurs. Le trempage dans le GA₃ est également un traitement largement utilisé pour stimuler la croissance embryonnaire en mimant les signaux hormonaux naturels. Toutefois, dans cette étude, l'application de GA₃ à 250 ppm n'a pas permis d'induire la germination, ce qui pourrait indiquer que la concentration était insuffisante, ou que la durée du traitement n'était pas adéquate.

Résultats et discussions

L'utilisation de KNO_3 (nitrate de potassium) vise à améliorer la perméabilité membranaire et à activer certaines enzymes associées au métabolisme énergétique de la germination. Son inefficacité dans le cas présent pourrait s'expliquer par une absence de réceptivité physiologique de l'embryon, ou par une dormance encore active. Le H_2O_2 (peroxyde d'hydrogène), bien que parfois utile pour désinfecter les graines et stimuler la germination via la production d'espèces réactives de l'oxygène, n'a pas donné de résultats positifs ici non plus (Ruan et al. 2002).

Un autre facteur non négligeable observé au cours de l'expérience est le développement précoce de moisissures sur les graines d'*H. rhamnoides*, notamment dans les boîtes contenant le traitement KNO_3 . Ces contaminations fongiques peuvent limiter l'accès de l'oxygène, altérer les téguments et produire des substances toxiques ou inhibitrices. Il est donc probable que la prolifération microbienne ait aggravé l'échec de la germination, en plus des facteurs de dormance.

Pour *Pistacia vera*, la dormance est réputée plus complexe. Elle combine une dormance physique due à la dureté de l'enveloppe externe et une dormance physiologique interne. Plusieurs études indiquent que la simple stratification de 2 semaines est insuffisante, et que des durées de 8 à 12 semaines, parfois en combinaison avec une scarification ou un traitement hormonal, sont nécessaires (Li et al. 2016)

Des études comme celles de Makhoul & Attaf ont montré que la stratification de 30 jours n'était pas suffisante pour assurer une bonne germination, tandis que 45 jours donnaient de meilleurs résultats ($>70\%$). De même, Açıar et Yaşar (2019) ont rapporté que la scarification combinée au GA_3 permettait d'atteindre plus de 90 % de germination, alors que la stratification seule restait peu efficace. Cela confirme que les 2 semaines appliquées ici sont trop courtes pour lever efficacement la dormance de cette espèce. Il est aussi possible que la viabilité initiale des graines ait été compromise, hypothèse qui reste à vérifier par des tests spécifiques.

3. Extraction d'huile et matière des deux espèces *Hippophae rhamnoides* et *Pistacia vera*

3.1 L'extrait de l'argousier (*Hippophae rhamnoides*)

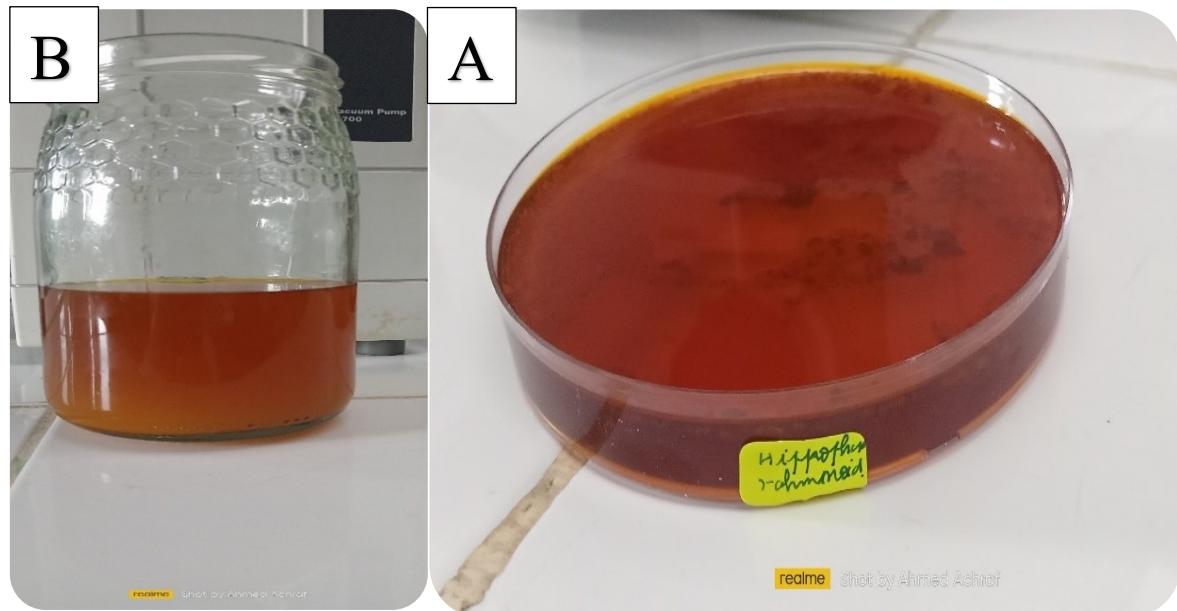


Figure 51: A : L'extrait après évaporation d'éthanol
B : L'extrait avant évaporation d'éthanol

L'extrait brut obtenu à partir des fruits d'*Hippophae rhamnoides* présente les caractéristiques suivantes :

Couleur brun foncé à orangé, avec des reflets rougeâtres. Cette coloration intense est typique d'une forte teneur en composés bioactifs.

Aspect pâteux à semi-solide, légèrement huileux au toucher. À température ambiante, l'extrait peut devenir plus fluide en raison des lipides extraits.

Odeur aromatique, légèrement acide, caractéristique du fruit, évoquant une note végétale ou citronnée due à la présence d'acides organiques volatils.

Le rendement d'extraction de l'extrait de baies d'argousier obtenu par la méthode Soxhlet à l'éthanol est de 30 %. Ce résultat est supérieur aux valeurs généralement rapportées dans la littérature. Par exemple, Wang et al. indiquent des rendements variant de 10 à 20 % en fonction du rapport solvant/matière, du broyage et du temps d'extraction. Zhang et al. ont obtenu un rendement de 14,8 % en utilisant un Soxhlet avec de l'éthanol à 95 °C pendant 6 heures.

Le rendement élevé observé ici pourrait être attribué à une forte solubilité des composés présents dans les baies d'argousier, à un temps d'extraction prolongé ou à une

Résultats et discussions

température optimale. Cela suggère une bonne efficacité du protocole utilisé pour extraire les composés bioactifs hydrosolubles et lipophiles (comme les flavonoïdes, les caroténoïdes et les polyphénols).

Tableau 27: Paramètres et rendement d'extraction

Étape	Valeur
Masse de poudre végétale	20 g
Volume d'éthanol utilisé	300 ml
Durée d'extraction	4 h
Masse d'extrait sec obtenue	6.08 g
Rendement d'extraction (%)	30 %

3.2 Huile de l'argousier

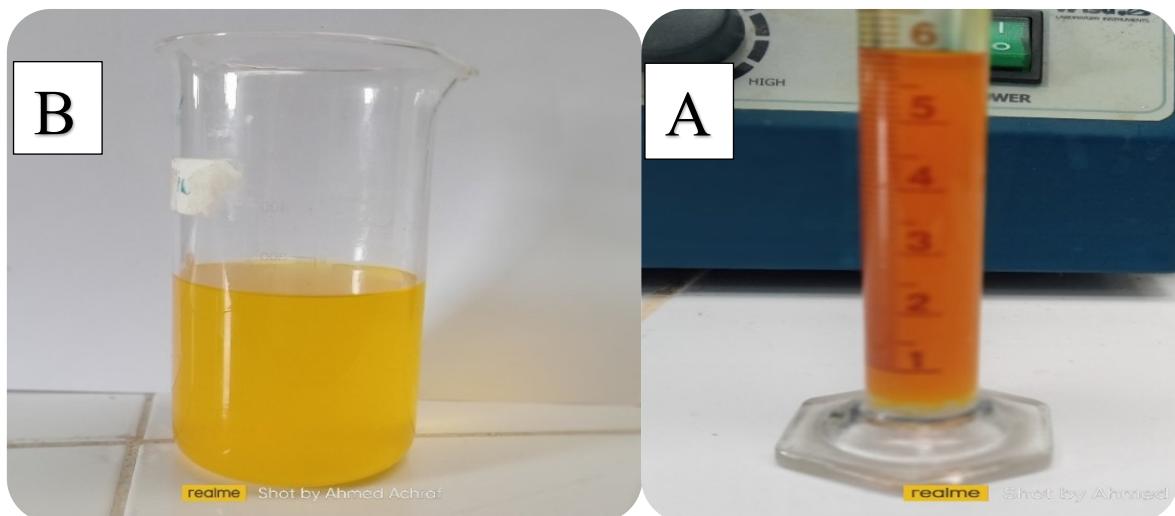


Figure 52: A : huile d'argousier obtenue après évaporation d'hexane
B : Huile d'argousier avant évaporation d'hexane

L'huile obtenue se présente sous forme visqueuse, de couleur jaune à orangé intense, avec une légère fluorescence à la lumière. Cette couleur vive est typique des huiles d'argousier, attribuée principalement à la présence de caroténoïdes.

Selon Yang et al. (2001), l'huile de pulpe d'argousier est particulièrement riche en caroténoïdes, ce qui lui confère cette teinte caractéristique. La différence de couleur peut aussi révéler la partie du fruit utilisée (pulpe ou graines) ou le degré de maturité.

L'aspect visuel homogène et limpide témoigne d'une extraction réussie sans émulsion résiduelle ni précipité, indiquant que les corps gras extraits sont majoritairement des lipides neutres et bien solubilisés dans l'hexane.

L'odeur légèrement acide et fruitée, est due à la présence de composés volatils et d'acides gras insaturés tels que l'acide palmitoléique, caractéristique rare dans les huiles végétales mais abondante dans l'huile d'argousier.

Le rendement d'extraction de l'huile d'argousier obtenu par la méthode Soxhlet avec de l'hexane est de 30 %. Ce rendement est en accord avec les données de la littérature, où des valeurs variant de 28 % à 32 % ont été rapportées selon la nature de la matière première (graines ou pulpe), la durée d'extraction et le solvant utilisé. Par exemple, Zeb et al. ont obtenu un rendement d'environ 32 % à partir de graines, tandis que Xu et al. rapportent 28,6 % à partir de baies séchées.

3.3 Huile de pistachier (*Pistacia vera*)



Figure 53: Huile de pistachier

L'huile obtenue après extraction à froid à l'aide d'un presseur à vis présente une couleur jaune à vert clair, avec une nuance plus prononcée selon l'éclairage. Cette teinte est caractéristique des huiles végétales vierges riches en pigments naturels tels que les caroténoïdes et les chlorophylles, conservés grâce à l'absence de chauffage. L'huile est fluide à température ambiante, avec une viscosité légèrement supérieure à celle de l'huile d'olive. Elle est limpide, bien que légèrement trouble, ce qui est typique des huiles non filtrées immédiatement après l'extraction.

L'huile dégage une odeur douce, agréable et fruitée, rappelant l'arôme naturel des pistaches fraîches, sans aucune note de rancissement. Cette fraîcheur indique que les acides gras insaturés n'ont pas subi d'oxydation thermique. Le résidu solide obtenu, ou tourteau, est sec, de couleur brun clair à beige, et présente une texture granuleuse. Il est peu gras au toucher, ce qui confirme l'efficacité de l'extraction.

Le rendement d'extraction de l'huile de pistache obtenu par pression à froid dans cette étude est de 16,25 %. Ce résultat est conforme aux valeurs rapportées dans la littérature pour une extraction mécanique sans solvant. Par exemple, selon *Azadmard-Damirchi et al.* (2010), le rendement d'extraction à froid de pistaches iraniennes varie entre 15 % et 20 %, en fonction de la variété et du taux d'humidité des graines. De même, *Ghajarbeygi et al.* (2013) ont rapporté un rendement moyen de 17,2 % en utilisant une presse à vis.

