



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة باجي مختار عنابة

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR ANNABA

FACULTÉ DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

THÈSE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE DOCTORAT EN
SCIENCES

Option : Biologie végétale

Intitulé

**CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DE QUELQUES ESPÈCES FRUITIÈRES
EXOTIQUES ACCLIMATÉES DE LA RÉGION DE SKIKDA
EN ALGÉRIE**

Présenté par : M^{me} BOUCHOUKH Imane

Devant le jury :

Président:	Mr BRINIS Louhichi	Pr.	Université Badji Mokhtar- Annaba
Encadreur:	Mr HAZMOUNE Tahar	Pr.	Université 20 Août 1955- Skikda
Co-encadreur:	Mr BOUDELA A Mokhtar	Pr.	Université Badji Mokhtar- Annaba
Examineurs:	Mr SLIMANI Ali	Pr.	Université Chadli Bendjedid- El Taref
	Mr LEGSEIR Belgacem	Pr.	Université Badji Mokhtar- Annaba
	M ^{lle} CHAIB Ghania	MCA	Université Frères Mentouri-Constantine1

Année universitaire : 2020/2021

Remerciements

Je tiens en premier lieu à remercier mon directeur de thèse, Mr **HAZMOUNE Tahar**, Professeur à l'Université du 20 Août 1955 de Skikda, pour avoir accepté de diriger ce travail et pour ses précieuses recommandations qui m'ont guidée tout au long de la réalisation de ma thèse du doctorat.

Mes remerciements s'adressent aussi à mon co-encadreur de thèse, Mr **BOUDELAA Mokhtar**, Professeur à l'Université Badji Mokhtar d'Annaba, pour ses encouragements, ses conseils et sa permanente disponibilité. Qu'il trouve ici le témoignage de ma profonde gratitude.

Je voudrais exprimer aussi mes vifs remerciements à Mr **BRINIS Louhichi**, professeur à l'université Badji Mokhtar d'Annaba, d'avoir accepté de présider le jury.

Je souhaite aussi exprimer ma sincère reconnaissance aux membres du jury, en l'occurrence Mr **SLIMANI Ali**, Professeur à l'Université Chadli Bendjedid d'El Taref, Mr **LEGSEIR Belgacem**, Professeur à l'Université Badji Mokhtar d'Annaba et Mlle **CHAIB Ghania**, Maître de Conférence « A » à l'Université des Frères Mentouri de Constantine 1 qui ont accepté de juger et d'examiner ce travail.

Je tiens particulièrement à remercier Mr **CHALABI Ramdane**, Maître-assistant « A » à l'Université du 20 Août 1955 de Skikda, qui m'a facilité l'accès au jardin botanique de l'ex Ecole régionale d'agriculture de Skikda et qui m'a été d'un grand apport scientifique et technique.

Mes remerciements vont aussi à Mr **BENSOUICI Chawki**, Chercheur et chef du laboratoire de Biochimie au Centre de Recherche en Biotechnologie de Constantine, qui m'a reçue dans son laboratoire et dont la collaboration m'a permis de réaliser une partie importante de ma thèse. Je remercie également toute l'équipe du laboratoire.

Je remercie également l'équipe de recherche du laboratoire Analyse-Qualité du Centre de Recherche en Biotechnologie de Constantine, pour l'aide qu'elle m'a apportée.

Je remercie enfin toute personne qui m'a aidée de près ou de loin à réaliser ce travail.

Dédicace

À mes chers parents qui ont tant attendu ce jour.

À mon époux qui m'a beaucoup soutenue.

À ma petite fille chérie.

À mes adorables sœurs.

À ma belle-famille.

Résumé

L'ancienne Ecole Régionale d'Agriculture de Skikda en Algérie, faisant actuellement une partie intégrante de l'université 20 août 1955, abrite différents jardins caractérisés par une importante diversité floristique, dont plusieurs espèces fruitières exotiques parfaitement acclimatées. Ces dernières sont mal connues par la population locale et rarement étudiées par la communauté scientifique nationale.

Un recensement de toutes les espèces fruitières exotiques de ces jardins nous a permis d'identifier trente-et-une espèces différentes, de décrire leur état actuel et de définir l'importance de l'érosion de certaines d'entre elles, les contraintes en cause et les moyens de sauvegarde. Parmi ces espèces, trois appartiennent à la famille des Myrtacées : le goyavier (*Psidium guajava* L.), le Feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg.) Burret) et le jambon (*Syzygium cumini* L. Skeels). Nous avons prêté une attention particulière à l'aspect phytochimique *in-vitro* de leurs feuilles, cet aspect n'ayant jamais été étudié sur ces espèces poussant en Algérie.

Le dosage de la teneur en polyphénols totaux (TPC) et en flavonoïdes totaux (TFC) a révélé des taux très élevés en ces métabolites secondaires dans les feuilles des trois espèces. L'activité antioxydante a été évaluée par six différentes méthodes : le piégeage du radical libre DPPH, le piégeage de l'ABTS, la réduction par la formation du complexe Fe^{+2} -phenanthroline, la méthode CUPRAC, le pouvoir réducteur FRAP et le test de blanchissement de la β -carotène. Les résultats obtenus montrent un pouvoir antioxydant très intéressant avec des valeurs de IC_{50} et de $A_{0.5}$ plus faibles que celles des standards dans certains tests.

Le potentiel médicinal des trois espèces étudiées a été évaluée par l'étude de leur activité anti-enzymatique. Les extraits foliaires ont exercé un pouvoir inhibiteur remarquable contre les deux cholinestérases, l'acétylcholinestérase (AChE) et la butyrylcholinestérase (BChE) qui seraient à l'origine de la maladie d'Alzheimer. L'extrait butanolique de *P. guajava* et celui de *A. sellowiana* ont donné les meilleurs résultats en inhibant l'AChE avec des IC_{50} de $16,84 \pm 5,21$ $\mu g/ml$ et $24,44 \pm 3,45$ $\mu g/ml$ respectivement.

L'activité antidiabétique a été étudiée en estimant l'inhibition d'une enzyme clé, l'alpha glucosidase. Les pourcentages d'inhibition obtenus sont spectaculaires chez les trois espèces, allant jusqu'à 100% par l'extrait d'acétate d'éthyle des trois espèces et l'extrait butanolique de *P. guajava* et *S. cumini*. Les valeurs des IC_{50} sont très basses ($< 1,95$ $\mu g/ml$).

Le pouvoir photoprotecteur des extraits foliaires des trois espèces étudiées a été évalué par l'estimation du facteur de protection solaire (SPF). Tous les extraits sont avérés à haute protection contre les rayons ultraviolet. Les valeurs du SPF sont comprises entre 46,65 et 48,45 avec un maximum donné par l'extrait d'acétate d'éthyle des trois espèces.

Toutes ces propriétés médicinales seraient directement liées à la présence des polyphénols dans les feuilles, particulièrement les flavonoïdes. Des corrélations positives existent entre le taux des polyphénols et les autres paramètres phytochimiques étudiés confirmant cette hypothèse.

Mots clés : Espèce fruitière- exotique- acclimatation- sauvegarde- *Psidium guajava*- *Acca sellowiana*- *Syzygium cumini*- polyphénols- activité antioxydante- Alzheimer- diabète- photoprotection.

Abstract

The old agronomy school of Skikda in Algeria, which, nowadays, constitutes an integral part of the University of 20 August 1955, contains different gardens that are characterized by an important floristic diversity, including many exotic fruit species that are highly acclimatized. These species are still unknown by the local population and rarely studied by the Algerian scientific community.

A census of all the exotic fruit species existing in those gardens has allowed us to identify thirty-one different species, to describe their current state, and to define the importance of the erosion of some of them, the related constraints as well as the means of safeguard.

Among these species are three belonging to the Myrtaceae family: the guava (*Psidium guajava* L.), the Feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg.) Burret), and the jambul (*Syzygium cumini* L. Skeels). We have paid particular attention to the in-vitro phytochemical aspect of their leaves, an aspect which had never been studied before in relation to these same species growing in Algeria.

The dosage of content for both the total polyphenols (TPC) and the total flavonoids (TFC) has revealed high rates of those secondary metabolites in the leaves of the three species.

The antioxidant activity has been evaluated by means of six different methods: the trapping of DPPH free radical, the trapping of the ABTS, the reduction by Fe^{+2} -phenanthroline complex formation, the CUPRAC method, the FRAP reductive power, and the bleaching of the β -carotene. The obtained results show a very interesting antioxidant power with weaker IC_{50} and $\text{A}_{0.5}$ values than the standard ones in certain tests.

Medicinal potential of the three studied species has been evaluated by a study of their anti-enzymatic activity. Foliar extracts have exerted a remarkable inhibitive power against the two cholinesterases, the acetylcholinesterase (AChE) and the butyrylcholinesterase (BChE), which might be the origin of Alzheimer's disease. The *P. guajava* and *A. sellowiana* butanolic extract has provided the best results by inhibiting the AChE with IC_{50} of $16,84 \pm 5,21 \mu\text{g/ml}$ and $24,44 \pm 3,45 \mu\text{g/ml}$ respectively.

The antidiabetic activity has also been studied, estimating the inhibition of a key enzyme, the alpha glucosidase. The obtained percentages of inhibition for the three species are spectacular, reaching up to 100% by the ethyl acetate extract of the three species and the butanolic extract of *P. guajava* et *S. cumini*. The IC_{50} values are very low ($< 1,95 \mu\text{g/ml}$).

The photoprotective power of the foliar extracts of the three studied species has been evaluated by estimating the solar protection factor (SPF). All extracts have been proved at high protection against ultraviolet rays. SPF values range from 46,65 to 48,45 with a minimum given by the ethyl acetate extract of the three species.

All these medicinal properties could be directly linked to the presence of polyphenols in the leaves, particularly flavonoids. Positive correlations existing between the rate of polyphenols and other studied phytochemical parameters have confirmed the aforementioned hypothesis.

Keywords: fruit species – exotic – acclimatization - safeguard – *Psidium guajava*- *Acca sellowiana* - *Syzygium cumini* - polyphenols - antioxidant activity - Alzheimer's disease - diabetes - photoprotection.

ملخص

يحتوي المعهد القديم للزراعة بسكيكدة بالجزائر الذي يشكل اليوم جزءا كاملا من جامعة 20 أوت 1955 على حدائق مختلفة تتميز بتنوع نباتي معتبر، حيث تتواجد العديد من الانواع المثمرة الدخيلة في هذه الحدائق والتي تمت ألفتها بشكل جيد مع الوسط البيئي. هذه الانواع غير معروفة لدى السكان المحليين ونادرا ما تدرس من طرف المجتمع العلمي في الجزائر.

تمكنا من خلال تعداد جميع الانواع المثمرة الدخيلة في هذه الحدائق من تحديد إحدى وثلاثين نوع مختلف وكذلك من وصف الوضع الحالي لهذه الانواع وتحديد أهمية اختفاء البعض منها وكذا العوائق المتسببة في ذلك وطرق الحفظ.

من بين هذه الانواع هناك ثلاثة تنتمي لفصيلة الآسيات وهي: الجوافة (*Psidium guajava* L.) الفيجوا

(*Acca sellowiana* (O. Berg.) Burret) والجامبلون (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) وقد أعرنا اهتماما أكثر للجانب الكيميائي المخبري لأوراقها، علما أنه لم تتم من قبل دراسة هذا الجانب في الجزائر بالنسبة للأنواع النباتية المذكورة أعلاه.

قياس المحتوى فيما يخص البوليفينولات الكلية (TPC) والفلافونويدات الكلية (TFC) أثبتت تواجد نسب عالية من هذه المستقلبات الثانوية في أوراق الانواع الثلاثة.

تم تقييم النشاط المضاد للأكسدة باستعمال ست طرق مختلفة: عزل الأيون الحر DPPH، عزل ABTS، الارجاع بواسطة تكوين مركب الفينانثرولين Fe^{+2} ، طريقة CUPRAC، القوة المرجعة FRAP وفحص تبييض كاروتين β و قد أثبتت النتائج المحصل عليها نشاطا مضادا للأكسدة مثير للاهتمام مصحوبا بقيم IC_{50} و $A_{0.5}$ أضعف من القيم المعيارية في بعض الفحوصات.

تم كذلك تقييم القدرة الطبية للأنواع الثلاثة المدروسة من خلال دراسة نشاطها المضاد للإنزيمات. المستخلصات الورقية كانت لها قوة مثبطة ملفتة للانتباه ضد كلتا الكولينستيراز، الأستيل كولينستيراز (AChE) واليوتيريل كوليناستيراز

(BChE) اللتين من المحتمل أن تكونا وراء الإصابة بمرض الزهايمر. مستخلص البوتاتول من *P. guajava* و *A. sellowiana* أعطى نتائج أفضل من خلال منع AChE مع IC_{50} بقيمتي $16,84 \pm 5,21 \mu g/ml$ و $24,44 \pm 3,45 \mu g/ml$ على التوالي.

قمنا بدراسة النشاط المضاد لمرض السكري بدراسة تثبيط إنزيم أساسي وهو ألفا غلوكوزيداز. النسب المئوية للتثبيط المحصل عليها مدهشة بالنسبة للأنواع الثلاثة و تصل لغاية 100% في مستخلص اسيتات الايثيل للفصائل الثلاث و مستخلص البوتاتول للنوعين *S. cumini*, *P. guajava* مع قيم IC_{50} منخفضة جدا ($1,95 \mu g/ml$).

قمنا بتقييم قوة الحماية ضد الاشعاعات الضوئية للمستخلصات الورقية للأنواع الثلاثة المدروسة من خلال تقدير عامل الحماية الضوئية (SPF) وتبين أن جميع المستخلصات تقوم بحماية عالية من الأشعة فوق البنفسجية. تتراوح قيم SPF بين 46,65 و 48,45 مع قيمة قصوى محصل عليها من مستخلص اسيتات الايثيل للأنواع الثلاثة.

جميع الخصائص الطبية يحتمل أن تكون مرتبطة بوجود بوليفينولات في الأوراق وبالأخص الفلافونويدات. وجود ارتباط ايجابي بين معدل البوليفينولات وباقي المعلمات الكيميائية النباتية المدروسة يؤكد صحة هذه الفرضية.

الكلمات المفتاحية: نوع مثمر – دخيل – تأقلم – حفظ - *Acca sellowiana*-*Psidium guajava*

Syzygium cumini- بوليفينولات – نشاط مضاد للأكسدة – الزهايمر – داء السكري – الحماية الضوئية.

Liste des abréviations

a : Are

A_{0.5} : Concentration indiquant 0,50 d'absorbance

ABTS : 2,2'-azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonique)

AChE : Acétylcholinestérase

Afzel. : Adam Afzelius

ANOVA: Analyse of variance.

BChE: Butyrylcholinestérase

BHA: Butylhydroxyanisole

BHT: Butylhydroxytoluène

Burm. f.: Nicolaas Laurens Burman.

D.A. Webb: David Allardyce Webb

EAcE : Extrait d'acétate d'éthyle

Ebut : Extrait butanolique

EChl: Extrait chloroformique.

FAO: Food and Agriculture Organization

g: gramme

GAE: Gallica Acid Equivalent

ha: Hectare

Hort.: hortulanorum

HSD : Honestly Significant Difference

IC₅₀: Half maximal inhibitory concentration

K. Koch.: Karl Heinrich Koch

L.: Linné

Lamb.: Aylmer Bourke Lambert

Lindl: John Lindley

mg : milligrammes.

Mill. : Philip Miller

ml: Millilitre.

mm: Millimètre

N. E. Hansen : Niels Ebbesen Hansen

NA: No absorbance

Nak.: Takenoshin Nakai

O. Berg: Otto Karl Berg

ONM : Office National de Météo.

P : pluviométrie

Poir. : Poiret

QE : Quercetin Equivalent

ROS : Reactive Oxygen species.

SPF : Sun Protection Factor

T : Température

TFC : Total flavonoid content

Thunb.: Carl Peter Thunberg

TPC : Total phenolic content

UV : Ultraviolet

Wangenh.: Friedrich von Wangenheim.

°C: Degré Celsius

µg : Microgrammes

Liste des figures

Figure 1- Production fruitière en Algérie 2016-2017.....	4
Figure 2- Ancienne photo de l'ancienne école d'agriculture de Skikda.....	18
Figure 3- Un jeune arbre de <i>Psidium guajava</i>	23
Figure 4- Les feuilles et les fleurs de <i>Psidium guajava</i>	24
Figure 5- Le fruit de <i>Psidium guajava</i>	24
Figure 6- La structure chimique de quelques molécules isolées de <i>Psidium guajava</i>	33
Figure 7- L'aire de répartition du feijoa dans le monde.....	36
Figure 8- Un arbre de <i>Acca sellowiana</i>	37
Figure 9- Les feuilles de <i>Acca sellowiana</i>	39
Figure 10- La fleur de <i>Acca sellowiana</i>	39
Figure 11- Le fruit de <i>Acca sellowiana</i>	39
Figure 12- Les différents organes de <i>Acca sellowiana</i>	40
Figure 13- Un arbre de <i>Syzygium cumini</i>	51
Figure 14- Les feuilles de <i>Syzygium cumini</i>	51
Figure 15- La fleur de <i>Syzygium cumini</i>	52
Figure 16- Le fruit de <i>Syzygium cumini</i>	53
Figure 17- Les graines de <i>Syzygium cumini</i>	53
Figure 18- La structure chimique de quelques molécules isolées de <i>Syzygium cumini</i>	63
Figure 19- Structure de base des flavonoïdes.....	67
Figure 20- Principales classes des flavonoïdes.....	68
Figure 21- Voies de biosynthèse des flavonoïdes.....	69
Figure 22- Les différents types des acides phénoliques.....	71
Figure 23- La situation géographique de la zone d'étude.....	76
Figure 24- Les variations de la température moyenne durant trois périodes dans la zone d'étude.....	78
Figure 25- Les variations de la pluviométrie moyenne durant trois périodes dans la zone d'étude.....	79
Figure 26- Diagramme Ombrothermique de Gaussen de la période 2016-2018.....	79
Figure 27- L'extraction Liquide-Liquide par les différents solvants.....	83
Figure 28- Protocole du fractionnement de l'extrait hydroalcoolique par Extraction Liquide-Liquide.....	84
Figure 29- Les trois extraits foliaires de <i>Psidium guajava</i> après évaporation à sec.....	85

Figure 30- Les trois extraits foliaires de <i>Acca sellowiana</i> après évaporation à sec.....	85
Figure 31- Les trois extraits foliaires de <i>Syzygium cumini</i> après évaporation à sec.....	85
Figure 32- La microplaque à 96 puits.....	86
Figure 33- Structure de l'acide gallique.....	87
Figure 34- La courbe d'étalonnage de l'acide gallique.....	87
Figure 35- Structure de la quercétine.....	88
Figure 36- La courbe d'étalonnage de la quercétine.....	89
Figure 37- Préparation des différentes dilutions de nos extraits.....	90
Figure 38- Utilisation de la microplaque dans les tests antioxydants.....	90
Figure 39- Réaction du test DPPH.....	91
Figure 40- Réaction du test ABTS.....	92
Figure 41- Formation du complexe Fe^{2+} -phenanthroline.....	93
Figure 42- Réaction du test FRAP.....	94
Figure 43- Réduction du complexe chromogène de Cu^{+2} -Nc.....	96
Figure 44- Mécanisme chimique du test anti- cholinestérase.....	98
Figure 45- L'hydrolyse de <i>p</i> -Nitrophenyl α -D-glucopyranoside par l' α -glucosidase.....	99
Figure 46- Le jardin botanique de l'ancienne école d'agriculture de Skikda.....	103
Figure 47- Le jardin de la villa d'hôte de l'ancienne école d'agronomie de Skikda.....	105
Figure 48- Le jardin exotique de l'ancienne école d'agriculture de Skikda.....	107
Figure 49- Jeune avocatier greffé.....	111
Figure 50- fruits de l'avocatier	111
Figure 51- Fruits du cognassier.....	111
Figure 52- Bouturage du Feijoa.....	112
Figure 53- Marcottage par couchage du Feijoa.....	112
Figure 54- Marcottage par buttage du Feijoa.....	112
Figure 55- Arbre de Cerisier de cayenne.....	113
Figure 56- Fruit du cerisier de cayenne.....	113
Figure 57- Arbre du plaqueminier.....	113
Figure 58- Fruits du plaqueminier.....	113
Figure 59- Arbres du goyavier.....	114
Figure 60- Marcottage aérien du goyavier.....	114
Figure 61- Arbre du pacanier.....	114
Figure 62- Fruits du pacanier.....	114

Figure 63- Arbre du jamblon	115
Figure 64- Jeune plants du jamblon issus d'un semis par graines.....	115
Figure 65- Arbre du néflier.....	115
Figure 66- Arbre du grenadier.....	115
Figure 67- Dosage des phénols totaux et des flavonoïdes sur les microplaques.....	116
Figure 68- Résultat sur microplaque du test de piégeage du radical DPPH des trois extraits foliaires de <i>P. guajava</i>	122
Figure 69- Résultat sur microplaque du test de piégeage du radical ABTS des trois extraits foliaires de <i>P. guajava</i>	124
Figure 70- Résultat sur microplaque du test de réduction du complexe Fe ²⁺ -phénantroline des trois extraits foliaires de <i>P. guajava</i>	125
Figure 71- Résultat sur microplaque du test du pouvoir réducteur (FRAP) des trois extraits foliaires de <i>P. guajava</i>	127
Figure 72- Résultat sur microplaque du test de blanchissement de la β-carotène des trois extraits foliaires de <i>P. guajava</i>	128
Figure 73- Résultat sur microplaque du test réduction du cuivre (CUPRAC) des trois extraits foliaires de <i>P. guajava</i>	130
Figure 74- Résultat sur microplaque du test de piégeage du radical DPPH des trois extraits foliaires de <i>A. sellowiana</i>	133
Figure 75- Résultat sur microplaque du test de piégeage du radical ABTS des trois extraits foliaires de <i>A. sellowiana</i>	134
Figure 76- Résultat sur microplaque du test de réduction du complexe Fe ²⁺ -phénantroline des trois extraits foliaires de <i>A. sellowiana</i>	136
Figure 77- Résultat sur microplaque du test du pouvoir réducteur (FRAP) des trois extraits foliaires de <i>A. sellowiana</i>	137
Figure 78- Résultat sur microplaque du test de blanchissement de la β-carotène des trois extraits foliaires de <i>A. sellowiana</i>	139
Figure 79- Résultat sur microplaque du test réduction du cuivre (CUPRAC) des trois extraits foliaires de <i>A. sellowiana</i>	140
Figure 80- Résultat sur microplaque du test de piégeage du radical DPPH des trois extraits foliaires de <i>S. cumini</i>	144
Figure 81- Résultat sur microplaque du test de piégeage du radical ABTS des trois extraits foliaires de <i>S. cumini</i>	145

Figure 82- Résultat sur microplaque du test de réduction du complexe Fe^{2+} -phénantroline des trois extraits foliaires de <i>S. cumini</i>	147
Figure 83- Résultat sur microplaque du test du pouvoir réducteur (FRAP) des trois extraits foliaires de <i>S. cumini</i>	148
Figure 84- Résultat sur microplaque du test de blanchissement de la β -carotène des trois extraits foliaires de <i>S. cumini</i>	150
Figure 85- Résultat sur microplaque du test réduction du cuivre (CUPRAC) des trois extraits foliaires de <i>S. cumini</i>	151
Figure86- Résultat sur microplaque de l'activité anti-acétylcholinestérase des extraits foliaires de <i>P. guajava</i>	155
Figure87- Résultat sur microplaque de l'activité anti-acétylcholinestérase des extraits foliaires de <i>A. sellowiana</i>	156
Figure88- Résultat sur microplaque de l'activité anti-acétylcholinestérase des extraits foliaires de <i>S. cumini</i>	157
Figure89- Résultat sur microplaque de l'activité anti-butyrylcholinestérase des extraits foliaires de <i>P. guajava</i>	158
Figure90- Résultat sur microplaque de l'activité anti-butyrylcholinestérase des extraits foliaires de <i>A. sellowiana</i>	159
Figure91- Résultat sur microplaque de l'activité anti-butyrylcholinestérase des extraits foliaires de <i>S. cumini</i>	160
Figure 92- Résultat sur microplaque du test de l'inhibition de l' α -glucosidase des extraits foliaires de <i>P. guajava</i>	166
Figure 93- Résultat sur microplaque du test de l'inhibition de l' α -glucosidase des extraits foliaires de <i>A. sellowiana</i>	167
Figure 94- Résultat sur microplaque du test de l'inhibition de l' α -glucosidase des extraits foliaires de <i>S. cumini</i>	169

Liste des tableaux

Tableau 1- Utilisations commerciales de <i>P. guajava</i> dans le monde.....	28
Tableau 2- La valeur nutritionnelle d'un fruit de <i>Psidium guajava</i>	29
Tableau 3 - Différentes utilisations traditionnelles de <i>Psidium guajava</i> dans le monde...	30
Tableau 4- La valeur nutritionnelle du fruit d' <i>Acca sellowiana</i>	45
Tableau 5- La valeur nutritionnelle d'un fruit de <i>Syzygium cumini</i>	57
Tableau 6- Utilisations traditionnelles de <i>S. cumini</i>	58
Tableau 7- Les composés chimiques présents dans les différentes parties de <i>S. cumini</i>	61
Tableau 8- Occupation des terres de l'ancienne école d'agriculture de Skikda.....	77
Tableau 9- Les différentes catégories de protection solaire selon le SPF.....	100
Tableau 10- Valeurs de FPS et pourcentage correspondant de blocage des rayons UV....	101
Tableau 11- Espèces fruitières exotiques recensées au jardin botanique de l'ancienne école d'agriculture de Skikda.....	104
Tableau 12- Espèces fruitières exotiques recensées au jardin de la villa d'hôte de l'ancienne école d'agriculture de Skikda.....	106
Tableau 13- Espèces fruitières exotiques recensées au jardin exotique.....	108
Tableau 14- Teneurs en phénols totaux (TPC) et en flavonoïdes (TFC) des trois extraits foliaires de <i>Psidium guajava</i>	117
Tableau 15- Teneurs en phénols totaux (TPC) et en flavonoïdes (TFC) des trois extraits foliaires de <i>Acca sellowiana</i>	118
Tableau 16- Teneurs en phénols totaux (TPC) et en flavonoïdes (TFC) des trois extraits foliaires de <i>Syzygium cumini</i>	120
Tableau 17- Inhibition du radical DPPH par les différents extraits foliaires de <i>P. guajava</i>	123
Tableau 18- Inhibition du radical ABTS par les différents extraits foliaires de <i>P. guajava</i>	124
Tableau 19- Absorbances du complexe Fe^{2+} - phénantroline des différents extraits foliaires de <i>P. guajava</i>	126
Tableau 20- Absorbances du pouvoir réducteur (FRAP) des différents extraits foliaires de <i>P. guajava</i>	127

Tableau 21- Inhibition du blanchissement de la β -carotène par les différents extraits foliaires de <i>P. guajava</i>	129
Tableau 22- Absorbances du pouvoir réducteur du cuivre (CUPRAC) des différents extraits foliaires de <i>P. guajava</i>	130
Tableau 23- Inhibition du radical DPPH par les différents extraits foliaires de <i>A. sellowiana</i>	133
Tableau 24- Inhibition du radical ABTS par les différents extraits foliaires de <i>A. sellowiana</i>	135
Tableau 25- Absorbances du complexe Fe^{2+} - phénantroline des différents extraits foliaires de <i>A. sellowiana</i>	136
Tableau 26- Absorbances du pouvoir réducteur (FRAP) des différents extraits foliaires de <i>A. sellowiana</i>	138
Tableau 27- Inhibition du blanchissement de la β -carotène par les différents extraits foliaires de <i>A. sellowiana</i>	139
Tableau 28- Absorbances du pouvoir réducteur du cuivre (CUPRAC) des différents extraits foliaires de <i>A. sellowiana</i>	141
Tableau 29- Inhibition du radical DPPH par les différents extraits foliaires de <i>S. cumini</i> .	144
Tableau 30- Inhibition du radical ABTS par les différents extraits foliaires de <i>S. cumini</i> ..	146
Tableau 31- Absorbances du complexe Fe^{2+} - phénantroline des différents extraits foliaires de <i>S. cumini</i>	147
Tableau 32- Absorbances du pouvoir réducteur (FRAP) des différents extraits foliaires de <i>S. cumini</i>	149
Tableau 33- Inhibition du blanchissement de la β -carotène par les différents extraits foliaires de <i>S. cumini</i>	150
Tableau 34- Absorbances du pouvoir réducteur du cuivre (CUPRAC) des différents extraits foliaires de <i>S. cumini</i>	151
Tableau 35- Inhibition de l'acétylcholinestérase (AChE) par les différents extraits foliaires de <i>P. guajava</i>	155
Tableau 36- Inhibition de l'acétylcholinestérase (AChE) par les différents extraits foliaires de <i>A. sellowiana</i>	156
Tableau 37- Inhibition de l'acétylcholinestérase (AChE) par les différents extraits foliaires de <i>S. cumini</i>	157

Tableau 38- Inhibition de la butyrylcholinestérase (BChE) par les différents extraits foliaires de <i>P. guajava</i>	159
Tableau 39- Inhibition de la butyrylcholinestérase (BChE) par les différents extraits foliaires de <i>A. sellowiana</i>	160
Tableau 40- Inhibition de la butyrylcholinestérase (BChE) par les différents extraits foliaires de <i>S. cumini</i>	161
Tableau 41- Inhibition de l' α -glucosidase des extraits foliaires de <i>P. guajava</i>	167
Tableau 42- Inhibition de l' α -glucosidase des extraits foliaires de <i>A. sellowiana</i>	168
Tableau 43- Inhibition de l' α -glucosidase des extraits foliaires de <i>S. cumini</i>	169
Tableau 44 – Résultats du SPF mesuré des trois extraits foliaires des espèces étudiées...	175

Sommaire

Introduction générale	1
Partie 1- Synthèse bibliographique	
Chapitre 1- L’arboriculture fruitière en Algérie	
1.1- Généralités.....	4
1.2- Origine des espèces fruitières de l’Algérie.....	5
1.3- Classification des espèces fruitières cultivées en Algérie.....	5
1.4- Les contraintes de production de l’arboriculture fruitière.....	6
1.4.1- Contraintes abiotiques.....	6
1.4.2- Contraintes biotiques.....	7
1.4.3- Contraintes techniques.....	8
1.5- La reproduction des arbres fruitiers.....	10
1.5.1- La reproduction sexuée.....	10
1.5.2- La reproduction asexuée (Multiplication végétative).....	11
1.5.2.1- Le bouturage.....	12
1.5.2.2- Le marcottage.....	13
1.5.2.3- Le greffage.....	15
1.5.3- Multiplication par culture in vitro.....	15
1.6- Espèces fruitières exotiques en Algérie.....	16
1.6.1- Le Jardin d’essai du Hamma d’Alger.....	16
1.6.2- L’ancienne école d’agriculture de Skikda.....	17
Chapitre 2- Monographie des espèces fruitières exotiques étudiées	
2.1- Le goyavier : <i>Psidium guajava</i> L.....	20
2.2- Le Feijoa : <i>Acca sellowiana</i> (O. Berg) Burret.....	34
2.3- Le jambon : <i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels.....	49
Chapitre 3- Activité antioxydante et polyphénols	
3.1- Les antioxydants	64
3.2- Les composés phénoliques (polyphénols)	66
3.2.1- Généralités.....	66
3.2.2- Classification des composés phénoliques.....	67
3.2.2.1- Les flavonoïdes.....	67
3.2.2.2- Les acides phénoliques.....	70
3.2.2.3- Les tanins.....	72

3.2.3- Rôle protecteur des polyphénols.....	72
---	----

Partie 2- Partie expérimentale

Matériels et méthodes

1- Présentation de la zone d'étude	76
1.1- Situation géographique.....	76
1.2- Occupation des terres.....	77
1.3- Climat.....	77
1.4- Conditions édaphiques de la zone d'étude.....	80
2. Paramètres étudiés.....	80
2.1- Recensement des espèces fruitières exotiques de l'ancienne école d'agronomie de Skikda.....	80
2.2- Etude phytochimique.....	81
2.2.1- Matériel végétal utilisé.....	81
2.2.2- Préparation des extraits foliaires.....	81
2.2.2.1- La macération.....	81
2.2.2.2- Fractionnement de l'extrait hydroalcoolique par Extraction Liquide-Liquide (ELL).....	81
2.2.3- Dosage de la teneur en phénols totaux (TPC).....	86
2.2.4- Dosage de la teneur en flavonoïdes (TFC).....	88
2.2.5- Activité antioxydante.....	89
2.2.5.1- Le test de piégeage du radical DPPH.....	91
2.2.5.2- Le test du piégeage du radical d'ABTS (ABTS scavenging activity).....	92
2.2.5.3- Le test de l'activité de Phénanthroline (Phen assay).....	93
2.2.5.4- Le test du pouvoir réducteur FRAP (Reducing power)...	94
2.2.5.5- Le test de blanchissement de la β -carotène.....	95
2.2.5.6- Le test de la capacité antioxydante par réduction du cuivre (CUPRAC).....	96
2.2.6- Activité anti enzymatique.....	97
2.2.6.1- Activité anticholinestérase (anti-Alzheimer).....	97
2.2.6.2- Activité anti-alpha glucosidase (antidiabétique).....	99
2.2.7- Activité photoprotectrice.....	100
2- Analyse statistique.....	101

Résultats et discussion

1- Recensement des espèces fruitières exotiques de l'ancienne école de l'agriculture de Skikda.....	102
1.1- Les espèces fruitières exotiques du jardin botanique.....	102
1.2- Les espèces fruitières exotiques du jardin de la villa d'hôtes.....	105
1.3- Les espèces fruitières exotiques du jardin exotique.....	107
2- Etude phytochimique.....	116
2.1- Dosage des phénols totaux (TPC) et des flavonoïdes totaux (TFC).....	116
2.1.1- Le goyavier (<i>Psidium guajava</i>).....	117
2.1.2- Le Feijoa (<i>Acca sellowiana</i>).....	118
2.1.3- Le jamblon (<i>Syzygium cumini</i>).....	120
2.2- L'activité antioxydante.....	122
2.2.1- Le goyavier (<i>Psidium guajava</i>).....	122
1/ Le test de piégeage du radical DPPH.....	122
2/ Le test du piégeage du radical d'ABTS (ABTS scavenging activity).....	123
3/Le test de l'activité de réduction par la formation du complexe Fe ²⁺ -phénantroline (Phen assay).....	125
4/ Le test du pouvoir réducteur FRAP (Reducing power).....	126
5/ Le test de blanchissement de la β-carotène.....	128
6/ Le test de la capacité antioxydante par réduction du cuivre (CUPRAC)...	129
2.2.2- Le Feijoa (<i>Acca sellowiana</i>).....	133
1/ Le test de piégeage du radical DPPH.....	133
2/ Le test du piégeage du radical d'ABTS (ABTS scavenging activity).....	134
3/Le test de l'activité de réduction par la formation du complexe Fe ²⁺ -phénantroline (Phen assay).....	135
4/ Le test du pouvoir réducteur FRAP (Reducing power).....	137
5/ Le test de blanchissement de la β-carotène.....	138
6/ Le test de la capacité antioxydante par réduction du cuivre (CUPRAC)...	140
2.2.3- Le jamblon (<i>Syzygium cumini</i>).....	143
1/ Le test de piégeage du radical DPPH.....	143

2/Le test du piégeage du radical d'ABTS (ABTS scavenging activity).....	145
3/Le test de l'activité de réduction par la formation du complexe Fe ²⁺ -phénantroline (Phen assay).....	146
4/ Le test du pouvoir réducteur FRAP (Reducing power).....	148
5/ Le test de blanchissement de la β-carotène.....	149
6/ Le test de la capacité antioxydante par réduction du cuivre (CUPRAC)...	151
2.3- L'activité anti-enzymatique	154
2.3.1- Activité anticholinestérase (anti-Alzheimer).....	155
2.3.1.1- Activité anti-acétylcholinestérase (AChE).....	155
1/Le goyavier (<i>Psidium guajava</i>).....	155
2/Le Feijoa (<i>Acca sellowiana</i>).....	156
3/Le jamblon (<i>Syzygium cumini</i>).....	157
2.3.1.2- Activité anti-butyrylcholinestérase (BChE).....	158
1/Le goyavier (<i>Psidium guajava</i>).....	159
2/Le Feijoa (<i>Acca sellowiana</i>).....	160
3/Le jamblon (<i>Syzygium cumini</i>).....	161
2.3.2- Activité anti-diabétique.....	167
1/Le goyavier (<i>Psidium guajava</i>).....	167
2/Le Feijoa (<i>Acca sellowiana</i>).....	168
3/Le jamblon (<i>Syzygium cumini</i>).....	169
2.4- Activité photoprotectrice et détermination du facteur de protection solaire (SPF).....	175
Conclusion générale	178
Références bibliographiques	181
Annexes	

Introduction

générale

Introduction générale

L'arboriculture fruitière fait partie intégrante de la vie économique et sociale en Algérie. Ce vaste pays, du fait de sa position géographique privilégiée et ses diverses conditions pédoclimatiques, a en effet le privilège de mettre en culture plusieurs espèces fruitières (Benettayeb, 1993). L'arboriculture fruitière est très diversifiée en Algérie. Elle est constituée essentiellement d'olivier, de figuier, de vigne, et d'agrumes, qui sont les espèces les plus importantes sur le plan économique. Il y a eu une introduction massive de variétés de Rosacées (poirier, pommier, abricotier, pêcher, cerisier, amandier, néflier). Le palmier dattier occupe une place importante. D'autres espèces fruitières locales négligées ou exotiques telles que le pacanier, le châtaignier, le noyer, le pistachier, le figuier de barbarie, le mûrier et le bananier ont été introduites comme espèces botaniques à partir de 1881 (FAO, 2006).

L'ancienne école d'agriculture de Skikda (Université 20 Août 1955 de Skikda actuellement) a été créée au début du siècle passé sur des sols alluviaux. Elle a un patrimoine végétal d'une valeur inestimable et où les arbres fruitiers ont une place importante. Parmi ces arbres, diverses espèces fruitières exotiques sont acclimatées et sauvegardées au niveau des différents jardins dont plusieurs d'entre elles sont mal connues par la population locale. Ces espèces sont continuellement exposées à des aléas tels que les nocivités de l'urbanisation, la sécheresse, le manque d'entretien et les maladies. Ces conditions difficiles ont conduit à la disparition de plusieurs arbres fruitiers exotiques.

Les espèces tropicales renferment une grande proportion de plantes médicinales reconnues dans le monde. Une telle profusion d'espèces, identifiées mais encore jamais étudiées à fond, représente une énorme source potentielle de dérivés chimiques utiles pour l'Homme (Levingston et Zamora, 1983). En effet, la médecine populaire pratiquée par l'Homme à travers le monde est basée essentiellement sur l'utilisation des plantes comme sources de substances naturelles actives. Parmi ces substances, les composés phénoliques et notamment les flavonoïdes occupent une place importante dans le traitement de nombreuses pathologies (Kabieche, 2009).

Partout dans le monde, alors que la thérapie antioxydante gagne une importance dans le traitement de plusieurs maladies métaboliques (diabète, arthrite, cancer, vieillissement, troubles hépatiques etc.), plusieurs programmes scientifiques ont commencé d'étudier les plantes pour leurs propriétés antioxydantes potentielles (Eshwarappa *et al.*, 2014). De plus, de

nombreuses études scientifiques ont été menées pour découvrir les propriétés fonctionnelles des composés d'origine végétale, antioxydants ou autres, qui pourraient être efficaces pour la santé (Tumbas Vesna *et al.*, 2010).

Le domaine de la recherche sur les plantes médicinales a gagné une importance considérable au cours des dernières décennies et, à titre d'exemple, l'utilisation des produits naturels dans le traitement du diabète augmente dans le monde entier. La littérature disponible montre qu'il y a plus de 400 espèces végétales montrant une activité antidiabétique (Grover *et al.*, 2002).

Dans les pratiques traditionnelles, de nombreuses plantes ont été utilisées pour traiter les troubles cognitifs, y compris les maladies neuro-dégénératives comme la maladie d'Alzheimer. L'approche ethno-pharmacologique et les essais d'isolement de biomolécules ont permis d'identifier le potentiel des inhibiteurs de l'AChE d'origine végétale efficaces pour traiter les troubles de la mémoire (Mukherjee *et al.*, 2007). En outre, plusieurs travaux se sont intéressés au rôle des composés phénoliques dans les interactions des plantes avec divers facteurs de stress, en accordant une attention particulière à leurs propriétés antioxydantes. Les composés phénoliques jouent un rôle important dans la croissance et le développement des plantes, en particulier dans les mécanismes de défense et l'adaptation aux conditions climatiques (Kulbat, 2016). Il existe donc un potentiel d'utilisation de polyphénols comme indicateurs de résistance au stress abiotique (Cheruiyot *et al.*, 2007).

Parmi les espèces fruitières exotiques de l'ancienne école d'agriculture de Skikda, il existe trois espèces tropicales appartenant à la famille des Myrtacées : le goyavier (*Psidium guajava* L.), le Feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg.) Burret) et le jambon (*Syzygium cumini* L. Skeels). Ces espèces sont parfaitement acclimatées à la région de Skikda mais sont très mal connues et méritent d'être étudiées et présentées en Algérie.

Outre les fruits, les feuilles du goyavier possèdent également des avantages potentiels pour la santé. Elles étaient utilisées en médecine traditionnelle pour réguler la pression artérielle, traiter la diarrhée, résoudre les problèmes intestinaux, perdre du poids, améliorer la tonicité de la peau, traiter la toux, la constipation, la dysenterie et le scorbut. Cette espèce tropicale a été utilisée en Chine contre l'hyperglycémie (Kafle *et al.*, 2018).

Au cours des dernières années, le Feijoa a suscité un grand intérêt parmi les scientifiques en raison de sa teneur élevée en polyphénols, en particulier les flavonoïdes. Plusieurs études ont montré que ces flavonoïdes pouvaient atténuer et inhiber le stress oxydatif cellulaire

responsable de l'apparition de plusieurs maladies tel le cancer, les maladies cardiovasculaires, les maladies neuro-dégénératives et le diabète (Anik Filali *et al.*, 2019)

L'arbre du jambon possède des propriétés médicinales prouvées contre un certain nombre de maladies et son exploitation dans le domaine médical entrainerait une rentabilité économique assez élevée. Son extrait contient des composés comme les flavonoïdes, les alcaloïdes, les glycosides, les stéroïdes, les phénols, les saponines, les terpénoïdes, et les tanins (Kumar *et al.*, 2017).

Le présent travail s'inscrit-il dans le cadre de la valorisation des espèces fruitières exotiques acclimatées en Algérie et il a comme objectifs :

- Le recensement de toutes les espèces fruitières exotiques au niveau de trois jardins de l'ancienne école d'agriculture de Skikda avec une description de l'état actuel de ces espèces et de leur acclimatation.
- La présentation des risques de disparition des espèces fruitières exotiques et des moyens de sauvegarde.
- La description détaillée de trois espèces fruitières exotiques : le goyavier (*Psidium guajava* L.), le Feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg.) Burret) et le jambon (*Syzygium cumini* L. Skeels).
- L'extraction et le dosage des composés phénoliques foliaires des espèces étudiées.
- L'évaluation *in-vitro* des propriétés antioxydantes des espèces étudiées par six méthodes différentes (DPPH, ABTS, CURAC, FRAP, Phen Assay, β carotène).
- L'étude de l'activité anti enzymatique des espèces étudiées et de leur potentiel de traiter la maladie d'Alzheimer et le diabète.
- L'évaluation des propriétés photo-protectrices des espèces étudiées.

Cette thèse est divisée en deux partie :

- La première partie est une synthèse bibliographique sur l'arboriculture fruitière en Algérie, la monographie des espèces fruitières exotiques étudiées et un aperçu sur l'activité antioxydante et les polyphénols.
- La seconde partie de la thèse est réservée à la partie expérimentale qui est organisée en :
 - Matériels et méthodes pour décrire tous les protocoles expérimentaux suivis.
 - Résultats et discussion pour donner tous les résultats obtenus et leur interprétation.

A la fin, une conclusion générale résume l'importance des résultats et dégage les perspectives possibles.

Synthèse bibliographique

Chapitre 1- L'arboriculture fruitière en Algérie

1.1- Généralités

L'arboriculture fruitière est une branche de l'arboriculture spécialisée dans la culture des arbres fruitiers afin de récolter des fruits. Cette branche de l'agriculture prend une grande extension dans tout le bassin méditerranéen et c'est une partie intégrante de la vie économique et sociale de l'Algérie. Au niveau national, les plantations fruitières couvrent une superficie de 841 545 ha, soit 10% de la surface agricole utile du pays (8 445 490 ha). Elles viennent en deuxième position après les cultures herbacées (4 254 887 ha soit 50%). La viticulture occupe une place marginale avec 77 730 ha soit 0,9 % de la SAU (Nedjraoui, 2012).

A partir des années 2000 l'Algérie en adoptant le plan national pour le développement de l'agriculture (PNDA) visait le développement de la filière "arboriculture fruitière" à travers l'accroissement du rythme de plantation, l'arrachage des vieilles plantations et l'augmentation des quantités à l'exportation.

Les statistiques de la production des fruits en Algérie entre 2016 et 2017 ont montré qu'en tête on trouve les pommes et l'abricot avec plus de cinq millions de quintaux et deux millions respectivement. La production en abricot, prunes, pêche, poires et pomme a vu une hausse de 12% à 17% entre 2005 et 2017 (Moyou, 2019).

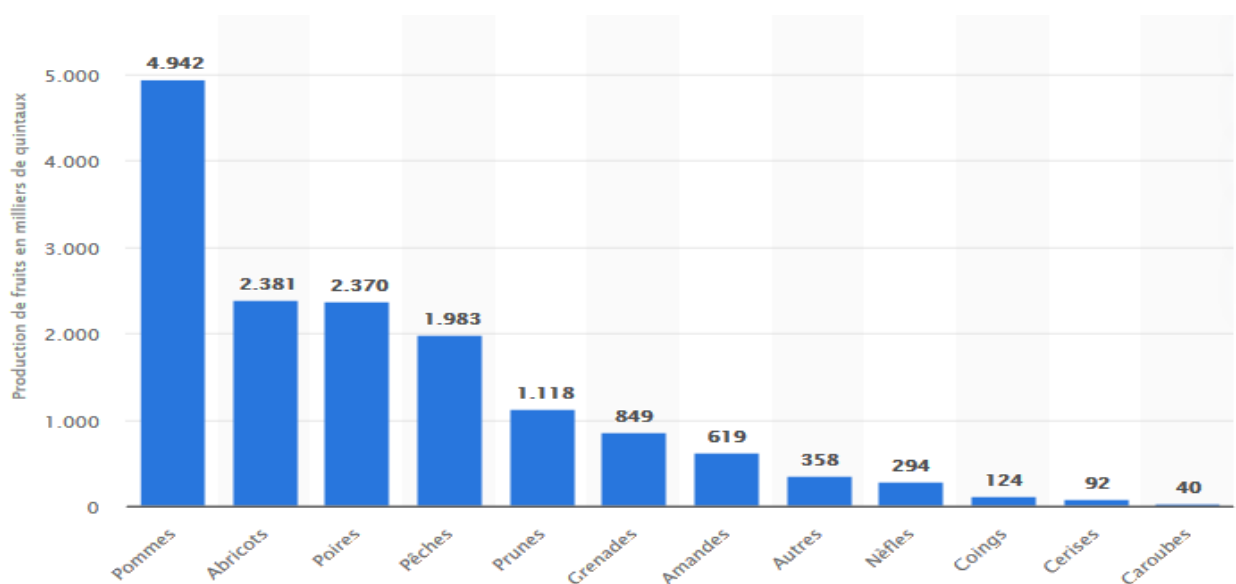


Figure 1- Production fruitière en Algérie 2016-2017 (Moyou, 2019).

1.2- Origine des espèces fruitières de l'Algérie

La plupart des espèces fruitières cultivées en Algérie proviennent de la région du Caucase qui se caractérise par un climat tempéré proche du méditerranéen, il est important de connaître l'origine de l'arbre ceci facilitera de choix du milieu de culture. Parmi 146 espèces fruitières qui existent dans le monde 85 se trouvent dans les régions tropicales et subtropicales et 60 dans les régions tempérées. Il y a une relation très étroite entre la répartition géographique des espèces fruitières en Algérie et le climat, cependant il existe des espèces fruitières qui possèdent une certaine plasticité tel que l'olivier, la vigne et le pommier (Naas, 2016).

Les différentes variétés d'espèces fruitières proviennent des améliorations successives des variétés existantes. Lors du semis des plantes on obtient des sujets différents des parents. D'autres variétés se créent naturellement par mutation c'est à dire par changement brusque de caractéristiques. L'homme peut intervenir par des produits chimiques ou par irradiation.

Il existe des espèces fruitières exotiques, d'origine tropicale ou subtropicale surtout, qui ont été introduites durant la période de colonisation française et qui se sont parfaitement acclimatées comme le plaqueminier et l'avocatier (Naas, 2016).

1.3- Classification des espèces fruitières cultivées en Algérie

Les espèces fruitières cultivées en Algérie appartiennent à plusieurs familles :

- Famille des Rosacées : Ce sont des espèces à pépin comme : le pommier (*Malus communis*), le cognassier (*Cydonia oblonga*), le néflier du Japon ou bibacier (*Eriobotrya japonica*), le poirier (*Pyrus communis*) etc..... et des espèces à noyau, comme : l'abricotier (*Prunus Armeniaca*), l'amandier (*Prunus amygdalus*), le pêcher (*Prunus Persica*)
- Famille des Rutacées : appelées communément des agrumes, représentées majoritairement par le genre *Citrus* : le citronnier (*C. limon*), l'oranger (*C. sinensis*), le clémentinier (*C. clementina*) etc.....
- Famille des Palmacées : représentée principalement par le palmier dattier (*Phoenix dactylifera*).
- Famille des Oléacées : représentée principalement par l'olivier (*Olea europea*).
- Famille des Punicacées : représentée principalement par le grenadier (*Punica granatum*).
- Famille des Vitacées Espèce : représentée principalement par la vigne cultivée (*Vitis vinifera*).

- Famille des Moracées : représentée principalement par le mûrier blanc (*Morus alba*) et le mûrier noir (*Morus nigra*) et le figuier (*Ficus carica*)
- Famille des Cactacées : représentée principalement par le figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica*) (Naas, 2016).

1.4- Les contraintes de production de l'arboriculture fruitière

1.4.1- Contraintes abiotiques

Les facteurs majeurs qui influent la croissance et le développement des plantes sont ; l'eau et la température. Les organismes vivants sont toujours soumis à l'action conjuguée de ces principaux facteurs climatiques (Battinger, 2004).

- Le manque d'humidité est l'un des principaux risques liés aux conditions climatiques auxquelles sont confrontés les producteurs d'arbres fruitiers. L'accès à l'eau durant les stades physiologiques importants de la croissance de l'arbre et des fruits est nécessaire pour obtenir un rendement optimal. La pénurie d'eau durant des périodes critiques de la croissance de la culture et du développement du fruit a un effet à la fois sur les rendements et la taille des fruits. La tendance à planter des vergers à haute densité a intensifié ce phénomène puisque les producteurs choisissent des porte-greffes nanisants aux racines peu profondes. Avec les conditions climatiques de plus en plus instables, l'approvisionnement en eau devient de plus en plus essentiel à l'obtention de fruits de qualité (Huffman, 2018).

- La température est considérée comme le facteur le plus important affectant la phénologie chez plusieurs espèces fruitières en climat tempéré (Grab et Craparo, 2011). Une augmentation des températures de 1°C pendant le début de la saison printanière mène à un avancement des phases de croissance d'environ 7 jours. La durée de la période de croissance est une mesure importante en horticulture. Des variations du cycle de développement des arbres fruitiers sont provoquées par les fluctuations des températures, ceci débutant par des perturbations des dates de la levée de dormance, qui modifient la phénologie de débourrement, de floraison, et affectent par conséquent le développement végétatif, la maturité et la production des fruits (Legave, 2007)

Parmi les arbres fruitiers les agrumes sont les plus sensibles au froid, en particulier les jeunes plants, qui, à une température de -2 °C le feuillage subit des dégâts, à -9 °C la charpente sera détruite, un froid de - 11 °C tue l'arbre jusqu'au sol (Praloran, 1971).

1.4.2- Contraintes biotiques

Ces contraintes sont généralement des ravageurs des cultures, des maladies ou bien des mauvaises herbes.

1.4.2.1- Les ravageurs des arbres fruitiers

Des milliers de ravageurs peuvent attaquer les arbres fruitiers les principales sont :

- Les Pucerons qui se caractérisent par leur apparition massive sous forme de colonies denses et serrées. Les pucerons font une absorption abondante de sève du végétal attaqué. Les espèces les plus fréquemment rencontrées sont : le puceron vert (*Aphis spiraecola*) le puceron noir (*Taxoptera aurantii*) (Baily, 1980).
- Les acariens qui sont de minuscules ravageuses. Les espèces nuisibles d'acariens sur arbres fruitiers sont nombreuses les plus importantes sont : l'acarien des bourgeons (*Aceria cheldoni*) l'acarien ravisseur (*Hemitarson emuslatus*) (Baily, 1980).
- Les cochenilles qui sont des insectes piqueurs-suceurs portant très souvent le nom commun de « poux des plantes ». Seules les espèces économiquement importantes sont mentionnées ici : cochenille noire (*Saisseria oleae*), le pou rouge (*Chrysomphalus dictyospermi*), le pou de Californie (*Aonidielle aurantii*), le pou noir (*Parlatoria zizyphus*), la cochenille virgule (*Lepidosaphes beckii*), la cochenille serpette (*Lepidosaphes glovenii*), le pou de lierre (*Aspidiotus hedera*) (Rebour 1960).
- Les coléoptères qui sont généralement des insectes très polyphages. Seules quelques espèces peuvent être considérées comme ennemies. Les groupes de coléoptères suivants apparaissent localement et périodiquement nuisibles sur les agrumes : les cétoines (*Epicomelis oxythyrea*) l'otiorrynque (*Oliorrynchus*) et les bostrychides (Baily, 1980).
- Les nématodes, l'espèce la plus importante qui évolue sur les *Citrus* est *Tylenchus* semi-pénétrants appelé « le nématode des agrumes » (Rebour, 1960).

1.4.2.2- Les maladies des arbres fruitiers

Les principales maladies aussi peuvent diminuer la production des arbres fruitiers sont :

- Les maladies fongiques qui s'attaquant aux arbres fruitiers sont très nombreuses comme la gommose parasitaire le pourridié la moisissure verte la fumagine anthracnose septoriose alternariose etc. (Turcker *et al.*, 1994).
- Les maladies virales sont considérées comme les plus graves et peuvent atteindre les agrumes car leur action néfaste entraîne dans la plupart des cas le dépérissement de l'arbre la

maladie la plus intéressante chez les agrumes est la Tristeza (*Citri virvatiis*) (Turcker *et al.*, 1994).

- Les maladies bactériennes qui sont peu répandues. Sur les agrumes des pays méditerranéens une seule est cependant observée comme relativement importante dans certaines circonstances : Bactériose ou flétrissement (*Phylomonas syringae*) (Turcker *et al.*, 1994).

1.4.2.3- Les mauvaises herbes

En arboriculture fruitière les mauvaises herbes posent rarement un problème sauf sur des jeunes plantations. Les problèmes posés par les mauvaises herbes au niveau des agrumeraies sont surtout liés à l'évolution de la flore adventice sous la pression des techniques culturales. En effet le passage d'une technique à l'autre bouleverse la composition floristique des communautés cultigènes (Maillet, 1981).

Les adventices retiennent une grande partie des éléments nutritifs mis à la disposition des arbres ne les restituent que partiellement et souvent à une époque où la culture n'en a plus un besoin essentiel. En vergers d'agrumes le prélèvement d'azote par les mauvaises herbes peut atteindre 38,6% (Takaqi et Akamatsu, 1985).

1.4.3- Contraintes techniques

1.4.3.1- L'irrigation

En Algérie, la plus part des périmètres irrigués sont confrontés aux problèmes de raretés de l'eau d'irrigation qui diffèrent selon les régions bioclimatique et agro pédologiques ; la dégradation avancées du sol suite à l'action conjuguée de l'irrigation non maîtrisée, la salinité des eaux, l'insuffisance et/ ou l'absence de drainage et la rareté des amendements organiques est remarquable. La dimension de ce problème qui touche pratiquement une grande partie des terres agricoles constitue une contrainte majeure au développement agricole, qui tend par ailleurs, à prendre plus d'importance avec les diverses extensions (Kessira, 2005).

L'arboriculture fruitière en irrigué s'est considérablement développée durant les dix dernières années et constitue un des plus gros consommateurs d'eau d'irrigation. En Algérie Dans les conditions relativement arides et semi-arides, il est indispensable de recourir à l'application de l'irrigation déficitaire régulée IDR car la nouvelle tendance de l'irrigation des vergers s'oriente vers un certain rationnement (Chenafi *et al.*, 2016).

L'équipement pour irriguer est différent selon le système d'irrigation choisi. Aujourd'hui, les systèmes d'irrigation sont diversifiés. Parmi les plus efficaces : le goutte-à-goutte. Cette technique qui permet de réduire considérablement la consommation d'eau mais nécessite une infrastructure coûteuse. Les technologies assurent une gestion optimisée de l'irrigation à un moment où les économies d'eau deviennent une obligation urgente et collective. Elles sont ainsi une réponse prenant en compte les considérations techniques, besoins en eau des cultures, réserves en eau du sol et équipements d'irrigation (Chalabi, 2014).

1.4.3.2- La fertilisation

L'arbre puise ses éléments nutritifs principalement dans le sol par l'intermédiaire de ses racines. Or les réserves du sol ne sont pas immuables. Lorsque celui-ci est cultivé, les plantes ou les arbres pompent leurs aliments et le sol s'appauvrit, perdant sa fertilité. Pour compenser ces pertes et maintenir ou améliorer la fertilité, il faut apporter au sol de nouveaux éléments, c'est la fertilisation. Elle est donc nécessaire pour toute culture et dans tout sol si on veut maintenir un bon potentiel de productivité.

Pour les arbres fruitiers, la première fertilisation se fait au moment du rebouchage du trou, c'est la fumure de fond qui permet de rééquilibrer le sol pour un bon départ. Mais ce n'est pas suffisant pour assurer une bonne croissance aux arbres (Caovan *et al.*, 1992)

Il est inutile de vouloir tout fournir aux plantes par un apport d'engrais massif.

Le sol, même pauvre, apporte sa quote-part de nutriments. Des apports déséquilibrés ou excessifs entraîneront le contraire de l'effet désiré :

- Un chaulage exagéré (ou un excès de cendre de bois) peut gêner l'absorption de la potasse ou du magnésium.
- Un excès de potassium, acidifie le sol, entrave l'absorption du calcium ou du magnésium et cause des carences inattendues en ces éléments.
- Un gros apport de phosphore peut provoquer une carence en zinc.
- Un excès d'azote peut entraîner une accumulation d'ammoniaque dans les tissus des végétaux provoquant leur destruction ; l'engrais est alors un véritable herbicide en cas d'une dose excessive. Chacun a déjà pu constater la brûlure de la pelouse à l'endroit où sac d'engrais s'est malencontreusement renversé. Plus généralement, les excès d'azote accroissent la sensibilité aux maladies et aux parasites, favorisent les attaques de pucerons et diminuent la saveur des fruits. Ces risques sont plus importants avec les engrais chimiques ou minéraux (Anonyme, 2008).

1.4.3.3- La taille des arbres fruitiers

Bien que les principes de la taille des arbres fruitiers restent inchangés, les pratiques utilisées en arboriculture fruitière se sont quant à elles diversifiées au fil des ans. Encore aujourd'hui, même dans les vergers à haute densité, les systèmes de conduite adoptés par les arboriculteurs commerciaux reposent sur ces mêmes principes. Avant d'appliquer un système de conduite déterminé dans un verger à haute densité, il est conseillé d'examiner à fond les techniques de taille et de formation propres à ce système (Wilson, 2000).

La suppression de branches provoque toujours une réaction, plus ou moins marquée, selon la quantité de bois enlevée. Une taille importante dans la ramure entraîne la croissance de nombreuses pousses vigoureuses et improductives sur les branches (gourmant) et à la base du tronc (rejets), qu'il faudra enlever. Par conséquent, tailler trop sévèrement ou de façon inadéquate est plus néfaste que de ne pas tailler du tout. L'objectif de la taille est de corriger les défauts majeurs tout en respectant la forme naturelle de l'arbre.

1.5- La reproduction des arbres fruitiers

Les arbres fruitiers sont reproduits par divers modes de multiplication classique sexuée (semis) ou asexuée (végétative par bouturage, marcottage, greffage etc...) et récemment par une multiplication végétative *in-vitro*.

1.5.1- La reproduction sexuée

La multiplication sexuée nécessite plusieurs étapes connues telles que, le semis des graines, la sélection, la stratification et le repiquage. Chaque étape doit être maîtrisée pour réussir cette opération (Chalabi, 2014).

- **Le semis**

Il est réservé seulement aux espèces dont les caractères sont fixés. Il faut donc s'assurer de la viabilité et des disponibilités des semis. Les porte-greffes sont souvent issus de semis, ce qui nous donne un système d'encrage naturel et efficace (Poirier, 2006).

Chez le jambon par exemple, Pour le développement des semis, l'humidité est encore plus importante que l'ombre, comme les semis dans le soleil se développent bien, à condition que le sol soit maintenu humide, mais les semis à l'ombre vont mourir si le sol est sec. Les semis sont sensibles à un peu de gel, en particulier sur un terrain herbeux, où ils sont souvent tués. (Lisan, 2017).

- **La sélection**

Les graines destinées au semis doivent être récoltées à maturité complète sur des arbres sélectionnés pour leur état sanitaire et leur vigueur (Chalabi, 2014).

- **La stratification**

Les semis doivent subir une stratification, c'est-à-dire une période déterminée de froid humide pour lever les dormances établies lors de la maturation de la semence (Poirier, 2006). La stratification est utilisée pour les espèces à noyaux; pour le pacanier cette opération est plus que nécessaire. La date de la mise en stratification est choisie en septembre-octobre pour les noyaux et en décembre-janvier pour les pépins (Chalabi, 2014).

Si la durée de la stratification n'est pas adéquate, il se peut que les semences ne lèvent pas au printemps ; elles le feront de façon très inégale en septembre. Celles qui n'ont pas germées le feront le printemps suivant. Parfois, elles nécessitent une scarification, c'est-à-dire l'affaiblissement du tégument. Une méthode simple et souvent efficace consiste à faire tremper le tégument dans l'eau chaude (72°C) et le laisser refroidir 1 à 2 heures.

Si on ne dispose pas d'installation de serre pour les semis en mars, on doit conserver les semis avant de les stratifier et de les semer au printemps. S'ils sont semés en automne (stratification naturelle), s'assurer d'un bon couvert de neige et les protéger contre les rongeurs.

Pour les semis en serre au mois de mars, on stratifie dès la récolte d'automne. Pour un taux de réussite élevé dans certaines espèces, on laisse pointer la radicule. Avant le semis, le processus de germination est alors en marche (Poirier, 2006).

- **Le repiquage- repotage**

Sans tarder, on procède au repiquage à partir d'avril dans des conteneurs contenant un substrat. Pour les plantules issues des graines on pratique le repotage (Chalabi, 2014). Pour le jambon par exemple, Les plantes sont repiquées en 6-9 mois en lits de 30 x 30 cm (Lisan, 2017).

1.5.2- La reproduction asexuée (Multiplication végétative)

Elle permet de perpétuer les essences qui fructifient difficilement et dont on ne peut facilement avoir des graines et d'obtenir une plante identique à celle que nous voulons reproduire. C'est un mode de multiplication qui offre contrairement au semis, l'avantage de reproduire très exactement les caractères de la plante originelle ou de la portion du bois multipliée (Chalabi, 2014). Les principales techniques de multiplication végétatives sont : le bouturage, le marcottage et le greffage.

1.5.2.1- Le bouturage

Le bouturage consiste à couper un fragment, appelé bouture, d'une pousse ou d'une tige afin de reproduire à l'identique le pied mère. Un cal correspondant à une masse de cellules indifférenciées se forme alors sur la cicatrice de la bouture et émet des racines adventives. S'ensuit l'apparition des premières feuilles du plant fille. Le bouturage est dans la plupart du temps associé à des applications de substances de croissance dont la plus courante est l'auxine, appelée hormone d'enracinement (Nivot, 2005). Le bouturage a l'avantage de reproduire très exactement les caractères de la plante originelle et même de la portion de bois multipliée. Son emploi est fréquent pour multiplier Les Grenadiers, les Cognassiers, les Feijoas.

Les boutures qui sont communément exécutées sont dites à « bois sec » c'est-à-dire quand les feuilles sont tombées. Les rameaux porte boutures sont récoltés sur le pied mère, bottelés, étiquetés et mise en jauge, la base sera enterrée dans le sol. Durant la période hivernale on exécute le bouturage proprement dit et l'on confectionne la bouture qui est un rameau de 20 à 30cm de long pourvu d'yeux bien apparents (Chalabi, 2014).

Il y a différents types de bouturage :

- **Le bouturage de rameaux secs**

Les boutures lignifiées sont des tronçons ou des extrémités de rameaux aoûtés avec leur bourgeon terminal. Elles sont prélevées durant le repos hivernal de l'arbre sur des rameaux âgés d'un an à une longueur de 20 cm (Figuier). Pour réussir l'opération, la bouture doit présenter certains caractères liés à sa longueur, à son diamètre, au nombre des entre-nœuds qu'elle porte et à son état sanitaire. Elle sera traitée aux hormones de croissance dont la concentration et le temps de trempage varient suivant les espèces et les variétés. Le sol doit être également bien préparé et à une température suffisante (3,5°C à 15°C, selon la plante à multiplier) pour faciliter la rhizogénèse. Ce type de bouturage est utilisé pour plusieurs espèces fruitières comme : le figuier, le cognassier, le néflier du Japon, le Nashi et la vigne (Benettayeb, 2003).

- **Le bouturage de rameaux herbacés**

Les boutures feuillées sont des portions de bois semi-lignifiées, prélevées sur des pousses de l'année, au cours de la saison végétative. Elles mesurent environ 12-15 cm de longueur et portent généralement 2-4 feuilles dans leur extrémité apicale.

Les boutures herbacées nécessitent au préalable un traitement aux hormones de croissance ainsi qu'un traitement préventif à l'aide d'un anti-cryptogamique (Benlate). Elles sont plantées dans une serre à nébulisation pour favoriser la rhizogénèse puis sont transplantées en serre d'adaptation.

La technique nécessite un appareillage spécial qui permet de contrôler la température, l'humidité et l'intensité lumineuse, ainsi que d'importantes sommes d'argent pour financer l'installation de la serre, les chauffages, les nébulisateurs et les différentes autres charges. Les espèces fruitières multipliées par ce type de bouturage sont : Le poirier, le Nashi, le néflier du Japon, le Pommier etc (Benettayeb, 2003).

- **Le bouturage des racines**

Les boutures racinaires sont des fragments d'environ 15 cm de longueur et 1,5 cm de diamètre. Elles sont prélevées en hiver puis disposées dans un milieu favorable au bourgeonnement adventif. Les tiges néoformées qui développent une certaine longueur (3-5cm pour le pommier), sont excisées puis traitées avec une hormone de croissance (auxine) avant d'être mise à raciner dans un abri brumisé. Cette méthode de propagation est utilisée chez les peupliers et les rosacées (pommier) et fournit aux arbres qui sont destinées aux plantations à haute densité, leurs propres racines (Benettayeb, 2003).

Le bouturage des racines est une méthode populaire de production de nouveaux goyaviers. Les racines des goyaviers qui poussent près de la surface du sol sont très sujettes à la formation de nouvelles pousses. La racine est détachée, sa pointe est coupée à 5-7 cm et recouverte d'une fine couche de substrat de culture riche et très humide. Après plusieurs semaines, de nouvelles pousses devraient émerger du sol. Chaque nouvelle pousse peut être séparée et cultivée. Cette méthode ne doit être utilisée que si vous savez que l'arbre parent a été développé à partir d'une bouture et non greffé sur un porte-greffe différent. Sinon, vous pourriez obtenir quelque chose de très différent d'un goyavier (Baessler, 2018).

1.5.2.2- Le marcottage

Le marcottage est une opération au cours de laquelle une branche (la marcotte) prend racine lorsqu'elle est mise en contact du sol, ou y est enterrée, puis elle est séparée de la plante-mère vivante, et rendue indépendante.

Cette technique de multiplication analogue au bouturage, présente sur cette dernière l'avantage que les rameaux ne sont pas détachés de la plante mère qu'après l'apparition de

racine. Le marcottage permet donc de faciliter l'enracinement des espèces qui s'enracinent difficilement. Son taux de multiplication est inférieur à celui du bouturage.

Différents types de Marcottage ont été utilisés : par couchage, en butte et aérien.

- **Marcottage par couchage**

Utilisé pour de rares espèces comme le Feijoa où il est employé pour un seul arbre de car cette espèce possède des rameaux suffisamment longs, souples, flexibles, et qui peuvent facilement les incliner vers le sol.

C'est le moyen le plus facile, mais aussi le plus long pour le Feijoa (Champion, 1948). Il s'agit de courber les branches basses et les couvrir de 10 à 15 cm de terre et maintenir humide sur 7 à 15 cm. L'enracinement demande 6 à 8 mois. On sèvre et on transplante (Chalabi, 2014).

- **Marcottage en butte ou en cépée**

Cette technique est utilisée pour quelques espèces comme le Feijoa et cerisier de Cayenne. On forme une butte de terre autour de la cépée de jeunes rameaux et ils s'y enracinent rapidement par des rabattages très près du sol on provoque la naissance de nombreux rejets de la souche par la suite les sevrages des marcottes favorisent le développement (Chalabi, 2014)

- **Marcottage aérien**

Se pratique par fixation sur une tige incisée d'un manchon de mousse ou de tourbe humide retenu par un film plastique, quelques mois sont nécessaires avant que ne puisse être effectuée la séparation de la marcotte (marcotte enracinée). Cette opération s'effectue pendant l'activité végétative de l'espèce.

Le marcottage aérien a été utilisé pour la multiplication des espèces exotiques telles que le cerisier de Chine et le goyavier.

Par exemple, pour le goyavier, les arbres de pépinière pourraient être développés en 4-5 mois avec 100% de succès en utilisant le marcottage aérien (Pereira *et al.*, 2016). Deux incisions sont réalisées sur la branche et l'écorce de la branche est enlevée sur une dizaine de centimètres à l'aide d'un couteau. L'écorce est ôtée à une distance de 20 et 60 cm de l'extrémité de la branche. Un tissu en polyéthylène rempli de terre noire qui a été légèrement humidifiée est placé sous la branche. La terre doit bien entourer toute la branche. Il faut veiller à ne pas laisser de poches d'air. Enfin, Le tissu en polyéthylène est attaché à l'aide de la corde des deux côtés de la marcotte sur la partie de l'écorce non dénudée. Les marcottes

sont récoltées lorsque les racines se sont bien développées, c'est à dire plusieurs mois après la pose de la marcotte (Site net 1).

La marcotte est séparée de l'arbre-mère en sciant la branche de part et d'autre de la marcotte. Il faut veiller à laisser quelques feuilles sur la marcotte pour qu'elle puisse respirer. La marcotte doit être tout de suite transplantée dans la pépinière.

1.5.2.3- Le greffage

Le greffage consiste à prélever une partie végétative de l'arbre-mère qu'on souhaite reproduire et conserver (greffon) pour certaines de ses qualités qui sont appréciées. Le greffon sera mis en contact direct avec la plante racinée, qui est généralement caractérisée par l'adaptation, la résistance et la vigueur (porte- greffe). Après cicatrisation, le greffon et le porte-greffe vont s'unir et former une plante fonctionnelle dont le rôle nourricier est assuré par le porte-greffe (Sbay et Lamhamedy, 2015).

La réussite des greffés est fonction de certaines conditions :

- Il doit exister une certaine affinité entre le sujet et le greffon. Les greffes sont toujours possibles au sein d'un même genre, relativement plus difficiles entre genres différents, impossibles entre familles distinctes.
- Les zones génératrices ou cambiums des sujets et greffons doivent être en contact.
- L'état de végétation du sujet et du greffon doit être sensiblement identique ; les chances de succès sont augmentées quand la végétation du greffon est plus tardive que celle du sujet.
- Les greffons doivent avoir au moins un œil bien constitué d'où naîtra une pousse vigoureuse (Chalabi, 2014).

Il y a différents types de greffes employées avec les espèces fruitières : greffe par approche, greffe par rameau détaché, greffe par œil, greffe par oméga.

1.5.3- Multiplication par culture *in-vitro*

La culture *in-vitro* est étendue depuis quelques années aux espèces fruitières et ligneuses. Les exemples du fraisier et du framboisier sont bien connus. C'est surtout le remarquable comportement des pêchers amandiers GF 677 et GF 657 (Martin *et al.*, 1983).

On cultive les fragments de végétaux en aspect totale sur des milieux nutritifs artificiels adaptés à leurs besoins et dans des conditions de photopériode et de température bien définies.

Les principales raisons qui permettent d'envisager la culture *in-vitro* sont :

- Pour multiplier un arbre de qui ne peut pas l'être facilement à partir des graines ou des méthodes de multiplication végétative de type classique.
- Pour multiplier rapidement de grandes quantités de propagules de provenances d'essences supérieures.
- Pour débarrasser le matériel végétal cloné de tout agent pathogène.
- Pour rajeunir de vieux arbres par micro greffage répété *in vitro*.

1.6- Espèces fruitières exotiques en Algérie

Dès le 18^{ème} siècle, apparaissent en Europe des jardins d'acclimatation des plantes exotiques, avant même que la révolution industrielle permette de suppléer aux orangeries et aux cloches par des châssis vitrés et des serres pour protéger les plantes de la chaleur du climat.

Sous les tropiques, les Européens constituent des réseaux de jardins d'introduction afin de mettre en valeur les régions dont ils avaient pris le contrôle (Chaunet et delmas, 1995).

En période coloniale, les français ont créé deux principaux sites d'acclimatation des espèces fruitières exotiques :

- Le jardin d'Essai du Hamma d'Alger.
- L'ancienne école d'agriculture de Skikda.

1.6.1- Le Jardin d'essai du Hamma d'Alger

Le jardin d'essai du Hamma est parmi les 1800 jardins botaniques existants dans le monde et qui jouent un rôle majeur dans les domaines scientifiques, éducatifs et horticoles. Selon l'Agence Nationale pour la conservation de la Nature (ANN), le Jardin d'Essai a un aspect tropical dominé par sa végétation exotique (2500 espèces) qui est caractérisée par des allées de *figus* (*Ficus macrophylla*), les groupes de bombacacées, les cycadées, les palmiers, les musacées et une collection fort remarquable de Conifères (*Araucaria excelsa*, *Araucaria cookii*).

Claire Janson-Rossier dans son ouvrage « Ces maudits colons » en 1966 précise parmi les célèbres espèces introduites :

- La Chayotte (1845) importée du Mexique par Hardy.
- Le sorgho vivace (1892) d'Italie par Trabut.
- Le *sapindus* (1845) du Muséum de Paris par Hardy.

- Les pruniers Japonais (1894) du Japon par Trabut.
- La Washington-navel, la Valencia late, la Thomson-navel, le *Satsuma*, le Pomelo, toutes par Trabut.
- Les amandiers Américains (1930) par Comblat de la Tunisie.
- Le kaki (1894) du Japon par Trabut.
- Le Feijoa (1892) du Midi de la France par Trabut.
- L'eucalyptus (1862) d'Australie par Trabut.
- Autres arbres fruitiers exotiques : *Persea*, *Musa*, *Eugenia*, *Punica*.
- Le palmier: *Chamaedorea*, *Chamaerops*, *Arecastrum*, *Phoenix*. (Janon-Rossier, 1966)

1.6.2- L'ancienne école d'agriculture de Skikda

L'école est située à 4 kilomètres de Philippeville (Actuellement Skikda) sur la route de d'El Hadayek (ex-St Antoine) dans la vallée du Zéramna.

L'Ecole d'agriculture, créée par l'arrêté du 05 Avril 1900, par le gouverneur général de l'Algérie (Cacciuttolo, 2005) et prise en charge par la colonie depuis le 1er octobre 1924.

