

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE
ET DE BIOCHIMIE



DOMAINE : SCINCES DE LA NATURE
ET DE LA VIE

FILIERE : SCIENCES ALIMENTAIRES

OPTION : NUTRITION ET SCIENCES
DES ALIMENTS

N°:

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par :

AMROUNE Besma

BENSALEM Ikram

MOUSSAI Soumaia

Intitulé

**Formulation et caractérisation d'un yaourt à boire à
base de sirop de fruit de jujubier (*Zizyphus lotus Lam*).**

Soutenu devant le jury composé de :

Pr. AOUN Omar	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Président
Dr. HAMMOUI Yasmina	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Rapporteur
Dr. BELBAHI Amine	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Examineur

Année universitaire : 2022 /2023

Remerciements

*Nous tenons à remercier avant tout, **ALLAH** le tout puissant de nous avoir donné la santé, le courage, la volonté, la faculté et la patience de réaliser ce modeste travail.*

*Nous exprimons nos vifs remerciements à **Dr.HAMMOUI Yasmina**, pour avoir accepté de nous encadrer et diriger, pour ses prestigieux conseils, ses orientations, sa confiance qu'elle nous a témoigné, pour sa collaboration, sa disponibilité, son écoute et pour nous avoir donné les moyens et l'assistance nécessaire à la réalisation de notre travail.*

*Nous tenons à remercier **Pr.AOUN Omar**. qui fait l'honneur d'avoir accepté la présidence du jury et d'évaluer ce travail.*

*Nous exprimons également nos remerciements à **Dr.BELBAHI Amine**. qui nous a fait l'honneur d'examiner ce travail.*

*Nous tenons à remercier également Mr **SGHIRI Kamel** Responsable de laboratoire de la Faculté des Sciences Biologiques de l'université de M'sila et à toute l'équipe d'ingénieurs de laboratoire pour leur aide, leurs précieux conseils, et leur disponibilité.*

Sans oublier de remercier également les enseignants qui nous ont formés tout au long de notre parcours .

Enfin, nos remerciements s'adressent à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail ou qui nous ont encouragé et soutenu à tout moment.

Merci à tous

Ikram, Soumaïa et Bisma

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail A mes très chers parents, pour leurs
soutien moral et financier.*

À ma fille, mon ange adorable HANINE qui a attendu ce jour avec patience.

*À mes sœurs, frères ,et leurs femmes qui m'ont toujours encouragé et
poussé à donner le meilleur de moi-même.*

À toute ma grande famille.

À tous mes cousins, cousines, oncles et tantes.

À mes deux chers camarades IKRAM et BESMA.

Ainsi que tous les Collègues de ma promotion de NSA 2022/ 2023.

SOUMAIYA

Dédicace

Je dédie cet humble et modeste travail avec grand amour, sincérité et fierté :

À mes chers parents « ABDELOUAHABE et FATIHA » source de tendresse, de noblesse et d'affection, puisse cette étape constituer pour vous un motif de satisfaction.

À mon unique frère « ALAA EDDINE », mes sœurs « MADJDA et MANEL et mes nièces, qui ont été toujours à mes coté, à m'encourager merci beaucoup mes trésors que dieu vous garde.

À tous les membres de ma famille je cite en particulier ma tante KHADIDJA et ma cousine CHIRAZE.

À mes chères amis « SOUMAIA, BESMA et HALIMA »

À tous mes collègues de la promotion 2023.

Et à tout qui compulse ce travail.

IKRAM

Dédicace

Je dédie ce travail, comme preuve de respect, de gratitude, et de reconnaissance à :

À mes très chers parents

À ma sœur IBTISSAM

À SANAA, NARIMANE, MARAM et MALAK

À mon cher mari, pour la patience et le soutien dont il a fait preuve pendant toute la durée de ce travail et à qui je voudrais exprimer mes affections et mes gratitude

À mes enfants ALAA et YAZAN

À toute ma famille, et à mon binômes IKRAM

et SOUMAIA

À tous ceux qui, ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

BESMA

Résumé

Ce travail a pour objectif l'optimisation de formulation par "plan de mélange" d'un yaourt à boire à base de sirop de jujubier. En appliquant le plan "Extreme Veritces" et "le model D-optimale" huit formulations ont été préparées, nommés de "F₁ à F₈". Une caractérisation de la qualité physico-chimique et microbiologique ont été appliquées pour les composants entrants dans la préparation ainsi que pour les produits préparés. À partir des résultats obtenus, la formulation optimale était "F₃" qui avait enregistré un pH de 6,06 ; une acidité de 5,76°D, un taux d'humidité de 85,78% et un taux de cendre de 0,70% , une teneur en polyphénol totaux de 2,38 mg Eq. Acide gallique/g et en flavonoïde totaux de 1,19 mg Eq. Quercétine /g. Les résultats d'analyse microbiologique avaient confirmés une qualité hygiénique acceptable des produits préparés. Une analyse sensorielle a été réalisée ; elle avait montrés que la majorité des consommateurs ont appréciés la 8^{ème} formulation.

Mots clés : optimisation, plan de mélange, yaourt à boire, jujubier, qualité physico-chimique, qualité microbiologique, analyse sensorielle.

Summary :

This work aims to optimize the formulation by "mixture design" of a drinking yogurt based on jujube syrup. By applying the "Extreme Veritces" plan and the "D-optimal model" eight formulations were prepared, named from "F1 to F8". A characterization of the physico-chemical and microbiological quality were applied for the components entering the preparation as well as for the prepared products. From the results obtained, the optimal formulation was "F3" which recorded a pH of 6.06; an acidity of 5.76°D, a moisture content of 85.78% and an ash content of 0.70%, a total polyphenol content of 2.38 mg Eq. AG /g and in total flavonoids of 1.19 mg Eq. Qu /g. The microbiological analysis results had confirmed an acceptable hygienic quality of the prepared products. A sensory analysis was carried out; it had shown that the majority of consumers appreciated the 8th formulation.

Keywords: optimization, mixing plan, drinking yogurt, jujube, physico-chemical quality, microbiological quality, sensory analysis.

ملخص

يهدف هذا العمل إلى تحسين الصياغة عن طريق "تصميم الخليط" لشرب الزبادي على أساس شراب العناب. من خلال تطبيق خطة "الحقائق المتطرفة" و "نموذج D-الأمثل" تم إعداد ثمانية تركيبات ، سميت من "F1 إلى F8". تم تطبيق توصيف الجودة الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية للمكونات الداخلة في المستحضر وكذلك للمنتجات المحضرة. من النتائج التي تم الحصول عليها ، كانت الصيغة المثلى هي "F3" والتي سجلت درجة حموضة 6.06 ؛ حموضة 5.76 درجة د ، محتوى رطوبة 85.78% ومحتوى رماد 0.70% ، محتوى بوليوفينول كلي 2.38 mg مكافئ. AG / g وفي مجموع مركبات الفلافونويد 1.19 mg مكافئ. Qu/g. أكدت نتائج التحليل الميكروبيولوجي الجودة الصحية المقبولة للمنتجات المحضرة. تم إجراء تحليل حسي ؛ لقد أظهر أن غالبية المستهلكين يقدرون الصيغة الثامنة.

الكلمات المفتاحية: التحسين ، خطة الخلط ، شرب اللبن ، العناب ، الجودة الفيزيائية والكيميائية ، الجودة الميكروبيولوجية ، التحليل الحسي.

Liste des figures

Figure 1:	Photographie de la plante de <i>zizyphus lotus Lam</i>	3
Figure 2a:	Photographie de la plante de <i>zizyphus lotus Lam</i> (la partie tige).	4
Figure 2b:	Photographie de la plante de <i>zizyphus lotus Lam</i> (les parties de fleur et de feuille).	10
Figure 2c:	Photographie de la plante de <i>zizyphus lotus Lam</i> (la partie fruit).	10
Figure 3:	Représentation géométrique des mélanges à trois constituants.....	10
Figure 4:	Diagramme représentant les étapes de préparation de sirop de jujubier.	12
Figure 5a:	Photographie de fruit de “ <i>zizyphus lotus Lam</i> ”	13
Figure 5b:	Photographie du sirop de “ <i>zizyphus lotus Lam</i> ”	13
Figure 6:	Diagramme des étapes de préparation de yaourt à boire à base de sirop de Jujubier.	15
Figure 7:	Photographie de la salle de déroulement de l’analyse sensorielle.	20
Figure 8:	Le profil de prédiction pour la formulation optimale de yaourt à boire préparé à base de sirop de jujubier.	26
Figure 9a:	Les attributs sensoriels pénalisés pour le yaourt à boire nommé “F ₁ ” codé en 602.	28
Figure 9b:	Les attributs sensoriels pénalisés pour le yaourt à boire nommé “F ₂ ” codé en 381.	28
Figure 9c:	Les attributs sensoriels pénalisés pour le yaourt à boire nommé “F ₃ ” codé en 850.	29
Figure 9d:	Les attributs sensoriels pénalisés pour le yaourt à boire nommé “F ₄ ” codé en 122.	29
Figure 9e:	Les attributs sensoriels pénalisés pour le yaourt à boire nommé “F ₅ ” codé en 559.	30
Figure 9f:	Les attributs sensoriels pénalisés pour le yaourt à boire nommé “F ₆ ” codé en 967.	30
Figure 9g:	Les attributs sensoriels pénalisés pour le yaourt à boire nommé “F ₇ ” codé en 720.	31
Figure 9h:	Les attributs sensoriels pénalisés pour le yaourt à boire nommé “F ₈ ” codé en 103.	31
Figure 10:	La corrélation entre les variables et les facteurs du panel expert, pour les produits préparés.	33
Figure 11:	La carte des préférences des huit produits étudiés.	34

Liste des tableaux

Tableau 01 : Composition chimique de fruit de <i>zizyphus lotus Lam.</i>	5
Tableau 02 : Composition chimique du yaourt à boire dans 100g.	6
Tableau 03 : Les limites inférieures et supérieures pour les facteurs entrant dans la formulation de yaourt à boire.	13
Tableau 04 : Les proportions des facteurs correspondantes aux formulations préparées de yaourt à boire à base de sirop de jujubier selon le plan de mélange "Extrême Vertice".	14
Tableau 05 : Les quantités des facteurs (composants) entrant dans la préparation de 200g de yaourt à boire pour à base de sirop de jujubier, pour chacune des huit formules.	14
Tableau 06 : Les microorganismes recherchés dans le sirop de jujubier, sirop de datte, et dans les formulations de yaourt à boire à base de sirop de jujubier.	19
Tableau 07 : Les différentes formulations et les codes qui leurs correspondent.	20
Tableau 08 : Les résultats des analyses physico-chimiques de sirop de jujubier, de sirop de datte et de lait.	22
Tableau 09 : Les résultats d'analyses physico-chimiques des huit formulations préparées.	23
Tableau 10 : Les résultats de dosage des polyphénols totaux (TPC) et des flavonoïdes totaux (TFC).	24
Tableau 11 : Les résultats expérimentaux et prédictifs de l'analyse physico-chimique de la formulation optimale.	27
Tableau 12 : Les caractéristiques des produits de yaourt à boire préparé à base de sirop de jujubier " <i>zizyphus lotus Lam</i> ", nommées respectivement, "F ₁ ", "F ₂ ", "F ₃ ", "F ₄ ", "F ₅ ", "F ₆ ", "F ₇ " et "F ₈ " pénalisées négativement.	32
Tableau 13 : Pourcentage de juges satisfaits pour chaque produit.	34

Liste des abréviations

°C : degré Celsius. % : pourcentage.

°D : Degré Dornic

µl : Microlitre

ACP : Analyse Composante Principale

AG/g : Acide gallique par gramme

AGIS : Acide gras insaturé

AGS : Acide gras saturé

ANOVA : Analyses de la variance.

AOAC : Association des Chimistes Analytiques Officiels

BP : Beard Parker

CAH : Classification Ascendante Hiérarchique

Eq : Equation

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

F_i : Formulation N° i

FMAT : La flore mésophile aérobie totale

g : gramme.

h : Heure

JAR : Just About Righ.

JMP : John's Macintosh Project « Logiciel statistique »

kg : Kilogramme.

mg : milligramme.

min : Minute

ml : millilitre.

N : Normalité

PCA : Plate Count Agar

pH : potentiel d'Hydrogène µg : microgramme.

PREFMAP : External Preference Mapping

Qu/g : Quercétine par gramme

SPSS : Statistical Package for the Social Sciences

TFC : Total Flavonoïdes content

TPC : Total Phenolic Content.

V : Volume

VRBL : Violet Red Bile Lactose Agar

Xlstat : Excel stat

Table des matières

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique	
I.1. Jujubier ‘ <i>Zizyphus lotus Lam</i> ’	3
I.1.1. Caractérisation de jujubier ‘ <i>Zizyphus lotus Lam</i> ’	3
I.1.2. Répartition géographique de <i>zizyphus lotus Lam</i>	4
I.1.3. La Composition chimique de <i>zizyphus lotus Lam</i>	4
I.1.4. Intérêt nutritionnelle et thérapeutique de <i>zizyphus lotus Lam</i> I.	5
I.1.5. Commercialisation de jujubier ‘ <i>zizyphus lotus Lam</i> ’	6
I.2. Yaourt à boire.....	6
I.2.1. Généralité sur le yaourt à boire.....	6
I.2.2. Procédé de préparation de yaourt à boire.....	6
I.2.3. Intérêt nutritionnel et thérapeutique du Yaourt à boire.....	8
I.3. Plans d’expériences.....	8
I.3.1. Plans de mélanges.....	9
I.4. Évaluation sensorielle.....	10
I.4.1. Méthodes d’évaluation sensorielle.....	10
I.4.1.1. Méthodes discriminatives.....	10
I.4.1.2. Méthodes descriptives.....	11
I.4.1.3. Méthode hédonique.....	11
Chapitre II : Matériels et méthodes	
II.1. Matériel végétale.....	12
II.1.1. Fruit de jujubier ‘ <i>Zizyphus lotus Lam</i> ’	12
II.1.2. Préparation du sirop de datte.....	13
II.1.3. Formulation de yaourt à boire préparé à base de sirop du jujubier.....	13
II.1.3.1. Choix de plan de mélange.....	13
II.1.3.2. Formulation de yaourt à boire préparé à base de jujubier.....	13
II.2. Analyses physico-chimiques de la matière première, et du yaourt à boire préparé à base du sirop de jujubier.....	15
II.2.1. Mesure du potentiel d’hydrogène (pH)	15
II.2.2. Mesure de l’acidité titrable.....	16
II.2.3. Taux d’humidité	16

II.2.4. Taux des cendres.....	17
II.2.5. Dosage des polyphénols totaux et des flavonoïdes totaux.....	17
II.2.5.1. Préparation de l'extrait.....	17
II.2.5.2. Dosage des polyphénols totaux.....	17
II.2.5.3. Dosage des flavonoïdes totaux.....	18
II.2.6. Analyses statistiques des données	18
II.3. Analyses microbiologiques de la matière première et de produit fini.....	18
II.4. Analyse sensorielle.....	19
II.4.1. Sujets.....	19
II.4.2. Environnement et le déroulement de l'évaluation sensorielle.....	19
II.4.3. Produits de yaourt à boire, à base de sirop de jujubier.....	20
II.4.4. Analyse statistique des données sensorielles.....	20
II.4.4.1. Test de pénalité	20
II.4.4.2. Cartographie externe de préférence (External Preference Mapping – PREFMAP)	21

Chapitre III : Résultat et discussion

III.1. Résultats d'analyses physico-chimiques et microbiologiques des constituants entrant dans la formulation de yaourt à boire, à savoir le sirop de jujubier, le sirop de datte et le lait.	22
III.2 Résultats d'analyses physico-chimiques et microbiologiques des formulations préparées	22
III.2.1 Résultats de l'analyse physico-chimique	22
III.2.1.1. pH et l'acidité titrable.....	23
III.2.1.2. Taux d'humidité et le taux des cendres.....	23
III.2.1.3. Teneur en polyphénols totaux (TPC) et la teneur en flavonoïdes totaux (TFC)	24
III.2.2. Résultat de l'analyse microbiologique.....	24
III.2.3. Résultats d'optimisation de la formulation	25
III.2.4. Résultats de l'analyse sensorielle	27
III.2.4.1. Analyse de pénalité	27
III.2.4.2. Analyses de la composante principale (ACP)	32
III.2.4.3. Cartographie externe de préférence (PREFMAP)	33
Conclusion.....	36

Références bibliographiques

Annexes

Introduction

Introduction

Au fil des années de recherche scientifique beaucoup de travaux publiés ont pu montrer l'important lien entre l'alimentation et la santé, les recommandations en matière de santé publique insistent de plus en plus d'être plus attentif à la qualité des aliments qu'on a dans nos assiettes (**Brennstuhl et al., 2021**).

Le lait fermenté ainsi que les produits qui ont dérivé occupent une place importante dans l'ensemble d'aliments consommés quotidiennement, le yaourt apparaît comme le produit laitier le plus consommé ayant une haute valeur nutritionnelle associé à une appréciation sensorielle (**Hachana et al., 2017**). Il résulte de la fermentation de lait par deux bactéries lactiques *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* (**Lecerf, 2020**).

