

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Ghardaïa



Faculté des Sciences de la Nature et de Vie et Sciences de la Terre
Département de Biologie

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de
MASTER

Filière : Sciences biologiques
Spécialité : Biochimie appliquée

Par : LAIOURATE Inas et REFFIS Setti

Thème

Caractérisation physicochimique du vinaigre
produit à partir de différentes variétés de dattes et
évaluation in vitro de son effet antidiabétique

Devant le jury composé de :

Mme. BENSANIA W.	MCB	Univ. Ghardaïa	Présidente
Mme. HAMID OUADJANA A.	MCA	Univ. Ghardaïa	Encadrante
M. KRIMAT M.	Pr	Univ. Ghardaïa	Co- Encadrant
Melle SEDDIKI M.	MCB	Univ. Ghardaïa	Examinatrice

Année universitaire :
2025/ 2026



Remerciements

Au nom de Dieu, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux, et que la paix et le salut soient sur Son prophète Mohamed.

Avant tout, nous remercions **Allah** le Tout-Puissant de nous avoir accordé la volonté, le courage et la patience nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre Encadreuse de mémoire, **Mme. HAMID OUDJANA A.**, Maître de conférences A à l'Université de Ghardaïa. Ses précieux conseils, son encadrement rigoureux et sa disponibilité ont été essentiels à la réalisation de ce travail de fin d'études. Nous tenons à adresser nos sincères remerciements à notre Co-encadreur, **Mr. Kraïmat M.**, Professeur à l'Université de Ghardaïa pour son aide précieuse, sa disponibilité, ses orientations pertinentes ainsi que ses conseils avisés tout au long de la réalisation de ce travail.

Nous remercions également chaleureusement les membres du jury **Mme Ben Sania W.**, Maître de conférences B à l'Université de Ghardaïa, en tant que présidente et **Melle Seddiki M.**, Maître de conférences B à l'Université de Ghardaïa, en tant qu'examinatrice. Nous leur sommes reconnaissants du temps qu'ils nous ont accordé pour évaluer notre travail et pour leurs pertinentes remarques.

Enfin, nous adressons nos sincères remerciements à tous les enseignants qui nous ont accompagnés tout au long de notre parcours universitaire. Leur dévouement et leur enseignement de qualité ont grandement contribué à notre formation. Nous n'oublions pas toutes les personnes qui, de près ou de loin, nous ont apporté leur aide et leur soutien.

Merci à vous tous.



Dédicaces

« وَآخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنِ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ »

Le chemin n'a pas été court ni facile, mais il a été entouré de facilités, de bonté et de grâce.

Louange à Allah qui m'a permis de traverser les débuts et d'atteindre la fin.

J'offre le fruit de cette réussite à moi-même d'abord : à cette ambition qui est née avec un rêve et qui s'est achevée par une réussite.

À la lumière qui a éclairé mon chemin, à celui dont je porte le nom avec fierté, à mon premier enseignant, à celui qu'Allah a honoré en le plaçant parmi les hommes de valeur et de noblesse : mon cher père.

À celle qui fut mon premier soutien pour réaliser mon ambition, à celle dont le Paradis se trouve sous les pieds, à ce cœur tendre qui fut le secret de ma force et de ma réussite : ma chère mère.

À mon pilier solide, à mon soutien et à mon refuge, à mes frères Mohammed Djoud et Haïthem Abd Elkadder et mes sœurs Djihane, Nida, Salihah et Loudjaine.

À tous les membres de ma famille Laicurate et Dahou petits et grands.

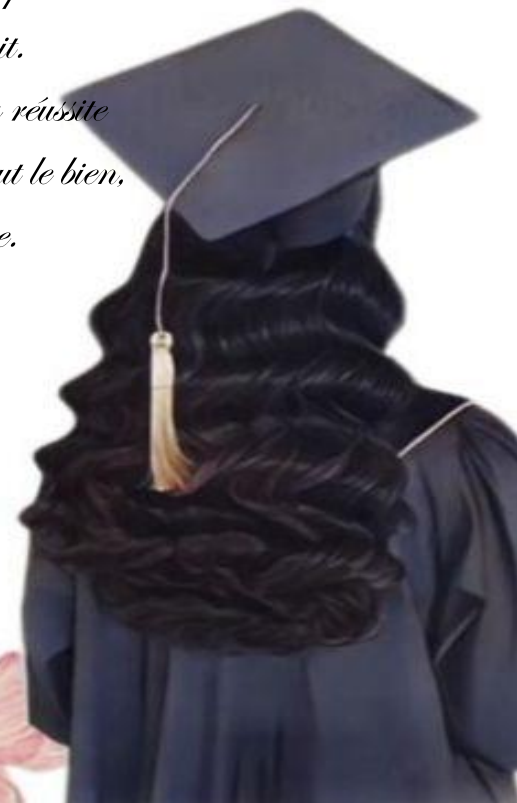
Merci à tous ceux qui m'ont aidée, soutenue et ont été pour moi une force et un appui sur cette route.

Enfin... à celle qui m'a toujours dit : « Je suis là pour toi », et qui a prouvé par ses actes ce qu'elle disait.

Je n'aurais rien pu accomplir sans l'aide et la réussite accordées par Allah. Louange à Lui pour tout le bien, l'espoir et la joie dont Il a rempli ma vie.

Inas

2026



Dédicaces

À mes chers parents, sources de tendresse, de générosité et d'espoir. À vous qui portez dans vos cœurs toute la chaleur et la bienveillance du monde. Vous êtes ma fierté et la prunelle de mes yeux. Votre amour inconditionnel et vos sacrifices ont balisé mon chemin, et votre soutien indéfectible tout au long de mon parcours a été le secret de ma réussite. Que Dieu vous préserve, vous garde à mes côtés et vous protège de tout mal.

À ma précieuse famille, piliers de ma vie et refuge de paix, et plus particulièrement à ceux qui ont toujours été mon soutien infaillible et ma source d'énergie positive à chaque étape franchie.

À mes compagnons de route, mes amis fidèles, avec qui j'ai partagé les rigueurs des études et la douceur de la réussite. Merci pour vos encouragements continus et la sincérité de votre amitié.

À ceux qui ont œuvré dans l'ombre pour la concrétisation de la partie pratique de ce travail ; à messieurs les ingénieurs de laboratoire qui nous ont accompagnés tout au long de cette période. Votre expertise, vos conseils précieux et votre patience face aux défis techniques ont été indispensables. Veuillez trouver ici l'expression de notre profonde gratitude, de notre respect et de notre reconnaissance.

Setti

2026



Résumé

Ce travail de recherche est dédié à la valorisation nutritionnelle de deux cultivars de dattes communes algériennes, « Timjouhert » et « Hchef », issus de la commune de Daïa Ben Dahoua (Wilaya de Ghardaïa). L'objectif principal de cette étude est d'élaborer un vinaigre traditionnel par un procédé de double fermentation simultanée au laboratoire, d'en analyser les caractéristiques physico-chimiques et biochimiques, et d'évaluer son potentiel antidiabétique *in vitro* par rapport à un vinaigre de pomme commercial de référence. Les analyses physico-chimiques ont révélé des variations hautement significatives ($P < 0,0001$) entre les différents échantillons. Les valeurs du pH des vinaigres de dattes « Timjouhert » et « Hchef » étaient respectivement de 3,49 et 3,45, contre 2,94 pour le vinaigre de pomme, indiquant une acidité plus faible des vinaigres de dattes. La conductivité électrique a atteint 11,91 mS/cm pour « Timjouhert » et 12,71 mS/cm pour « Hchef », alors qu'elle n'était que de 2,76 mS/cm pour le vinaigre de pomme, témoignant de la richesse minérale des vinaigres de dattes. Par ailleurs, le vinaigre « Timjouhert » a présenté les teneurs les plus élevées en solides solubles totaux et en matière sèche, avec respectivement 5,00 °Brix et 4,80 %, contre 2,50 °Brix et 2,20 % pour le vinaigre de pomme, traduisant la présence de sucres résiduels issus d'une fermentation incomplète. Sur le plan biochimique, le vinaigre de pomme a affiché les concentrations les plus élevées en acide acétique (50,44 g/L) et en acide citrique (0,90 %), tandis que les vinaigres de dattes ont présenté des teneurs respectives de 44,53 et 41,53 g/L en acide acétique, et de 0,63 et 0,58 % en acide citrique pour « Timjouhert » et « Hchef ». En revanche, la teneur en protéines était plus importante dans les vinaigres de dattes, atteignant 4,49 % pour « Hchef » et 3,77 % pour « Timjouhert », contre 2,76 % pour le vinaigre de pomme. L'analyse chromatographique a également mis en évidence une variabilité du profil glucidique entre les différents échantillons. Concernant l'activité antidiabétique *in vitro*, l'augmentation de la concentration a entraîné une amélioration de l'activité inhibitrice de l' α -amylase pour la majorité des échantillons. Les vinaigres de pomme et de datte « Timjouhert » ont présenté les taux d'inhibition les plus élevés, atteignant presque 100 % à des concentrations comprises entre 0,75 et 1 %, alors que le vinaigre « Hchef » a montré une activité plus modérée variant de 49 % à 60 %. L'Acarbose, utilisé comme témoin positif, a affiché des taux d'inhibition intermédiaires compris entre 69 % et 81 %. Ces résultats mettent en évidence une capacité inhibitrice remarquable du vinaigre de datte « Timjouhert », supérieure à celle du médicament de référence dans les conditions expérimentales étudiées. Ils confirment ainsi le potentiel fonctionnel et thérapeutique des vinaigres de dattes comme aliments fonctionnels susceptibles de contribuer à la régulation de la glycémie postprandiale, à la réduction du gaspillage agricole et au développement d'alternatives naturelles prometteuses dans la prévention du diabète.

Mots-clés : Hchef, Timjouhert, vinaigre de pomme, analyses physico-chimiques, inhibition de l'amylase.

Abstract

This research focuses on the nutritional valorization of two Algerian common date cultivars, “Timjouhert” and “Hchef”, originating from Daïa Ben Dahoua (Ghardaïa Province, Algeria). The main objective of this study was to produce a traditional date vinegar through a simultaneous double-fermentation process under laboratory conditions, to investigate its physicochemical and biochemical characteristics, and to evaluate its in vitro antidiabetic potential in comparison with a commercial apple vinegar reference. The physicochemical analyses revealed highly significant differences ($P < 0.0001$) among the samples. The pH values of “Timjouhert” and “Hchef” date vinegars were 3.49 and 3.45, respectively, compared with 2.94 for apple vinegar, indicating a lower acidity of date vinegars. Electrical conductivity reached 11.91 mS/cm for “Timjouhert” and 12.71 mS/cm for “Hchef”, whereas it was only 2.76 mS/cm for apple vinegar, reflecting the high mineral content of date vinegars. Moreover, “Timjouhert” vinegar exhibited the highest total soluble solids and dry matter contents, reaching 5.00 °Brix and 4.80%, respectively, compared with 2.50 °Brix and 2.20% in apple vinegar, suggesting the presence of residual sugars resulting from incomplete fermentation. Biochemically, apple vinegar showed the highest concentrations of acetic acid (50.44 g/L) and citric acid (0.90%), while date vinegars contained 44.53 and 41.53 g/L of acetic acid, and 0.63% and 0.58% of citric acid for “Timjouhert” and “Hchef”, respectively. In contrast, protein content was higher in date vinegars, reaching 4.49% in “Hchef” and 3.77% in “Timjouhert”, compared with 2.76% in apple vinegar. Chromatographic analysis also revealed variability in the carbohydrate profiles among the different samples. Regarding the in vitro antidiabetic activity, increasing sample concentration generally enhanced α -amylase inhibitory activity. Apple vinegar and “Timjouhert” date vinegar exhibited the highest inhibition rates, reaching nearly 100% at concentrations between 0.75% and 1%. In contrast, “Hchef” vinegar showed a more moderate inhibitory effect, ranging from approximately 49% to 60%. Acarbose, used as the positive control, displayed intermediate inhibition rates ranging from 69% to 81%. These findings demonstrate the remarkable α -amylase inhibitory potential of “Timjouhert” date vinegar, which surpassed that of the reference drug under the experimental conditions. Overall, the results highlight the functional and therapeutic potential of date vinegars as functional foods that may contribute to postprandial glycemic regulation, reduce agricultural waste, and support the development of promising natural alternatives for diabetes prevention.

Keywords : Hchef, Timjouhert, apple vinegar, physicochemical analyses alpha-amylase inhibition.

المخلص

يتمحور هذا البحث بالثمين الغذائي لصنفين من التمور الجزائرية الشائعة هما «تمجوهرت» و«حشف»، والمزروعين في منطقة ضاية بن ضحوة (ولاية غرداية، الجزائر). تمثل الهدف الرئيسي للدراسة في إنتاج خل تقليدي من التمور باستعمال تقنية التخمر المزدوج المتزامن في ظروف مخبرية، ثم دراسة خصائصه الفيزيائية والكيميائية والحيوية، وتقييم قدرته المضادة للسكري مخبرياً (*In vitro*) مقارنة بخل التفاح التجاري المرجعي. أظهرت التحاليل الفيزيائية والكيميائية وجود فروق معنوية عالية جداً ($P < 0.0001$) بين العينات المدروسة. فقد بلغت قيم الأس الهيدروجيني (pH) لخل التمر «تمجوهرت» و«حشف» 3.49 و3.45 على التوالي، مقابل 2.94 لخل التفاح، مما يدل على أن خل التمر أقل حموضة من خل التفاح. كما بلغت الناقلية الكهربائية 11.91 و12.71 ملي سيمنس/سم لخل «تمجوهرت» و«حشف» على التوالي، مقارنة بـ 2.76 ملي سيمنس/سم فقط لخل التفاح، وهو ما يعكس غناه بالعناصر المعدنية. إضافة إلى ذلك، تميز خل «تمجوهرت» بأعلى محتوى من المواد الصلبة الذائبة الكلية والمادة الجافة، حيث بلغنا 5.00 درجة بريكس و4.80% على التوالي، مقابل 2.50 درجة بريكس و2.20% في خل التفاح، مما يشير إلى وجود سكريات متبقية ناتجة عن عدم اكتمال عملية التخمر. على المستوى البيوكيميائي، سجل خل التفاح أعلى تركيزات من حمض الخليك (50.44 غ/لتر) وحمض الستريك (0.90%)، في حين بلغت تراكيز حمض الخليك في خل التمر «تمجوهرت» و«حشف» 44.53 و41.53 غ/لتر على التوالي، بينما بلغت تراكيز حمض الستريك 0.63% و0.58%. وفي المقابل، كان محتوى البروتينات أعلى في خل التمر، حيث بلغ 4.49% في خل «حشف» و3.77% في خل «تمجوهرت»، مقارنة بـ 2.76% في خل التفاح. كما أظهرت التحاليل الكروماتوغرافية وجود تباين في التركيب السكري بين العينات المختلفة. وفيما يتعلق بالنشاط المضاد للسكري في المختبر، أدى ارتفاع تركيز العينات إلى زيادة النشاط التثبيطي لإنزيم- α أميلاز لدى معظم العينات. وقد أظهر كل من خل التفاح وخل التمر «تمجوهرت» أعلى نسب تثبيط، حيث بلغت قرابة 100% عند تراكيز تتراوح بين 0.75% و1%. أما خل «حشف» فقد أظهر نشاطاً تثبيطياً متوسطاً تراوح بين 49% و60%. في المقابل، سجل دواء الأكاربوز، المستخدم كشاهد إيجابي، نسب تثبيط تراوحت بين 69% و81%. وتبرز هذه النتائج القدرة التثبيطية العالية لخل التمر «تمجوهرت» تجاه إنزيم- α أميلاز، متفوقاً على الدواء المرجعي في الظروف التجريبية المعتمدة. تؤكد هذه النتائج الإمكانيات الوظيفية والعلاجية لخل التمر، خاصة خل صنف «تمجوهرت»، وتبرز أهميته كغذاء وظيفي يمكن أن يساهم في تنظيم سكر الدم بعد الوجبات، والحد من الهدر الزراعي، ودعم تطوير بدائل طبيعية واعدة للمساهمة في الوقاية من داء السكري.

الكلمات المفتاحية: حشف، تيمجوهرت، خل التفاح، التحاليل الفيزيائية والكيميائية، تثبيط إنزيم ألفا-أميلاز.

Liste des Tableaux

Tableau 01 : Caractérisation du dattes Timjouhert et Hchef	10
Tableau 02 : Paramètres physicochimiques des produits chimiques utilisés pendant l'expérimentation.....	11
Tableau 03 : Quelques verreries et appareillages employés lors de l'expérimentation	12
Tableau 04 : Protocole de travail de test d'inhibition de l'alpha-amylase	27
Tableau 05 : Rapport frontal des Témoins.	41
Tableau 06 : Etude de la corrélation entre les paramètres physicochimiques et l'activité inhibitrice de l' α -amylase	49

Liste des Figures

Figure 01 : Répartition de la production des dattes par wilaya en Algérie.....	2
Figure 02 : Situation géographique de lieu de la récolte des dattes	9
Figure 03 : Vinaigre de pomme	11
Figure 04 : Dispositif de la fermentation alcoolique	13
Figure 05 : Diagramme de préparation du vinaigre au laboratoire.....	14
Figure 06 : Taux de matière sèche (MS) avant et après séchage en (g)	16
Figure 07 : Montage de distillation fractionnée de l'alcool de l'échantillon (vinaigre de dattes et pomme)	25
Figure 08 : pH des différents échantillons de vinaigre.	30
Figure 09 : Conductivité électrique des échantillons de vinaigre.	31
Figure 10 : Taux des solides solubles des différents échantillons de vinaigre.	32
Figure 11 : Teneur en matière sèche (MS) des différents échantillons de vinaigre.	33
Figure 12 : Teneur en cendre des différents échantillons de vinaigre.	34
Figure 13 : Densité des différents échantillons de vinaigre.	35
Figure 14 : Résultats de l'évaluation de la teneur en acide acétique des échantillons de vinaigre	36
Figure 15 : Résultats de l'évaluation de la teneur en acide citrique des échantillons de vinaigre	38
Figure 16 : Résultat de séparation de vinaigre de Timjouhert par chromatographie sur couche mince de système 02	39
Figure 17 : Résultat de séparation de vinaigre de Hchef par chromatographie sur couche mince de système 02	40
Figure 18 : Résultat de séparation de vinaigre de Pomme par chromatographie sur couche mince de système 02	40
Figure 19 : Résultat de séparation de vinaigre de Timjouhert (T), Hchef (H) et Pomme (P) par chromatographie sur couche mince de système 01	42
Figure 20 : Teneur de sucres totaux des divers échantillons de vinaigre.	42

Figure 21 : Teneur en protéines des divers échantillons de vinaigre	44
Figure 22 : Degré alcoolique des vinaigres : Timjouhert, Hchef et pomme	45
Figure 23 : Effet des différentes concentrations des vinaigres de datte et du vinaigre de pomme sur l'inhibition de l'activité de l' α -amylase	47
Figure 24 : Évaluation de l'activité inhibitrice (valeurs d'IC50) de différente variété de datte par rapport au témoin positif (Acarbose)	48

Liste des abréviations

ANOVA : Analyse de la Variance.

BSA : Bovine Serum Albumin.

CaCO₂ : Carbonate de calcium.

CCM : Chromatographie sur Couche Mince.

CE : Conductivité Électrique.

CO₂ : Dioxyde de carbone.

C° : Degré Celsius.

DNS : Acide 3,5-dinitrosalicylique.

FAO : Food and Agriculture Organization (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture).

Fru, Sac, Xyl, Man, Glu, Gal, Ara : Abréviations des sucres standards : Fructose, Saccharose, Xylose, Mannose, Glucose, Galactose, Arabinose.

H : Échantillons de vinaigre de dattes "Hchef".

H₂O : Eau.

H₂SO₄ : Acide sulfurique.

H₃PO₄ : Acide orthophosphorique.

IC₅₀ : Concentration Inhibitrice demi-maximale.

K₂Cr₂O₇ : Dichromate de potassium.

MS : Matière Sèche.

ms/cm : Millisiemens par centimètre.

NaKC₄O₆ : Tartrate de sodium et de potassium tétrahydraté.

NaOH : Hydroxyde de sodium.

P : Échantillons de vinaigre de pomme.

pH : Potentiel d'hydrogène.

PI : Pourcentage d'Inhibition.

R_f : Rapport Frontal.

T : Échantillons de vinaigre de dattes "Timjouhert ».

TSS : Taux de Solides Solubles.

UV-Visible : Ultraviolet-Visible.

Sommaire

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Liste des Tableaux	
Liste des Figures	
Liste des abréviations	
Sommaire	
Introduction	2

Chapitre I : Matériel et Méthodes

I.1.- Principe adopté	9
I.2.- Matériel et dispositifs de l'étude	9
I.2.1.- Matériel biologique.....	9
I.2.2.- Produits, verreries et appareillage	11
I.3.- Extraction du vinaigre	13
I.3.1.- Principe	13
I.3.2.- Élaboration de vinaigre au laboratoire	13
I.4.- Analyses physico-chimiques	15
I.4.1.- PH	15
I.4.2.- Détermination de la conductivité électrique	15
I.4.3.- Taux de solides solubles (TSS).....	16
I.4.4.- Taux de matière sèche (MS)	16
I.4.5.- Détermination de la teneur en cendres.....	17
I.4.6.- Détermination de la densité.....	18

I.5.- Analyses Biochimiques.....	19
I.5.1.- Dosage d'acide acétique	19
I.5.2.- Dosage de l'acide citrique	20
I.5.3.1.- Analyse qualitative des sucres par CCM	20
I.5.3.2.- Dosage sucres totaux	22
I.5.4.- Dosage des Protéines	23
I.5.5.- Dosage de l'éthanol par oxydation chromique	24
I.6.- Effet antidiabétique (test d'inhibition de l'alpha-amylase)	25
I.6.1- Principe	26
I.6.2.- Mode Opérateur.....	26
I.7.- Analyse Statistique.....	28

Chapitre II : Résultats et Discussion

II.1.- Analyses physico-chimiques	30
II.1.1.- PH.....	30
II.1.2.- Conductivité électrique (CE)	31
II.1.3.- Taux de solide soluble (TSS).....	32
II.1.4.- Taux de la matière sèche (MS)	33
II.1.5.- Cendres	34
II.1.6.- Densité	34
II.2.- Analyses Biochimiques	35
II.2.1.- Dosage d'acide acétique	35
II.2.2.- Dosage d'Acide Citrique	37
II.2.3.- Analyse qualitative des sucres par CCM	39
II.2.4.- Dosage sucres totaux	42
II.2.5.- Dosage des Protéines	43
II.2.6.- Dosage de l'éthanol par oxydation chromique	45

II.2.7.- Effet antidiabétique (test d'inhibition de l'alpha-amylase).....	46
Conclusion	51
Références Bibliographiques.....	54
Annexes	

Introduction

Introduction

Le palmier dattier *Phoenix dactylifera* L. est également désigné sous les noms de palmier dattier ou simplement dattier, est l'une des plus anciennes espèces végétales cultivées sur notre planète (Świader *et al.*, 2020). Il est également réputé comme l'arbre caractéristique des régions désertiques du globe, connues pour leur climat chaud et sec. En raison de ses multiples fonctions alimentaires, écologiques, sociales et économiques, cet arbre fruitier reste le plus prisé par les populations des oasis. Dans les palmeraies du Sud-Est algérien, un grand nombre important de cultivars de palmiers dattiers a été répertorié et identifié par les phoeniculteurs locaux. Leurs fruits se différencient les uns des autres selon divers critères ou descripteurs, tels que le goût, la forme, la couleur, le mode de conservation et l'utilisation en industrie agroalimentaire (Abdelaziz et Abismail Hedjoudja, 2025).