Cinquante ans plus tôt, en 1851 il était déjà fortement question de doter la commune d'une ferme-école, consécutive au projet d'établissement des Fermes-Ecoles en Algérie. C'est par une lettre de M. le sous-préfet de l'arrondissement, en date du 19 décembre 1850, transmissive d'une circulaire, que M. le Gouverneur général a consulté la Société agricole de Philippeville sur l'opportunité de l'établissement en Algérie de fermes-écoles semblables à celles édifiées en France à la suite du décret du 30 octobre 1848. Son but était de donner une formation pratique et théorique à des élèves aptes à devenir des agriculteurs avertis, modernes, gérants de domaine, des cadres d'entreprises agricoles et des fonctionnaires du ministère de l'agriculture (Cacciuttolo, 2005).

Cette école a formé des chefs d'exploitation, fermier ou régisseur, capables de maîtriser les méthodes culturales dans le bassin méditerranéen et de les appliquer judicieusement. Son enseignement professionnel, scientifique, pratique embrassait toutes les branches de l'agriculture Nord-Africaine.

La situation de l'arrondissement de Philippeville (Skikda actuellement), point central des cultures européennes, à proximité du siège du comité permanent du conseil général, a déterminé le choix de l'arrondissement pour la création d'une ferme-école : les deux vallées, celles du Safsaf et du Zéramna étant couvertes de fermes, dont quelques-unes de grande importance.

L'école était en même temps un établissement d'enseignement et aussi un centre de vulgarisation, par ses laboratoires, sa bibliothèque, ses collections, ses champs d'expérience et l'élite de ses professeurs (Duclos, 2010). Elle a fourni une pépinière d'ingénieurs des travaux agricoles ainsi que d'éminents œnologues et des cadres pour le privé. Elle devient école régionale d'agriculture en 1958.

Installée sur un domaine de 306 hectares, situé partie dans la vallée de Zéramna, partie sur ses coteaux de la rive gauche, l'école est des plus propices à l'enseignement par la variété de ses terres sur lesquelles sont pratiquées toutes les cultures du littoral, de ses élevages et de son équipement moderne.



Figure2- Ancienne photo de l'ancienne école d'agriculture de Skikda
(Di Costanzo, 2006).

Après l'indépendance, l'école a subi plusieurs changements d'appellations et d'objectifs de formation.

A partir du mois de Novembre 1973, elle devient un institut de technologie agricole pour la formation de techniciens de l'agriculture avec spécialisation en hydraulique agricole. Au mois d'octobre 1985 elle devient un institut de formation de techniciens supérieurs de l'agriculture avec options hydraulique agricole et productions animales sous la tutelle pédagogique du ministère de l'enseignement supérieur. Avant cette date l'institut a activé dans la formation des cadres en méthodes de gestions des exploitations agricoles autogérées restructurées dans la période du 28 mai 1981 au 30 mai 1985.

L'institut a initié des sessions de perfectionnement destinées aux ingénieurs et cadres du secteur des stages et séminaires parrainées par l'Organisation Arabe du Développement Agricole (O.A.D.A) d'une durée maximale de cinq jours.

L'école a été dissoute au Mois de septembre 1997 avec transfert de ses biens, droits, obligations et personnels à l'école nationale supérieure d'enseignement Technique de Skikda, qui sera érigée en Juillet 1998 en Centre universitaire puis université 20 Août 1955 de Skikda en Septembre 2001 (Chalabi, 2014).

La superficie totale est de 246 hectares 41ares et 52 centiares, répartie entre infrastructures, forêts et cultures (Chalabi, 2014)

Selon Ledermann (1935), le domaine comprenait :

- Douze hectares de prairie en plaine permettant, avec les pâturages en coteaux, l'entretien d'un troupeau de 40 bovins et des attelages nécessaires aux cultures.
- 2500 arbres fruitiers avec collections des variétés les plus intéressantes. Une orangerie de 5 hectares irriguée.
- 2 ha de vigne à raisin de table primeur en coteau, 12 hectares de vigne à raisin de cuve, formée des cépages présentant le plus d'intérêt pour la viticulture algérienne.
- Une collection de 22 cépages à raisin de table à époque de maturité diverses et de 32 variétés de raisins de cuve.
- 50 ha en grande culture sont soumis à un assolement rationnel. 2 ha en luzernière sont irrigués.
- 2 ha ont réservés à des cultures de plantes à tubercules et de plantes racines.
- Un jardin de 2 ha en clôtures maraîchères de saisons avec châssis vitré pour cultures hâtées.
- Une aspergerie d'un hectare.
- Une forêt avec chênes-lièges.
- Des oliviers.
- Une étable, des écuries, une porcherie, une laiterie, un rucher, une cuverie, un cellier, un atelier de forge et de charronnage, un poste de pompage pour irrigation.
- La résidence des élèves est établie à flanc de coteau, à une altitude suffisante pour jouir d'une vue agréable sur la riante vallée du Zéramna et de la brise de mer qui tempère nettement le climat en été.
- Les locaux sont spacieux et salubres et ont été considérablement améliorés par des agrandissements successifs réalisés chaque année de 1922 à 1929 (Duclos, 2010).

Chapitre 2- Monographie des espèces fruitières exotiques étudiées

2.1- Le goyavier : *Psidium guajava* L.

2.1.1- Autres noms scientifiques

Psidium guava Griseb., 1860

Psidium microphyllum Britton, 1930

Psidium pomiferum L., 1762

Psidium pumilum Vahl, 1791

Psidium pyrifera L., 1762 (Gargominy *et al.*, 2018)

2.1.2- Taxonomie

Domaine : *Biota*

Règne : *Plantae* Haeckel, 1866

Sous-Règne : *Viridiplantae*

Infra-Règne : *Streptophyta* John, Williamson et Guiry, 2011

Classe : *Equisetopsida* C.Agardh, 1825

Clade : *Tracheophyta* Sinnott ex Cavalier-Smith, 1998

Clade : *Spermatophyta*

Sous-Classe : *Magnoliidae* Novák ex Takht., 1967

Super-Ordre : *Rosanae* Takht., 1967

Ordre : *Myrtales* Juss. ex Bercht. & J.Presl, 1820

Famille : *Myrtaceae* Juss., 1789

Sous-Famille : *Myrtoideae* Sweet, 1827

Tribu : *Myrteae* DC., 1827

Sous-Tribu : *Psidiinae*

Genre : *Psidium* L., 1753

Espèce : *Psidium guajava* L., 1753

(Gargominy *et al.*, 2018)

2.1.3- Noms vernaculaires

Français : Goyavier pomme, Coqueret du Pérou, Groseillier du Cap.

Anglais: Cape gooseberry, Ground cherry.

Arabe : جوافة

Espagnol : Amer en Bolsa, Tomate Sylvestre.

2.1.4- Origine et distribution du goyavier

La goyave (*Psidium guajava* L.) est un arbre fruitier originaire des tropiques américains, il est originaire du Mexique et sa présence s'est étendue jusqu'au Brésil et dans tous les pays tropicaux (Guillouty, 2016) Le nom anglais « guava » venait probablement du nom haïtien « guajaba ».

Cet arbre pousse naturellement en Colombie (particulièrement dans les vallées du Cauca et de Magdalena), dans toute l'Amérique centrale et autour d'Oaxaca dans le sud du Mexique, généralement en bordure de cours d'eau et dans les bois marécageux le long de la côte et à l'intérieur des terres. Il est couramment cultivé dans les jardins potagers de hautes terres tempérées du Costa Rica, parfois en El Salvador, au Guatemala et dans le nord de l'Équateur.

Son introduction en Californie et en Floride n'a pas eu beaucoup de succès (Morton, 1987)

Les explorateurs espagnols ont emmené la goyave aux Philippines et les Portugais l'ont diffusée des Philippines à l'Inde. Ensuite, il s'est répandu facilement et rapidement dans les tropiques en raison de l'abondance des graines et la longue viabilité et se sont naturalisés dans la mesure où les gens dans différents pays considéraient que la goyave était indigène à leur propre région. Il est maintenant également cultivé dans les régions subtropicales (Metwally *et al.*, 2011)

Le goyavier a été introduit dans le Pacifique où il est devenu une culture importante dans certains pays insulaires. Il existe de nombreuses variétés de cet arbre fruitier qui pousse maintenant à l'état sauvage dans la brousse de nombreuses îles océaniques (Anonyme, 2014) Il était également introduit en moyen orient, particulièrement en Egypte, Palestine et Jordanie.

2.1.5- Le goyavier en Algérie

En Algérie, le goyavier a été introduit par les français au jardin botanique de l'ancienne école d'agriculture de Philippeville (Skikda) en 1952. Un seul arbre était planté et sa variété est non identifiée. La plantation de trois autres arbres a été réussie en 2010 dans le même jardin (Chalabi, 2014)

Le goyavier a été introduit au centre de l'Algérie à titre d'expérimentation (Larbi, 2009) Une ferme dans la région de Fouka à Tipaza est, pour le moment, la seule exploitation agricole

spécialisée, depuis 1978, dans la culture de la goyave avec 350 arbres (Lebbal, 2008) où un verger de 2 hectares au niveau d'un ex-domaine agricole social (Das) a été créé. Certains affirment que ce fruit a été introduit dans cette région directement du Moyen-Orient, d'autres pensent qu'il a été ramené d'Amérique Latine par les colons. Cette dernière hypothèse est la plus plausible puisque certaines maisons coloniales de Fouka ont toujours eu un ou deux goyaviers dans leurs jardins. Il a même été planté au Jardin d'Essais du Hamma, à Alger (Larbi, 2009)

2.1.6- Description botanique du goyavier

a- Le port

C'est un petit arbre légèrement noueux, très robuste. Il peut atteindre 10m de hauteur mais généralement retrouvé sous forme d'arbuste en culture. Les jeunes branches sont quadrangulaires (Guillouty, 2016)

Le tronc est mince, de 20 cm de diamètre, recouvert d'une écorce lisse verte à brun rouge qui se détache en fines flocons. Les jeunes rameaux sont pubescents (Heuzé *et al.*, 2015)

Il a un système racinaire peu profond. La goyave produit des branches à faible retombée à partir de la base et des drageons à partir des racines (Heuzé *et al.*, 2015). Le goyavier est une excellente plante pour l'étude du système racinaire qui est très développé. En saison sèche, La nappe phréatique se situant à 4,5 m, la majorité des racelles s'actives se situe dans une couche de 3 à 4,35 m de profondeur. En saison des pluies, l'ensemble du sol est humecté. La zone de racelles actives se déplace vers le haut entre 0 et 30 cm. En sol très gorgé d'eau, les racines échappent à l'asphyxie en devenant fortement aérotropiques.

On peut en déduire qu'il est intéressant, pendant la saison sèche, de maintenir le réseau de racines superficielles par des arrosages ou une protection du sol contre le dessèchement pour avoir un réseau de racines accessibles à l'engrais (Howard, 1944)



Figure 3- Un jeune arbre de *Psidium guajava*

b- La feuille

Les feuilles poussent par paires opposées. Le limbe est de forme elliptique à oblongue, mesure 5-15 cm de long et 3-7 cm de large, finement pubescente et veiné. La face dorsale est recouverte d'un duvet fin (Heuzé *et al.*, 2015).

c- La fleur

Les fleurs sont blanches mesurent 2,5 cm de diamètre. Elles présentent de nombreuses étamines, et sont individuelles ou groupées à 2 ou 3 sur un pédoncule.

d- Le fruit

Le fruit est une baie charnue, pyriforme ou ovoïde pouvant peser jusqu'à 500 g (Orwa *et al.*, 2009, Heuzé *et al.*, 2015). La couleur de la peau est jaunâtre à orange. La chair peut être blanche, jaune, rose ou rouge, aigre à douce, juteuse et aromatique (Orwa *et al.*, 2009, Heuzé *et al.*, 2015). Le fruit contient un nombre variable de graines (environ 3-5mm de long) et son mésocarpe se caractérise par la présence de petites structures fibreuses (0,1 mm) et dures appelées cellules en pierre (scléréides), ce qui peut causer des dommages aux machines de traitement (Heuzé *et al.*, 2015). Le calice est persistant (Guillouty, 2016).



Figure 4- Les feuilles et les fleurs de *Psidium guajava* (Germosen-Robineau *et al.*, 1984)



Figure 5- Les fruits de *Psidium guajava* (Site net 2).

2.1.7- La reproduction du goyavier

Le goyavier se reproduit par les deux voies, sexuée et asexuée. La fécondation est croisée, et réalisée à la fois par le vent et les insectes grâce à l'aspect ouvert de la fleur de *Psidium guajava* (Hedstrom, 1988). Les graines sont disséminées par les animaux (zoochorie) comme plusieurs oiseaux invasifs (ex. merle de Maurice). L'homme est également un vecteur important de propagation. Le goyavier pousse facilement à partir des graines mais les arbres sont variables en ce qui concerne la qualité des fruits et mettent plus de temps à produire des fruits. La germination des graines est utilisée pour produire des plantules en programmes de reproduction ou pour la production de rhizomes pour greffer sur les variétés de culture désirées (Ricupero *et al.*, 2003). L'utilisation des graines en propagation est limitée aux programmes de sélection ou production de porte-greffes. Cependant, dans les pays qui n'utilisent pas beaucoup de technologie, la goyave se multiplie encore par graines, sans greffage. Le semis des graines donne des plantes avec une grande variabilité (Pereira *et al.*, 2016).

Le goyavier peut être propagé par des méthodes de multiplication végétative : greffage, marcottage aérien ou bouturage.

2.1.8- Exigences du goyavier

2.1.8.1- Exigences climatiques

C'est un arbre originaire de la région tropicale américaine, mais qui s'est pratiquement adapté à tous les climats tropicaux et subtropicaux du monde (Ricupero *et al.*, 2003).

A cause de son origine, la goyave pousse mieux dans les zones tropicales et subtropicales exemptes de gelées. Les arbres mûrs résistent aux gelées légères. Un climat chaud et humide est idéal pour les goyaves. Pourtant, l'arbre pousse facilement aussi bien dans des climats humides que secs, depuis le niveau de la mer jusqu'à 2000m. La température optimale pour la culture de la goyave, un haut rendement et une bonne qualité des fruits varie entre 20° et 30° C. Les températures basses pendant l'hiver lors de la saison sèche entraînent une défoliation naturelle et la floraison commence dès que le climat chaud et les pluies induisent la croissance des floraisons et le système des fruits (Ricupero *et al.*, 2003).

Une croissance normale est observée dans les régions où la pluviosité varie de 1000 mm à 4500 mm par an. On a observé cependant que dans les pays où la saison sèche se prolonge pendant 5 mois ou plus dans l'année, on obtient une seule production annuelle, dont la floraison est déclenchée par l'entrée des pluies. L'écart fleurs-fruits dépasse rarement une centaine de jours. Sous les climats tropicaux à forte pluviosité, étalée dans l'année, mais avec ensoleillement suffisant (pour permettre l'activité des insectes dans la pollinisation), on observe deux productions annuelles. Le contrôle phytosanitaire doit être plus suivi que sous les climats plus secs (Le bourdellès et Estanove, 1967).

Les meilleures goyaves comestibles sont celles qui mûrissent pendant les périodes de sécheresse (Ricupero *et al.*, 2003).

2.1.8.2- Exigences édaphiques

La goyave est une plante résistante qui pousse dans la majorité des sols. Elle répond bien aux sols ayant un bon drainage et une teneur élevée en matériau biologique et préfère un sol bien drainé (Ricupero *et al.*, 2003). Le goyavier s'adapte dans des conditions variées de sols, allant de sols argileux compacts à des sols fortement sableux. Le pH de ces sols peut aller de 4,5 à 8. Le goyavier semble cependant s'adapter particulièrement dans des sols à pH 5 à 6.

Le goyavier supporte un sol inondé pendant quelques jours. Il peut avoir une émission de racines en profondeur jusqu'à 4 m de profondeur en sol moyennement compact et fertile ; il a une réaction d'adaptation rapide, en cas de remontée excessive de la nappe phréatique, par une activité augmentée du réseau de racines superficiel. On a d'ailleurs intérêt à maintenir ce dernier réseau en fonction, pour obtenir des réactions rapides aux applications d'engrais (maintien d'une large cuvette désherbée), on ne travaille le sol que très superficiellement et seulement si nécessaire (Le bourdellès et Estanove, 1967). C'est un fruit assez tolérant quant à la salinité du sol (Ricupero *et al.*, 2003)

2.1.9- Variétés du goyavier

Le goyavier commun est un diploïde ($2n = 22$), mais il y a des triploïdes naturels et artificiels ($2n = 33$), tétraploïdes ($2n = 44$; espèces El Salvador) hexaploïdes ($2n = 66$, espèces du Costa Rica) et aneuploïde. Les triploïdes produisent généralement des fruits sans graines. Les plantules d'hexaploïdes var. littorale sont extrêmement uniformes en ce qui concerne les caractéristiques des plantes et des fruits. Les arbres de plantules de la plupart de variétés cultivées varient en force et en taille, production de fruits et rendement des fruits, forme, taille, qualité, saison où ils mûrissent et capacité de stockage (Ricupero *et al.*, 2003).

Il y a une centaine de variété de *Psidium guajava* cultivées dans le monde. Quelques variétés sont utilisées comme desserts caractérisées par une grande quantité de pulpe blanche et des surfaces de couleurs attirantes. Ce groupe inclue beaucoup de variétés telles que «Mexican Cream», «Ruby X», «Hong Kong Pink», «Klom Toon», «White Indian», «Allahabad Safeda», «Lucknow 49 (Sardar)», «Red Fleshed», «Chittidar», «Nasik», «Tathem White», «Supreme», et «Elisabeth».

D'autres variétés produisent des fruits fortement acides avec une pulpe de couleur rosée ou rouge et un haut pourcentage de récupération de pulpe, par exemple «Pink Acid», «Patillo» et «Ka Hua Kula». D'autres produisent des fruits avec un mélange des deux groupes précédents comme «Beaumont», «Etheridge Selection», «Oakey Pink» et «Fanretief» (Ricupero *et al.*, 2003).

2.1.10- Phytopathologie

Les goyaviers sont gravement endommagés par l'acarien plat d'agrumes, (*Brevipalpus californicus*) en Égypte. En Inde, l'arbre est attaqué par 80 espèces d'insectes, dont 3 chenilles mangeuses d'écorce (*Indarbella* spp.) et l'écaille de la goyave, mais ces insectes

sont en général contrôlés par leurs ennemis naturels. L'écaille du bouclier vert (*Pulvinaria psidii*), nécessite des mesures chimiques en Floride, tout comme la mouche blanche de la goyave (*Trialeurodes floridensis*), et le charançon (*Anthonomus irroratus*) qui perce des trous dans les fruits en formation (Morton, 1987). En Inde, des coléoptères se nourrissent des feuilles à la fin de la saison des pluies et leurs larves, couvées dans le sol, attaquent les racines. Les larves du tireur de goyave pénètrent dans les brindilles tendres, tuant les pousses. Parfois, les pucerons sont prédominants, car ils sucent la sève de la face inférieure des nouvelles feuilles et excrètent une moisissure. Le ver de la goyave (*Argyresthia eugeniella*) infiltre de manière invisible les fruits durs, ainsi que la punaise des agrumes (*Theognis gonagia*), le scarabé jaune, (*Costalimaita ferruginea*) et (*Helopeltis antonii*), suceuses de fruits, se nourrissent de fruits mûrs. Un faux acarier (*Brevipalpus phoenicis*) provoque la rouille lorsque les fruits sont à moitié développés. La rouille et la défoliation des fruits résultent d'infestations à bandes rouges (*Selenothrips rubrocinctus*). La cochenille de la noix de coco (*Pseudococcus nipae*) pose un grave problème à Puerto Rico mais a été combattue avec succès par l'introduction de son ennemi parasite (*Pseudaphycus utilis*) (Morton, 1987).

La goyave est un hôte de choix pour les mouches des fruits méditerranéennes, orientales, mexicaines et caribéennes, ainsi que pour la mouche du melon : *Ceratitis capitata*, *Dacus dorsalis*, *Anastrepha ludens*, *A. suspensa* et *Dacus cucurbitae*.

À Puerto Rico, jusqu'à 50% de la récolte de goyave (principalement des arbres sauvages) peut être ruinée par le champignon non maîtrisable (*Glomerella cingulata*), qui momifie et noircit les fruits immatures et les fruits mûrs. De la même manière, *Diplodia natalensis* peut affecter 40% de la récolte de certains arbres en Inde du Sud (Morton, 1987).

2.1.11- Importance économique

Statistiquement, aucune étude récente et précise n'a été établie sur le pays le plus producteur de la goyave. A titre d'exemple, la production en goyave était de 21, 4, 2.7, 2.6 et 2.3 millions de tonne en Inde, Chine, Kenya, Thaïlande et Indonésie respectivement durant l'année 2012/2013 (Tiwary, 2013). Les fruits de goyave sont largement consommés dans le monde entier et constituent par conséquent une industrie commerciale majeure. Le Brésil est le premier producteur mondial de goyave avec 4 737 tonnes exportées vers les États-Unis en 2011 et Hawaii arrive en deuxième position en termes de production (selon USDA Plants Database). La goyave est généralement consommée crue, mais elle est également transformée en gelées, jus de fruits, sirops, crème glacée et tartes.

Tableau 1 - Utilisations commerciales de *P. guajava* dans le monde (Gutierrez *et al.*, 2008).

Partie utilisé	Utilisation commerciale	Pays
Fruit	Nourriture : jus, nectar en gelée, concentré, bonbons fourrés, gélamines, pâtes, produits en conserve, confiserie, etc.	Tous les pays producteurs
Feuilles	Employé pour donner une couleur noire au coton.	Sud-est de l'Asie.
	Employé pour teindre les tapis.	Indonésie.
Bois	Gravures	Inde.
	Fabrication des toupies.	Guatemala.
	Fabrication de peignes.	Le Salvador.
	Construction de maisons.	Nigéria.
Bois et feuilles	La menuiserie et le tournage utilisent les feuilles pour créer un colorant noir pour la soie.	Malaisie.
Ecorce	Teintures, encres, tatouages et mordants.	Pays d'Afrique.
Fleur de bois	L'arbre peut être parasité par le gui, <i>Psittacanthus calyculatus</i> produisant les malformations en rosette appelées «fleurs de bois» qui sont vendus pour des fins ornementales. Aussi l'arbre est ensemencé pour donner ombre au café et son bois est utilisé dans la construction	Mexique.

2.1.12- Utilisation alimentaire du goyavier

La goyave est un fruit important dans certains pays et c'est un dessert commun en Amérique Latine. Le goyavier est en outre cultivé comme clôture, plante ornementale ou produit de bois (Ricupero *et al.*, 2003). Les fruits savoureux sont comestibles et très riches en vitamine C (100 mg pour 100g de fruit). Ils ne se mangent que rarement crus, même dans les tropiques. Lorsqu'ils ne sont pas bien mûrs, les fruits sont indigestes et sont responsables de vomissements et de fièvre. Les goyaves crues sont mangées de préférence en petite quantité et sont servies en tranches en dessert ou en salade. Plus généralement, le fruit est cuit et la cuisson élimine la forte odeur et l'acidité. Les cascots de guayaba constituent un dessert très connu pour toute l'Amérique latine et les îles hispanophones des Antilles (Morton, 1987).

La gelée de la goyave est commercialisée presque universellement. Le jus de goyave, préparé à partir de fruits bouillies, tranchées, non ensemencées et filtrées, est très utilisé à Hawaï dans

les sodas à la crème glacée. Un jus de goyave limpide contenant tout l'acide ascorbique et d'autres propriétés indemnes de chaleur excessive est fabriqué en Afrique du Sud un mélange de fruit et enzyme fongique naturelle (maintenant disponible sous différentes appellations commerciales), laissant reposer pendant 18 heures à des températures variant de 49°-54° C et filtrant. Il est transformé en sirop pour les gaufres, les crèmes glacées, les puddings et les milkshakes. Le jus de goyave et le nectar font partie des nombreuses boissons aux fruits populaires en boîte ou en bouteille de la région des Caraïbes. Après avoir lavé et coupé les restes floraux, les goyaves entières dans du sirop ou simplement saupoudrées de sucre peuvent être placées dans des sacs en plastique et surgelées (Morton, 1987). Les feuilles sont administrées lors de troubles intestinaux et principalement en tant qu'anti-diarrhéique du fait de leurs propriétés astringentes. On retrouve une autre utilisation pour lutter contre les troubles menstruels et dans les cas de stress chronique ou d'anxiété (Guillouty, 2016).

2.1.13- Valeur nutritionnelle du goyavier

Grace à sa valeur nutritionnelle, la goyave est souvent incluse dans les super fruits, riches en fibres alimentaires (principalement la pectine), en vitamines A et C, en acide folique ; et les minéraux alimentaires comme le potassium, le cuivre et le manganèse (Tableau 2).

Tableau 2- La valeur nutritionnelle d'un fruit de *Psidium guajava* (Kamath *et al.*, 2008).

Substance nutritive	Teneur/ fruit
Eau	2.8-5.5g
Fibres bruts	0.9-1.0g
Protéines	0.1-0.5mg
Matière grasse	0.43-0.7mg
Cendres	9.5-10mg
Carbohydrates	9.1-17mg
Calcium	17.8-30mg
Phosphore	0.30-0.70mg
Fer	200-400µg
Carotène (Vitamine A)	0.046mg
Thiamine	0.03-0.04mg
Riboflavine	0.6-1.068mg
Niacine	40 I.U.
Vitamine G4	36-50mg

2.1.14- Utilisation médicinale de goyavier

2.1.14.1- Utilisation traditionnelle

Psidium guajava L. a une longue histoire d'utilisation traditionnelle, dont une bonne partie a été validée par la recherche scientifique. Les populations indigènes aux alentours du Mexique leur ont reconnu des vertus dans le traitement des perturbations gastro-intestinales et respiratoires. Ainsi, la plante est utilisée dans le traitement des diarrhées et gastroentérites. Les feuilles sont appliquées sur les plaies, les ulcères ou les rhumatismes. On retrouve aussi une utilisation d'extrait aqueux de feuilles contre le diabète (Guillouty, 2016).

Les utilisations ethno-médicinales comprennent l'écrasement des feuilles et l'application de l'extrait sur les plaies, les furoncles, le site infectieux de la peau et des tissus mous. La tige, l'écorce et l'écorce de racine sont astringentes. Les fruits immatures sont indigestes, provoquent des vomissements et de la fièvre. Le fruit est laxatif, les feuilles sont astringentes. Localement, la décoction de feuilles est très bénéfique pour le prolapsus anal des enfants, maux contrariés et pour le vertige. La feuille de *P. guajava* est utilisée pour traiter les troubles gastro-intestinaux et respiratoires et est utilisée en tant que médicament anti-inflammatoire. Ses effets anti-amibiens et antipaludéens ont également été documentés. La pâte de goyave et le fromage sont des plats populaires en Floride, dans les Antilles et dans certaines régions d'Amérique du Sud. La plante *P. guajava* a une activité spécialement fonctionnelle contre l'hyperglycémie (Shruthi *et al.*, 2013).

Tableau 3- Utilisations traditionnelles de *P. guajava* dans le monde (Kamath *et al.*, 2008).

Région	Utilisation traditionnelle
Amazonie	Pour la diarrhée, la dysenterie, les troubles menstruels, les maux d'estomac, les vertiges.
Brésil	Pour l'anorexie, le choléra, la diarrhée, les problèmes digestifs, la dysenterie, l'insuffisance gastrique, les muqueuses enflammées, la laryngite, la bouche (gonflement), les problèmes de peau, les maux de gorge, les ulcères, les pertes vaginales.
Cuba	Pour le froid, la dysenterie, la dyspepsie.
Ghana	Contre la toux, diarrhée, dysenterie, maux de dents
Haïti	Pour la dysenterie, diarrhée, épilepsie, démangeaisons, hémorroïdes, gale, plaies cutanées, mal de gorge, maux d'estomac, plaies comme antiseptique et astringent
Inde	Pour l'anorexie, les affections cérébrales, l'accouchement, la chorée, les convulsions, l'épilepsie, la néphrite
Malaisie	Pour la dermatose, la diarrhée, l'épilepsie, l'hystérie, les troubles menstruels

Mexique	Pour la surdité, la diarrhée, les démangeaisons, la gale, les maux d'estomac, l'enflure, l'ulcère, les vers, les plaies
Pérou	Pour la conjonctivite, la toux, la diarrhée, les problèmes digestifs, la dysenterie, l'œdème, la goutte, les hémorragies, la gastro-entérite, la gastrite, les problèmes pulmonaires, le SPM, l'état de choc, les pertes vaginales, les vertiges, les vomissements, les vers
Philippines	Pour les plaies, les blessures et comme astringent
Trinidad (Cuba)	Infections bactériennes, purification du sang, diarrhée, dysenterie.
Autres	Anorexie, courbatures, infections bactériennes, furoncles, troubles intestinaux, bronchite, catarrhe, choléra, chorée, rhumes, coliques, convulsions, toux, diarrhée, dysenterie, dyspepsie, œdème, épilepsie, fièvre, gingivite, hémorragie problèmes, nausée, néphrite, problèmes respiratoires, rhumatisme, gale, maux de gorge, spasmes, entorses, problèmes d'estomac, gonflement, tonique, maux de dents, ulcères, vers, plaies et comme antiseptique et astringent

2.1.14.2- Propriétés pharmaceutiques

Les principaux effets retrouvés sont l'effet anti-diarrhéique des extraits de feuilles. Une dose de 0,2 ml/kg de feuilles fraiches montre une diminution de 65% des mouvements intestinaux en comparaison à la morphine qui est connue pour ses propriétés anti sécrétoires au niveau intestinal. Cette activité anti-diarrhéique semble due à la diminution des sécrétions aqueuses retrouvées au cours des diarrhées. L'utilisation des feuilles dans le traitement des diarrhées induites par des microorganismes est aussi justifiée par l'effet antibactérien de *P. guajava* L. qui a été démontré sur différentes bactéries et notamment *Streptococcus mutans* et *Escherichia coli* (Guillouty, 2016). Sur des trachées isolées de rat, cette même étude rapporte une diminution de la contraction des muscles ce qui traduit une action antitussive des feuilles. Ensuite au niveau cardiovasculaire, *P. guajava* apporte un effet cardioprotecteur sur les dommages causés par l'ischémie et la reperfusion myocardique. Aussi, l'effet de l'écorce, des feuilles et des fruits de cette espèce en tant qu'agent antidiabétique a été prouvé. Enfin, l'effet hépatoprotecteur d'extrait aqueux de feuilles a été étudié et des extraits de feuilles à 500 mg/kg ont montré une significative h patoprotection (Guillouty, 2016).

2.1.15- Phytochimie du goyavier

Le goyavier contient des antioxydants, des polyphénols et des carot no ides sous forme de bêta-carotène qui contribuent à protéger les cellules et à réduire le risque de maladies cardiovasculaires, et qui ont d'autres effets bénéfiques pour la santé. Les graines contiennent des omégas 3 et six acides gras polyinsaturés. La chair se caractérise par un indice glycémique modéré de 20 à 60, selon le degré de maturité du fruit (Anonyme, 2014). En détection UV,

des anthocyanines (delphinidin-3-O-glucoside et cyanidin-3-O-glucoside) ont été identifiés, ainsi qu'une dizaine de flavonoïdes (myricetine-3-O-arabinoside, myricetine-3-O-xyloside, isorhamnetine-3-O-galactopyranoside, quercétine et isorhamnetine). On retrouve des proanthocyanidines (gallocatéchine-(4a-8)-gallocatéchol et gallocatéchine-(4a-8)-catéchine), des sesquiterpénoïdes (acide abscisique et turpinionosides A), des triterpènes (pinfaensine, pedunculoside, acide guavenoïque, acide madécassique et acide asiatique) (Flores *et al.*, 2015)

Les feuilles du goyavier sont riches en flavonoïdes en particulier en quercétine responsables de la majeure partie des qualités thérapeutiques de cette plante, et en particulier de son action antibactérienne. On pense que la quercétine contribuerait à l'action anti-diarrhéique de la goyave ; elle aurait pour effet de relâcher les muscles lisses intestinaux et d'en inhiber la contraction. D'autres flavonoïdes ainsi que les triterpènes présents dans les feuilles du goyavier présentent une action antispasmodique (Anonyme, 2014)

Le fruit qui n'est pas mûr est riche en tannins et astringent. Il a tendance à constiper (La peau du fruit contient principalement de la vitamine C (Guillouty, 2016).

L'huile essentielle de feuilles contient de nombreuses molécules (α -pinène, β -pinène, limonène, menthol, terpenyl acétate, alcool isopropyl, longicyclène, caryophyllène, β -bisabolène, cinéol, caryophyllène oxyde, β -copanène, farnesène, humulène, selinène, cardinène et curcumène). Des saponines ont été isolés des feuilles, ainsi que des acides triterpéniques (Guillouty, 2016).

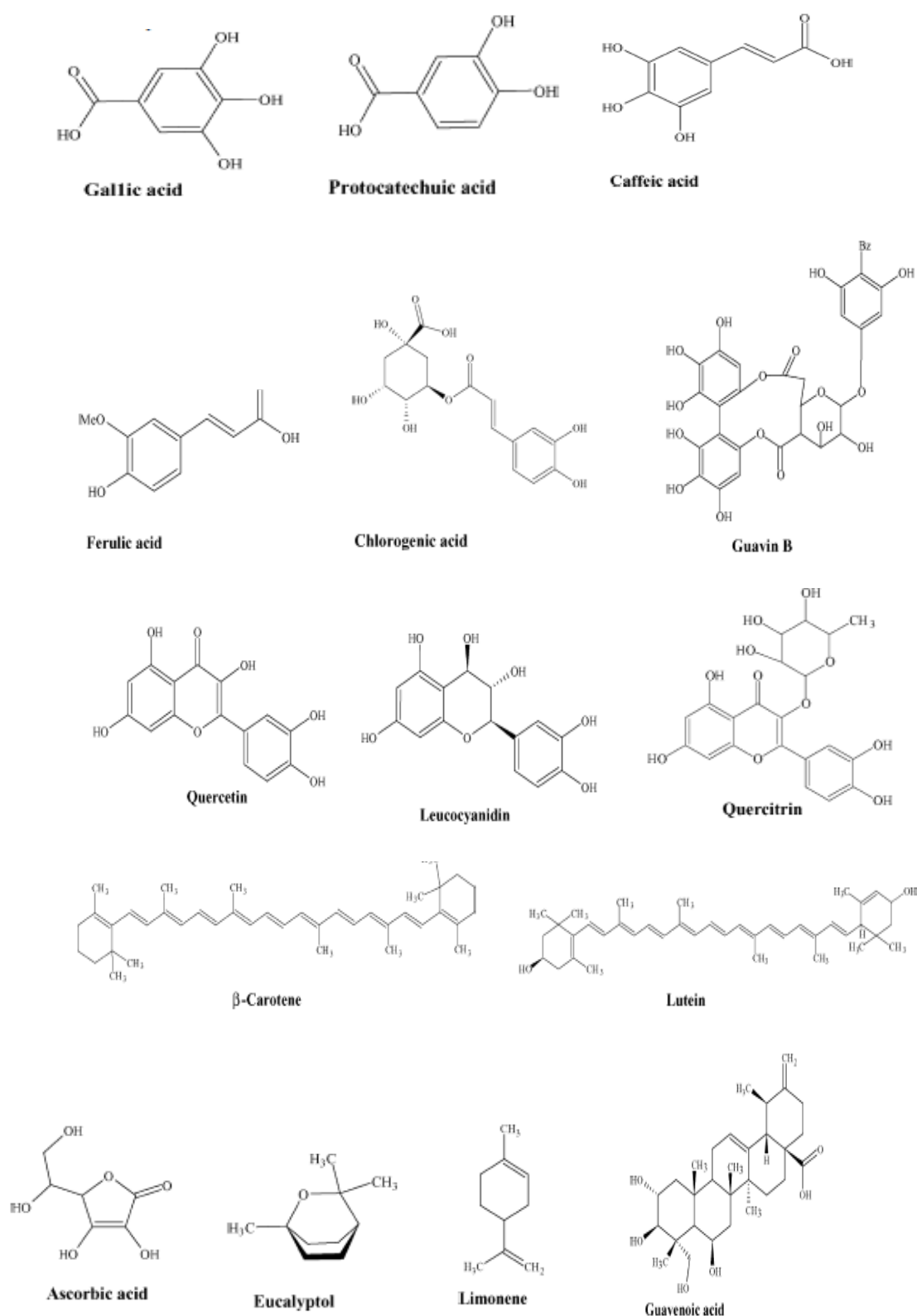


Figure 6- La structure chimique de quelques molécules isolées de *Psidium guajava* (Gutierrez *et al.*, 2008).

2.2. Le Feijoa : *Acca sellowiana* (O. Berg) Burret

2.2.1- Autres noms scientifiques

Feijoa sellowiana O. Berg, 1859

Orthostemon sellowianus O. Berg, 1856 (Gargominy *et al.*, 2018)

2.2.2- Taxonomie

Domaine : *Biota*

Règne : *Plantae* Haeckel, 1866

Sous-Règne : *Viridaeplantae*

Infra-Règne : *Streptophyta* John, Williamson et Guiry, 2011

Classe : *Equisetopsida* C.Agardh, 1825

Clade : *Tracheophyta* Sinnott ex Cavalier-Smith, 1998

Clade : *Spermatophyta*

Sous-Classe : *Magnoliidae* Novák ex Takht., 1967

Super-Ordre : *Rosanae* Takht., 1967

Ordre : *Myrtales* Juss. ex Bercht. et J.Presl, 1820

Famille : *Myrtaceae* Juss., 1789

Sous-Famille : *Myrtoideae* Sweet, 1827

Tribu : *Myrteae* DC., 1827

Sous-Tribu : *Pimentinae* O. Berg, 1855

Genre : *Acca* (O. Berg) 1941

Espèce : *Acca sellowiana* (O. Berg) Burret, 1941
(Gargominy *et al.*, 2018).

2.2.3- Noms vernaculaires

Français : Goyave-ananas, goyavier de Montevideo, goyavier de Brésil.

Anglais: Guavasteen, New Zealand banana, horn of plenty, fig guava, pineapple guava

Arabe: فيجوا

Allemand: Fejoa, ananasguave.

Portugais: Feijoa, goiaba abacaxí, goiaba verde, goiaba serrana.

Espagnol: Guayaba pina, guayabo chico, guayabo del pais, guayabo grande.

Turc: Kaymak agaci

2.2.4- Origine et distribution du Feijoa

Son nom dérive du nom de M. Silva Feijo, ancien directeur du Musée d'Histoire Naturelle à San-Sebastiano (Brésil). Le Feijoa est originaire de l'Amérique du Sud. Le Feijoa est originaire de l'extrême sud du Brésil, du nord de l'Argentine, de l'ouest du Paraguay et de l'Uruguay, où il est souvent sauvage dans les montagnes (Evreinoff, 1955).

En 1819, l'espèce est découverte par Friedrich Sellow (1789-1831), botaniste allemand, explorateur du Brésil, qui en a récolté des échantillons dans la province du Rio Grande do Sul, au Brésil, et dans la région de Montevideo (faisant alors partie du Brésil car l'Uruguay n'était pas encore indépendant) (Drouet, 2016). Le nom spécifique honore ce botaniste (Morton, 1987).

Son aire s'étend du Brésil méridional et du Paraguay au Nord, jusqu'à l'Argentine septentrionale et à l'Uruguay (Evreinoff, 1955). On pense que la plante a été cultivée pour la première fois en Europe par M. de Wette en Suisse et, un peu plus tard, vers 1887, elle se trouvait dans le jardin botanique de Bâle. Le Feijoa a été introduit en France en 1890 par Edouard André, rédacteur en chef de la Revue horticole, plus précisément dans sa villa Colombia, à Golfe-Juan, Alpes-Maritimes, à partir de laquelle il a été diffusé (Drouet, 2016). Il a porté ses fruits en 1897. Dans la Revue Horticole de 1898, le Dr André a publié une description avec des planches colorées des feuilles, des fleurs et des fruits, louant les fruits et recommandant de les cultiver dans le sud de la France et dans toute la région méditerranéenne (Morton, 1987).

En 1900, il a été introduit au jardin botanique de Nikita à Yalta (Crimée). Tatarinoff l'aurait introduit en 1903 à Batoum sur le littoral caucasien de la mer Noire. En 1900, Franceschi l'introduisit en Californie à Santa-Barbara. Le Feijoa est resté confiné pendant longtemps dans les jardins botaniques et les plantations d'amateurs, et c'est seulement depuis la seconde guerre mondiale qu'il commence à prendre place dans les plantations fruitières de l'Europe méridionale et de l'Afrique du Nord, sans parler de la Californie. En Italie, notamment en Sicile, et au Portugal, le Feijoa a commencé à attirer l'attention des arboriculteurs dans les années 1950. En Russie méridionale sa culture prenait une certaine importance au Caucase sur le littoral de la mer Noire où dès 1940 le Feijoa occupait 148 ha de culture. En 1953 cette superficie était doublée. Il est cultivé avec succès en Crimée ainsi que sur les bords de la Caspienne (Evreinoff, 1955).

Nulle part la Feijoa n'a-t-elle reçu plus d'attention qu'en Nouvelle-Zélande. Un pépiniériste d'Auckland a introduit 3 cultivars d'Australie vers 1908. Ils restèrent peu connus jusqu'en 1930, année où la Feijoa était présentée comme une plante ornementale. Plus tard, après amélioration par la sélection et la désignation de types à gros fruits supérieurs et à leur propagation végétative, de petites plantations commerciales ont été réalisées dans des zones de culture d'agrumes du nord de l'île.

Après la seconde guerre mondiale, des plantations de Feijoa ont été établies en Afrique du Nord, dans la région du Caucase, dans le sud de la Russie, ainsi qu'en Sicile, au Portugal et en Italie. En Angleterre, la Feijoa est très appréciée comme arbuste mural (Morton, 1987).

En résumé, l'aire originelle du Feijoa est représentée par l'Argentine, le Brésil, le Paraguay et l'Uruguay. Cette espèce est exotique en Australie, au Bahamas, au Chili, en France, en Inde, En Palestine, en Italie, au Jamaïque, en Nouvelle Zélande, au Portugal, en Russie, en Espagne, en Suisse, au Royaume Uni et aux états unis d'Amérique (Orwa *et al.*, 2009).



Figure 7- L'aire de répartition du Feijoa dans le monde (Orwa *et al.*, 2009).

2.2.5- Le Feijoa en Algérie

En Algérie, le Feijoa fut introduit en 1899, par le docteur Trabut (Evreinoff, 1955). Tandis que Claire Janson-Rosier a précisé, dans son ouvrage « Ces maudits colons » que cette espèce a été introduite dans le jardin botanique d'El Hamma à Alger en 1892 et quatre arbres sont plantés là-bas (Labza et Djafri, 2018). Cet arbre a été introduit à l'ancienne école

d'agriculture de Skikda en 1952, onze arbres sont plantés depuis, et sont très bien acclimatés. Actuellement il est cultivé aussi à la station de l'ITAFV de Boufarik wilaya de Blida dont la date de plantation remonte au 8/11/1984 et 23/04/1991 (Chalabi, 2014).

2.2.6- Description botanique

a- Le port

Le port naturel du Feijoa est buissonnant. Si on le taille en demi-tige, la récolte sera moins abondante. Le Feijoa fructifie sur les rameaux de l'année qui poussent au printemps. Le Feijoa est un petit arbre de 2 à 4 mètres de hauteur, parfois un arbrisseau buissonnant, dont le feuillage est à reflets argentés-grisâtres (Evreinoff, 1955).

L'enracinement est généralement traçant et superficiel c'est pourquoi il y a lieu d'être prudent pour les travaux du sol dans les plantations de Feijoa (Evreinoff, 1955).

Le système racinaire peu profond retient le sol et empêche l'érosion. Le Feijoa est planté comme brise-vent autour de cultures sensibles au vent. Le feuillage est attractif toutes les saisons et cette espèce est plantée comme un arbre ornemental. Cet arbre fait aussi une excellente plantation de fondations ou isolément (Orwa *et al.*, 2009.)



Figure 8- Un arbre de *Acca sellowiana*

b- La feuille

Les feuilles de Feijoa sont persistantes, elles sont opposées, elliptiques, coriaces, d'un vert foncé, satinées à la face supérieure, velues en dessous et d'un blanc argenté. L'opposition des teintes de deux faces des feuilles contribue à son aspect ornemental (Evreinoff, 1955).

Les revers des jeunes feuilles créent un effet de contraste dans le feuillage. Le dessus des jeunes feuilles est recouvert d'une pruine blanche, plus ou moins importante, qui peut prêter à confusion de loin avec le miellat de pucerons (Drouet, 2016).

c- La fleur

Les fleurs solitaires ou fasciculées à l'aisselle des feuilles ; pédoncule dressé puis défléchi, long de 20 à 25 mm, articulé au sommet, blanchâtre et feutré. Calice à tube turbiné, à 4 sépales inégaux, elliptiques obtus, défléchis, pubescents, ciliés. Corolle étalée, à 4 pétales cucullés, ovales ou obovales, entiers ou émarginés, obtus, charnus, glabres, cilioles, blancs en dehors, rouge violacé en dedans, longs de 15 à 18 mm et larges de 8, défléchis après l'anthèse. Étamines nombreuses périgynes, dressées en houppe volumineuse, longues de 20 millimètres, à filets filiformes pourpre foncés, à anthères globuleuses jaunes. Style plus long que les étamines, filiforme, stigmate capité, menu ; ovaire quadriloculaire oblong turbiné (Site net 3).

d- Le fruit

Le fruit du Feijoa est une baie, ovoïde, côtelée, tomenteuse et ridée, d'un vert foncé, passant au vert clair à complète maturité. Le poids moyen du fruit varie de 25 à 60 grammes ; sa longueur moyenne est de 5 à 8 cm, sa largeur de 3 à 5 cm. L'épiderme est épais, ridé, pruiné. La chair est d'un blanc-crème, juteuse, parfumée, rappelle tant par son odeur que par sa saveur celle de l'ananas et de la fraise ; le fruit est très apprécié par les uns et peu par les autres. On lui reproche parfois un certain goût pharmaceutique. La graine est petite, réniforme (20 sur 15 mm), leur nombre est très variable, va ordinairement de 20 à 40. Certaines variétés en possèdent jusqu'à 100, tandis que d'autres pas plus de 10-20 (Evreinoff, 1955).

La maturité du fruit n'est pas visible de l'extérieur. Normalement, les Feijoas ne sont pas cueillis, ce sont les fruits tombés au sol qui sont ramassés. À l'ouverture du fruit, il est bon à consommer si la zone centrale remplie de graines est gélatineuse et translucide. Avant maturité cette zone est opaque, après elle brunit. Les fruits ont une durée de conservation assez faible, ce qui explique peut-être leur faible succès commercial hors des zones de production (Site net 4).



Figure 9- Les feuilles de *Acca sellowiana* (Drouet, 2016)



Figure 10- La fleur de *Acca sellowiana*



Figure11- Les fruits de *Acca sellowiana* (Drouet, 2016)



Figure 12- Les différents organes de *Acca sellowiana* (Site net 5).

2.2.7- La reproduction du Feijoa

La fleur du Feijoa, *Acca sellowiana* (O. Berg) Burret, est hermaphrodite et parfaitement constituée, mais elle a une tendance à la protogynie (les stigmates sont réceptifs avant que les étamines ne libèrent le pollen) et son pollen est auto-incompatible. Cela entraîne une autostérilité pour la quasi-totalité des plants de Feijoa. Il existe toutefois quelques variétés plus ou moins auto-fertiles. Le Feijoa n'est pas vraiment autostérile ou auto-fertile. Les variétés dites autostériles ne sont que partiellement auto-incompatible et peuvent en fait fructifier mais dans une mesure beaucoup moindre que les autres. Les variétés auto-fertiles quant à elles fructifient correctement en autofécondation mais ont souvent une meilleure production en pollinisation croisée (Site net 6).

La fleur du Feijoa attire les insectes car elle est parfumée et ses pétales sont sucrés. Les abeilles assurent la pollinisation en transportant d'une fleur à l'autre le pollen dont elles se chargent lors des frottements avec les anthères pendant leur activité de butinage (Drouet, 2016)

La pollinisation manuelle est efficace à près de 100%. On doit planter 2 ou plusieurs arbustes ensemble pour la pollinisation croisée à moins que le cultivar soit reconnu pour être auto-compatible (Morton, 1987)

Les graines ont une longue faculté germinative. La multiplication par semi est réservée aux porte – greffes, du fait de l'instabilité génétique des cultivars. La levée s'effectue en trois semaines et le repiquage se réalise au stade de 2 feuilles au printemps (Chalabi, 2014)

Feijoa fleurit au printemps et le fruit mûrit à l'automne de mars à mai dans l'hémisphère sud et de d'octobre à décembre dans l'hémisphère nord. Les variétés précoces mûrissent en mars, alors que les variétés tardives le font à partir d'avril dans les Hémisphère sud. La plante donne des fruits 3 à 5 ans après la graine (Orwa *et al.*, 2009)

Quant à la reproduction asexuée, le Feijoa peut se reproduire par greffage, bouturage ou marcottage.

2.2.8- Les exigences du Feijoa

2.2.8.1- Exigences climatiques

Le Feijoa est un arbre de climat tempéré chaud, le climat tropical ne lui convient pas. La culture du Feijoa est possible dans des régions où la température hivernale ne descend pas à 12° au-dessous de zéro. En Caucasic (Soukhoun), le Feijoa supporte sans dégâts, ni pour l'arbre ni pour la fructification, les températures de -11° et -12° pendant un certain temps. En Crimée (Yalta), des Feijoa ayant subi une température de -15° avec une perte des feuilles et de fructification mais les arbres eux-mêmes n'ont pas autrement souffert. Le Feijoa reconstitue assez rapidement (30-40 jours) au printemps le feuillage qu'il perd lors des hivers rigoureux. Cette chute des feuilles ne s'accompagne pas de la mort des jeunes rameaux et n'affecte pas notablement la production de fleurs ni le plus souvent la possibilité de fécondation (Evreinoff, 1955).

La sensibilité du Feijoa au froid augmente sensiblement lorsque le terrain est sec, et les vents forts et desséchants. Le Feijoa réclame pour son développement favorable de 500 à 600 mm de précipitations pendant la période végétative. La plante résiste bien à sécheresse passagère mais nécessite une irrigation suffisante et régulière pour fructifier. Mais les besoins en eau pour une fructification productive sont élevées (environ 1200mm) bien répartis sur l'année (Chalabi, 2014) C'est dans son jeune âge et jusqu'à 4 à 5 ans environ qu'il est le plus exigeant quant à la fraîcheur du sol et à l'humidité de l'air. Sous un climat sec et dans un sol aride, la

qualité des fruits est nettement inférieure. Il résiste aux vents, ces derniers ne lui nuisent guère qu'au moment de la maturité des fruits (Evreinoff, 1955).

La Feijoa peut tolérer une ombre partielle et une légère exposition au brouillard (Orwa *et al.*, 2009).

2.2.8.2- Exigences édaphiques

Le Feijoa pousse dans une grande variété de sols. Les meilleures récoltes, cependant, proviennent d'arbres poussant dans des sols bien drainés constitué d'un mélange de sable et de terreau avec un pH compris entre 5,5 et 7,0. C'est un arbre assez tolérant au sel, mais la salinité ralentit la croissance et réduit les rendements (Orwa *et al.*, 2009).

L'arbre est peu exigeant sur la nature du sol, mais il redoute les sols calcaires dont on sait par ailleurs la faible capacité pour l'eau. La plupart des auteurs notent que ses fruits sont ligneux et de mauvaise qualité lorsqu'il croît sur des sols arides ou souffre de la sécheresse. Le goût pharmaceutique désagréable que l'on reproche parfois à ses fruits se développe surtout en sol calcaire. Le Feijoa a une prédilection pour la plaine, il réussit moins bien en coteaux. C'est un sol profond riche en humus qui lui convient le mieux (Evreinoff, 1955).

2.2.9- Variétés du Feijoa

Il existe plusieurs variétés :

Hehre : Originaire de l'Argentine. Le fruit est gros, effilé-pyriforme, parfois courbé ; jaune-vert, à peau fine, à chair finement granuleuse, à pulpe abondante et très juteuse. Les graines sont assez nombreuses et plus grosses que les graines ordinaires. Le fruit est à la saveur douce mais non aromatique ; les plantules sont dressées, compactes, vigoureuses, au feuillage saturé, mais moyennement fructueuses.

André : Originaire du Brésil, a un fruit de taille moyenne à grande, de fruit oblong à rond, à surface rugueuse, de couleur vert clair, à chair épaisse, contenant peu de graines ; richement aromatisé. Les jeunes pousses sont droites, s'étalant à intermédiaire. Auto-fertile.

Besson : Originaire d'Uruguay (1899), a des fruits de petite taille, de taille moyenne, de forme ovale et lisses ; à la peau fine, à la chair moyennement épaisse, à grain fin, à la pulpe très juteuse, aux arachides et à la saveur riche et aromatique. Les plantules sont droites ou se propagent. C'est le type cultivé en Inde.

Coolidge : cultivé le plus souvent en Californie, porte des fruits variant du pyriforme à oblongs ou allongés, de taille moyenne, à la peau un peu froissée. Il est de saveur indifférente. Cette variété est à 100% auto fertile. La plante est dressée et à forte croissance.

Choiceana : Porte des fruits ronds à ovales, assez lisses, de taille moyenne à petite, mesurant de 5 à 9 cm de long, de bonne saveur ; elle est à 42% auto fertile. Les plantules d'habitude sont étalées et de vigueur moyenne.

Superba : a des fruits ronds à légèrement ovales, moyennement lisses, de taille moyenne à petite, de bonne saveur ; il est partiellement (33%) auto-incompatible. La plante est en train de se répandre, elle a un port uniforme et une vigueur moyenne.

Triumph : a des fruits ovales, courts, charnus, moins pointus que ceux de Coolidge; moyen à grand; lisse. La plante est dressée, de vigueur est moyenne.

Mammoth : a des fruits ovales qui ressemblent à ceux du Coolidge ; gros, un peu froissé. La plante a un port dressé et une forte croissance. En 1979, "Mammoth", "Coolidge" et "Triumph" issues de boutures ont été annoncées dans le journal néo-zélandais de l'agriculture adapté à l'exportation.

Deux nouveaux cultivars néo-zélandais, dont 20 000 plantes ont été vendues en 1983, sont « **Apollo** », à la peau fine et sujette aux meurtrissures et au pourpre ; et « **Gemini** », qui ont de très petits fruits à la peau fine.

Parmi les sélections australiennes, on trouve « **Large Oval** » et « **Chapman** ».

David : a des fruits ronds ou ovales avec une peau de saveur douce et agréable, mûrit en novembre en Europe.

Roundjon : a des fruits ovales ou arrondis, un peu rugueux et rougis, de saveur agréable ; mûrit en novembre en Europe.

Magnifica : est un plant sélectionné avec de très gros fruits de qualité inférieure.

Robert : a des fruits ovales à chair grainée et des feuilles brunâtres indésirables.

Hirschvogel : est hautement auto-incompatible.

Bliss : est partiellement auto-incompatible.

Variegata : C'est une variété botanique à feuillage panaché. (Morton, 1987)

2.2.10- Phytopathologie du Feijoa

Acca sellowiana est remarquablement résistant aux ravageurs. De temps en temps, il peut être attaqué par du tartre à cire dure (*Ceroplastes sinensis*) et par la moisissure grumeleuse en Nouvelle-Zélande et en Floride. En Nouvelle-Zélande, les larves d'une chenille à feuilles enroulées (*Tortrix* spp.) et d'une fausse-teigne des vers jaunes peuvent créer des trous dans les feuilles mais elles sont efficacement contrôlées par des pulvérisations appropriées. Les mouches des fruits attaquent les fruits mûrs. Un champignon (*Sphaceloma* sp.) nécessite parfois des mesures de contrôle. En Floride, la tâche des feuilles est causée par les

champignons *Cercospora* sp., *Cylindrocladium scoparium* et *Phyllosticta* sp.; *Corticium stevensii* Burt. et *Rhizoctonia ramicola* et pourriture des racines par les champignons de l'espèce *Clytocybe tabescens* (Orwa *et al.*, 2009)

2.2.11- Importance économique

Le Feijoa est activement cultivé avec un rendement annuel de plusieurs millions de dollars (> 8 millions de dollars) dans des climats tempérés et subtropicaux aux États-Unis, en Amérique du Sud, en Europe, en Australie et en Nouvelle-Zélande (Mokhtari *et al.*, 2018).

L'espèce *Acca sellowiana* a été considérée, par le ministère brésilien de l'environnement, en tant qu'une plante domestiquée à haut potentiel économique pour l'avenir, adaptée au système de production agricole au Brésil. Bien qu'il soit cultivé dans le sud du Brésil, le Feijoa est également commercialement cultivé dans plusieurs régions des États-Unis, en Colombie, la Nouvelle-Zélande et l'Australie, entre autres. En Chine, il a été introduit comme plante ornementale et de nos jours il est cultivé dans les vergers pour la production du fruit (Zhang *et al.* 2010).

Le succès de la culture de la Feijoa à l'échelle commerciale dépend du processus de domestication par sélection naturelle au sein de populations productives et sur leur reproduction sans perdre leur rusticité et leur résistance naturelle aux maladies et ravageur (Da Rosa *et al.*, 2015).

2.2.12- Utilisation alimentaire

Le fruit frais est largement consommé en raison de sa saveur et de son arôme similaire à celles de l'ananas. Lors de la préparation du Feijoa pour la consommation ou la conservation, l'épluchage doit être immédiatement suivi d'une immersion dans une solution de sel ou dans de l'eau contenant du jus de citron frais. Ces deux méthodes empêchent la chair de s'oxyder (virer au brun). La chair et la pulpe (avec les graines) sont consommées au dessert ou en salade, ou cuites, des garnitures pour pâtisseries, des beignets, des boulettes de pâte, des gâteaux aux fruits, des tartes, ou utilisées comme aromatisants pour la crème glacée ou les boissons non alcoolisées. Les fruits en surplus peuvent être pelés, coupés en deux et conservés au sirop dans des pots en verre, ou tranchés et cristallisés, ou faits en confiture, gelée, conserve, ou vin mousseux. Les pétales épais sont épicés et sont consommés frais par les enfants et parfois par adultes. Les pétales peuvent être cueillis sans nuire à la nouaison (Morton, 1987).

2.2.13- Valeur nutritionnelle du Feijoa

Assez riche en pectine, le fruit contient souvent des groupes de cellules pierreuses, « les sclérides » comme chez les des poires. Il est riche en iode sous une forme soluble. La richesse en cet élément dépendrait du degré de maturation, du système de culture, et surtout du voisinage de la mer. L'iode apporterait des qualités thérapeutiques (Champion, 1948) 100 mg de d'un fruit de Feijoa apporte 49 de calories réparties en plusieurs éléments (Tableau 4).

Tableau 4- La valeur nutritionnelle du fruit d'*Acca sellowiana* (Morton, 1987).

Substance nutritive	Teneur (mg/100g)
Eau	84000
Iode	3000
Protéines	900
Carbohydres	10000
Matière grasse	200
Vitamine C	28-35
Calcium	4
Fer	0.05
Magnésium	9
Phosphore	10
Potassium	166
Sodium	5
Cendres	500

2.2.14- Utilisation médicinale

2.2.14.1- Utilisation traditionnelle

A. sellowiana est naturalisée en Turquie et connue sous le nom de « Kaymak agaci », il a été largement utilisé en Anatolie du Sud comme remède pour le traitement du goitre (Samanci, 2010 in Keles *et al.*, 2012)

2.2.14.2- Propriété pharmaceutique

Acca sellowiana a des effets multi-pharmacologiques, notamment des activités antimicrobiennes, antifongiques, antioxydantes, antidépressives et anticancéreuses, confirmés par plusieurs chercheurs (Ebrahimzadeh *et al.*, 2017).

Le principal avantage de Feijoa réside dans le fait que sa pulpe contient de l'iode facilement digestible, dont la part est si élevée que la baie charnue n'est pas inférieure aux fruits de mer. Les produits frais en contiennent environ 3% d'iode. Feijoa est utilisé dans le traitement du goitre (Spozilli, 2016).

De plus, il ne contient pas de cholestérol, au contraire, il abaisse le niveau et maintient le système cardiovasculaire en bonne santé, car il contient des acides gras polyinsaturés oméga-3 et oméga-6 (Spozilli, 2016).

Grâce à un grand nombre de vitamines, de macro et de microéléments, le Feijoa est recommandé pendant la période de carence en vitamines.

Un Feijoa contient également beaucoup de vitamine C, ce qui déclenchera des processus immunitaires et accélérera la récupération. Grâce à cet excellent antioxydant, le Feijoa est utilisé dans la lutte contre les maladies du système cardiovasculaire, l'athérosclérose, l'hypertension, les infections virales respiratoires aiguës, la grippe et l'angine.

Il est scientifiquement prouvé que Feijoa a des propriétés immunomodulatrices, il est donc utile de manger pendant les exacerbations de rhumes saisonniers, après des maladies graves et dans la période postopératoire (Site net 7).

De plus, les baies de pectine feront un nettoyage général dans l'organisme, elles élimineront les toxines des médicaments, produits de l'activité vitale des bactéries et des virus pathogènes.

Les vitamines du groupe B dans le Feijoa préviennent le vieillissement, améliorent le métabolisme et traitent la dépression

Étonnamment, la période de maturation des fruits tombe à la fin de l'automne - le début de l'hiver. C'est à ce moment que notre corps, après une abondance de fruits et de légumes en été, ressent pour la première fois un manque de vitamines et de minéraux (Site net 8).

Le Feijoa est riche en acide folique, qui assure la formation adéquate du système nerveux du fœtus. L'arginine est également présente, un acide aminé impliqué dans les processus de croissance, bénéfique pour les jeunes enfants et les femmes enceintes (Spozilli, 2016).

Ainsi, les fruits verts peuvent être utilisés pour traiter toutes sortes de maladies endocriniennes. L'utilisation médicinale du Feijoa ne se limite pas aux fruits, mais également les feuilles, qui contiennent un grand nombre d'huiles essentielles. Ce sont les éthers volatils qui donnent aux feuilles l'arôme du myrte. Les feuilles de Feijoa sont séchées et en hiver elles sont préparées en infusion.

Les nutritionnistes recommandent de manger du Feijoa pendant un régime avec des troubles du système digestif, ainsi que des maladies de l'estomac (Gastrite hypoacide), des intestins, du foie, du pancréas, etc. Tant le fruit que les feuilles, mais surtout les graines, ont des propriétés antibactériennes, en particulier contre *Helicobacter pylori*, impliqué dans la gastrite, les ulcères et les maladies de l'estomac. Les fruits charnus et parfumés ont également des propriétés antioxydantes et constituent une excellente source de fibres, indispensables à la santé et au bon fonctionnement de l'intestin (Spozilli, 2016).

Les décoctions et les infusions de Feijoa sont souvent utilisées pour traiter la pyélonéphrite.

Une autre propriété utile remarquable du fruit de Feijoa est l'effet anticancéreux. L'utilisation régulière de Feijoa réduit parfois le risque de développement d'un cancer.

Grâce aux huiles essentielles, aux antioxydants et à d'autres substances, le Feijoa affecte négativement les microorganismes pathogènes et possède un puissant effet antifongique et antibactérien. Ainsi, les décoctions d'écorce, de feuilles et de fruits peuvent être utilisées comme désinfectant antiseptique. Ils peuvent traiter des plaies profondes, des abrasions, des coupures, des saignements des gencives et éliminer les maux de dents (Site net 8).

Grâce aux antioxydants, le Feijoa est souvent utilisé à des fins esthétiques. Les masques à base de Feijoa, qui ont un effet bénéfique sur la peau, soulagent l'inflammation, la rendent plus douce, donnent de l'élasticité et améliorent généralement la circulation sanguine et l'apparence du visage. Les bouillons de Feijoa, ainsi que les masques de fruits, peuvent être utilisés pour traiter la couperose, l'acné, les taches pigmentaires (Spozilli, 2016).

Les acides organiques du Feijoa activent le travail de l'estomac. Et grâce aux propriétés astringentes et enveloppantes des baies, l'inflammation de la muqueuse sera éliminée. La cellulose et les pectines de Feijoa ont également un effet bénéfique sur les intestins, en limitant la constipation et en éliminant les métaux lourds (Site net 7).

Les phytostérols de Feijoa réduisent la quantité de cholestérol absorbé par le tractus alimentaire, ils sont donc indispensables pour la prévention de l'athérosclérose et de la couperose. Les phénols et les anthocyanes forment des composés qui ont une activité antioxydante, ce qui aide à prévenir le cancer. La pelure de Feijoa est particulièrement utile à cet égard (Spozilli, 2016).

2.2.15- Phytochimie du Feijoa

Les feuilles et les fruits de *A. sellowiana* contiennent de nombreux composants importants, tels que des flavonoïdes, des tanins, des terpènes et des saponines stéroïdiennes (Ebrahimzadeh *et al.*, 2017). L'extrait foliaire de *A. sellowiana* contient a-tocopherol, flavone, stigmasterol et b-carotène, un mélange tyrosol esters et d'acides : lignocérique (1a), cerotique (1b) and montanique (1c), et un galactolipide : (2S)-1,2,60-tri-O-[(9Z,12Z,15Z)-octadeca-9,12,15-trienoyl]-3-O-b-D-galactopyranosyl glycerol (Ruberto et Tringali, 2004).

Le benzoate de méthyle et le benzoate d'éthyle représentaient ensemble plus de 90% de l'huile volatile totale des fruits du Feijoa. Un rôle prédominant dans l'arôme des fruits Feijoa est attribué à ces deux composés. Les autres composés identifiés sont le 3-octanone, le butanoate d'éthyle, le cinnamate d'éthyle, l'acétate d'éthyle, l'acétate d'hexényle, le 2-hexénal, le 2-heptanone, le 2-nonanone, le 2-undécanone, le p-anisate de méthyle et le p-anisate d'éthyle (Hardy et Michael, 1970).

Les fruits du Feijoa contiennent des substances telles que la vitamine P, les substances actives R et les pectines, l'acide ascorbique, les macro et micro-éléments. La teneur en saccharose est importante, surtout celle en monosaccharide. Une forte accumulation de vitamine C est révélée (Belous *et al.*, 2014). Le fruit du Feijoa contient non seulement de grandes quantités de flavonoïdes antioxydants, mais aussi c'est une précieuse source de vitamine C (63 mg / 100 g de poids frais) et d'acide pantothénique (0,2 mg / 100 g de poids frais). Le fruit de Feijoa est également une bonne source de fibres alimentaires (6,8 g / 100 g) et de potassium (255 mg / 100 g). L'écorce du fruit possède des quantités significativement plus élevées de flavonoïdes antioxydants et vitamine C que la pulpe de fruit (Phan *et al.*, 2019).

Dix composés phénoliques sont isolés des feuilles et des branches de *A. sellowiana* : 3'-O-acide méthylellagique 3-sulphate, nilocitine, strictinine, casuarine, castalagine, acide ellagique, acide ellagique 4-O-méthyl ether, avicularine, hyperine et quercitine (Al Shenawy *et al.*, 2008).

Le fruit du Feijoa est riche en vitamine : B1 (Thiamine), B2 (Riboflavine), B3 (Niacine), B5 (Acide pantothénique), B6 (Pyridoxine), B7 (Biotine), B12 (Cyanocobalamine) (Phan *et al.*, 2019)

2.3. Le jamblon (*Syzygium cumini* (L.) Skeels)

2.3.1- Autres noms scientifiques

Eugenia cumini (L.) Druce, 1914

Eugenia jambolana Lam., 1789

Eugenia obovata Poir., 1813

Myrtus cumini L., 1753

Myrtus obovata (Poir.) Spreng., 1825

Syzygium jambolanum (Lam.) DC., 1828

Syzygium obovatum (Poir.) DC., 1828 (Gargominy *et al.*, 2018)

2.3.2- Taxonomie

Domaine : Biota

Règne : *Plantae* Haeckel, 1866

Sous-Règne : *Viridaeplantae*

Infra-Règne : *Streptophyta* John, Williamson et Guiry, 2011

Classe : *Equisetopsida* C.Agardh, 1825

Clade : *Tracheophyta* Sinnott ex Cavalier-Smith, 1998

Clade : *Spermatophyta*

Sous-Classe : *Magnoliidae* Novák ex Takht., 1967

Super-Ordre : *Rosanae* Takht., 1967

Ordre : *Myrtales* Juss. ex Bercht. et J.Presl, 1820

Famille : *Myrtaceae* Juss., 1789

Sous-Famille : *Myrtoideae* Sweet, 1827

Tribu : *Syzygieae* Peter G.Wilson, 2005

Sous-Tribu : *Pimentinae* O.Berg, 1855

Genre : *Syzygium* Gaertn., 1788

Espèce : *Syzygium cumini* (L.) Skeels, 1912 (Gargominy *et al.*, 2018)

2.3.3- Noms vernaculaires

Français : Jamblon, Jamelonier, Jamblong, Jamelongue, jamelonguier, Jambolan,

Faux-pistachier, pistas, Prune de Java ou Prune de Damas.

Anglais : Jamun, Java Plum tree, Jaam, jambolan, Jambool, Jambul, Jambun.

Arabe : جامون

Espagnol : Jambolán, Pésjua extrangera, Guayaba pésjua, Jejua, Uvero extrangero, Guinda.

Portugais : Jamelão.

Russe : Eugenja.

Allemand : Jambulbaum.

Polonais : czapetka kuminowa.

Chinois : Wu mo.

2.3.4- Origine et distribution du jamblon

Le jamblon est d'origine Indo-malaise (Inde, Birmanie, Sri Lanka, îles Andaman). On le retrouve aujourd'hui dans les îles de l'océan Indien (Ile de la Réunion, Mayotte, Madagascar), aux Philippines, aux Antilles, en Amérique du Sud, dans les régions subtropicales des Etats-Unis (Californie, Floride), en Afrique de l'Est, en Algérie et en Palestine (Cuny, 2016)

Le jamblon est également cultivé dans d'autres régions du sud et du sud-est de l'Asie dont les Philippines, la Birmanie et l'Afghanistan. L'arbre a aussi été introduit en Floride, aux États Unis en 1911 par l'USDA (Département de l'Agriculture des Etats Unis) et est également aujourd'hui communément plantés au Surinam. Il a été introduit au Brésil à partir de l'Inde pendant la colonisation portugaise. Le jamblon a été répandu à l'étranger, à partir de l'Inde, par des émigrants indiens et à l'heure actuelle il est commun dans les anciennes colonies britanniques tropicales (Lisan, 2017).

2.3.5- Le jamblon en Algérie

Le jamblon a été introduit en Algérie en période coloniale. Grace à sa multiplication facile par graines, plusieurs arbres se trouvent au niveau des jardins botaniques, principalement les jardins de l'ancienne école d'agriculture de Skikda, et même quelques pépinières en Algérie réussissent à le planter. Dans la région du Ziban, *Syzygium cumini* a été cité dans un recensement de toutes les espèces ornementales des parcs et jardins de Biskra (Maaoui, 2014). Cette espèce reste mal connue par la population algérienne et ses fruits ne sont pas consommés.

2.3.6- Description botanique du jamblon

a- Le port

Syzygium cumini est un arbre pouvant mesurer jusqu'à 30 mètres de haut. Il atteint sa hauteur maximale en 40 ans. Le diamètre de son tronc est compris entre 0,6m à 0,9m (Cuny, 2016).

Le tronc est droit avec Ecorce épaisse, jusqu'à 2,5 cm d'épaisseur, gris ou brun foncé, assez lisse ; écorce interne avec une mince couche extérieure verte, tachetée marron clair, astringente et amère au goût (Lisan, 2017). L'écorce de la partie basse du tronc s'écaille, est décolorée et rugueuse tandis que la partie haute est lisse et gris clair (Cuny, 2016).

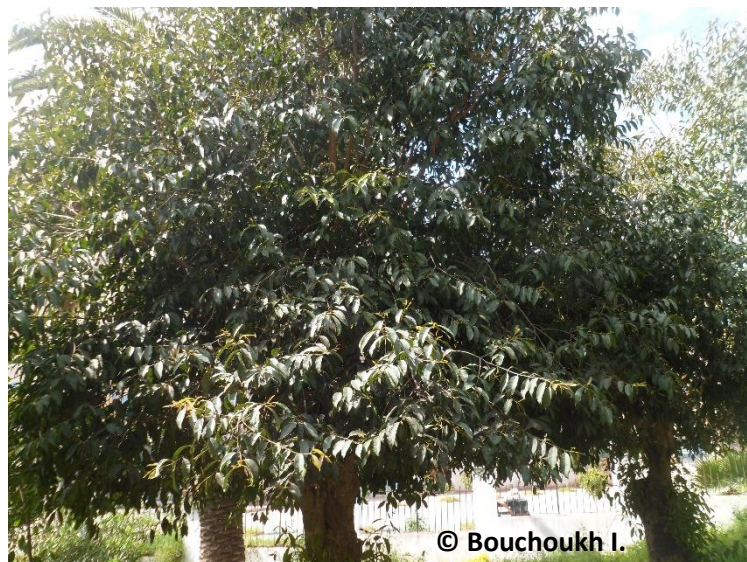


Figure 13- Un arbre de *Syzygium cumini*.

b- La feuille

Le feuillage est épais, touffu, persistant (Lisan, 2017). Les feuilles sont coriaces, rosées lorsqu'elles sont jeunes puis deviennent vertes olive à maturité. Elles possèdent l'odeur caractéristique de la térébenthine. Elles sont opposées, pétiolées, oblongues et lancéolées mesurant de 5 à 20cm de longs pour 2,5 cm de large. La partie inférieure de la feuille est d'un vert plus clair. Il y a de nombreuses nervures (Cuny, 2016).



Figure 14- Les feuilles de *Syzygium cumini* (Site net 9).

c- La fleur :

Les fleurs petites, blanches et odorantes, apparaissent sur des branches dépourvues de feuilles et sont regroupées en cymes. Elles possèdent une centaine d'étamines blanchâtres, les anthères sont de couleur jaune pâle. Les pétales sont soudés et tombent rapidement lors de l'épanouissement des fleurs, de sorte que celles-ci ne sont alors plus composées que d'un calice en forme d'entonnoir et des nombreuses étamines (Cuny, 2016).



Figure 15- La fleur de *Syzygium cumini* (Site net 10).

d- Le fruit

La fructification est en grappe. Le fruit est une petite baie de la forme d'une olive (1,25 - 5 cm) appelé « jamelon » ou prune de Java. Il est oblong, ovoïde, vert au départ, il vire au rose, et enfin au noir et au pourpre brillant lors de sa maturation. Une variante de l'arbre, apparue en Indonésie, produit des fruits de couleur blanche. Le fruit a une combinaison de goûts : sucré, légèrement acide et astringent. Il a tendance à noircir la langue à cause de la présence de l'anthocyanine. Chaque fruit contient au centre une graine oblongue seule, grande, entourée par une mince couche de pâte jaunâtre. La peau du fruit est fine, lisse, brillante et adhérente (Lisan, 2017).



Figure 16-Le fruit de *Syzygium cumini* (Sites net 10 et 9)



Figure 17- Les graines de *Syzygium cumini* (Shivashankara *et al.*, 2013)

2.3.7- La reproduction du jamblon

Les fleurs sont bisexuelles. Les panicules de petites fleurs blanc-verdâtre apparaissent de juin à août. La pollinisation est croisée grâce à une variété d'insectes. Les fruits sont d'abord verts, puis comme ils se développent, deviennent roses, puis enfin violet-noir au moment de la maturation (Lisan, 2017).

La régénération naturelle est abondante autour des arbres-mères comme la chute des graines en grandes quantités. La germination a lieu sur un sol humide, chaque fruit peut produire d'un à quatre, voire cinq plants regroupés en masses denses. Parfois, les semis des différentes années peuvent se trouver sous le porteur même graine, indiquant leur degré de tolérance à l'ombre. Les semis sont freinés, en particulier sur un terrain herbeux, où ils sont souvent tués par les herbes environnantes. *S. cumini* est un arbre à croissance rapide, et les semis peuvent atteindre une hauteur de 4 m, en seulement 2 ans.

La reproduction naturelle de l'espèce est aidée par protection contre les incendies. Le désherbage a un effet marqué sur la croissance et la vigueur des plantules. Les graines perdent

rapidement leur viabilité et ne se conservent pas longtemps. . Aucun traitement avant le semis de semences n'est nécessaire. Les graines fraîchement récoltées sont normalement semées à une profondeur de 2-2,5 cm au cours de la saison des pluies et germent en 2-4 semaines à un taux 20-90% (Lisan, 2017).