Les industriels agroalimentaires s'orientent de plus en plus vers l'incorporation de nouveaux composants dans les produits fermentés tel le yaourt, afin d'offrir une nouvelle expérience gustative attirante au consommateur. Différentes variétés de fruits peuvent être incorporées dans des boissons lactières non seulement en vue de leur apport gustatif, mais également en vue de leur valeur ajoutée en ce qui concerne l'apport nutritif. Le fruit de *Zizyphus lotus Lam* se présente comme un candidat plus que intéressant, et peu exploité, pour l'incorporer dans des produits tel le yaourt à boire, vu sa composition et sa disponibilité dans divers régions.

En Algérie le jujubier "*Zizyphus lotus Lam*" est présent en abondance dans les régions du centre et les steppes sous l'appellation "*Sedra*", le fruit est la partie comestible de la plante, consommé par la population locale (**Benammar et al., 2010**). Le fruit *Zizyphus lotus Lam* cueillis à la maturité, est de saveur sucré il peut être consommé directement ou après transformation (**Abdeddaim, 2018**), les différentes parties de la plante *Zizyphus lotus Lam* ont été utilisées par des pratiques traditionnelles et ancestrales dans le soulagement de plusieurs pathologies. Le fruit de *Zizyphus lotus Lam* est riche en minéraux (Ca, Mg, Na, K et phosphore), en glucides, et également en polyphénols totaux (**Widad et al., 2017**).

Afin de préparer de telles incorporations, comme dans le cas d'un yaourt à boire préparé à base de sirop de jujubier, un nombre important d'expérimentations serait nécessaire pour pouvoir préparer un produit ayant une saveur ainsi qu'une composition équilibrée. Cependant, pour mieux organiser la partie expérimentale, l'utilisation des plans d'expériences permettent d'obtenir un maximum d'informations avec un minimum d'expériences (**Goupy, 2006**). Dans de telles préparations, les plans de mélange sont plus adaptés.

Introduction

L'innovation dans la préparation des produits alimentaire en industrie agroalimentaire doit exploiter les techniques d'analyse sensorielle, tel que le profil sensoriel des produits préparés, pour conclure sur le produit soit en le commercialisant, soit en le modifiant. Une caractérisation des produits doit être faite suite à l'identification et à la quantification d'intensité des attributs sensorielles, à savoir l'aspect, texture, odeur, flaveur, la saveur, elle est réalisée par l'intervention d'un panel expert et d'un autres naïf.

Ce présent travail consiste à formuler un yaourt à boire préparé à base de sirop de jujubier constitué principalement de sirop de jujubier, sirop de datte, du lait et des ferments, en suivant un plan de mélange.

Une caractérisation physico-chimique, une vérification de la qualité microbiologique, ainsi qu'une évaluation sensorielle des produits préparés, ont été réalisés.

Le présent mémoire est réparti en trois chapitres, dont le premier est relative à une synthèse bibliographique, le second est consacré à la partie expérimentale et le dernier chapitre comprend les résultats obtenus et leur discussion, le manuscrit se termine par une conclusion générale sur l'ensemble des résultats et les perspectives qui en découlent.

Chapitre 1

Synthèse bibliographique

I. Synthèse bibliographique

I.1. jujubier “*Zizyphus lotus Lam*”

I.1.1. Caractérisation de jujubier “*Zizyphus lotus Lam*”

Le *Zizyphus lotus Lam* communément appelé en Algérie “Sedra, N’beg, azuggwar”, d’autres appellations peuvent exister, le jujubier sauvage en français (Abdeddaim, 2018). Le mot “*zizyphus*” provient de l’arbre “*Zizouf*”, nom arabe de *Zizyphus lotus Lam* (Ghedira, 2013). *Zizyphus* désigne l’arbre et son fruit, *lotus* désigne les plantes de la famille des légumineuses. Le *Zizyphus lotus Lam* (jujubier) est une plante dicotylédone (Borgi et al., 2007). C’est un arbuste fruitier, épineux appartenant à la famille des Rhamnacées (Bamouh, 2002). Le jujubier forme de buissons ne dépassant pas 2.5m (figure 1).



Figure 1 : Photographie de la plante de *zizyphus lotus Lam*.

La plante de jujubier est composée de rameaux ou tiges recourbés vers le bas (figure 2.a), flexueux, très épineux, poussant en zigzag (Claudine, 2007). Les fleurs de *zizyphus lotus Lam* (figure 2.b) sont solitaires ou groupées avec un seul pédicelle court, à petite corolle à cinq pétales (Ghedira, 2013). Les feuilles (figure 2.b) sont petites courtes et ovales plus au moins elliptiques de 1 à 2 cm de longueurs et de 7 mm de largeur (Saadoudi, 2019), elles sont alternes et faiblement rigides (Ghedira, 2013). Les fruits de *zizyphus lotus Lam* (figure 2.c) sont des drupes sphériques dont les noyaux osseux biloculaires, petits et ronds, sont recouverts d’une pulpe demi-charnue, riche en sucre et en tanin, enveloppant un noyau de 4 à 5 mm de diamètre (Burrows, 2005), son noyau est soudé en une seule masse et il contient deux graines (Saadoudi, 2019).



Figure 2 : Photographie de la plante de *zizyphus lotus Lam* (a) la partie tige ; (b) les parties de fleur et de feuille, (Fatima, 2019); (c) et la partie fruit (Saadoudi, 2019).

I.1.2. Répartition géographique de *zizyphus lotus Lam*

Le jujubier est originaire de Chine où il est cultivé depuis plus de 4000 ans où il existe plus de 400 cultivars. le genre *zizyphus lotus Lam* est fréquent en Asie, Inde, Pakistan, Malaisie (Fatima, 2019). Aujourd'hui le jujubier est cultivé en Russie au Moyen-Orient et dans le sud-ouest des États-Unis, en Afrique du Nord. Le jujubier est répondu en Algérie, en Tunisie, en Europe du Sud, en Espagne et en Italie (Saadoudi, 2019).

En Algérie le jujubier est réparti sur les hautes plaines steppiques, sur l'Atlas saharien et jusqu'au Sahara septentrional ; en Oranie, il se propage jusqu'au voisinage de la mer et de Sahara septentrional, sauf dans le Tell Algéro-constantinois. Au Sahara septentrional, il prospère dans les lits d'oueds et berges sableux graveleux, et pousse également dans les ravins pierreux et les pentes rocheuses (Chatelain et al., 2018).

Zizyphus lotus Lam est très répandu dans les régions arides du Sud Algerien, Ain Ouessara et Maessad (willaya de Djelfa) à climat aride et Taghit wilaya de Bechar au climat saharien (Saadoudi, 2019), et aussi dans la région de M'sila (Madani et al., 2012).

I.1.3. Composition chimique de *zizyphus lotus Lam*

Les études phyto-chimiques menées sur le fruit de *Zizyphus lotus Lam* montrent la présence de plusieurs éléments importants mentionnés dans le **tableau 1**, qui représente la composition chimique de fruit de *zizyphus lotus Lam*, des métabolites primaires tels que les minéraux, les glucides, les lipides et les protéines, ainsi que des métabolites secondaires tels que les polyphénols, flavonoïdes, et les tannins.

Tableau 1 : composition chimique de fruit de *zizyphus lotus Lam*.

Composition	Teneur	Référence
Glucides (en matière sèche) : -Saccharose, -Sucre réducteurs.	8,05 (g/100g) 2,5 (g/100g)	(Ghalem, 2014)
Protides (en matière sèche)	6,37 (g/100g)	
Lipides (en matière sèche) : AGS AGIS	39,03 (g/100g) 60,96 (g/100g)	
Minéraux (en matière sèche) : K, Ca, Mg, Mn, P)	3,20 (g/100g)	(Abdeddaim et al., 2014)
Vitamines (en matière fraîche) : -Liposoluble(E, A), -Hydrosoluble (B ₁ , B ₆ , B ₈ , C).	2,44 (mg/100g) 5,8277 (mg/g)	(Saadoudi, 2019)
Polyphénols (en matière sèche)	1,26 (µg/mg)	(Rsaissi et al., 2012)
Flavonoïdes (en matière sèche)	0,73 (µg/mg)	
Tannins (en matière sèche)	7,53 (µg/mg)	

I.1.4. Intérêt nutritionnelle et thérapeutique de *zizyphus lotus Lam*

Le jujube est consommé à différentes manières, comme aliment frais, secs, ou utilisé en confiserie et en pâtisserie (Abdeddaim, 2018). En Inde, le fruit de jujubier est utilisé pour la préparation des produits secs semblables à ceux de la datte sèche, qui sont consommés en hiver comme dessert (Perret, 2001). Aussi utilisé pour la confection du pain appelé "Oufers" chez les Touaregs en Algérie. En Chine, le fruit de jujubier est utilisé pour la préparation du vin, consommé glacé ou avec du thé (Abdeddaim, 2018). Le miel issu du butinage des fleurs de *zizyphus lotus Lam* est un miel de haute valeur nutritive (Ghazanfar, 1994).

Zizyphus lotus Lam est une plante utilisée en médecine traditionnelle comme sédatif, tonique et anti-inflammatoire (Claudine, 2007). Les feuilles du *Zizyphus lotus Lam* possèdent des effets analgésiques attribués à leur contenu en principes actifs, tels les flavonoïdes et les saponines (Borgi et al., 2007), les feuilles de *zizyphus lotus Lam* sont utilisées contre les piqures des vipères au Sahara (Benchelah et al., 2004), le fruit *zizyphus lotus Lam* est préconisé dans le traitement de la gorge et les infections respiratoires (Borgi et al., 2007).

Plusieurs parties de *Zizyphus lotus Lam* sont administrées en tant qu'agents anti-infectieux urinaires, cutanés, antiviraux, anti-diarrhéique, agents d'insomnie (Adzu et al., 2003), antimicrobien (Al-Reza et al., 2010), et stimulant de l'immunité (Benammar et al., 2010).

I.1.5. Commercialisation de jujubier “*zizyphus lotus Lam*”

Le fruit *zizyphus lotus Lam* est largement consommé par les habitants des régions de l'intérieur et des steppes de l'Algérie, on le retrouve donc sur les marchés sous plusieurs formes, d'un côté La graine et le fruit sont séchés et réduits en une farine utilisée pour la préparation de Zemmita (Rouina), ou pour remplacer le sucre raffiné (**Ghedira, 2013**). De l'autre côté Les feuilles de *zizyphus lotus Lam* une fois broyées, la poudre est utilisée de différentes façons, notamment en cosmétique. Le miel de jujubier, occupe une place très importante sur le marché mondiale, il fait partie des miels à haut qualité nutritive et parmi les plus cher (**Mekious et al., 2020**).

I.2. Yaourt à boire

I.2.1. Généralité sur le yaourt à boire

Le yaourt est un produit laitier coagulé obtenu grâce à l'action des bactéries lactiques, à savoir le *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* (**Bourlioux et al., 2011**), ces micro-organismes doivent être viables et abondants dans le produit fini, de plus la quantité d'acide lactique libre contenu dans 100g de yaourt ne doit pas être inférieur à 0.7 g (**Codex, 2003**).

Le yaourt est préparé principalement à partir de lait de vache et d'autre ingrédients (**Béal & Helinck, 2019**), qui possèdent des qualités nutritionnelles reconnues grâce à leur richesse en calcium, en vitamine D et B, en minéraux et oligoéléments, le tableau ci-dessous (**tableau 2**) représente la composition chimique dans 100g de yaourt (**Saadoudi, 2019**).

Tableau 2 : Composition chimique du yaourt à boire dans 100g.

Composant	Teneur (/100g)
Eau	80 à 90g
Glucides	12,8 à 13g
Protéines	2,9 g
Lipides	1 à 1,5 g
Apport calorique	70 à 80 calories

I.2.2. Procédé de préparation de yaourt à boire

Le procédé de préparation se découpe en plusieurs étapes (**Lesme, 2019**) comme suit :

- La réception et le stockage de lait frais collecté au plus tard 72 heures après la traite, il est contrôlé lors de la réception (**Béal & Helinck, 2019**).
- Standardisation de matière grasse, qui est la première étape de la préparation de yaourt, elle est ajustée à <0.5% pour le lait écrémé, entre 1.5% et 2% pour le lait demi-écrémé, et à 3,5%

pour le lait entier. Dans le yaourt final cette teneur varie de 0,1% à 10% (**Lapointe-Vignola, 2002**).

- Enrichissement en protéine laitières du lait préalablement standardisé en matières grasses pour atteindre des taux protéiques finaux compris entre 3,2 et 5 %, ce qui contribue à enrichir la valeur nutritionnelle du yaourt (**Béal & Helinck, 2019**).

- Homogénéisation de la préparation, appliquée pour empêcher notamment la séparation de la matière grasse au cours du stockage, diminuer la taille des gouttelettes de matière grasse et accroître la blancheur du lait (**Lucey et al., 1998**).

- Traitement thermique réalisé avec une durée variable et à une température située au-dessus de la température de dénaturation des protéines sériques (**Gelebart, 2019**).

- Refroidissement et inoculum, le lait est refroidi à une température d'environ 43°C pour permettre l'inoculation des bactéries lactiques et l'incubation du produit. Cette étape permet l'acidification du produit pour atteindre un pH de 4,6. Au cours de cette étape, les caractéristiques du yaourt comme la texture et la saveur se développent (**Lapointe-Vignola, 2002**).

- Refroidissement de produit qui permet de stopper la fermentation, il permet de faire passer la "masse blanche" rapidement de 45°C à 4°C, afin de bloquer au plus vite les activités métaboliques et enzymatiques et de limiter les problèmes de post-acidification (**Béal & Helinck, 2019**).

➤ En fonction de la technologie de préparation, le yaourt est commercialisé en plusieurs formes et textures, à savoir :

❖ Yaourt ferme, dont la fermentation a lieu dans le pot dans une étuve à une température allant de 42°C à 44°C pendant environ trois à cinq heures. Ce sont des yaourts nature ou aromatisés (**FAO., 1995**).

❖ Yaourt brassé dont la fermentation a lieu en cuve avant le conditionnement. Ce sont généralement des yaourts brassés nature ou aux fruits (**kora, 2004**).

❖ Yaourt concentré c'est un yaourt dont la teneur en protéine est près de 5,6 % (**Codex, 2003**).

❖ Yaourt à boire, qui a une texture liquide pour être consommé sans cuillère, comme une boisson. Après avoir été brassé, il est battu dans une cuve jusqu'à l'obtention de la texture souhaitée, et enfin conditionné en bouteilles, il peut être nature ou aromatisé (**FAO., 1995**).

- Le conditionnement, qu'est obligatoire pour le yaourt, il sert à contenir le produit, garantir la qualité hygiénique, préserver sa valeur nutritionnelle, le protéger des chocs, de la lumière et

de l'oxygène, c'est le support de l'information à apporter au consommateur (**Béal & Helinck, 2019**). Le Conditionnement du yaourt, dont la durée de conservation des produits laitiers non stériles comme le yaourt est généralement limitée à une à trois semaines (**Salvador & Fiszman, 2004**). Le yaourt est conditionné dans deux types de matériaux d'emballage, à savoir le verre, réservé aux produits de haut de gamme, ou le plastique (**Béal & Helinck, 2019**).

I.2.3. Intérêt nutritionnel et thérapeutique du Yaourt à boire

De nombreuses enquêtes alimentaires ont montré que la consommation de yaourt a un effet positif sur la santé des consommateurs et permet une meilleure couverture des apports nutritionnels recommandés (**Lecerf, 2020**). Les souches bactériennes utilisées et les ingrédients ajoutés aboutissent à des produits ayant une densité énergétique modérée et une teneur élevée en calcium pour atteindre un équilibre alimentaire satisfaisant (**Bourlioux et al., 2011**).

Le yaourt à boire est riche en probiotiques, dont les bactéries lactiques qui possèdent une lactase (β -galactosidase) active tout au long du tractus digestif, ce qui permet au yaourt d'être parfaitement adapté aux personnes ayant une intolérance au lactose, ils accroissent donc l'immunité intestinale et entraînent une modification du microbiote (**Lecerf, 2020**).

La consommation de yaourt est associée à une diminution de la prévalence du surpoids et de l'obésité, du celle de syndrome métabolique, et du celle de diabète de type 2 (**Gijbers et al., 2016**).

I.3. Plans d'expériences

Les plans d'expériences constitue une stratégie de planification d'expérimentations afin d'obtenir des conclusions solides et adéquates de manière efficaces et économique (**Linder, 2005**). Les plans d'expériences permettent d'identifier et de quantifier les effets de divers facteurs sur des réponses expérimentales pour décrire la méthode permettant d'obtenir la réponse optimale (**Hanco et al., 2011**), le principe des plans d'expériences consiste à faire varier simultanément les niveaux de un ou à plusieurs facteurs (variables discrètes ou continues), ce qui permet de diminuer le nombre d'expériences à réaliser tout en accroissant le nombre de facteurs étudiés (**Faucher, 2006**).