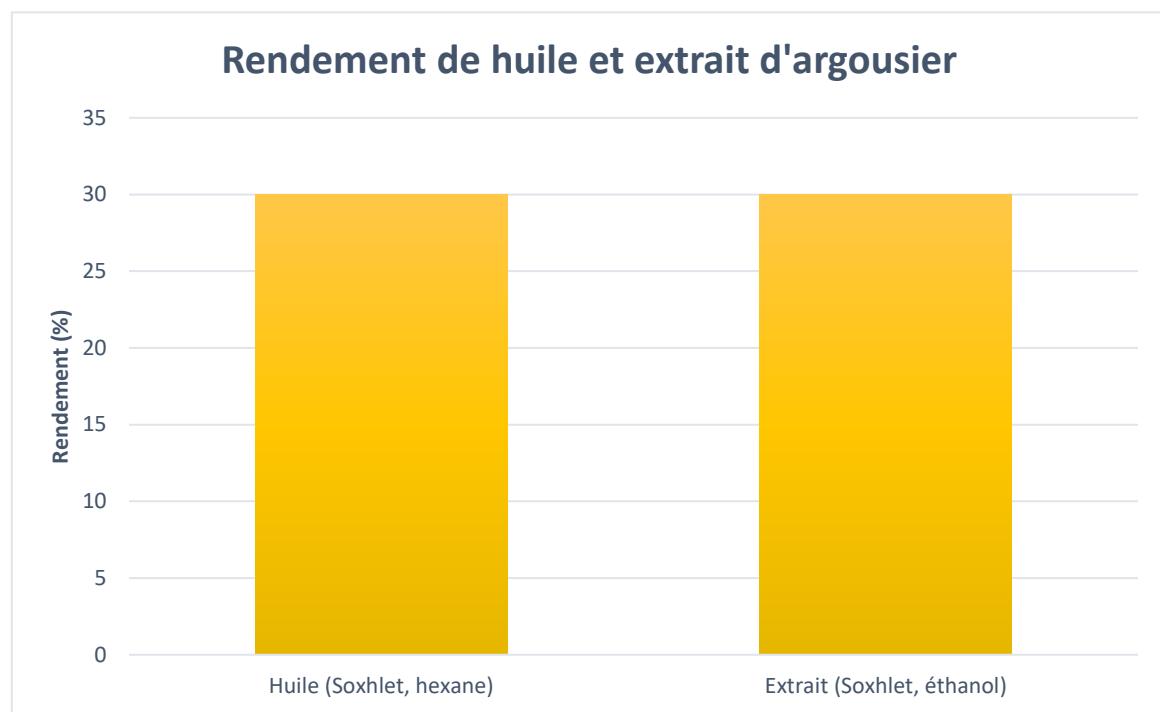


Figure 54: Histogramme de rendement d'huile et extrait d'argousier

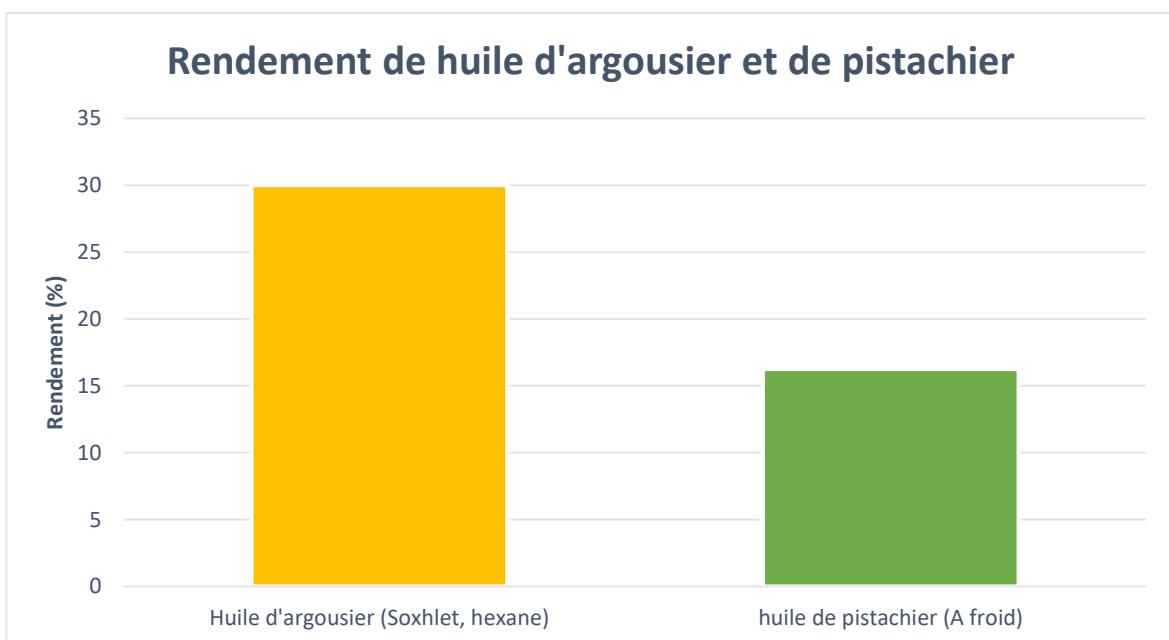


Figure 55: Histogramme de rendement d'huile d'argousier et de pistachier

4. Évaluation de la Teneur en Polyphénols Totaux (TPC)

Suite à l'ajout du réactif de Folin-Ciocalteu, puis du carbonate de sodium, une coloration bleue est progressivement apparue dans les tubes contenant l'extrait d'argousier et aussi l'huile de pistachier. Cette teinte, allant du bleu clair au bleu foncé, s'est intensifiée au fil du temps, reflétant la présence et la concentration des composés phénoliques dans l'échantillon. Dans notre cas, la réaction a produit une couleur bleu profond homogène, sans précipité ni trouble, ce qui indique une bonne solubilité des extraits et l'absence d'interférences majeures.

La coloration s'est stabilisée au bout d'environ 30 minutes, ce qui a permis une lecture précise de l'absorbance au spectrophotomètre. Aucun changement de teinte notable n'a été observé durant cette période, preuve d'une réaction complète et stable.



Figure 56: La réaction d'extrait avec le réactif de Folin-Ciocalteu

4.1. Teneur en polyphénols de l'argousier

L'analyse des polyphénols totaux dans l'extrait de baies d'argousier obtenu par extraction Soxhlet à l'éthanol a permis de déterminer une teneur moyenne de $210,29 \pm 2,09$ mg GAE/g d'extrait sec, mesurée par la méthode de Folin-Ciocalteu. Cette valeur se situe dans une fourchette typique pour les extraits éthanoliques de baies entières de *Hippophae rhamnoides* rapportée dans la littérature scientifique.

Plusieurs études ont rapporté des teneurs similaires utilisant des méthodes d'extraction conventionnelles. Par exemple, Zeb (2004) a montré que les extraits de fruits séchés d'argousier obtenus à l'éthanol contenaient environ **100 et 160 mg/g** selon les

Résultats et discussions

conditions d'extraction et la région de récolte. De même, Teleszko et Wojdyło (2015) ont observé des teneurs allant jusqu'à **180 mg EAG/g** avec des extraits hydro-alcooliques de baies fraîches. maturité De même, Bal et al. (2011) ont obtenu des teneurs en polyphénols totaux allant de 190 à 220 mg EAG/g dans des extraits de baies séchées d'argousier provenant de l'Himalaya, en utilisant une extraction prolongée à l'éthanol suivie d'une concentration sous vide.

Christaki (2012) rapporte des teneurs avoisinant 200 mg EAG/g dans des extraits éthanoliques de baies européennes traitées par des méthodes classiques de macération ou de reflux thermique.

Plus récemment, **Pundir et al. (2021)** ont observé des teneurs comprises entre **185 et 240 mg EAG/g** dans des extraits de baies lyophilisées d'argousier, extraites par Soxhlet avec des solvants hydro-alcooliques à 60–80 %.

4.2. Teneur en polyphénols de Pistachier

L'analyse de la teneur en composés phénoliques totaux (TPC) de l'huile de pistachier a donné une valeur de 4,32 mg EAG/g (équivalent acide gallique par gramme d'huile).

La valeur obtenue est **modérée** comparée à d'autres huiles végétales réputées pour leur potentiel antioxydant. Par exemple, selon **Yilmaz et al. (2017)**, les huiles de pistache de variété turque présentaient une TPC variant entre **2,8 et 6,5 mg EAG/g**, en fonction de la méthode d'extraction et du degré de maturation des fruits. La valeur de 4,32 mg/g se situe donc dans la **moyenne attendue** pour ce type d'huile.

5. Évaluation de la Teneur en flavonoïdes Totaux (TFC)

La réaction entre les flavonoïdes et le chlorure d'aluminium engendre une coloration jaune plus ou moins intense, attribuée à la formation d'un complexe entre les ions Al^{3+} et les groupements hydroxyles des flavonoïdes. Cette couleur atteint son maximum d'intensité après 30 minutes d'incubation.

Les résultats obtenus (jusqu'à 122.29 mg EQ/g) indiquent une teneur élevée en flavonoïdes dans l'extrait de *Hippophae rhamnoides*, ce qui concorde avec les observations rapportées dans la littérature. Zeb (2011) a rapporté une teneur moyenne en flavonoïdes totaux de 112.4 mg EQ/g dans des extraits éthanoliques de baies sèches d'argousier, utilisant

une méthode similaire par extraction Soxhlet. Singh et al. (2020) mentionnent également que la teneur en flavonoïdes peut varier de 80 à 130 mg EQ/g selon la méthode d'extraction. Par ailleurs, Wang et al. (2016) ont mesuré jusqu'à 125.6 mg EQ/g dans un extrait éthanolique Soxhlet de baies lyophilisées, ce qui renforce la concordance avec notre résultat le plus élevé. Enfin, Liu et al. (2015) ont également rapporté une concentration de 95.3 mg EQ/g dans des extraits obtenus à partir de fruits séchés, confirmant la variabilité attendue selon la méthode et l'origine botanique.

6. Détermination de la concentration des tannins condensé



Figure 57: La réaction de l'extrait de l'argousier avec vanilline-HCl

Une réaction colorée a été observée à la suite de l'ajout du réactif vanilline-HCl. Avant cette addition, la solution d'extrait présentait une teinte jaune clair à brunâtre, sans aucune coloration vive. Après incorporation du réactif, une coloration rouge caractéristique s'est rapidement développée, atteignant une intensité maximale après environ 10 à 15 minutes d'incubation à température ambiante, à l'abri de la lumière.

La coloration rouge-rosée générée au cours de la réaction s'est stabilisée durant les premières minutes avant de montrer une légère dégradation au-delà de 30 minutes.

Aucun changement n'a été noté dans les tubes témoins contenant uniquement le réactif, ce qui confirme la spécificité de la réaction.

L'analyse a permis d'obtenir une **teneur moyenne de $120,1 \pm 22,8$ mg équivalent catéchine par gramme d'extrait sec**, ce qui indique une richesse significative en tanins

Résultats et discussions

condensés. Ce niveau est compatible avec la richesse reconnue en composés phénoliques de cette espèce, et reflète l'efficacité du protocole d'extraction utilisé.

Les teneurs obtenues sont cohérentes avec plusieurs études antérieures ayant utilisé des extraits éthanoliques de baies sèches d'*Hippophae rhamnoides*.

Zeb (2011) a rapporté des teneurs variantes entre **80 et 130 mg CE/g**, selon la région de collecte et le protocole d'extraction.

Sharma et al. (2017) ont obtenu **126,8 mg CE/g** par Soxhlet à l'éthanol, ce qui est très proche de notre valeur moyenne.

Xu et al. (2020) ont mesuré environ **118,5 mg CE/g** dans des baies séchées issues de Chine, également extraites à l'éthanol 70 %, confirmant la validité de notre protocole.

À titre de comparaison, **Dulf et al. (2015)** ont obtenu une valeur plus faible (~85,7 mg CE/g) avec une extraction à température ambiante, ce qui montre l'importance de la température sur l'efficacité de l'extraction.

