



République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de
l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abou bekr Belkaïd -Tlemcen-



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

Laboratoire Antibiotiques Antifongiques : Physico-chimie, Synthèse et Activité Biologique

MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de master

Master en Sciences biologiques

Option : Biochimie appliquée

THEME

**Screening phytochimique et évaluation *in vitro* de
l'activité antioxydante et antidiabétique des déchets
alimentaire végétales: extraits de peaux de bananes**

Présentée par Melle CHEBIKA SARA

Soutenu le 10/07/2024, devant le jury compose de :

Pr.AZZI R.
Dr.Medjoub
Dr.ADJDIR S.
Pr. Benariba N.

Professeur
MAA
MAB
Professeur

Président
Examinatrice
Examinatrice
Promotrice

Année Universitaire : 2023-2024

ملخص

زاد الاهتمام العلمي بتثمين النفايات الغذائية وإعادة تدويرها حيث أصبحت جذابة للاستكشاف والاستفادة منها، بدلا من إهمالها. لقد جذبت قشور الموز انتباه الباحثين بسبب مكوناتها الكيميائية النشطة بيولوجيا. الهدف من هذا العمل هو تحديد مستوى المركبات الفينولية وتقييم نشاط مضادات الأكسدة والنشاط المضاد لمرض السكر في المختبر لمستخلص الهيدروإيثانول من قشر الموز (*Musa cavendish acumunata*) في الحالة الطازجة و الجافة. كشفت مستخلصات الهيدروإيثانول عن مستوى مرتفع بشكل ملحوظ من البوليفينول والفلافونويد والعفص في المستخلصات الطازجة مقارنة بالمستخلصات الجافة، وهو متغير بين 33.86 و 19.78 (مكغ معادل لحمض الغاليك/مغ من المستخلص) للبوليفينول، 29.3 و 14,04 (مكغ معادل للكاتشين /مغ من المستخلص) للفلافونويدات، وبين 50.38 و 68.53 (مكغ معادل للكاتشين /مغ من المستخلص) للعفص المكثف. أظهر مستخلص الهيدروإيثانول من قشر الموز الطازج نشاطاً قوياً مضاداً للأكسدة على DPPH بقيم IC_{50} تبلغ 38.67 و 87 مكغ/مل على التوالي بالإضافة إلى FRAP EC_{50} بلغت الى 23.43 و 38.67 مكغ/مل على التوالي. حيث كشفت هذه المستخلصات عن نشاط مضاد لمرض السكر ضعيف وقدمت تثبيطاً ضعيفاً لنشاط ألفا أميلاز ($IC_{50} =$ 1600.08 و 2482.07 مكغ/مل)، مع تأثير امتصاص ضعيف عند الغلوكوز 1.52 و 1.62 مليمول/غرام من المستخلص، أظهر حمض الغاليك امتزاز قوياً إلى الغلوكوز 17.35 مليمول / غرام أ.جاليك في ضوء هذه النتائج الأولية، نرى أن قشر الموز في حالته الطازجة غني بالمركبات الفينولية التي تمده بنشاط قوي مضاد للأكسدة، التي لا يمكن أن توفر نشاطاً ملحوظاً مضاداً لمرض السكر. وفي الختام فإن تثمين نفايات الموز ضروري كمصدر للجزيئات المضادة للأكسدة التي يمكن استخدامها لمكافحة الأمراض المرتبطة بالإجهاد التأكسدي.

الكلمات المفتاحية: مستخلصات الهيدروإيثانول، قشر الموز الطازج والجاف، الأنشطة المضادة للأكسدة الأنشطة المضادة لمرض السكر.

Résumé

L'intérêt scientifique porté à la valorisation et au recyclage des déchets alimentaires s'est accru, et ces biodéchets sont devenus attrayants à explorer et à en tirer profit, plutôt qu'à être négligés. Les peaux de bananes ont attiré l'attention des chercheurs en raison de leurs composants chimiques bioactifs. L'objectif du présent travail est de déterminer le taux des composés phénoliques et d'évaluer *in vitro* l'activité antioxydante et l'activité antidiabétique de l'extrait eau-éthanol de peau de banane (*Musa acumunata* Cavendish) utilisée à l'état frais et à l'état sec. Les extraits eau-éthanol ont révélé un taux de polyphénols, de flavonoïdes et de tanins condensés significativement élevé dans les extraits frais par rapport aux extraits secs. Il est variable entre 33,86 et 19,78 µg EAG/mg E pour les polyphénols, 29,37 et 14,04 µg EC/mg E pour les flavonoïdes, et entre 50,38 et 68,53 µg EC/mg E pour les tanins condensés. L'extrait eau-éthanol de peau de banane à l'état frais a montré une forte activité antioxydante sur le DPPH avec des valeurs d'IC₅₀ de 38,67 et 87 µg/ml, respectivement, ainsi que sur la réduction du fer avec des valeurs d'EC₅₀ de 23,43 et 38,67 µg/ml, respectivement. Tandis que ces extraits ont révélé une faible activité antidiabétique et ont assuré une faible inhibition de l'activité de l'α-amylase (IC₅₀ : 1600,08 et 2482,07 µg/ml), avec un faible effet d'adsorption au glucose de 1,52 et 1,62 mM/g d'extrait, l'acide gallique a révélé une forte adsorption au glucose de 17,35 mM/g A. gallique. À la lumière de ces résultats préliminaires, on constate que la peau de banane à l'état frais est riche en composés phénoliques qui lui assurent une puissante activité antioxydante, et qui ne peuvent pas assurer une activité antidiabétique remarquable. En conclusion, la valorisation des déchets de banane est nécessaire comme source de molécules antioxydantes qui pourraient être utilisées pour lutter contre les maladies liées au stress oxydatif.

Mot clés : Peau de banane fraîche et séchée, extrait eau-éthanol, activité antioxydante, activité antidiabétique.

Abstract

Scientific interest in the valorization and recycling of food waste has increased, and these biowastes have become attractive to explore and profit from rather than being neglected. Banana peels have attracted the attention of researchers because of their bioactive chemical components. The objective of the present work is to determine the level of phenolic compounds and to evaluate in vitro the antioxidant activity and the antidiabetic activity of the water-ethanol extract of banana peel (*Musa acumunata* Cavendish) used as is, fresh and dry. Water-ethanol extracts revealed significantly higher levels of polyphenols, flavonoids, and condensed tannins in fresh extracts compared to dry extracts. It varies between 33.86 and 19.78 $\mu\text{g EAG/mg E}$ for polyphenols, 29.37 and 14.04 $\mu\text{g EC/mg E}$ for flavonoids, and between 50.38 and 68.53 $\mu\text{g EC/mg E}$ for condensed tannins. The water-ethanol extract of fresh banana peel showed strong antioxidant activity on DPPH with IC_{50} values of 38.67 and 87 $\mu\text{g/ml}$, respectively, as well as iron reduction with EC_{50} values of 23.43 and 38.67 $\mu\text{g/ml}$, respectively. While these extracts revealed weak antidiabetic activity and provided low inhibition of α -amylase activity (IC_{50} : 1600.08 and 2482.07 $\mu\text{g/ml}$), with low glucose adsorption effects of 1.52 and 1.62 mM/g of extract, gallic acid revealed strong adsorption to glucose of 17.35 mM/g A. gallic. In light of these preliminary results, we see that banana peel in its fresh state is rich in phenolic compounds, which provide it with powerful antioxidant activity but cannot provide remarkable antidiabetic activity. In conclusion, the valorization of banana waste is necessary as a source of antioxidant molecules, which could be used to fight against diseases linked to oxidative stress.

Keywords: Banana peel, fresh and dry water-ethanol extracts, antioxidant activities, antidiabetic activities.

Remerciement

D'abords je remercie dieu, le tout puissant de m'avoir donné la force, le courage, la patience et la volonté pour réaliser ce travail.

Je tiens également à remercier du fond du cœur ma maman. Son amour inconditionnel, son soutien indéfectible et ses encouragements constants ont été mes sources d'inspiration tout au long de cette aventure académique. Ses conseils avisés et sa présence bienveillante ont été d'une aide précieuse

*Je tiens tout particulièrement à exprimer ma profonde gratitude envers **Dr. Benariba Nabila**, mon encadrent de recherche, pour son soutien constant, ses conseils éclairés et son expertise précieuse tout au long de l'élaboration de ce mémoire. Sa patience et son engagement ont grandement enrichi ce travail.*

*J'exprime mes sincères remerciements à **Pr.AZZI Rachid** professeure au département de biologie, faculté des sciences de la nature et de la vie, sciences de la terre et de l'univers, université de Tlemcen Abou Bekr Belkaid, pour l'honneur qu'il me fait de présider le jury ainsi que pour ses précieux conseils, sa disponibilité et sa sympathie.*

*Mes vifs remerciements **Dr.Medjoub** maîtres des conférences classe «A» au département de biologie, université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen-pour m'aider à mener à bien ce travail*

*Tous mes appréciations et mes respects **Dr. Adjdir Sara** maîtres des conférences classe «B» au département de biologie, université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen- de me fait l'honneur d'examiner ce travail.*

*J'exprime également mes remerciements les plus sincères et mes respects à **Brixî Gormat Radia, Fekhikher Zohra Hassaïn-Lahfa Imen**, et doctorantes en biologie, pour leur soutien, leur gentillesse, leurs conseils, leurs remarques et surtout leur disponibilité.*

*Je tiens également à exprimer toute ma gratitude et mon profond respect à **Lila Zazoua, Habi Salim** les ingénueures de Laboratoire de pédagogie de biochimie, au département de Biologie, faculté SNV-STU, Université Abou Bekr Belkaïd-Tlemcen.*

Enfin, mes remerciements s'adressent à toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

*Je prie dieu le tout puissant de préserver notre attachement mutuel,
Et d'exaucer tous nos rêves Je dédie ce travail :*

A Mes chères parentes

*Pour vos mains qui ont tant travaillées, pour votre cœur qui m'ont éclairé le
chemin de la vie par leur grand soutien et leurs encouragements par leur énorme
sacrifice et leur conseils précieux tout au long de mes études qui mon donner la
confiance, le courage*

A ma tante Naima et ma cousines Asma

À mes Amis

A mes professeures

A toute ma famille

A mes amis(e)s de la promotion de master biochimie appliquée

*Et à toute personne pouvant apprécier les notions
Exposées dans ce mémoire.*

Liste des tableaux

Tableau n° 1: Les sources des radicaux libres endogènes et exogènes	3
Tableau n°2: Principales radicaux libres des espèces réactives d'oxygène et d'azotes	4
Tableau n°3 : Les antioxydants enzymatiques	8
Tableau n° 4: Le rôle antioxydant des vitamines	10
Tableau n°5 : Les caractéristiques de acides phénolique et flavonoïdes et tanins	11
Tableau n° 6: Les différentes classes des antidiabétiques oraux.....	14
Tableau n° 7: Les principes actif naturelle antidiabétique.....	18
Tableau n°8 : Les exemples des déchets agroalimentaire.....	18
Tableau n° 9 : Les composés biologiquement actif de peau de banane.....	22
Tableau n° 10: Utilisation industrielles de peaux de banane	23
Tableau n° 11: Les activités biologiques de peaux de banane.....	24
Tableau n° 12: Rendements (%) et caractéristiques des extraits eau-éthanol de peau de banane.....	37
Tableau n° 13: Résultats du screening phytochimique des extraits eau-éthanol de peaux de bananes fraîches et séchés.....	38
Tableau n° 14: Taux de polyphénols totaux, de flavonoïdes et de tanins condensés dans les extraits eau-éthanol de peaux de bananes fraîches et séchées.....	40
Tableau n° 15: Effet des extraits eau-éthanol de peaux de banane frais et séchées la réduction du DPPH.....	41
Tableau n° 16: Effet Acide ascorbique sur la réduction de DPPH.....	41
Tableau n° 17: Effet des extraits eau-éthanol de peaux de banane frais et séchées sur la réduction du fer.....	43
Tableau n° 18: Absorbance de l'effet de l'acide ascorbique et BHA sur la réaction du fer.....	44
Tableau n°19: Effet des extraits sur l'activité de l' α -amylase exprimé en pourcentage d'inhibition.....	46
Tableau n° 20: Effet de l'acarbose sur l'activité de l' α -amylase.....	46
Tableau n° 21: La capacité d'adaptation de l'extrait de peau de banane au glucose.....	49
Tableau n° 22: Facteurs de corrélation entre le taux de polyphénols et flavonoïdes et tanin totaux dans l'extrait à l'état frais et à l'état sec et leurs activités testées.....	52

Liste des figures

Figure n°1: Oxydation des bases de l'ADN.....	5
Figure n°2: Représentation schématisée des mécanismes d'oxydation et de réparation des protéines .	6
Figure n°3: Peroxydations des lipides.....	7
Figure n°4: Les principaux antioxydants enzymatiques.....	9
Figure n°5 : Les pathologies associées aux stress oxydatif.....	12
Figure n° 6: La relation entre le stress oxydatif et les complications de diabète sucré.	13
Figure n° 7: Structure tridimensionnelle l' α -amylase	15
Figure n° 8 : Relation structure-activité des flavonoïdes contre l' α -amylase.....	16
Figure n° 9: Description botanique d'arbre de bananier	19
Figure n°10: Echelles colorimétriques de peaux de bananes	20
Figure n° 11: Les compositions minérales de peau de banane.....	21
Figure n° 12: La variété de banane utilisée (a), les peaux de banane coupées en morceaux utilisées à l'état frais (b) et à l'état séché (c).....	25
Figure n°13: Schéma présente le protocole d'extraction à partir de peau de banane.....	27
Figure n° 14: Principe du test de piégeage de radical DPPH.	31
Figure n° 15: Courbes étalon d'Acide gallique (A) pour le dosage de polyphénols et de catéchine pour le dosage de tanin condensés (B) et le dosage de flavonoïdes totaux (C).	39
Figure n°16 : Effet des extraits eau-éthanol de peaux de banane séchées (A) et fraîches (B) sur la réduction du DPPH.....	41
Figure n° 17 : Activité antioxydante de l'acide ascorbique sur le piégeage du DPPH.	42
Figure n°18 : Les valeurs de IC ₅₀ de l'A. Ascorbique et des extraits eau-éthanol de peau de banane fraîches et séchées sur la réduction du DPPH.....	42
Figure n°19: Pouvoir réducteur du fer par les extraits de peau de banane à état frais (A) et à l'état sec (B).....	44
Figure n° 20: Pouvoir réducteur du fer par BHA (A) et l'acide ascorbique (B).	44
Figure n° 21: Les valeurs EC ₅₀ des molécules de références et les extraits de peau de banane à l'état frais et à l'état sec.....	45
Figure n°22: Effet des extraits eau-éthanol de la peau de banane à l'état frais (A) et à l'état sec (B) sur l'activité de l' α -amylase.	46
Figure n° 23: Effet de l'acarbose sur activités de l' α -amylase exprimé en pourcentage d'inhibition... ..	47
Figure n°24: Capacité d'adaptation des extraits eau-éthanol de peau de banane au glucose ou incubation 1h et 3 h.	50
Figure 25 : Capacité d'adaptation d'acide gallique et l'acarbose avec les extraits à état fraîches et séché au glucose ou incubation 1h (A) et 3h (B).....	50

Liste des abréviations

A : Absorbance.	PBS : Tampon phosphate salé (Phosphat buffer salin)
AGE : La voie des produits avancés de la glycation	PKC : La voie des protéines kinases C
AlCl₃ : Chlorure d'aluminium	POD : Peroxydase
BHA : Butyl Hydroxy Anisole.	R% : Rendement En %.
CAT : Catalase	RL : Un radical libre
DNSA : Acide 3,5-Dinitrosalicylique	SO : Stress oxydatif
DO : Densité optique	RNS : Les espèces réactives de l'azote
DPPH : 2,2-diphényle-1-picrylhydrazyl.	ROS : Les espèces réactives d'oxygène
EC₅₀ : concentration efficace médiane	SOD : Superoxyde dismutase
Fe²⁺ : Fer ferreux	T° : Température
Fe³⁺ : Fer ferrique	TCA : Acide Trichloracétique
FeCl₃ : Chlorure de fer	VEGF : Facteur de croissance de l'endothélium vasculaire
FRAP : Ferric Reducing Antioxydant Power	µg : microgramme
G.A : Glucose adsorbé	µg EAG/mg E : Microgramme équivalent d'acide gallique par milligramme d'extrait
GFAT : Glutamine: fructose-6-phosphate amidotransferase (GFAT)	µg EC/mg E : Microgramme équivalent de catéchine par milligramme d'extrait
GOD : Glucose-oxydase h : heure	SUR : Récepteurs des sulfonylurées –1 (SUR1)
GPX : Glutathion peroxydase	GLP-1 : Glucagon-like peptide-1
GR : La glutathion réductase	DPP-4 : La dipeptidyl peptidase 4
GSH : Glutathion réduit	SGLT2 : Cotransporteur sodium-glucose de type 2
GS-SG : Glutathion oxydé	Glu : Acide glutamique
H₂O₂ : Peroxyde d'hydrogène	Asp : Acide aspartique
H₃PMo₁₂O₄₀ : Acide phosphomolybdique	ADN : L'acide désoxyribonucléique
H₃PW₁₂O₄₀ : Acide phosphotungstène	IRS : Substrat du récepteur de l'insuline
H Cl : Acide Chlorhydrique	Glut-2 : Le transporteur de glucose 2 (GLUT2)
IC₅₀ : La Concentration Inhibant 50% de l'activité enzymatique	
K₃Fe(CN)₆ : Ferricyanure de potassium	
Na₂CO₃ : Carbonate de sodium	
NaNO₂ : Nitrite de sodium	
NaOH : Hydroxyde de sodium.	

Table des matières

Introduction.....	1
--------------------------	----------

Synthèse bibliographique

Chapitres I: Diabète, stress oxydatif et antioxydant

1. Stress oxydatif.....	3
1.1 Radicaux libre	4
1.2 Variétés des espèces réactives.....	4
2. Stress oxydatif et conséquences biochimiques.....	4
2.1 Oxydation d'ADN	5
2.2 Oxydation des protéines	5
2.3 Peroxydation des lipides.....	6
3. Système antioxydant	7
3.1 Antioxydant enzymatiques endogènes	7
3.2 Antioxydants non enzymatique exogènes	9
4. Les maladies liées aux stress oxydatif.....	12
4.1 Relation entre diabète sucré, stress oxydatif et antioxydant.....	12

Chapitre II : Les déchets alimentaires d'origines végétales : peaux de bananes

1. Les déchets alimentaires	18
2. Description botanique du bananier	20
3. Peau de Bananes.....	21
3.1 Echelles colorimétriques de peaux de bananes.....	21
3.2 Compositions chimique et biochimique de peau de banane.....	22
3.3 Utilisation industrielles de peau de bananes.....	24
3.4 Les activités biologiques de peaux de banane.....	24

Partie expérimentale

Matériels et méthodes

1. Etude phytochimique.....	26
1.1 Matériel végétal.....	26
1.2 Préparation de l'extrait eau-éthanol de peau de banane.....	27
1.3 Calcule le Rendement des extraits	27
1.4 Screening phytochimique.....	28
1.5 Dosage des polyphénols totaux	30
1.6 Dosage de flavonoïdes	31

1.7 Dosage des tanins condensés.....	31
2. Etude Biologique	32
2.1 Evaluation de l'activité antioxydante	33
2.1.1 Test de piégeage de radical libre DPPH	33
2.2.2 Effet des extraits de peau de banane sur la réduction du fer (FRAP).....	34
2.2 Evaluation de l'activité antidiabétique	35
2.2.1 Effet des extraits de peau de banane sur l'activité de l' α -amylase.....	35
2.2.2 Test de capacité d'adsorption <i>in vitro</i> au glucose des extraits eau-éthanol.....	38
3. Analyse statistique	39
4. Analyse de corrélation.....	39

Résultats et interprétations

1. Etude phytochimique	37
1.1 Rendement et caractéristiques des extraits eau-éthanol de peau de banane.....	37
1.2 Screening phytochimique	37
1.3 Dosage des composé phénolique	38
2. Activité antioxydante des extraits eau-éthanol de peau de banane	40
2.1 Test de piégeage de radical libre DPPH	40
2.2 Effet des extraits de peau de banane sur la réduction du fer (FRAP).....	43
3. Activité antidiabétique des extraits eau-éthanol de peau de banane	45
4. Corrélation entre les activités testées et les teneurs en composés phénoliques des extraits de peaux de bananes.....	51
Discussion	55
Conclusion.....	68
Références bibliographiques.....	70

Introduction générale

Actuellement, le recyclage et la valorisation des déchets alimentaires organiques d'origine végétale appelés également les biodéchets, en particulier les épluchures et les restes de nourriture issus des fruits et des légumes, suscitent un grand intérêt dans la recherche scientifique. Ces matières organiques peuvent être valorisées comme matières premières pour l'industrie pharmaceutique et cosmétique, pour l'alimentation animale et pour l'agronomie (**Bouzid et al., 2019**). En Algérie, 15 millions de tonnes de déchets de fruits et de légumes sont générés par année. La plupart de ces déchets sont déversés dans des décharges ou des rivières, ce qui cause des problèmes écologiques (**Bouzid et al., 2019**). Les déchets alimentaires peuvent être utilisés pour l'extraction de composés bioactifs, en particulier les composés phénoliques, et la valorisation de leurs propriétés antioxydantes, antimicrobiennes, anti-inflammatoires ou autres (**Bouzid et al., 2019 ; Hikal et al., 2022**).

En raison de la propagation importante de maladies dues à divers facteurs environnementaux, climatiques, nutritionnels, et génétique dans le monde entier, d'autre part dans l'objectif de réduire les déchets alimentaires, qui ont un poids conséquent sur l'environnement urbain, actuellement de nombreux travaux scientifiques se sont orientés vers le recyclage et la valorisation des déchets alimentaires d'origine végétale afin de récupérer de nouvelles molécules bioactives, incorporables dans de nouveaux produits agroalimentaires, cosmétiques ou pharmaceutiques (**Bouzid et al., 2019 ; Hikal et al., 2022 ; Bhavani et al., 2023**).

La consommation des fruits comme les bananes entraîne l'élimination de quantités énormes de déchets (peaux de banane). Selon des études récentes, la peau de banane contient divers composés biologiquement actifs, tels que les polyphénols, les flavonoïdes, les minéraux (le fer, le calcium, le sodium, le phosphore et le magnésium), ainsi que les fibres alimentaires qui assurent des propriétés antioxydantes et antidiabétiques. Cette composition chimique variée peut contribuer à la réduction du stress oxydatif dans le corps, ce qui est bénéfique pour la santé et peut aider à prévenir et à gérer de nombreuses maladies, notamment le cancer, les maladies cardiovasculaires, l'Alzheimer et le diabète. Les peaux de bananes comme déchet alimentaire ont attiré l'attention des recherches scientifiques en raison de leur richesse en composés bioactifs et de la diversité de leurs propriétés biologiques (**Ahmed et al., 2020**).

L'objectif de la présente étude porte sur l'évaluation *in vitro* des propriétés antioxydantes et antidiabétiques de déchets alimentaires d'origine végétale issus des fruits et

Introduction générale

des légumes. Dans cet objectif, nous nous sommes intéressés à la valorisation de la propriété antioxydante des extraits de peaux de bananes utilisées à l'état frais et à l'état séché, en utilisant le test de piégeage des radicaux libres et le pouvoir réducteur du fer. Nous nous sommes également intéressés à la recherche de l'effet antidiabétique des extraits de peaux de banane en utilisant le test d'inhibition de l'activité de l' α -amylase et le test d'adsorption au glucose.

Synthèse bibliographique

Chapitres I :

*Diabètes, stress oxydatif
et antioxydant*

1. Stress oxydatif

Le stress oxydant, appelé aussi stress oxydatif (ou pression oxydative) est un type d'agression des constituants de la cellule. Il apparaît quand des espèces réactives oxygénées (ou radicaux libres) et/ou des espèces réactives oxygénées et azotées oxydant pénètrent la cellule ou s'y forment.

1.1 Radicaux libres

Un radical libre (RL) se présente sous la forme d'une molécule ou d'un atome instable et hautement réactif grâce à la couche externe qui renferme un ou plusieurs électrons non liés ou célibataires. Cette instabilité lui permet de réagir simultanément avec d'autres atomes ou molécules qui déclenchent la production d'un nouveau radical, provoquant une réaction en chaîne qui ne se termine que lorsque deux radicaux libres réagissent l'un avec l'autre. Leur durée de vie est extrêmement courte, de l'ordre de 10^{-9} à 10^{-6} secondes (**Thiebault et Sprumont, 1997**).

Dans les conditions physiologiques, la concentration des radicaux libres est en équilibre entre le taux de leur production et le taux de leur élimination par les antioxydants qui sont produits lors de réponses physiologiques normales et utilisés par l'organisme à faible dose et qui sont impliqués dans divers processus cellulaires normaux, tels que la signalisation cellulaire et la défense immunitaire. Cependant, un excès d'espèces réactives peut entraîner des dommages cellulaires, des mutations génétiques, des inflammations et des maladies (**Armstrong, 2016**).

Les RL peuvent être exogènes, c'est-à-dire produits par l'action chimique de certains constituants de notre environnement ou d'origine endogène (**Tableau n°1**).

Tableau n° 1: Les sources des radicaux libres endogènes et exogènes (**Haleng, 2007**).

Endogène	Exogène
<p>Mécanismes biochimiques</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Altération mitochondriale ▪ Hyperglycémie (PKC, AGE, polyol, hexosamine) ▪ Oxydation d'hémoglobines ▪ Surcharge de fer et inflammation 	<p>Mode de vie</p> <p>Tabagisme, alcool, exposition au soleil, médicament, malnutrition)</p> <p>Environnement</p> <p>Pollution, radiation et amiante</p>

1.2 Variétés des espèces réactives

Les RL sont des espèces réactives, les plus courants étant l'oxygène, ce qui donne les espèces réactives de l'oxygène (ROS) ou de l'azote, ce qui produit les espèces réactives de l'azote (RNS) (Haleng, 2007).