En Algérie, les oasis phoenicoles, principalement dédiées aux palmiers dattiers, s'étendent sur 167 715 hectares et comptent plus de 19 millions de palmiers. Grâce à ces chiffres, l'Algérie se classe au 3ème rang mondial de la production de dattes (FAO, 2024) avec 1,24 million de tonnes par an, juste derrière l'Égypte (1,73 million) et l'Arabie Saoudite (1,6 million). Ce patrimoine arboricole est réparti au sud de l'Atlas saharien à travers 16 wilayas (M'Sila ayant perdu son potentiel sur les 17 initiales), et la wilaya de Ghardaïa y occupe la 5ème place nationale en termes de cheptel de palmiers et de production (Abdelaziz et Abismail Hedjoudja, 2025).

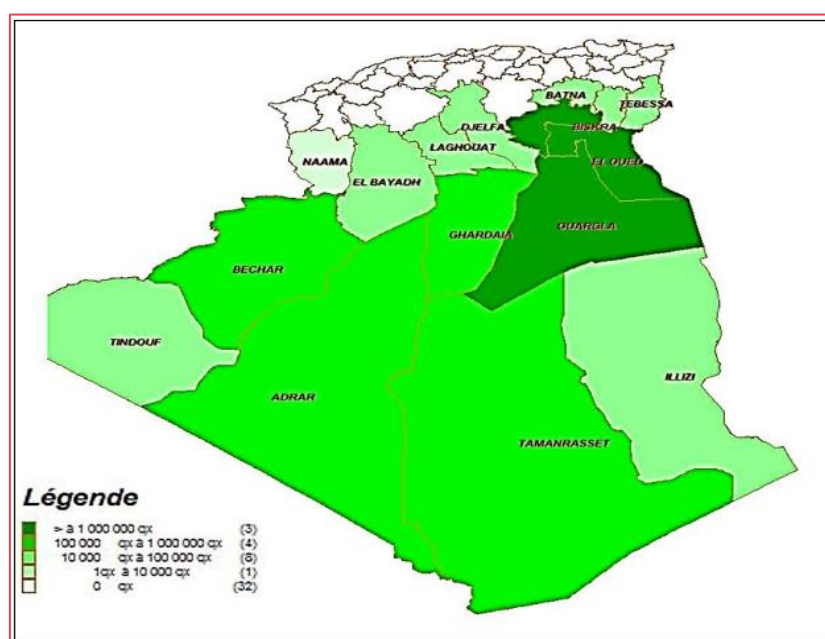


Figure 01 : Répartition de la production des dattes par wilaya en Algérie (Statistiques agricole, MADR ; 2021).

Ainsi les dattes sont des fruits riches en substances biologiquement actives. Elles sont constituées à environ 70 % de glucides, principalement sous forme de sucres simples comme le fructose et le glucose, contiennent environ 1 % de lipides et 2 % de protéines. Parmi leurs principaux minéraux figurent le cuivre, le magnésium, le potassium et le sélénium. En outre, les dattes sont une bonne source de vitamines du groupe B et de vitamine C. Elles offrent également une quantité importante de fibres alimentaires (8,0 g pour 100 g de dattes) ainsi que des antioxydants, notamment des caroténoïdes et des composés phénoliques, ce qui leur confère une valeur nutritionnelle élevée (**Al-Farsi et al., 2008 ; Tajini, 2020**).

Le fruit du palmier dattier se compose d'un noyau et d'une enveloppe épaisse, représentant environ 85 à 90 % de son poids total. Il s'agit d'une des rares plantes dont toutes les parties, y compris la pulpe, le noyau et les feuilles. De plus, les noyaux de dattes ne sont pas seulement comestibles, mais ils servent également d'alternative nutritive, étant riches en fibres alimentaires, acides gras et minéraux (**Aziz awan, 2025**).

Par ailleurs, les dattes présentent des caractéristiques physiques et biochimiques variables en fonction de leur teneur en humidité et leur consistance, ce qui permet de les classer en différentes catégories, les dattes sont réparties en trois groupes (**Espiard, 2002**) :

1. **Dattes molles** : Elles contiennent un taux d'humidité d'au moins 30 % et sont principalement composées de sucres invertis (fructose et glucose). Parmi elles, on trouve des variétés telles que Ghars, Hamraia (Timjouhert) et Litima.
2. **Dattes demi-molles** : Avec un taux d'humidité compris entre 20 et 30 %, ces dattes se situent dans une position intermédiaire, à l'exception de la Deglet-Nour.
3. **Dattes sèches** : Ces dattes, qui sont dures et contiennent moins de 20 % d'humidité, sont riches en saccharose et possèdent une texture farineuse.

En complément de cette classification basée sur les caractéristiques physicochimiques, les dattes peuvent également être distinguées selon leur importance économique et leur valeur commerciale (**Espiard, 2002**). Ainsi, **Benkhelifa (2018)** a classé les dattes en trois catégories:

1. **Dattes nobles** : Destinées à l'exportation et à la commercialisation sur le marché national.
2. **Dattes communes** : Réservées à la consommation locale ou à l'alimentation des animaux.

La distinction entre les dattes nobles et communes repose sur leurs caractéristiques organoleptiques, leur valeur commerciale et leur destination, les premières étant de meilleure qualité et à forte valeur marchande, tandis que les secondes sont moins valorisées et destinées surtout à la consommation locale ou à la transformation

(Djerbi, 1994).

3. **Dattes non consommées** : Incluent les cultivars à faible valeur marchande, utilisées pour l'alimentation animale ou souvent perdues.

Malgré le fort potentiel économique des dattes communes et des variétés à faible valeur commerciale, leur exploitation à grande échelle reste encore très limitée. L'absence de technologies adaptées à leur transformation conduit à une marginalisation des variétés comme « Timjouhert » et « Hchef ». Les méthodes actuelles de valorisation et de traitement de ces dattes sont encore rudimentaires et traditionnelles. Cependant, ces dattes offrent un potentiel de transformation considérable, permettant la production d'une large gamme de produits dérivés tels que la farine (poudre de datte), le sirop (miel de datte), l'alcool et le vinaigre (Mechraoui et Belkhadem, 2009).

Dans le cadre de la valorisation des dattes communes algériennes, plusieurs recherches ont été menées pour étudier leurs potentialités de transformation ainsi que leurs propriétés technologiques, hygiéniques et thérapeutiques. Parmi elles, on peut citer l'étude de **Maatalah (1970)** qui a exploré la production d'alcool et de vinaigre par fermentation, celle de **Cheikh (1994)** sur la production d'alcool et de vinaigre à partir de quatre variétés de dattes communes de la cuvette de Ouargla (Dégela Beida, Techrit, Hamraya et Assabri). **Sebihi (1996)** a recherché quelques paramètres de la qualité hygiénique et biochimique du vinaigre traditionnel de quelques variétés de dattes de la cuvette de Ouargla. Par ailleurs, **Ould El Hadj, Sebihi et Siboukeur (2001)** ont rapporté les qualités hygiéniques ainsi que les caractéristiques physico-chimiques du vinaigre traditionnel produit à partir de quelques variétés de dattes de Ouargla. En (2003) **Arab et Guezzoun** ont étudié les vertus thérapeutiques de ce vinaigre traditionnel.

Le vinaigre est un produit mondial dont l'utilisation remonte pour des milliers d'années. Grâce à ses propriétés organoleptiques, conservatrices et thérapeutiques, il est largement utilisé dans l'alimentation humaine (Akgün et al, 2023).

Selon la nature des matières premières utilisées, les vinaigres peuvent être classés en plusieurs catégories. On distingue notamment les vinaigres de céréales, élaborés à partir du sorgho, du son de blé, des haricots, du riz ou des balles de riz, ainsi que les vinaigres de fruits, produits à partir du raisin (vinaigre de vin), de la pomme (vinaigre de cidre), de la tomate, du kaki, de l'ananas, des dattes ou encore d'alcool distillé d'origine agricole (Xia et al, 2020 ; Bekkair, 2024).

Les vinaigres constituent une source importante de composés nutritifs et bioactifs tels que les acides aminés, les sucres, les acides organiques, les polyphénols, les mélanoidines et la

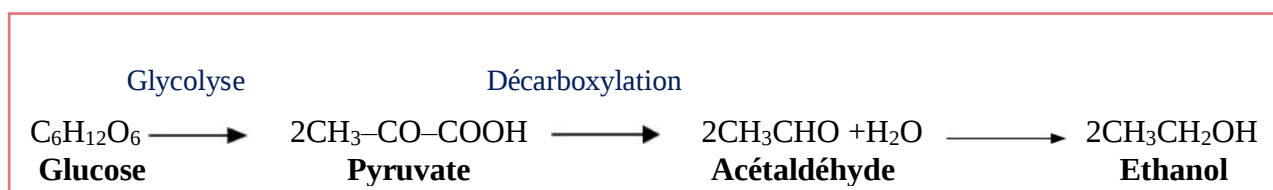
tétraméthylpyrazine. La composition qualitative et quantitative de ces constituants varie selon la matière première utilisée, les procédés de fabrication ainsi que les transformations chimiques et microbiologiques intervenant au cours de la fermentation (**Ho et al, 2016 ; Chen et al., 2016; Xia et al, 2018**).

Ces composés jouent un rôle essentiel non seulement dans le développement des caractéristiques sensorielles du vinaigre, mais également dans ses effets bénéfiques sur la santé. Plusieurs études ont mis en évidence ses propriétés antibactériennes et anti-inflammatoires (**Hindi, 2013**), son implication dans la régulation des lipides sanguins (**Beheshti et al., 2012**), son effet favorable sur la perte de poids (**Petsiou et al, 2014**), ainsi que ses activités antifatique (**Cho et al., 2015**) et antitumorales (**Baba et al, 2013**). Par ailleurs, le vinaigre présente également une activité antidiabétique (**Johnston et Gaas, 2006**).

Le vinaigre traditionnel de datte est un produit naturel, élaboré selon un mode de production ancestral qui s'appuie sur des méthodes artisanales et l'utilisation d'équipements simples. Ce procédé confère au vinaigre des caractéristiques organoleptiques et qualitatives uniques, qui diffèrent de celles des vinaigres issus de procédés industriels standardisés. La matière première utilisée est généralement constituée de dattes à faible valeur commerciale, appréciées pour leur saveur naturellement acidulée. Ce vinaigre est obtenu par fermentation d'un mélange composé d'une part de dattes pour deux parts d'eau, un processus mené par les levures et bactéries acétiques présentes naturellement sur les dattes. Ces dernières se développent à la surface, créant une fine pellicule blanchâtre connue sous le nom de « mère de vinaigre », signe visible que la fermentation est en cours (**Beneddine et Bentadj, 2009**).

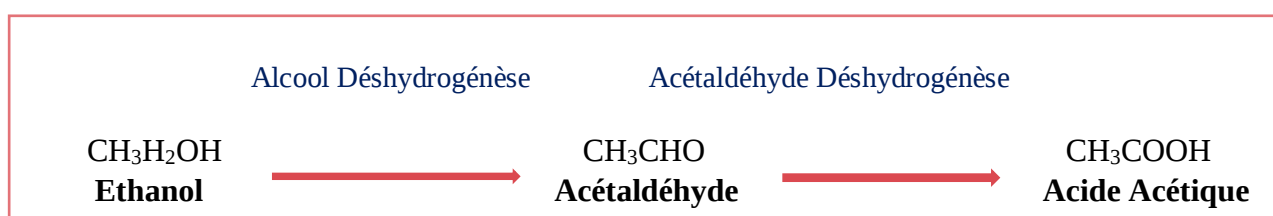
Cette transformation repose sur une double fermentation, alcoolique puis acétique, qui se déroule simultanément malgré des besoins en oxygène différents (**Dida et Djellabi, 2022**). La fermentation alcoolique se produit en milieu anaérobie, sous l'action de levures du genre *Saccharomyces*, qui convertissent les sucres (principalement glucose et fructose) présents dans les dattes en alcool éthylique par un mécanisme impliquant la diffusion facilitée des sucres et une phosphorylation intracellulaire. Cette étape est cruciale, car la formation d'alcool influence significativement les qualités organoleptiques et la qualité finale du vinaigre (**Dahmani et Rebbouh, 2009**).

La réaction se déroule selon l'équation suivante :



fermentation alcoolique est transformé par des bactérie nommée *acétobacter* ou *mycoderma acéti* en acide acétique, principal constituant du vinaigre. Ce processus génère également des composés secondaires, notamment l'acétate d'éthyle, qui confère au vinaigre son arôme distinctif, ainsi que plusieurs substances volatiles telles que le butylène, le glycol, l'acétone, et une petite quantité d'éthanol résiduel (Espiard, 2002 ; Bekkair, 2024).

La réaction se déroule selon l'équation suivante :



Cependant, l'efficacité de la fermentation acétique et la nature des composés produits dépendent fortement des conditions du milieu de culture, qui influencent l'activité des bactéries acétiques. Par ailleurs, *Acetobacter* tolère un pH compris entre 3 et 4, et la concentration en alcool doit être maintenue entre 7° et 12° afin d'assurer une fermentation optimale, des teneurs plus élevées pouvant entraîner une altération de l'activité bactérienne et une dégradation excessive de l'éthanol (Bekkair, 2024). De cette manière, les conditions de fermentation acétique influencent directement la qualité physicochimique du vinaigre obtenu ainsi que sa composition en composés bioactifs. En effet, le processus de fermentation favorise la formation de plusieurs molécules d'intérêt biologique, notamment les acides organiques et les composés phénoliques, reconnus pour leurs propriétés antioxydantes et thérapeutiques (Akgün et al., 2023; Yusoff et Shafie, 2024).

En outre, le diabète sucré constitue aujourd'hui l'une des maladies métaboliques les plus répandues dans le monde. Le diabète de type 2 est caractérisé par une hyperglycémie chronique résultant d'une résistance à l'insuline ou d'une sécrétion insuffisante de cette hormone. L'augmentation continue du nombre de personnes diabétiques a conduit les chercheurs à explorer de nouvelles alternatives thérapeutiques naturelles présentant moins d'effets secondaires que les médicaments synthétiques. Dans ce contexte, les produits naturels riches en

composés bioactifs attirent un intérêt croissant pour leurs potentiels effets antidiabétiques (**Lankatillake *et al.*, 2019 ; Baruah et Patle, 2025**).

Les activités antidiabétiques *in vitro* des extraits végétaux et des produits fermentés sont souvent évaluées par l'inhibition des enzymes digestives telles que l' α -amylase et l' α -glucosidase, impliquées dans l'hydrolyse des glucides et l'augmentation de la glycémie postprandiale. Plusieurs travaux ont montré que les vinaigres de fruits possèdent une capacité inhibitrice contre ces enzymes grâce à leur richesse en polyphénols et en composés antioxydants. Des études récentes réalisées sur des vinaigres de fruits, notamment le vinaigre d'aubépine et certains vinaigres issus de fruits tropicaux, ont mis en évidence des activités antidiabétiques prometteuses *in vitro* et *in vivo* (**Chowdhury *et al.*, 2021 ; Akgün *et al.*, 2023; Yusoff & Shafie, 2024**).

Malgré l'importance économique et nutritionnelle des dattes, peu d'études se sont intéressées à la production de vinaigre à partir de différentes variétés de dattes et à l'évaluation de ses propriétés antidiabétiques. Cette thématique représente donc un axe de recherche prometteur pour la valorisation des dattes ainsi que pour le développement de nouveaux produits fonctionnels à potentiel thérapeutique. Les résultats attendus pourraient contribuer à la valorisation des sous-produits du palmier dattier et au développement de nouveaux aliments fonctionnels susceptibles de participer à la prévention du diabète.

Le présent travail est structuré en deux chapitres. Le premier chapitre est consacré à la méthodologie adoptée pour la conduite de l'étude expérimentale. Il présente le principe général de l'étude, le choix du matériel végétal, les protocoles d'extraction des composés bioactifs, les tests physicochimiques et biologiques réalisés ainsi que les méthodes d'analyse et de traitement des résultats. Le second chapitre est dédié à la présentation des résultats obtenus, suivie de leur interprétation et de leur discussion à la lumière des données de la littérature scientifique. Enfin, une conclusion générale vient clore ce travail en synthétisant les principaux résultats et en mettant en évidence les perspectives qui en découlent.

CHAPITRE I

Matériel et Méthodes

I.1.- Principe adopté

Cette étude vise à caractériser les propriétés physicochimiques des vinaigres élaborés à partir de différentes variétés des dattes (Timjoughert et Hchef) et à évaluer leur activité antidiabétique in vitro à travers des tests d'inhibition enzymatique.

Les expérimentations ont été réalisés au laboratoire pédagogique du département de Biologie de la Faculté des Sciences de la Nature, de la Vie et des Sciences de la Terre à l'Université de Ghardaïa (Algérie), au cours du second trimestre de l'année universitaire 2025-2026.

I.2.- Matériel et dispositifs de l'étude

Le matériel d'étude comprend les produits, les équipements ainsi que le matériel biologique.

I.2.1.- Matériel biologique

Le matériel biologique se compose du vinaigre de dattes de Timjoughert et Hchef issue de palmier dattier de la commune de Daïa Ben Dahoua (Figure 02). Ghardaïa, accompagné du vinaigre de pomme « **Mayas** » comme élément de comparaison

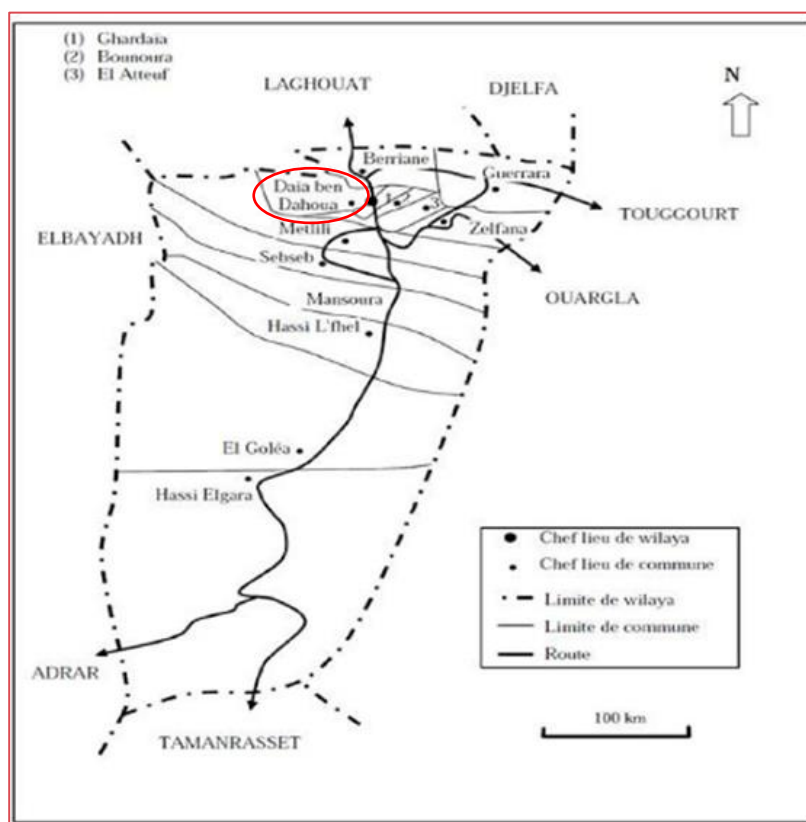


Figure 02 : Situation géographique de lieu de la récolte des dattes (**Ben semoune et al., 2019**)

❖ **Choix des variétés de vinaigre des Dattes**

La production traditionnelle de vinaigre dans les régions sahariennes repose principalement sur le choix de variétés des dattes sélectionnées pour leur abondance et aptitude à la fermentation. Dans cette optique, il est suggéré de valoriser les variétés à faible valeur marchande, habituellement destinées à l'alimentation animale. Parmi les cultivars les plus répandus dans les palmeraies du Sud algérien, on distingue le **Hchef** et le **Timjouhert** les caractéristiques des deux variétés sont présenté dans le (Tableau 01) (Zeribi, 2020).

Tableau 01 : Caractérisation du dattes Timjouhert et Hchef

	Lieu de la récolte des dattes	Caractérisation	Variété de datte	Vinaigre
Timjouhert	Daïa Ben Dahoua (Ghardaïa).	Une texture molle et une peau légèrement ridée	 (Laiourate et Reffis, 2026)	 (Laiourate et Reffis, 2026)
Hchef	Daïa Ben Dahoua (Ghardaïa).	Un fruit typiquement mou, doté d'une pulpe dense et onctueuse.	 (Laiourate et Reffis, 2026)	 (Laiourate et Reffis, 2026)

❖ **Vinaigre de Pomme**

Le vinaigre de pomme utilisé dans cette étude provient du commerce algérien ; il est d'origine syrienne et largement consommé par la population locale il est préparé le 17 Février 2024. Il a été utilisé comme référence pour comparer nos vinaigres préparés. Cette comparaison

a permis d'évaluer les propriétés physico-chimiques et l'activité antidiabétique des vinaigres de dattes de Timjouhert et Hchef (figure 03).



(Laiourate et Reffis, 2026)

Figure 03 : Vinaigre de pomme (Photos originale, 2026).

I.2.2.- Produits, verreries et appareillage

Les produits et équipements utilisés lors de l'expérimentation sont présentés respectivement dans les tableaux 02 et 03.

Tableau 02 : Paramètres physicochimiques des produits chimiques utilisés pendant l'expérimentation.

Produit	Forme	Formule chimique	Fournisseur
Hydroxyde de sodium	Solide	NaOH	Honeywell / Fluka
Phénophtaléine	Solide	$C_{20}H_{14}O_4$	BIOCHEM Chemopharma
Phénol	Solide	C_6H_6O	SIGMA-ALDRICH
Acide Sulfurique	Liquide	H_2SO_4	Honeywell / Fluka
Acide Orthophosphorique	Liquide	H_3PO_4	PROLABO [®] CHEMICALS
Diphénylamine	Solide	$(C_6H_5)_2NH$	SIGMA-ALDRICH
Acétone	Liquide	C_3H_6O	Honeywell / Riedel-de Haën
Aniline	Liquide	C_6H_7N	SIGMA-ALDRICH
Bleu de Coomassie G250	Solide	$C_{47}H_{48}N_3NaO_7S_2$	BIOCHEM

Éthanol	Liquide	$\text{H}_3\text{CCH}_2\text{OH}$	VWR BDH CHEMICALS
Albumine Sérique Bovine	Solide	/	SIGMA-ALDRICH
Dichromate de potassium	Solide	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	VWR CHEMICALS
Amidon de pomme de terre	Solide	$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$	PROLABO®
α -amylase de <i>Aspergillus oryzae</i> (28,75 U/MG)	Solide	/	SIGMA-ALDRICH
3,5- dinitrosalicylique Acide	Solide	$\text{C}_7\text{H}_4\text{N}_2\text{O}_7$	Thermoscientific
Potassium sodium tartrate tetra-hydrate	Solide	NaKC_4O_6	SIGMA-ALDRICH
Sel de Mohr	Solide	$\text{F}_2\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_8\text{S}_2.6\text{H}_2\text{O}$	BIOCHEM

Tableau 03 : Quelques appareillages employés lors de l'expérimentation

Verrerie/Appareil	Model	Numéro de série
Pycnomètre	/	/
Vortex	DLAB	VB235AS0009593
Spectromètre	SECOMAM (UviLine 9400C)	181820040
Refractomètre	ATAGO	135602
Plaque chauffante + Agitateur	Lab Tech OHAUS	20170421114BQ B309076456
Balance de précision	Adwa	03130035991
Conductimètre	Memmert	/
Bain Marie	Protherm	/

Four à Moufle	Memmert	/
Etuve	Adwa	11008420031
PH mètre		

I.3.- Extraction du vinaigre

I.3.1.- Principe

Le dispositif expérimental élaboré au laboratoire permet de réaliser de deux sections distinctes. La première section est destinée à la fermentation alcoolique, tandis que la seconde est dédiée à la fermentation acétique (**Zeribi, 2020**). Pour la fermentation alcoolique, un récipient en plastique est utilisé, équipé d'un couvercle avec un système d'évacuation de CO₂ (Figure 02). Ce système dirige le gaz dans une petite bouteille remplie d'eau, où se trouve du carbonate de calcium, servant d'indicateur pour la libération de CO₂. Après quarante jours, on débouche les bouteilles et on procède à un tamisage. Le produit obtenu est du vinaigre traditionnel de dattes (Figure 04) (**Zeribi, 2020**).