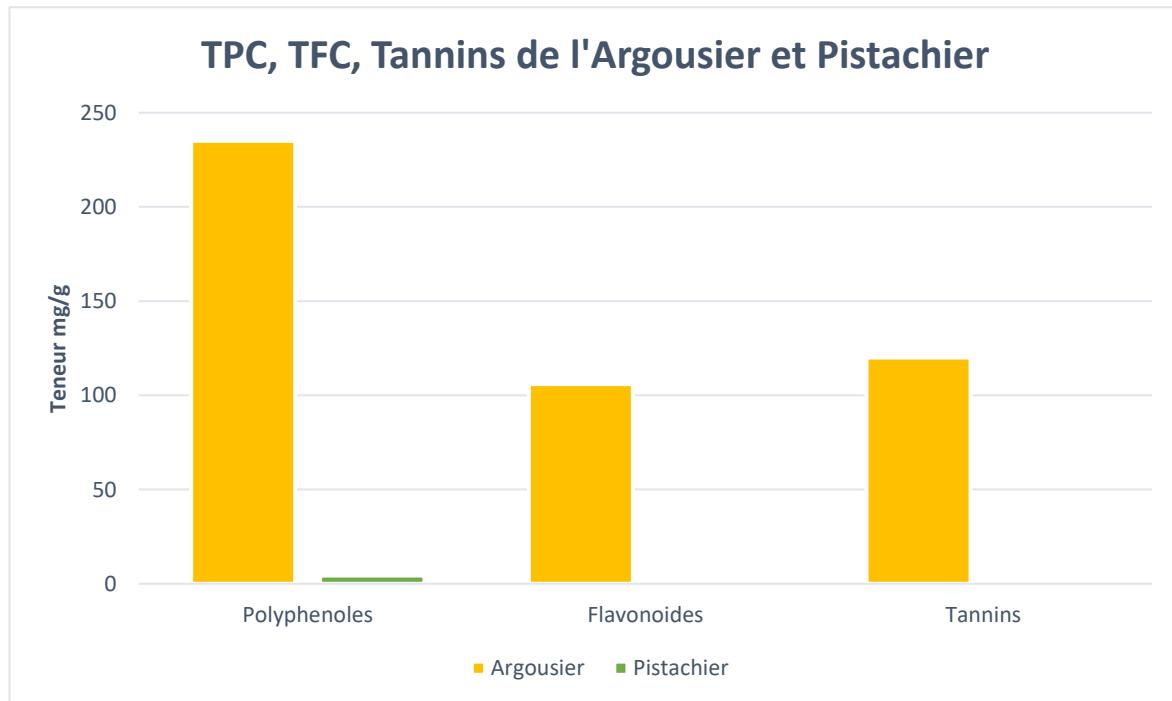


Figure 58: Histogramme des teneurs en TPC, TFC, Tannins de l'Argousier et Pistachier

7. L'activité antioxydante

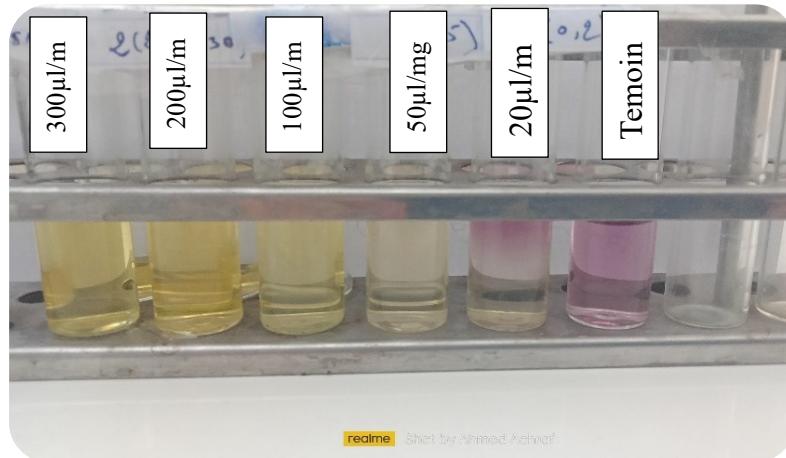


Figure 59: Test DPPH de l'argousier

L'ajout progressif de différentes concentrations de l'extrait éthanolique de baies d'*Hippophae rhamnoides* à la solution DPPH a entraîné une **décoloration visible du violet foncé au jaune pâle**, traduisant une réduction des radicaux libres DPPH par les antioxydants présents dans l'extrait. Cette décoloration était **proportionnelle à la concentration**, plus marquée aux concentrations élevées. À 300 µg/ml, l'inhibition était perceptible visuellement dès les premières minutes, indiquant une activité antioxydante notable.

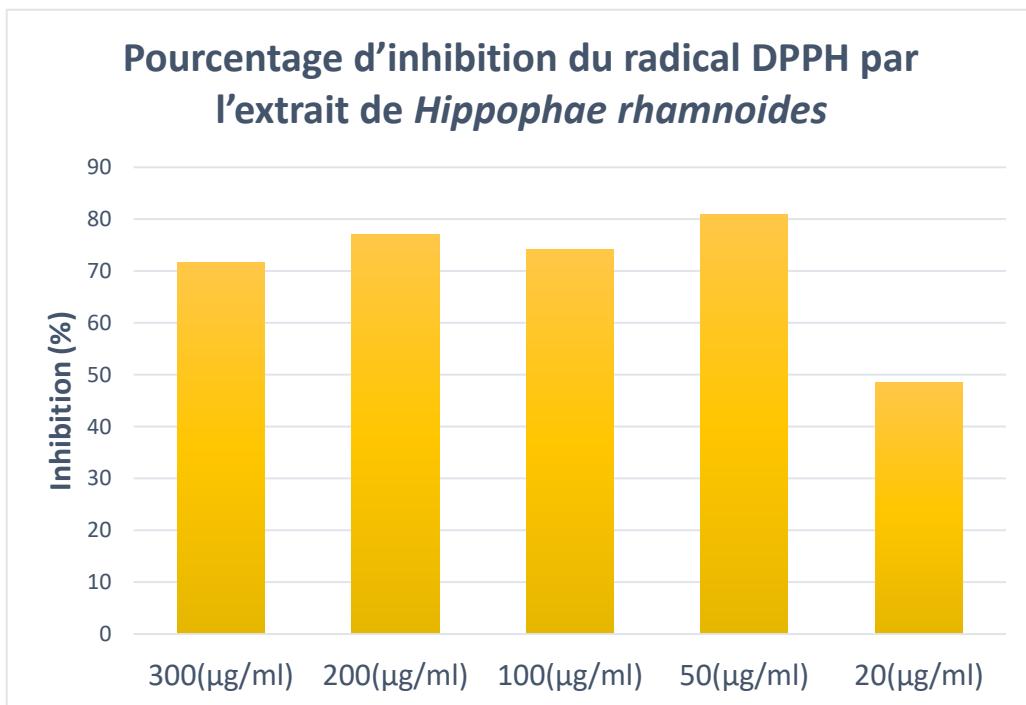


Figure 60: Histogramme des pourcentages d'inhibitions du radical DPPH par l'extrait de *Hippophae rhamnoides*

Résultats et discussions

À faible concentration (20 µg/ml), le pourcentage d'inhibition du radical DPPH reste modéré (48,48 %), ce qui indique une quantité encore insuffisante de composés antioxydants actifs pour assurer une neutralisation efficace des radicaux libres. À partir de 50 µg/mL, une nette amélioration est observée, avec une inhibition atteignant 80,81 %, traduisant une forte activité antioxydante. Toutefois, il est intéressant de noter que cette valeur maximale d'inhibition est enregistrée à 50 µg/ml, alors qu'à des concentrations plus élevées, notamment 300 µg/ml, l'inhibition diminue légèrement (71,72 %). Ce comportement non linéaire suggère la présence d'un **effet plateau**, pouvant résulter d'une **saturation du système DPPH**, où la quantité de radicaux disponibles devient insuffisante pour réagir avec l'excès de composés antioxydants. Par ailleurs, il est également possible que certains composés phénoliques deviennent **instables ou subissent une auto-oxydation** à fortes concentrations, réduisant ainsi leur efficacité antioxydante apparente.

L'extrait éthanolique des baies d'*Hippophae rhamnoides*, obtenu par Soxhlet, a montré une forte activité antioxydante, avec une IC₅₀ de 24,75 µg/ml contre le radical DPPH. Cette valeur est inférieure à celles rapportées par Zeb (2006) (43,8 µg/ml) pour un extrait méthanolique ou Xu et al. (2021) (58,2 µg/ml) pour un extrait aqueux. Ces résultats suggèrent une efficacité accrue de l'extraction Soxhlet pour concentrer les composés antioxydants responsables de cette activité.

8. L'activité antibactérienne

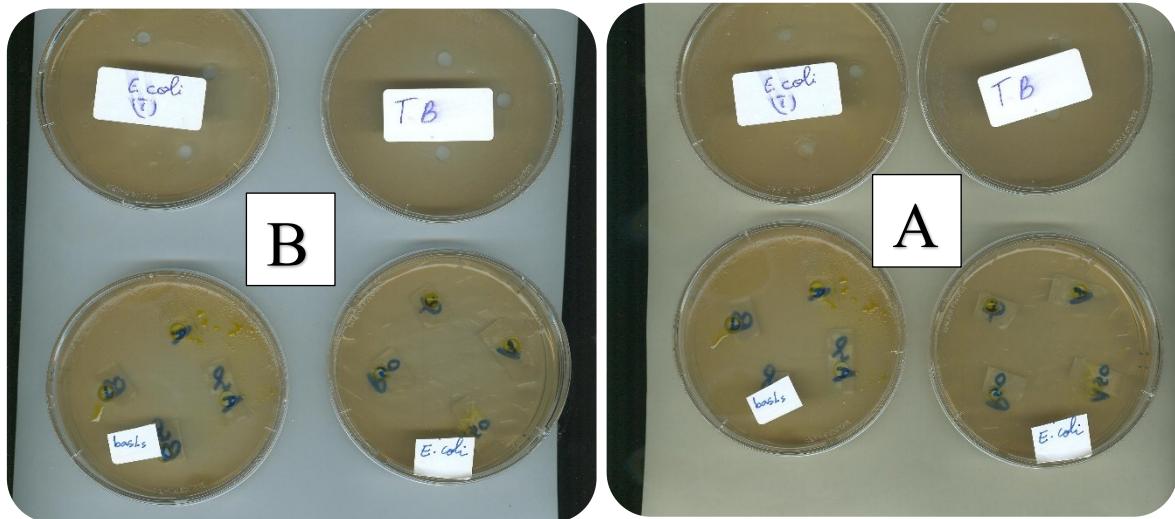


Figure 61: A : Zone d'inhibition a concentration 100%

B : Zone d'inhibition a concentration 50%

TB : Témoin

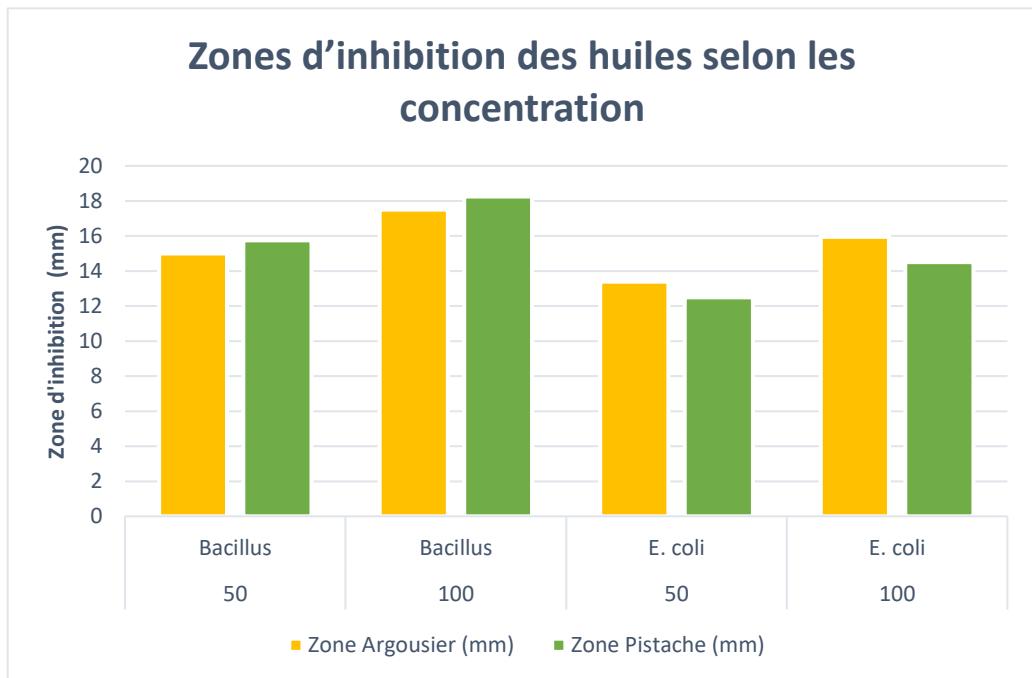


Figure 62: Histogramme des pourcentages d'inhibition des huiles sur E. coli et Bacillus

Résultats et discussions

Les zones d'inhibition mesurées par la méthode des puits ont permis d'évaluer l'efficacité antibactérienne des huiles essentielles de pistache et d'argousier à deux concentrations (50% et 100 %), contre deux souches bactériennes représentatives : *Bacillus* (Gram positif) et *Escherichia coli* (Gram négatif). Les résultats sont exprimés en millimètres (mm), accompagnés de leur écart type moyen, ce qui permet une évaluation plus fine de la reproductibilité des essais.