➤ Les espèces réactives d'oxygène (ROS) et d'azote (RNS)

L'oxygène peut générer des espèces partiellement réduites « ROS », qui jouent un rôle crucial dans de nombreux processus physiologiques et physiopathologiques ainsi que RNS. Lorsque les ROS et RSN sont présents en grandes quantités, il est facile pour elles de se lier aux protéines, aux lipides, aux glucides et aux acides nucléiques, ce qui entraîne souvent des altérations fonctionnelles irréversibles (Armstrong, 2016). Les RL de ROS et RNS mentionnés dans le tableau ci-dessus.

Tableau n°2: Principales radicaux libres des espèces réactives d'oxygène et d'azotes (Haleng, 2007).

	RL	Formule
Espèces réactives d'oxygènes	Oxygène singlet	$1O_2$
	Ozone	O_3
	Radical superoxyde	$O_2^{\bullet-}$
	Peroxyde d'hydrogène	H_2O_2
	Radical peroxyde	ROO^{\bullet}
	Radical alcoxyde	RO^{\bullet}
	Peroxyde organique	$ROOH$
	Acide hypochloreux	$HOCl$
Espèces réactives de l'azote	Dioxyde d'azote	NO_2^{\bullet}
	Peroxynitrite	$ROONO$
	Radical peroxynitrite	$ONOO^{\bullet}$

2. Stress oxydatif et conséquences biochimiques

Le stress oxydatif (SO) se produit lorsque la production des RL dépasse la capacité antioxydante d'un système cellulaire. Par conséquent, un déséquilibre entre les oxydants et les antioxydants entraîne une perturbation de la signalisation cellulaire et des oxydations sur l'ADN, les protéines et les lipides (Maleki., et al 2015).

2.1 Oxydation d'ADN

Le stress oxydatif peut conduire à plusieurs réactions d'oxydation au niveau des bases de l'ADN, via les radicaux réactifs de l'oxygène (O_2) produits lors de la respiration mitochondriale et leurs dérivés (radicaux hydroxyles – OH) (Pichard et al., 2003). Ce qui engendre un grand nombre de bases modifiées telles que 8-oxo-guanine, 8-nitro-guanine, formamidopyrimidine, 8-oxo adénine, formimido-uracile, 5-hydroxy cytosine, 5-hydroxy méthyl uracile, thymine diol, 25-oxazolone. En particulier, la guanine est l'une des bases les plus sensibles aux dommages oxydatifs, peut réagir avec OH pour former la 8-hydroxy-2'-déoxyguano-sine (8-OH-dG) qui, au lieu de s'apparier avec la cytosine, s'associera avec l'adénine, entraînant des mutations au sein de l'ADN et conduisant à des altérations du message génétique impliquées dans le déclenchement de diverses maladies (Figure n°01), comme le cancer et le vieillissement les maladies neurodégénératives et cardiovasculaires (Duarte et al., 2000; Haleng, 2007).

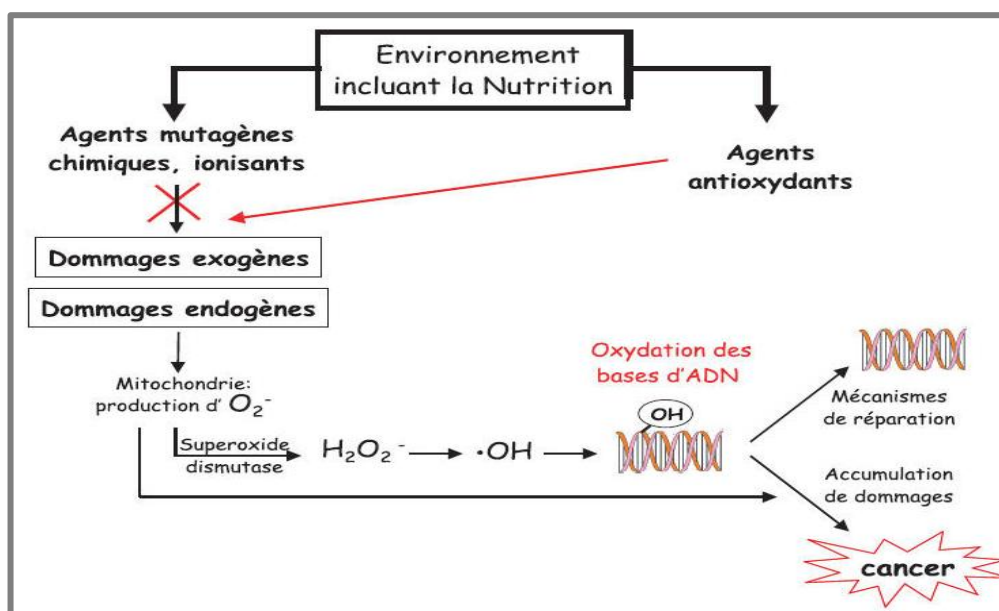


Figure n°1: Oxydation des bases de l'ADN (Pichard et al., 2003).

2.2 Oxydation des protéines

Les radicaux oxygénés, ou ROS, sont capables d'altérer de manière permanente certains acides aminés en formant des groupes carbonyles, un processus appelé carbonylation. Cette réaction peut dégrader les protéines par l'action du proteasome. De plus, l'oxydation des protéines peut provoquer la création de disulfure à partir de cystéine ou de méthionines sulfoxydes à partir de méthionine. Heureusement, ces modifications sont réversibles grâce à des molécules telles que le glutathion ou à des enzymes comme la méthionine sulfoxyde

réductase. Ces altérations oxydatives des protéines ont un large éventail de conséquences fonctionnelles, comme l'inhibition des activités enzymatiques, la sensibilité accrue à la protéolyse ou l'altération des échanges intercellulaires (**Boguszewska-Mankowska et al., 2015 ; Bailly et al., 2008**).

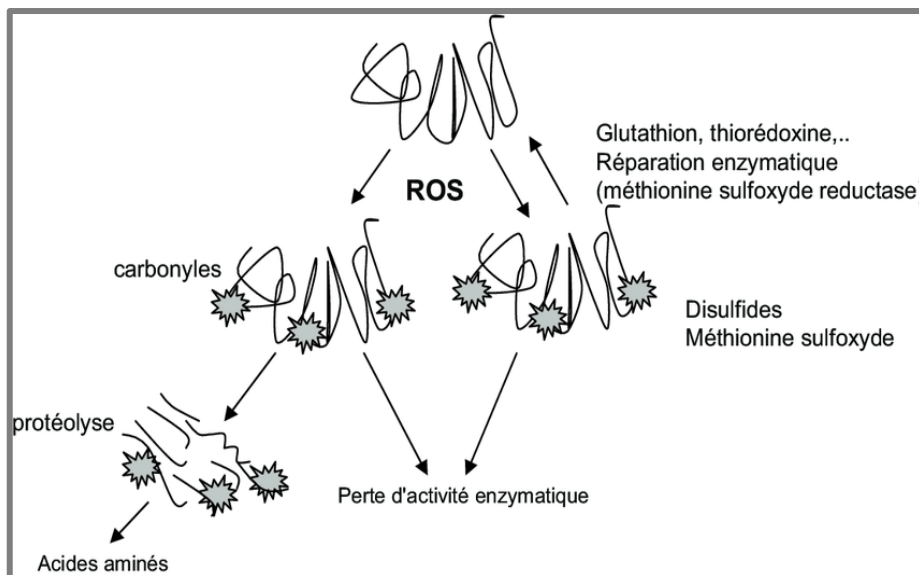


Figure n°2: Représentation schématique des mécanismes d'oxydation et de réparation des protéines (**Bailly et al., 2008**).

2.3 Peroxydation des lipides

Les lipides, en particulier les acides gras polyinsaturés, sont extrêmement sensibles à l'oxydation et donc aux espèces réactives de l'oxygène telles que les radicaux hydroxyles à cause des doubles liaisons carbone-carbone qu'ils contiennent. Lorsque les radicaux hydroxyles attaquent les lipides, ils arrachent un atome d'hydrogène d'un acide gras, formant ainsi un radical lipidique. Ce dernier réagit ensuite avec l'oxygène pour former un radical peroxyde. Ce radical peroxyde peut à son tour attaquer les chaînes lipidiques adjacentes, créant ainsi une réaction en chaîne de peroxydation lipidique. La réaction en chaîne génère des lipides hydroperoxydes qui, lorsqu'ils s'accumulent dans la membrane, la déstabilisent induisant une fuite d'ions. De nombreux aldéhydes différents qui peuvent être formés comme produits ultérieurs pendant la peroxydation des lipides incluent le malondialdéhyde (MDA), le propanal, l'hexanal et le 4-hydroxynonéal (4-HNE) (**Figure n°3**). Elle a des conséquences multiples en engendrant des divers maladie (**Devasagayam et al., 2003 ; Barrera et al., 2018 ; Maondo-Nyajena Mukuwa Greanious et al., 2021**).

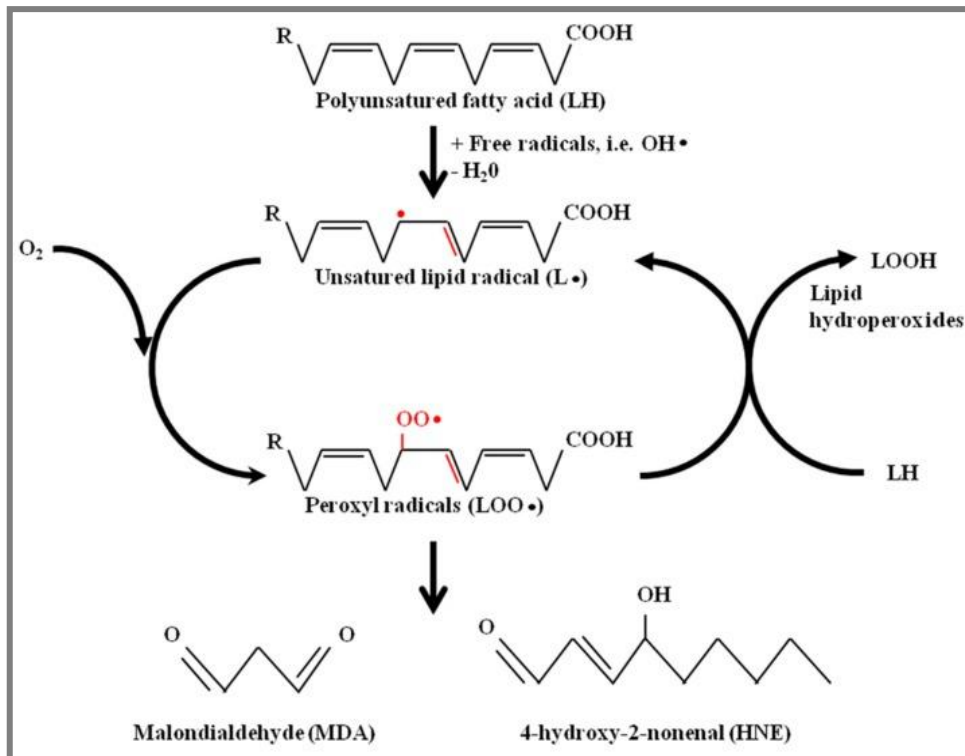


Figure n°3: Peroxydations des lipides (Barrera et al., 2018).

3. Système antioxydant

Un antioxydant est par définition une espèce chimique plus ou moins complexe capable, à concentration relativement faible, d'entrer en compétition avec d'autres substrats oxydables et ainsi retarder ou empêcher l'oxydation de ces substrats, donc diminuant le stress oxydant au sein de l'organisme. Ils sont classés selon leur mode d'action (systèmes enzymatiques, inhibiteurs d'enzymes oxydantes, chélateurs de métaux et piègeurs de radicaux libres), leur localisation cellulaire (intracellulaire ou extracellulaire) et leur origine (endogènes ou exogènes) (Mehta et Gowder, 2015).

3.1 Antioxydant enzymatiques endogènes

Les antioxydants enzymatiques endogènes les plus courants, résumés dans le **tableau n°3** et la **figure n°4**, sont principalement la superoxyde dismutase (SOD), la glutathion peroxydase (GPx), la catalase (CAT) (Borg et Reeber, 2004).

Tableau n°3 : Les antioxydants enzymatiques (Borg et Reeber, 2004 ; Rahman, 2007).

Enzyme	Propriété	Réaction et lieu de réaction
SOD	<p>SOD : protéines de la famille des métalloenzymes non-hémiques de classe oxydoréduction.</p> <p>SOD1 ou Cu-SOD (EC 1.15.1.1) qui présente un atome de cuivre et un de zinc comme cofacteurs.</p> <p>SOD2 ou Mn-SOD (EC 1.15.1.1) en utilisant l'atome de manganèse comme cofacteur.</p> <p>SOD3 ou EC-SOD (EC 1.15.1.1) existe sous la forme d'un tétramère contenant du cuivre et du zinc.</p>	$2 O_2^- + 2H^+ \xrightarrow{\text{SOD}} H_2O_2 + O_2$ <p>Cytosol</p> <p>Mitochondrie</p> <p>Milieu extracellulaires</p>
CAT	<p>Une protéine tétramère de 240 kilodaltons (kDa) avec quatre sous-unités similaires. Chaque sous-unité polypeptidique pèse 60 kDa et contient une seule ferriprotoporphyrine. Complétant le processus de détoxification initié par la SOD pour éviter la réaction de fenton et produire des composés plus stables.</p>	$2H_2O_2 \xrightarrow{\text{CAT}} O_2 + 2H_2O$ <p>Tous les tissus vivants</p>
GPx	<p>GSP sont des sélénoprotéines catalysant la réduction du H₂ O₂ et des ROOH à l'aide de deux molécules de glutathion réduit (GSH) qui forment un pont disulfure aboutissant au glutathion oxydé (GS-SG). Le GSH peut ensuite être régénéré par l'action de la glutathion réductase (GR) qui oxyde le NADPH en NADP⁺. Le ratio forme réduite/forme oxydée (GSH/GS-SG) est souvent utilisé comme un indicateur du stress oxydatif de la cellule (GS-SG).</p>	<p>– GPx-1 : Cytosolique</p> <p>– GPx-2 : Gastro-intestinale</p> <p>– GPx-3 : Plasmatique</p> <p>– GPx-4 : Cytosolique, mitochondriale et membranaire</p> <p>– GPx-5 : La spermatogénèse</p>

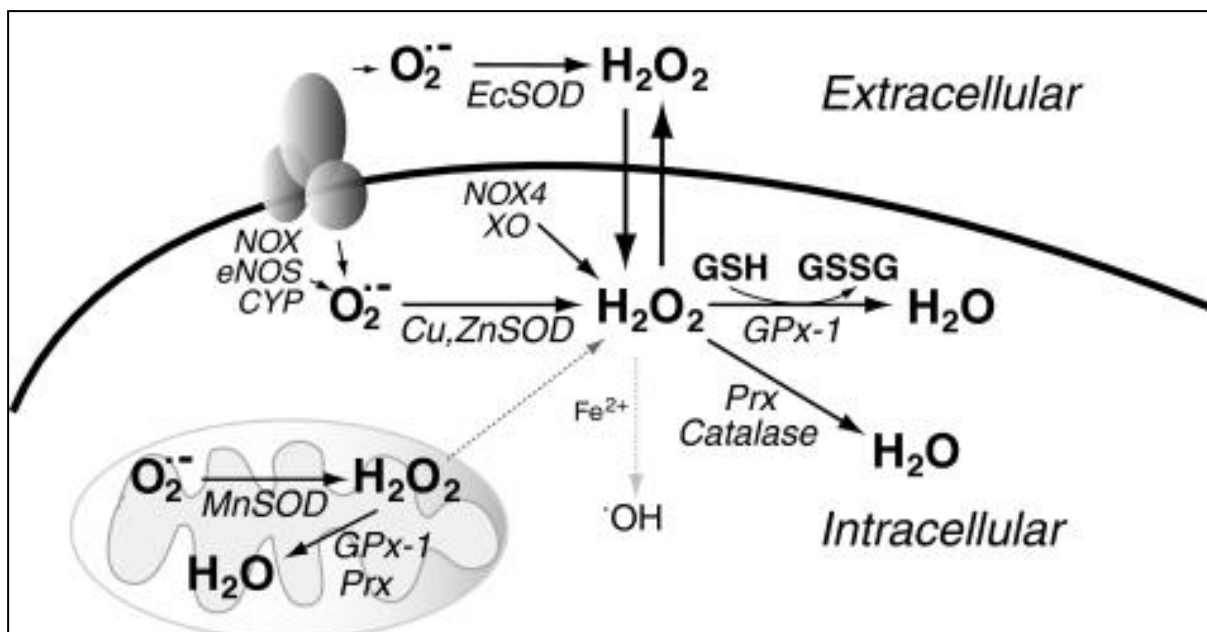


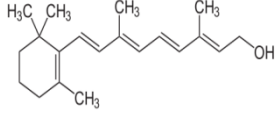
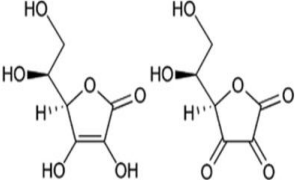
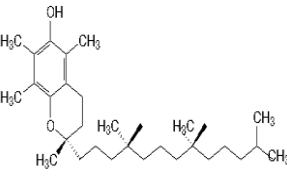
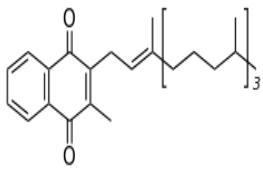
Figure n°4: Les principaux antioxydants enzymatiques (Lubos et al., 2011).

3.2 Antioxydants non enzymatique exogènes

✚ Les vitamines les minéraux

Les vitamines et les minéraux agissent comme des antioxydants exogènes dans l'organisme, neutralisent les radicaux libres et protègent les cellules contre les dommages oxydatifs. Le zinc et le cuivre sont notamment des cofacteurs essentiels pour plusieurs enzymes antioxydantes, dont le SOD, le cytochrome C et la dopamine beta-hydroxylase. Ils contribuent à protéger les groupements Thiol des protéines et à inhiber la formation de ROS. De même, le sélénium est indispensable pour l'activité de GPx. Le tableau ci-dessous explique les vitamines les plus importantes dans l'abaissement du stress oxydatif (Haleng, 2007).

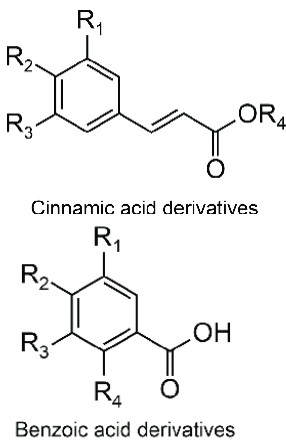
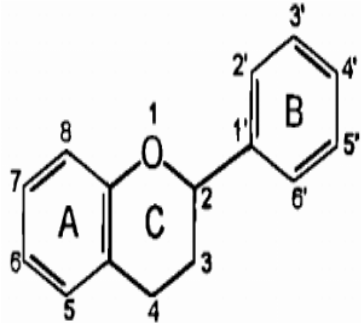
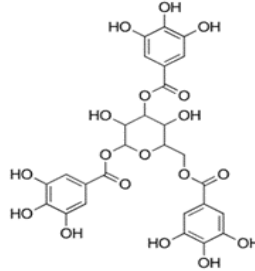
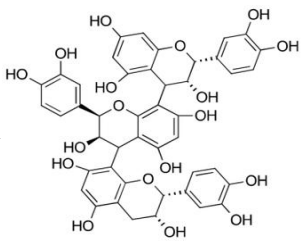
Tableau n° 4: Le rôle antioxydant des vitamines (Haleng, 2007 ; Barrita et al., 2015).

Vitamines	Mode d'action	Structure
A	Capacité à s'associer avec les radicaux peroxydes avant qu'ils ne déclenchent la propagation de la peroxydation vers les lipides.	
C	L'acide ascorbique agit en capturant l'anion radical superoxyde, le peroxyde d'hydrogène, le radical hydroxyle, l'oxygène singlet et l'oxyde d'azote réactif, ce qui entrave la peroxydation lipidique et régénère les vitamines E.	 (1) (2) 1 : Acides ascorbique 2 : Acide désydroascorbique
E	Il bloque la peroxydation lipidique en transférant son hydrogène phénolique aux radicaux peroxydes, formant ainsi des radicaux tocophéroxyles qui, bien qu'étant également des radicaux, ne réagissent pas et ne peuvent pas continuer la réaction oxydative en chaîne.	 Vitamin E (α -tocopherol)
K	La vitamine K, un ensemble de composés liposolubles, joue un rôle crucial dans la transformation post-traductionnelle des glutamates liés aux protéines en γ -carboxyglutamates au sein de diverses protéines cibles.	

🌈 Principales classes de composés phénoliques

Environ 8 000 composés de polyphénols sont répertoriés, qui sont un ensemble de complexes métabolites secondaires principalement produits par les plantes. Les polyphénols sont structurellement caractérisés par la présence d'un ou plusieurs cycles aromatiques porteurs, et d'au moins deux groupes hydroxyles (OH) dans leurs structures chimiques. Du fait de leur diversité structurelle, on les subdivise en flavonoïdes, acides phénoliques et tanins. Les polyphénols jouent un rôle crucial pour la santé. En tant qu'antioxydants, ils neutralisent les radicaux libres, substances toxiques pour l'organisme, réduisant ainsi le stress oxydatif des cellules, responsable du vieillissement, et contribuant à la diminution des risques de cancer et de maladies cardiovasculaires (Collin et al., 2011; García-Pérez, 2019).

Tableau n°5 : Les caractéristiques de acides phénolique et flavonoïdes et tanins (Collin et al., 2011 ; Mehta et Gowde, 2015 ; Debosree Ghosh, 2015)

Caractéristique	Propriétés	Structures
<p>Acides phénolique</p> <p>Les acides phénoliques comprennent les dérivés de :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ L'acide cinnamique (C6-C1) : Les acides p-coumarique, caféique, férulique et sinapique. ▪ L'acide benzoïque (C6-C1) : Les acides p-hydrobenzoïque et acide vanillique. 	<p>Propriétés antioxydantes en tant que chélateurs et piègeurs de radicaux libres, avec un effet particulier sur les radicaux hydroxyles, peroxyde, peroxyde et peroxydinitrite, Propriétés antidiabétique, antifongique et anti-inflammatoire.</p>	 <p>Cinnamic acid derivatives</p> <p>Benzoic acid derivatives</p>
<p>Flavonoïdes</p> <p>Squelette de diphenylpropane C6-C3-C6 deux cycles aromatiques à trois atomes de carbone formant un hétérocycle oxygéné</p> <p>Classés en six sous-classes selon les variations dans le type d'anneaux hétérocycliques : flavonols, flavones, flavanones, flavanols, anthocyanes et isoflavones le nombre et la disposition des groupes hydroxyles</p>	<p>Propriétés activités antioxydants, anti-inflammatoire et anticancéreuse</p>	
<p>Tanins</p> <p>Se diviser en deux classes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Les pyrogalliques (ou hydrolysables) ▪ Les catéchiques (ou condensés non hydrolysables). 	<p>Inhiber la peroxydation des lipides stoppant le mécanisme d'auto-oxydation activités antimicrobiennes</p>	<p>Tanin hydrolysables</p>  <p>Tanin</p> 

4. Les maladies liées aux stress oxydatif

Les radicaux libres sont impliqués dans de nombreuses pathologies telles que les maladies neurodégénératives, les maladies cardiovasculaires (MCC), le cancer, la cataracte, l'asthme, la polyarthrite, l'inflammation, les brûlures, les maladies des voies intestinales, les pathologies ischémiques et post-ischémiques, ainsi que le diabète sucré (**Haleng, 2007**). La figure ci-dessous résume les principales maladies associées.

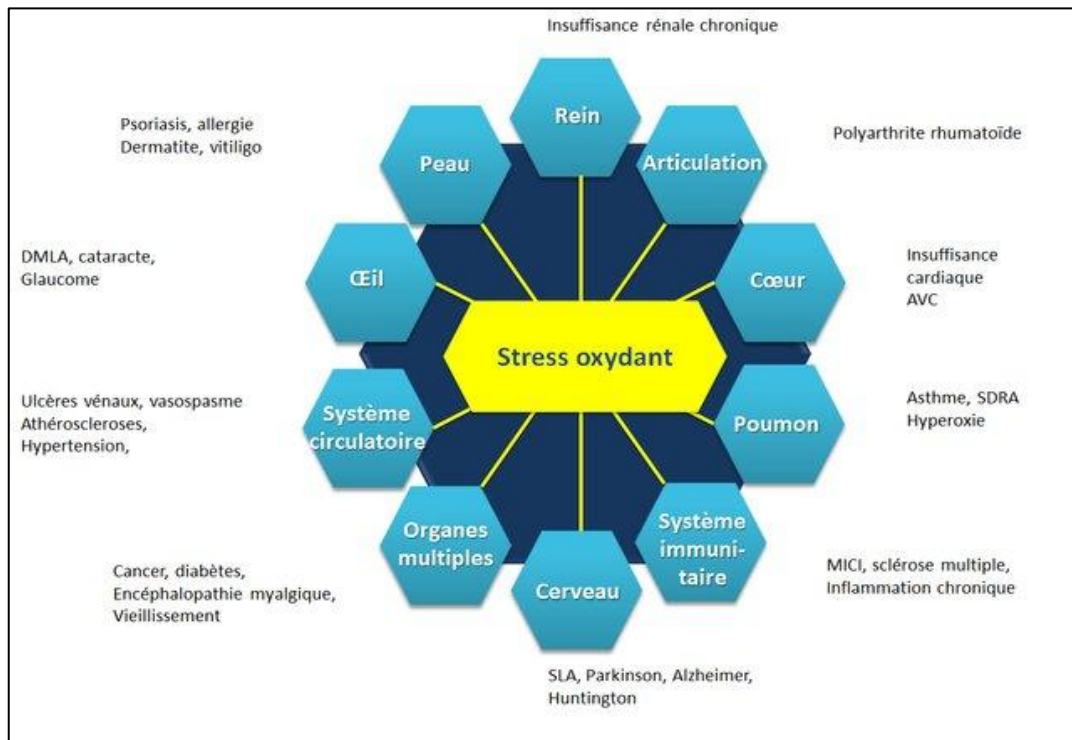


Figure n°5 : Les pathologies associées aux stress oxydatif (**Cassagnes, 2015**).

