

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة 8 ماي 1945 قالمة

Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie Sciences de la terre et de l'Univers.



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Alimentaires

Spécialité/Option : Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire

Département : Biologie

Thème

Évaluation de l'acidité et du pH des jus de fruits et leur impact sur la croissance microbienne.

Présenté par :

- ❖ Bars Norhane
- ❖ Gouaidia Intissar

Devant le jury composé de :

Présidente	Mme Messied R.	M.C.B	Université de Guelma
Examinatrice	Mme Malek I.	M.C.B	Université de Guelma
Encadrant	Mr. Mokhtari A.	M.C.B	Université de Guelma

Juin 2025

Remerciement

Tout d'abord, merci à Dieu qui nous a donné le courage et la volonté de terminer ce travail.

*Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à **Mr. Mokhtari**, qui a supervisé ce travail. Nous avons eu l'honneur de bénéficier de ses services. Nous le remercions également pour sa patience, ses conseils et sa présence tout au long de la réalisation de ce travail.*

*Je tiens également à remercier **Mme Messiad. R** pour l'honneur qu'elle nous fait en acceptant de présider ce jury.*

*Je tiens également à remercier **Mme Malek. I** d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Nous tenons également à remercier sincèrement **Mme Nadjah**, notre technicienne de laboratoire de contrôle qualité, pour ses précieux conseils et son soutien dans la réalisation de notre projet final. Nous remercions également tous les techniciens du laboratoire de l'Université de Guelma pour leurs services.*

Nous tenons également à exprimer notre sincère gratitude à tous les enseignants qui ont contribué à notre éducation tout au long de notre cycle d'études.

Merci à tous et à toutes.

Dédicace

Dans ces instants de gratitude ou les mots semblent insuffisants, à l'aboutissement tant attendu ou l'on récolte enfin les fruits des veilles, de la fatigue et des prières....

À tous ceux qui m'ont accompagnée, relevée dans mes chutes, et aimés dans ma faiblesse avant ma force...

Je dédie ce moment à :

*À celle qui fut mon premier refuge, à ma chère maman **Samira**, toi qui as porté mes soucis avant même ma naissance et dont les prières sincères ont ouverts tant de portes fermées...*

Cette réussite est une couronne sue ta tête, comme tu l'as toujours été sue la mienne.

*À l'âme de mon père défunt **Hocine**, dont le corps est absent, mais dont la présence continue de m'accompagner à chaque instant...*

*À ma sœur **Wissal** et mon frère **Hamoudi**, compagnons de route et moitié de mon cœur, merci pour votre présence constante à chaque étape de ma vie.*

*À mon fiancé **Saif**, qui a cru en moi et m'a soutenue avec patience et amour....*

Tu as toute ma reconnaissance.

*À ma **grand-mère** et ma tante **Zahia**, merci pour votre attendresse.*

*Et à **Raja, Bouchra, Intissar et Soundous**, merci pour votre encouragement.*

À vous tous, j'offre ma joie, ma gratitude, et tout mon cœur.

Norhane

Dédicace

Après Alhamdulillah, Je suis ici aujourd'hui et je suis fier de ce que j'ai accompli.

Je dédie ce modeste travail à :

*À ma chère mère "**Djaouher**" et à mon cher père "**Mourad**" qui ont soutenu mes pas hésitants, je dédie le fruit de mes efforts représenté dans cette humble recherche, espérant que je serai une source de fierté pour vous.*

*A ma petite sœur "**Chada**" et à mon petit frère "**Yanis**", la joie de mon cœur.*

*À ma chère binôme "**Bars Norhane**"*

Qui a partagé avec moi les moments difficiles et heureux de ce travail.

*Ma grand-mère " **Mama Lila** " Le cœur et l'âme de la famille.*

*A mes amies " **Hanine, Manar, Lamis, Farah, Soundous** "*

Si les coïncidences des jours sont bonnes, alors votre compagnie est la meilleure des coïncidences, et aujourd'hui je partage avec vous la joie de la remise des diplômes. Je vous la dédie avec fierté.

À toi seul... celui qui se connaît. À celui qui m'a soutenu dans mes moments les plus difficiles et les plus heureux,

À mes amis de la promo Master Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire

Après des années d'efforts, de défis

Aujourd'hui, je me tiens devant une réalisation dont j'ai toujours rêvé,

Alhamdulillah.

Intissar.

Sommaire

Remerciement

Dédicace

Liste Des Figures

Liste Des Tableaux

Liste Des Abréviations

Résumé

Abstract

ملخص

Introduction1

Synthèse Bibliographique

1. Définition des jus de fruits4

2. Les types des jus de fruits4

2.1 Les jus de fruits obtenus à partir d'un concentré4

2.2 Les jus de fruits concentrés et déshydratés4

2.3 Nectars de fruits4

3. Valeurs nutritionnelles des jus6

4. Les ingrédients autorisés7

5. Les sources mondiales des matières premières dans la fabrication des jus de fruits9

6. Fabrication du jus de fruits9

7. Les défis de la transformation des jus de fruits10

8. Aspects microbiologiques des jus de fruits11

8.1 Les bactéries11

8.2 Les levures11

8.3 Les moisissures11

9. Les sources de contamination des aliments12

10. Les méthodes de conservation des jus de fruit	12
10.1 La pasteurisation	12
10.2 Les conservateurs	12
10.3 L'emballage.....	13

Matériel et Méthodes

1.Echantillonnage	15
2.Méthodes d'analyses.....	15
2.1Analyses physico-chimiques	15
2.1.1Détermination du pH	15
2.1.2Détermination du Brix	16
2.1.3 Détermination de l'acidité titrable	16
2.2Analyse microbiologique.....	17
2.3 Analyse statistique – Régression linéaire	18

Résultats et Discussion

1. Variation de l'acidité, du pH, du degré Brix et de la charge microbienne dans divers jus au cours du temps à température ambiante.....	20
2. Etude de l'influence des paramètres physico-chimiques sur la charge microbienne par régression linéaire multiple	23
Conclusion	28
Références Bibliographiques	31
Annexe	35

Liste Des Figures

Figure 1: Diagramme de fabrication des jus de fruits et nectars UNIJUS.....	10
Figure 2: Mesure du pH d'un échantillon de jus à l'aide d'un pH-mètre.....	15
Figure 3: Mesure du degré Brix d'un jus à l'aide d'un réfractomètre.....	16
Figure 4: Schéma de détermination de l'acidité titrable.	17
Figure 5 : Évolution du pH des jus au cours du temps à température ambiante.	20
Figure 6: Évolution de la valeur du degré Brix des jus au cours du temps à température ambiante.....	21
Figure 7 : Évolution de la croissance microbienne des jus au cours du temps à température ambiante.....	22
Figure 8 : Évolution de l'acidité des jus au cours du temps à température ambiante.	23

Liste Des Tableaux

Tableau 1: Données sur des jus de fruits concernant la spécificité de chaque dénomination des jus	5
Tableau 2: Composition en minéraux et vitamines de différents fruits frais	6
Tableau 3: Contributions des jus et nectars aux apports nutritionnels	7
Tableau 4 : Résultats de la régression linéaire du nombre d'unités formant colonie (UFC/mL) en fonction de l'acidité, du pH et du taux de Brix dans un jus d'orange conservé à température ambiante.....	35
Tableau 5 : Résultats de la régression linéaire du nombre d'unités formant colonie (UFC/mL) en fonction de l'acidité, du pH et du taux de Brix dans un jus de citron conservé à température ambiante.	36
Tableau 6 : Résultats de la régression linéaire du nombre d'unités formant colonie (UFC/mL) en fonction de l'acidité, du pH et du taux de Brix dans un jus de mandarine conservé à température ambiante.....	37
Tableau 7 : Résultats de la régression linéaire du nombre d'unités formant colonie (UFC/mL) en fonction de l'acidité, du pH et du taux de Brix dans un jus de cerise conservé à température ambiante.....	38
Tableau 8 : Résultats de la régression linéaire du nombre d'unités formant colonie (UFC/mL) en fonction de l'acidité, du pH et du taux de Brix dans un jus de lait conservé à température ambiante.....	39

Liste Des Abréviations

BRSA : Boissons Rafraichissants Sans Alcool

Bx / B° : Degré de Brix

DJA : Dose Journalières Admissibles

H₃O⁺ : l'ion oxonium

HPP : High Pressure Processing (traitement à haute pression)

HTST : High Temperature Short Time (traitement à haute T° et de court durée)

NaCl : Chlorure de sodium

NaOH : Hydroxyde de sodium

SM : Solution Mère

Résumé

Cette étude a porté sur les analyses physicochimiques, et microbiologiques de jus de fruits conservés à température ambiante. Les facteurs (pH, titrabilité et degré Brix) sont interdépendants car ils influencent l'activité microbienne. À température ambiante l'analyse de l'évolution du pH révèle un comportement variable sur 10 jours susceptible d'inhiber ou de stimuler l'activité microbienne. Concernant l'acidité titrable les résultats montrent une augmentation de l'acidité des jus signe d'une activité fermentaire. En général, l'acidité augmente avec le temps à température ambiante affectant la prolifération microbienne et ainsi la production d'acide. L'évolution du degré Brix varie selon le type de jus et affecte également la croissance microbienne car les jus présentant une diminution du degré Brix indiquent une dégradation rapide des sucres et le début de la fermentation.

Mots clé : Jus de fruit, Analyses physicochimique, Analyses microbiologiques.

Abstract

This study examined the physicochemical and microbiological characteristics of fruit juices stored at room temperature. The parameters analyzed—pH, titratable acidity, and Brix—are interrelated, as they all impact microbial activity. Over a 10-day period at room temperature, pH levels showed variable trends, which may either suppress or promote microbial growth. An increase in titratable acidity was observed, indicating fermentation activity. Generally, acidity tends to rise over time, influencing microbial proliferation and acid production. The Brix content, which measures sugar concentration, changed depending on the type of juice. A decrease in Brix suggests sugar breakdown and the onset of fermentation, further affecting microbial development.

Keywords: fruit juice, physicochemical analyses, Microbiological analyses.