L'activité sur *Bacillus*

À une concentration de 50 %, les zones d'inhibition étaient de **15,0 ± 0,5 mm** pour l'huile d'argousier et **15,8 ± 0,3 mm** pour l'huile de pistache. Lorsque la concentration est augmentée à 100 %, une nette amélioration est observée, avec **17,2 ± 0,4 mm** pour l'huile d'argousier et **18,0 ± 0,2 mm** pour l'huile de pistache.

L'activité sur *Escherichia coli*

À 50 µg/mL, l'huile d'argousier présente une zone d'inhibition de **13,2 ± 0,6 mm**, tandis que celle de pistache atteint **12,5 ± 0,4 mm**. À 100 %, les zones augmentent respectivement à **14,8 ± 0,5 mm** (argousier) et **13,7 ± 0,3 mm** (pistache).

Tableau 28: Analyse de variance huile-bactérie-concentration

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F	Significatif
Huile	1	0,181	0,181	0,584	0,467	NS
Concentration	1	22,801	22,801	73,699	< 0,0001	★★★
Bactérie	1	25,756	25,756	83,251	< 0,0001	★★★
Huile*Concentration	1	0,076	0,076	0,244	0,634	NS
Huile*Bactérie	1	3,706	3,706	11,978	0,009	★★
Concentration*Bactérie	1	0,051	0,051	0,164	0,696	NS
Huile*Concentration*Bactérie	1	0,076	0,076	0,244	0,634	NS

★★★ : Très hautement significatif ★★ : Hautement significatif ★ : Significatif

NS : Non significatif

Résultats et discussions

L'analyse de la variance à trois facteurs croisés a permis d'évaluer l'effet de l'huile (argousier ou pistache), de la concentration (50 et 100 %) et du type de bactérie (Bacillus et *E. coli*) sur la zone d'inhibition observée.

Les résultats ont montré que les effets principaux de la concentration ($F = 73,699$; $p < 0,0001$) et du type de bactérie ($F = 83,251$; $p < 0,0001$) étaient hautement significatifs (***) , indiquant que ces deux facteurs influencent de manière majeure l'activité antibactérienne des extraits. L'augmentation de la concentration a conduit à une amélioration significative des zones d'inhibition, ce qui confirme une relation dose-réponse classique. De même, la sensibilité des micro-organismes testés s'est avérée variable selon l'espèce bactérienne, suggérant des mécanismes de résistance ou de perméabilité spécifiques à chaque souche.

En revanche, l'effet principal du type d'huile n'était pas significatif ($p = 0,467$), ce qui signifie qu'en moyenne globale, les deux huiles n'ont pas montré de différences marquées en termes d'efficacité antibactérienne. Toutefois, l'interaction entre huile et bactérie s'est révélée significative ($F = 11,978$; $p = 0,009$; **), ce qui suggère que l'activité de chaque huile varie en fonction de la bactérie ciblée. Par exemple, il est possible que l'huile d'argousier soit plus efficace contre *E. coli*, tandis que celle de pistache présente une meilleure action contre Bacillus. Cette interaction mérite donc une analyse post-hoc plus approfondie (moyennes croisées ou graphiques d'interaction).

Enfin, les interactions entre huile et concentration, concentration et bactérie, ainsi que l'interaction triple (huile \times concentration \times bactérie) n'étaient pas significatives ($p > 0,05$). Ces résultats indiquent que les effets combinés de ces facteurs n'interfèrent pas significativement les uns avec les autres, en dehors de l'interaction spécifique entre l'huile et le type de bactérie.

Tableau 29: Groupes homogènes de traitement pour le paramètre huile

Modalités	Moyenne	Regroupements
Argousier	15,463	A
Pistache	15,250	A

L'analyse des moyennes suivie du test de Newman-Keuls (ou Tukey) n'a révélé **aucune différence significative** entre les effets antibactériens des huiles d'argousier (15,46 mm) et de pistache (15,25 mm). Bien que l'huile d'argousier ait présenté une moyenne légèrement plus élevée de la zone d'inhibition, les deux huiles appartiennent au **même**

Résultats et discussions

groupe statistique (groupe A), ce qui indique une **efficacité comparable** contre les microorganismes testés.

Tableau 30: Groupes homogènes de traitement pour le paramètre bactérie

Modalités	Moyenne	Regroupement	s
Bacillus	16,625	A	
E. Coli	14,088		B

Le test de Newman-Keuls a permis de comparer l'effet du traitement sur deux souches bactériennes : Bacillus et Escherichia coli. Les résultats montrent une différence significative entre les deux, réparties en deux groupes distincts :

Bacillus (groupe A) présente une moyenne de 16,625 mm, indiquant une sensibilité plus élevée au traitement.

Escherichia coli (groupe B) a une moyenne plus faible de 14,088 mm, révélant une résistance relative.

La relation statistique est donc :

$$A > B \Leftrightarrow \text{Bacillus} > \text{Escherichia coli} \Leftrightarrow 16,625 \text{ mm} > 14,088 \text{ mm}$$

Tableau 31: Groupes homogènes de traitement pour le paramètre concentration

Modalités	Moyenne	Regroupement	s
100	16,550	A	
50	14,163		B

L'analyse post-hoc réalisée sur le facteur concentration confirme l'effet hautement significatif observé dans l'ANOVA ($p < 0,0001$). Les résultats montrent que la concentration 100 % engendre une zone d'inhibition moyenne de 16,55 mm, nettement supérieure à celle obtenue à 50 % (14,16 mm). Les deux concentrations appartiennent à des groupes statistiques distincts (groupes A et B), ce qui signifie que la différence est hautement significative.

Cette observation traduit une relation dose-réponse positive : une augmentation de la concentration de l'huile entraîne une amélioration de l'activité antibactérienne. Ce comportement est en accord avec la littérature, où une augmentation de la dose des composés bioactifs, notamment des polyphénols, est souvent corrélée à une inhibition accrue de la croissance microbienne.

Résultats et discussions

Tableau 32: Groupes homogènes de traitement pour le paramètre huile × bactérie

Modalités	Moyenne	Regroupements		
Huile-Pistache*Bactérie -Bacillus	17,000	A		
Huile-Argousier*Bactérie -Bacillus	16,250	A		
Huile-Argousier*Bactérie -Escherichia coli	14,675		B	
Huile-Pistache*Bactérie -Escherichia coli	13,500			C

L'analyse des moyennes croisées pour l'interaction huile × bactérie révèle des différences notables d'efficacité selon la combinaison testée. Bien que l'effet principal de l'huile ne soit pas significatif, son efficacité dépend fortement de la bactérie ciblée, comme le montre cette interaction.

Les résultats montrent que les deux huiles sont plus efficaces contre Bacillus que contre Escherichia coli, avec des zones d'inhibition moyennes de 17,00 mm pour la pistache et 16,25 mm pour l'argousier. Ces deux conditions appartiennent au même groupe statistique (A), ce qui signifie qu'elles sont équivalentes en efficacité contre Bacillus.

En revanche, contre *E. coli*, une différence nette apparaît. L'huile d'argousier présente une moyenne de 14,675 mm (groupe B), tandis que celle de pistache descend à 13,500 mm, appartenant au groupe C, statistiquement inférieur. Cela suggère que l'argousier est plus actif contre *E. coli* que la pistache, bien que les deux soient moins efficaces globalement contre cette bactérie.

Ainsi, cette interaction montre que la performance antibactérienne d'une huile dépend du micro-organisme ciblé, ce qui souligne l'importance d'adapter les traitements naturels selon le pathogène visé.

L'analyse de la variance (ANOVA) appliquée aux données de la zone d'inhibition a permis d'évaluer l'effet de trois facteurs : le type d'huile (pistache ou argousier), la concentration (50 et 100 %), et le type de bactérie (Bacillus et Escherichia coli), ainsi que leurs interactions.

Les résultats révèlent que la concentration de l'extrait exerce une influence très hautement significative ($p < 0,0001$) sur l'activité antibactérienne. En effet, les moyennes observées montrent que les extraits utilisés à 100% présentent des diamètres d'inhibition nettement supérieurs (16,55 mm) à ceux mesurés à 50 % (14,16 mm). Ceci confirme que l'efficacité des huiles est dose-dépendante, ce qui est en accord avec les résultats de plusieurs études antérieures (El-Khateeb et al., 2020 ; Akinmoladun et al., 2021).

Résultats et discussions

Le facteur « type de bactérie » a également un effet très hautement significatif ($p < 0,0001$). Les données montrent que *Bacillus* est plus sensible aux huiles testées avec une moyenne d'inhibition de 16,63 mm, contre 14,09 mm pour *Escherichia coli*. Cette différence pourrait s'expliquer par la structure de la paroi cellulaire des bactéries Gram-négatives comme *E. coli*, qui est plus résistante aux agents lipophiles contenus dans les huiles essentielles (Nazzaro et al., 2013).

En revanche, le type d'huile pris isolément n'a pas eu d'effet significatif sur la zone d'inhibition ($p = 0,467$). Cela indique que les deux huiles testées – pistache et argousier – présentent une activité antibactérienne comparable en termes de moyenne globale. Cependant, l'interaction significative entre l'huile et le type de bactérie ($p = 0,009$) révèle que l'efficacité d'une huile dépend du microorganisme ciblé.

Les comparaisons multiples (test de Newman-Keuls) ont mis en évidence des combinaisons spécifiques particulièrement efficaces. Ainsi, l'huile de pistache à 100 % contre *Bacillus* a généré la plus large zone d'inhibition (18,25 mm), suivie de l'huile d'argousier à la même concentration contre *Bacillus* (17,50 mm). Ces résultats indiquent que l'huile de pistache semble légèrement plus efficace dans cette combinaison, bien que la différence ne soit pas significative à elle seule. À l'inverse, la plus faible activité a été observée avec l'huile de pistache à 50 % contre *E. coli* (12,50 mm).

Enfin, l'interaction triple (Huile \times Concentration \times Bactérie) bien qu'non significative globalement, révèle des tendances intéressantes. Certaines paires de traitements sont significativement différentes (ex. : Pistache-100 %–*Bacillus* vs Pistache-50 %–*E. coli*), soulignant l'importance de choisir la bonne combinaison pour obtenir un effet maximal.

L'ensemble des résultats montre que l'activité antibactérienne des huiles de pistache et d'argousier est principalement influencée par la concentration utilisée et le type de bactérie ciblé. Bien que les deux huiles présentent des propriétés intéressantes, l'huile de pistache à forte concentration apparaît plus efficace contre *Bacillus*. Ces données confirment le potentiel antimicrobien des extraits végétaux étudiés et soulignent l'intérêt de poursuivre leur évaluation sur un spectre plus large de microorganismes.