Les plans d'expériences servent à minimiser les coûts d'obtention d'une information fiable suite à la réduction d'expérimentations, c'est un atout fiable dans la recherche d'un optimum dans un processus complexe et pour la modélisation d'un système (**Linder, 2005**).

Un nombre de logiciels spécialisés en statistique permettent la construction et l'analyse des plans d'expériences telles que JMP et SPSS (Tinsson, 2010).

I.3.1. Plans de mélange

Le choix d'un plan d'expérience dépend des objectifs de l'expérience, du nombre de facteurs à étudier et de la quantité de ressources disponibles, différents plans d'expériences sont utilisés tels que les plans factoriels complets à deux niveaux, les plans factoriels fractionnaires à deux niveaux, les plans à plusieurs niveaux, les plans pour surface de réponse, les plans optimaux et les plans de mélange (Tinsson, 2010). Les plans de mélange sont des plans d'expériences dont les facteurs mis en jeu sont les proportions de différents ingrédients, où la somme des proportions des constituants est égale à 1.

$$\sum_{i=1}^{i=n} x_i = 1 \text{-----}(Eq.1)$$

L'équation (Eq.1) exprime la contrainte fondamentale des mélanges (on note par x_i la proportion en constituant i) (Goupy, 2006).

Les proportions d'un ou de plusieurs constituants peuvent être soumises à des contraintes de limite inférieure et supérieure, créant ainsi les conceptions de sommets extrêmes (extrême vertice) de plan de mélange qui ne couvrent qu'une sous-partie ou un espace plus petit dans le simplexe. Le but d'une conception de sommets extrêmes est de choisir des points de conception qui couvrent adéquatement l'espace de conception (Wangkananon et al., 2018).

Les plans de mélanges sont utilisés dans de nombreux domaines industriels, leur succès réside dans la possibilité d'interprétation de résultats expérimentaux avec un minimum d'expérimentations permettant un gain du temps et de coût (Triboulet, 2008).

La représentation géométrique d'un mélange à trois composants, est exprimée par un triangle équilatéral (figure3) dont les sommets représentent les produits purs, les mélanges binaires sont représentés par les côtés du triangle, un point de la surface intérieure de ce triangle représente un mélange tertiaire et les compositions de chaque produit se lisent sur les côtés du triangle (Goupy, 2006). La représentation des mélanges à quatre constituants est un tétraèdre régulier, s'il y a plus de quatre constituants, il faut faire appel à des hyper-polyèdres réguliers, tous mélange est représenté de manière unique (Tinsson, 2010).

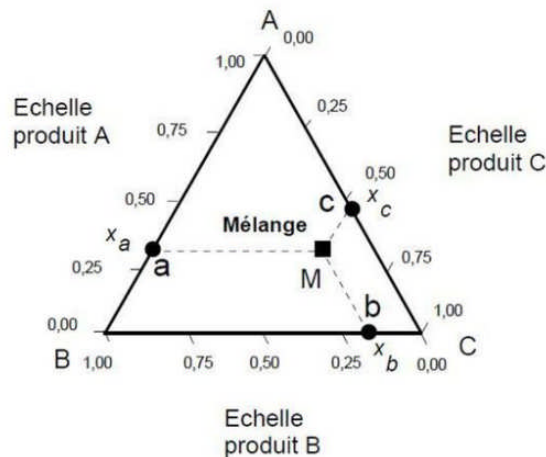


Figure 3 : représentation géométrique des mélanges à trois constituants (Goupy, 2006).

I.4. Évaluation sensorielle

L'évaluation sensorielle est un ensemble de méthodes permettant de mesurer les perceptions sensorielles (Montmain et al., 2021). L'analyse sensorielle est définie comme étant "l'examen des propriétés organoleptiques d'un produit par les organes des sens" (Pense-Lheritier, 2008), par les cinq sens (vue, ouïe, gout, toucher, odorat). Ainsi l'être humain devient un moyen de mesure en d'analyse sensorielle. Ce dernier représente un outil privilégié pour contrôler la qualité d'un produit afin d'obtenir des résultats fiables (Watts et al., 1991).

I.4.1. Méthodes d'évaluation sensorielle

L'analyse sensorielle nécessite l'intervention d'un panel d'évaluateurs (Montmain et al., 2021), où les sujets ont un niveau de connaissance de l'univers produit et/ou de la méthode employée plus ou moins développé en fonction de la tâche à réaliser, il s'agit de panel expert (Thomas, 2016), et un groupe d'individus non formés à l'évaluation sensorielle, appelé le panel naïf. Les méthodes de l'évaluation sensorielle sont, les méthodes discriminatives, les méthodes descriptives et les méthodes hédoniques.

I.4.1.1. Méthodes discriminatives

Les méthodes discriminatives visent à détecter la présence ou l'absence de différences sensorielles globales entre des produits (Claustrioux, 2001). Elles sont utilisées lorsque les différences des produits à comparer sont peu perceptible (Thomas, 2016). Les tests de discrimination impliquent une variété de tests, tel que le test triangulaire, le test duo-trio et le test de comparaison par paires (Vivek et al., 2020).

I.4.1.2. Méthodes descriptives

Les tests sensoriels descriptifs sont utilisés pour caractériser l'arôme, la texture, et les attributs de saveur des produits alimentaire (**Vivek et al., 2020**). Ils impliquent la détection et la description des composants sensoriels qualitatifs et quantitatifs d'un produit de consommation par des panels experts (**Murray et al., 2001**).

Les aspects qualitatifs de l'analyse descriptive comprennent l'apparence (couleur, texture de surface, forme et taille), l'arôme (sensations olfactives), la saveur (salé, sucré, acide et amer) et la texture (dureté, croustillant, viscosité). Les aspects quantitatifs de l'analyse descriptive expriment le degré de présence d'une caractéristique et sont exprimés en attribuant une valeur avec une échelle d'évaluation de l'intensité sur une échelle de JAR allant de 1 à 7 ou de 1 à 5 (**Thomas, 2016**).

I.4.1.3. Méthode hédonique

Les méthodes hédoniques sont conçus pour mesurer le degré d'appréciation global d'un produit alimentaire, l'appréciation hédonique liée au plaisir ou déplaisir, allant de "aime beaucoup" à "n'aime pas du tout" en passant par "neutre" provoqué par l'aliment (**Watts et al., 1991**). Les méthodes hédoniques sont également connues sous le nom de test affectif, noté sur une échelle hédonique à 9 points (**Vivek et al., 2020**).

Chapitre II

Matériels et méthodes

II. Matériels et méthodes

Le présent travail a été réalisé au niveau du laboratoire pédagogique de département de biochimie et de microbiologie, faculté des sciences de l'université de M'sila.

L'étude a pour objectif d'optimiser un yaourt à boire enrichi par le sirop de fruit de jujubier "*Zizyphus lotus Lam*", ce produit renferme les composés suivant :

- Le lait reconstitué, qui présente la principale matière première pour la préparation de yaourt,
- Les ferments, obtenus à partir de yaourt nature,
- Le sirop de jujubier,
- Le sirop de datte.

II.1. Matériel végétal

II.1.1. Fruit de jujubier "*Zizyphus lotus Lam*"

Le matériel végétal utilisé dans la préparation de yaourt à boire est le fruit de "*Zizyphus lotus Lam*", qui a été récupéré dans les régions de "*Maadid*" et de "*Mtarfa*" de la wilaya de M'sila (**figure 5**). Le fruit de jujube a été récolté en fin de mois d'aout de 2022 en pleine maturité, et conservés à température ambiante.

Le fruit jujubier a été incorporé dans la préparation de yaourt à boire sous forme de sirop, le diagramme ci-dessous (**figure 4**) regroupe les étapes de préparation de sirop de jujubier sachant que pour une quantité de 2 kg de jujubier, 600g de sirop ont été obtenu (**figure 5**).

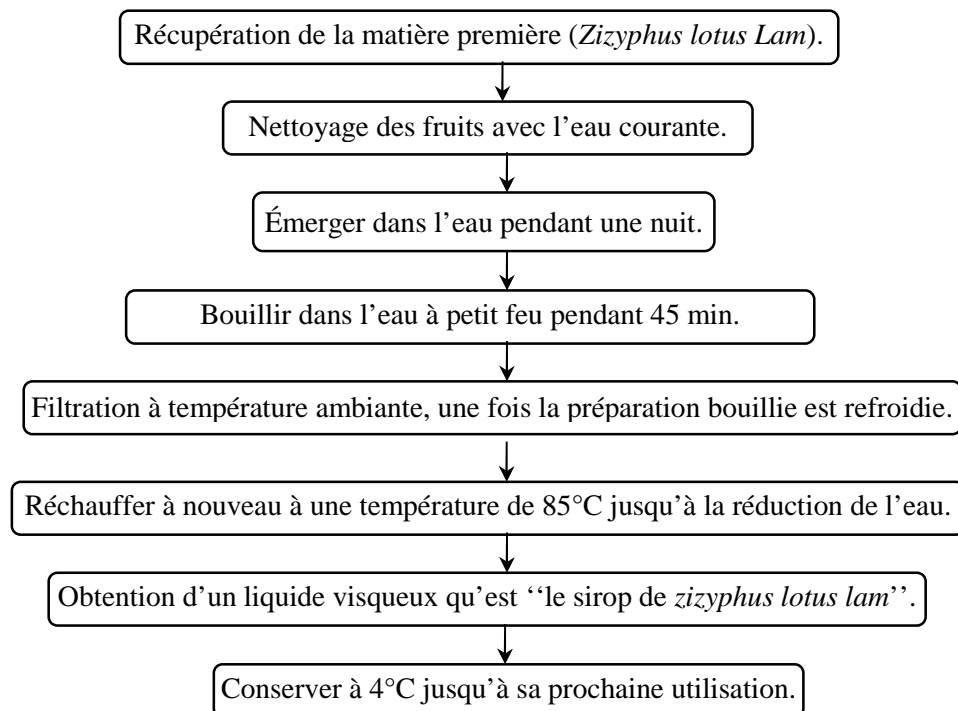


Figure 4 : Diagramme représentant les étapes de préparation de sirop de jujubier.

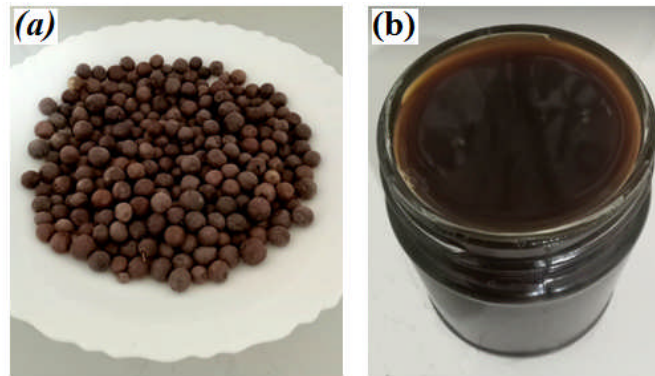


Figure 5: Photographie de fruit de “*zizyphus lotus Lam*” (a), ainsi que le sirop de “*zizyphus lotus Lam*” (b).

II.1.2. Préparation du sirop de datte

Une quantité de 700g de sirop de datte a été préparé à partir de 3Kg de datte en suivant les même étapes que celles de la préparation de sirop de jujubier (figure 4).

II.1.3. Formulation de yaourt à boire préparé à base de sirop du jujubier

II.1.3.1. Choix de plan de mélange

Une optimisation de formulation a été réalisée en appliquant un plan de mélange de type “Extreme Vertice” qu’est spécifique aux cas des mélanges ayant des limites inférieures et /ou supérieurs pour chaque facteur, cette étape a été effectuée grâce à un outil statistique puissant qu’est le logiciel statistique nommé “JMP”, mais prononcé “jump”, ce qui signifiait à l’origine “John’s Macintosh Project”. En appliquant le plan de mélange “Extreme Vertice” L’outil JMP avait proposé vingt-six formulations, vu le nombre élevé d’expérimentations proposées, un modèle-spécifique nommé “le D-optimal” a été appliqué pour réduire le nombre d’expérimentations, ainsi le choix a été porté sur la réalisation de huit formulations (tableau 4 et tableau 5).

II.1.3.2. Formulation de yaourt à boire préparé à base de jujubier

Des essais de préparation ont été fait avec différentes propositions pour pouvoir fixer les limites inférieures et supérieures de chaque facteur (composé). Les proportions des limites supérieures et les limites inférieures, vérifiées expérimentalement pour chaque facteur, sont regroupées dans le **tableau 3**, ci-dessous.

Tableau 3 : Les limites inférieures et supérieures pour les facteurs entrant dans la formulation de yaourt à boire.

Facteurs	Limite inférieur	Limite supérieur
Le lait	0,45	0,70
Le sirop de Jujubier	0,20	0,45
Le sirop de datte	0,05	0,10
Les ferments	0,05	0,20

Le (tableau 4), ci-dessous, présente les proportions de chaque facteur correspondant à formulation préparées.

Tableau 4 : Les proportions des facteurs correspondantes aux formulations préparées de yaourt à boire préparé à base de sirop de jujubier selon le plan de mélange ‘‘Extreme Vertice’’.

Formulation	Les proportions des facteurs			
	Lait " x_1 "	Sirop de Jujubier " x_2 "	Sirop de datte " x_3 "	Ferment " x_4 "
F ₁	0,45	0,40	0,10	0,05
F ₂	0,45	0,25	0,10	0,20
F ₃	0,45	0,45	0,05	0,05
F ₄	0,50	0,20	0,10	0,20
F ₅	0,45	0,30	0,05	0,20
F ₆	0,65	0,20	0,10	0,05
F ₇	0,70	0,20	0,05	0,05
F ₈	0,55	0,20	0,05	0,20

L'équation ci-dessous (Eq.2) représente la contrainte fondamentale des quatre facteurs entrant dans la préparation de yaourt à boire au sirop de jujubier.

$$\sum_{i=1}^{i=4} x_i = x_{Lait} + x_{Sirop-Jujubier} + x_{Sirop-datte} + x_{Ferment} = 1 \text{-----} (Eq.2)$$

x_i est la proportion en constituant (facteur) i .

Les différentes formulations, dont les proportions sont regroupées dans le **tableau 4** ci-dessus, ont été produites en 200g chacune, respectivement, c'était la quantité suffisante de chaque préparation (**tableau 5**), de yaourt à boire préparé à base de sirop de jujubier, pour couvrir la partie caractérisation physico-chimique et la vérification de la qualité hygiénique.

Tableau 5 : les quantités des facteurs (composants) entrant dans la préparation de 200g de yaourt à boire préparé à base de sirop de jujubier, pour chacune des huit formulations.

Formulation	Les quantités des facteurs pour une production finale de 200g			
	Lait (g)	Sirop de Jujubier (g)	Sirop de datte (g)	Ferment (g)
F ₁	90	80	20	10
F ₂	90	50	20	40
F ₃	90	90	10	10
F ₄	100	40	20	40
F ₅	90	60	10	40
F ₆	130	40	20	10
F ₇	140	40	10	10
F ₈	110	40	10	40

La préparation des huit formulations, de yaourt à boire préparé à base de sirop de jujubier, a été réalisée selon diagramme ci-dessous (**figure 6**), qui regroupe toutes les étapes de la préparation.

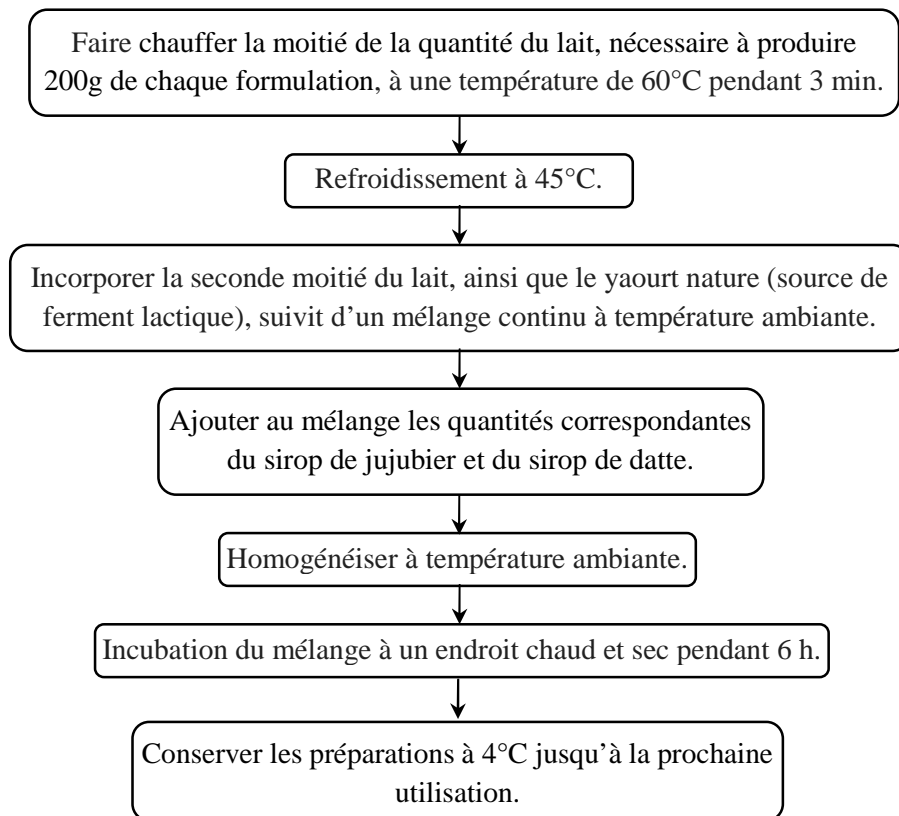


Figure 6 : Diagramme des étapes de préparation de yaourt à boire préparé à base de sirop de Jujubier.