ملخص

ركزت هذه الدراسة على التحليلات الفيزيائية والكيميائية والميكرو بيولوجية لعصائر الفاكهة المخزنة في درجة حرارة الغرفة. هذه العوامل (الرقم الهيدروجيني، وقابلية المعايرة، وقيمة البريكس) مترابطة لأنها تؤثر على النشاط الميكروبي. في درجة حرارة الغرفة، يكشف تحليل تطور الرقم الهيدروجيني عن سلوك متغير على مدار 10 أيام، من المرجح أن يثبط أو يحفز النشاط الميكروبي. فيما يتعلق بالحموضة القابلة للمعايرة، تُظهر النتائج زيادة في حموضة العصائر، وهي علامة على نشاط التخمر. بشكل عام، تزداد الحموضة بمرور الوقت في درجة حرارة الغرفة، مما يؤثر على التكاثر الميكروبي وبالتالي إنتاج الحمض. يختلف تطور قيمة البريكس باختلاف نوع العصير، ويؤثر أيضًا على نمو الميكروبات، لأن العصائر التي ينخفض فيها البريكس تشير إلى تحلل سريع للسكريات وبداية التخمر.

الكلمات المفتاحية: عصير الفاكهة، التحاليل الفيزيائية والكيميائية، التحاليل الميكروبيولوجية.

Introduction

Introduction

Les fruits occupent une place importante dans notre alimentation quotidienne. Ils nous apportent de nombreux éléments indispensables au bon fonctionnement de notre organisme. Les transformer en jus est un moyen efficace de prolonger leur durée de conservation (**Metlef et al., 2022**). Les jus de fruits sont très appréciés pour leurs bienfaits nutritionnels, leurs qualités organoleptiques et leur praticité. Le marché mondial des jus de fruits a connu une croissance significative, portée par la demande des consommateurs pour des boissons plus saines et plus variées. Face aux préoccupations croissantes en matière de sécurité alimentaire et de qualité nutritionnelle, l'industrie des jus de fruits a dû innover et s'adapter (**Samreen, 2025**).

L'un des apports nutritionnels les plus significatifs dans les jus de fruits est la teneur en glucides. Cette teneur dépend de la richesse en glucides du fruit utilisé pour réaliser le jus, généralement sous forme de glucose, de saccharose et de fructose. Les jus peuvent aussi être une source de vitamine C, de bêta-carotène, de calcium, etc... (**Melkonian et al., 2020**). Certains jus de fruits présentent des avantages fonctionnels spécifiques, notamment sur le plan digestif. Par exemple, la papaye et l'ananas possèdent des enzymes naturelles qui favorisent la décomposition des aliments, tandis que des jus riches en fibres comme celui de prune peuvent contribuer à atténuer la constipation.

La qualité physicochimique d'un jus de fruit est déterminée par plusieurs paramètres dont le pH, l'acidité titrable, le Brix, etc... Les produits transformés doivent également répondre aux critères microbiologiques définis dans le cadre des normes alimentaires internationales (**Codex Alimentarius, 2005**). Dans ce contexte, il devient essentiel de comprendre comment certains paramètres physico-chimiques, en particulier le pH et l'acidité, influencent la charge microbienne des jus de fruits. Cela soulève un enjeu crucial : garantir la sécurité sanitaire de ces produits tout en maintenant leurs qualités nutritionnelles et organoleptiques afin de répondre aux attentes des consommateurs et aux exigences réglementaires.

L'objectif de cette étude est donc d'évaluer l'effet du pH et de l'acidité sur la réduction de la contamination microbienne dans les jus de fruits car ce sujet se situe à l'intersection de plusieurs enjeux importants : la sécurité alimentaire, la qualité des produits et les préoccupations sanitaires des consommateurs.

Cette étude comprend trois parties principales :

- Dans le premier chapitre, nous présentons des généralités bibliographiques sur les jus de fruits.
- Le deuxième chapitre concerne la partie matériel et méthodes utilisées pour déterminer les paramètres physico-chimiques et microbiologiques des jus de fruits.

– Enfin, le dernier chapitre présente et analyse les résultats obtenus au cours de ce travail de recherche.

Synthèse Bibliographique

1. Définition des jus de fruits

Un jus de fruits est défini comme le produit provenant de la pression du fruit par un procédé mécanique (**Davous, 1999**). Conformément à la norme Codex CXS 247-2005 relative aux jus de fruits, la norme générale définit le jus de fruits comme le liquide non fermenté, mais fermentescible, tiré de la partie comestible de fruits sains, parvenus au degré de maturation approprié et frais ou de fruits conservés dans de saines conditions par des moyens adaptés et/ou par des traitements de surface post-récolte appliqués conformément aux dispositions pertinentes de la Commission du Codex Alimentarius (**Codex Alimentarius, 2005**).

2. Les types des jus de fruits

Au terme du décret européen n°2003-838 les jus de fruits sont classés en trois catégories : jus de fruits, jus de fruits à base de concentré et nectar.

2.1 Les jus de fruits obtenus à partir d'un concentré

C'est un produit obtenu à partir de jus de fruits concentré après restitution de la proportion d'eau extraite du jus lors de la concentration. L'eau ajoutée présentant des caractéristiques appropriées notamment des points de vue chimique, microbiologique et organoleptique de façon à garantir les qualités essentielles du jus. La restitution de son arôme se fait au moyen de substances aromatisants récupérées lors de la concentration du jus de fruits dont il s'agit ou de jus de fruits de la même espèce et qui présente des caractéristiques organoleptiques et analytiques équivalents (**Branger et al., 2009**).

2.2 Les jus de fruits concentrés et déshydratés

Conformément à la norme Codex STAN 247-2005 relative aux jus de fruits, la norme générale codex définit le jus de fruits concentré comme le produit obtenu à partir de jus de fruit d'une ou plusieurs espèces par l'élimination physique d'une partie déterminée de l'eau de constitution (**Codex Alimentarius, 2005**). Lorsque le produit est destiné à la consommation directe cette élimination est au moins de 50 % (**Cendres, 2010**). La norme générale codex STAN 247-2005 définit le jus de fruits déshydraté comme le produit obtenu à partir de jus de fruits d'une ou plusieurs espèces par l'élimination physique de la quasi-totalité de l'eau de constitution (**Cendres, 2010**).

2.3 Nectars de fruits

Les nectars de fruits sont un mélange de jus de fruits avec ou sans pulpe (et/ou de purée de fruits) d'eau et de sucres. La teneur en fruit est variable selon les fruits (de 25 à 50 %). Elle doit figurer sur l'étiquette. Est autorisé l'ajout de vitamines, d'acide citrique (acidifiant) et d'acide ascorbique (antioxygène). L'addition de conservateur ou de colorant est interdite (**Davous, 1999**). Dans le cas de la fabrication de nectars de fruits sans addition de sucres ou à

faible valeur énergétique, les sucres peuvent être remplacés totalement ou partiellement par des édulcorants conformément à la directive 94/35/CE du Parlement Européen et du Conseil du 30 juin 1994 concernant les édulcorants destinés à être employés dans les denrées alimentaires (Conseil de l'Union européenne, 2001). Le tableau 1 présente les données établies par les professionnels des jus de fruits concernant la spécificité de chaque dénomination des jus.

Tableau 1: Données sur des jus de fruits concernant la spécificité de chaque dénomination des jus (**Cendres, 2010**).

Dénomination		Où	Teneur en fruits	Autre ingrédient	Pasteurisation	Durée de conservation
Jus pure a 100%	Frais	Rayon	100%	Non	Non	1 semaine
	Réfrigéré	frais	100%	Non	Oui	4 à 5 semaines
	Ambiante	Rayon	100%	Non	Oui	12 mois
		frais Rayon liquide				
Jus à base de concentré	Réfrigéré	Rayon frais	100%	Eau de reconstitution : oui Sucre rarement utilisé, autorisé avec mention obligatoire	Oui	4 à 5 semaines
	Ambiante	Rayon liquide	100%	Eau de reconstitution : oui Sucre rarement utilisé, autorisé avec mention obligatoire	Oui	12 mois
Nectar	Réfrigéré	Rayon frais	25 à 50% minimum	Eau : oui Sucre : autorisé avec mention obligatoire	Oui	3 à 4 semaines
	Ambiante	Rayon liquide	25 à 50% minimum	Eau : oui Sucre : autorisé avec mention obligatoire	Oui	12 mois

3. Valeurs nutritionnelles des jus

Les jus de fruits et nectars sont des produits modérément énergétiques avec une faible teneur en lipides, en protéines, en fibres et en sodium. Les jus de fruits et les nectars présentent aussi des quantités parfois importantes de vitamines (bêta carotène, vitamine B9, vitamine C) et de minéraux (magnésium, fer) (**Prolongeau et Renaudin, 2009**). Le tableau 2 présente la composition en minéraux et vitamines de différents fruits frais.

Tableau 2: Composition en minéraux et vitamines de différents fruits frais (**Pinto et al., 2022**).

Fruits	Minéraux (mg/100 g de poids frais)									
	Ca	P	K	Mg	Na	Fe	Se	Cu	Mn	Zn
Pomme	6	11	107	5	1	120 ^a	0	30 ^a	40 ^a	40 ^a
Abricot	13	23	259	10	1	390 ^a	0.1 ^a	80 ^a	80 ^a	200 ^a
Clémentine	30	21	177	10	1	140 ^a	10 ^a	40 ^a	20 ^a	60 ^a
Raisin	13	12.5-15	90.9-173	11-12.2	0	1.16	0	60 ^a	-	0.69
Mangue	11	14	168	10	1	160 ^a	0.6 ^a	110 ^a	60 ^a	90 ^a
Orange	41	14	181	10	0	100 ^a	0.5 ^a	40 ^a	30 ^a	70 ^a
	Vitamines									
	C		A		B6		B2			
Pomme	4.6		3 ^a		-		-			
Abricot	10		96 ^a							
Clémentine	48.8		-		-		-			
Raisin	10-62.4		3 ^a		790 ^c		247 ^c			

Mangue	36.4	54 ^a	0.1-0.16	0.02-0.1
Orange	53.2	11 ^a		

Unités : a : g/100 g de poids frais (FW) ; b : mg/100 g de poids sec ; c : g/100 g de poids frais ; d : mg/100 g de portion comestible.

Le tableau 3 présente les contributions des jus et nectars aux apports nutritionnels. Ces valeurs nutritionnelles moyennes ne reflètent pas directement la contribution réelle des jus de fruits et nectars aux apports nutritionnels. Elles permettent néanmoins d'identifier les caractéristiques nutritionnelles des jus de fruits et nectars (**Prolongeau et Renaudin, 2009**).

Tableau 3: Contributions des jus et nectars aux apports nutritionnels (**Prolongeau et Renaudin 2009**).

