AGROSUP DIJON

Projet B

Extraction et conservation de purs jus d'ananas

Marie BUZER, Jessica QUENARD, Mazna RACHIDI et Anaïs SELLE

Année scolaire 2018-2019

Enseignant référent : Jean-Marie PERRIER-CORNET – AgroSup Dijon

Commanditaire : Kamilia RACHIDI - Atelier agroalimentaire du lycée professionnel agricole de Coconi de Mayotte

Résumé

Ce projet a été mené conjointement par l'atelier agroalimentaire du lycée professionnel agricole de Coconi à Mayotte et AgroSup Dijon. La problématique du sujet portait sur leur production de purs jus d'ananas et plus particulièrement sur l'extraction et la conservation de ces jus. Le problème a été découpé en trois grandes parties à savoir : l'extraction du jus, le traitement thermique à appliquer et le stockage des jus. Chacun des axes a été traité en tenant compte de la composition du jus d'ananas qui a un impact sur le procédé (pH et teneur en sucre notamment). Les enjeux principaux ont été :

- de déterminer des méthodes d'extraction les plus efficaces possibles pour limiter les pertes,
- de choisir un procédé de traitement thermique ainsi qu'un barème de pasteurisation (Temps/Température) adéquat en tenant compte de la flore microbiologique présente, des enzymes d'altération indésirables à détruire et de l'impact du procédé sur la qualité du jus,
- de trouver une méthode de stocker le jus d'ananas sur le long terme et à température ambiante (environ 27°C).

Mots Clés :

- Pur jus d'ananas / Pure pineapple juice
- Extraction / Extraction
- Traitement thermique / Heat treatment
- Conservation / Preservation
- Stockage longue durée à l'ambiante/ Ambient long-time storage

Remerciements

Premièrement, nous tenions à remercier Madame Kamilia RACHIDI, commanditaire du projet, pour la confiance qu'elle nous a accordé en nous confiant ce projet ainsi que pour sa disponibilité lors de nos différentes entrevues.

Puis nous souhaitons remercier Monsieur Jean-Marie PERRIER-CORNET, tuteur de ce projet, pour son accompagnement et sa disponibilité tout au long de ce travail.

Ensuite nous tenions à remercier Madame Aurélie SIVRY, ancienne étudiante de l'école devenue consultante, pour ses précieux conseils en termes de procédés de stockage.

Merci également à Monsieur Laurent GAL, enseignant à AgroSup Dijon, pour nous avoir fourni des outils permettant de répondre au mieux aux attentes de la commanditaire.

Sommaire

Introduction 1

I. Extraction 2

A. Le process actuel 2

B. Les différentes méthodes existantes sur le marché 2

a) Presses discontinues 3

b) Presses continues 3

c) Pré-traitement enzymatique 4

C. La solution adaptée à l'entreprise 5

II. Conservation : traitement thermique et athermique 7

A. Le process actuel 7

B. Les différentes méthodes existantes sur le marché 7

a) Les processus athermiques 7

b) Les processus thermiques 8

C. La solution adaptée à l'entreprise 9

a) Choix du matériel de pasteurisation 9

b) Choix du barème de pasteurisation 11

D. Impacts du procédé 13

III. Conservation : stockage 15

A. Le process actuel 15

B. Les différentes méthodes existantes sur le marché 15

C. Solution adaptée à l'entreprise 17

Conclusion 18

Références bibliographiques 19

Introduction

Ce projet s'est déroulé dans le cadre du Réseau d'Innovation du Transfert et Agricole de Mayotte. Le commanditaire, l'atelier agroalimentaire du lycée professionnel agricole de Coconi de Mayotte, nous a proposé de travailler sur des problématiques d'extraction et de conservation de purs jus d'ananas.

Il est important, afin de comprendre notre démarche, de préciser la différence entre les purs jus et les nectars de fruits d'un point de vue législatif. La norme générale Codex pour les jus et nectars de fruits (FAO, 2005) définit explicitement les termes "Jus de fruits" et "Nectar de fruit". Cette norme applicable à l'échelle internationale établit en particulier des facteurs de qualité et des exigences d'étiquetage pour les jus de fruits et les produits similaires. Ainsi les purs jus de fruits sont obtenus uniquement par extraction du jus des fruits. Ils ne doivent être additionnés d'aucune substance que ce soit pour enrichir sa composition ou pour améliorer sa conservation. Au contraire, les nectars peuvent être créés à partir de purs jus modifiés par ajout d'eau et de sucre par exemple, par mélange de plusieurs jus ou par ajout de composants enrichissant tels que des vitamines par exemple.

En effet cet atelier produit et commercialise des produits à base de fruits tels que des jus, des nectars ou des produits gélifiés à base de fruit. A titre d'exemple, en 2017, l'atelier a transformé 3654 kg d'ananas pour produire 3959 kg de boissons à base d'ananas et 234 kg de produits gélifiés à base d'ananas.

La problématique suggérée par l'étude est de proposer des solutions d'amélioration des procédés d'extraction et de conservation des jus d'ananas tout en proposant une méthode de stockage à long terme et à température ambiante. En effet, l'ananas étant un fruit saisonnier, cela permettrait de produire les purs jus pendant la haute saison et de le conserver afin de faire des économies. Le pur jus ainsi conserver pourrait par la suite être utilisé pour fabriquer des produits transformés tels que des nectars, des confitures ou des pâtes de fruits.

Ainsi nous avons, pour chaque méthode, balayé les solutions existantes puis essayé d'adapter au mieux nos propositions à la situation de l'entreprise pour répondre au mieux à leurs attentes.

I. Extraction

A. Le process actuel

Après la récolte, la réception des ananas et leur nettoyage vient l'étape d'extraction. A l'atelier agroalimentaire du lycée de Coconi, ceci se fait en deux étapes. Dans un premier temps, la taille du fruit est réduite par un broyeur centrifuge ce qui permet de faciliter l'étape suivante. Une fois sous forme de pulpe, l'ananas est pressé mécaniquement à l'aide d'une presse à paquet, afin d'en extraire le jus. Durant cette opération, le pH de la pulpe est contrôlé, et doit être inférieur à 4,5 afin d'assurer une pasteurisation optimale en aval. Pour le pur jus d'ananas, cette valeur est en général autour de 3,5. Dans le cas où le pH serait trop élevé il est possible de l'ajuster en ajoutant du jus de citron riche en acide citrique et/ ou du jus de fruit de la passion. En termes de rendement, ce type de système permet de produire entre 0,60 et 0,65 L de jus.

Le mécanisme de la presse à paquet est relativement simple : le piston hydraulique exerce une pression verticale sur la pulpe qui a été placée entre les différents paquets. La presse à paquet, présentée en *Annexe 1a*, peut exercer une force de pression allant jusqu'à 380 bars. Le paquet de la presse à paquet est présenté en *Annexe 1b*.

B. Les différentes méthodes existantes sur le marché

Les cellules végétales des fruits sont composées de différents éléments, dont la vacuole dans laquelle se trouve le jus. Le but du broyage, effectuer avant l'extraction, a pour but de désorganiser le tissu végétal pour obtenir une pulpe faite de fragments solides baignant dans le liquide provenant de la vacuole. L'extraction permet de séparer la phase solide de la phase liquide : le jus.

Les techniques d'extraction varient selon plusieurs facteurs et notamment selon les caractéristiques propres au fruit à transformer telles que sa taille, sa géométrie, sa résistance mécanique, la viscosité de sa pulpe, acidité. Au niveau industriel, il existe deux grandes familles de méthode d'extraction : les presses continues et les presses discontinues (Cendre, 2010). Un traitement enzymatique en amont peut également être appliqué à la pulpe afin d'optimiser le rendement d'extraction.

a) Presses discontinues

- Presse à paquet

Souvent utilisée au niveau artisanal, ce type d'extraction est cependant de moins en moins utilisé dans les industries à grande échelle. C'est le mécanisme utilisé actuellement par l'atelier agroalimentaire du lycée de Coconi et décrit précédemment.

- Presse à corbeille ou pressoir hydraulique pneumatique

Le pressoir à corbeille est composé d'une flasque fixe (ou corbeille) dont le volume peut atteindre les 6 m^3 et d'une flasque mobile reliées par des drains rainurés. Une fois la corbeille remplie de pulpe, la partie mobile va se comporter ici comme un piston horizontal en exerçant sa force de compression contre la partie fixe. Les éléments de drainage permettent de récupérer le jus extrait de la pulpe après l'étape de compression. Le corps du pressoir peut effectuer des rotations afin de malaxer la pulpe et optimiser l'extraction. Les modèles les plus récents sont programmables ce qui permet une gestion plus souple de la production. Ce procédé permet une extraction du jus lente et contrôlée. La corbeille peut être hermétique ce qui permet un pressurage à l'abri de l'air, donc de l'oxydation et de tout type de contamination. Un pressoir horizontal pneumatique est présenté en *Annexe 2*.

b) Presses continues

- Presse à bande en *Figure 1*

La pulpe est entraînée par un convoyeur, parfois entre deux toiles, à travers un ensemble de cylindres. La rotation contraire des cylindres consécutifs et le rétrécissement de leur écart permettent à la fois d'exercer une force de friction et une force de pression sur la pulpe. Le jus est récupéré par un bac collecteur, en dessous du dispositif.