Les huit formulations, de yaourt à boire préparé à base de sirop de jujubier, préparées ont été pasteurisées à 95°C pendant 15 minutes suivie d'un refroidissement, avant de procéder aux différentes analyses.

II.2. Analyses physico-chimiques de la matière première, et du yaourt à boire préparé à base du sirop de jujubier

Les caractéristiques physico-chimiques ont été réalisés à la fois pour les huit formulations de yaourt préparé à base de sirop de jujubier, ainsi que pour le lait, le sirop de jujubier et le sirop de datte. L'ensemble des tests ont été effectués en trois essais.

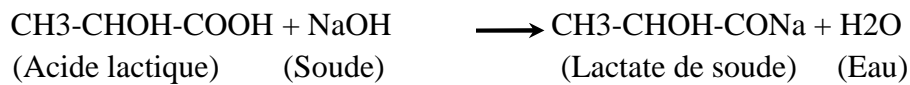
II.2.1. Mesure du potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est une mesure de l'activité des ions H⁺, contenu dans une solution. C'est un paramètre qui permet de mesurer l'acidité ou la basicité d'une solution. Le pH a été déterminé par un pH-mètre à l'aide d'une électrode qui est la partie émergée dans l'échantillon (Dutta et al., 2006).

Une prise d'essai de 10g d'échantillon a été dissoute dans un bécher contenant 70 ml d'eau distillée, ensuite l'électrode était plongée dans la solution, la valeur affichée sur le pH-mètre après une période de stabilisation a été noté.

II.2.2. Mesure de l'acidité titrable

L'acidité titrable représente la somme des acides minéraux et organiques dans l'échantillon à analyser. Elle consiste à un titrage avec une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 0,1N en présence de phénolphtaléine comme un indicateur coloré, ayant un point de virage, passant d'un état incolore à une couleur rose pâle (Arroum et al., 2016), selon la réaction suivante :



L'acidité titrable est exprimée en degré Dornic, selon l'équation (Eq.3) ci-dessous:

$$\text{Acidité (}^\circ\text{D)} = \frac{C_1 \times V_{\text{éq}} \times M_{\text{ac}}}{V_0 \times 0,1} \text{-----} \text{(Eq.3)}$$

Où :

$^\circ\text{D}$: Degré Dornic,

C_1 : La concentration de NaOH (0,1 N),

$V_{\text{éq}}$: Le volume versé de NaOH,

M_{ac} : La masse molaire de l'acide lactique,

V_0 : Le volume de l'échantillon.

Sachant que "1 $^\circ\text{D}$ est l'équivalent de 0.1 g d'acide lactique.

II.2.3. Taux d'humidité

La mesure de taux d'humidité est basée sur l'élimination de l'eau libre contenue dans un échantillon donné par traitement thermique dans une étuve ventilée à une température de 103°C ± 02°C jusqu'à ce que le poids de l'échantillon soit constant (AOAC, 1999).

Une prise d'essai de 2g de l'échantillon a été mise dans un creuset en porcelaine, puis placés dans une étuve ventilée à 103°C ± 02°C pendant 24h ou plus. La teneur en humidité est calculée selon l'équation (Eq.4) ci-dessous.

$$\text{H (\%)} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \times 100 \text{-----} \text{(Eq.4)}$$

Où :

H (%) : Taux d'humidité,

m_0 : Masse en g de creuset vide,

m_1 : Masse en g de creuset avec l'échantillon avant séchage,

m_2 : Masse en g de creuset avec l'échantillon séché.

II.2.4. Taux des cendres

La teneur en cendres est basé sur l'incinération de la matière organique dans un four à moufle jusqu'à l'obtention d'une poudre blanche à grise (Leterme et al., 2006). Les échantillons ont été placés dans un four à moufle à une température de 550°C durant 6 heures.

Ce traitement conduit à une destruction complète de la matière organique. Cependant il ne reste dans les creusets que les sels minéraux sous forme des cendres blanchâtres.

Les creusets récupérés ont été pesé (AOAC, 1999), et la teneur en cendre est calculée selon l'équation (Eq.5), ci-dessous.

$$\text{Cendre (\%)} = \frac{m_3 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100 \text{-----(Eq.5)}$$

Où :

m_0 : Masse en g de creuset vide,

m_1 : Masse en g de creuset avec l'échantillon,

m_3 : Masse en g de creuset après incinération.

II.2.5. Dosage des polyphénols totaux et des flavonoïdes totaux

II.2.5.1. Préparation de l'extrait

Les échantillons de yaourt ainsi que la matière première ont été centrifugés à 4000 tours à 4°C pendant 20 minutes. Après filtration le surnageant a été récupéré pour l'utiliser dans le dosage des polyphénols totaux et des flavonoïdes totaux (Perna, Intaglietta, Simonetti, & Gambacorta, 2014).

II.2.5.2. Dosage des polyphénols totaux

La teneur en polyphénols a été estimée par la méthode de Folin Ciocalteu (Wong et al., 2006). Le réactif est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMO_{12}O_{40}$). Il est réduit, lors de l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène (Boizot & Charpentier, 2006).

200µl d'extrait a été additionné à 1ml de réactif de Folin Ciocalteu et diluée 10 fois. Après deux minutes, 800µl de la solution de carbonate de Sodium Na_2CO_3 à 7.5% ont été ajoutés au mélange réactionnel, la solution finale a été mélangée vigoureusement et gardée à l'obscurité pendant deux heures, à température ambiante. L'absorbance a été mesuré à 765nm, les concentrations des polyphénols totaux ont été déduites à partir d'une courbe d'étalonnage (Annexe 1) établie avec l'acide gallique. Les résultats sont exprimés en mg équivalent de l'acide gallique par gramme (mg Eq. d'acide gallique/g).

II.2.5.3. Dosage des flavonoïdes totaux

Le dosage des flavonoïdes totaux est effectué par une méthode colorimétrique, la formation d'un complexe jaunâtre lors de l'ajout du trichlorure d'aluminium, est due à la fixation des ions Al^{3+} sur les atomes d'oxygènes présent sur les carbones 4 et 5 des flavonoïdes (Bahorun et al., 1996).

1ml de d'extrait a été ajouté à 1ml de chlorure d'aluminium ($AlCl_3$) à 2%, le mélange a été agité, puis l'ensemble a été incubé à température ambiante et à l'abri de la lumière pendant 15 minutes. L'absorbance a été mesurée à 430nm. Les concentrations des flavonoïdes ont été déduites à partir d'une courbe d'étalonnage établies avec la quercétine (Annexe 1). Les résultats sont exprimés en mg équivalent de quercétine par gramme (mg Eq. Quercétine/g).

II.2.6. Analyses statistiques des données

Pour évaluer l'effet des différentes proportions des facteurs, entrant dans la préparation de yaourt à boire préparé à base de sirop de jujubier, sur les réponses (les paramètres physico-chimiques évalués) ; une analyse statistique par analyse de la variance à un facteur (one-way ANOVA) suivit par le test de comparaisons multiples de Tukey ($P < 0.05$) était réalisés en utilisant le logiciel statistique JMP.

II.3. Analyses microbiologiques de la matière première et de produit fini

L'analyse microbiologique sert à la vérification de conformité de la qualité hygiénique à la fois des produits préparés ainsi que des constituants (le lait, le sirop de jujubier et le sirop de datte) entrant dans la préparation de yaourt à boire préparé à base de sirop de jujubier. Le **tableau 6**, ci-dessous, regroupe l'ensemble des microorganismes, leurs milieux d'ensemencement, ainsi que leurs durées d'incubation.

Ttableau 6 : Les microorganismes recherchés dans le sirop de jujubier, sirop de datte, et dans les formulations de yaourt à boire préparé à base de sirop de jujubier (AOAC, 1990 ; Maïwore et al., 2018).

Milieu de culture	Microorganisme recherché	Ensemencement (10^{-1} , 10^{-2})	Incubation (heures/°C)	
			Durée (Heures)	Température (°C)
Plate Count Agar(PCA)	La flore mésophile aérobie totale (FMAT)	En profondeur	72	30
Violet Red Bile Lactose Agar (VRBL)	Coliformes totaux	En surface	24 à 48	37
	Coliformes fécaux	En surface	24 à 48	44
Beard Parker (BP)	Staphylocoques	En surface	48	37
Sabouraud	Levures et moisissures	En surface	3 à 5 jours	25

II.4. Analyse sensorielle

L'évaluation sensorielle d'un produit alimentaire permet, de mesurer ses caractéristiques organoleptiques, ainsi que le plaisir qu'il procure auprès du consommateur. Lors de ces mesures, le travail a été focalisé sur l'effet de différentes proportions des composés (facteurs) dans les mélanges, notamment le sirop de jujubier, sur la qualité organoleptique du yaourt. Pour cela, les éléments nécessaires à la réalisation de l'analyse sensorielle sont présentés, ci-dessous.

II.4.1. Sujets

L'analyse sensorielle a été effectuée à l'aide de deux types de panels répartis en panel expert, constitué de vingt-et-un personnes âgés entre 20ans et 40 ans, et qui sont essentiellement des étudiants de Master en nutrition et science alimentaire NSA de l'université de M'sila. Ce panel a été sélectionné selon la disponibilité et la volonté de participation des évaluateurs, ainsi que selon leur expérience. Ils ont été entraînés à détecter, à reconnaître, et à mémoriser des textures, des odeurs, des saveurs et des goûts caractéristiques des produits testés, alors ces étudiants peuvent remplir le rôle d'un panel expert vue leur formation en analyse sensorielle en pratiquant plusieurs travaux pratiques durant leurs parcours d'étude en première année nutrition et sciences des aliments.

Un autre panel dit naïf a été constitué de quarante personnes, de différents âges et sexe (allant de 15ans à 60ans).

II.4.2. Environnement et le déroulement de l'évaluation sensorielle

Suite à la vérification de la conformité hygiénique des produits de yaourt à boire, préparés à base de sirop de jujubier, les tests sensoriels ont eu lieu au niveau du Département de Microbiologie et Biochimie, de la Faculté des Sciences, Université de M'sila (**figure 7**). Les tests ont déroulés dans une salle, où les conditions sont réunies en termes d'éclairage, de température, calme, Hygiène. Les membres des deux panels ont notés leurs perceptions sensorielles ainsi que leur appréciation globale ses produits sur une fiche (**Annexe 2**), qui regroupe l'ensemble des attributs qui caractérisent les produits préparés. L'intensité des attributs a été notée sur une échelle de JAR allant de 1 à 5. Une échelle hédonique notée allant de 1 à 9 a été utilisé pour notés le degré d'appréciation globale des produits.



Figure 7 : photographie de la salle de déroulement de l'analyse sensorielle.

II.4.3. Produits de yaourt à boire, à base de sirop de jujubier

Des échantillons des huit préparations de yaourt à boire préparé, à base de sirop de jujubier, ont été présentés en anonymat dans un contenant plastique et étiqueté avec un code de trois chiffres. L'ordre de présentation des échantillons a été randomisé, le **tableau 7** ci-dessous représente les différentes formulations de yaourt à boire, à base de sirop jujubier, ainsi que le code attribué à chacune d'elle.

Tableau 7 : les différentes formulations et les codes qui leurs correspondent.

formulation	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇	F ₈
Code	602	381	850	122	559	967	720	103

II.4.4. Analyse statistique des données sensorielles

Les données sensorielles obtenues suite aux tests réalisées par le panel naïf et le panel expert, a été traitée et analysée à l'aide de logiciel statistique "Xlstat" selon les tests statistiques suivants :

II.4.4.1. Test de pénalité

L'analyse de pénalité est une méthode utilisée en analyse sensorielle consiste à identifier des axes d'améliorations possibles pour des produits, suite à des enquêtes auprès de panel naïf (Xlstat, 2023). Le test de pénalité est la relation entre la notation de préférence de chaque produit, correspondant à des indices de satisfaction globaux et la notation des différents attributs caractérisés des données sur une échelle JAR sur 5 niveaux correspondent à des notations d'intensité allant de 1 à 5 pour une ou plusieurs attributs des produits étudiés (Popper & Gibes, 2004).

II.4.4.2. Cartographie externe de préférence (External Preference Mapping-PREFMAP)

La cartographie externe des préférences est un ensemble de technique statistique dédiée à la modélisation des préférences permettent de différencier entre les produits évalués sur la base des préférences des deux panels naïf et expert, reliées aux caractéristiques sensorielles (**Schlich, 2007**). La cartographie de préférence se base dans sa réalisation sur deux tests, celui nommé “la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)” et celui de “l’Analyse en Composante Principale (ACP)” (**Yenket et al., 2011**).

- **Analyse en composant principale (ACP)**

l’analyse en composant principale est une technique de réduction de la dimension des données initiales basée sur des statistiques descriptives multidimensionnelles permettant de traiter simultanément un nombre quelconque de variables quantitatives (**Zaki et al., 2016**), visualiser sous forme de tableaux de données dans lesquels les observations (les produits) sont décrites par un ou plusieurs variables (les attributs) (**Josse & Husson, 2009**).

- **Classification ascendante hiérarchique (CAH)**

La classification ascendante hiérarchique est une méthode de classification permet d’Opérer des regroupements en classes homogènes d’un ensemble d’individus. En se basant sur la notation de préférence de panel naïf pour chaque produit. Les résultats de cette méthode permettent de visualiser le regroupement progressif des données (**Landau et al., 2011**).

Chapitre III

Résultats et discussions

III. Résultat et discussion

III.1. Résultats d'analyses physico-chimiques et microbiologiques de la matière première

L'évaluation des paramètres physico-chimique de sirop de jujubier, de sirop de datte et de lait incorporée dans la préparation de yaourt à boire préparé à base sirop de jujubier "*zizyphus lotus Lam*" a été réalisé. Les tests physico-chimiques effectués sont le pH, le taux de l'acidité titrable, le taux de l'humidité, le taux des cendres, le taux des polyphénols totaux et le taux des flavonoïdes totaux. L'ensemble des résultats obtenus sont présentés dans le **tableau8** ci-dessous

Tableau 8 : Les résultats des analyses physico-chimiques de sirop de jujubier, de sirop de datte et de lait.

Les constituants entrant dans la formulation de yaourt à boire préparé à base de sirop de jujubier.			
Les paramètres	Sirop de jujubier	Sirop de datte	Lait
pH	5,73 ± 0,01	4,95 ± 0,02	6,99 ± 0,03
Acidité titrable (D°)	1,28 ± 0,28	5,60 ± 0,50	4,48 ± 0,28
Humidité (%)	76,40 ± 3,54	79,70 ± 0,50	86,27 ± 0,86
Cendre (%)	1,15 ± 0,55	1,58 ± 0,16	0,82 ± 0,08
TPC (mg Eq. AG/g)	2,37 ± 0,13	9,67 ± 0,40	-
TFC (mg Eq. Q/g)	0,80 ± 0,03	4,73 ± 0,02	-

pH : Potentiel d'hydrogène,

TPC(mg Eq. AG/g) : Total Polyphenols Content (en mg équivalent d'acide gallique par g),

TFC (mg Eq. Q/g) : Total Flavonoids Content(en mg équivalent de quercétine par g).

La qualité hygiénique de sirop de jujubier, de sirop de datte et de lait a été vérifiée, et les résultats de l'analyse microbiologique ont montrés une absence totale des microorganismes recherchées à savoir, la flore mésophile aérobie totale, les levures et les moisissures, les staphylocoques, les coliformes fécaux et les coliformes totaux. Ces résultats confirment le respect des bonnes pratiques d'hygiène lors de la préparation de ces constituants, ce qu'est primordial avant de les incorporés dans la préparation de yaourt à boire préparé à base de sirop de jujubier.

III.2. Résultats d'analyses physico-chimiques et microbiologiques des formulations préparées

III.2.1. Résultats de l'analyse physico-chimique

Les données obtenues de l'analyse physico-chimique des huit formulations de yaourt à boire préparé à base de sirop de jujubier ont été valorisées statistiquement en appliquant le test ANOVA à un facteur suivi par le test de Tukey pour la comparaison des moyennes.

Le **tableau 9**, ci-dessous, regroupe les résultats de pH, de l'acidité titrable, de taux d'humidité, de taux des cendres ainsi que les résultats de test de protéine et test sucre réducteur.