	Energie (kcal/100g)	Lipides (g/100g)	Protéines (g/100g)	Glucides (g/100g)	Glucides Simples (g/100g)	Fibres (g/100g)	AGS (g/100g)	Sodium (mg/100g)
Moyenne Jus + nectars	40.813	0.042	0.179	9.930	9.906	0.171	0.012	26.206
Moyenne Jus	35.026	0.063	0.252	8.363	8.341	0.187	0.018	38.199
Moyenne Nectars	52.389	0.000	0.033	13.064	13.036	0.137	0.000	2.219

4. Les ingrédients autorisés

La réglementation précise que le fruit ne conservera pas plus d'eau provenant des opérations de lavage, d'étuvage ou d'autres préparatifs qu'il n'est inévitable sur le plan technique. Les jus de fruits et les nectars de fruits doivent avoir la couleur, l'arôme et la saveur caractéristiques du jus de la variété de fruits à partir de laquelle ils sont obtenus. Le produit final doit être sain et propre à la consommation humaine, dans les différents points de contrôle qui doivent avoir lieu, avec des normes très encadrées au niveau des limites maximales fixées par Commission du Codex Alimentarius des résidus de pesticides et autres contaminants (Cendres, 2010). Ainsi, qu'il s'agisse de purs jus, de jus à base de concentré ou de nectars, les différents jus de fruits ont en commun de contenir les éléments suivants :

- **L'eau :** Il est le constituant essentiel du jus de fruits En tant qu'élément biologique l'eau désaltère et plus important encore elle permet le transport des nutriments contenus dans les jus

de fruits vers les cellules [1]. Pour les jus et les nectars reconstitués et selon la norme Codex CXS 247-2005, l'eau potable utilisée pour la reconstitution doit, au minimum, être conforme à la dernière édition des directives relatives à la qualité de l'eau potable de L'Organisation Mondiale de la Santé (**Codex Alimentarius, 2005**).

– **Les Sucres issu du fruit** : Les sucres dérivés directement du fruit, le jus pur et les jus à partir de concentré, ne renferment que les sucres qui existent naturellement dans les fruits. Uniquement les nectars peuvent renfermer des sucres ajoutés [1] dans le but de corriger le goût acide, les sucres tels que définis par la directive 2001/111/CE du Conseil du 20 décembre 2001 relative à certains sucres destinés à l'alimentation humaine tels que le sirop de fructose, les sucres dérivés de fruits (**Conseil de l'Union Européenne, 2001**).

– **Les vitamines et minéraux** : Les vitamines et les minéraux autorisés par le règlement (CE) n°1925/2006 du parlement européenne et de conseil du 20 décembre 2006 concerne l'adjonction de vitamines, de minéraux et de certaines autres substances aux denrées alimentaires (**Journal Officiel, 2013**). Les jus de fruits regorgent de plusieurs sortes de vitamines notamment A, E, B1, B2, B6, ect... Toutefois, les vitamines C et B9 sont celles qui sont présentes en plus grandes quantités parmi les deux types. La vitamine C qui se trouve en abondance dans les jus de fruits surtout dans les jus d'agrumes. La vitamine B9, également dénommée acide folique se trouve en abondance dans certains fruits comme les oranges et leurs jus [1].

– **Antioxydant** : Ils sont présents sous forme de caroténoïdes et de polyphénols. Les pigments végétaux appelés caroténoïdes sont responsables de la coloration jaune, orange ou rouge des fruits. Parmi eux, le bêta-carotène que l'on trouve en grande quantité dans le jus de carotte et dans les jus de fruits exotiques est à citer. Une autre catégorie d'antioxydants est celle des polyphénols que l'on peut aussi trouver dans certaines boissons comme les jus d'agrumes ou de fruits rouges [1].

– **Additifs** : L'arrêté du 2 octobre 1997 relatif aux additifs pouvant être employés dans la fabrication des denrées destinées à l'alimentation humaine distingue : les colorants, les édulcorants, les additifs alimentaires autres que colorants et édulcorant (**Davous, 1999**).

Les colorants sont des additifs qui ajoutent ou redonnent de la couleur à des denrées alimentaire. Les colorants les plus couramment ajoutés dans les sirops et BRSA sont : Tartrazine (E102), Jaune de quinoléine (E104), Jaune orange S (E110).

Les édulcorants sont des additifs alimentaires utilisés pour donner une saveur sucrée aux denrées alimentaires. Les denrées alimentaires ayant un pouvoir édulcorant ne sont pas

considérées comme édulcorants. Dans les BRSA, l'aspartame et la saccharine sont parmi les édulcorants les plus utilisés et sont appelés édulcorants intenses.

Les additifs alimentaires autres que colorants et édulcorants tel que, les conservateurs et les antioxygènes sont des substances qui prolongent la durée de conservation des denrées alimentaires en les protégeant des altérations dues aux micro-organismes ou bien provoquées par l'oxydation.

Les acidifiants sont des substances qui augmentent l'acidité d'une denrée alimentaire et/ou lui donnent un goût acide (acide citrique).

5. Les sources mondiales des matières premières dans la fabrication des jus de fruits

Les fruits en tant que matière première pour la fabrication des meilleurs jus de fruits proviennent de différentes régions du monde. Le Brésil est le plus grand producteur d'oranges avec une production représentant 25,2 % en 2010. Les États-Unis viennent ensuite avec 12,1 % suivis par l'Europe qui se distingue par la production de pommes et de raisins grâce à son climat tempéré. À titre d'exemple, les producteurs français ont réalisé 20 millions de litres de jus de raisin, 50 millions de litres de jus de pomme, et 6 millions de litres de jus de tomate en 2010 (**Braesco et al., 2013**).

6. Fabrication du jus de fruits

La première étape de la fabrication des jus de fruits consiste à sélectionner des fruits de haute qualité (**Figure 1**). Cette étape est cruciale car la qualité de la matière première influence directement le produit final (**Samreen, 2025**). Les fruits sont réceptionnés et sélectionnés à l'entrée de la ligne de pressurage. Ils sont ensuite automatiquement lavés et calibrés puis dirigés vers des extracteurs ou des broyeurs adaptés à leur taille. Le jus est extrait par pressurage mécanique ou broyage selon le type de fruit. S'ensuit l'étape de séparation physique qui diffère selon le produit et l'opérateur permettant de retirer des morceaux de pépin, des fibres ou pulpe grossières et d'autres impuretés. Dans le cas du jus d'orange, le jus est raffiné grâce à une séparation physique par tamisage de ses parties fibreuses grossières. Le jus recueilli ne contient plus que des pulpes fines et calibrées. Une centrifugation est ensuite réalisée pour moduler la teneur en pulpes fines du jus (**Braesco et al., 2013**).

Les jus subissent une pasteurisation qui consiste à chauffer le jus pour éliminer les micro-organismes pathogènes et prolonger sa durée de conservation. Les méthodes traditionnelles, comme la pasteurisation à haute température et courte durée (HTST), sont efficaces mais peuvent dégrader les nutriments thermosensibles comme la vitamine C. Pour répondre à ces préoccupations, des méthodes alternatives telles que le traitement à haute pression (HPP) et le traitement aux ultraviolets (UV) sont à l'étude. Ces techniques non

thermiques préservent les nutriments et les qualités organoleptiques tout en garantissant la sécurité microbienne (Samreen, 2025).

Enfin le conditionnement ou l'emballage qui joue un rôle essentiel dans la préservation de la qualité du jus pendant le stockage et le transport (Samreen, 2025). Le jus décontaminé est conditionné en emballage individuel (produit fini) ou bien en vrac : fûts (aseptiques ou congelés), bins (emballages aseptiques de 1000 litres), cuves, citernes... Les jus en vrac seront livrés aux élaborateurs de produits finis qui effectuent le conditionnement final suite à une re-pasteurisation du jus (Cendres, 2010).

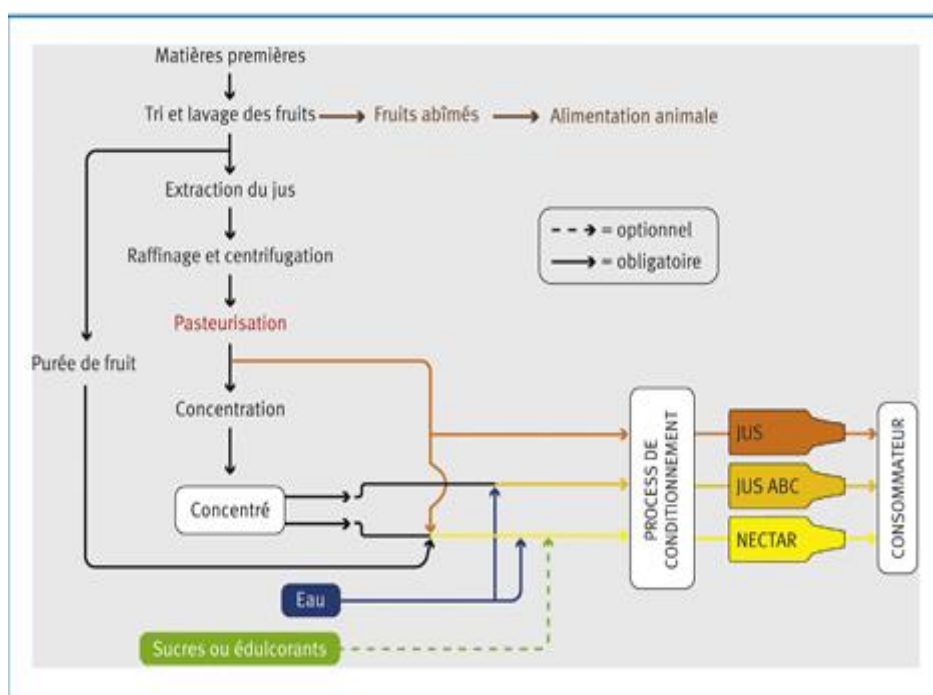


Figure 1: Diagramme de fabrication des jus de fruits et nectars UNIJUS (Braesco et al., 2013).

7. Les défis de la transformation des jus de fruits

Samreen (2025) a mentionné les différents défis qui peuvent être rencontrés lors de la fabrication des jus de fruits et qui sont présentés comme suit :

- **La sécurité microbienne :** Les jus peu transformés sont particulièrement exposés à la contamination microbienne, notamment par *Escherichia coli*, *Salmonella* et *Listeria monocytogenes*. Pour garantir leur sécurité, il est essentiel d'appliquer des protocoles d'hygiène stricts et d'utiliser des techniques de conservation avancées, l'utilisation de la chaleur pour mieux préserver les qualités organoleptiques et nutritionnelles des produits tout en garantissant la sécurité microbiologique.