Syzygium cumini est reproduit également par marcottage aérien, arc-boutant, la plantation de greffage souche, bourgeonnement, et il peut être ancré à partir de boutures.

2.3.8- Exigences du jamblon

2-3-8-1- Exigences climatiques

Le jamblon se développe bien dans les régions de fortes précipitations (jusqu'à 400 pouces par an), prospère sur les rives et a été connu pour résister aux inondations prolongées. En 1947, une demi-douzaine d'arbres dans le pâturage Roselawn de l'industrie laitière de la Ceinture blanche dans la section nord-ouest de l'agglomération de Miami resta dans l'eau pendant des semaines sans dommage et la majorité de ces arbres sont en bonne santé aujourd'hui.

Malgré la capacité de prospérer dans les zones basses et humides, l'arbre se porte bien dans des zones plus élevées, avec une terre bien drainée, principalement composée de pierre oolithique (calcaire), et est tolérant à des épisodes de sécheresse. En Asie du Sud et dans les îles hawaïennes, ils se trouvent au niveau de la mer jusqu'à des altitudes de 5000 à 6000 pieds. Ils sont résistants au vent et sont étroitement parfois plantés en rangs en tant que brise-vent. S'ils sont taillés régulièrement, ces plantations forment un réseau dense et une haie massive et belle (Lisan, 2017).

2-3-8-2- Exigences édaphiques

Le jamblon est adapté à tous types de sol, y compris calcaires et rocheux. *Syzygium cumini* se reproduit et pousse dans une grande variété de sols et des formations géologiques : alluviale, latéritique, sable, marne et calcaire oolithique. Cette large tolérance suggère de nombreuses variétés, dont certaines qui tolèrent un sol salin. Il est communément trouvé sur les sols riches, profonds et bien drainés (Lisan, 2017).

S. cumini peut être cultivé sur une large gamme de sols. Toutefois, pour obtenir un Potentiel de rendement élevé et une bonne croissance des plantes, il faut un terreau profond et un sol bien drainé. Ces sols conservent également une humidité suffisante, ce qui est bénéfique pour une croissance optimale et une bonne fructification. Il peut également bien pousser dans des conditions de salinité et d'engorgement. Cependant, il n'est pas recommandé de cultiver

Syzygium cumini sur des sols sableux très lourds ou légers. PH du sol préféré : 5,6 à 6,0 (acide).

Malgré sa capacité à prospérer dans les zones basses et humides, l'arbre réussit bien sur les terres plus élevées et bien drainées, que ce soit en terreau, en marnes, en sable ou en calcaire oolithique (Morton, 1987).

2.3.9-Variétés du jamblon

Les variétés du jamblon courantes en Inde sont :

Ra Jaman : à gros fruits oblongs pourpre foncés, à pulpe rose et sucrée et à petites graines.

Kaatha : avec de petits fruits acides.

Parmi les autres cultivars connus on a : « **Early Wild** », « **Late Wild** », « **Pharenda** », « **Small Jaman** » et « **Dabka** ».

En Java (île d'Indonésie), la petite forme s'appelle « **Djoowet kreekil** ». Une forme sans pépins est « **Djoowet booten** ».

Dans le sud de la Malaisie, les arbres qui ont de petites feuilles et de petites grappes de fleurs sont appelés « **Farthernorth** », la variété appelée « **Krian Duat** » a des feuilles plus grandes et plus épaisses et une écorce interne rouge. Les fruits à chair pourpre sont plus astringents que les types à chair blanche. (Morton, 1987).

2.3.10- Phytopathologie du jamblon

En Floride, certains arbres de *S. cumini* sont très sensibles aux cochenilles. La mouche blanche (*Dialeurodes eugeniae*), est commune sur les jamblons à travers l'Inde. Parmi les insectes ennemis du sud de l'Inde, les chenilles mangeuses de feuilles sont les plus problématiques : *Carea subtilis*, *Chrysocraspeda olearia*, *Phlegetonia delatrb*, *Oenospila flavifuscata*, *Metanastria hyrtaca* et *Euproctis fraterna*. Ces parasites peuvent provoquer une défoliation totale. La mineuse des feuilles (*Acrocercops phaeospora*) peut parfois constituer un problème majeur. *Idiocerus atkinsoni* suce la sève des pousses en fleurs, des bourgeons et des grappes de fleurs et les fait tomber (Morton, 1987)

2.3.11- Importance économique du jamblon

Commercialement, les fruits mûrs sont utilisés dans la fabrication de boissons santé, de conserves, de squashes (boisson indienne), de gelées, les vins et le sirop. L'arbre a également

été utilisé comme producteur de fruits, ornemental et pour la fabrication de meubles et de maisons de village bon marché. Les fruits épépinés sont séchés et commercialisés aux États-Unis et dans d'autres pays européens (Baliga *et al.*, 2011).

Le bois est résistant à l'eau, il est utilisé dans les traverses de chemin de fer et dans l'installation de moteurs dans les puits. Les feuilles servent de nourriture pour le bétail et ont une bonne valeur nutritive (Bandiola *et al.*, 2017).

Les horticulteurs indiens ont signalé une récolte de 700 fruits d'un arbre âgé de 5 ans (Morton, 1987).

2.3.12- Utilisation alimentaire du jamblon

Les jamblons de bonne taille et de bonne qualité, au goût sucré ou acide et ayant un minimum d'effets désastreux, sont consommés crus et peuvent être transformés en tartes, sauces et confitures. La saveur des fruits astringents est améliorée en les trempant dans de l'eau salée ou en les piquant, en les frottant avec un peu de sel et en les laissant reposer pendant une heure.

Tous les fruits sauf les fruits nettement inférieurs ont été utilisés pour les jus, ce qui ressemble beaucoup au jus de raisin. Lors de l'extraction du jus du fruit jamblon cuits, il est recommandé de laisser égoutter sans presser le fruit et il sera donc moins astringent.

Le jamblon à chair blanche contient suffisamment de pectine et forme une gelée très ferme, à moins que la cuisson ne soit brève. Le jus du jamblon de bonne qualité est excellent pour le sorbet, le sirop. En Inde, cette boisson est préparée en faisant cuire les fruits broyés, en pressant le jus, en le combinant avec du sucre et de l'eau et en ajoutant de l'acide citrique et du benzoate de sodium comme agent de conservation (Morton, 1987).

À Goa et aux Philippines, les jamblons sont une source importante de vin, et les liqueurs distillées, le brandy et le "jambava" ont également été fabriqués à partir du fruit fermenté. Le vinaigre de Jamblon, largement fabriqué dans toute l'Inde, est attrayant, avec un arôme agréable et une saveur douce (Morton, 1987).

2.3.13- Valeur nutritionnelle du jamblon

Des études ont montré que la pulpe du jamblon est hautement nutritive et contient des minéraux importants comme le sodium, le potassium, le calcium, le phosphore, le fer et le zinc, vitamines solubles dans l'eau comme l'acide ascorbique, thiamine et niacine, glucides comme le glucose, le mannose, le saccharose, maltose, fructose, galactose et mannose, acides aminés libres comme alanine, asparagine, tyrosine, glutamine et cystéine (Baliga *et al.*, 2011).

Tableau 5- La valeur nutritionnelle d'un fruit de *Syzygium cumini* (Baliga *et al.*, 2011)

Composition	Teneur
Eau	85.9 g/100 g
Protéines	1.4 g/100 g
Matière grasse	0.6 g/100 g
Fibres	0.6 g/100 g
Carbohydrates	16.6 g/100 g
Maltose	210 mg/g
Sucrose	95.5 mg/g
Fructose	57.50 mg/g
Galactose	52.50 mg/g
Glucose	20 mg/g
Vitamines	
β-Carotène	50 mg/100 g
Thiamine	0.12 mg/100 g
Riboflavine	0.06 mg/100 g
Acide ascorbique	30 mg/100 g
Minéraux	
Mg	49.8 mg/100 g
Na	3.5 mg/100 g
Ca	21.5 mg/100 g
P	18.5 mg/100 g
K	130 mg/100 g
Fe	0.15 mg/100 g
Zn	0.28 mg/100 g
Cu	0.07 g/100 g

2.3.14- Utilisation médicinale du jamblon

2-3-14-1- Utilisation traditionnelle

Toutes les parties du jamblon et les graines en particulier ont une longue histoire d'utilisation traditionnelle comme traitement dans les pays où cet arbre se développe (Shivashankara *et al.*, 2013). La plupart des parties de *S. cumini* sont utilisées dans le système de médecine traditionnelle en Inde. Différentes parties de l'arbre, notamment les feuilles, l'écorce, les graines et la pulpe, sont utilisées dans le traitement du diabète, des allergies, des infections virales, des inflammations et des ulcères gastriques (Dagadkhair *et al.*, 2017).

Les fruits sont considérés comme toniques, astringents, carminatifs et utiles contre les maladies de la rate. Les fruits et les graines sont également utilisés pour traiter la pharyngite et la teigne. Les fruits sont acides et sucrés, rafraîchissants, secs et astringents pour les intestins. Les graines sont astringentes, diurétiques et arrêtent les pertes urinaires (Warrier *et al.*, 1996). L'écorce de la plante est astringente, douce, réfrigérante, carminative, antihelminthique, fébrifuge, constipant, stomacal, antibactérien, diurétique et digestif. Les feuilles ont été largement utilisées pour traiter le diabète, la constipation, la leucorrhée, la gastralgie, la fièvre, la strangurie, dermatopathie et inhiber les écoulements sanguins dans les selles. Les feuilles sont considérées comme possédant des effets antibactériens et sont utilisées renforcer les dents et les gencives (Warrier *et al.*, 1996).

Dans la médecine ayurvédique (ancienne médecine de l'Inde), le jamblon est considéré comme bon pour traiter les plaies, la gorge, la bronchite, l'asthme, la dysenterie et le diabète sucré. En Inde, la décoction des noyaux du jamblon est utilisée comme remède à la maison pour le diabète. Dans le système de médecine Siddha (ancienne méthode indienne basé sur le yoga), le jamblon est reconnu comme étant hématinique, favorise la production de sperme et réduit la chaleur excessive de la peau (Warrier *et al.*, 1996).

Selon le système de médecine indienne Unani, le jamblon est tonique, enrichit le sang, renforce les dents et les gencives et forme une bonne lotion pour éliminer l'infection par la teigne de la tête. Les cendres des feuilles sont utilisées en tant que dentifrice pour renforcer les dents et les gencives (Warrier *et al.*, 1996).

Le système de médecine homéopathique, originaire d'Europe, utilise également le jamblon pour traiter divers maux, notamment le diabète (Shivashankara *et al.*, 2013)

Le tableau ci-dessous illustre quelques méthodes traditionnelles de l'utilisation de *Syzygium cumini* par différentes populations comme traitement.

Tableau 6- Utilisations traditionnelles de *S. cumini* (Sowjanya *et al.*, 2013)

Ethnie et son origine	Partie utilisée	Mode de préparation et d'administration	Traitement
Population locale du sud du Brésil	Feuilles	Infusion ou décoction de feuilles dans de l'eau à une concentration moyenne de 2,5 g / l et boire à la place de l'eau à une dose journalière moyenne d'environ 1 litre.	Contre le diabète
	Fruit et	Infusion du fruit ou d'un mélange d'écorce en poudre et de fruit est	Contre le diabète

Lakhes et Pawi dans le nord-est de l'Inde	écorce	administrée par voie orale.	
		Le jus d'écorce est donné oralement.	Contre les avortements répétés.
		Le jus de fruits mûrs est stocké en 3 jours et pris par voie orale.	Contre les problèmes gastriques.
	Graines	Le jus obtenu à partir des graines est appliqué à l'extérieur.	Pour les plaies et les ulcères. Empoisonnement à l'opium et morsure de centipède.
		Les graines en poudre mélangées avec du sucre sont administrées par voie orale 2-3 fois par jour.	Pour le traitement de la dysenterie.
	Feuilles	Le jus de feuilles est administré par voie orale comme antidote.	Pour l'empoisonnement à l'opium et morsure de centipède.
Population locale de Maharashtra en Inde.	Fruits et écorce		Contre le diabète, la dysenterie, pour augmenter l'appétit et soulager les maux de tête
Népalais, Lepchas et Bhutias dans le nord de l'Inde.	Ecorce	La décoction d'écorce de tige prise par voie orale trois fois par jour pendant 2-3 semaines.	Contre le diabète.
Amérindiens et Quilombolas indigènes au nord-est du Brésil.	Feuilles		Contre le diabète et les problèmes rénaux.
Tribus Kanti dans le sud de l'Inde.	Feuilles	Deux cuillères à thé de jus extrait de la feuille sont mélangées avec du miel ou du lait de vache et sont prises par voie orale deux fois par jour après le repas pendant trois mois.	Contre le diabète.
		Les fruits frais sont également pris	Pour les maux d'estomac et l'indigestion.
		Les jeunes feuilles sont moulues en une pâte avec du lait de chèvre et prises par voie orale.	

Malayalis au sud de l'Inde.	Graines	La pâte de graines est préparée avec la combinaison de feuilles de <i>Momordica charantia</i> et de fleurs de <i>Cassia auriculata</i> , à prendre par voie orale une fois par jour pendant trois mois.	Contre le diabète.
Les guérisseurs traditionnels à Madagascar	Graines	Les graines sont prises oralement.	Une thérapie efficace pour contrer les lents effets affaiblissants du diabète.
Population locale à Andrapradesh en Inde	Graines	Les graines séchées à l'ombre sont transformées en poudre et prises par voie orale	Contre le diabète.
Siddis à Karnataka en Inde	Feuilles	Le jus obtenu à partir des feuilles est mélangé au lait et pris par voie orale tôt le matin.	Contre le diabète.
	Ecorce	Le jus, obtenu de l'écorce de la tige, mélangé avec du lait au beurre et pris oralement tous les jours avant d'aller au lit.	Traitement de la constipation.
		La même recette ci-dessus est prise tôt le matin sur un estomac vide.	Arrêter l'écoulement du sang.
Population rurale du Brésil	Feuilles	Prises directement.	Contre le diabète.
		Tisane préparée à partir d'infusions ou de décoction de feuilles.	
Les tribus du Maharashtra	Feuilles	Les feuilles tendres sont prises directement.	Traitement de l'ictère.

2-3-14-2- Propriétés pharmaceutiques

Il a été prouvé que *Syzygium cumini* possède des propriétés antioxydantes, antibactériennes, antidiabétiques, virocides, anti-allergiques, anti-nociceptives, anti-inflammatoires, chimio-préventives et antifongiques. *S. cumini* a présenté également une activité gastro protectrice et anti-ulcère, anti-amnésique, anti-fatigue, hépato protectrice et cardioprotectrice aussi (Bandiola *et al.*, 2017).

S. cumini a été étudié de manière approfondie pour ses effets antidiabétiques au cours des dernières 127 ans. De nombreuses études expérimentales sur des rongeurs ont montré que la graine, le fruit, et l'écorce de cette espèce possèdent des effets antidiabétiques (Shivashankara *et al.*, 2013). *S. cumini* a présenté une action hypoglycémique similaire ou parfois même meilleure que celle des médicaments hypoglycémiques oraux (Sahana *et al.*, 2010).

En outre, un extrait de fruit de jamblon a montré des activités antimicrobiennes et cytotoxiques et peut potentiellement être utilisé sur des produits antimicrobiens typiques. En comparaison avec d'autres fruits non traditionnels, le jamblon a montré une activité antioxydante. Les fruits contiennent de nombreux types de composés antioxydants, notamment des flavonoïdes, composés phénoliques, caroténoïdes et vitamines, qui sont tous considérés comme bénéfiques pour la santé humaine et qui réduisent le risque de maladies dégénératives en réduisant le stress oxydatif et en inhibant d'oxydation macromoléculaire (Ramteke *et al.*, 2015).

2.3.15- Phytochimie du jamblon

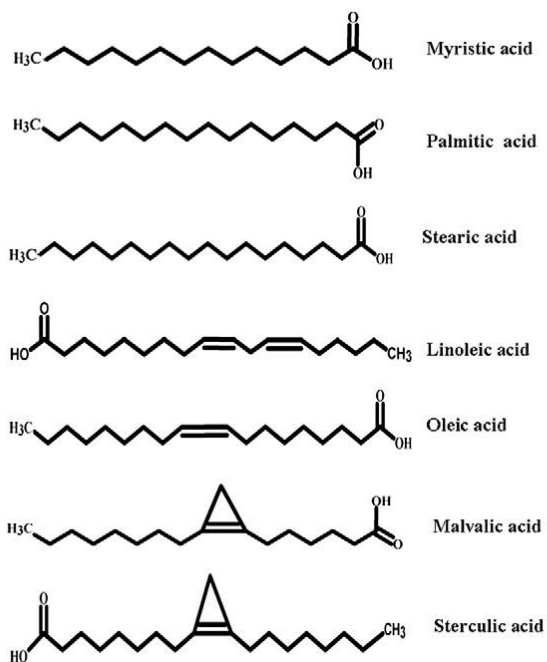
Le jamblon est connu pour posséder divers composés phytochimiques, la plupart de ces composés ont des effets bénéfiques sur la santé (Baliga *et al.*, 2011).

Les différents composés présents dans les graines, l'écorce, la fleur, la pulpe du fruit, les feuilles et l'huile essentielle de la feuille, sont illustrés sur le tableau ci-dessous.

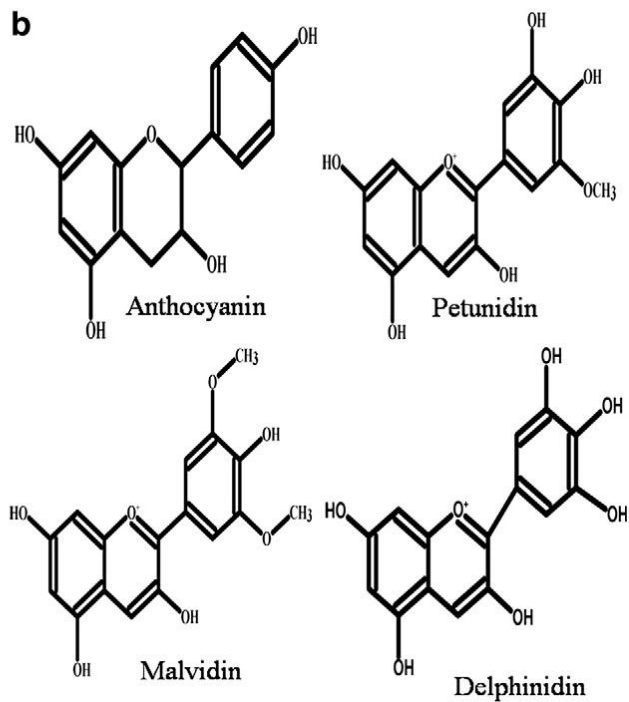
Tableau 7- Les composés chimiques présents dans les différentes parties de *S. cumini* (Ramteke *et al.*, 2015).

Partie de la plante	Composés présents
Graine	Jambosine, acide gallique, acide ellagique, corilagine, 3, 6-hexahydroxydiphenylglucose, 1-galloylglucose, 3-galloylglucose, quercetine, β -sitotol, 4, 6 hexahydroxydiphenylglucose.
Ecorce	Friedeline, friedelan-3- α -ol, acide betulinique, β -sitosterol, kaempferol, β -sitosterol-Dglucoside, acide gallique, acide ellagique, gallotannine, ellagitannine et myricetine.
Fleur	Acide Oleanolique, acide ellagique, isoquercetine, quercetine, kampferol et myricetine.
Pulpe du fruit	Anthocyanines, delphinidine, petunidine, malvidine-diglucosides.
Feuille	β -sitosterol, acide betulinique, mycaminose, acide cratégorique (maslinique) , n-hepatcosane, n-nonacosane, n-hentriacontane, noctacosanol, n-triacontanol, n-dotricontanol, quercetine, myricetine, myricitrine et le flavonol glycosides myricetine 3-O-(4"-acetyl)- α Lrhamnopyranosides.
Huiles essentielles	α -terpeneol, myrtenol, eucarvone, muurolol, α -myrtenal, 1, 8-cineole, geranyl acetone, α -cadinol et pinocarvone.

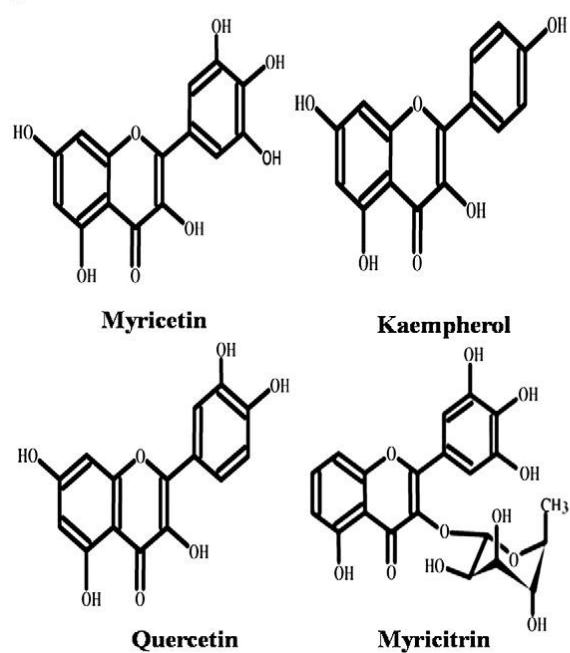
a



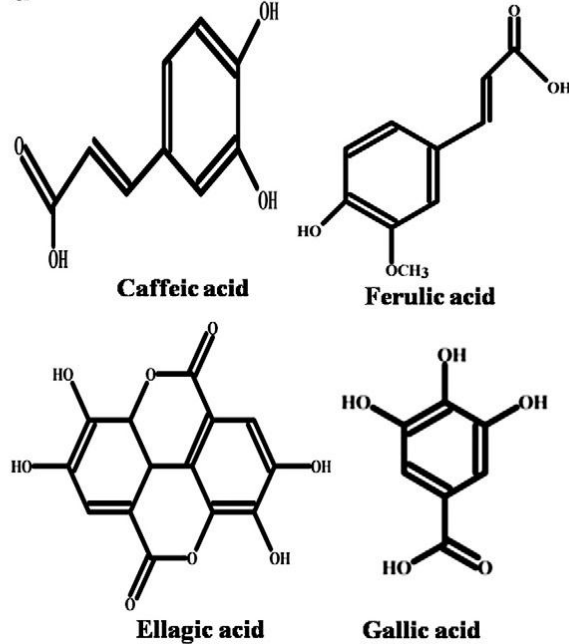
b



c



d



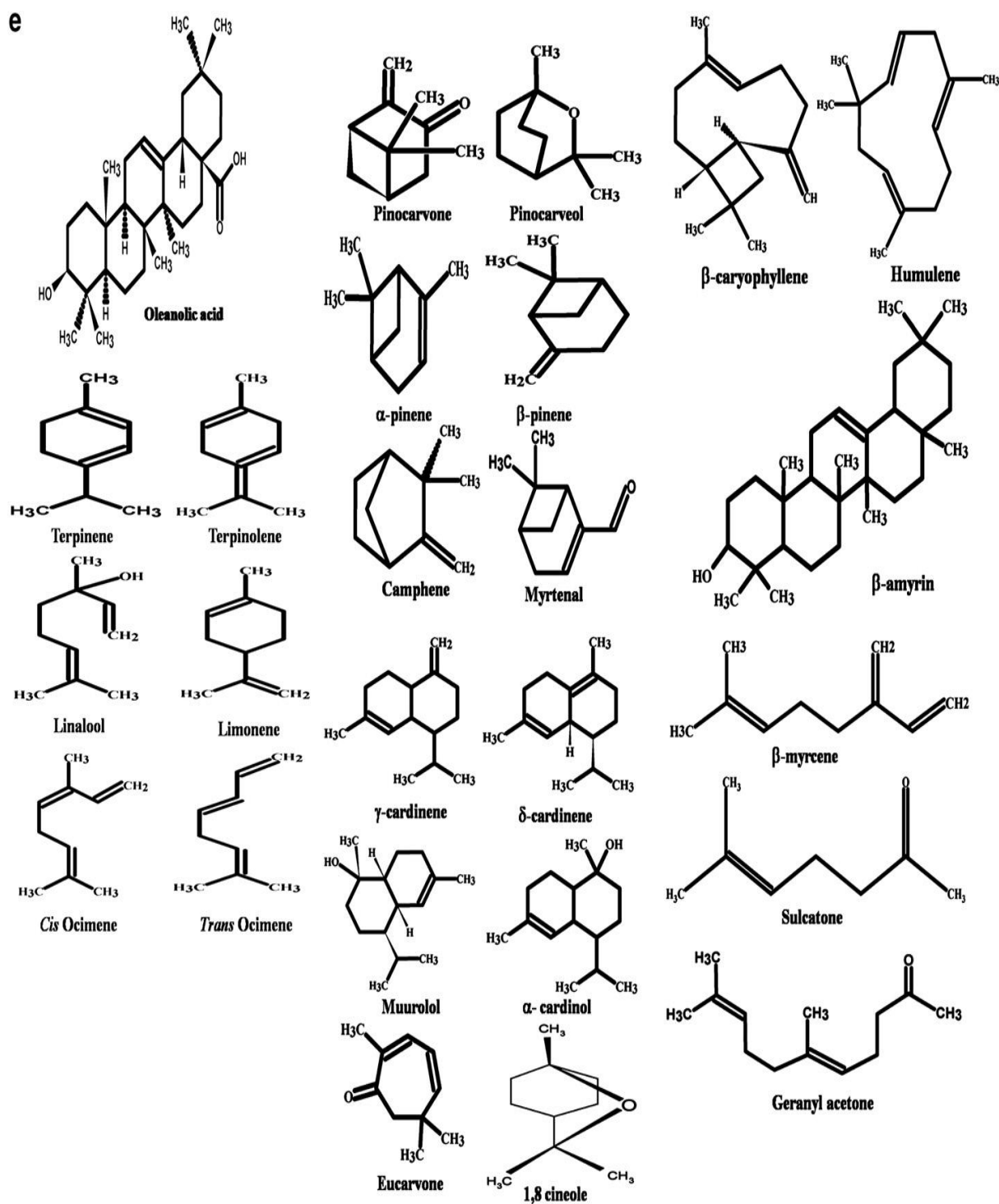


Figure 18- La structure chimique de quelques molécules isolées de *Syzygium cumini*.
a. Acides aliphatiques. **b.** Anthocyanines. **c.** Flavonoïdes. **d.** Composés phénoliques.
e. Phytostéroïls et Terpènes (Baliga *et al.*, 2011).

Chapitre 3- Activité antioxydante et polyphénols

3.1- Les antioxydants

3.1.1- Définition

Un antioxydant est toute substance capable de retarder ou de prévenir de manière significative l'oxydation du substrat par neutralisation ou réduction des dommages causés par les radicaux libres dans l'organisme et de maintenir un niveau non cytotoxique de ROS (Espèces réactives d'oxygène), tant que la quantité d'antioxydants disponibles est suffisante les radicaux libres ne constituent pas un réel problème pour l'organisme, mais en cas de production excessive de radicaux libres non gérables par l'organisme, toutes les structures biologiques deviennent la cible de lésions (Basharat, 2015).

3.1.2- Les types d'antioxydants

Il y a deux types d'antioxydants : enzymatiques et non enzymatiques

3.1.2.1- Les antioxydants enzymatiques

Ils sont synthétisés dans l'organisme. Trois enzymes ont un rôle essentiel dans la détoxification des espèces réactives de l'oxygène.

- **Le superoxyde dismutase (SOD)**, qui catalyse la conversion de deux ions superoxydes et deux protons en peroxyde d'hydrogène et oxygène (Fridovich, 1995). On la retrouve dans un grand nombre d'organismes vivants soulignant ainsi son importance (Richier *et al.*, 2003).
- **La catalase**, qui transforme le peroxyde d'hydrogène en oxygène et eau, diminuant ainsi sa demi-vie et atténuant de ce fait la génération de radicaux hydroxyles (Ichai *et al.*, 2011).
- **La glutathion peroxydase**, qui catalyse l'oxydation du glutathion aux dépend du peroxyde d'hydrogène. Elle peut aussi réagir avec d'autres substrats comme les lipides expliquant son rôle protecteur vis-à-vis de la peroxydation lipidique (Levraut *et al.*, 2003).

3.1.2.2- Les antioxydants non enzymatiques

Ce sont des piègeurs de radicaux libres dont la plupart sont apportés par l'alimentation, principalement par les plantes. D'autres sont endogène, fabriqués au niveau des cellules. Les plus importants des antioxydants non enzymatiques sont :

- **Vitamine C**

La vitamine C ou l'acide L-ascorbique est un antioxydant majeur présent dans tous les organes, elle est l'un des principaux antioxydants hydrosolubles présent dans les fluides intra et extracellulaire. C'est un excellent piègeur des espèces réactives oxygénées il réagit avec l'anion superoxyde ($\text{OH}^\bullet$), l'oxygène singulet ($\text{O}_2^\bullet$), le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), ou encore inhibe la peroxydation lipidique en régénérant la vitamine E (Birben *et al.*, 2012).

- **Vitamine E (α -tocophérol)**

La vitamine E ou bien α -tocophérol est une vitamine liposoluble à propriété antioxydante. Son caractère hydrophobe permet de s'insérer au sein des membranes riches en acides gras polyinsaturés, elle joue un rôle protecteur en réagissant avec les radicaux peroxydes ($\text{ROO}^\bullet$) pour former un radical tocophéryle, empêchant ainsi la propagation de la peroxydation lipidique (Haleng *et al.*, 2007).

- **Les caroténoïdes**

Plus de 600 caroténoïdes différents ont été isolés à partir de sources naturelles, mais seul un petit nombre d'entre eux se retrouvent dans le sang et les tissus animaux. Les fruits et les légumes en sont les principales sources alimentaires. De façon formelle, tous les caroténoïdes dérivent d'une structure linéaire ($\text{C}_{40}\text{H}_{56}$) avec de nombreuses doubles liaisons, le lycopène, pigment rouge présent notamment dans la tomate et le pamplemousse.

Le chef de file des caroténoïdes est cependant le β -carotène, également appelé provitamine A car, après hydrolyse hépatique, il donne naissance à deux molécules de vitamine A (Haleng *et al.*, 2007).

- **L'acide urique**

Produit terminal majeur du métabolisme des purines chez l'homme, il est à pH physiologique majoritairement ionisé sous forme d'urate, un piègeur puissant de radicaux ($\text{OH}^\bullet$, $\text{ROO}^\bullet$, $\text{NOO}^\bullet$...). Ces réactions conduisent à des espèces radicalaires qui seront à leur tour réduites (notamment par la vitamine C). Les propriétés antioxydantes de l'urate *in vivo* peuvent être appréciées indirectement par le fait qu'un produit de réaction de l'urate avec les EOA, l'alantoïne, est présent à des taux élevés lors d'un stress oxydant (Haleng *et al.*, 2007).

- **Glutathion :**

Le glutathion est un tripeptide (acide glutamique-cystéine-glycine). Il est le thiol majoritaire au niveau intracellulaire, il est présent sous forme essentiellement réduite (GSH).

La plupart des protéines dont l'albumine contiennent des groupements « thiols » qui possèdent des propriétés réductrices et piègent facilement les espèces oxygénées activées (Laguerre *et al.*, 2007).

- **Les composés phénoliques**

Les composés phénoliques et en particulier les flavonoïdes, sont des métabolites secondaires des plantes, caractérisés par une structure chimique commune de type 2-phénylbenzopyrane. Leur activité antioxydante réside dans leur capacité à terminer les chaînes radicalaires par des mécanismes de transfert d'électron et de protons, et à chélater les ions métalliques qui sont capables de catalyser la peroxydation lipidique (Leopoldini *et al.*, 2011).

3.2- Les composés phénoliques (polyphénols)

3.2.1- Généralités

Le terme « métabolite secondaire », qui a probablement été introduit par Albrecht Kossel en 1891, est utilisé pour décrire une vaste gamme de composés chimiques dans les plantes, qui sont responsables des fonctions périphériques indirectement essentielles à la vie des plantes, telles que la communication intercellulaire, la défense et la régulation des cycles catalytiques (Verscheure *et al.*, 2002).

Les métabolites secondaires (SM) sont présents dans toutes les plantes supérieures, et ayant une répartition limitée dans l'organisme de la plante, dont plus de 200.000 structures ont été définies et sont d'une variété structurale extraordinaire mais sont produits en faible quantité. Ces molécules marquent de manière originale, une espèce, une famille ou un genre de plante et permettent parfois d'établir une taxonomie chimique (Hartmann, 2007).

On peut classer les métabolites secondaires en trois grands groupes : les composés phénoliques, les terpènes et les alcaloïdes. On va s'intéresser au premier groupe.

Les composés phénoliques sont des métabolites secondaires caractérisés par la présence d'un cycle aromatique portant des groupements hydroxyles libres ou engagés avec des glucides. Ils sont présents dans toutes les parties des végétaux (racines, tiges, feuilles, fleurs, pollens, fruits, graines et bois) ; et sont impliqués dans de nombreux processus physiologiques comme la croissance cellulaire, la rhizogénèse, la germination des graines et la maturation des fruits.

Les composés phénoliques peuvent constituer des signaux de reconnaissance entre les plantes, ou bien lui permettant de résister aux diverses agressions vis-à-vis des organismes pathogènes. Ils participent de manière très efficace à la tolérance des végétaux à des stress

variés, donc ces composés jouent un rôle essentiel dans l'équilibre et l'adaptation de la plante au sein de son milieu naturel, D'un point de vue thérapeutique, ces molécules constituent la base des principes actifs que l'on trouve dans les plantes médicinales (Macheix *et al.*, 2005).

Les composants phénoliques sont des molécules biologiquement actives, ils sont largement utilisés en thérapeutique comme vasoconstricteurs, anti-inflammatoires, inhibiteurs enzymatiques, antioxydants et antiradicalaires, antimicrobiens (Djemai Zoughlache, 2008).

3.2.2- Classification des composés phénoliques

Les principales classes des composés phénoliques sont, les flavonoïdes, les acides phénoliques (acide caféique, acide hydroxycinnamique, acide ferulique, acide chlorogénique, coumarines...) et les tanins.

3.2.2.1- Les flavonoïdes

a- Définition

Le terme flavonoïde (de flavus, « jaune » en latin) désigne une très large gamme de composés naturels appartenant à la famille des polyphénols (Bouakaz, 2006).

Les flavonoïdes constituent des pigments responsables des colorations jaune, orange et rouge de différents organes végétaux. Ils constituent le principal groupe de polyphénols, avec plus de 9000 composés différents et distribués de manière générale, dans toutes les plantes vasculaires (Hernández, 2009). La couleur des fruits, des fleurs et des feuilles est une caractéristique des flavonoïdes (El Gharra, 2009).

b- Structure des flavonoïdes

Tous les flavonoïdes (plus de 6000 structures) possèdent le même élément structural de base : le noyau flavane (Bruneton, 1999) qui est un diphenylpropane à 15 atomes de carbone (C6-C3-C6) constitué de deux noyaux aromatiques (ou anneaux), que désignent les lettres A et B, reliés par un hétérocycle oxygéné, que désigne la lettre C (Harborne et Williams, 2000)

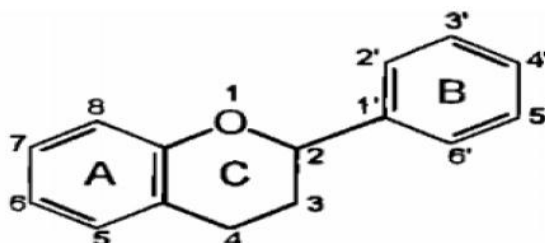


Figure 19- Structure de base des flavonoïdes (Krishna *et al.*, 2001).

c- Classification des flavonoïdes

Les différentes classes de flavonoïdes et leurs structures sont résumées sur figure ci-dessous.

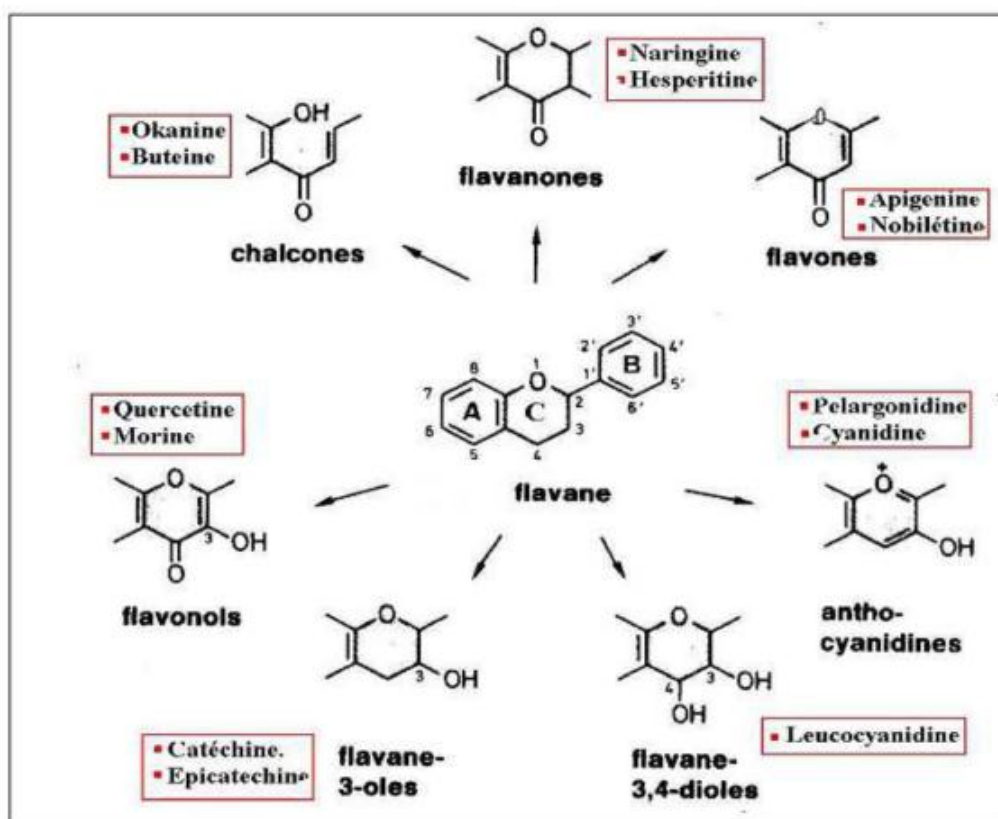


Figure 20- Principales classes des flavonoïdes (Louis, 2004).

d- Biosynthèse des flavonoïdes

La structure en C6-C3-C6 des flavonoïdes est le produit des deux voies de synthèse des composés phénoliques, le noyau B et le pont carboné constituant une unité phénylpropanoïde synthétisée à partir de la phénylalanine provenant de la voie de l'acide shikimique, alors que le noyau A vient de la condensation de 3 motifs acétates via la voie de l'acide malonique. La fusion de ces deux parties implique la condensation d'un phénylpropanoïde, le 4-coumaryl, avec 3 malonyl CoA donnant chacun 2 atomes de carbone (Figure 21). La réaction est catalysée par la chalcone synthase, donnant ainsi le tétrahydroxychalcone, qui va à son tour donner tous les flavonoïdes (Crozier, 2003).

La structure de base des flavonoïdes peut subir de nombreuses substitutions, les groupements hydroxyles étant généralement en positions 4,5,7. La plupart des flavonoïdes existent sous forme de glycosides, la nature du sucre variant grandement selon les espèces. Les substitutions modifient la solubilité des flavonoïdes, les hydroxylations et les glycosylations

rendent les composés généralement plus hydrophiles, alors que d'autres substitutions, telles que la méthylation, les rendent plus lipophiles (Rahman, 2005).

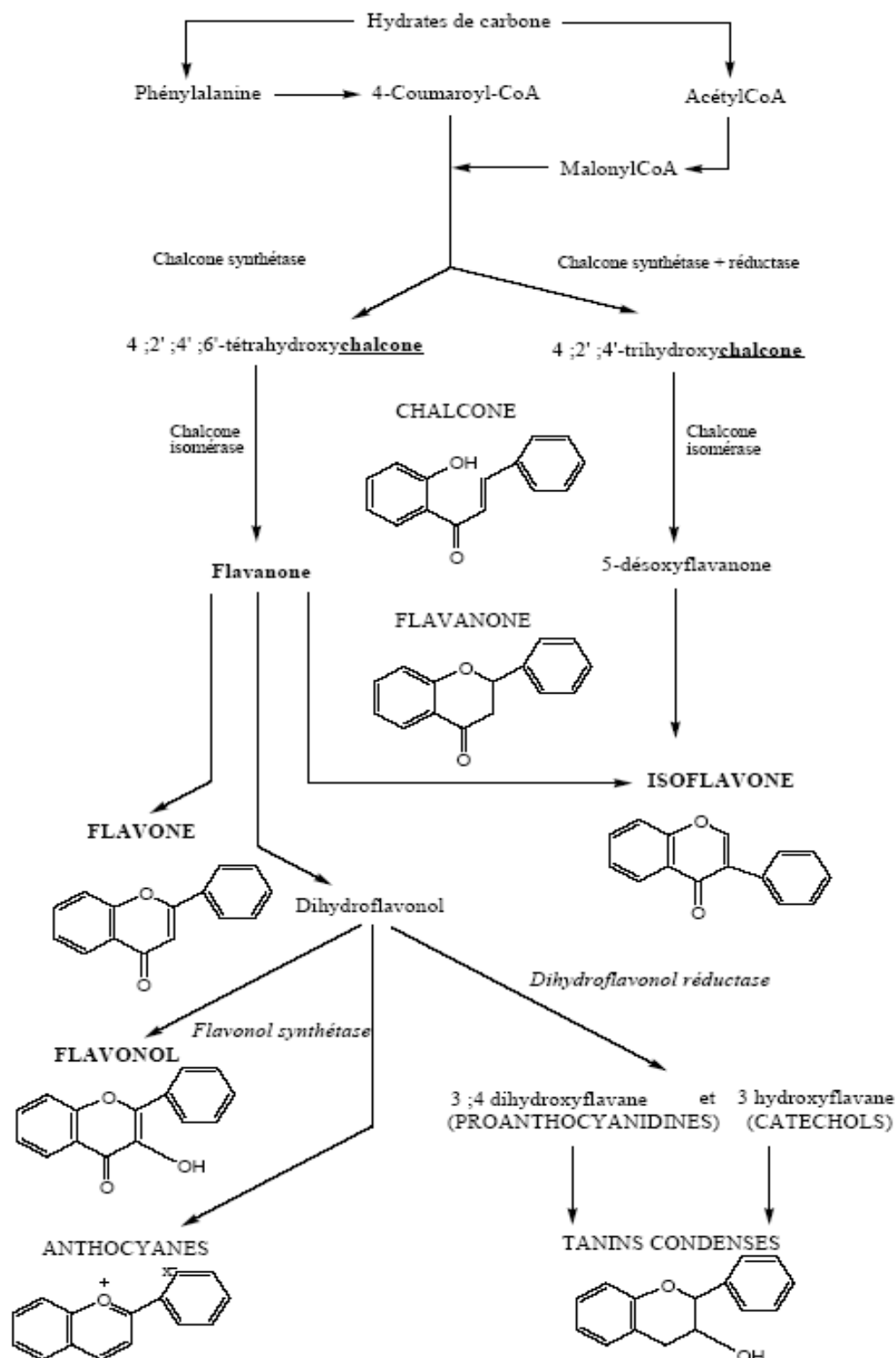


Figure 21- Voies de biosynthèse des flavonoïdes (Gerhard, 1993).

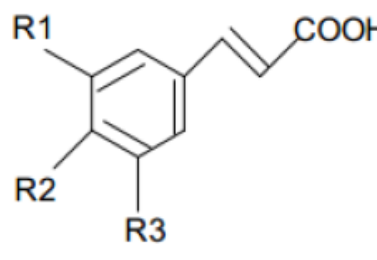
e- Propriétés des flavonoïdes

Les flavonoïdes protègent les plantes contre les radiations UV, elles sont également impliquées dans les processus de défense de la plante contre les infections bactériennes et virales. Agissent comme des pigments ou des co-pigments. Peuvent moduler la distribution d'auxine, comme elles fonctionnent comme des signaux moléculaires de reconnaissance entre les bactéries symbiotiques et les légumineuses afin de faciliter la fixation de l'azote moléculaire. Agis sur la régulation de l'élongation des tiges et interviennent dans la maturité des fruits. Sont à l'origine des goûts amers et astringents afin de repousser les animaux herbivores (Subramanian *et al.*, 2007).

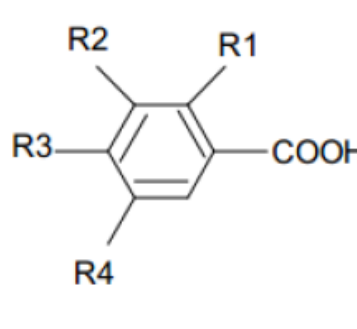
3.2.2.2- Les acides phénoliques

Les acides phénoliques font partie des formes les plus simples des composés phénoliques et se séparent en deux grands groupes distincts que sont les acides hydroxybenzoïques (C6-C1) et les acides hydroxycinnamiques (C6-C3) :

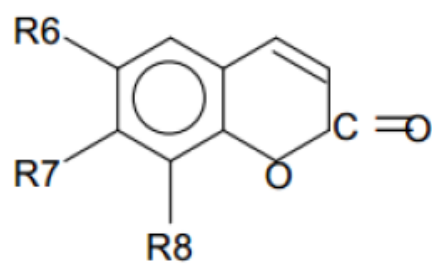
- **Les acides hydroxybenzoïques** : dont les plus répandus sont l'acide cinnamique, l'acide salicylique, l'acide gallique et l'acide vanillique, base de médicaments connus.
- **Les acides hydroxycinnamiques** : dont les plus abondants sont l'acide p-coumarique, l'acide caféique et l'acide férulique (Macheix *et al.*, 2005).
- **Les coumarines** : qui dérivent des acides hydroxycinnamiques par cyclisation interne de la chaîne latérale. Les coumarines ont fréquemment un rôle écologique ou biologique.

	R1	R2	R3	Acides phénoliques
	H	H	H	Acide cinnamique
	H	OH	H	Acide p coumarique
	OH	OH	H	Acide caféique
	OCH3	OH	H	Acide férulique
	OCH3	OH	OCH3	Acide sinapique

a- Les acides hydroxycinnamiques

	R1	R2	R3	R4	Acides phénoliques
	H	H	H	H	Acide benzoïque
	H	H	OH	H	Acide p hydroxy benzoïque
	H	OH	OH	H	Acide protocatechique
	H	OCH3	OH	H	Acide vanillique
	H	OH	OH	OH	Acide gallique
	H	OCH3	OH	OCH3	Acide syringique
	OH	H	H	H	Acide salicylique
	OH	H	H	OH	Acide gentisique

b- Les acides hydroxybenzoïques.

	R6	R7	R8	Acides phénoliques
	H	OH	H	Umbelliférol
	OH	OH	H	Aescultol
	OCH3	OH	H	Scopolétol
	OCH3	OH	OH	Fraxétol
	H	OH	OH	Daphnéto1

c- Les coumarines

Figure 22- Les différents types des acides phénoliques.
(Sarni-Manchado et Cheynier, 2006, Macheix *et al.*, 2005)

3.2.2.3- Les tanins

Le terme " tanin " (ou tannin) vient du mot « tannage », un procédé datant du moyen age et permettant la formation de cuir imputrescible par la création de liaisons entre les fibres de collagène de la peau fraîche (Bruneton., 2009).

Les tanins sont des composés phénoliques solubles dans l'eau, de poids moléculaire compris entre 500 et 3000 Dalton, et ayant outre les propriétés habituelles des phénols la capacité de précipiter les alcaloïdes, la gélatine et autres protéines (Peronny, 2005).

Selon la structure, on a deux types de tannins : les tannins hydrolysables et les tannins condensés, dits aussi : proanthocyanidines.

- **Les tannins hydrolysables :** formés par liaison de plusieurs acides galliques à un carbohydrate (généralement le glucose). On parle de gallotannins. Aussi des unités galloyles peuvent être ajoutées par liaisons esters, généralement en position C3 de l'acide gallique. Et les unités d'acide gallique voisines s'accouplent formant les esters d'acide hexahydroxydiphénique, dits : ellagitannins.

Ces deux groupes, les gallotannins et les ellagitannins sont appelés tannins hydrolysables car ils peuvent être dégradés en fragments simples (acides phénols et sucres).

L'acide gallique provient de la β -oxydation des composés C6-C3, comme l'acide coumarique ou les acides oxygénés correspondants. Mais, l'acide shikimique est considéré comme le meilleur précurseur (Seigler, 1998).

- **Les tannins condensés :** qui sont des proanthocyanidines, composés phénoliques hétérogènes : dimères, oligomères ou polymères du flavanes, flavan-3-ols, 5-flavanols, 5-deoxy-3-flavanols et flavan-3,4-diols.

Les deux groupes majeurs des proanthocyanidines sont les procyanidines et les prodelphinidines.

En s'hydrolysant, les tannins condensés ne donnent pas de composés simples comme le glucose ou les acides phénols comme c'est le cas pour les tannins hydrolysables, mais plutôt des anthocyanidines (Andersen et Markham, 2006).

3.2.3- Rôle protecteur des polyphénols

Les composés phénoliques agissent comme donneurs de protons ou d'électrons, comme chélateurs de métaux de transition (Márquez-García *et al.*, 2009), et comme inhibiteurs

d'enzymes génératrices de radicaux libres et inducteurs de la synthèse d'enzyme antioxydantes (Hennebelle *et al.*, 2004).

3.2.3.1- La chélation des métaux

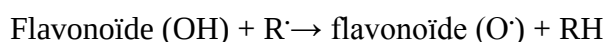
Les composés phénoliques inhibent la formation de radicaux libres par la chélation des métaux tels que : le Cuivre, le Fer et l'Aluminium. Ces ions métalliques renforcent les effets nocifs du stress oxydant, en stimulant la production des radicaux hydroxyles (OH.).

Ces composés en chélatant les ions métalliques, forment des complexes de coordination avec ces métaux, en occupant tous les emplacements et peuvent ainsi convertir les ions métalliques en complexes insolubles, empêchant leurs interactions avec les intermédiaires lipidiques (Lee *et al.*, 2004).

Certains flavonoïdes spécifiques sont connus pour chélater le fer et le cuivre, éliminant ainsi un facteur de causalité pour le développement des radicaux. La quercétine est capable de prévenir les effets délétères de l'oxydation induite dans la membrane érythrocytaire par un certain nombre d'agents oxydants qui causent la libération du fer dans sa forme libre, rédox active (Ferrali *et al.*, 1997, Cherrak, 2017).

3.2.3.2- La neutralisation des radicaux libres

Les composés phénoliques sont des piègeurs efficaces de radicaux libres, et ceci grâce à leur groupement hydroxyle fortement réactif contre l'anion superoxyde, le radical hydroxyle et l'oxygène singulet, selon la réaction suivante :



Les capacités antioxydantes des flavonoïdes sont nettement supérieures à celles des vitamines. Les flavonoïdes sont capables de neutraliser les radicaux libres directement par donation d'atome d'hydrogène (Heim *et al.*, 2002, Cherrak, 2017).

3.2.3.3- Activité anti enzymatique

Les composés phénoliques affectent l'activité de nombreux systèmes enzymatiques impliqués dans le stress oxydant. Certains flavonoïdes comme l'apigénine, la quercétine et la myricétine inhibent la xanthine oxydase, qui est considérée comme une source biologique importante du radical superoxyde lors de l'oxydation de l'hypoxanthine en acide urique.

Les flavonoïdes inhibent l'aldose réductase, la phospholipase A2 et des enzymes de l'inflammation : la cyclo-oxygénase et la lipo-oxygénase (Fernández *et al.*, 2005, Kim *et al.*, 2001, Chi *et al.*, 2001).

Les flavonoïdes sont des inhibiteurs enzymatiques, ils inhibent plusieurs enzymes intervenant dans divers mécanismes biologiques. Ils inhibent l'histidine décarboxylase, l'élastase, la hyaluronidase ce qui permettrait de conserver l'intégrité de la substance fondamentale de la gaine vasculaire ; ils inhibent aussi d'une manière non spécifique la catéchol-O-méthyltransferase, ce qui augmenterait la quantité de la catécholamine disponible et donc provoquerait une élévation de la résistance vasculaire.

En plus, les flavonoïdes inhibent la phosphodiesterase de l'AMP_C ce qui pourrait expliquer leur activité anti-agrégante plaquettaire ; aussi, ils inhibent l'aldose réductase qu'est impliquée dans la pathogénie de la cataracte (Bruneton, 1999).

Les flavonoïdes inhibent les enzymes responsables de la formation de l'anion superoxyde comme la xanthine oxydase et la protéine kinase C (Ursini *et al.*, 1994).

Les flavonoïdes et les composés phénoliques des plantes sont suggérés comme une approche alternative pour la prévention et le traitement de la maladie du diabète type 2 avec sans ou peu de risque d'effets secondaires en inhibant l' α amylase et l' α glucosidase (Khan *et al.*, 2018). Les flavonoïdes peuvent aussi empêcher le diabète ou du moins le réduire en inhibant l'enzyme aldose réductase (Chaudhry, 1983).

Les flavonoïdes et les acides phénoliques sont les principaux groupes de métabolites secondaires considérés comme bonnes sources d'anticholinestérases dans l'alimentation humaine (Kim *et al.*, 2003), cette enzyme est responsable de la maladie d'Alzheimer.

La fixation des tanins avec les protéines peut engendrer l'inhibition de plusieurs enzymes. Le blocage de la 5-lipoxygénase par la géraniine et la corilagine ; l'inhibition de l'enzyme de conversion de l'angiotensine, de l'activation de la hyaluronidase, des glucosyltransferases des microorganismes impliqués dans la cariogenèse ; inhibition des topoisomérases par la sanguine H6 ou l'acide chebulagique ; inhibition de la protéines kinase C par les tanins éllagiques et les tanins complexes, les dimères procyanidoliques ont une activité inhibitrice sur l'histidine decarboxylase et l'elastase (Bruneton,1999)

3.2.3.4- Autres propriétés des polyphénols

Les différentes recherches sur les polyphénols, spécialement les flavonoïdes, ont montré diverses propriétés pharmaceutiques. À côté des activités citées précédemment, les flavonoïdes possèdent d'autres activités. Ils sont capables de moduler le fonctionnement du système immunitaire (Middleton, 1996). Ils sont de puissants inhibiteurs de la prolifération des lymphocytes B et T (Mookerjee *et al.*, 1986).

D'autres activités sont étudiées : activités antivirales, antispasmodiques, antitumorales, anti-agrégation plaquettaires, hypocholestérolémiantes, anti-inflammatoires, antihypertensives (Das *et al.*, 1994 ; Kini *et al.*, 2008). Aussi certains flavonoïdes (notamment du soja) ont un effet préventif sur le cancer du sein, de la prostate et l'ostéoporose (Besle *et al.*, 2004).

Partie

Expérimentale

Matériels et méthodes

1- Présentation de la zone d'étude

1.1- Situation géographique

La wilaya de Skikda est située au nord-est de l'Algérie. Elle est limitée au nord par la mer Méditerranée, au sud-est par la wilaya de Guelma, au sud-ouest par les wilayas de Constantine et Mila, à l'est par la wilaya d'Annaba et à l'ouest par la wilaya de Jijel. Elle s'étend sur une superficie de 4 140 km², découpée administrativement en 13 daïras et 38 communes (Meghzili, 2015).

L'université 20 aout 1955 est installée sur les anciennes terres de l'école régionale d'agriculture. Elle est située au Sud de la wilaya de Skikda (ex Philippeville), à égale distance des villes de Skikda et d'El Hadaïk (ex Saint Antoine) soit à environ 2 km de ces localités. Elle est située dans la partie de la vallée de Zeramna à flanc Nord de Msiouene. Elle occupe une superficie de 246 ha et est limitée par les montagnes et les forêts au Nord, l'EAC (Exploitation Agricole Collective) n° 66 issue de l'ex DAS (Domaine Agricole Socialiste) Beni Messous à l'Ouest, l'EAC n° 2 issue de l'ex DAS Bedaï Chaabane à l'Est et la route nationale n°3 au Sud (Chalabi, 2014).



Figure 23- La situation géographique de la zone d'étude.

1.2- Occupation des terres

En 2014, les terres étaient partagées à l'ancienne école d'agriculture (devenue l'université 20 Août 1955 de Skikda) selon le tableau ci-dessous :

Tableau 8- Occupation des terres de l'ancienne école d'agriculture de Skikda (Chalabi, 2014)

Désignation	Surface en hectares	% / Superficie totale
Agrumes	10ha 14a	4,11
Vigne (de table et de cuve)	13ha 12a 51ca	5,33
Arbres à pépins	5ha	2,02
Arbres à noyaux	4ha 45a	1,81
Grenadier	0ha 75a	0,30
Avocatier	0ha 50a	0,20
Plaquemnier	0ha 10a	0,04
Espaces verts (jardin et stade gazonné)	2ha 50a	1,01
Terres nues	63ha 55a	25,79
Bâtiments	4ha 35a	1,76
Forêts	141ha 95a 51ca	57,60
Surface agricole utile (S.A.U)	100ha 11a 51ca	40,62
Surface agricole totale (S.T)	246ha 41a 52ca	100

1.3- Climat de la zone d'étude

Le climat est l'ensemble des phénomènes qui caractérisent l'atmosphère et dont l'action influence l'existence des êtres qui y sont soumis (Chalabi, 2014)

Il constitue un facteur particulièrement actif de la formation des sols. Le climat est l'état moyen de l'atmosphère en un point de la surface terrestre.

Le climat de la Wilaya de Skikda appartient au régime méditerranéen tel qu'il est défini par Remenieras (1972), Le climat est humide et subhumide. Le climat méditerranéen est caractérisé par une saison froide relativement tempérée durant laquelle les perturbations cycloniques apportent des pluies souvent substantielles surtout sur les reliefs, suivie d'une période sèche et atmosphère calme. La Wilaya appartient aux domaines bioclimatiques humides et subhumides. Il est à variante douce et tempérée au niveau du littoral et froid à l'intérieur. L'étage humide couvre la zone occidentale montagneuse ainsi que les sommets à l'Est et au Sud.

Les données météorologiques dont nous disposons sont celles de trois périodes : 1913-1938 (Seltzer, 1946), 1985-2010 (ONM de Skikda), 2016-2018 (Station Météo de Constantine) (Annexe 1 et Annexe 2).

Les graphiques ci-dessous présentent la variation mensuelle de la température moyenne et de la pluviométrie durant ces périodes, ainsi que le diagramme ombrothermique de la période (2016-2018).

Les données climatiques montrent que pour les trois périodes, la température moyenne maximale est atteinte en mois d'août alors que la température la plus basse est enregistrée au mois de janvier à février (Figure 24).

En ce qui concerne la pluviométrie, des précipitations maximales sont enregistrées en mois de novembre, décembre ou janvier (Figure 25).

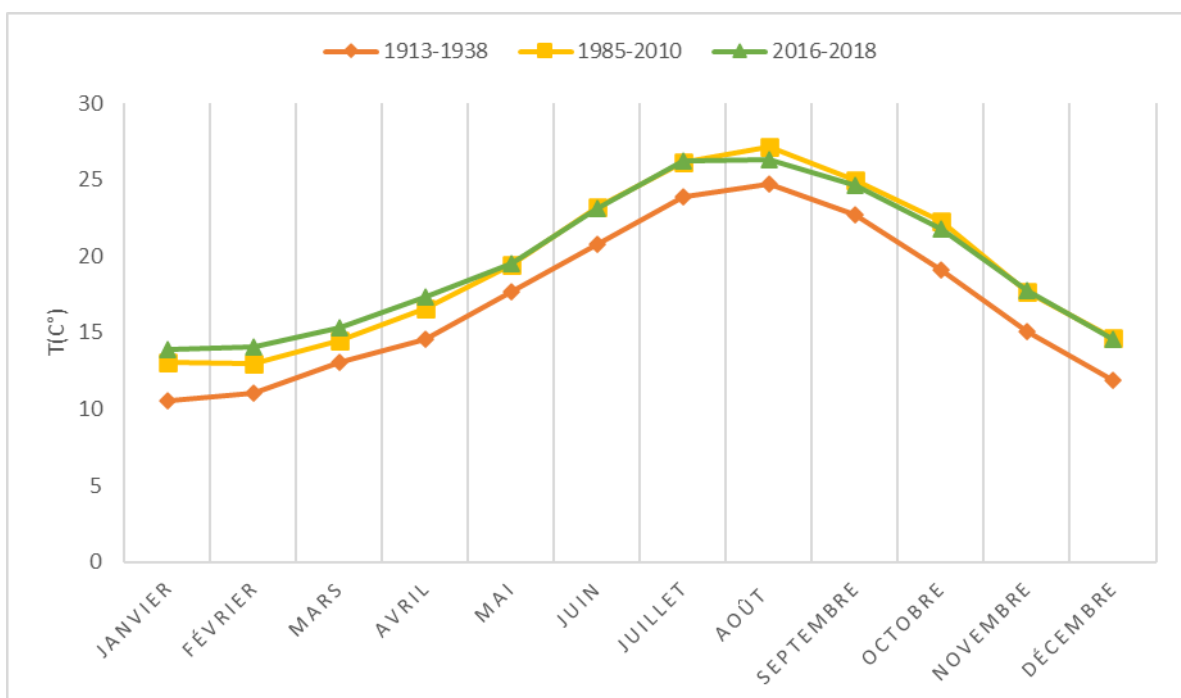


Figure 24- Les variations de la température moyenne durant trois périodes dans la zone d'étude.

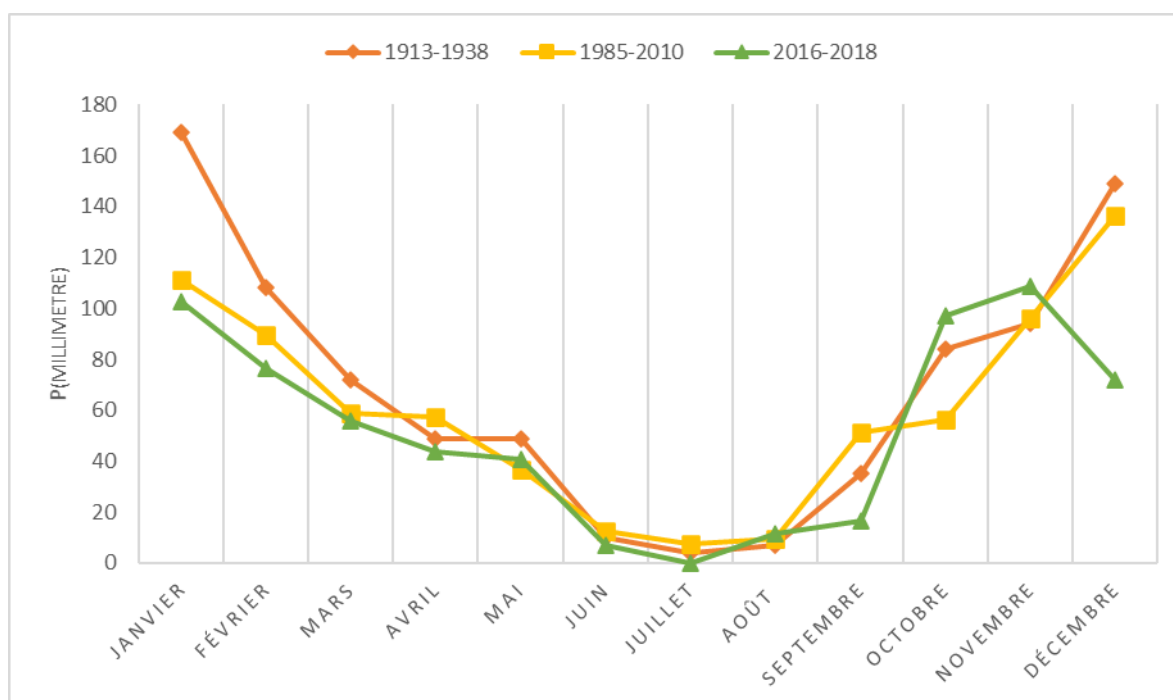


Figure 25- Les variations de la pluviométrie moyenne durant trois périodes dans la zone d'étude.

Le diagramme ombrothermique montre que la période de sècheresse à Skikda s'étale entre du mois de mai au mois de septembre (Figure 26)

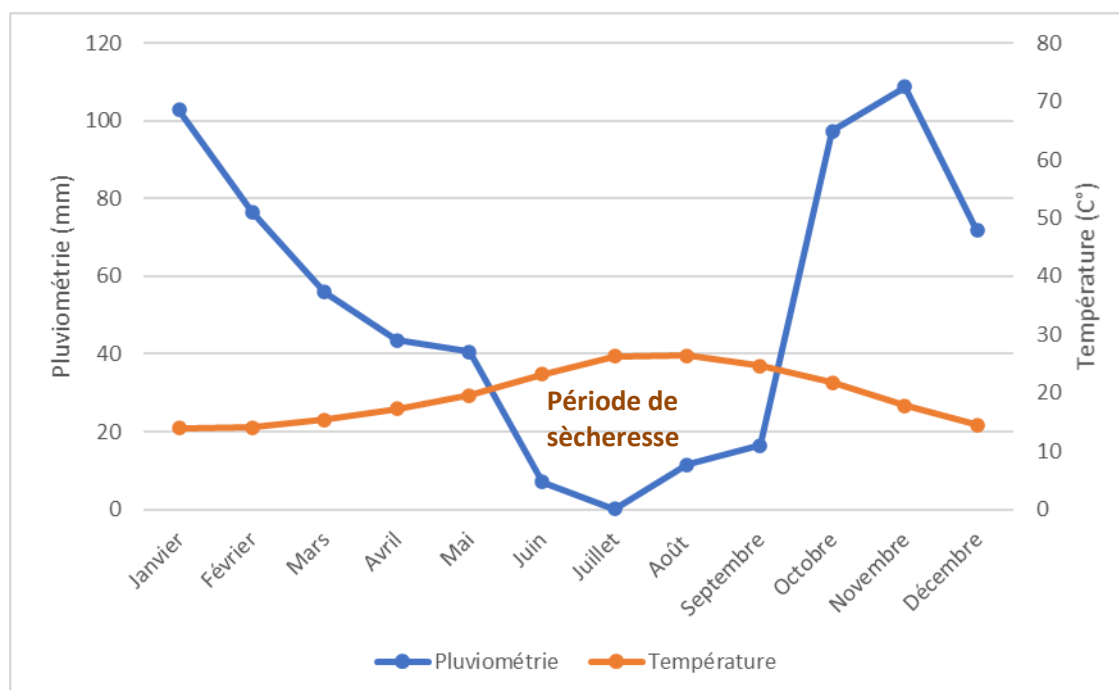


Figure 26- Diagramme Ombrothermique de Gausson de la période 2016-2018.

1.4- Conditions édaphiques de la zone d'étude

Il existe trois catégories de sols dominants dont la genèse et l'évolution résultent de l'action conjuguée d'un certain nombre de facteurs tels que l'histoire géomorphologique, les actions anthropiques, les formations végétales. Ces sols se sont formés à partir des roches tels que le mica schiste et les dépôts colluviaux et alluviaux.

La répartition géographique des sols du sud au nord se présente comme suit :

- Sur le cordon montagneux : sols à sesquioxyde, fersialitique et brun lessivé.
- Sur les piémonts : sols colluviaux ou peu évolués d'apport.
- Dans les vallées alluviales et plaines inondables : sols peu évolués et sols hydro morphes.

Sur la base de la carte des sols, on distingue par ordre d'importance, les types de sols suivants:

- Sols à sesquioxyde de fer, fersialitique.
- Sols Calcimagnésiques, saturés colluviaux et sols peu évolués.
- Sols Bruns non lessivés.
- Sols minéraux bruts (Chalabi, 2014)

2- Paramètres étudiés

2.1- Recensement des espèces fruitières exotiques de l'ancienne école d'agriculture de Skikda

Les espèces fruitières exotiques ont été recensées au niveau des différents jardins de l'ancienne école d'agriculture de Skikda :

- Le jardin exotique.
- Le jardin de la villa d'hôte.
- Le jardin botanique.

Ce recensement a été réalisé en Septembre 2017. Chaque espèce a été identifiée (Avec l'assistance Mr Chalabi, R, Enseignant-chercheur et responsable des jardins). On a noté le nom commun de l'espèce, le nom scientifique, l'origine de l'espèce, le nombre d'arbres et l'année de la plantation.

2.2- Etude phytochimique

2.2.1- Matériel végétal utilisé

On a choisi de travailler sur les feuilles de trois espèces fruitières exotiques :

- Le goyavier (*Psidium guajava* L.).
- Le Feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg.) Burret).
- Le jamblon (*Syzygium cumini* L. Skeels).

Ces trois espèces appartiennent à la famille des Myrtacées.

Les feuilles ont été collectées en mai 2018. Pour le goyavier (*Psidium guajava*) on a cueilli les feuilles fraîches de l'arbre mère planté au niveau du jardin botanique depuis 1952.

Concernant le Feijoa (*Acca sellowiana*), les feuilles ont été cueillies d'un arbre planté au niveau du jardin botanique depuis 1952. Pour le jamblon (*Syzygium cumini*), on a cueilli les feuilles d'un arbre qui se trouve au niveau du jardin exotique, planté en 1952.

Les feuilles ont été séchées dans un endroit sec et à l'ombre pendant vingt jours.

2.2.2- Préparation des extraits foliaires

Cette étape a été réalisée au niveau du laboratoire (Qualité- Analyse) du Centre de Recherche de Biotechnologie de Constantine.

2.2.2.1- La macération

La macération consiste à émerger 50g de poudre de feuilles, de chacune des espèces : *Psidium guajava*, *Acca sellowiana* et *Syzygium cumini*, dans 300 ml de méthanol / eau (70 v / 30 v) à température ambiante pendant 72 heures (3 x 24h). Après filtration, le solvant a été récupéré du filtrat par évaporation dans un Rotavapeur type Buchi R.200, à une température de 39°C. L'extrait obtenu a été conservé au 4°C jusqu'à l'utilisation.

2.2.2.2- Fractionnement de l'extrait hydroalcoolique par Extraction Liquide-Liquide (ELL)

On a utilisé trois solvants de polarité croissante pour l'affrontement, le rapport extrait/ solvant utilisé est 1 / 1 (V/ V), chaque phase est laissée pendant 24h et l'opération est répétée plusieurs fois pour chaque phase.

Chaque phase est séchée en chassant le solvant par l'utilisation de l'évaporateur rotatif.

- **L'extrait chloroformique**

Après la dissolution de l'extrait méthanolique dans 300 ml d'eau distillée, 200 ml de phase aqueuses sont mis dans une ampoule à décanter à laquelle on rajoute 200 ml de chloroforme (CHCl_3). Après une agitation et un repos de quelques heures, on observe deux phases :

-La phase aqueuse se retrouve en haut de l'ampoule.

-La phase chloroformique en bas, celle-ci est récupérée dans un bécher.

On a fait cinq répétitions et à chaque fois on ajoute 200 ml de chloroforme.

L'ensemble des phases chloroformiques récupérées sont séchées à l'évaporateur rotatif pour avoir l'extrait chloroformique. La phase aqueuse est remise dans l'ampoule à décanter pour être affrontée au solvant suivant.

- **L'extrait d'Acétate d'éthyle**

On ajoute 200 ml d'Acétate d'éthyle ($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$) à la phase aqueuse. Après une agitation et un repos, on observe deux phases :

-La phase aqueuse se retrouve en bas de l'ampoule.

-La phase d'acétate d'éthyle en haut, celle-ci récupéré dans un bécher. On a fait quatre répétitions. L'ensemble des phases Acétate d'éthyle récupérées sont séchées à l'évaporateur rotatif pour avoir l'extrait d'acétate d'éthyle.

La phase aqueuse est remise dans l'ampoule à décanter pour être affrontée au solvant suivant.

- **L'extrait butanolique**

La phase aqueuse obtenue après affrontement avec l'acétate d'éthyle est remise dans l'ampoule à décanter pour subir les mêmes opérations que précédemment mais avec 200 ml du *n*-butanol ($\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$), on observe :

-La phase aqueuse se retrouve en bas de l'ampoule.

-La phase butanolique en haut, celle-ci récupéré dans un bécher.

On a répété l'affrontement huit fois. L'ensemble des phases butanoliques récupérées sont séchées à l'évaporateur rotatif pour avoir l'extrait butanolique.

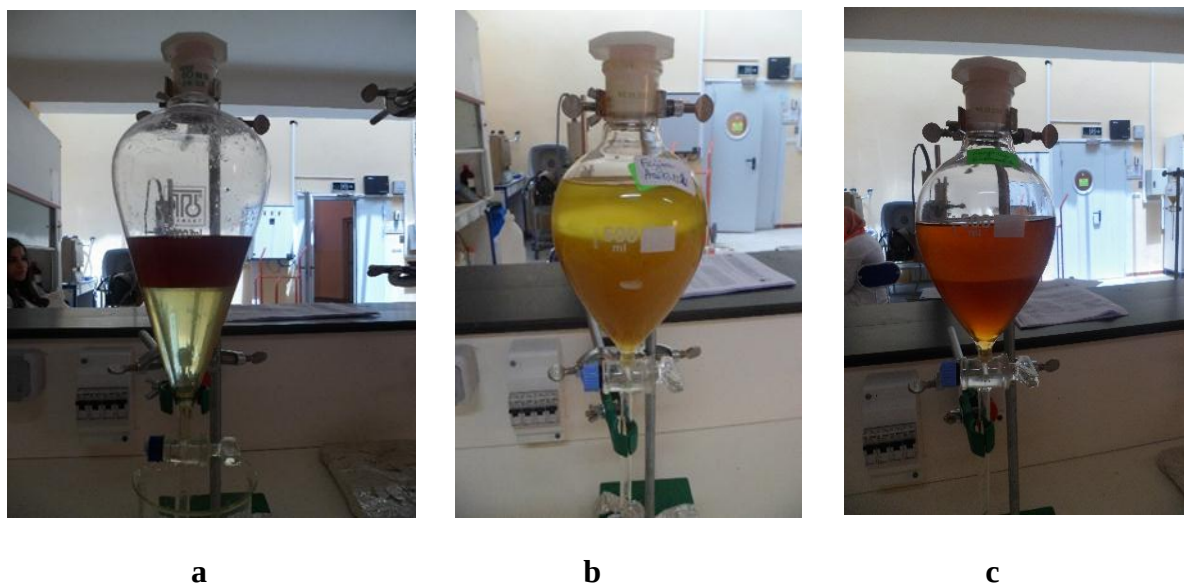


Figure 27- L'extraction Liquide-Liquide par les différents solvants.

- a-** Affrontement au chloroforme.
- b-** Affrontement à l'acétate d'éthyle.
- c-** Affrontement au n-butanol.

Les solutions organiques ont été évaporées sous pression et température réduites pour obtenir les trois extraits foliaires :

- Extrait chloroformique (EChl) : 3.82g (goyavier), 5.61g (Feijoa), 3,98g (jamblon)
- Extrait d'acétate d'éthyle (EAcE) : 20.05g (goyavier), 11.78g (Feijoa), 18.05g (jamblon)
- Extrait butanolique (EBut) : 32.73g (goyavier), 21.87g (Feijoa), 27.35g (jamblon)

Les extraits des trois espèces (9 au total) ont été conservés à 4 ° C jusqu'à utilisation.