9. L'activité antifongique

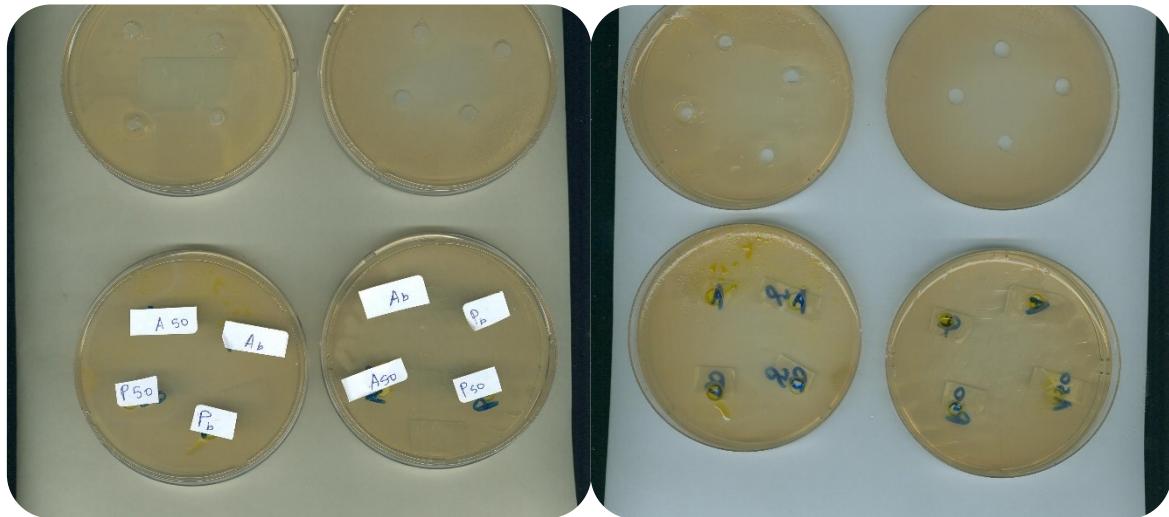


Figure 63: Zone d'inhibition des huiles testé

A50 : Huile d'argousier a concentration 50%

Ab : Huile d'argousier a concentration 100%

A50 : Huile de pistachier a concentration 50%

Pb : Huile de pistachier a concentration 100%

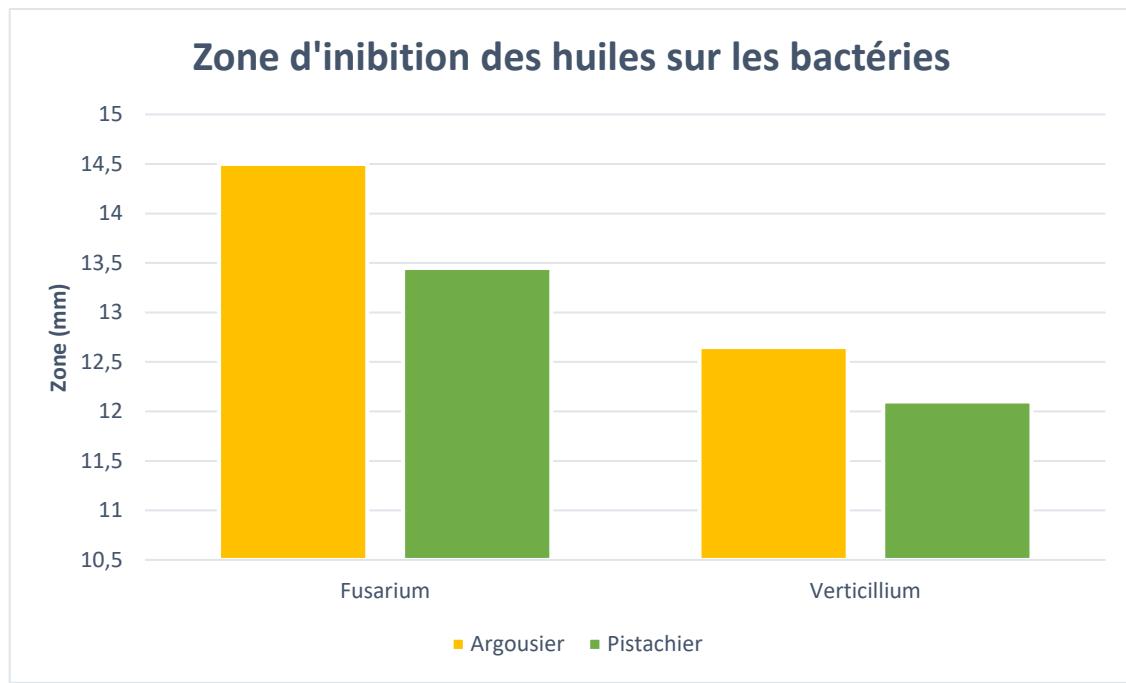


Figure 64 : Histogramme de la moyenne d'effet inhibiteur des huiles sur les champignons

Résultats et discussions

- **Contre *Fusarium spp.***

À la concentration de 50 %, l'huile d'argousier ($14,50 \pm 0,42$ mm) présente une zone d'inhibition plus élevée que l'huile de pistache ($13,45 \pm 0,64$ mm). À 100%, l'huile de pistache atteint $16,85 \pm 0,21$ mm contre $16,65 \pm 0,92$ mm pour l'argousier.

- **Contre *Verticillium spp.***

À 50%, les deux huiles montrent une activité modérée : $12,10 \pm 1,27$ mm pour la pistache et $12,65 \pm 0,49$ mm pour l'argousier. À 100 %, la zone d'inhibition s'élève à $14,25 \pm 0,35$ mm pour la pistache et $15,65 \pm 0,49$ mm pour l'argousier.

L'analyse de variance à trois facteurs révèle les effets significatifs selon le tableau 33.

Tableau 33: Analyse de variance huile - champignons - concentrations

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F	Significatifs
Huile	1	1.96	1.96	4.23	0.0738	★
Concentration	1	28.6225	28.6225	61.72	< 0,0001	★★★
Champignon	1	11.56	11.56	24.93	0.0011	★★
Huile × Concentration	1	0.04	0.04	0.086	0.7765	NS
Huile × Champignon	1	0.3025	0.3025	0.652	0.4426	NS
Concentration × Champignon	1	0.04	0.04	0.086	0.7765	NS
Huile × Concentration × Champignon	1	1.1025	1.1025	2.38	0.1617	NS

- **Effet de la concentration**

L'analyse statistique a révélé que la concentration de l'huile a un effet hautement significatif sur l'activité antifongique ($p < 0,0001$). Une augmentation de la concentration de 50 % à 100 % induit une augmentation nette du diamètre de la zone d'inhibition, indiquant une efficacité renforcée contre les champignons testés. Ce résultat corrobore les observations de plusieurs études antérieures montrant une relation dose-réponse positive entre la concentration des huiles essentielles ou végétales et leur pouvoir antifongique (Nazzaro et al., 2013).

• Effet du type de champignon

Le type de champignon a également un effet très significatif sur les résultats ($p = 0,0011$). Les données indiquent que l'efficacité des huiles est plus marquée contre *Fusarium* spp. que contre *Verticillium* spp. Cette différence peut être expliquée par des caractéristiques structurales propres aux parois cellulaires des champignons. Par exemple, *Fusarium* présente une paroi fongique potentiellement plus perméable aux composés lipophiles présents dans les huiles.

• Effet du type d'huile

L'effet du type d'huile (argousier vs pistachier) n'a pas atteint le seuil de significativité statistique ($p = 0,0738$), mais montre une tendance intéressante. L'huile d'argousier pourrait présenter une activité légèrement supérieure à celle de pistachier, ce qui pourrait s'expliquer par la teneur plus élevée en acides gras polyinsaturés, caroténoïdes et composés phénoliques connus pour leurs propriétés antifongiques. Toutefois, cette hypothèse nécessite des analyses phytochimiques complémentaires pour être confirmée.

• Effets d'interaction

Aucune des interactions croisées entre les facteurs (huile \times concentration, huile \times champignon, concentration \times champignon) n'a été statistiquement significative ($p > 0,05$). Cela indique que les effets observés de chaque facteur sont indépendants les uns des autres, et qu'aucune synergie spécifique n'a été détectée. Notamment, l'interaction triple (huile \times concentration \times champignon) reste non significative, bien que proche du seuil ($p = 0,1617$), suggérant une légère tendance à l'interaction complexe, mais non confirmée.

- Ces résultats démontrent que :
- **La concentration est le facteur le plus déterminant** pour l'efficacité antifongique,
- **Le champignon cible influence fortement la sensibilité** aux traitements,
- **Le type d'huile montre une différence biologique potentiellement importante**, bien qu'elle ne soit pas statistiquement significative dans ce test.
- En somme, les huiles d'argousier et de pistachier présentent un **potentiel antifongique prometteur**, notamment à forte concentration, avec une **meilleure efficacité sur *Fusarium* spp** que sur *Verticillium* spp

Conclusion

Conclusion générale

Conclusion générale

Cette étude a permis d'examiner en profondeur le potentiel phytochimique et biologique des graines de deux espèces végétales : l'argousier (*Hippophae rhamnoides*) et le pistachier (*Pistacia vera*). Les résultats obtenus mettent en évidence la richesse de ces deux plantes, tant sur le plan biochimique que fonctionnel, bien qu'une supériorité notable ait été observée du côté de l'argousier.

Sur le plan morphologique, l'analyse des graines avant et après la stratification à froid n'a révélé aucune variation significative des dimensions. Toutefois, un taux de dégradation élevé a été observé chez les graines de pistachier, suggérant une sensibilité accrue aux conditions de stockage ou une viabilité plus faible.

Sur le plan chimique, l'extraction par Soxhlet a permis d'obtenir des rendements plus élevés pour l'argousier, notamment en matière et en huile. Cette dernière s'est distinguée par une forte concentration en polyphénols totaux, flavonoïdes et tanins condensés, traduisant une richesse notable en composés bioactifs aux propriétés antioxydantes. En comparaison, l'huile de pistachier, obtenue par pression à froid, a présenté une composition plus modeste.

Le test antioxydant DPPH a confirmé la supériorité de l'huile d'argousier dans la neutralisation des radicaux libres. Sur le plan biologique, les deux huiles ont montré une activité antifongique à différents niveaux : l'huile d'argousier s'est montrée particulièrement efficace contre *Verticillium spp.*, tandis que les deux ont présenté une inhibition modérée contre *Fusarium spp.*. En parallèle, une activité antibactérienne a été observée contre *Escherichia coli* (Gram -) et *Bacillus subtilis* (Gram +), avec des effets plus marqués pour l'huile d'argousier.

En somme, les résultats obtenus confirment le fort potentiel de ces huiles végétales comme sources naturelles de composés bioactifs. Dans une optique de valorisation durable, plusieurs pistes d'application industrielle peuvent être envisagées, telles que :

- La formulation de cosmétiques naturels riches en antioxydants et aux propriétés anti-âge,
- Le développement de compléments alimentaires à haute valeur fonctionnelle,
- La production de soins pour la peau et les cheveux, ainsi que de savons biologiques,
- La fabrication de biopesticides sûrs et écologiques pour lutter contre champignons et bactéries,

Conclusion générale

- L'utilisation des résidus post-extraction pour la fabrication d'aliments pour animaux ou d'engrais organiques.

Références bibliographiques

References bibliographiques

- APG IV. "An Update of the Angiosperm Phylogeny Group Classification for the Orders and Families of Flowering Plants." *Botanical Journal of the Linnean Society*, vol. 181, no. 1, 2016, pp. 1–20.
- Benson, D. R., and W. B. Silvester. "Biology of Frankia Strains, Actinomycete Symbionts of Actinorhizal Plants." *Microbiological Reviews*, vol. 57, no. 2, 1993, pp. 293–319.
- Pourret, Pierre André. "Mémoire sur la famille des Éléagnacées." *Annales des Sciences Naturelles*, vol. 28, 1823, pp. 113-124.
- Cieśla, William M. *Non-Wood Forest Products from Temperate Broad-Leaved Trees*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2002.
- Flora of China Editorial Committee. "Elaeagnaceae." *Flora of China*, vol. 9, Science Press and Missouri Botanical Garden Press, 1999.
- Flora of North America Editorial Committee. *Flora of North America North of Mexico*. Vol. 7, Oxford UP, 1993.
- Li, T., and T. Beveridge. *Sea Buckthorn (Hippophae rhamnoides): Production and Utilization*. NRC Research Press, 2003.
- "Elaeagnaceae." *Plants of the World Online*, Royal Botanic Gardens, Kew, 2025, <https://powo.science.kew.org/>.
- Rousi, A. "The Genus Hippophaë L.: A Taxonomic Study." *Annales Botanici Fennici*, vol. 8, no. 3, 1971, pp. 177–227.
- Rousi, A. "The Genus Hippophaë L.: A Taxonomic Study." *Annales Botanici Fennici*, vol. 8, no. 3, 1971, pp. 177–227.
- <https://www.flickr.com/photos/blumenbiene/15439892565> Licence Creative Commons BY 2.0.
- https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4d/243_Hippophae_rhamnoide_s.jpg Licence CC BY-SA 3.0.

References bibliographiques

- Li, T., and T. Beveridge. Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides*): Production and Utilization. NRC Research Press, 2003.
- Liu, X., Cao, S., and Zhang, X. “Morphological and Ecological Characteristics of *Hippophae rhamnoides*.” *Journal of Medicinal Plants Research*, vol. 7, no. 25, 2013, pp. 1881–1887.
- Ahmed, A., et al. “Microscopic and Morphological Characterization of *Hippophae rhamnoides* Leaves.” *International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research*, vol. 7, no. 2, 2015, pp. 248–252.
- Arumugam, G., Velayutham, P., and Subramanian, S. “Adaptive Leaf Traits of *Hippophae rhamnoides* for Tolerance to Drought and High Light Intensity.” *Journal of Plant Physiology*, vol. 257, 2021, article 153320.
- Rousi, A. “The Genus *Hippophae* L.: A Taxonomic Study.” *Annales Botanici Fennici*, vol. 27, 1990, pp. 101–137.
- Singh, V., Kachroo, P., and Singh, D. *Flora of Jammu and Kashmir*, vol. 2, Scientific Publishers, 2011.
- Tutin, T. G., et al. *Flora Europaea*. Vol. 1, Cambridge University Press, 1964.
- Beveridge, Tom, and Tian Li. Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides*): Production and Utilization. NRC Research Press, 2012.
- Zeb, Alam. “Chemical and Nutritional Constituents of Sea Buckthorn Juice.” *Pakistan Journal of Nutrition*, vol. 19, no. 3, 2020, pp. 120–130.
- Dawson, J. O. “Actinorhizal Plants: Their Use in Reclamation and Agroforestry.” *Nitrogen Fixation: Achievements and Objectives*, edited by P. M. Gresshoff, Chapman & Hall, 1990, pp. 325–332.
- Harnois-Blouin, Gabriel. Argousier – Dossier technique. MAPAQ Québec, 2022.
- Sugny, Camille, and Audrey Sanglier. L’Argousier : Cultiver une plante médicinale d’avenir. Éditions Terran, 2022.