4.1 Relation entre diabète sucré, stress oxydatif et antioxydant

L'état d'hyperglycémie chronique stimule l'activation de nombreuses voies métaboliques. La voie de l'aldose réductase dite des polyols, la voie des hexosamines, la voie des protéines kinases C (PKC) et la voie des produits avancés de la glycation (advanced glycation end products ou AGE), ces voies permettent la production accrue des RL, principalement des ROS, par conséquent la diminution du système de défense. L'accumulation des RL conduit à un stress oxydatif qui conduit à des diverses conséquences néfastes telles que l'oxydation de l'ADN, la peroxydation des lipides, la production accrue de marqueurs pro-inflammatoires et métaboliques profibrotiques qui jouent un rôle majeur dans le développement des complications diabétiques chroniques dont la neuropathie, la néphropathie et la rétinopathie (**Figure n° 6**) (**Bonnefont-Rousselot et al., 2004**).

Le potentiel de la thérapie antioxydante dans le diabète pour plusieurs complications chroniques du diabète par les neutralisations des RL. Selon des études approfondies sur l'effet antioxydant, y compris le rôle de divers antioxydants tels que le glutathion, la coenzyme Q10 et l'acide α -lipoïque dans la restauration de la sensibilité à l'insuline, ainsi que le tocophérol (vitamine E), le rétinol (vitamine A), la β -cryptoxanthine, l'acide ascorbique (vitamine C) et les caroténoïdes tels que l' α -carotène et le β -carotène, La lutéine, la zéaxanthine et le lycopène ont également montré des effets bénéfiques dans la réduction des complications du diabète, et aussi le resvératrol agit comme un antioxydant, module l'expression des gènes associés au développement du DM2 en stimulant l'expression de plusieurs gènes communs des cellules β et l'expression de l'insuline dans les cellules α du pancréas. Les composés photochimiques, en particulier les anthocyanes et les polyphénols, agissent comme antioxydants, inhibent la synthèse des prostaglandines, des cytokines pro-inflammatoires et des facteurs de transcription, en particulier NF- κ B, ce qui les rend aptes à prévenir les complications du diabète et à réduire le risque de développer des complications du diabète, en raison de leur activité anti-inflammatoire, et peuvent être utilisés pour prévenir le développement du diabète de type (Bonnefont-Rousselot et al., 2004).

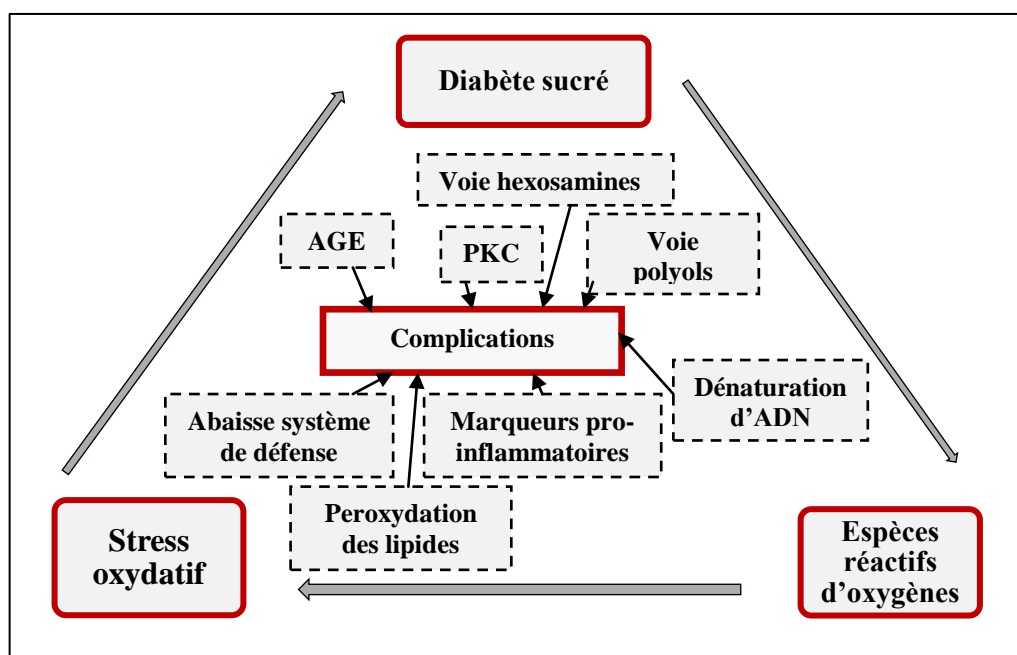


Figure n° 6: La relation entre le stress oxydatif et les complications de diabète sucré (Bonnefont-Rousselot et al., 2004).

Le traitement du diabète sucré repose essentiellement sur les antidiabétiques oraux qui aident à réduire et à contrôler la glycémie en agissant à travers divers mécanismes visant à améliorer la résistance et la sécrétion d'insuline, ou en réduisant l'absorption du glucose.

Parmi ces mécanismes, ces médicaments agissent en inhibant le récepteur SUR1 pour bloquer le canal potassique, ce qui active ensuite le canal calcique, stimulant finalement la sécrétion d'insuline par les cellules β du pancréas. Les sulfamides et les glinides sont des exemples de cette classe de médicaments. En outre, l'inhibition de la dipeptidyl peptidase 4 (DPP-4i) est également un mécanisme courant, empêchant la dégradation de l'incretine, une hormone intestinale qui stimule la sécrétion d'insuline. D'autres médicaments, tels que les analogues du GLP-1 (agonistes du récepteur du GLP-1), imitent l'action de l'incretine et sont également utilisés dans le traitement du diabète de type 2 (**Gautier et Gautier, 2008 ; Li et al., 2018**).

Certains antidiabétiques agissent également en réduisant l'absorption intestinale du glucose, comme les inhibiteurs de l' α -glucosidase et de l' α -amylase, ou en bloquant le cotransporteur sodium-glucose de type 2 (SGLT2) (**Hsia et al., 2017 ; Gong et al., 2020**). Le tableau ci-dessous résume les différentes classes des antidiabétiques oraux.

Tableau n° 6: Les différentes classes des antidiabétiques oraux.

Classe	Exemple	Mode d'action	Références
Sulfamide	Tolbutamide	Stimulent la sécrétion d'insuline	(Halimi, 2021)
Biguanide	Metformine	Diminue la production hépatique de glucose et augmente la sensibilité à l'insuline dans les tissus musculaires hépatiques et périphériques.	(Van de Laar et al., 2005 ; Krentz et Bailey, 2005)
DPP-4i	Sitagliptin	Capacité d'inhiber GLP1 et GPI, par conséquent stimuler la sécrétion d'insuline et abaisser la production de glucagon.	(Li et al., 2018)
Analogue de GLP1	Semaglutid	Sécrétion d'insuline et réduction de glucagon.	(Gautier, 2008 ; Nauck et Meier, 2019)
Inhibiteurs du (SGLT2)	Canagliflozin	Abaissent le seuil rénal pour la réabsorption du glucose. Il en résulte une augmentation de l'excrétion urinaire du glucose, et donc une diminution des concentrations plasmatiques de glucose dans le sang.	(Hsia et al., 2017 ; Rieg et Vallon, 2018)
Inhibiteurs de α-amylase et α-glucosidase	Acarbose	Empêcher la dégradation des oligosaccharides en monosaccharides, par conséquent retarder l'adsorption du glucose.	(Krentz et Bailey, 2005) (Gong et al., 2020)

Les inhibiteurs de α -amylase sont une classe importante des antidiabétiques oraux. De plus en plus, les recherches scientifiques s'orientent vers la recherche de nouvelles molécules inhibitrices des enzymes intestinales pour empêcher l'hyperglycémie post-prandiale.

Les l' α -amylase (α -glucanohydrolase, EC3.2.1.1) endoglycosidase sont des enzymes extracellulaires capables de catalyser et d'hydrolyser les polymères d' α -D-glucose au niveau des liaisons bêta-1,4-glycosidiques de l'amidon pour libérer les sous-unités du glucose. Le site actif de l'enzyme est constitué d'une crevasse capable d'accueillir une longueur de 4 à 10 résidus de glucose (**Sine, 2010**).

Les α -amylases salivaires et pancréatiques sont composées de 496 acides aminés dans une seule chaîne polypeptidique. Les résidus catalytiques essentiels sur le site actif de l' α -amylase pancréatique porcine, déterminés par modélisation basée sur la structure cristallographique aux rayons X, étaient Asp300, Asp197 et Glu233. Les résidus d'acides aminés sur le site actif se trouvaient aux endroits où se produisaient les principales interactions entre les polyphénols et l'enzyme. L' α -amylase est divisée en trois domaines. Pour l' α -amylase pancréatique humaine, le premier domaine est le plus grand, près duquel se trouve un ion chlorure lié. Ce domaine forme un baril β parallèle central à huit brins. Le plus petit domaine forme un site de liaison du calcium contre la paroi du plus grand domaine. La structure β antiparallèle constitue le troisième domaine. L' α -amylase salivaire humaine se trouve sous forme glycosylée et non glycosylée. Il possède également un site de liaison au calcium caractéristique des amylases (**Ćorković et al., 2022**).

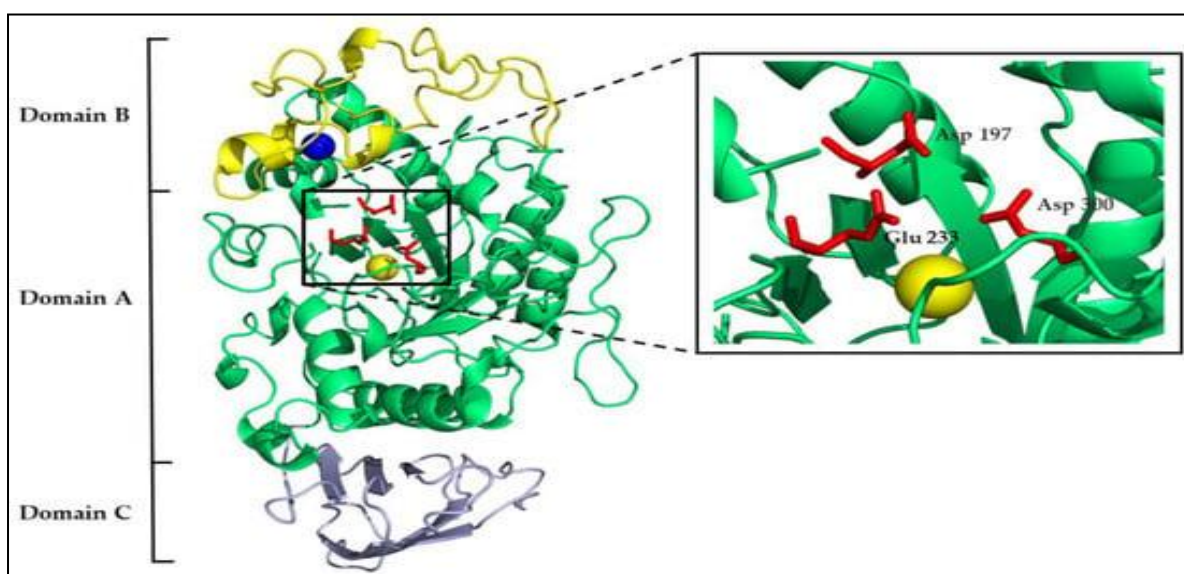


Figure n° 7: Structure tridimensionnelle l' α -amylase (**Kalinovskii et al., 2023**).

Inhibition de l' α -amylase

L' α -amylase pancréatique est une enzyme qui catalyse l'étape clé de l'hydrolyse de l'amidon en maltose, finalement, en glucose. Le glucose issu de la digestion est absorbé par les cellules intestinales via des GLUT2, entraînant une hyperglycémie postprandiale. L'inhibition de l' α -amylase est une cible thérapeutique bien connue pour le traitement et le contrôle de l'hyperglycémie postprandiale. Actuellement, les inhibiteurs d' α -amylase les plus utilisés sont l'acarbose et le miglitol. Actuellement, plusieurs recherches scientifiques sont orientées vers l'exploitation des plantes médicinales comme sources inépuisables de principes actifs et le développement de nouveaux médicaments antidiabétiques d'origine végétale. Les polyphénols et en particulier les flavonoïdes, par leurs structures chimiques, sont de puissants inhibiteurs de l'activité de l' α -amylase en exerçant différents mécanismes d'action (**Figure n° 8**) (Sales et al., 2012 ; Ogunyemi et al., 2022).

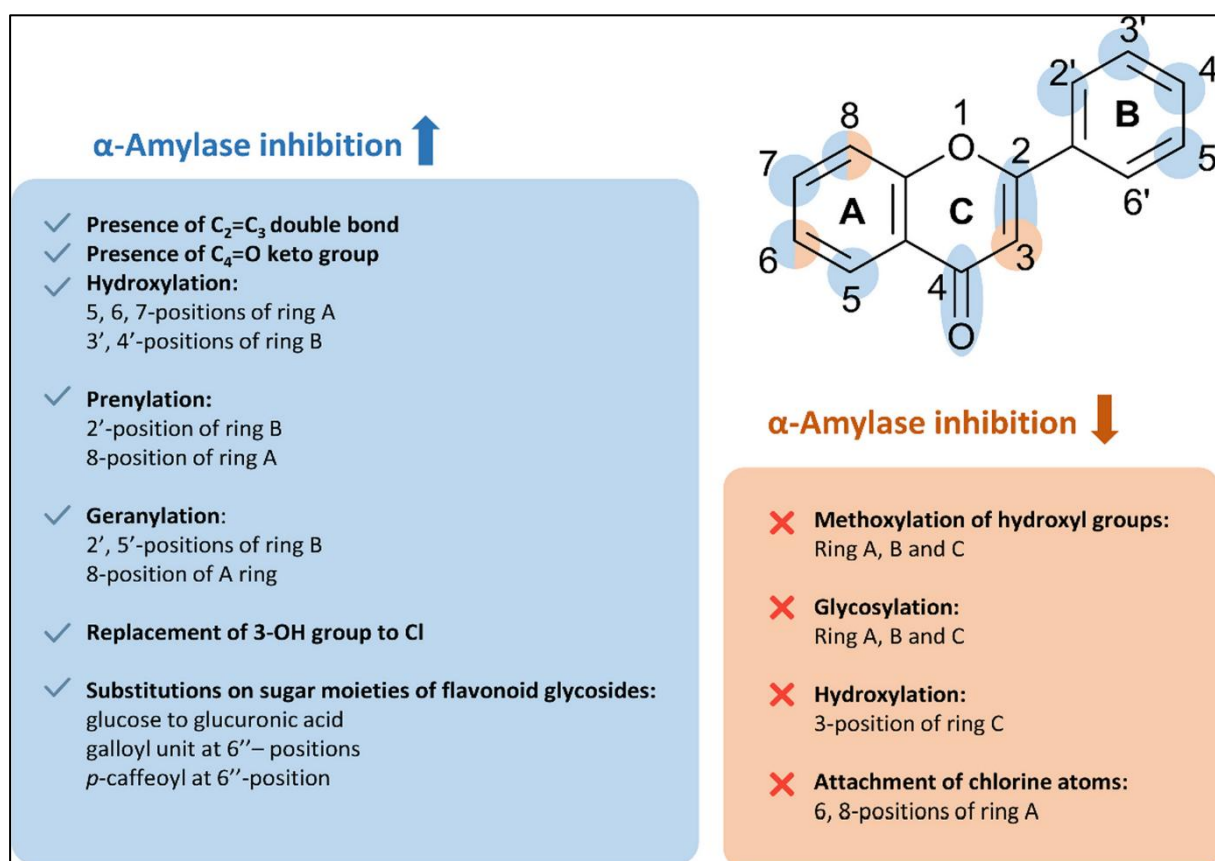


Figure n° 8 : Relation structure-activité des flavonoïdes contre l' α -amylase (Lam et al., 2024).

Chapitre II :

Les déchets alimentaires d'origines végétales : peaux de bananes

1. Les déchets alimentaires

Le recyclage et la valorisation des déchets ménagers et assimilés représentent un réel potentiel en Algérie. La quantité générée est d'environ 34 000 000 tonnes sur l'année 2018, soit 1,23 kg par habitant et par jour. L'Algérie est donc confrontée à un véritable défi pour résoudre les problèmes environnementaux et améliorer la récupération de ressources à partir des déchets produits (**Bouzi**, 2019). Il est bien connu que les déchets alimentaires végétaux sont riches en micro- et macronutriments, en fibres alimentaires, en caroténoïdes et en composés phénoliques. La valorisation de ces biodéchets alimentaires issus des fruits et des légumes contribue à préserver l'environnement, car ils peuvent être réutilisés directement dans l'alimentation animale ou comme fertilisants par épandage et par compostage, dans la production d'énergie et dans la récupération de nouvelles molécules utilisées dans le domaine agroalimentaire, cosmétique ou pharmaceutique (**Wachirasiri et al.**, 2009).

Les fruits et les légumes sont intégrés dans l'alimentation humaine quotidienne. Frais ou sous forme de produits transformés, les fruits constituent une source inépuisable de composés bioactifs. Le marc de pomme, qui reste de la production de jus de fruits, est riche en nutriments, micronutriments, enzymes, pectines et produits phytochimiques aux propriétés antioxydantes et antimicrobiennes dignes d'être utilisés en tant que conservateur naturel ; il peut être également utilisé pour produire des polymères naturels, en remplacement des polymères synthétiques (**Kauser et al.**, 2023). Les β -glucanes, des polysaccharides récupérés des parois cellulaires de divers aliments comme l'orge, l'avoine et les mycoprotéines, sont utilisés sous forme de films bioadhésifs à usage cutané, visant à apaiser et traiter les lésions cutanées et à stimuler la croissance des cellules épidermiques, les kératinocytes (**Di Michele et al.**, 2023). Les bananes sont parmi les fruits les plus consommés par les consommateurs en Algérie. Les peaux des bananes représentent environ 30-40 g/100 g du poids du fruit et peuvent contribuer à certains problèmes environnementaux urbains (**Wachirasiri et al.**, 2009). Les peaux de bananes peuvent être utilisées comme soin pour le visage contre les rides, l'acné et les taches, et comme ils sont utilisés comme adsorbant des polluants, des fertilisants et dans l'alimentation des animaux (**Gharou et Nail.**, 2019). Les règnes végétaux sont une source très importante de médicaments et de vastes réseaux de principes actifs ont des effets divers sur l'activité biologique, tels que l'activité hypoglycémique. L'intérêt scientifique pour les déchets agroalimentaires, en particulier les éplucheurs de fruits et de légumes, s'est accru. Ces déchets sont devenus attractifs pour la recherche et la rentabilité, plutôt que d'être négligés en tant que source naturelle principalement antidiabétique. Les

tableaux n° 7 et 8 ci-dessous résument les principes actifs naturels antidiabétiques et quelques exemples de déchets des fruits ayant une activité antidiabétique (Bouزيد et al., 2019 ; Hikal et al., 2022).

Tableau n° 7: Les principes actif naturelle antidiabétique (Patel et al., 2012).

Nom botanique	Famille	Principes actifs
<i>Aloe vera</i>	Liliaceae	Pseudoprototinosaponine AIII et prototinosaponines AIII
<i>Anémarrhéne asphodéloides</i>	Liliaceae	Mangiféine et mangiférine-7-O-z-dglucoside
<i>Bauhinia variegata</i>	Césalpiniacee	Roséoside
<i>Camellia sinensis</i>	Théaceae	Galate d'épigallocate de la patinémie
<i>Citrullus colocynthis</i>	Cucurbitacées	Bêtazol-1-ylalanine
<i>Ephedra distachy</i>	Ephedraceae	L-éphédrine
<i>Ficus bengalensis</i>	Moraceae	Leucocyandin 3-O-bêta-d-galactosyl cellobioside, leucopelargonidine-3-O-alpha-L rhamnoside
<i>Eugenia jambolana</i>	Myrtacées	odore de pandanus (Toei-hom) a 4-hydroxybenzoïque acide
<i>zizyphus spina-christi</i>	Rhamnaceae	Christinin-A

Tableau n°8 : Les exemples des déchets agroalimentaire.

Les écorces des fruits	Nom scientifique	Mode d'action	Références
Ecorces de grenade	<i>Punica granatum.L</i>	Réduire la glycémie par la régénération des cellules β	(Khalil, 2004)
Ecorce de pastèque	<i>Citrullus lanatus</i>	Abaissement de glycémie par inhibition de α -amylase	(Sani et Nair, 2018)
La peau de figue	<i>Ficus Carica</i>	Contrôler le métabolisme anormal du glucide associé au diabète par effet inhibitrice de α -amylase	(Ara, 2020)
Des pelures extérieures de pois	<i>Pisum sativum L.</i>	La capacité à inhiber la α -glucosidase et l'activité cytotoxique contre les cellules HepG2	(Das et al, 2019)
Ecorce de lavocat	<i>Persea americana</i>	Diminution de glycémie grâce à étude préclinique chez les rats	(Rahman et al, 2022)

2. Description botanique du bananier

Le bananier appartient à la famille des plantes herbacées géantes monocotylédones de la famille des *Musaceae* et du genre *Musa*, originaire d'Asie du Sud-Est. La tige souterraine de l'herbe bananière appelée bulbe, le centre vital du bananier. Elle est le lieu de formation des racines, des feuilles et de l'inflorescence. C'est à ce niveau que se différencient les rejets assurant la pérennité naturelle de l'espèce. Ils possèdent un pseudotrunc qui peut s'élever jusqu'à 6 mètres de haut qui est recouvert d'une gaine foliaire. Les longues de ce dernier forment, par leur superposition, un tronc plus ou moins cylindrique où le sommet porte 10 à 20 feuilles supplémentaires, qui peuvent mesurer de 25 à 30 cm de large. Les feuilles du bananier sont oblongues, ou mieux, lancéolées ; d'un vert moyen, en forme de spirale, avec un limbe de 3 pieds (1 m) de long. Le limbe, que supporte un robuste pétiole à section curviligne, peut atteindre 3 mètres de long sur 80 centimètres de large. Le pétiole, dont la coloration change avec les variétés, se prolonge par une nervure saillante en dessous, creusée en sillon en dessus. L'inflorescence, connue sous le nom de régime, se compose d'une série de spathes (feuilles colorées) arrangées en spirale. À la base de cette inflorescence se trouvent les fleurs femelles qui apparaissent en premier et qui produiront les fruits comestibles, regroupés en grappes appelées mains, composées de doigts ou de bananes (**Figure n° 9**) (**Lassoudière, 2007**).

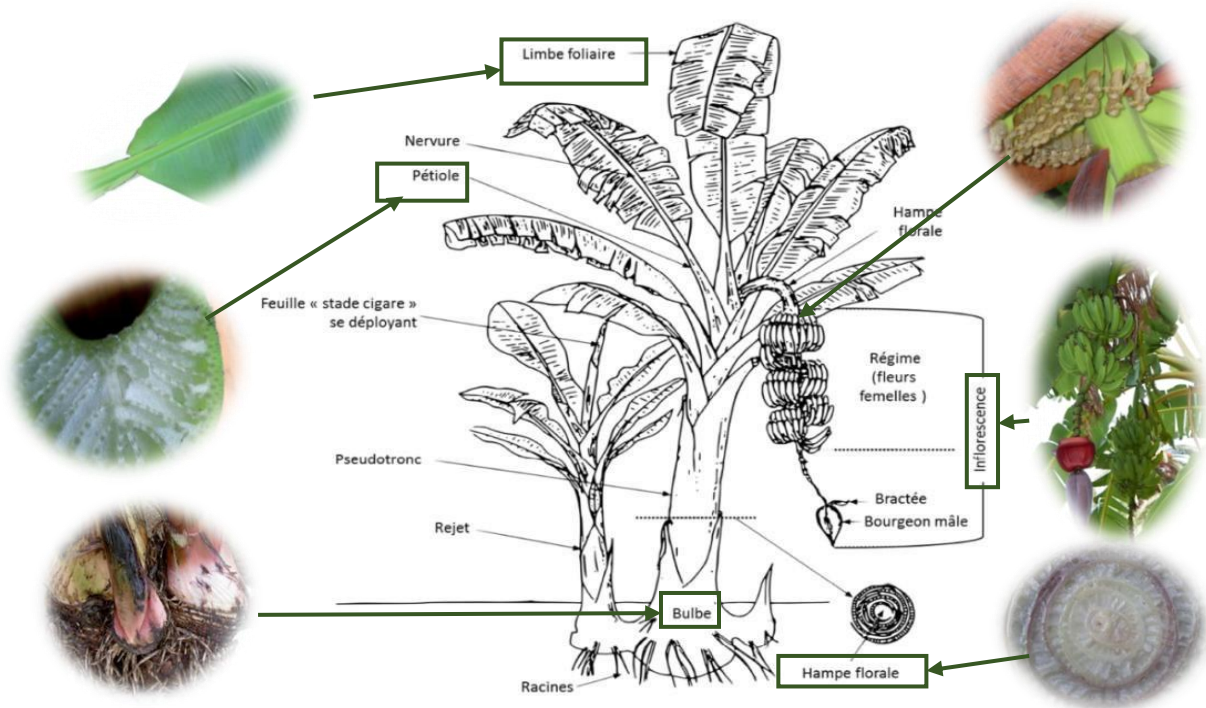


Figure n° 9: Description botanique d'arbre de bananier (**Lassoudière, 2007**).

3. Peau de Bananes

La peau de banane ou d'écorce de banane est l'enveloppe extérieure du fruit de la banane considérée comme une bonne source d'antioxydants pour les aliments fonctionnels contre le cancer et les maladies cardiaques. Elles sont également utilisées comme ingrédient dans la cuisine, la purification de l'eau, la fabrication de nombreux produits biochimiques et la production de déchets inorganiques ainsi qu'utilisées comme matière première pour l'aliment de bétail, des chèvres, des singes, les volailles, les lapins, les poissons, les zèbres et de nombreuses autres espèces (Hikal et al., 2022).

3.1 Echelles colorimétriques de peaux de bananes :

De la maturation, il y a de profondes modifications de l'intensité respiratoire des fruits du fait de la mise en place de nombreux processus biochimiques. La principale modification concerne l'augmentation de la biosynthèse d'éthyles qui déclenche et régule divers processus de maturation, la conversion de l'amidon en sucre, la production des composés volatils, la désagrégation des parois cellulaires et la dégradation de la chlorophylle. Ce dernier est responsable de la couleur verte des fruits immatures : la dégradation de ce pigment permet aux pigments de couleur des fruits mûrs, tels que les caroténoïdes et les anthocyanes, de devenir plus visibles. En résumé Aux stades 6 et 7 de maturation des bananes (Figure n°10) le contenu en sucres réducteurs est généralement plus élevé que dans les stades de maturation antérieurs. Cela signifie que les bananes sont plus sucrées à ces stades avancés de maturité (Lassoudière, 2007).