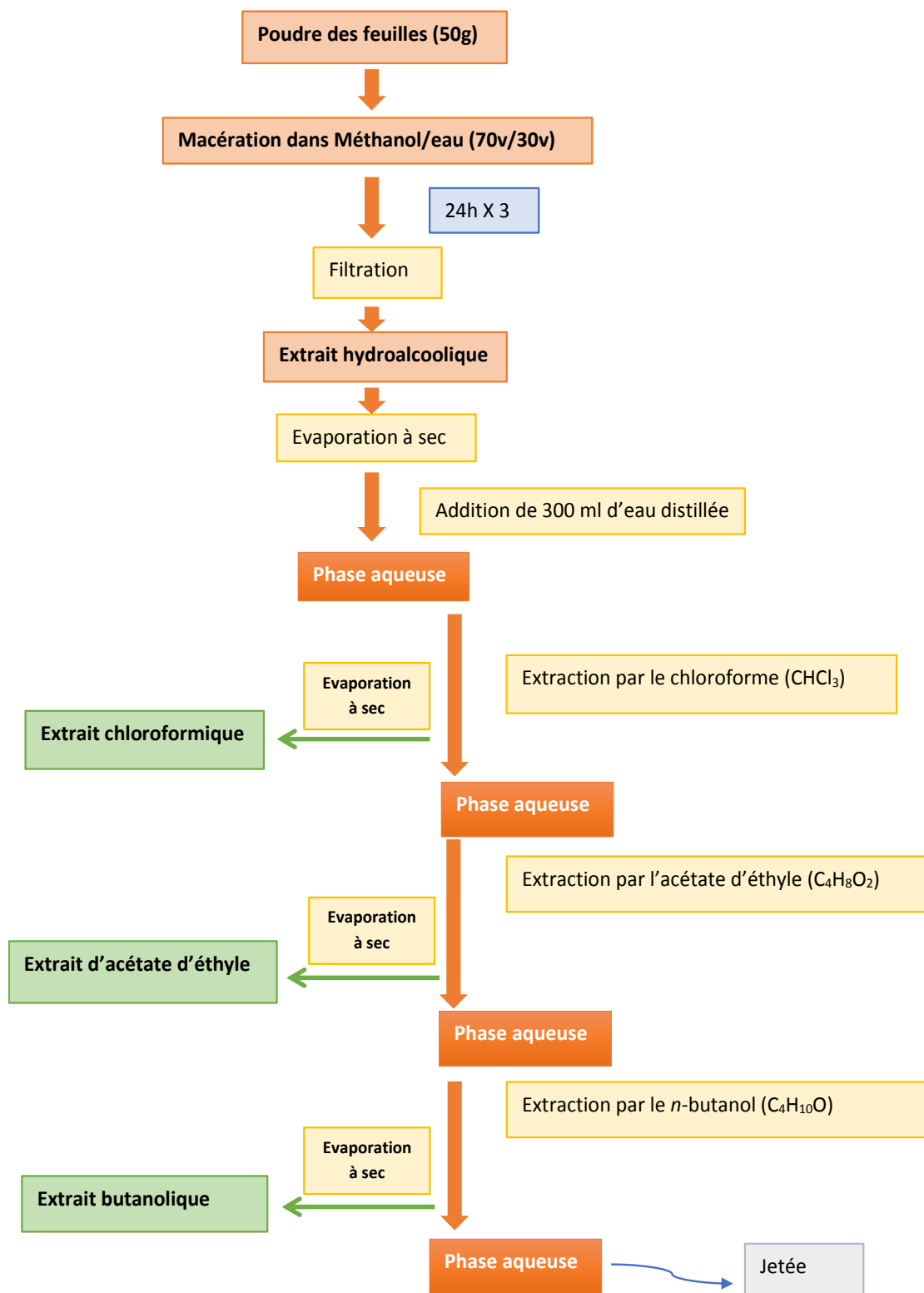


Figure 28- Protocole du fractionnement de l'extrait hydroalcoolique par Extraction Liquide-Liquide



Figure 29- Les trois extraits foliaires de *Psidium guajava* après évaporation à sec.

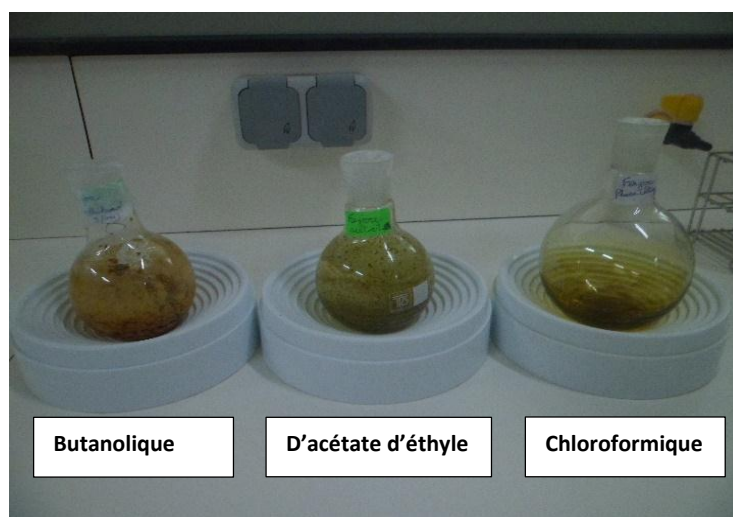


Figure 30- Les trois extraits foliaires de *Acca sellowiana* après évaporation à sec.

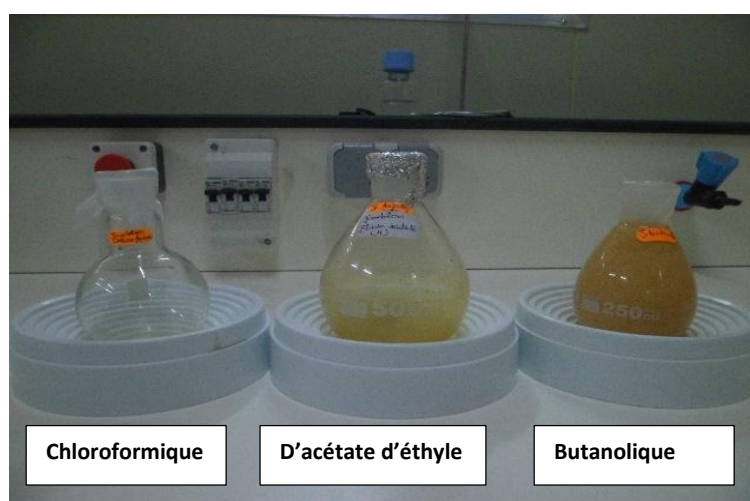


Figure 31- Les trois extraits foliaires de *Syzygium cumini* après évaporation à sec.

2.2.3- Dosage de la teneur en phénols totaux (TPC)

Cette étape du travail a été réalisée au niveau du laboratoire de Biochimie du CRBt (Centre de Recherche en Biotechnologie de Constantine).

La teneur en phénols totaux a été déterminée en utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu (Singleton *et al.*, 1965), selon une méthode de microplaque (Muller *et al.*, 2010).

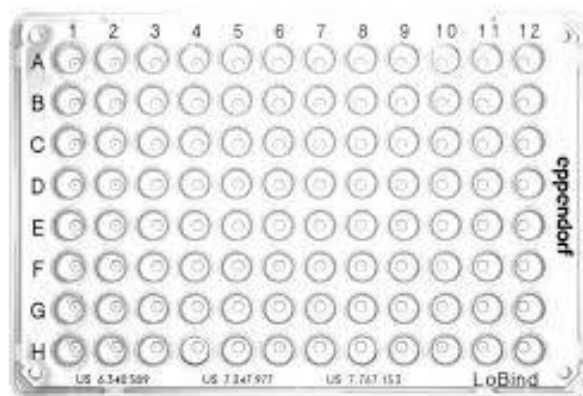


Figure 32- La microplaque à 96 puits.

Principe

Les composés phénoliques réagissent avec le réactif de Folin-Ciocalteu, ce réactif est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$). Il est réduit, lors de l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène. La coloration produite, dont l'absorption maximum est comprise entre 725 et 750 nm est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans les extraits végétaux ((Ribéreau-Gayon, 1968)

Mode opératoire

Dans une microplaque de 96 puits, 20 μ l d'échantillon (1 mg d'extrait / 1 ml de méthanol) ont été mélangés avec 100 μ l du réactif Folin-Ciocalteu (1:10) et 75 μ l de solution de carbonate de sodium (7,5%). La microplaque a été incubée deux heures à température ambiante dans l'obscurité. L'absorbance à 765 nm a été mesurée en utilisant le lecteur de microplaques (PerkinElmer).

La quantification des composés phénoliques a été faite en fonction d'une courbe d'étalonnage linéaire ($y = a \times x + b$) réalisée par une solution étalon (l'acide gallique) à différentes concentrations. Le contenu en phénols totaux a été évalué en microgrammes d'équivalents d'acide gallique par milligrammes d'extrait (μ g GAE/mg).

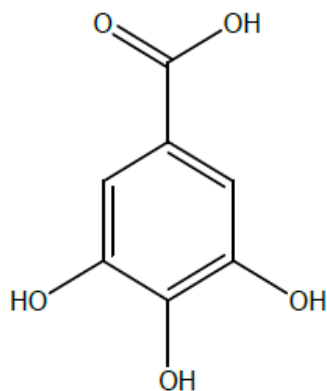


Figure 33- Structure de l'acide gallique

Pour la Gamme d'étalonnage de l'acide gallique, 1 mg d'acide gallique est dissout dans 5 ml de méthanol (MeOH) pour obtenir la solution mère (SM), les dilutions ont été préparées comme suit :

25 µg/ml : 25 µl de SM +175 µl de méthanol.

50 µg/ml : 50 µl de SM +150 µl de méthanol.

75 µg/ml : 75µl de SM +125 µl de méthanol.

100 µg/ml : 100µl de SM + 100 µl de méthanol.

125 µg/ml : 125µl de SM + 75 µl méthanol.

150 µg/ml : 150µl de SM + 50 µl de méthanol.

175µg/ml : 175 µl de SM + 25 µl de méthanol.

200 µg/ml : 200 µl de la SM.

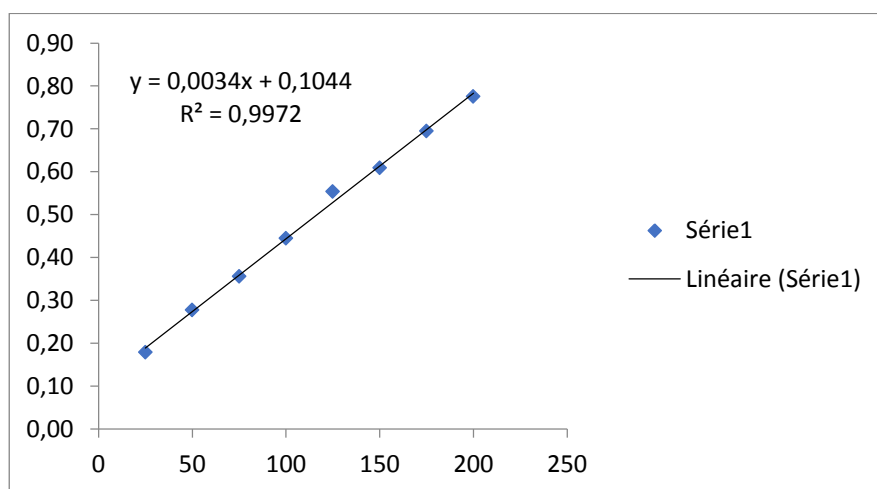


Figure 34- La courbe d'étalonnage de l'acide gallique.

2.2.4- Dosage de la teneur en flavonoïdes (TFC)

Cette étape du travail a été réalisée au niveau du laboratoire de Biochimie du CRBt (Centre de Recherche en Biotechnologie de Constantine).

Le dosage des flavonoïdes totaux est déterminé selon la méthode de Topçu *et al.* (Topçu *et al.*, 2007) avec quelques modifications pour l'adapter à la microplaque à 96 puits.

Principe

Le dosage des flavonoïdes dans les extraits est basé sur la formation d'un complexe entre Al^{+3} et les flavonoïdes. Le nitrate d'aluminium ($Al(NO_3)_3$) forme un complexe très stable avec les groupements hydroxydes OH des phénols. Ce complexe jaune absorbe la lumière visible à la longueur d'onde $\lambda = 415$ nm. Les flavonoïdes sont estimés par une spectroscopie UV-visible, dont la quercétine est utilisé comme un standard.

Mode opératoire

Dans une microplaque à 96 puits, 50 μ l d'extrait (Une masse de 1 mg d'extrait est dissoute dans un volume de 1 ml de méthanol) sont ajoutés à un mélange de 130 μ l méthanol, 10 μ l de la solution 1 (9.8 g de potassium acétate (CH_3COOK) sont dissouts dans 100 ml l'eau distillée) et 10 μ l de solution 2 (10 g de nitrate d'aluminium sont dissous dans 100 ml d'eau distillée). Le tout a été incubé durant 40 min. l'absorbance a été mesurée à 415 nm.

La quantification des flavonoïdes a été faite en fonction d'une courbe d'étalonnage linéaire ($y=ax$) réalisée par une solution étalon de quercétine à différentes concentrations.

Le contenu en flavonoïdes totaux (TFC) a été évalué en microgrammes d'équivalents quercétine par milligrammes d'extrait (μ g QE/mg).

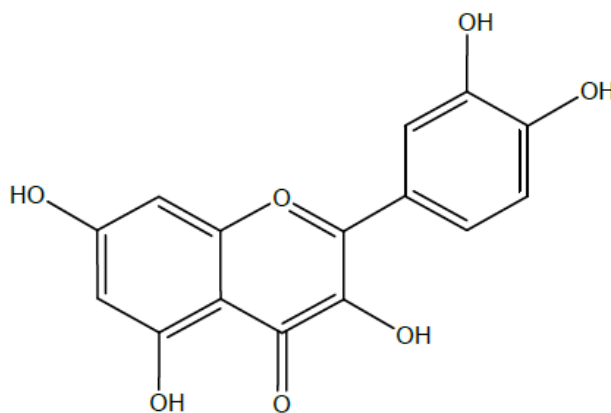


Figure 35- Structure de la quercétine.

Pour la gamme d'étalon de la Quercétine (Une quantité de 1 mg de la Quercétine est dissoute dans 5 ml de méthanol (MeOH) pour obtenir la solution mère (SM). Les dilutions ont été préparées comme suit :

25 µg/ml : 25 µl de SM +175 µl de méthanol.

50 µg/ml : 50 µl de SM +150 µl de méthanol.

75 µg/ml : 75µl de SM +125 µl de méthanol.

100 µg/ml : 100µl de SM + 100 µl de méthanol.

125 µg/ml : 125µl de SM + 75 µl méthanol.

150 µg/ml : 150µl de SM + 50 µl de méthanol.

175µg/ml : 175 µl de SM + 25 µl de méthanol.

200 µg/ml : 200 µl de la SM.

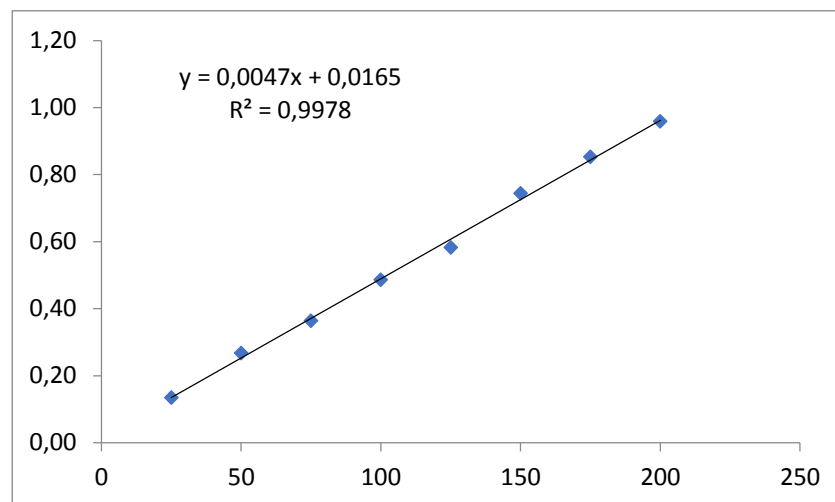


Figure 36- La courbe d'étalonnage de la quercétine.

2.2.5- Activité antioxydante

Cette étape du travail a été réalisée au niveau du laboratoire de Biochimie du CRBt (Centre de Recherche en Biotechnologie de Constantine).

On a étudié l'activité antioxydante des extraits foliaires (chloroformique, acétate d'éthyle et butanolique) des trois espèces exotiques : *Psidium guajava*, *Acca sellowiana* et *Syzygium cumini*, en utilisant six différentes méthodes : le piégeage du radical libre DPPH, le piégeage

de l'ABTS, la réduction par la formation du complexe Fe^{+2} -phenanthroline, la méthode CUPRAC, Le pouvoir réducteur FRAP et celui de la β - carotène.

Toutes ces méthodes ont été réalisées sur microplaque et leur lecture spectrophotométrique était faite à l'aide d'un lecteur de microplaque.

- Préparation des différentes concentrations des extraits foliaires

Pour évaluer l'activité et le pouvoir antioxydant d'un extrait, il faut tout d'abord le préparer sous forme de plusieurs dilutions d'une solution mère. On commence en général par une solution mère de 4g d'extrait dissout dans 1 ml de méthanol dans un tube Eppendorf et on réalise sept dilutions dans d'autres tubes contenant chacun 0,5 ml de méthanol en ajoutant 0,5 ml de la solution d'avant. De cette façon on a une dilution de $\frac{1}{2}$ à chaque fois (Figure 37).

Un blanc est toujours préparé et testé, il contient tous les réactifs sauf l'extrait.

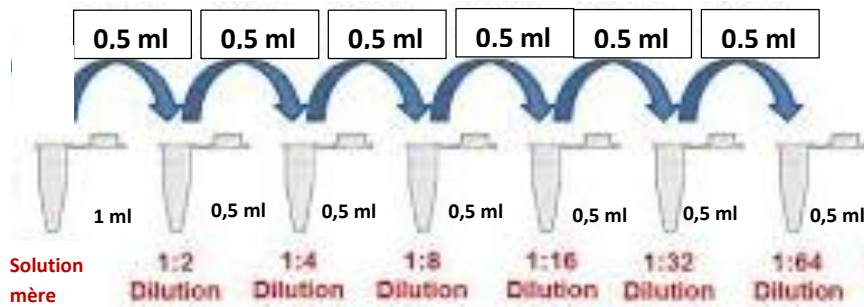


Figure 37- Préparation des différentes dilutions de nos extraits.

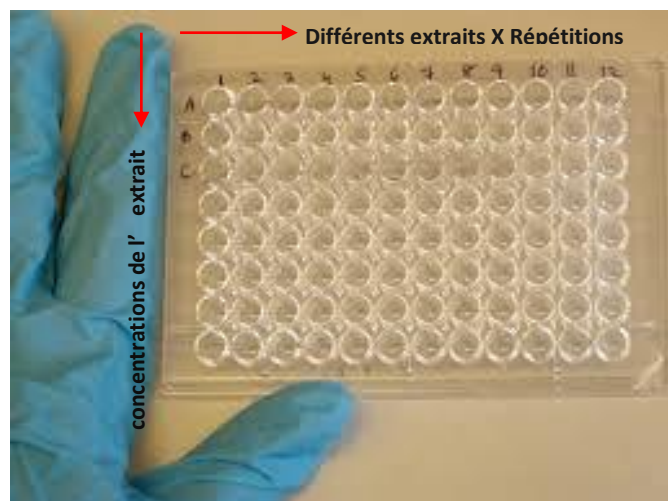


Figure 38- Utilisation de la microplaque dans les tests antioxydants.

2.2.5.1- Le test de piégeage du radical DPPH

L'activité anti-radicalaire libre est déterminée par spectrophotométrie par le dosage du DPPH (Blois, 1958).

Principe

Cette méthode est basée sur la mesure de la capacité des antioxydants à piéger le radical 2,2-diphényl-1-picrylhydrazil (DPPH) (Brand-William *et al.*, 1995).

Le radical DPPH (2,2'-diphényl-1-picryl-hydrazyl) est stable à température ordinaire et présente une couleur rose-violacée bien caractéristique. Les antioxydants présents dans l'extrait préparé le réduisent, ce qui entraîne une décoloration jaune, facilement mesurable par spectrophotométrie à 517 nm, et par conséquent une diminution de l'absorbance (Figure39).

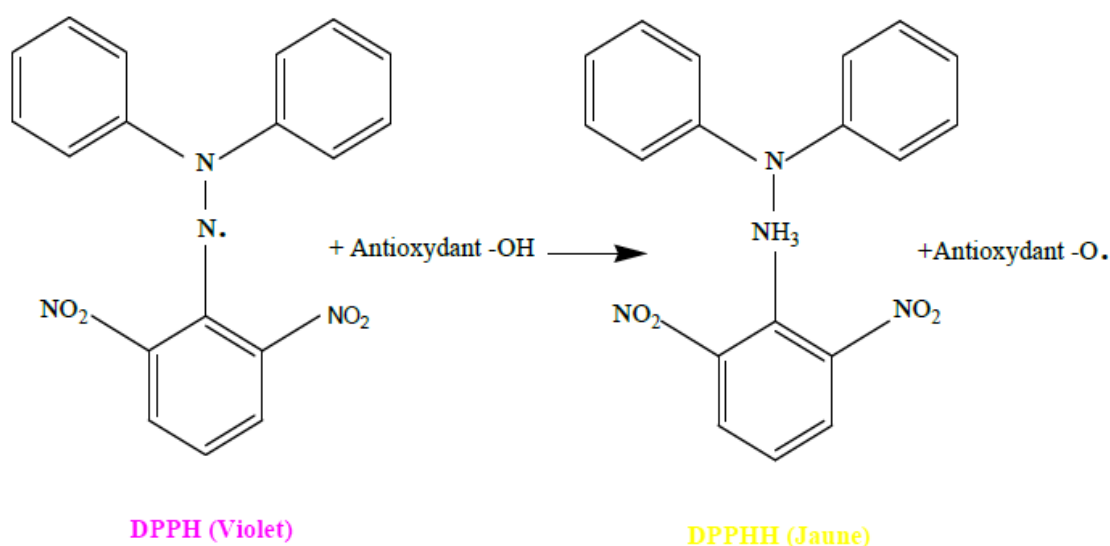


Figure 39- Réaction du test DPPH (Congo, 2012).

Mode opératoire

Une quantité de 4 mg du radical DPPH est dissoute dans un volume de 100 ml de méthanol, la solution est gardée à +4 °C à l'abri de la lumière.

Sur une microplaque à 96 puits, une solution de 160 µl du DPPH[•] a été mélangé avec 40 µl de l'extrait préparé à plusieurs concentrations (dilution dans le méthanol). Le mélange a été maintenu à une température ambiante et à l'abri de la lumière pendant 30 min. L'absorbance a été mesurée à 517 nm.

Le pourcentage d'inhibition a été calculé selon l'équation suivante :

$$\text{Inhibition (\%)} = \left[\frac{A_{\text{contrôle}} - A_{\text{extrait}}}{A_{\text{extrait}}} \right] \times 100$$

Les résultats sont évalués par le calcul de la valeur IC_{50} qui correspond à la concentration de l'extrait qui cause 50% d'inhibition.

Le BHA (Butylhydroxyanisole) et le BHT (Butylhydroxytoluène) sont utilisés comme standards.

2.2.5.2- Le test du piégeage du radical d'ABTS (ABTS scavenging activity)

L'analyse spectrophotométrique de l'activité de piégeage de l' $ABTS^{\bullet+}$ a été déterminée selon le procédé décrit par (Re *et al.*, 1999).

Principe

Ce test est basé sur le mécanisme d'oxydoréduction de l'ABTS (sel d'ammonium de l'acide 2,2-azino bis-(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique)). Au cours de ce test, le sel d'ABTS perd un électron pour former un radical cation ($ABTS^{\bullet+}$) de couleur sombre (vert bleu) en solution (Figure 40). En présence de l'agent antioxydant, le radical ainsi formé est réduit pour donner le cation $ABTS^+$, ce qui entraîne la décoloration de la solution (Owen et Johns, 1999).

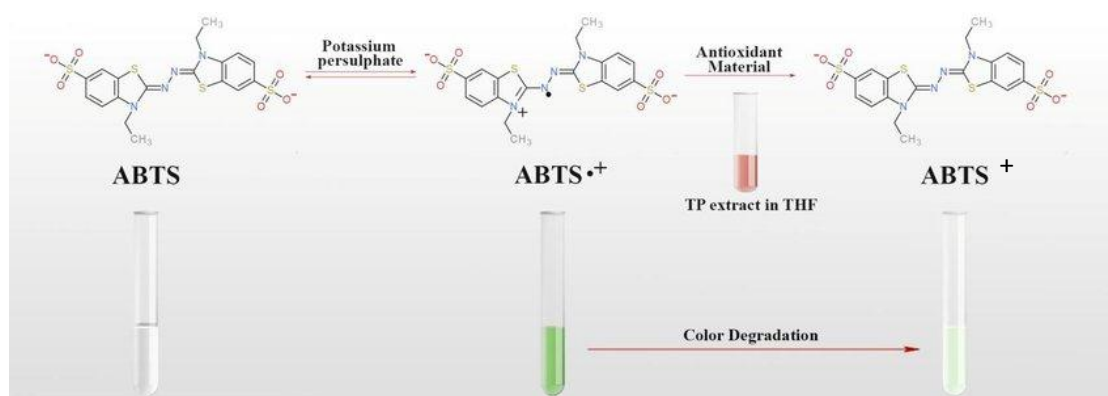


Figure 40- Réaction du test ABTS (Üstündaş *et al.*, 2018)

Mode opératoire

Le radical $ABTS^{\bullet+}$ est produit par réaction entre une solution aqueuse d'ABTS (7 mM) et une solution de potassium ($K_2S_2O_8$, 2,45 mM).

Ce mélange est agité pendant 16h à l'obscurité puis dilué par l'éthanol jusqu'à obtenir une absorbance à 734 nm de $0,700 \pm 0,02$. Sur une microplaque à 96 puits, un volume de 160 μ l

d'ABTS $^{++}$ a été ajouté à 40 μ l de l'extrait dilué dans le méthanol à plusieurs concentrations. Le mélange a été maintenu à l'obscurité et à température ambiante, l'absorbance a été mesurée à 734 nm après 10 min d'incubation.

Le pourcentage d'inhibition a été calculé selon l'équation suivante :

$$\text{Inhibition (\%)} = \left[\frac{A_{\text{contrôle}} - A_{\text{extrait}}}{A_{\text{extrait}}} \right] \times 100$$

Les résultats sont évalués par le calcul de la valeur IC_{50} qui correspond à la concentration de l'extrait qui cause 50% d'inhibition.

Le BHA (Butylhydroxyanisole) et le BHT (Butylhydroxytoluène) sont utilisés comme standards.

2.2.5.3- Le test de l'activité de Phénanthroline (Phen assay)

L'activité de phénanthroline est déterminée par la méthode de (Szydłowska-Czerniak *et al.*, 2008).

Principe

Cette technique est basée sur la formation du complexe Fe^{2+} -phénanthroline rouge-orangé à la suite d'une réaction d'oxydoréduction. Ce complexe est soluble à pH basique et peut être mesuré à une absorbance de 510 nm (Adhikamsetty *et al.*, 2008).

Seul le fer ferreux Fe^{2+} forme un complexe stable avec l'orthophénanthroline et donne une couleur orangée (Figure 41). On nomme ce complexe ferroïne et il se quantifie photométriquement à une longueur d'onde de 510 nm.

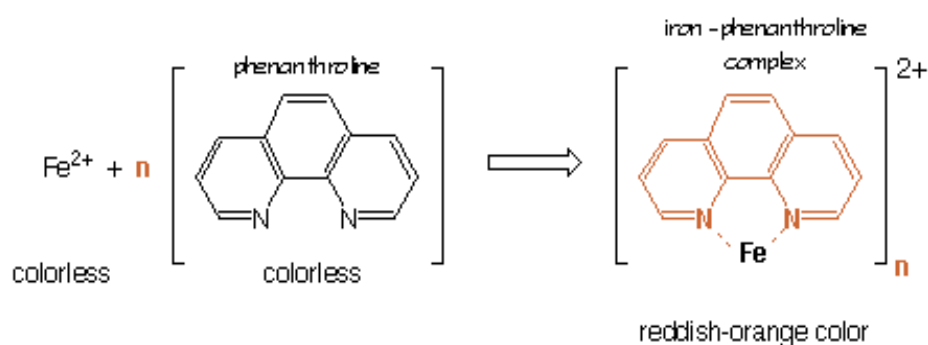


Figure 41- Formation du complexe Fe^{2+} -phenanthroline (Kumar, 2018)

Mode opératoire

Sur des microplaques à 96 puits, des extraits de différentes concentrations, de volume de 10 μ l ont été ajoutés à une solution de : 50 μ l FeCl_3 (0.2%), 30 μ l Phenanthroline (0.5%) et 110 μ l de méthanol. Le mélange a été agité vigoureusement et incubé pendant 20 min à l'étuve à température de 30°C.

L'absorbance a été déterminée à 510 nm. Les résultats ont été calculés à titre de $A_{0.5}$ ($\mu\text{g/ml}$) correspondant à la concentration indiquant 0,50 d'absorbance.

Le BHA (Butylhydroxyanisole) et le BHT (Butylhydroxytoluène) sont utilisés comme standards.

2.2.5.4- Le test du pouvoir réducteur FRAP (Reducing power)

Le pouvoir réducteur des extraits est déterminé par la méthode de (Oyaizu, 1986) avec une légère modification (Bouratoua, 2017).

Principe

Le test FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) est un dosage colorimétrique du transfert d'électrons (Figure 42), basée sur l'aptitude des extraits testés à réduire le fer ferrique (Fe^{+3}) présent dans le ferricyanure de potassium ($\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$) en fer ferreux (Fe^{+2}) et la formation de ferrocyanure de potassium ($\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$) (Pellegrini *et al.*, 2003).

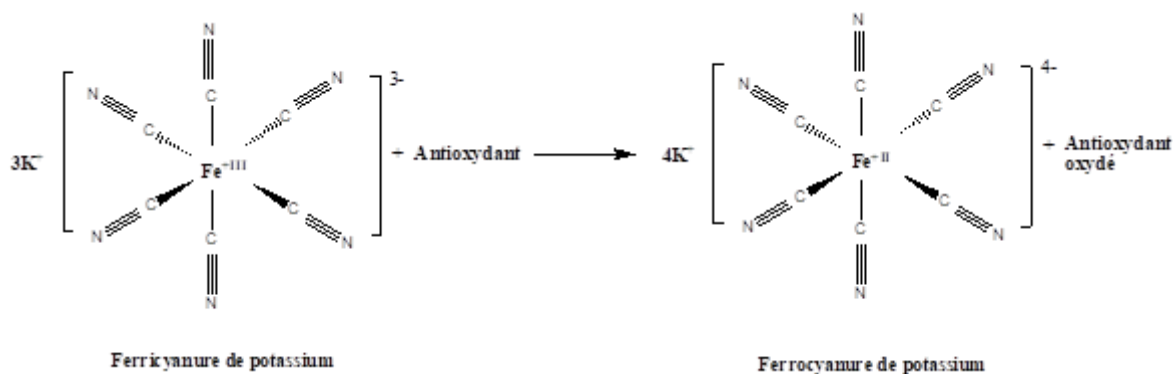


Figure 42- Réaction du test FRAP (Gülçin, 2012)

Mode opératoire

Sur une microplaque à 96 puits, 10 μ l de l'extrait à différentes concentrations ont été mélangé avec 40 μ l d'une solution tampon phosphate 0,2 M (pH 6,6) et 50 μ l d'une solution de ferricyanure de potassium $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ à 1%. L'ensemble est incubé à l'étuve à 50°C pendant 20 min. Ensuite, 50 μ l de l'acide trichloroacétique (TCA) à 10%, 40 μ l d'eau distillée et 10 μ l

d'une solution aqueuse de chlorure ferrique FeCl_3 à 0,1% sont additionnés. La lecture de l'absorbance du milieu réactionnel a été mesurée à 700 nm. Une augmentation de l'absorbance correspond à une augmentation du pouvoir réducteur des extraits testés.

Les résultats ont été calculés à titre de $A_{0,50}$ ($\mu\text{g/ml}$) correspondant à la concentration indiquant 0,50 d'absorbance.

Les antioxydants standards utilisés dans ce test sont l'acide ascorbique, l'acide tannique et α -Tocophérol.

2.2.5.5- Le test de blanchissement de la β -carotène

L'activité de blanchissement de la β -carotène de nos extraits a été évaluée à l'aide du système β -carotène-acide linoléique décrite par (Marco, 1968).

Principe

L'oxydation de l'acide linoléique génère des radicaux peroxydes, ces radicaux libres vont par la suite oxyder le β -carotène entraînant ainsi la disparition de sa couleur rouge, qui est suivie par spectrométrie à 470 nm. Cependant la présence d'un antioxydant pourrait neutraliser les radicaux libres dérivés de l'acide linoléique et donc prévenir l'oxydation et le blanchissement du β -carotène. Dans ce test la capacité antioxydante est déterminée en mesurant l'inhibition de la dégradation oxydative de β -carotène (décoloration) par les produits d'oxydation de l'acide linoléique (Tepe *et al.*, 2006).

Mode opératoire

Dans un ballon, on dissout 0,5 mg de β -carotène dans 1 ml de chloroforme. On ajoute 25 μl d'acide linoléique et 200 μl de Tween 40. Après évaporation sous vide du chloroforme, 50 ml de peroxyde d'hydrogène H_2O_2 sont ajoutés sous forte agitation. L'absorbance de la solution est ensuite ajustée à 0,8-0,9.

Sur une microplaque à 96 puits, 160 μl de cette solution sont ajoutés à 40 μl des extraits étudiés à différentes concentrations.

L'absorbance a été mesurée à 470 nm. Le système d'émulsion a été incubé pendant 2 h à 50°C . Un blanc, dépourvu de β -carotène a été préparé.

Le taux de blanchiment (R) du β -carotène a été calculé selon l'équation suivante :

$$R = \frac{\ln a/b}{t}$$

$\ln$ = logarithme naturel, a = absorbance au temps zéro, b = absorbance au temps t (120 min).

L'activité antioxydante (AA) a été calculée en termes de pourcentage d'inhibition par rapport au témoin, en utilisant l'équation suivante :

$$\text{Inhibition (\%)} = \left[\frac{A_{\text{contrôle}} - A_{\text{extrait}}}{A_{\text{extrait}}} \right] \times 100$$

Les résultats sont évalués par le calcul de la valeur IC_{50} qui correspond à la concentration de l'extrait qui cause 50% d'inhibition.

Le BHA (Butylhydroxyanisole) et le BHT (Butylhydroxytoluène) sont utilisés comme standards.

2.2.5.6- Le test de la capacité antioxydante par réduction du cuivre (CUPRAC)

Le test CUPRAC (cupric ion reducing antioxidant capacity) est fait selon la méthode de (Apak *et al.*, 2004).

Principe

La méthode de mesure des antioxydants CUPRAC (capacité de réduction d'antioxydant CUPric), est basée sur la mesure d'absorbance du chélate de Cu (I) -Néocuproïne (Nc) formé à la suite de la réaction d'oxydo-réduction des antioxydants briseurs de chaîne avec le réactif CUPRAC. Cu (II) -Nc, produisant ainsi un complexe chromogène de Cu^{+2} -Nc (Figure 43) où l'absorbance est enregistrée à la longueur d'onde d'absorption maximale de la lumière de 450 nm (Özyürek *et al.*, 2011).

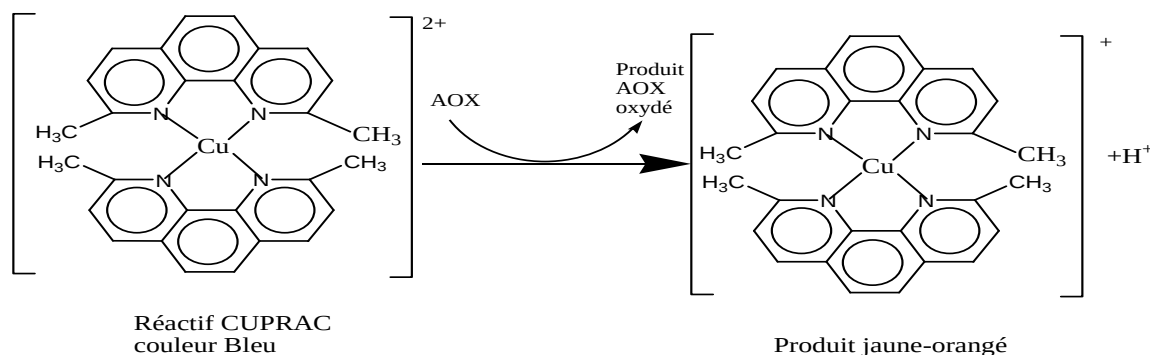


Figure 43- Réduction du complexe chromogène de Cu^{+2} -Nc (Özyürek *et al.*, 2011)

Mode opératoire

Dans une microplaque à 96 puits, 40 μ l de l'échantillon ont été ajoutés à 60 μ L de tampon acétate d'ammonium 1M, PH 7 (1,927 g Acetate d'ammonium ACNH_4 + 25 ml H_2O), 50 μ l de Néocuproïne 7,5 mM (0,039 g Neocupronin + 25 ml éthanol) et 50 μ L de CuCl_2 10 mM (0,042625 g ($\text{Cu Cl}_2, 2\text{H}_2\text{O}$) + 25 ml H_2O).

Après une heure de temps, l'absorbance a été enregistrée à 450 nm.

Les résultats ont été calculés à titre de $A_{0,50}$ ($\mu\text{g/ml}$) correspondant à la concentration indiquant 0,50 d'absorbance.

Le BHA (Butylhydroxyanisole) et le BHT (Butylhydroxytoluène) sont utilisés comme standards.

2.2.6- Activité anti enzymatique

On a testé l'activité des extraits foliaires des espèces *Psidium guajava*, *Acca sellowiana* et *Syzygium cumini* contre quelques enzymes qui causent les maladies importantes comme la maladie d'Alzheimer et le diabète.

2.2.6.1- Activité anticholinestérase (anti-Alzheimer)

L'acétylcholine (ACh) est le neurotransmetteur le plus abondant dans le corps et le principal neurotransmetteur dans le cerveau qui est responsable de la mémoire. Les cholinestérases (ChE) constituent un groupe d'enzymes qui hydrolysent les esters de choline et qui seraient responsables de la maladie d'Alzheimer (Augustinsson, 1971) Il y a deux types de cholinestérases, l'acétylcholinestérase (AChE) et le butyrylcholinestérase (BChE).

Le pouvoir inhibiteur de ces deux enzymes a été évalué selon la méthode de (Ellman *et al.*, 1961)

Principe

L'acétylcholinestérase (AChE) ou le butyrylcholinestérase agissent respectivement sur l'acétylthiocholine iodide (ACTI) ou le butyrylthiocholine iodide (BTIT) en milieu aqueux pour libérer la Thiocholine (Somboro *et al.*, 2013)

Le groupement thiol de la thiocholine réduit le DTNB en TNB (acide 5-thio (2-nitrobenzoïque)), composé jaune qui possède une absorbance maximale à 412-415 nm. L'augmentation de la coloration dans le temps indique la formation de thiocholine qui est le reflet de l'activité de l'enzyme (Figure 44).

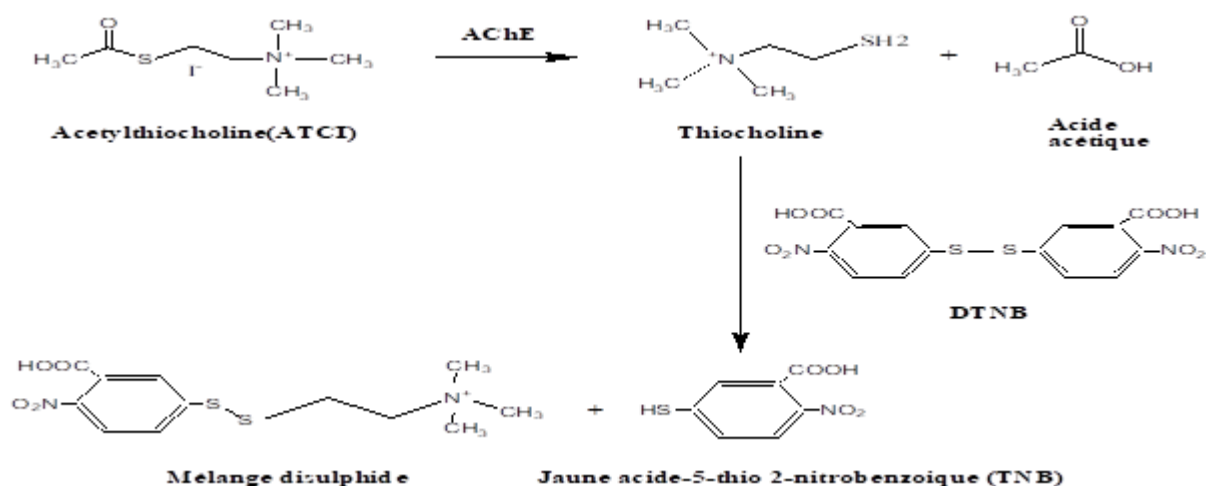


Figure 44- Mécanisme chimique du test anti- cholinestérase (Ellman *et al.*, 1961)

En présence d'un inhibiteur enzymatique la couleur jaune va diminuer, ce qui permet d'évaluer la réaction, et par la suite de quantifier l'inhibition de l'enzyme.

Mode opératoire

Un volume de 150 μl de tampon phosphate de sodium à pH 8 et 100 mM (Annexe 3) est ajouté à 10 μl d'une solution d'extrait dissoute dans le méthanol à différentes concentrations et à 20 μl d'AChE (5.32×10^{-3} U) ou BChE ($6,85 \times 10^{-3}$ U) (Annexe 4). Le mélange est incubé pendant 15 minutes à 25°C, puis 10 μl de DTNB (acide 5,5'-dithio-bis (2-nitrobenzoïque) à 0,5 mM (Annexe 5) ont été ajoutés. Ensuite, la réaction a été initiée par l'addition de 20 μl d'iodure acetylthiocholine (0.71 mM) ou chlorure butyrylthiocholine (0.2 mM) (Annexes 6 et 7). L'hydrolyse de ces substrats est suivie par spectrophotométrie à 412 nm avec la formation d'une couleur jaune d'anion 5-thio-2-nitrobenzoate de méthyle, résultante de la réaction du DTNB avec la thiocholine libérée par l'hydrolyse enzymatique de l'iodure acetylthiocholine iodure ou du chlorure butyrylthiocholine.

Le pourcentage d'inhibition des enzymes AChE ou BChE est déterminé par rapport au blanc (éthanol avec le phosphate buffer pH 8) par la formule suivante :

$$\% \text{ d'inhibition} = \frac{E - S}{E} \times 100$$

E : l'activité de l'enzyme sans extrait

S : l'activité de l'enzyme avec l'extrait.

Les résultats sont évalués par le calcul de la valeur IC_{50} qui correspond à la concentration de l'extrait qui cause 50% d'inhibition. La galantamine a été utilisé comme standard.

2.2.6.2- Activité anti-alpha glucosidase (antidiabétique)

L'activité anti-diabétique des extraits foliaires des trois espèces *Psidium guajava*, *Acca sellowiana* et *Syzygium cumini* a été évaluée par l'estimation de l'inhibition de l'enzymes : α -glucosidase.

L' α glucosidase est une enzyme libérée par les entérocytes de la bordure en brosse de l'intestin grêle (Rabasa-Lhoret et Chiasson ,2000).

Cette enzyme catalyse l'hydrolyse des oligo- et polysaccharides « glucides alimentaires » non absorbables en monosaccharides absorbables au niveau de l'intestin.

Des chercheurs ont développé des inhibiteurs de cette enzyme dans le but de ralentir l'absorption des glucides dans l'intestin donc le glucose passe plus lentement dans le sang, réduisant ainsi l'hyperglycémie et l'hyperinsulinémie postprandiale (Rabasa-Lhoret et Chiasson ,2000). L'activité contre α -glucosidase est déterminée suivant la méthode de (Lordan *et al.*, 2013)

Principe

L' α -glucosidase hydrolyse *p*-Nitrophenyl α -D-glucopyranoside qui est un substrat artificiel en libérant le glucose et le *p*-nitrophenol, l'activité de l'alpha-glucosidase est déterminée en utilisant le *p*-nitrophenol qui a une absorbance mesurée à 405 nm, le taux de la formation de *p*-nitrophenol est traduit par une augmentation de l'absorbance.

Un inhibiteur de cette enzyme va empêcher l'hydrolyse du *p*-Nitrophenyl α -D-glucopyranoside et la libération du *p*-nitrophenol (Figure 45).

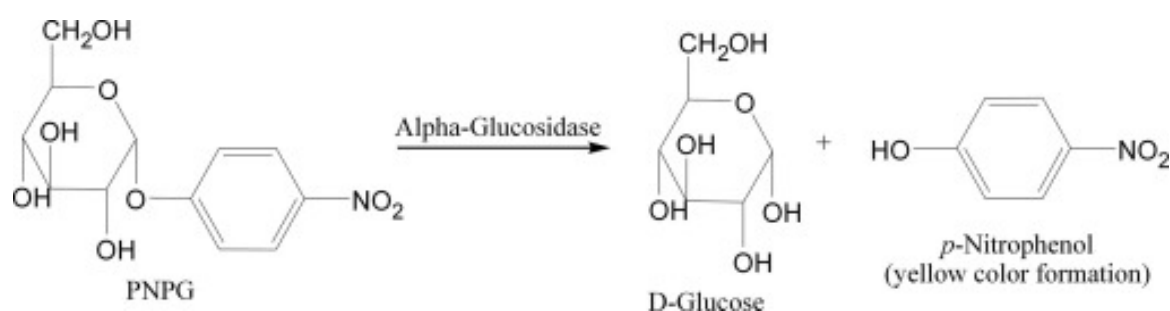


Figure 45- L'hydrolyse de *p*-Nitrophenyl α -D-glucopyranoside par l' α -glucosidase.

(Srianta *et al.*, 2013)

Mode opératoire

Sur une microplaque à 96 puits, on met 50 µl de l'extrait à différentes concentrations et on ajoute 120 µl du tampon Phosphate buffer à pH 6.9 et 0.2 M (Annexe 3). On ajoute 100 µl de l'enzyme α -glucosidase à 0,5 unit/ml (Annexe 4) dissoute dans le tampon phosphate buffer (pH 6.9) et 50 µl de *p*-nitrophenyl- α -D-glucopyranoside à 5 mM (15 mg dans 10 ml de tampon à pH 6.9) et on incube la microplaque pendant 15 min à 37 °C. On fait une lecture à 405 nm, toutes les 10 min, pendant 30 min (0-10-20-30 min).

Le pourcentage d'inhibition est calculé selon l'équation suivante :

$$\text{Inhibition (\%)} = \left[\frac{A_{\text{contrôle}} - A_{\text{extrait}}}{A_{\text{extrait}}} \right] \times 100$$

Les résultats sont évalués par le calcul de la valeur IC₅₀ qui correspond à la concentration de l'extrait qui cause 50% d'inhibition. La quercétine et l'acarbose sont utilisés comme standards.

2.2.7- Activité photoprotectrice

L'efficacité des photoprotecteurs vis à vis des effets à court terme des rayonnements UV peut être évaluée par mesures des indices de protection solaire.

L'activité photoprotectrice des extraits foliaires des espèces (*Psidium guajava* L., *Acca sellowiana* (O. Berg) Burret, et *Syzygium cumini* (L.) Skeels) a été évaluée par l'estimation du facteur de protection solaire SPF (Solar Protection Factor).

2.2.7.1- Définition du facteur de protection solaire (SPF)

Le SPF est un indice qui sert à déterminer l'efficacité de la protection solaire, c'est-à-dire sa capacité à protéger la peau contre les rayonnements UVB et UVA. Cet indice permet de classer les produits de protection solaire en quatre catégories (Tableau 9).

Tableau 9- Les différentes catégories de protection solaire selon le SPF (Couteau et Coiffard, 2010)

Catégorie	SPF mesuré
Faible protection	6 - 14
Moyenne protection	15 - 29
Haute protection	30- 59
Très haute protection	> 60

Le tableau ci-dessous présente le pourcentage des rayons ultraviolets bloqués selon le SPF.

Tableau 10- Valeurs de FPS et pourcentage correspondant de blocage des rayons UV (Ghorab, 2017).

SPF	Pourcentage des rayons UV bloqués (%)
2	50
4	75
5	80
10	90
15	93
25	96
50	98

2.2.7.2- Mode opératoire

Le SPF *in vitro* est déterminé selon la méthode spectrophotométrique de Mansur *et al.* (Mansour *et al.*,1986). Les échantillons (extrait et standards) ont été dilués dans le méthanol à une concentration finale de 2 µg/ml. Deux crèmes ont été utilisés comme standards (Référence 1 et Référence 2). L'absorbance est mesurée dans l'intervalle de 290 à 320 toutes les 5 nm (UV-B), et la valeur du SPF est calculé par l'application de l'équation de Mansur *et al* (1986).

$$SPF = CF \times \sum_{290}^{320} EE(\lambda) \times I(\lambda) \times Abs(\lambda)$$

EE : Spectre des effets érythémateux.

I : Spectre d'intensité solaire.

Abs : Absorbance du produit solaire.

CF : Facteur de correction (= 10).

2.3- Analyse statistique

Tous les résultats sur les activités antioxydantes et anti-enzymatiques étaient la moyenne de trois répétitions. Les données ont été enregistrées comme moyenne ± écart-type. L'analyse de la variance a été réalisée en utilisant le test ANOVA. L'importance de la différence entre les moyennes a été déterminées par le test de Tukey (HSD) avec des valeurs ($p < 0,05$) considérées comme significatives. La corrélation de Pearson a été calculée entre tous les paramètres. Tous ces tests ont été réalisés avec XLSTAT 2014.

Résultats et discussion

1- Recensement des espèces fruitières exotiques de l'ancienne école de l'agriculture de Skikda

L'ancienne école d'agriculture de Skikda est partagée en plusieurs jardins. Ces jardins se différencient par leur architecture, leur ornement et leur composition floristique.

Notre recensement ne concernait que les espèces fruitières exotiques, autrement dit, les espèces qui donnent des fruits comestibles, qui ne sont pas destinées juste à l'ornementation et qui sont originaires d'autres pays, voire d'autres continents. Ces espèces ont été introduites aux jardins où elles se sont bien acclimatées.

En septembre 2017, les espèces fruitières d'origine exotique ont été recensées au niveau de trois jardins à l'ancienne école d'agriculture de Skikda :

- Le jardin botanique.
- Le jardin de la villa d'hôte.
- Le jardin exotique.

L'identification des espèces était basée sur les informations disponibles au niveau des espaces verts de l'université 20 Août 1955 de Skikda. L'identification de l'espèce a été confirmée par les caractères botaniques de référence.

Les différentes espèces recensées sont reportées sur les tableaux ci-dessous, en mentionnant :

- Le nom scientifique
- Le nom commun.
- L'origine
- Le nombre d'arbres.
- L'année de plantation.

1.1- Les espèces fruitières exotiques du jardin botanique

Le jardin botanique de l'ancienne école d'agronomie de Skikda est considéré comme le plus beau jardin avec le jardin d'essai d'El Hamma à Alger. Ce jardin a une superficie de 1,811 ha et il est d'une richesse floristique impressionnante avec 137 espèces identifiées, regroupées en 54 familles différentes et 110 genres. L'allée centrale de ce jardin est parée de chaque côté de palmiers de l'espèce *Washingtonia filifera* et ses strates arbustives (laurier rose, *hibiscus*, rosiers grimpants etc.) et herbacées (*Strelitzia reginae*, agapanthes etc.) (Chalabi, 2017).



Figure 46- Le jardin botanique de l'ancienne école d'agriculture de Skikda.

Concernant les espèces fruitières exotiques, on a pu dénombrer 24 espèces différentes, réparties en 16 genres et 6 familles. La famille des Rosacées est majoritaire avec 11 espèces, suivie des Rutacées avec 5 espèces et des Myrtacées avec 4 espèces. Les genres *Prunus* et *Citrus* sont très présents (Tableau 11).

Tableau 11- Espèces fruitières exotiques recensées au jardin botanique.

Non scientifique	Nom commun	Origine	Famille	Nombre d'arbres	Année de plantation
<i>Psidium guajava</i> L.	Goyavier pomme	Mexique	<i>Myrtaceae</i>	1	1952
				3	2010
<i>Acca sellowiana</i> (O. Berg.) Burret	Feijoa Goyavier du Brésil	Amérique du sud	<i>Myrtaceae</i>	1	1952
<i>Syzygium cumini</i> L. Skeels	Jambolan Jamelonier	Asie	<i>Myrtaceae</i>	1	1952
<i>Eugenia uniflora</i> L.	Cerisier de Cayenne Cerisier carrée	Amérique du sud	<i>Myrtaceae</i>	1	1952
				4	2010
<i>Eriobotrya japonica</i> Thunb.	Néflier du Japon Bibacier	Japon, Chine	<i>Rosaceae</i>	3	2010
<i>Chaenomeles speciosa</i> (Sweet) Nak.	Cognassier du Japon	Chine	<i>Rosaceae</i>	1	1970
<i>Chaenomeles speciosa nivalis</i> (Sweet) Nak.	Cognassier du Japon nivalis	Chine	<i>Rosaceae</i>	1	1970
<i>Cydonia oblonga</i> Mill.	Cognassier	Iran	<i>Rosaceae</i>	1	1998
<i>Prunus armeniaca</i> L.	Abricotier	Iran Turkestan Inde	<i>Rosaceae</i>	7	2010
<i>Prunus cerasus</i> L.	Cerisier commun	Chine Japon	<i>Rosaceae</i>	6	2010
<i>Prunus cistena</i> N. E. Hansen	Prunier des sables	U.S. A	<i>Rosaceae</i>	1	1952
<i>Prunus domestica</i> L.	Prunier domestique	Asie mineure Iran	<i>Rosaceae</i>	6	2010
<i>Prunus persica</i> L.	Pêcher	Chine	<i>Rosaceae</i>	6	2010
<i>Malus communis</i> Poir.	Pommier	Chine Russie Kazakhstan	<i>Rosaceae</i>	2	2010
<i>Pyrus communis</i> L.	Poirier commun	Asie de l'ouest	<i>Rosaceae</i>	3	2010
<i>Citrus Myrtifolia</i> L.	Chinois de Savonne Chinotto	Chine	<i>Rutaceae</i>	2	2008

	Mandarinier chinois				
<i>Citrus limon</i> (L.) Burm. f.	Citronnier 4 saisons	Chine, Inde	<i>Rutaceae</i>	1	2014
<i>Citrus reshni</i> Hort.	Mandarinier Cléopâtre.	Inde	<i>Rutaceae</i>	1	1952
<i>Fortunella japonica</i> Thunb.	Kumquat	Extrême orient	<i>Rutaceae</i>	2	2009
<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	Oranger	Chine, Inde	<i>Rutaceae</i>	2	2014
<i>Juglans regia</i> L.	Noyer commun	Sud de l'Europe	<i>Juglandaceae</i>	3	2010
<i>Carya illinoensis</i> (Wangenh.) K. Koch.	Pacancier Noyer d'Amérique	Amérique du nord	<i>Juglandaceae</i>	15	1952
<i>Persea americana</i> Mill.	Avocatier	Amérique centrale	<i>Lauraceae</i>	4	2010
<i>Punica granatum</i> L.	Grenadier	Iran	<i>Punicaceae</i>	2	2010

1.2- Les espèces fruitières exotiques du jardin de la villa d'hôtes

Avec une superficie de 14,49 a, ce jardin faisait partie de la villa du responsable de l'ancienne école d'agriculture qui devenait un l'institut de formation des techniciens supérieurs de l'agriculture puis un centre universitaire et actuellement l'université 20 Août 1955 de Skikda. Dans ce jardin il y a 43 espèces appartenant à 38 genres et 25 familles différentes (Chalabi, 2017)



Figure 47- Le jardin de la villa d'hôte de l'ancienne école d'agriculture de Skikda.

En ce qui concerne notre recensement des espèces fruitières exotiques, on a pu dénombrer 16 espèces de 12 genres et 7 familles différentes. La majorité de ces espèces sont des Rosacées (Tableau 12)

Tableau 12- Espèces fruitières exotiques recensées au jardin de la villa d'hôte.

Nom scientifique	Nom commun	Origine	Famille	Nombre d'arbres	Année de plantation
<i>Musa cavendishii</i> Lamb.	Bananier Cavendish	Vietnam Chine Iles Canaries	<i>Musaceae</i>	3	2010
<i>Acca sellowiana</i> (O. Berg.) Burret	Feijoa Goyavier du Brésil	Amérique du sud	<i>Myrtaceae</i>	1	1952
<i>Psidium cattleianum</i> Afzel. ex Sabine	Goyavier fraise Goyavier de Chine	Amérique du sud	<i>Myrtaceae</i>	1	1952
<i>Eugenia uniflora</i> L.	Cerisier de Cayenne Cerisier carrée	Amérique du sud	<i>Myrtaceae</i>	1	1952
<i>Persea americana</i> Mill.	Avocatier	Amérique centrale	<i>Lauraceae</i>	1	1952
<i>Diospyros kaki</i> Thunb.	Plaqueminier	Chine	<i>Ebenaceae</i>	1	1952
<i>Punica granatum</i> L.	Grenadier	Asie occidentale	<i>Punicaceae</i>	6	2010
<i>Eriobotrya japonica</i> Thunb.	Néflier du Japon Bibacier	Chine	<i>Rosaceae</i>	1	1952
				1	2010
<i>Prunus cerasus</i> L.	Cerisier commun	Chine Japon	<i>Rosaceae</i>	1	2010
<i>Prunus armeniaca</i> L.	Abricotier	Iran Turkestan Inde	<i>Rosaceae</i>	2	2010
<i>Prunus domestica</i> L.	Prunier domestique	Asie mineure Iran	<i>Rosaceae</i>	1	2010

<i>Prunus dulcis</i> (Mill.) D.A.Webb	Amandier	Asie occidentale	<i>Rosaceae</i>	3	2010
<i>Pyrus communis</i> L.	Poirier commun	Asie de l'ouest	<i>Rosaceae</i>	1	1952
<i>Malus communis</i> Poir.	Pommier	Chine Russie Kazakhstan	<i>Rosaceae</i>	2	2010
<i>Citrus limon</i> (L.) Burm. f.	Citronnier 4 saisons	Chine, Inde	<i>Rutaceae</i>	1	2010
<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	Oranger	Chine, Inde	<i>Rutaceae</i>	1	1952

1.3- Les espèces fruitières exotiques du jardin exotique

Ce jardin, d'une surface de 5,32 a, a été consacré pour les espèces exotiques et spécialement celles d'origine tropicale. Il contient 24 espèces différentes appartenant à 20 genres et 18 familles dont la plus présente est celle des Myrtacées.

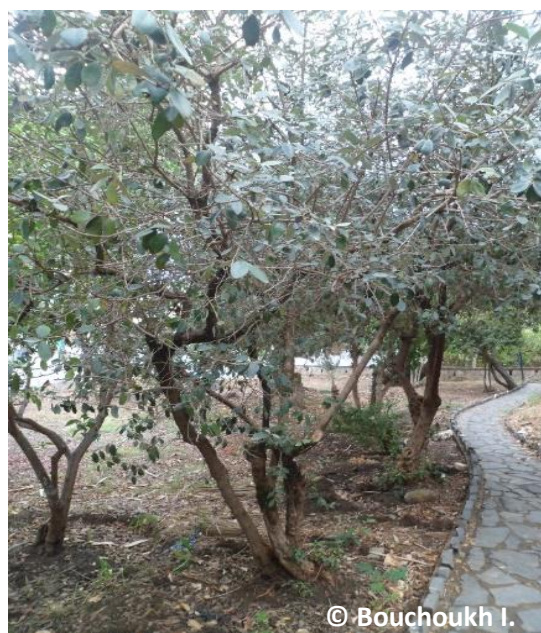


Figure 48- Le jardin exotique de l'ancienne école d'agriculture de Skikda.

Pour les espèces fruitières exotiques, on a recensé 7 espèces, dont quatre sont des espèces tropicales de la famille des Myrtacées, chacune appartient à un genre différent. Les trois autres espèces sont chacune d'un genre et d'une famille différente (Tableau 13)

Tableau 13- Espèces fruitières exotiques recensées au jardin exotique.

Espèce	Nom commun	Origine	Famille	Nombre d'arbres	Année de plantation
<i>Acca sellowiana</i> (O. Berg.) Burret	Feijoa Goyavier du Brésil	Amérique du sud	<i>Myrtaceae</i>	8	1952
<i>Eugenia uniflora</i> L.	Cerisier de Cayenne Cerisier carrée	Amérique du sud	<i>Myrtaceae</i>	2	1952
<i>Psidium cattleianum</i> Afzel. ex Sabine	Goyavier fraise Goyavier de Chine	Amérique du sud	<i>Myrtaceae</i>	1	1952
<i>Syzygium cumini</i> L. Skeels	Jamblan Jamelonier	Asie	<i>Myrtaceae</i>	2	1952
				1	2010
<i>Citrus limetta</i> Risso	Citronnier doux	Chine, Inde	<i>Rutaceae</i>	1	1952
<i>Zizuphus jujuba</i> Mill.	Jujubier commun Dattier chinois	Chine	<i>Rhamnaceae</i>	3	1952
<i>Chaenomeles japonica</i> (Thunb.) Lindl. ex Spach	Cognassier du Japon	Japon	<i>Rosaceae</i>	1	1952

L'ancienne école d'agriculture de Skikda dispose de jardins d'une valeur considérable où sont représentées plusieurs collections de plantes ornementales et exotiques telles que les camélias, les hibiscus, les palmiers, les lauriers rose, les acacias, les lilas d'été, les cactées, les conifères, les ficus, les goyaviers, le cerisier de Cayenne, le jamblon, les avocatiers, les rosiers.... etc. 13,83% de la surface totale des jardins sont occupés par des arbres fruitiers (Chalabi, 2014).

Selon notre recensement, il y a une grande diversité d'espèces fruitières exotiques dans les trois jardins prospectés. On a recensé 31 espèces fruitières exotiques différentes. Le jardin botanique contient le plus grand nombre d'espèces fruitières exotiques (24 espèces différentes). Il y a deux espèces qui se trouvent dans les trois jardins : le Feijoa (*Acca sellowiana*) et le cerisier de cayenne (*Eugenia uniflora*), avec dix et huit arbres respectivement.

Il y a plusieurs espèces qui existent dans deux jardins différents, on peut citer par exemple le jamblon (*Syzygium cumini*), l'avocatier (*Persea americana*) et le goyavier fraise (*Psidium cattleianum*). Il y a d'autres espèces qui n'existent que dans un seul jardin comme le bananier Cavendish (*Musa cavendishii*) qui n'existe qu'au niveau du jardin de la villa d'hôte avec trois arbres et le kumquat (*Fortunella japonica*) dont deux arbres sont plantés au niveau du jardin botanique.

Les arbres les plus âgés qu'on a recensés dans les trois jardins sont au nombre de 47, tous plantés en 1952 par les colons. Ces plantations appartiennent à 16 espèces différentes, par exemple, un arbre de mandarinier Cléopâtre (*Citrus reshni*) au niveau du jardin botanique et 15 vieux arbres de Pacanier (*Carya illinoensis*) dans le même jardin. On peut citer aussi le seul arbre de citronnier doux (*Citrus limetta*) qui se trouve depuis 68 ans au jardin exotique. Il y a eu plantation d'espèces fruitières en isolés au niveau des jardins pour des objectifs pédagogiques et ce à partir de l'année 2009.

Les jardins de l'ancienne école d'agriculture de Skikda sont caractérisés par plusieurs zones de végétations différentes. Il existe des microclimats au niveau de ces zones à travers les plantations des différentes espèces tropicales telles le jamblon, le goyavier, le Feijoa, l'avocatier, le cerisier de cayenne etc....

La surface agricole utile à l'ancienne école d'agronomie de Skikda représentait 40,62% de la surface totale à la naissance de cette école. Cette surface a diminué à 24.87% de la surface totale en 2014 (Chalabi, 2014). Cette situation est générée principalement par l'avancée de l'urbanisation et la construction des bâtiments et des immeubles de l'université 20 Août 1955 de Skikda.

On remarque une diminution importante de la surface réservée aux espèces fruitières dont plusieurs ont disparu à cause des contraintes techniques, hydriques et l'avancée de l'urbanisation. On assiste depuis l'année 1989 à une disparition de plusieurs espèces par l'arrachage pour les constructions de blocs pédagogiques (par l'arrachage de 3 ha 62a), arbres à noyaux 2 ha 42a et arbres à pépins 1 ha 20a (Chalabi, 2014).

Une espèce fruitière exotique très importante a été fortement touchée par l'urbanisation, c'est l'avocatier (*Persea americana*), qui a subi une réduction importante de la surface de 50 ares à 10 ares (réduction de 80%) à cause de la construction d'une résidence universitaire. Les responsables des jardins ont réussi à sauvegarder cette espèce en plantant des arbres en 2010 au jardin botanique par l'utilisation de la technique de greffage. Cette technique a permis

d'obtenir 4 arbres d'avocatier en bon état et qui sont entrés en production au bout de trois ans.

Le pacanier (*Carya illinoensis*) a été également touché par la construction de la résidence universitaire en subissant un arrachage des arbres (20% de pertes).

D'autres espèces comme le figuier, l'amandier, l'azérolier, le jujubier, le poirier, le pêcher, l'abricotier, le cerisier ont été aussi abandonnées et commençaient à disparaître peu à peu par manque d'entretien phytosanitaire.

Le cerisier de cayenne (*Eugenia uniflora*) est un arbre fruitier exotique qui a été sauvegardé par semis et bouturage. En plus des trois vieux arbres, un dans chaque jardin, quatre arbres existent au jardin botanique depuis 2010.

Le goyavier (*Psidium guajava*) et le Feijoa (*Acca sellowiana*) sont deux Myrtacées exotiques originaires d'Amérique, qui sont parfaitement acclimatés et sauvegardés au niveau des jardins. Le premier est sauvegardé principalement par le marcottage aérien (60% de réussite) et le second par marcottage par buttage ou par couchage.

Le grenadier (*Punica granatum*) et le plaqueminier (*Diospyros kaki*) ont subi une érosion de 22,13% et de 17,85%, respectivement, à cause du dépérissement des arbres par le mauvais entretien et les contraintes techniques.

Il faut signaler que plusieurs espèces exotiques sont inconnues et beaucoup de variétés ne sont pas identifiées. L'érosion de quelques espèces est due également à des problèmes phytopathologiques et aux mauvaises herbes. Par exemple le grenadier et certains Citrus ont été envahis par une graminée (le chiendent). En plus des parasites (pucerons, cochenilles, les vers de fruits etc.)

Les contraintes climatiques, principalement hydriques (manque ou excès) ont causé également des pertes, particulièrement chez les Citrus.

Ces jardins représentent un patrimoine génétique national auquel on doit prêter plus d'attention par l'arrêt de l'urbanisation, l'entretien phytosanitaire des arbres par les différents moyens de multiplication ainsi par l'irrigation et la protection phytosanitaire pour sauvegarder toutes ces espèces fruitières exotiques.

Quelques photos prises au niveau des jardins sont présentées sur les figures (49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66).



Figure 49- Jeune avocatier greffé



Figure 50- fruits de l'avocatier.



Figure 51- Fruits du cognassier.



Figure 52- Bouturage du Feijoa.



Figure 53- Marcottage par couchage du Feijoa **Figure 54-** Marcottage par buttage du Feijoa



Figure 55- Arbre de Cerisier de cayenne.



Figure 56- Fruit du cerisier de cayenne.



Figure 57- Arbre du plaqueminier



Figure 58- Fruits du plaqueminier



Figure 59- Arbres du goyavier



Figure 60- Marcottage aérien du goyavier

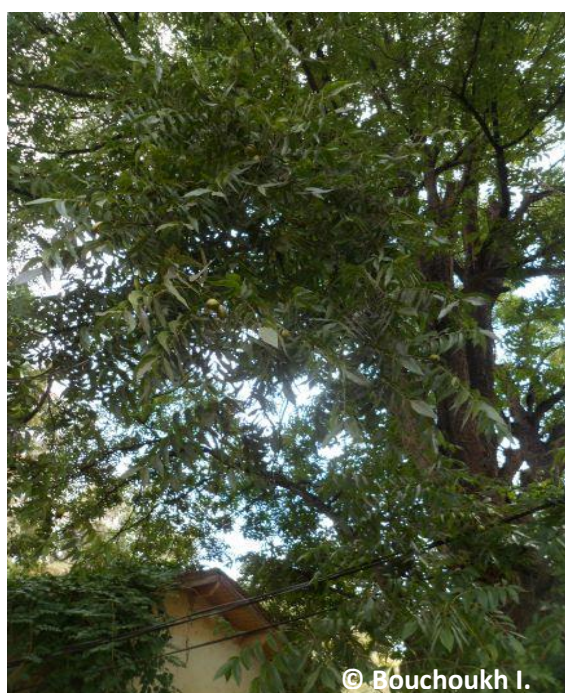


Figure 61- Arbre du pacanier



Figure 62- Fruits du pacanier



Figure 63- Arbre du jamblon



Figure 64- Jeunes plants du jamblon
issus d'un semis par graines.



Figure 65- Arbre du néflier.

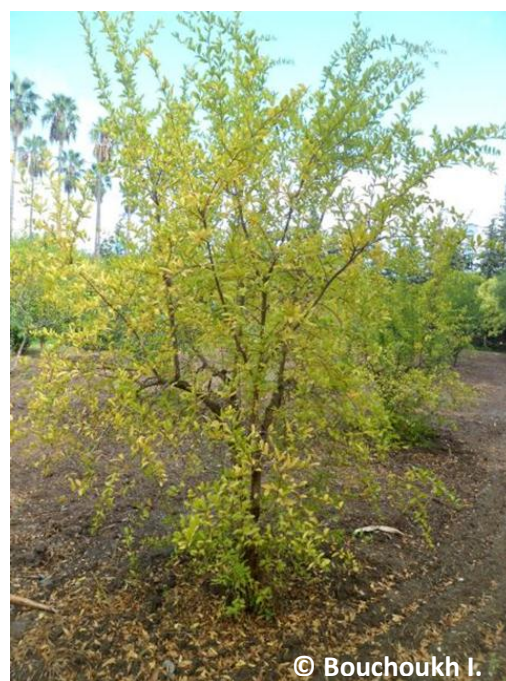


Figure 66- Arbre du grenadier.

1- Etude phytochimique

On a étudié plusieurs paramètres phytochimiques des extraits foliaires des trois espèces fruitières tropicales : le goyavier (*Psidium guajava*), le Feijoa (*Acca sellowiana*) et le jamblon (*Syzygium cumini*).

2.1- Dosage des phénols totaux (TPC) et des flavonoïdes totaux (TFC)

- La teneur en phénols totaux a été déterminée en utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu. L'acide gallique a été utilisé comme standard. L'absorbance a été déterminée à une longueur d'onde de 765 nm. On a établi une courbe d'étalonnage (Figure 34), ayant l'équation suivante : $y = 0,0034 x + 0,1044$ avec $R^2 = 0,9972$

La quantité des polyphénols est rapportée en microgramme d'équivalent de l'acide gallique par milligramme du poids de l'extrait ($\mu\text{g EAG} / \text{mg d'extrait}$).

Le test donne une coloration bleue proportionnelle à la teneur en phénols totaux (Figure 67)

- La teneur en flavonoïdes a été estimée en suivant la méthode de nitrate d'aluminium ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3$). La quercétine a été utilisée comme standard. L'absorbance a été déterminée à une longueur d'onde de 415 nm. On a établi une courbe d'étalonnage (Figure 36), ayant l'équation suivante : $y = 0,0047 x + 0,0165$ avec $R^2 = 0,9978$.

La quantité des flavonoïdes est rapportée en microgramme d'équivalent de quercétine par milligramme du poids de l'extrait ($\mu\text{g QE} / \text{mg d'extrait}$).

Le test donne une coloration jaune proportionnelle à la teneur en flavonoïdes (Figure 67).

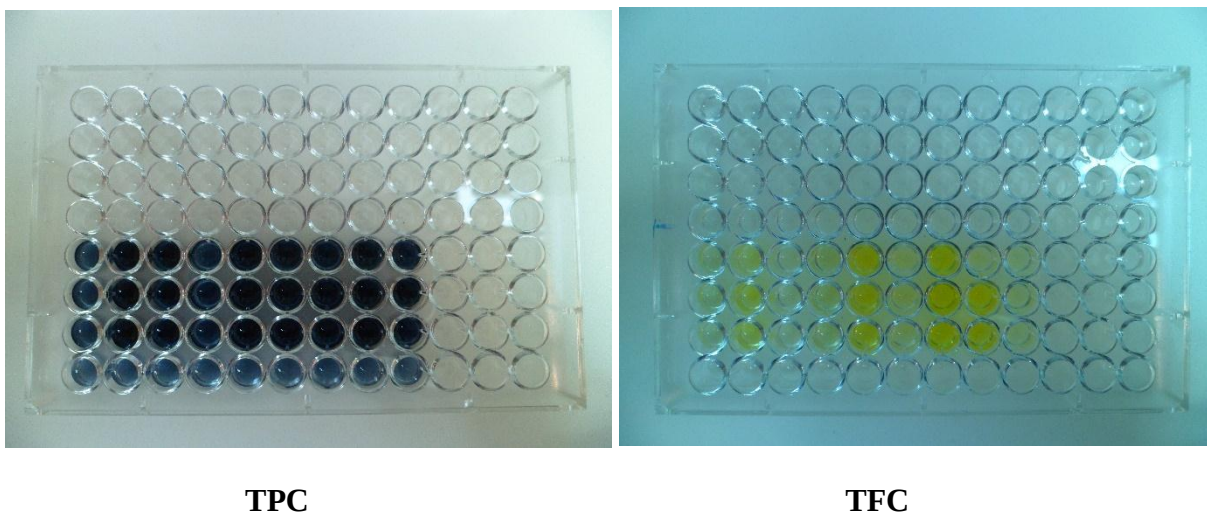


Figure 67- Dosage des phénols totaux et des flavonoïdes sur les microplaques.

2.1.1- Le goyavier (*Psidium guajava*)

Les teneurs en phénols totaux (TPC) et en flavonoïdes (TFC) des trois extraits foliaires de *Psidium guajava* sont reportées sur le tableau 14.

Tableau 14- Teneurs en phénols totaux (TPC) et en flavonoïdes (TFC) des trois extraits foliaires de *Psidium guajava*.

Extrait	TPC ($\mu\text{g GAE/mg}$)	TFC ($\mu\text{g QE/mg}$)
Extrait chloroformique	250,47 $\pm$ 0.05	112,71 $\pm$ 0.09
Extrait d'acétate d'éthyle	931,15 $\pm$ 0.06	269,57 $\pm$ 0.10
Extrait butanolique	808,41 $\pm$ 0.04	68,37 $\pm$ 0.03

Pour *Psidium guajava*, les résultats ont montré que la fraction d'acétate d'éthyle contenait la teneur la plus élevée (931,15 $\mu\text{g GAE / mg}$), suivi de la fraction *n*-butanol avec 808,41 $\mu\text{g GAE / mg}$. L'extrait chloroformique a donné le résultat le plus bas (250,47 $\mu\text{g GAE / mg}$).

Concernant la teneur en flavonoïdes, la fraction d'acétate d'éthyle contenait la quantité la plus élevée (269,57 $\mu\text{g QE / mg}$). Contrairement à la teneur en phénols totaux, la teneur en flavonoïdes de la fraction chloroforme était importante avec une valeur de 112,71 $\mu\text{g QE / mg}$. Le niveau minimum de flavonoïdes a été enregistré par la fraction *n*-butanol (68,37 $\mu\text{g QE / mg}$).

Nos travaux montrent des niveaux élevés des composés phénoliques (TPC) et des flavonoïdes (TFC), en particulier dans la fraction d'acétate d'éthyle, suivi de la fraction *n*-butanol. Le chloroforme contient le taux le plus bas (Tableau 14). Les résultats que nous avons obtenus sont cohérents avec ceux de Mouffouk *et al* (2018) qui ont constaté que la teneur la plus élevée en composés phénoliques et en flavonoïdes était enregistrée dans l'extrait d'acétate d'éthyle, suivi de l'extrait butanolique. Une autre étude a également donnée des résultats similaires (Saeed *et al.*, 2012). L'étude de Babbar *et al* (2012) a révélé que l'acétate d'éthyle était meilleur que le dichlorométhane dans l'extraction des composés phénoliques et que la polarité du solvant d'extraction pouvait influencer le TPC et le TFC des extraits.

La teneur totale en phénols et en flavonoïdes de *P. guajava* a été rapportée dans de nombreuses études précédentes. Chang a enregistré des valeurs de TPC=229 $\mu\text{g/mg}$ et TFC=

208 µg / mg dans l'extrait aqueux de feuille de goyave en herbe (Chang, 2008), ces résultats sont proches des nôtres. Au Brésil, une étude sur les feuilles de *P. guajava* a indiqué un niveau similaire dans l'extrait éthanolique (TPC = 766,08 µg / mg, TFC = 118,90 µg / mg) (Vieira Braga *et al.*, 2014). Une autre étude brésilienne a montré que la teneur totale en flavonoïdes et en polyphénols des extraits de feuilles concentrés et séchés par pulvérisation de *P. guajava* était (TPC = 25,93 µg / mg, TFC = 23,48 µg / mg) (Fernandes *et al.*, 2014). Plusieurs autres auteurs ont confirmé le niveau élevé de phénol et de flavonoïdes contenus dans les feuilles de cette espèce cultivée en Asie (Kawakami *et al.*, 2009, Chen *et al.*, 2009, Jang *et al.*, 2013). Notre étude montre des taux plus élevés de la teneur en composés phénoliques dans les feuilles du goyavier cultivé en Algérie par rapport à celui étudié dans les travaux cités ci-dessus, dans des pays tropicaux de l'Amérique et d'Asie (Taiwan, Brésil, Chine.....). Cette différence pourrait être causée par l'acclimatation et l'adaptation de cette espèce aux conditions locales de l'Algérie et la biosynthèse des polyphénols sous stress.