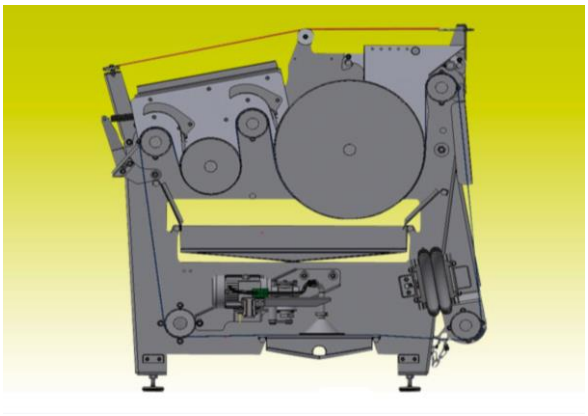

Figure 1 : Schéma presse à bande Voran (Voran maschinen. 2019)

- Presse à vis

Pour cette technique le broyage préalable du fruit n'est pas nécessaire, mais permet tout de même une meilleure extraction. La presse à vis, présentée en *Figure 2*, est alimentée à l'entrée du dispositif à l'aide d'une trémie conduisant directement à la chambre d'extraction. A l'intérieur de celle-ci se trouve une vis en rotation constante. Le mouvement circulaire et les lames obliques de la vis entraînent les morceaux de fruit, ou la pulpe, vers la sortie de la chambre, ce qui créer une pression. Les lames servent à désorganiser le tissu végétal, en même temps que la pulpe est pressée entre la vis et les parois de la chambre d'extraction. Le jus est récupéré tout au long de l'extraction, en bas de la machine à l'aide d'un bac de récupération. Les agrégats solides sont acheminés vers la sortie de la chambre d'extraction (Unitech Engineering, 2019).

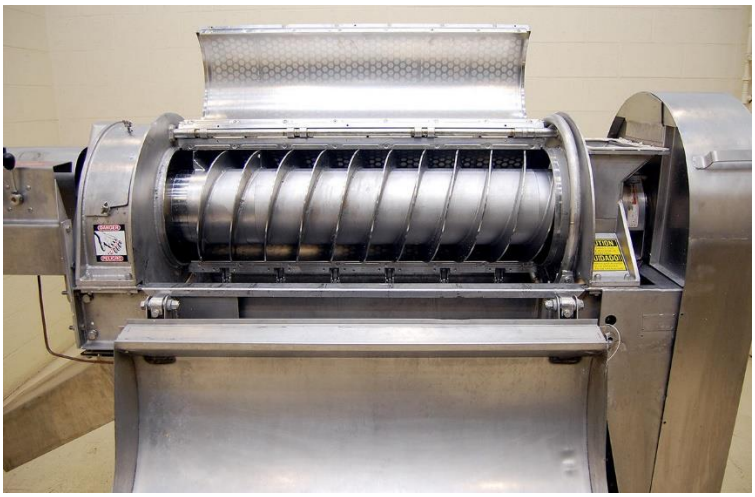

Figure 2 : Presse à vis (Alard equipment corporation, 2019)

c) Pré-traitement enzymatique

Pour faciliter l'extraction du jus, un prétraitement enzymatique peut s'avérer intéressant. Ces enzymes sont utilisées en tant qu'auxiliaires technologiques, qui sont donc autorisés dans le cadre de l'extraction des purs jus, sans nécessité de figurer sur l'emballage (Fillon, Décret n° 2011-509 du 10 mai 2011). Cette étape s'applique après l'étape de broyage des fruits, avant l'étape de pressage. Ce procédé permet la dégradation de la pectine et/ou de l'hémicellulose et ainsi une meilleure séparation du jus de sa pulpe. Les enzymes vont casser la pectine et permettre la précipitation des résidus pectiques. Pour cela des pectinases et des hémicellulases peuvent être utilisées (*Annexe 3*). Ces enzymes sont généralement fabriquées à partir de champignons et commercialisées sur le marché. La dose recommandée varie selon le type d'enzyme utilisé et le fruit que nous souhaitons traiter (Ashurst, 2016). Dans la littérature, un

test a été réalisé à partir de l'ananas avec une concentration de 0,03%. Plusieurs traitements ont été testés : un avec pectinases, un avec hémicellulases et un avec un mélange des deux. Pour optimiser l'activité enzymatique il est aussi nécessaire d'élever la température. Dans cette étude le meilleur résultat a été obtenu avec le mélange enzymatique à 40°C pendant 30 minutes, en pressant la pulpe deux fois. Pour arrêter la réaction, il suffit de soumettre le jus à une température de 100°C, dans un bain-marie par exemple pendant 5 à 10 minutes. Le rendement obtenu était supérieur de 25% par rapport à l'extraction sans traitement enzymatique (95% contre 70%) (Tochi *et al.*, 2009). Le temps et la température peuvent être ajustés en faisant des essais. En ajoutant de l'alcool en excès, si la pectine est toujours sous sa forme polymérisée, alors un gel sera obtenu ; si elle s'est bien dégradée alors on obtiendra une floculation au fond du flacon qui correspond aux substances pectiques (Ashurst, 2016). Les fournisseurs de ces enzymes donnent également des recommandations d'utilisation. L'étude menée sur le traitement de l'ananas a également démontré une teneur plus élevée en composés phénoliques dans le jus extrait avec le traitement enzymatique. Cependant, ces composés ont pour défaut d'altérer la qualité sensorielle du jus en augmentant le brunissement de près de 20%. En revanche, grâce à ce traitement, la viscosité est diminuée, ce qui a pour intérêt de faciliter le traitement de conservation, généralement via des échangeurs thermiques, ou encore pour de la microfiltration.

C. La solution adaptée à l'entreprise

Le système d'extraction utilisé actuellement par l'atelier agroalimentaire du Lycée de Coconi, un broyeur et une presse à paquet, est bien adapté à l'échelle de production de cet établissement. Cependant, compte tenu de sa faible productivité, ce système pourrait être un frein dans le cas où le besoin d'augmenter la production s'imposerait. Une technique permettant d'être flexible dans le niveau de production, qui varie selon la période de l'année, serait plus appropriée. Les pressoirs continus présentent de meilleures performances en termes de productivité contrairement aux pressoirs discontinus. La presse à paquet pourrait, par exemple, être remplacée par un pressoir à vis. Celle-ci possède une capacité nominale (entre 1000 et 2000 kg/h selon les modèles) jusqu'à deux fois plus importante que pour la presse à paquet.

La qualité nutritionnelle du produit final est un autre enjeu en ce qui concerne l'extraction. Dans le cas particulier de l'ananas, une partie importante des nutriments intéressants se trouve dans la couche de chair sous-jacente à la peau du fruit. L'idéal serait donc de pouvoir récupérer cette partie du fruit, sans endommager la peau. Celle-ci contient, en effet, des éléments indésirables

tels que des enzymes pouvant altérer les propriétés organoleptiques du jus. Étant donné leur spécificité à l'ananas, les machines Ginaca seraient le bon compromis entre une capacité importante et un produit fini de qualité d'un point de vue nutritionnel.

Conçues par Henry G. Ginaca en 1911 à Hawaii, les machines Ginaca permettent de d'automatiser de manière optimale toute l'étape de parage de l'ananas. A l'époque, cela a permis de tripler la production d'ananas transformé en comparaison avec le parage manuelle. Depuis, l'utilisation de ces machines, adaptées à la morphologie et autres caractéristiques de l'ananas, est utilisée un peu partout dans le monde. Les machines sont devenues de plus en plus performantes avec le temps mais le principe reste inchangé.

Premièrement, le fruit entre dans la machine, celle-ci lui retire la peau à l'aide d'un cylindre au diamètre adapté. Ensuite, la couronne et la partie basse non comestible du fruit sont également retirées. Enfin, le fruit soit évidé et découpé en tranches, soit transformé en jus. La partie extraction de ces machines est très similaire à une presse à bandes (Dole, 1993). D'autres types d'équipements sont adaptés spécifiquement à la fabrication de jus d'ananas tel que les lignes de fabrication de jus Pinetronic®. Les dispositifs Pinetronic® offrent la possibilité de récupéer la pulpe sous-jacente à la peau de l'ananas grâce à une lame racleuse (Bertuzzi, 2018).

Tableau 1 : Comparaison des différentes presses[1]

	Presse à paquet	Presse corbeille	Presse à bandes	Presse à vis
Rendement (%)	75	NA	70	75
Capacité (kg/L)	150	NA	100 - 300 (selon le fruit)	100-1200 (selon le modèle)
Prix (€)	5 800	NA	15 800 (*Annexe 4*)	3969,83 - 22583,94 ($4500 - $25600) (*Annexe 5*)

[1] En ce qui concerne la presse à paquet et la presse à bandes, les données sont celles qui nous ont été indiquées par le fournisseur sur les devis et sur le site internet Voran®. Pour la presse à vis, la capacité et le prix sont ceux indiqués sur les devis proposés par Unitech.