Figure n°10: Echelles colorimétriques de peaux de bananes (Lassoudière, 2007).

3.2 Compositions chimique et biochimique de peau de banane

La composition nutritionnelle des peaux de banane varie selon le type de banane et son stade de maturité. Par exemple, les peaux de banane dessert ont moins de fibres que celles de plantain, et la teneur en lignine augmente avec la maturation, atteignant 7 à 15 % de matière sèche. Les peaux de banane séchées contiennent environ 6 à 9 % de protéines et 20 à 30 % de fibres. En revanche, les écorces de plantain vert contiennent environ 40 % d'amidon, qui se transforme en sucres pendant la maturation. Les peaux de banane verte contiennent environ 15 % d'amidon, tandis que celles des bananes mûres peuvent contenir jusqu'à 30 % de sucres libres. En termes de valeur nutritionnelle, les peaux de banane sont également riches en nutriments et minéraux tels que le phosphore, le fer, le calcium, le magnésium et le sodium, bien que des traces de zinc, de cuivre, de potassium et de manganèse soient présentes en faibles concentrations (mesurées en mg/100 g) (**Figure n° 11**). De plus, des acides aminés importants comme la leucine, la valine, la phénylalanine et la thréonine ont été identifiés en quantités significatives et contiennent des composés biologiquement actifs mentionnés dans **Tableau n° 9** (Lassoudière, 2010 ; Hikal et al., 2022).

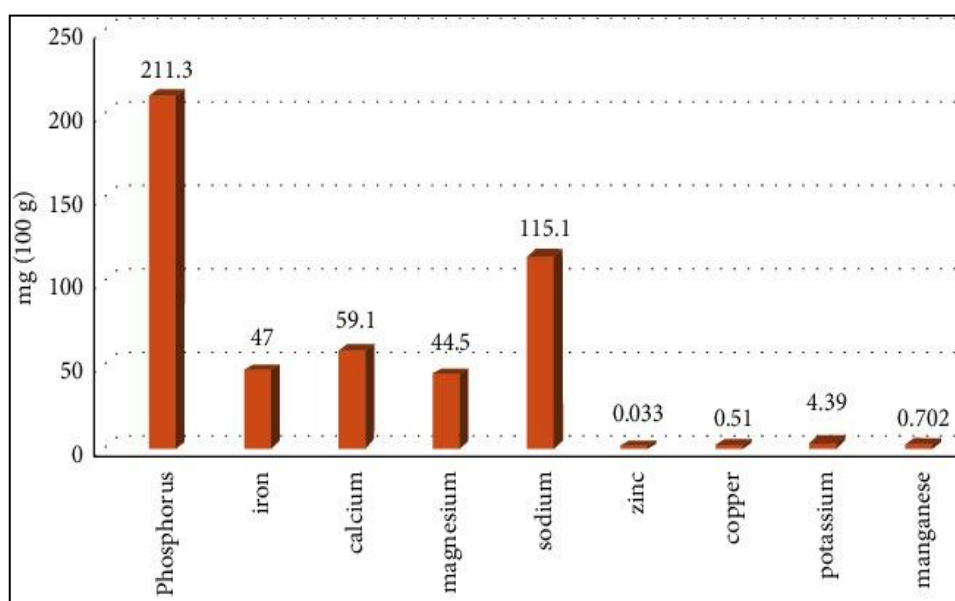


Figure n° 11: Les compositions minérales de peau de banane (Hikal et al., 2022).

Tableau n° 9 : Les composés biologiquement actif de peau de banane (Hikal et al., 2022).

Composée	Classe
Acides gallique Acide ferulique Acide caféique	Acides phénolique
Acide tannique	Tanin
Flavanone glycoside La naringinine Flavonol glycoside	Flavanones
Rutine Quercetine	Flavonols
Chrysin	Flavones
Catéchine Gallocatechin	Flavan-3ol
Lutein α -Carotène β -Carotène Auroxanthin Neoxanthin Isolutein Violaxanthin β -Cryptoxanthin α -Cryptoxanthin	Caroténoïdes
Delphinidin Cyanidin	Anthocyanines
β -Sitosterol Cycloartenol	Stérols
24-Methylenecycloartanol Cycloalkanol	Triterpeniode Alkane
Catecholamines	Amines
Corticosteroids	Stéroïdes
Acide succinique	Acide dicarboxylique
Acide Palmitique	Acide gras saturé
Acide 12-Hydroxystearique	Acide gras hydroxy

3.3 Utilisation industrielles de peau de bananes :

La peau de banane a été utilisée dans divers domaines industriels. Le tableau ci-dessous cite résume quelques exemples.

Tableau n° 10: Utilisation industrielles de peaux de banane (**Bhavani et al., 2023**).

Utilisation	
Industrie cosmétiques	Utilisé dans plusieurs produits cosmétiques tels que lotion antioxydante, hydratant, utilisé dans les formulations de soins de la peau, shampooing, gommage et masque. En raison de sa richesse en flavonoïdes, en composés phénoliques, en tanins, en alcaloïdes, en saponines, ainsi qu'en vitamines B6 et C, la peau de banane est souvent transformée en gel pour créer des masques pour la peau.
L'industrie de la transformation des aliments et des boissons	les peaux de banane sont une bonne source de cellulase qui Utilisé dans la transformation des produits alimentaires. La sauce de la peau de banane, formulation de
Bio-sorbant	Valorisation de peau de banane par carbonisation hydrothermale : utilisation potentielle de l'hydrocarbure et sous-produit liquide pour la purification de l'eau et la conversion de l'énergie.

3.4 Les activités biologiques de peaux de banane

La peau de banane contient divers composés biologiquement actifs, tels que des polyphénols, des flavonoïdes, des minéraux tels que le fer, le calcium, le sodium, le phosphore et le magnésium, ainsi que de bons niveaux de fibres alimentaires qui ont montré des propriétés antioxydantes, antidiabétiques, antibactériens et antiulcéreuse. Le tableau ci-dessous cite résume les activités biologique de peau de banane.

Tableau n° 11: Les activités biologiques de peaux de banane.

Effet	Test	Résultat	Espèce	Référence	
Antioxydant	Test de DPPH	IC ₅₀ = 232,08 µg/ml (EMS) IC ₅₀ = 139,50 µg/ml (EMA) IC ₅₀ = 90,28 µg/ml (Cv) IC ₅₀ = 113,09 µg/ml (DB)	<i>Musa sapientum</i> (EMS), <i>Musa acuminata</i> (EMA) <i>Musa sapientum</i> (cavendish (Cv), dream banana (DB))	Navghare et Dhawale, (2017)	
	Test de FRAP	IC ₅₀ = 247,80 µg/ml (EMS) IC ₅₀ = 198,80 µg/ml (EMA)			Rodzali et al., (2018)
	Test de H ₂ O ₂	IC ₅₀ = 47,60 µg/ml IC ₅₀ = 35,70 µg/ml			
Antidiabétique	Test de tolérance au glucose par voie orale chez les rats normoglycémiques Activité inhibitrices de α- amylase Adsorption de glucose	On EMC (500 et 1000 mg/kg, p.o) et EMA (200 et 400 mg/kg p.o) présentaient un effet antihyperglycémique marqué	<i>Musa sapientum</i> (EMS), <i>Musa paradisiaca</i> (EMP) <i>Musa cavendish</i> (EMC) <i>Musa acuminata</i> (EMA) <i>Musa sapientum</i> (Latundan banana) (MSL), <i>Musa acuminata</i> (Cavendish banana) (MAC), <i>Musa acuminata</i> (Red Dacca) (MAR)	Navghare et Dhawale, (2017)	
		IC ₅₀ = 185,384 µg/ml (EMA) IC ₅₀ = 4,27 µg/ml (MSL) IC ₅₀ = 3,95 µg/ml(MAC) IC ₅₀ = 4,09 µg/ml (MAR)		Ado Ahmad et al., (2020)	
		0,162 à 19,21 mmol/L glucose adsorbé à diverses concentrations (10 - 200 mmol/L)		Adedayo et al., (2016) Zaidan et alQ, (2021)	
Antibactériens	Teste sur les bactéries gram positif et négatif	CMI des bacterie plus élevée Bacillus subtilis (20,60 nm), Staphylococcus aureus (19,75 mm), Escherichia coli (18,15 mm), et Pseudomonas aeruginosa (19,57 mm)	<i>Musa sapientum</i>	Ehiowemw enguan et al., (2014)	
Antitulcéreuse	Test anti-ulcéreux utilisant des modèles induits par l'alcool (AL), l'aspirine (ASP) et la ligature pylore (PL), et pour sa cicatrisation des ulcères utilisant des modèles d'ulcères induits par l'acide acétique chez le rat.	L'intervalle ASP, AL, et PL, MEMS à des doses de (50, 100 et 200 mg/kg, b.c.)de poids corporel a montré un indice de protection de (23,08 ; 41,00 ; 56,39)%, (21,77 ; 53,70 ; 71,98)% et (14, 26, 51 ; 94,62)%, respectivement, L'extrait de méthanol des peelings sur <i>Musa sapientum</i> (MEMS)	<i>Musa sapientum</i> (MEMS)	Onasanwo et al., (2013)	

Matériel et Méthode

Notre travail expérimental a été réalisé au sein du laboratoire de pédagogie de biochimie, au département de Biologie, faculté SNV-STU, Université Abou Bekr Belkaïd-Tlemcen. Il regroupe une partie phytochimique et une partie biologique réalisée comme suit :

- Préparation de l'extrait eau-éthanol des peaux de bananes fraîches et séchées
- Dosage de polyphénols totaux, de flavonoïdes et de tanins condensés dans les extraits préparés.
- Évaluation de l'activité antioxydante des extraits par le test de piégeage du radical libre DPPH et le test de FRAP.
- Évaluation *in vitro* de l'activité antidiabétique des extraits préparés en mesurant leur capacité sur l'activité de l' α -amylase et sur l'adsorption au glucose.

1. Etude phytochimique

1.1 Matériel végétal

Les bananes de l'espèce *Musa acuminata* triploïde (AAA) de la variété de Cavendish class extra premium d'origine Guayaquil – Ecuador – Amérique du sud (**Figure 12 a**) ont été achetées du marché local de Maghnia au niveau de la wilaya de Tlemcen. Dans cette étude, seules les peaux de la banane ont été utilisées pour la préparation des extraits. Au laboratoire, d'une part, les peaux fraîches des bananes sont rapidement coupées (**Figure 12 b**), pesées et utilisées dans l'extraction ; d'autre part, une quantité de peaux ont été coupées en morceaux et séchées dans l'étuve à 39° pendant 72 h (**Figure 12 c**).

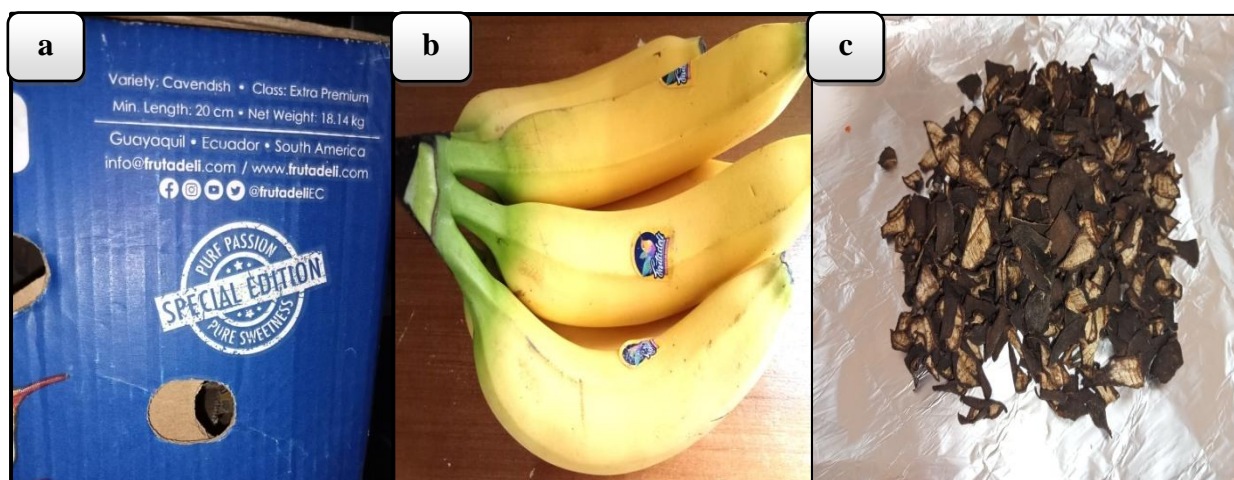


Figure n° 12: La variété de banane utilisée (a), les peaux de banane coupées en morceaux utilisées à l'état frais (b) et à l'état séché (c).

1.2 Préparation de l'extrait eau-éthanol de peau de banane

Deux extraits d'eau éthanol ont été préparés dans cette étude, un extrait préparé à partir des peaux de banane fraîches et un autre préparé à partir des peaux de banane séchées (**Figure 13**).

L'extrait des peaux fraîches a été préparé comme suit : 100 g de matière végétale est mise en contact avec 400 ml du mélange eau-éthanol (V/V : 20/80) dans un ballon, puis l'ensemble est porté à une décoction sous reflux et à chaud pendant 1 h. Ensuite, le décocté obtenu a été filtré, puis évaporé à sec pour obtenir l'extrait sous forme solide.

L'extrait des peaux séchées a été préparé comme suit : 80 g de matière végétale ont été mélangés avec 800 ml d'un mélange eau-éthanol (V/V : 20/80). Le mélange est porté à une décoction sous reflux et à chaud pendant 1 h. L'extrait obtenu a été filtré et évaporé à sec afin de récupérer l'extrait sec.

1.3 Calcule le Rendement des extraits

Le rendement est défini comme le rapport entre la masse d'extrait obtenue après évaporation du solvant (M) et la masse du matériel végétal initial utilisé (M_0), exprimé en pourcentage. Ce calcul est effectué pour chaque extrait. Nous avons calculé ce pourcentage par la formule suivante :

$$R (\%) = M/M_0 \times 100$$

- **R**: Rendement en %
- **M**: Masse de l'extrait à l'état frais ou sec résultant (en g)
- **M₀**: Masse du matériel végétal de départ (en g)

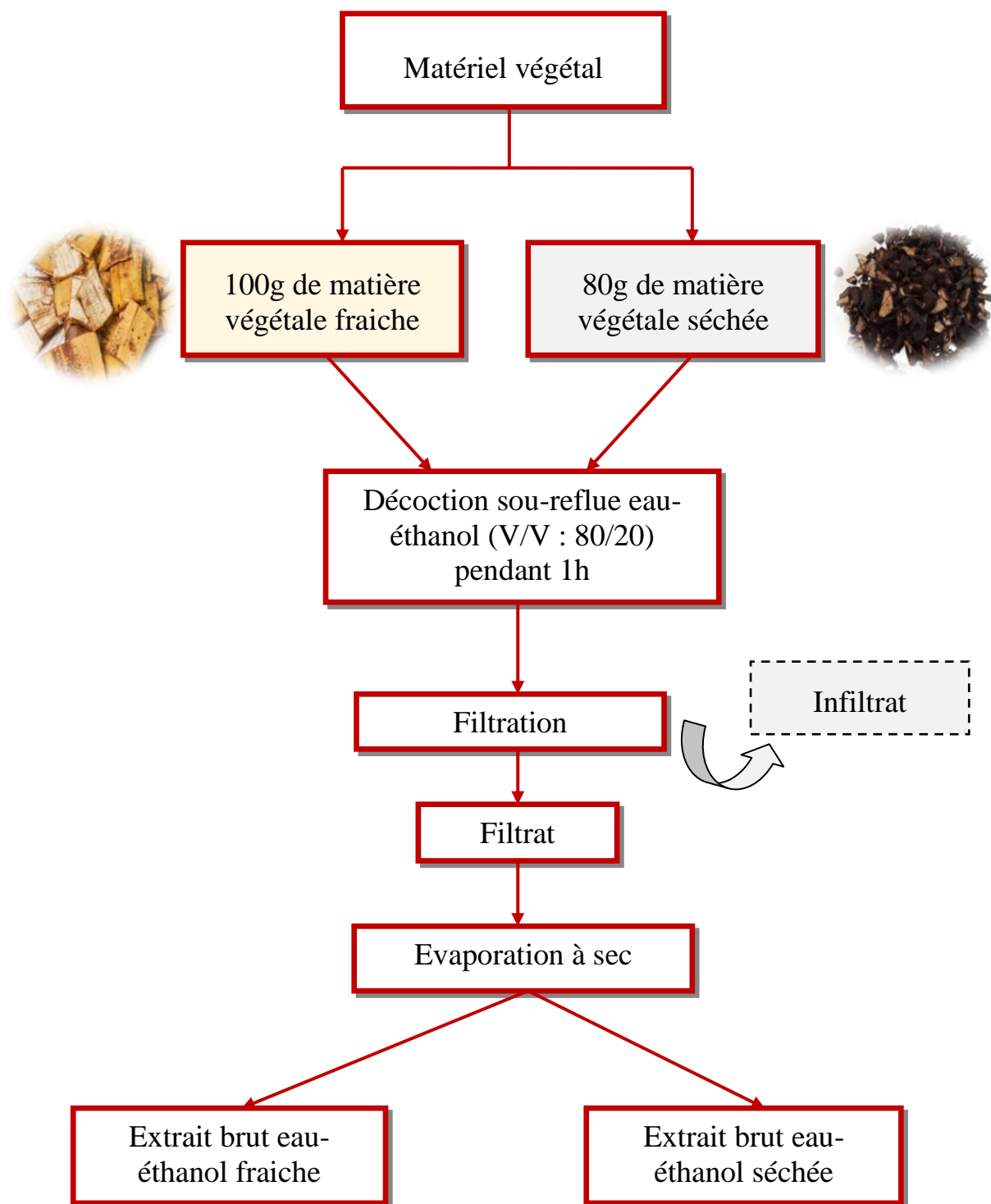


Figure n°13: Schéma présente le protocole d'extraction à partir de peau de banane.

1.4 Screening phytochimique :

Les extraits préparés ont été analysés à l'aide de tests de coloration et de précipitation en tube pour déterminer la présence ou l'absence de divers groupes de composés phytochimiques.

Les flavonoïdes :

Les flavonoïdes sont détectés en ajoutant 1 ml d'acide chlorhydrique concentré (HCl) à chaque volume d'extrait, suivi de l'ajout de quelques paillettes de magnésium. La formation d'une couleur rouge, orange ou rose est interprétée comme une indication de la présence de flavonoïdes.

Les tanins :

Pour identifier les tanins, 1 ml de chaque extrait est combiné à 0,25 ml d'une solution aqueuse de $FeCl_3$ (1 %), et le mélange est laissé à température ambiante pendant 15 minutes. La formation d'une couleur bleu-noir ou bleu verdâtre est interprétée comme une indication de la présence de tanins.

Les quinones libres :

Pour détecter les quinones libres, 1 ml de chaque extrait est versé dans 0,1 ml d'hydroxyde de sodium (1 % NaOH) dans un tube à essai. La formation d'une couleur jaune, rouge ou violette est observée comme un indicateur de la présence de quinones libres.

Les terpénoïdes :

Les terpénoïdes sont détectés à l'aide de la méthode Slakowski, dans laquelle 0,4 ml de chloroforme et 0,6 ml d'acide sulfurique concentré sont ajoutés à 1 ml de l'extrait. L'observation de deux phases distinctes et d'une couleur brune à l'interface indique la présence de terpénoïdes.

Les saponosides :

Les saponosides sont évalués à l'aide du test de la mousse. Après agitation de 10 ml de chaque extrait, la formation d'une mousse supérieure à 1 cm, qui a duré 10 à 20 minutes, a confirmé la présence de saponosides.

Les alcaloïdes :

Les analyses sont effectuées par des réactions de précipitation à l'aide des réactifs de Meyer et de Wagner. Dans deux tubes contenant chacun 0,5 ml d'extrait, 0,5 ml de réactif de Meyer sont ajoutés au premier tube et 0,5 ml de réactif de Wagner au second tube. Des précipités blancs et bruns sont observés, indiquant la présence d'alcaloïdes.

Les composés réducteurs :

La détection des composés réducteurs consiste à ajouter 1 ml de l'extrait dans un tube à essai, puis 2 ml de la solution de Fehling (composée de 1 ml du réactif A et de 1 ml du réactif B). Le mélange est ensuite chauffé dans un bain d'eau bouillante pendant 10 minutes. La formation d'un précipité rouge brique indique la présence de composés réducteurs.

1.5 Dosage des composés phénolique totaux

Principe

La méthode de Folin-Ciocalteu est une méthode chimique colorimétrique permettant de quantifier la quantité totale de composés phénoliques dans les extraits végétaux. Le principe de cette méthode repose sur l'oxydation des composés phénoliques par un réactif spécifique appelé réactif de Folin-Ciocalteu qui est constitué par un mélange d'acide phosphomolybdique ($H_3PMO_{12}O_{40}$) et d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$). Cette oxydation génère un complexe bleu de tungstène et de molybdène qui peut être mesuré spectrophotométriquement à une longueur d'onde spécifique, généralement entre 725 et 750 nm. L'intensité de couleur est proportionnelle à la concentration totale des composés phénoliques dans les extraits végétaux (Collin et al., 2011).

Mode d'opération

0,1 ml de chaque extrait préparé à 10 mg/ml a été mélangé avec 2 ml de solution de carbonate de sodium (Na_2CO_3 , 2%) après avoir incubé les tubes à essai pendant 5 min à température ambiante, 100 μ L de réactif de Folin-Ciocalteu (0,2 N) sont ajoutés dans chaque tube, suivi d'une incubation à température ambiante, à l'obscurité pendant 30 min. Enfin, l'absorbance des échantillons a été mesurée à une longueur d'onde de 680 nm au spectrophotomètre (Benariba et al., 2013).

Les concentrations des polyphénols des extraits bruts exprimées en microgramme équivalent acide gallique par milligramme d'extrait (μ g EAG/mg E) ont été déterminées à partir de la gamme d'étalonnage de l'acide gallique (50, 100, 200, 300, 400, 500, 900 et 1000 μ g/ml) en utilisant la formule suivante :

$$[\text{Polyphénols}] = \frac{a \times f}{c}$$

a : Concentration finale des polyphénols déterminée à partir de la courbe d'étalon.

f : Facteur de dilution (22).

C : Concentration de l'extrait (1 mg/ml).

1.6 Dosage de flavonoïdes

Principe

Les teneurs en flavonoïdes ont été déterminées par méthode spectrophotométrique. Le principe de cette méthode repose sur l'oxydation des flavonoïdes par le nitrite de sodium ($NaNO_2$) et le chlorure d'aluminium ($AlCl_3$), ce qui entraîne la formation d'un composé de couleur rose ayant une absorbance maximale à 510 nm (Benariba et al., 2013).

Mode opératoire (Dewanto et al, (2002):

250 µL de l'extrait préparé à une concentration de 10 mg/ml sont mélangés avec 1 ml d'eau distillée. Ensuite, 75 µL d'une solution de NaNO₂ à 15 % sont ajoutés à l'extrait dilué. L'échantillon est ensuite incubé pendant 6 minutes à température ambiante. Après cette incubation, 75 µL d'une solution fraîche de chlorure d'aluminium à 10 % (AlCl₃, 6H₂O) sont ajoutés et laissés au repos pendant 6 minutes à température ambiante, puis 1000 µL d'hydroxyde de sodium à 4 % sont ajoutés, suivis de 100 µL d'eau distillée. Le volume total est ajusté à 2500 µL. Une dernière incubation a été réalisée à température ambiante pendant 15 min. L'absorbance des échantillons a été mesurée à 520 nm.

Une courbe d'étalonnage a été réalisée dans les mêmes conditions opératoires en utilisant la catéchine (100, 200, 300, 400, 500 et 600 µg/ml).

Les concentrations de flavonoïdes exprimées en microgramme équivalent catéchine par milligramme d'extrait (µg EC/mg E) à partir de la gamme d'étalonnage en utilisant la formule :

$$[\text{Flavonoïdes}] = \frac{a \times f}{c}$$

a : Concentration de flavonoïdes déterminée à partir de la courbe étalon

f : Facteur de dilution (10).

C : Concentration de l'extrait (1 mg/ml).

1.7 Dosage des tanins condensés

Principe

La méthode à la vanilline est une méthode colorimétrique décrite par Julkunen-Titto (1985) qui est utilisée pour mesurer la teneur totale des tanins condensés dans les extraits végétaux. En milieu acide, la vanilline réagit avec les tanins condensés présents dans l'extrait de plantes pour former un composé rose dont l'absorbance maximale se situe à 520 nm (K. Kanoun et al., 2014).

Mode opératoire

Un volume de 50 µL de chaque extrait préparé à 10 mg/ml est mélangé avec 1500 µL de la solution vanilline/méthanol (4 %, P/V). Ensuite, 750 µL de l'acide chlorhydrique concentré est ajouté dans chaque tube. Après incubation à température ambiante pendant 20 min, l'absorbance a été mesurée à 550 nm contre un tube blanc au spectrophotomètre (K. Kanoun et al., 2014).

Une courbe d'étalonnage a été réalisée dans les mêmes conditions opératoires en utilisant la catéchine comme contrôle à différentes concentrations (50, 400, 500, 800, 900, 1000 mg/ml).

Les teneurs en tanins exprimées en microgramme équivalent catéchine par milligramme d'extrait ($\mu\text{g EC/mg E}$), ont été déterminées à partir de la gamme d'étalonnage en utilisant la formule :

$$[\text{Tanins}] = \frac{a \times f}{c}$$

a : Concentration finale des Tanin déterminée à partir de la courbe d'étalon.

f : Facteur de dilution (46).

C : Concentration de l'extrait (1 mg/ml).