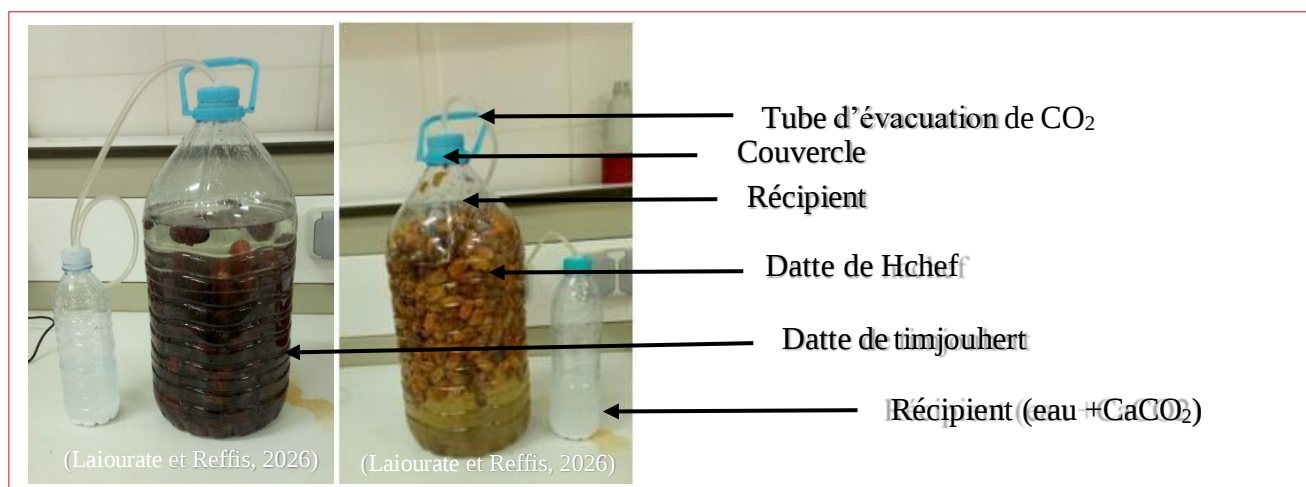


Figure 04 : Dispositif de la fermentation alcoolique (**Photos originale, 2026**).

I.3.2.- Élaboration de vinaigre au laboratoire

La technique de préparation du vinaigre de dattes repose sur une série d'étapes simples, où le processus de fermentation se déroule dans un endroit à température ambiante. Après avoir trié et lavé les dattes, on en prend une mesure à laquelle on ajoute deux mesures d'eau de robinet, puis le mélange est placé dans une bouteille de cinq litres en plastique, en veillant à laisser un espace vide et à ne pas le remplir totalement. Le récipient est ensuite hermétiquement fermé et laissé pendant 40 jours (04/02/2026 à 14/03/2026) à température ambiante. Une fois ce délai écoulé, le couvercle est retiré et une opération de filtration est effectuée pour éliminer les résidus

de dattes. Enfin, le vinaigre est conditionné dans des bouteilles en verre hermétiquement fermées et conservé au réfrigérateur à 4°C (Zeribi, 2020). La figure 05 résume toutes les étapes de préparation de vinaigre des dattes.

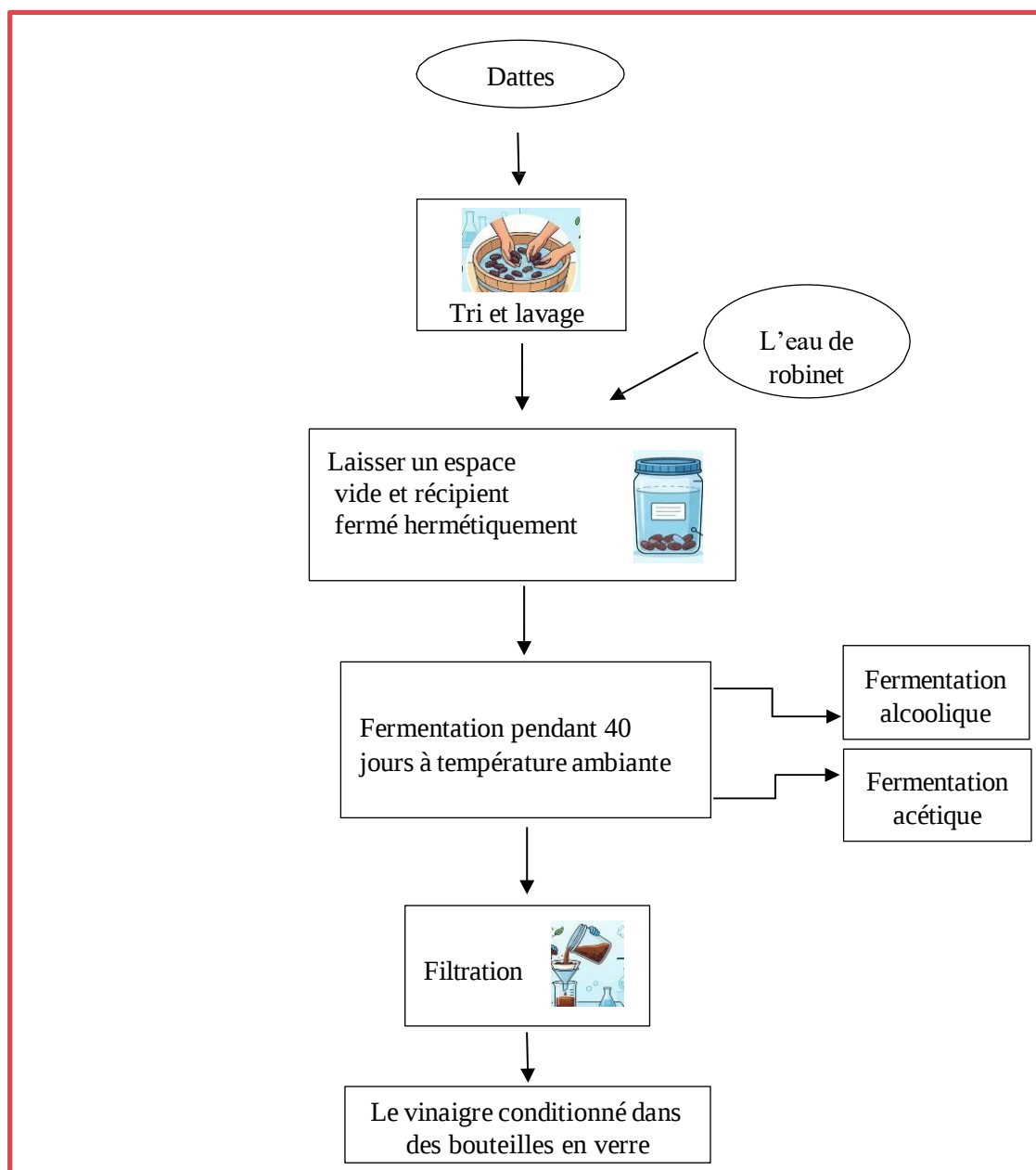


Figure 05 : Diagramme de préparation du vinaigre au laboratoire (Photos originale, 2026).

I.4.- Analyses physico-chimiques

I.4.1.- PH

I.4.1.1.- Principe

Le principe du pH-mètre repose sur la potentiométrie, c'est-à-dire la mesure de la différence de potentiel électrochimique qui s'établit au sein d'une électrode combinée immergée dans la solution. Cette électrode associe une électrode de référence (au potentiel connu et constant) et une électrode de verre (dont le potentiel varie proportionnellement à la concentration en ions oxonium H_3O^+). Comme la différence de potentiel entre ces deux éléments évolue de manière linéaire avec l'acidité et s'annule précisément à $pH = 7$, le boîtier électronique convertit par corrélation cette valeur électrique pour afficher directement le pH de la solution (Tahir, 2020).

I.4.1.2.- Mode opératoire

L'électrode d'un pH-mètre préalablement étalonné a été immergé dans un bécher de 50 ml contenant l'échantillon de vinaigre (Hchef, Timjouhert et pomme) afin de procéder à la lecture directe de la valeur du pH (Benkhelifa, 2018).

I.4.2.- Détermination de la conductivité électrique

I.4.2.1.- Principe

Le principe de la manipulation repose sur la mesure directe de la conductivité électrique du vinaigre. Ce principe repose sur l'existence d'une relation proportionnelle directe entre la capacité d'une solution (vinaigre) à conduire le courant électrique et sa richesse en sels minéraux. Étant donné que le courant électrique dans les solutions est transporté par les ions (les cations positifs et les anions négatifs), la conductance (qui est l'inverse de la résistance électrique) augmente à mesure que la concentration de ces substances ionisées s'élève. Cela fait de la conductivité électrique (CE) un indicateur indirect mais précis du degré de salinité de la solution (vinaigre). Afin de garantir l'exactitude et la standardisation de cette mesure, ainsi que sa comparabilité scientifique, elle est définie selon des conditions géométriques et thermiques spécifiques (Allai et Aoutti, 2021).

I.4.2.2.- Mode opératoire

L'électrode d'un conductimètre est introduite dans un bécher de 50 ml contenant l'échantillon de vinaigre. Et à lire directement la valeur de la conductivité électrique (ms/cm) (Dahmani et Rebbouh, 2009).

I.4.3.- Taux de solides solubles (TSS)

I.4.3.1.- Principe

Le taux de solides solubles (TSS), exprimé en degrés Brix, est mesuré à l'aide d'un réfractomètre d'Abbe (Novex Holland). La valeur du TSS s'obtient par une lecture directe sur l'échelle correspondante (**Dahmani et Rebbouh, 2009**).

I.4.3.2.- Mode opératoire

Régler l'appareil par eau distillé (°Brix = 0 et Indice = 1,3), puis déposer l'échantillon directement sur la plaque du réfractomètre et lire les résultats.

I.4.4.- Taux de matière sèche (MS)

I.4.4.1.- Principe

La détermination du résidu sec d'un produit alimentaire (Vinaigre) s'effectue par l'élimination totale de son humidité par évaporation (**Benkhelifa, 2018**).

I.4.4.2.- Mode opératoire

Une balance de précision a été utilisée pour effectuer une première peser des boîtes de Pétri vides. Ensuite, une deuxième peser a été réalisée après avoir introduit 10 ml de chaque échantillon de vinaigre (Timjouhert, Hchef et Pomme) dans les boîtes, les échantillons ont ensuite été déposés dans une étuve réglée à 105 °C. Cette étape visait à favoriser l'évaporation progressive de l'eau contenue dans le vinaigre. Les échantillons ont été maintenus à cette température pendant 24 heures afin d'assurer une déshydratation complète. À l'issue de cette période de séchage, les boîtes ont été retirées de l'étuve et refroidies. Enfin, une dernière pesée des boîtes contenant la matière sèche a été effectuée, permettant ainsi de déterminer la perte de masse correspondant à l'évaporation de l'eau (**Chafi et al., 2015**). (Figure 06)

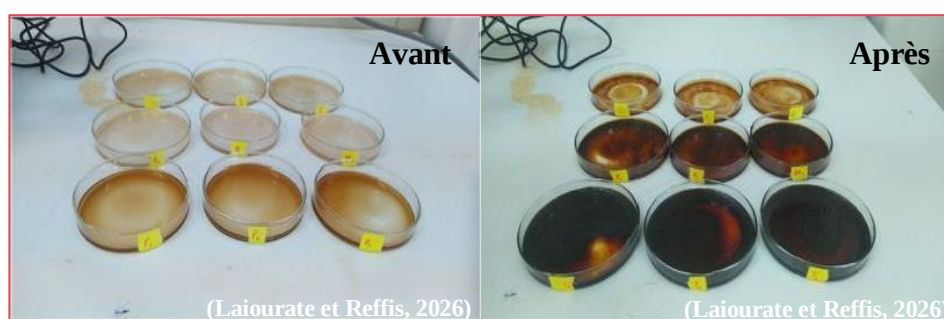


Figure 06 : Taux de matière sèche (MS) avant et après séchage en (g)
(Photos originale, 2026).

I.4.4.3.- Expression de résultat

La teneur en matière sèche est ensuite établie en appliquant la relation suivante (Benkhelifa, 2018) :

$$MS = \frac{M2-M0}{M1-M0} * 100$$

Dont :

M0 : la masse de la boîte de Pétri en verre vide en grammes.

M1 : la masse de la même boîte de Pétri en verre avec la prise d'essai avant le séchage en grammes.

M2 : la masse de la même boîte de Pétri en verre avec la prise d'essai après séchage en grammes.

I.4.5.- Détermination de la teneur en cendres

I.4.5.1.- Principe

Le vinaigre de datte est soumis à une calcination à 550°C dans un four à moufle, jusqu'à ce qu'une cendre blanchâtre de poids constant soit obtenue (Afnor, 1982).

I.4.5.2.- Mode Opératoire

- 10 ml de l'échantillon de vinaigre ont été versés dans des capsules en porcelaine, puis une pesée a été effectuée.
- Les capsules ont été placées dans un four réglé à 550 ± 15 °C pendant 5 à 6 heures, jusqu'à l'obtention d'une coloration gris clair ou blanchâtre.
- Les capsules ont ensuite été retirées du four, laissées à refroidir dans un dessiccateur, puis une nouvelle pesée a été réalisée.

I.4.5.3.-Expression des résultats

$$MO\% = \frac{(M1-M2)}{P} * 100$$

Soit :

MO% : Matière Organique.

M1 : Masse de capsule + prise d'essai.

M2 : Masse de capsule + cendre.

P : Prise d'essai.

- La teneur en cendres (Cd) se calcule de la manière suivante :

$$\text{Cd} = 100 - \text{MO}\%$$

I.4.6.- Détermination de la densité

I.4.6.1.- Principe

Cette méthode consiste à déterminer la densité relative du vinaigre à une température précise de 20 degrés Celsius. Pour ce faire, on compare la masse d'un volume donné de vinaigre avec celle du même volume exact d'eau distillée pure, mesurées à la même température. Cette comparaison est réalisée à l'aide d'un pycnomètre, un instrument en verre de volume exact (Hafidi et Messaoudi, 2015).

I.4.6.2.- Mode opératoire

- Un pycnomètre est soigneusement nettoyé et séché par un courant d'air.
- Peser le pycnomètre vide (m_0).
- Peser le pycnomètre rempli d'eau distillée (m_1).
- Le pycnomètre est nettoyé et séché.
- Peser le pycnomètre rempli de vinaigre (m_2).

I.4.6.3.- Expression des résultats

La densité relative **d** est donnée par la formule suivante :

$$d = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0}$$

Dont :

m_0 : Masse de pycnomètre vide.

m_1 : Masse de pycnomètre remplie à l'eau distillée.

m_2 : Masse de pycnomètre remplie d'échantillon analysée.

I.5.- Analyses Biochimiques

I.5.1.- Dosage d'acide acétique

I.5.1.1.- Principe

Lors de la fermentation acétique, le suivi de la concentration en acide acétique est primordial, car c'est le produit final recherché. La quantification de l'acide acétique est réalisée par titrimétrie selon la méthode de **Follman (1983)**, avec une adaptation consistant à utiliser une solution de soude à 0,5 N au lieu de 0,1 N. La phénolphthaléine est utilisée comme indicateur coloré pour détecter le point d'équivalence grâce à un changement de couleur (couleur rose) (**Benyahia et al., 2021**).

I.5.1.2.- Mode opératoire

Une expérience de titrage de l'acide acétique a été menée sur trois types de vinaigre : vinaigre de pomme, vinaigre de dattes Timjouhert et vinaigre de dattes Hchef.

Un volume précis de 10 ml de chaque échantillon a été prélevé, puis dilué avec 50 ml d'eau distillée dans un bécher, portant le volume total à 60 ml.

Deux gouttes de phénolphthaléine ont été ajoutées à chaque échantillon dans le bécher.

Une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 0,5 N a été préparée, puis versée dans une burette pour le titrage.

Le titrage a été réalisé en ajoutant lentement la solution de NaOH au vinaigre, goutte par goutte, tout en agitant continuellement, jusqu'à l'apparition d'une coloration rose stable, signe du point d'équivalence.

Après chaque titrage, la concentration en acide acétique a été calculée et exprimée en g/L, permettant ainsi de comparer le taux d'acidité entre les vinaigres de dattes Timjouhert, Hchef et le vinaigre de pomme (**Driss, 2021**).

I.5.1.3.- Expression des résultats

$$C_{A.A} \text{ (g/l)} = \frac{V \times F}{10} \times 60,05$$

Où :

C : concentration de l'acide acétique en g/l.

V : volume de sonde versée (Cm³).

F : facteur 0.1N soude.

60,05 : masse molaire de l'acide acétique (g/l).

I.5.2.- Dosage de l'acide citrique**I.5.2.1.- Principe**

L'acide citrique, produit par *Aspergillus niger* en conditions aérobies, peut être généré en quantités notables lorsque le milieu de culture favorise la croissance de ce champignon. Il devient donc important de mesurer précisément sa concentration (**Ould El-Hadj et al., 2001**). Le dosage de l'acide citrique s'effectue par titration, en neutralisant l'acide présent dans l'échantillon avec une base forte NaOH 1 N, en présence de phénolphtaléine comme indicateur de point d'équivalence (**OENO, 2000**).

I.5.2.2.- Mode opératoire

Le même mode opératoire avec dosage d'acide acétique, sauf que concentration de NaOH différent (NaOH 1N au lieu de 0,5 N).

I.5.2.3.- Expression des résultats

$$C_{A.C} \text{ (\%)} = \frac{V_{NaOH} \times 0,07}{Prise d'essai} \times 100$$

I.5.3.- Analyse qualitative et quantitative des sucres

I.5.3.1.- Analyse qualitative : Chromatographie sur couche mince (CCM)

I.5.3.1.1.- Principe

La chromatographie sur couche mince (CCM) est une méthode simple, rapide et sensible, largement utilisée pour l'identification, le contrôle de pureté et la séparation de composés chimiques ou biologiques. Elle est utilisée pour séparer et identifier les constituants d'un mélange (vinaigre). Elle repose sur la différence d'affinité des composés entre une phase stationnaire, généralement constituée de gel de silice ou de cellulose déposée sur une plaque, et une phase mobile formée par un ou plusieurs solvants (**Dida et Djellabi, 2022**). Lors de l'analyse, le solvant migre le long de la plaque par capillarité en entraînant les différentes substances du mélange. Chaque composé se déplace à une vitesse différente selon sa polarité et son interaction avec la phase stationnaire. Les substances les moins adsorbées migrent plus rapidement, tandis que celles ayant une forte affinité avec la phase stationnaire progressent plus lentement (**Kolai et al., 2006**).

I.5.3.1.2.- Mode Opératoire

Deux systèmes de la phase mobile sont utilisés pour la séparation sur plaques en gel de silice. Le choix du système dépend de la nature des oses à séparer et des rapports frontaux obtenus. Le révélateur NIGRUM est employé pour les systèmes en gel de silice (**Annexe II**) (**Dida et Djellabi, 2022**).

❖ Phases mobiles

- La phase mobile de système 01 : est composée d'acétate d'éthyle (5 ml), pyridine (4 ml), eau (4 ml), n butanol (10 ml) et acide acétique (2 ml) (**Hoton-dorge, 1976**).
- La phase mobile de système 02 : est composée de Chloroforme (4,5 ml), n-butanol (12,5 ml), méthanol (5 ml), acide acétique (1,5 ml) et eau (1,5 ml) (**Chen et al., 2014**).

Remarque : La phase mobile est préparée 24 heures avant l'expérience afin d'assurer une saturation optimale, ce qui garantit des conditions stables et fiables lors de la chromatographie.

❖ Préparation des plaques chromatographiques

Une ligne de dépôt est tracée à 1,5 cm du bord inférieur des plaques, où sont déposés les échantillons et les oses. Ensuite, les plaques sont activées dans une étuve à 100 °C pendant 10 minutes. Une fois cette étape terminée, les plaques sont prêtes pour le dépôt des échantillons (**Boual, 2011**).

❖ Préparation des cuves chromatographiques

La préparation des cuves est effectuée selon la méthode modifiée d'**Audigie et al. (1995)**. La phase mobile du système 02 est versée dans trois béchers, chacun contenant un échantillon, à une hauteur d'environ 0,5 cm. Les béchers sont ensuite recouverts de papier aluminium afin d'assurer une saturation maximale en vapeur de la phase mobile. Cette saturation vise à réduire l'évaporation de la phase mobile à l'intérieur des cuves chromatographiques.

❖ Dépôt des échantillons et des étalons

Pour chaque 10 mg de glucide étalon (fructose, saccharose, xylose, mannose, glucose, galactose et arabinose), on ajoute 1 ml d'eau distillée (**Boual et al., 2013**). Les solutions ainsi préparées sont déposées sur les plaques à l'aide d'une micropipette de 10 µl pour un dosage précis (**Audigie et al., 1995**).

❖ Développement des plaques

Les plaques sont placées verticalement dans les béchers de manière à ce que la ligne de dépôt soit au-dessus du niveau de la phase mobile. Les béchers sont ensuite fermés pour permettre le développement des plaques, en veillant à éviter tout mouvement ou vibration des béchers pendant l'élution. Lorsque le front du solvant atteint environ 1 cm du bord supérieur de la plaque, celle-ci est retirée délicatement et la position du front est marquée au crayon (**Delattre, 2005**). Les plaques sont ensuite laissées à sécher à l'air libre avant d'être révélées avec le réactif Nigrum pulvérisé. Enfin, elles sont incubées à l'étuve à 105 °C jusqu'à l'apparition des taches colorées (**Boual, 2011**).

❖ Détermination des facteurs de rétention

Le facteur de rétention (R_f) est déterminé pour chaque tache observée sur la plaque. Ce calcul permet d'identifier la composition des échantillons de vinaigre en comparant les valeurs obtenues à celles des standards (**Zimouche et Fellahi, 2022**).

$$R_f = \frac{\text{Distance parcourue par le constituant}}{\text{Distance parcourue par la phase mobile}}$$

I.5.3.2.- Analyse quantitative : Dosage des sucres totaux

I.5.3.2.1.- Principe

La mesure des sucres totaux est réalisée par la méthode au phénol (**Dubois et al., 1956**). Sous l'action de l'acide sulfurique concentré, les oses se déshydratent pour donner des dérivés furfuriques. Ces derniers réagissent avec le phénol, formant des complexes jaune orangé. La progression de cette réaction est suivie par une augmentation de l'absorbance à 490 nm.

I.5.3.2.2.- Mode Opératoire

Dans des tubes à essai, **200 µL** de la solution à déterminer, de concentration égale à 0,01 %, sont prélevés et mélangés à **200 µL** d'une solution de phénol à 5 % (dissout **1 g** de phénol dans **20 ml** d'eau). Après agitation pour assurer une bonne homogénéisation, **1 ml** d'acide sulfurique concentré (95-98 %) est ajouté au mélange réactionnel. Les tubes sont d'abord placés dans un bain de glace, puis incubés au bain-marie pendant 30 minutes à température ambiante. L'absorbance est ensuite déterminée à **490 nm** au moyen d'un spectrophotomètre UV-Visible.

Une courbe d'étalonnage, couvrant des concentrations allant de 0,001 % à 0,01 %, est réalisée à partir d'une solution mère de glucose à 0,01 % par dilutions successives, conformément à la méthode rapportée par (**Ruiz, 2005**) (**Annexe III**).