II. Conservation : traitement thermique et athermique

A. Le process actuel

Dans le laboratoire du lycée, notre commanditaire utilise actuellement un pasteurisateur en serpentin de type batch, il s'agit ici d'une technologie dite discontinue. Actuellement, 400 litres de pur jus d'ananas sont pasteurisés à 85°C pendant 1min45. Néanmoins, il faut un certain temps avant d'atteindre cette température. Le jus pasteurisé est ensuite directement embouteillé à chaud (température supérieure à 65°C). A partir de nos données actuelles, nous pouvons calculer la valeur pasteurisatrice actuelle :

$$VP = t * 10^{\frac{T-T*}{Z}} = 1{,}45 * 10^{\frac{85-93{,}3}{8{,}89}} = 0{,}17\ minutes$$

Pour les produits acides, la température de référence, ici notée T*, est de 93,3 °C. Le facteur d'activation thermique Z est égale à 8,89 pour les produits acides (Wagner *et al*., 2016).

Cette valeur pasteurisatrice signifie que notre traitement est équivalent à 0,16 min à 93,3°C.

B. Les différentes méthodes existantes sur le marché

Afin de pasteuriser le jus d'ananas il existe différentes méthodes : les processus athermiques et des processus thermiques. Les processus athermiques seront annoncés brièvement et nous étudierons davantage le processus thermique.

a) Les processus athermiques

Ultraviolet : les ultraviolets ont une échelle de longueur d'onde entre 100 à 400 nm. Il existe différentes catégories d'ultraviolet : les UV-A (320–400 nm), les UV-B (280–320 nm) et les UV-C (200–280 nm) (Guerrero-Beltrán and Barbosa-Cánovas, 2004) .Ces derniers ont une action germicide contre différents micro-organismes comme les virus, les bactéries, les algues, les champignons, les levures et les protozoaires quand la longueur d'onde est comprise entre 250 et 270 nm (Bintsis *et al*., 2000).

A 254 nm, les UV-C ont le pouvoir de désinfection dans l'eau et jus de fruits (Guerrero-Beltrán and Barbosa-Cánovas, 2004) (Guerrero-Beltrán and Barbosa-Cánovas, 2005).

Thermosonication : il s'agit de combiner une fréquence d'ultrason, généralement supérieur à 20 kHz, avec une température pendant une durée. Selon la forme du microorganisme (forme végétative ou sporulée), les conditions opératoires varient (Anaya-Esparza *et al*., 2017).

Homogénéisation à haute pression (*High Pressure Homogenisation*) et Homogénéisation à ultra haute pression (*Ultra high pressure homogenisation*) : il s'agit d'appliquer une pression comprise entre 150 et 200 MPa ou 350 et 400 MPa selon la dénomination (Dumay *et al*., 2013) combiner à un nombre de tours. Il peut être combiné à une température pour avoir une meilleure efficacité sur les microorganismes (Guan *et al*., 2016).

Haute pression hydrostatiques (*High hydrostatic pressure*) : il s'agit de combiner un temps de traitement à une certaine pression et à une certaine température. Le nombre de pulsation peut varier selon le traitement que nous souhaitons appliquer (Buzrul *et al*., 2008).

b) Les processus thermiques

Les jus de fruits sont le plus souvent pasteurisés. Il faut donc choisir un couple temps/température permettant une destruction optimale des microorganismes et des enzymes indésirables pouvant dégrader le produit. Pour cela, plusieurs dispositifs, également appelés des technologies continues, adaptés aux jus de fruits existent :

L'échangeur tubulaire : L'échangeur tubulaire est composé de plusieurs tubes appelés faisceaux et contenus dans un même tube de diamètre plus important. Si le fluide à traiter est contenu dans les faisceaux alors le fluide caloporteur circule dans la calandre ou inversement (FactoryFuture, 2018).

L'échangeur à plaque : L'échangeur à plaques est un appareil utilisé pour le traitement des liquides alimentaires et notamment la pasteurisation. Deux fluides circulants à co-courant ou à contre-courant vont échanger leur chaleur au travers de plaques métalliques. L'appareil est constitué d'une succession de plaques. D'un côté de chaque plaque circule le fluide caloporteur et de l'autre le produit à pasteuriser.

Ce type d'échangeur permet d'assurer un écoulement turbulent et donc une bonne efficacité de l'échange thermique.

En revanche, les jus de fruits pulpeux sont à traiter avec précautions. En effet, la présence de pulpe va faciliter l'encrassement de l'appareil et imposer des nettoyages réguliers afin d'éliminer les risques de colmatage (Millet, 2016).

L'échangeur à surface raclée : Il s'agit d'un échangeur tubulaire dans lequel est aménagé un système de pales permettant d'augmenter l'agitation et d'éviter la formation de croûte sur la surface d'échange. Cet appareil permet le passage de fluides très visqueux et/ou contenant des

particules importantes. Néanmoins, cet appareil est utilisé dans les industries agroalimentaires utilisant des réactifs corrosifs ce qui n'est pas notre cas.

C. La solution adaptée à l'entreprise

a) Choix du matériel de pasteurisation

Actuellement, l'entreprise travaille sur un système de traitement thermique en batch. Nos recherches et nos connaissances nous incitent à penser qu'un traitement thermique en continu serait plus judicieux à utiliser dans ce cas. Cependant si l'entreprise souhaite conserver un matériel pasteurisation de type batch, nous pouvons conseiller l'investissement dans un matériel type autoclave. Ce dernier réduirait la durée de montée en température du jus afin de moins le dégrader. Le *tableau 2* ci-dessous compare ces deux procédés.

Tableau 2 : Comparaison des traitements thermiques continus par rapport aux traitements thermiques en batch (Wagner et al., 2016)

Intérêts et inconvénients du traitement thermique continu par rapport aux traitements classiques en batch	
Intérêts	Inconvénients
- Productivité/cadence - Adapté aux gros volumes de production - Efficacité thermique - Efficacité énergétique - Amélioration de la qualité des aliments (réduction de la valeur cuisatrice)	- Coûts des équipements - Limité aux produits pompables - Peu adapté aux petites séries → temps de nettoyage conséquent - Complexité de mise en œuvre - Bonne maîtrise du conditionnement nécessaire pour éviter les recontamination

Dans le *Tableau 3* ci-dessous, nous avons déterminé les avantages, les inconvénients et les prix des échangeurs décrits précédemment :

Tableau 3 : Avantages, inconvénients et prix des différents types d'échangeurs (Echangeurs thermiques services) (CETIAT, 2019) (FactoryFuture, 2018) (Wagner et al., 2016)

	Avantages	Inconvénients	Prix
Echangeur tubulaire	Fluide très visqueux	Peu pratique en termes de	

	Résiste à de fortes pressions et températures	maintenance à cause des risques de colmatage Prends de la place Moins de performance que les échangeurs soudés ou jointés Coefficient de transferts moins bon que l'échangeur à plaques	
Echangeur à plaques joints	Facilement nettoyable Prends moins de place Fluide moins visqueux Investissement réduit	Pertes de charges importantes Ecart de température limitée Risque de colmatage si fluide trop visqueux Rémanence d'arômes indésirables à cause des joints Coût de maintenance élevé Pression de travail limitée à cause des joints	2 000 à 20 000 Euros

Exemple de modèle pour l'échangeur tubulaire

Le fournisseur Alfa laval propose un modèle d'échangeur tubulaire, ViscoLineTM CIP unit ("ViscoLine." Alfa Laval, 2018 (b)). Il s'agit d'un petit modèle d'environ deux mètres qui convient aux produits moyennement visqueux avec fibres ou de petites particules, comme le jus d'ananas. M. Alexis Jambeau, commercial chez Alfa Laval a estimé un budget de 5100 euros HT pour l'appareil et 200 euros de frais de port *Annexe 6*.

Exemple de modèle pour l'échangeur à plaques et joints

Nous pouvons utiliser des plaques Clip Widestream® du fournisseur Alfa Laval®. Ces plaques sont spécialement conçues pour les produits fibreux ou pulpeux (Alfa Laval, 2018 (a)). De plus, toujours chez ce même fournisseur, les échangeurs de la gamme Fusion peuvent également fonctionner avec des produits de faible à moyenne viscosité et des fibres, pulpes et particules. Ils ont les caractéristiques de circulation des fluides des échangeurs tubulaires tout en combinant une facilité d'entretien et un faible coût d'investissement (Wagner *et al*., 2016).

b) Choix du barème de pasteurisation

Néanmoins, le traitement thermique avec un certain couple temps/température permet de conserver davantage les jus d'ananas. Généralement un barème de pasteurisation avec une forte température pendant un temps court est effectué.

Avant de de déterminer le couple temps/température, il est nécessaire de connaître les germes présents initialement dans l'ananas et de déterminer les plus résistants afin de les détruire en priorité. Les rapports microbiologiques fournis par l'atelier agroalimentaire (*Annexe 7*) nous indiquent qu'ils surveillent la présence de certaines espèces : *Escherichia coli* à *β*-glucoronidase positive à 44°C, des levures et des moisissures, *Clostridium perfringens* et les microorganismes du genre *Salmonella*. Pour compléter ces données et affiner notre barème de température assurant une bonne destruction des flores, nous avons cherché quelles espèces microbiennes étaient présentes dans les jus de fruit. Ainsi notre résultat comprendra la présence de levures telles que *Candida guilliermondii*, *Candida pelliculum* et *Saccharomyces cerevisiae* et de bactéries (coliformes totaux, des staphylocoques non pathogènes, *Lactobacillus*, *Bacillus*, *Leuconostoc*, des microcoques, *Pediococcus* et *Acinetobacter*). Nous nous sommes davantage focalisées sur le jus d'ananas. Il héberge en plus des coliformes thermo-résistants tels que *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter agglomerans* et *Serratia rubidaea* (Tchango Tchango, 1996) (Hounhouigan *et al*., 2014).