- **La perte de nutriments :** L'un des principaux défis de la transformation des jus de fruits est la perte de nutriments notamment lors des traitements thermiques comme la pasteurisation. Les vitamines C et B sont également importantes. Tout comme les antioxydants sont très sensibles à la chaleur. Des recherches sont en cours pour développer des méthodes permettant d'équilibrer la sécurité microbienne et la préservation des nutriments notamment en optimisant les paramètres de transformation et en utilisant des additifs protecteurs.
- **Les préférences des consommateurs :** Les consommateurs modernes privilégient de plus en plus les produits naturels avec un minimum d'additifs et de transformation. Cette préférence pose des défis pour garantir la stabilité et une durée de conservation prolongée sans utiliser de conservateurs synthétiques.

8. Aspects microbiologiques des jus de fruits

Malgré les efforts constants de la transformation à offrir des produits de qualité, il peut se manifester une dégradation des jus suite de contamination microbienne lors de la fabrication ou de la conservation du produit. Cette section traite des principales bactéries, levures et moisissures les plus souvent impliquées dans l'altération des jus de fruits (**Claveau, 2009**).

8.1 Les bactéries

Selon **Parish et Higgins (1989)** les jus de fruits en raison de leur pH acide présentent peu de risques microbiologiques. Un pH inférieur à 4,5 est létal pour des germes pathogènes comme *Listeria monocytogenes* ou *Clostridium botulinum*.

8.2 Les levures

Selon **Barnett et al. (1990)** Les champignons microscopiques peuvent survivre sous des conditions aérobies et anaérobies ainsi que dans des milieux composés de sources métabolisables de glucide, d'azote, de vitamine et de minéraux. Les levures se développent particulièrement bien dans les milieux acides, ils tolèrent des valeurs de pH entre 2,5 et 8,0. La contamination des jus de fruits par des levures peut entraîner la turbidité, production de CO₂, dégagement de mauvaises odeurs et changements de couleur (**Grinbaum et al., 1994**).

8.3 Les moisissures

L'altération des fruits et produits à base de fruits pasteurisés et en conserve, causée par des moisissures résistantes à la chaleur, a été signalée à plusieurs reprises ces dernières années. Les espèces les plus fréquemment impliquées dans la désintégration des fruits et produits à base de fruits sont *Byssochalmys fulva*, *Talaromyces flavus*. Ces organismes sont saprophytes plutôt que parasites et contaminent généralement les fruits au sol ou à proximité. Ils peuvent survivre aux traitements thermiques utilisés pour la transformation des fruits et peuvent se développer et altérer les produits pendant le stockage à température ambiante (**Tournas, 1994**).

9. Les sources de contamination des aliments

L'homme peut être l'hôte de pathogènes qui contaminent les aliments via les personnes infectées. Il existe plusieurs types de réservoirs humains tels que les personnes malades (présentant des signes de maladies) et les personnes colonisées (l'agent infectieux est présent mais l'individu ne développe pas d'infection). L'environnement peut également être une source de contamination des aliments. Des agents pathogènes peuvent rester viables dans l'eau et le sol pendant des périodes prolongées, avant d'infecter de nouveaux hôtes et de contaminer des produits alimentaires par des voies très diverses reflétant la variété des écosystèmes qui sont en lien avec notre chaîne de production des aliments (**Fermaux et al., 2008**). Parmi les sources potentielles de contamination des plantes avant la récolte, il y a l'utilisation d'eau d'irrigation, l'épandage de fumier non traité, eaux de ruissellement des fermes d'élevage et aussi la présence de faune sauvage dans les zones de culture (**Beuchat, 2006**).

Enfin, les ateliers de production peuvent également représenter une source de contamination microbienne lors du processus de fabrication (milieu, main d'œuvre, matériel, méthodes). Cette contamination secondaire est généralement distinguée des contaminations primaires dues aux ingrédients bruts lorsqu'on évalue globalement les origines de la contamination alimentaire. Certains pathogènes dits ubiquistes, tels que *Listeria monocytogenes* ont la capacité à se maintenir dans les habitats qui constituent les unités de transformation (**Carpentier et al., 2011**).

10. Les méthodes de conservation des jus de fruit**10.1 La pasteurisation**

Elle est pratiquement la seule opération donnant toutes garanties quant à la qualité du produit et quant à sa conservation. Il s'agit de soumettre les flacons remplis de jus de fruits et sertis à des conditions de température et de temps suffisantes pour les priver des levures vivantes qu'ils peuvent contenir. Pratiquement, dans des conditions artisanales un traitement de 75°C d'un liquide pendant 20 minutes, peuvent donner toute sécurité. Dans des systèmes perfectionnés, on peut faire varier le rapport de ces deux chiffres de façon à respecter davantage la qualité du produit et à économiser le combustible et le temps de fabrication. Ces deux facteurs ayant une incidence importante sur le prix de revient du produit fini (**Navellier, 1950**).

10.2 Les conservateurs

Les conservateurs et les édulcorants alimentaires prédominent sur le plan de leurs utilisations. Ils sont destinés à inhiber les altérations microbiologiques et organoleptiques des produits alimentaires et de leur apporter une saveur sucrée à faible valeur énergétique pour les rendre plus appréciés par les consommateurs afin d'augmenter leurs commercialisations.

Les produits alimentaires qui renferment des conservateurs et des édulcorants et qui sont mis en circulation sur le marché sont soumis à des exigences générales de sécurité telles leurs doses journalières admissibles (DJA). Parmi les conservateurs alimentaires on distingue l'acide benzoïque, l'acide citrique (**Kouki et al., 2020**).

10.3 L'emballage

Les jus de fruits sont généralement conditionnés dans les bouteilles en verre, des boîtes métalliques, des cartons, des laminés à base d'emballage en plastique. Le verre est principalement utilisé pour les jus de fruits et de légumes de haute qualité. Le plus grand avantage du verre est qu'il constitue une barrière à la lumière. Comme les boîtes métalliques sont sensibles à la corrosion, il faut choisir des formulations de laque appropriées pour le revêtement intérieur afin d'éviter les problèmes de corrosion. Les emballages aseptiques de jus sont réalisés à partir de carton laminé avec du plastique et du papier d'aluminium. La durée de conservation de ces produits est alors de 4 à 6 mois. La principale considération de l'utilisation des matériaux d'emballage en plastique pour les boissons est d'obtenir une faible perméabilité à l'oxygène, afin d'empêcher l'oxydation des ingrédients sensibles, comme la vitamine C, d'éviter les changements de couleur ou la formation de mauvais goûts (**Debeaufort, 2021**).

Matériel et Méthodes

1. Echantillonnage

Dans cette étude, nous avons effectué des analyses physico-chimiques sur cinq types différents de jus de fruits sans conservateurs ni arômes artificiels : jus d'orange, jus de citron, jus de cerise-raisin, jus de mandarine et cocktail lait-fruit. Ces échantillons ont été achetés dans des épiceries de détail et transportés au laboratoire de biochimie de l'Université 8 Mai 1945 de Guelma.

Les analyses physico-chimiques réalisées comprenaient la mesure du pH, du degré Brix (teneur en sucres solubles) et de l'acidité titrable. Des analyses microbiologiques ont également été effectuées afin de quantifier le nombre total de micro-organismes viables présents dans chaque échantillon.

2. Méthodes d'analyses

2.1 Analyses physico-chimiques

2.1.1 Détermination du pH

Le pH qui reflète l'acidité ou la basicité d'une solution sur une échelle de 0 à 14 (**Prats, 2012**) a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre de laboratoire préalablement étalonné avec des solutions tampons standards (pH 7). Chaque échantillon de jus a été prélevé dans un bécher propre, agité légèrement pour homogénéisation, puis analysé à température ambiante (**Figure 2**). L'électrode a été soigneusement rincée à l'eau distillée entre chaque mesure afin d'éviter toute contamination croisée. Trois mesures ont été réalisées pour chaque échantillon, et la moyenne a été retenue comme valeur finale.

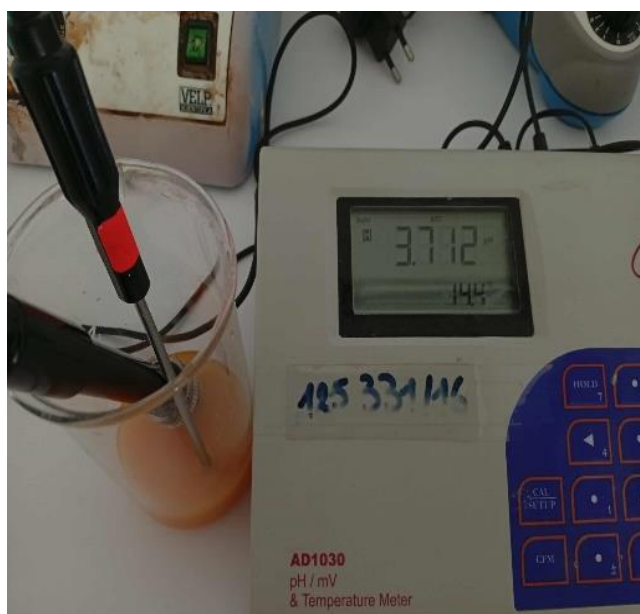


Figure 2: Mesure du pH d'un échantillon de jus à l'aide d'un pH-mètre (prise personnel).

2.1.2 Détermination du Brix

Le degré Brix a été mesuré à l'aide d'un réfractomètre numérique. Une goutte de chaque échantillon de jus a été déposée sur la surface du prisme de l'appareil, puis la lecture a été effectuée après stabilisation (**Figure 3**). L'appareil a été nettoyé à l'eau distillée entre chaque mesure pour éviter les contaminations croisées. Trois lectures ont été réalisées pour chaque échantillon, et la moyenne a été retenue comme valeur finale. Cette méthode est largement utilisée pour déterminer la teneur en matières solubles, principalement des sucres, dans les jus de fruits (AOAC, 2016).