2. Etude Biologique

Dans cette étude, nous sommes intéressées à l'étude *in vitro* de l'activité antioxydante de l'extrait eau-éthanol de l'échantillon frais et séché en utilisant le test du DPPH et du FRAP, ainsi qu'à l'étude de l'activité antidiabétique en utilisant le test de l'activité de l' α -amylase et le test d'adsorption au glucose.

2.1 Evaluation de l'activité antioxydante

2.1.1 Test de Piégeage du radical libre DPPH

Principe

Le DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) est un radical libre très stable, largement utilisé pour évaluer l'activité antiradicalaire des antioxydants. L'activité de piégeage est basée sur la réduction du DPPH par des composés antioxydants donneurs d'hydrogène, formant ainsi du DPPH-H (**Figure 14**). Cette réaction est caractérisée par une décoloration de la solution qui passe du violet au jaune, dont l'absorbance maximale de cette solution est mesurable à 513-528 nm (**Pisoschi et Negulescu, 2011**).

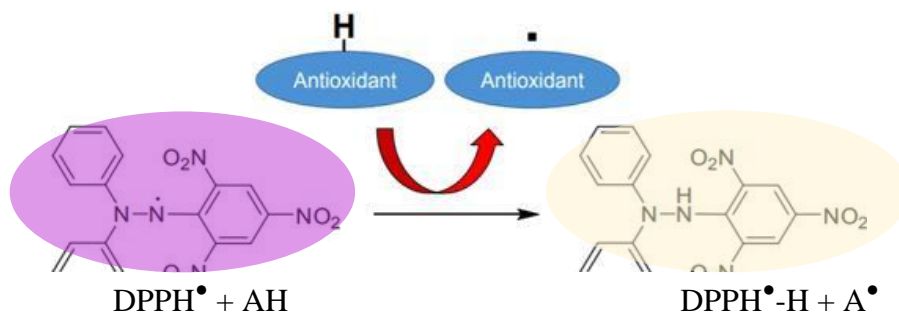


Figure n° 14: Principe du test de piégeage de radical DPPH.

Mode d'opération (Benariba et al, 2013) :

Un volume de 975 µL de solution du DPPH (0,0025 mg/ml, préparé dans le méthanol) a été mélangé avec 25 µL de chaque concentration d'extraits (180, 240, 400, 500, 1000, 2000, 3000, 4000 et 5000 µg/ml). Un tube blanc a été préparé pour chaque concentration d'extrait contenant 975 µL de méthanol et 25 µL de l'extrait correspondant. Le tube du contrôle négatif contient 25 µL de méthanol avec 975 µL de solution de DPPH, tandis que le tube blanc de ce contrôle contient 1 ml de méthanol. Tous les tubes sont incubés à température ambiante à l'obscurité pendant 30 minutes et l'absorbance a été mesurée à 520 nm par rapport au tube blanc en utilisant le spectrophotomètre.

Le contrôle positif utilisé pour ce test est l'acide ascorbique testé à différentes concentrations (180, 240, 400, 1000, 2000, 3000, 4000 et 5000 µg/ml).

Les résultats obtenus représentent la moyenne des trois essais obtenus pour chaque concentration testée de l'extrait.

La diminution de l'absorbance indique une diminution de la concentration de radicaux libres dans la solution, ce qui témoigne d'une augmentation de l'activité de suppression des radicaux DPPH par les composés présents dans les échantillons testés. Le pourcentage d'inhibition contre le DPPH a été calculé comme suit :

$$\text{DPPH (\%)} = \frac{DO \text{ contr} - Do \text{ échan}}{Do \text{ control}} \times 100$$

DPPH (%): Pourcentage de réduction du DPPH.

Do contr: Densité optique du tube contrôle.

Do échan : Densité optique de l'échantillon

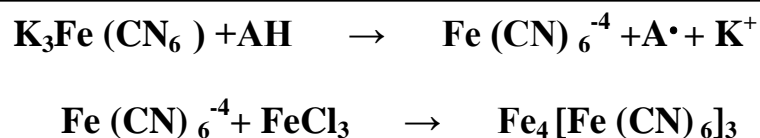
La valeur d'IC₅₀ qui représente la concentration du substrat nécessaire pour réduire de moitié la forme radicalaire du DPPH. Elle a été déterminée à partir de l'équation de regression des graphes du DPPH (%) = f (C), Plus la valeur de IC₅₀ est faible, plus l'activité antioxydante de l'échantillon est élevée.

2.1.2 Le pouvoir réducteur du fer FRAP (Ferric Reducing Antioxydant Power)

Principe

La méthode de FRAP est basée sur le potentiel de réduction du ferrocyanure de potassium (K₃Fe(CN)₆). En ferrocyanure de potassium (Fe(CN)₆⁴⁻) en présence d'un antioxydant, ensuite le ferrocyanure réagit avec le trichlorure du fer (FeCl₃), formant ainsi un

complexe de couleur bleu appelé le bleu Prussien, qui a une absorbance maximale à 700nm. Plus la capacité antioxydante d'un composé est élevée, plus il réduira rapidement le ferricyanure de potassium, et augmente l'absorbance de la solution (Pisoschi et Negulescu., 2011).



Mode d'opération (Karagozler et al, 2008) :

50 µL de l'extrait à différentes concentrations (180, 240, 400, 500, 1000, 2000, 3000, 4000 et 5000 µg/ml) est mélangé avec 125 µL d'une solution tampon phosphate 0,2 M (pH = 6,6) et 125 µL d'une solution de $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ à 1 %. Ensuite, les tubes sont incubés dans l'étuve à 50 °C pendant 20 minutes. Après refroidissement des tubes à température ambiante, 125 µL d'acide trichloracétique (10 %) ont été ajoutés pour arrêter la réaction. Ensuite, 250 µL du surnageant sont mélangés avec 250 µL d'eau distillée et 50 µL d'une solution de FeCl_3 à 0,1 %. Enfin, les absorbances sont mesurées au spectrophotomètre à 680 nm.

Le contrôle positif utilisé pour ce test est l'acide ascorbique testé à différentes concentrations (5, 10, 25, 50, 100, 200 et 400 µg/ml).

Les résultats obtenus représentent la moyenne des absorbances des trois essais obtenus pour chaque concentration testée de l'extrait.

3. Evaluation de l'activité antidiabétique

3.1.1 Evaluation de l'effet des extraits sur l'activité de l'α-amylase

Principe

L'évaluation de l'activité de l'α-amylase a été réalisée selon la méthode de Benfeld (1955), qui est basée sur le dosage des sucres réducteurs lors de l'hydrolyse de l'amidon par l'α-amylase. Dans ce procédé, en milieu alcalin et à chaud, les groupements aldéhydes et cétones entraînent la réduction de l'acide 3,5-dinitrosalicylique (DNSA) d'une teinte jaune-orange à un acide 3-amino-5-nitrosalicylique de couleur rouge-orange, dont l'absorption est mesurée à 540 nm. L'intensité de cette coloration est proportionnelle à la concentration de sucres réducteurs présents dans le milieu réactionnel.

Préparation des réactifs (Benfeld, 1955)

Solution de l'α-amylase

L'enzyme α -amylase (E. C.3.2.1.1), provenant du pancréas du porc (PPA), est utilisée sous forme lyophilisée, avec un poids moléculaire de 13 000 Da et une activité spécifique de 13 UI/mg. Conservée à 4 °C. 3 mg de PPA sont solubilisés dans 10 ml de solution tampon phosphate (0,02 M, pH 6,9). L'activité optimale de cette enzyme est à pH 6,9 et à 37 °C.

Solution du substrat

L'amidon soluble est utilisé comme substrat. Pour sa préparation, il est dissous dans une solution tampon phosphate (0,02 M, pH 6,9) à une concentration de 0,5 %.

Réactif 3,5-Di Nitro Salicylique Acide (DNSA)

Pour préparer le réactif chromogène acide 3,5-dinitrosalicylique (DNSA), dissoudre 30 g de tartrate double sodium-potassium dans 20 ml de solution d'hydroxyde de sodium (2 N) chauffée à 60 °C sous agitation. En parallèle, dissolvez 1 g de DNSA dans 40 ml d'eau distillée préchauffée à 40-45 °C. Les deux solutions sont ensuite mélangées et agitées jusqu'à l'obtention d'un réactif limpide de couleur jaune-orange. Ajustez le volume final à 100 ml avec de l'eau distillée. Le réactif ainsi obtenu a été conservé à l'abri de la lumière et à une température de 4 °C.

Solution tampon phosphate (0,02 M ; pH=6,9) :

On prépare la solution tampon à partir d'une solution A monobasique (NaH_2PO_4).

($M=137,99$ g/l) et la solution B dibasique (Na_2HPO_4) ($M=142$ g/l).

$$n = m/M \quad m_A = C \times V \times M = 0,02 \times 0,4 \times 137,99 = 1,103 \text{ g}$$

$$n = m/M \quad m_B = C \times V \times M = 0,02 \times 0,4 \times 142 = 1,136 \text{ g}$$

1,10 g du composé A ajustés avec l'eau distillée jusqu'à 400 ml.

1,13 g du composé B ajustés avec l'eau distillée jusqu'à 400 ml.

Ensuite, on mélange les deux solutions A et B afin d'obtenir une concentration de 0,02 M et un pH de 6,9. Enfin, on ajoute 0,27 g de Na Cl.

$$n = m/M, \quad m_A = C \times V \times M : 0,0067 \times 0,7 \times 58,44 : 0,27 \text{ g}$$

Solution d'acarbose

L'acarbose est un pseudo-tétrasaccharide d'origine microbienne. Il est utilisé dans cette expérience comme contrôle positif (molécule de référence) afin de comparer son activité vis-à-vis de l' α -amylase. Un comprimé de 50 mg est solubilisé dans 50 ml du tampon phosphate sous agitation afin d'avoir la concentration 1 mg/ml. À partir de cette solution mère, on prépare des dilutions (6 ; 12,5 ; 25 ; 50 ; 100 ; 500 ; 1000 et 2000 $\mu\text{g/ml}$).

Solution des extraits

Différentes concentrations d'extrait eau-éthanol de peau de banane à l'état frais et à l'état sec (156 ; 312 ; 625 ; 1250 ; 2500 ; 5000 et 10 000 µg/ml) sont préparées dans une solution tampon phosphate (0,02 M ; pH 6,9) afin d'évaluer leur effet sur l'activité enzymatique de l' α -amylase.

Mode opératoire

Le processus expérimental se déroule comme suit : 100 µL de solution d'extrait ou d'acarbose sont mélangés avec 100 µL de solution enzymatique dans un milieu réactionnel. Après une incubation de 10 minutes à 37 °C, 100 µL de substrat (amidon) sont ajoutés au mélange réactionnel. Les tubes sont ensuite incubés pendant 15 minutes à 37°C. Par la suite, 300 µL de DNSA sont ajoutés à chaque tube pour inhiber l'enzyme et révéler les sucres réducteurs. Les tubes sont ensuite placés dans un bain-marie bouillant pendant 8 minutes pour augmenter la réaction entre le DNSA et les sucres réducteurs issus de l'hydrolyse de l'amidon. La réaction est stoppée par un choc thermique, en plongeant directement les tubes dans un bain d'eau glacée. Enfin, 500 µL d'eau distillée sont ajoutés avant de mesurer la densité optique à 550 nm par rapport au tube blanc (milieu réactionnel sans enzyme). Toutes les étapes sont réalisées en triplicata.

L'inhibition de l' α -amylase est exprimée par un pourcentage d'inhibition calculé selon l'équation suivante :

$$\text{(\%)} \text{ D'inhibition de l}'\alpha\text{-amylase} = \frac{DO_{\text{contr}} - DO_{\text{échan}}}{DO_{\text{contr}}} \times 100$$

(%) : Pourcentage d'activité d' α -amylase.

DO_{control} : Densité optique du tube contrôle.

$DO_{\text{échan}}$: Densité optique de tube échantillon.

Les valeurs d' IC_{50} qui correspondent à la concentration inhibitrice de 50 % de l'activité enzymatique sont calculées à partir des équations des régressions linaires des courbes représentant les pourcentages d'inhibition en fonction des concentrations des extraits.

3.1.2 Evaluation de la capacité d'adsorption des extraits au glucose

Principe

Ce test de glycosylation est basé sur la mesure de la capacité des extraits de s'adsorber au glucose en formant des complexes avec le glucose libre, ce qui peut nous renseigner sur le mécanisme hypoglycémiant des extraits de plantes testées. Après incubation le glucose non adsorbé est mesuré dans le milieu par un dosage enzymatique à la glucose-oxydase-peroxydase GOD-POD (Kebieche, 2009) ; Roussel t al., 2020). Ce dosage enzymatique est

basé sur l'oxydation du glucose en acide gluconique sous l'action de l'enzyme glucose-oxydase (GOD) et la formation du H₂O₂. Ce dernier réagit avec un chromogène accepteur d'O₂, le phénol et 4-aminophénazone, et sous l'effet de la peroxydase (POD) il se produit dans le milieu H₂O et la quinone qui développe une couleur rose qui absorbe entre 490-550nm, dont l'absorbance maximale est à 510nm.

Mode opératoire (Kebieche, 2009 ; Roussel et al., 2020)

Un volume de 100 µL de chaque extrait préparé à 10 mg/ml, où des contrôles positifs, l'acarbose (2 mg/ml) et l'acide gallique (1 mg/ml), sont combinés avec 100 µL de la solution de glucose à des concentrations de 5, 10, 50 et 100 mmol/L. Les tubes sont ensuite agités et incubés dans l'étuve à 37° C pendant 1 h et pendant 3 heures. Après incubation, 10 µL de chaque tube est prélevé, puis 1000 µL du réactif GOD-POD est ajouté. Les absorbances sont mesurées à 510 nm au spectrophotomètre après 20 min d'incubation.

Le taux de glucose libre dans chaque tube exprimé en mmol a été déterminé selon la formule suivante :

$$\text{Le glucose adsorbé (mM/g extrait)} = \frac{(C_i - C_f)}{\text{Masse de l'extrait (g)}} * \text{Volume du milieu (L)}$$

C_i: Concentration initiale du glucose.

C_f: Concentration finale du glucose.

$$C_f \text{ (mM)} = [(DO_{\text{échantillon}}/DO_{\text{étalon}}) \times 100] \times 0,0555 \text{ mM (SPINREACT)}.$$

DO_{échantillon} : Densité optique du tube échantillon.

DO_{étalon} : Densité optique du tube étalon

4. Analyse statistique

Les résultats obtenus au cours de cette expérience ont été analysés par Excel et sont exprimés en moyenne ± l'erreur standard. La comparaison des moyennes et le degré de signification statistique ont été évalués par analyse de variance (ANOVA) et par le test de Tukey en utilisant le logiciel SPSS. La différence est considérée peu significative lorsque $p \leq 0,05$ (*), significative lorsque $p \leq 0,01$ (**), très significative lorsque $p \leq 0,001$ (***), et hautement significative lorsque $p \leq 0,0001$ (*).

Résultats et Interprétation

1. Etude Phytochimique

1.1 Rendement et caractéristiques des extraits eau-éthanol de peau de banane

Après évaporation à sec, les extraits eau-éthanol de peaux de bananes fraîches ou séchées sont récupérés sous forme d'une pâte de couleur marron foncé. Le rendement de l'extrait d'eau-éthanol à l'état sec présente un fort rendement de 15,74 % par rapport à l'extrait d'eau-éthanol à l'état frais avec un rendement de 2,69 %. Le tableau ci-dessous résume les rendements et les caractéristiques des extraits récupérés.

Tableau n° 12: Rendements (%) et caractéristiques des extraits eau-éthanol de peau de banane.





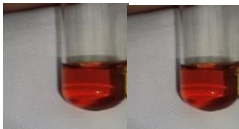



	Extrait eau-éthanol état frais	Extrait eau-éthanol état sec
Rendements (%)	2,69	15,74
Aspect et couleur	Pâte Marron foncé	Pâte Marron foncé
Solubilités	Eau distillée	Eau distillée

1.2 Screening phytochimique

L'analyse phytochimique utilise une série de tests de précipitation et de coloration pour identifier les différents composants chimiques présents dans les extraits. Ces tests permettent de déterminer la présence ou l'absence de divers composés phytochimiques. **Tableau n° 13** montre les résultats du screening phytochimique réalisé sur les différents extraits bruts de peaux de banane.

Selon les résultats obtenus, les extraits eau-éthanol frais et sec ont montré la présence des tanins condensés, des flavonoïdes, des quinones libers et des composés réducteurs, tandis que les terpènes, les alcaloïdes et les saponosides sont absents dans les deux extraits frais et sec.

Tableau n° 13: Résultats du screening phytochimique des extraits eau-éthanol de peaux de bananes fraîches et séchées.

		Etat Frais	Etat sec	Apparence des tubes
Tanin		++	+	
Flavonoïde		++	+	
Terpènes		-	-	
Quinones libre		++	++	
Alcaloïdes	Mayer	-	-	
	Wagner	-	-	
Sucre réducteur		++	+	
Saponiside (indice de mousse)		-	-	

(+++): Forte présence ; (++) : Moyenne présence ; (+) Faible présence ; (-) Absence

1.3 Dosages des composés phénoliques

Les taux de polyphénols, de flavonoïdes et de tanins condensés dans l'extrait préparé à partir de peaux de banane ont été mesurés à partir des équations de la régression linéaire des

Résultat et interprétation

courbes étalons (**Figure 15**) et évalués de manière quantitative par un dosage colorimétrique en utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu et le réactif de chlorure d'aluminium, respectivement. Les résultats obtenus sont exprimés en microgrammes équivalent d'acide gallique par milligrammes d'extrait ($\mu\text{g EAG/mg E}$), et en microgrammes équivalent de catéchine par milligrammes d'extrait ($\mu\text{g EC/mg E}$).

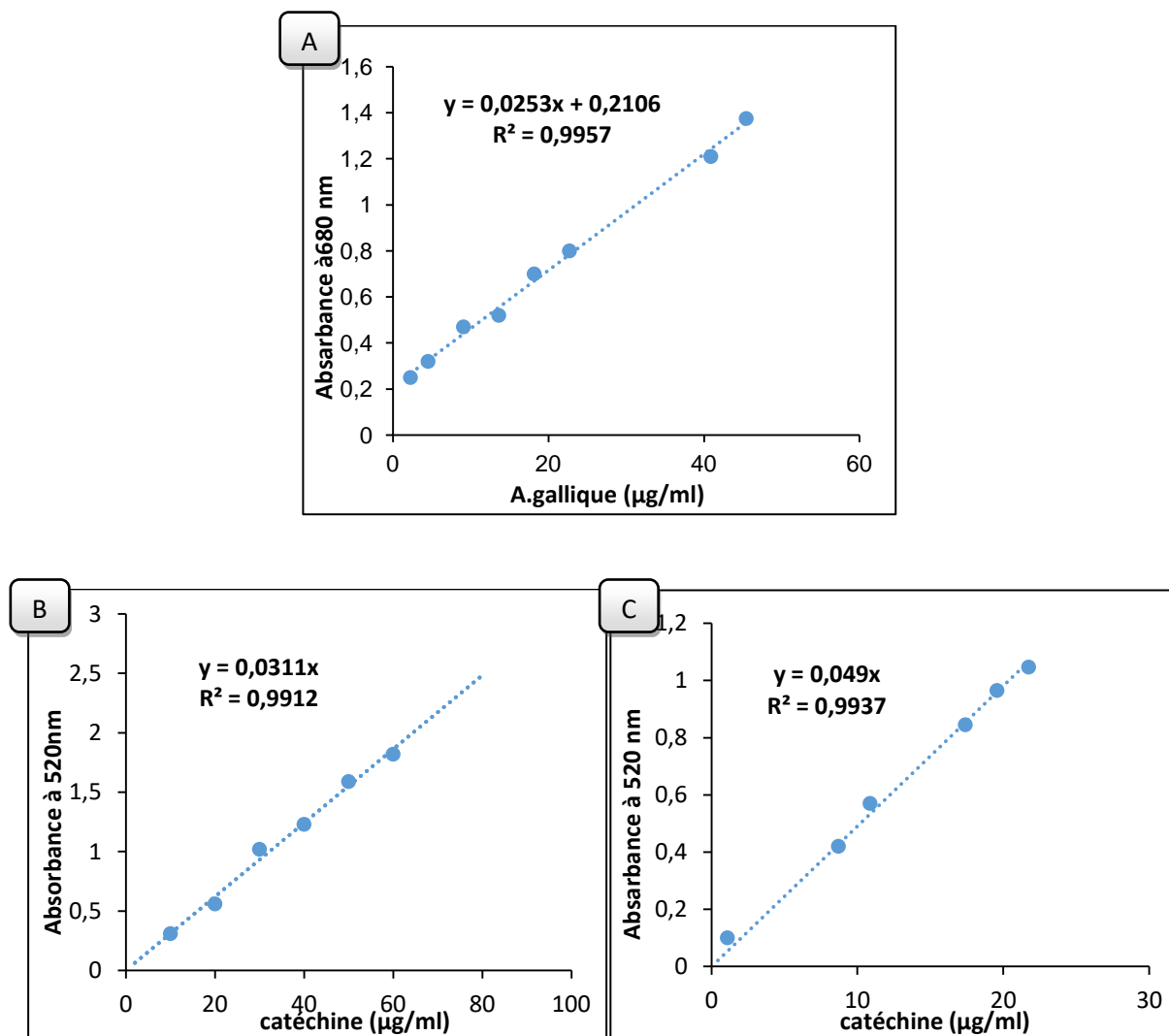


Figure n° 15: Courbes étalon d'Acide gallique (A) pour le dosage de polyphénols et de catéchine pour le dosage de tanin condensés (B) et le dosage de flavonoïdes totaux (C).

Le taux de polyphénols, de flavonoïde et de tanins condensés dans les extraits eau-éthanol est représenté dans le **tableau n°15**. Les résultats obtenus indiquent que l'extrait à l'état frais présente des teneurs significativement élevées ($p \leq 0,0001$) en polyphénols ($33,86 \pm 0,015 \mu\text{g EAG/mg E}$), en flavonoïdes ($29,37 \pm 0,003 \mu\text{g EC/mg E}$), et en tanins condensés ($68,53 \pm 0,043 \mu\text{g EC/mg E}$) par rapport à l'extrait à l'état séché qui présente de faibles teneurs ($14,04 \pm 0,003 \mu\text{g EAG/mg E}$; $19,78 \pm 0,012 \mu\text{g EC/mg E}$; $50,38 \pm 0,062 \mu\text{g EC/mg E}$).

Tableau n° 14: Taux de polyphénols totaux, de flavonoïdes et de tanins condensés dans les extraits eau-éthanol de peaux de bananes fraîches et séchées

	Extrait eau-éthanol état Frais	Extrait eau-éthanol état sec
Polyphénols ($\mu\text{g EAG/mg E}$)	33,86 \pm 0,015	19,78 \pm 0,012
Flavonoïdes ($\mu\text{g EC/mg E}$)	29,37 \pm 0,066	14,04 \pm 0,003
Tanins condensés ($\mu\text{g EC/mg E}$)	68,53 \pm 0,043	50,38 \pm 0,062

Chaque valeur représente la Moyenne \pm ES (n=3)

2. Activité antioxydant des extraits

Dans cette recherche, deux tests ont été réalisés pour évaluer l'activité antioxydante des extraits:

- Test de piégeage du radical libre DPPH
- Test de FRAP (le pouvoir réducteur du fer en utilisant le ferricyanure de potassium)

2.1 Test de piégeage de radical libre DPPH

Les résultats acquis ont été exprimés en pourcentage d'inhibition des radicaux libres DPPH en fonction des concentrations des extraits, représentés dans **la figure n°16**. Dans cette étude, l'acide ascorbique a été utilisé comme contrôle positif à différentes concentrations (180, 240, 400, 1000, 2000, 3000, 4000 et 5000 $\mu\text{g/ml}$) et il est représenté sur **la figure n°17**.

Nous avons mesuré à partir de l'équation de la régression linéaire au niveau **des figures n° 16 et 17**, la concentration inhibitrice correspond à 50 % du piégeage du DPPH (IC_{50}) pour les deux extraits frais et séchés ainsi que l'acide ascorbique. Les pourcentages de réduction du radical DPPH sont cités dans **le tableau n°15 et n°16**, respectivement.

Résultat et interprétation

Tableau n° 15: Effet des extraits eau-éthanol de peaux de banane frais et séchées la réduction du DPPH.

Extraits	Concentrations d'extrait (µg/ml)								IC ₅₀ (µg/ml)
	4,5	6	10	25	50	75	100	125	
Eau-éthanol à état frais	20,98 ±0,00 3	22,22± 0,012	27,16± 0,003	34,56± 0,005	60,49± 0,005	83,95± 0,012	-	-	38,67± 0,005
Eau-éthanol à état sec	18,51 ±0,01 6	20,98 ±0,011	20,97± 0,003	25,69± 0,015	38,27± 0,01	48,14± 0,005	54,32± 0,013	84,19± 0,045	87± 0,009

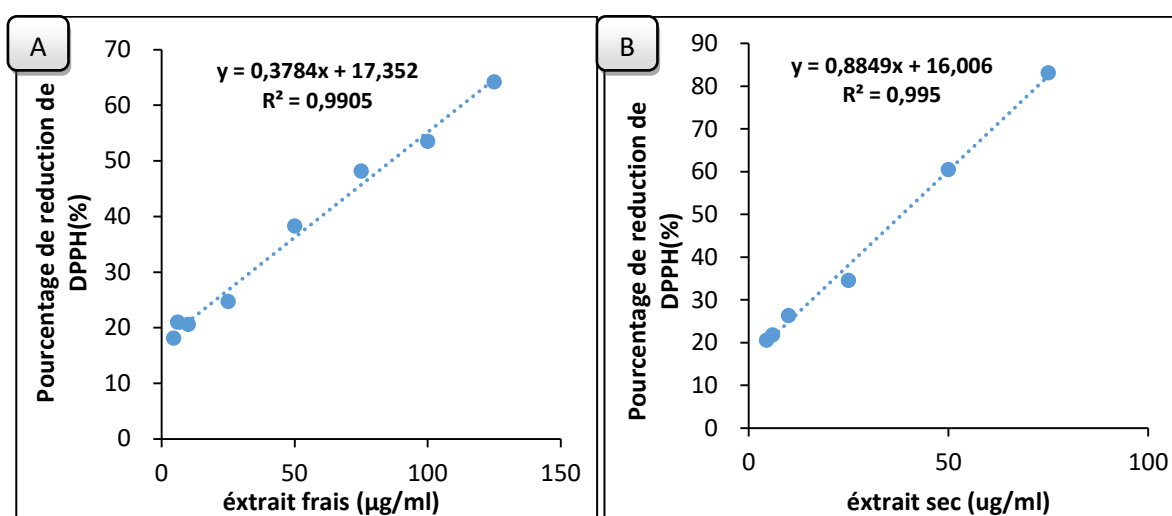


Figure n° 16 : Effet des extraits eau-éthanol de peaux de banane séchées (A) et fraîches (B) sur la réduction du DPPH.