Dans un milieu si acide (pH environ égal à 3,5), les bactéries se développent peu voire pas du tout et leur résistance thermique est affaiblie (*Annexe 8*). Ainsi les bactéries lactiques ont un temps de réduction décimal d'environ 0,1 à 0,3 min à 60°C. Les microorganismes qui vont poser le plus de problèmes vont alors être les levures et les moisissures. Cependant, toujours dans ce même milieu, les levures (hormis *S. cerevisiae*) vont avoir un temps de réduction décimal à 60°C inférieur à 1 minute. Pour *S. cerevisiae*, cette valeur est comprise entre 7 et 22 minutes (Hounhouigan *et al*., 2014). Cependant en appliquant une température plus élevée de l'ordre de 90°C (plus adaptée à la pasteurisation d'un jus de fruit sur un temps court), cette valeur va être réduite et le risque induit par cette souche limitée. Par le calcul, on cherche à trouver les valeurs de destruction thermique de *S. cerevisiae* avec les données et la formule (1) donné en *Annexe 9*.

Ainsi, pour *S. cerevisiae*, nous avons trouvé un temps de destruction thermique de 0,001 secondes. Cependant lorsque nous regardons les données sur l'ensemble des microorganismes dans l'annexe précédente (*Annexe 8*), la souche *C. pelliculum* semblent plus résistante. En effet, après la même méthode de calcul (*Annexe 9*), sa valeur de destruction thermique est de 0,2 minutes soit 12 secondes. Donc contrairement à ce que la bibliographie de Hounhouigan *et al*., 2014 semblait indiquer, ici ce n'est pas *S. cerevisiae* qui va poser le plus de problèmes. Pour l'établissement de notre proposition de barème thermique, nous nous baserons donc sur les données de *C. pelliculum*.

Notre objectif final est d'obtenir 1 bactérie/100L. En étudiant les rapports microbiologiques mis à disposition (en *Annexe 7*), nous constatons que même avant pasteurisation, les espèces étudiées sont en dessous des limites acceptables. Cependant, il faut prendre en compte le cas où il surviendrait un jour une contamination inhabituelle. Pour cela nous allons étudier un barème de pasteurisation capable de détruire une contamination de 10^4 levures/mL de jus soit 10^9 levures/100L. L'objectif est également d'obtenir une valeur pasteurisatrice similaire à celle appliquée actuellement car nous savons d'après les rapports microbiologiques que le barème donnant cette valeur est efficace.

Conformément à nos calculs, le temps de réduction décimale de *C. pelliculum* est de 12 secondes. En utilisant la formule (2) de l'*Annexe 9*, nous trouvons une durée de traitement thermique de 108 secondes soit 1 minute et 48 secondes à 90°C. Ce barème est légèrement plus élevé que celui actuellement utilisé. Cependant, s'il est couplé à un échangeur thermique

continu, la dégradation organoleptique du produit ne sera pas plus voire moins importante qu'avec le batch actuel.

Les jus contiennent également des enzymes de dégradation telles que la pectine méthylestérase (PME), la polyphénol oxydase (PPO), la péroxydase et la broméline. Il faudra s'intéresser à l'inactivation thermique de ces enzymes pour qu'elles n'altèrent pas les jus pendant le stockage à température ambiante.

D. Impacts du procédé

Concernant l'impact du procédé, nous avons trouvé peu de bibliographie sur le jus d'ananas. Nous avons donc décidé de choisir d'autres fruits avec des caractéristiques proches de celles de l'ananas comme le jus de raisin ou le jus d'orange. Toutefois, nous avons trouvé peu de bibliographie également pour le jus de raisin. Nous avons conservé le jus d'orange car il possède le même pH que le jus d'ananas.

Nous avons donc choisi de mettre sous forme d'un tableau, *Annexe 10*, les résultats de nos recherches concernant les barèmes de pasteurisation ainsi que l'impact du chauffage sur les différentes matrices.

Le processus de chauffage peut provoquer l'apparition de composés désagréables et des pertes au niveau d'autres composés.

La réaction de Maillard est une réaction non enzymatique s'effectuant entre les protéines et les glucides de l'ananas. Celle-ci dépend de différents facteurs : la température de chauffage, le pH, l'activité de l'eau, la nature des sucres et des acides aminés comme le démontre la vitesse de réaction suivante : $v = k * [NH_2] * [oses\ réducteurs]$ où k est la constante de réaction.

La constante de réaction k dépend de la température par la loi d'Arrhénius : $k = A * e^{-Ea/RT}$. Ainsi, un accroissement de la température entraîne un accroissement de la réactivité entre les sucres et le groupe amine (Martins *et al*., 2000). De plus, selon l'énergie d'activation, la vitesse de réaction de Maillard double en moyenne lorsque la température augmente de 10 °C (Lamia, 2006). Donc, lors du chauffage du jus, la teneur en 5-hydroxyméthyl-2-furfuraldéhyde (HMF) augmente et donne une couleur brune à la matrice. Cette molécule provient de la réaction de Maillard et apparaît lorsque le pH est inférieur à 7 (Martins *et al*., 2000). C'est pourquoi la clarté du jus et sa couleur jaune caractéristique ont tendance à disparaître et au contraire, une coloration rouge apparaît.

D'autre part, certains composés vont notamment réduire à cause du chauffage tels que les composés phénoliques, les pigments des caroténoïdes et la teneur en vitamine, en particulier la vitamine C (ou acide ascorbique). Lors du chauffage pour les composés phénoliques, en particulier pour l'anthocyanine, elle forme des cycles limitant l'activation du groupe hydroxyl OH. Or, celui-ci possède une activité antiradicalaire. Ainsi, la capacité oxydante de ces composés diminue. En ce qui concerne les pigments de caroténoïdes, eux changent de conformation lors du chauffage (Rawson *et al*., 2011). Enfin, le jus d'ananas est riche en vitamine C puisqu'il en contient 14 mg pour 100 g, d'après la table Ciqual (ANSES, 2017) en *Annexe 11*. Cette molécule a un rôle nutritionnel important puisqu'elle joue un rôle d'antioxydant limitant ainsi la formation de radicaux libres dans l'organisme. Sa destruction lors du chauffage suit une cinétique d'ordre 1 décrite en *Annexe 12*. A 90°C, le k est de 0,1784 min^{-1} et le D est égale à 12,91 min (Vikram *et al*., 2005). Ainsi, selon notre barème de pasteurisation, la vitamine C va être fortement dégradée. En effet, la vitamine C est un composant très sensible à la chaleur (Odriozola-Serrano *et al*., 2008). De plus, elle est sensible à l'oxygène mais aussi à la lumière (Davey *et al*., 2000) d'où l'importance de conserver le jus d'ananas dans un endroit fermé. Afin de conserver une teneur raisonnable en vitamine C, il serait possible d'en rajouter dans les nectars.

Par la suite, dans l'ananas et dans le jus d'ananas, nous retrouvons quatre enzymes indésirables qui peuvent être impactées par un traitement thermique (*Annexe 13*). Il existe tout d'abord la broméline, une protéase à cystéine. Sa teneur augmente au cours de la maturation du fruit et son activité moyenne est de 12,417 U/ml. La polyphenoloxidase peut également être présente selon la variété de l'ananas. Enfin, la peroxydase est une autre enzyme présente dans l'ananas avant tout traitement avec une activité de l'ordre de 4652 U/g en moyenne (Koguishi De Brito *et al*., 2008). Ces deux dernières enzymes sont impliquées dans le brunissement enzymatique naturel des fruits. C'est pourquoi leur inactivation est importante lors du traitement du jus d'ananas (Raimbault *et al*., 2011). De plus, une perte de vitamine C peut être dûe à la présence de la peroxydase ((Davey *et al*., 2000). Il faut donc réduire l'activité de cette enzyme pour limiter la perte en acide ascorbique.

Pour inhiber l'activité de la polyphénoloxydase, principale précurseur du brunissement enzymatique, par traitement thermique, il est conseillé de traiter le jus d'ananas à plus de 75°C. On estime notamment une activité résiduelle de 5% après 5 min à 85°C et de 1,2% après un traitement de 5 min à 90°C (Queiroz *et al*., 2008).

Concernant la pectine méthylestérase, il existe trois formes de PME dont une avec un haut poids moléculaire et résistant à la chaleur dans les oranges. Le $D_{90°C}$ est égale à 24s et son Z est de 6,5°C. Les deux autres isoenzymes sont plus rapidement désactivées. En effet, pour l'une, son $D_{60°C}$ est de 47s et son Z, de 11°C. Pour l'autre, le $D_{70°C}$ est égale à 27s et son Z à 6,5°C (Versteeg *et al*., 1980). Cette enzyme suit une cinétique d'ordre 1 décrite par Tajchakavit and Ramaswamy, 1997.

III. Conservation : stockage

A. Le process actuel

Après avoir été embouteillé à chaud, les bouteilles sont refroidies à l'eau froide pour arrêter la cuisson pendant une à deux minutes. Elles peuvent alors être stockées à température ambiante.