References bibliographiques

- Lu, Lian. "Elaeagnaceae." *Flora of China*, vol. 13, Science Press and Missouri Botanical Garden Press, 1999, pp. 390–397.
- Plants of the World Online. "*Hippophae* L." Royal Botanic Gardens, Kew, 2025, <https://pwo.science.kew.org/>.
- Rousi, A. "The Genus *Hippophae* L.: A Taxonomic Study." *Annales Botanici Fennici*, vol. 8, no. 3, 1971, pp. 177–227.
- Li, Thomas S.C., and Thomas H.J. Beveridge. *Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.): Production and Utilization*. National Research Council Canada, 2003.
<api.pageplace.descirp.org+14publications.gc.ca+14api.pageplace.de+14en.wikipedia.org>
- Zeb, Alam. "Important Therapeutic Uses of Sea Buckthorn (*Hippophae*): A Review." *Journal of Biological Sciences*, vol. 4, no. 5, 2004, pp. 687–693. DOI:10.3923/jbs.2004.687.693. <shinyhorse.com+4scialert.net+4scirp.org+4>
- "*Hippophae rhamnoides*." *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, 2 juin 2025, en.wikipedia.org/wiki/Hippophae_rhamnoides. <en.wikipedia.org>
- "*Hippophae Rhamnoides* L.: Sea Buckthorn." *Immunity Boosting Medicinal Plants of the Western Himalayas*. Springer, mars 2023, pp. 463–491. <scialert.net+15link.springer.com+15scirp.org+15>
- Li, Thomas S.C., and W.R. Schroeder. "Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.): A Multipurpose Plant." *HortTechnology*, vol. 6, no. 4, Jan. 1996, pp. 370–380. DOI:10.21273/HORTTECH.6.4.370.
<researchgate.net+13journals.ashs.org+13academia.edu+13koreascience.kr+2academia.edu+2academia.edu+2academia.edu+2academia.edu+2researchgate.net+2antropocene.it>
- "Effects of Cold Stratification and H₂SO₄ on Seed Germination of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.)." *ResearchGate*, 14–22. <academia.edu+1researchgate.net+1>

References bibliographiques

- “*Hippophae rhamnoides*: Systematics, Habitat, Cultivation...” *Antropocene.it*, 23 Aug. 2023. antropocene.it
- Acevedo-Rodríguez, Pedro. Anacardiaceae. Smithsonian National Museum of Natural History, 2024.
- “Anacardiaceae.” Encyclopaedia Britannica, 2025, www.britannica.com/plant/Anacardiaceae.
- “Anacardiaceae R. Brown, 1818.” World Flora Online, 2024, www.worldfloraonline.org.
- “Anacardiaceae.” ScienceDirect Topics, Elsevier, 2025, www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/anacardiaceae.
- “Anacardiaceae.” Wikipedia: The Free Encyclopedia, Wikimedia Foundation, 2025, en.wikipedia.org/wiki/Anacardiaceae.
- Judd, Walter S., Christopher S. Campbell, Elizabeth A. Kellogg, and Peter F. Stevens. Plant Systematics: A Phylogenetic Approach. 2nd ed., Sinauer Associates, 2002.
- Zohary, Michael. “A Monographical Study of the Genus *Pistacia*.” Palestine Journal of Botany, series Jerusalem, vol. 5, 1952, pp. 187–228.
- Crossa-Raynaldi, [Prénom], and [Prénom] Germain. "Pistacia vera est la seule espèce produisant des fruits comestibles." Titre de l'article ou ouvrage, 1982.
- Zohary, Michael. “A Monographical Study of the Genus *Pistacia*.” *Palestine Journal of Botany*, series Jerusalem, vol. 5, 1952, pp. 187–228.
- BOUTBOUL, 1986, pp. 8–9. Citation originale : « Le Pistachier cultivé... l'écorce des branches est blanchâtre... port du pied mâle... port retombant » (Boutboul 8).
- Pistacia vera.” Wikipedia: The Free Encyclopedia, Wikimedia Foundation, 3 jours ago, en.wikipedia.org/wiki/Pistacia_vera
mesarbustes.fr+12fr.wikipedia.org+12fr.wikipedia.org+12

References bibliographiques

- “Pistacia vera (De semis) / Pistachier vrai.” *Mon Jardin Extraordinaire*, 2025. monjardinextraordinaire.com
- Pistachio.” Wikipedia, Wikimedia Foundation, 3 juin 2025, en.wikipedia.org/wiki/Pistachio. jstor.org+15fr.wikipedia.org+15pistaches.com+15fruitiers-rares.info+1fruitiers-rares.info+1
- “Le Marché Vert. Pistachier : l’arbre qui produit les pistaches.” LeMarchéVert, 1,2 ans ago. lapepiniereterraterre.fr+4lemarchevert.fr+4promessedefleurs.com+4
- “Pistachier, pistacia : plantation et entretien.” Promesse de Fleurs, consulté juin 2025. promessedefleurs.com+1alaportebleue.fr+1
- “Observation détaillée du fruit du Pistachier (Pistacia vera L.).” Fruitiers-Rares, 2025. ucanr.edu+15fruitiers-rares.info+15fruitiers-rares.info+15
- Sambuc éditeur. “Pistachier vrai.” *Encyclopédie Sambuc*, 24 mai 2023.
- “Pistachio.” Wikipedia: The Free Encyclopedia, Wikimedia Foundation, 9 juin 2025, en.wikipedia.org/wiki/Pistachio.
- Salim, Abou, and Kali. “Profil Nutritionnel de la Pistache.” *Études Agronomiques de Kabylie*, vol. 12, no. 3, 1992, pp. 45–52.
- Al-Saghir, Mohannad G., et Duncan M. Porter. “Taxonomic Revision of the Genus Pistacia L. (Anacardiaceae).” American Journal of Plant Sciences, vol. 3, no. 1, 2012, pp. 12–32.
- Mir-Makhamad, Basira, et al. “Pistachio (Pistacia vera L.) Domestication and Dispersal Out of Central Asia.” Agronomy, vol. 12, no. 8, 2022, p. 1758.
- Nezami, Esmaeil, et al. “History, Phylogeny, Biodiversity, and New Computer-Based Tools for Efficient Micropropagation and Conservation of Pistachio (Pistacia spp.) Germplasm.” Plants, vol. 12, 2023, art. 323.
- Pistachio.” Wikipedia: The Free Encyclopedia, Wikimedia Foundation, 9 juin 2025, en.wikipedia.org/wiki/Pistachio.

References bibliographiques

- Food and Agriculture Organization of the United Nations. Pistachio Production and Environmental Benefits, FAO, 2013.
- Kafkas, Salih, and Rafael Perl-Treves. “Morphological and Molecular Phylogeny of Pistacia Species in Turkey.” *Theoretical and Applied Genetics*, vol. 102, 2001, pp. 908–915.
- Tomaino, Antonio, et al. “Antioxidant Activity and Phenolic Content of Pistachio (Pistacia vera L.) Seeds.” *Journal of Food Chemistry*, vol. 93, no. 4, 2005, pp. 1121–1128.
- Esfandiyari, Behnam, et al. “Effects of Cold Stratification and Inhibitors on Pistachio Seed Germination.” *Journal of Horticultural Science*, vol. 140, no. 2, 2005, pp. 143–150.
- Lemaistre, Jean. *Le Pistachier : Étude Bibliographique*. Fruits, vol. 14, 1959, pp. 123–135.
- Labbani, Pr. *Métabolisme secondaire des plantes*. Faculté de Biologie, UM Constantine, 2021–2022.
- Bouchaala, [Prénom]. *Cours de Métabolisme*. Département de Biologie, Université de Constantine, 2022.
- “Plant Metabolomics : An Overview of the Role of Primary and Secondary Metabolites.” *Metabolomics*, vol. 13, no. 3, 2023. fr.wikipedia.org/studocu.com+2fac.umc.edu.dz+2fr.wikipedia.org+2mdpi.com+1metabolomics.creative-proteomics.com+1
- “Plant Primary and Secondary Metabolites.” *Creative Proteomics*, 2019.

- Chauhan, Umesh, et E. S. Chauhan. “Review on nutritional composition, bioactive compounds and therapeutic properties of *Hippophae rhamnoides* L. (Sea Buckthorn).” *International Journal of Health Sciences*, vol. 6, no. S3, 2022, pp. 11620–11632.

References bibliographiques

- Sharma, Bhavana, et Renu Deswal. “Single pot synthesized gold nanoparticles using *Hippophae rhamnoides* leaf and berry extract showed shape-dependent differential nanobiotechnological applications.” *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, 2018.
- Stobdan, Tsering, et al. “Nutritional Attributes and Health Application of Seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) – A Review.” *Current Nutrition & Food Science*, vol. 9, no. 2, 2013.
- Bayır, Manolya, et al. “Metabolic Discrimination of Sea Buckthorn from Different *Hippophae* Species by ^1H NMR-Based Metabolomics.” *Scientific Reports*, vol. 7, 2017. [mdpi.com+10pubmed.ncbi.nlm.nih.gov+10ouci.dntb.gov.ua+10](https://www.mdpi.com/2073-4425/7/1/10)
- “*Hippophae rhamnoides*.” *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, Wikimedia Foundation, 3 juin 2025, en.wikipedia.org/wiki/Hippophae_rhamnoides.
- Gatlan, Anca, et al. “Sea Buckthorn in Plant Based Diets: Nutritional Value, Applications, and Health Benefits.” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 18, no. 17, 2021. [mdpi.com+1academia.edu+1](https://www.mdpi.com/1660-4601/18/17/7000)
- Galili, Galina, et al. “Sugars Contribute to the Organoleptic Quality and Economic Value of Sea Buckthorn Berries.” *Frontiers in Plant Science*, 2019. [bioresources.cnr.ncsu.edu+10mdpi.com+10academia.edu+10](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6700000/)
- Fatima, S., C. L. Snyder, W. R. Schroeder, et al. “Fatty Acid Composition of Developing Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) Berry and the Transcriptome of the Mature Seed.” *PLOS ONE*, vol. 7, no. 4, April 27, 2012, e34099. [en.wikipedia.org+1journals.plos.org+12publications-cnrc.canada.ca+12](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3337770/)
- Güllü, Ayşe, et al. “Wide Spectrum of Active Compounds in Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) for Disease Prevention and Food Production.” *Antioxidants*, vol. 10, no. 8, 2021, p. 1279. [en.wikipedia.org+12pubs.acs.org+12pmc.ncbi.nlm.nih.gov+12](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8080000/)
- Akyüz, Burak, et al. “Simultaneous Determination of Amino Acids in *Hippophae rhamnoides* L. with Pre-column Derivatization by HPLC.” *Asian Journal of Chemistry*, vol. 24, no. 10, 2012, pp. 4380–4384. [asianpubs.org](https://www.asianpubs.org/ajc/article/10/10/4380/1000000)