Tableau n° 16: Effet Acide ascorbique sur la réduction de DPPH.

Réduction de DPPH (%)	Concentrations d'acide ascorbique (µg/ml)					IC ₅₀ (µg/ml)
	0,13	0,25	0,63	1,25	2,5	
	16,43± 0,003	34,78± 0,045	65,22± 0,010	85,02± 0,038	97,10± 0,006	0,39± 0,028

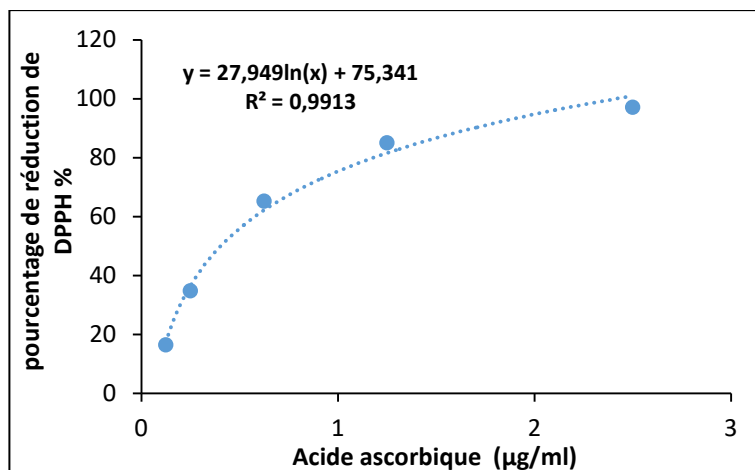


Figure n° 17 : Activité antioxydante de l'acide ascorbique sur le piégeage du DPPH.

Selon les résultats obtenus, on note une augmentation du pourcentage de réduction du radical DPPH proportionnelle à l'augmentation de la concentration de l'acide ascorbique et des extraits d'eau-éthanol.

Le pourcentage de réduction du DPPH le plus élevé arrive à 96,85% à la concentration 2,5µg/ml de la vitamine C avec une IC₅₀ de 0,39 µg/ la concentration 75 µg/ml des extraits à l'état frais a assuré une réduction de 83,95 % du DPPH avec une valeur de IC₅₀ intéressante qui est de 38,67µg/ml, tandis que l'extrait eau-éthanol à l'état séché à la concentration 125 µg/ml arrive à une réduction de 84,19 % du DPPH, avec une valeur de d'IC₅₀ de 87 µg/ml. Ces valeurs de IC₅₀ sont significativement élevées ($p \leq 0,01$) par rapport à celle de la vitamine C.

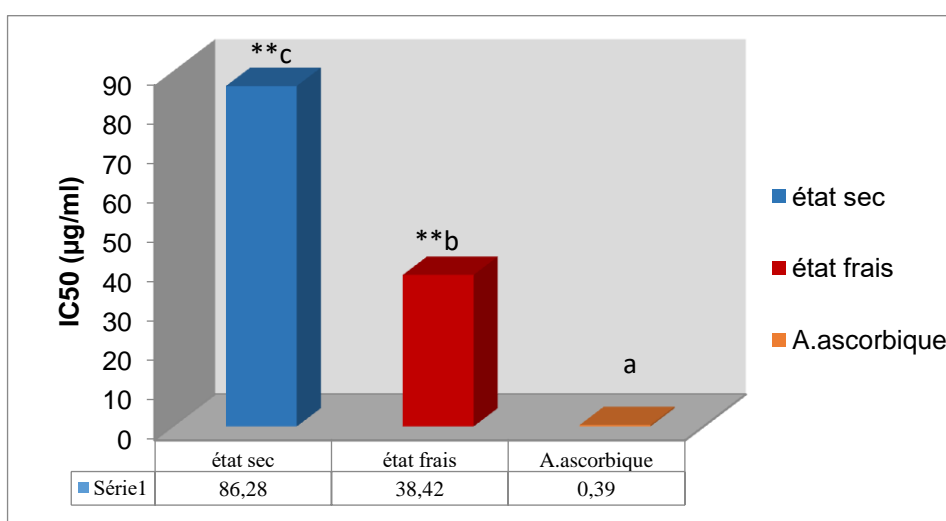


Figure n°18 : Les valeurs de IC₅₀ de l'A. Ascorbique et des extraits eau-éthanol de peau de banane fraîches et séchées sur la réduction du DPPH.

Résultat et interprétation

En comparaison avec l'acide ascorbique (*** : $p \leq 0,001$; ** : $p \leq 0,01$; * : $p \leq 0,05$), la différence entre les lettres (a-c) au sein de la rangée (les échantillons non connectés par la même lettre) est significativement différente à $p < 0,05$; comme déterminé par les tests à plages multiples de Tukey. Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm ESM ($n = 3$).

2.2 Effet des extraits de peau de banane sur la réduction du fer (FRAP) :

Le potentiel antioxydant des extraits de peaux de bananes sur la réduction du fer a été déterminé en utilisant l'acide ascorbique comme témoin positif. Cette activité est exprimée par la concentration efficace (EC_{50}), qui correspond à une absorbance de 0,5 à 680 nm.

Les résultats obtenus sont représentés dans les **tableaux n°17 et n°18, ainsi que les figures n°19 et n°20**, respectivement. On remarque que le pouvoir réducteur des extraits sur le fer est proportionnel à la concentration des échantillons. À partir de ces résultats, on observe une forte activité réductrice du fer de l'extrait à l'état frais par rapport à l'effet de l'extrait à l'état séché, dont les valeurs d' EC_{50} obtenues sont 23,43 et 43,77 $\mu\text{g/ml}$, respectivement. Les valeurs de EC_{50} déterminées pour les contrôles positifs acide ascorbique (17,06 $\mu\text{g/ml}$) et BHA (24,39 $\mu\text{g/ml}$) sont comparables à celle de l'extrait eau-éthanol de peaux de bananes fraîches, tandis que la valeur de l'extrait eau-éthanol de peaux de bananes séchées est significativement élevée ($p \leq 0,0001$) (**Figure n° 21**).

Tableau n° 17: Effet des extraits eau-éthanol de peaux de banane frais et séchées sur la réduction du fer.

Extraits	Concentrations d'extrait de peau de banane ($\mu\text{g/ml}$)								EC_{50} ($\mu\text{g/ml}$)
	4,5	6	10	25	50	75	100	125	
Eau-éthanol à état frais	0,16 \pm 0,012	0,20 \pm 0,003	0,30 \pm 0,038	0,60 \pm 0,015	0,94 \pm 0,003	1,29 \pm 0,038	1,61 \pm 0,020	1,95 \pm 0,026	23,43 \pm 0,027
Eau-éthanol à état sec	0,15 \pm 0,007	0,17 \pm 0,018	0,19 \pm 0,003	0,38 \pm 0,017	0,60 \pm 0,021	0,81 \pm 0,023	0,92 \pm 0,000	1,17 \pm 0,025	43,77 \pm 0,019

Résultat et interprétation

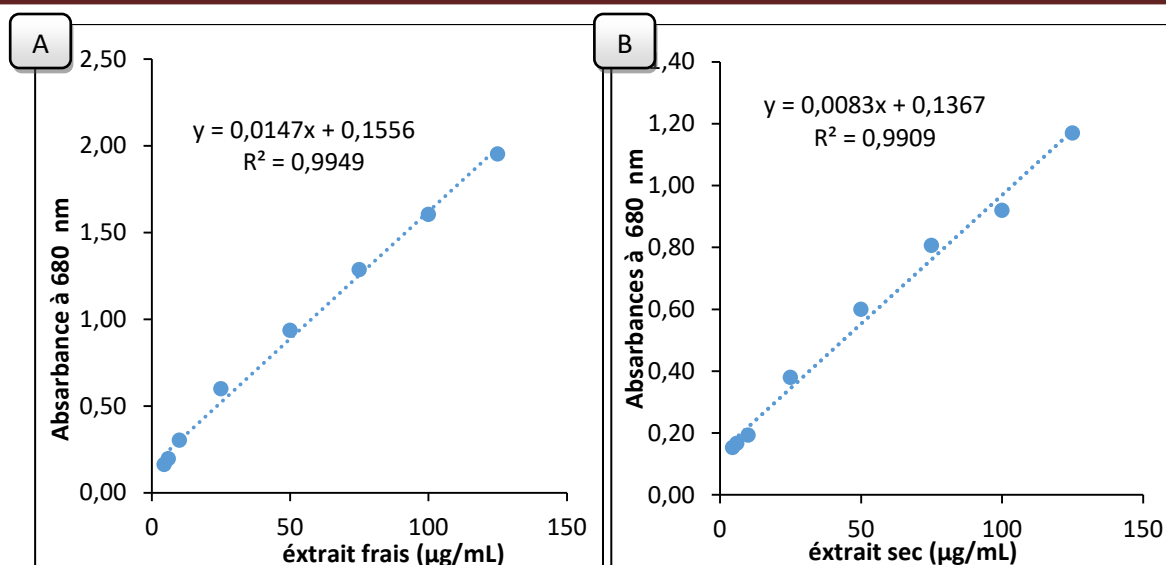


Figure n°19: Pouvoir réducteur du fer par les extraits de peau de banane à état frais (A) et à l'état sec (B).

Tableau n° 18: Absorbance de l'effet de l'acide ascorbique et BHA sur la réaction du fer.

	Concentrations d'extrait (µg/ml)							EC ₅₀ (µg/ml)
	1	2	4	8	17	33	67	
Acide ascorbique	0,01± 0,003	0,08± 0,012	0,11± 0,010	0,29± 0,007	0,47± 0,021	0,94± 0,040	1,97± 0,033	17,06± 0,030
BHA	0,05± 0,003	0,07± 0,003	0,11± 0,003	0,22± 0,01	0,41± 0,006	0,69± 0,02	1,35± 0,145	24,39± 0,008

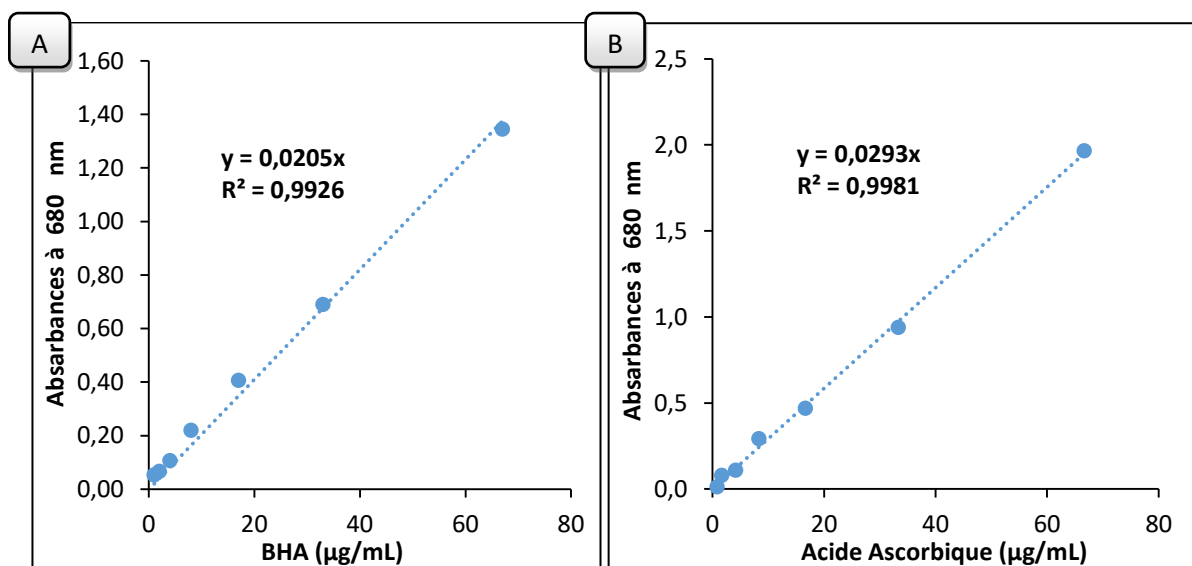


Figure n° 20: Pouvoir réducteur du fer par BHA (A) et l'acide ascorbique (B).

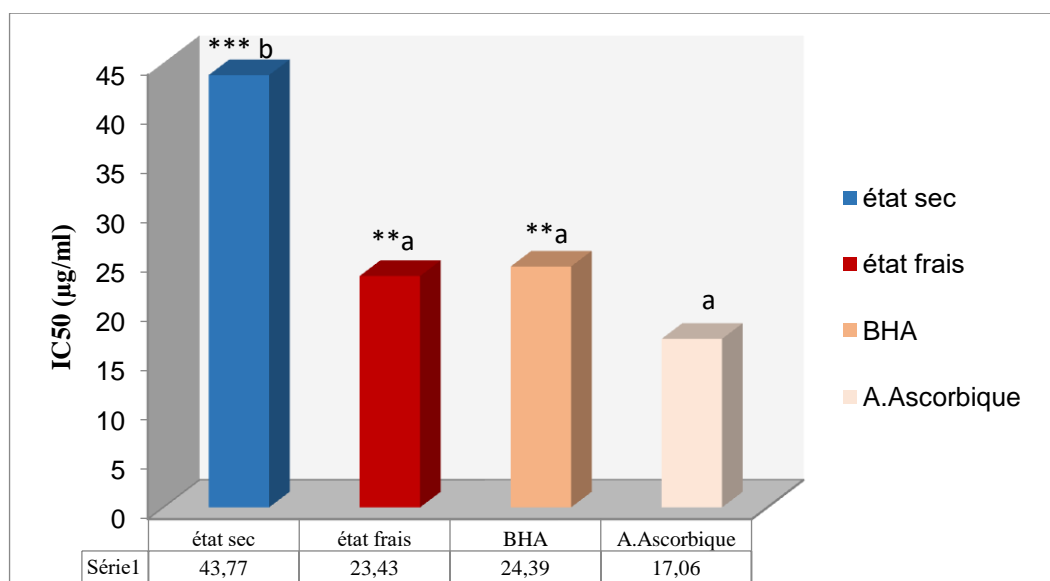


Figure n° 21: Les valeurs EC_{50} des molécules de références et les extraits de peau de banane à l'état frais et à l'état sec.

*En comparaison avec l'acide ascorbique (***: $p \leq 0,001$; **: $p \leq 0,01$; * : $p \leq 0,05$) la différence entre les lettres (a-c) au sein de la rangée (les échantillons non connectés par la même lettre) est significativement différente à $p < 0,05$; comme déterminé par les tests à plages multiples de Tukey. Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm ESM ($n = 3$).*

3. Activité antidiabétique des extraits eau-éthanol de peau de banane :

Pour cette étude, nous avons réalisé deux tests *in vitro* : le test de l'activité de l' α -amylase et le test de la capacité d'adsorption au glucose.

3.1 Effet des extraits de peau de banane sur l'activité de l' α -amylase :

Les résultats obtenus concernant l'effet des différentes concentrations des extraits eau-éthanol de peaux de bananes sont exprimés en pourcentage d'inhibition de l' α -amylase et sont représentés dans le **tableau n° 19** et la **figure n° 22**, respectivement. Les résultats de l'acarbose utilisé comme contrôle positif sont présentés dans le **tableau n°20** et la **figure n°23**, respectivement. D'après ces résultats, nous avons constaté que le pourcentage d'inhibition augmente proportionnellement à la concentration croissante des extraits eau-éthanol.

Tableau n°19: Effet des extraits sur l'activité de l' α -amylase exprimé en pourcentage d'inhibition.

Extraits	Concentrations d'extrait ($\mu\text{g/ml}$)							IC ₅₀ ($\mu\text{g/ml}$)
	52	104	208	417	833	1667	3333	
Eau-éthanol à état frais	28,35± 0,012	31,15± 0,009	32,24± 0,015	34,58± 0,026	41,59± 0,005	52,34± 0,010	71,34± 0,003	1600,08 ± 0,008
Eau-éthanol à état sec	28,66± 0,035	30,37± 0,015	32,71± 0,020	34,58± 0,030	36,45± 0,050	42,06± 0,020	58,26± 0,012	2482,07± 0,016

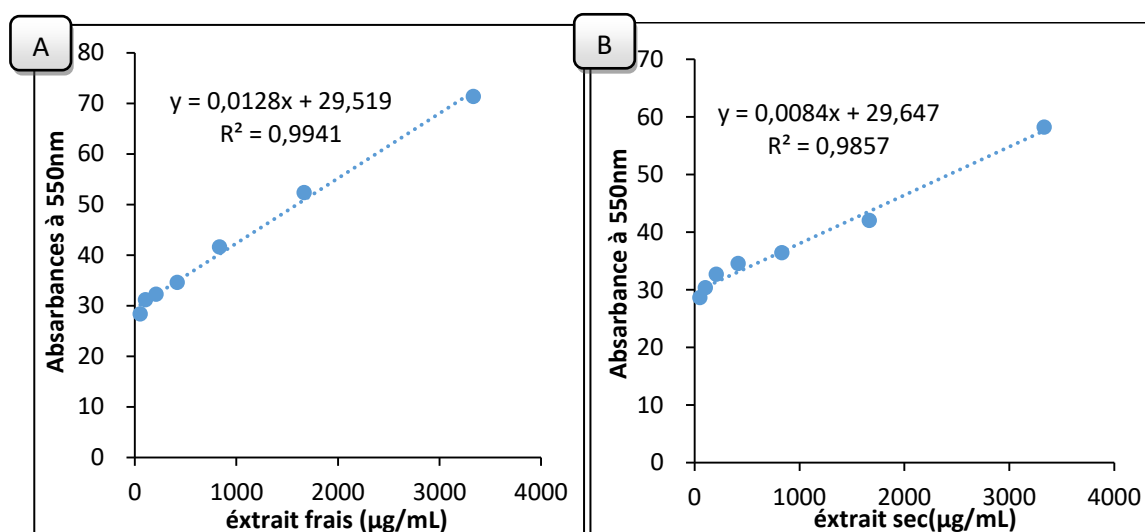


Figure n°22: Effet des extraits eau-éthanol de la peau de banane à l'état frais (A) et à l'état sec (B) sur l'activité de l' α -amylase.

Selon les résultats du tableau n°20 et la figure n°23, on remarque que les extraits eau-éthanol des peaux de bananes fraîches et séchées inhibent faiblement l'activité de l' α -amylase, dont le pourcentage d'inhibition maximal à la concentration élevée de 3333 $\mu\text{g/ml}$ arrive à 71,34 % et 58,26 %, respectivement. L'acarbose atteint un pourcentage d'inhibition maximal de 93,47 % à une concentration de 167 $\mu\text{g/ml}$.

Tableau n° 20: Effet de l'acarbose sur l'activité de l' α -amylase.

Extraits	Concentrations d'extrait ($\mu\text{g/ml}$)						IC ₅₀ ($\mu\text{g/ml}$)
	5	10	21	42	83	167	
Le pourcentage d'inhibition de l' α -amylase	43,99± 0,048	54,30± 0,007	72,16± 0,006	85,57± 0,006	90,38± 0,003	93,47± 0,003	6,19 ± 0,027

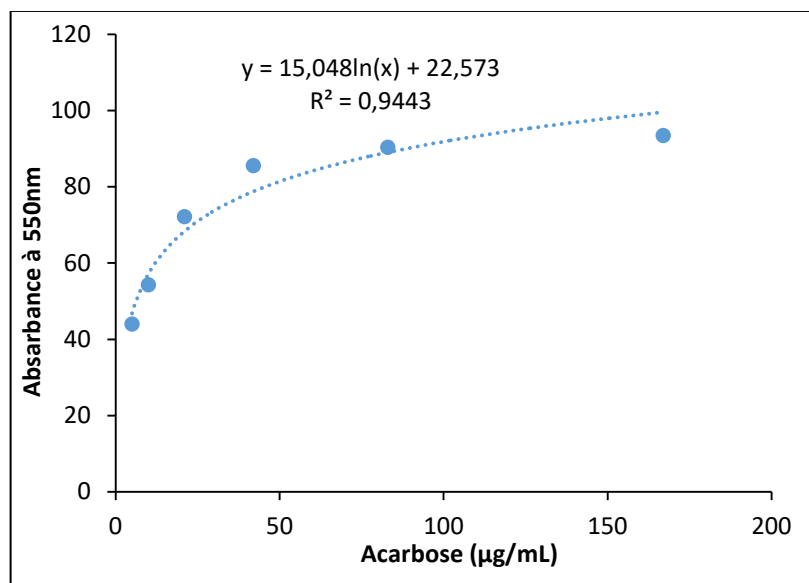


Figure n° 23: Effet de l'acarbose sur activités de l'α-amylase exprimé en pourcentage d'inhibition.

Selon les résultats de **la figure n° 24** qui représente les valeurs de IC_{50} , on constate que les valeurs déterminées pour l'extrait frais (1600,08 µg/ml) et pour l'extrait séché (2482,07 µg/ml) sont hautement significativement élevées ($p \leq 0,0001$) par rapport à celle déterminée pour l'acarbose (6,19 µg/ml), respectivement.

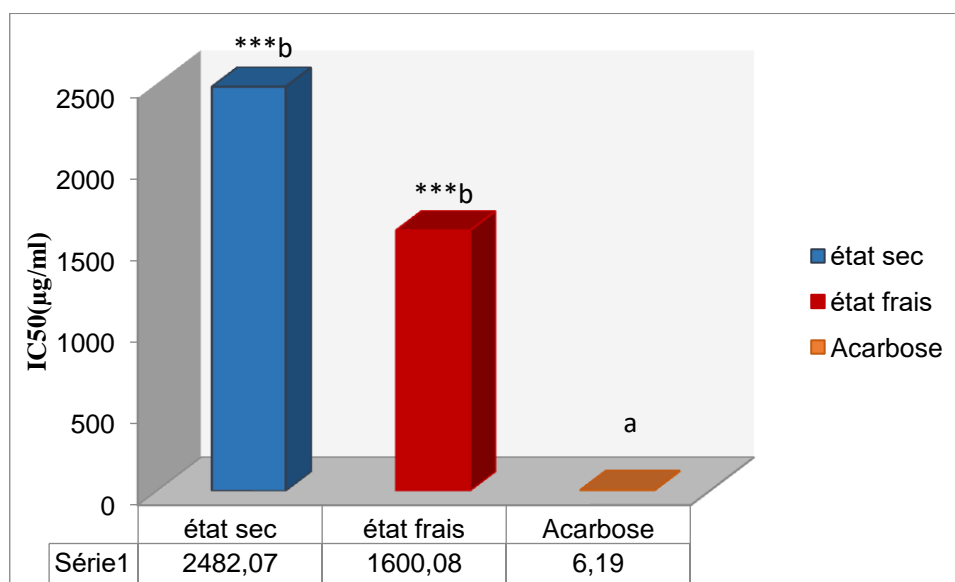


Figure n° 24 : Les valeurs IC_{50} de l'acarbose et les extraits eau-éthanol de la peau de banane.

*En comparaison avec l'acarbose (***: $p \leq 0,001$; **: $p \leq 0,01$; * : $p \leq 0,05$) la différence entre les lettres (a-c) au sein de la rangée (les échantillons non connectés par la même lettre) est significativement différente à $p \leq 0,05$; comme déterminé par les tests à plages multiples de Tukey. Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm ESM ($n = 3$).*

3.2 Test de capacité d'adsorption *in vitro* au glucose des extraits eau-éthanol

Afin de déterminer l'activité antidiabétique des extraits de peaux de bananes. L'effet de la concentration de chaque extrait, l'acide gallique et de l'acarbose, sur la capacité d'adsorption au glucose a été testé pendant 1 h et pendant 3 h d'incubation sont mentionnés dans **le tableau n° 21** et **la figure n° 24 et 25**.

Les résultats obtenus montrent que l'incubation des extraits de peaux de bananes avec le glucose pendant 1 h et pendant 3 h ne présente pas une différence significative sur l'adsorption du glucose par les extraits frais ou séchés. L'effet adsorbant est observé à haute concentration du glucose entre 50 et 100 mM, où le taux de glucose adsorbé varie entre 0,64 et 0,68 mM/g d'extrait pour l'extrait à l'état frais et entre 1,52 et 1,62 mM/g d'extrait pour l'extrait de peaux séchées. Les contrôles positifs ont montré un effet adsorbant au glucose significativement élevé qui augmente en fonction de la concentration élevée du glucose, et non pas en fonction du temps d'incubation. L'acide gallique a montré un effet significativement élevé par rapport à l'effet de l'acarbose, dont le taux de glucose adsorbé varie entre 0,98 et 17,75 mM/g pour l'acide gallique et entre 0,31 et 7,83 mM/g pour l'acarbose.

Les données présentées dans **le tableau n° 22** montrent que l'extrait frais et séché de peau de banane à forte concentration de 100 mmol présente un taux d'adsorption de 1,6 mmol après une heure et 3 h d'incubation.

Tableau n° 21: La capacité d'adaptation de l'extrait de peau de banane au glucose.