2.1.2- Le Feijoa (*Acca sellowiana*)

Les teneurs en phénols totaux (TPC) et en flavonoïdes (TFC) des trois extraits foliaires de *Acca sellowiana* sont reportées sur le tableau 15.

Tableau 15- Teneurs en phénols totaux (TPC) et en flavonoïdes (TFC) des trois extraits foliaires de *Acca sellowiana*.

Extrait	TPC (µg GAE/ml)	TFC (µg QE/ml)
Extrait chloroformique	199,68±0,04	104,59±0,02
Extrait d'acétate d'éthyle	762,62±0,20	195,44±0,07
Extrait butanolique	299,58±0,079	14,47±0,006

Nos résultats montrent que les feuilles de *A. sellowiana* sont très riches en polyphénols avec des teneurs maximales de phénols totaux et des flavonoïdes dans l'extrait d'acétate d'éthyle (762,62 µg GAE/ml et 195,44 µg QE/ml respectivement). Pour les deux autres extraits, l'extrait du *n*-butanol contient plus de phénols totaux que celui du chloroforme (299,58 µg GAE/ml et 199,68 µg GAE/ml respectivement). En revanche, on a trouvé plus de flavonoïdes dans l'extrait chloroformique que dans l'extrait butanolique (104,59 µg QE/ml et 14,47 QE/ml respectivement)

Il y a peu d'études sur les feuilles du Feijoa et aucune étude a été réalisée sur la phytochimie de cette espèce en Algérie. Quelques travaux ont montré la richesse des différentes parties de l'espèce *Acca sellowiana*, principalement les fruits et les feuilles, en composés phénoliques.

Nos résultats obtenus ont montré que l'extrait d'acétate d'éthyle est plus riche en composés phénoliques (Tableau 15). L'étude de Babbar *et al* (2012) ont révélé que l'acétate d'éthyle était meilleur que le dichlorométhane dans l'extraction des composés phénoliques et que la polarité du solvant d'extraction pouvait influencer le TPC et le TFC des extraits.

Une étude en Turquie a révélé une teneur de 68,69 µg GAE de phénols détectés dans 1 mg d'extrait de méthanol de feuilles de Feijoa (Beyhan *et al.*, 2010). Ce taux est beaucoup moins important du notre.

Une autre étude des extraits foliaires du Feijoa a révélé un taux d'acide gallique de 123.15 mg /g (Poodi *et al.*, 2017)

Une étude en Iran sur les extraits foliaires de *A. sellowiana* a montré un TPC de 92.09 ± 0.75 µg GAE/ml et 44.17 ± 0.28 µg GAE/ml dans l'extrait aqueux et méthanolique respectivement. Quant au TFC, les taux étaient de 59.52 ± 1.03 µg QE/ml et 55.83 ± 1.29 QE/ml respectivement (Ebrahimzadeh *et al.*, 2008).

Une étude récente en Tunisie, a révélé des taux de 179.43 ± 1.59 µg GAE/g et 210.18 ± 1.22 Catéchine E/g pour le TPC et le TFC respectivement dans l'extrait éthanolique des feuilles de *A. sellowiana* (Mosbah *et al.*, 2018).

L'extrait foliaire de notre Feijoa, cultivé et acclimaté dans le jardin botanique de Skikda, contient des taux très élevés en composés phénoliques et en flavonoïdes particulièrement la fraction d'acétate d'éthyle avec des taux allant jusqu'à 762 µg GAE/ml de TPC (Tableau 15). Ces valeurs sont très élevées si on les compare à celles citées dans les autres études faites dans les pays d'origine (citées ci-dessus). Cette constatation est importante et pourrait être expliquée par l'effet de l'acclimatation de nos arbres sur la fabrication des métabolites secondaires.

La différence dans les taux du TPC dans les fruits du Feijoa entre des cultivars semés dans différentes régions est sans doute liée à l'environnement et le climat (Phan *et al.*, 2019). Plusieurs travaux ont été faites sur le fruit de *A. sellowiana* et qui montré des teneurs

importantes en TPC : 93–251 mg GAE / 100 g (Pasquariello *et al.*, 2015), 197–359 mg GAE / 100 g (Silveira *et al.*, 2016) et 515 mg GAE / 100 g (Phan *et al.*, 2019).

Une autre étude réalisée sur l'extrait méthanolique du fruit du Feijoa cultivé en Iran a montré que la quantité la plus importante des phénols totaux a été donnée par les fruits frais (76,15 µg GAE/ml), alors que les fruits séchés contenaient 46,76 µg GAE/ml (Karibi *et al.*, 2016).

Un travail réalisé sur des extraits foliaire de *A. sellowiana* cultivé le long de la côte Est de la Sicile a révélé plusieurs métabolites secondaires, comme les composés phénoliques : a-tocophérol, flavone, stigmastérol et b-carotène (Rubarto et Tringali, 2004)

En Egypte, une étude faite sur les feuilles et les branches du Feijoa a abouti à une identification chromatographique de plusieurs composés phénoliques : 3'-O-methylellagic acide 3-sulphate, nilocitine, strictinine, casuarine, castalagine, acide ellagique, acide ellargique 4-O-methyle ether, avicularine, hyperine et quercitrine (El Shenawy *et al.*, 2008)

2.1.3- Le jamblon (*Syzygium cumini*)

Teneurs en phénols totaux (TPC) et en flavonoïdes (TFC) des trois extraits foliaires de *Syzygium cumini* sont reportées sur le tableau 16.

Tableau 16- Teneurs en phénols totaux (TPC) et en flavonoïdes (TFC) des trois extraits foliaires de *Syzygium cumini*.

Extrait	TPC (µg GAE/ml)	TFC (µg QE/ml)
Extrait chloroformique	210,56±0,07	83,91±0,02
Extrait d'acétate d'éthyle	597,52±0,13	91,90±0,10
Extrait butanolique	388,11±0,01	21,50±0,04

Pour *S. cumini*, les résultats montrent une forte teneur en composés phénoliques, avec un maximum enregistré dans l'extrait d'acétate d'éthyle (TPC= 597,52 µg GAE/ml, TFC= 91,90 µg QE/ml). Concernant les deux autres extraits, la fraction butanolique contient plus de phénols totaux (388,11 µg GAE/ml) que la fraction chloroformique (210,56 µg GAE/ml), alors que ce dernier contient plus de flavonoïdes (83,91 µg QE/ml) que l'extrait butanolique (21,50 µg QE/ml)

Syzygium cumuni est une espèce tropicale d'origine asiatique qui a été étudiée pour son intérêt pharmaceutique et sa richesse en métabolites secondaire. La plupart des recherches dans les pays d'origine, en l'occurrence asiatiques, se sont intéressées aux fruits et aux graines. Quelques travaux ont été faits sur les feuilles du jambon. Notre dosage des composés phénoliques au niveau des différents extraits foliaires a révélé des taux impressionnants de phénols et flavonoïdes (Tableau 16). Ces résultats sont conformes avec ceux d'une étude faite en Inde sur des extraits aqueux et méthanoliques des feuilles de *S. cumini* avec des TPC de 447 µg GAE/g et 474 µg GAE/g respectivement et des TFC de 431 µg QE/g et 668 µg QE/g (Eshwarappa *et al.*, 2014)

Nos résultats obtenus ont montré que l'extrait d'acétate d'éthyle est plus riche en composés phénoliques (Tableau 16). L'étude de Babbar *et al* (2012) a révélé que l'acétate d'éthyle était meilleur que le dichlorométhane dans l'extraction des composés phénoliques et que la polarité du solvant d'extraction pouvait influencer le TPC et le TFC des extraits. Nos résultats sont en accord avec ceux de Darusman *et al* (2013) qui ont trouvé que l'extrait d'acétate d'éthyle a donné le rendement le plus importants en composés phénoliques chez *S. cumini*. Ils ont expliqué ce résultat par le fait que les composés contenus dans les feuilles de cette espèce devraient être semi-polaires comme l'acétate d'éthyle.

Une étude a été faite sur l'extrait méthanolique et l'extrait de chlorure de méthylène des feuilles de *S. cumini* cultivé en Egypte. Le taux des phénols totaux était de 14,03 mg GAE/g et 6,55 mg GAE/g respectivement. Tandis que la teneur en flavonoïdes était de 6,22 mg QE/g et 2,04 QE/g (Mohamed *et al.*, 2013). Une autre étude en Inde sur les extraits d'acétate d'éthyle et de méthanol des graines de *S. cumini* a pu révéler plusieurs composés phénoliques : alcaloïdes, flavonoïdes, saponines, stéroïdes, tanins, triterpénoïdes (Kumar *et al.*, 2009). D'autres travaux ont rapporté que les feuilles de *S. cumini* contiendraient du β -sitostérol, de l'acide bétulinique, du mycaminose, de l'acide cratégolique, du n-hépatcosane, du n-nonacosane, du n-hentriacontane, du noctacosanol, du n-triacontanol, du n-dotricontanol, de la quercétine, de la myricétine, de la myricitrine et des glycosides de flavonol, myricétine 3-O- (4"- acétyl)-a-Lrhamnopyranosides, glycosides de flavonol acylés, triterpénoïdes, tanins, eicosane, octacosane, octadécane. Les huiles essentielles de feuilles sont riches en pinocarveol, a-terpeneol, myrtenol, eucarvone, muurolol, a- myrtenal, cineole, geranyl acetone, a-cadinol et pinocarvone (Rastogi *et al.*, 1990, Sagrawat *et al.*, 2006, Mir *et al.*, 2009, Dagadkhair *et al.*, 2017).

2.2- L'activité antioxydante

Le pouvoir antioxydant des trois extraits foliaires : Extrait chloroformique (EChl), extrait d'acétate d'éthyle (EAcE) et extrait butanolique (EBut), de nos trois espèces (*Psidium guajava*, *Acca sellowiana* et *Syzygium cumuni*) a été estimé par plusieurs tests : le piégeage du radical libre DPPH, le piégeage de l'ABTS, la réduction par la formation du complexe Fe^{+2} -phenanthroline, la méthode CUPRAC, Le pouvoir réducteur FRAP et le test de blanchissement de la β - carotène.

Toutes ces méthodes ont été réalisées sur microplaque et leur lecture spectrophotométrique était faite à l'aide d'un lecteur de microplaque.

2.2.1- Le goyavier (*Psidium guajava*)

1/ Le test de piégeage du radical DPPH

Cette méthode est basée sur la mesure de la capacité des antioxydants à piéger le radical 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazil (DPPH). L'absorbance a été mesurée à 517 nm. Les résultats sont évalués par le calcul de la valeur IC_{50} qui correspond à la concentration de l'extrait qui cause 50% d'inhibition. Le BHA (Butylhydroxyanisole) et le BHT (Butylhydroxytoluène) sont utilisés comme standards. Un résultat positif est caractérisé par le changement de la couleur violet vert une couleur jaune. Cette dernière s'intensifie avec l'importance du pouvoir antioxydant de l'extrait (Figure 68).

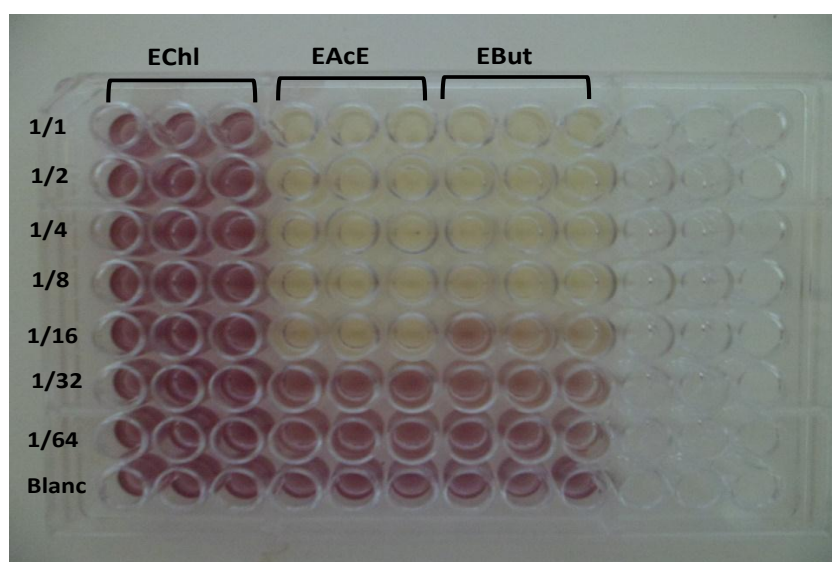


Figure 68- Résultat sur microplaque du test de piégeage du radical DPPH des trois extraits foliaires de *P. guajava*.

Les pourcentages d'inhibition ont été calculés pour estimer le IC₅₀ de chaque extrait. Le traitement des résultats est représenté sur le tableau 17.

Tableau 17- Inhibition du radical DPPH par les différents extraits foliaires de *P. guajava*.

C(µg/ml) Extrait	% d'inhibition							
	1.5625	3.125	6.25	12.5	25	50	100	IC ₅₀ µg/ml
EChl	NA	NA	NA	NA	NA	NA	4,01±1,20	>100
EAcE	21,22±3,45	20,98±2,05	82,19±0,83	86,16±0,55	85,62±0,38	87,06±0,52	87,24±0,99	4,26±0,05 ^a
EBut	23,99±8,00	35,73±2,56	56,91±16,81	83,39±2,73	85,50±0,45	86,16±0,55	86,88±0,42	5,48± 1,53 ^{ab}
BHT*	47,77±1,22	56,93±1,84	72,83±1,23	78,46±1,01	79,48±0,31	80,03±1,62	80,10±0,66	22,32±0,02 ^c
BHA*	22,21±1,24	31,73±1,22	54,89±3,60	67,60±1,13	76,77±0,54	78,67±1,31	79,01±0,89	6,82±0,49 ^b

NA : Pas d'absorbance.

* : standard.

Les valeurs avec les mêmes petites lettres ne présentent pas une différence significative (p>0,05).

P. guajava a présenté une activité très importante dans le test DPPH avec des taux de IC₅₀ plus bas que ceux des standards (Tableau 17). Le pourcentage d'inhibition augmente en fonction de la concentration de l'extrait.

L'extrait d'acétate d'éthyle et l'extrait butanolique ont donné des IC₅₀ de 4,26 ± 0,05 µg/ml et 5,48 ± 1,53 µg/ml, respectivement. Ces résultats sont très importants.

2/ Le test du piégeage du radical d'ABTS (ABTS scavenging activity)

Ce test est basé sur le mécanisme d'oxydoréduction de l'ABTS (sel d'ammonium de l'acide 2,2-azino bis-(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique)).

L'absorbance a été mesurée à 734 nm. Les résultats sont évalués par le calcul de la valeur IC₅₀ qui correspond à la concentration de l'extrait qui cause 50% d'inhibition.

Le BHA (Butylhydroxyanisole) et le BHT (Butylhydroxytoluène) sont utilisés comme standards. Un résultat positif est caractérisé par une décoloration de la couleur bleue de la solution. Cette décoloration s'intensifie avec l'importance du pouvoir antioxydant de l'extrait (Figure 69).

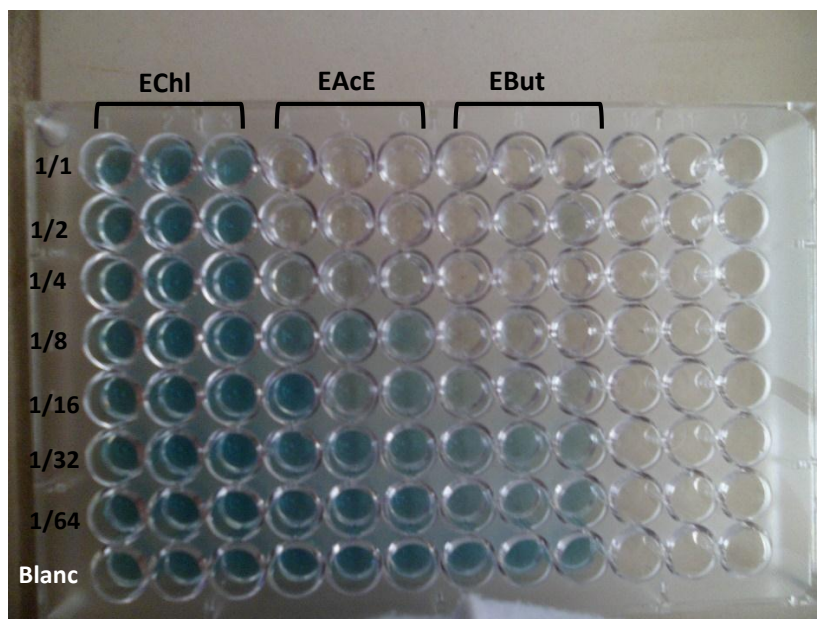


Figure 69- Résultat sur microplaque du test de piégeage du radical ABTS des trois extraits foliaires de *P. guajava*.

Les pourcentages d'inhibition ont été calculés pour estimer le IC_{50} de chaque extrait. Le traitement des résultats est représenté sur le tableau 18.

Tableau 18- Inhibition du radical ABTS par les différents extraits foliaires de *P. guajava*.

C(μg/ml) Extrait	% d'inhibition							IC_{50} μg/ml
	0.3906	0.78125	1.5625	3.125	6.25	12.5	25	
EChl	NA	NA	NA	NA	NA	3.19±2.39	4.95±7.20	>25
EAce	19,66±0.38	25.63±4.47	32,81± 0,36	35,73±0,51	65.42±2.70	86.04±0.68	86.30±2.75	5.25± 0.47 ^b
EBut	38.64±10.41	39.90±0.39	65.61± 4.34	69,38±1.86	76.30±0.58	78.56±2.45	88,28 0,53	1.09± 0.10 ^a
BHT*			49.22±0.75	59.22±0.59	78.55±3.43	90.36±0.00	92.18±1.27	1.59±0.03 ^a
BHA*			83.42±4.09	93.52±0.09	93.58±0.09	93.63±0.16	93.63±0.95	1.03±0.00 ^a

NA : Pas d'absorbance.

* : standard.

Les valeurs avec les mêmes petites lettres ne présentent pas une différence significative ($p > 0,05$).

P. guajava a montré une bonne activité antioxydante dans le test du piégeage de l'ABTS. Le pourcentage d'inhibition augmente en fonction de la concentration de l'extrait. Les valeurs de IC_{50} sont très proches de celles des standards, en particulier la fraction butanolique ($IC_{50} = 1,09 \pm 0,10$ μg / ml). Il n'y a pas une différence significative ($p > 0,05$) entre les IC_{50} de l'extrait butanolique et des standards BHT et BHA (Tableau 18).

3/ Le test de l'activité de réduction par la formation du complexe Fe^{2+} -phénantroline (Phen assay)

Cette technique est basée sur la formation du complexe Fe^{+2} -phénantroline rouge-orangé à la suite d'une réaction d'oxydoréduction. L'absorbance a été déterminée à 510 nm. Les résultats ont été calculés à titre de $A_{0.5}$ ($\mu\text{g/ml}$) correspondant à la concentration indiquant 0,50 d'absorbance. Le BHA (Butylhydroxyanisole) et le BHT (Butylhydroxytoluène) sont utilisés comme standards. Un résultat positif est caractérisé par une coloration rouge orangé de la solution. Cette décoloration s'intensifie avec l'importance du pouvoir antioxydant de l'extrait (Figure 70).

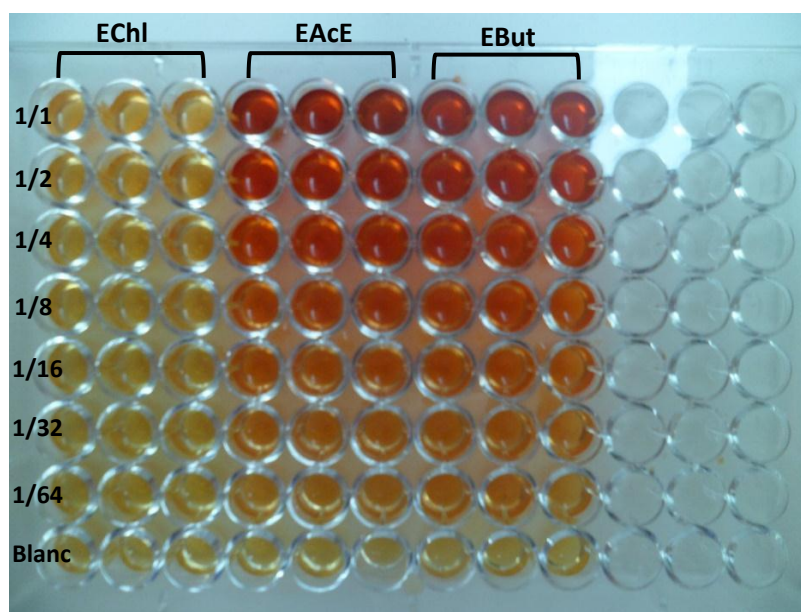


Figure 70- Résultat sur microplaque du test de réduction du complexe Fe^{2+} -phénantroline des trois extraits foliaires de *P. guajava*.

Les valeurs d'absorbance ont été traitées pour estimer le $A_{0.5}$ de chaque extrait. Le traitement des résultats est représenté sur le tableau 19.

Tableau 19- Absorbances du complexe Fe^{2+} - phénantroline des différents extraits foliaires de *P. guajava*.

Extrait \ C(µg/ml)	Absorbances							
	3.125	6.25	12.5	25	50	100	200	A _{0.5} µg/ml
EChl	0,29± 0,00	0,29± 0,01	0,30± 0,01	0,32± 0,01	0,39± 0,05	0,42±0,01	0,81±0,01	119,20±1.85^c
EAcE	0,51± 0,05	0,67± 0,04	1,01 ±0,11	1.63± 0.15	2,77± 0,34	4,03±0,37	4,51±0,05	3.25±0.11^b
EBut	0,70± 0,11	0,78 ±0,08	1,21± 0,13	1,99± 0,25	3,34± 0,24	4,48 ±0,22	4,74±0,05	2,62±0,01^{ab}
BHT*	0,53±0,03	1,23±0,02	1,84±0,01	3,48±0,03	4,84±0,01	/	/	2,24±0,17^{ab}
BHA*	0,73±0,02	0,93±0,01	1,25±0,04	2,10±0,05	4,89±0,06	/	/	0,93±0,07^a

* : standard.

Les valeurs avec les mêmes petites lettres ne présentent pas une différence significative ($p>0,05$).

Les extraits foliaires de *P. guajava* ont montré une très bonne activité réductrice du complexe Fe^{2+} - Phénanthroline. Les absorbances enregistrées sont proportionnelles à la concentration de l'extrait.

Les valeurs de A_{0.5} sont très proches de celles des standards (Tableau 19). L'extrait butanolique a exercé une activité très élevée avec A_{0.5}= 2,62 ± 0,01 µg / ml, ce taux est très proche à celui du BHT (2,24±0,17 µg /ml) avec une différence non significative ($p>0,05$). L'extrait d'acétate d'éthyle a montré également un bon pouvoir avec A_{0.5} = 3,25 ± 0,11 µg / ml. Quant à l'extrait chloroformique, l'activité est très faible (Figure 70)

4/ Le test du pouvoir réducteur FRAP (Reducing power)

Cette méthode est basée sur l'aptitude des extraits testés à réduire le fer ferrique (Fe^{+3}) de couleur jaune en fer ferreux (Fe^{+2}) de couleur bleu vert. La lecture de l'absorbance du milieu réactionnel a été mesurée à 700 nm.

Les résultats ont été calculés à titre de A_{0,50} (µg/ml) correspondant à la concentration indiquant 0,50 d'absorbance.

Les antioxydants standards utilisés dans ce test sont l'acide ascorbique, l'acide tannique et α -Tocophérol. Un résultat positif est caractérisé par une coloration bleu vert de la solution. Cette coloration s'intensifie avec l'importance du pouvoir antioxydant de l'extrait (Figure 71).

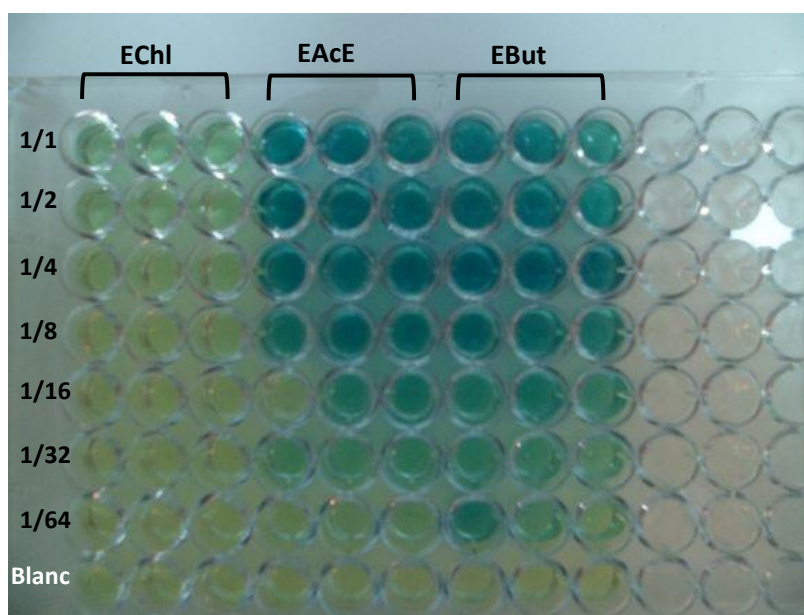


Figure 71- Résultat sur microplaque du test du pouvoir réducteur (FRAP) des trois extraits foliaires de *P. guajava*.

Les valeurs d'absorbance ont été traitées pour estimer le $A_{0.5}$ de chaque extrait. Le traitement des résultats est représenté sur le tableau ci-dessous.

Tableau 20- Absorbances du pouvoir réducteur (FRAP) des différents extraits foliaires de *P. guajava*.

C(µg/ml) Extrait	Absorbances							
	3.125	6.25	12.5	25	50	100	200	$A_{0.5}$ µg/ml
EChl	0,06± 0,01	0,08± 0,05	0,12± 0,04	0,15± 0,08	0,14± 0,03	0,30± 0,17	0,30± 0,04	>200
EAce	0,15± 0,03	0,36± 0,03	0,42± 0,32	0,88± 0,12	0,98 0,12	1,06 0,21	1,40± 0,12	13,45± 5,82 ^a
EBut	0,09± 0,03	0,17± 0,05	0,38± 0,07	0,48± 0,14	0,76± 0,19	0,99± 0,26	1,33± 0,22	26,63±3,49 ^b
Acide ascorbique*	0,35±0,05	0,46±0,03	0,84±0,12	0,93±0,30	1,18±0,34	1,44±0,21	1,37±0,20	6,77±1,15 ^a
Acide tannique*	0,28±0,02	0,78±0,06	1,02±0,07	1,24±0,18	0,86±0,6	1,01±0,21	1,02±0,13	5,39±0,91 ^a
α-Tocophérol*	0,11±0,00	0,16±0,00	0,21±0,03	0,35±0,03	0,73±0,03	1,37±0,08	1,81±0,09	34,93±2,38 ^b

* : standard.

Les valeurs avec les mêmes petites lettres ne présentent pas une différence significative ($p>0,05$).

Le test du pouvoir réducteur du fer nous a permis d'avoir des résultats importants qui confirme encore le pouvoir antioxydant de des extraits foliaires de *P. guajava*. Les absorbances enregistrées sont proportionnelles à la concentration de l'extrait.

L'acétate d'éthyle a exercé un pouvoir réducteur proche que celui des standards. On a une différence non significative ($p > 0,05$) entre la $A_{0,5}$ de l'extrait d'acétate d'éthyle ($13,45 \pm 5,82 \mu\text{g /ml}$) et celles des deux standards : acide ascorbique ($6,77 \pm 1,15 \mu\text{g /ml}$) et acide tannique ($5,39 \pm 0,91 \mu\text{g /ml}$). Quant à l'extrait butanolique, la valeur de $A_{0,5}$ ($26,63 \pm 3,49 \mu\text{g /ml}$) est proche du troisième standard : α -Tocophérol ($A_{0,5} = 34,93 \pm 2,38 \mu\text{g /ml}$). L'extrait chloroformique n'a pas montré un pouvoir réducteur important (Tableau 71, figure 20).

5/ Le test de blanchissement de la β -carotène

Le blanchissement de la β -carotène est causé par les radicaux libres présents dans l'acide linoléique. Ce test est basé sur l'empêchement du blanchissement de la β -carotène par l'extrait (antioxydant). L'absorbance a été mesurée à 470 nm.

Les résultats sont évalués par le calcul de la valeur IC_{50} qui correspond à la concentration de l'extrait qui cause 50% d'inhibition.

Le BHA (Butylhydroxyanisole) et le BHT (Butylhydroxytoluène) sont utilisés comme standards. Un résultat positif est caractérisé par une coloration orange de la solution. Cette coloration s'intensifie avec l'importance du pouvoir antioxydant de l'extrait (Figure 72).

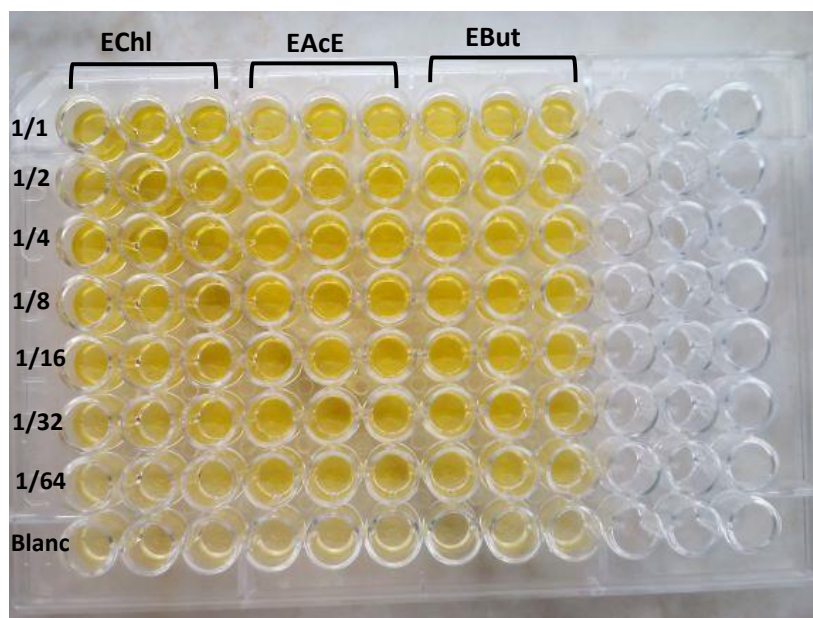


Figure 72- Résultat sur microplaque du test de blanchissement de la β -carotène des trois extraits foliaires de *P. guajava*.

Les pourcentages d'inhibition ont été calculés pour estimer le IC₅₀ de chaque extrait. Le traitement des résultats est représenté sur le tableau 21.

Tableau 21- Inhibition du blanchissement de la β -carotène par les différents extraits foliaires de *P. guajava*.

C(μg/ml) Extrait	% d'inhibition							
	3.125	6.25	12.5	25	50	100	200	IC ₅₀ μg/ml
EChl	NA	27,10±1,54	76,74±1,34	83,21±1,82	88,33±2,42	90,76±0,65	97,64±6,17	9,25 ±1,26^c
EAcE	49,50±0,99	80,59±1,15	88,91±0,59	90,80±0,49	92,25±0,72	92,47±0,12	92,30±2,09	3,18 ±0,10^b
EBut	44,85±3,58	83,55±0,51	88,77±0,68	90,06±0,49	92,64± ,23	96,15±0,79	108,77±0,71	3,53 ±0,26^b
BHT*	81,14±0,84	86,09±1,04	87,52±4,24	91,67±0,52	94,11±0,42	94,41±0,32	95,28±3,25	1,05±0,01^a
BHA*	84,23±1,14	90,11±0,68	94,59±0,77	96,09±0,02	97,35±1,08	99,59±0,14	99,76±0,25	0,90±0,02^a

NA : pas d'absorbance.

* : standard.

Les valeurs avec les mêmes petites lettres ne présentent pas une différence significative (p>0,05).

Le pourcentage d'inhibition augmente en fonction de la concentration de l'extrait. La seule activité antioxydante où l'extrait chloroformique a montré une efficacité est celle de l'inhibition du blanchissement par la β -carotène. Cette fraction présente une activité inhibitrice, mais la valeur de la IC₅₀ (9,25 ± 1,26 μg / m) est statistiquement à différence significative (p<0,05) de celle des standards. En ce qui concerne l'extrait d'Acétate d'éthyle et l'extrait butanolique, ces fractions étaient plus efficaces, avec des valeurs très proches de IC₅₀ (3,18 ± 0,10 μg / ml et 3,53 ± 0,26 μg / ml respectivement), ces valeurs sont basses mais la différence est statistiquement significative (p<0,05) avec celles des standards (Tableau 21).

6/ Le test de la capacité antioxydante par réduction du cuivre (CUPRAC)

Ce test est basé sur la réaction d'oxydo-réduction des antioxydants briseurs de chaîne avec le réactif CUPRAC. L'absorbance a été enregistrée à 450 nm.

Les résultats ont été calculés à titre de A_{0,5} (μg/ml) correspondant à la concentration indiquant 0,50 d'absorbance.

Le BHA (Butylhydroxyanisole) et le BHT (Butylhydroxytoluène) sont utilisés comme standards. Un résultat positif est caractérisé par un changement de la couleur bleu clair en une couleur jaune orangé de la solution. Cette coloration s'intensifie avec l'importance du pouvoir antioxydant de l'extrait (Figure 73).

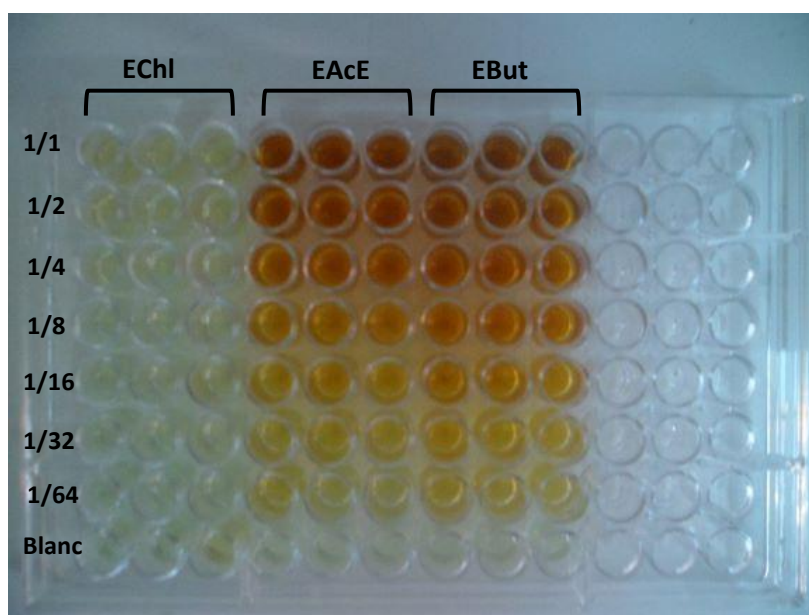


Figure 73- Résultat sur microplaque du test réduction du cuivre (CUPRAC) des trois extraits foliaires de *P. guajava*.

Les valeurs d'absorbance ont été traitées pour estimer le $A_{0.5}$ de chaque extrait. Le traitement des résultats est représenté sur le tableau 22.

Tableau 22- Absorbances du pouvoir réducteur du cuivre (CUPRAC) des différents extraits foliaires de *P. guajava*.

C(µg/ml) Extrait	Absorbances							
	3.125	6.25	12.5	25	50	100	200	$A_{0.5}$ µg/ml
EChl	0,19±0,00	0,21±0,01	0,26±0,06	0,20±0,00	0,24±0,02	0,32± 0,07	0,44±0,13	>200
EAce	0,55±0,15	0,79±0,12	1,32± 0,13	1,94±0,07	3,16± 0,11	3,79 ±0,02	4,00±0,04	3,08±0,55 ^{ab}
EBut	0,82± 0,01	1,25±0,06	2,15± 0,12	3,17±0,22	3,61±0,17	3,79± 0,02	3,97±0,04	1,72±0,06 ^a
BHT*	0,19±0,01	0,33±0,04	0,66±0,07	1,03±0,07	1,48±0,09	2,04±0,14	2,32±0,28	9,62±0,87 ^c
BHA*	0,46±0,00	0,78±0,01	1,34±0,08	2,36±0,17	3,45±0,02	3,76±0,03	3,93±0,01	3,64±0,19 ^b

* : standard.

Les valeurs avec les mêmes petites lettres ne présentent pas une différence significative ($p>0,05$).

Les absorbances enregistrées sont proportionnelles à la concentration de l'extrait. Les extraits foliaires d'acétate d'éthyle et butanolique ont montré un pouvoir réducteur du cuivre très intéressant et plus important que le BHT et le BHA. Les valeurs de $A_{0.5}$ sont beaucoup inférieures à celles de ces derniers. L'extrait butanolique a montré une activité intense de réduction du cuivre avec $A_{0.5}=1,72\pm0,06$ µg/ml, ce résultat très bas a donné statistiquement

une différence significative ($p < 0,05$) avec les deux standards mais dans le bon sens. L'extrait d'acétate d'éthyle a exercé aussi une activité importante avec un $A_{0,5} = 3,08 \pm 0,55 \mu\text{g/ml}$ qui est très proche du celui du BHA avec lequel la différence n'est pas significative ($p > 0,05$). L'extrait chloroformique n'a pas donné des résultats positifs (Tableau 22).

Les résultats ont révélé que les feuilles de l'espèce *Psidium guajava* possèdent d'importantes activités antioxydantes à divers degrés, en particulier les fractions d'acétate d'éthyle et de *n*-butanol.

Les valeurs de IC_{50} et $A_{0,5}$ varient selon l'extrait. L'extrait chloroformique a montré une faible activité antioxydante.

Nos résultats révèlent que l'activité antioxydante et les valeurs de IC_{50} et $A_{0,5}$ de certains échantillons étaient inférieures à celles des standards. Ce fut le cas pour le test de piégeage des radicaux DPPH et le test CUPRAC. Ces deux tests sont basés sur la capacité des antioxydants à transférer des électrons. Les tests de piégeage de l'ABTS, du pouvoir réducteur du fer (FRAP), de phénantroline et de l'inhibition du blanchissement de la β -carotène ont révélé des résultats très proches des standards.

Le test de l'inhibition du blanchissement de la β -carotène a montré l'activité de l'extrait chloroformique contrairement aux autres tests. Ce résultat est cohérent avec celui de Hacibekiroglu et Kolak qui ont constaté que l'extrait chloroformique induisait une forte inhibition de la peroxydation lipidique par le test de blanchissement de la β -carotène, l'effet étant dû à la présence des composés phénoliques et flavonoïdes (Hacibekiroglu et Kolak, 2015).

Cette activité antioxydante pourrait être liée à l'abondance des composés phénoliques dans les extraits foliaires de *P. guajava*. Les extraits avec un niveau élevé de contenu phénolique total ont montré les meilleures capacités antioxydantes. Les résultats statistiques de corrélation confirment cette hypothèse avec un coefficient de corrélation très élevé entre le TPC et tous les tests antioxydants (Annexe 8).

Nos résultats obtenus par la plupart des tests antioxydants montrent que l'extrait d'acétate d'éthyle présente l'activité la plus importante, suivi de l'extrait butanolique. Cela peut être dû au fait que les composés phénoliques et flavonoïdes sont souvent extraits en quantités plus élevées en utilisant des solvants polaires. On sait que les différences de la polarité des

solvants d'extraction pourraient entraîner une variation du contenu des polyphénols et des flavonoïdes de l'extrait (Shrestha *et al.*, 2013, Eshwarappa *et al.*, 2014).

Certaines études ont associé les propriétés antioxydantes des feuilles de *P. guajava* à leurs composés phénoliques. Les composés isolés comprenaient l'acide ascorbique, l'acide gallique et l'acide caféique (Jimenez *et al.*, 2001), l'acide Protocatechunic, l'acide férulique, la quercétine et la guavine B (Thaipong *et al.*, 2005), acide gallique, catéchine, épicatechine, rutine, quercétine, naringénine et kaempferol (Hsieh *et al.*, 2007). L'extrait méthanolique des feuilles du goyavier thaïlandais a une activité antioxydante élevée et trois flavonoïdes avec différents niveaux de pouvoir antioxydant ont été isolés, la quercétine, la quercétine-3-O-glucopyranoside et la morine (achakittirungrod *et al.*, 2007).

Des études antérieures sur des extraits de feuilles de *P. guajava* ont rapporté une activité antioxydante élevée due à la richesse en composés phénoliques. Qian *et al.* ont constaté que différents extraits de feuilles de goyave présentaient une bonne activité d'élimination des radicaux libres en fonction de la concentration utilisée (Qian *et al.*, 2004). Une autre étude s'est intéressée à la capacité antioxydante des extraits d'eau, d'éthanol et de méthanol des feuilles de *P. guajava*, les résultats ont démontré une capacité antioxydante supérieure des extraits de feuilles de goyave, bien que davantage due à la teneur en composés phénoliques qu'à la teneur en flavonoïdes (Seo *et al.*, 2014). Des travaux sur l'extrait de feuilles de *P. guajava* ont montré une activité antioxydante accrue en utilisant le test du pouvoir réducteur (FRAP) (Norhidayah *et al.*, 2011). Le but d'une récente recherche indonésienne était d'évaluer l'activité antioxydante de dix espèces de Myrtacées, dont *P. guajava*. Le test DPPH de l'extrait d'acétate d'éthyle des feuilles de *P. guajava* a donné une IC_{50} de $53,54 \pm 2,23$ $\mu\text{g/ml}$ qui était inférieure à celle de l'acide ascorbique (Ramadhania *et al.*, 2017). Ces résultats sont conformes aux nôtres, mais le niveau de composés phénoliques était plus élevé.

Les valeurs de IC_{50} et $A_{0.5}$ que nous avons obtenues étaient inférieures à la plupart des études mentionnées ci-dessus et nous avons également constaté une plus grande activité antioxydante dans tous nos tests. Cette différence pourrait s'expliquer par le fait que notre matériel végétal était constitué de feuilles de *P. guajava* qui est acclimaté et adapté aux conditions locales de l'Algérie. Par conséquent, la phytochimie de notre espèce est différente de la même cultivée dans son environnement naturel (dans les climats tropicaux et subtropicaux).

Les composés phénoliques végétaux sont bien connus pour jouer un rôle crucial dans l'écologie et la physiologie végétales (Roseiro *et al.*, 2012).

2.2-1. Le Feijoa (*Acca sellowiana*)

1/ Le test de piégeage du radical DPPH

Cette méthode est basée sur la mesure de la capacité des antioxydants à piéger le radical 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazil (DPPH). L'absorbance a été mesurée à 517 nm. Les résultats sont évalués par le calcul de la valeur IC_{50} qui correspond à la concentration de l'extrait qui cause 50% d'inhibition. Le BHA et le BHT sont utilisés comme standards. Un résultat positif est caractérisé par le changement de la couleur violet vert une couleur jaune. Cette dernière s'intensifie avec l'importance du pouvoir antioxydant de l'extrait (Figure 74).

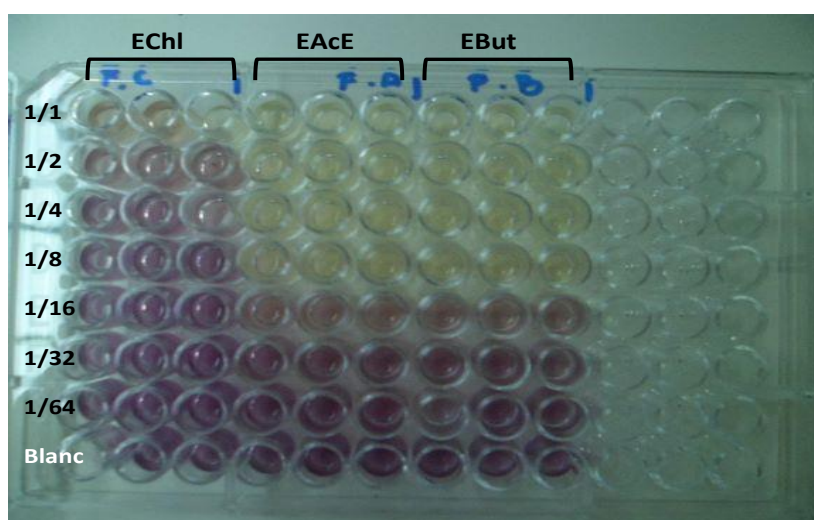


Figure 74- Résultat sur microplaque du test de piégeage du radical DPPH des trois extraits foliaires de *A. sellowiana*.

Les pourcentages d'inhibition ont été calculés pour estimer le IC_{50} de chaque extrait. Le traitement des résultats est représenté sur le tableau 23.

Tableau 23- Inhibition du radical DPPH par les différents extraits foliaires de *A. sellowiana*.

C(μg/ml) Extrait	% d'inhibition							
	1.5625	3.125	6.25	12.5	25	50	100	IC_{50} μg/ml
EChl	NA	NA	NA	1,73± 2,65	10,27±0,47	36,05± 2,46	74,00± 3,95	76,55± 1,40 ^c
EAcE	0,49±6,71	17,30±0,00	50,86±1,14	87,30±0,83	88,16±0,32	88,49±1,55	88,92± 0,41	6,12 ± 0,07 ^a
EBut	16,65±27,43	19,14±5,04	47,30±2,92	86,00±1,42	87,89±0,09	88,92±0,73	89,68± 0,68	6,41 ±0,30 ^a
BHT*	47,77±1,22	56,93±1,84	72,83±1,23	78,46±1,01	79,48±0,31	80,03±1,62	80,10±0,66	22,32±0,02 ^b
BHA*	22,21±1,24	31,73±1,22	54,89±3,60	67,60±1,13	76,77±0,54	78,67±1,31	79,01±0,89	6,82±0,49 ^a

NA : Pas d'absorbance. * : standard.

Les valeurs avec les mêmes petites lettres ne présentent pas une différence significative ($p>0,05$).

Les extraits foliaires de *A. sellowiana*, principalement les fractions d'acétate d'éthyle et butanolique, ont montré une très bonne activité de piégeage du radical DPPH, avec des taux de IC_{50} plus importants que ceux des standards (BHT et BHA). Le pourcentage d'inhibition augmente en fonction de la concentration de l'extrait.

Une valeur de $IC_{50} = 6,12 \pm 0,07 \mu\text{g/ml}$ est enregistrée par l'extrait d'acétate d'éthyle, ce résultat est très intéressant. L'activité de l'extrait butanolique est très proche de celle de l'extrait d'acétate ($IC_{50} = 6,41 \pm 0,30 \mu\text{g/ml}$), cette valeur est aussi inférieure que celle enregistrée par les deux standards (Tableau 23). Statistiquement, le test de Tukey a montré une différence non significative ($p > 0,05$) entre chacun des deux extraits butanolique et d'acétate d'éthyle et le BHA. L'extrait chloroformique a exercé une activité mais qui est moins importante avec une IC_{50} de $76,55 \pm 1,40 \mu\text{g/ml}$.

2/ Le test du piégeage du radical d'ABTS (ABTS scavenging activity)

Ce test est basé sur le mécanisme d'oxydoréduction de l'ABTS (sel d'ammonium de l'acide 2,2-azino bis-(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique)). L'absorbance a été mesurée à 734 nm. Les résultats sont évalués par le calcul de la valeur IC_{50} qui correspond à la concentration de l'extrait qui cause 50% d'inhibition. Le BHA et le BHT sont utilisés comme standards. Un résultat positif est caractérisé par une décoloration de la couleur bleue de la solution. Cette décoloration s'intensifie avec l'importance du pouvoir antioxydant de l'extrait (Figure 75).

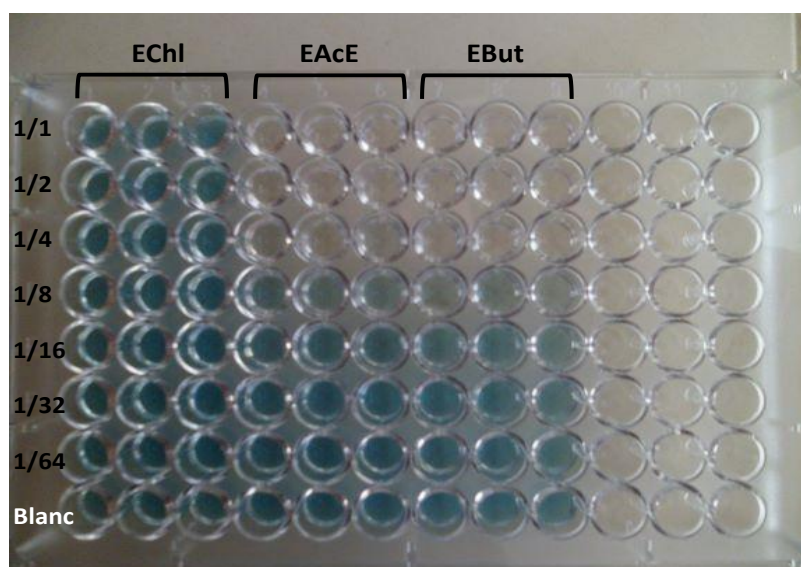


Figure 75- Résultat sur microplaque du test de piégeage du radical ABTS des trois extraits foliaires de *A. sellowiana*.

Les pourcentages d'inhibition ont été calculés pour estimer le IC₅₀ de chaque extrait. Le traitement des résultats est représenté sur le tableau ci-dessous.

Tableau 24- Inhibition du radical ABTS par les différents extraits foliaires de *A. sellowiana*.

C(µg/ml) Extrait	% d'inhibition							
	0.3906	0.78125	1.5625	3.125	6.25	12.5	25	IC ₅₀ µg/ml
EChl	NA	NA	NA	NA	NA	NA	9,54±4,72	>25
EAcE	13,87± 4,08	17,10±0,84	27,65±4,74	46,01±5,90	75,05±4,34	86,70±1,53	87,74±0,92	3,70 ±0,20 ^d
EBut	17,47 ±7,93	18,93±1,20	33,39±3,89	58,09±2,39	86,27±0,32	89,39±0,55	90,71±1,93	2,84± 0,25 ^c
BHT*			49,22±0,75	59,22±0,59	78,55±3,43	90,36±0,00	92,18±1,27	1,59±0,03 ^b
BHA*			83,42±4,09	93,52±0,09	93,58±0,09	93,63±0,16	93,63±0,95	1,03±0,00 ^a

NA : Pas d'absorbance.

* : standard.

Les valeurs avec les mêmes petites lettres ne présentent pas une différence significative (p>0,05).

Pour l'activité du piégeage du radical ABTS, les feuilles de l'espèce *Acca sellowiana* ont donné de bons résultats. Le pourcentage d'inhibition augmente en fonction de la concentration de l'extrait.

La meilleure IC₅₀ est enregistrée par l'extrait butanolique (2,84± 0,25 µg/ml), elle est proche à celle du standard BHT mais la différence est significative ((p<0,05). Pour l'extrait d'acétate, le résultat est aussi important (IC₅₀= 3,70 ±0,20 µg/ml). Quant à l'extrait chloroformique, le résultat est négatif pour nos concentrations (Tableau 24).

3/ Le test de l'activité de réduction par la formation du complexe Fe²⁺-phénantroline (Phen assay)

Cette technique est basée sur la formation du complexe Fe²⁺-phénantroline rouge-orangé à la suite d'une réaction d'oxydoréduction.

L'absorbance a été déterminée à 510 nm. Les résultats ont été calculés à titre de A_{0.5} (µg/ml) correspondant à la concentration indiquant 0,50 d'absorbance.

Le BHA et le BHT sont utilisés comme standards. Un résultat positif est caractérisé par une coloration rouge orangé de la solution. Cette décoloration s'intensifie avec l'importance du pouvoir antioxydant de l'extrait (Figure 76).

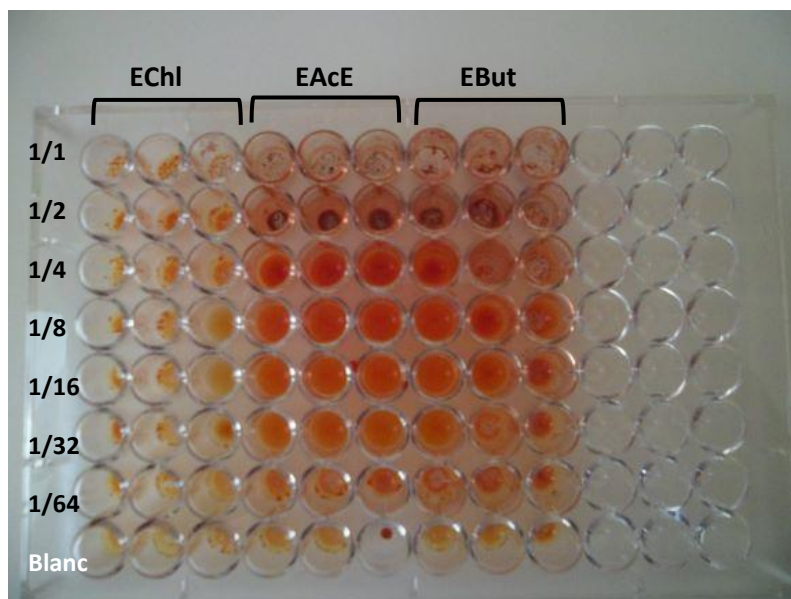


Figure 76- Résultat sur microplaque du test de réduction du complexe Fe^{2+} -phénantroline des trois extraits foliaires de *A. sellowiana*.

Les valeurs d'absorbance ont été traitées pour estimer le $A_{0.5}$ de chaque extrait. Le traitement des résultats est représenté sur le tableau 25.

Tableau 25- Absorbances du complexe Fe^{2+} - phénantroline des différents extraits foliaires de *A. sellowiana*.

C(µg/ml) Extrait	Absorbances							
	3.125	6.25	12.5	25	50	100	200	$A_{0.5}$ µg/ml
EChl	0,33± 0,02	0,35± 0,02	0,37± 0,01	0,49± 0,02	0,66± 0,02	1,05±0,05	1,66±0,10	28,67±1,29 ^d
EAce	0,41± 0,06	0,54± 0,00	0,82 ±0,03	1,38± 0,07	2,83± 0,37	3,32±0,24	4,10±0,02	5,30±0,63 ^c
EBut	0,46± 0,18	0,62± 0,05	0,74± 0,07	1,35± 0,21	2,26± 0,23	3,75±0,25	4,12±0,01	4,07±1,33 ^{bc}
BHT*	0,53±0,03	1,23±0,02	1,84±0,01	3,48±0,03	4,84±0,01	/	/	2,24±0,17 ^{ab}
BHA*	0,73±0,02	0,93±0,01	1,25±0,04	2,10±0,05	4,89±0,06	/	/	0,93±0,07 ^a

* : standard.

Les valeurs avec les mêmes petites lettres ne présentent pas une différence significative ($p>0,05$).

Les trois fractions de l'extrait foliaire de *A. sellowiana* ont une bonne activité réductrice du complexe Fe^{2+} - phénantroline. Les absorbances enregistrées sont proportionnelles à la concentration de l'extrait.

Le meilleur résultat est enregistré par la fraction butanolique ($A_{0.5}$ =4,07±1,33 µg/ml), suivi par la fraction d'acétate d'éthyle ($A_{0.5}$ = 5,30±0,63 µg/ml). Ces deux valeurs sont proches de

celles des standards (Tableau 25). L'analyse statistique a révélé une différence significative ($p < 0,05$) entre l'extrait d'acétate d'éthyle et les deux standards et une différence non significative ($p > 0,05$) entre l'extrait butanolique et le BHA. L'extrait chloroformique présente toujours une faible activité ($A_{0.5} = 28,67 \pm 1,29 \mu\text{g/ml}$).

4/ Le test du pouvoir réducteur FRAP (Reducing power)

Cette méthode est basée sur l'aptitude des extraits testés à réduire le fer ferrique (Fe^{+3}) de couleur jaune en fer ferreux (Fe^{+2}) de couleur bleu vert. La lecture de l'absorbance du milieu réactionnel a été mesurée à 700 nm.

Les résultats ont été calculés à titre de $A_{0,50}$ ($\mu\text{g/ml}$) correspondant à la concentration indiquant 0,50 d'absorbance.

Les antioxydants standards utilisés dans ce test sont l'acide ascorbique, l'acide tannique et α -Tocophérol. Un résultat positif est caractérisé par une coloration bleu vert de la solution. Cette coloration s'intensifie avec l'importance du pouvoir antioxydant de l'extrait (Figure 77).

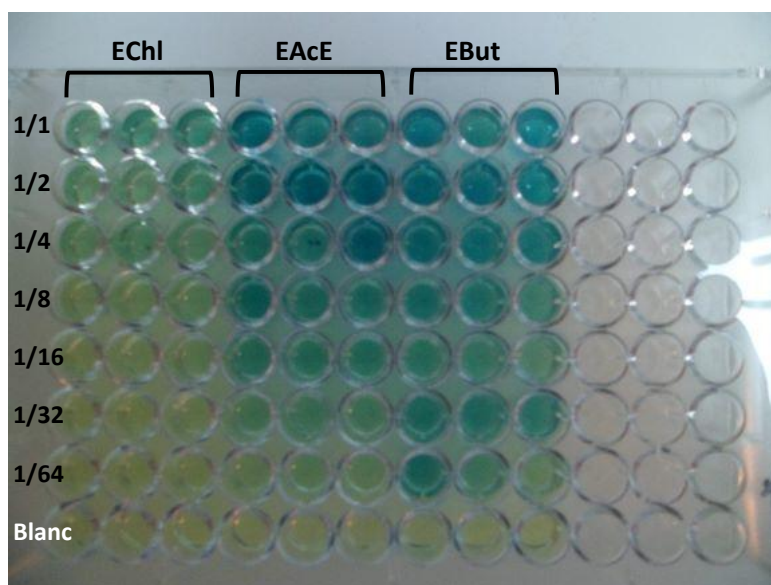


Figure 77- Résultat sur microplaque du test du pouvoir réducteur (FRAP) des trois extraits foliaires de *A. sellowiana*.

Les valeurs d'absorbance ont été traitées pour estimer le $A_{0.5}$ de chaque extrait. Le traitement des résultats est représenté sur le tableau 26.

Tableau 26- Absorbances du pouvoir réducteur (FRAP) des différents extraits foliaires de *A. sellowiana*.

Extrait	Absorbances							
	3.125	6.25	12.5	25	50	100	200	A _{0.5} µg/ml
EChl	0,04± 0,02	0,09± 0,00	0,11± 0,02	0,13± 0,02	0,20± 0,05	0,24± 0,05	0,47± 0,12	>200
EAcE	0,19± 0,05	0,29± 0,03	0,39± 0,03	0,67± 0,19	0,79± 0,51	1,08± 0,20	1,33 ± 0,58	23,28±12,19 ^{bc}
EBut	NA	NA	0,41± 0,02	0,64± 0,09	0,93± 0,14	1,30± 0,09	1,44± 0,35	17,11± 2,88 ^{ab}
Acide ascorbique*	0,35±0,05	0,46±0,03	0,84±0,12	0,93±0,30	1,18±0,34	1,44±0,21	1,37±0,20	6,77±1,15 ^a
Acide tannique*	0,28±0,02	0,78±0,06	1,02±0,07	1,24±0,18	0,86±0,6	1,01±0,21	1,02±0,13	5,39±0,91 ^a
α-Tocophérol*	0,11±0,00	0,16±0,00	0,21±0,03	0,35±0,03	0,73±0,03	1,37±0,08	1,81±0,09	34,93±2,38 ^c

NA : Pas d'absorbance.

* : standard.

Les valeurs avec les mêmes petites lettres ne présentent pas une différence significative ($p>0,05$).

Ce test a montré que les extraits foliaires de *A. sellowiana* sont moins efficace dans le pouvoir réducteur du fer (FRAP) par rapport aux autres activités antioxydantes. Les absorbances enregistrées sont proportionnelles à la concentration de l'extrait. Les résultats sont positifs pour les fractions d'acétate d'éthyle et de butanol mais les valeurs de A_{0.5} sont plus grandes (23,28±12,19 µg/ml et 17,11± 2,88 respectivement). La différence n'est pas significative ($p>0,05$) entre le résultat donné par l'extrait d'acétate d'éthyle et celui donné par le α-Tocophérol et en plus le premier est inférieur du second. L'extrait butanolique a donné également un résultat plus important que celui du α-Tocophérol avec une différence significative ($p<0,05$). C'est une activité forte car le α-Tocophérol est un antioxydant puissant. Les résultats sont très faibles pour la fraction chloroformique (Tableau 26).

5/ Le test de blanchissement de la β-carotène

Le blanchissement de la β-carotène est causé par les radicaux libres présents dans l'acide linoléique. Ce test est basé sur l'empêchement du blanchissement de la β-carotène par l'extrait (antioxydant). L'absorbance a été mesurée à 470 nm. Les résultats sont évalués par le calcul de la valeur IC₅₀ qui correspond à la concentration de l'extrait qui cause 50% d'inhibition.

Le BHA et le BHT sont utilisés comme standards. Un résultat positif est caractérisé par une coloration orange de la solution. Cette coloration s'intensifie avec l'importance du pouvoir antioxydant de l'extrait (Figure 78).

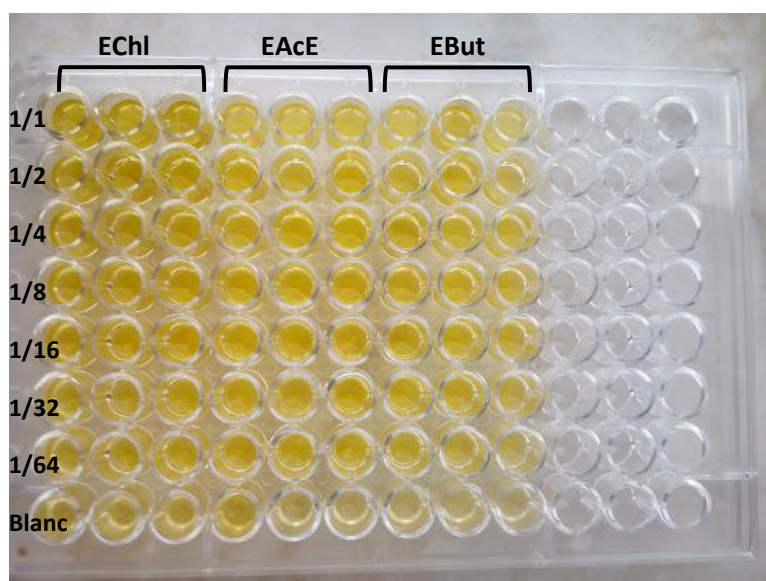


Figure 78- Résultat sur microplaque du test de blanchissement de la β -carotène des trois extraits foliaires de *A. sellowiana*.

Les pourcentages d'inhibition ont été calculés pour estimer le IC_{50} de chaque extrait. Le traitement des résultats est représenté sur le tableau 27.

Tableau 27- Inhibition du blanchissement de la β -carotène par les différents extraits foliaires de *A. sellowiana*.

C(μ g/ml) Extrait	% d'inhibition							
	3.125	6.25	12.5	25	50	100	200	IC_{50} μ g/ml
EChl	55,42 $\pm$ 1,73	70,51 $\pm$ 2,67	79,42 $\pm$ 0,80	85,23 $\pm$ 2,03	91,29 $\pm$ 2,46	92,90 $\pm$ 0,11	98,77 $\pm$ 4,03	2,02$\pm$0,29^{bc}
EAce	70,46 $\pm$ 2,83	75,40 $\pm$ 2,19	84,70 $\pm$ 0,60	87,77 $\pm$ 0,74	87,42 $\pm$ 4,88	90,94 $\pm$ 1,02	94,09 $\pm$ 1,50	2,51$\pm$0,11^c
EBut	44,40 $\pm$ 3,82	65,15 $\pm$ 4,70	78,09 $\pm$ 2,71	88,13 $\pm$ 1,11	91,99 $\pm$ 0,89	94,07 $\pm$ 0,89	93,89 $\pm$ 0,18	3,66$\pm$0,83^d
BHT*	81,14 $\pm$ 0,84	86,09 $\pm$ 1,04	87,52 $\pm$ 4,24	91,67 $\pm$ 0,52	94,11 $\pm$ 0,42	94,41 $\pm$ 0,32	95,28 $\pm$ 3,25	1,05$\pm$0,01^{ab}
BHA*	84,23 $\pm$ 1,14	90,11 $\pm$ 0,68	94,59 $\pm$ 0,77	96,09 $\pm$ 0,02	97,35 $\pm$ 1,08	99,59 $\pm$ 0,14	99,76 $\pm$ 0,25	0,90$\pm$0,02^a

* : standard.

Les valeurs avec les mêmes petites lettres ne présentent pas une différence significative ($p > 0,05$).

Les extraits foliaires de *A. sellowiana* ont montré une très bonne activité d'inhibition du blanchissement de la β -carotène par les radicaux libres. Le pourcentage d'inhibition augmente en fonction de la concentration de l'extrait. C'est la seule activité où l'extrait chloroformique a donné un résultat important avec une IC_{50} proche de celle des standards (2,02 $\pm$ 0,29 μ g/ml) et inférieure à celle donnée par les l'extrait d'acétate (2,51 $\pm$ 0,11 μ g/ml) et l'extrait

butanolique ($3,66 \pm 0,83 \mu\text{g/ml}$). Il n'y a pas une différence significative ($p > 0,05$) entre la IC_{50} de l'extrait chloroformique et celle du BHT (Tableau 27).

6/ Le test de la capacité antioxydante par réduction du cuivre (CUPRAC)

Ce test est basé sur la réaction d'oxydo-réduction des antioxydants briseurs de chaîne avec le réactif CUPRAC. L'absorbance a été enregistrée à 450 nm.

Les résultats ont été calculés à titre de $A_{0,5}$ ($\mu\text{g/ml}$) correspondant à la concentration indiquant 0,50 d'absorbance.

Le BHA et le BHT sont utilisés comme standards. Un résultat positif est caractérisé par un changement de la couleur bleu clair en une couleur jaune orangé de la solution. Cette coloration s'intensifie avec l'importance du pouvoir antioxydant de l'extrait (Figure 79).

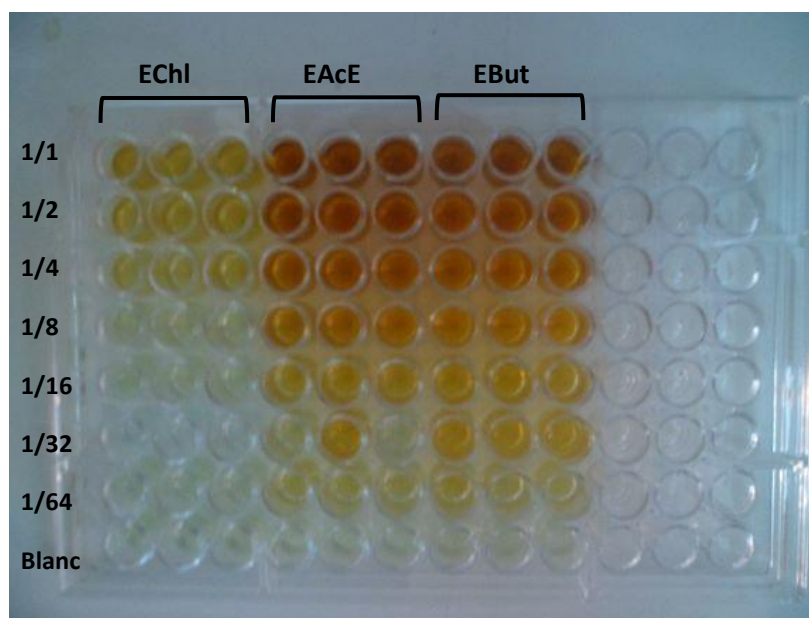


Figure 79- Résultat sur microplaque du test de réduction du cuivre (CUPRAC) des trois extraits foliaires de *A. sellowiana*.

Les valeurs d'absorbance ont été traitées pour estimer le $A_{0,5}$ de chaque extrait. Le traitement des résultats est représenté sur le tableau ci-dessous.

Tableau 28- Absorbances du pouvoir réducteur du cuivre (CUPRAC) des différents extraits foliaires de *A. sellowiana*.

C(µg/ml) Extrait	Absorbances							
	3.125	6.25	12.5	25	50	100	200	A _{0.5} µg/ml
EChl	0,19±0,00	0,08±0,00	0,22±0,02	0,26±0,04	0,65±0,09	0,90± 0,01	1,17±0,14	39,82±3,90 ^c
EAcE	0,56±0,04	0,63±0,61	1,11± 0,05	2,19±0,06	3,10±0,07	3,81± 0,06	3,96±0,04	3,92±2,49 ^a
EBut	0,61±0,12	1,08±0,07	1,19± 0,03	1,98±0,05	2,88 ±0,06	3,61± 0,04	3,85±0,05	2,29±0,35 ^a
BHT*	0,19±0,01	0,33±0,04	0,66±0,07	1,03±0,07	1,48±0,09	2,04±0,14	2,32±0,28	9,62±0,87 ^b
BHA*	0,46±0,00	0,78±0,01	1,34±0,08	2,36±0,17	3,45±0,02	3,76±0,03	3,93±0,01	3,64±0,19 ^a

* : standard.

Les valeurs avec les mêmes petites lettres ne présentent pas une différence significative ($p>0,05$).

Les résultats sont excellents pour ce test. Les absorbances enregistrées sont proportionnelles à la concentration de l'extrait. Les extraits foliaires de *A. sellowiana*, particulièrement l'extrait butanolique et l'extrait d'acétate d'éthyle, ont un pouvoir réducteur du cuivre très important ($A_{0.5}=2,29\pm0,35$ µg/ml et $A_{0.5}=3,92\pm2,49$ µg/ml respectivement), ces deux valeurs sont beaucoup inférieures à celle du BHT avec une différence significative ($p<0,05$). L'extrait butanolique a montré une activité plus importante que celle de BHA et la différence n'est pas significative ($p>0,05$). En ce qui concerne l'extrait chloroformique, le résultat est positif mais l'activité réductrice du cuivre est faible avec $A_{0.5}=39,82\pm3,90$ µg/ml et la différence est significative ($p<0,05$) avec les deux standards (Tableau 28).

Acca sellowiana est une espèce tropicale et subtropicale très cultivée en Amérique et en Asie où elle est étudiée et très utilisée pour ses propriétés antioxydantes.

Cette espèce cultivée et acclimatée dans la région de Skikda en Algérie nous a donné des résultats très intéressants dans les différents tests d'activité antioxydante.

Les résultats obtenus par la plupart des tests antioxydants montrent que l'extrait d'acétate d'éthyle présente l'activité la plus importante, suivi de l'extrait butanolique. Cela peut être dû au fait que les composés phénoliques et flavonoïdes sont souvent extraits en quantités plus élevées en utilisant des solvants polaires. On sait que les différences de la polarité des solvants d'extraction pourraient entraîner une variation du contenu des polyphénols et des flavonoïdes de l'extrait (Shrestha *et al.*, 2013, Eshwarappa *et al.*, 2014).

L'analyse statistique a révélé des corrélations très importantes entre chacune des teneurs en phénols totaux (TPC) et en flavonoïdes (TFC) et tous les tests antioxydants avec des coefficient de détermination (R^2) très élevé (Annexe 9).

Le test de piégeage de DPPH a donné des valeurs de IC_{50} de $6,12 \pm 0,07$ $\mu\text{g/ml}$ pour l'extrait d'acétate d'éthyle et $6,41 \pm 0,30$ $\mu\text{g/ml}$ pour l'extrait butanolique. Ces résultats sont proches et surtout inférieurs de ceux trouvés par des chercheurs iraniens qui ont étudié l'activité antioxydante de *A. sellowiana* cultivé en Iran. Le test DPPH a donné une IC_{50} de 7.25 ± 0.31 $\mu\text{g/ml}$ pour l'extrait aqueux et 12.5 ± 0.34 $\mu\text{g/ml}$ pour l'extrait méthanolique (Ebrahimzadeh *et al.*, 2008).

La même étude a révélé que les extraits de feuilles avaient montré un meilleur pouvoir réducteur que les extraits de fruits. Les extraits de feuilles ont montré une bonne activité réductrice de fer à 40 et 80 $\mu\text{g/ml}$ de l'extrait. Il était évident que les extraits de Feijoa ont montré un potentiel réducteur et pourraient servir de donneurs d'électrons (Ebrahimzadeh *et al.*, 2008). Ces résultats sont cohérents avec nos résultats du pouvoir réducteur FRAP (Tableau 26).

Les propriétés antioxydantes et immunologiques du Feijoa sont attribués aux flavonoïdes et polyphénols comme les catequines, les leucoantocianines, les proantocianidines et les naftoquinones (Ebrahimzadeh *et al.*, 2008).

Une recherche récente sur cinq géotypes du Feijoa, cultivés au Brésil, a montré une activité antioxydante importante des fruits de cette espèce en utilisant les deux méthodes DPPH et ABTS sur des extraits aqueux et hydroalcooliques des fruits. Cette activité était liée à la présence des composés phénoliques (Amarante *et al.*, 2017) particulièrement la vitamine C (Amarante *et al.*, 2018)

Récemment au Maroc, l'analyse des extraits foliaires de *A. sellowiana* a révélé qu'ils sont riches en flavonoïdes et antioxydants comme la cathequine, la daidzine, la quercetine, l'acide ellagique, l'acide gallique, l'acide salicylique et l'acide caffeique (Anik Filali *et al.*, 2019).

Toutes les recherches faites sur la composition chimique et les activités biologiques des différentes parties botaniques du Feijoa ont récemment été résumés dans une revue de Zhu, qui a constaté que toutes les parties de cette espèce contiennent des composés phytochimiques

bioactifs pharmacologiquement pertinents, y compris des polyphénols, les principaux contributeurs de ces activités (Zhu, 2018).

La capacité antioxydante de l'extrait méthanolique des fruits frais, de fruits secs et de feuilles de *A. sellowiana* cultivée en Turquie a été étudiée en utilisant différents systèmes y compris le pouvoir réducteur, le piégeage des radicaux libres, l'activité antioxydante totale et les activités de chélation des métaux et les résultats étaient positifs et très importants (Beyhan *et al.*, 2010). Cette même étude a conclu que *A. sellowiana* contient une variété de composés phénoliques, notamment l'épigallocatechine, la procyanidine B2, l'épigallocatechine gallate, la myricétine-3-O-galactoside, l'épicatéchine gallate, la quercétine-3-galactoside et la quercétine-3-rhamnoside et que ces composés sont responsables de l'activité antioxydante (Beyhan *et al.*, 2010)

Une étude sur le fruit du Feijoa a montré que dans les conditions des régions subtropicales humides de la Russie, il existe des conditions spéciales pour la culture de nombreuses cultures subtropicales qui influencent la structure biochimique de leurs fruits (Belous *et al.*, 2014)

Notre étude montre également que l'espèce acclimatée en Algérie, précisément à Skikda, présente une plus forte activité antioxydante au niveau des feuille si on la compare à la même espèce cultivée dans son milieu naturel, en l'occurrence la région tropicale et subtropicale (les études citées ci-dessus). On pourrait expliquer cette différence par l'effet de l'environnement sur la synthèse des métabolites secondaire, particulièrement les polyphénols.

2.2-2. Le jamblon (*Syzygium cumini*)

1/ Le test de piégeage du radical DPPH

Cette méthode est basée sur la mesure de la capacité des antioxydants à piéger le radical 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazil (DPPH).

L'absorbance a été mesurée à 517 nm. Les résultats sont évalués par le calcul de la valeur IC₅₀ qui correspond à la concentration de l'extrait qui cause 50% d'inhibition.

Le BHA et le BHT sont utilisés comme standards. Un résultat positif est caractérisé par le changement de la couleur violet vert une couleur jaune. Cette dernière s'intensifie avec l'importance du pouvoir antioxydant de l'extrait (Figure 80).