References bibliographiques

- Phytochemical Analysis of the Fruits of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides*): Identification of Organic Acid Derivatives.” *Plants*, vol. 10, no. 5, 2021, p. 860.
- Su, Tingting, et al. “Comparative Assessment of Functional Components and Antioxidant Activities Between *H. rhamnoides* ssp. *sinensis* and *H. tibetana* Berries in Qinghai–Tibet Plateau.” *Foods*, vol. 12, no. 2, 2023, pp. 1–15.
- Qiao, Taisheng, Jianqun Geng, and Jingzhu Feng. “Study on Nutritional Composition of the Fruit of *Hippophae rhamnoides*.” *AGRIS*, 1988.
- Shah, Syed Rehmat Ullah, and Per-Olof Lundquist. “Root Morphology and Cluster Root Formation by Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) in Response to Nitrogen, Phosphorus and Iron Deficiency.” *Plant and Soil*, vol. 397, 2015, pp. 75–91.
- Prakash, Surya, Hurmat, and Sangita Yadav. “Phytochemistry, Pharmacological Actions and Market Formulations of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.): A Comprehensive Review.” *Pharmacognosy Reviews*, vol. 18, no. 35, Aug. 2024, pp. 2–13.
- Mandalari, Giuseppina, et al. “Nutritional and Bioactive Characterization of Pistachio—a Review.” *Exploration Foods and Foodomics*, vol. 2, 2024, pp. 363–390.
- Da Silva, Luísa F., et al. “Carbohydrate and Starch Composition in Pistachio Seeds.” *Journal of Nut & Food Science*, 2023.
- Akyuz, Burak, et al. “Lipid Profile and Fatty Acid Composition of Pistachio Nuts.” *Journal of Food Lipids*, 2024.
- “Pistachio.” *Wikipedia: The Free Encyclopedia*, Wikimedia Foundation, 13 juin 2025, en.wikipedia.org/wiki/Pistachio.
- Research on phytosterols: “Phytosterols and Phytosterol Oxides in Bronte’s Pistachio.” *European Food Research and Technology*, 2019. [researchgate.net+2sciencedirect.com+2jnfh.mums.ac.ir+2sante.vip+1livestrong.com+1inc.nutfruit.org+3explorationpub.com+3explorationpub.com+3link.springer.com](https://www.researchgate.net+2sciencedirect.com+2jnfh.mums.ac.ir+2sante.vip+1livestrong.com+1inc.nutfruit.org+3explorationpub.com+3explorationpub.com+3link.springer.com)

References bibliographiques

- Akyuz, Burak, et al. "Lipid Profile and Fatty Acid Composition of Pistachio Nuts." *Journal of Food Lipids*, 2024.
- Al-Snafi, A. E., et al. "Phenolic and Biological Activities of *Pistacia vera*." *Medical Science*, 2024.
- Alma, Mustafa H., et al. "Chemical Composition of the Essential Oil of *Pistacia vera* L. Gums." *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2004.
- Al-Yahyai, Roqiya, et al. "Allelopathic Effects of Pistachio Phenolics." *Journal of Plant Physiology*, 2022.
- Azadedel, Fatemeh, et al. "Tannin Content in *Pistacia vera* and Impact on Ruminants." *Animal Science Journal*, 2020.
- Bailey, Hannah M., and Hans H. Stein. "Raw and Roasted Pistachio Nuts Are 'Good' Sources of Protein... DIAAS." *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 100, 2020, pp 3878–3885.
[en.wikipedia.org+w+europepmc.org+8americanpistachios.fr+8sciencedirect.com+11cambridge.org+11cambridge.org+11mdpi.comnutrition.ansci.illinois.edu+1americanpistachios.fr+1americanpistachios.fr](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Raw_and_Roasted_Pistachio_Nuts_Are'_Good'_Sources_of_Protein..._DIAAS&oldid=110000000)
- Boumerfeg, Safia, et al. "Tannin Profiles in *Pistacia* Species." *Phytochemistry*, 2020.
- da Silva, Luísa F., et al. "Carbohydrate and Starch Composition in Pistachio Seeds." *Journal of Nut & Food Science*, 2023.
- Fasihi, Ali, et al. "Antimicrobial Activity of *Pistacia vera* Oil." *Food Chemistry*, 2016.
- Gharibi, Najmeh, et al. "Gallic Acid in Pistachio Shells." *Food Bioscience*, 2023.
- Mandalari, Giuseppina, et al. "Pistachio Nuts: Production, Nutrients... Health Effects." *Plants*, vol. 11, no. 1, 2022. [mdpi.com](https://www.mdpi.com/2073-4395/11/1/11)
- Musarra-Pizzo, C., et al. "Biological Effects of Pistachio Flavonoids." *Phytotherapy Research*, 2024.
- Yilmaz, Y., et al. "Antioxidant Effects of Pistachio Phenolics." *Journal of Food Science*, 2022.

References bibliographiques

- Acharya Balkrishna, et al. “Cytokines Driven Anti-Inflammatory and Anti-Psoriasis Like Efficacies of Nutraceutical Sea Buckthorn Oil.” *Inflammation Pharmacology*, vol. 10, 2019. <link.springer.com+15frontiersin.org+15sciencedirect.com+15ijppr.humanjournals.comsciencedirect.comfrontiersin.org+1frontiersin.org+1>
- Fu, Xia, et al. “In Vitro Anti-Inflammatory and Antioxidant Activities of Flavonoids from Sea Buckthorn.” In *Phytochemistry* (Springer), 2021. <link.springer.com>
- Hou, et al. “Sea Buckthorn Extract Suppresses Th2 Chemokines in Skin Cells.” *Frontiers in Pharmacology*, 2017. <link.springer.com>
- Martiniakova, Monika, et al. “Sea Buckthorn and Its Flavonoids... Favorably Influence Bone and Breast Tissue Health.” *Frontiers in Pharmacology*, vol. 15, 2024, art. 1462823. <ijppr.humanjournals.com+14frontiersin.org+14frontiersin.org+14>
- Prakash, Surya, Hurmat, and Sangita Yadav. “Phytochemistry, Pharmacological Actions ... Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) Review.” *Pharmacognosy Reviews*, vol. 18, no. 35, 2024. <frontiersin.org+7ijppr.humanjournals.com+7phcogrev.com+7>
- Rodriguez, E., et al. “Use of Sea Buckthorn Oil in the Treatment of Skin Disease: Anti-Inflammatory Benefits.” *Journal of Biosciences and Medicines*, 2024. <scirp.org>
- Varshneya, C., Neerja Rana, et al. “Assessment of Bioactive Constituents Present in Sea Buckthorn Byproducts...” *Pharma Innovation*, 2023. <link.springer.com+15thepharmajournal.com+15thepharmajournal.com+15>
- Zhang, et al. “Compounds from Sea Buckthorn and Their Application in Food: A Review.” *Food Chemistry*, 2025. <sciencedirect.com>
- “Quantification of Phytochemicals, Cellular Antioxidant Activities and Antiproliferative Activities of Raw and Roasted American Pistachios (*Pistacia vera* L.).” *Nutrients*, vol. 14, no. 15, 2022, 3002. <mdpi.com+15inc.nutfruit.org+15academia.edu+15americanpistachios.org+1europepmc.org+1>

References bibliographiques

- Siracusa, Irene, et al. "The Anti-Inflammatory and Antioxidant Potential of Pistachios (*Pistacia vera* L.) In Vitro and In Vivo." *Nutrients*, vol. 9, no. 8, 2017, E915. [mdpi.com+4academia.edu+4americanpistachios.cn+4](https://www.mdpi.com/2072-6643/9/8/E915)
- Liu, Rui Hai, et al. "Pistachios Promote Plasma Antioxidant Capacity in Humans." *American Pistachio Growers Research Summary*, 2022.
- Camacho Vega, Claudia E. "Clinical Evidence for Pistachio Effects in Metabolic and Cardiovascular Health." *Journal of Clinical Nutrition*, 2024. [sciencedirect.com+15sciencedirect.com+15americanpistachios.org+15](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0898260823000155)
- American Pistachio Growers. "American Pistachios and Health: Antioxidant, Cardiovascular, Cognitive, Antimicrobial Benefits." 2023–2024 Report. americanpistachios.cn+3americanpistachios.org+3americanpistachios.es+3
- Akinmoladun, Foluso Olajide, et al. "Evaluation of Antimicrobial and Antioxidant Activities of Some Medicinal Plant Extracts." *South African Journal of Botany*, vol. 137, 2021, pp. 9–16.
- Baskin, Carol C., and Jerry M. Baskin. *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. 2nd ed., Elsevier/Academic Press, 2014.
- Bewley, J. Derek, and Michael Black. *Seeds: Physiology of Development and Germination*. Plenum Press, 1994.
- Azadmard-Damirchi, S., et al. "Effect of Roasting and Extraction Conditions on the Yield, Color and Oxidative Stability of Pistachio Oil." *Journal of the American Oil Chemists' Society*, vol. 87, no. 4, 2010, pp. 469–475.
- Dulf, Francisc V., et al. "Fatty Acid Composition and Oil Characteristics of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) Grown in Romania." *Chemistry Central Journal*, vol. 9, no. 1, 2015, p. 20.
- Ghajarbeygi, P., et al. "Cold Pressed Pistachio Oil: Physicochemical and Nutritional Properties." *Food Science and Technology Research*, vol. 19, no. 5, 2013, pp. 839–845.

References bibliographiques

- Guo, Zheng, et al. "Polyphenolic Content and Antioxidant Activity of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) Berry Extracts from Different Regions." *Food Chemistry*, vol. 221, 2017, pp. 143–152.
- El-Khateeb, Amal Y., et al. "Antimicrobial Activity of Natural Extracts on Pathogenic Microorganisms." *Archives of Microbiology & Immunology*, vol. 4, no. 2, 2020, pp. 145–154.
- Li, Ting, et al. "Effect of Stratification and Gibberellic Acid on the Germination of *Pistacia vera* L. Seeds." *Journal of Forestry Research*, vol. 27, no. 3, 2016, pp. 623–630.
- Liu, Ying, et al. "Comparative Analysis of Flavonoids in Sea Buckthorn Extracts Obtained by Different Methods." *Phytochemistry Letters*, vol. 12, 2015, pp. 1–6.
- Nazzaro, Filomena, et al. "Effect of Essential Oils on Pathogenic Bacteria." *Molecules*, vol. 18, no. 6, 2013, pp. 6983–6996.
- Ruan, Shuangcheng, Qiang Xue, and Krystyna Tylkowska. "The Influence of Soaking Conditions on the Germination and Health of Rice Seeds." *Seed Science and Technology*, vol. 30, no. 2, 2002, pp. 451–458.
- Sharma, A., et al. "Extraction and Estimation of Tannins in Sea Buckthorn." *Indian Journal of Natural Products and Resources*, vol. 8, no. 3, 2017, pp. 243–247.

References bibliographiques

- Singh, Vinod Kumar, et al. "Phenolic Compounds in Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) and Their Health Benefits." *Food Research International*, vol. 130, 2020, 108934.
- Upadhyay, R., et al. "Total Phenolic, Total Flavonoid and Antioxidant Activity of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.)." *Journal of Food Science and Technology*, vol. 47, no. 5, 2010, pp. 541–546.
- Bal, L. M., et al. "Sea buckthorn berries: a potential source of valuable nutrients for nutraceuticals and cosmeceuticals." *Food Research International* 44.7 (2011): 1718–1727.
- Christaki, E. "Hippophae rhamnoides L. (sea buckthorn): a potential source of nutraceuticals." *Food and Public Health* 2.3 (2012): 65–72.
- Pundir, S., et al. "Optimization of polyphenol extraction and antioxidant activity of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) berries." *Journal of Food Science and Technology* 58.2 (2021): 678–687.
- Wang, Hui, et al. "Quantitative and Qualitative Analysis of Flavonoids in Sea Buckthorn Using UPLC-MS/MS." *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 52, 2016, pp. 115–121.
- Xu, Mingwei, et al. "Extraction and Characterization of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) Oil by Supercritical CO₂ and Soxhlet Extraction." *International Journal of Food Science & Technology*, vol. 46, no. 11, 2011, pp. 2348–2354.
- Xu, Mingwei, et al. "Comparative Study on Antioxidant Activity of Sea Buckthorn Extracts Obtained by Different Extraction Methods." *Journal of Food Biochemistry*, vol. 45, no. 2, 2021, e13594.
- Yang, Baoru, et al. "Characterization of Oil Components of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) Seeds and Berries." *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 49, no. 5, 2001, pp. 1939–1947.
- Yilmaz, Elif, et al. "Phenolic Composition and Antioxidant Activity of Pistachio (*Pistacia vera* L.) Oils Obtained by Cold Pressing and Solvent Extraction." *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 41, no. 6, 2017, e13188.

References bibliographiques

- Zeb, Alam. "Chemical Composition and Characteristics of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) Seed Oil." *Food Chemistry*, vol. 92, no. 4, 2005, pp. 527–533.
- Zeb, Alam. "Important Therapeutic Attributes of Sea Buckthorn (*Hippophae*): A Review." *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 138, no. 2, 2011, pp. 268–278.
- Zeb, Alam. "Antioxidant Activity of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) Seed Extract." *Pakistan Journal of Nutrition*, vol. 3, no. 2, 2004, pp. 99–102.
- Zeb, Alam. "Protective Role of Sea Buckthorn Flavonoids against Lipid Peroxidation: A DPPH Assay." *Phytotherapy Research*, vol. 20, no. 7, 2006, pp. 599–605.
- Zhang, Rui, et al. "Comparison of Different Solvents for Soxhlet Extraction of Bioactive Compounds from Sea Buckthorn Pulp." *Journal of Medicinal Plants Research*, vol. 9, no. 3, 2015, pp. 90–96.