B. Les différentes méthodes existantes sur le marché

Nous développerons ici principalement deux méthodes. La cuve de stockage et le *bag-in-box* (*Tableau 4*)

Tableau 4 : Comparaison cuve/bag-in-box

Cuve de stockage aseptique + mélangeur (pulpe)		*Bag-in-box*	
Avantages	Inconvénients	Avantages	Inconvénients
Réutilisable Grand contenant Facilement nettoyable Protection à la lumière	Problème d'introduction d'air au soutirage → oxydation Refroidissement de la cuve pour « arrêter la cuisson »	Conserve la stérilité même au soutirage Protection à la lumière Protection à l'oxydation (sous vide)	Peu écologique un nouveau chaque année (sauf si procédure d'aseptisation = compliquée) peu économique Refroidissement du bag pour « arrêter la cuisson »

			Problème si remplissage à chaud ? (matériaux)

Dans la littérature de nombreuses études sont faites sur le stockage du jus d'ananas à froid et peu sur le stockage à température ambiante.

Une étude a été réalisée sur le jus de mangue avec un barème de pasteurisation de 90°C pendant 5 min en comparaison avec un traitement avec une homogénéisation à haute pression. Pour les deux traitements, l'inactivation microbiologique, en particulier des levures et des champignons, et la composition du jus de mangue ont été étudiées. Un suivi de ces paramètres a été réalisé pour deux température différentes de stockage : 4 °C et 25°C pendant 2 mois. Pour les deux traitements, il y a eu une reprise de la croissance bactérienne pour les deux températures de stockage. Néanmoins, la croissance est ralentie lorsque la température de stockage est de 4°C. Pour les deux températures de stockage, le pH et la matière solubles totale diminuent. La teneur en caroténoïdes, en polyphénols totaux et en vitamine C diminuent en 60 jours pour les deux températures de stockage. Néanmoins, les teneurs diminuent plus rapidement lors d'un stockage à température ambiante. Ainsi, la capacité antioxydante est plus faible lors d'un stockage à température ambiante (Guan *et al*., 2016).

L'étude d'Alzamora *et al.* en 1988 a été réalisée sur le stockage de l'ananas à température ambiante à 27°C. Le produit a subi un traitement thermique avec une diminution de l'activité de l'eau et du pH. Du sorbate de potassium a été rajouté ainsi que du bisulfite de sodium. Des études microbiologiques et physico-chimiques ont été réalisées. Dans un premier temps, après le traitement décrit ci- dessus et un stockage de 120 jours soit 4 mois de l'ananas, le nombre de moisissures, levures et des anaérobies mésophiles est inférieur à 1 cfu/g. Ainsi, ce traitement

est efficace. Il ne serait pas possible de l'appliquer sur des purs jus car les additifs sont interdits dans le pur jus. Néanmoins, il serait peut être applicable pour conserver les nectars.

Dans un second temps, la texture du fruit et les arômes ne changent pas au cours du temps. Néanmoins, certains paramètres changent lors du stockage tels que :

- La couleur : la clarté, les couleurs verte et jaune diminuent
- La teneur en acide ascorbique : la teneur au bout de 128 jours est nulle. De plus d'après Odriozola-Serrano *et al*., 2008, la dégradation de la vitamine C à long terme est due à une atmosphère riche en oxygène.

C. Solution adaptée à l'entreprise

Après discussion avec le commanditaire, il s'avère que la solution *bag-in-box* n'est pas souhaitable. En effet, le fait d'être à usage unique à moins d'un nettoyage plutôt compliqué à réaliser rend cette solution onéreuse puisque le matériel doit être renouveler à chaque pasteurisation mais engendre également beaucoup de déchets.

Le soutirage aurait lieu en une seule fois donc l'inconvénient de la rentrée d'air dans la cuve par la vanne n'est plus d'actualité.

Il semblerait qu'ici le stockage le plus approprié soit donc la cuve en acier inoxydable avec une vanne de soutirage. Comme le pur jus d'ananas stocké va par la suite est transformé (nectars, pâtes de fruits) et que le soutirage de chaque cuve va être total à chaque utilisation, il n'est pas nécessaire d'agiter la cuve ce qui réduit le coût total du matériel.

Dans notre cas, nous proposerons l'utilisation de plusieurs containers en acier inoxydable d'un volume d'environ 300 litres, gerbables et empilables afin de satisfaire les besoins de production de l'atelier tout en minimisant la prise au sol. Ces containers ont pour avantage de résister à la pression et de posséder des soupapes de sécurité, ainsi un remplissage à chaud ne posera pas de problèmes de rétractation. Cependant il faudrait envisager un système de refroidissement à la sortie de l'étape de pasteurisation. En effet lors du remplissage à chaud, dans ce type de contenant, le produit risque de conserver une température à cœur assez élevée pendant un long moment ce qui va contribuer à sa dégradation.

De plus, comme le stockage doit se faire de manière stérile, il faudra envisager l'acquisition d'une station vapeur afin de pouvoir stériliser les containers avant une nouvelle utilisation.

Comme le volume de ces containers n'est pas très important, le ciel de cuve sera minime. Cependant, il peut être envisagé de préserver au mieux le produit en introduisant, au moyen de cartouches par le bas de la cuve, de l'azote ou un mélange azote/CO_2. En effet ces gaz vont servir à l'inertage de la cuve. En les introduisant par le bas, ils vont traverser le jus et ainsi capter l'O_2 contenu avant de remonter et de se retrouver dans le ciel de cuve. L'absence d'O_2 va diminuer l'oxydation du produit et empêcher un éventuel développement de microorganismes aérobies.

Conclusion

L'objectif de ce projet était de proposer, à notre commanditaire, des solutions adaptées à l'extraction, la conservation et le stockage à température ambiante ainsi qu'à long terme du pur jus d'ananas.

Tout d'abord, les machines Ginaca® pourraient être utilisées lors de l'étape de l'extraction puisqu'elles permettent de récupérer un maximum de chair d'ananas et de conserver les qualités nutritionnelles de ce fruit tout en enlevant les parties non comestibles. Après cette étape de parage, il serait intéressant d'effectuer un pré-traitement enzymatique grâce à des pectinases et/ou hémicellulases. Ces enzymes permettent une meilleure séparation entre le jus et la pulpe. Enfin, pour l'étape de pressage, un pressoir à vis pourrait remplacer la presse à paquet actuellement utilisée par l'atelier puisqu'il a une meilleure capacité.

Ensuite, nous avons établi un barème de pasteurisation pour détruire les microorganismes résistants dans le jus d'ananas. D'après nos recherches, *Candida pelliculum* est la levure la plus résistante. Nous avons donc déterminé un barème de 1 minute et 48 secondes à 90°C pour détruire ce microorganisme. Pour éviter les problèmes organoleptiques, avec un goût de « trop cuit », il faudrait coupler ce barème de pasteurisation avec un échangeur thermique continu plutôt qu'un batch. En complément de ce barème, nous avons étudié l'impact du chauffage sur le jus d'ananas : la composition et les caractéristiques physico-chimiques du jus évoluent.

Enfin, le jus d'ananas doit être stocké à température ambiante et à long terme. Toutefois, nous savons qu'un unique soutirage du jus est effectué. Grâce à cette information, nous

proposons de stocker ce jus dans des containers d'aciers inoxydables, gerbables et empilables d'une capacité de 300 L. Néanmoins, nous n'avons pas résolu le problème du refroidissement du jus après le barème de pasteurisation.

Références bibliographiques

AGHABABAIE, Marziyeh, KHANAHMADI, Morteza, BEHESHTI, Masood and MIRLOHI, Maryam, 2011. Temperature and pH Optimization for the growth of lactobacillus delbrueckii ssp bulcaricus on whey-based medium using response surface methodology. In : The 7th International Chemical Engineering Congress & Exhibition (IChEC 2011). Kish, Iran, 21-24 November, 2011. [Consulté le 20 février 2019]. Disponible à l'adresse : https://www.researchgate.net/profile/Morteza_Khanahmadi/publication/255965039_Temperature_and_pH_Optimization_for_the_growth_of_lactobacillus_delbrueckii_ssp_bulcaricus_on_whey_-based_medium/links/00b7d52ab301caf0a2000000.pdf

Alard Equipment Corporation, 2019. JUICE EXTRACTOR, Brown 2503, Alard item Y3518 [en ligne]. [Consulté le 22 février 2019]. Disponible à l'adresse : https://www.alard-equipment.com/mt/recent/2017/06/y3518.html

Alfa Laval, 2018 (a). Echangeurs de chaleur à plaques et joints - FrontLine [en ligne]. [Consulté le 25 janvier 2019]. Disponible sur : https://www.alfalaval.fr/produits/echange-thermique/echangeurs-de-chaleur-a-plaques/echangeurs-de-chaleur-a-plaques-et-joints/frontline/

Alfa Laval, 2018 (b). Echangeurs de chaleur tubulaires – ViscoLine [en ligne]. [Consulté le 20 février 2019]. Disponible sur : www.alfalaval.fr/produits/echange-thermique/echangeurs-de-chaleur-tubulaires/echangeurs-de-chaleur-tubulaires/viscoline/

ALZAMORA, Stella M., GERSCHENSON, Lía N., CERRUTTI, P. and ROJAS, Ana M., 1988. Shelf-stable Pineapple for Long-term Non-refrigerated Storage. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*. 1989. Vol. 22, n°5, pp 233-236.