Note : La réalisation des dilutions est nécessaire car les vinaigres contiennent une concentration élevée en sucres.

I.5.4.- Dosage des Protéines

I.5.4.1.- Principe

La méthode de liaison des protéines au bleu de Coomassie, également connue sous le nom de méthode de Bradford, a été mise au point par Marion M. Bradford en **1976** (**Bradford, 1976**) et reste encore utilisée dans certains travaux actuels (**Iranpour et al., 2016**). Il s'agit d'un dosage colorimétrique permettant d'estimer la concentration en protéines d'un extrait (**Boumaza, 2014**). Cette technique repose sur le contact entre un colorant, le bleu de Coomassie (Coomassie Brilliant Blue G-250), et l'échantillon protéique à doser (**Maud Fumex, 2019**).

Le principe repose sur un changement d'absorbance dû à la modification de la couleur du bleu de Coomassie lorsqu'il se lie aux liaisons peptidiques des protéines, formant ainsi un complexe anionique stable. Ce complexe chromogène présente un maximum d'absorption à **595 nm**. Le processus de complexation est très rapide (quelques minutes) et stable pendant environ une heure, ce qui facilite grandement la manipulation (**Maud Fumex, 2019**).

I.5.4.2.- Mode Opérateur

100 µl d'échantillon à tester (vinaigre), de solution standard de BSA ou d'eau distillée (pour le blanc) ont été ajoutés à **3 ml** de réactif de Bradford (**Annexe IV**). Le mélange a été agité vigoureusement au vortex, puis incubé pendant **5 minutes** dans un bain-marie à **30 °C**, suivi d'une incubation d'une heure à température ambiante. L'absorbance a ensuite été mesurée à une longueur d'onde de **595 nm**.

Afin de déterminer la concentration des protéines une gamme d'étalonnage a été préparée à partir de plusieurs tubes contenant des concentrations de protéines connues. La BSA (albumine sérique bovine) est généralement utilisée comme protéine standard. Cette gamme permet de tracer une courbe d'étalonnage reliant la concentration des protéines à l'absorbance mesurée (**Annexe V**). Pour cela, différents réactifs ont été préparés, notamment le réactif de Bradford et la solution stock de BSA (**Lare N'pagyendou et Sabi-Ali, 2015**) (**Annexe VI**).

I.5.5.- Dosage de l'éthanol par oxydation chromique

I.5.5.1.- Principe

En milieu acide, l'éthanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) est oxydé par le dichromate de potassium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$). Cette réaction permet de réaliser un dosage par méthode de retour : on oxyde la totalité de l'éthanol présent dans un échantillon en utilisant un excès connu de dichromate. Ensuite, on mesure la quantité de dichromate restant grâce à une réaction rédox avec du fer ferreux (sel de Mohr) en présence d'un indicateur coloré. Par différence, on détermine ainsi la quantité d'éthanol contenue dans l'échantillon (**Benayad et al., 2010**).

I.5.5.2.- Mode opératoire

La première étape repose sur une réalisation d'une distillation fractionnée afin de récupérer l'alcool du vinaigre les étapes sont :

- Utiliser une fiole jaugée pour prélever un volume V_0 de **50 ml** de vinaigre de dattes et de pomme.
- Transférer ce volume dans un ballon de **250 ml** contenant **50 ml** d'eau distillée et quelques grains de pierre ponce.
- Ajouter **1 ml** de NaOH à **2 M**.
- Distiller **50 ml** de cette solution, en recueillant le distillat dans une fiole jaugée de **100 ml**

contenant déjà **15 ml** d'eau distillée froide, placée dans un cristalliseur rempli de glace fondante.

- À la fin de la distillation, rincer les tubes en recueillant l'eau de rinçage dans la fiole.
- Compléter le volume de la fiole jaugée avec de l'eau distillée et fermer soigneusement (Bouziane, 2016). (Figure 07).



Figure 07 : Montage de distillation fractionnée de l'alcool de l'échantillon (vinaigre de dattes et pomme) (Photos originale, 2026).

La deuxième étape correspond à une oxydation chromique de l'éthanol, au cours de laquelle l'alcool contenu dans le vinaigre réagit avec une solution de $K_2Cr_2O_7$. Dans un erlenmeyer de 250 ml muni d'un bouchon, introduire 5 ml de solution de $K_2Cr_2O_7$, ainsi 6 ml d'acide sulfurique concentré, puis 5 ml de distillat alcoolique (éthanol). Ajouter l'acide très lentement tout en bouchant l'erlenmeyer. Agiter doucement et refroidir progressivement pendant l'ajout. Continuer à agiter délicatement, puis laisser reposer pendant 30 minutes (Bouziane, 2016).

❖ Dosage de l'excès de solution chromique

Ajouter au mélange contenu dans l'erlenmeyer : **50 à 100 ml** d'eau distillée, **7,5 ml** d'acide phosphorique pur (manipuler avec précaution), **0,5 ml** d'indicateur au diphénylamine sulfonate de baryum. Prélever ensuite **10 ml** de ce mélange et le titrer avec une solution étalonnée de sel de Mohr, jusqu'à ce que la couleur vire nettement au vert franc. Cette étape est effectuée avec précision.

I.5.5.3.- Expression des résultats

Degré alcoolique des vinaigres : Timjouhert, Hchef et pomme (Hadj Amar, 2024) correspond au volume de l'alcool contenu dans 100ml de vinaigre. (Annexe VI).

I.6.- Effet antidiabétique (test d'inhibition de l'alpha-amylase)

I.6.1- Principe

Le test d'inhibition de l'alpha-amylase est une méthode *in vitro* essentielle pour déterminer le potentiel antidiabétique d'une substance, ici les vinaigres. Il permet d'évaluer leur capacité à ralentir la dégradation des glucides complexes (Abdelaziz et Abismail Hedjoudja, 2025).

Ce test repose sur la mesure de la diminution de l'activité de l'enzyme alpha-amylase, qui hydrolyse l'amidon en sucres réducteurs, en présence de la substance testée (par exemple, les vinaigres). Cette activité est comparée à celle de l'enzyme seule, ou à un inhibiteur de référence tel que l'Acarbose (Djaoudene *et al.*, 2021).

I.6.2.- Mode Opératoire

L'inhibition de l'activité de l' α -amylase par différents extraits de vinaigre a été étudiée selon la méthode décrite par Apostolidis *et al.*, (2007), avec quelques adaptations. Dans un milieu réactionnel comprenant 500 μ l de chaque extrait de vinaigre à différentes concentrations (0,5%, 0,8%, 1%, 1,5%, 2%), 500 μ l de tampon phosphate de potassium 0,02 M (Annexe VII), ainsi que 500 μ l d' α -amylase issue du *Aspergillus oryzae*, a été mise en contact. Ce mélange a été incubé à 37 °C pendant 10 minutes. Par la suite, 500 μ l d'une solution d'amidon à 1 % ont été ajoutés, puis l'incubation a continué pendant 10 minutes à 37 °C. La réaction a été arrêtée par l'ajout de 1 ml de réactif DNS (Annexe VIII). Les échantillons ont été placés 10 minutes dans un bain-marie bouillant, puis refroidis 5 min dans un bain de glace pour stopper la réaction par un choc thermique (Belhani et Habbaz, 2019).

Après une dilution au dixième avec de l'eau distillée, l'absorbance a été mesurée à 540 nm. L'acarbose est utilisé comme référence pour évaluer l'activité antidiabétique potentielle des extraits a servi de référence standard, avec une gamme de concentrations de 0,5% ; 0,8% ; 1% ; 1,5% et 2% (Annexe IX) (Gopinath *et al.*, 2013). Ce protocole est synthétisé dans le Tableau ci dissout (Tableau 04).

Tableau 04 : Protocole de travail de test d'inhibition de l'alpha-amylase

	Blanc contrôle ml	Témoin (-)	Témoin (+)	Blanc échantillon ml	Echantillon
Tampon	1ml	/	/	/	/
α-amylase	/	500 μ l	500 μ l	/	500 μ l
Acarbose	/	/	500 μ l	/	/
Vinaigre	/	/	/	500 μ l	500 μ l
Eau Distillée	/	500 μ l	/	500 μ l	/
Incubation à 37 °C pendant 10 minutes					
Ampois d'amidon	500 μ l	500 μ l	500 μ l	500 μ l	500 μ l
Incubation à 37 °C pendant 10 minutes					
DNS	1ml	1ml	1ml	1ml	1ml
Chauffés durant 10 minutes dans un bain-marie porté à ébullition.					
Laissés refroidir 5 min dans bain de glace.					
Dilution 10 Fois.					
Lecture dans un spectromètre à 540°C.					

Les résultats de la densité optique obtenus des différentes concentrations des extraits sont exprimés en pourcentage d'inhibition de l'activité de l' α -amylase selon la formule suivante (Verghese *et al.*, 2024).

$$\text{Pourcentage d'inhibition (PI) d'}\alpha\text{-amylase \%} = \frac{(A_{\text{contrôle}} - A_{\text{échantillon}}) * 100}{A_{\text{contrôle}}}$$

A contrôle : Absorbance de l'activité enzymatique sans inhibiteur.

A échantillon : Absorbance de l'activité enzymatique en présence d'extrait ou d'acarbose.

La valeur de l'IC₅₀, définie comme la concentration de l'échantillon requise pour inhiber 50 % de l'activité enzymatique, est déterminée graphiquement en traçant la fonction

(PI = f [vinaigre mg/ml]) pour chaque vinaigre (**Abdelaziz et Abismail Hedjoudja, 2025**).

Chaque expérimentation a été réalisée trois fois de manière indépendante, ce qui garantit la validité statistique des données et réduit les effets des erreurs aléatoires.

I.7.- Analyse Statistique

Le traitement des données obtenues repose sur des méthodes statistiques adaptées à l'analyse des résultats expérimentaux. Selon **Dagnelie (1975)**, l'analyse de la variance (ANOVA) permet de comparer les moyennes de plusieurs échantillons en tenant compte de leur variabilité. Donc après la vérification de la normalité des données, l'ANOVA à un seul facteur a été menée afin d'évaluer l'effet des facteurs étudiés ainsi que les éventuelles interactions entre ces facteurs, en fonction du seuil de signification retenu et en utilisant le programme R 3.5.1. La probabilité inférieure à 0,01 donne un effet hautement significatif, à 0,05 un effet significatif et pour une probabilité supérieure à 0,05 on considère que l'effet n'est pas significatif.

Par ailleurs, afin d'identifier les relations existantes entre les différents paramètres physicochimiques étudiés sur l'activité d'enzyme amylase, une analyse de corrélation de Spearman a été réalisée.

CHAPITRE II

Résultats et Discussion

II.1.- Analyses physico-chimiques

II.1.1.- PH

Les mesures du pH sont mentionnées dans la figure 08. Le pH des échantillons du vinaigre traditionnel de datte étudiés (Hchef, Timjouhert) est compris entre $3,4967 \pm 0,0021$ et $3,4583 \pm 0,0006$, tandis que celui du vinaigre commercial de pomme affiche un PH nettement plus acide de $2,9427 \pm 0,0060$.

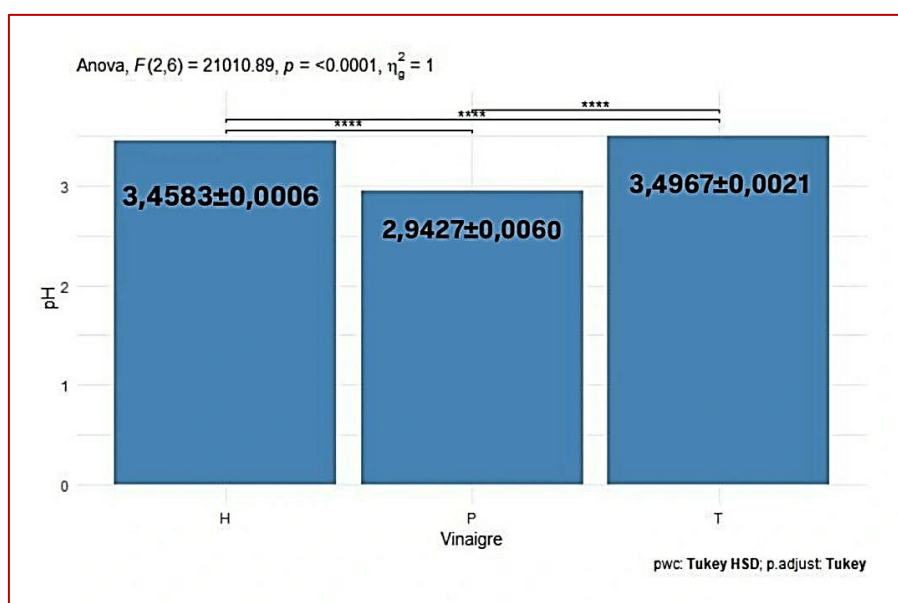


Figure 08 : pH des différents échantillons de vinaigre.

L'analyse de la variance révèle une différence très hautement significative ($P < 0,0001$) entre les différents vinaigres étudiés.

En se référant aux études antérieures, il est constaté que ces valeurs s'insèrent parfaitement dans la gamme rapportée par (Sebihi, 1996 ; Bouaziz, 2009), à savoir 3,12 à 3,65 (Deglet Nour, Ghars et Deglet Beida). Par ailleurs, les données obtenues pour le vinaigre de pomme nettement plus acide (2,9427), affichant un résultat très proche de la norme internationale du vinaigre qui est de 3 (Benkhelifa, 2018). Cette différence observée entre les pH des vinaigres de différentes variétés de dattes et celui du vinaigre de pomme peut être expliquée par plusieurs facteurs déterminants tels que la méthode de fabrication utilisée, la durée de conservation, le type de fruit ainsi que son degré de maturité (Dahmani et Rabbouh, 2009). Enfin, ces niveaux d'acidité stables s'avèrent être le résultat direct du métabolisme des micro-organismes acidophiles physiologiquement actifs au sein de la matrice (levures, moisissures et bactéries acétiques) (Sebihi, 1996).

II.1.2.- Conductivité électrique (CE)

Les résultats relatifs à la conductivité électrique (CE) des échantillons de vinaigres étudiés sont représentées dans la figure 09.

La conductivité électrique CE de notre échantillon est variée entre $12,717 \pm 0,02$ ms/cm pour Hchef et $6,257 \pm 0,02$ ms/cm pour Timjouhert. Celle de vinaigre de pommes est égales à $3,05 \pm 0,03$ ms/cm.

Ainsi l'analyse de la variance à un facteur révèlent une différence très hautement significative ($P < 0,0001$) entre les différents vinaigres étudiés.

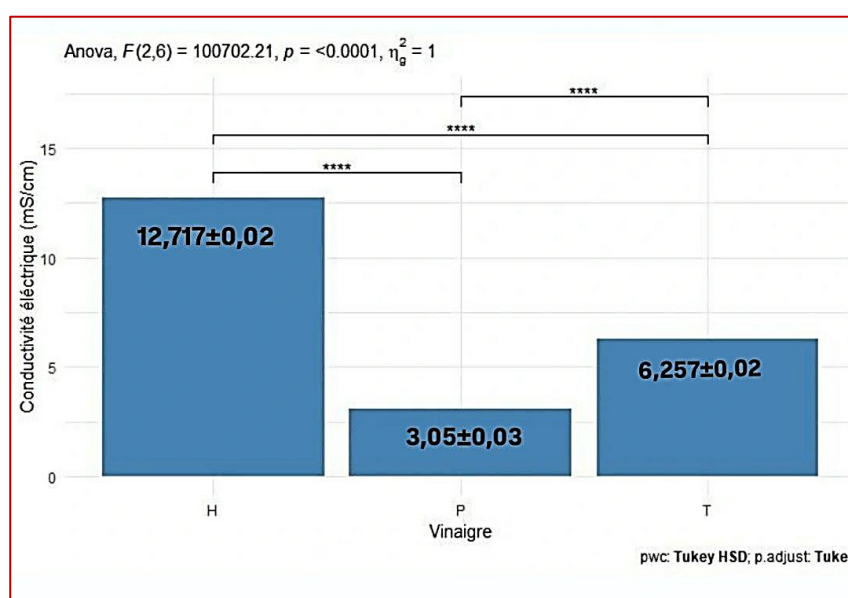


Figure 09 : Conductivité électrique des échantillons de vinaigre.

Les résultats de la présente étude sont comparables à celles évoquées par **(Sebihi, 1996; Bouaziz, 2009)** à savoir entre 4,88 - 6,29ms/cm et 5,1- 7,3 ms/cm successivement pour le vinaigre traditionnel de dattes (Deglet Nour, Ghars et Deglet Beida). Ces différences de CE entre les vinaigres de dattes selon la variété de datte. En contrepartie, il est constaté que les échantillons de vinaigres de pommes analysés présentent des valeurs de CE nettement plus faibles, de l'ordre de 3,05 ms/cm, par rapport aux vinaigres traditionnels de dattes. Ces résultats rejoignent les constatations de **(Ould El-Hadj, 2001)**. Les valeurs de CE des vinaigres traditionnels de dattes, relativement élevées pourraient être dues à la richesse de la datte en matières minérales. L'utilisation de l'eau du robinet, caractérisée par une charge indéniable de sels dissous, dans la fabrication de ces produits artisanaux peut aussi être à l'origine de l'augmentation de leur CE **(Sebihi, 1996)**. La conductivité électrique des vinaigres de pommes,

plus faible que celle des vinaigres de dattes peut être due à l'origine du fruit utilisé comme matière première, probablement moins pourvu en éléments minéraux (Khelil, 2022). Par ailleurs, la fabrication industrielle de vinaigre de pomme pourrait faire appel à une eau moins chargée en sels minéraux.

II.1.3.- Taux de solide soluble (TSS)

Les résultats des taux de solide solubles des échantillons de vinaigres sont présentés dans la figure 10.

Le taux de solide solubles (TSS) des vinaigres traditionnels de dattes sont variés entre $26,5 \pm 0,00$ °Brix pour Timjouhert et $8,5 \pm 0,00$ °Brix pour Hchef. Bien que le vinaigre de Hchef présente un taux de solides solubles faible le vinaigre de la pomme présente un plus faible taux de solide solubles à $3,5 \pm 0,00$ °Brix.

Ainsi l'analyse de la variance à un facteur révèlent une différence très hautement significative ($P < 0,0001$) entre les différents vinaigres étudiés.

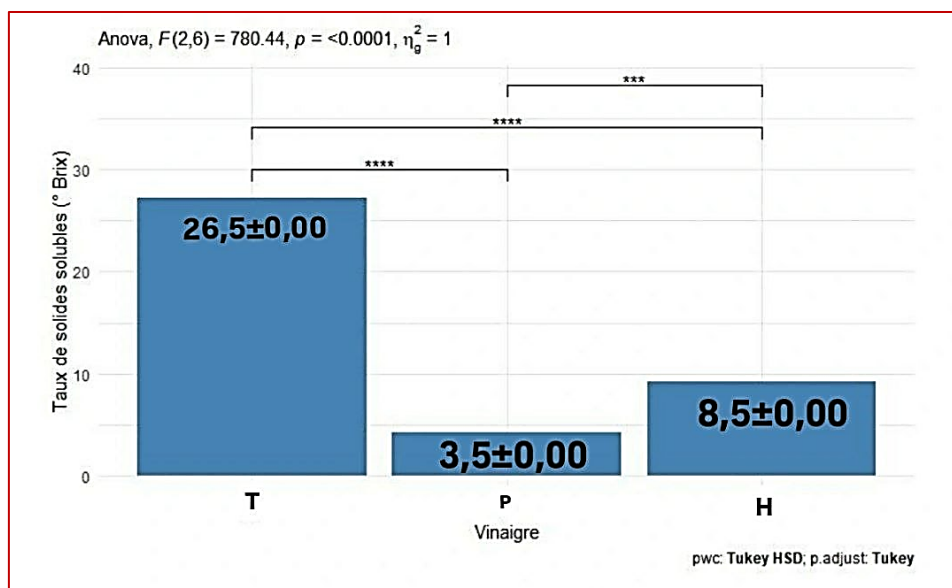


Figure 10 : Taux des solides solubles des différents échantillons de vinaigre.

Les résultats obtenus montrent une variabilité des taux de solides solubles (TSS) selon la variété de dattes utilisée. En comparant nos données à celles de la littérature, nous constatons que la valeur enregistrée pour le vinaigre de Hchef ($8,5$ °Brix) est en parfaite adéquation avec les travaux de (Sebihi, 1996), qui rapporte des taux variants entre 5 et 10 % pour le vinaigre traditionnel de dattes. En revanche, le vinaigre de Timjouhert présente une valeur nettement supérieure ($26,5$ °Brix), dépassant largement la plage mentionnée par (Sebihi, 1996).

En ce qui concerne le vinaigre de pomme, son taux de solide soluble est de $3,5$ ° Brix,

ce qui représente le TSS le plus faible par rapport aux échantillons de vinaigres traditionnels de dattes. Cette divergence de TSS entre les vinaigres est principalement attribuable à la nature de la matière première (variété et type de fruit). Il existe une relation entre la densité et le taux de solides solubles. Les vinaigres ayant la densité la plus élevée (cas de vinaigre de Timjouhert) a en effet, le TSS le plus élevé (Khelil, 2022).

II.1.4.- Taux de la matière sèche (MS)

Les résultats de taux de la matière sèche (MS) sont répertoriés dans la figure 11. Les teneurs en matière sèche des échantillons est variée entre $6,074 \pm 0,141$ % pour Hchef et $20,745 \pm 0,161$ % pour Timjouhert. Celle de vinaigre de pommes présente un faible teneur en matière sèche est égales à $0,905 \pm 0,017$ % que vinaigre des dattes.

Ainsi les résultats de l'analyse de variance le facteur MS, présente une influence très hautement significative ($P < 0,0001$).

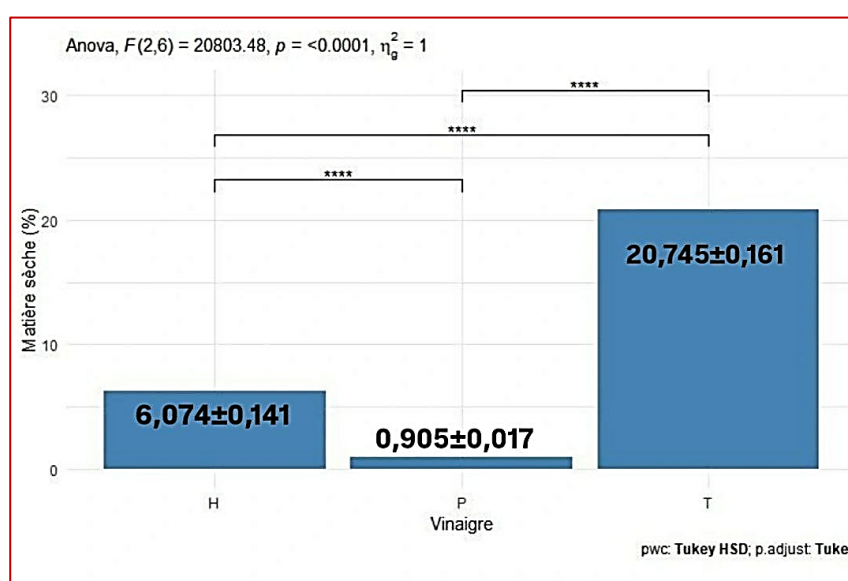


Figure 11 : Teneur en matière sèche (MS) des différents échantillons de vinaigre.

Les résultats de nos échantillons de Vinaigres Hchef et pomme sont légèrement faibles par rapport à ceux rapportés par **Ould El-Hadj (2001)** qui note des teneurs de 6,59 ; 10,0 et 11,26 % pour le vinaigre traditionnel des dattes. De même les résultats de (**Bouaziz, 2009**) sont compris entre 6,2 et 13,7%. En revanche le vinaigre de Timjouhert présente une teneur MS supérieur à celles rapportées par ces auteurs. Cette variation du taux de matière sèche est due à la nature des composants présents dans le fruit.