Annexe

Annexe

Annex1: Courbes d'étalonnage

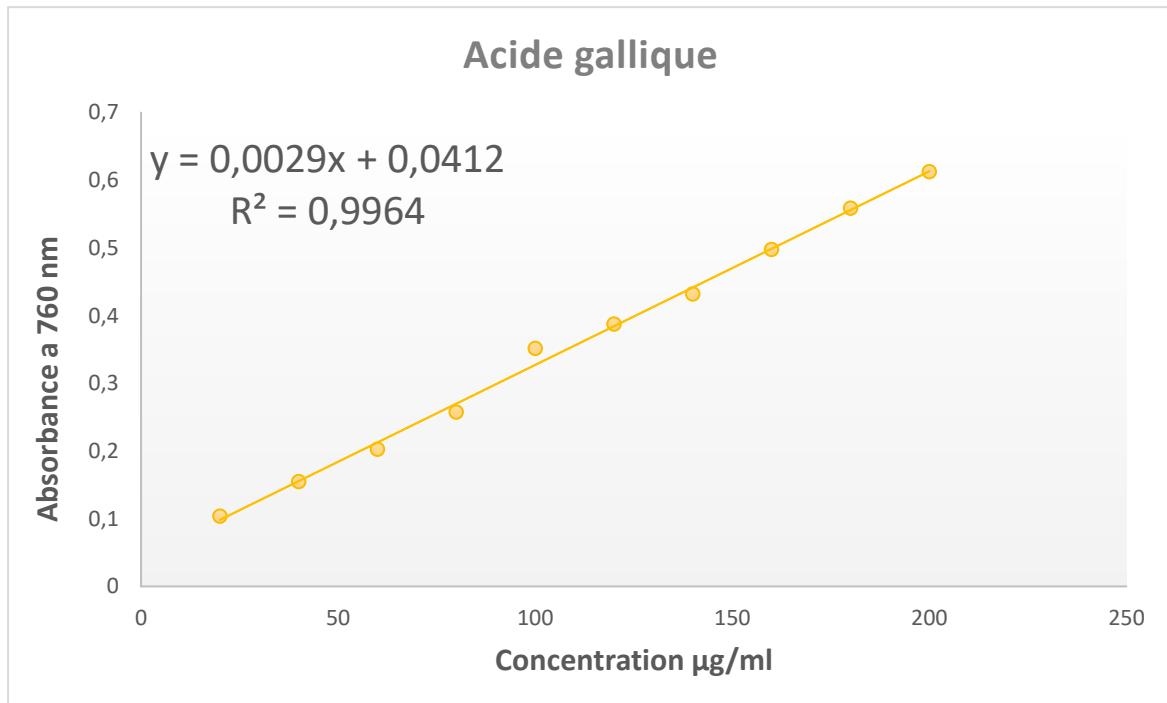


Figure 65 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique pour la teneur des polyphenols totaux.

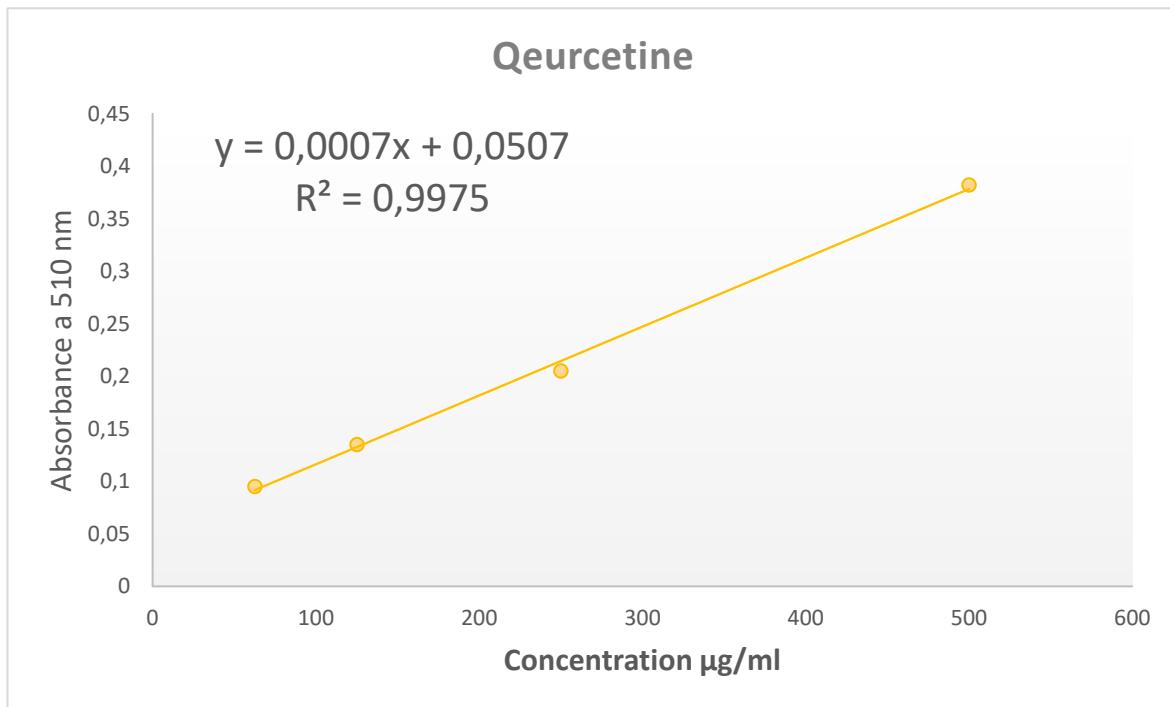


Figure 66: Courbe d'étalonnage de quercétine pour la teneur des flavonoïdes totaux.

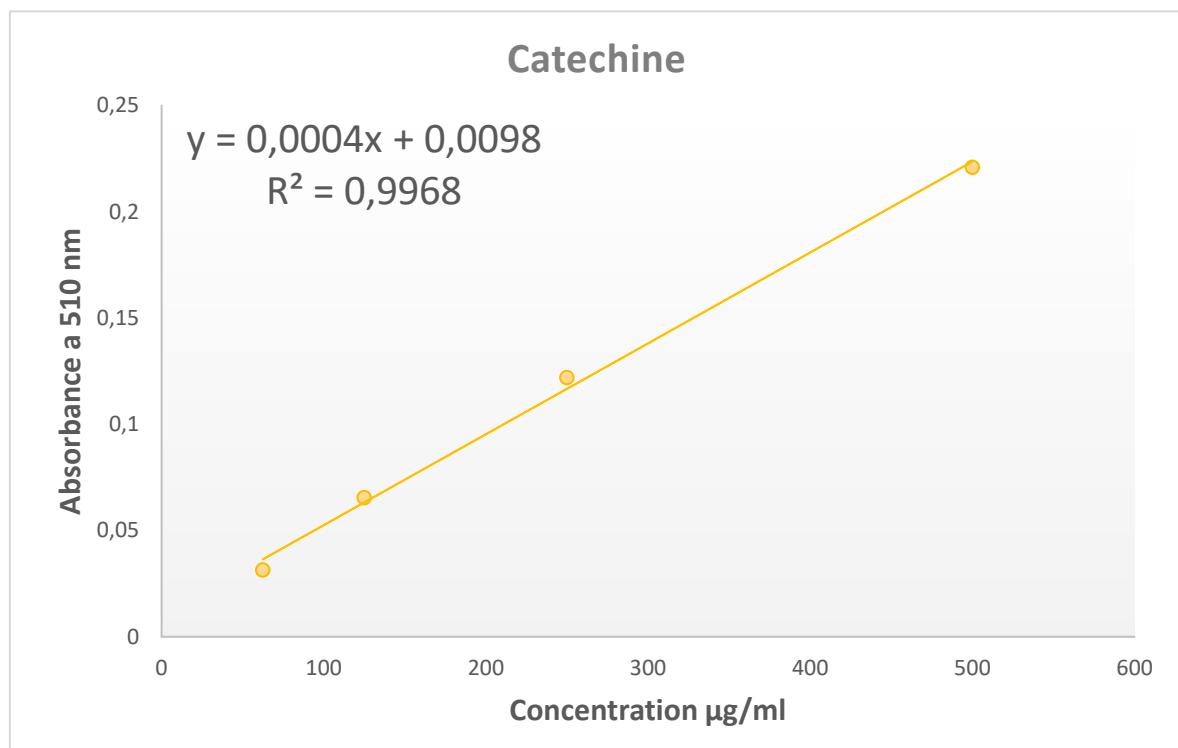


Figure 67: Courbe d'étalonnage de catéchine pour la teneur des tanins.

Annex 2 : Préparation des solutions

Préparation de solution de quercétine :

La solution mère (500 µg/ml) a été préparée en dissolvant 50 mg de quercétine dans 100 ml d'éthanol. Trois dilutions ont été effectuées : S1 (60,5 µg/ml) en diluant 12,1 ml de SM à 100 ml, S2 (125 µg/ml) avec 25 ml de SM, et S3 (250 µg/ml) avec 50 ml de SM. Les solutions ont été conservées à l'abri de la lumière.

Préparation de solution de catéchine :

La solution mère (500 µg/ml) a été obtenue en dissolvant 50 mg de catéchine dans 100 ml d'éthanol. Trois dilutions ont été préparées : S1 (60,5 µg/ml) en diluant 12,1 ml de SM à 100 ml, S2 (125 µg/ml) avec 25 ml de SM, et S3 (250 µg/ml) avec 50 ml de SM. Les solutions ont été conservées à l'abri de la lumière.

<p>Année universitaire : 2024-2025</p>	<p>Présenté par : BENARIOUA Ahmed Achraf et BENSEBBANE Amani Yasmine</p>
<p>Étude de la capacité de germination, extraction et valorisation des huiles et des extraits issues des graines de <i>Hippophae rhamnoides</i> et <i>Pistacia vera</i></p>	
<p>Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Biodiversité et Physiologie Végétale.</p>	
<p>Résumé</p> <p>L'argousier (<i>Hippophae rhamnoides</i>) et le pistachier (<i>Pistacia vera</i>) sont deux espèces végétales riches en composés bioactifs d'intérêt thérapeutique, tels que les flavonoïdes, les caroténoïdes, les acides gras insaturés, les tocophérols et les stérols végétaux. Leurs huiles, extraites à froid, sont reconnues pour leurs propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et antimicrobiennes, ce qui leur confère un potentiel significatif dans l'industrie pharmaceutique. La présente étude vise à évaluer comparativement l'activité antibactérienne, antifongique et antioxydante des huiles d'argousier et de pistache à travers des tests <i>in vitro</i>. L'activité antimicrobienne a été analysée par la méthode des puits contre <i>Escherichia coli</i> et <i>Bacillus subtilis</i>, tandis que l'effet antifongique a été étudié sur milieu PDA contre <i>Fusarium</i> spp. et <i>Verticillium</i> spp. L'activité antioxydante a été mesurée par le test DPPH. Les résultats ont révélé que l'huile d'argousier présente un forte capacité antioxydante et antifongique, tandis que l'huile de pistache a montré une efficacité plus marquée contre les bactéries Gram positives. Ces résultats soulignent l'intérêt de ces deux huiles dans la formulation de produits pharmaceutiques naturels à visée antimicrobienne et antioxydante.</p>	
<p>Mots-clés : Huile d'argousier, Huile de pistache, Composés bioactifs, Activité antimicrobienne, Antioxydant, Industrie pharmaceutique.</p>	
<p>Laboratoires de recherche : laboratoire de Développement et de Valorisation des Ressources Phytogénétiques (DVRP) (U Constantine 1 Frères Mentouri).</p>	
<p>Président du jury : MADI Aicha (MCA - U Constantine 1 Frères Mentouri).</p>	
<p>Encadrant : CHAIB Ghania (PROF - U Constantine 1 Frères Mentouri).</p>	
<p>Co-encadrant : HARRAT Wahiba (MRB – INRAA-Unité de recherche constantine).</p>	
<p>Examinateur(s) : BOUZID Salha (MCA - U Constantine 1 Frères Mentouri).</p>	

Annex