		Concentrations de glucose (mmoL)			
		5	10	50	100
Incubation 1h	Extrait eau-éthanol à l'état frais (10mg/ml)	-	0,089±	0,68±	1,62±
		-	0,009	0,093 ^a	0,137 ^a
	Extrait eau-éthanol à l'état sec (10mg/ml)	-	0,073±	0,64±	1,61±
		-	0,045	0,027 ^a	0,224 ^a
Incubation 1h	Acide gallique (1mg/ml)	0,98±	1,95±	8,27±	17,34±
		0,0005	0,021	0,0135 ^c	0,037 ^c
	Acarbose (2mg/ml)	0,31±	0,66±	3,29±	7,78±
		0,014	0,027	0,043 ^b	0,089 ^b
Incubation h	Extrait eau-éthanol à l'état frais (10mg/ml)	-	0,082±	0,65±	1,52±
		-	0,002	0,015 ^a	0,036 ^a
	Extrait eau-éthanol à l'état sec (10mg/ml)	-	0,069±	0,68±	1,62±
		-	0,016	0,049 ^a	0,129 ^a
Incubation h	A.gallique (1mg/ml)	0,88±	1,44±	8,29±	17,75±
		0,048	0,288	0,30 ^c	0,003 ^c
	Acarbose (2mg/ml)	0,31±	0,81±	3,53±	7,83±
		0,002	0,099	0,168 ^b	0,058 ^b

En comparaison avec l'acarbose (***: $p \leq 0,001$; **: $p \leq 0,01$; * : $p \leq 0,05$). La différence entre les lettres (a-c) au sein de la rangée (les échantillons non connectés par la même lettre) est significativement différente à $p 0,05$; comme déterminé par les tests à plages multiples de Tukey. Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm ESM ($n = 3$).

Résultat et interprétation

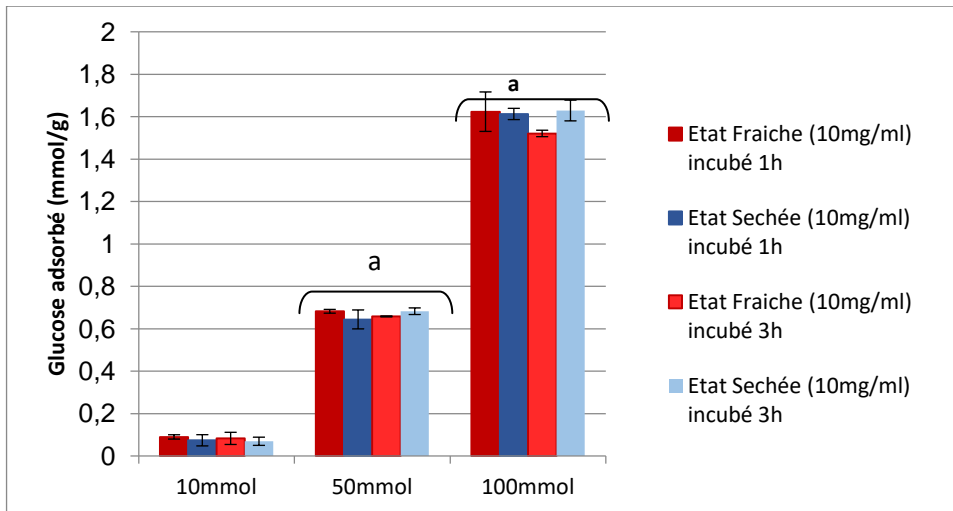


Figure n° 24: Capacité d'adaptation des extraits eau-éthanol de peau de banane au glucose ou incubation 1h et 3 h.

En comparaison avec l'acarbose (***: $p \leq 0,001$; **: $p \leq 0,01$; * : $p \leq 0,05$). La différence entre les lettres (a-c) au sein de la rangée (les échantillons non connectés par la même lettre) est significativement différente à $p < 0,05$; comme déterminé par les tests à plages multiples de Tukey. Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm ESM (n = 3).

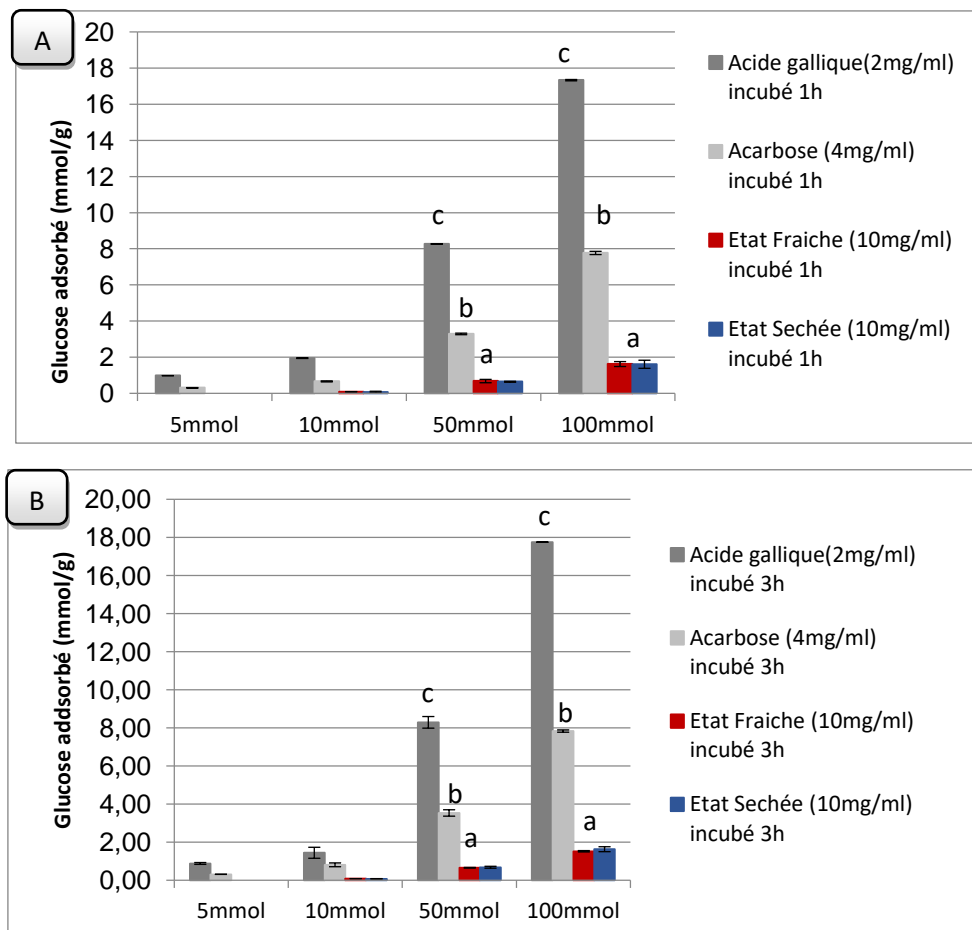


Figure 25 : Capacité d'adaptation d'acide gallique et l'acarbose avec les extraits à état fraîches et séchée au glucose ou incubation 1h (A) et 3h (B)

En comparaison avec l'acarbose (***: $p \leq 0,001$; **: $p \leq 0,01$; * : $p \leq 0,05$). La différence entre les lettres (a-c) au sein de la rangée (les échantillons non connectés par la même lettre) est significativement différente à $p < 0,05$; comme déterminé par les tests à plages multiples de Tukey. Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm ESM (n = 3)

Selon les résultats obtenus qui sont cités dans **le tableau n° 21 et la figure n° 24 et 25**, on constate que l'extrait à l'état sec et à l'état frais est significatif avec l'acarbose en 1 h et 3 h d'incubation. De plus, l'extrait à l'état sec et à l'état frais est similaire dans l'adsorption du glucose à des concentrations de 50 et 100 mmol avec une valeur d'environ 1,62. L'acide gallique et l'acarbose assurent une forte adsorption au glucose à raison de (17,34 mmol et 17,75 mmol) et (7,78 mmol et 7,83 mmol) respectivement.

4. Corrélation entre les activités testées et les teneurs en composés phénoliques des extraits de peaux de bananes

Le tableau 22 présente les facteurs de corrélation entre les valeurs d'IC₅₀ de chaque activité testée et le taux de polyphénols et de flavonoïdes et de tanins totaux dans les extraits eau-éthanol des peaux de bananes fraîches et séchées.

Nous avons constaté une corrélation positive entre le taux des composés phénoliques et les valeurs d'IC₅₀. Une forte corrélation a été déterminée entre l'activité antiradicalaire sur DPPH et le taux de polyphénols ($R^2=0,99$), de flavonoïdes ($R^2=0,99$) et de tanins ($R^2=0,99$) de l'extrait de peaux de bananes fraîches, tandis que l'extrait des peaux séchées a révélé une très faible corrélation ($R^2=0,06$). Contrairement au DPPH, l'extrait à l'état séché a montré une corrélation moyenne entre EC₅₀ du FRAP et la teneur en composés phénoliques ($R^2=0,77$), tandis que l'extrait frais a présenté une faible corrélation ($R^2=0,33$). Dans le cas de l'activité antidiabétique, aucune corrélation n'a été montrée entre le taux des composés phénoliques et les valeurs de IC₅₀ déterminées pour l' α -amylase ($R^2=0,18$; $R^2=0,06$).

Tableau 22:Facteurs de corrélation entre le taux de polyphénols et flavonoïdes et tanin totaux dans l'extrait à l'état frais et à l'état sec et leurs activités testées.

		IC ₅₀ du DPPH (µg/ml)	EC ₅₀ du FRAP (µg/ml)	IC ₅₀ de l'α- amylase (µg/ml)
Polyphénols	Extrait eau- éthanol à l'état frais	0,99	0,33	0,18
	Extrait eau- éthanol à l'état sec	0,06	0,77	0,06
Flavonoïdes	Extrait eau- éthanol à l'état frais	0,99	0,33	0,18
	Extrait eau- éthanol à l'état sec	0,06	0,77	0,06
Tanin	Extrait eau- éthanol à l'état frais	0,99	0,33	0,18
	Extrait eau- éthanol à l'état sec	0,06	0,77	0,06

Discussion

Le but de cette étude est d'évaluer le taux des composés phénoliques tels que les polyphénols, les flavonoïdes et les tanins condensés dans les extraits eau-éthanol des peaux de bananes fraîches et séchées. En outre, l'activité antioxydante de ces extraits a été évaluée par deux méthodes : le piégeage des radicaux libres (DPPH) et la réduction du fer (FRAP) ; ainsi que l'évaluation de l'activité antidiabétique en mesurant l'effet inhibiteur de l'activité de l' α -amylase et la capacité d'absorption au glucose.

Nos résultats de criblage phytochimique de l'extrait de peau de banane ont montré la présence de tanins condensés, de flavonoïdes et de quinones libers ainsi que des composés réducteurs dans l'extrait à l'état frais et à l'état sec. Les terpènes sont absents dans l'extrait à l'état sec, mais présents à l'extrait à l'état frais par une faible quantité. Les alcaloïdes, quant à eux, sont absents dans les deux extraits.

Une autre étude, réalisée par **Sali et Aoudia (2018)**, a mis en évidence la présence de tanins, de flavonoïdes ainsi que des absences d'alcaloïdes et de saponosides dans les extraits éthanoliques, ainsi que **Madhavan et Joy (2023)** ont réalisé l'analyse des composés phytochimiques d'extraits aqueux, acétate d'éthyle et éther de pétrole sur écorces de fruit de banane mure (*Musa paradisiaca*). Leur résultat montre que les alcaloïdes, les triterpénoïdes, les tanins et la résine sont présents, tandis que les flavonoïdes, les coumarines et le phénol sont absents dans l'extrait acétate d'éthyle éther de pétrole, avec seulement la présence de phénol dans l'extrait aqueux. Dans d'autres études, menées par **Rodzali et al., (2018)**, il a été démontré que les extraits de bannane cavendish et de bannane dream contiennent des molécules bioactives telles que des flavonoïdes, des polyphénols et des tanins. Les résultats sont en similitude avec nos résultats, ce qui indique la richesse en composés phytochimiques de l'écorce MAC. Autre étude, selon **Valsalam et al., (2019)**; **Maheswaran et al., (2024)** montrent que les tanins, les flavonoïdes et les quinones sont présents dans l'extrait d'éthanol et l'extrait aqueux de peau de banane *Musa acumunata*.

Les peaux de bananes se présentent sous diverses formes et constituent une source naturelle de produits phytochimiques tels que les polyphénols, les flavonoïdes et les tanins condensés. Ces composés présentent des propriétés antioxydantes qui luttent contre les radicaux libres et peuvent être utilisés à des fins thérapeutiques **Balajee et al., (2023)**. Dans cet objectif, nous avons réalisé un dosage des polyphénols, des flavonoïdes et des tanins condensés totaux des extraits de peaux de bananes utilisées à l'état frais et à l'état sec.

Discussion

La teneur la plus élevée en composés phénoliques, dans l'extrait à l'état frais et à l'état sec, est celle du tanin condensé avec ($68,53 \pm 0,043 \mu\text{g EAG/mg E}$) ($50,38 \mu\text{g EAG/mg E}$), suivi des polyphénols ($33,86 \pm 0,015 \mu\text{g EAG/mg E}$) ($19,78 \pm 0,012 \mu\text{g EAG/mg E}$) et enfin des flavonoïdes ($29,37 \pm 0, \mu\text{g EAG/mg E}$) ($14,04 \pm 0,003 \mu\text{g EAG}$).

La comparaison de nos résultats avec la bibliographie nous a permis de remarquer que nos valeurs sont inférieures à celles déterminées par **Daundasekara et Rajapaksha, (2021)**, dans cette étude, réalisée sur les extraits méthanoliques de peaux de bananes en quatre variétés courantes de bananes ; Banane Ambul (Banane aigre ou *Musa acuminata*, AA), Banane Anamalu (Gros Michel ou *Musa acuminata*, AAA), Banane Kolikuttu (Latundan ou *Musa acuminata* x *Musa balbisiana*, Groupe AAB), les composés phénoliques totaux sont rapportés en équivalents d'acide gallique ($113,52 \pm 9,22$) ($177,87 \pm 3,68$) ($52,00 \pm 2,16$) et d'acide ascorbique par référence à la courbe standard ($78,62 \pm 3,37$) ($102,11 \pm 1,35$) ($56,15 \pm 0,78$), Cette différence varie selon les différentes espèces et la méthode d'extraction. Ainsi, une autre étude menée avec **Sali et Aoudia, (2018)** indique que les composés phénoliques totaux de la pelure de banane MAC sont plus importants dans l'extrait éthanolique ($123,83 \pm 1,24 \mu\text{g EAG/g MS}$) que dans l'extrait aqueux ($91 \pm 1,50 \mu\text{g EAG/g MS}$). De plus, l'extrait éthanolique présente une teneur élevée en flavonoïdes ($78,8 \pm 1,81 \mu\text{g EQ/g MS}$) en comparaison avec de l'extrait aqueux ($45 \pm 0,60 \mu\text{g EQ/g MS}$).

Les antioxydants sont des composés chimiques qui inhibent ou retardent les dommages oxydatifs causés par les espèces réactives de l'oxygène. Dans la présente étude, l'effet des variables d'extraction sur le potentiel antioxydant de la peau de banane a été évalué par le test DPPH et FRAP.

Concernant le test de DPPH, on observe des valeurs d'IC₅₀ intéressantes et qui sont de $38,67 \mu\text{g/ml}$ pour l'extrait à l'état frais et $87 \mu\text{g/ml}$ pour l'extrait à l'état sec. Dans la méthode de FRAP, on constate une forte activité réductrice du fer pour l'extrait à l'état frais, suivi de l'extrait à l'état sec dont les valeurs EC₅₀ % sont comme suite ($23,43$; $43,77 \mu\text{g/ml}$) respectivement.

Selon une autre étude **d'Ahmad et al., (2020)**, il a également été signalé que les extraits d'éthanol de bananes Cavendish non mûres (*Musa acuminata* L) et de banane Dream (*Musa acuminata* colla. AAA cv *Berangan*) présentaient d'excellentes activités de piégeage des radicaux avec un IC₅₀ de $90,28 \mu\text{g/ml}$ pour Cavendish banana et $113,09 \mu\text{g/ml}$ pour Dream

Banana. Ces résultats de IC_{50} sont supérieurs à nos résultats. De plus, une autre étude menée par **Mokbel et Hashinaga (2005)** À porter sur extrait $CHCl_3$, extrait EtOAc et extrait aqueux de peau de banane, notant des valeurs importantes d' IC_{50} : 9,8 $\mu g/ml$; 43,7 $\mu g/ml$ et 8,7 $\mu g/ml$ respectivement, les IC_{50} sont inférieures à nos résultats.

Concernant le test FRAP réalisé par **Navghare and Dhawale (2017)**, il a également été signalé que les extraits éthanolique de *Musa acumunata* et *musa cavendish* présentaient d'excellentes activités de piégeage des radicaux avec un EC_{50} de (247,80 $\mu g/ml$; 198,80 $\mu g/ml$) comme rapporté dans d'autre étude par **Dahham et al., (2015)** sur l'extrait aqueux éthanolique et hexanique de *musa sapientum* qui a montré d'excellentes activités de chيلاتrices avec un EC_{50} en (54,11 $\mu g/ml$; 19,10 $\mu g/ml$ et 171,60 $\mu g/ml$) respectivement. Le résultat d'extrait aqueux et éthanolique de **Dahham et al., (2015)** est presque semblable à notre résultat, cependant il y a une différence notable par rapport aux résultats de l'extrait de **Navghare et Dhawale (2017)**. Néanmoins, les résultats de ces études montrent que la peau de banane contient d'excellentes activités antioxydantes confirmées par les tests de DPPH et FRAP.

En fonction de leurs mécanismes d'action, les antioxydants agissent de deux façons : soit ils neutralisent directement les RL en arrêtant leur propagation, principalement en fournissant des hydrogènes lors de réactions telles que celle du DPPH, soit par le transfert d'électrons, qui empêchent la formation des RL en créant des complexes avec des métaux pro-oxydants tels que le fer et le cuivre. Les composés phénoliques, en fonction de leur structure chimique, possèdent des propriétés antioxydantes, principalement attribuées aux flavonoïdes. Celui-ci, la disposition des groupes fonctionnels et le nombre total de groupes hydroxyles. Plusieurs mécanismes d'activité antioxydante sont fortement influencés par la configuration, la substitution, notamment l'élimination des radicaux et la capacité de chélation des ions métalliques influence. La configuration hydroxyle du cycle B est le déterminant le plus important du piégeage des ROS et RNS, car elle donne de l'hydrogène et un électron aux radicaux hydroxyles, peroxyde et peroxy-nitrite, les stabilisants et donnant naissance à un radical flavonoïde relativement stable. **Kumar et Pandey, (2013) ; Lam et al., (2024)**.

Le diabète sucré est une maladie métabolique où la glycémie augmente en raison d'une perturbation de la sécrétion d'insuline ou d'une augmentation de la résistance à l'insuline. Les glucides alimentaires sont rapidement métabolisés grâce à des enzymes glycosidiques telles que l' α -glucosidase et l' α -amylase, qui les décomposent en monosaccharides. Cette

transformation conduit à une augmentation du taux de sucre dans le sang, également appelée hyperglycémie postprandiale. Ce phénomène est considéré comme le symptôme initial du diabète. L'utilisation d'inhibiteurs de glycosides est largement considérée comme une méthode efficace pour prévenir l'hyperglycémie postprandiale en inhibant la libération d'unités de glucose libre. Par conséquent, ces enzymes sont une cible thérapeutique pour réguler le taux de glucose dans le sang **Gedük et Zengin, (2021)**

L'évaluation de l'activité inhibitrice d'extrait frais et sec sur α -amylase a montré un faible effet inhibiteur avec des valeurs d'IC₅₀ de 1600,08 μ g/ml et de 2482,07 μ g/ml respectivement. Cependant, les résultats obtenus par **Vasu et al., (2017)** ont montré des valeurs importantes de IC₅₀ de 185,384 μ g/ml tout comme celles obtenues par **Gedük et Zengin (2021)** et qui ont révélé des valeurs de IC₅₀ de $9,70 \pm 0,29$ mg/ml pour extrait méthanolique et de $13,2 \pm 0,32$ mg/ml pour extrait éthanolique. De plus, **Zaidan et al., (2021)** ont testé les fibres alimentaires de peau de banane (BPDF) qui ont révélé un effet inhibiteur avec un IC₅₀ de 8.9 μ g/ml. D'autre part, **Adedayo et al., (2016)** ont révélé que *Musa sapientum* (Latundan banana) (MSL), *Musa acuminata* (Cavendish banana) (MAC) et *Musa acuminata* (Red Dacca) (MAR) avaient des IC₅₀ 4.27 ± 0.13 μ g/ml, 3.95 ± 0.10 μ g/ml et 4.09 ± 0.05 μ g/ml.

Les composés phénoliques contiennent la capacité inhibitrice de α -amylase principalement les flavonoïdes, Les interactions entre les flavonoïdes et l' α -amylase sont évidemment affectées par l'activité catalytique de l'enzyme, qui est liée à la force de liaison et dépend de la structure du flavonoïde **Yuan et al., (2014)**. Différentes caractéristiques partagées ont été perçues comme favorables à l'inhibition de l' α -amylase, y compris la double liaison de C₂=C₃ ; le groupe céto en position C4 ; et les groupes hydroxyles à 5, 6, 7, 3', 4'. En général, une activité plus élevée des flavonoïdes est liée à un nombre plus élevé de groupes hydroxyles, mais la position où les groupes hydroxyles sont introduits est également cruciale. En effet, le groupement hydroxyle en C₃-position, qui est crucial pour, semble être préjudiciable à l'activité contre l' α -amylase, et le remplacement de ce groupe OH par un atome de chlore peut augmenter l'activité de ce dernier des flavonoïdes. La fraction de catéchol au niveau de l'anneau B est responsable de la forte activité inhibitrice de l' α -amylase, tandis que l'ajout d'un autre groupe OH adjacent à C₅ fait qu'accroître l'effet modérément. **Lam et al, (2024)**.

L'activité antidiabétique a également été testée *in vitro* en utilisant le test de la capacité d'adsorption de glucose. Les résultats obtenus ont montré que cette capacité est proportionnelle à la concentration des extraits. Selon les résultats obtenus, nous avons constaté que 20 mg/ml de chaque extrait testé en présence de différentes concentrations de glucose, que ce soit l'extrait à l'état frais ou sec, ont présenté un faible taux d'adsorption au glucose à une forte concentration de 100 mmol, ce qui indique qu'il n'y a aucune différence d'adsorption entre 1 h et 3 h d'incubation. Cependant, selon les résultats de **Zaidan et al., (2021)**, la capacité d'absorption du glucose (GAC) de BPDF (Caractéristiques biofonctionnelles des fibres alimentaires de peau de banane) variait de 0,162 à 19,21 mmol/L à diverses concentrations (10 à 200 mmol/L). Il a été montré que la BPDF pourrait retenir le glucose dans la lumière intestinale même à des concentrations plus faibles (10 mmol/L).

La différence entre les résultats de ces études et nos résultats réside dans le choix de la méthode d'extraction appropriée des composés bioactifs, tels que les composés antioxydants et phénoliques (la macération, Soxhlet et l'extraction classique solide-liquide, l'extraction assistée par micro-ondes, l'extraction par ultrasons et l'extraction de fluide supercritique). L'efficacité de l'extraction dépend de plusieurs facteurs tels que la température, le temps et le type de solvant. Le méthanol et l'éthanol, purs ou en mélanges aqueux, ont été les agents les plus largement utilisés pour l'extraction de composés bioactifs à partir de sources naturelles, principalement des plantes et des aliments à base de plantes, **Jaimez-Ordaz et al., (2021)**.

Les calculs des facteurs de corrélation entre la teneur en composés phénoliques et les valeurs d'IC₅₀ de l'activité antioxydante ont révélé que les polyphénols, les flavonoïdes et les tanins dans l'extrait eau-éthanol de peaux de bananes fraîches sont responsables de son effet antiradicalaire sur le DPPH, tandis que ces molécules sont responsables de l'effet réducteur du fer de l'extrait des peaux séchées. Les composés phénoliques des deux extraits n'ont aucun effet inhibiteur de l'activité de l' α -amylase.

Conclusion

Conclusion

Dans cette étude, nous avons entrepris une analyse phytochimique, à la fois qualitative et quantitative, ainsi qu'une évaluation de l'activité antioxydante et antidiabétique des extraits de peaux de bananes fraîches et séchées.

Les testes phytochimiques qualitatifs ont révélées la richesse de l'extrait de peaux de bananes fraîches et séchée en tanins condensés, en flavonoïdes, les quinones libers, et les composés réducteurs.

Le dosage quantitatif a montré que l'extrait eau-éthanol de peaux de bananes fraîches présente des teneurs élevées en tanins condensés, en polyphénols, et en flavonoïdes par rapport à l'extrait des peaux séchées ($68,53 \pm 0,043 \mu\text{g EAG/mg E}$) ($50,38 \pm 0,062 \mu\text{g EC/mg E}$), ($33,86 \pm 0,015 \mu\text{g EC/mgE}$), respectivement. Ces composés phénoliques ont assuré le pouvoir antiradicalaire et antioxydant de ces extraits, sans assuré un effet antidiabétique intéressant.

Concernant l'analyse biologique *in vitro*, dans cette étude, on a enregistré une forte activité antioxydante dans l'extrait eau-éthanol de peaux de bananes fraîches par rapport aux peaux de banane séchées, qui a été comparable pour le BHA et proche de l'acide ascorbique dans le test FRAP, avec des valeurs de EC_{50} 23,43 et 43,77 $\mu\text{g/ml}$ ainsi que DPPH avec IC_{50} 38,67 et 87 $\mu\text{g/ml}$. Tandis que ces extraits ont révélé une faible activité antidiabétique, et ont assuré une faible inhibition de l'activité de l' α -amylase, en particulier dans l'extrait eau-éthanol de peaux de bananes séchées (IC_{50} : 2482,07 $\mu\text{g/ml}$) que les peaux de bananes fraîches (IC_{50} : 1600,08 $\mu\text{g/ml}$), avec un faible effet d'adsorption au glucose (1,52 et 1,62 mM/g d'extrait) dans les deux extraits.

Cependant, des études complémentaires sont nécessaires pour la continuité de cette étude avec plus d'efficacité, et qui s'intéressent à :

- Choix de la méthode d'extraction adéquate ainsi que le solvant qui augmentent le rendement du taux des composés phénoliques
- Analyse spectroscopique et structurale des molécules phytochimiques présentes dans les peaux de bananes fraîches et séchées
- Exploration des mécanismes d'action à un niveau moléculaire et tissulaire à travers des expérimentations *in vivo*.
- Évaluations d'autres propriétés biologiques comme l'activité antibactérienne, antifongique.