II.1.5.- Cendres

Les teneurs en cendres des différents échantillons de vinaigre de dattes sont représentées dans la figure 12. La teneur en cendres des vinaigres varie entre $8,520 \pm 1,391$ % pour le vinaigre de Hchef et $7,055 \pm 1,051$ pour le vinaigre de pomme. En revanche, la teneur pour vinaigre de Timjouhert est présente un faible teneur en cendres égale à $2,86 \pm 0,956$ % que vinaigre de Hchef et pomme. Ainsi les résultats de l'analyse de la variance le facteur de cendre, présente une influence très significative ($P=0,002$).

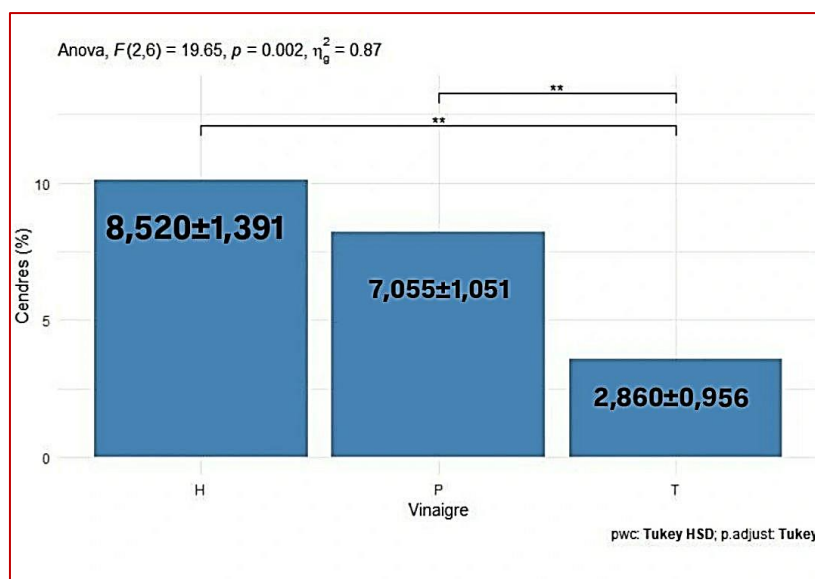


Figure 12 : Teneur en cendre des différents échantillons de vinaigre.

Les résultats sont proches par rapport à ceux rapportés par (Ould El-Hadj, 2001) allant de 6% à 8% pour vinaigre de Hchef et pomme mais le résultat faible de teneur en cendre pour vinaigre de Timjouhert. La teneur en cendres reflète directement la totalité des éléments minéraux et des sels inorganiques présents dans le vinaigre (Matloob, 2014).

II.1.6.- Densité

Les résultats de la densité obtenus sont présentés dans la figure 13.

La densité des échantillons de vinaigre de dattes est comprise entre $1,0284 \pm 0,0003$ (Hchef) et $1,0871 \pm 0,004$ (Timjouhert). Pour le vinaigre de la pomme il est égal à $1,0103 \pm 0,0004$. Ainsi les résultats de l'analyse de variance (variable de la densité), présente une influence très hautement significative ($P < 0,0001$).

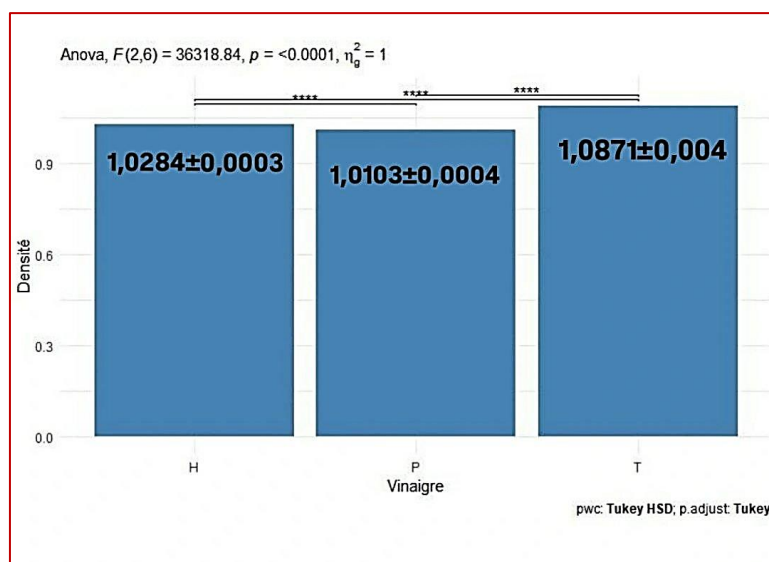


Figure 13 : Densité des différents échantillons de vinaigre.

Ces résultats sont proches à ceux rapportés par **(Arab et Guezoun, 2003)** à savoir 1,010 à 1,020 (Degla Beida, Mech-Degla et Hamraya) Proche pour la densité de vinaigre de pomme (1,01) et le vinaigre de Hchef (1,02). Ces résultats sont faibles par rapport à ceux rapportés par **(Sebihi, 1996)** qui sont compris entre 1,09 à 1,22 pour le vinaigre traditionnel de dattes et proche pour le vinaigre de Timjouhert (1,08). Ces résultats pourraient avoir par origine la présence de matières colloïdales en suspension responsables de l'aspect trouble des vinaigres **(Benkhelifa, 2018)**.

II.2.- Analyses Biochimiques

II.2.1.- Dosage d'acide acétique

Les teneurs en acide acétique des vinaigres étudiés sont illustrées dans la figure 14. Le vinaigre de pomme présente la concentration la plus élevée en acide acétique ($35,53 \pm 2,724$ g/l), comparativement aux vinaigres de dattes Timjouhert ($13,511 \pm 0,901$ g/l) et Hchef ($13,011 \pm 1,213$ g/l).

Les résultats de l'analyse de la variance montrent une différence hautement significative dans la teneur en acide acétique entre les différents vinaigres analysés ($p < 0,0001$).

L'acide acétique est un acide organique volatile **(Xia et al., 2019)**. L'acide acétique provient de l'oxydation aérobie de l'éthanol par les bactéries acétiques (Acétobacters) à des pH acides. De même l'acide acétique donne au vinaigre son goût acidulé et son odeur piquante **(Al-Kharousi et al., 2024)**.

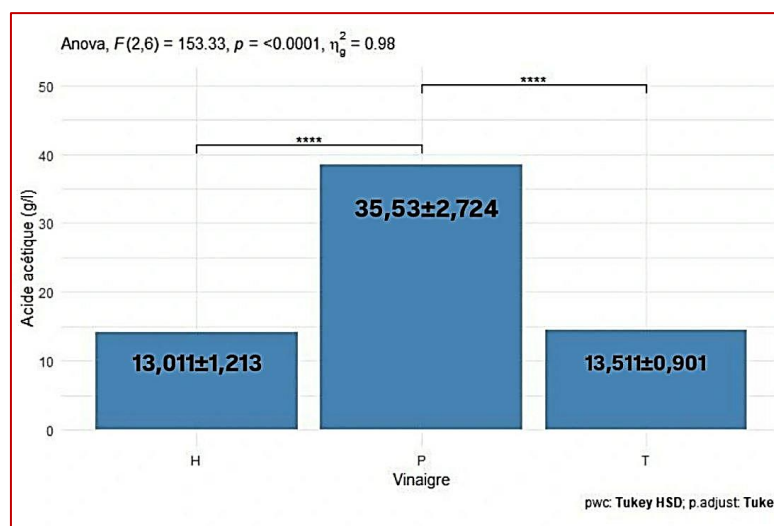


Figure 14 : Résultats de l'évaluation de la teneur en acide acétique des échantillons de vinaigre.

Ainsi cette variation peut s'expliquer par les différences des matières premières utilisées ainsi que par les conditions de fermentation appliquées.

En lien avec ces variations, une corrélation inverse est observée entre la teneur en acide acétique et le pH : les vinaigres les plus riches en acide acétique affichent un pH plus faible, comme le vinaigre de pomme avec 35,53 g/l d'acide acétique et un pH de 2,943. Cette relation s'explique en partie par le processus de fermentation lui-même. En effet, dans la production traditionnelle de vinaigre, la fermentation se déroule généralement en une seule étape combinée. La production d'alcool et l'oxydation de l'éthanol en acide acétique se font simultanément grâce à une flore microbienne complexe composée de levures, de bactéries acétiques (*Acetobacter*) et de bactéries lactiques. Ce processus, souvent peu contrôlé, favorise la présence de nombreux micro-organismes, rendant la transformation plus désordonnée et aboutissant à un milieu plus concentré et trouble (**Ould El Hadj et al., 2001**).

Par ailleurs, cette complexité microbienne explique la diversité des origines de l'acide acétique dans le vinaigre, qui peut provenir de trois sources principales : l'oxydation de l'éthanol par les bactéries acétiques, le métabolisme des bactéries lactiques, ainsi que la production secondaire d'acide acétique par certaines levures durant la fermentation (**Lafourcade, 1978 ; Ould El Hadj et al., 2001 ; Benkhelifa, 2018**).

Enfin, les valeurs obtenues dans cette étude concordent avec celles rapportées dans la littérature, où la teneur en acide acétique varie en fonction de l'origine botanique et des méthodes de fermentation employées (**Ho et al., 2017**). Selon **Luzón-Quintana et al. (2021)**,

le degré d'acidité du vinaigre naturel dépend fortement de la matière première et du procédé de fabrication. Cette acidité joue également un rôle crucial dans la sécurité microbiologique du vinaigre en inhibant la croissance de micro-organismes potentiellement pathogènes (Chen *et al.*, 2016).

II.2.2.- Dosage d'Acide Citrique

La figure 15 présente les teneurs en acide citrique déterminées dans les différents échantillons de vinaigre analysés.

Les résultats obtenus montrent que les teneurs en acide citrique des vinaigres traditionnels de dattes varient entre $0,264 \pm 0,0178$ % pour le vinaigre « Hchef » et $0,272 \pm 0,0067$ % pour le vinaigre « Timjouhert », tandis que le vinaigre de pomme présente une valeur nettement plus élevée atteignant $0,747 \pm 0,0233$ % (Figure B).

Les résultats révèlent une différence très significative dans la concentration en acide acétique entre les différents vinaigres analysés ($p < 0,0001$). Le vinaigre de pomme présente une teneur en acide citrique nettement plus élevée que celle des vinaigres Timjouhert et Hchef.

L'acide citrique est un acide organique non volatil naturellement présent dans plusieurs fruits (Xia *et al.*, 2019). Il peut également être produit par voie biotechnologique à partir de procédés fermentaires (Ould El-Hadj *et al.*, 2001).

La synthèse biologique de cet acide repose principalement sur l'utilisation du champignon *Aspergillus niger*, fréquemment retrouvé à la surface des fruits tels que les dattes. Ce microorganisme est capable de convertir les sucres fermentescibles en acide citrique au cours de la fermentation (Arab et Guezoun, 2003).

Grâce à sa faible toxicité, sa bonne biodisponibilité et son goût agréable, l'acide citrique est largement employé dans les industries alimentaire et pharmaceutique. Il est utilisé notamment comme agent acidifiant, antioxydant, émulsifiant et chélateur (Clément, 1978).

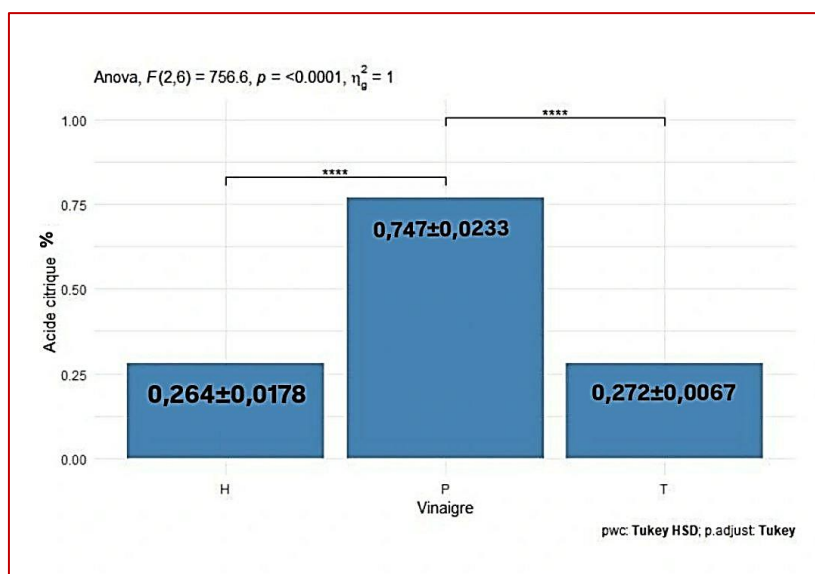


Figure 15 : Résultats de l'évaluation de la teneur en acide citrique des échantillons de vinaigre.

D'après ces résultats, les vinaigres élaborés à partir des dattes présentent donc des concentrations en acide citrique inférieures à celles observées dans le vinaigre de pomme. Cette différence pourrait être liée à la composition biochimique des matières premières utilisées. En effet, la pomme est naturellement plus riche en acide ascorbique (vitamine C), dont la teneur varie selon les variétés, ce qui favorise une acidité plus importante dans les vinaigres de pomme. À l'inverse, les dattes renferment des quantités plus faibles de vitamine C, ce qui peut expliquer la faible acidité des vinaigres issus de leur transformation (**Mohammad, 2010**).

Par ailleurs, les teneurs en acide acétique observées dans les échantillons de vinaigre s'expliquent par l'action simultanée de divers micro-organismes présents dans le moût. Contrairement aux procédés industriels où la production d'acide acétique se fait en deux étapes distinctes, la fermentation dans les vinaigreries traditionnelles se déroule en une seule phase combinée. Ainsi, la production d'alcool coïncide avec l'oxydation de l'éthanol en acide acétique. Ce processus, souvent désordonné, implique une grande diversité de microflore bactérienne. De plus, les conditions anaérobies propres à la fermentation traditionnelle réduisent l'activité fermentaire des bactéries acétiques (**Ould El-Hadj et al., 2001**).

En outre, la faible teneur en acide citrique observée dans les vinaigres de dattes pourrait aussi être attribuée à la faible disponibilité de certains sucres, notamment le maltose et le mannose, indispensables au métabolisme microbien. À cela s'ajoute la compétition entre les différents microorganismes pour l'utilisation des substrats fermentescibles, ce qui réduit davantage la synthèse de l'acide citrique. De plus, le caractère anaérobie du milieu fermentaire

constitue un facteur limitant supplémentaire pour la production de cet acide organique (Arab et Guezoun, 2003).

II.2.3.- Analyse qualitative des sucres par CCM

Les résultats de la séparation des sucres du vinaigre par CCM sont présentés dans les figures (16, 17 ,18) et Tableaux (05 et 06).

Cependant les résultats présentés en Figure 16,17,18 et 19, Les deux systèmes de migration évalués ont montré une capacité limitée à séparer efficacement les sucres du vinaigre. Toutefois, le système 02 a fourni une meilleure séparation des composés que le système 01, avec des taches plus distinctes et mieux résolues. Il a donc été privilégié pour l'analyse chromatographique des échantillons.

Ainsi la comparaison des R_f de chaque vinaigre (Tableau 5) avec les R_f obtenus pour chaque témoin (tableau 6) montre que le vinaigre Timjouhert contient du saccharose, le vinaigre de Hchef contient du galactose et le vinaigre de pomme renferme plusieurs sucres : fructose, mannose, glucose et arabinose.

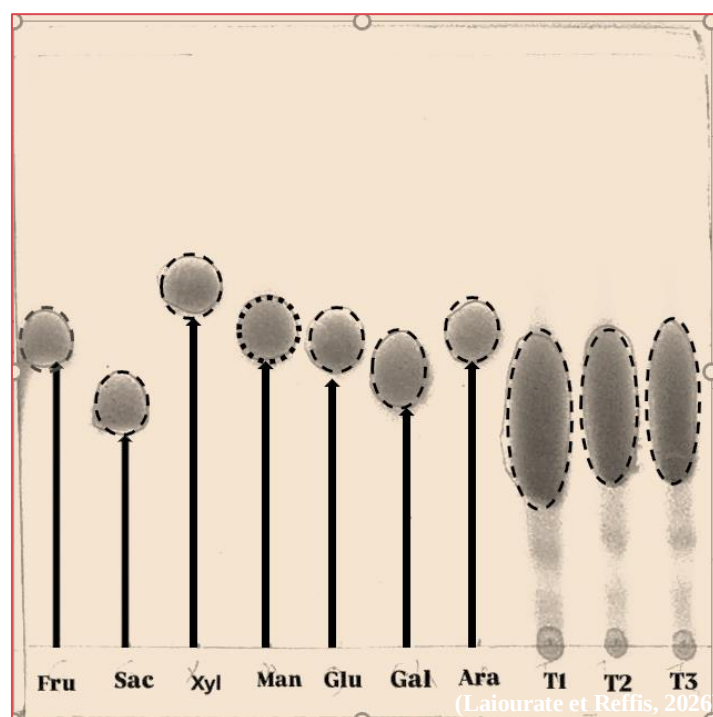


Figure 16 : Résultat de séparation de vinaigre de Timjouhert par chromatographie sur couche mince de système 02 (Photos originale, 2026).

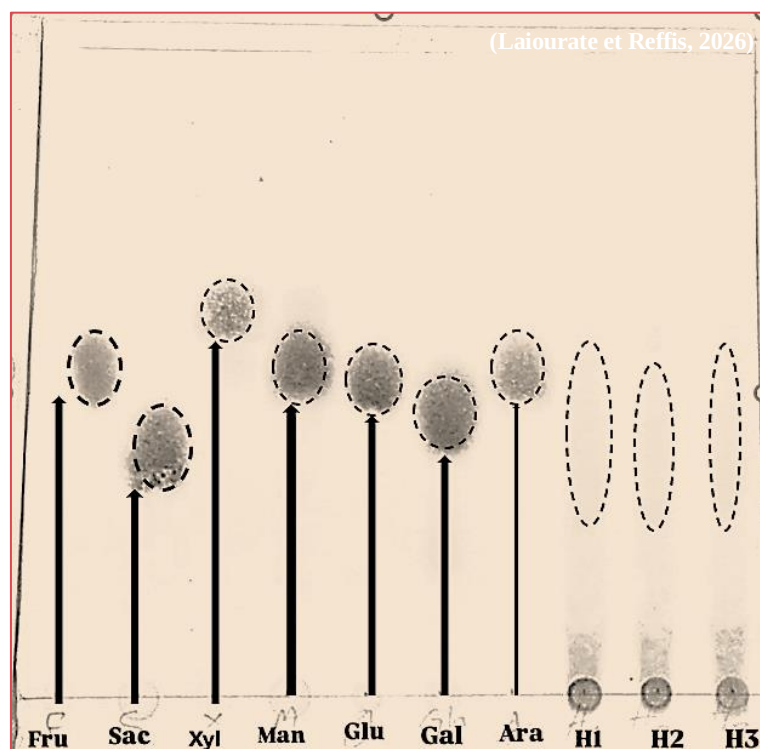


Figure 17 : Résultat de séparation de vinaigre de Hchef par chromatographie sur couche mince de système 02 (Photos originale, 2026).

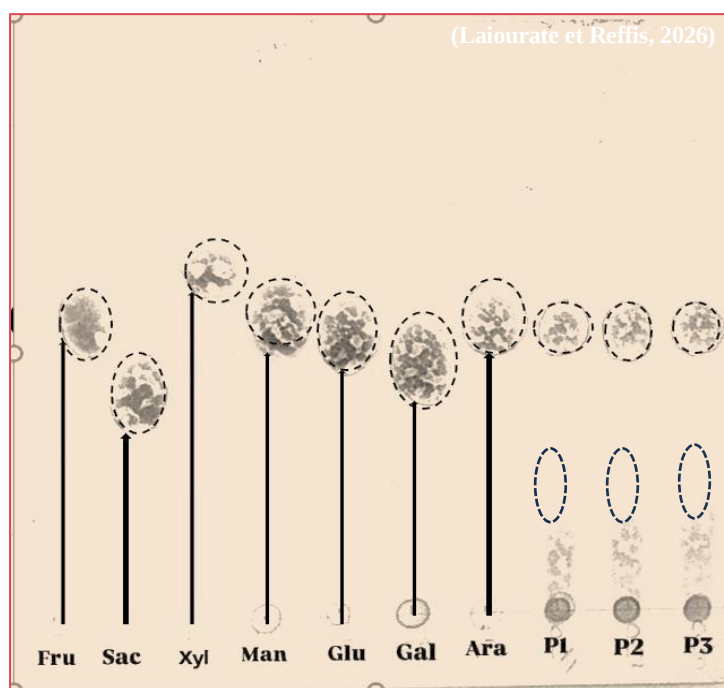


Figure 18 : Résultat de séparation de vinaigre de Pomme par chromatographie sur couche mince de système 02 (Photos originale, 2026).

Tableau 05 : Rapport frontal des Témoins.

	Distance de l'échantillon (h)	Distance de la phase mobile (H)	Rf = h/H
Fructose	4,5 cm	8,6 cm	0,523
Saccharose	3,4 cm	8,6 cm	0,395
Xylose	5,3 cm	8,6 cm	0,616
Mannose	4,6 cm	8,6 cm	0,535
Glucose	4,4 cm	8,6 cm	0,512
Galactose	3,9 cm	8,6 cm	0,453
Arabinose	4,5 cm	8,6 cm	0,523

La présence de saccharose dans le vinaigre Timjouhert s'explique probablement par une fermentation incomplète des sucres fermentescibles ou par la conservation des sucres naturellement présents dans la matière première (datte). Dans les méthodes artisanales, les conditions de fermentation sont parfois moins maîtrisées, ce qui peut limiter la consommation totale du saccharose par les microorganismes fermentaires (**Luzón-Quintana, 2021 ; Ho, 2017**).

Pour le vinaigre Hchef, la détection du galactose pourrait être dû à la dégradation enzymatique des polysaccharides végétaux, tels que les pectines et les hémicelluloses. Lors de la fermentation, l'activité des levures et des bactéries peut libérer des monosaccharides comme le galactose à partir des composants structuraux des végétaux utilisés comme matière première (**Young-Ran, 2014**).

Le vinaigre de pomme présente une grande diversité de sucres, avec la présence de fructose, glucose, mannose et arabinose. Cette richesse glucidique reflète la composition naturelle de la pomme, principalement constituée de fructose et glucose. L'arabinose et le mannose peuvent provenir de l'hydrolyse des polysaccharides des parois cellulaires du fruit durant les phases de fermentation et de maturation du vinaigre (**Cirlini, 2009 ; Cocchi, 2006**).

Les différences observées entre ces vinaigres sont attribuables à plusieurs facteurs, notamment la composition de la matière première, les conditions et la durée de fermentation, ainsi que les microorganismes impliqués dans la transformation biochimique des sucres. Ces éléments influencent directement la qualité chimique et nutritionnelle du vinaigre final (**Al-Malki, 2023**).