Tableau 9 : Les résultats d'analyses physico-chimiques des huit formulations préparées.

Formulations	Paramètres			
	pH	Acidité titrable (D°)	Humidité(%)	Cendre(%)
F ₁	6,22 ± 0,02 ^b	7,60 ± 0,69 ^a	81,51 ± 8,05 ^a	0,74 ± 0,13 ^{ab}
F ₂	5,85 ± 0,02 ^d	5,76 ± 0,87 ^{ab}	82,93 ± 0,26 ^a	0,88 ± 0,01 ^a
F ₃	6,18 ± 0,02 ^b	4,80 ± 0,48 ^{bc}	85,56 ± 0,17 ^a	0,73 ± 0,04 ^{ab}
F ₄	5,95 ± 0,02 ^c	3,60 ± 0,72 ^c	83,73 ± 0,97 ^a	0,78 ± 0,05 ^{ab}
F ₅	5,92 ± 0,03 ^c	5,28 ± 0,83 ^{bc}	86,17 ± 0,36 ^a	0,47 ± 0,14 ^b
F ₆	6,35 ± 0,01 ^a	4,32 ± 0,24 ^{bc}	73,12 ± 12,46 ^a	0,40 ± 0,26 ^b
F ₇	6,37 ± 0,03 ^a	5,36 ± 0,60 ^{bc}	84,98 ± 8,31 ^a	0,45 ± 0,20 ^b
F ₈	5,84 ± 0,02 ^d	4,72 ± 0,60 ^{bc}	81,82 ± 2,38 ^a	0,54 ± 0,10 ^{ab}

Les résultats sont rapportés en moyenne ± écart type, dont les lettres a, b, c (a>b>c) représentent les différences significatives entre les huit produits préparés ($p < 0,05$),

pH : Potentiel d'hydrogène.

III.2.1.1. pH et acidité titrable

Comme le montre les résultats regroupés dans **tableau 9** les valeurs de pH évaluées pour les huit formulations préparées de yaourt à boire préparé à base de sirop de jujubier, nommée de F₁ à F₈ varient entre 5,84 et 6,37. Une différence significative ($p < 0,05$) a été enregistrée entre quelques formulations tel la 1^{er} nommée "F₁" ayant enregistré un pH de 6,22 et la 8^{ème} formulation nommée "F₈" ayant enregistré un pH de 5,84. Cette différence significative ($p < 0,05$) est probablement due au fait que la quantité de sirop de *zizyphus lotus Lam* incorporée dans les formulations n'est pas la même, sachant que la 8^{ème} formulation contient une proportion de sirop de jujubier qui est de 0,2; tandis que la 1^{er} formulation contient une proportion de 0,4 en sirop de jujubier. Le pH enregistré pour le sirop de jujubier a été 5,73 (**Tableau 8**).

Les résultats obtenus pour l'acidité titrable (**tableau 9**), ont montré une différence significative ($p < 0,05$) a noté entre la 1^{er} formulation nommée "F₁", ayant enregistré une acidité titrable de 7,60 °D, et la 4^{ème} formulation, nommée "F₄" ayant enregistré une acidité titrable de 3,60 °D.

III.2.1.2. Taux d'humidité et taux des cendres

Les valeurs de taux de l'humidité enregistrées et regroupés dans le **tableau 9**, pour les huit formulations préparées, ont montré une différence statistique non significative ($p > 0,05$) entre les produits préparés. Une Différence significative pour le taux des cendres (**tableau 9**) a été enregistrée entre d'un côté la 2^{ème} formulation nommée "F₂" ayant enregistrée une valeur de taux de cendre de 0,88 ; et de l'autre côté l'ensemble des formulations nommées "F₅", "F₆" et "F₇", correspondant respectivement à des valeurs de taux de cendre de 0,47 ; 0,40 et 0,45.

III.2.1.3. Teneur en polyphénols totaux (TPC) et teneur en flavonoïdes totaux (TFC)

La teneur en polyphénol totaux et la teneur en flavonoïdes totaux ont été dosés pour les huit formulations de yaourt à boire préparé à base de sirop de jujubier “*zizyphus lotus Lam*”. Les résultats sont regroupés dans le **tableau 10**, ci-dessous.

Tableau 10 : Les résultats de dosage des polyphénols totaux (TPC) et des flavonoïdes totaux (TFC).

Formulations	Paramètres	
	TPC (mg Eq AG/g)	TFC (mg Eq Q/g)
F ₁	2,63 ± 0,06 ^a	1,26 ± 0,03 ^a
F ₂	2,22 ± 0,10 ^d	0,67 ± 0,02 ^e
F ₃	2,58 ± 0,07 ^{ab}	1,31 ± 0,05 ^a
F ₄	2,33 ± 0,05 ^{cd}	0,98 ± 0,03 ^b
F ₅	2,29 ± 0,08 ^{cd}	0,94 ± 0,03 ^b
F ₆	2,35 ± 0,03 ^{cd}	0,75 ± 0,05 ^{de}
F ₇	2,43 ± 0,06 ^{bc}	0,77 ± 0,03 ^{cd}
F ₈	1,95 ± 0,08 ^e	0,85 ± 0,01 ^c

Les résultats sont rapportés en moyenne ± écart type, dont les lettres a, b, c, d, e (a>b>c>d>e) représentent les différences significatives entre les huit produits préparés ($p<0,05$),

TPC(mg Eq. AG/g) : Total Polyphenols Content (en mg équivalent d'acide gallique par g),

TFC(mg Eq. Q/g) : Total Flavonoids Content (en mg équivalent de quercétine par g).

La comparaison des moyennes a montré, avec une différence significative ($p<0,05$), que la teneur en polyphénols totaux la plus faible (**tableau 10**) a été enregistré pour le 8^{ème} produit nommé “F₈” qu’est de 1,95 (mg Eq. AG/g) ayant une proportion de 0,2 en sirop de jujubier, et la teneur la plus élevée a été noté pour le 1^{er} produit nommée “F₁” qu’est de 2,63 (mg Eq. AG/g), ayant une proportion de 0,4 en sirop de jujubier.

Concernant la teneur des huit formulations préparées en flavonoïdes totaux (**tableau 10**) il a été constaté qu’il existe une différence significative ($p<0,05$) entre certaines formulations préparés, tel que dans le cas de la 1^{ère} formulation nommée “F₁” qu’a enregistré une teneur en flavonoïdes totaux, de 1,26 (mg Eq. Q/g), plus élevée que celle enregistré pour la 8^{ème} formulation nommé “F₈” qu’est de 0,85 (mg Eq. Q/g). Cela est expliqué par la richesse des composants incorporée, le sirop de jujubier et le sirop de datte, dans la préparation de yaourt en polyphénols totaux et en flavonoïdes totaux.

III.2.2. Résultat de l’analyse microbiologique

Les résultats de la qualité hygiénique des différents formulations de yaourt à boire préparé à base de sirop de jujubier “*zizyphus lotus Lam*”, avaient montré l’absence de tous les microorganismes recherchés (les staphylocoques, les levures et les moisissures, la flore mésophile

aérobie totale, les coliformes fécaux et les coliformes totaux). Ces résultats répondent aux exigences des normes de journal officiel de la république algérienne de 2017.

III.2.3. Résultats d'optimisation de la formulation

L'optimisation de la formulation de yaourt à boire préparé à base de sirop de jujubier en appliquant le plan des mélange "Extrême vertice Design", sur lequel un model "D \square optimal" a été appliqué dans le but de réduire le nombre des essais expérimentales. La vérification de la capacité prédictive du modèle pour les conditions optimales, les valeurs prédictives des réponses physico-chimique, à savoir le pH, l'acidité titrable, le taux de l'humidité, le taux des cendres, le taux en polyphénols totaux et le taux en flavonoïdes totaux, ont été déterminées en utilisant la désirabilité maximale. La **figure 8** représente le profil de prédiction dont la valeur de la désirabilité est proche de "un".

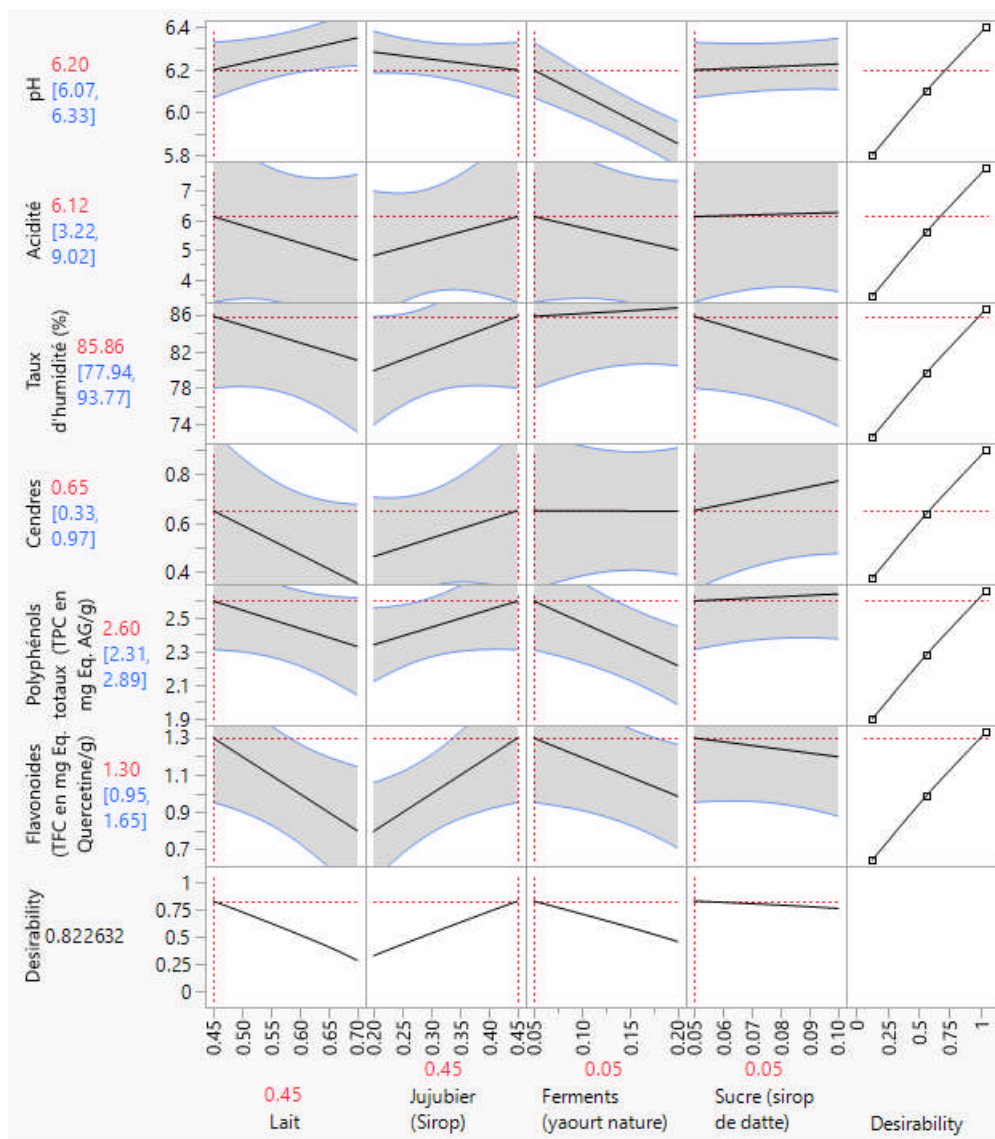


Figure 8 : Le profil de prédiction pour la formulation optimale de yaourt à boire préparé à base de sirop de jujubier.

Selon la prédiction de modèle présenté dans la **figure 8**, la formulation optimale proposée de yaourt à boire préparé à base de sirop de jujubier, en appliquant la désirabilité maximale de la prédiction qu’est de 0,82 ; est celle contenant la proportion de 0,45 du lait, la proportion 0,45 de sirop de jujubier, la proportion 0,05 de yaourt nature (source de ferments lactique) et la proportion 0,05 de sirop de datte, qui correspond à la 3^{ème} formulation nommée “F₃”.

Cette formulation optimale a été reproduite empiriquement pour pouvoir valider la prédiction de model proposé, le **tableau 11**, ci-dessous, représente les résultats de la formulation optimale prédictive comparés aux résultats reproduits expérimentalement.

Tableau 11 : Les résultats expérimentaux et prédictifs de l'analyse physico-chimique de la formulation optimale.

Formulations	Paramètres					
	pH	Acidité (D°)	Humidité (%)	Cendre (%)	TPC (mg Eq. AG/g)	TFC (mg Eq. Q/g)
Valeurs prédictives	6,20	6,12	85,86	0,65	2,60	1,30
Valeurs expérimentales	6,06 ± 0,01	5,76 ± 0,87	85,78 ± 2,75	0,70 ± 0,06	2,38 ± 0,06	1,19 ± 0,02
Erreur de prédiction (%) ¹	2,26%	5,88%	0,09%	7,69%	8,41%	8,46%

pH : Potentiel hydrogène,

¹ : L'équation de calcul du pourcentage d'erreur de prédiction,

TPC : Total Polyphenols Content,

TPC (mg Eq. AG/g) : Taux des polyphénols totaux en mg équivalent d'acide gallique par g,

TFC : Total Flavonoids Content,

TFC (mg Eq. Q/g) : Taux des flavonoïdes totaux en mg équivalent de quercétine par g.

Les erreurs de prédiction pour chaque réponse, sont calculées suivant l'équation de calcul du pourcentage d'erreur de prédiction (**Baraldo & Furlanut, 1995**), présenté ci-dessous :

$$\text{Erreur de prédiction (\%)}^1 = \frac{\text{Valeur expérimental} - \text{Valeur prédictive}}{\text{Valeur prédictive}} \times 100$$

À partir de **tableau 11**, les valeurs de prédiction de modèle concernant la formulation optimale, sont en accord avec les valeurs expérimentales.

III.2.4. Résultats de l'analyse sensorielle

III.2.4.1. Analyse de pénalité

L'analyse des pénalités est très utilisée dans l'industrie agroalimentaire, elle constitue une méthodologie complète d'amélioration des produits (**Pagès et al., 2014**). La pénalité est la différence de la moyenne des données de préférence pour la catégorie JAR avec la moyenne des données pour les autres catégories, les résultats de l'analyse de pénalité pour les huit produits de yaourt à boire préparé à base de sirop de jujubier sont présentés dans les **figures 9a, 9b, 9c, 9d, 9e, 9f, 9g et 9h** ; ci-dessous.

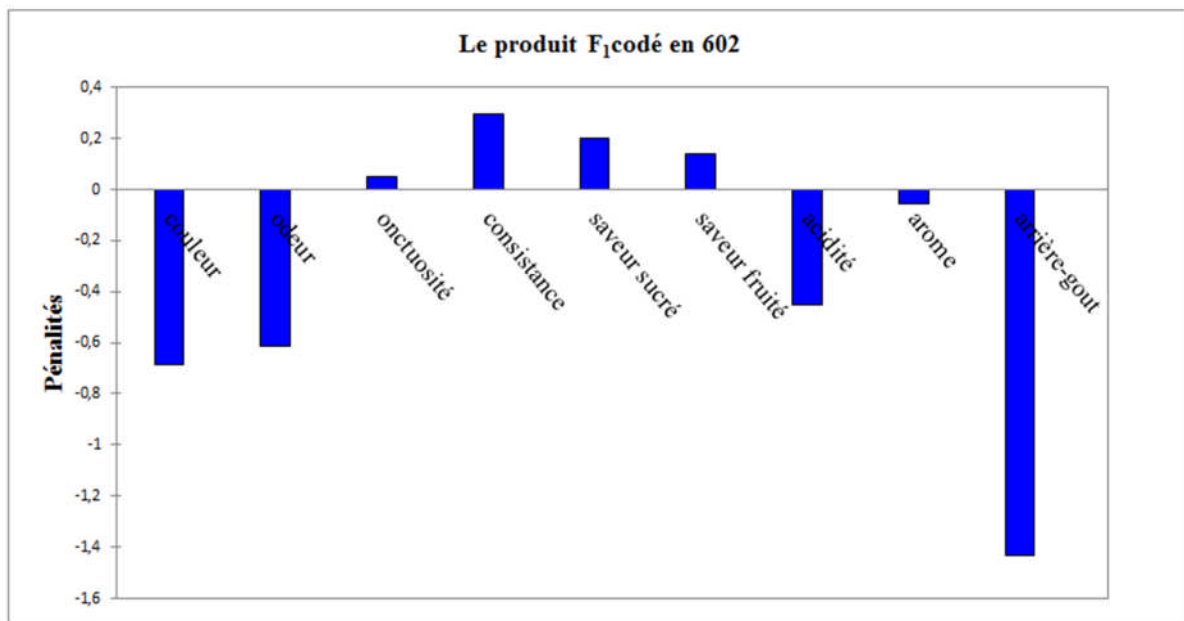


Figure 9a : Les attributs sensoriels pénalisés pour le yaourt à boire nommé “F₁” codé en 602.