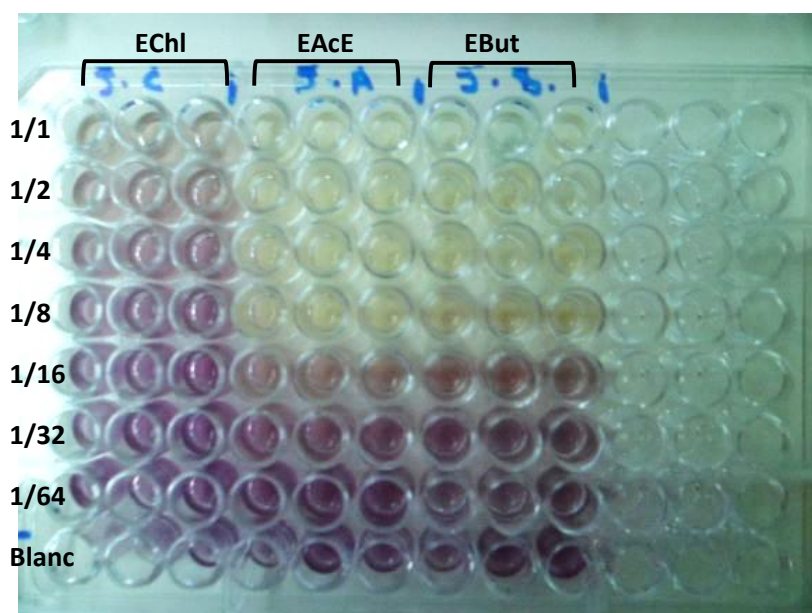


Figure 80- Résultat sur microplaque du test de piégeage du radical DPPH des trois extraits foliaires de *S. cumini*.

Les pourcentages d'inhibition ont été calculés pour estimer le IC_{50} de chaque extrait. Le traitement des résultats est représenté sur le Tableau 29.

Tableau 29- Inhibition du radical DPPH par les différents extraits foliaires de *S. cumini*.

C(µg/ml) Extrait	% d'inhibition							
	1.5625	3.125	6.25	12.5	25	50	100	IC_{50} µg/ml
EChl	NA	NA	NA	NA	$3,46 \pm 1,01$	$25,13 \pm 0,19$	$46,15 \pm 1,37$	>100
EAce	NA	$7,52 \pm 2,18$	$30,35 \pm 4,09$	$83,88 \pm 1,80$	$86,26 \pm 0,34$	$86,91 \pm 0,40$	$88,46 \pm 0,59$	$8,03 \pm 0,84^a$
EBut	NA	$13,86 \pm 0,81$	$25,84 \pm 1,56$	$75,88 \pm 0,89$	$86,46 \pm 1,27$	$88,26 \pm 1,29$	$90,13 \pm 1,08$	$10,18 \pm 0,27^b$
BHT*	$47,77 \pm 1,22$	$56,93 \pm 1,84$	$72,83 \pm 1,23$	$78,46 \pm 1,01$	$79,48 \pm 0,31$	$80,03 \pm 1,62$	$80,10 \pm 0,66$	$22,32 \pm 0,02^c$
BHA*	$22,21 \pm 1,24$	$31,73 \pm 1,22$	$54,89 \pm 3,60$	$67,60 \pm 1,13$	$76,77 \pm 0,54$	$78,67 \pm 1,31$	$79,01 \pm 0,89$	$6,82 \pm 0,49^a$

NA : Pas d'absorbance.

* : standard.

Les valeurs avec les mêmes petites lettres ne présentent pas une différence significative ($p > 0,05$).

Les extraits foliaires de *S. cumini* ont donné des résultats importants de piégeage du radical DPPH. Le pourcentage d'inhibition augmente en fonction de la concentration de l'extrait. L'extrait d'acétate d'éthyle a donné le meilleur résultat avec une $IC_{50} = 8,03 \pm 0,84$ µg/ml qui est inférieure à celle du BHT et proche de celle du BHA. L'analyse statistique a donné une différence non significative ($p > 0,05$) entre le résultat de l'extrait d'acétate d'éthyle et celui du

BHA. La IC_{50} de l'extrait butanolique est de $10,18 \pm 0,27 \mu\text{g/ml}$, cette valeur est aussi inférieure à celle du BHT avec une différence significative (($p < 0,05$). L'extrait chloroformique a donné des résultats faibles pour nos concentrations (Tableau 29).

2/ Le test du piégeage du radical d'ABTS (ABTS scavenging activity)

Ce test est basé sur le mécanisme d'oxydoréduction de l'ABTS (sel d'ammonium de l'acide 2,2-azino bis-(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique)).

L'absorbance a été mesurée à 734 nm. Les résultats sont évalués par le calcul de la valeur IC_{50} qui correspond à la concentration de l'extrait qui cause 50% d'inhibition.

Le BHA et le BHT sont utilisés comme standards. Un résultat positif est caractérisé par une décoloration de la couleur bleue de la solution. Cette décoloration s'intensifie avec l'importance du pouvoir antioxydant de l'extrait (Figure 81).

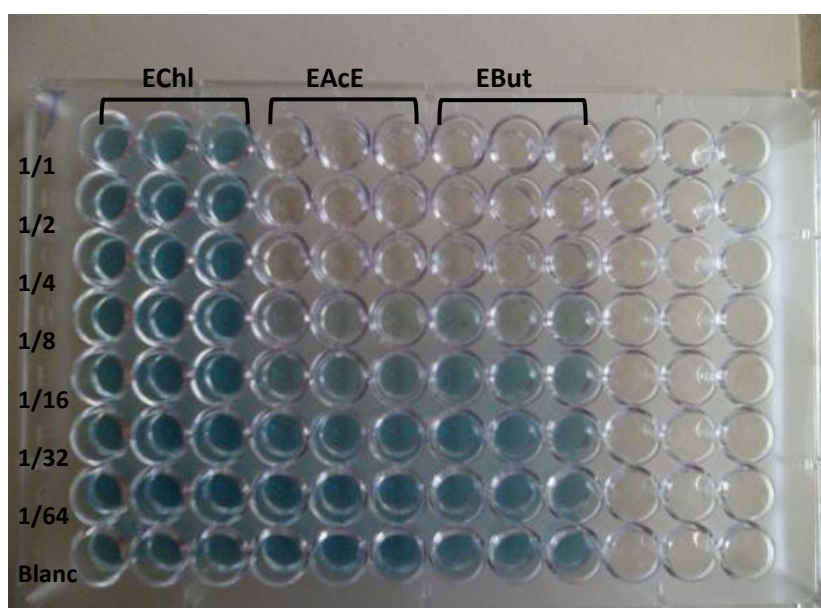


Figure 81- Résultat sur microplaque du test de piégeage du radical ABTS des trois extraits foliaires de *S. cumini*.

Les pourcentages d'inhibition ont été calculés pour estimer le IC_{50} de chaque extrait. Le traitement des résultats est représenté sur le Tableau 30.

Tableau 30- Inhibition du radical ABTS par les différents extraits foliaires de *S. cumini*.

C(µg/ml) Extrait	% d'inhibition							
	0.3906	0.78125	1.5625	3.125	6.25	12.5	25	IC ₅₀ µg/ml
EChl	NA	NA	NA	NA	NA	5,40±8,10	13,17±8,10	>25
EAcE	13,64±3,82	25,30±1,71	46,37±0,30	66,28±2,37	87,12±1,82	87,64±1,83	90,37±2,44	2,06± 0,05^b
EBut	15,90±5,58	14,10±1,16	23,97±2,36	39,64±1,16	75,48±3,12	85,43±2,40	91,29± 0,60	3,57±0,61^c
BHT*			49,22±0,75	59,22±0,59	78,55±3,43	90,36±0,00	92,18±1,27	1,59±0,03^{ab}
BHA*			83,42±4,09	93,52±0,09	93,58±0,09	93,63±0,16	93,63±0,95	1,03±0,00^a

NA : Pas d'absorbance.

* : standard.

Les valeurs avec les mêmes petites lettres ne présentent pas une différence significative ($p>0,05$).

Les extraits foliaires de *S. cumini* ont exercé une bonne activité de piégeage du radical ABTS. Les pourcentages d'inhibition sont proportionnels à la concentration de l'extrait.

L'extrait d'acétate d'éthyle et l'extrait butanolique sont caractérisés par une bonne activité avec des IC₅₀ de 2,06± 0,05 µg/ml et 3,57±0,61 µg/ml respectivement. Ces résultats sont proches de ceux donnés par les standards (Tableau 30). L'analyse statistique a montré une différence non significative ($p>0,05$) entre la IC₅₀ de l'extrait d'acétate d'éthyle et celui du BHT. Des résultats faibles ont été donnés par l'extrait chloroformiques.

3/ Le test de l'activité de réduction par la formation du complexe Fe²⁺-phénantroline (Phen assay)

Cette technique est basée sur la formation du complexe Fe²⁺-phénantroline rouge-orangé à la suite d'une réaction d'oxydoréduction.

L'absorbance a été déterminée à 510 nm. Les résultats ont été calculés à titre de A_{0.5} (µg/ml) correspondant à la concentration indiquant 0,50 d'absorbance.

Le BHA et le BHT sont utilisés comme standards. Un résultat positif est caractérisé par une coloration rouge orangé de la solution. Cette décoloration s'intensifie avec l'importance du pouvoir antioxydant de l'extrait (Figure 82).

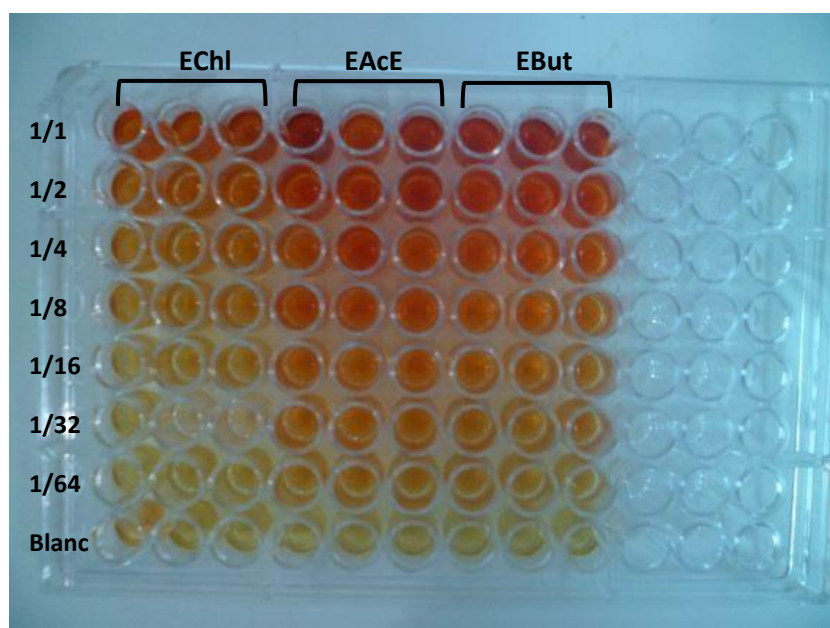


Figure 82- Résultat sur microplaque du test de réduction du complexe Fe^{2+} -phénantroline des trois extraits foliaires de *S. cumini*.

Les valeurs d'absorbance ont été traitées pour estimer le $A_{0.5}$ de chaque extrait. Le traitement des résultats est représenté sur le tableau 31.

Tableau 31- Absorbances du complexe Fe^{2+} - phénantroline des différents extraits foliaires de *S. cumini*.

C($\mu\text{g/ml}$) Extrait	Absorbances							
	3.125	6.25	12.5	25	50	100	200	$A_{0.5} \mu\text{g/ml}$
EChl	NA	$0,26 \pm 0,10$	$0,46 \pm 0,03$	$0,64 \pm 0,03$	$0,79 \pm 0,07$	$1,28 \pm 0,13$	$2,71 \pm 0,42$	$13,86 \pm 1,28^c$
EAce	$0,57 \pm 0,02$	$0,88 \pm 0,04$	$1,11 \pm 0,19$	$2,03 \pm 0,14$	$2,28 \pm 1,11$	$3,61 \pm 0,33$	$3,70 \pm 0,75$	$2,63 \pm 0,64^{ab}$
EBut	$0,50 \pm 0,01$	$0,76 \pm 0,20$	$0,91 \pm 0,01$	$1,33 \pm 0,06$	$2,34 \pm 0,21$	$3,72 \pm 0,20$	$4,10 \pm 0,04$	$3,12 \pm 0,01^b$
BHT*	$0,53 \pm 0,03$	$1,23 \pm 0,02$	$1,84 \pm 0,01$	$3,48 \pm 0,03$	$4,84 \pm 0,01$	/	/	$2,24 \pm 0,17^{ab}$
BHA*	$0,73 \pm 0,02$	$0,93 \pm 0,01$	$1,25 \pm 0,04$	$2,10 \pm 0,05$	$4,89 \pm 0,06$	/	/	$0,93 \pm 0,07^a$

NA : pas d'absorbance.

* : standard.

Les valeurs avec les mêmes petites lettres ne présentent pas une différence significative ($p > 0,05$).

Les extraits foliaires de *S. cumini* ont exercé une bonne activité de réduction du complexe Fe^{2+} - phénanthroline. Les absorbances enregistrées augmentent en fonction de la concentration de l'extrait.

La meilleure $A_{0.5}$ est donné par l'extrait d'acétate d'éthyle et elle est proche de celle du BHT ($2,63 \pm 0,64 \mu\text{g/ml}$ et $2,24 \pm 0,17 \mu\text{g/ml}$, respectivement), l'analyse statistique a confirmé ce résultat par des différence non significatives ($p > 0,05$).

La fraction butanolique a également une activité importante ($A_{0.5} = 3,12 \pm 0,01 \mu\text{g/ml}$) avec une différence non significative ($p > 0,05$) par rapport au BHT. L'extrait chloroformique a donné une activité faible relativement aux autres extraits (Tableau 31).

4/Le test du pouvoir réducteur FRAP (Reducing power)

Cette méthode est basée sur l'aptitude des extraits testés à réduire le fer ferrique (Fe^{+3}) de couleur jaune en fer ferreux (Fe^{+2}) de couleur bleu vert. La lecture de l'absorbance du milieu réactionnel a été mesurée à 700 nm.

Les résultats ont été calculés à titre de $A_{0.50}$ ($\mu\text{g/ml}$) correspondant à la concentration indiquant 0,50 d'absorbance.

Les antioxydants standards utilisés dans ce test sont l'acide ascorbique, l'acide tannique et α -Tocophérol. Un résultat positif est caractérisé par une coloration bleu vert de la solution. Cette coloration s'intensifie avec l'importance du pouvoir antioxydant de l'extrait (Figure 83).

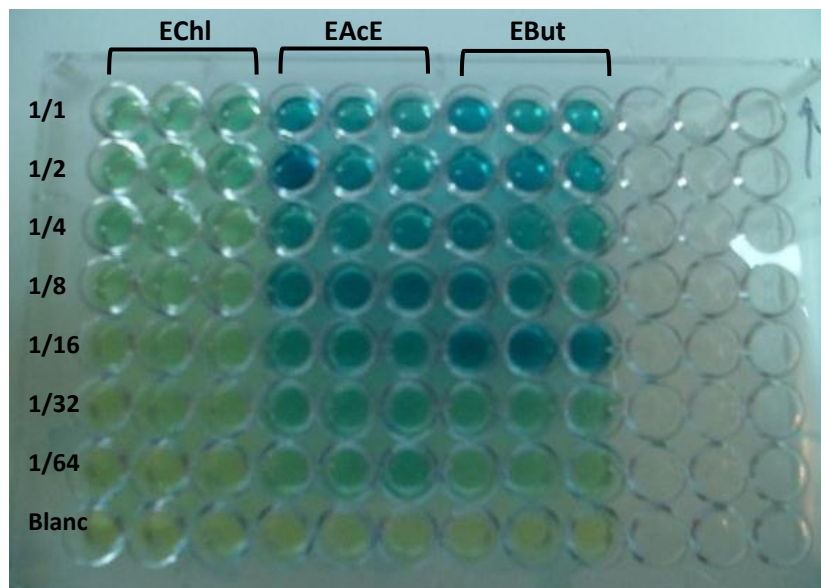


Figure 83- Résultat sur microplaque du test du pouvoir réducteur (FRAP) des trois extraits foliaires de *S. cumini*.

Les valeurs d'absorbance ont été traitées pour estimer le $A_{0.5}$ de chaque extrait. Le traitement des résultats est représenté sur le tableau 32.

Tableau 32- Absorbances du pouvoir réducteur (FRAP) des différents extraits foliaires de *S. cumini*.

C(µg/ml) Extrait	Absorbances							
	3.125	6.25	12.5	25	50	100	200	A _{0.5} µg/ml
EChl	0,09±0,01	0,13±0,03	0,15±0,01	0,17±0,03	0,24±0,12	0,27±0,05	0,36±0,04	>200
EAcE	0,23±0,01	0,29±0,05	0,57± 0,46	0,65±0,02	0,82±0,13	1,13±0,25	1,20±0,29	9,80±5,89 ^a
EBut	0,26±0,02	0,34±0,03	0,58±0,43	0,62±0,06	0,90±0,41	1,00±0,17	1,14±0,39	11,62±0,59 ^a
Acide ascorbique*	0,35±0,05	0,46±0,03	0,84±0,12	0,93±0,30	1,18±0,34	1,44±0,21	1,37±0,20	6,77±1,15 ^a
Acide tannique*	0,28±0,02	0,78±0,06	1,02±0,07	1,24±0,18	0,86±0,6	1,01±0,21	1,02±0,13	5,39±0,91 ^a
α-Tocophérol*	0,11±0,00	0,16±0,00	0,21±0,03	0,35±0,03	0,73±0,03	1,37±0,08	1,81±0,09	34,93±2,38 ^b

* : standard.

Les valeurs avec les mêmes petites lettres ne présentent pas une différence significative (p>0,05).

Les résultats obtenus par le test du pouvoir réducteur (FRAP) montrent que les absorbances augmentent en fonction de la concentration. L'extrait foliaire de *S. cumini* a une bonne activité, particulièrement les deux extraits d'acétate et de butanol (A_{0.5}= 9,80±5,89 µg/ml et A_{0.5}=11,62±0,59 µg/ml, respectivement). Ces deux valeurs sont inférieures à A_{0.5} de l'α-Tocophérol (Tableau 32). L'analyse statistique a donné une différence non significative (p>0,05) entre chacun des deux extraits d'acétate d'éthyle et de butanol et les deux standards : l'acide ascorbique et l'acide tannique. La fraction chloroformique avait une faible activité réductrice à nos concentrations.

5/ Le test de blanchissement de la β-carotène

Le blanchissement de la β-carotène est causé par les radicaux libres présents dans l'acide linoléique. Ce test est basé sur l'empêchement du blanchissement de la β-carotène par l'extrait (antioxydant). L'absorbance a été mesurée à 470 nm.

Les résultats sont évalués par le calcul de la valeur IC₅₀ qui correspond à la concentration de l'extrait qui cause 50% d'inhibition.

Le BHA et le BHT sont utilisés comme standards. Un résultat positif est caractérisé par une coloration orange de la solution. Cette coloration s'intensifie avec l'importance du pouvoir antioxydant de l'extrait (Figure 84).

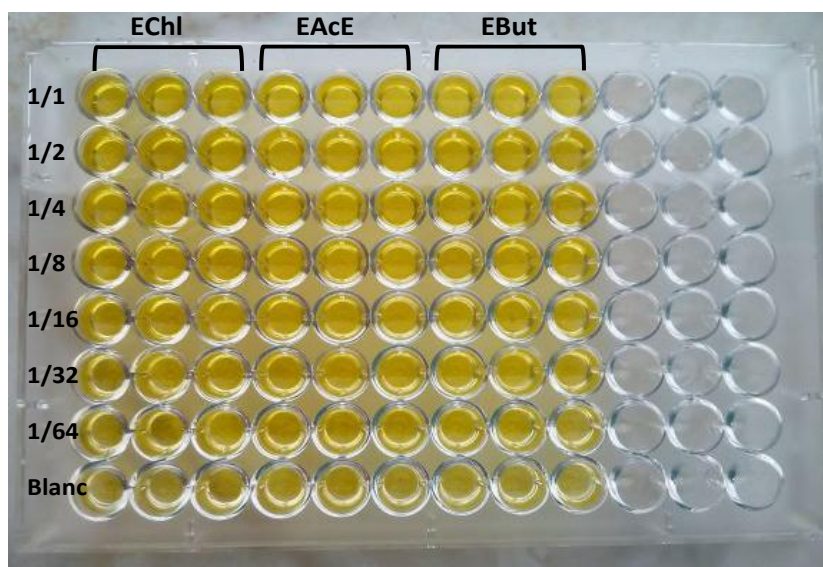


Figure 84- Résultat sur microplaque du test de blanchissement de la β -carotène des trois extraits foliaires de *S. cumini*.

Les pourcentages d'inhibition ont été calculés pour estimer le IC_{50} de chaque extrait. Le traitement des résultats est représenté sur le tableau 33.

Tableau 33- Inhibition du blanchissement de la β -carotène par les différents extraits foliaires de *S. cumini*.

C(μ g/ml) Extrait	% d'inhibition							
	3.125	6.25	12.5	25	50	100	200	IC_{50} μ g/ml
EChl	9,15 $\pm$ 6,35	29,88 $\pm$ 6,74	52,32 $\pm$ 4,58	72,57 $\pm$ 1,62	81,89 $\pm$ 2,63	86,57 $\pm$ 1,06	104,56 $\pm$ 10,89	12,16$\pm$3,17^c
EAce	48,06 $\pm$ 2,86	68,12 $\pm$ 1,64	76,60 $\pm$ 1,21	86,70 $\pm$ 1,02	90,88 $\pm$ 2,03	92,17 $\pm$ 0,98	98,40 $\pm$ 5,26	4,15$\pm$0,11^{ab}
EBut	16,08 $\pm$,42	44,94 $\pm$ 5,19	61,29 $\pm$ 4,28	83,46 $\pm$ 1,65	90,26 $\pm$ 2,41	93,54 $\pm$ 0,63	95,87 $\pm$ 8,11	8,06$\pm$2,07^{bc}
BHT*	81,14 $\pm$ 0,84	86,09 $\pm$ 1,04	87,52 $\pm$ 4,24	91,67 $\pm$ 0,52	94,11 $\pm$ 0,42	94,41 $\pm$ 0,32	95,28 $\pm$ 3,25	1,05$\pm$0,01^a
BHA*	84,23 $\pm$ 1,14	90,11 $\pm$ 0,68	94,59 $\pm$ 0,77	96,09 $\pm$ 0,02	97,35 $\pm$ 1,08	99,59 $\pm$ 0,14	99,76 $\pm$ 0,25	0,90$\pm$0,02^a

* : standard.

Les valeurs avec les mêmes petites lettres ne présentent pas une différence significative ($p > 0,05$).

Les extraits foliaires de *S. cumini* ont montré une activité de l'inhibition du blanchissement de la β -carotène mais moins efficacement que les standards BHT et BHA.

Le pourcentage d'inhibition augmente avec la concentration de l'extrait (Tableau 33). L'extrait d'acétate d'éthyle a donné la meilleure IC_{50} (4,15 $\pm$ 0,11 μ g/ml) suivi de l'extrait butanolique (8,06 $\pm$ 2,07 μ g/ml). L'analyse statistique a montré une différence non significative ($p > 0,05$) entre l'extrait d'acétate d'éthyle et les deux standards et une différence significative

($p < 0,05$) entre l'extrait butanolique et les standards. L'extrait chloroformique a donné une IC_{50} de $12,16 \pm 3,17 \mu\text{g/ml}$, cette valeur n'est pas négligeable.

6/ Le test de la capacité antioxydante par réduction du cuivre (CUPRAC)

Ce test est basé sur la réaction d'oxydo-réduction des antioxydants briseurs de chaîne avec le réactif CUPRAC. L'absorbance a été enregistrée à 450 nm. Les résultats ont été calculés à titre de $A_{0,5}$ ($\mu\text{g/ml}$) correspondant à la concentration indiquant 0,50 d'absorbance.

Le BHA et le BHT sont utilisés comme standards. Un résultat positif est caractérisé par un changement de la couleur bleu clair en une couleur jaune orangé de la solution. Cette coloration s'intensifie avec l'importance du pouvoir antioxydant de l'extrait (Figure 85).

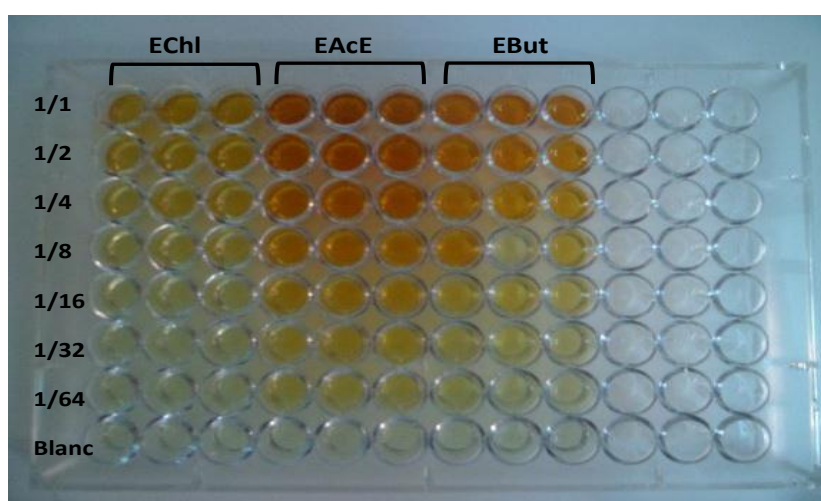


Figure 85- Résultat sur microplaque du test de réduction du cuivre (CUPRAC) des trois extraits foliaires de *S. cumini*.

Les valeurs d'absorbance ont été traitées pour estimer le $A_{0,5}$ de chaque extrait. Le traitement des résultats est représenté sur le tableau 34.

Tableau 34- Absorbances du pouvoir réducteur du cuivre (CUPRAC) des différents extraits foliaires de *S. cumini*.

Extrait \ C($\mu\text{g/ml}$)	Absorbances							
	3.125	6.25	12.5	25	50	100	200	$A_{0,5} \mu\text{g/ml}$
EChl	$0,22 \pm 0,01$	$0,25 \pm 0,01$	$0,33 \pm 0,01$	$0,48 \pm 0,02$	$0,79 \pm 0,04$	$1,10 \pm 0,08$	$1,65 \pm 0,19$	$26,63 \pm 1,07^d$
EAce	$0,51 \pm 0,01$	$0,68 \pm 0,05$	$1,11 \pm 0,02$	$1,82 \pm 0,05$	$2,75 \pm 0,22$	$3,54 \pm 0,30$	$3,68 \pm 0,03$	$3,73 \pm 0,32^a$
EBut	$0,35 \pm 0,05$	$0,45 \pm 0,03$	$0,68 \pm 0,02$	$1,11 \pm 0,97$	$1,86 \pm 0,03$	$2,76 \pm 0,17$	$3,57 \pm 0,25$	$7,42 \pm 0,25^b$
BHT*	$0,19 \pm 0,01$	$0,33 \pm 0,04$	$0,66 \pm 0,07$	$1,03 \pm 0,07$	$1,48 \pm 0,09$	$2,04 \pm 0,14$	$2,32 \pm 0,28$	$9,62 \pm 0,87^c$
BHA*	$0,46 \pm 0,00$	$0,78 \pm 0,01$	$1,34 \pm 0,08$	$2,36 \pm 0,17$	$3,45 \pm 0,02$	$3,76 \pm 0,03$	$3,93 \pm 0,01$	$3,64 \pm 0,19^a$

* : standard. Les valeurs avec les mêmes petites lettres ne présentent pas une différence significative ($p > 0,05$).

Le pouvoir réducteur du cuivre était important chez les feuilles de *S. cumini*, particulièrement l'extrait d'acétate d'éthyle avec une valeur qui est inférieure à celle du BHT et très proche à celle du BHA ($A_{0.5} = 3,73 \pm 0,32 \mu\text{g/ml}$, $A_{0.5} = 9,62 \pm 0,87 \mu\text{g/ml}$, $A_{0.5} = 3,64 \pm 0,19 \mu\text{g/ml}$ respectivement). L'analyse statistique a montré une différence significative ($p < 0,05$) entre le résultat de cet extrait et celui de BHT et une différence non significative ($p > 0,05$) par rapport au BHA. L'extrait butanolique a donné un résultat ($A_{0.5} = 7,42 \pm 0,25 \mu\text{g/ml}$) plus important que celui du BHT avec une différence significative ($p < 0,05$). Le résultat le moins important a été enregistré par la fraction chloroformique avec $A_{0.5} = 26,63 \pm 1,07 \mu\text{g/ml}$ (Tableau 34).

Les résultats obtenus révèlent une très bonne activité antioxydante dans les différents tests. Les deux extraits d'acétate d'éthyle et butanolique ont donné des meilleurs résultats que l'extrait chloroformique. Les valeurs de IC_{50} et $A_{0.5}$ varient selon l'extrait.

Syzygium cumini est une espèce d'origine asiatique où elle est cultivée et très étudiée, particulièrement en Inde. La plupart des études faites sur cette espèce se sont intéressées aux fruits et surtout aux graines.

Kumar *et al* (2017) ont montré que les extraits méthanoliques et éthanoliques des graines de *S. cumini* ont de puissants agents antioxydants qui peuvent être utilisés contre divers espèces réactives d'oxygènes qui peuvent créer des effets mortels chez l'homme. Prabakaran et Shanmugavel (2017) ont étudié les graines de *S. cumini* cultivé en Inde, le test biochimique pour les alcaloïdes, les flavonoïdes, les glycosides, les stéroïdes, les glycosides cardiaques, les saponines, les résines, les phénols, les tanins et les terpénoïdes étaient positifs. Les flavonoïdes et les stéroïdes sont en quantité importante avec une quantité modérée d'alcaloïdes, de glycosides et de phénols.

Les graines de *S. cumini* auraient été riches en flavonoïdes ce qui explique l'élimination des radicaux libres et une protection des enzymes antioxydantes (Ravi *et al.*, 2004). La composition chimique et l'activité antioxydante du fruit de *S. cumini* a été étudiée récemment et des tanins extraits de ce fruit a montré une très bonne activité de piégeage des radicaux DPPH et de réduction de fer (Benherlal et Arumughan, 2007)

Nos résultats obtenus par la plupart des tests antioxydants montrent que l'extrait d'acétate d'éthyle présente l'activité la plus importante, suivi de l'extrait butanolique. Cela peut être dû

au fait que les composés phénoliques et flavonoïdes sont souvent extraits en quantités plus élevées en utilisant des solvants polaires. On sait que les différences de la polarité des solvants d'extraction pourraient entraîner une variation du contenu des polyphénols et des flavonoïdes de l'extrait (Shrestha *et al.*, 2013, Eshwarappa *et al.*, 2014).

Les résultats obtenus ont montré une activité antioxydante inhabituelle et remarquable de la fraction chloroformique qui a donné de faibles valeurs de IC_{50} et de $A_{0.5}$ dans le test de réduction du complexe Fe^{2+} -phénanthroline, de l'inhibition du blanchissement de la β -carotène et de la réduction du cuivre (CUPRAC). Ces résultats sont en accord avec ceux d'une étude faite au Bangladesh sur l'extrait chloroformique et méthanolique de feuilles et de l'écorce de *S. cumini*. La fraction chloroformique a montré l'activité de piégeage des radicaux libres la plus élevée avec une valeur de IC_{50} de 41,45 $\mu g / ml$ et 20,01 $\mu g / ml$ pour les feuilles et l'écorce respectivement (Chadni *et al.*, 2014)

Les recherches réalisées sur l'activité antioxydantes des feuilles de *S. cumini* sont rares et limitées en quelques études faites en Inde. Une étude sur les feuilles de *S. cumini* cultivé dans son milieu naturel, en Inde, a évalué l'activité antioxydante des extraits aqueux et méthanoliques, les IC_{50} pour le teste du DPPH étaient 24.77 $\pm$ 08 $\mu g/ml$ et 9.97 $\pm$ 02 $\mu g/ml$ respectivement (Eshwarappa *et al.*, 2014).

Nous avons obtenu des résultats plus importants avec une IC_{50} plus basse enregistrée par l'extrait d'acétate d'éthyle (8,03 $\pm$ 0,84 $\mu g/ml$) et qui est inférieure à celles des deux standards BHT et BHA. On pourrait expliquer cette différence par l'effet de l'acclimatation et la résistance de nos arbres de *S. cumini* en les comparant à la même espèce poussant dans son milieu naturel. La même étude indienne précédente a donné, pour le test du pouvoir réducteur (FRAP), une IC_{50} de 9.97 $\pm$ 04 $\mu g/ml$ pour l'extrait méthanolique (Eshwarappa *et al.*, 2014). Une autre étude en Egypte, a donné pour le même extrait et le même test une IC_{50} de 13.14 $\pm$ 0.11 $\mu g/ml$ (Mohamed *et al.*, 2013). Ces résultats sont très proches des nôtres, donnés par l'extrait d'acétate d'éthyle dans le même test (IC_{50} = 9,80 $\pm$ 5,89 $\mu g/ml$).

Nos résultats concernant la réduction du cuivre ont révélé également une très bonne activité réductrice des extraits foliaires de cette espèce. Selon les tests FRAP et CUPRAC, on peut conclure que les extraits foliaires de *S. cumini* sont très efficace dans les activités de réduction. La capacité réductrice des composés ou extraits peut servir d'indicateur significatif de son potentiel antioxydant. La présence d'un réducteur dans les extraits de plantes provoque

la réduction de complexe de fer ferrique Fe^{3+} à la forme ferreuse Fe^{2+} (Eshwarappa *et al.*, 2014)

La capacité de réduire le Fe^{3+} peut être attribuée au don d'hydrogène du composé phénolique, qui est lié à la présence d'un agent réducteur. De plus, le nombre et la position du groupe hydroxyle des composés phénoliques régissent également sur leur activité antioxydante (Rice-Evans *et al.*, 1995). L'arbre de *S. cumini* a prouvé d'avoir des propriétés médicinales contre un certain nombre de maladies, il a une valeur économique élevée pour l'application dans le domaine médical. Son extrait contient des composés comme les flavonoïdes, les alcaloïdes, les glycosides, les stéroïdes, les phénols, saponines, terpénoïdes, et tanins (Kumar *et al.*, 2017)

Les quelques travaux de recherches sur les feuilles de *S. cumini* ont montré la présence des flavonoïdes : quercétine, myricétine et myricétine 3-O-(4"-acetyl) - α -L-rhamnopyranoside), des dérivés acylés glycosylés (Mahmoud *et al.*, 2001, Cuny, 2016), des triterpènes et stéroïdes (acide bétulinique, acide cratégolique, β -sitostérol), des acides et alcools aliphatiques (Gupta et Sharma, 1974, Cuny, 2016).

Les antioxydants phénoliques sont des produits du métabolisme secondaire des plantes et l'activité antioxydante est principalement due à leurs propriétés redox. Ces composés phénoliques peuvent jouer un rôle important dans la chélation des métaux de transition et le piégeage des radicaux libres (Mohamed *et al.*, 2010). De même, les mécanismes d'action des flavonoïdes sont également le piégeage et la chélation. Il est démontré que les flavonoïdes, qui contiennent des groupes hydroxyle, sont responsables des effets antioxydants des plantes (Eshwarappa *et al.*, 2014).

L'analyse statistique a révélé des corrélations négatives très importantes entre la teneur en polyphénols (TPC) et en flavonoides (TFC) et les IC₅₀ ou A_{0.5} des différents tests effectués avec des coefficients de détermination très élevés (Annexe 10).

2.3- L'activité anti-enzymatique

On a testé l'activité des extraits foliaires des espèces *Psidium guajava*, *Acca sellowiana* et *Syzygium cumini* contre quelques enzymes qui causent des maladies importantes comme la maladie d'Alzheimer et le diabète.

2.3.1- Activité anticholinestérase (anti-Alzheimer)

Les cholinestérases (ChE) constituent un groupe d'enzymes qui hydrolysent les esters de choline et qui seraient responsables de la maladie d'Alzheimer. Il y a deux types de cholinestérases, l'acétylcholinestérase (AChE) et le butyrylcholinestérase (BChE). On a évalué le pouvoir inhibiteur de nos extraits foliaires contre ces deux enzymes.

2.3.1.1- Activité anti-acétylcholinestérase (AChE)

Les résultats sont évalués par le calcul de la valeur IC_{50} qui correspond à la concentration de l'extrait qui cause 50% d'inhibition. La galantamine a été utilisé comme standard.

Un résultat positif est caractérisé par un changement de la couleur jaune de la solution en une couleur transparente. La couleur jaune diminue avec l'importance du pouvoir anti-acétylcholinestérase (Figures : 86, 87, et 88).

1/Le goyavier (*Psidium guajava*)

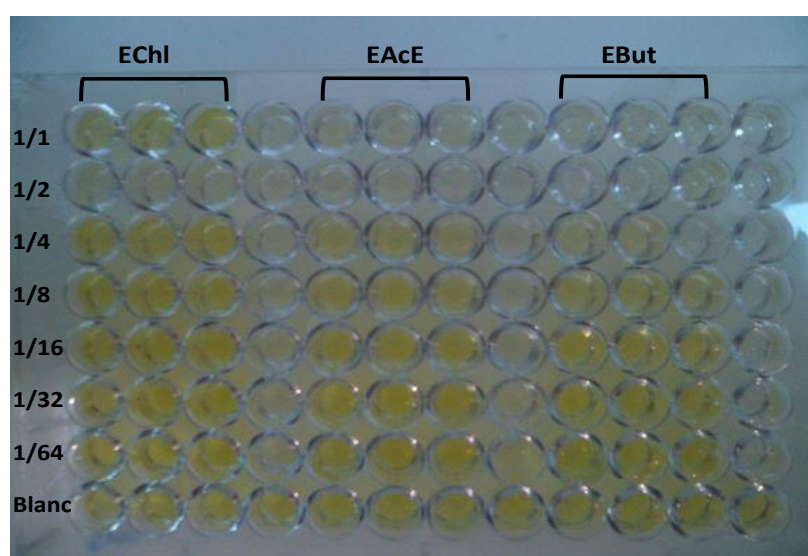


Figure86- Résultat sur microplaque de l'activité anti-acétylcholinestérase des extraits foliaires de *P. guajava*.

Les pourcentages d'inhibition ont été calculés pour estimer le IC_{50} de chaque extrait. Le traitement des résultats est représenté sur le Tableau 35.

Tableau 35- Inhibition de l'acétylcholinestérase (AChE) par les différents extraits foliaires de *P. guajava*.

C(µg/ml) Extrait	% d'inhibition							
	3.125	6.25	12.5	25	50	100	200	IC ₅₀ µg/ml
EChl	NA	NA	NA	NA	32,90±0,00	36,42±2,43	53,52±0,81	177,11±2,30
EAcE	NA	NA	1,46 ±5,47	25,60±5,61	43,25±4,65	82,42±1,39	96,99±0,85	56,11±4,04^b
EBut	NA	NA	13,87±5,62	16,38±5,46	75,95±1,46	90,78±5,32	94,44±3,10	24,44±3,45^a
Galantamine	35,93± 2,28	43,77±0,00	68,50±0,31	80,69±0,41	85,78±1,63	91,80±0,20	94,77±0,34	6,27±1,15^{ab}

NA : Pas d'absorbance.

* : standard.

Les valeurs avec les mêmes petites lettres ne présentent pas une différence significative ($p>0,05$).

Le pourcentage d'inhibition de l'enzyme AChE augmente en fonction de la concentration de l'extrait. Les résultats montrent un pourcentage d'inhibition élevé de l'enzyme AChE à 100 µg/ml et 200 µg/ml et très proche du celui du standard. Les extraits d'acétate d'éthyle et de *n*-butanol sont particulièrement efficaces, avec des valeurs allant jusqu'à 96,99% d'inhibition (Tableau 35). La IC₅₀ des deux fractions est estimée à 56,11 ± 4,04 µg / ml et 24,44 ± 3,4 µg / ml, respectivement. La différence n'est pas significative statistiquement entre la IC₅₀ de ces deux extraits et le standard ($p>0,05$). La fraction du chloroforme a une activité moins importante avec la IC₅₀ la plus élevée (177,11 ± 2,30 µg / ml).

2/Le Feijoa (*Acca sellowiana*)

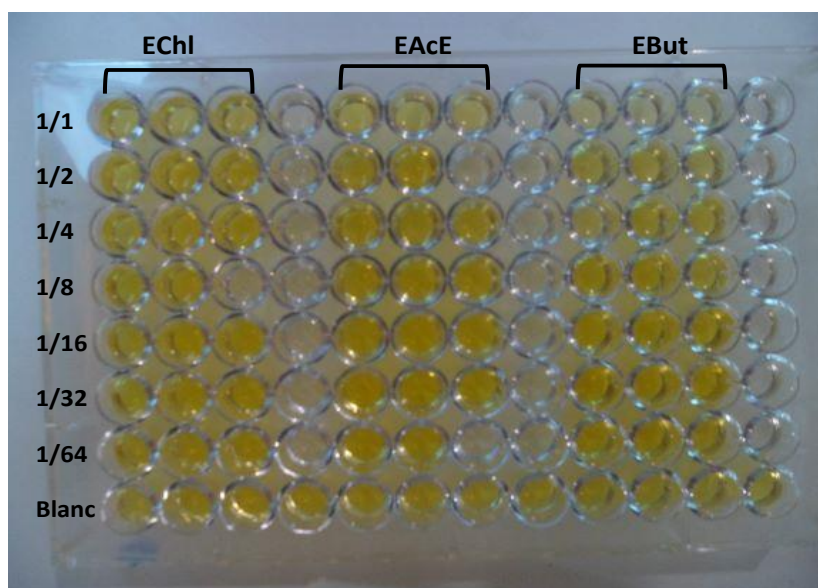


Figure 87- Résultat sur microplaque de l'activité anti-acétylcholinestérase des extraits foliaires de *A. sellowiana*.

Les pourcentages d'inhibition ont été calculés pour estimer le IC₅₀ de chaque extrait. Le traitement des résultats est représenté sur le Tableau 36.

Tableau 36- Inhibition de l'acétylcholinestérase (AChE) par les différents extraits foliaires de *A. sellowiana*.

C(µg/ml) Extrait	% d'inhibition							
	3.125	6.25	12.5	25	50	100	200	IC ₅₀ µg/ml
EChl	NA	NA	NA	NA	NA	NA	16,55±11,27	>200
EAcE	NA	NA	NA	NA	NA	4,61±82,61	16,55±5,45	>200
EBut	NA	NA	29,39±1,97	63,43±3,82	68,08±10,18	70,87±8,79	87,48±4,28	16,84±5,21 ^b
Galantamine	35,93±2,28	43,77±0,00	68,50±0,31	80,69±0,41	85,78±1,63	91,80±0,20	94,77±0,34	6,27±1,15 ^a

NA : Pas d'absorbance. * : standard.

Les valeurs avec les mêmes petites lettres ne présentent pas une différence significative (p>0,05).

Pour *A. sellowiana*, le pourcentage d'inhibition augmente en fonction de la concentration de l'extrait. L'extrait foliaire qui a montré une activité importante contre l'enzyme AChE est l'extrait butanolique avec une IC₅₀ de 16,84±5,21 µg/ml et un pourcentage d'inhibition qui atteint 87,48% pour une concentration de 200 µg/ml. Statistiquement, la différence est significative (p<0,05) entre le résultat de cet extrait et le standard.

Les deux extraits chloroformique et d'acétate d'éthyle ont exercé un pouvoir inhibiteur faible, de 16,55% les deux, à 200 µg/ml (Tableau 36).

3/Le jamblon (*Syzygium cumini*)

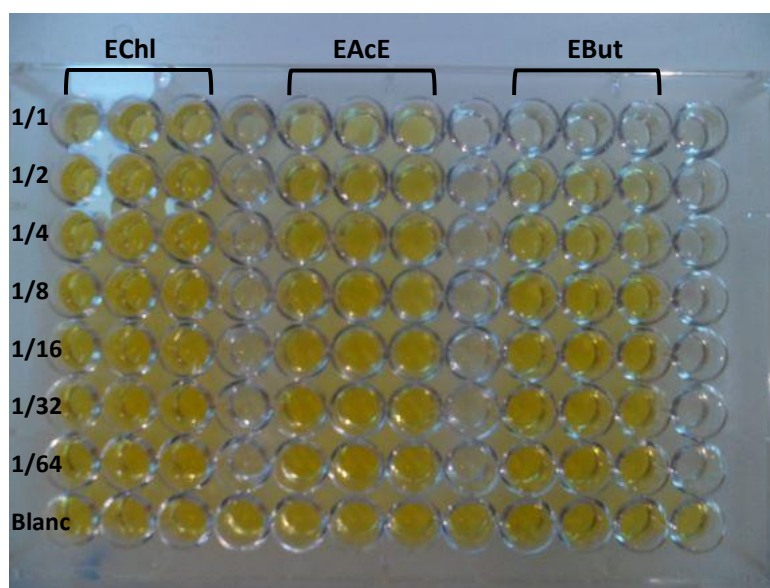


Figure 88- Résultat sur microplaque de l'activité anti-acétylcholinestérase des extraits foliaires de *S. cumini*.

Les pourcentages d'inhibition ont été calculés pour estimer le IC₅₀ de chaque extrait. Le traitement des résultats est représenté sur le Tableau 37.

Tableau 37- Inhibition de l'acétylcholinestérase (AChE) par les différents extraits foliaires de *S. cumini*.

C(µg/ml) Extrait	% d'inhibition							
	3.125	6.25	12.5	25	50	100	200	IC ₅₀ µg/ml
EChl	NA	NA	NA	NA	NA	2,77± 8,07	34,76±6,46	>200
EAcE	NA	NA	15,40±5,55	19,32±2,78	34,38±0,69	43,54±0,00	69,78±6,22	134,56±3,73 ^c
EBut	8,28±1,50	9,18±2,55	18,34±0,69	29,88±0,58	32,17±2,20	61,30±7,98	84,62±4,40	83,20±7,26 ^b
Galantamine	35,93±2,28	43,77±0,00	68,50±0,31	80,69±0,41	85,78±1,63	91,80±0,20	94,77±0,34	6,27±1,15 ^a

NA : Pas d'absorbance. * : standard. Les valeurs avec les mêmes petites lettres ne présentent pas une différence significative (p>0,05).

Le pourcentage d'inhibition augmente en fonction de la concentration de l'extrait. Le meilleur résultat d'inhibition de l'enzyme AChE est donné par l'extrait butanolique qui a exercé une inhibition de 84,62% à 200 µg/ml mais si on le compare au standard, la IC₅₀ est élevée (83,20±7,26 µg/ml). L'extrait d'acétate d'éthyle a donné une IC₅₀ de 134,56±3,73 µg/ml. Il y a une différence significative (p<0,05) entre ces deux extraits et le standard.

L'activité est faible pour l'extrait chloroformique avec une inhibition de seulement 34,76% à 200 µg/ml (Tableau 37).

2.3.1.2- Activité anti-butyrylcholinestérase (BChE)

Les résultats sont évalués par le calcul de la valeur IC₅₀ qui correspond à la concentration de l'extrait qui cause 50% d'inhibition. La galantamine a été utilisé comme standard.

Un résultat positif est caractérisé par un changement de la couleur jaune de la solution en une couleur transparente. La couleur jaune diminue avec l'importance du pouvoir anti-butyrylcholinestérase (Figures : 89, 90, et 91).

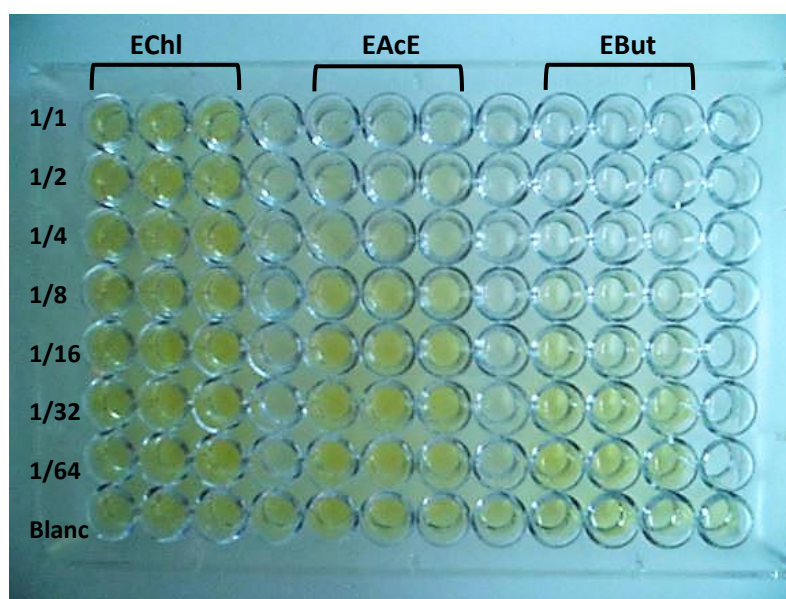
1/Le goyavier (*Psidium guajava*)

Figure 89- Résultat sur microplaque de l'activité anti-butyrylcholinestérase des extraits foliaires de *P. guajava*.

Les pourcentages d'inhibition ont été calculés pour estimer le IC_{50} de chaque extrait. Le traitement des résultats est représenté sur le tableau 38.

Tableau 38- Inhibition de la butyrylcholinestérase (BChE) par les différents extraits foliaires de *P. guajava*.

C(μg/ml) Extrait	% d'inhibition							
	3.125	6.25	12.5	25	50	100	200	IC_{50} μg/ml
EChl	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	>200
EAce	NA	NA	NA	16,06±4,78	50,75±1,82	61,65±0,91	95,65±4,78	44,95±2,67 ^b
EBut	NA	NA	NA	41,37±5,66	80,53±5,68	91,01±3,78	94,88±1,81	21,87± 10,48 ^a
Galantamine	3,26± 0,62	6,93± 0,62	24,03±2,94	45,13±2,60	63,87±2,85	73,57±0,77	78,95±0,58	34,75±1,99 ^{ab}

NA : Pas d'absorbance. * : standard. Les valeurs avec les mêmes petites lettres ne présentent pas une différence significative ($p>0,05$).

Les extraits foliaires de *P. guajava*, particulièrement les fractions butanolique et d'acétate d'éthyle, ont montré une très bonne activité inhibitrice de l'enzyme BChE. Le pourcentage d'inhibition augmente en fonction de la concentration de l'extrait. L'extrait butanolique a exercé une inhibition de 94,88% à une concentration de 200 μg/ml avec une valeur de IC_{50} (21,87± 10,48 μg/ml) inférieure à celle du standard. L'extrait d'acétate d'éthyle a montré

également une bonne activité mais la valeur de ($IC_{50} 44,95 \pm 2,67 \mu\text{g/ml}$) est plus élevée que celle du standard. L'analyse statistique a montré une différence non significative ($p > 0,05$) entre ces deux fractions et le standard (Tableau 38). La fraction chloroformique n'a pas donné de résultats positifs a nos concentrations (Figure 89, tableau 38).

2/Le Feijoa (*Acca sellowiana*)

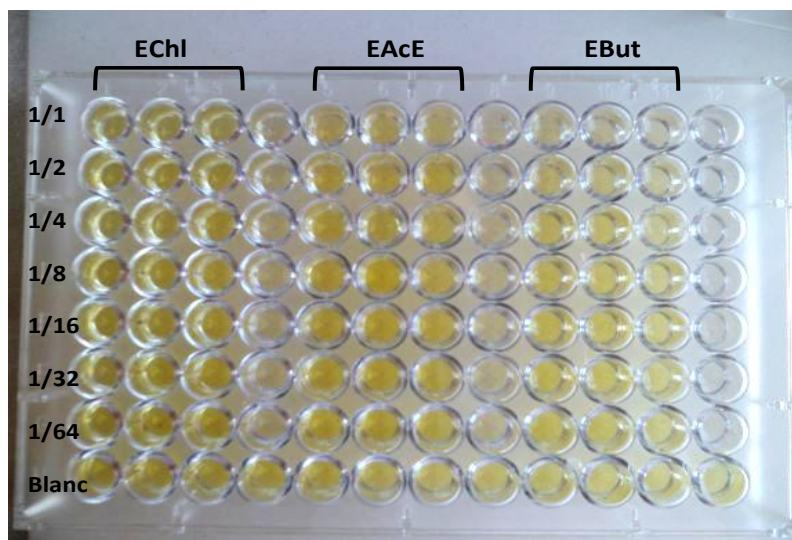


Figure 90- Résultat sur microplaque de l'activité anti-butyrylcholinestérase des extraits foliaires de *A. sellowiana*.

Les pourcentages d'inhibition ont été calculés pour estimer le IC_{50} de chaque extrait. Le traitement des résultats est représenté sur le tableau 39.

Tableau 39- Inhibition de la butyrylcholinestérase (BChE) par les différents extraits foliaires de *A. sellowiana*.

C($\mu\text{g/ml}$) Extrait	% d'inhibition							
	3.125	6.25	12.5	25	50	100	200	$IC_{50} \mu\text{g/ml}$
EChl	NA	NA	NA	NA	NA	NA	$10,72 \pm 6,61$	>200
EAcE	NA	NA	NA	NA	NA	NA	$6,36 \pm 4,67$	>200
EBut	NA	NA	NA	NA	NA	NA	$39,42 \pm 7,29$	>200
Galantamine	$3,26 \pm 0,62$	$6,93 \pm 0,62$	$24,03 \pm 2,94$	$45,13 \pm 2,60$	$63,87 \pm 2,85$	$73,57 \pm 0,77$	$78,95 \pm 0,58$	$34,75 \pm 1,99$

NA : Pas d'absorbance. * : standard.

Les valeurs avec les mêmes petites lettres ne présentent pas une différence significative ($p > 0,05$).

Les extraits foliaires de *A. sellowiana* ont montré une faible activité inhibitrice de l'enzyme BChE avec un faible pourcentage d'inhibition enregistré que pour une concentration de 200 µg/ml chez les trois extraits et un maximum de 39,42% enregistré par l'extrait butanolique.

3/ Le jamblon (*Syzygium cumini*)

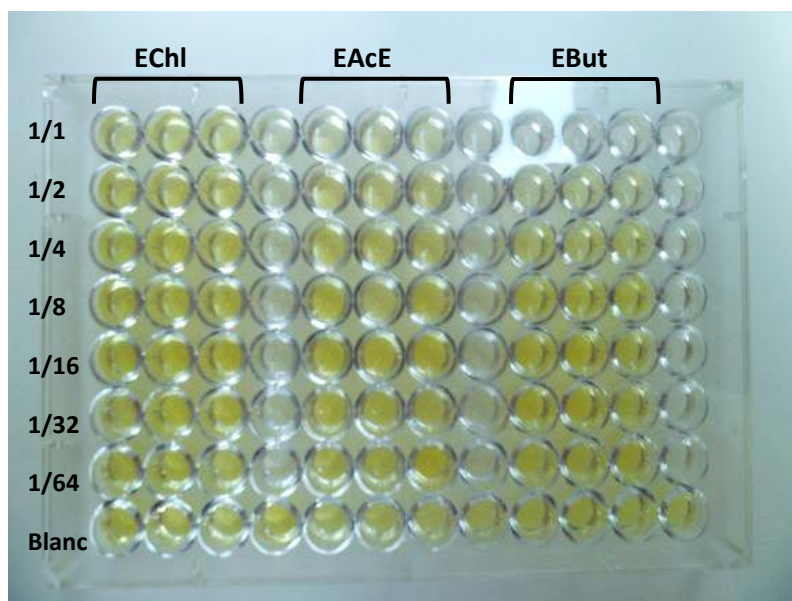


Figure 91- Résultat sur microplaque de l'activité anti-butrylcholinestérase des extraits foliaires de *S. cumini*.

Les pourcentages d'inhibition ont été calculés pour estimer le IC₅₀ de chaque extrait. Le traitement des résultats est représenté sur le tableau 40.

Tableau 40- Inhibition de la butrylcholinestérase (BChE) par les différents extraits foliaires de *S. cumini*.

C(µg/ml) Extrait	% d'inhibition							IC ₅₀ µg/ml
	3.125	6.25	12.5	25	50	100	200	
EChI	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	>200
EAcE	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	>200
EBut	NA	NA	NA	NA	NA	39,90±6,61	86,79±0,46	120,79± 1,35 ^b
Galantamine	3,26± 0,62	6,93± 0,62	24,03±2,94	45,13±2,60	63,87±2,85	73,57±0,77	78,95±0,58	34,75±1,99 ^a

NA : Pas d'absorbance. * : standard.

Les valeurs avec les mêmes petites lettres ne présentent pas une différence significative (p>0,05).

Chez *S. cumini*, le seul extrait foliaire qui a montré une inhibition de l'enzyme BChE est l'extrait butanolique, avec un pourcentage de 86,79% à 200 µg/ml et une IC₅₀ de 120,79± 1,35 µg/ml. L'analyse statistique a montré une différence significative ($p < 0,05$) entre le résultat de cet extrait et celui du standard (Tableau 40).

Au cours des 30 dernières années, la maladie d'Alzheimer (MA) est devenue la maladie neurodégénérative la plus courante. C'est la cause de 60 à 70% de tous les cas de démence (EtindelSosso *et al.*, 2017).

L'acétylcholine (ACh) est le principal neurotransmetteur du cerveau et le plus abondant dans le corps, il est responsable de la transmission cholinergique. Les cholinestérases (ChE) constituent un groupe d'estérases qui hydrolysent les esters de choline à un taux plus élevé que les autres esters, à condition que les taux d'hydrolyse soient comparés à un niveau optimal et conditions contrôlées (Augustinsson, 1970).

L'acétylcholinestérase (AChE) est une protéine exprimée dans le système nerveux et sanguin des eucaryotes appartenant à une famille d'enzyme qui catalyse le neurotransmetteur acétylcholine (ACh) en choline et en acide acétique, située principalement dans la fente synaptique. Le principal rôle biologique de l'acétylcholinestérase est la régulation de la transmission de l'influx nerveux en assurant l'hydrolyse rapide de l'acétylcholine au niveau des synapses cholinergiques centrales et périphériques, afin de permettre aux neurones cholinergiques de revenir à l'état de repos après leur activation par des influx nerveux (Anglais et Webster, 2012).

Chez les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer, la concentration d'acétylcholine est diminuée, ce qui explique les troubles cognitifs observés. L'acétylcholine est un neurotransmetteur qui joue un rôle important dans le système nerveux central, où elle est impliquée dans la mémoire et l'apprentissage. La solution pour augmenter le taux d'acétylcholine au niveau synaptique consiste alors à diminuer sa dégradation, ceci en inhibant l'action de l'acétylcholinestérase (Nourhashémi, 2006).

Certaines substances actives sont utilisées pour arrêter le développement de la maladie d'Alzheimer, y compris la galantamine (alcaloïde). Les flavonoïdes et les acides phénoliques sont les principaux groupes de métabolites secondaires considérés comme bonnes sources

d'antioxydants naturels et d'anticholinestérases dans l'alimentation humaine (Kim *et al.*, 2003).

Quelques études se sont intéressées à l'activité anticholinestérase des espèces appartenant à la famille des Myrtacées.

Une recherche récente a été faite sur les huiles essentielles de six espèces de Myrtacées qui poussent en Thaïlande : *Eucalyptus globulus*, *Melaleuca cajuputi*, *Melaleuca citrina*, *Psidium guajava*, *Syzygium cumini* et *Syzygium samarangense*. Les résultats de cette étude ont montré de bons pourcentages d'inhibition chez toutes ces espèces (Petrachaianan *et al.*, 2018)

Les extraits foliaires d'une autre espèce de Myrtacées, *Campomanesia lineatifolia*, ont montré une bonne inhibition de l'acétylcholinestérase (Oliveira *et al.*, 2012).

Gasca *et al* (2017) ont isolé deux flavonoïdes, la quercitine et la catéchine, des feuilles d'*Eugenia dysenterica*. Ces composés ont présenté des effets inhibiteurs supérieurs de l'acétylcholinestérase, avec $IC_{50} = 46,59 \pm 0,49 \mu g / ml$ et $42,39 \pm 0,67 \mu g / ml$, respectivement.

Notre travail a visé l'inhibition des deux cholinestérases AChE et BChE par les extraits foliaires des trois espèces : *Psidium guajava*, *Acca sellowiana* et *Syzygium cumini*.

Les résultats révèlent une activité inhibitrice importante de l'extrait foliaire d'acétate d'éthyle et du *n*-butanol de *Psidium guajava* contre l'acétylcholinestrase (AChE) et la butyrylcholinestérase (BChE). L'extrait chloroformique a montré une inhibition intéressante contre AChE, malgré sa faible activité antioxydante. Ces résultats peuvent être expliqués par l'abondance dans l'extrait chloroformique des autres composés bioactifs. Udoidong *et al* (2014) ont procédé à un criblage phytochimique de l'extrait chloroformique d'une espèce médicinale, les résultats ont révélé la présence d'alcaloïdes, de stéroïdes et de flavonoïdes.

Les études analysant l'activité anticholinestérase de *P. guajava* ou même du genre *Psidium* sont rares. Une étude précédente sur treize plantes médicinales de la Thaïlande, dont *P. guajava*, a révélé que les huiles essentielles de ce dernier n'ont aucun effet inhibiteur sur l'AChE (Kitphathi *et al.*, 2012). Une autre étude (citée ci-dessus) a montré un pourcentage d'inhibition de $24.96 \pm 2.38\%$ de l'AChE à $0,10 mg/ml$ de l'huile essentielle de *P. guajava* ((Petrachaianan *et al.*, 2018)

En revanche, une recherche indienne sur le fruit de *P. guajava* a montré qu'il produisait une réduction significative de l'activité de l'acétylcholinestérase cérébrale chez les souris jeunes et âgées. Un prétraitement de 15 jours avec des fruits de *P. guajava* a protégé les animaux de développer des déficits de mémoire, et les fruits de *P. guajava* ont induit une élévation du niveau cérébral d'acétylcholine en réduisant significativement l'activité de l'acétylcholinestérase (Parle et Broka, 2010).

Nos résultats sur les feuilles de *P. guajava* montrent l'efficacité de cette espèce comme inhibiteur des cholinestérase (AChE et BChE). Cet effet pourrait être lié aux composés phénoliques contenus dans les feuilles et à l'activité antioxydante qui en résulte. Cette hypothèse est confirmée par l'analyse statistique (Annexe 8). Des corrélations importantes existent entre le TPC et la IC₅₀ du Test anti-AChE ($r = -0,933$, $R^2 = 0,871$) et entre le TPC et la IC₅₀ du test anti- BChE ($r = -0,958$, $R^2 = 0,919$).

L'effet antioxydant du fruit de *P. guajava* pourrait également être bénéfique pour protéger le cerveau des rongeurs contre le stress oxydatif (Parle et Broka, 2010). Une étude récente a confirmé l'effet de la quercétine sur l'acquisition et la rétention de la mémoire chez les rats et a conclu qu'il existe des preuves convaincantes sur les effets neuroprotecteurs des flavonoïdes contre la maladie d'Alzheimer (Ashrafpour *et al.*, 2015).

Concernant notre deuxième espèce *Acca sellowiana*, les résultats obtenus ne révèlent une activité anticholinestérase que pour l'extrait butanolique dans le test anti-acétylcholinestérase (AChE). Les travaux traitant cette activité chez *A. sellowiana* sont très rares.

Cette activité anti-AChE pourrait être expliquée par l'abondance des différents composés phénoliques dans l'extrait butanolique de *A. sellowiana*. L'analyse statistique (Annexe 9) montre une corrélation entre le TPC et la IC₅₀ du test anti-AChE mais avec des faibles coefficients ($r = 0,349$, $R^2 = 0,122$).

Cette espèce contient une variété de ces composés, notamment l'épigallocatechine, la procyanidine B2, l'épigallocatechine gallate, la myricétine-3-O-galactoside, l'épicatéchine gallate, la quercétine-3-galactoside et la quercétine -3-rhamnoside, la cathequine, la daidzine, l'acide ellagique, l'acide gallique, l'acide salicylique et l'acide caffeique (Beyhan *et al.*, 2010, Anik Filali *et al.*, 2019).

En ce qui concerne le jamblon (*Syzygium cumini*), nos résultats révèlent une activité anticholinestérase modérée des extraits foliaires, particulièrement les extraits d'acétate d'éthyle et de butanol.

Les espèces du genre *Syzygium* ont été signalées comme antioxydants potentiels, néanmoins la puissance de ces plantes comme inhibiteur de l'AChE n'a pas été correctement étudiée. La puissance de certains *Syzygium* comme anti amnésique a déjà été analysée, mais des recherches supplémentaires sont encore nécessaires (Darusman *et al.*, 2013)

Alikatte *et al* (2012) ont rapporté que l'extrait de méthanol de *S. cumini* possédait une activité anti amnésique contre les troubles de la mémoire spatiale induits par la scopolamine chez le rat.

Une étude réalisée sur une espèce tropicale du même genre : le giroflier (*Syzygium aromaticum*). L'extrait hydroalcoolique, les huiles essentielles ainsi que l'eugénol de cette espèce ont été testés pour leur pouvoir d'inhibition des deux enzymes AChE et BChE. Les résultats ont révélé une importante inhibition. L'extrait méthanolique a donné des valeurs de IC₅₀ de 61.5±1.88 µg/ml et 103.53±1.47 µg/ml pour les tests anti-AChE et anti-BChE, respectivement (Dalai *et al.*, 2014). Ces résultats sont proches des nôtres, obtenus par l'acide butanolique de *S. cumini* (IC₅₀= 83,20±7,26 µg/ml et IC₅₀= 120,79± 1,35 µg/ml) pour AChE et le BChE, respectivement.

Quelques travaux ont rapporté que les feuilles de *S. cumini* contiendraient du β-sitostérol, de l'acide bétulinique, du mycaminose, de l'acide cratégolique, du n-hépatcosane, du n-nonacosane, du n-hentriacontane, du noctacosanol, du n-triacontanol, du n-dotricontanol, de la quercétine, de la myricétine, de la myricitrine et des glycosides de flavonol, myricétine 3-O- (4"- acétyl)-a-Lrhamnopyranosides, glycosides de flavonol acylés, triterpénoïdes, tanins, eicosane, octacosane, octadécane. Les huiles essentielles de feuilles sont riches en pinocarveol, a-terpeneol, myrtenol, eucarvone, muurolol, a- myrtenal, cineole, geranyl acetone, a-cadinol et pinocarvone (Rastogi *et al.*, 1990, Sagrawat *et al.*, 2006, Mir *et al.*, 2009, Dagadkhair *et al.*, 2017).

La majorité des études ont porté sur la bonne inhibition de l'anticholinestérase par les alcaloïdes, tels que la physostigmine et galantamine. Jusqu'à présent, plus de 35 alcaloïdes ont été reportés pour avoir une activité inhibitrice de l'AChE. Les autres principales classes de composés sont les terpénoïdes, les glycosides et les coumarines ((Mukherjee *et al.*, 2007).

L'analyse statistique (Annexe 10) montre une corrélation entre le TPC de *S. cumini* et la valeur de IC₅₀ du test anti-AChE ($r = -0,519$, $R^2 = 0,269$).

Il y aurait une relation étroite entre l'activité antioxydante des extraits foliaires de nos espèces et leur pouvoir anticholinestérase. L'analyse statistique (Annexes 8, 9, 10) confirme cette hypothèse. Par exemple, la corrélation entre le test DPPH et l'activité anti-AChE est très positive et très importante ($r = 0,978$, $R^2 = 0,957$ chez *P. guajava*), ($r = 0,889$, $R^2 = 0,791$ chez *S. cumini*).

Certains travaux suggèrent que le stress oxydatif est corrélé à la maladie d'Alzheimer, il est soupçonné d'être un facteur majeur impliqué dans la dégénérescence des neurones cholinergiques dans cette maladie (Saxena *et al.*, 2008, Darusman *et al.*, 2013).

Notre analyse statistique des trois espèces étudiées, a montré une corrélation positive entre la teneur en polyphénols totaux et l'activité anticholinestérase. Les composés phénoliques contenus dans les feuilles seraient à l'origine de cette activité.

Une recherche a été faite récemment au Nigéria pour étudier les effets des polyphénols, extraits des feuilles de *Syzygium cumini*, sur la survenue d'un stress oxydatif dans le cerveau des rats diabétiques, qui peut déclencher la maladie d'Alzheimer en déterminant à la fois le cholinestérase *in vitro* et *in vivo*, le système de défense antioxydant et l'étendue des dommages oxydatifs. L'extrait (400 mg / kg de poids corporel) de polyphénols a été administré par voie orale à des rats, et l'effet a été surveillé sur le cholinestérase. L'extrait a montré des effets inhibiteurs contre le cholinestérase *in vitro*. Cette étude a suggéré que les polyphénols des feuilles de *S. cumini* sont anti-Alzheimer et antioxydants. Par conséquent, la plante est recommandée pour les patients atteints de la maladie d'Alzheimer dans le monde entier (Ajiboye *et al.*, 2017)

Une autre étude plus récente avait pour objectif de collecter les résultats du pouvoir anticholinestérase de différents composés phénoliques d'origine végétale : quercétine, resvératrol, curcumine, gallocatechines, acide cinnamique, caféine (alcaloïde), et acide caféique. Tous ces composés ont une activité inhibitrice des enzymes AChE et BChE (Jabir *et al.*, 2018).

2.3.2. Activité anti-diabétique

L'activité anti-diabétique des extraits foliaires des trois espèces *Psidium guajava*, *Acca sellowiana* et *Syzygium cumini* a été évaluée par l'estimation de l'inhibition de l'enzymes α -glucosidase.

Un inhibiteur de cette enzyme va empêcher l'hydrolyse du *p*-Nitrophenyl α -D-glucopyranoside et la libération du *p*-nitrophenol. Ce dernier est de couleur jaune.

La décoloration de la couleur jaune est signe d'inhibition de l' α -glucosidase (Figures : 92, 93, 94). La lecture se fait à 405 nm. Les résultats sont évalués par le calcul de la valeur IC_{50} qui correspond à la concentration de l'extrait qui cause 50% d'inhibition. La quercétine et l'acarbose sont utilisés comme standards.

1/ Le goyavier (*Psidium guajava*)

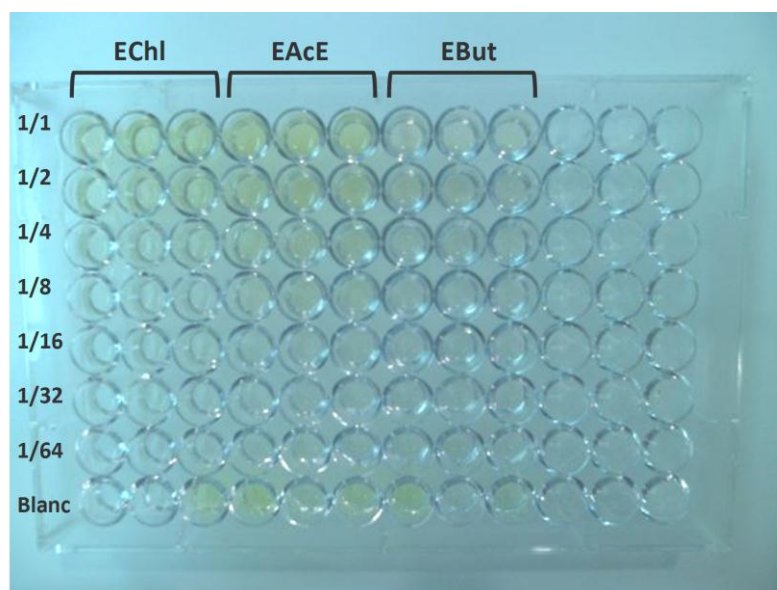


Figure 92- Résultat sur microplaque du test de l'inhibition de l' α -glucosidase des extraits foliaires de *P. guajava*.

Les pourcentages d'inhibition ont été calculés pour estimer le IC_{50} de chaque extrait. Le traitement des résultats est représenté sur le tableau 41.

Tableau 41- Inhibition de l' α -glucosidase des extraits foliaires de *P. guajava*.

Extrait \ C(μ g/ml)	% d'inhibition							
	1.953	3.906	7.812	15.625	31.25	62.5	125	IC ₅₀ μ g/ml
EChl	49,54 $\pm$ 0,04	66,57 $\pm$ 2,41	68,02 $\pm$ 1,64	71,12 $\pm$ 3,07	73,03 $\pm$ 2,06	81,84 $\pm$ 0,53	86,47 $\pm$ 4,66	2,03 $\pm$ 0,56 ^a
EAcE	66,57 $\pm$ 1,27	79,29 $\pm$ 0,13	86,86 $\pm$ 0,43	90,84 $\pm$ 1,01	95,47 $\pm$ 0,60	97,45 $\pm$ 0,90	98,82 $\pm$ 0,52	< 1,95
EBut	89,35 $\pm$ 0,56	90,63 $\pm$ 0,35	97,98 $\pm$ 0,15	98,92 $\pm$ 0,67	99,88 $\pm$ 0,31	99,91 $\pm$ 0,15	100,05 $\pm$ 0,05	< 1,95
Quercétine*	36,99 $\pm$ 1,37	49,11 $\pm$ 0,54	54,34 $\pm$ 0,41	61,01 $\pm$ 0,48	72,58 $\pm$ 0,19	86,91 $\pm$ 0,09	95,98 $\pm$ 0,59	4,26 $\pm$ 0,24 ^a
Acarbose*	78.125	156. 25	312.5	625	1250	2500	5000	IC ₅₀ μ g/ml
	27,43 $\pm$ 2,18	38,91 $\pm$ 3,20	54,86 $\pm$ 1,79	67,29 $\pm$ 2,63	80,19 $\pm$ 1,66	85,54 $\pm$ 0,45	91,05 $\pm$ 0,72	275,43 $\pm$ 1,59 ^b

* : standard. Les valeurs avec les mêmes petites lettres ne présentent pas une différence significative ($p > 0,05$).

D'après nos résultats, les extraits foliaires de *P. guajava* ont exercé une activité anti- α -glucosidase très importante. Le pourcentage d'inhibition augmente en fonction de la concentration de l'extrait (Tableau 41). L'inhibition est trop élevée à des concentrations très faibles. Des inhibitions de 100% et 89% sont enregistrées par l'extrait butanolique à 125 μ g/ml et 1,953 μ g/ml, respectivement. Les trois extraits ont donné des valeurs de IC₅₀ inférieures aux standards, surtout à l'acarbose qui a donné une valeur de IC₅₀ cent fois plus élevée. La fraction chloroformique a montré une forte activité (IC₅₀=2,03 $\pm$ 0,56 μ g/ml), la différence entre cette valeur et celle donnée par la quercétine est non significative ($p > 0,05$). Les fractions d'acétate d'éthyle et de butanol ont donné des IC₅₀ très basses et non identifiées (<1,95 μ g/ml).

2/ Le Feijoa (*Acca sellowiana*)

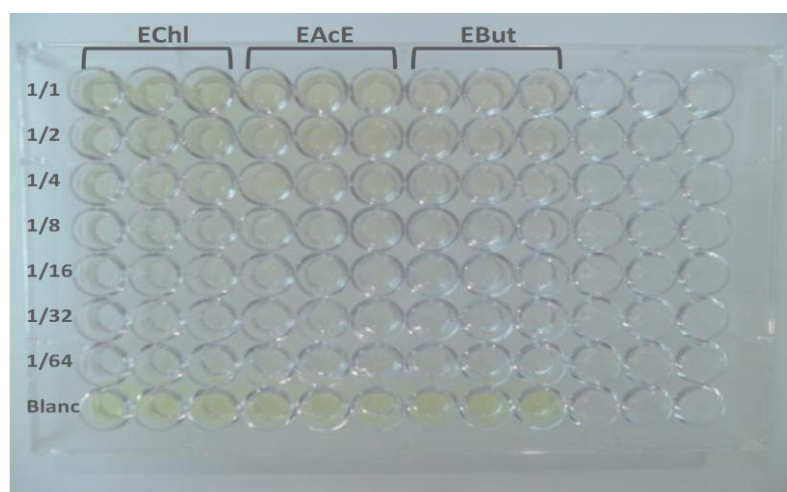


Figure 93- Résultat sur microplaque du test de l'inhibition de l' α -glucosidase des extraits foliaires de *A. sellowiana*.

Les pourcentages d'inhibition ont été calculés pour estimer le IC₅₀ de chaque extrait. Le traitement des résultats est représenté sur le tableau 42.

Tableau 42- Inhibition de l' α -glucosidase des extraits foliaires de *A. sellowiana*.