ANAYA-ESPARZA, Luis M., VELÁZQUEZ-ESTRADA, Rita M., ROIG, Artur X., GARCIA-GALINDO, Hugo S., SAYAGO-AYERDI, Sonia G. and MONTALVO-GONZALEZ, Efingenia, 2017. Thermosonication : An alternative processing for fruit and vegetable juices. *Trends in food science & technology*. Mars 2017. Vol. 61, pp 26-37. DOI 10.1016/j.tifs.2016.11.020.

ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, 2017. Ciqual : table de composition nutritionnelle des aliments - Jus d'ananas, pur jus. ANSES [en ligne]. [Consulté le 25 janvier 2019]. Disponible à l'adresse : https://ciqual.anses.fr/#/aliments/2073/jus-d'ananas-pur-jus

ASHURST, Philip R., 2016. *Chemistry and Technology of Soft Frinks and Fruit Juices Third Edition.* Wiley Blackwell. ISBN 9781444333817.

Bertuzzi, 2018. PineTronic [en ligne]. [Consulté le 28 novembre 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.bertuzzi.it/PineTronic

BINTSIS, Thomas, LITOPOULOU-TZANETAKI, Evanthia and ROBINSON, Richard K., 2000. Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry - A critical review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. Avril 2000. Vol. 80 pp 637−645.
BISWAS, S. R., PURBITA RAY, JOHNSON, M. C. and RAY, B., 1991. Influence of Growth Conditions on the Production of a Bacteriocin, Pediocin AcH, by Pediococcus acidilactici H. *Applied and Environmental Microbiology*. April 1991. Vol. 57 n°4 pp 1265-1267.

BOUSMAHA, Latifa, OUHSSINE, Mohammed et EL YACHIOUI, Mohammed, 2014. Isolement et caractérisation de Candida guilliermondii productrice d'une β fructofuranosidase endocellulaire. *Afrique SCIENCE*. 2014. Vol. 10 n°2 pp 311 – 317 [en ligne]. [Consulté le 20 février 2019]. Disponible sur : https://www.ajol.info/index.php/afsci/article/viewFile/109671/99426

Bundesinstitut für Risikobewertung, 2019. Bacillus cereus. [en ligne]*In* : bfr.bund.de/en/home.html. Berlin [En ligne]. [Consulté le 24 janvier 2019]. Disponible sur : https://www.bfr.bund.de/en/bacillus_cereus-54345.html

BUZRUL, Sencer, ALPAS, Hami, LARGETEAU, Alain and DEMAZEAU, Gérard, 2008. Inactivation of *Escherichia coli* and *Listeria innocua* in kiwifruit and pineapple juices by high hydrostatic pressure. *International Journal of Food Microbiology*. Juin 2008. Vol. 124, n°3 pp 275-278. DOI 10.1016/j.ijfoodmicro.2008.03.015.

CAMPANIELLO, Daniela and SINIGAGLIA, Milena, 2017. Chapter 10 - Wine Spoiling Phenomena. In : *The Microbiological Quality of Food* – Foodborne Spoilers. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition pp 237-255. DOI 10.1016/B978-0-08-100502-6.00013-3.

CASTALDO, D., LARATTA, B., LOIUDICE, R., GIOVANE, A., QUAGLIUOLO, L. and SERVILLO, L., 1997. Presence of Residual Pectine Methylesterase Activity in Thermally Stabilized Industrial Fruit Preparations. *LWT – Food Science and Technology*. Août 1997. Vol.

30 n°5 pp 479-484. DOI 10.1006/fstl.1996.0211.

CENDRES, Aurélie, 2010. *Procédé novateur d'extraction de jus de fruits par micro-onde : viabilité de fabrication et qualité nutritionnelle des jus*. Thèse de doctorat en Biochimie. Avignon. Sciences des Procédés – Sciences des Aliments (Montpellier ; École Doctorale ; 2009-2015) et Institut national de la recherche agronomique.

CETIAT : Centre Technique des Industries Aéraulique et Thermique, 2019. Récupération de chaleur fatale industrielle : des économies d'énergies à la clé - Echangeur tubulaire [en ligne]. [Consulté le 25 janvier 2019]. Disponible sur : http://www.recuperation-chaleur.fr/echangeurs-tubulaires

DAVEY, Mark W., VAN MONTAGU, Marc, INZÉ, Dirk, SANMARTIN, Maite, KANELLIS, Angelos, SMIRNOFF, Nicholas, BENZIE, Iris J.J., STRAIN, John J., FAVELL, Derek and FLETCHER, John, 2000. Plant L-ascorbic: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 9 Janvier 2002. Vol. 80 n°7 pp 825-860.

DEVAKATE, R.V., PATIL, V.V., WAJE, S.S. and THORAT, B.N., 2009. Purification and drying of bromelain. *Separation and Purification Technology*. 12 janvier 2009. Vol. 64 n°3 pp 259-264. DOI 10.1016/j.seppur.2008.09.012

DSM. Fruit juice – Enzymes for fruit and vegetable processing [en ligne]. [Consulté le 20 février 2019]. Disponible à l'adresse : www.dsm.com/markets/food-specialties/en/markets/beverage/fruit-juice.html

DUMAY, Eliane, CHEVALIER-LUCIA, Dominique, PICART-PALMADE, Laëtitia, BENZARIA, Amal, GRACIA-JULIA, Alvar et BLAYO, Claire, 2013. Technological aspects and potential applications of (ultra) high-pressure homogenisation. *Trends in Food Science & Technology*. Mai 2013. Vol. 31 n°1 pp 13–26. DOI 10.1016/j.tifs.2012.03.005.

DON, Sarah M., 2008. Optimal Conditions for the Growth of *E. Coli*. Biology EEI, Semester 4, Mrs Gibson. 18p.

Echangeurs thermiques services. Techniques des échangeurs - Les différents types d'échangeurs : les échangeurs à plaques, à plaques et joints… [en ligne]. [Consulté le 25 janvier 2019]. Disponible sur : http://www.echangeur-thermique-services.fr/type-echangeur-chaleur.aspx

FactoryFuture, 2018. Fonctionnement d'un échangeur tubulaire [en ligne]. [Consulté le 10 février 2019]. Disponible sur : https://www.factoryfuture.fr/fonctionnement-echangeur-tubulaire/

FactoryFuture, 2018. Prix d'un échangeur de chaleur à plaques [en ligne]. [Consulté le 10 février 2019]. Disponible sur : https://www.factoryfuture.fr/prix-echangeur-chaleur-plaques/

FAO : FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION, 2005. CODEX GENERAL STANDARD FOR FRUIT JUICES AND NECTARS (CODEX STAN 247-2005).

FILLON, François (en tant que Premier Ministre du gouvernement français). *Décret n° 2011-509 fixant les conditions d'autorisation et d'utilisation des auxiliaires technologiques pouvant être employés dans la fabrication des denrées destinées à l'alimentation humaine* [en ligne]. 10 mai 2011. JORF ; Journal Officiel de la République Française n°0110 du 12 mai 2011 page 8212 texte n° 27. [Consulté le 13 février 2019]. Disponible à l'adresse : https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000023982083&categorieLien=id

FOOD STANDARDS AUSTRALIA NEW ZEALAND, 2013. Salmonella (non-typhoidal) [en ligne]. 11p. [Consulté le 25 janvier 2019]. Disponible à l'adresse : https://www.foodstandards.gov.au/publications/Documents/Salmonella%20(non-typhoidal).pdf

GUAN, Yunjing, ZHOU, Linyan, BI, Jinfeng, YI, Jianyong, LIU, Xuan, CHEN, Qinqin, WU, Xinye and ZHOU, Mo, 2016. Change of microbial and quality attributes of mango juice treated by high pressure homogenization combined with moderate inlet temperatures during storage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. Août 2016. Vol. 36, pp 320-329. DOI 10.1016/j.ifset.2016.07.009.

GUERRERO-BELTRÁN, J. A. and BARBOSA-CÁNOVAS, G. V., 2004. Review: Advantages and Limitations on Processing Foods by UV Light. *Food Science and Technology, International*. 1er juin 2004. pp 137−148. DOI 10.1177/1082013204044359.

GUERRERO-BELTRÁN, J. A. and BARBOSA-CÁNOVAS, G. V., 2005. Reduction of *Saccharomyces cerevisiae*, *Escherichia coli* and *Listeria innocua* in apple juice by ultraviolet light. *Journal of Food Process Engineering*. 17 octobre 2005. Vol. 28 n°5 pp 437−452. 10.1111/j.1745-4530.2005.00040.x.

HOUNHOUIGAN, Menouwesso H., LINNEMANN, Anita R., SOUMANOU, Mohamed M. and VAN BOEKEL, Martinus A. J. S., 2014. Effect of Processing on the Quality of Pineapple

Juice. *Food Reviews International*. 23 janvier 2014. Vol. 30 n°2 pp 112-133. DOI: 10.1080/87559129.2014.883632.

JUNEJA, Vijay K., NOVAK, John S. and LABBE, Ronald J., 2010. Clostridium perfringens. *Pathogens and Toxins in Foods: Challenges and Interventions* - Chapter 4 [en ligne]. 2010, ASM Press, Washington, DC. Pp 53-70. [Consulté le 25 janvier 2019]. Disponible à l'adresse : https://naldc.nal.usda.gov/download/40400/PDF

KOGUISHI DE BRITO, Carlos Alexandre, BECKER SIQUEIRA, Priscila, FONTES PIO, Tatiana, BOLINI, Helena Maria André and HARUMI SATO, Hélia, 2008. Caracterização físico-química, enzimática e aceitação sensorial de três cultivares de abacaxi. Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial. 2008. Vol. 2 n°2. DOI 10.3895 / S1981-36862008000200001.