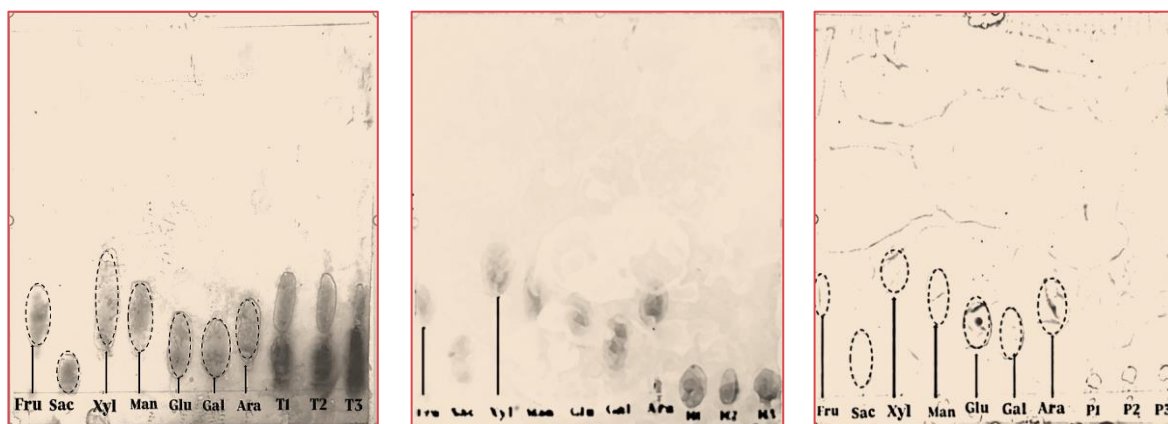


Figure 19 : Résultat de séparation de vinaigre de Timjoughert (T), Hchef (H) et Pomme (P) par chromatographie sur couche mince de système 01 (Photos originale, 2026).

II.2.4.- Dosage sucres totaux

La figure 20 illustre une variation marquée des teneurs en sucres totaux parmi les vinaigres étudiés. Le vinaigre « Timjoughert » affiche la concentration la plus élevée et la plus significative avec $69,700 \pm 0,12$ % ($p < 0,0001$), tandis que les vinaigres « Hchef » et « Pomme » présentent des niveaux nettement inférieurs et moins significatifs, respectivement de $4,192 \pm 0,64$ % ($p < 0,001$) et $2,144 \pm 0,11$ % ($p < 0,01$).

Cette variation souligne que la variété de dattes utilisée ainsi que les conditions de fermentation ont une influence majeure sur la composition en sucres du vinaigre final.

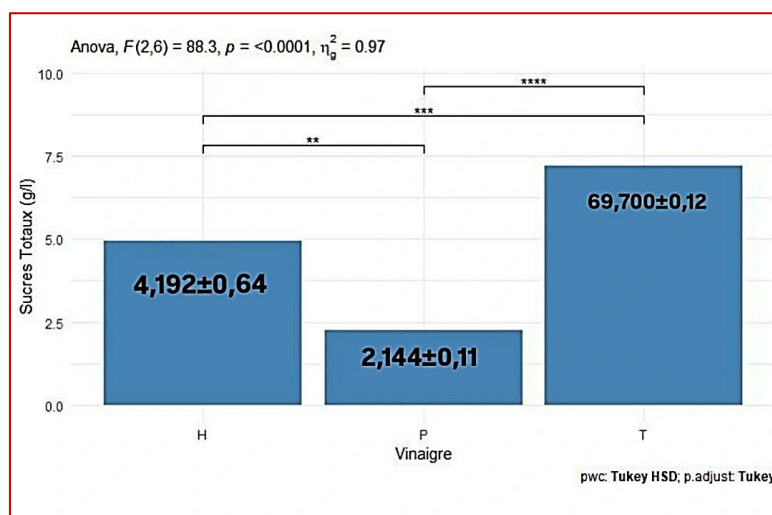


Figure 20 : Teneur de sucres totaux des divers échantillons de vinaigre.

Selon **Bouhlali et al. (2015)**, la composition biochimique des dattes diffère largement

selon les cultivars, particulièrement en ce qui concerne la quantité de sucres fermentescibles, ce qui impacte directement la qualité des produits dérivés comme le vinaigre.

Le taux particulièrement élevé observé dans le vinaigre « Timjoughert » pourrait s'expliquer par une teneur initiale élevée en glucose et fructose propre à cette variété de datte. Une fermentation alcoolique ou acétique incomplète peut également conduire à la présence de sucres résiduels dans le produit final. Certaines variétés de dattes utilisées dans la production artisanale de vinaigre maintiennent des concentrations importantes de sucres après fermentation, dues à une activité limitée des microorganismes fermentaires ou à une durée de fermentation insuffisante (Al-Malki *et al.*, 2023).

Les faibles teneurs en sucres relevées dans les vinaigres « Hchef » et « Pomme » traduisent probablement une meilleure consommation des sucres par les levures et bactéries acétiques durant la fermentation. En effet, les sucres sont progressivement convertis en éthanol puis en acide acétique au cours des différentes phases fermentaires. Wang *et al.* (2023) ont démontré que la diminution des sucres totaux pendant la fermentation est un indicateur clé de l'efficacité métabolique des microorganismes impliqués dans la production de vinaigre.

Par ailleurs, la forte concentration en sucres du vinaigre « Timjoughert » peut influencer ses propriétés organoleptiques, en conférant une saveur plus douce et une meilleure acceptabilité sensorielle. Les sucres résiduels contribuent à l'équilibre entre acidité et douceur dans les produits fermentés. Selon Hou *et al.* (2023), les vinaigres présentant des teneurs modérées à élevées en sucres résiduels sont généralement préférés par les consommateurs pour leurs qualités sensorielles.

II.2.5.- Dosage des Protéines

Les résultats de la teneur en protéines est présenté dans la figure 21. Il semble que le taux de protéines varie en fonction des différents vinaigres étudiés. Le vinaigre « Hchef » présente la teneur la plus élevée avec $4,497 \pm 0,18$ %, suivi du vinaigre « Timjoughert » avec $4,030 \pm 0,06$ %, tandis que le vinaigre « Pomme » affiche la valeur la plus faible ($1,936 \pm 0,35$ %).

Les résultats de l'analyse de la variance montrent une différence significative entre Hchef et Pomme, ainsi qu'entre Timjoughert et Pomme ($P < 0,0001$).

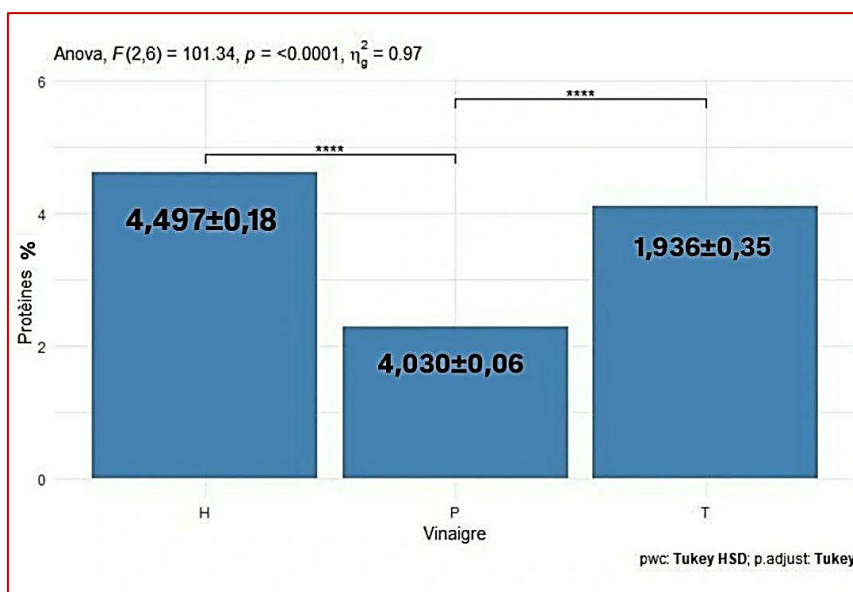


Figure 21 : Teneur en protéines des divers échantillons de vinaigre.

Ainsi ces différences indiquent que la composition nutritionnelle des matières premières ainsi que les conditions de fermentation influencent directement la teneur protéique des vinaigres obtenus. Selon **Al-Malki et al. (2023)**, les vinaigres issus des dattes possèdent généralement une richesse nutritionnelle plus importante que les vinaigres de fruits classiques grâce à la présence de composés azotés et d'acides aminés provenant du fruit initial.

La teneur élevée en protéines observée dans le vinaigre « Hchef » pourrait être liée à la richesse de cette variété de dattes en composés azotés solubles et en acides aminés. Durant la fermentation, certaines protéines et peptides peuvent être libérés sous l'action enzymatique des microorganismes fermentaires, augmentant ainsi leur concentration dans le produit final. **Hegazy et al. (2024)** ont montré que les vinaigres de dattes traditionnels contiennent des quantités appréciables de composés bioactifs, y compris des fractions protéiques issues de la dégradation enzymatique des constituants du fruit.

Le vinaigre « Timjoughert » présente également une teneur protéique relativement élevée, ce qui suggère une bonne conservation des composés nutritifs au cours de la fermentation. Cette valeur peut être attribuée à l'activité des levures et des bactéries acétiques qui transforment les substrats organiques tout en produisant différents métabolites azotés. Selon **Hou et al. (2023)**, les microorganismes impliqués dans la fermentation du vinaigre participent activement à la modification de la composition chimique du milieu, notamment par la production de peptides et d'acides aminés influençant la qualité nutritionnelle du vinaigre.

En revanche, la faible teneur en protéines observée dans le vinaigre « Pomme » peut être

expliquée par une composition initiale plus pauvre en substances azotées comparativement aux dattes. Les pommes contiennent généralement moins de protéines et d'acides aminés, ce qui se reflète dans le produit fermenté final. **Wang et al. (2023)** ont rapporté que la nature du substrat utilisé dans la production du vinaigre influence fortement sa composition nutritionnelle et biochimique, notamment la teneur en protéines et en composés bioactifs.

II.2.6.- Dosage de l'éthanol par oxydation chromique

La figure 22 montre une légère variation du degré alcoolique entre les différents vinaigres étudiés. Le vinaigre « Pomme » présente le degré alcoolique le plus élevé avec $4,62 \pm 0,00^\circ$, suivi du vinaigre « Timjouhert » avec $4,47 \pm 0,00^\circ$, tandis que le vinaigre « Hchef » affiche la valeur la plus faible ($4,36 \pm 0,00^\circ$).

L'analyse de variance n'a pas révélé de différence statistiquement significative entre les types de vinaigre concernant le degré d'alcool ($p = 0,051$).

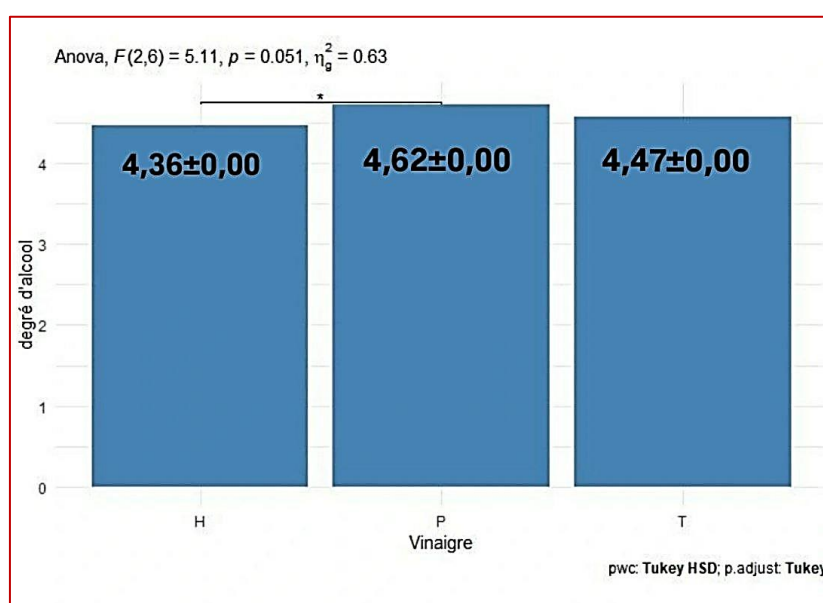


Figure 22 : Degrée alcoolique des vinaigres : Timjouhert, Hchef et pomme.

Ces différences indiquent que la nature de la matière première ainsi que l'efficacité de la fermentation alcoolique influencent directement la teneur finale en alcool des vinaigres obtenus. Selon **Wang et al. (2023)**, la concentration en alcool dépend principalement de la quantité initiale de sucres fermentescibles présents dans le substrat et de l'activité métabolique des levures pendant la fermentation.

Le degré alcoolique relativement élevé observé dans le vinaigre « Pomme » peut être expliqué par une activité fermentaire plus intense des levures, favorisée par la présence des

sucres simples facilement fermentescibles dans les pommes. Selon **Refaie Muhammed et al. (2026)**, les fruits riches en glucose et fructose favorisent une production plus importante d'éthanol durant la fermentation alcoolique, ce qui augmente temporairement le degré alcoolique avant sa transformation en acide acétique. Les auteurs ont également montré que les caractéristiques du substrat influencent directement la qualité finale du vinaigre.

Les valeurs observées entre les vinaigres « Hchef » et « Timjouhert » peuvent être liées à la diversité des microorganismes impliqués dans la fermentation ainsi qu'à leur capacité à transformer l'éthanol en acide acétique. **Bordiga et al. (2023)** ont rapporté que les levures et bactéries acétiques influencent fortement les propriétés physicochimiques des vinaigres, notamment le degré alcoolique, l'acidité et les composés aromatiques. Une activité plus importante des bactéries acétiques peut entraîner une diminution du taux d'alcool résiduel dans le vinaigre final.

II.2.7.- Effet antidiabétique (test d'inhibition de l'alpha-amylase)

Les résultats de l'effet antidiabétique sont regroupés dans la figure 23. Les résultats montrent l'évolution du pourcentage d'inhibition de l' α -amylase en fonction des différentes concentrations des vinaigres étudiés et de l'acarbose utilisé comme témoin positif.

Globalement, l'augmentation de la concentration entraîne une augmentation de l'activité inhibitrice pour la majorité des échantillons. Les vinaigres « Pomme » et « Timjohert » présentent les taux d'inhibition les plus élevés, atteignant presque 100 % à partir des concentrations de 0,75–1 %, tandis que le vinaigre « Hchef » affiche une activité inhibitrice plus faible, variant entre environ 49 % et 60 %. L'acarbose présente une inhibition intermédiaire comprise entre 69 % et 81 % pour les différentes concentrations préparées (0,5%, 0,8%, 1%, 1,5%, 2%).

Ces résultats suggèrent que certains vinaigres de dattes possèdent une capacité inhibitrice importante vis-à-vis de l' α -amylase, probablement liée à leur richesse en composés bioactifs.

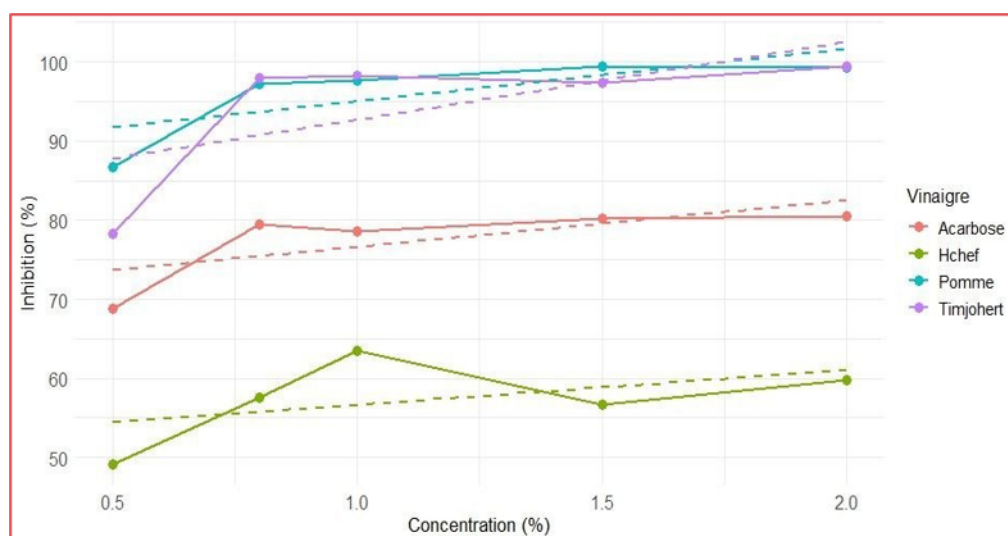


Figure 23 : Effet des différentes concentrations des vinaigres de datte et du vinaigre de pomme sur l'inhibition de l'activité de l' α -amylase.

Selon (Moein *et al.*, 2022 et Feng *et al.*, 2022), les produits fermentés riches en polyphénols et acides organiques présentent souvent une activité inhibitrice élevée contre les enzymes digestives impliquées dans l'hydrolyse des glucides. Dans ce contexte, l'intérêt porté au vinaigre de datte s'explique notamment par sa richesse en composés phénoliques, reconnus pour leurs effets biologiques bénéfiques. Plusieurs études ont montré que le vinaigre de datte constitue une source importante de composés phénoliques (Bouderbala *et al.*, 2023). Ali *et al.* (2019) ont rapporté que le vinaigre de datte présente des teneurs élevées en polyphénols et en flavonoïdes, associées à une activité antioxydante significative.

L'augmentation du pourcentage d'inhibition de l' α -amylase observée avec l'augmentation de la concentration des vinaigres peut être expliquée par la présence de composés phénoliques capables d'interagir avec les enzymes digestives. Les polyphénols agissent en se fixant sur le site actif de l' α -amylase et de l' α -glucosidase, ce qui réduit l'hydrolyse de l'amidon et ralentit ainsi la libération du glucose. Ćorković *et al.* (2022) ont montré que les polyphénols naturels présents dans les aliments fermentés possèdent une forte activité inhibitrice contre ces enzymes digestives et peuvent contribuer à la régulation de la glycémie postprandiale.

Les fortes activités inhibitrices observées pour les vinaigres « Pomme » et « Timjohert » peuvent être attribuées à une teneur élevée en acides phénoliques et flavonoïdes issus du processus de fermentation. Selon Aleixandre *et al.* (2022), les acides phénoliques comme l'acide caféique et l'acide chlorogénique présentent une forte capacité d'inhibition de l' α -amylase et de l' α -glucosidase grâce à leurs interactions avec les protéines enzymatiques. Les

auteurs ont également montré que la structure chimique des polyphénols influence directement l'intensité de l'inhibition enzymatique.

Le vinaigre « Hchef », qui présente une activité inhibitrice plus faible, pourrait contenir une concentration moins importante en composés phénoliques actifs ou des molécules ayant une affinité plus faible pour les enzymes digestives. Les études de **Ćorković *et al.* (2022)** ont montré que l'activité inhibitrice varie selon la nature des polyphénols, leur nombre de groupements hydroxyles et leur capacité à former des liaisons hydrogène avec l'enzyme. Ainsi, la variabilité des profils phénoliques entre les différents vinaigres peut expliquer les différences observées dans les pourcentages d'inhibition.

Alexandre *et al.* (2022) ont indiqué que les composés phénoliques peuvent agir simultanément sur plusieurs enzymes digestives et exercer une inhibition comparable à certains inhibiteurs synthétiques utilisés dans le traitement du diabète de type 2.

Ainsi les résultats de l'activité inhibitrice (valeurs d'IC₅₀) de différente variété de datte par rapport au témoin positif (Acarbose) sont présentés dans la figure 24.

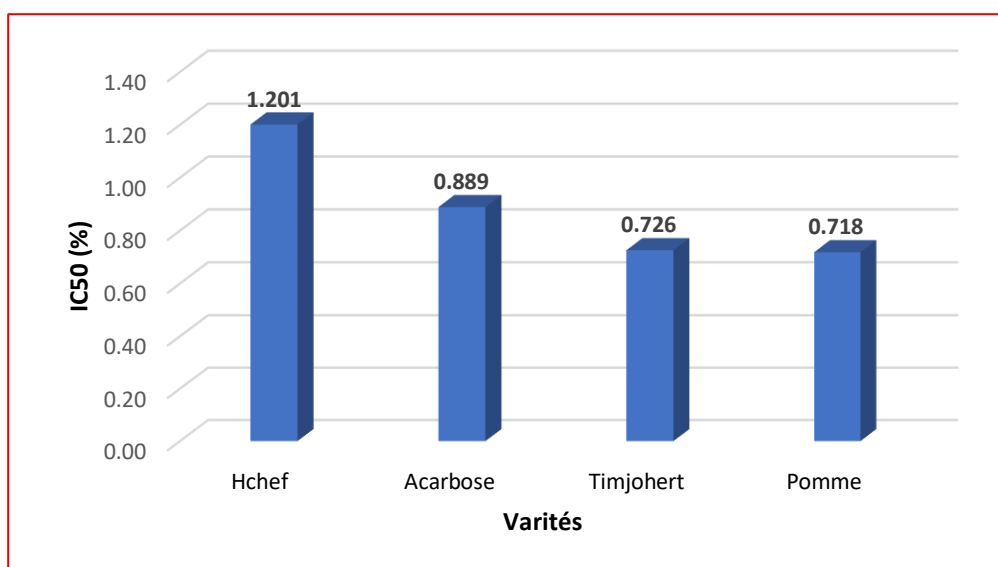


Figure 24 : Évaluation de l'activité inhibitrice (valeurs d'IC₅₀) de différente variété de datte par rapport au témoin positif (Acarbose).

Les valeurs de la concentration nécessaire pour réduire de 50 % l'activité de l' α -amylase (IC₅₀) par les différentes variétés étudiées en comparaison avec le composé de référence (Acarbose). Les résultats révèlent une variation nette de l'activité inhibitrice entre les échantillons. La variété Pomme a enregistré la plus forte activité inhibitrice avec la plus faible valeur d'IC₅₀ (0.718 %), suivie de près par la variété Timjohert (0.726 %). Il est intéressant de

noter que ces deux variétés ont montré une efficacité inhibitrice supérieure à celle du témoin positif, l'Acarbose (0.889 %). En revanche, la variété Hchef s'est révélée la moins active avec une IC50 de 1.201 %.

Cette variation d'efficacité pourrait être attribuée à la différence de la nature et de la concentration des composés bioactifs (tels que les phénols et les flavonoïdes) présents dans chaque variété.

L'analyse de corrélation effectuée entre les paramètres physicochimiques et l'activité inhibitrice de l' α -amylase n'a mis en évidence aucun effet significatif. Cela suggère que les paramètres étudiés n'exercent pas d'influence significative sur l'inhibition de cette enzyme. (Tableau 6) (Annexe X).

Tableau 06 : Etude de la corrélation entre les paramètres physicochimiques et l'activité inhibitrice de l' α -amylase

Paramètre physicochimique	Vinaigre de Hchef		Vinaigre de Timjohert		Vinaigre de Pomme	
	P	R	P	R	P	R
Acide Acétique	0,26	0,62	0,8	0,16	0,89	-0,086
Acide Citrique	0,55	-0,36	0,23	-0,66	0,4	-0,49
Conductivité Electrique	0,12	0,78	0,23	0,66	0,37	-0,51
PH	0,13	-0,77	0,25	-0,64	0,51	0,39
Sucres Totaux	0,22	0,67	0,23	0,66	0,41	0,48

Conclusion

Conclusion

Cette étude constitue une évaluation des propriétés physicochimiques, biochimiques et de l'activité antidiabétique *in vitro* des vinaigres traditionnels élaborés à partir des dattes locales des variétés « Hchef » et « Timjouhert ». Une méthodologie expérimentale rigoureuse a été adoptée afin d'élaborer les vinaigres dans des conditions contrôlées de fermentation alcoolique et acétique, puis de caractériser leurs principaux paramètres qualitatifs. Les résultats obtenus ont été comparés à ceux d'un vinaigre commercial de pomme afin d'évaluer les différences de composition et de mettre en évidence la valeur ajoutée des vinaigres traditionnels de dattes.