Figure 3: Mesure du degré Brix d'un jus à l'aide d'un réfractomètre (prise personnel)

2.1.3 Détermination de l'acidité titrable

L'acidité titrable a été déterminée par titrage acido-basique selon la méthode colorimétrique décrite et ajustée par la norme française NF V05-101 (AFNOR, 1974). Un volume de 10 mL de chaque échantillon de jus a été dilué dans 90 mL d'eau distillée puis titré avec une solution de soude (NaOH 0,1 N) en présence de quelques gouttes de phénolphtaléine comme indicateur (**Figure 4**). Le titrage a été conduit jusqu'à l'apparition d'une coloration rose pâle persistante pendant 30 secondes. L'acidité titrable a été exprimée en milléquivalents par litre (meq/L) ou en g d'acide citrique/L en utilisant la formule suivante :

$$\text{Acidité (g/L)} = \frac{V \times N \times E \times 1000}{V_s}$$

- V = volume de NaOH utilisé (en mL)
- N = normalité de la soude (NaOH)
- E = équivalent-gramme de l'acide citrique (0,064 g/mmol)

- V_s = volume de l'échantillon titré (en mL)
- 1000 = facteur de conversion en L

Trois répétitions ont été réalisées pour chaque échantillon et la moyenne des valeurs a été utilisée pour l'analyse. Cette méthode est conforme aux recommandations de l'AOAC (2016) pour l'analyse des produits alimentaires.

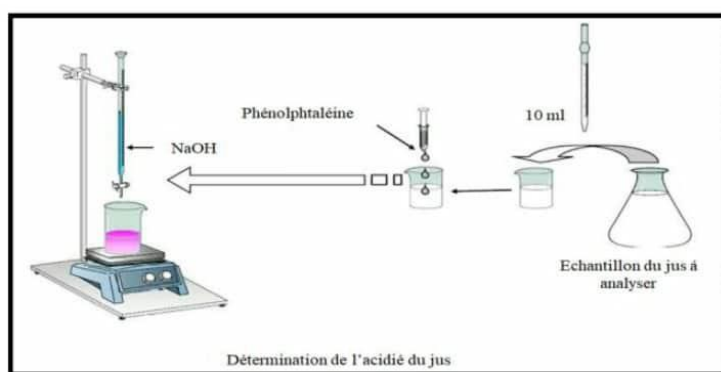


Figure 4: Schéma de détermination de l'acidité titrable.

2.2 Analyse microbiologique

Toutes les manipulations microbiologiques ont été effectuées sur une paillasse préalablement désinfectée à proximité d'un bec Bunsen afin de garantir des conditions aseptiques. Cette méthode suit les recommandations établies dans l'*Official Methods of Analysis* de l'AOAC International qui traite notamment de l'énumération des microorganismes aérobies et des analyses appliquées aux boissons non alcoolisées (AOAC, 2016).

Pour la préparation de la dilution mère (10^{-1}), 9 mL de solution saline stérile (NaCl à 9 %) ont été versés dans un tube stérile puis stérilisés à l'autoclave à 121°C pendant 15 minutes. Ensuite :

- 1 mL de jus a été prélevé à l'aide d'une micropipette stérile puis transféré dans le tube contenant la solution saline stérile.
- Le mélange a été homogénéisé à l'aide d'un vortex pour obtenir la dilution mère (10^{-1}).
- Des dilutions successives ont été réalisées si nécessaire selon la même méthode.

Pour l'ensemencement :

- 0,1 mL de la dilution appropriée a été transféré aseptiquement sur une boîte de Pétri contenant de la gélose nutritive.
- L'échantillon a été réparti sur la surface du milieu à l'aide d'une pipette Pasteur stérile (méthode d'étalement en surface).

- Les boîtes ont été incubées à 37°C pendant 48 heures.
- Après incubation les colonies bactériennes visibles ont été comptées et le nombre d'unités formant colonie (UFC/mL) a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{UFC/mL} = \frac{\text{Nombre de colonies} \times \text{Facteur de dilution}}{0,1 \text{ mL}}$$

2.3 Analyse statistique – Régression linéaire

Dans le cadre de l'analyse statistique des données une régression linéaire a été appliquée afin d'étudier les relations entre certains paramètres physico-chimiques (pH, acidité titrable, teneur en sucres – Brix) et la charge microbienne (exprimée en UFC/mL) au cours du temps. L'objectif de cette approche était de déterminer l'existence des corrélations entre ces variables en particulier l'effet de l'acidité, du pH et des sucres sur la croissance microbienne. Les données ont été traitées à l'aide d'un logiciel tableur (Excel). Le coefficient de détermination R^2 a été utilisé pour évaluer la qualité de l'ajustement et les relations ont été interprétées en fonction de leur significativité statistique.

Résultats et Discussion

1. Variation de l'acidité, du pH, du degré Brix et de la charge microbienne dans divers jus au cours du temps à température ambiante

L'analyse de l'évolution **du pH** à température ambiante révèle une moindre stabilité (Figure 5).

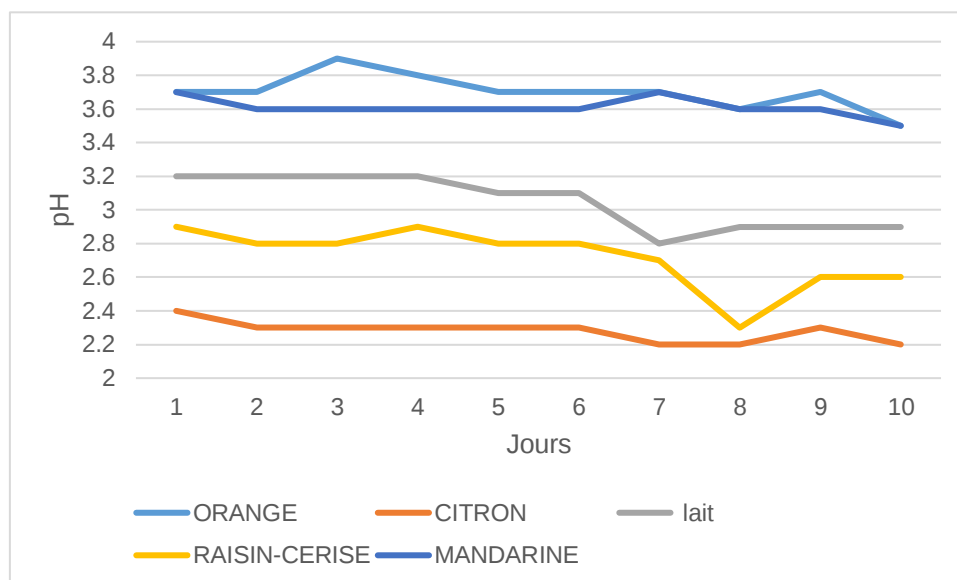


Figure 5 : Évolution du pH des jus au cours du temps à température ambiante.

Le jus d'orange débute à un pH de 3,7 avec une légère hausse à 3,9 au 3^{ème} jour suivie d'une baisse progressive jusqu'à 3,5 au 10^{ème} jour suggérant un possible début de dégradation microbienne ou de fermentation. Le jus de citron très acide conserve un pH relativement stable autour de 2,3 avec quelques baisses à 2,2 à partir du 7^{ème} jour témoignant d'une stabilité correcte malgré la température ambiante. Le cocktail lait-fruit subit une baisse progressive de pH à partir du 6^{ème} jour de 3,1 à 2,8 pouvant indiquer une activité microbienne marquée notamment par les bactéries lactiques menant à une acidification qui est un phénomène classique dans les milieux riches en protéines. Le jus raisin-cerise montre également une chute notable de pH atteignant 2,3 au 8^{ème} jour suggérant une acidification probablement liée à la fermentation par contamination microbienne. Enfin, le jus de mandarine est relativement stable avec un pH oscillant autour de 3,6 à 3,7 mais finit par baisser légèrement à 3,5 au 10^{ème} jour.

À température ambiante l'évolution de la valeur **du degré Brix** varie considérablement selon les marques de jus (Figure 6).

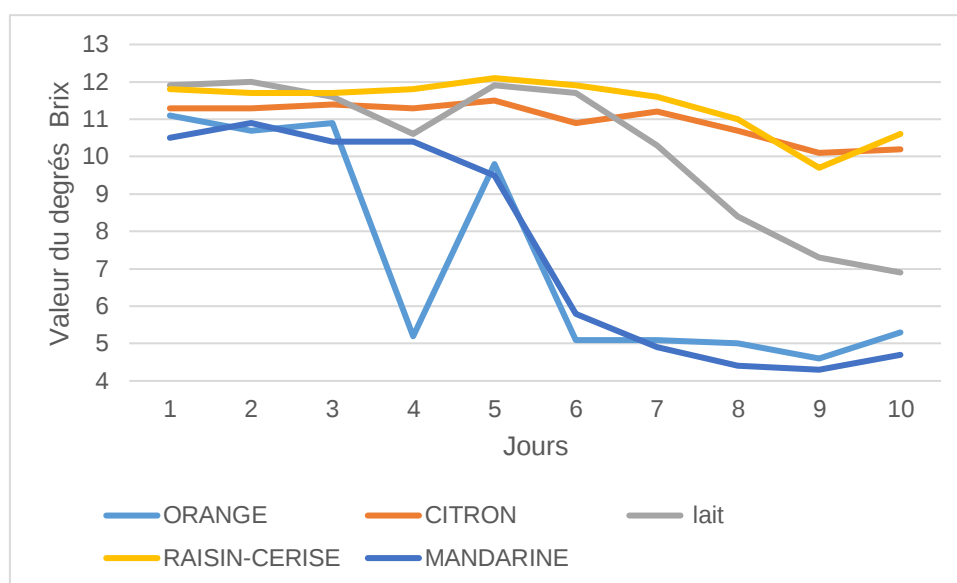


Figure 6: Évolution de la valeur du degré Brix des jus au cours du temps à température ambiante.

Le jus d'orange montre une chute brutale dès le 4^{ème} jour passant de 10,9 à 5,2 et se maintient ensuite à un niveau très bas ce qui indique une fermentation ou dégradation rapide des sucres. Le jus de citron en revanche reste relativement stable fluctuant légèrement entre 11,5 et 10,2 sur les dix jours témoignant d'une bonne conservation. La boisson lait-fruit conserve un taux élevé jusqu'au 5^{ème} jour avant de diminuer progressivement jusqu'à 6,9 traduisant une altération lente liée à une activité microbienne. Le jus raisin-cerise est le plus stable avec une légère baisse des valeurs des degrés Brix de 12 à 10,6 suggérant une bonne résistance à la dégradation. En revanche le jus de mandarine subit une forte chute dès le 5^{ème} jour tombant de 10,5 à 4,3 ce qui révèle une forte dégradation à température ambiante. Ainsi, seuls les jus de citron et de raisin-cerise montrent une réelle stabilité dans le temps tandis que les autres notamment orange, mandarine et lait se dégradent rapidement.

L'évolution de la **population bactérienne (UFC/ml)** dans les différents jus conservés à température ambiante révèle une dynamique de croissance rapide et importante particulièrement dès les premiers jours (**Figure 7**).