C(μ g/ml) Extrait	% d'inhibition							
	1.953	3.906	7.812	15.625	31.25	62.5	125	IC ₅₀ μ g/ml
EChl	19,24 $\pm$ 2,04	27,12 $\pm$ 1,47	35,24 $\pm$ 3,73	79,33 $\pm$ 3,73	86,79 $\pm$ 1,33	97,80 $\pm$ 2,73	100,00 $\pm$ 4,72	9,21 $\pm$ 1,25 ^a
EAcE	81,41 $\pm$ 1,42	81,85 $\pm$ 2,04	94,95 $\pm$ 0,42	97,40 $\pm$ 0,71	98,26 $\pm$ 1,03	99,26 $\pm$ 1,65	100,06 $\pm$ 0,55	< 1,95
EBut	75,32 $\pm$ 1,45	79,70 $\pm$ 0,36	81,37 $\pm$ 1,48	86,37 $\pm$ 0,45	98,15 $\pm$ 0,06	99,33 $\pm$ 0,51	100,07 $\pm$ 1,23	< 1,95
Quercétine*	36,99 $\pm$ 1,37	49,11 $\pm$ 0,54	54,34 $\pm$ 0,41	61,01 $\pm$ 0,48	72,58 $\pm$ 0,19	86,91 $\pm$ 0,09	95,98 $\pm$ 0,59	4,26 $\pm$ 0,24 ^b
Acarbose*	78.125	156. 25	312.5	625	1250	2500	5000	IC ₅₀ μ g/ml
	27,43 $\pm$ 2,18	38,91 $\pm$ 3,20	54,86 $\pm$ 1,79	67,29 $\pm$ 2,63	80,19 $\pm$ 1,66	85,54 $\pm$ 0,45	91,05 $\pm$ 0,72	275,43 $\pm$ 1,59 ^c

* : standard.

Les valeurs avec les mêmes petites lettres ne présentent pas une différence significative ($p > 0,05$).

L'activité anti α -glucosidase est très importante chez *A. sellowiana*. Les trois extraits ont inhibé l'enzyme à 100% à une concentration de 125 μ g/ml (Tableau 42). Le pourcentage d'inhibition augmente en fonction de la concentration de l'extrait. L'extrait chloroformique a donné une IC₅₀ de 9,21 $\pm$ 1,25 μ g/ml, cette valeur est trente fois plus faible à celle de l'acarbose mais deux fois plus élevé que celle donnée par la quercétine avec une différence significative ($p > 0,05$). L'extrait d'acétate d'éthyle et l'extrait butanolique ont montré des pourcentages d'inhibition trop élevés au point de ne pas pouvoir identifier les valeurs de leur IC₅₀ à nos concentrations. On déduit que les deux IC₅₀ sont inférieures à 1,95 μ g/ml.

3/ Le jamblon (*Syzygium cumini*)

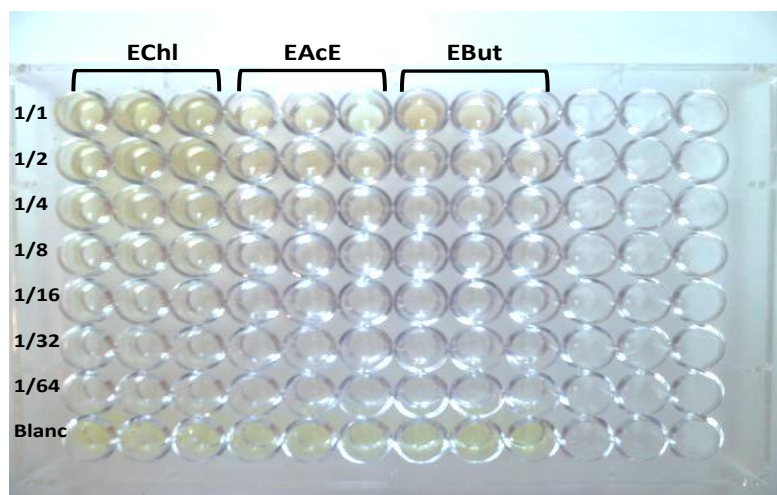


Figure 94- Résultat sur microplaque du test de l'inhibition de l' α -glucosidase des extraits foliaires de *S. cumini*.

Les pourcentages d'inhibition ont été calculés pour estimer le IC₅₀ de chaque extrait. Le traitement des résultats est représenté sur le tableau 43.

Tableau 43- Inhibition de l' α -glucosidase des extraits foliaires de *S. cumini*.

C(μ g/ml) Extrait	% d'inhibition							
	1.953	3.906	7.812	15.625	31.25	62.5	125	IC ₅₀ μ g/ml
EChl	50,59 $\pm$ 5,65	71,83 $\pm$ 2,22	89,91 $\pm$ 1,94	90,80 $\pm$ 0,47	94,80 $\pm$ 1,68	96,84 $\pm$ 0,42	99,20 $\pm$ 2,91	1,72 $\pm$ 0,74 ^a
EAcE	92,57 $\pm$ 0,64	94,47 $\pm$ 0,77	95,77 $\pm$ 0,58	96,58 $\pm$ 0,36	97,10 $\pm$ 0,55	98,34 $\pm$ 0,29	100,07 $\pm$ 1,18	< 1,95
EBut	94,57 $\pm$ 1,89	96,07 $\pm$ 0,62	96,77 $\pm$ 0,58	97,12 $\pm$ 0,30	98,07 $\pm$ 0,28	98,78 $\pm$ 5,40	98,32 $\pm$ 0,72	< 1,95
Quercétine*	36,99 $\pm$ 1,37	49,11 $\pm$ 0,54	54,34 $\pm$ 0,41	61,01 $\pm$ 0,48	72,58 $\pm$ 0,19	86,91 $\pm$ 0,09	95,98 $\pm$ 0,59	4,26 $\pm$ 0,24 ^a
Acarbose*	78.125	156. 25	312.5	625	1250	2500	5000	IC ₅₀ μ g/ml
	27,43 $\pm$ 2,18	38,91 $\pm$ 3,20	54,86 $\pm$ 1,79	67,29 $\pm$ 2,63	80,19 $\pm$ 1,66	85,54 $\pm$ 0,45	91,05 $\pm$ 0,72	275,43 $\pm$ 1,59 ^b

* : standard. Les valeurs avec les mêmes petites lettres ne présentent pas une différence significative (p>0,05).

Les feuilles de *S. cumini* ont montré une activité inhibitrice de l' α glucosidase très importante par les trois extraits. Les pourcentages d'inhibition, qui augmentent avec la concentration, ont atteint des valeurs de 100% chez l'extrait d'acétate d'éthyle et 99% chez les deux autres extraits. La valeur de IC₅₀ chez l'extrait chloroformique (1,72 $\pm$ 0,74 μ g/ml) est inférieure à celle des standards, il n'y a pas de différence significative (p>0,05) entre cette valeur et celle de la quercétine. Alors que pour les deux fractions butanolique et d'acétate d'éthyle, la IC₅₀ est inférieur à notre concentration minimale (Tableau 43).

On estime que près de 9 % de la population mondiale adulte âgée de 20 à 79 ans était atteint par le diabète. Le diabète, plus précisément le diabète sucré, est un trouble du métabolisme qui est dû à une défaillance du mécanisme biologique censé réguler la concentration de glucose dans le sang. Chez des personnes diabétiques, la régulation de la glycémie se trouve perturbée soit par un manque d'insuline, soit par une résistance de l'organisme envers cette hormone, ce qui conduit à un excès chronique de sucre dans le sang. Cette hyperglycémie est le troisième facteur de mort prématurée dans le monde. Selon des estimations, la part des diabétiques dans la population mondiale adulte va approcher les 10 % jusqu'en 2045 (Moyou, 2018).

Pour pallier les effets secondaires des traitements antidiabétiques, les recherches scientifiques portent sur 1123 plantes utilisées traditionnellement contre le diabète (Racah, 2004). La

minorité étudiée concerne les plantes suivantes : *Momordica charantia*, *Catharanthus roseus*, *Trigonella foenum-greacum*, *Allium cepa*, *Allium sativum*, et autres (Al Achi, 2005).

L'alpha-glucosidase (α -D-glucoside glucohydrolase; EC 3.2.1.20) est une enzyme clé dans la digestion des glucides, libérée dans la bordure de la brosse de l'intestin grêle, elle hydrolyse les liaisons α -1,4-glycosidiques à partir de l'extrémité non-réductrice des oligosaccharides et des polysaccharides avec la libération de α - glucose qui peut être absorbé par l'intestin (Dolores *et al.*, 2006).

Parmi les approches développées, l'inhibition de l'alpha glucosidase a apparue comme une cible thérapeutique potentielle pour le traitement et la prévention du diabète de type 2 (DM) (Johnson *et al.*, 2002).

Les inhibiteurs de l'alpha-glucosidase agissent comme des inhibiteurs compétitifs de cette enzyme nécessaire pour digérer les glucides, pour cette raison, les inhibiteurs de l' α -glucosidase, comme l'acarbose et voglibose, sont cliniquement utilisés comme agents anti-hyperglycémiques. Ces inhibiteurs jouent un rôle crucial dans le traitement du diabète, ils retardent l'absorption des glucides ingérés, et réduisent la glycémie postprandiale, ils sont efficaces pour diminuer les niveaux de glycémie postprandiale et pour une gestion plus économique de la prévention du diabète sucré (Liu *et al.*, 2011).

Beaucoup d'espèces de la famille des Myrtacées possèdent des propriétés thérapeutiques et sont utilisées en médecine traditionnelle contre plusieurs maladies, comme le diabète.

Nos résultats obtenus révèlent une activité inhibitrice impressionnante de l'enzyme α -glucosidase avec des taux d'inhibition très élevés et qui atteignent 100%. Les valeurs de IC₅₀ sont beaucoup inférieures par rapport à celles des standards. Cette activité très élevée pourrait être due à l'acclimatation de nos espèces exotiques aux conditions locales.

Syzygium cumini et *Psidium guajava* sont largement utilisés dans le système traditionnel de médecine pour traiter le diabète en Inde. Les extraits aqueux des graines de *S. cumini* et les des feuilles de *P. guajava* ont montré un effet inhibiteur sur l'activité α -amylase (Karthic *et al.*, 2008, De Sales *et al.*, 2012).

Le pouvoir anti-diabétique des feuilles de l'espèce *P. guajava* a été étudié dans quelques travaux. Les feuilles de cette espèce sont habituellement utilisées dans la médecine traditionnelle contre d'autres maladies. L'infusion des feuilles est utilisée comme

antispasmodique et pour les rhumatismes en Inde, comme antibiotique aux USA ou pour les plaies, les ulcères et les douleurs dentaires. La bronchite, les crises d'asthme, la toux, les maladies pulmonaires peuvent également être traitées avec des thés de goyave (Shruthi *et al.*, 2013).

En Chine, une étude multicentrique randomisée a mis en évidence l'effet sur la glycémie de *Psidium guajava* L. sur des patients d'âge moyen de 59,6 ans diabétiques depuis 5,4 ans. Ils ont reçu des capsules contenant 500 mg d'extrait aqueux de feuilles de goyavier. Les résultats montrent une hypoglycémie mais qui est moindre par rapport à la chlorpropamide et à la metformine. *Psidium guajava* L. pourrait donc être utilisé dans la prévention du diabète (Cheng et Yang, 1983, Guillouty, 2016)

Des études ont montré le rôle antidiabétique de la quercétine chez *P. guajava*. Ce flavonoïde inhibe l'activité de l'alpha-amylase et l'alpha-glucosidase, stimule l'activité de l'hexokinase hépatique et de la glucose 6-phosphate déshydrogénase (Mukhtar *et al.*, 2004, Cheng *et al.* 2009, Manikanand *et al.*, 2013, Ullah, 2019)

Concernant *Acca sellowiana*, selon la littérature, il existe peu de rapports sur l'activité inhibitrice des α -glucosidases par des feuilles ou des fruits d'extrait de cette espèce (Taghavi *et al.*, 2012).

Mosbah *et al* (2018) ont évalué l'activité de l'inhibition de l' α -glucosidase à différentes concentrations d'extrait de feuilles de *A. sellowiana* (2,5–160 μg /ml). L'inhibition maximale était de 95%, atteinte à 160 μg / ml d'extrait de feuilles. La valeur de IC_{50} était d'environ $8,0 \pm 0,2$ μg /ml et qui est trente-cinq fois plus faible que celle de l'acarbose (Mosbah *et al.*, 2018). Ces résultats sont conformes avec les nôtres car on a trouvé une IC_{50} de l'extrait chloroformique très proche ($9,21 \pm 1,25$ μg /ml) et qui est également trente fois plus faible de celle l'acarbose qu'on a utilisé comme standard.

Une recherche a été faite en Iran pour tester l'effet clinique du Feijoa sur des diabétiques de type 2. Les sujets étaient 34 hommes et femmes, âgés de 40 à 75 ans. On leur administrait du fruit de *A. sellowiana* (150 mg par jour). Le taux de glycémie à jeun, la pression artérielle, les triglycérides, l'hémoglobine glycosylée ont été mesurés et comparés au début et après 12 semaines. Les résultats ont révélé que la glycémie à jeun, la pression artérielle, l'hémoglobine glycosylée et les triglycérides ont diminué par rapport aux témoins. Les chercheurs ont conclu que le Feijoa améliore le contrôle de l'hyperglycémie chez les patients diabétiques et réduit le

risque de maladies vasculaires chez les patients atteints de diabète de type 2 (Taghavi *et al.*, 2012).

Cette activité antidiabétique intéressante peut être due à la richesse en composés phénoliques, flavonoïdes et triterpénoïdes de l'extrait de feuilles de Feijoa, qui sont connus comme agents antidiabétiques (De Sales *et al.*, 2012). Des corrélations importantes existent entre le total phénolique (TPC) et l'inhibition de l'alpha glucosidase chez *A. sellowiana* (Annexe 9).

Pour le Jamblon (*Syzygium cumini*), les études sont très nombreuses et majoritairement réalisées *in vivo*. C'est un arbre fruitier très utilisé, surtout par ses graines, en médecine traditionnelle dans les pays tropicaux et subtropicaux, principalement contre le diabète.

Les rapports historiques indiquent qu'avant la découverte de l'insuline, le jamblon a été utilisé dans le traitement du diabète en Inde et autres pays (Baliga *et al.*, 2011).

La mycaminose est un composé isolé des graines de *S. cumini*. L'administration orale de ce composé (50 mg / kg), de l'extrait d'acétate d'éthyle (200 mg / kg) et de l'extrait de méthanol (400 mg / kg) des fruits et des feuilles de *S. cumini* ont réduit la glycémie des rats diabétiques (Kumar *et al.*, 2008).

Le potentiel thérapeutique anti-diabétique de la fraction d'acétate d'éthyle de l'extrait hydro-méthanolique des graines de *S. cumini* a été étudiée chez le rat atteint d'un diabète induit par la streptozotocine. Il a été révélé que cet extrait a un effet anti-hyperglycémiant et antioxydants contre le diabète sucré et le stress oxydatif par deux composés phénoliques isolés (Chatterjee *et al.*, 2012).

Une étude récente en Inde, a été réalisée par Prabakaran et Shanmugavel (2017) pour évaluer les composés bioactifs de l'extrait des graines de *S. cumini* et son activité anti-diabétique *in vitro*. Le criblage phytochimique a montré une quantité appréciable de flavonoïdes et de stéroïdes. L'extrait présente l'augmentation de l'effet inhibiteur sur l'enzyme alpha-amylase jusqu'à 95,4%. Le résultat suggère qu'une quantité importante de flavonoïdes dans les graines de *S. cumini* est responsable des propriétés antidiabétiques.

Un glycoside dans la graine, la jamboline, est considéré comme ayant des propriétés antidiabétiques (Dagadkhair *et al.*, 2017).

L'administration orale de 50 et 100 mg / kg d'extraits aqueux et méthanoliques des feuilles de *S. cumini* chez les rats avec un diabète induit par l'alloxane monohydraté pendant 21 jours a donné une réduction importante de la glycémie (Deb *et al.*, 2013).

En Indonésie, Saraswaty a étudié l'activité inhibitrice de l'alpha glucosidase des feuilles de 20 espèces du genre *Syzygium*. Les résultats ont montré que *S. cumini* et *S. syzygioides* ont une forte activité inhibitrice d'alpha glucosidase avec des IC₅₀ de 8,71 µg /ml et 7,48 µg /ml respectivement (Sarawaty, 2010). Nos résultats sont conformes avec cette étude et nos valeurs de IC₅₀ sont plus faibles. Cette différence pourrait être due à l'importance de la teneur en molécules bioactives, particulièrement les polyphénols et les flavonoïdes, liée à l'acclimatation de nos arbres qui ne sont pas dans leur milieu naturel.

L'hyperglycémie active plusieurs voies responsables d'un stress oxydant et de la surproduction d'ERO. Il est intéressant de noter que les ERO peuvent participer à l'installation du diabète en altérant l'action de l'insuline et en détruisant les cellules bêta du pancréas (Bonnetfont-Rousselot *et al.*, 2004). L'analyse statistique a révélé une corrélation positive importante entre l'activité antioxydante et l'activité antidiabétique chez les trois espèces étudiées. Par exemple entre chacun des tests : DPPH, Phen Assay et CUPRAC et l'activité anti- alpha glucosidase chez *P. guajava* avec $r=1,000$ et $R^2= 1,000$ (Annexe 8) et entre les deux tests DPPH et FRAP chez *A. sellowiana* et *S. cumini* avec $r=1,000$ et $R^2= 1,000$ (Annexes : 9 et 10).

L'activité anti alpha glucosidase des extraits foliaires de nos trois espèces étudiées (*Psidium guajava*, *Acca sellowiana* et *Syzygium cumini*) est très importante selon les résultats obtenus. Ces mêmes extraits ont montré des taux élevés de phénols totaux et de flavonoïdes. L'analyse statistique a montré des corrélations importantes (Annexes 8,9,10).

Les polyphénols en tant qu'inhibiteurs des α -glucosidases ont suscité un grand intérêt des chercheurs (Xiao *et al.*, 2013).

Certains flavonoïdes auraient une activité anti-hyperglycémique grâce à divers mécanismes d'action, tels que l'inhibition de l'alpha glucosidase et l'augmentation du taux d'insuline dans le sang (Sharma *et al.*, 2008).

Les composés phénoliques peuvent réduire la puissance de l' α -glucosidase par l'interaction ou l'inhibition de quelques positions dans les enzymes. De plus, les flavonoïdes sont également

connus comme de puissants bloqueurs de l'absorption du glucose et des inhibiteurs de transporteur du glucose dépendant du sodium, améliorant ainsi la tolérance au glucose (Mosbah *et al.*, 2018). Par exemple le squalène, qui est un triterpène obtenu à partir de plantes agit comme un inhibiteur de l'alpha glucosidase et peut augmenter la sécrétion d'insuline (Widyawati *et al.*, 2015).

Xiao *et al* (2013) ont résumé les travaux de recherches qui ont étudié la relation entre la structure de plusieurs polyphénols et leur activité inhibitrice de l'alpha glucosidase. Les composés à forte inhibition sont : les flavonoides hydroxylés (flavonols) comme les catéchines, les glycosides, les oligomères de pro anthocyanidines, les acides caféoylquiniques, l'acide hydroxycinnamique, les chalcones.

2.4- Activité photoprotectrice et détermination du facteur de protection solaire (SPF)

La mesure du SPF est un moyen efficace de déterminer l'efficacité de la formulation de protection solaire. Plus le SPF est élevé, plus une protection contre les rayons UV est offerte par un écran solaire.

Dans notre étude, le SPF des extraits foliaires de trois espèces (*Psidium guajava*, *Acca sellowiana* et *Syzygium cumini*) a été évalué *in vitro* par spectrophotométrie UV en appliquant l'équation mathématique de Mansur *et al.*, (1986). Les valeurs de SPF obtenues sont présentées sur le tableau 44.

Tableau 44 – Résultats du SPF mesuré des trois extraits foliaires des espèces étudiées.

Espèce Extrait	<i>Psidium guajava</i>	<i>Acca sellowiana</i>	<i>Syzygium cumini</i>	Référence 1*	Référence 2*
EChl	48,42± 0,00	47,65± 0,62	46,71± 0,35	44,22±0,35	50,11±0,53
EAcE	48,43± 0,00	48,45± 0,00	48,42± 0,00		
EBut	46,65± 0,57	48,41± 0,00	47,86± 0,34		

* Standard

EChl: Extrait chloroformique

EAcE : Extrait d'acétate d'éthyle

EBut : Extrait butanolique

Les résultats obtenus montrent des valeurs importantes du facteur de protection solaires chez les trois espèces étudiées et pour chaque fraction de l'extrait (chloroformique, d'acétate d'éthyle et butanolique).

En se référant à la catégorisation des photoprotecteurs (Tableau 9), tous les extraits des trois espèces montrent une haute protection solaire. Les valeurs obtenues sont comprises entre 46,65 et 48,45 avec des maximums donnés par l'extrait d'acétate d'éthyle des trois espèces. Ces résultats sont plus élevés que la référence 1 et très proches de la référence 2.

Le rayonnement ultraviolet est divisé en trois catégories : UV-A (320–400 nm), UV-B (290–320 nm), et UV-C (200–290 nm). L'exposition prolongée à ces radiations peut générer des effets nocifs pouvant causer plusieurs affections cutanées (en particulier le rayonnement UV-B) comme l'érythème, les coups de soleil, dommages à l'ADN et vieillissement prématuré de la peau. Ces rayons conduisent également à la formation des espèces réactives de d'oxygène ROS (Lefahal *et al.*, 2018).

Récemment, des extraits de plantes aux propriétés antioxydantes ont été utilisés dans le domaine phytocosmétique pour fabriquer des écrans solaires. En fait, ils comprennent des ingrédients qui pourraient inactiver les ROS et prévenir l'érythème et le vieillissement prématuré de la peau (Reis Mansura *et al.*, 2016).

L'analyse statistique montre une corrélation positive entre les différents tests antioxydants et le SPF (Annexes 8, 9 et 10). Par exemple entre le DPPH et le SPF chez *A. sellowiana* ($r = -0,999$, $R^2 = 0,998$) et chez *S. cumini* ($r = -0,953$, $R^2 = 0,909$).

En comparant les valeurs du SPF des extraits foliaires de nos trois espèces étudiées : *Psidium guajava*, *Acca sellowiana* et *Syzygium cumini*, aux valeurs indiquées au tableau 10, il est évident que les trois fractions des extraits bloquent environ 98% des rayons UV. Cette activité photoprotectrice très importante peut être due à la présence des polyphénols, en particulier les flavonoïdes dans nos extraits. L'analyse statistique révèle que la teneur en phénols totaux (TPC) est corrélée positivement avec le facteur de protection solaire (SPF), par exemple chez *S. cumini* (Annexe 10) les coefficients de corrélation sont ($r = 0,970$, $R^2 = 0,942$).

Les études faites sur la photoprotection des extraits foliaires du goyavier, du Feijoa ou du jamblon sont très rares.

Récemment, des chercheurs au Brésil ont étudié l'efficacité photoprotectrice *in vitro* de l'extrait du fruit du goyavier (*P. guajava*). L'extrait a donné un SPF plus important de celui de la référence de 17,99%. La même étude a montré l'activité antioxydante du fruit de *P. guajava* et la présence de métabolites secondaires tels que les phénols et les flavonoïdes (Milani *et al.*, 2018).

Ebrahimzadeh *et al* (2014) ont évalué les effets protecteurs contre les rayons UV de 20 extraits de quatre plantes médicinales communes. Leurs teneurs en phénol et flavonoïdes et leurs activités antioxydantes ont été déterminés. Les SPF étaient compris entre 0,102 et 24.470. La valeur la plus élevée a été atteinte avec l'extrait ultrasonique de *Crataegus pentagyna* (SPF= 24,47) suivi d'un extrait méthanolique du fruit de *Acca sellowiana* (SPF = 1,30). Il y avait une bonne corrélation entre le SPF et le contenu phénolique.

Une étude récente sur les feuilles du jambon (*S. cumini*) a donné une valeur de SPF de 13 ± 2.9 . Ce résultat comparé à la référence (7 ± 1.7) était élevé. Cette activité photoprotectrice a été expliquée par la richesse des feuilles de cette espèce en polyphénols et flavonoïdes (Lima *et al.*, 2019). Selon l'article de revue de littérature de Ramya *et al* (2012), *S. cumini* contient plusieurs composés phénoliques à effet photoprotecteur, à savoir l'acide ellagique, l'acide gallique, l'acide oléalonique et la quercétine.

Les polyphénols, particulièrement les flavonoïdes, agissent comme des catalyseurs en phase légère de la photosynthèse et comme protecteurs contre le stress oxydatif dans les cellules végétales en piégeant les espèces réactives de l'oxygène (ROS). Les flavonoïdes naturels ont la photoprotection potentielle en raison de leur absorption des UV, de leur capacité à agir comme antioxydants directs et indirects ainsi comme agents anti-inflammatoires et immunomodulateurs qui fournissent des plateformes très intéressantes pour le développement de la photoprotection (Saewan et Jimtaisong, 2013). Par exemple, une étude a montré que la quercétine prévient les dommages causés aux plantes par les rayons UV, Il y a eu une augmentation de la biosynthèse ce flavonoïde après exposition aux rayonnements UV-B (Solovchenko et Schmitz-Eiberger, 2003).

Les flavonoïdes et les composés phénoliques ont été signalés comme des composants fonctionnels dans les plantes et les fruits, qui jouent un rôle important dans le traitement des inflammations et des érythèmes. La propriété antioxydante des flavonoïdes et des composés phénoliques potentialise encore la protection UV (Saewan et Jimtaisong, 2013).

Conclusion

générale

Conclusion générale

Les différents jardins de l'ancienne école régionale d'agriculture de Skikda abritent un grand nombre d'espèces fruitières exotiques qui sont mal connues et non étudiées en Algérie. Ces espèces, d'origine tropicale et subtropicale, ont montré une acclimatation aux conditions locales de la région et méritent une attention particulière en Algérie.

Un recensement de ces espèces au niveau du jardin botanique, du jardin de la villa d'hôtes et du jardin exotique nous a permis de dénombrer et d'identifier trente-et-une espèces fruitières exotiques différentes, de préciser l'origine de chaque espèce, le nombre d'arbres plantés et l'année de la plantation. Il a été constaté l'existence d'une menace continue de disparition de ces espèces à cause de plusieurs contraintes, principalement l'urbanisation de la région et le mauvais entretien. Néanmoins, des moyens de sauvegarde sont utilisés pour faire face à la déperdition de ces espèces et différentes méthodes de multiplications végétatives sont pratiquées avec des taux de réussite remarquables.

Trois espèces fruitières tropicales de la famille des Myrtacées sont choisies comme modèle pour une étude *in-vitro* : le goyavier (*Psidium guajava* L.), le Feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg.) Burret) et le jambon (*Syzygium cumini* L. Skeels). L'aspect phytochimique de ces espèces a été étudié pour évaluer leur richesse en métabolites secondaires, ces derniers jouent un rôle important dans la résistance aux différents stress biotiques et abiotiques et dans l'acclimatation.

En plus du taux très élevé en composés phénoliques et en flavonoïdes, les extraits foliaires des trois espèces étudiées ont montré une activité antioxydante très intéressante. Ce pouvoir antioxydant a été estimé par différentes méthodes visant chacune un mécanisme d'inhibition des espèces réactives d'oxygènes (ROS). L'espèce *P. guajava* a montré un pouvoir de piégeage des radicaux libres DPPH et ABTS très élevé, les valeurs de IC₅₀ étant inférieures à celles des standards. Cette même espèce a donné des résultats très positifs dans les différents tests de réduction. Les deux espèces *A. sellowiana* et *S. cumini* ont montré également un pouvoir de piégeage des radicaux libres et surtout un pouvoir réducteur du fer et du cuivre révélé par les tests FRAP et CUPRAC.

L'étude de l'activité inhibitrice de deux enzymes clés de la maladie d'Alzheimer, à savoir l'acétylcholinestérase et la butyrylcholinestérase, a révélé un potentiel remarquable des trois espèces dans le traitement de cette maladie neurodégénérative. Les valeurs enregistrées de la

IC₅₀ étaient parfois inférieures au galantamine utilisé comme médicament chez les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer.

L'effet antidiabétique des extraits foliaires des trois espèces étudiées s'est avéré trop élevé, les résultats du pourcentage d'inhibition ayant atteint 100% pour des concentrations très réduites de l'extrait (125 µg/ml). Bien que l'espèce *S. cumini* soit connue pour son effet antidiabétique dans les pays d'origine en Asie, ce sont surtout ses graines qui ont été toujours utilisées. Nos résultats sur ses feuilles, rarement utilisées contre le diabète, permettraient d'élargir l'utilisation du *S. cumini* pour ses propriétés antidiabétiques. Notre étude a révélé également des propriétés antidiabétiques spectaculaires des feuilles de *Psidium guajava* et *Acca sellowiana*.

D'autre part, on a évalué un autre paramètre à intérêt pharmaceutique, à savoir le pouvoir photoprotecteur, particulièrement contre les rayons ultraviolets. L'estimation du facteur de protection solaire (SPF) a dévoilé un effet photoprotecteur très élevé des extraits foliaires des trois espèces étudiées. Toutes les valeurs enregistrées de cet indice étaient supérieures à 46 ce qui classe les extraits foliaires de *P. guajava*, *A. sellowiana* et *S. cumini* dans la catégorie des formulations à haute protection solaire. Ce résultat peut amener à l'exploitation des feuilles de ces espèces dans la fabrication des écrans antisolaires.

Il existe un lien très étroit entre tous ces paramètres étudiés. L'analyse statistique nous a permis de confirmer l'hypothèse du rôle direct des polyphénols dans l'activité antioxydante, anti-Alzheimer, antidiabétique et photoprotectrice. Des corrélations positives importantes sont enregistrées.

En se référant à d'autres études faites sur ces mêmes espèces dans leur milieu naturel, on constate que les résultats obtenus par quelques tests sont plus importants. On suppose que cette différence serait causée par l'acclimatation et l'exposition prolongée de ces espèces exotiques aux stress, notamment hydrique et oxydatif.

En perspectives, il serait intéressant de :

- Approfondir l'étude phytochimique de ces espèces par une identification des différents polyphénols présents dans les extraits.
- Elargir l'étude aux autres parties de la plante, notamment les fruits, les graines et l'écorce.

- Faire une étude *in-vivo* de l'activité anti- Alzheimer et antidiabétique des extraits des espèces étudiées pour évaluer l'effet clinique.
- Evaluer le potentiel de ces espèces dans le traitement d'autres maladies comme les maladies d'origine microbienne et ce, par l'étude de l'activité antibactérienne et antifongique.
- Valoriser d'autres espèces fruitières exotiques de l'ancienne école d'agriculture de Skikda en évaluant leur aspect phytochimique et physiologique pour mieux comprendre leurs mécanismes d'adaptation.

Références bibliographiques

1. **Adhikamsetty R.K., Gollapalli N.R., and Jonnalagadda S.B. (2008).** Complexation kinetics of Fe²⁺ with 1,10-phenanthroline forming ferroin in acidic solutions. *International Journal of Chemical Kinetics*. 40: 515-523.
2. **Ajiboye B.O., Ojo O.A., Akuboh O.S., Okesola M.A., Idowu O.T., Oyinloye B.E. and Talabi J.Y.(2017).** The Protective Effect of Polyphenol-Rich Extract of *Syzygium cumini* Leaves on Cholinesterase and Brain Antioxidant Status in Alloxan-Induced Diabetic Rats. *Jordan Journal of Biological Sciences*. 11(2): 163-169.
3. **Al Achi A. (2005).** Herbs that affect blood glucose levels. *Women's Health in Primary Care*. 8(7): 325-330.
4. **Alikatte K.L., Akondi B.R., Yerragunta V.G., Veerareddy P.R. and Palle S. (2012).** Antiamnesic activity of *Syzygium cumini* against scopolamine induced spatial memory impairments in rats. *Brain Dev.* 34: 844-851.
5. **Amarante C.V.T.D, de Souza A.G., Benincá T.D.T. and Steffens C.A. (2017).** Phenolic content and antioxidant activity of fruit of Brazilian genotypes of feijoa. *Pesq. agropec. bras. Brasília*. 52(12): 1223-1230.
6. **Amarante C.V.T.D, de Souza A.G., Benincá T.D.T. and Steffens C.A. (2018).** Functional properties of feijoa fruit cultivated in southern Brazil. In: *Acta Horticulturae*. pp 941–946.
7. **Andersen Y.M. and Markham K.R. (2006).** Flavonoids: chemistry, biochemistry, and applications. Ed. CRC, Taylor & Francis, Boca Raton, FL. pp. 553-616.
8. **Anglais B. A and Webster A. A. (2011).** Chapter 132 : Acetylcholinesterase and its Inhibitors. *Primer on the Autonomic Nervous System (Third Edition)*. pp 631-633.
9. **Aniq Filali O., Elfarnini M., Abdel-hamid A.A. and Blaghen M. (2019).** Chemical composition of isoflavones compounds and antioxidants from *Feijoa sellowiana* leaves. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*. 9(1): 120-124.
10. **Anonyme (2008).** Engrais et amendement : La fertilité au jardin. Guide au jardinier amateur. la Maison de la consommation et de l'environnement (Mce) et Agrocampus – Rennes. 3ème édition. 24p.
11. **Anonyme (2014).** Publication de la Section modes de vie sains en Océanie – Fiche 10– Secrétariat général de la Communauté du Pacifique (CPS) –Nouvelle Calédonie.
12. **Apak R., Güçlü K., Ozyürek M. and Karademir S.E. (2004).** Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC method. *J Agric Food Chem*. 52(26): 7970-81.

13. **Ashrafpour M., Parsaei S. and Sepehri H. (2015).** Quercetin improved spatial memory dysfunctions in rat model of intracerebroventriculars treptozotocin-induced sporadic Alzheimer's disease. *Natl J. Physiol. Pharm. Pharmacol.* 5(5):411-5.
14. **Augustinsson K.B. (1971).** Comparative Aspects of the Purification and Properties of Cholinesterases. *B World Health Organ.* 44(1-2-3): 79-89.
15. **Augustinsson K.B. (1971).** Comparative Aspects of the Purification and Properties of Cholinesterases. *B. World Health Organ.* 44(1-2-3): 79-89.
16. **Babbar N., Oberoi H.S., Sandhu S.K. and Bhargav V.K. (2012).** Influence of different solvents in extraction of phenolic compounds from vegetable residues and their evaluation as natural sources of antioxidants. *J. Food Sci. Technol.* 51(10): 2568-75.
17. **Baessler L. (2018).** Guava Cutting Propagation. Growing Guava Trees From Cuttings. Site de jardinage. Gardening.
18. **Baily R. (1980).** Guide pratique de défense des cultures. Ed. A.C.T.A. Paris. France. 419p.
19. **Baliga M.S., Bhat H.P., Baliga B.R.V., Wilson R. and Palatty P.L. (2011).** Phytochemistry, traditional uses and pharmacology of *Eugenia jambolana* Lam. (black plum): A review. *Food Research International.* 44:1776–1789.
20. **Bandiola T.M.B., Ignacio G.B., Yunson E.G.A. and Bandiola P.D.B. (2017).** *Syzygium cumini* (L.) Skeels: a review of its phytochemical constituents, toxicity studies, and traditional and pharmacological uses. *International journal of Applied Pharmaceutical and Biological Research.* 2(6):15-23.
21. **Basharat S. (2015).** Le pouvoir antioxydant des additifs phytogéniiques. BIOMIN Holding GmbH. Austria. pp. 1-5.
22. **Battinger R. (2004).** Chaînes alimentaires et écosystèmes: dossier d'autoformation, édition educagri. 110p.
23. **Beaudeau J.L. et Durand G. (2008).** Biochimie médicale-Marqueurs actuels et perspectives. 2^{ème} édition. Edition Médecine Sciences Publications Lavoisier .Paris . 608 p.
24. **Belous O., Omarov M. and Omarova Z. (2014).** Chemical composition of fruits of a Feijoa (*F. Sellowiana*) in the conditions of subtropics of Russia. *Scientific Journal for Food Industry. Potravinarstvo.* 8(1):119-123.
25. **Benettayeb Z. (1993).** Biologie et écologie des arbres fruitiers. Ed. OPU. Alger, 140p.
26. **Benettayeb Z. (2003).** Performance de greffage des arbres fruitiers. Edition Office des publications universitaires. 64p.

27. **Benherlal P.S. and Arumughan C. (2007).** Chemical composition and *in vitro* antioxidant studies on *Syzygium cumini* fruit. J. Sci. Food Agric. 87: 2560-2569.
28. **Besle J.M., Lamaison J.L., Pradel P., Fraisse D., Viala D et Martin B. (2004).** Les flavonoïdes, des fourrages au lait. Renc. Rech . Ruminants. 11: 67-70.
29. **Beyhan O., Elmastas M. and Gedikli F. (2010).** Total phenolic compounds and antioxidant capacity of leaf, dry fruit and fresh fruit of Feijoa (*Acca sellowiana*, *Myrtaceae*). Journal of Medicinal Plants Research. 4(11): 1065-1072.
30. **Birben E., Sahiner U.M., Sackesen C., Erzurum S and Kalayci O. (2012).** Oxidative stress and antioxidant defense. World Allergy Organization Journal. 5: 5-19.
31. **Blois M.S. (1958).** Antioxidants determination by the use of a stable free radical. Nature.26: 1199-200.
32. **Bonnefont-Rousselot D., Beaudeux J., Therond P., Perynet J., Legrand A., Delattre J. (2004).** Diabète sucré, stress oxydant et produits de glycation avancée. Ann. Pharm.Fr. 62: 147-157.
33. **Bouakaz I. (2006).** Etude phytochimique de la plante *Genista Microcephala*, Mémoire de magister. 100p.
34. **Bouratoua A., Khalfallah A., Bensouici C., Kabouche Z., AlabdulMagi A.and Harakat D. (2017).** Chemical composition and antioxidant activity of aerial parts of *Ferula longipes* Coss. ex Bonnier and Maury. Nat Prod Res.32(16): 1873-80.
35. **Boursier B. (2005).** Amidons natifs et amidons modifiés alimentaires. Techniques de l'Ingénieur. 33-38.
36. **Brand-Williams W., Cuvelier M.E. and Berset C. (1995).** Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT Food Sci. Technol. 28: 25–30.
37. **Bruneton J. (1999).** Pharmacognosie, Phytochimie, Plantes médicinales, Lavoisier Technique & Documentation, 3^{ème} édition, Paris, France. 1120 p.
38. **Bruneton J. (2009).** Pharmacognosie et phytochimie des plantes médicinales. Éditions médicales internationales. 1288 p.
39. **Cacciuttolo C. (2005).** École d'Agriculture de Philippeville (E.A.P.). Archives de l'Association des Anciens Elèves des Ecoles d'Agriculture d'Algérie.
40. **Caovan P., Cottin R., Pancarte C., Placide H. (1992).** Le guide du jardin fruitier. Département des Productions Fruitières et Horticoles. CIRAD-FLHOR, Centre de Martinique. 24 p.
41. **Chadni S.H., Al Hasan A. and Zafrul Azam A.T.M. (2014).** Antimicrobial, Cytotoxic, Thrombolytic and Antioxidant Activities of *Syzygium fruticosum* (Roxb.) DC. Bangladesh Pharmaceutical Journal. 17(1): 51-54.

42. **Chalabi R. (2014).** Espèces fruitières de l'ancienne école d'agriculture de Skikda: Recensement et sauvegarde. Mémoire de magistère en Agronomie : University of Skikda, Algeria. 103p.
43. **Chalabi R. (2017).** Composition floristique des jardins de l'université 20 Août 1955, Skikda. 20 p.
44. **Champion J. (1948).** Le Feijoa : Arbre fruitier peu connu. Fruits d'Outre mer. 3(6) : 205-210.
45. **Chang Y.S. (2008).** The bioactive constituents of aqueous guava budding leaf extract and their apoptotic mechanism on DU145 prostate cancer cells. M.S. Thesis, Research Institute of Biotechnology: Hungkuang University. 100 p.
46. **Chatterjee K., Ali K.M., De D., Panda D.K. and Ghosh D. (2012).** Antidiabetic and antioxidative potencies study of ethyl acetate fraction of hydromethanolic (40:60) extract of seed of *Eugenia jambolana* Linn. and its chromatographic purification. Journal of Pharmacy Research.5(1): 696-703.
47. **Chaudhry P.S., Cabrera J., Juliani H.R. and Varma S.D. (1983).** Inhibition of human lens aldose reductase by flavonoids, sulindac and indomethacin. Biochem. Pharmacol. 32: 1995.
48. **Chen K.C., Hsieh C.L., Huang K.D., Ker Y.B., Chyau C.C., Peng R.Y. (2009).** Anticancer activity of rhamnoallosan against DU-145 cells is kinetically complementary to coexisting polyphenolics in *Psidium guajava* budding leaves. J. Agric. Food Chem. 57(14): 6114-22.
49. **Chenafi A., Monney P., Ferreira M.I., Chennafi H. et Carlen C. (2016).** L'irrigation déficitaire du pommier pour une meilleure valorisation des ressources en eau et son impact sur le statut hydrique sol-plante et le rendement. Revue Agriculture. 1: 254 - 258.
50. **Cheng F.C., Shen S.C. and Wu J.S. (2009).** Effect of guava (*Psidium guajava* L.) leaf extract on glucose uptake in rat hepatocytes. Journal of food science. 74(5): 132-8.
51. **Cheng J.T. and Yang R.S. (1983).** Hypoglycemic effect of guava juice in mice and human subjects. American Journal of Chinese Medicine. 11: 74–76.
52. **Cherrak S.A. (2017).** Etude *in vitro* de l'effet antioxydant des complexes Flavonoïdes – Métaux : Relation structure activité. Thèse de doctorat en biologie. Université de Tlemcen. 123p.
53. **Cheruiyot E.K., Mumera L.M., Ngetich W.K., Hassanali A. and Wachira F. (2007).** Polyphenols as potential indicators for drought tolerance in tea (*Camellia sinensis* L.). Biosci. Biotechnol. Biochem. 71(9): 2190-7.

54. **Chi Y. S., Jong H. G., Son K. H., Chang H. W., Kang S. S. and Kim H. P. (2001).** Effects of naturally occurring prenylated flavonoids on enzymes metabolizing arachidonic acid: cyclooxygenases and lipoxygenases. *Biochemical pharmacology*. 62: 1185-1191.
55. **Congo M. (2012).** Etude des propriétés antiradicalaire et antiproliférative d'extraits de feuilles et de rameaux de *Salvadora Persica* L. (*Salvadoraceae*). Thèse de pharmacie. Université d'Ouagadougou Burkina Faso. 120pp.
56. **Crozier A. (2003).** Classification and biosynthesis of secondary plant products: An overview. In: Goldberg G (ed) *Plants: Diet and Health*. British Nutrition Foundation, Chapman Hall, Londres . pp. 27-48.
57. **Cuny A. (2016).** Le diabète à l'Ile de La Réunion : Etude du jambon (*Syzygium cumini*), plante traditionnellement utilisée et approche du pharmacien d'officine. Thèse de doctorat en pharmacie. Université de Picardie Jules Verne. 130 p.
58. **Da Rosa J.M., Carissimi Boff M.I., Nunes M.Z., Agostinetti L. and Boff P. (2015).** Damage caused by *Conotrachelus psidii* (Coleoptera: Curculionidae) to the fruits of Feijoa (*Acca sellowiana*). *Revista Colombiana de Entomología*. 41 (1): 12-17.
59. **Dagadkhair A.C., Pakhare K.N., Dattatray Todmal A. and Andhale R.R. (2017).** Jamun (*Syzygium cumini*) Skeels: A Traditional therapeutic tree and its processed food products. *Int. J. Pure App. Biosci*. 5(5): 1202-1209.
60. **Dalai M.K., Bhadra S., Chaudhary S.K., Bandyopadhyay A., Mukherjee P.K. (2014).** Anti-cholinesterase activity of the standardized extract of *Syzygium aromaticum* L. *Pharmacognosy Magazine*.10 (38): 276-282.
61. **Darusman L.K., Wahyuni W.T. and Alwi F. (2013).** Acetylcholinesterase Inhibition and Antioxidant Activity of *Syzygium cumini*, *S. aromaticum* and *S. polyanthum* from Indonesia. *Journal of Biological Sciences*. 13: 412-416.
62. **Das H.C., Wang J.H. and Lien E. (1994).** Carcinogenicity and cancer preventing activities of flavonoides: A structure system-activity relation shipanalysis. *Journal of Food Engineering*. 69: 133-136.
63. **De Sales P.M., Souza P.M., Simeoni L.A., Magalhães P.O. and Silveira D. (2012).** α -Amylase inhibitors: a review of raw material and isolated compounds from plant source. *J Pharm. Pharm. Sci*. 15: 141-183.
64. **Deb L., Bhattacharjee C., Shetty S.R. and Dutta A. (2013).** Evaluation Of Anti-Diabetic Potential Of The *Syzygium cuminii* (Linn.) Skeels by reverse pharmacological approaches. *Bulletin of Pharmaceutical Research*. 3(3):135-45.
65. **Di Costanzo G. (2006).** Agriculture, racines. <http://ecolericade.free.fr>.

66. **Djemai Zoughlache S. (2008).** Etude de l'activité biologique des extraits du fruit de *Zizyphus lotus* L. Mémoire de magister, Université -El Hadj Lakhder, Batna. 91 p.
67. **Drouet F. (2016).** Les fruitiers rares: Le Feijoa. <http://www.fruitiers-rares.info>.
68. **Duclos M.P. (2010).** Il était une fois Philippeville. <http://marcelpaul.duclos.free.fr>.
69. **Ebrahimzadeh M. A., Hosseinimehr S. J., Hamidinia A. and Jafari M. (2008).** Antioxidant and free radical scavenging activity of *Feijoa sellowiana* fruits peel and leaves. *Pharmacologyonline*. 1:7-14.
70. **Ebrahimzadeh M.A., Taheri M.M., Ahmadpour E., Montazeri M., Sarvi S., Akbari M. and Daryani A.(2017).** Anti-Toxoplasma Effects of Methanol Extracts of *Feijoa sellowiana* , *Quercus castaneifolia* , and *Allium paradoxum*. *Journal of Pharmacopuncture*. 20(3):220-226.
71. **Ebrahimzadeha M.A., Enayatifardb R., Khalilia M., Saeedib M.G.M. and Charatic J.Y. (2014).** Correlation between Sun Protection Factor and Antioxidant Activity, Phenol and Flavonoid Contents of some Medicinal Plants. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*. 13(3): 1041-1047.
72. **ElGharras H. (2009).** Polyphenols: Food sources, properties and applications. A review. *International Journal of Food Science and Technology*. 44(12): 2512–2518.
73. **Ellman G.L., Courtney D., Andies V. and Featherstone R.M. (1961).** A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. *Biochem Pharmacol*. 7: 88-95.
74. **El-Shenawya S.M., Marzoukb M.S., El Dibc R.A., Abo Elyazed H.E., Shaffied N.M. and Moharram F.A. (2008).** Polyphenols and biological activities of *Feijoa sellowiana*. *Rev. Latinoamer. Quím*. 36(3) : 103-120.
75. **Eshwarappa. R.S.B., Iyer R.S., Subbaramaiah S.R., Austin R.S. and Dhananjaya B.L. (2014).** Antioxidant activity of *Syzygium cumini* leaf gall extracts. *BioImpacts*. 4(2): 101-107.
76. **EtindelSosso F.A., Nakamura O. and Nakamura M. (2017).** Epidemiology of Alzheimer's disease: Comparison between Africa and South America. *J. Neuro.l Neuro. Sci*. 8:3.
77. **Evreinoff V. A. (1955).** Etude pomologique sur le Feijoa. *Journal d'agriculture tropicale et de botanique appliquée*. 2 (5-6) : 323-329.
78. **Fernandes M.R.V., Dias A.L.T., Carvalho R.R., Souza C.R.F. and Oliveira W.P. (2014).** Antioxidant and antimicrobial activities of *Psidium guajava* L. spray dried extracts. *Ind. Crops Prod*. 60: 39-44.
79. **Fernández M., Caballero J., Helguera A. M., Castro E. A. and González, M. P. (2005).** Quantitative structure–activity relationship to predict differential inhibition of

- aldose reductase by flavonoid compounds. *Bioorganic & medicinal chemistry*. 13: 3269-3277.
80. Ferrali M., Signorini C., Caciotti B., Sugherini L., Ciccoli L. and Giachetti D. (1997). Protection against oxidative damage of erythrocyte membrane by the flavonoid quercetin and its relation to iron chelating activity. *FEBS letters*. 416: 123-129.
 81. Flores G., Wu S., Negrin A. and Kennelly E. (2015). Chemical composition and antioxidant activity of seven cultivars of guava (*Psidium guajava*) fruits. *Food Chemistry*. 170 :327-335.
 82. Fridovich I. (1995). Superoxide radical and superoxide dismutases. *Ann Rev Biochem*. 64: 97-112.
 83. Gargominy O., Tercerie S., Régnier C., Ramage T. et Dupont P. (2018). TAXREF v12.0, référentiel taxonomique pour la France. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris. Archive. <https://inpn.mnhn.fr>.
 84. Gasca C.A., Castillo W.O., Takahashi C.S., Fagg C.W., Magalhaes P.O. and Fonseca-Bazzo Y.M. (2017). Assessment of anti-cholinesterase activity and cytotoxicity of cagaita (*Eugenia dysenterica*) leaves. *Food Chem. Toxicol*. 109(Pt 2): 996-1002.
 85. Gerhard R. (1993). Métabolisme des végétaux, physiologie et biochimie. Lavoisier Tec and Doc, pp. 333-339.
 86. Germosen-Robineau L., Geronimo M. et Amparo C. (1984). Pharmacopée végétale caribéenne. <https://issuu.com/scduag/docs/pharmacope/300>.
 87. Ghorab H. (2017). Etude phytochimique et évaluation du potentiel biologique de *Salsola tetragona* Del. et *Traganum nudatum* Del. (*Amaranthaceae* ex. *Chenopodiaceae*). Thèse de Doctorat en Sciences. 276 p.
 88. Grab S. and Craparo A. (2011). Advance of apple and pear tree full bloom dates in response to climate change in the southwestern Cape, South Africa: 1973–2009. *Agric. For. Meteorol*. 151: 406-413.
 89. Grover J.K., Yadav S. and Vats V. (2002). Medicinal plants of India with anti-diabetic potential. *J. Ethnopharmacol*. 81: 81-100.
 90. Guillouty A. (2016). Plantes médicinales et antioxydants. Thèse pour le diplôme d'état de docteur en pharmacie. Université Toulouse. 102 p.
 91. Gülçin İ. (2012). Antioxidant activity of food constituents: an overview. *Archives of Toxicology*. 86: 345-391.
 92. Gupta G.S. and Sharma D.P. (1974). Triterpenoid and other constituents of *Eugenia jambolana* leaves. *Phytochemistry*. 13: 2013-2014.

93. **Gutierrez R.M., Mitchell S. and Solis R.V. (2008).** *Psidium guajava*: a review of its traditional uses, phytochemistry and pharmacology, J Ethnopharmacol. 117(1): 1-27.
94. **Hacibekiroglu I. and Kolak U. (2015).** Screening antioxidant and anticholine-sterase potential of *Iris albicans* extracts. Arab J. Chem. 8(2): 264-8.
95. **Haleng J., Pincemail J., Defraigne J.O., Charlier C., Chapelle J.P. (2007).** Le stress oxydant. Rev. Med. Liege. 62(10) : 628-638.
96. **Harborne J. B. and Williams C. A. (2000).** Advances in flavonoid research since 1992. Phytochemistry. 55: 481-504.
97. **Hardy P.J. and Michael B.J. (1970).** Volatile components of feijoa fruits. Phytochemistry. 9(6): 1355-1357.
98. **Hartmann T. (2007).** Fromwasteproducts to ecochemicals,fiftyyearsresearch of plant secondarymetabolism. Phytochemistry. 68: 2831–2846.
99. **Hedstrom I. (1988).** Pollen carriers and fruit development of *Psidium guajava* L. (Myrtaceae) in the Neotropical region. Rev. Biol. Trop. 36 (2B): 551-553.
- 100.**Heim K. E., Tagliaferro A. R. and Bobilya D. J. (2002).** Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. The Journal of nutritional biochemistry. 13: 572-584.
- 101.**Hennebelle T., Sahpaz S. et Bailleul F. (2004).** Polyphénols végétaux, sources, utilisations et potentiel dans la lutte contre le stress oxydatif. Phytothérapie. 1: 3-6.
- 102.**Hernández I., Alegre L., Van Breusegem F. and Munné-Bosch S. (2009).** How relevant are flavonoids as antioxidants in plants? Trends in Plant Science, 14 (3): 125–132.
- 103.**Heuzé V., Tran G., Bastianelli D. and Lebas F. (2015).** Guava (*Psidium guajava*). Feedipedia, Animal Feed Resources Information System a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. <http://www.feedipedia.org/node>.
- 104.**Howard A. (1944).** An agricultural testament. Oxford University Press. London and New York. Copyright 1943 by Oxford University Press, Inc. 297p.
- 105.**Hsieh C.L., Huang C.N., Lin Y.C. and Peng R.Y. (2007).** Molecular action mechanism against apoptosis by aqueous extract from guava budding leaves elucidated with human umbilical vein endothelial cell (HUVEC) model. J Agric Food Chem. 55(21): 8523-33.
- 106.**Huffman L. (2018).** Risques liés aux conditions climatiques : Stratégies pour atténuer les risques d'humidité insuffisante. <http://www.omafr.gov.on.ca>.
- 107.**Ichai C., Quintard H. et Orban J.C. (2011).** Désordres métaboliques et reanimation. Springer. pp.427-439.

108. **Jabir N.R., Khan F.R. and Tabrez S. (2018).** Cholinesterase targeting by polyphenols: A therapeutic approach for the treatment of Alzheimer's disease. *CNS Neurosci. Ther.* 24(9):753-762.
109. **Jang M., Jeong S.W., Cho S.K., Ahn K.S., Kim B.K. and Kim J.C. (2013).** Anti-inflammatory effects of 4 medicinal plant extracts in lipopolysaccharide-induced RAW 264.7 cells. *Food Sci Biotechnol.* 22(S): 213-20.
110. **Janon-Rossier C. (1966).** Ces maudits colons : cent trente-deux années d'économie française en Algérie. Edition : Table ronde. 258p.
111. **Jimenez E.A., Rincon M., Pulido R. and Saura C.F. (2001).** Guava fruit as a new source of antioxidant dietary fibre. *J. Agric. Food Chem.* 49: 5489-93.
112. **Johnson T.O., Ermolieff J. and Jirousek M.R. (2002).** Protein tyrosine phosphatase 1B inhibitors for diabetes. *Nat. Rev. Drug Discov.* 1: 696–709.
113. **Kabieche M. (2009).** Activité biochimique des extraits flavonoïdiques de la plante *Ranunculus repens* L : effet sur le diabète expérimental et l'hépatotoxicité induite par l'Epirubicine. Thèse de Doctorat en Sciences. Université Mentouri Constantine. 143pp.
114. **Kabiri S., Gheybi F., Jokar M. and Basiri S. (2016).** Antioxidant activity and physicochemical properties of fresh, dried and infused herbal extract of Feijoa Fruit. *Nature and Science.* 14(12): 64-70
115. **Kafle A., Mohapatra S.S., Reddy I. and Chapagain M. (2018).** A review on medicinal properties of *Psidium guajava*. *Journal of Medicinal Plants Studies.* 6(4): 44-47.
116. **Kamath J.V., Rahul N, Kumar C. K. A. and Mohana Lakshmi S. (2008).** *Psidium guajava* L.: A review. *International Journal of Green Pharmacy.* 2 (1): 9-12.
117. **Karthic K, Kirthiram K.S, Sadasivam S. and Thayumanavan B. (2008).** Identification of α - amylase inhibitors from *Syzygium cumini* Linn. seeds. *Indian J. Exp. Biol.* 46: 677-680.
118. **Kawakami Y., Nakamura T., Hosokawa T., Suzuki-Yamamoto T., Yamashita H. and Kimoto M. (2009).** Antiproliferative activity of guava leaf extract via inhibition of prostaglandin endoperoxide H synthase isoforms. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids.* 80 (5-6): 239-45.
119. **Keles H., Ince S., Küçükkurt I., Tatli I.I., Küpeli Akkol E., Kahraman C. and Demirel H.H. (2012).** The effects of *Feijoa sellowiana* fruits on the antioxidant defense system, lipid peroxidation, and tissue morphology in rats, *Pharmaceutical Biology.* 50(3): 318-325.
120. **Kessira M. (2005).** Gestion de l'irrigation avec les eaux non conventionnelles. *Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens.* 66: 203- 216.

121. Khan M., Alam A., Khan K.M., Salar U., Chigurupati S., Wadood A., Ali F., Mohammad J.I., Riaz M. and Perveen S. (2018). Flurbiprofen derivatives as novel α -amylase inhibitors: Biology-oriented drug synthesis (BIODS), *in vitro*, and *in silico* evaluation. *Bioorganic Chemistry*. 81: 157-167.
122. Kim D., Jeond S. and Lee C. (2003). Antioxidant capacity of phenolic phyto-chemicals from various cultivars of plums. *Food Chem*. 81: 321-6.
123. Kim H., Pham H. and Ziboh V. (2001). Flavonoids differentially inhibit guinea pig epidermal cytosolic phospholipase A2. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids (PLEFA)*. 65: 281-286.
124. Kini F., Saba M., Tits L., Angelot and Guisson P.I. (2008). Analyse par chromatographie et par spectrométrie électronique des extraits de feuilles de *Odontonemestricum* (Acanthaceae). Mise en évidence de flavonoïdes du type flavone. *J. Soc. Ouest-Afr. Chim*, 25: 117-121.
125. Kitphati W., Wattanakamolkul K., Lomarat P., Phanthong P., Anantachoke N., Nukoolkarn V. (2012). Anticholinesterase of essential oils and their constituents from Thai medicinal plants on purified and cellular enzymes. *JAASP*. 1(1):58-67.
126. Krishna D., Chaluvadi M., Raj N. and Sripal R. (2001). Bioflavonoids classification, pharmacological, biochemical effects and therapeutic potential. *Indian Journal of Pharmacology*. 33: 2-16.
127. Kulbat K. (2016). The role of phenolic compounds in plant resistance. *Biotechnol. Food Sci*. 80(2): 97-108.
128. Kumar A. (2018). How can 1,10-Orthophenanthroline act as an organometallic ligand. www.quora.com.
129. Kumar A., Anu A., Mohan A., Sharma N.R. and Rehman H. (2017). Antibacterial, Antioxidant analysis of Phytochemical Extracts derived from seeds of *Syzygium cumini* L. against Pathogenic Bacteria. *Research J. Pharm. and Tech*. 10(8): 2707-2712.
130. Kumar A., Ilavarasan R., Jayachandran T., Decaraman M., Aravindhnan P., Padmanabhan N. and Krishnan M.R.V. (2009). Phytochemicals Investigation on a Tropical Plant, *Syzygium cumini* from Kattuppalayam, Erode District, Tamil Nadu, South India. *Pakistan Journal of Nutrition*. 8(1): 83-85.
131. Kumar A., Ilavarasan R., Jayachandran T., Deecaraman M., Aravindhnan P., Padmanabhan M. and Krishnan M.R.V. (2008). Anti-diabetic activity of *Syzygium cumini* and its isolated compound against streptozotocin-induced diabetic rats, *J. Med. Plant Res*. 2: 246.
132. Labri S. (2009). La goyave, un fruit tropical produit à Fouka (Tipaza). Exotisme dans la Mitidja. Publié dans *Info Soir* le 01 - 02 – 2009.

133. **Labza R. et Djafri H. (2018).** Etat de la diversité végétale du jardin botanique du Hamma avec un système d'information géographique : cas du jardin au style anglais. Mémoire de Master Académique en Biodiversité et Physiologie Végétale. Université Mohamed Boudiaf - M'sila, Algérie. 101p.
134. **Laguerre M., Lopez-Giraldo L.J., Lecomte J., Pina M and Villeneuve P. (2007).** Outils d'évaluation *in vitro* de la capacité antioxydante. Oilseeds and fats. Crops and lipids. 14(5): 278-292.
135. **Le Bourdellés J. et Estanove P. (1967).** La goyave aux Antilles. Fruits. 22 (9): 397-412.
136. **Lebbal A. (2008).** La goyave fait fureur à Fouka : La goyave, le fruit des prophètes. Revue électronique, Tipaza.
137. **Lee J., Koo N. and Min D.B. (2004).** Reactive oxygen species, aging, and antioxidative nutraceuticals . Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safty. 3: 21-33.
138. **Lefahal M., Zaabat N., Ayad R., Makhloufi E.H., Djarri L., Benahmed M., Laouer H., Nieto, G. and Akkal S. (2018).** In vitro assessment of total phenolic and flavonoid contents, antioxidant and photoprotective activities of crude methanolic extract of aerial parts of *Capnophyllum peregrinum* (L.) Lange (*Apiaceae*) Growing in Algeria. Medicines. 5(2): 26.
139. **Legave J.M. (2007).** Les impacts du réchauffement global sur la phénologie des arbres fruitiers et de la vigne : quelles conséquences agronomiques ? Journées Techniques Fruits & Légumes Biologiques, Caen. pp 1-8.
140. **Leopoldini M., Russo N. and Toscano M. (2011).** The molecular basis of working mechanisms of natural polyphenolic antioxidants. Food chemistry. 125 (2): 288-306.
141. **Levingston R. et Zamora R. (1983).** Arbres médicinaux sous les tropiques. Revue internationale des forêts et des industries forestières. 35(140) : 9-13.
142. **Levrault J., Iwase H., Shao Z.H., Vanden Hoek T.L. and Schumacker P.T. (2003).** Cell death during ischemia: relationship to mitochondrial depolarization and ROS generation. Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol. 284: 549-58.
143. **Lima R.M., Polonini H.C., Brandão M.A.F., Raposo F.J., Dutra R.C. and Raposo N.R.B. (2019).** In vitro Assessment of Anti-aging Properties of *Syzygium cumini* (L.) Leaves Extract. Biomedical Journal of Scientific & Technical Research. 13(4): 1085-10191.
144. **Lisan B. (2017).** Fiche représentative de l'arbre *Syzygium cumini*. 17 p.
145. **Liu R., Li D., Li H. and Tang Y. (2008).** Response surface modeling the significance of nitrogen source on the cell growth and Tuber polysaccharides production by submerged cultivation of chinese truffle *Tuber sinense*, Process biochemistry. pp 868-876 .

146. **Lordan S., Smyth T.J., Soler-Vila A., Stanton C. and Ross R.P. (2013).** The alpha-amylase and alpha-glucosidase inhibitory effects of Irish seaweed extracts. *Food Chemistry*. 141: 2170-2176.
147. **Louis S. (2004).** Diversité structural et activité biologique des Albumines sentomotoxiques de type 1b des légumineuses. Thèse de doctorat. Lyon. 259p.
148. **Maaoui M. (2014).** Atlas des plantes ornementales des Ziban. Station de bio ressources El Outaya. 341p.
149. **Macheix J.J., Fleuriet A. et Jay-Allemand C. (2005).** Les composés phénoliques des végétaux : un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. Ed. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne. pp. 4-5.
150. **Mahmoud I.I., Marzouk M.S., Moharram F.A., El-Gindi M.R. and Hassan A.M. (2001).** Acylated flavonol glycosides from *Eugenia jambolana* leaves. *Phytochemistry*. 58: 1239-1244.
151. **Maillet J. (1981).** Evolution des peuplements dans le Montpellierais sous la pression de techniques culturales. Thèse de docteur ingénieur, U.S.T.L, Montpellier. 200p.
152. **Manikanand R., Anand A.V. and Muthumani G.D.(2013).** Phytochemical and in vitro anti-diabetic activity of methanolic extract of *Psidium guajava* leaves. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci*. 2(2): 15-19.
153. **Mansur J.S., Breder M.N.R., Mansur M.C.A. and Azulay R.D. (1986).** Determinação do fator de proteção solar por espectrofotometria. *Brazilian Annals of Dermatology*, Rio de Janeiro. 61: 121-124.
154. **Marco G.J. (1968).** A rapid method for evaluation of antioxidants. *J Am Oil Chem Soc*.45: 594-8.
155. **Márquez-García B., Fernández M.Á. and Córdoba F. (2009).** Phenolics composition in *Erica* sp. differentially exposed to metal pollution in the Iberian Southwestern Pyritic Belt. *Bioresource Technology*. 100: 446–451.
156. **Martin C., Carré M. Et Vernoy R. (1983).** La multiplication végétative in vitro des végétaux ligneux cultivés : cas des arbres fruitiers et discussion générale. *Agronomie*, EDP Sciences. 3(4): 303-306.
157. **Meghzili H., (2015).** Modèles d'aménagement et d'urbanisation des zones d'expansion touristique de la wilaya de Skikda (Algérie). Thèse de doctorat : Université de Bretagne Occidentale, Brest (France). 332p.
158. **Metwally A. M., Omar A. A., Ghazy N. M., Harraz F. M. and El Sohafy S. M. (2011).** Monograph of *Psidium guajava* L. leaves. *Pharmacognosy Journal*. 3 (21): 89-104.

159. **Middleton E. (1996).** Biological properties of plant flavonoids an overview. *Int. J. Pharmacol.* 34 (5): 344-348.
160. **Milani L. P.G., Garcia N.O.S., Morais M.C., Dias A.L.S., Oliveira N.L. and Conceição E.C. (2018).** Extract from byproduct *Psidium guajava* standardized in ellagic acid: additivation of the in vitro photoprotective efficacy of a cosmetic formulation. *Revista Brasileira de Farmacognosia* 28: 692-696.
161. **Mir Q.Y., Ali M. and Alam P. (2009).** Lignan derivatives from the stem bark of *Syzygium cumini* (L) Skeels. *Natural Product Research.* 23(5): 422-30.
162. **Mohamed A.A., Ali S.I. and El-Baz F.K. (2013).** Antioxidant and Antibacterial Activities of Crude Extracts and Essential Oils of *Syzygium cumini* Leaves. *PLoS ONE.* 8(4): 1-7.
163. **Mohamed A.A., Khalil A.A. and El-Beltagi H.E.S. (2010).** Antioxidant and antimicrobial properties of kaff maryam (*Anastatica hierochuntica*) and doum palm (*Hyphaene thebaica*). *Grasas Y Aceites.* 61: 67–75.
164. **Mokhtari M., Jackson M.D., Brown A.S., Ackerley D.F., Ritson N.J., Keyzers R.A. and Munkacsi A.B. (2018).** Bioactivity-Guided Metabolite Profiling of Feijoa (*Acca sellowiana*) Cultivars Identifying 4Cyclopentene-1,3-dione as a Potent antifungal inhibitor of chitin synthesis. *J. Agric. Food Chem.* 66 (22): 5531–5539.
165. **Mookerjee B.K., Lee T.P., Logue G.P., Lippes H.A., and Middleton E. (1986).** The effects of flavonoids on human lymphocyte proliferative responses. *Prog. Clin. Biolo. Res.* 213: 51.
166. **Morton J. F. (1987).** Fruits of warm climates. Florida Flair Books, Miami. 2997p.
167. **Mosbah H., Louatib H., Boujbihaa M.A., Chahdouraa H., Snoussic M., Flaminid G., Ascrizzid R., Bouslemaf A., Achoura L. and Selmia B. (2018).** Phytochemical characterization, antioxidant, antimicrobial and pharmacological activities of *Feijoa sellowiana* leaves growing in Tunisia. *Industrial Crops & Products.* 112: 521–531.
168. **Mouffouk C., Hambaba L., Haba H., Mouffouk S., Bensouici C., Mouffouk S. (2018).** Acute toxicity and in vivo anti inflammatory effects and *in vitro* antioxidant and anti-arthritic potential of *Scabiosa stellate*. *Orient Pharm Exp Med.* 18: 335–348.
169. **Moyou E. (2018).** Prévalence du diabète dans le monde 2017-2045. <https://fr.statista.com>.
170. **Moyou E. (2019).** Production de fruits par type en Algérie 2016-2017. <https://fr.statista.com>.
171. **Mukherjee P.K., Kumarb V., Malb M. and Houghtona P.J. (2007).** Acetylcholinesterase inhibitors from plants. *Phytomedicine.* 14: 289-300.

172. **Mukhtar H.M., Ansari S.H., Ali M., Naved T. and Bhat Z.A. (2004).** Effect of water extract of *Psidium guajava* leaves on alloxan-induced diabetic rats. *Die Pharmazie-An International Journal of Pharmaceutical Sciences*. 22(11): 1458-1464.
173. **Muller L., Gnoyke S., Popken A.M. and Bohm V. (2010).** Antioxidant capacity and related parameters of different fruit formulations. *LWT-Food Sci Technol*. 43(6): 992-9.
174. **Murraya A.P., Faraonia M.B., Castroa M.J., Alzaa N.P. and Cavallarova V. (2013).** Natural AChE Inhibitors from Plants and their Contribution to Alzheimer's Disease Therapy. *Current Neuropharmacology*. 11: 388-413.
175. **Narayana K.R., Reddy M.S., Chaluvadi M.R and Krishna D.R. (2001).** Bioflavonoides classification, pharmacological, biochemical effects and therapeutic potential. *Indian journal of pharmacology*. 33: 2-16.
176. **Nedjraoui D. (2012).** Algérie : Inventaire sur le secteur agricole. <https://www.academia.edu>.
177. **Nivot N. (2005).** Essais de germination et de bouturage de six espèces indigènes sciaphytes du Canada. Mémoire pour l'obtention du grade de maître ès sciences (M.Sc.). Université Laval. Québec. 129 p.
178. **Noomrio M. H. and Dahot M. U. (1996).** Nutritive value of *Eugenia jambosa* fruit. *Journal of Islamic Academy of Sciences*. 9(1): 9-12.
179. **Norhidayah A., Babji A.S., Shazali M.S., Norazmir M.N. and Norazlanshah H. (2011).** Effects of Mango (*Mangifera indica* L.) and Guava (*Psidium guajava* L.) Extract on Frozen Chicken Meat Balls' Storage Quality. *Pak. J. Nutr.* 10(9):879-83.
180. **Nourhashémi F. (2006).** Actualités et perspectives thérapeutiques de la maladie d'Alzheimer. *La Revue de Médecine Interne*. 27(8): 585-587.
181. **Oliveira G.L.S., Almeida R.C., Brito M.F.F. and Oliveira F.J.W.G. (2012).** Study of anticholinesterase activity of the plant *Campomanesia lineatifolia* (Myrtaceae). *Pharmacologyonline*. 1:108-111.
182. **Orwa C., Mutua A., Kindt R., Jamnadass R. and Anthony S. (2009).** Agroforestry Database: a tree reference and selection guide. Version 4.0. <http://www.worldagroforestry.org/sites/treedbs/treedatabases.asp>
183. **Owen P.L. and Johns T. (1999).** Xanthine oxidase inhibitory activity of northeastern North American plant remedies used for gout. *Journal of ethnopharmacologie*, 64: 149-160.
184. **Oyaizu M. (1986).** Studies on products of browning reactions: antioxidative activities of browning reaction prepared from glucosamine. *Japanese Journal of Nutrition*. 44: 307–315.

- 185.Özyürek M., Güçlü K. and Apak R. (2011). The main and modified CUPRAC methods of antioxidant measurement. TrAC Trends in Analytical Chemistry. 30(4): 652–664.
- 186.Parle M. and Broka E. (2010). Guava: A promising memory enhancer in rodents. Int. J. Plant Sci. 5(1):297-301.
- 187.Pasquariello M.S., Mastrobuoni F., Di Patre D., Zampella L., Capuano L.R., Scortichini M. and Petriccione M. (2015). Agronomic, nutraceutical and molecular variability of feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret) germplasm. Sci. Hortic. 191: 1-9.
- 188.Paul D. K. and Shaha R. K. (2004). Nutrients, vitamins and mineral content in common citrus fruits in the northern region of Bangladesh. Pakistan Journal of Biological Sciences, 7(2): 238–242.
- 189.Pellegrini N., Serafini M., Colombi B., Del Rio D., Salvatore S., Bianchi M. and Brighenti, F. (2003). Total Antioxidant Capacity of Plant Foods, Beverages and Oils Consumed in Italy Assessed by Three Different In Vitro Assays. Journal of Nutrition. 133: 2812-2819.
- 190.Pereira F.M., Usman M., Mayer N.A., Nachtigal J.C., Maphanga O. R.M. and Willemse S. (2016). Advances in guava propagation. Rev. Bras. Frutic. 39(4): 1-24.
- 191.Peronny S. (2005). La perception gustative et la consommation des tannins chez le maki (*Lemur Catta*). Thèse de Doctorat du Muséum national d’histoire naturelle, Discipline Eco- Ethologie .151p.
- 192.Petrachaianan T., Chaayasirisuwan S., Athikomkulchai S. and Sareedenchai V. (2018). Screening of acetylcholinesterase inhibitory activity in essential oil from *Myrtaceae*. Thai Journal of Pharmaceutical Sciences. 43(1): 63-68.
- 193.Phan A.D.T., Chaliha M., Sultanbawa Y.and Netzel M.E. (2019). Nutritional characteristics and antimicrobial activity of australian grown Feijoa (*Acca sellowiana*). Foods. 8(9). 376p.
- 194.Poirier J. (2006). La multiplication des arbres remarquables. Pépinière et multiplication - Jardin botanique de Montréal. 16p.
- 195.Poodi Y., Bimakr M., Ganjloo A. and Zarringhalam S. (2017). Intensification of bioactive compounds extraction from Feijoa (*Feijoa sellowiana* Berg.) leaves using ultrasonic waves. Food and Bioproducts Processing. 108: 37-50.
- 196.Prabakaran K. and Shanmugavel G. (2017). Antidiabetic Activity and Phytochemical Constituents of *Syzygium cumini* Seeds in Puducherry Region, South India. International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research. 9(7): 985-989.
- 197.Praloran J. C. (1971). Les agrumes : Techniques agricoles et productions, tropicales. Edition Maisonneuve & Larose. 565 p.

198. **Qian H. and Nihorimbere V. (2004).** Antioxidant power of phytochemicals from *Psidium guajava* leaf. J. Zhejiang Univ. Sci. 5(6):676-83.
199. **Rabasa-Lhoret R. et Chiasson J.L.(2000).** Inhibiteurs des alphaglucosidases. Médecine thérapeutique / Endocrinologie . 2(3) : 198-204.
200. **Raccach D. (2004).** Epidémiologie et physiopathologie des complications dégénératives du diabète sucré. EMC-Endocrinologie. 1(1): 29-42.
201. **Rahman A.U. (2005).** Studies in natural products chemistry: Bioactive natural products. 28(1): 3-797.
202. **Ramadhania Z.M., Insanu M., Gunarti N.S., Wirasutisna K.R., Sukrasno S. and Hartati R. (2017).** Antioxidant activity from ten species of *Myrtaceae*. Asian J. Pharm. Clin. Res. (S): 5-7.
203. **Ramteke V., Kurrey V. and Kar S. (2015).** Jamun: A traditional fruit and medicine. Popular Kheti. 3(3): 188-190.
204. **Ramya S., Neethirajan K. and Jayakumararaj R. (2012).** Profile of bioactive compounds in *Syzygium cumini* – a review. Journal of Pharmacy Research. 5(8): 4548-4553.
- FAO (2006).** Rapport national sur l'état des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture. 68p.
205. **Rastogi R.M. and Mehrotra B.N. (1990).** Compendium of Indian medicinal plants. Lucknow India: Central Drug Research Institute. 1: 388-389.
206. **Ravi K., Ramachandran B. and Subramanian S. (2004).** Protective effect of *Eugenia jambolana* seed kernel on tissue antioxidants in streptozotocin induced diabetic rats. Biol. Pharm. Bull. 27: 1212–1217.
207. **Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M. and Rice-Evans C. (1999).** Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free Radic Biol Med. 26(9-10): 1231-7.
208. **Rebour H. (1960).** Le verger méditerranéen. Tome H: Arboriculture spéciale, France, Alger, 279p.
209. **Reis Mansura M.C.P.P., Leitao S.G., Cerqueira-Coutinho C., Vermelho A.B., Silva R.S., Presgrave O.A.F., Leitao A.A.C., Leitao G.G., Ricci-Junior E. and Santosa E.P. (2016).** In vitro and in vivo evaluation of efficacy and safety of photoprotective formulations containing antioxidant extracts. Rev. Bras. Farmacogn. 26: 251-258.
210. **Remenieras G. (1972).** L'hydrologie de l'Ingénieur, Eyrolles. Coll. Du centre de recherche et d'essais de Chatou. Edition Eyrolles. 456p.
211. **Ribéreau-Gayon P. (1968).** Les composés phénoliques des végétaux. Editions Dunod, Paris. 254 p.