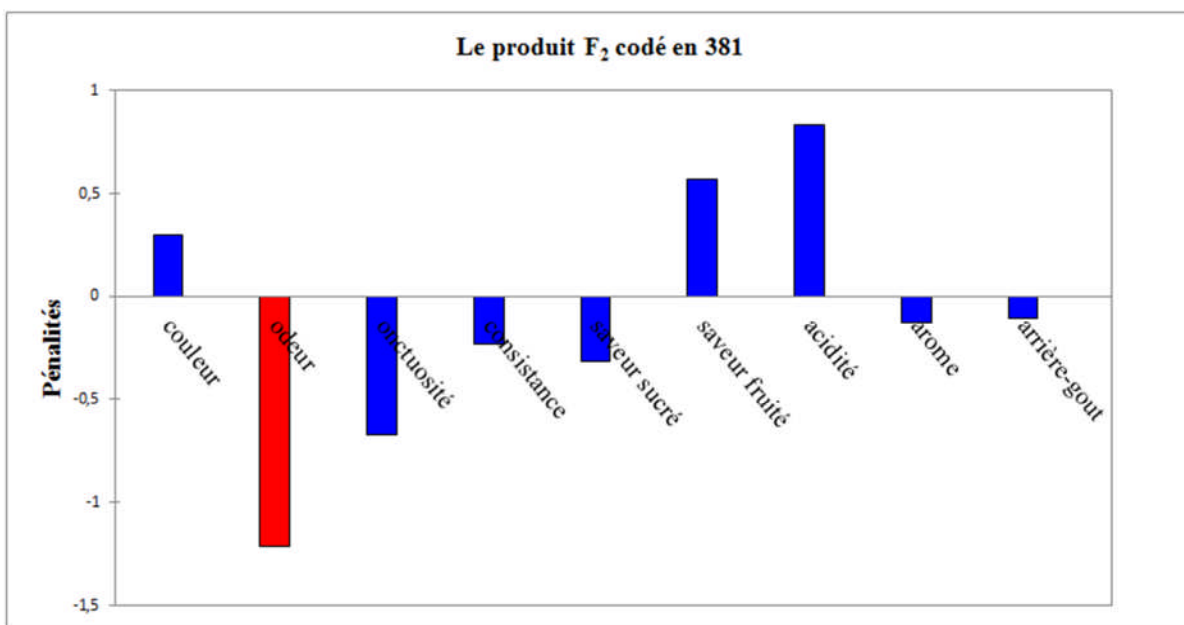


Figure 9b : Les attributs sensoriels pénalisés pour le yaourt à boire nommé “F₂” codé en 381.

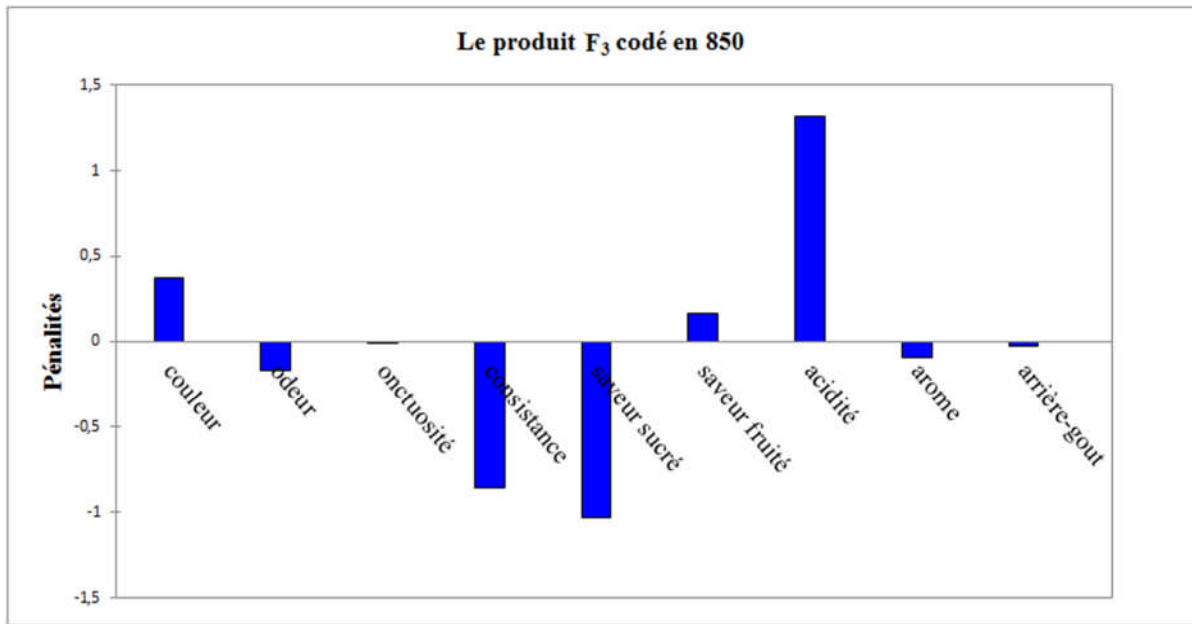


Figure 9c : Les attributs sensoriels pénalisés pour le yaourt à boire nommé “F₃” codé en 850.

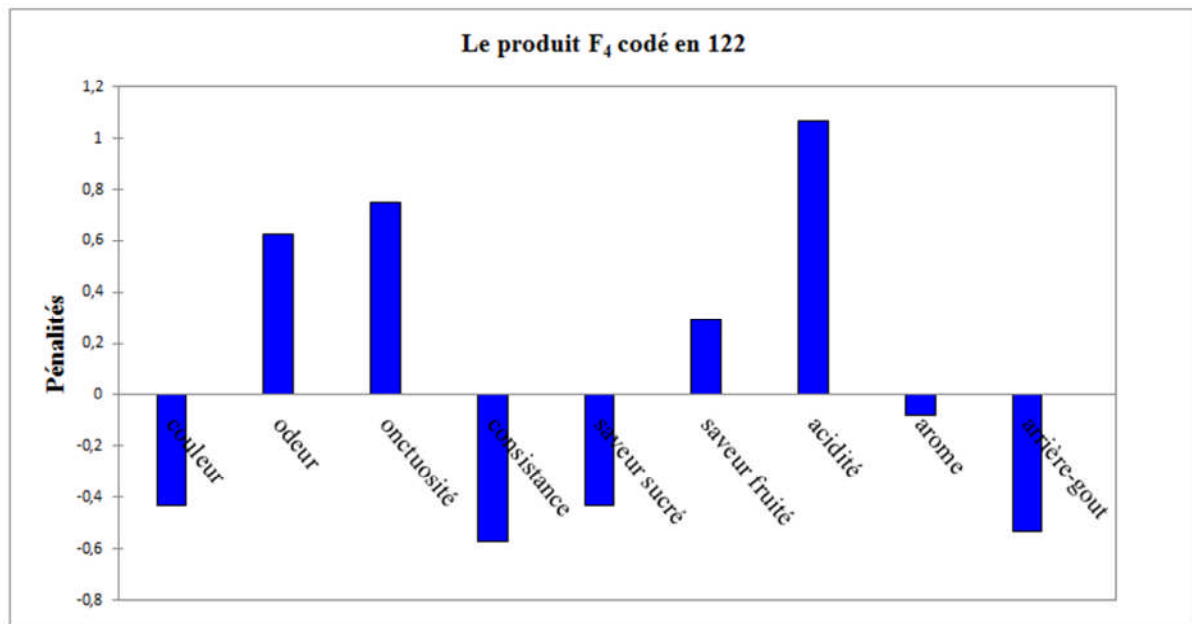


Figure 9d : Les attributs sensoriels pénalisés pour le yaourt à boire nommé “F₄” codé en 122.

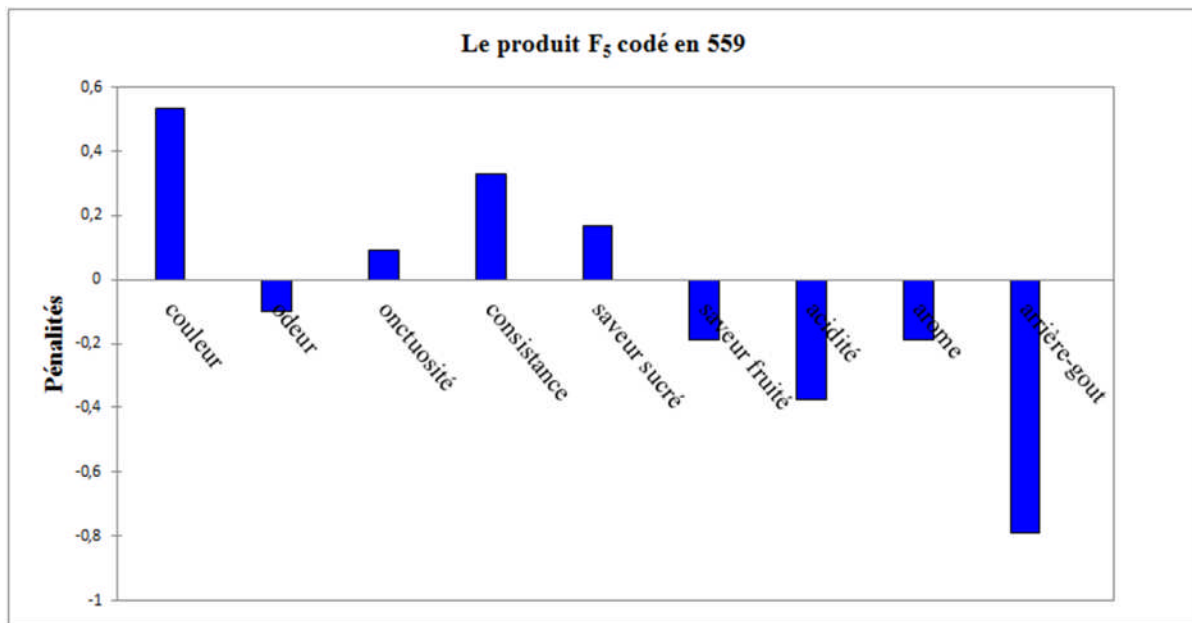


Figure 9e : Les attributs sensoriels pénalisés pour le yaourt à boire nommé “F₅” codé en 559.

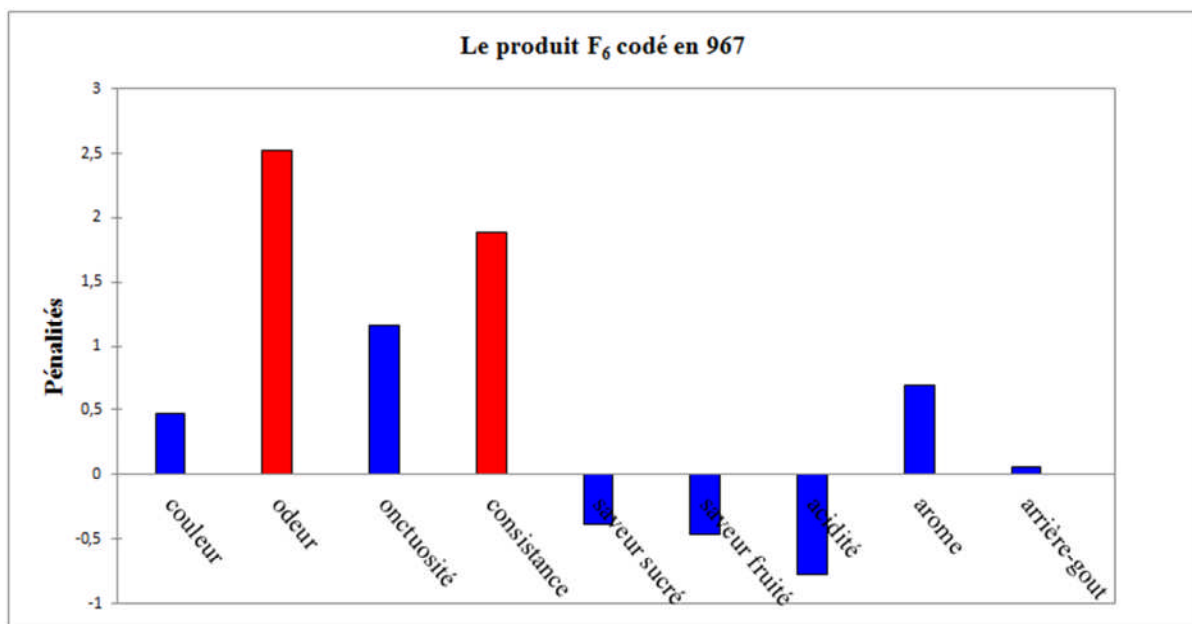


Figure 9f : Les attributs sensoriels pénalisés pour le yaourt à boire nommé “F₆” codé en 967.

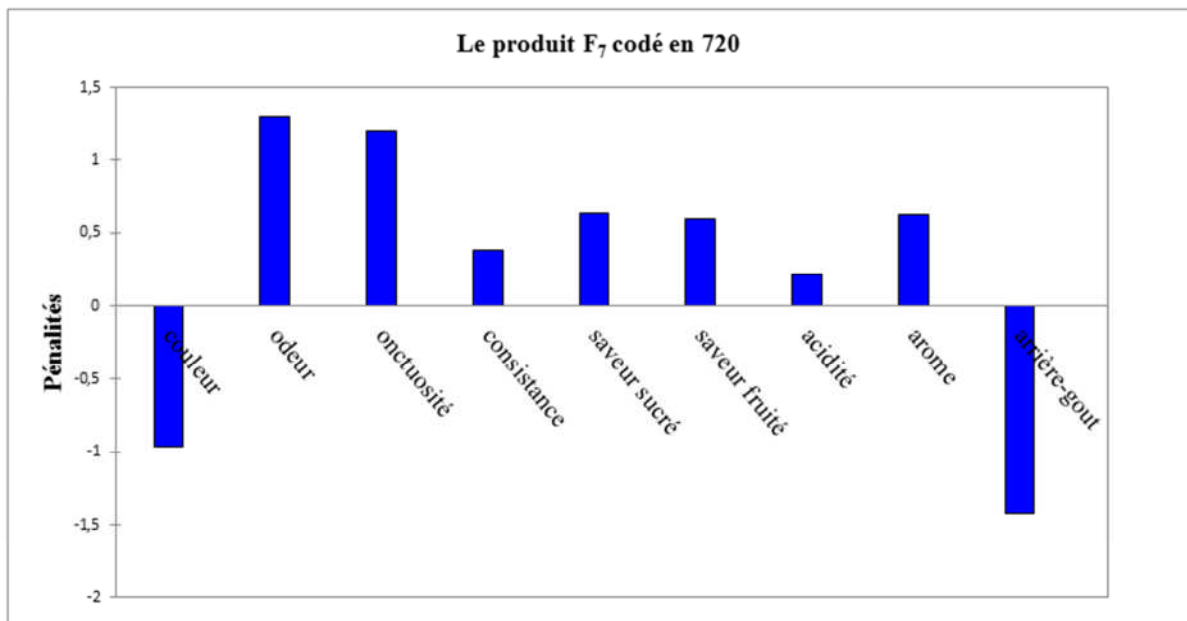


Figure 9g : Les attributs sensoriels pénalisés pour le yaourt à boire nommé ‘F₇’ codé en 720.

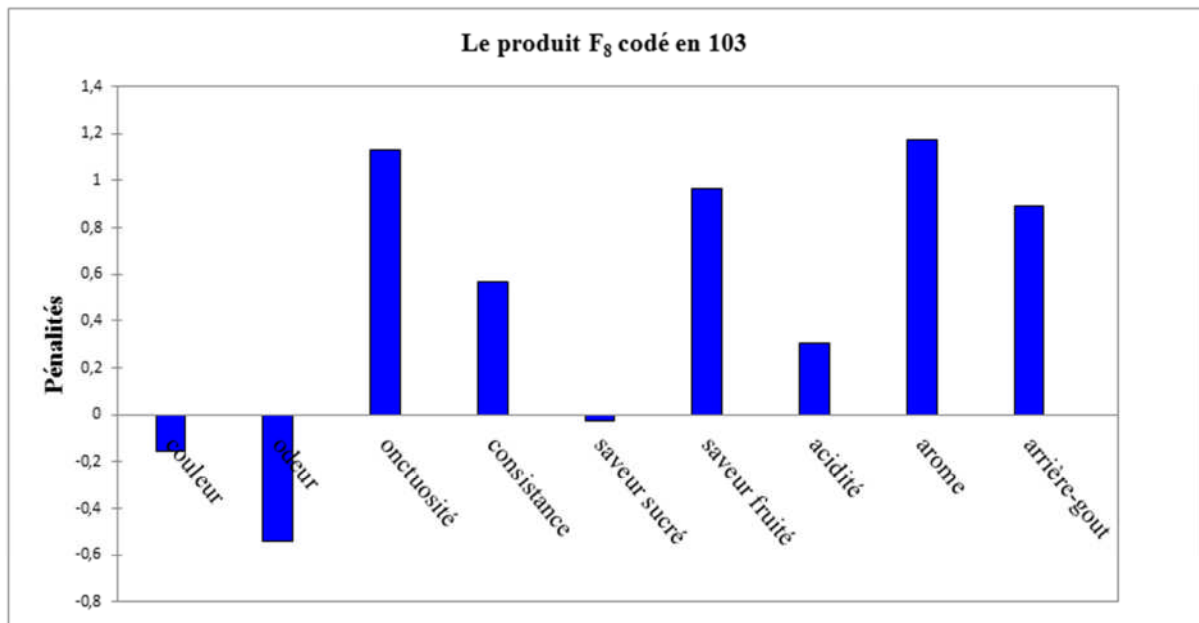


Figure 9h : Les attributs sensoriels pénalisés pour le yaourt à boire nommé ‘F₈’ codé en 103.