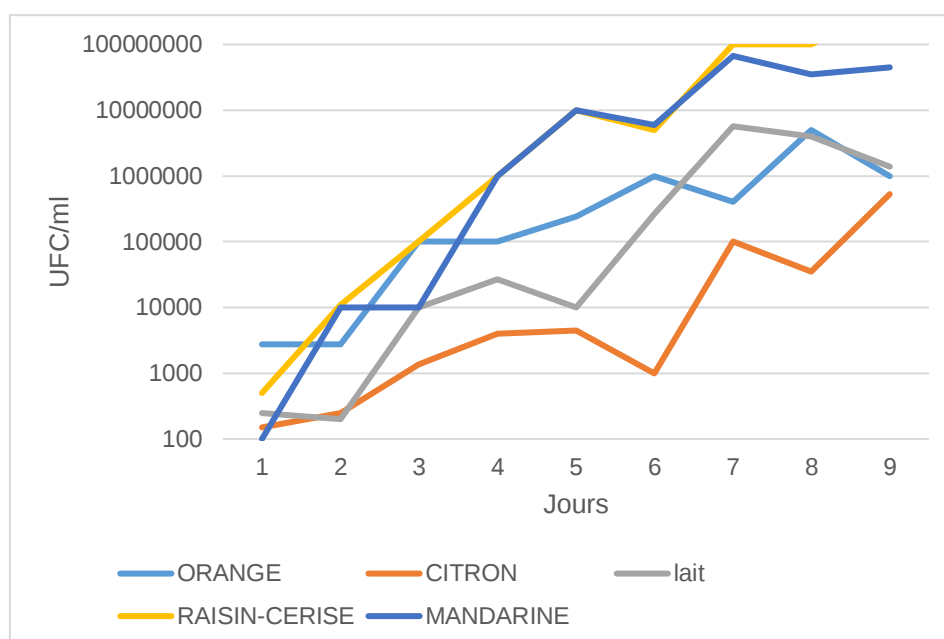


Figure 7 : Évolution de la croissance microbienne des jus au cours du temps à température ambiante.

Le jus de raisin-cerise présente une explosion de la charge microbienne passant de 500 UFC/mL au jour 1 à $3,9 \times 10^8$ UFC/mL au 9^{ème} jour indiquant des conditions extrêmement favorables à la prolifération microbienne. De manière similaire le jus de mandarine affiche une forte augmentation atteignant $6,7 \times 10^7$ UFC/mL au 7^{ème} jour avant de connaître une légère baisse. Le cocktail lait-fruit suit également une croissance soutenue avec un pic à $5,7 \times 10^6$ UFC/mL au 7^{ème} jour avant un déclin modéré. Le jus d'orange quant à lui montre une montée progressive jusqu'au jour 6 (1×10^6 UFC/mL) suivie d'une stabilisation. En revanche le jus de citron plus acide présente une croissance plus irrégulière et modérée atteignant $5,3 \times 10^5$ UFC/mL au 9^{ème} jour. Ces résultats confirment que la température ambiante favorise fortement la prolifération microbienne dans les jus en particulier ceux à pH modéré ou élevé.

À température ambiante l'évolution de l'**acidité** des différentes marques de jus montre une tendance générale à l'augmentation qui est un reflet de l'activité microbienne et des fermentations naturelles (**Figure 8**).

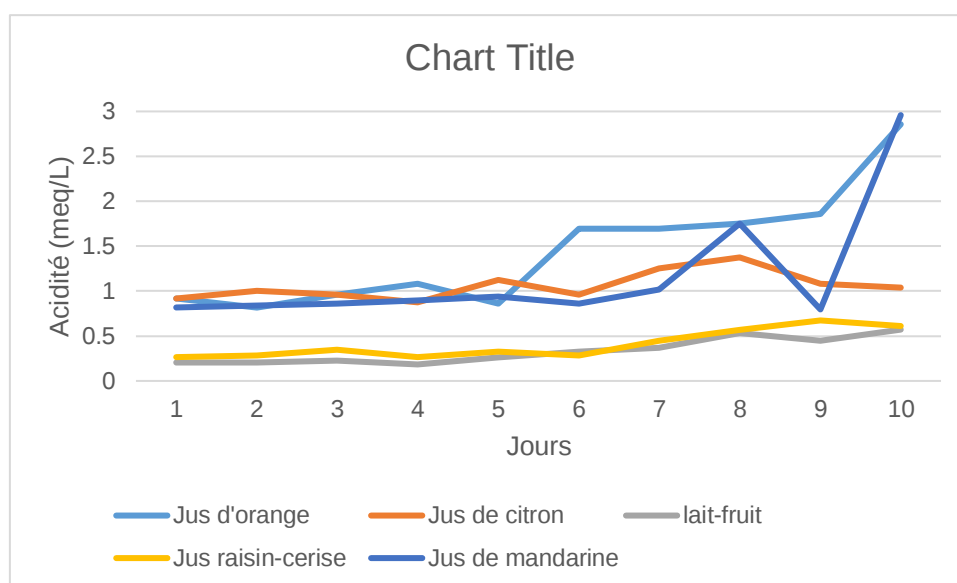


Figure 8 : Évolution de l'acidité des jus au cours du temps à température ambiante.

Le jus d'orange présente une hausse progressive de l'acidité passant de 0,91 à 2,85 g/100 mL marquant une acidification notable à partir du 6^{ème} jour probablement due à une fermentation accrue. Le jus de citron initialement très acide varie légèrement entre 0,87 et 1,37 avec un pic au 8^{ème} jour mais reste globalement stable comparé aux autres jus. Le cocktail lait-fruit montre une augmentation significative de son acidité après le 5^e jour atteignant 0,57 au 10^{ème} jour ce qui reflète une fermentation lactique marquée. Le jus raisin-cerise évolue également vers une acidité plus élevée passant de 0,26 à plus de 0,61 avec une progression régulière mais modérée. Quant au jus de mandarine il montre une hausse marquée après le 6^{ème} jour atteignant 2,95 au 10^{ème} jour ce qui suggère une forte dégradation ou une fermentation avancée. De manière générale à température ambiante les jus deviennent de plus en plus acides avec le temps en lien direct avec la prolifération microbienne et la production d'acides organiques.

2. Etude de l'influence des paramètres physico-chimiques sur la charge microbienne par régression linéaire multiple

Dans cette étude une régression linéaire a été réalisée pour évaluer l'évolution du nombre d'unités formant colonie (UFC/mL) à température ambiante dans le jus d'orange en fonction de trois paramètres physico-chimiques : le pH, l'acidité titrable et le degré Brix. Le modèle présente un coefficient de détermination R^2 de 0,82, indiquant que 82 % de la variabilité des UFC peut être expliquée par ces variables (**tableau 4 présent dans l'annexe 1**). Toutefois, la valeur p globale du modèle ($p = 0,086$) dépasse le seuil de signification de 0,05 suggérant que le modèle n'est pas statistiquement significatif à un niveau de confiance de 95 % bien qu'il soit proche du seuil et pourrait être considéré comme significatif. Concernant les variables

individuelles aucune n'est significative ($p > 0,05$). L'acidité titrable affiche le coefficient positif le plus élevé ($\approx 3,70$) suggérant une possible corrélation directe avec l'augmentation des UFC mais sans signification statistique ($p = 0,28$). Ce résultat peut s'expliquer par la capacité de certaines bactéries acidotolérantes à se développer dans des environnements acides comme le jus d'orange (**Cheng et al., 2024**). Le pH présente un effet très faible et négatif ($\approx -0,27$) ce qui est cohérent avec le fait que des pH plus faibles (plus acides) tendent à inhiber la croissance microbienne. Cependant cette relation n'est pas significative ($p = 0,98$). Des études ont montré que le pH est un facteur clé influençant la survie des pathogènes dans les jus de fruits bien que son effet puisse varier selon les espèces microbiennes. La valeur du degré Brix semble également avoir un impact légèrement inhibiteur (coefficient $\approx -0,24$) mais cette tendance n'est pas significative ($p = 0,59$). Le degré Brix peut influencer la croissance microbienne en fournissant des substrats énergétiques. Cependant des concentrations élevées en sucres peuvent également exercer une pression osmotique inhibitrice sur certaines bactéries.

Dans cette étude portant sur le jus de citron conservé à température ambiante une régression linéaire a été effectuée pour évaluer l'effet du pH, de l'acidité titrable et du taux de Brix sur la croissance microbienne exprimée en unités formant colonie (UFC/mL) sur une période de neuf jours. Le modèle statistique obtenu est globalement très explicatif avec un coefficient de détermination R^2 de 0,87 indiquant que 87 % de la variabilité de la croissance microbienne peut être expliquée par ces variables (**tableau 5 présent dans l'annexe 2**). De plus la valeur p associée au modèle global ($p = 0,0447$) est inférieure au seuil de 0,05 ce qui confirme la significativité statistique de la régression dans son ensemble. Cependant lorsqu'on examine les effets individuels de chaque paramètre aucun ne présente de relation statistiquement significative avec la croissance bactérienne (toutes les p-valeurs $> 0,05$). Le pH montre un effet négatif modéré (coefficient $\approx -22,5$) ce qui suggère qu'un pH plus acide tend à inhiber la croissance microbienne un résultat en accord avec la littérature sur les effets antimicrobiens des milieux acides. Toutefois cette relation n'est pas significative ($p = 0,188$). Il convient néanmoins de noter que certains microorganismes notamment *Saccharomyces cerevisiae* sont capables de proliférer même dans des environnements très acides et sucrés. Ce type de levure est souvent isolé dans les jus de fruits acides dont ceux au citron (**Bevilacqua, 2013**). De plus, certaines bactéries pathogènes telles que *Bacillus subtilis* et *Escherichia coli* sont capables de se développer à des pH très acides, comme l'ont démontré les travaux de **Hayashi et al. (2007)**. L'acidité titrable elle-même présente un effet très faible et non significatif soulignant ainsi que l'acidité n'est pas toujours un facteur limitant universel. Le degré Brix affiche également une relation faiblement négative (coefficient $\approx -2,72$) avec les

UFC suggérant que l'augmentation de la teneur en sucre pourrait légèrement freiner la croissance bactérienne mais encore une fois sans signification statistique ($p = 0,27$).