Références

Références

1. **Adedayo, B. C., Oboh, G., Oyeleye, S. I., & Olasehinde, T. A.** (2016). Antioxidant and antihyperglycemic properties of three banana cultivars (*Musa* spp.). *Scientifica*, 2016, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2016/8391398>
2. **Ahmad, B. A., Zakariyya, U. A., Abubakar, M., Sani, M. M., & Ahmad, M. A.** (2020). Pharmacological Activities of Banana. Dans *IntechOpen eBooks*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.83299>
3. **Alamu, O., Rado, M., Ekpo, O., & Fisher, D.** (2020). Differential sensitivity of two endothelial cell lines to hydrogen peroxide toxicity: relevance for *in vitro* studies of the Blood–Brain barrier. *Cells*, 9(2), 403. <https://doi.org/10.3390/cells9020403>
4. **Ara, I.** (2020). Comparative Antioxidative and Antidiabetic Activities of *Ficus Carica* Pulp, Peel and Leaf and their Correlation with Phytochemical Contents. *Open Access Journal of Pharmaceutical Research*, 4(2). <https://doi.org/10.23880/oajpr-16000197>
5. **Armstrong, D.** (2016) Introduction to free radicals, inflammation, and recycling.
6. **Armstrong, D., & Stratton, R. D.** Oxidative Stress and Antioxidant Protection: The Science of Free Radical Biology and Disease (1-10). John Wiley & Sons.
7. **Bae, E. H., Lee, J., & Kim, S. W.** (2007). Effects of antioxidant drugs in rats with acute renal injury. *Electrolyte & blood pressure*, 5(1), 23–27.
8. **Bailly, C., Bouteau, H. E. M., & Corbineau, F.** (2008). Rôle de la signalisation par les espèces réactives de l’oxygène dans la germination et la levée de dormance des semences. *Journal De La Société De Biologie/Journal De La Société De Biologie*, 202(3), 241–248. <https://doi.org/10.1051/jbio:2008025>
9. **Balajee V, Lokesh Kumar S., Rajesh Kumar S(2023).** Antioxidant and Anti-inflammatory Properties of the Two Varieties of *Musa acuminata* : An *In Vitro* Study. *Curēus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.51260>
10. **Barrera, G., Pizzimenti, S., Daga, M., Dianzani, C., Arcaro, A., Cetrangolo, G. P., Giordano, G., Cucci, M. A., Graf, M., & Gentile, F.** (2018). Lipid Peroxidation-Derived Aldehydes, 4-Hydroxynonenal and Malondialdehyde in Aging-Related Disorders. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, 7(8), 102.
11. **Barrita, J. L. S., Benavides, S. M., & Sánchez, S.** (2015). Antioxidants and Natural Compounds in Mexican Foods. *InTech*. doi: 10.5772/61626

12. **Baskar, R., Shrisakthi, S., Sathyapriya, B., Shyampriya, R., Nithya, R., & Poongodi, P.** (2011). Antioxidant Potential of Peel Extracts of Banana Varieties (*Musa sapientum*). *Food And Nutrition Sciences*, 02(10), 1128-1133. <https://doi.org/10.4236/fns.2011.210151>
13. **Benariba N, Djaziri R, Bellakhdar W, Belkacem N, Kadiata M, Malaisse WJ, Sener A** (2013). Phytochemical screening and free radical scavenging activity of *Citrullus colocynthis* Seeds extracts. *Asian. Pac. J. Trop. Biomed.* 3(1) :35-40
14. **Benfeled, P (1955)**, Amylase, and. *Meth. Enzymology* ; 1 : 149-158.
15. **Bhavani, M., Morya, S., Saxena, D., & Awuchi, C. G.** (2023). Bioactive, antioxidant, industrial, and nutraceutical applications of banana peel. *International Journal of Food Properties*, 26(1), 1277–1289. <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2209701>
16. **Boguszewska-Mankowska, D., Nykiel, M., & Zagdanska, B. (2015)**. Protein Oxidation and Redox Regulation of Proteolysis. *InTech*. doi: 10.5772/61182
17. **Bonnefont-Rousselot, D., Beaudoux, J., Thérond, P., Peynet, J., Legrand, A., & Delattre, J.** (2004). Diabète sucré, stress oxydant et produits de glycation avancée. *Annales Pharmaceutiques Françaises*, 62(3), 147–157. [https://doi.org/10.1016/s0003-4509\(04\)94297-6](https://doi.org/10.1016/s0003-4509(04)94297-6)
18. **Borg, J., & Reeber, A.** (2004). *Biochimie métabolique*. Ellipses Marketing.
19. **Bouزيد, A., Benabdeli, K., & Bouزيد, K.** (2019). Essai de valorisation des déchets verts de cuisine comme ingrédients pour améliorer la qualité nutritionnelle d'aliments de gallinacés et d'herbivores dans la ville de Mascara (Algérie). *Environnement, Ingénierie & Développement*, N°82-décembre 2019. <https://doi.org/10.4267/dechets-sciences-techniques.4196>
20. **Brownlee, M.** (2005). The pathobiology of diabetic complications. *Diabetes*, 54(6), 1615
21. **Bryan NS, Bian K, Murad F.** (2015) Discovery of the nitric oxide signaling pathway and targets for drug development. *Front Biosci (Landmark Ed)*. 2009 Jan 1;14(1):1-18. doi: 10.2741/3228. PMID: 19273051
22. **Carpender, D.** (2016). *The low-carb diabetes solution cookbook: prevent and heal type 2 diabetes with 200 ultra low-carb recipes*. Fair Winds.
23. **Cassagnes, L. E.** (2015). *Cycle redox quinone-quinone réductase 2 et conséquences sur la production d'espèces oxygénées réactives dans le contexte cellulaire* (Doctoral dissertation, Université Paul Sabatier-Toulouse III).

24. **Collin, S., Crouzet, J., & De la Francophonie, A. U.** (2011). Polyphénols et procédés : Transformation des polyphénols au travers des procédés appliqués à l'agro-alimentaire. Lavoisier.
25. **Ćorković, I., Gašo-Sokač, D., Pichler, A., Šimunović, J., & Kopjar, M.** (2022). Dietary Polyphenols as Natural Inhibitors of α -Amylase and α -Glucosidase. *Life*, 12(11), 1692. <https://doi.org/10.3390/life12111692>
26. **Cormier, H.** (2023). Complètement banane. Guy Saint-Jean Éditeur.
27. **Dahham, S. S., Agha, M. T., Tabana, Y. M., Malik, A., & Majid, S. A.** (2015). Antioxidant Activities and Anticancer Screening of Extracts from Banana Fruit (*Musa sapientum*). *Academic Journal of Cancer Research*.
28. **Das, G., Patra, J. K., Debnath, T., Ansari, A., & Shin, H.** (2019). Investigation of antioxidant, antibacterial, antidiabetic, and cytotoxicity potential of silver nanoparticles synthesized using the outer peel extract of *Ananas comosus* (L.). *PloS One*, 14(8), e0220950. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220950>
29. **Daundasekara, D. M. C. P., & Rajapaksha, R. P. N. P.** (2021). Comparative Analysis of Antioxidant and Antimicrobial Properties of Banana and Lime Fruit Peel Extracts. *Tropical Agricultural Research*, 32(2), 146. <https://doi.org/10.4038/tar.v32i2.8462>
30. **Debosree Ghosh.**(2015) .Tannins from Foods to Combat Disease. *International Journal of Pharma Research & Review*, May 4(5):40-44
31. **DELAGE, I.** (2020). Physiopathologie : guide clinique et thérapeutique. Doin.
32. **Devasagayam, T. P., Boloor, K. K., & Ramasarma, T.** (2003). Methods for estimating lipid peroxidation: an analysis of merits and demerits. *Indian journal of biochemistry & biophysics*, 40(5), 300–308.
33. **Dewanto, V., et coll.** (2002) Le traitement thermique améliore la valeur nutritionnelle des tomates en augmentant l'activité antioxydante totale. *Journal de chimie agricole et alimentaire*, 50, 3010-3014.
34. **Di Michele, A., Gutiérrez, C. L. P., Pagano, C., Beccari, T., Ceccarini, M. R., Luzi, F., & Perioli, L.** (2023). Formulation and characterization of sustainable bioadhesive films for wound treatment based on barley β -glucan extract obtained using the high power ultrasonic technique. *International Journal of Pharmaceutics*, 638, 122925.)
35. **Duarte, V., Gasparutto, D., Jaquinod, M., Ravanat, J., & Cadet, J.** (2001). Repair and mutagenic potential of oxaluric acid, a major product of singlet oxygen-mediated

- oxidation of 8-oxo-7,8-dihydroguanine. *Chemical research in toxicology*, 14(1), 46–53. <https://doi.org/10.1021/tx0001629>
36. **Ehiowemwenguan, G., Emoghene, A. O., & Inetianbor, J.** (2014). Antibacterial and phytochemical analysis of Banana fruit peel. *IOSR Journal Of Pharmacy*, 4(8), 18-25. <https://doi.org/10.9790/3013-0408018025>
37. **García-Pérez, P., Lozano-Milo, E., P. Gallego, P., Tojo, C., Losada-Barreiro, S., & Bravo-Díaz, C.** (2019). Plant Antioxidants in Food Emulsions. *IntechOpen*. doi: 10.5772/intechopen.79592
38. **Gautier, J., & Choukem, S. P.** (2008). Les incrétines. *Nutrition Clinique et Métabolisme*, 22(2), 59 65. <https://doi.org/10.1016/j.nupar.2008.04.009>
39. **Gedük, A. Ş., & Zengin, F.** (2021). LC–MS/MS characterization, antidiabetic, antioxidative, and antibacterial effects of different solvent extracts of Anamur banana (*Musa Cavendishii*). *Food Science and Biotechnology/Food Science and Biotechnology*, 30(9), 1183–1193. <https://doi.org/10.1007/s10068-021-00953-5>
40. **Gharou, A. Z. I. Z. A., & Nail, M.** (2019). Adsorption de polluant organique-diuron- sur charbon actif obtenu a partir des déchets agro-alimentaires : peau de banane. Master En Génie De Raffinage. Université de TISSEMSILT ; Aggoun, M. (2018). Mise en Valeur des Peaux De Banane. Master En chimie pharmaceutique. Université de Biskra).
41. **Gong, L., Feng, D., Wang, T., Ren, Y., Liu, Y., & Wang, J.** (2020). Inhibitors of α -amylase and α -glucosidase : Potential linkage for whole cereal foods on prevention of hyperglycemia. *Food Science & Nutrition*, 8(12), 6320 6337.
42. **Haddouchi, F., Chaouche, T., & Halla, N.** (2018). Screening phytochimique, activités antioxydantes et pouvoir hémolytique de quatre plantes sahariennes d'Algérie. *Phytothérapie*, 16(S1), S254–S262. <https://doi.org/10.3166/phyto-2019-0140>
43. **Haleng, J., Pincemail, J., Defraigne, J.-O., Charlier, C., & Chapelle, J.-P.** (2007). Le stress oxydant. *Revue Médicale de Liège*, 62 (10), 628-38.
44. **Halimi, S.** (2021). Les sulfamides hypoglycémiants gardent toujours une place dans le traitement du diabète de type 2 en 2021. Les points forts du dossier des sulfamides hypoglycémiants. *Médecine des Maladies Métaboliques*, 15(1), 53 61. <https://doi.org/10.1016/j.mmm.2020.12.005>
45. **Hikal, W. M., Ahl, H. a. H. S., Bratovic, A., Tkachenko, K. G., Sharifi-Rad, J., Kačaniová, M., Elhourri, M., & Atanassova, M.** (2022). Banana peels: a waste treasure

- for human being. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine, 2022, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2022/7616452>
46. **Hsia, D. S., Grove, O., & Cefalu, W. T. (2017).** An update on sodium-glucose co-transporter-2 inhibitors for the treatment of diabetes mellitus. *Current Opinion In Endocrinology, Diabetes And Obesity./Current Opinion In Endocrinology, Diabetes And Obesity*, 24(1), 73–79. <https://doi.org/10.1097/med.0000000000000311>
47. **Jaimez-Ordaz, J., Contreras-López, E., Hernández-Sánchez, T., González-Olivares, L. G., Añorve-Morga, J., & Ramírez-Godínez, J. (2021).** Comparative Evaluation of Four Extraction Methods of Antioxidant Compounds from *Decatropis bicolor* in Aqueous Medium Applying Response Surface Design. *Molecules/Molecules Online/Molecules Annual*, 26(4), 1042. <https://doi.org/10.3390/molecules26041042>
48. **Jean-Baptiste Michel, Raphaël Coscas(2014) .**Biologie des dilatations chroniques (anévrismes) et des ruptures aiguës (dissections) des parois Vasculaires. **PASCALE, M., Alain, G., & DUPAS Bénédicte.** Pathologie vasculaire du fond d’œil / Rétinopathie diabétique (volume 3 - coffret rétine) (183-190). Lavoisier.
49. **Jones, D. R. (2018).** *Handbook of Diseases of Banana, Abaca and Enset*. CABI.
50. **Kalinovskii, A. P., Sintsova, O. V., Gladkikh, I. N., & Leychenko, E. V. (2023).** Natural inhibitors of mammalian A-Amylases as promising drugs for the treatment of metabolic diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(22), 16514. <https://doi.org/10.3390/ijms242216514>
51. **Kanonn K., Belyagoubi-Benhammou, N., Ghembaza, N. et Atik Bekkara, F. (2014)** Études comparatives sur les activités antioxydantes des extraits de feuilles, de tiges et de baies de *Myrtus communis* L. *International Food Research Journal* 21 (5) : 1957-1962.
52. **Karagözler, A. A., Erdağ, B., Emek, Y. Ç., & Uygun, D. A. (2008).** Antioxidant activity and proline content of leaf extracts from *Dorystoechas hastata*. *Food chemistry*, 111(2), 400–407. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.089>
53. **Kauser, S., Murtaza, M. A., Hussain, A., Imran, M., Kabir, K., Najam, A., & Yaqub, S. (2023).** Apple pomace, a bioresource of functional and nutritional components with potential of utilization in different food formulations; a review. *Food Chemistry Advances*, 100598).
54. **Kebieche, 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 biochimie, université mentouri constantine, constantine, algérie.
55. **Khalil, E. a. M.** (2004). Antidiabetic effect of an aqueous extract of Pomegranate (*Punica granatum L.*) peels in normal and alloxan diabetic rats. *the Egyptian Journal of Hospital Medicine*, 16(1), 92–99. <https://doi.org/10.21608/ejhm.2004.18177>
56. **Krentz, A. J., & Bailey, C. J.** (2005). Oral antidiabetic agents: current role in type 2 diabetes mellitus. *Drugs*, 65(3), 385–411. <https://doi.org/10.2165/00003495-200565030-00005>
57. **Kumar, S., & Pandey, A. K.** (2013). Chemistry and Biological Activities of Flavonoids: An Overview. *the Scientific World Journal/The Scientific World journal*, 2013, 1–16. <https://doi.org/10.1155/2013/162750>
58. **Lam, T., Tran, N. N., Pham, L. D., Lai, N. V., Dang, B. N., Truong, N. N., Nguyen-Vo, S., Hoang, T., Mai, T. T., & Tran, T.** (2024). Flavonoids as dual-target inhibitors against α -glucosidase and α -amylase: a systematic review of *in vitro* studies. *Natural Products and Bioprospecting*, 14(1). <https://doi.org/10.1007/s13659-023-00424-w>
59. **Lassoudière, A.** (2007). *Le bananier et sa culture*. Editions Quae.
60. **Lassoudière, A.** (2010). *L'histoire du bananier*. Editions Quae.
61. **Li, N., Wang, L., Jiang, B., Li, X., Guo, C., Guo, S., & Shi, D.** (2018). Recent progress of the development of dipeptidyl peptidase-4 inhibitors for the treatment of type 2 diabetes mellitus. *European Journal Of Medicinal Chemistry*, 151, 145–157. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2018.03.041>
62. **Lochab, B., Shukla, S., & Varma, I. K.** (2014). Naturally occurring phenolic sources: monomers and polymers. *RSC Advances*, 4(42), 21712–21752. <https://doi.org/10.1039/c4ra00181h>
63. **Lochab, B., Shukla, S., & Varma, I. K.** (2014b). Naturally occurring phenolic sources: monomers and polymers. *RSC Advances*, 4(42), 21712–21752. <https://doi.org/10.1039/c4ra00181h>
64. **Lubos, E., Loscalzo, J., & Handy, D. E.** (2011). Glutathione peroxidase-1 in Health and Disease: From molecular mechanisms to therapeutic opportunities. *Antioxidants & Redox Signaling*, 15(7), 1957–1997. <https://doi.org/10.1089/ars.2010.3586>
65. **Maheswaran, H., Djearmane, S., Dhanapal, A. C. T. A., & Wong, L. S.** (2024). Cytotoxicity Of Green Synthesized Zinc Oxide Nanoparticles using *Musa acuminata* on Vero Cells. *Heliyon*, 10(11), e31316.

66. **Maleki, D., Rad, A. H., Khalili, L., & Alipour, B.** (2015). Antioxidants and Natural Compounds. InTech. doi: 10.5772/60809
67. **Manju ,M., et Shoymol ,J.** (2023). Antioxidant Activity of Fruit Peel Extracts of *Musa paradisiaca* L. *Biological Forum – An International Journal*, 15(5): 278-282.
68. **Mavondo-Nyajena Mukuwa Greanious, A., Ncube, N., Sibanda, A., Dube, D., Chikuse Farai, F., & Makoni, P.** (2021). Phytotherapeutics Attenuation of Oxidative Stress, Inflammation and Lipid Peroxidation in Severe and Chronic Diseases. IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.99832
69. **McIver, L. A., Preuss, C. V., & Tripp, J.** (2024). Acarbose. In *StatPearls*. StatPearls Publishing.
70. **Mehta, S. K., & Gowder, S. J. T.** (2015). Members of Antioxidant Machinery and Their Functions. InTech. doi: 10.5772/61884
71. **Mohammed, M. A., Ibrahim, B. M. M., Abdel-Latif, Y., Hassan, A. H., Raey, M. a. E., Hassan, E. M., & El-Gengaihi, S. E.** (2022). Pharmacological and metabolomic profiles of *Musa acuminata* wastes as a new potential source of anti-ulcerative colitis agents. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14599-8>
72. **Mokbel, M. S., & Hashinaga, F.** (2005). Antibacterial and Antioxidant Activities of Banana (*Musa*, AAA cv. Cavendish) Fruits Peel. *American Journal of Biochemistry & Biotechnology/American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 1(3), 125–131. <https://doi.org/10.3844/ajbbbsp.2005.125.131>
73. **Monnier, L., & Colette, C.** (2014). Définitions et classifications des états diabétiques. In *Elsevier eBooks* (pp. 33–44). <https://doi.org/10.1016/b978-2-294-73954-5.00003-2>
74. **Nathan, C., & Shiloh, M. U.** (2000). Reactive oxygen and nitrogen intermediates in the relationship between mammalian hosts and microbial pathogens. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97(16), 8841–8848. <https://doi.org/10.1073/pnas.97.16.8841>
75. **Nauck, M. A., & Meier, J. J.** (2019). MANAGEMENT OF ENDOCRINE DISEASE : Are all GLP-1 agonists equal in the treatment of type 2 diabetes ? *European Journal Of Endocrinology*, 181(6), R211 R234. <https://doi.org/10.1530/eje-19-0566>
76. **Navghare, V., & Dhawale, S.** (2017). *In vitro* antioxidant, hypoglycemic and oral glucose tolerance test of banana peels. *Alexandria Journal of Medicine/Alexandria Journal of Medicine*, 53(3), 237–243. <https://doi.org/10.1016/j.ajme.2016.05.003>

77. **Nishiumi, S.** (2011). Dietary flavonoids as cancer-preventive and therapeutic biofactors. *Frontiers in Bioscience*, S3(1), 1332. <https://doi.org/10.2741/229>
78. **Ogunyemi, O. M., Gyebi, G. A., Saheed, A., Paul, J., Nwaneri-Chidozie, V., Olorundare, O., Adebayo, J., Koketsu, M., Aljarba, N., Alkahtani, S., Batiha, G. E., & Olaiya, C. O.** (2022). Inhibition mechanism of l' α -amylase, a diabetes target, by a steroidal pregnane and pregnane glycosides derived from *Gongronema latifolium* Benth. *Frontiers in Molecular Biosciences*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmolb.2022.866719>
79. **Onasanwo, S., Emikpe, B., Elufioye, T., & Ajah, A.** (2013). Anti-ulcer and ulcer healing potentials of *Musa sapientum* peel extract in the laboratory rodents. *Pharmacognosy Research*, 5(3), 173. <https://doi.org/10.4103/0974-8490.112423>
80. **Patel, D., Prasad, S., Kumar, R., & Hemalatha, S.** (2012). An overview on antidiabetic medicinal plants having insulin mimetic property. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine/Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2(4), 320–330. [https://doi.org/10.1016/s2221-1691\(12\)60032-x](https://doi.org/10.1016/s2221-1691(12)60032-x)
81. **Pichard, C., Gorin-Gottraux, S., Paoloni-Giacobino, A., Dupertuis, Y., & Benais-Pont, G.** (2003). Cancer et statut vitaminique : quelles relations ? *Revue Médicale Suisse*, 61(2459), 2286–2292. <https://doi.org/10.53738/revmed.2003.61.2459.2286>
82. **Pisoschi, AM et Negulescu, GP** (2011) Méthodes de détermination de l'activité antioxydante totale : une revue. *Biochimie et biochimie analytique*, 1, 1-10.
83. **Pizzi, A.** (2008). Tannins: major sources, properties and applications. In *Elsevier eBooks* (pp. 179–199). <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-045316-3.00008-9>
84. **Portha, B.** (2022). *Physiopathologie du diabète*. Elsevier Health Sciences.
85. **Rahman, K.** (2007). Studies on free radicals, antioxidants, and co-factors. *Clinical Interventions in Aging*, 2(2), 219–236. <https://doi.org/10.2147/ciia.S12159903>
86. **Rieg, T., & Vallon, V.** (2018). Development of SGLT1 and SGLT2 inhibitors. *Diabetologia*, 61(10), 2079-2086. <https://doi.org/10.1007/s00125-018-4654-7>
87. **Rodzali, N. N., Hashim, S. N., & Suib, M. S. M.** (2018). Phytochemical screening and antioxidant activity of unripe canvedish and dream banana (*Musa* sp.) fruits peels. *Journal Of Academia UiTM Negeri Sembilan*, 6 (1), pp. 39-44. <https://ir.uitm.edu.my/id/eprint/29542/>
88. **Roussel, T. N. G., Laure, N. J., & Enyong, O. J.** (2020). Antioxidant and Glucose Lowering Effects of Hydroethanolic Extract of *Baillonella toxisperma* Pulp. *Journal of Food Research*, 9(2), 20. <https://doi.org/10.5539/jfr.v9n2p20>

89. **Sales, P. M., Souza, P. M., Simeoni, L. A., Magalhães, P. O., & Silveira, D.** (2012). α -Amylase Inhibitors: A Review of Raw Material and Isolated Compounds from Plant Source. *Journal of Pharmacy & Pharmaceutical Sciences*, 15(1), 141. <https://doi.org/10.18433/j35s3k>
90. **Sali, N., & Aoudia, S. A.** (2018). Extraction et Caractérisation physico-chimiques et biologiques des substances de la pelure de la banane Cavendish *Musa acuminata* AAA. <https://dl.ummtto.dz/handle/ummtto/5227>
91. **Sani, S., & Nair, S.** (2018). Studies on *in vitro* evaluation of antidiabetic potentials of watermelon and pomegranate peels. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*, 10(1), 32. <https://doi.org/10.4314/bajopas.v10i1.6s>
92. **Sine, J.** (2010). *Enzymologie et applications*. Ellipses Marketing.
93. **Srinivas, B. K., Shivamadh, M. C., & Jayarama, S.** (2021). *Musa acuminata* lectin exerts anti-cancer effects on HeLa and EAC cells via activation of caspase and inhibitions of Akt, Erk, and Jnk pathway expression and suppresses the neoangiogenesis in in-vivo models. *International Journal of Biological Macromolecules*, 166, 1173–1187.
94. **Sugiwati, S., Setiasih, S., & Afifah, E.** (2010). Antihyperglycemic activity of the mahkota dewa leaf extracts as an Alpha-Glucosidase inhibitor. *Makara Journal of Health Research*, 13(2). <https://doi.org/10.7454/msk.v13i2.364>
95. **Thiebault, C. M., & Sprumont, P.** (1997). *L'enfant et le sport : Introduction à un traité de médecine du sport chez l'enfant*. De Boeck Supérieur.
96. **Van de Laar, F. A., Lucassen, P. L., Akkermans, R. P., Van de Lisdonk, E. H., Rutten, G. E., & Van Weel, C.** (2005). Alpha-glucosidase inhibitors for type 2 diabetes mellitus. *Cochrane Library*, 2009(1). <https://doi.org/10.1002/14651858.cd003639.pub2>
97. **Vasu, P., Khan, N. D., Khan, Z. H., & Mular, S.** (2017b). *In vitro* antidiabetic activity of methanolic extract of Citrus limon, Punica granatum, *Musa acuminata* peel. *International Journal of Applied Research*, 3(4), 804–806.
98. **Wachirasiri, P., Julakarangka, S., & Wanlapa, S.** (2009). The effects of banana peel preparations on the properties of banana peel dietary fibre concentrate. *Songklanakarin Journal of Science & Technology*, 31(6).
99. **Wachirasiri, P., Julakarangka, S., & Wanlapa, S.** (2009). The effects of banana peel preparations on the properties of banana peel dietary fibre concentrate. *Songklanakarin Journal of Science & Technology*, 31(6)

Références

100. **Yan, L. J.** (2014). Pathogenesis of chronic hyperglycemia: From reductive stress to oxidative stress. *Journal of Diabetes Research*, 2014, 1–11.
101. **Yuan, E., Liu, B., Wei, Q., Yang, J., Chen, L., & Li, Q.** (2014). Structure activity relationships of flavonoids as potent α -amylase inhibitors. *Natural Product Communications*, 9(8), 1934578X1400900.
102. **Zaidan, U. H., Ghani, N. L. A., Zahari, N. S., Rahim, M. B. H. A., & Gani, S. S. A.** (2021c). Biofunctional characteristics of banana peel dietary fibre (BPDF) and its associated *in vitro* antidiabetic properties. *International Food Research Journal*, 28(2), 401–406. <https://doi.org/10.47836/ifrj.28.2.22>