Lorsque les histogrammes sont affichés en couleur rouge la différence est significative, alors que lorsqu'ils apparaissent en couleur bleu l'effectif d'un groupe est inférieur au seuil choisi. Selon les figures 9a, 9c, 9d, 9e, 9g et 9h, qui correspondent respectivement aux formulations suivantes ; ‘F₁’, ‘F₃’, ‘F₄’, ‘F₅’, ‘F₇’ et ‘F₈’, les représentations graphiques obtenues sont de couleur bleu ce qui signifie que l'effectif d'un groupe est inférieur au seuil choisi.

Dans le cas où un attribut est pénalisé positivement, c'est-à-dire qu'il possède un coefficient positif, cet attribut est décisif pour la préférence d'un produit par rapport à un autre pour les membres du panel naïf. Et lorsqu'un attribut possède un coefficient négatif, ce dernier est pénalisé négativement par les membres du même panel et c'est celui qui écarte un produit donné dans la liste de préférence du panel.

Concernant les représentations graphiques des résultats issus de test de pénalité des produits "F₂" codé en 381 et "F₆" codé en 967 présentés respectivement dans **la figure 9b** et **la figure 9f**, sont de couleur rouge et bleu cela indique que les histogrammes des descripteurs qui apparaissent en rouge sont significatifs. Pour le produit "F₂", les attributs "onctuosité", "consistance", "saveur sucrée", "arôme", "arrière-gout", "couleur", "saveur fruitée" et "acidité", ne sont pas significatifs, alors que l'attribut "odeur" est significatif. Pour le produit "F₆", les attributs "saveur sucrée", "saveur fruitée", "acidité", "couleur", "onctuosité", "arôme" et "arrière-gout", ne sont pas significatifs tandis que les attributs "odeur" et "consistance" sont significatifs.

Pour avoir une vision plus claire sur les attributs pénalisés négativement le **tableau12** ci-dessous les représente en détail.

Tableau 12 : Les caractéristiques des produits de yaourt à boire préparé à base de sirop de jujubier "zizyphus lotus Lam", nommées respectivement, "F₁", "F₂", "F₃", "F₄", "F₅", "F₆", "F₇" et "F₈" pénalisés négativement.

Produit	Couleur	Odeur	Onctuosité	Consistance	Saveur sucrée	saveur fruitée	Acidité	Arome	Arrière-gout
F ₁	x	x	-	-	-	-	x	x	x
F ₂	-	x	x	x	x	-	-	x	x
F ₃	-	x	x	-	x	-	-	x	x
F ₄	x	-	-	x	x	-	-	x	x
F ₅	x	-	-	-	-	x	x	x	x
F ₆	-	-	-	-	x	x	x	-	-
F ₇	x	-	-	-	-	-	-	-	x
F ₈	x	x	-	-	x	-	-	-	-

x : représente les caractéristiques des produits de yaourt à boire préparé à base de sirop de jujubier, pénalisés négativement.

À partir du **tableau 12**, il est à observer que pour chaque produit de yaourt à boire préparé à base de sirop de jujubier qu'est pénalisé négativement par un ou plusieurs attributs, cela veut dire que la perception des attributs des produits répondaient aux attentes de panel naïf.

III.2.4.2. Analyses de la composante principale (ACP)

L'ACP est utilisé lors de la disposition d'un tableau de données quantitatives dans lequel les observations (les produits) sont décrites par variables (les attributs sensorielles). La **figure 10**, ci-

dessous, permet de présenter graphiquement les corrélations entre les variables et les facteurs par l'ACP pour les huit produits de yaourt à boire préparés (Josse & Husson, 2009).

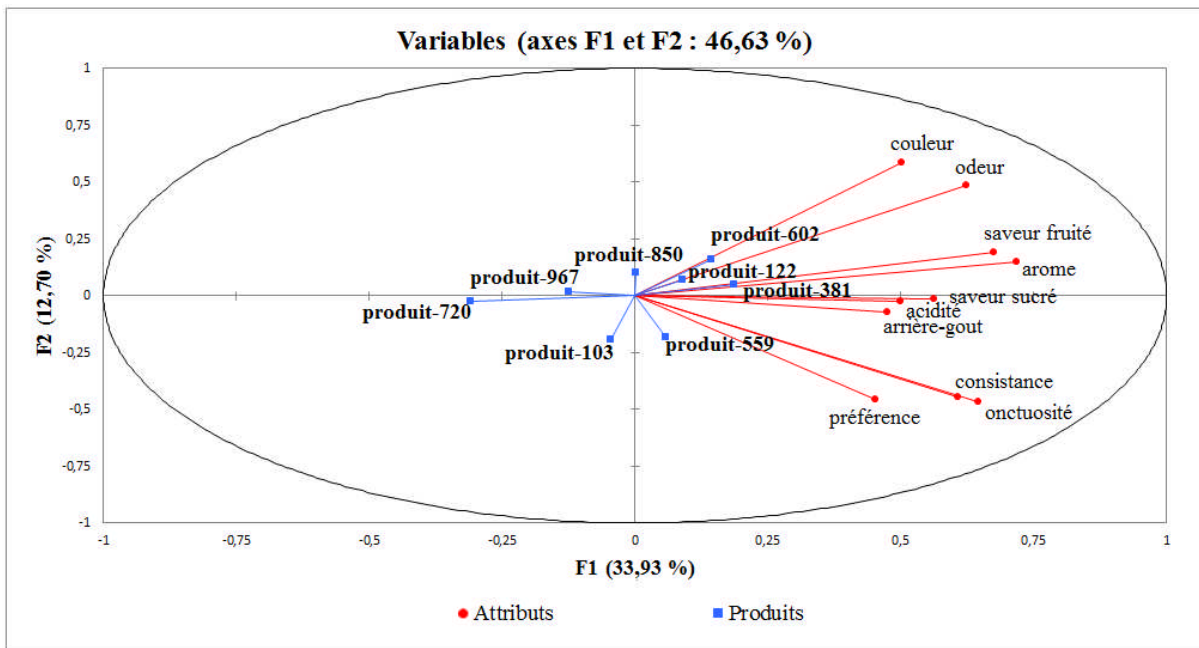


Figure 10 : La corrélation entre les variables et les facteurs du panel expert, pour les produits préparés.

La carte obtenus (**figure 10**) permet de représenté 46,63% où F1 (33,93%), F2 (12,70%). Il est à noter que le produit nommé “F₂” codé en 381 est entouré par la “saveur sucrée”, “l’acidité” et “l’arrière-gout”, qui les caractérisent par rapport aux autre produits, ces derniers ont été considérés par les experts comme assez différents.

III.2.4.3. Cartographie externe de préférence (PREFMAP)

La cartographie externe de préférence est réalisée pour avoir plus d’informations sur les préférences des consommateurs. Son application permet d’afficher la carte des préférences des membres de panel naïf pour chaque produit. La **figure 11**, représente la carte des préférences.

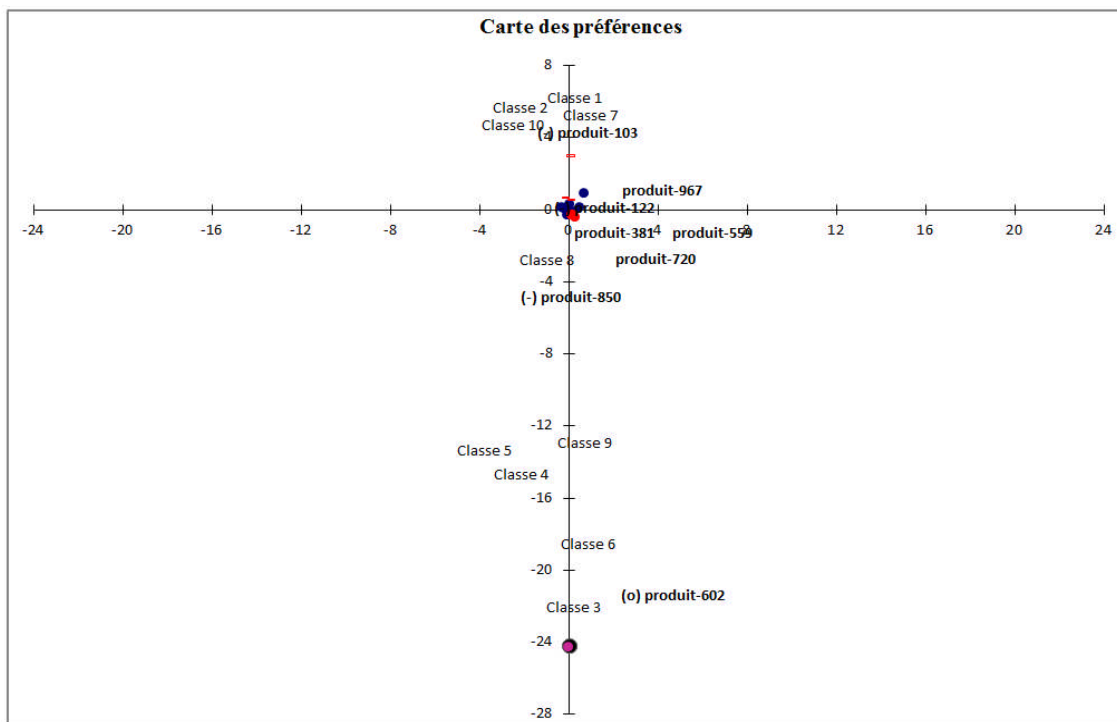


Figure 11 : La carte des préférences des huit produits étudiés

Le **tableau 13** représente le pourcentage de satisfactions des produits dégustés par les membres de panel naïf.

Tableau 13 : pourcentage de juges satisfaits pour chaque produit.

Objet	Pourcentage %
Classe 1	38%
Classe 2	88%
Classe 3	100%
Classe 4	13%
Classe 5	13%
Classe 6	88%
Classe 7	0%
Classe 8	88%
Classe 9	0%
Classe 10	50%

À partir des résultats présentés dans la **figure 11** et dans le **tableau 13** ci-dessus ,il est à noter que les produits de yaourt à boire préparé à base de sirop de jujubier , nommés respectivement, ‘‘F₂’’, ‘‘F₃’’, ‘‘F₄’’, ‘‘F₅’’, ‘‘F₆’’ et ‘‘F₇’’ codé respectivement en 381, 850, 122, 559, 967 et en 720 sont appréciées par la 8^{ème} classe, alors que le produit ‘‘F₁’’ codé en 602 est apprécié par la 3^{ème} classe et la 6^{ème} classe, pour le produit ‘‘F₈’’ codé en 103 est appréciées par la 1^{ère} classe, la 2^{ème} classe, et la 10^{ème} classe.

D'après l'étude de la cartographie sensorielle des préférences des huit produits de yaourt à boire préparé à base de sirop de jujubier "*Zizyphus lotus Lam*", on conclure que la majorité des consommateurs (panel naïf) ont appréciés la 8^{ème} formulation codé en 103, qui contient une proportion de lait de 0,55 ; et une proportion 0,20 pour le sirop de jujubier.

Conclusion
et
perspectives

Conclusion et perspectives

Ce présent travail consiste à valoriser le fruit de jujube “*zizyphus lotus Lam*” en vue de leur éventuelle transformation en sirop et leur incorporation dans la préparation d’un yaourt à boire en adaptant un plan de mélange. Une étude de l’effet d’incorporation de sirop de jujubier sur les propriétés physico-chimique, microbiologiques et sensorielle du yaourt à boire produit, a été réalisée. Le sirop de fruit du jujubier a été incorporé dans la préparation de yaourt à boire à des proportions différentes proposées par le plan de mélange, ainsi huit formulations nommées “F₁” jusqu’à “F₈” ont été préparés.

L’étude statistique des résultats obtenus suite à l’analyse physico-chimique ont montrés une différence significative de pH et de l’acidité titrable ($p < 0.05$) due à l’incorporation de sirop de jujubier, et une différence non significative de taux d’humidité entre les huit formulations ($p > 0.05$). Les huit formulations de yaourt à boire préparé à base de sirop jujubier se caractérisent par une teneur importante en polyphénols et flavonoïdes.

Les résultats des analyses microbiologiques des huit produits de yaourt préparées montrent clairement leurs parfaite conformité aux normes d’hygiène concernant la manipulation des aliments, ce qui offre un produit d’une qualité hygiénique acceptable.

L’effet des différentes proportions des composants utilisées dans la préparation de yaourt à boire à base de sirop de jujubier, sur les caractéristiques physico-chimiques des formulations, avait montré que la formulation ayant les propriétés physico-chimiques les plus optimales, est la 3^{ème}, nommée “F₃”.

L’évaluation de l’analyse sensorielle a été réalisée pour les produits préparés à base de sirop de fruit de jujubier à l’aide de deux types de panels, un panel expert composé de vingt-et-un personnes et un panel naïf composé de quarante personnes. Les résultats ont montré que les panels ont appréciés la 8^{ème} formulation, codé en 103.

Cette étude peut être considérée comme une ouverture à des perspectives qui devrait servir à l’évaluation de ce fruit (*zizyphus lotus Lam*) citant à titre d’exemple, d’élargir l’étude de différentes activités, tel l’activité anti-oxydante et antimicrobienne des extraits polyphénoliques et approfondir leur utilisation en tant qu’additif alimentaire

*Références
bibliographiques*

Références bibliographique

Références bibliographiques

- Abdeddaim, M. (2018). *Etude de la composition biochimique des fruits de cinq espèces végétales présentes dans la région des aurès en vue de leur utilisation alimentaire ou pharmacologique (celtis australis L, crataegus azarolus L, crataegus monogyna J, elaeagnus angustifolia L, et zizyphus lotus L).*
- Abdeddaim, M., Lombarkia, O., Bacha, A., Fahloul, D., Abdeddaim, D., Farhat, R., . . . Lekbir, A. (2014). Biochemical characterization and nutritional properties of Zizyphus lotus L. fruits in Aures region, northeastern of Algeria. *Food science and technology*, 15, 75-81.
- Adeli, M., & Samavati, V. (2015). Studies on the steady shear flow behavior and chemical properties of water-soluble polysaccharide from Zizyphus lotus fruit. *International Journal of Biological Macromolecules*, 72, 580-587.
- Adzu, B., Amos, S., Amizan, M., & Gamaniel, K. (2003). Evaluation of the antidiarrhoeal effects of Zizyphus spina-christi stem bark in rats. *Acta tropica*, 87(2), 245-250.
- Al-Reza, S. M., Yoon, J. I., Kim, H. J., Kim, J.-S., & Kang, S. C. (2010). Anti-inflammatory activity of seed essential oil from Zizyphus jujuba. *Food and Chemical Toxicology*, 48(2), 639-643. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.11.045>
- AOAC. (1990). Official methods of analysis: Aoac Washington, DC.
- AOAC. (1999). Méthodes officielles d'analyse. 16e éd. Association des chimistes analytiques officiels, Washington.
- Arroum, S., Zmouli, K., Gaddour, A., Fguiri, I., Naziha, A., & Khorchani, T. (2016). *Étude comparative des caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques du lait caprin en fonction du mode d'élevage*. Paper presented at the Options Méditerranéennes. Series A: Mediterranean Seminars.
- Bahorun, T., Gressier, B., Trotin, F., Brunet, C., Dine, T., Luyckx, M., . . . Pinkas, M. (1996). Oxygen species scavenging activity of phenolic extracts from hawthorn fresh plant organs and pharmaceutical preparations. *Arzneimittel-forschung*, 46(11), 1086-1089.
- Bamouh, A. 2002. La lutte chimique contre le jujubier. Programme national de transfert de technologie en agriculture (PNTTA), DERD. Rabat, 94: 4.
- Baraldo, M., Furlanut, M., & Guang, W. 1995. Calculating percentage prediction error: a user's note. *Pharmacological research*, 32(4): 241-248.
- Béal, C., & Helinck, S. (2019). Fabrication des yaourts et des laits fermentés *Fabrication des yaourts et des laits fermentés* (Vol. F6315).
- Benammar, C., Hichami, A., Yessoufou, A., Simonin, A.-M., Belarbi, M., Allali, H., & Khan, N. A. (2010). Zizyphus lotus L. (Desf.) modulates antioxidant activity and human T-cell proliferation. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 10(1), 54. doi: 10.1186/1472-6882-10-54
- Benchelah, A.-C., Bouziane, H., & Maka, M. (2004). Fleurs du Sahara, arbres et arbustes, voyage au coeur de leurs usages avec les Touaregs du Tassili. *Phytothérapie*, 2, 191-197.