L'analyse de la régression linéaire portant sur l'évolution du nombre d'unités formant colonie (UFC/mL) en fonction du pH et de l'acidité dans un jus de mandarine conservé à température ambiante indique un modèle globalement significatif avec un coefficient de détermination R^2 de 0,779 (**tableau 6 présent dans l'annexe 3**). Cela signifie qu'environ 78 % de la variabilité microbienne peut être expliquée par ces deux variables. Cependant, l'analyse des coefficients individuels ne révèle aucune signification statistique. L'acidité ($p = 0,9729$) et le pH ($p = 0,1918$) n'ont pas d'effet significatif à un seuil de 5 %. Bien que le pH semble avoir une influence positive (coefficient positif) cette tendance n'est pas significative au seuil de 5 %.

La régression linéaire menée pour évaluer l'évolution du nombre d'unités formant colonie (UFC/mL) dans un jus de raisin-cerise conservé à température ambiante en fonction de l'acidité du pH et du taux de Brix révèle un modèle hautement explicatif. Le coefficient de détermination $R^2 = 0,979$ montre que 97,9 % de la variabilité de la croissance microbienne peut être attribuée à ces trois paramètres (**tableau 7 présent dans l'annexe 4**). L'analyse de variance confirme la significativité globale du modèle avec une valeur p de 0,00013 bien en dessous du seuil de 0,05. Deux variables se révèlent significatives : l'acidité ($p = 0,0184$) et le pH ($p = 0,0181$) tous deux corrélés positivement à la prolifération microbienne. Ce constat est en accord avec les travaux qui ont montré que certaines bactéries acidotolérantes sont capables de se développer même dans des environnements acides riches en acide tartrique ou malique fréquemment retrouvés dans les jus de raisin. À l'inverse, le degré Brix présente un effet négatif sur les UFC bien que sa significativité soit marginale ($p \approx 0,06$) indiquant une tendance à limiter le développement microbien.

La régression linéaire portant sur l'évolution du nombre d'unités formant colonie (UFC/mL) dans le cocktail lait-fruit à température ambiante en fonction du pH, de l'acidité et du taux de Brix, révèle un modèle statistiquement significatif avec un R^2 de 0,84 indiquant qu'environ 84 % de la variabilité des UFC est expliquée par les trois variables étudiées (**tableau 8 présent dans l'Annexe 5**). De plus la valeur de p pour le test global de la régression ($p = 0,0199$) est inférieure à 0,05 ce qui signifie que le modèle est globalement significatif à un niveau de confiance de 95 %. Parmi les variables individuelles le pH ressort comme le seul prédicteur significatif avec une valeur p de 0,022 et un coefficient négatif élevé ($\approx -15,4$ millions) indiquant une relation inverse forte entre le pH et le nombre d'UFC. Cela signifie que plus le pH diminue (milieu plus acide) plus le nombre de bactéries augmente. Ce résultat est

cohérent avec les observations de **Yang et al. (2023)** qui ont montré que la baisse du pH favorise la croissance microbienne dans le lait au-delà de la date de péremption. En revanche ni l'acidité titrable ($p = 0,82$) ni le degré Brix ($p = 0,51$) ne montrent d'effet significatif sur la croissance microbienne. Quant au taux de Brix, qui mesure principalement les sucres solubles, son impact semble limité dans ce contexte.

Conclusion

Conclusion

Conclusion

L'ensemble des analyses de régression linéaire menées sur divers jus (orange, citron, mandarine, raisin-cerise, et lait/jus) visait à évaluer l'influence de paramètres physico-chimiques – à savoir le pH, l'acidité titrable et le degré Brix – sur la prolifération microbienne mesurée en unités formant colonie (UFC/mL), dans des conditions de conservation à température ambiante.

D'un point de vue global les coefficients de détermination (R^2) sont relativement élevés pour la majorité des modèles ($> 0,77$) ce qui suggère que les variables étudiées expliquent une part importante de la variabilité microbienne mais qui ne se traduit pas systématiquement par une signification statistique individuelle des variables. Par exemple, dans le jus d'orange bien que le modèle présente un R^2 de 0,82 aucune variable individuelle n'est significative et le modèle dans son ensemble se situe à la limite du seuil de signification ($p = 0,086$). Cela reflète peut-être une interdépendance complexe entre les paramètres ou encore la présence de facteurs exogènes non pris en compte.

À l'inverse les modèles obtenus pour le jus de citron ($R^2 = 0,87$, $p = 0,0447$) et surtout le jus raisin-cerise ($R^2 = 0,979$, $p = 0,00013$) sont statistiquement robustes soulignant une corrélation claire entre les conditions physico-chimiques et la dynamique microbienne. Notamment dans le jus raisin-cerise le pH et l'acidité titrable sont positivement corrélés à la croissance microbienne de manière significative.

Le pH est le paramètre qui semble exercer l'influence la plus variable : tantôt inhibiteur (comme observé dans les jus de citron et dans le jus contenant du lait) tantôt promoteur de croissance (comme dans le jus de raisin-cerise ou le jus de mandarine). Cette variabilité peut s'expliquer par le fait que de petits changements de pH entraînent de grands effets sur l'environnement acide ou basique du jus. Ainsi, à des pH bas la croissance microbienne est généralement freinée. Tandis qu'à des pH plus élevés certaines bactéries trouvent des conditions plus favorables à leur développement. Dans le cas du jus contenant du lait le pH ressort même comme le seul facteur individuellement significatif ($p = 0,022$) avec une relation inverse marquée entre le pH et la croissance microbienne c'est-à-dire que plus le pH diminue plus les UFC augmentent.

En revanche l'acidité titrable ne montre pas de signification statistique dans la majorité des jus. Cela pourrait être lié à des effets de seuils ou à une tolérance métabolique des souches microbiennes présentes. Le degré Brix, quant à lui, tend à avoir un effet inhibiteur modéré sur la croissance microbienne dans la plupart des jus étudiés (citron, orange, raisin-cerise, cocktail lait-fruit) sans jamais atteindre de significativité statistique.

Conclusion

Bien que des concentrations élevées en sucres soient connues pour créer une pression osmotique défavorable à la prolifération microbienne en général à partir de 15 °Brix. Les valeurs observées dans cette étude (< 12 °Brix) restent en deçà de ce seuil critique. Il est donc peu probable que la pression osmotique soit le principal mécanisme d'inhibition dans ces cas. L'effet légèrement négatif du degré Brix sur les UFC pourrait plutôt être lié à une limitation progressive en substrats carbonés disponibles pour le métabolisme microbien ou résulter de l'interaction complexe avec d'autres paramètres comme le pH ou l'acidité.

En définitive, cette étude met en évidence la nécessité d'analyser conjointement les paramètres physico-chimiques dans les matrices alimentaires pour comprendre leurs effets réels sur la microbiologie des produits. Elle suggère également que la seule mesure du pH, de l'acidité ou du degré Brix ne permet pas toujours de prédire de façon fiable le développement microbien. L'intégration de données complémentaires telles que la nature des microflore présentes, la teneur en composés antimicrobiens naturels (flavonoïdes, huiles essentielles) ou les conditions de transformation serait essentielle pour améliorer la prédictibilité des modèles microbiens.

Références Bibliographiques

Référence Bibliographique

Références Bibliographiques

- **AFNOR. (1974).** Produits dérivés des fruits et légumes - Détermination de l'acidité titrable. Association Française de Normalisation, Paris, NF V 05-101, 1-4.
- **AOAC. (2016).** *Official Methods of Analysis of AOAC International. 20th edition.* AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- **Bevilacqua, A. ; Speranza, B. ; Campaniello, D. ; Corbo, M. R. ; and Sinigaglia, M. (2013).** *Inhibition of Spoiling Yeasts of Fruit Juices through Citrus Extracts. Journal of Food Protection, Vol. 76, No. 10, 2013, Pages 1753–1760.*
- **Branger, A. ; Richer, M.M. ; Roustel, S. (2009).** Alimentation, processus technologique et contrôles. educagri éditions. Pages 1-97.
- **Braesco, V., Thomas, G., & France, B. (2013).** Jus de fruits et nectars. Cahiers de nutrition et de diététique, 48(5), 248-256.
- **Cendres, A. (2010).** Procédé novateur d'extraction de jus de fruits par micro-ondes : viabilité de fabrication et qualité nutritionnelle des jus. Thèse de doctorat, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse. HAL Science.
- **Cheng, R. M., Usaga, J., & Worobo, R. W. (2024).** *Foodborne pathogen inactivation in fruit juices utilizing commercial scale high-pressure processing: Effects of acidulants and pH. Food Science and Technology International. Volume 30, Issue 6. Pages 592-600.*
- **Claveau, D. (2009).** Activité microbienne de différentes préparations de ZnO, CaO, MgO et leur potentiel comme agents de conservation dans les jus de fruit. Mémoire de maîtrise, Université Laval.
- **Codex Alimentarius Commission. (2005).** Norme générale pour les jus et les nectars de fruits (CODEX CXS 247-2005). FAO/OMS.
- **Conseil de l'Union européenne. (2001, 20 décembre).** Directive 2001/112/CE relative aux jus de fruits et à certains produits similaires destinés à l'alimentation humaine. Journal officiel de l'Union européenne, L10, 58–66.
- **Davous, D. B. (1999).** Jus de fruits, sirops, boissons rafraîchissantes sans alcool : investigation documentaire. Bulletin de l'Union des Physiciens, 93, 1197–1213.
- **Navellier, E. (1950).** L'embouteillage des jus de fruits. Fruits, 5(1), 18-23.
- **Fermaux, B., & Pichon-Courtois, C.-R. (2008).** Long-term survival of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* in cattle effluents and environment. *Veterinary Microbiology.*
- **Dubois-Brissonnet, F., & Guillier, L. (2020).** Les maladies microbiennes d'origine alimentaire. Cahiers de Nutrition et de Diététique.