212. **Rice-Evans C.A., Miller N.J., Bolwell P.G., Bramley P.M. and Pridham J.B. (1995).** The relative antioxidant activities of plantderived polyphenolic flavonoids. *Free Radical Res.* 23: 375-383.
213. **Richier S., Merle P.L., Furla P., Pigozzi D., Sola F. and Allemand D. (2003).** Characterization of superoxide dismutases in anoxia- and hyperoxia-tolerant symbiotic cnidarians. *Biochim. Biophys. Acta.* 1621: 84-91.
214. **Ricupero R., Fust W. et Stern M. (2003).** Fruits et légumes biologiques des régions tropicales. Information de Marché, Certification et Production pour Producteurs et Sociétés de Commerce Internationales. Conférence des Nations Unies pour le Commerce et le Développement. New-York et Genève. 68-74.
215. **Roovers T. (2016).** Les effets de la température de l'air sur les végétaux. <http://www.canna.ca>.
216. **Roseiro L.B., Pilar Rauter A. and Mourato Serralheiro M.L. (2012).** Polyphenols as acetylcholinesterase inhibitors: Structural specificity and impact on human disease. *J. Nutr. Aging.* 1(2): 99-111.
217. **Ruberto G. and Tringali C. (2004).** Secondary metabolites from the leaves of *Feijoa sellowiana* Berg. *Phytochemistry* 65: 2947–2951.
218. **Saeed N., Khan M.R. and Shabbir M. (2012).** Antioxidant activity, total phenolic and total flavonoid contents of whole plant extracts *Torilis leptophylla* L. *BMC Complement Altern Med.* 12:221.
219. **Saewam N. and Jimtaisong A. (2013).** Photoprotection of natural flavonoids. *Journal of Applied Pharmaceutical Science.* 3(9): 129-141.
220. **Sagrawat H., Mann A.S. and Kharya M.D. (2006).** Pharmacological potential of *Eugenia jambolana*: A review. *Pharmacology Magazine.* 2: 96- 105.
221. **Sahana D.A., Shivaprakash G., Baliga R., Adhikari P.M.R., Jyothi G. and Pai M.R.S.M. (2010).** Effect of *Eugenia jambolana* on plasma glucose, insulin sensitivity and HDL-C levels: Preliminary results of a randomized clinical trial. *Journal of Pharmacy Research* 3: 1268–1270.
222. **Saraswat V. (2010).** Alpha glucosidase inhibitory activity from *Syzygium* sp. *Teknologi Indonesia.* 33(1): 33–37.
223. **Sarni-Manchado P. et Cheynier V. (2006).** Les polyphénols en agroalimentaire. Ed. Tec & Doc, Paris. pp. 2-10.
224. **Saxena G., Singh S.P., Agrawal R. and Nath C. (2008).** Effect of donepezil and tacrine on oxidative stress in intracerebral streptozotocin-induced model of dementia in mice. *Eur. J. Pharmacol.* 581: 283-289.

225. **Sbay H. et Lamhamedy M. S. (2015).** Guide pratique de multiplication végétative des espèces forestières et agroforestières : Techniques de valorisation et de conservation des espèces à usages multiples face aux changements climatiques en Afrique du Nord. 124p.
226. **Seigler D.S. (1998).** Plant secondary metabolism. Ed. Kluwer Academic, Boston. pp. 193-205.
227. **Seltzer P. (1946).** Le climat de l'Algérie. Recueil de données météo. Edition de l'Institut de Technologie Agricole, Mostaganem 1974. 142 p.
228. **Seo J., Lee S., Elam M.L., Johnson S.A., Kang J. and Arjmandi B.H. (2014).** Study to find the best extraction solvent for use with guava leaves (*Psidium guajava* L.) for high antioxidant efficacy. Food Sci. Nutr. 2(2):174-80.
229. **Sharma B., Balomajumder C. and Roy P. (2008).** Hypoglycemic and hypolipidemic effects of flavonoid rich extract from *Eugenia jambolana* seeds on streptozotocin induced diabetic rats. Food Chem. Toxicol. 7: 2376–2383.
230. **Shivashankara A.R., Prabhu A.N., Dsouza P.P., Baliga B.R.V., Baliga M.S. and Palatty P.L. (2013).** Antidiabetic and Hypoglycemic Effects of *Syzygium cumini* (Black Plum). Bioactive Food as Dietary Interventions for Diabetes. 537-554.
231. **Shrestha S., Subaramaihha S.R., Subbaiah S.G., Eshwarappa R.S. and Lakkappa D.B. (2013).** Evaluating the antimicrobial activity of methanolic extract of rhus succedanea leaf gall. BioImpacts. 3: 195-198.
232. **Shruthi S.D., Roshan A., Timilsina S.S. and Sunita S. (2013).** A review on the medicinal plant *Psidium guajava* Linn. (*Myrtaceae*). Journal of Drug Delivery & Therapeutics. 3(2): 162-168.
233. **Silveira A.C., Oyarzún D., Rivas M. and Zaccari F. (2016).** Postharvest quality evaluation of feijoa fruits (*Acca sellowiana* (Berg) Burret). Agrociencia (Montev.) 20: 14-21.
234. **Singleton V.L. and Rossi J.A. (1965).** Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdicphosphotungstic acid reagent. Am J Enol Vitic. 16 :144-58.
235. **Solovchenko A. and Schmitz-Eiberger M. (2003).** Significance of skin flavonoids for UV-B protection in apple fruits, J. Exp. Bot. 54:1977-1984.
236. **Somboro A.A. , Diallo D., Sidibe L., Traore N., Fofana B., Bouare S., Chalard P., Chalchat J.C., Figueredo G. et Troin Y. (2013).** Activités anticholinestérasiques des alcaloïdes totaux extraits des feuilles, fruits, écorces de racines et écorces de tronc de *Guiera senegalensis*, une plante médicinale Malienne. Int. J. Biol. Chem. Sci. 7(4): 1723-1728.

237. **Sowjanya K.M., Swathi J., Narendra K. and Krishna Satya A. (2013).** A review on phytochemical constituents and bioassay of *Syzygium cumini*. International Journal of Natural Product Science. 3(2): 1-11.
238. **Sponzilli O. (2016).** The extraordinary properties of Feijoa. <https://www.global-antiaging-medicine.com>.
239. **Srianta I., Kusumawati N., Nugerahani I., Artanti N. and Xu G.R. (2013).** *In vitro* α -glucosidase inhibitory activity of Monascus-fermented durian seed extracts. Int. Food Res. J. 20: 533-536.
240. **Subramanian S., Stacey G. and Yu O. (2007).** Distinct, crucial roles of flavonoids during legume nodulation. Trends Plant Sci. 12: 282-285.
241. **Szydlowska-Czerniak A., Dianoczki C., Recseg K., Karlovits G. and Szlyk E. (2008).** Determination of antioxidant capacities of vegetable oils by ferric-ion spectrophotometric methods. Talanta. 76(4): 899-905.
242. **Tachakittirungrod S., Ikegami F. and Okonog S. (2007).** Antioxidant Active Principles Isolated from *Psidium guajava* Grown in Thailand. Sci. Pharm. 75(4): 179-93.
243. **Taghavi M., Farid H.R., Rafat P.H., Sharifian R.M. and Watson R. (2012).** Effect of feijoa supplementation in patients with type 2 diabetes. Iran. J. Endocrinol. Metab. 14: 222-225.
244. **Takaqi N. and Akamatsu S .U. (1985).** Effet of spring weed cover on 15 N. up take by, citrus trees under orchard conditions. Journal of Japanese society for horticultural Science. 54: 307-1040.
245. **Tepe B., Sokmen M., Akpulat H. A. and Sokmen A. (2006).** Screening of the antioxidant potentials of six *Salvia* species from Turkey. Food Chem. 95: 200-204.
246. **Thaipong K., Boonprakob U., Cisneros-Zevallos L. and Byrne D.H. (2005).** Hydrophilic and lipophilic antioxidant activities of guava fruits. Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health. 36(S4): 254-7.
247. **Tiwari R. K., Mistry N. C. and Singh B. (2013).** Indian horticulture database. National Horticulture Board, Min. Agric., Gov. India.
248. **Topçu G., Ay A., Bilici A., Sarıkürkcü C., Öztürk M. and Ulubelen A. (2007).** A new flavone from antioxidant extracts of *Pistacia terebinthus*. Food Chem. 103(3): 816-22.
249. **Tumbas Vesna T., Cetkovic Gordana S., Djilas Sonja M., Canadanovic-Brunet Jasna M., Vulic K., Zeljko K.J. and Skerget M. (2010).** Antioxydant activity of mandarin (*Citrus reticulata*) Peel. BIBLID. 40: 195-203.
250. **Turcker D.P.H., Wheato T.A. and Muraro R.P. (1994).** Citrus Tree Pruning Principales and Practices ..Horticultural Sciences Department, Florida. 9p.

251. **Ullah M.A., Sarkar B., Prottoy N.I., Hossain S. and Araf Y. (2019).** Antidiabetic Compounds from Medicinal Plants of Bangladesh and Their Modes of Action. Antidiabetic Medicinal Plants of Bangladesh.
252. **Ursini F., Maiorino M., Morazzoni P., Roveri A. and Pifferi G. (1994).** A novel antioxidant flavonoid (IdB 1031) affecting molecular mechanisms of cellular activation. Free Radical Biology and Medicine. 16: 547-553.
253. **Üstündaş M., Yener H.B. and Helvaci S.S. (2018).** Parameters affecting lycopene extraction from tomato powder and its antioxidant activity. Anadolu University Journal of Science and Technology A- Applied Sciences and Engineering. 19(2): 454 – 467.
254. **Verscheure M., Lognay G. et Marlier M. (2002).** Revue bibliographique: les méthodes chimiques d'identification et de classification des champignons." Biotechnologie, agronomie, société et environnement. 6(3): 131-142.
255. **Vieira Braga T., Gonçalves Rodrigues das Dores R., Soncin Ramos C., Gontijo Evangelista F.C., Márcia da Silva Tinoco L. and de PillaVarotti F. (2014).** Antioxidant, antibacterial and antitumor activity of ethanolic extract of the *Psidium guajava* leaves. Am J Plant Sci. 5: 3492-500.
256. **Warrier P.K., Nambiar V.P.K. and Ramankutty C. (1996).** Indian Medicinal Plants. Orient Longman Ltd., Hyderabad, India. 5: 225–228.
257. **Widyawati T., Yusoff N.A., Asmawi M.Z. and Ahmad M. (2015).** Antihyperglycemic effect of methanol extract of *Syzygium polyanthum* (Wight.) Leaf in streptozotocin-induced diabetic rats. Nutrients. 7: 7764-7780.
258. **Wilson K. (2000).** La taille des arbres fruitiers. Fiche technique. <http://www.omafr.gov.on.ca/>.
259. **Xiao J., Kai G., Yamamoto K. and Chen X. (2013).** Advance in Dietary Polyphenols as α -Glucosidases Inhibitors: A Review on Structure-Activity Relationship Aspect. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 53:818–836.
260. **Zhang M., Wang D., Ren S. X., Fan L. Z. and Liu R. D. (2010).** Effects of Feijoa cutting diameter on seedling quality. Agricultural Journal 5 (3): 139-141.
261. **Zhu F. (2018).** Chemical and biological properties of feijoa (*Acca sellowiana*). Trends Food Sci. Technol. 81: 121–131.

Webographie

Site net 1: <http://aicd-africa.org/web/wp-content/uploads/Manuel-de-Vulgarisation-ilovepdf-compressed-37-51.pdf>

Site net 2: http://caribfruits.cirad.fr/fruits_tropicaux/goyave

Site net 3: [https://uses.plantnet-project.org/fr/Feijoa_sellowiana_\(Andr%C3%A9,_1898\)](https://uses.plantnet-project.org/fr/Feijoa_sellowiana_(Andr%C3%A9,_1898))

Site net 4: <https://www.pinterest.com/pin/527624912573101211/>

Site net 5: <https://www.jardiniers-professionnels.fr/a-la-decouverte-du-feijoa/>

Site net 6: https://fr.wikipedia.org/wiki/Feijoa_sellowiana

Site net 7: <https://fr.nourishedtohealth.com/fejhoa-celebnye-svojstva.htm>

Site net 8: <https://fr.blabto.com/816-what-is-feijoa-useful-for-and-in-which-diseases-feij.html>

Site net 9: <http://pitchandikulam-herbarium.org>

Site net 10: http://www.mi-aime-a-ou.com/Syzygium_cumini.php

Annexes

Annexe 1- Température mensuelle (°C) minimale (min), maximale (max) et moyenne dans la wilaya de Skikda durant les périodes (1913-1938), (1985-2010) et (2016-2018).

Année	1913-1938			1985-2010			2016-2018		
Mois	T min	T max	T moy	T min	T max	T moy	T min	T max	T moy
Janvier	7.4	13.7	10.55	5.72	20.32	13.02	9.8	18.0	13.9
Février	7.5	14.7	11.05	6.10	19.81	12.96	10.0	18.1	14.05
Mars	8.0	17.1	13.05	7.35	21.56	14.48	11.4	19.3	15.35
Avril	10.1	19.0	14.55	8.5	24.72	16.61	13.6	21.0	17.3
Mai	13.4	21.9	17.65	11.81	27.10	19.46	16.1	23.0	19.55
Juin	16.8	24.8	20.80	15.75	30.64	23.19	19.6	26.7	23.15
Juillet	19.4	28.4	23.90	19.00	32.28	26.14	22.7	29.8	26.25
Août	24.4	29.1	24.75	20.36	33.98	27.17	22.9	29.8	26.35
Septembre	18.7	26.7	22.7	17.85	32.43	25.01	21.0	28.3	24.65
Octobre	15.2	23.0	19.10	14.55	30.05	22.30	17.9	25.7	21.8
Novembre	11.5	18.6	15.05	11.06	24.31	17.69	13.4	22.1	17.75
Décembre	8.5	15.0	11.85	10.07	19.16	14.61	10.9	18.2	14.55

Annexe 2- Pluviométrie mensuelle moyenne dans la wilaya de Skikda durant les périodes (1913-1938), (1985-2010) et (2016-2018).

Année	1913-1938	1985-2010	2016-2018
Mois	P moy (mm)	P moy (mm)	P moy (mm)
Janvier	169	111.26	102.8
Février	108	89.5	76.6
Mars	72	59.09	56.
Avril	49	57.28	43.6
Mai	49	36.74	40.5
Juin	10	12.53	7.1
Juillet	4	7.36	0.1
Août	7	9.60	11.6
Septembre	35	51.10	16.4
Octobre	84	56.2	97.3
Novembre	94	96.2	108.7
Décembre	149	136.6	71.7

Annexe 3- Les tampons

Tampon phosphate (pH 8) (100 mM)	NaH ₂ PO ₄ Na ₂ HPO ₄	5,3ml 94,5ml
Tampon phosphate (pH 6.9) (0.2 M)	NaH ₂ PO ₄ Na ₂ HPO ₄	51 ml 49 ml

Annexe 4- Solutions des enzymes

- Solution de AChE (5.32×10⁻³ U) :

0,2 mg d'AChE avec 4 ml (PH=8) pour donner la solution A, on met 20 µl de la solution A dans un tube Eppendorf et on ajoute 3 ml du tampon (PH = 8), puis le contrôle de l'absorbance à 412 nm qui doit être entre 0.4-0.5

-Solution de BChE (6,85 x10⁻³ U) :

0,2 mg de BChE avec 1 ml (PH=8) pour donner la solution A, on met 20 µl de la solution A dans un tube Eppendorf et on ajoute 2 ml du tampon (PH = 8), puis le contrôle de l'absorbance à 412 nm qui doit être entre 0.4-0.5.

-Solution de l'alpha glucosidase :

1 mg d'enzyme alpha-glucosidase dans 10 ml de tampon phosphate 100 mM, pH 6,9 (Solution stock) et aliquoter chaque 01 ml dans un Eppendorf, puis dans 9.8 ml de tampon phosphate, 100mM, pH 6,9.

Annexe 5- DTNB (acide 5,5'-dithio-bis (2-nitrobenzoïque) à 0,5 mM

16 mg DTNB + 1 ml (PH=7) + 7,5 mg NaHCO₃ + 1 ml (PH=7) + 2 ml (PH=7) + 4 ml (PH=8) → volume total 8 ml.

Annexe 6

Acetylthiocholine iodide (0,71 mM):

16 mg ACI + 4 ml H₂O + 4 ml Tampon (PH =8)

Annexe 7

Butyrylthiocholine chlorure (0,2 mM):

4 mg BuCI + 4 ml H₂O + 4 ml Tampon (PH =8)

Annexe 8- Matrices de corrélation de Pearson (*Psidium guajava*)

Variables	TPC	TFC	DPPH	ABTS	Phen assay	FRAP	β-carotene	CUPRAC	AChe	BChE	αgluco	SPF
TPC	1	0,464	-0,987	-0,945	-0,985	-0,994	-0,993	-0,985	-0,933	-0,958	-0,986	-0,342
TFC	0,464	1	-0,318	-0,148	-0,303	-0,367	-0,356	-0,302	-0,114	-0,192	-0,307	0,674
DPPH	-0,987	-0,318	1	0,985	1,000	0,999	0,999	1,000	0,978	0,991	1,000	0,486
ABTS	-0,945	-0,148	0,985	1	0,987	0,974	0,977	0,988	0,999	0,999	0,987	0,631
Phen assay	-0,985	-0,303	1,000	0,987	1	0,998	0,998	1,000	0,981	0,993	1,000	0,500
FRAP	-0,994	-0,367	0,999	0,974	0,998	1	1,000	0,998	0,966	0,983	0,998	0,440
β-carotene	-0,993	-0,356	0,999	0,977	0,998	1,000	1	0,998	0,969	0,985	0,999	0,451
CUPRAC	-0,985	-0,302	1,000	0,988	1,000	0,998	0,998	1	0,982	0,994	1,000	0,501
AChe	-0,933	-0,114	0,978	0,999	0,981	0,966	0,969	0,982	1	0,997	0,980	0,657
BChE	-0,958	-0,192	0,991	0,999	0,993	0,983	0,985	0,994	0,997	1	0,993	0,596
αgluco	-0,986	-0,307	1,000	0,987	1,000	0,998	0,999	1,000	0,980	0,993	1	0,496
SPF	-0,342	0,674	0,486	0,631	0,500	0,440	0,451	0,501	0,657	0,596	0,496	1

Coefficients de détermination (R²)

Variables	TPC	TFC	DPPH	ABTS	Phen assay	FRAP	β-carotene	CUPRAC	AChe	BChE	αgluco	SPF
TPC	1	0,215	0,975	0,893	0,970	0,989	0,986	0,969	0,871	0,919	0,971	0,117
TFC	0,215	1	0,101	0,022	0,092	0,135	0,127	0,091	0,013	0,037	0,094	0,454
DPPH	0,975	0,101	1	0,970	1,000	0,997	0,998	1,000	0,957	0,983	1,000	0,236
ABTS	0,893	0,022	0,970	1	0,975	0,949	0,955	0,975	0,999	0,998	0,973	0,398
Phen assay	0,970	0,092	1,000	0,975	1	0,995	0,997	1,000	0,963	0,987	1,000	0,250
FRAP	0,989	0,135	0,997	0,949	0,995	1	1,000	0,995	0,933	0,967	0,996	0,193
β-carotene	0,986	0,127	0,998	0,955	0,997	1,000	1	0,997	0,939	0,971	0,997	0,203
CUPRAC	0,969	0,091	1,000	0,975	1,000	0,995	0,997	1	0,964	0,987	1,000	0,251
AChe	0,871	0,013	0,957	0,999	0,963	0,933	0,939	0,964	1	0,994	0,961	0,431
BChE	0,919	0,037	0,983	0,998	0,987	0,967	0,971	0,987	0,994	1	0,986	0,355
α gluco	0,971	0,094	1,000	0,973	1,000	0,996	0,997	1,000	0,961	0,986	1	0,246
SPF	0,117	0,454	0,236	0,398	0,250	0,193	0,203	0,251	0,431	0,355	0,246	1

Annexe 9- Matrices de corrélation de Pearson (*Acca sellowiana*)

Variables	TPC	TFC	DPPH	ABTS	Phen assay	FRAP	β-carotene	CUPRAC	ACHe	BChE	αgluco	SPF
TPC	1	0,772	-0,640	-0,610	-0,602	-0,614	-0,061	-0,607	0,349		-0,637	0,671
TFC	0,772	1	-0,006	0,032	0,042	0,027	-0,681	0,036	0,865		-0,002	0,047
DPPH	-0,640	-0,006	1	0,999	0,999	0,999	-0,728	0,999	0,497		1,000	-0,999
ABTS	-0,610	0,032	0,999	1	1,000	1,000	-0,753	1,000	0,529		0,999	-0,997
Phen assay	-0,602	0,042	0,999	1,000	1	1,000	-0,760	1,000	0,538		0,999	-0,996
FRAP	-0,614	0,027	0,999	1,000	1,000	1	-0,750	1,000	0,526		1,000	-0,997
β-carotene	-0,061	-0,681	-0,728	-0,753	-0,760	-0,750	1	-0,756	-0,957		-0,730	0,699
CUPRAC	-0,607	0,036	0,999	1,000	1,000	1,000	-0,756	1	0,533		0,999	-0,997
ACHe	0,349	0,865	0,497	0,529	0,538	0,526	-0,957	0,533	1		0,500	-0,461
BChE												
α gluco	-0,637	-0,002	1,000	0,999	0,999	1,000	-0,730	0,999	0,500		1	-0,999
SPF	0,671	0,047	-0,999	-0,997	-0,996	-0,997	0,699	-0,997	-0,461		-0,999	1

Coefficient de détermination R²

Variables	TPC	TFC	DPPH	ABTS	Phen assay	FRAP	β-carotene	CUPRAC	ACHe	BChE	alpha gluco	SPF
TPC	1	0,596	0,409	0,372	0,363	0,377	0,004	0,368	0,122		0,406	0,450
TFC	0,596	1	0,000	0,001	0,002	0,001	0,464	0,001	0,748		0,000	0,002
DPPH	0,409	0,000	1	0,999	0,998	0,999	0,530	0,998	0,247		1,000	0,998
ABTS	0,372	0,001	0,999	1	1,000	1,000	0,568	1,000	0,280		0,999	0,994
Phen assay	0,363	0,002	0,998	1,000	1	1,000	0,578	1,000	0,289		0,998	0,992
FRAP	0,377	0,001	0,999	1,000	1,000	1	0,563	1,000	0,276		0,999	0,995
β-carotene	0,004	0,464	0,530	0,568	0,578	0,563	1	0,572	0,915		0,533	0,489
CUPRAC	0,368	0,001	0,998	1,000	1,000	1,000	0,572	1	0,284		0,999	0,993
ACHe	0,122	0,748	0,247	0,280	0,289	0,276	0,915	0,284	1		0,250	0,213
BChE												
alpha gluco	0,406	0,000	1,000	0,999	0,998	0,999	0,533	0,999	0,250		1	0,998
SPF	0,450	0,002	0,998	0,994	0,992	0,995	0,489	0,993	0,213		0,998	1

Annexe 10- Matrices de corrélation (*Syzygium cumini*)

Variables	TPC	TFC	DPPH	ABTS	Phen assay	FRAP	β-carotene	CUPRAC	ACHe	BChE	αgluco	SPF
TPC	1	0,151	-0,852	-0,872	-0,803	-0,846	-0,998	-0,913	-0,519	0,047	-0,841	0,970
TFC	0,151	1	0,389	0,353	0,469	0,400	-0,090	0,266	0,767	0,995	0,408	-0,093
DPPH	-0,852	0,389	1	0,999	0,996	1,000	0,883	0,992	0,889	0,482	1,000	-0,953
ABTS	-0,872	0,353	0,999	1	0,992	0,999	0,900	0,996	0,871	0,448	0,998	-0,964
Phen assay	-0,803	0,469	0,996	0,992	1	0,997	0,838	0,976	0,926	0,558	0,998	-0,923
FRAP	-0,846	0,400	1,000	0,999	0,997	1	0,877	0,990	0,895	0,493	1,000	-0,950
β-carotene	-0,998	-0,090	0,883	0,900	0,838	0,877	1	0,936	0,570	0,014	0,873	-0,983
CUPRAC	-0,913	0,266	0,992	0,996	0,976	0,990	0,936	1	0,823	0,364	0,989	-0,984
ACHe	-0,519	0,767	0,889	0,871	0,926	0,895	0,570	0,823	1	0,829	0,899	-0,710
BChE	0,047	0,995	0,482	0,448	0,558	0,493	0,014	0,364	0,829	1	0,500	-0,195
α gluco	-0,841	0,408	1,000	0,998	0,998	1,000	0,873	0,989	0,899	0,500	1	-0,947
SPF	0,970	-0,093	-0,953	-0,964	-0,923	-0,950	-0,983	-0,984	-0,710	-0,195	-0,947	1

Coefficient de détermination R²

Variables	TPC	TFC	DPPH	ABTS	Phen assay	FRAP	β-carotene	CUPRAC	ACHe	BChE	α gluco	SPF
TPC	1	0,023	0,726	0,760	0,644	0,715	0,996	0,833	0,269	0,002	0,708	0,942
TFC	0,023	1	0,151	0,125	0,220	0,160	0,008	0,071	0,588	0,989	0,166	0,009
DPPH	0,726	0,151	1	0,999	0,992	1,000	0,779	0,983	0,791	0,232	1,000	0,909
ABTS	0,760	0,125	0,999	1	0,984	0,997	0,810	0,992	0,759	0,201	0,997	0,930
Phen assay	0,644	0,220	0,992	0,984	1	0,994	0,702	0,953	0,858	0,311	0,995	0,852
FRAP	0,715	0,160	1,000	0,997	0,994	1	0,769	0,980	0,801	0,243	1,000	0,902
β-carotene	0,996	0,008	0,779	0,810	0,702	0,769	1	0,876	0,325	0,000	0,762	0,967
CUPRAC	0,833	0,071	0,983	0,992	0,953	0,980	0,876	1	0,677	0,133	0,977	0,969
ACHe	0,269	0,588	0,791	0,759	0,858	0,801	0,325	0,677	1	0,688	0,808	0,504
BChE	0,002	0,989	0,232	0,201	0,311	0,243	0,000	0,133	0,688	1	0,250	0,038
α gluco	0,708	0,166	1,000	0,997	0,995	1,000	0,762	0,977	0,808	0,250	1	0,897
SPF	0,942	0,009	0,909	0,930	0,852	0,902	0,967	0,969	0,504	0,038	0,897	1

Article scientifique publié



Current Issues in Pharmacy and Medical Sciences

Formerly ANNALES UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA, SECTIO DDD, PHARMACIA

journal homepage: <http://www.curipms.umlub.pl/>



Anticholinesterase and antioxidant activities of foliar extract from a tropical species: *Psidium guajava* L. (Myrtaceae) grown in Algeria

IMANE BOUCHOUKH^{1,2*}, TAHAR HAZMOUNE³, MOKHTAR BOUDELAA²,
CHAWKI BENSOUICI⁴, AMAR ZELLAGUI⁵

¹ Department of Biology and Plant Ecology, Faculty of Sciences of Nature and Life, Mentouri University, Constantine 1, 25000, Algeria

² Department of Biology, Faculty of Sciences, Badji Mokhtar University, Annaba, 23000, Algeria

³ Laboratory for the Optimization of Agricultural Production and Arboriculture in the Subhumid Zone, Department of Agronomy, University 20 Aout 1955, Skikda, 21000, Algeria

⁴ Biotechnology Research Center, Ali Mendjli, Constantine, 25000, Algeria

⁵ Laboratory of Biomolecules and Plant Breeding, Larbi Ben M'hidi University, Oum El Bouaghi, 04000, Algeria

ARTICLE INFO

Received 20 January 2019

Accepted 11 March 2019

Keywords:

Psidium guajava,
antioxidant activity,
antiacetylcholinesterase,
antibutrylcholinesterase,
phenolic compounds,
Alzheimer disease.

ABSTRACT

Guava (*Psidium guajava* L.) is a fruit tree largely used in folk medicine in tropical and subtropical areas. This exotic species was introduced in a botanical garden in the northeast of Algeria in the 1950's. The aim of this study is to estimate, for the first time, the antioxidant and anticholinesterase activities of chloroform, ethyl acetate and n-butanol extracts of *P. guajava* growing in Algeria. Six antioxidant assays were tested, results showed very important efficiency in free radical scavenging, reducing power and β -carotene bleaching of tested extracts. Values of IC_{50} or $A_{0.5}$ of some samples were lower than those of standards. With regard to anticholinesterase activity, the inhibitory of both acetylcholinesterase (AChE) and butyrylcholinesterase (BChE) was investigated. The extracts exhibited interesting capacity to inhibit these enzymes with low values of IC_{50} and even less than that of galanthamine. These activities were correlated with total phenolic content which was more important compared to the one found in extracts from trees growing in tropical and subtropical region. This could be due to resistance and adaptation of *P. guajava* grown in Algeria. The data obtained suggest the use of bioactive compounds from *P. guajava* leaves as antioxidant and drugs for symptomatic treatment of Alzheimer disease.

INTRODUCTION

Oxidative stress is defined as a state in which oxidation exceeds the antioxidant systems in the body following a loss in the balance between them [1]. Antioxidants are substances that may protect cells from the damage caused by unstable molecules known as ROS (reactive oxygen species) and by free radicals [2]. The latter are implied in the etiology of a large number of pathologies that are now regarded as major problems of public health. Among others, we can mention arthritis, asthma, rheumatisms, nephritides, cancers, atherosclerosis, sweetened diabetes, inflammatory lesions, diseases with immunosuppression, metabolic disorders and

Alzheimer's diseases [3]. In the last 30 years, Alzheimer's disease (AD) has become the most common neurodegenerative disease. It is the cause of 60-70% of all cases of dementia [4]. Acetylcholine (ACh) is the most abundant neurotransmitter in the body and the principal neurotransmitter in the brain that is responsible for cholinergic transmission. Cholinesterases (ChE) constitute a group of esterases that hydrolyse choline esters at a higher rate than other esters, provided that the hydrolysis rates are compared at optimum and controlled conditions [5]. Some active substances are used to stop Alzheimer's development, including galanthamine (Alkaloid). Flavonoids and phenolic acids are the most important groups of secondary metabolites considered as good sources of natural antioxidants and anticholinesterase activities in human diets [6].

* Corresponding authors

imen.bouchoukh@umc.edu.dz

Myrtaceae is one of the plant families that have been widely studied for their antioxidant activity, and many species belonging to this family have strong activity [7]. This family of dicotyledonous plants is composed of 140 genera and 3400 species distributed mainly in the tropical and subtropical region of the world [8]. The genus *Psidium* includes around 70 species distributed in the American and Asian tropics [9]. *Psidium* fruits are a potential source of phytochemicals for which many bioactivities have been proved. Carotenoids, phenolic compounds, and triterpenoids are the main phytochemicals characterized in leaves and fruits of this genus [10]. *Psidium guajava* L., commonly known as guava, is a tropical plant that is native to South America [11]. This fruit tree is an important food crop and medicinal plant in tropical and subtropical countries of Asia, and it is also largely used as food and in traditional medicine in other parts of the world. Many people use leaf decoctions of *P. guajava* for its antimicrobial and antispasmodic properties in the treatment of dysentery and diarrhea [12].

Several exotic species of tropical origin have been introduced into the botanical garden of the Ancient Institute of Agriculture of Skikda in Northeast Algeria and have perfectly been acclimatized. Among these species is *Psidium guajava* L. – introduced in 1952 [13].

Studies on antioxidant activity from the leaves of *P. guajava* remain limited and there are no available data about this species in Algeria. The main aim of the present study is to evaluate the antioxidant activity and inhibition of cholinesterase of leaf extracts from this important species of the family of Myrtaceae.

MATERIALS AND METHODS

Plant material

Leaves of *Psidium guajava* L. were collected, in May 2018, from the botanical garden of the Ancient Institute of Agriculture of Skikda in the northeast of Algeria. Species were identified by Chalabi, agronomist from the University of Skikda and an expert in exotic species cultivated and preserved at the botanical garden. A voucher specimen was deposited in our laboratory. Leaves were washed with distilled water and dried at room temperature for twenty days while under shade.

Preparation of extracts

Powdered leaves of *P. guajava* (50g) were macerated with 300 ml of methanol /water (70v/30v) at room temperature for 72 hours (3×24h). After filtration, the solvent was evaporated under reduced pressure and temperature. The residue was dissolved in 200 ml of distilled water and extracted with 200 ml of one of three solvents: Chloroform (CHCl_3), Ethyl acetate ($\text{C}_{4\text{H}_8\text{O}_2}$) and *n*-butanol ($\text{C}_{4\text{H}_{10}\text{O}}$), successively. The organic solutions were evaporated under reduced pressure and temperature to obtain the three extracts: Chloroform (3,82 g), Ethyl acetate (20,05 g), *n*-butanol (32,73 g). Crude extracts were preserved at 4°C.

Total phenolic content

The total phenolic content was determined by using the reagent of Folin-Ciocalteu [14], according to a method of

microplate described par Muller and al. [15]. Herein, 20 µl of sample (1 mg extract/1ml methanol) were blended with 100 µl of Folin-Ciocalteu reagent (1:10) and 75 µl of sodium carbonate solution (7,5%). The microplate was incubated two hours at room temperature in darkness. Absorbance at 765 nm was measured by using the microplate reader. The total phenolic content was evaluated as micrograms of gallic acid equivalents per milligrams of extract.

Total flavonoids content

Total flavonoids content was determined by the method of Topçu *et al.* [16] with some modification to adapt it to microplate. Briefly, 130 µl of methanol were added to 50 µl of sample (1mg extract/1ml methanol). Subsequently, 10 µl of 1M potassium acetate (CH_3COOK) and 10 µl of 10% aluminum nitrate ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) were added and the microplate was incubated at room temperature for 40 minutes. Absorbance was read at 415 nm. Results were expressed as micrograms of quercetin equivalents per milligrams of extract.

Antioxidant activity

1. DPPH free radical-scavenging activity

The free radical-scavenging activity was determined spectrophotometrically by means of DPPH assay [17]. Briefly, 40 µl of MeOH solution of the sample at various concentrations was added to 160 µl DPPH (0.1 mM). The reaction mixture was shaken vigorously and the absorbance of remaining DPPH was measured at 517 nm after 30 min. BHA and BHT were used as antioxidant standards for comparison of the activity. The scavenging capability of DPPH radical was calculated using the following equation:

$$\text{DPPH scavenging effect (\%)} = \frac{A_{\text{Control}} - A_{\text{Sample}}}{A_{\text{Control}}} \times 100$$

The results were given as IC_{50} value (µg/ml) corresponding to the concentration of 50% inhibition.

2. ABTS radical cation decolorization assay

The spectrophotometric analysis of $\text{ABTS}^{+\cdot}$ scavenging activity was determined according to the method of Re *et al.* [18]. After preparation of the oxidation solution of ABTS, the $\text{ABTS}^{+\cdot}$ solution was diluted to get an absorbance of 0.700 ± 0.020 at 734 nm with water. Then, 160 µl of ABTS solution was added to 40 µl of sample solution in methanol at different concentrations. After 10 min., the absorbance was measured at 734 nm. Methanol was used as a control. BHA and BHT were used as antioxidant standards for comparison of the activity. The results were given as the IC_{50} (µg/ml), which was calculated by means of the following equation:

$$\text{ABTS}^{+\cdot} \text{ Scavenging effect (\%)} = \frac{(A_{\text{Control}} - A_{\text{Sample}})}{A_{\text{Control}}} \times 100$$

3. Reducing power assay

The reducing power of the tested compounds was assessed according to the method of Bouratoua [19]. In order to determine the reducing power activity, 10 µl of serial diluted sample were added into a 96 well round-bottomed plate. Following this, 40 µl of 0.2 M phosphate buffer (pH 6.6)

and 50 μ l of potassium ferricyanide (1%), were added to each well and the plate was incubated at 50°C for 20 min. Finally, 50 μ l of TCA(10%) and distilled water (40 μ l) and 10 μ l of ferric chloride (0.1%), was added into each well in order to measure the reducing power activity. The absorbance was measured in a microplate reader at 700 nm. Higher absorbance of the reaction mixture indicates greater reducing power.

4. Phenanthroline assay

This test was carried out according to the method described by Szydłowska-Czerniak *et al.* [20]. 10 μ l of sample solution in methanol at different concentrations was placed into a 96 well round-bottomed plate. 50 μ l of FeCl_3 (0.2%) and 30 μ l of 1, each well was then appended with 10-Phenanthroline (0.5%). Finally, 110 μ l of methanol were added. The microplate was incubated 20 minutes at 30°C in a dark. The absorbance of solution was measured at 510 nm. BHT and BHA were used as antioxidant standards.

5. Cupric reducing antioxidant capacity (CUPRAC)

The cupric reducing antioxidant capacity was determined according to the CUPRAC method [21]. In each well the reaction mixture containing 40 μ l of sample solution and 50 μ l of a copper (II) chloride solution, 50 μ l of neocuproine alcoholic solution, and 60 μ l of ammonium acetate aqueous buffer at pH 7 was combined to give a final volume of 200 μ l. After 30 minutes, the absorbance was measured at 450 nm. Results were recorded as absorbance compared with the absorbance of BHA and BHT, which were used as antioxidant standards.

6. Antioxidant capacity by the β -carotene bleaching assay

The β -carotene bleaching activity of our compounds was evaluated using the β -carotene-linoleic acid system described by Marco [22]. Thus, a solution of β -carotene (0.5 mg) in 1 ml of chloroform is combined with 25 μ l of linoleic acid and 200 μ l of Tween40. After evaporation in vacuo of the chloroform, 50 ml of Hydrogen peroxide H_2O_2 is added under vigorous agitation. The absorbance of the solution is then adjusted to 0.8-0.9 nm. Amounts of 160 μ l of this solution are added to 40 μ l of solution of the studied synthetic compounds at different concentrations. The absorbance was measured at 470 nm, using a 96-well microplate reader. The emulsion system was incubated for 2 h at 50°C. A blank, devoid of β -carotene, was prepared for background subtraction. BHA and BHT were used as standards.

The bleaching rate (R) of β -carotene was calculated according to the following equation:

$$R = \frac{\ln a/b}{t}$$

where: $\ln$ = natural log, a = absorbance at time zero, b = absorbance at time t (120 min).

The antioxidant activity (AA) was calculated in terms of percent of inhibition relative to the control, using following the equation:

$$AA (\%) = \frac{R_{\text{Control}} - R_{\text{Sample}}}{R_{\text{Control}}} \times 100$$

Anticholinesterase activity

Acetylcholinesterase (AChE) and butyrylcholinesterase (BChE) inhibitory activity was measured, by the spectrophotometric method developed by Ellman *et al.* [23]. Briefly, 150 μ l of 100 mM sodium phosphate buffer (pH 8.0), 10 μ l of sample solution dissolved in methanol at different concentrations and 20 μ l AChE (5.32×10^{-3} U) or BChE (6.85×10^{-3} U) solution were mixed and incubated for 15 min at 25°C, and 10 μ l of 0.5 mM DTNB [5,5'-dithio-bis(2-nitrobenzoic) acid] were added. The reaction was then initiated by the addition of 10 μ l of acetylthiocholine iodide (0.71 mM) or butyrylthiocholine chloride (0.2 mM). The hydrolysis of these substrates were monitored spectrophotometrically by the formation of yellow 5-thio-2-nitrobenzoate anion, as the result of the reaction of DTNB with thiocholine, released by the enzymatic hydrolysis of acetylthiocholine iodide or butyrylthiocholine chloride, respectively, at a wavelength of 412 nm, every 5 min for 15 min, utilising a 96-well microplate reader (Perkin Elmer Multimode Plate Reader, EnSpire, USA) in triplicate experiments. Galanthamine was used as reference compound. The results were given as 50% inhibition concentration (IC_{50}) and the percentage of inhibition of AChE or BChE was determined by comparison of reaction rates of samples relative to blank sample (methanol in phosphate buffer, pH 8) using the formula:

$$\text{inhibition of AChE or BChE } (\%) = \frac{E-S}{E} \times 100,$$

where: E is the activity of enzyme without test sample, and S is the activity of enzyme with test sample.

Statistical Analysis

All data on antioxidant and anticholinesterase activities were the average of triplicate analyses. Data were recorded as the mean $\pm$ standard deviation. Analysis of variance was executed using ANOVA test. Significant differences between means were determined by Tukey test; p values < 0.05 were regarded as significant. Pearson's correlation was calculated. All these tests were performed using XLSTAT 2014.

RESULTS

Total phenolic and flavonoids content

Results of total phenolic and flavonoids content of extracts are shown in Table 1.

Table 1. Total phenolic content (TPC) and total flavonoids content (TFC) of extracts of *P. guajava*.

Extract	TPC(μ g GAE/mg) ¹	TFC(μ g QE/mg) ²
Chloroform extract	250.47 $\pm$ 0.05	112.71 $\pm$ 0.09
Ethyl acetate extract	931.15 $\pm$ 0.06	269.57 $\pm$ 0.10
Butanol extract	808.41 $\pm$ 0.04	68.37 $\pm$ 0.03

Results are expressed as means $\pm$ SD of three measurements

¹ Micrograms of gallic acid equivalents per milligrams of extract

² Micrograms of quercetin equivalents per milligrams of extract

The total content of phenols of leave extract of *P. guajava* was estimated by using the Folin-Ciocalteu method. The level of phenolic compounds in each fraction was expressed as micrograms of gallic acid equivalents per milligram

of extract. Results showed that the ethyl acetate fraction contained the highest content ($931.15 \pm 0.06 \mu\text{g GAE/mg}$), followed by the n-butanol fraction with $808.41 \pm 0.04 \mu\text{g GAE/mg}$. Chloroform extract gave the lowest result ($250.47 \pm 0.05 \mu\text{g GAE/mg}$). The total flavonoids content was determined by the trichloridealuminum method and results were expressed as micrograms of quercetin equivalents per milligram of extract. Among the three extracts, the ethyl acetate fraction contained the highest amount ($269.57 \pm 0.10 \mu\text{g QE/mg}$). Contrary to total phenolic content, flavonoids content of chloroform fraction was important with a value of $112.71 \pm 0.09 \mu\text{g QE/mg}$. The minimum level of flavonoids was recorded by the n-butanol fraction ($68.37 \pm 0.03 \mu\text{g QE/mg}$).

Antioxidant properties

The antioxidant activity of the different extracts from the leaves of *Psidium guajava* was evaluated using six different methods: DPPH radical scavenging [17], ABTS cation radical decolorization [18], Reducing power assay [19], Phenanthroline assay [20], CUPRAC [21], and β -carotene bleaching [22]. Results are shown in Table 2.

Table 2. DPPH radical scavenging, ABTS cation radical decolorization, Reducing power assay, Phenanthroline assay, CUPRAC, and β -carotene bleaching assays on extracts of *P. guajava*

Samples	DPPH IC_{50} ($\mu\text{g ml}^{-1}$)	ABTS IC_{50} ($\mu\text{g ml}^{-1}$)	Reducing power $A_{0.5}$ ($\mu\text{g ml}^{-1}$)	Phen assay IC_{50} ($\mu\text{g ml}^{-1}$)	CUPRAC $A_{0.5}$ ($\mu\text{g ml}^{-1}$)	β -carotene bleaching IC_{50} ($\mu\text{g ml}^{-1}$)
Chloroform extract	>200	>200	>200	119.20 ± 1.85^c	>200	9.25 ± 1.26^c
Ethyl acetate extract	4.26 ± 0.05^a	5.25 ± 0.47^b	13.45 ± 5.82^a	3.25 ± 0.11^b	3.08 ± 0.55^{ab}	3.18 ± 0.10^b
Butanol extract	5.48 ± 1.53^{ab}	1.09 ± 0.10^a	26.63 ± 3.49^b	2.62 ± 0.01^{ab}	1.72 ± 0.06^a	3.53 ± 0.26^b
BHA*	6.82 ± 0.49^b	1.03 ± 0.00^a	NT	0.93 ± 0.07^a	3.64 ± 0.19^b	0.90 ± 0.02^a
BHT*	22.32 ± 0.02^c	1.59 ± 0.03^a	NT	2.24 ± 0.17^{ab}	9.62 ± 0.87^c	1.05 ± 0.01^a
Ascorbic acid *	NT	NT	6.77 ± 1.15^a	NT	NT	NT
Tannic acid*	NT	NT	5.39 ± 0.91^a	NT	NT	NT

Results are expressed as means $\pm$ SD of three measurements; Analysis of variance (ANOVA) revealed significant effect ($p < 0.05$). The column means that share the same superscript letters are not significantly different; NT – Not tested; * – Standards

The results revealed that the species *Psidium guajava* possesses important antioxidant activities at various degrees, in particularly the ethyl acetate and n-butanol fractions. Values of IC_{50} and $A_{0.5}$ varied according to extract fraction. The chloroform extract showed weak antioxidant activity.

The DPPH radical is a stable lipophilic free radical and is always employed for evaluating the free radical scavenging potential of plant extract antioxidants [24]. DPPH radical scavenging, expressed as IC_{50} ($\mu\text{g/ml}$) values, were compared to those of standards BHA and BHT. *P. guajava* exhibited a high DPPH scavenging ability. Therein, ethyl acetate and n-butanol extracts have greater inhibitory potential than did the standards, with $IC_{50} = 4.26 \pm 0.05 \mu\text{g/ml}$ and $IC_{50} = 5.48 \pm 1.53 \mu\text{g/ml}$, respectively.

P. guajava exhibited good activity in ABTS scavenging. Values of IC_{50} are very close to those of standards, especially the n-butanol fraction

($IC_{50} = 1.09 \pm 0.10 \mu\text{g/ml}$), which has an IC_{50} not significantly different to both that of BHA and BHT.

The reducing power activity of the samples was represented as $A_{0.5}$ values. Compared to the standards (ascorbic acid and tannic acid), the best result was given by the Ethyl acetate fraction ($IC_{50} = 13.45 \pm 5.82 \mu\text{g/ml}$). By contrast, the n-butanol fraction showed lower activity, with a IC_{50} value significantly different from that of the standards ($26.63 \pm 3.49 \mu\text{g/ml}$)

Concerning the phenanthroline assay, results showed that ethyl acetate and n-butanol extracts had high activity, with values of IC_{50} close to the standards with a non-significant difference ($IC_{50} = 3.25 \pm 0.11 \mu\text{g/ml}$ and $IC_{50} = 2.62 \pm 0.01 \mu\text{g/ml}$, respectively). The reduction of Cu^{2+} ions was evaluated by Cupric reducing antioxidant capacity (CUPRAC). This test gave very interesting results. Accordingly, ethyl acetate and n-butanol extracts of *P. guajava* showed a higher inhibition than that of BHA ($A_{0.5} = 3.08 \pm 0.55 \mu\text{g/ml}$ and $A_{0.5} = 1.72 \pm 0.06 \mu\text{g/ml}$, respectively).

The only antioxidant activity where the chloroform fraction showed efficiency is in β -carotene bleaching inhibition. This fraction exhibited inhibitory activity, but the value of IC_{50} ($9.25 \pm 1.26 \mu\text{g/ml}$) was significantly different from standards. Ethyl acetate and n-butanol fractions were more efficient, with similar values of IC_{50} ($3.18 \pm 0.10 \mu\text{g/ml}$ and $3.53 \pm 0.26 \mu\text{g/ml}$, respectively).

The correlation of total phenolic content with antioxidant activities is shown in Table 3. Results reveal high and negative correlation between the abundance of phenolic compounds and IC_{50} or $A_{0.5}$ of several assays. The coefficient of correlation (r) is around -0.900. As regards the total flavonoids content, the correlation is lower and negative.

Anticholinesterase activity

The colorimetric method of Ellman *et al.* [23] is based on determining the amount of thiocholine released when acetylthiocholine or butyrylthiocholine is hydrolysed by Acetylcholinesterase (AChE) or Butyrylcholinesterase (BChE).

The thiocholine released is quantified by its reaction with 5,5'-bis(dithionitro)benzoic acid (DTNB), which produces a yellow 5-thio-2-nitrobenzoate anion [25].

The capacity of the samples to inhibit the cholinesterase was evaluated by the percentage of inhibition of AChE and BChE at various concentrations. The values of IC_{50} were compared to that of the galanthamine (Table 4).

Table 3. Pearson's correlations between total phenolic content (TPC), total flavonoids content (TFC) and antioxidant activities (DPPH, ABTS, Reducing power, Phen assay, CUPRAC, β -carotene bleaching), anticholinesterase activities (AChE, BChE)

		IC_{50} DPPH	IC_{50} ABTS	$A_{0.5}$ Reducing power	IC_{50} Phen assay	$A_{0.5}$ CUPRAC	IC_{50} β -carotene bleaching	IC_{50} AChE	IC_{50} BChE
TPC	r	-0.986	-0.982	-0.994	-0.985	-0.985	-0.993	-0.933	-0.958
	R ²	0.973	0.965	0.989	0.970	0.969	0.986	0.871	0.919
TFC	r	-0.312	-0.290	-0.367	-0.303	-0.302	-0.356	-0.114	-0.192
	R ²	0.098	0.084	0.135	0.092	0.091	0.127	0.013	0.037

r – Correlation coefficient; R² – Correlation of determination

Table 4. Inhibition of acetylcholinesterase (AChE) and (butyrylcholinesterase (BChE) by different extracts

Samples	AChE			BChE		
	% inhibition		IC ₅₀ (µg/ml)	% inhibition		IC ₅₀ (µg/mL)
	100 µg/ml*	200 µg/ml*		100 µg/ml*	200 µg/ml*	
Chloroform extract	36.42 ±2.43	53.52 ±0.81	177.11 ±2.30 ^d	NA	NA	>200
Ethyl acetate extract	82.42 ±1.39	96.99 ±0.85	56.11 ±4.04 ^c	61.65 ±0.91	95.65 ±4.78	44.95 ±2.67 ^b
n-butanol extract	90.78 ±5.32	94.44 ±3.10	24.44 ±3.45 ^b	91.01 ±3.78	94.88 ±1.81	21.87 ±10.48 ^a
Gаланthamine**	91.80 ±0.20	94.77 ±0.34	6.27 ±1.15 ^a	73.57 ±0.77	78.95 ±0.58	34.75 ±1.99 ^{ab}

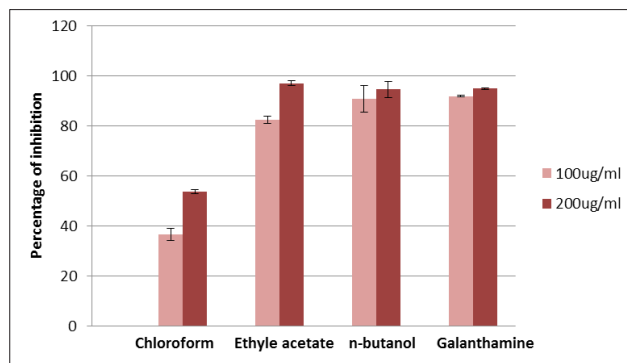
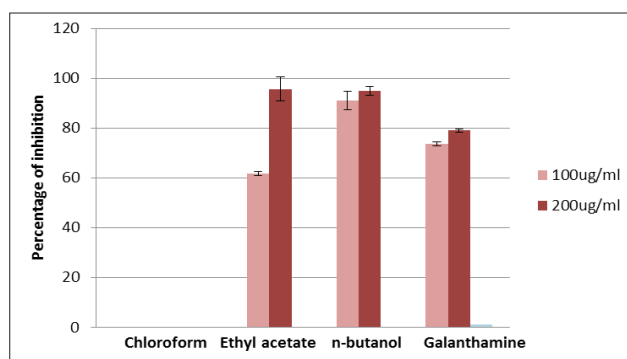
Results are expressed as means ± SD of three measurements;
Analysis of variance (ANOVA) revealed significant effect ($p < 0.05$). The column means that share same superscript letters are not significantly different;

NA – No activity;

* – Concentration is expressed as micrograms of extract per milliliter of methanol;

** – Standard

P. guajava seems to have important anticholinesterase activity. The results showed a high percentage of inhibition of AChE at 100 µg/ml and 200 µg/ml. The ethyl acetate and *n*-butanol extracts especially stood out, with values ranging up to 96.99% of inhibition (Fig. 1). Therein, IC₅₀ of the two fractions was estimated at 56.11±4.04 µg/ml and 24.44±3.4 µg/ml, respectively. The chloroform fraction had the highest IC₅₀ (177.11±2.30 µg/ml). This same species showed a very interesting power to inhibit the enzyme BChE at a rate going up to 95% (Fig. 2). The *n*-butanol extract gave an IC₅₀ (21.87±10.48 µg/ml) that was lower than that of galanthamine. Moreover, the difference between means was not significant. In contrast, the ethyl acetate fraction had

**Figure 1.** Percentage of inhibition of Acetylcholinesterase (AChE) at different concentrations of extract fractions of *P. guajava* and standard**Figure 2.** Percentage of inhibition of Butyrylcholinesterase (BChE) at different concentrations of extract fractions of *P. guajava* and standard

an activity close to that of the standard (IC₅₀ = 44.95±2.67 µg/ml).

The correlation of total phenolic content with anticholinesterase activity is shown in Table 3. Results revealed high and negative correlation between the abundance of phenolic compounds and the IC₅₀ of both AChE and BChE tests, with ($r = -0.933$, $R^2 = 0.871$) and ($r = -0.958$, $R^2 = 0.919$), respectively. As regards the total flavonoids content, the correlation was lower and negative ($r = -0.114$, $R^2 = 0.013$) and ($r = -0.192$, $R^2 = 0.037$), respectively.

DISCUSSION

Our work shows elevated levels of phenolic compounds (TPC) and flavonoids (TFC), especially in the ethyl acetate fraction, followed by the *n*-butanol fraction. Chloroform contained the lowest rate. The results we attained are consistent with those of Mouffouk *et al.* [26] who found that the highest phenolic and flavonoids content were recorded in the ethyl acetate extract, followed by *n*-butanolic extract. Saeed *et al.* [27] have also noted similar results. The study of Babbar *et al.* revealed that ethyl acetate was better than the dichloromethane in extracting phenolic compounds and that polarity of extracting solvent might influence the TPC and TFC of the extracts [28]. The total phenolic and flavonoids content of *P. guajava* has been reported in many previous studies. Chang [29] recorded values of TPC = 229 µg/mg and TFC = 208 µg/mg in aqueous guava budding leaf extract; these results are close to ours. In Brazil, a study on *P. guajava* leaves indicated a similar level in the ethanolic extract (TPC = 766.08 µg/mg, TFC = 118.90 µg/mg) [30]. Another Brazilian study showed total flavonoid and polyphenol content of concentrated and spray-dried leaf extracts of *P. guajava* to be (TPC = 25.93 µg/mg, TFC = 23.48 µg/mg) [31]. Several other authors have confirmed the high level of phenol and flavonoids content in this species when grown in the Asian area [32–34].

Our results reveal that antioxidant activity and values of IC₅₀ of some samples were lower than those of standards. This was the case for the DPPH radical scavenging assay and CUPRAC assay. These two tests are based on the capacity of antioxidant to transfer electrons. ABTS scavenging, Reducing power activity, Phenanthroline and β-carotene bleaching assays revealed results close to standards.

The β-carotene bleaching assay showed the activity of chloroform extract to be contrary to the other assays. This result is consistent with that of Hacibekiroglu and Kolak who found that chloroform extract induced high inhibition of lipid peroxidation as indicated by β-carotene bleaching assay, the effect being due to the presence of the phenolic and flavonoid compounds [35]. This antioxidant activity could be related to the abundance of phenolic compound in extracts. Extracts with a high level of total phenolic content showed best antioxidant capacities. Statistical results of correlation confirm this hypothesis with a very high coefficient of correlation between total phenolic content and all antioxidant assays.

Previous studies on leaf extracts of *P. guajava* reported a high degree of antioxidant activity that was due to richness in phenolic compounds. Qian *et al.* [36] found that different

extracts from guava leaf showed good free radical-scavenging activity depending on the concentration used. Seo *et al.* [37] studied the antioxidant ability of water, ethanol and methanol extracts of *P. guajava* leaves, and their results demonstrated superior antioxidant ability of guava leaf extracts, albeit due more to phenolic compound content rather than flavonoid content. Another study on *P. guajava* leaves extract showed heightened antioxidant activity by way of using Ferum Reducing Power (FRAP) [38]. The aim of a recent Indonesian research was to evaluate antioxidant activity from ten species of Myrtaceae, including *P. guajava*. Herein, DPPH assay of ethyl acetate extract of *P. guajava* leaves gave $IC_{50} = 53.54 \pm 2.23 \mu\text{g/ml}$ – which was lower than that of Ascorbic acid [39]. These results are in accordance with ours, but the level of phenolic compounds was higher. The IC_{50} values we obtained were lower than most of the studies mentioned above and we also found greater antioxidant activities through all our assays. This difference could be explained by the fact that our plant material consisted of leaves of *P. guajava* which had acclimated and adapted to the local conditions of Algeria, hence, this differed to other studies on the same species grown in its natural environment (mainly in the Asian area, and within tropical and subtropical climates). Plant phenolics are well known to play crucial roles in plant ecology and physiology [40]. Studies that had gone before ours had investigated the role of phenolic compounds in the interactions of plants with various stress factors, with special attention to their antioxidant properties. Phenolic compounds play important roles in plant growth and development, particularly in defense mechanisms and adaptation to climatic conditions [41]. There is a potential, therefore, to use polyphenols as indicators of abiotic stress resistance [42].

Some studies associated antioxidant properties of *P. guajava* leaves with their phenolic compounds. Isolated compounds included ascorbic acid, gallic acid and caffeic acid [43], protocatechonic acid, ferulic acid, quercetin and guavin B [44], gallic acid, catechin, epicatechin, rutin, quercetin, naringenin and kaempferol [45]. The methanolic extract of Thai guava leaves has high antioxidant activity and three flavonoids with different levels of antioxidant power were isolated, quercetin, quercetin-3-O-glucopyranoside and morin [46].

The current study demonstrates the heightened inhibitory activity of ethyl acetate and n-butanol extracts of *P. guajava* leaves against both acetylcholinesterase (AChE) and butyrylcholinesterase (BChE). Herein, the chloroform extract showed interesting inhibition against AChE, despite its weak antioxidant activity. These findings can be explained by the abundance in the chloroform extract of other bioactive compounds that exhibit inhibition of cholinesterase. Udoidong *et al.* [47] undertook a phytochemical screening of the chloroform extract of a medicinal species; the results of this revealed the presence of alkaloids, steroids, and flavonoids.

Studies analyzing the anticholinesterase activity of *P. guajava* species or even the genus *Psidium* are rare. Some research, however, has been done on other species of Myrtaceae. Gasca *et al.* [48] isolated two flavonoids, quercetin and catechin, from *Eugenia dysenterica* leaves.

These compounds exhibited superior acetylcholinesterase inhibitory effects, with $IC_{50} = 46.59 \pm 0.49 \mu\text{g/ml}$ and $42.39 \pm 0.67 \mu\text{g/ml}$ respectively. With regard to *P. guajava*, a previous study on thirteen Tai medicinal plants, including *P. guajava*, revealed that the latter's essential oils have no inhibitory effect on AChE [49]. In contrast, Indian research on *P. guajava* fruit showed that it produced significant reduction of brain acetylcholinesterase activity in young and aged mice. In the study, pretreatment of 15 days with *P. guajava* fruit protected the animals from developing memory deficits, and *P. guajava* fruit induced elevation of the brain acetylcholine level by significantly reducing acetylcholinesterase activity [50]. Our results on *P. guajava* leaves show the efficiency of this species as inhibitor of cholinesterase (AChE and BChE). This effect could be related to its contained phenolic compounds and the resulting antioxidant activity.

The antioxidant effect of *P. guajava* fruit might also be beneficial in protecting the brains of rodents against oxidative stress [50]. A previous study confirmed the effect of quercetin on the acquisition and retention of spatial memory in a rat model of Alzheimer's disease and concluded that there is convincing evidence on the neuroprotective effects of flavonoids against Alzheimer's disease [51]. According to the studies cited above, *P. guajava* leaves contain quercetin.

CONCLUSION

Psidium guajava is a tree grown in tropical and subtropical regions where it is known for its medicinal properties. Our pioneering study focuses on *P. guajava* which has grown in a botanical garden in Algeria. A high level of total phenolic and flavonoid content was found. Therefore, extracts manifested antioxidant activities which were greater than the standards in some assays, notably DPPH scavenging and CUPRAC assays. The efficiency of *P. guajava* leaf extracts against Alzheimer's disease was also investigated by testing the inhibitory effect of the two enzymes acetylcholinesterase and butyrylcholinesterase. Results revealed that *P. guajava* extracts had values of IC_{50} close and even lower than the standard. We suppose that this important antioxidant activity is caused by the abundance of phenolic compounds produced unduly by leaves of our *P. guajava* trees through its acclimation and developed resistance to abiotic stress by way of manufacturing secondary metabolites. It should be noted that extracts with a high level of total phenolic content showed best antioxidant capacities.

As a perspective, ulterior study for isolation of those compounds could be realized. Chromatographic analysis would be necessary to identify these molecules. This species must undergo greater cultivation in Algeria as its bioactive molecules can be used as drugs and as an anti-Alzheimer remedy, though necessarily with the testing of other effects such as toxicity for safe use.

ACKNOWLEDGEMENTS

We are grateful to Mr Chalabi, the agronomist in charge of the Botanical Garden of the University of Skikda for his help and generosity.

We also thank all the staff of the laboratories (quality-analysis) and (biochemistry) at the Biotechnology Research

Center of Constantine, Algeria, for their welcome and availability.

ORCID iDs

Imane Bouchoukh <https://orcid.org/0000-0003-1808-5519>

Tahar Hazmoune <https://orcid.org/0000-0003-0969-9455>

Mokhtar Boudelaa <https://orcid.org/0000-0001-5360-9133>

Chawki Bensouici <https://orcid.org/0000-0003-4612-4642>

Amar Zellagui <https://orcid.org/0000-0002-6515-8103>

REFERENCES

- Yoshikawa T, Naito Y. What Is Oxidative Stress? *J Am Vet Med Assoc*. 2002;45(7):271-6.
- Saxena M, Saxena J, Pradhan A. Flavonoids and phenolic acids as antioxidants in plants and human health. *Int J Pharm Sci Rev Res*. 2012;16(2):130-4.
- Verdile G, Keane KN, Cruzat VF, Medic S, Sabale M, Rowles J. et al. Inflammation and Oxidative Stress: The Molecular Connectivity between Insulin Resistance, Obesity, and Alzheimer's Disease. *Mediators Inflamm*. 2015:1-17.
- EtindelSosso FA, Nakamura O, Nakamura M. Epidemiology of Alzheimer's disease: Comparison between Africa and South America. *J Neurol Neuro Sci*. 2017;8:3.
- Augustinsson KB. Comparative Aspects of the Purification and Properties of Cholinesterases. *B World Health Organ*. 1971;44(1-2-3): 79-89.
- Kim D, Jeond S, Lee C. Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. *Food Chem*. 2003; 81:321-6.
- Juanda D, Aligita W, Elfahmi, Hartati R, Musaad S. Antioxidant and alpha glucosidase inhibition activity of kupa (*Syzygium polychepalum* Miq.) cortex. *Int J Pharm Phytopharm Res*. 2018;8(3):33-8.
- Mahbubur Rahman HM, Zaman R. Taxonomy and Traditional Medicinal Plant Species of Myrtaceae (Myrtle) Family at Rajshahi District, Bangladesh. *Int J Adv Res*. 2015;3(10):1057-66.
- El-Ahmady SH, Ashour ML, Wink M. Chemical composition and anti-inflammatory activity of the essential oils of *Psidium guajava* fruits and leaves. *J Essent Oil Res*. 2013;25(6):475-81.
- Rojas-Garbanzo C. *Psidium* Fruits: Endemic fruits of latin America with a wide variety of phytochemicals. *Clin Oncol*. 2018;3:1479.
- Hamada S, Kitanaka S. *Method of treatment of atopic dermatitis with dried guava leaves*. United States Patent. 1999;5:231.
- Gutierrez RM, Mitchell S, Solis RV. *Psidium guajava*: A review of its traditional uses, phytochemistry and pharmacology. *J Ethnopharmacol*. 2008;117(1):1-27.
- Chalabi R. *Espèces fruitières de l'ancienne école d'agriculture de Skikda: Recensement et sauvegarde*. Mémoire de magistère en Agronomie : University of Skikda, Algeria. 2014; p. 103.
- Singleton VL, Rossi, JA. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdicphosphotungstic acid reagent. *Am J Enol Vitic*. 1965;16:144-58.
- Muller L, Gnoyke S, Popken AM, Bohm V. Antioxidant capacity and related parameters of different fruit formulations. *LWT-Food Sci Technol*. 2010;43(6):992-9.
- Topçu G, Ay A, Bilici A, Sarıkürkcü C, Öztürk M, Ulubelen A. A new flavone from antioxidant extracts of *Pistacia terebinthus*. *Food Chem*. 2007;103(3):816-22.
- Blois MS. Antioxidants determination by the use of a stable free radical. *Nature*. 1958;26:1199-200.
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic Biol Med*. 1999;26(9-10):1231-7.
- Bouratoua A, Khalfallah A, Bensouici C, Kabouche Z, AlabdulMagi A, Harakat D. et al. Chemical composition and antioxidant activity of aerial parts of *Ferula longipes* Coss. ex Bonnier and Maury. *Nat Prod Res*. 2017;32(16):1873-80.
- Szydlowska-Czerniak A, Dianoczi C, Recseg K, Karlovits G, Szlyk E. Determination of antioxidant capacities of vegetable oils by ferric-ion spectrophotometric methods. *Talanta*. 2008;76(4):899-905.
- Apak R, Güçlü K, Ozyürek M, Karademir SE. Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC method. *J Agric Food Chem*. 2004;52 (26):7970-81.
- Marco GJ. A rapid method for evaluation of antioxidants. *J Am Oil Chem Soc*. 1968;45, 594-8.
- Ellman GL, Courtney D, Andies V, Featherstone RM. A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. *Biochem Pharmacol*. 1961;7, 88-95.
- Xiaoyong S, Luming C. Phenolic constituents, antimicrobial and antioxidant properties of blueberry leaves (V5). *J Food Nutr Res*. 2014;2(12):973-9.
- Adewusi E. A, Moodley N, Steenkamp V. Medicinal plants with cholinesterase inhibitory activity: A Review. *Afr J Biotechnol*. 2010;9(49):8257-76.
- Mouffouk C, Hambaba L, Haba H, Mouffouk S, Bensouici C, Mouffouk S. et al. Acute toxicity and in vivo anti inflammatory effects and in vitro antioxidant and anti arthritic potential of *Scabiosa stellata*. *Orient Pharm Exp Med*. 2018;8(5).
- Saeed N, Khan MR, Shabbir M. Antioxidant activity, total phenolic and total flavonoid contents of whole plant extracts *Torilisleptophylla* L. *BMC Complement Altern Med*. 2012;12:221.
- Babbar N, Oberoi HS, Sandhu SK, Bhargav VK. Influence of different solvents in extraction of phenolic compounds from vegetable residues and their evaluation as natural sources of antioxidants. *J Food Sci Technol*. 2012;51(10):2568-75.
- Chang YS. *The bioactive constituents of aqueous guava budding leaf extract and their apoptotic mechanism on DU145 prostate cancer cells*, M.S. thesis, Research Institute of Biotechnology: Hungkuang University.
- Vieira Braga T, Gonçalves Rodrigues das Dores R, Soncin Ramos C, Gontijo Evangelista FC, Márcia da Silva Tinoco L, de PillaVarotti F. et al. Antioxidant, antibacterial and antitumor activity of ethanolic extract of the *Psidium guajava* leaves. *Am J Plant Sci*. 2014;5:3492-500.
- Fernandes MRV, Dias ALT, Carvalho RR, Souza CRF, Oliveira WP. Antioxidant and antimicrobial activities of *Psidium guajava* L. spray dried extracts. *Ind. Crops Prod*. 2014;60:39-44.
- Kawakami Y, Nakamura T, Hosokawa T, Suzuki-Yamamoto T, Yamashita H, Kimoto M, et al. Antiproliferative activity of guava leaf extract via inhibition of prostaglandin endoperoxide H synthase isoforms. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids*. 2009;80(5-6):239-45.
- Chen KC, Hsieh CL, Huang KD, Ker YB, Chyau CC, Peng RY. Anticancer activity of rhamnoallosan against DU-145 cells is kinetically complementary to coexisting polyphenolics in *Psidium guajava* budding leaves. *J. Agric. Food Chem*. 2009;57(14):6114-22.
- Jang M, Jeong S.W, Cho SK, Ahn KS, Kim BK, Kim JC. Anti-inflammatory effects of 4 medicinal plant extracts in lipopolysaccharide-induced RAW 264.7 cells. *Food Sci Biotechnol*. 2013;22(S):213-20.
- Hacibekiroglu I, Kolak U. Screening antioxidant and anticholinesterase potential of *Iris albicans* extracts. *Arab J Chem*. 2015;8(2): 264-8.
- Qian H, Nihorimbere V. Antioxidant power of phytochemicals from *Psidium guajava* leaf. *J Zhejiang Univ Sci*. 2004;5(6):676-83.
- Seo J, Lee S, Elam ML, Johnson SA, Kang J, Arjmandi BH. Study to find the best extraction solvent for use with guava leaves (*Psidium guajava* L.) for high antioxidant efficacy. *Food Sci Nutr*. 2014;2(2):174-80.
- Norhidayah A, Babji AS, Shazali MS, Norazmir MN, Norazlanshah H. Effects of Mango (*Mangifera indica* L.) and Guava (*Psidium guajava* L.) Extract on Frozen Chicken Meat Balls' Storage Quality. *Pak J Nutr*. 2011;10(9):879-83.
- Ramadhania ZM, Insanu M, Gunarti NS, Wirasutisna KR, Sukrasno S, Hartati R. Antioxidant activity from ten species of *Myrtaceae*. *Asian J Pharm Clin Res*. 2017;Special issue:5-7.
- Roseiro LB, PilarRauter A, MouratoSerralheiro ML. Polyphenols as acetylcholinesterase inhibitors: Structural specificity and impact on human disease. *J Nutr Aging*. 2012;1(2):99-111.
- Kulbat K. The role of phenolic compounds in plant resistance. *Biotechnol Food Sci*. 2016;80 (2):97-108

42. Cheruiyot EK, Mumera LM, Ngetich WK, Hassanali A, Wachira F. Polyphenols as potential indicators for drought tolerance in tea (*Camellia sinensis* L.). *Biosci Biotechnol Biochem*. 2007;71(9):2190-7.
43. Jimenez EA, Rincon M, Pulido R, Saura CF. Guava fruit as a new source of antioxidant dietary fibre. *J Agric Food Chem*. 2001;49: 5489-93.
44. Thaipong K, Boonprakob U, Cisneros-Zevallos L, Byrne DH. Hydrophilic and lipophilic antioxidant activities of guava fruits. *Southeast Asian J Trop Med Public Health*. 2005;36(S4):254-7.
45. Hsieh CL, Huang CN, Lin YC, Peng RY. Molecular action mechanism against apoptosis by aqueous extract from guava budding leaves elucidated with human umbilical vein endothelial cell (HUVEC) model. *J Agric Food Chem*. 2007;55(21):8523-33.
46. Tachakittirungrod S, Ikegami F, Okonog S. Antioxidant Active Principles Isolated from *Psidium guajava* Grown in Thailand. *Sci Pharm*. 2007;75(4):179-93.
47. Udoidong AA, Etuk BA, Udo IE. Phytochemical and chromatographic analysis of chloroform extract of *Marsdenia latifolia*. *Adv Appl Sci Res*. 2014;5(1):53-8.
48. Gasca CA, Castillo WO, Takahashi CS, Fagg CW, Magalhaes PO, Fonseca-Bazzo YM. et al. Assessment of anti-cholinesterase activity and cytotoxicity of cagaita (*Eugenia dysenterica*) leaves. *Food Chem Toxicol*. 2017;109(Pt 2):996-1002.
49. Kitphati W, Wattanakamolkul K, Lomarat P, Phanthong P, Anantachoke N, Nukoolkarn V. et al. Anticholinesterase of essential oils and their constituents from Thai medicinal plants on purified and cellular enzymes. *JAASP*. 2012;1(1):58-67.
50. Parle M, Broka E. Guava: A promising memory enhancer in rodents. *Int J Plant Sci*. 2010;5(1):297-301.
51. Ashrafpour M, Parsaei S, Sepehri H. Quercetin improved spatial memory dysfunctions in rat model of intracerebroventriculars treptozotocin-induced sporadic Alzheimer's disease. *Natl J Physiol Pharm Pharmacol*. 2015;5(5):411-5.

Intitulé : Contribution à l'étude de quelques espèces fruitières exotiques acclimatées de la région de Skikda en Algérie

Résumé

L'ancienne Ecole Régionale d'Agriculture de Skikda en Algérie, faisant actuellement une partie intégrante de l'université 20 août 1955, abrite différents jardins caractérisés par une importante diversité floristique, dont plusieurs espèces fruitières exotiques parfaitement acclimatées. Ces dernières sont mal connues par la population locale et rarement étudiées par la communauté scientifique nationale.

Un recensement de toutes les espèces fruitières exotiques de ces jardins nous a permis d'identifier trente-et-une espèces différentes, de décrire leur état actuel et de définir l'importance de l'érosion de certaines d'entre elles, les contraintes en cause et les moyens de sauvegarde. Parmi ces espèces, trois appartiennent à la famille des Myrtacées : le goyavier (*Psidium guajava* L.), le Feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg.) Burret) et le jamblon (*Syzygium cumini* L. Skeels). Nous avons prêté une attention particulière à l'aspect phytochimique *in-vitro* de leurs feuilles, cet aspect n'ayant jamais été étudié sur ces espèces poussant en Algérie.

Le dosage de la teneur en polyphénols totaux (TPC) et en flavonoïdes totaux (TFC) a révélé des taux très élevés en ces métabolites secondaires dans les feuilles des trois espèces. L'activité antioxydante a été évaluée par six différentes méthodes : le piégeage du radical libre DPPH, le piégeage de l'ABTS, la réduction par la formation du complexe Fe^{+2} -phenanthroline, la méthode CUPRAC, le pouvoir réducteur FRAP et le test de blanchissement de la β - carotène. Les résultats obtenus montrent un pouvoir antioxydant très intéressant avec des valeurs de IC_{50} et de $A_{0,5}$ plus faibles que celles des standards dans certains tests.

Le potentiel médicinal des trois espèces étudiées a été évaluée par l'étude de leur activité anti-enzymatique. Les extraits foliaires ont exercé un pouvoir inhibiteur remarquable contre les deux cholinestérases, l'acétylcholinestérase (AChE) et la butyrylcholinestérase (BChE) qui seraient à l'origine de la maladie d'Alzheimer. L'extrait butanolique de *P. guajava* et celui de *A. sellowiana* ont donné les meilleurs résultats en inhibant l'AChE avec des IC_{50} de $16,84 \pm 5,21$ $\mu g/ml$ et $24,44 \pm 3,45$ $\mu g/ml$ respectivement.

L'activité antidiabétique a été étudiée en estimant l'inhibition d'une enzyme clé, l'alpha glucosidase. Les pourcentages d'inhibition obtenus sont spectaculaires chez les trois espèces, allant jusqu'à 100% par l'extrait d'acétate d'éthyle des trois espèces et l'extrait butanolique de *P. guajava* et *S. cumini*. Les valeurs des IC_{50} sont très basses ($< 1,95$ $\mu g/ml$).

Le pouvoir photoprotecteur des extraits foliaires des trois espèces étudiées a été évalué par l'estimation du facteur de protection solaire (SPF). Tous les extraits sont avérés à haute protection contre les rayons ultraviolets. Les valeurs du SPF sont comprises entre 46,65 et 48,45 avec un maximum donné par l'extrait d'acétate d'éthyle des trois espèces.

Toutes ces propriétés médicinales seraient directement liées à la présence des polyphénols dans les feuilles, particulièrement les flavonoïdes. Des corrélations positives existent entre le taux des polyphénols et les autres paramètres phytochimiques étudiés confirmant cette hypothèse.

Mots clés : Espèce fruitière- exotique- acclimatation- sauvegarde- *Psidium guajava*- *Acca sellowiana*- *Syzygium cumini*- polyphénols- activité antioxydante- Alzheimer- diabète- photoprotection.