Références bibliographique

- Boizot, N., & Charpentier, J.-P. J.-P. (2006). Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. *Cahier des Techniques de l'INRA*, 79-82.
- Borgi, W., Ghedira, K., & Chouchane, N. (2007). Antiinflammatory and analgesic activities of *Zizyphus lotus* root barks. *Fitoterapia*, 78(1), 16-19.
- Bourlioux, P., Braesco, V., & Mater, D. D. (2011). Yaourts et autres laits fermentés. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 46(6), 305-314.
- Brennstuhl, M.-J., Martignon, S., & Tarquinio, C. 2021. Alimentation et santé mentale: l'alimentation comme voie vers le bonheur? *Nutrition Clinique et Métabolisme*, 35(3): 168-183.
- Burrows, I. (2005). La nature comestible. *Delachaux et Niestle ISBN 2-603-01462-5*.
- Chatelain, C., Boumediene, M., & Benhouhou, S. (2018). eFlore du Maghreb, une flore électronique basée sur la Nouvelle flore d'Algérie de P. Quézel et S. Santa. *Ecologia mediterranea*, 44, 131-136. doi: 10.3406/ecmed.2018.2053
- Claudine, R. (2007). Le nom de l'arbre: le gnenadier, le caroubier, le jujubier, le pistachier et l'arbusier. *Actes sud le Majan, 1er Edition. France*, 45-62.
- Claustrioux, J.-J. (2001). Considérations sur l'analyse statistique de données sensorielles. *BASE*.
- Codex, a. (2003). Codex alimentarius CXS 243-2003 Norme pour les laits fermentés, [auteur du livre] *International, Food Standards*. .
- Dutta, D., Dutta, A., Raychaudhuri, U., & Chakraborty, R. (2006). Rheological characteristics and thermal degradation kinetics of beta-carotene in pumpkin puree. *Journal of food engineering*, 76(4), 538-546.
- Fatima, D.-m. (2019). *Analyse de la variabilité des fruits de quelques populations de jujubier sauvage (Zizyphus lotus L. Desf.) en Algérie*. Université Ibn Khaldoun-Tiaret-.
- Faucher, J. (2006). *Les plans d'expériences pour le réglage de commandes à base de logique floue*.
- Gelebart, P. (2019). *Modulation de la texture des gels acides laitiers par addition d'agrégats de protéines laitières*. Retrieved from <http://www.theses.fr/2019NANT4018/document>
Available from <http://www.theses.fr/2019NANT4018>
- Ghalem, M. (2014). *Effets antioxydants et anti-inflammatoires des extraits de Zizyphus lotus et Anthyllis vulneraria*.
- Ghazanfar, S. (1994). Manuel des plantes médicinales arabes (1ère éd.). *Presse CRC*.
<https://doi.org/10.1201/b14834>.
- Ghedira, K. (2013). *Zizyphus lotus* (L.) Desf. (Rhamnaceae): jujubier sauvage. *Phytothérapie*, 11(3), 149-153. doi: 10.1007/s10298-013-0776-8
- Gijsbers, L., Ding, E. L., Malik, V. S., De Goede, J., Geleijnse, J. M., & Soedamah-Muthu, S. S. (2016). Consumption of dairy foods and diabetes incidence: a dose-response meta-analysis of observational studies. *The American journal of clinical nutrition*, 103(4), 1111-1124.
- Goupy, J. (2006). Les plans d'expériences-Tutoriel. *Revue Modulad*, 34.

Références bibliographique

- Hachana, Y., Rejeb, R., Chiboub, N., & Zneidi, I. (2017). Variation factors of yoghurt quality during the manufacturing process Etude des facteurs de variation de la qualité du yaourt durant le processus de production.
- Hanco, V., Poilâne, C., & Chen, J. (2011). Composite lin/époxy : optimisation par plan d'expériences.
- Houma, I., Belhadj, S., Derridj, A., Mevy, J. P., Notoinnier, R., Tonetto, A., & Gauquelin, T. ZIZIPHUS LOTUS (L.) MORPHOLOGICAL DESCRIPTION FROM WILD POPULATIONS IN ALGERIA.
- Josse, J., & Husson, F. (2009). Gestion des données manquantes en analyse en composantes principales. *Journal de la société française de statistique*, 150(2), 28-51.
- kora, E. (2004). Interactions physico-chimiques et sensorielles dans le yaourt brassé aromatisé: quels impacts respectifs sur la perception de la texture et de la flaveur?
- Landau, S., Leese, M., Stahl, D., & Everitt, B. S. (2011). *Cluster analysis*: John Wiley & Sons.
- Lapointe-Vignola, C. 2002. Science et technologie du lait: transformation du lait: Presses inter Polytechnique.
- Lecerf, J.-M. (2020). Particularités et bienfaits des yaourts. *Médecine des Maladies Métaboliques*, 14(8), 699-705.
- Lesme, H. (2019). *Impact des modifications de texture obtenues par des assemblages protéiques innovants sur la qualité organoleptique de produits laitiers*. Retrieved from <http://www.theses.fr/2019ONIR129F/document> Available from <http://www.theses.fr/2019ONIR129F>
- Leterme, P., Buldgen, A., Estrada, F., & Londoño, A. M. (2006). Mineral content of tropical fruits and unconventional foods of the Andes and the rain forest of Colombia. *Food Chemistry*, 95(4), 644-652.
- Linder, R. (2005). *Les plans d'expériences: un outil indispensable à l'expérimentateur*: Presses des Ponts.
- Lucey, J., Tamehana, M., Singh, H., & Munro, P. (1998). A comparison of the formation, rheological properties and microstructure of acid skim milk gels made with a bacterial culture or glucono- δ -lactone. *Food Research International*, 31(2), 147-155.
- Madani, S., Hendel, N., Boudjelal, A., & Sarri, D. (2012). Inventory of medicinal plants used for traditional treatment of eczema in the region of Hodna (M'sila-Algeria).
- Maiwore, J., Baane, M., Ngoune, L. T., Fadila, J., Yero, M. Y., & Montet, D. (2018). Qualité microbiologique et physico-chimique des laits fermentés consommés à Maroua (Cameroun). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(3), 1234-1246.
- Mekious, S., Masseaux, C., Daoud, N., & Belhadj, S. e. (2020). CARACTÉRISTIQUES MÉLISSOPALYNOLOGIQUES ET CONTENU PHÉNOLIQUE DU MIEL DE ZIZIPHUS LOTUS D'ALGÉRIE.
- Montmain, J., Imoussaten, A., & Harispe, S. (2021). *Notion d'influence dans l'analyse sensorielle*. Paper presented at the LFA'2021-30èmes Rencontres Francophones sur la Logique Floue et ses Applications.

Références bibliographique

- Murray, J., Delahunty, C., & Baxter, I. (2001). Descriptive sensory analysis: past, present and future. *Food research international*, 34(6), 461-471.
- Pagès, J., Berthelo, S., Brossier, M., & Gourret, D. (2014). Statistical penalty analysis. *Food Quality and Preference*, 32, 16-23.
- Pense-Lheritier, A.-M. (2008). Analyse sensorielle et univers cosmetique. *Actu Chim*, 323-324.
- Perna, A., Intaglietta, I., Simonetti, A., & Gambacorta, E. (2014). Antioxidant activity of yogurt made from milk characterized by different casein haplotypes and fortified with chestnut and sulla honeys. *Journal of Dairy Science*, 97(11), 6662-6670. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7843>
- Perret, C. (2001). *Analyse de tannins inhibiteurs de la stilbène oxydase produite par Botrytis cinerea Pers.: Fr.* Université de Neuchâtel.
- PNTTA. (2002). La lutte chimique contre le jujubier, . *Programme National de transfert de Technologie en Agriculture ,Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA*
- Popper, R., & Gibes, K. (2004). Workshop summary: Data analysis workshop: getting the most out of just-about-right data-Abstracts. *Food Quality and Preference*, 15(7-8), 891-899.
- Rosen, H. (1957). A modified ninhydrin colorimetric analysis for amino acids. *Archives of biochemistry and biophysics*, 67(1), 10-15.
- Rsaissi, N., Bouhache, M., & Bencharki, B. (2012). Importance et impact agro-économique du jujubier (*Ziziphus Lotus*) dans la Chaouia. *Revue Marocaine de Protection des Plantes*(3).
- Saadoudi, M. (2019). *Caractérisation biochimique, conservation et essais d'élaboration des produits alimentaires à base du fruit de Zizyphus lotus L.* UB1.
- Salvador, A., & Fisman, S. (2004). Textural and sensory characteristics of whole and skimmed flavored set-type yogurt during long storage. *Journal of dairy Science*, 87(12), 4033-4041.
- Schlich, P. (2007). *DE LA SENSOMETRIE A L'ETUDE DES PREFERENCES ET DES COMPORTEMENTS ALIMENTAIRES.* Université de Bourgogne.
- Thomas, A. (2016). *Analyse sensorielle temporelle descriptive et hédonique.* Université de Bourgogne.
- Tinsson, W. (2010). *Plans d'expérience: constructions et analyses statistiques* (Vol. 67): Springer Science & Business Media.
- Triboulet, P. (2008). Notions De Bases Sur Les Plans D'Experiences "1/ Intérêts des plans d'expériences". *Lycée Niepce – Chalon sur Saône.*
- Vivek, K., Subbarao, K., Routray, W., Kamini, N., & Dash, K. K. (2020). Application of fuzzy logic in sensory evaluation of food products: A comprehensive study. *Food and Bioprocess Technology*, 13, 1-29.
- Wangkananon, W., Phuaksaman, C., Koobkokkrud, T., & Natakankitkul, S. (2018). An extreme vertices mixture design approach to optimization of tyrosinase inhibition effects. *Engineering Journal*, 22(1), 175-185.

Références bibliographique

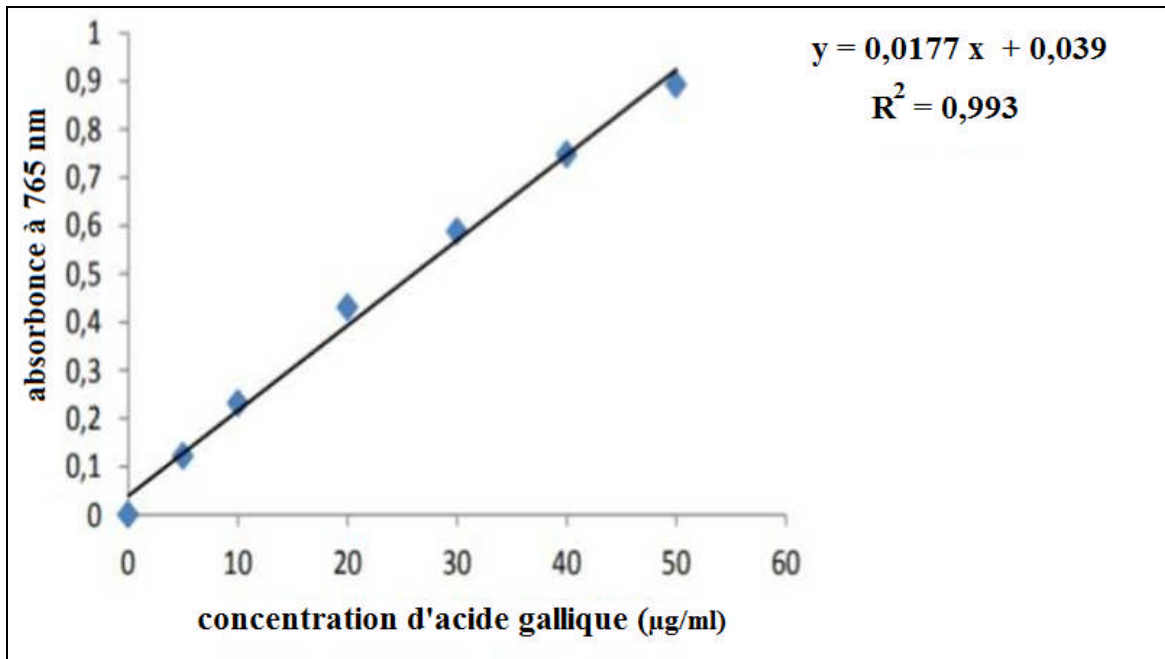
- Watts, B. M., Ylimaki, G., Jeffery, L., & Elias, L. (1991). *Méthodes de base pour l'évaluation sensorielle des aliments*: CRDI, Ottawa, ON, CA.
- Widad, O., Hamza, F., Youcef, M., Jean-claude, C., Gilles, F., Pierre, C., . . . Samir, B. (2017). Chemical composition and antioxidant activity of the fruit essential oil of *Zizyphus lotus* (L.) Desf.(Rhamnaceae). *Int. J. Pharmacogn. Phytochem. Res.*, 9, 228-232.
- Wong, S. P., Leong, L. P., & Koh, J. H. W. (2006). Antioxidant activities of aqueous extracts of selected plants. *Food chemistry*, 99(4), 775-783.
- XLSTAT, G. 2023. COpyright © 2023. Guide XLSTAT.
- Yamini, K., Shering, M., Reddy, S., & Reddy, N. (2011). Pharmacognostical and preliminary phytochemical screening on leaves of *Trianthema decandra* Linn. *International Journal of Pharmaceutical and Biological Archives*, 2(3), 960-962.
- Yenket, R., CHAMBERS IV, E., & Adhikari, K. (2011). A comparison of seven preference mapping techniques using four software programs. *Journal of Sensory Studies*, 26(2), 135-150.
- Zaki, H., Benlyas, M., Zegzouti, Y. F., & Bouachrine, M. (2016). Méthodologie générale d'une étude ACP: Généralités, concepts et exemples. *Revue interdisciplinaire*, 1(1).

Annexes

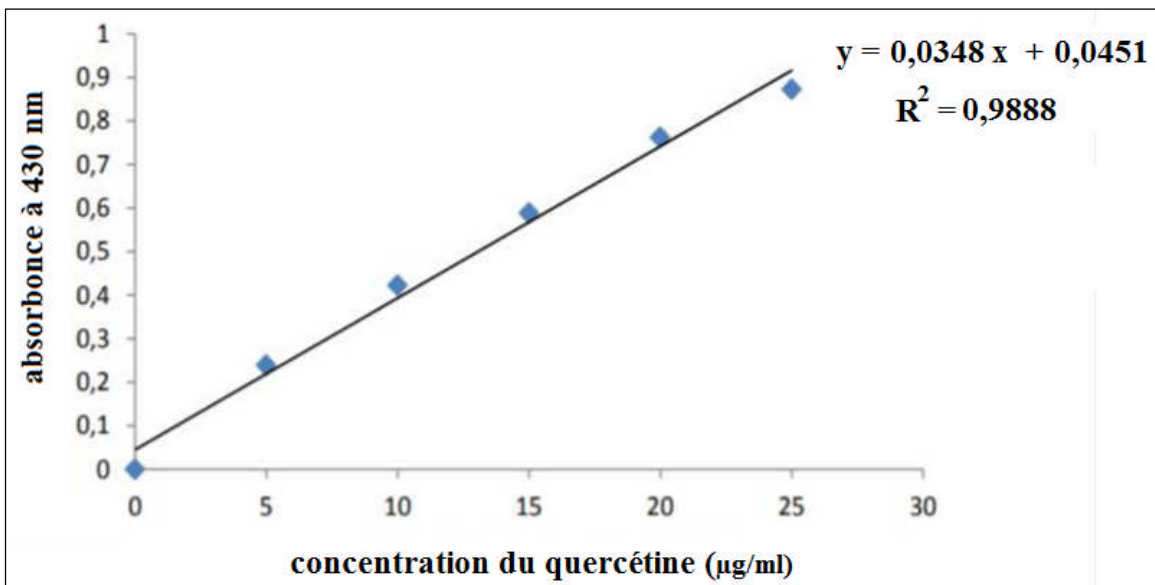
Annexes

Annexe 1

Représentation de la gamme d'étalonnage des polyphénols totaux



Représentation de la gamme d'étalonnage des flavonoïdes



Annexes

Annexe 2

Exemple de fiche de l'évaluation sensorielle des produits de yaourt préparé

Produits	602	381	850	122	559	967	720	103
Echelle JAR (5-points)	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5
Les attributs sensoriels								
Couleur (Apparence)
Odeur
Onctuosité (Texture crémeuse)
Consistance
Saveur sucrée
Saveur fruitée
Acidité
Arôme
Arrière-gout
Echelle hédonique (9-points)	1 2 3 4 5 6 7 8 9	1 2 3 4 5 6 7 8 9	1 2 3 4 5 6 7 8 9	1 2 3 4 5 6 7 8 9	1 2 3 4 5 6 7 8 9	1 2 3 4 5 6 7 8 9	1 2 3 4 5 6 7 8 9	1 2 3 4 5 6 7 8 9
Degré d'appréciation

Spécialité :

L'âge :

Le sexe :