LAMIA, Ait Ameur, 2006. *Evolution de la qualité nutritionnelle des protéines de biscuits modèles au cours de la cuisson au travers d'indicateurs de la réaction de Maillard: Intérêt de la fluorescence frontale* [en ligne]. Thèse de Doctorat en Chimie analytique. Paris-Grignon : Institut National Agronomique, UMR Ingénierie Analytique pour la Qualité des Aliments, Laboratoire de Chimie Analytique. [Consulté le 20 février 2019]. Disponible à l'adresse : http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.468.8193&rep=rep1&type=pdf

MARTINS, Sara I.F.S., JONGEN, Wim M.F. and VAN BOEKEL, Martinus A.J.S., 2000. A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. *Trends in Food Science & Technology*. 10 septembre 2000. Vol. 11 n° 9-10 pp 364-373. DOI 10.1016/S0924-2244(01)00022-X.

MatéVi. Pressoir pneumatique à membrane – DIEMME Enologia TECNOVA 34 CO – Pressoir pneumatique horizontal [en ligne]. [Consulté le 27 janvier 2019]. Disponible à l'adresse : https://www.matevi-france.com/oenologie/pressurage/1797-pressoir-pneumatique-a-membrane/1932-tecnova-34-co-pressoir-pneumatique-horizontal.html

MILLET, Pierre, 2016. Liquides alimentaires - Conditionnement et stabilisation en emballages primaires. Génie industriel / Emballages, *Techniques de l'ingénieur*. 10 janvier 2016. Réf : AG6521 V2. P21.

ODRIOZOLA-SERRANO, Isabel, SOLIVA-FORTUNY, Robert and MARTIN-BELLOSO, Olga, 2008. Changes of health-related compounds throughout cold storage of tomato juice stabilized by thermal or high intensity pulsed electric field treatments. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. Juillet 2008. Vol. 9 n°3 pp 272-279. DOI 10.1016/j.ifset.2007.07.009.

PRAPHAILONG, W. and FLEET, G.H., 1997. The effect of pH, sodium chloride, sucrose, sorbate and benzoate on the growth of food spoilage yeasts. *Food Microbiology*. Octobre 1997. Vol. 14 n°5 pp 459-468. DOI 10.1006/fmic.1997.0106.

QUEIROZ, Christiane, MENDES LOPES, Maria Lúcia, FIALHO, Eliane and VALENTE-MESQUITA, Vera Lúcia, 2008. Polyphenol Oxidase: Characteristics and Mechanisms of Browning Control. *Food Reviews International*. 12 septembre 2008. Vol. 21 n°4 pp 361-375. DOI 10.1080/87559120802089332.

RAIMBAULT, Astrid-Kim, MARIE-ALPHONSINE, Paul-Alex, HORRY, Jean-Pierre, FRANCOIS-HAUGRIN, Madlyn, ROMUALD, Karell and SOLER, Alain, 2011. Polyphenol Oxidase and Peroxidase Expression in Four Pineapple Varieties (Ananas comosus L.) after a Chilling Injury. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 12 janvier 2011. Vol. 59 n°1 pp 342-348. DOI 10.1021/jf102511z.

RATTANATHANALERK, M., CHIEWCHAN, N. and SRICHUMPOUNG, W., 2004. Effect of thermal processing on the quality loss of pineapple juice. *Journal of Food Engineering*. Janvier 2005. Vol. 66 n°2 pp 259-265. DOI 10.1016/j.jfoodeng.2004.03.016

RAWSON, A., PATRAS, A., TIWARI, B.K., NOCI, F., KOUTCHMA, T., BRUNTON, N., 2011. Effect of thermal and non thermal processing technologies on the bioactive content of exotic fruits and their products: Review of recent advances. *Food Research International*. Août 2011. Vol. 44 n°7 pp 1875–1887. DOI 10.1016/j.foodres.2011.02.053.

Schredding & Dewatering, 2019. High Performance Dewatering Squeezer [en ligne]. [Consulté le 27 janvier 2019]. Disponible à l'adresse : http://shredding-machine.com/index.php/product/dewatering-screw-press/

SEW, Chang Chew, GHAZALI, Hasanah Mohd, MARTIN-BELLOSO, Olga and NOZANIZAN, Mohd Adzahan, 2014. Effects of combining ultraviolet and mild heat treatments on enzymatic activities and total phenolic contents in pineapple juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. Décembre 2014. Vol. 26 pp 511-516. DOI 10.1016/j.ifset.2014.05.008.

SHAMSUDIN, Rosnah, LING, Chia Su, ADZAHAN, Noranizan Mohd and DAUD, Wan Ramli Wan, 2012. Rheological properties of ultraviolet-irradiated and thermally pasteurized Yankee pineapple juice. *Journal of Food Engineering*. Mai 2013. Vol. 116 n°2 pp 548-553. DOI 10.1016/j.jfoodeng.2012.12.031

SIGMA-ALDRICH – MERCK, 2019. Pectinase from *Aspergillus niger* [en ligne]. [Consulté le 20 février 2019]. Disponible à l'adresse :

https://www.sigmaaldrich.com/catalog/substance/pectinasefromaspergillusniger12345903275111?lang=fr&region=FR

SRIWATANAPONGSE, A., BALABAN, M. and TEXEIRA, A., 2000. Thermal inactivation of bromelain in pineapple juice. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 2000. Vol. 43 n°6 pp 1703-1708. DOI 10.13031/2013.3071.

TAJCHAKAVIT, S. and RAMASWAMY, H., 1997. Thermal *vs.* Microwave Inactivation Kinetics of Pectin Methylesterase in Orange Juice Under Batch Mode Heating Conditions. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie – Food Science and Technology*. Février 1997. Vol. 30 n°1 pp 85-93. DOI 10.1006/fstl.1996.0136.

TCHANGO TCHANGO, Jean, 1996 *Qualité microbiologique des jus et nectars de fruits exotiques : croissance et thermorésistance des levures d'altération* [en ligne]. Thèse de doctorat en Sciences de la Vie et de la Santé option Microbiologie. Université Lille 1 – Sciences et Technologies. [Consulté le 25 janvier 2019]. Disponible à l'adresse : https://ori-nuxeo.univ-lille1.fr/nuxeo/site/esupversions/8c2aa066-8c80-4014-b958-c7dcc87bb43c

TCHANGO TCHANGO, J., TAILLIEZ, R., EB, P., NJINE, T., HORNEZ, J.P., 1997. Heat resistance of the spoilage yeasts *Candida pelliculosa* and *Kloeckera apis* and pasteurization values for some tropical fruit juices and nectars. *Food Microbiology.* Février 1997. Vol. 14 n°1 pp 93-99. DOI 10.1006/fmic.1996.0065.

Tecnifruits, 2019. Presse à paquets - 50 T1 [en ligne]. [Consulté le 27 janvier 2019]. Disponible sur : https://www.tecnifruits.com/catalogue/pressoir-a-paquets/pressoir-a-paquets.html#prettyPhoto

TIWARI, B.K., O'DONNELL, C.P., MUTHUKUMARAPPAN, K. and CULLEN, P.J., 2008. Ascorbic acid degradation kinetics of sonicated orange juice during storage and comparison with thermally pasteurised juice. LWT - Food Science and Technology. Avril 2009. Vol. 42 n°3 pp 700-704. DOI 10.1016/j.lwt.2008.10.009

TOCHI, Bitange Nipa, WANG, Zhang, XU, Shi-Ying and Zhang, Wenbin, 2009. The Influence of Pectinase/hemicellulases Enzyme Preparations On percentage Pineapple Juice Recovery, Particulates and Sensory Attributes. *Pakistan Journal of Nutrition.* 2009. Vol. 8 n° 8 pp. 1184-1189. DOI 10.3923/pjn.2009.1184.1189

Unitech Engineering, 2019. Juice Expeller Screw Press [en ligne]. [Consulté le 26 janvier 2019] Disponible à l'adresse : http://unitech-eng.com/products/juice-expeller-screw-press/

VELÁZQUEZ-ESTRADA, R. M., HERNÁNDEZ-HERRERO, M.M., GUAMIS-LÓPEZ, B. and ROIG-SAGUÉS, A.X., 2011. Impact of ultra high pressure homogenization on

pectinmethylesterase activity and microbial characteristics of orange juice: A comparative study against conventional heat pasteurization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. Janvier 2012, Vol. 13 pp 100-106. DOI 10.1016/j.ifset.2011.09.001.

VELÀZQUEZ-ESTRADA, R.M., HERNÀNDEZ-HERRERO, M.M., RÜFER, C.E., GUAMIS-LOPEZ, B. and ROIG-SAGUÉS, A.X., 2013. Influence of ultra high pressure homogenization processing on bioactive compounds and antioxidant activity of orange juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. Avril 2013. Vol. 18 pp 89-94. DOI 10.1016/j.ifset.2013.02.005

VERSTEEG, C., ROMBOUTS, F.M., SPAANSEN, C.H. AND PILNIK, W, 1980. Thermostability and orange juice cloud destabilizing properties of multiple pectinesterases from orange. *Journal of Food Science*. Juillet 1980.Vol. 45 n°4 pp 969-971. DOI 10.1111/j.1365-2621.1980.tb07489.x.