Référence Bibliographique

- **Journal officiel de la République française. (2013, 21 novembre).** Décret n° 2013-1049 du 21 novembre 2013 modifiant le décret n° 2003-838 du 1er septembre 2003 pris pour l'application de l'article L.214-1 du Code de la consommation en ce qui concerne les jus de fruits et certains produits similaires destinés à l'alimentation humaine. Récupéré de : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFSCTA000028224181>
- **Debeaufort, F., & Guillard, K. (2021).** Matériaux et procédés d'emballage pour les industries alimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques. Récupéré sur Google Livres.
- **Grinbaum, A., & Israel-Rosenberg, A. (1994).** *Exploding bottles: Eye injury due to yeast fermentation of an uncarbonated soft drink. British Journal of Ophthalmology*, 78(11):883.
- **Hayashi, H. ; Iizuka, M. ; Katsuta, T. ; Shimada, T. ; Mishima, A. ; Sakaeda, N. and Manabe. Y. (2007).** *Effects of Tea and Fruits Juice on Bacterial Proliferation. Chugokugakuen Journal. Vol. 6, pp. 5-10.*
- **Kouki, K., & Lahlou, Y. (2020).** Étude des conservateurs et édulcorants et analyse sensorielle de trois marques de jus de fruits, nectar et boissons commercialisés. Récupéré de <https://dspace.ummo.dz/items/>
- **Beuchat, L. R. (2006).** *Vectors and conditions for preharvest contamination of fruits and vegetables with pathogens capable of causing enteric diseases. British Food Journal*, 108(1), 38–53.
- **Melkonian, C., Bocquet, A., Colombani, S., & Brutin, J. (2020).** BTS Diététique.
- **Metlef, S. et Zidani, A. (2022).** Évaluation de la qualité physico-chimique d'un jus de fruit soumis à quelques traitements thermiques durant sa conservation. *Revue Nature et Technologie*, 14(2), 33–41. Récupéré de <https://www.asjp.cerist.dz/en/Articles/47>
- **Parish, M. E., & Higgins, D. P. (1989).** *Survival of Listeria monocytogenes in low pH model systems. Journal of Food Protection*, 52(5), 317–319.
- **Carpentier, B. ; Cerf, O. (2011).** *Persistence of Listeria monocytogenes in food industry equipment and premises. International Journal of Food Microbiology*, 145(1), 1–8.
- **Odu, N. N., & Adeniji A. O. (2013).** *Microbiological analysis of some packaged fruit juices sold in Port Harcourt Metropolis, Nigeria. Nature and Science*, 11(4), 30–40.
- **Pinto, T., Valente, A., & Carvalho, F. (2022).** *Chemical and sensory characteristics of fruit juice and fruit fermented beverages and their consumer acceptance. Beverages*, 8(2), Article 33.
- **Prats, B. (2012).** Des clefs pour la physique et la chimie. Récupéré de <https://www.google.dz/books/>

Référence Bibliographique

- **Prolongeau, V., & Renaudin N. (2009).** Charte d'engagement volontaires de progrès nutritionnel - Jus de fruit et Nectar. UNIJUS. Pages 1- 48.
- **Samreen. (2025).** Processing of fruit juices: Techniques, challenges, and advances. *International Journal of Advanced Biochemistry Research*, 9(1), 186–187.
- **Metlef, S., & Zerrouki, A. (2022).** Évaluation de la qualité physico-chimique d'un jus de fruit soumis à quelques traitements thermiques durant sa conservation. *Revue Nature et Technologie*, 14(2), 33–41.
- **Tournas, V. (1994).** *Heat-resistant fungi of importance to the food and beverage industry. Critical Reviews in Microbiology*, 20(4):243-63.
- **Yang, E., Yang, Q., Troemper, B. , Zhang, J.(2023).** *Investigation on Bacterial Growth and pH in Milk after the Expiration Date. The Scientific World Journal. eCollection 2023. Pages 1-9.*

Référence Bibliographique

Références webographiques

- [1]. La composition du jus de fruits. Récupéré sur Le guide du jus de fruits : <https://fructapartner.com/le-guide-du-jus-de-fruits/la-composition-du-jus-de-fruits/>

Annexe 1

Tableau 4 : Résultats de la régression linéaire du nombre d'unités formant colonie (UFC/mL) en fonction de l'acidité, du pH et du taux de Brix dans un jus d'orange conservé à température ambiante.

RAPPORT DÉTAILLÉ								
<i>Statistiques de la régression</i>								
Coefficient constant	0,90505442							
Coefficient x1	0,8191235							
Coefficient x2	0,638247							
Erreur-type	1,64716348							
Observations	9							
ANALYSE DE VARIANCE								
	Degré de liberté	mm des carrés	mm des carrés	F	leur critique de F			
Régression	4	49,1474099	12,2868525	4,52863411	0,0863137			
Résidus	4	10,8525901	2,71314753					
Total	8	60						
	Coefficients	Erreur-type	Statistique t	Probabilité	pour seuil de	pour seuil de	pour seuil de	pour seuil de
Constante	2,84416534	34,7957348	0,08173891	0,938781	-93,7642821	99,4526128	-93,7642821	99,4526128
ORANGE UFC	1,9008E-07	5,0784E-07	0,37428915	0,72718572	-1,2199E-06	1,6001E-06	-1,2199E-06	1,6001E-06
Acidité T°A	3,70495941	2,95990781	1,25171446	0,27887634	-4,51306215	11,922981	-4,51306215	11,922981
pH T°A	-0,27476913	8,91727082	-0,03081314	0,97689471	-25,033082	24,4835438	-25,033082	24,4835438
Taux du Brix	-0,23677759	0,40174098	-0,58937874	0,58728658	-1,35218936	0,87863418	-1,35218936	0,87863418

Annexe 2

Tableau 5 : Résultats de la régression linéaire du nombre d'unités formant colonie (UFC/mL) en fonction de l'acidité, du pH et du taux de Brix dans un jus de citron conservé à température ambiante.

RAPPORT DÉTAILLÉ								
<i>Statistiques de la régression</i>								
Coefficient constant	0,93394401							
Coefficient CITRON UFC/L	0,87225142							
Coefficient T°A	0,74450284							
Erreur-type	1,38427912							
Observations	9							
ANALYSE DE VARIANCE								
	Degré de liberté	mmme des carrés	enne des carrés	F	leur critique de F			
Régression	4	52,3350853	13,0837713	6,82787579	0,04478946			
Résidus	4	7,66491467	1,91622867					
Total	8	60						
	Coefficients	Erreur-type	Statistique t	Probabilité	pour seuil de	pour seuil de	pour seuil de	pour seuil de
Constante	84,7796086	43,5099494	1,94851085	0,12316755	-36,0233774	205,582595	-36,0233774	205,582595
CITRON UFC/L	3,3854E-06	5,2743E-06	0,64185684	0,55590078	-1,1258E-05	1,8029E-05	-1,1258E-05	1,8029E-05
T°A	1,53225115	5,27397115	0,29053082	0,78585061	-13,1106402	16,1751425	-13,1106402	16,1751425
pH T°A	-22,5211153	14,1943036	-1,58663051	0,18778415	-61,9308201	16,8885896	-61,9308201	16,8885896
aux du BrixT°A	-2,71806497	2,13587469	-1,27257699	0,27210817	-8,6482038	3,21207386	-8,6482038	3,21207386

Annexe 3

Tableau 6 : Résultats de la régression linéaire du nombre d'unités formant colonie (UFC/mL) en fonction de l'acidité, du pH et du taux de Brix dans un jus de mandarine conservé à température ambiante.

Rapport détaillé								
Statistiques de la régression								
Coefficient c	0,88287454							
Coefficient c	0,77946745							
Coefficient c	0,64714792							
Erreur-type	14681305,1							
Observation	9							
ANALYSE DE VARIANCE								
	Degré de lib	Somme des	Moyenne de F	Valeur critique de F				
Régression	3	3,81E+15	1,27E+15	5,89079661	0,0426899			
Résidus	5	1,08E+15	2,16E+14					
Total	8	4,89E+15						
	Coefficients	Erreur-type	Statistique t	Probabilité	Limite inféri	Limite supér	Limite inféri	Limite supér
Constante	-579227049	436493128	-1,32700153	0,24187616	-1701268357	542814258	-1701268357	542814258
Acidité	707578,853	19807706,5	0,0357224	0,97288599	-50209751,8	51624909,5	-50209751,8	51624909,5
pH	179511832	119008123	1,50839983	0,19182271	-126408286	485431950	-126408286	485431950
aux du Brix	-6768376,2	2009668,15	-3,36790738	0,01993515	-11934392,7	-1602359,75	-11934392,7	-1602359,75

Annexe 4

Tableau 7 : Résultats de la régression linéaire du nombre d'unités formant colonie (UFC/mL) en fonction de l'acidité, du pH et du taux de Brix dans un jus de cerise conservé à température ambiante.

Rapport détaillé								
Statistiques de la régression								
Coefficient c	0,98936404							
Coefficient c	0,97884121							
Coefficient c	0,96614593							
Erreur-type	23581405,7							
Observation	9							
ANALYSE DE VARIANCE								
	Degré de lib	Somme des	Moyenne de F		Valeur critique de F			
Régression	3	1,29E+17	4,29E+16	77,1027887	0,00013166			
Résidus	5	2,78E+15	5,56E+14					
Total	8	1,31E+17						
	Coefficients	Erreur-type	Statistique t	Probabilité	Limite inféri	Limite supér	Limite inféri	Limite supér
Constante	-226674256	644692505	-0,35160058	0,7394699	-1883909098	1430560586	-1883909098	1430560586
Acidité	766511895	222645337	3,44274848	0,01838079	194183837	1338839953	194183837	1338839953
pH	327708759	94731762	3,45933352	0,01805526	84193012,6	571224506	84193012,6	571224506
aux du Brix	-78168273,6	32245587,4	-2,42415412	0,05981016	-161058195	4721647,75	-161058195	4721647,75

Annexe 5

Tableau 8 : Résultats de la régression linéaire du nombre d'unités formant colonie (UFC/mL) en fonction de l'acidité, du pH et du taux de Brix dans un jus de lait conservé à température ambiante.

RAPPORT DÉTAILLÉ									
<i>Statistiques de la régression</i>									
Coefficient c	0,91589724								
Coefficient c	0,83886775								
Coefficient c	0,74218841								
Erreur-type	1077845,3								
Observation	9								
ANALYSE DE VARIANCE									
		Degré de liberté	mmme des carrées des cal	F	leur critique de F				
Régression	3	3,0241E+13	1,008E+13	8,67680409	0,0199689				
Résidus	5	5,8088E+12	1,1618E+12						
Total	8	3,605E+13							
	Coefficients	Erreur-type	Statistique t	Probabilité	pour seuil de	pour seuil de	pour seuil de	pour seuil de	pour seuil de
Constante	46075237	16704712,3	2,75821794	0,03991896	3134407,12	89016066,9	3134407,12	89016066,9	
Lait Acidité T	-1766146,59	7392461,2	-0,23891185	0,82065759	-20769073,1	17236779,9	-20769073,1	17236779,9	
Au lait pH T°	-15411133	4725230,02	-3,26145667	0,02240948	-27557723,4	-3264542,51	-27557723,4	-3264542,51	
Au lait Taux c	281593,531	392647,254	0,71716669	0,50536812	-727738,369	1290925,43	-727738,369	1290925,43	