Les analyses physicochimiques ont montré que les vinaigres de dattes présentent des caractéristiques distinctes selon la variété utilisée. Le vinaigre de Timjouhert a présenté les valeurs les plus élevées en solides solubles (26,5 °Brix), en matière sèche (20,745 %) et en densité (1,0871), traduisant une richesse importante en composés dissous et en substances nutritives. Le vinaigre de Hchef a également montré des valeurs intéressantes avec une conductivité électrique élevée (12,717 ms/cm), révélant une richesse en sels minéraux. En revanche, le vinaigre de pomme a présenté les valeurs les plus faibles pour plusieurs paramètres, notamment les solides solubles, la matière sèche et la densité. Concernant l'acidité, les vinaigres de dattes ont présenté un pH compris entre 3,45 et 3,49, tandis que le vinaigre de pomme a montré un pH plus acide de 2,94. La teneur en acide acétique a été plus importante dans le vinaigre de pomme (35,53 g/l) que dans les vinaigres de dattes Timjouhert (13,511 g/l) et Hchef (13,011 g/l). Ces différences peuvent être attribuées à la nature des matières premières ainsi qu'aux conditions de fermentation et à l'activité des micro-organismes impliqués dans la transformation.

L'analyse biochimique a également permis de mettre en évidence la présence de sucres, d'acides organiques et d'autres composés susceptibles d'influencer les propriétés nutritionnelles et fonctionnelles des vinaigres étudiés. Les résultats obtenus par chromatographie sur couche mince (CCM) ont permis d'identifier certains sucres présents dans les échantillons, confirmant la richesse biochimique des vinaigres traditionnels de dattes.

Par ailleurs, l'étude de l'activité antidiabétique *in vitro* par le test d'inhibition de l' α -amylase a montré que les vinaigres de dattes possèdent une capacité inhibitrice intéressante vis-à-vis de cette enzyme digestive. Cette activité pourrait être liée à leur richesse en composés bioactifs, notamment les polyphénols, les acides organiques et certains métabolites issus du processus de fermentation. De plus, les résultats obtenus révèlent que certains vinaigres

présentent, à fortes concentrations, une activité inhibitrice supérieure à celle de l'acarbose, référence thérapeutique utilisée dans le contrôle de l'hyperglycémie postprandiale. Ces observations suggèrent que les vinaigres de dattes, en tant que produits fermentés naturels, pourraient constituer une alternative prometteuse pour la prévention et la gestion de l'élévation de la glycémie après les repas.

Malgré les différences observées entre les échantillons étudiés, les résultats obtenus confirment que les vinaigres traditionnels de dattes possèdent des caractéristiques qualitatives et fonctionnelles importantes, leur permettant d'être considérés comme des produits naturels à forte valeur ajoutée. Cette étude souligne ainsi l'intérêt de valoriser les variétés de dattes à faible valeur commerciale à travers leur transformation en produits fermentés innovants, tout en encourageant la poursuite des recherches sur leurs propriétés biologiques et thérapeutiques dans le cadre du développement de produits alimentaires fonctionnels et durables.

Dans cette perspective de valorisation des ressources phoenicicoles locales et afin d'approfondir les connaissances sur les potentialités nutritionnelles et thérapeutiques des vinaigres de dattes, plusieurs axes de recherche méritent d'être explorés.

- Étendre l'étude à d'autres variétés afin de comparer leurs caractéristiques physico-chimiques, biochimiques et leurs propriétés biologiques.
- Concernant l'activité antidiabétique, évaluer l'effet du vinaigre sur d'autres enzymes impliquées dans le métabolisme des glucides, notamment l' α -glucosidase, afin de mieux caractériser son potentiel antidiabétique.

***Références
Bibliographiques***

Références Bibliographiques

- **ABDELAZIZ, A et ABISMAIL HEDJOUDJA, N. (2025).** *Évaluation de quelques activités biologiques des extraits aqueux et polysaccharidiques de dattes (Phoenix dactylifera L.) de la région de Ghardaïa.* Mémoire de master en Biochimie appliquée. Université de Ghardaïa.
- **Abdul Aala Najmus, S., Philip John, W. (2011).** Differential behaviour of the dinitrosalicylic acid (DNS) reagent towards mono- and di-saccharide sugars. *Biomass and Bioenergy*, 35(11), 4748–4750.
- **AFNOR. (1982).** *Recueil denormes françaises des produits dérivés des fruits et légumes jus de fruits.* AFNOR, 325p.
- **Akgün, F., Sıla Tuğlu, N., Gülbahar Açıl, Y., Eruygur, N. (2023).** Investigation of *in vitro* antidiabetic and antioxidant activity of hawthorn vinegar obtained from Endemic *Crataegus tanacetifolia* (Poir.) Pers. *Eurasian Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(2), 104-108.
- **Aleixandre, A., Vicente Gil, J., Sineiro, J., Rosell, C.M. (2022).** Understanding phenolic acids inhibition of α -amylase and α -glucosidase and influence of reaction conditions. *Food Chemistry*, 372, 131231
- **Al-Farsi, MA & Lee, CY. (2008).** Propriétés nutritionnelles et fonctionnelles des dattes : une revue. *Revue critique des sciences et de la nutrition alimentaires*, 48, 877–887.
- **Ali, Z., Ma, H., Rashid, M. T., Wali, A. et Younas, S. (2019).** Preliminary study to evaluate the phytochemicals and physiochemical properties in red and black date's vinegar. *Food Science & Nutrition*, 7, 1976–1985.
- **Al-Kharousi, Z.S., Al-Ramadhani, Z., Al-Malki, F. A., et Al-Habsi, N. (2024).** Date Vinegar: First Isolation of *Acetobacter* and Formulation of a Starter Culture. *Foods*, 13, 1389.
- **Allai, N & Aoutti, I. (2021).** *Détermination de la conductivité électrique du sol et estimation de la salinisation liée à l'eau d'irrigation au niveau de quelques régions Sahariennes.* Mémoire de Master, Spécialité : Protection de la ressource Sol, Eau et Environnement, Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Kasdi Merbah - Ouargla (Algérie). Sous la direction de Mme. Mabrouka Oustani.
- **Al-Malki, F.A., Al-Kharousi, Z.S., Guizani, N., Ismail M. Al-Bulushi, I.M., Al-Sadi,**

- A.M. (2023).** Fermentative microbiota and chemical characterization of traditional date vinegar with promising biotechnological applications. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1142152.
- **Apostolidis, E., Kwon, Y.-I., Shetty, K. (2007).** Inhibitory potential of herb, fruit, and fungal-enriched cheese against key enzymes linked to type 2 diabetes and hypertension. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 8, 46–54.
 - **Arab, H., Guezoun, K. (2003).** *Contribution à l'étude des caractéristiques physico-chimiques et Biochimiques du vinaigre traditionnel de dattes de cuvette d'Ouargla : vertu thérapeutique.* Mémoire DES. Univ d'Ouargla.
 - **Audigie c., Dupont g., et Zonszain f, (1995).** *Principe des methods d'analyse biochimique*, 2^{ème} Edition. Ed. Biosciences et Technique, Paris. 44-56p
 - **Aziz Awan, K., Yaqoob, S., Ul-Haq, I., Naveed, H., Imtiaz, A., Shaukat, A., Sultan, W., Shen, Q., Qian, J.-Y., & Alum, E. U. (2025).** Therapeutic Power of Date Fruit (*Phoenix dactylifera* L.): A Nutrient-Rich Superfood for Holistic Health and Disease Prevention. *Food Science & Nutrition*, 13, e70896.
 - **Baba, N., Higashi, Y., et Kanekura, T. (2013).** Le vinaigre noir japonais « Izumi » inhibe la Prolifération des cellules du carcinome épidermoïde humain par nécroptose. *Nutrition et cancer*, 65, 1093–1097.
 - **Baruah, R.R & Patle, D. (2025).** Computational and biological perspective of phytoconstituents and their synthetic derivatives in antidiabetic therapy. *Letters in Drug Design & Discovery*, 22, 100060.
 - **Beheshti, Z., Chan, YH, Nia, HS, Hajihosseini, F., Nazari, R., Shaabani, M., ... Huak, Y. (2012).** Influence du vinaigre de cidre sur les lipides sanguins. *Journal des sciences de la vie*, 9, 2431–2440
 - **Bekkair, I. (2024).** *Fabrication de vinaigre à partir des dattes : comparaison avec les vinaigres commerciaux et analyse par chromatographie sur couche mince (CCM).* Université de Ghardaïa.
 - **Belhai, R et Habbaz, K. (2019).** *Activités anti-oxydante, antibactérienne et antidiabétique des différents extraits d'Ammodaucus leucotrichus.* Mémoire de master en Qualité des produits et sécurité alimentaire. UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA.
 - **BEN SEMAOUNE Y., SENOUSSE A. et FAYE B. (2019).** *Typologie structurale des élevages camelins au Sahara septentrional Algérien-cas de la willaya de Ghardaïa.*

31p.

- **Benayad, B., Azzouz, F., Benmohamed-Bouazza, K., Bennouna, F., Mebarki-Sennour, K. (2010).** *Contrôle de la qualité et analyse*. Edition n° 5155. P 20-22.
- **Beneddine, D & Bentadj, S. (2009).** *Recherche des substances toxiques dans le vinaigre traditionnel de datte*. UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA.
- **Benkhelifa, N. (2018).** *Etudes des caractéristiques physicochimiques, biochimiques et activité antioxydante de quelques vinaigres traditionnels de la région de Ghardaïa*. Mémoire de master en Biochimie Appliquée. Université de Ghardaïa.
- **Benyahia-Krid, F. A., Khemissat, E., Zitoun, O. A., Djafri, K., Bergouia, M., Meghzili, B., & El-Mechta, L. (2021).** Technological valorization of Algerian dates downgraded from Deglet Nour variety to semi-candied dates in dates syrup. *Food and Nutrition Sciences*, 12(6), 627–642.
- **Bertelli, D., Maietti, A., Papotti, G., Tedeschi, P., Bonetti, G., Graziosi, R., Plessi, M. (2015).** Activité antioxydante, composés phénoliques et caractérisation RMN du vinaigre balsamique et du vinaigre balsamique traditionnel de Modène. *Méthodes d'analyse des aliments*, 8, 371–379.
- **Bordiga, M., Guzzon, R., Manfredi, M., Barberis, E., Grasso, S. Benítez-González, A.M., Meléndez Martínez, A. J., Travaglia, F., Arlorio, M., Daniel Co, J. (2023).** Characterisation of Diospyros kaki (persimmon) vinegars produced with different microorganisms. *Food Bioscience*, 55, 102987.
- **Boual z., Kemassi a., Michaud p., Ould el hadj m.d. (2011).** Caractérisation partielle des polysaccharides hydrosolubles des feuilles d'asphodelustenuifoliuscavan (liliaceae) : effet prébiotique des oligosaccharides issus de l'hydrolyse des polysaccharides. *Algerian journal of arid environment*, 1, 52-60p.
- **Boual, Z., Kemassi, A., Hamid oudjana, A., Michaud, P., Ould el hadj, M.D. (2013).** Caractérisation partielle des polysaccharides hydrosolubles des feuilles de Malva parviflora L. (Malvaceae) : activité périodique. *Lebanese Science Journal*, 14(2), 41-51.
- **BOUDERBALA, S., BENBELKACEM, M., SAMBA GARBA, M. (2023).** Composition biochimique et teneurs en composés phénoliques du vinaigre extrait de quelques variétés de dattes du Sud Algérien. *Société Algérienne de Nutrition*, 12(02), 70-79.
- **Bouhlali, E.T. Ramchoun, M., Alem, C., Ghafoor, K., Ennassir, J., Zegzouti, Y. F.**

- (2015). Functional composition and antioxidant activities 5 of eight Moroccan date fruit varieties 6 (Phoenix dactylifera L.). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, Pages 8.
- **Boumazza, S. (2015).** *Evaluation rapide des protéines par turbidimétrie : Application à quelques effluents agro-alimentaires avant et après un traitement de clarification.* Thèse de Doctorat en Biochimie Appliquée. UNIVERSITE BADJI MOKHTAR – ANNABA.
 - **Bouziane, M. (2016).** *Problèmes d'analyses reels* . Université Kasdi Merbah-Ouargla.
 - **Bradford, M. M. (1976).** A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding', *Analytical Biochemistry*, 72(1–2), pp. 248–254. doi: 10.1016/0003- 2697(76)90527-3.
 - **Chafi A., Benabbes R., Bouakka M., Hakkou A., Kouddane N., Berrichi A. (2015).** Pomological study of dates of some date palm varieties cultivated. *JMESCN*, 6(5), 1266-1275.
 - **Cheikh, M. (1994).** *Contribution à l'étude de la production d'alcool et de vinaigre par quatre variétés de dattes communes (Degla Beida, Tacherwit, Hamraya et Assabri) de la cuvette d'Ouargla.* Thèse ing. INFS/AS, Ouargla.
 - **Chen g.l., Zheng f.g., Sun j., Zhi-chun li., Lin b., Li y.r. (2014).** *Production and Characteristics of High-Quality Vinegar from Sugarcane Juice*, p93.
 - **Chen, H., Chen, T., Giudici, P. et Chen, F. (2016).** Fonctions du vinaigre sur la santé : constituants, sources et mécanismes de formation : Fonctions du vinaigre sur la santé. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(6), 1124–1138.
 - **Chen, JC, Tian, JJ, Ge, HF, Liu, RH et Xiao, JB (2016).** Effets de tétra Effets de la méthylpyrazine issue du vinaigre noir chinois sur les activités antioxydantes et hypolipémiantes dans les cellules HepG2. *Toxicologie alimentaire et chimique*, 109, 930–940.
 - **Cho, HD., Lee, JH., Jeong, JH., Kim, JY., Paek, ST., Lee, MK et Seo, KI. (2015).** Production d'un nouveau vinaigre aux propriétés antioxydantes et anti-fatigue à partir de *Salicornia herbacea* L. *Journal des sciences de l'alimentation et de l'agriculture*, 196, 1085–1092.
 - **Cirlini, M., Caligani, A., Palla, G. (2009).** Formation of glucose and fructose acetates during maturation and ageing of balsamic vinegars. *Food Chemistry*, 112, 51-56.
 - **CLEMENT. J.M. (1978).** *Dictionnaire des industries alimentaires.* Ed. Masson, paris.

- **Cocchi, M., Durante, C., Grandi, M., Lambertini, P., Manzini, D., Marchetti, A. (2006).** Simultaneous determination of sugars and organic acids in aged vinegars and chemometric data analysis. *Analytical Chemistry*, 69, 1166-1175.
- **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, 1692.
- **Feng, J., & Kong, F. (2022).** Enzyme inhibitory activities of phenolic compounds in pecan and the effect on starch digestion. *International Journal of Biological Macromolecules*, 220, 117–123.
- **Dahmani, S & Rebbouh, I. (2009).** *Etude comparative des caractéristiques physicochimiques de différents types de vinaigres : Le vinaigre traditionnel de dattes (Deglet Nour, Degla Beida, Tacherwit), vinaigre de pommes et vinaigre vendu en épicerie*. Université Kasdi Merbeh -Ouargla
- **Delattre, C. (2005).** *Stratégie d'obtention d'oligosaccharides anioniques par dégradation enzymatique de gluconate*, p. 4-11.
- **Dida, A., M. Djellabi, S. (2022).** *Les analyses physico-chimiques et biochimiques de quelques vinaigres traditionnels de dattes dans la cuvette de Ouargla* (Mémoire de master). UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA.
- **Djaoudene, O., Mansinhos, I., Gonçalves, S., Jara-Palacios, M. J., Bachir bey, M., & Romano, A. (2021).** Le profil phénolique, l'activité antioxydante et les capacités inhibitrices enzymatiques des extraits de fruits et de graines de différents cultivars algériens de dattes (*Phoenix dactylifera* L.) ont été affectés par une digestion gastro-intestinale simulée in vitro. *South African Journal of Botany*, 137, 133-148.
- **Djerbi, M. (1994).** *Précis de phoeniculture*. Rome : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), 192 p.
- **Driss, O. (2021).** *Le vinaigre de cidre de pomme : propriétés physicochimiques, identification des molécules bioactives et applications thérapeutiques*. Thèse de doctorat. Université sidi mohammed ben abdellah de fès.
- **Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., Smith, F. (1956).** Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28(3), 50-356.
- **Espiard, E. (2002).** *Introduction à la transformation industrielle des fruits*. Ed. Lavoisier, pp147-155.

- FAOSTAT.(2025, Mai 14). <https://www.fao.org/faostat/ar/#data/QCL/visualize>
- Follman H. (1983). «Acetic-acid ». Vol 5. Chap 3. P 388-407
- Ghebregzabeier m., Rufini s., Monaldi b., Lato m. (1975). Thin-layer chromatography of carbohydrates. *Chromatography*, 127, 133-162.
- Gopinath, S. M., Priyanka, P., Dayananda, K. S., Reddy, J. M., Ashwini Patil, G. M., & Drishya, V. N. (2013). *In vitro inhibitory effect of polyherbal formulation on alpha-amylase. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2(9), 4556–4566.
- Hadj Amar, Z. (2024). *TP Problèmes d'analyses réels*. Université de Ghardaïa.
- Hafidi, M., & Messaoudi, H. (2015). *Contribution à l'étude des caractéristiques physicochimiques et biochimiques du vinaigre traditionnel de dattes "Hmira, Tinaceur" de la cuvette d'Adrar* (Doctoral dissertation, Université Ahmed Draia-ADRAR).
- Hegazi, A.G., Melebari, M., Al Guthami, F. M., Ramadan, M. F. A., Al Gethami, A. F. M., Gazi, K. S., Thabet, M. A., Alpakistany, T., Hroobi, A. A., Al Guthami, A. F., Taha, T. M. and Salud J. Serrano, S. J. (2024). Physicochemical, Antimicrobial and Bioactive Properties of Date Vinegar. *Egyptian Journal of Veterinary Sciences*, pp. 1-9.
- Hindi, NK. (2013). In vitro activité antibactérienne de l'extrait d'ail aquatique, vinaigre de cidre et une combinaison de vinaigre de cidre et d'extrait d'ail. *Journal américain de phytomédecine et de thérapeutique clinique*, 1, 42–51.
- Ho, Chin Wai., Lazim, Azwan Mat., Fazry, Shazrul., Zaki, Umi Kalsum Hj Hussain., Lim, Seng Joe. (2017). Varieties, production, composition and health benefits of vinegars: A review. *Food Chemistry*, 221, 1621-1630.
- Ho, CW, Lazim, AM, Fazry, S., Zaki, UK et Lim, SJ. (2016). Variétés, production, Composition et bienfaits des vinaigres pour la santé : une revue. *Chimie alimentaire*, 221, 1621–1630.
- Hoton-dorge m. (1976). Séparation des aldoses et des polysaccharides par chromatographie sur couche mince de cellulose et nouveau réactif de pulvérisation permettant leur révélation sensible. *Chromatography*, 116, p 417-423.
- Hou, Z., Zhang, J., Dang, L., Xue, H., Chen, M., Bai, B., Yang, Y., Bo, T. and Fan, S. (2023). Correlation Analysis of Microbial Community Changes and Physicochemical Characteristics in Aged Vinegar Brewing. *Foods*, 12(18), 3430.
- Iranpour, S. et al. (2016). Enhanced stimulation of anti-breast cancer T cells responses

by dendritic cells loaded with poly lactic-co-glycolic acid (PLGA) nanoparticle encapsulated tumor antigens'. *Journal of Experimental & Clinical Cancer Research*, 35p. 168. doi: 10.1186/s13046-016-0444-6.

- **Johnston, C.S & Gass, C. A. (2006).** Vinegar: medicinal uses and antiglycemic effect. *Med Gen Med*. 30, 8(2), 61.
- **Kolai, N., Berkani, A., Lotmani, B. (2006).** *Analyse chromatographique (CCM) des flavonoïdes des feuilles des citrus en relation avec le taux de contamination de phyllocnistis citrella saint (lepidopetra, Gracillaridae)*. Thèse de magistère
- **LAFOURCADE, S.L. (1978).** *Les origines microbiologiques de l'acidité volatile des vins*. Microbiologie et industrie alimentaire. Ed Apria. P 33-48.
- **Lankatillake, C., Huynh, T. and Dias, D.A. (2019).** Understanding glycaemic control and current approaches for screening antidiabetic natural products from evidence-based medicinal plants. *Plant Methods*, 15, 105
- **Lare N'pagyendou, E., Sabi-Ali, A. (2015).** *Extraction du lysozyme du blanc d'œuf de poule et mise en évidence de son activité antibactérienne sur : Staphylococcus aureus et Escherichia coli*. Mémoire de Master en Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire. UNIVERSITE 8 MAI 1945 GUELMA.
- **Luzón-Quintana, L.M., Castro, R., Durán-Guerrero, E. (2021).** *Biotechnological Processes in Fruit Vinegar Production*. Foods MDPI.
- **Maatallah S., (1970).** *Contribution à la valorisation des dattes algériennes*. Thèse Ing.ina El-Harrach : 102-103.
- **Maud Fumex. (2021).** *Les différentes méthodes d'analyse quantitative des protéines dans le domaine pharmaceutique : description, comparaison et nouvelles perspectives*. Thèse de Doctorat en PHARMACIE. UNIVERSITE DE LORRAINE.
- **Mechraoui, N., & Belkhadem, S. (2009).** *Essai d'Incorporation de la Farine de Dattes Variétés « Mech-Degla » en Biscuiterie* [Mémoire de Master, Université Echahid Hamma Lakhdar - El Oued].
- **Moein, S., Moein, M., & Javid, H. (2022).** Inhibition of α -Amylase and α -Glucosidase of Anthocyanin Isolated from *Berberis integerrima* Bunge Fruits: A Model of Antidiabetic Compounds. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2022, 6529590.
- **Mohammad F. Turk, Alain Baron and Eugene Varobiev. (2010).** Effect of pulsed electric fields treatment and mash size on extraction and composition of apple juices.

- Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 9611- 9616
- **OENO 52-2000**, Chapitre I, vinaigres de vin – déterminations de la teneur en acidité totale.
 - **Ould El-Hadj M.D., Sebihi A.H., Siboukeur O. (2001).** *Qualité hygiénique et caractéristique physico-chimique du vinaigre traditionnel de quelques variétés de dattes d'Ouargla. Revue Energie Renouvelable : Production et valorisation-Biomasse*, pp 87-92.
 - **Petsiou, EI., Mitrou, PI., Raptis, SA et Dimitriadis, GD (2014).** L'effet et moi-Mécanismes d'action du vinaigre sur le métabolisme du glucose, le profil lipidique et le poids corporel. *Revue de nutrition*, 72, 651–661.
 - **Refaie Muhammed, Y. M., Cavoski, I., Apa, C. A., Celano, G., Spagnuolo, M., Minervini, F. and Angelis, M. D. (2026).** Valorization of Organic Third-Category Fruits Through Vinegar Fermentation: A Laboratory-Scale Evaluation of Apples, Peaches, and Clementines. *Foods*, 15(2), 238.
 - **Ruiz, G. (2005).** *Extraction, Détermination Structurale et Valorisation Chimique de Phycocolloïdes d'Algues Rouges.* Thème Doctorat. Université de Limoges, P38-189.
 - **Sebihi A.H. (1996).** *Contribution à l'étude de quelques paramètres de la qualité hygiénique et biochimique du vinaigre traditionnel de quelques variétés de dattes de la cuvette D'Ouargla.* Thèse d'ingénieur. INFS/AS, université d'Ouargla. 48 p.
 - **Statistiques agricole, MADR; 2021.** (s. d.). Consulté 15 mai 2025, à l'adresse <https://madr.gov.dz/wp-content/uploads/2022/04/SERIE-B-2019.pdf>.
 - **Świąder K., Bialek K., Isleten Hosoglu M. (2020).** Varieties of date palm fruits (*Phoenix dactylifera* L.), their characteristics and cultivation®. *PostępyTechniki Przetwórstwa Spożywczego*, (1),173-9.
 - **Tahir, Sidi-Mohammed (2020).** *Analyse physico-chimique de quelques vinaigres fabriqués en Algérie.* Mémoire de Fin d'Études pour l'obtention du diplôme de Master en Nutrition, Alimentation et Diététique. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers, Département de Biologie, Université Abou Bekr Belkaïd – Tlemcen, Algérie, 55 p.
 - **Tajini, F., Bouali, Y., & Ouerghi, A. (2020).** Etude de la qualité nutritionnelle de fruit de *Phoenix dactylifera* L. : mesure des paramètres biochimiques. *Revue Nature et Technologie*, 12(2), 39-49.
 - **Verghese M., Kaur R., & Singh H. (2024).** Health Benefits of Dates; Antioxidative

and Selected Enzyme Modulation. *Global Journal of Nutrition & Food Science*, 5(2), 7.

- **Wang, W., Zhang, F., Dai, X., Liu, Y., Mu, J., Wang, J., Ma, Q. and Sun, J. (2023).** Changes in vinegar quality and microbial dynamics during fermentation using a self-designed drum-type bioreactor. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1126562.
- **Xia, T., Yao, J., Zhang, J., Duan, W., Zhang, B., Xie, X., Wang, M. (2018).** Évaluation de Compositions nutritionnelles, composés bioactifs et activités antioxydantes des vinaigres vieillis du Shanxi au cours du processus de vieillissement. *Journal des sciences alimentaires*, 83, 2638–2644.
- **Xia, T., Zhang, B., Duan, W., Zhang, J., Wang, M. (2020).** Nutrients and Bioactive Components of Vinegar: A Fermented and Functional Food. *Journal of Functional Foods*, 64, 103681.
- **Young-Ran, S., Nam-Sik, S., Sang-Ho, B. (2014).** Physicochemical properties, antioxidant activity and inhibition of α -glucosidase of a novel fermented pepper (*Capsicum annuum* L.) leaves-based vinegar. *International Journal of Food Science and Technology*, 49, Pages 2491–2498.
- **Yusoff, M. H. Md. & Muhammad Hakim Shafie, M. H. (2024).** A review of *in vitro* antioxidant and antidiabetic polysaccharides: Extraction methods, physicochemical and structure-activity relationships. *International Journal of Biological Macromolecules*, 282, 137143.
- **Zeribi, H. (2020).** *Contribution à l'amélioration des techniques de production du vinaigre des dattes*. Mémoire de Master, Université Mohamed Khider de Biskra, Département des Sciences Agronomiques, 58 pages.
- **Zimouche, K et Fellahi, A. (2022).** *Les urgences toxicologiques pédiatriques au CHU de TiziOuzou : état des lieux et pertinence de l'analyse toxicologique lors de l'intoxication aigue de l'enfant*. Université MOULOUD MAMMERI.

Annexes

-Annexe I-
Verreries et appareillages



(Laiourate et Reffis, 2026)

Pycnomètre
(Photo originale, 2026).



(Laiourate et Reffis, 2026)

Vortex
(Photo originale, 2026).



(Laiourate et Reffis, 2026)

Spectromètre
(Photo originale, 2026).



(Laiourate et Reffis, 2026)

Etuve
(Photo originale, 2026).



(Laiourate et Reffis, 2026)

Plaque chauffante + Agitateur
(Photo originale, 2026).



(Laiourate et Reffis, 2026)

Balance de précision
(Photo originale, 2026).



(Laiourate et Reffis, 2026)

Bain Marie
(Photo originale, 2026).



(Laiourate et Reffis, 2026)

Conductimètre
(Photo originale, 2026).



(Laiourate et Reffis, 2026)

Four à Moufle
(Photo originale, 2026).

-Annexe II-

Préparation de réactif de NIGRUM

Le réactif Nigrum, utilisé pour la révélation des plaques, est préparé selon la méthode modifiée de **Ghebregzabeier et al, (1975)**. Deux solutions, A et B, sont d'abord préparées :

- **Solution A** : dissolution de 1 g de diphénylamine dans 25 ml d'acétone, agitée pour homogénéisation.
- **Solution B** : mélange de 24 ml d'acétone complétés à 25 ml avec de l'aniline.

Après avoir mélangé les solutions A et B, on ajoute 5 ml d'acide orthophosphorique à 85 % à la préparation finale.

-Annexe III-

Tableau 1 : Élaboration de la gamme d'étalonnage du glucose

	Blanc	0,001%	0,002%	0,005%	0,008%	0,01%
Eau Distillée (µl)	1000	900	800	500	200	0
Glucose 0,01%(µl)	0	100	200	500	800	1000
Concentration(mg/l)	0	10	20	50	80	100

-Annexe IV-
Réactif de Bradford

Dissoudre **10 mg** de bleu de Coomassie G-250 dans **5 ml** d'éthanol à **95 %**. Ensuite, ajouter **10 ml** d'acide phosphorique à **85 % (p/v)** tout en agitant. Finalement, diluer la solution avec de l'eau distillée jusqu'à atteindre un **volume total de 100 ml** (Lare N'pagyendou et Sabi-Ali. 2015).

-Annexe V-
BSA (Albumine Sérique Bovine)

Solution mère de BSA **0,2g** dans **100ml** d'eau distillée.

Tableau 2 : Préparation des dilutions de la solution mère BSA (Volume Total = 2ml).

	Blanc	T0, 25	T0, 5	T1	T1, 4
BSA (2MG/ML)	0 ml	0,25ml	0,5ml	1ml	1,4ml
EAU DISTILLÉE	2 ml	1,75ml	1,5ml	1ml	0,6ml
Concentration BSA en mg/ml	0	0,25	0,5	1	1,4

-Annexe VI-

Calcul de la teneur en alcool résiduel

- Degré alcoolique du vinaigre de départ :

1. Quantité de matière initiale d'ion dichromate :

-Dichromate ($K_2Cr_2O_7$) = 0,1142 mol/l

-volume initial (V_0) = 5ml

$$n_0 = C \cdot V = 0,1142 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 0,57 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

2. Quantité de matière initiale d'ion dichromate en excès :

Némoraux (fer) = V (vinaigre de Hchef) * concentration sel de mohr

$$\begin{aligned} &= 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,343 = \\ &= 0,417 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \end{aligned}$$

Alor : 1 mol de dichromate = 6 mol de fer

$$n(\text{excès}) = 0,417 \cdot 10^{-3} / 6 = 0,696 \cdot 10^{-3} \text{ mol (Quantité qui réagit)}$$

3. Quantité de matière initiale d'ion dichromate réagissant avec l'alcool :

$$\begin{aligned} n &= n_0 - n(\text{excès}) \\ &= 0,57 \cdot 10^{-3} - 0,696 \cdot 10^{-3} \\ &= 0,5004 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \end{aligned}$$

4. Alcoométrie :

$$\begin{array}{ccc} 1 \text{ mol} & \longrightarrow & 1,5 \text{ mol ethanol} \\ 0,5004 \cdot 10^{-3} \text{ mol} & \longrightarrow & ? \end{array}$$

$$\begin{aligned} &= 1,5 \cdot 0,5004 \cdot 10^{-3} \\ &= 0,7506 \cdot 10^{-3} \text{ mol d'alcool contenu dans 5 ml de distillat} \end{aligned}$$

- $0,7506 \cdot 10^{-3} \cdot 50 \text{ ml} = 37,53 \cdot 10^{-3} \text{ mol d'alcool contenu dans 50 ml de vinaigre}$
- $37,53 \cdot 10^{-3} / 50 \cdot 10^{-3} = 0,7506 \text{ mol/l d'alcool dans vinaigre}$

5. Masse d'alcool (g) dans 1 L de vinaigre :

Masse d'alcool (g) dans 1 L de vinaigre = quantité de matière (mol) * masse molaire (g/mol)

$$= 0,7506 \cdot 46 = 34,52 \text{ g}$$

Soit 3,452 g d'alcool dans 100 ml de vinaigre

$$\begin{aligned} \text{Volume (ml)} &= \text{masse (g)} / \text{masse volumique (g/ml)} \\ &= 3,452 / 0,79 \end{aligned}$$

$$= 4.36 \text{ ml (4.36 } ^\circ \text{)}$$

- Volume d'alcool dans 100 ml de vinaigre de Hchef 4.36 ml (4.36 °)
- Volume d'alcool dans 100 ml de vinaigre de Timjouhert 4.47 ml (4.47 °)
- Volume d'alcool dans 100 ml de vinaigre de Pomme 4.62 ml (4.62 °)

Note : Les mêmes étapes de calcul ont été appliquées avec du vinaigre de pomme et celui de Timjouhert.

-Annexe VII-

Préparation du solution tampon phosphate (0.02M, pH 6.9)

Une solution acide de phosphate monosodique (NaH_2PO_4) à une concentration de 0,02 mol/L a été mélangée à une solution basique de phosphate disodique (Na_2HPO_4) de même concentration afin d'obtenir une solution tampon. Le pH a ensuite été ajusté à 6,9 à l'aide d'une solution de NaCl à 0,006 M.

-Annexe VIII-

Préparation de réactif DNS

On dissout lentement 1 g d'acide 3,5-dinitrosalicylique en chauffant dans 70 ml de solution de NaOH 0,5 N. Puis, on ajoute 60 g de tartrate de sodium et de potassium, avant de compléter le volume avec de l'eau distillée jusqu'à 100 ml. Ce réactif, de couleur orange, conserve sa stabilité pendant plusieurs jours à température ambiante (**Abdul Aala Najmus et Philip John, 2011**).

-Annexe IX-

Préparation de la solution mère de l'acarbose

On dissout 10mg de solution de l'acarbose dans 10ml de l'eau distillée.

Tableau 3 : dilutions de solution mère d'acarbose

Volume Total = 1ml

Concentration	0,5%	0,8%	1%	1,5%	2%
Solution de l'acarbose	5 μ l	8 μ l	10 μ l	15 μ l	20 μ l
Eau Distillée	995 μ l	992 μ l	990 μ l	985 μ l	980 μ l

-Annexe X –

Tests de corrélation de l'inhibition de l'amylase en fonction des paramètres physico-chimiques

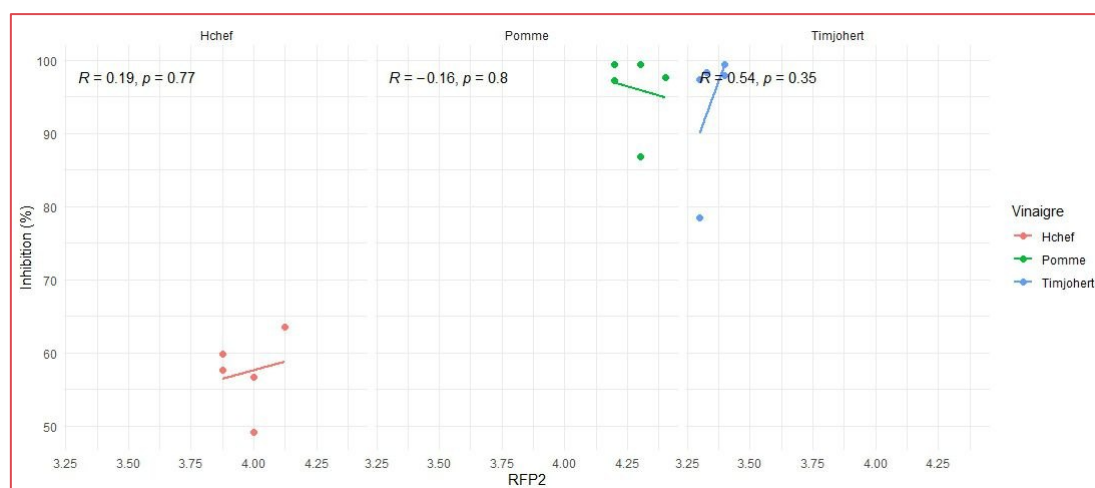


Figure 01 : Test de corrélation de l'inhibition de l'amylase en fonction de Rf de système 02.

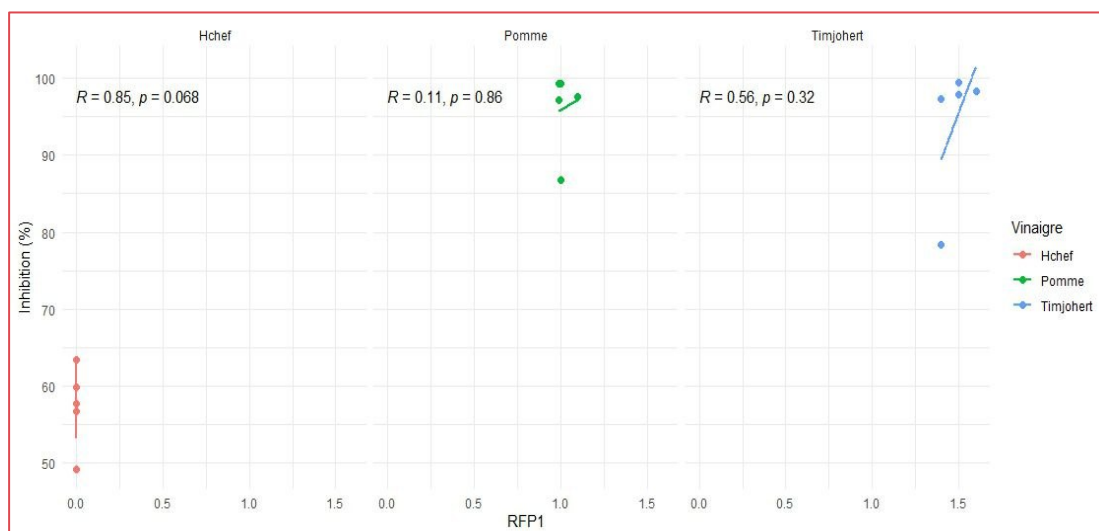


Figure 02 : Test de corrélation de l'inhibition de l'amylase en fonction de Rf de système 01.

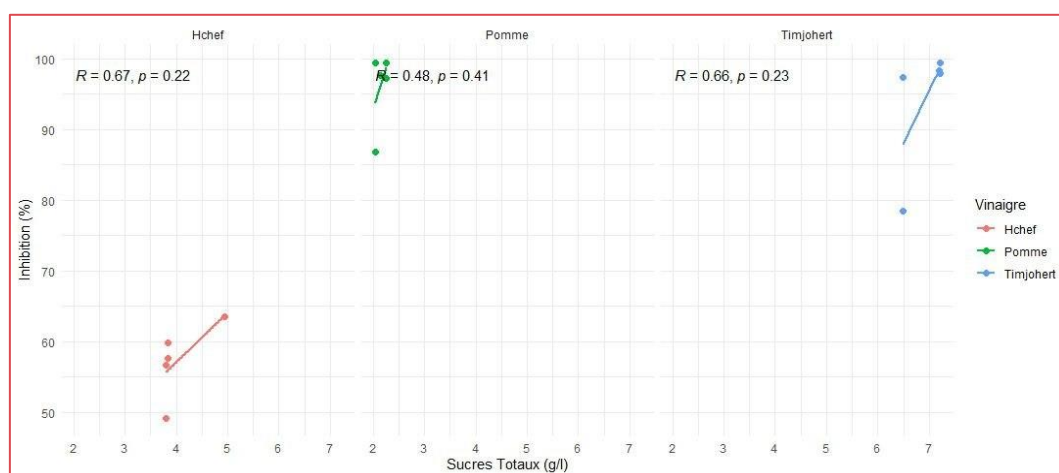


Figure 03 : Test de corrélation de l'inhibition de l'amylase en fonction de Sucres Totaux.

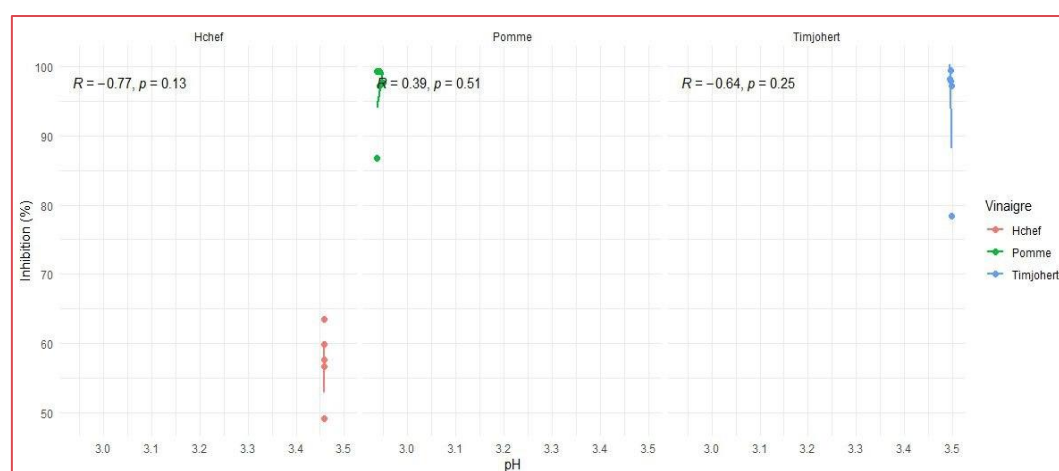


Figure 04 : Test de corrélation de l'inhibition de l'amylase en fonction de PH.

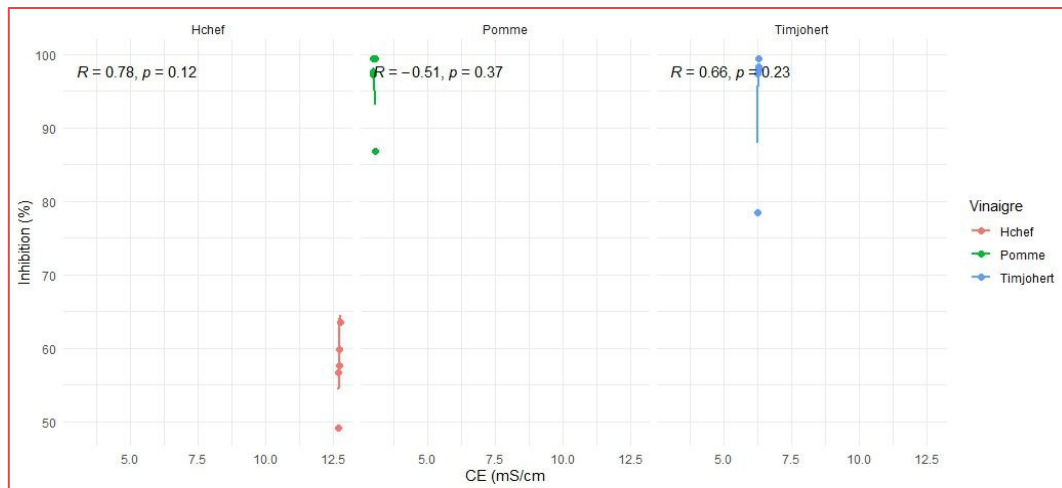


Figure 05 : Test de corrélation de l'inhibition de l'amylase en fonction de Conductivité Electrique.

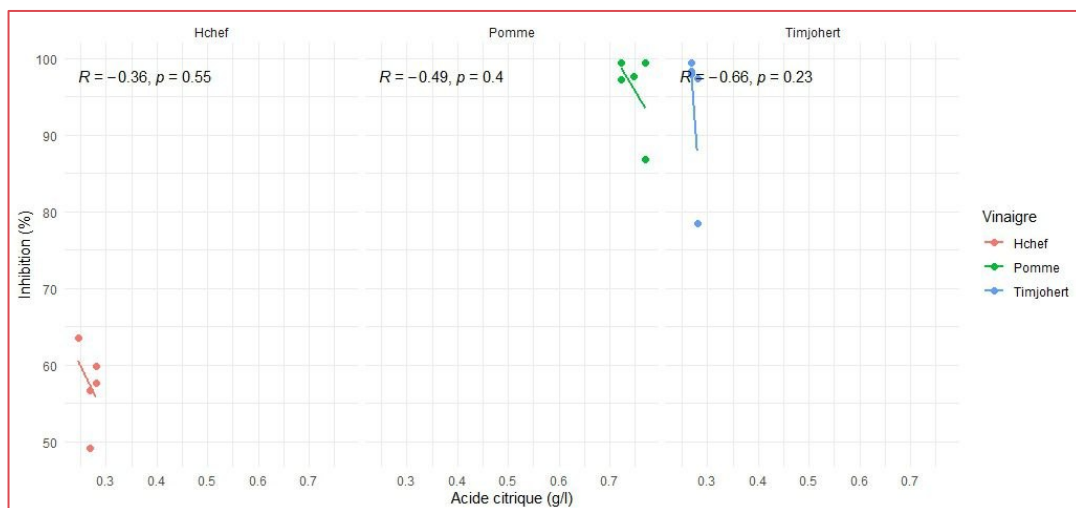


Figure 06 : Test de corrélation de l'inhibition de l'amylase en fonction de L'Acide Citrique.

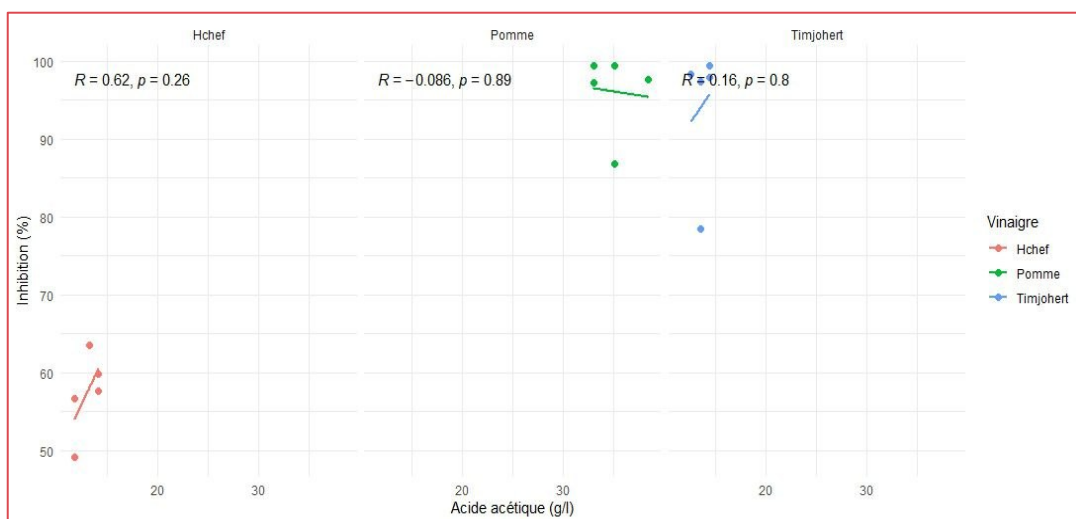


Figure 07 : Test de corrélation de l'inhibition de l'amylase en fonction de L'Acide Acétique.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique

Faculté des sciences de la nature et
de la vie et sciences de la terre

Département de Biologie
قسم البيولوجيا

جامعة غرداية



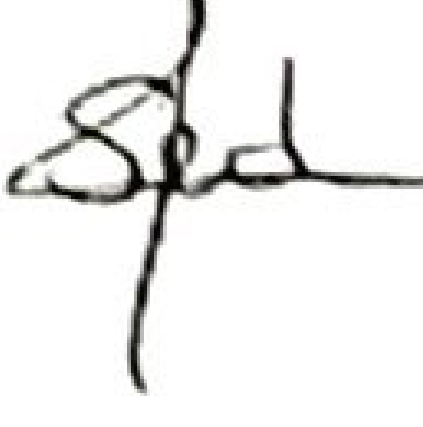
كلية علوم الطبيعة والحياة
وعلوم الأرض

Université de Ghardaïa

Ghardaïa le :

Rapport : Correction du mémoire

Enseignant (e) (s) Chargé (e) (s) de la correction :

Nom et prénom l'examineur 1 et Signature	Nom et prénom de l'examineur 2 et Signature	Nom et prénom de président et Signature
Melle SEDDIKI M. 	////////////////////	Mme BEN SANIA W. 

Thème :

Caractérisation physicochimique du vinaigre produit à partir de différentes
variétés de dattes et évaluation in vitro de son effet antidiabétique

Après les corrections apportées au mémoire, les étudiantes :

LAIOURATE Inas

REFFIS Setti

Sont autorisées à déposer le manuscrit au niveau du département.

Signature



Scanned with
TapScanner