VIKRAM, V. B., RAMESH, M. N. and PRAPULLA, S. G., 2005. Thermal degradation kinetics of nutrients in orange juice heated by electromagnetic and conventional methods. *Journal of Food Engineering*. Juillet 2005. Vol. 69 n°1 pp 31-40. DOI 10.1016/j.jfoodeng.2004.07.013.

Voran maschinen, 2019. Belt press EP350 [en ligne]. [Consulté le 26 janvier 2019] Disponible sur : https://www.voran.at/en/product-overview/produkt/belt-press-ebp350/

WAGNER, Magali, MELLOUET, Anne Gaëlle, ZUBER, François, 2016. Traitement thermique en continu de produits pompables. *Procédés chimie – bio – agro / Agroalimentaire, Techniques de l'ingénieur*. 10 septembre 2016. Réf : F3080 V1.

ZHANG, GenLin, MA, BinBin, XU, XiaoLin, LI, Chun and WANG, Liwei, 2007. Fast conversion of glycerol to 1,3-propanediol by a new strain of *Klebsiella pneumoniae*. *Biochemical Engineering Journal*. 15 décembre 2007. Vol. 37 n°3 pp 256-260. DOI 10.1016/j.bej.2007.05.003.

Annexes

Annexe 1 : Presse à paquet Voran 50 T1 (Tecnifruits, 2019)

Figure 3 : Presse à paquet Voran 50 T1 (Tecnifruits, 2019) (a)

Figure 4 : Presse à paquet Voran 50 T1 (Tecnifruits, 2019) (b)

Annexe 2 : DIEMME Enologia TECNOVA 34 CO- Pressoir pneumatique horizontal (Matévi)

Figure 5 : DIEMME Enologia TECNOVA 34 CO- Pressoir pneumatique horizontal (Matévi)

Annexe 3 : Exemple d'enzymes pour le traitement enzymatique pré-extraction

Tableau 5 : Enzymes permettant un pré-traitement enzymatique

Produit	Caractéristique	Référence, fournisseur, prix
poly 1,4-alpha-D-galacturonide glycanohydrolase (Sigma-Aldrich – Merck, 2019)	Mélange de pectinesterase, polygalacturonase, pectynyase	P4716 Sigma-Aldrich 90 euros pour 5KU
Rapidase®Fiber (DSM)	Mélange de pectinase, exo-arabanase et autres hemicellulase	DSM

Annexe 4 : Devis pour une presse à vis

Hi,
Thanks for your mail. I believe that this is only for some information purpose.
We have range of models in Juice Extractor. Please find attached a leaflet for the same. Brief spec and pricing as follow:

2hp motor - 100kg/Hr - USD 4,500
3hp motor - 200kg/Hr - USD 7,500
5hp motor - 400kg/Hr - USD 9,900
7.5hp motor - 750kg/Hr - USD 18,700
10hp motor - 1200kg/Hr - USD 25,600

Type - Single Screw continuous
MOC - Stainless steel 304
Motor - 3ph, 415V, 50Hz

Please revert if you need more information.

Shaiju Johny
+91-9495917378

Regards,

UNITECH ENGINEERING ENTERPRISES
Near Railway Cross, Nandikkara P.O., Thrissur Dist.,Kerala,
India. Pin 680301
Tel: +91 480 279 2277.
Mob: +91 94 95 917378, +91 80 86 938538

Figure 6 : Devis pour une presse à vis par le fournisseur Unitech

Annexe 5 : Devis pour une presse à bandes continues

1 PRESSOIR A BANDE CONTINU POUR JUS DE POMMES EBP 350
Entièrement en inox,
Tendeur de bande pneumatique **compresseur d'air** 0,55 kW non **fourni**,
Tension de bande variable par réglage du détendeur de pression d'air,
Largeur de bande 350 mm, largeur de travail 240 mm,
Système anti- glissement latéral avec contacteur de sécurité,
Vitesses d'avancée de la bande réglable par **variateur de fréquence**,
Réglage épaisseur pulpe de 0 à 50 mm,
1 bac de récolte du jus,1 bac de récolte eau de lavage,
Système de lavage intégré **nettoyeur haute pression** non **fourni**,
Capacité **100 à 300 kg** / heure suivant fruits,
Puissance moteur 0,37 et 0,55 kW
Dimensions : L x l x h = 1260 x 660 x 1250 mm, Poids 350 kg,
Au prix H.T de ……..……**€** **15.800,-**

Options :
1 Compresseur d'air 1,5kW / 230V-50Hz .....**€** **690,-**
1 Nettoyeur haute pression Karcher 4,7 kW .....**€** **880,-**
1 Bac de récolte inox 70 litres avec tamisinox 1 mm
+ pompe de vidange automatique .....**€** **1.900,-**

Tecnifruits.com - 22 rue des roseaux - 68970 ILLHAEUSERN - Tél./Fax : +33 (0)3.89.86.47.89 - Web : www.tecnifruits.com
E-mail : contact@tecnifruits.com - SAS capital 20.000 € - SIRET 490 875 929 00013 - APE 518P -
TVA : FR 86490875929 - IBAN : FR76 1720 6006 6063 0100 4883 503 - BIC : AGRIFRPP872 -

Figure 7 : Devis pour une presse à bandes continues par le fournisseur Tecnifruit

Annexe 6 : Devis échangeur tubulaire Alfa Laval

RE: AgroSupDijon / Viscoline / Jus d'ananas

De: Alexis Jambeau <alexis.jambeau@alfalaval.com> Lun, Fév 18, 2019 15:29

A: **Jessica QUENARD**

VLC - ViscoLine CIP unit.pdf (221K)
VLC type 1 Drawing.pdf (248K) Fiche Ech 1S var 08-15.pdf (108K) Entête Internet

Bonjour Madame QUENARD,

Ci-joint la documentation d'un petit modèle d'échangeur tubulaire alimentaire (longueur 2 mètres).

Prix budget HT = 5100 + 200 euro de port (DAP France métropolitaine). Délai 8 à 9 semaines.

Si le jus est filtré (particules < à 1200 μm) et pas de fibre on pourrait calculer un échangeur plaques et joint.

Pour une offre détaillée je vous invite à contacter directement notre partenaire COGEFLU en copie de ce mail avec la fiche de détermination complétée.

Cordialement / Best Regards
Alexis Jambeau

Figure 8 : Devis d'un échangeur tubulaire Alfa Laval

Annexe 7 : Rapports microbiologiques réalisés sur différents échantillons de jus d'ananas

Protocole d'analyse des échantillons de jus d'ananas

Rappel du protocole analyse d'analyses

- Durant cette étude, les échantillons de purs jus d'ananas, étaient conservés chez les clients de J0 au J+7, à différentes températures :
  - ✓ Température ambiante + 27°C
  - ✓ Etuvage à + 37°C et à +55°C.

- A J0 sont analysés :
  - ✓ L'échantillon n'ayant pas subi de traitement thermique de pasteurisation.
  - ✓ L'échantillon pasteurisé n'ayant subi aucune incubation supplémentaire

- A J+7 sont analysés :
  - ✓ L'échantillon de jus d'ananas pasteurisé laissé à température ambiante à 27°C
  - ✓ L'échantillon de jus d'ananas pasteurisé et incubé à 37°C
  - ✓ L'échantillon de jus d'ananas pasteurisé et incubé à 55°C

Figure 9 : Protocole d'analyse des jus d'ananas (1)

- L'étude a pour objet d'estimer la date limite de conservation dans le temps en observant l'évolution des caractéristiques organoleptiques et microbiologiques des produits à différentes températures dans des poches.

Test organoleptique

- Aucune modification apparente n'a été observée au niveau des échantillons de purs jus d'ananas la période de cette étude :
  - ✓ Pas de changement de couleur
  - ✓ Pas de changement d'odeur

Examen bactériologique (voir résultats les rapports joints)

Echantillon	Jour	Résultat	Conclusion
Purs jus d'ananas	J0	Aucun développement bactériologique constaté au-delà de la limite de tolérance des critères	Résultats satisfaisants sur la durée de l'étude
	J+7		

Figure 10 : Protocole d'analyse des jus d'ananas (2)

Rapport microbiologique sur des échantillons de jus d'ananas avant pasteurisation

NATURE DE PRÉLÈVEMENT

N° Dossier : 0958
Lieu de prélèvement : COCONI
Commune : OUANGANI
Prélèveur : Le laboratoire
Date de prélèvement : 22/11/2018 à 11h06
Date de réception : 22/11/2018 à 12h25
Motif d'analyse : AUTOCONTRÔLE

Nom ou code du prélèveur : HAFIDOU
Date de début analyse : 22/11/2018 à 12h52
Température Local de stockage :

CARACTÉRISTIQUES DU PRODUIT

Nom commercial : PUR JUS D'ANANAS AVANT PATEURISATION
Nature de conditionnement : Flacon 300ml
Date de fabrication : 22/11/2018

N° Lot :
DLC / DLUO :

RÉSULTATS DES ANALYSES

Germes analysés	Méthode	Limites	Unité	Éch. N° 1605
Escherichia Coli ß-glucuronidase positive à 44°C	NF ISO 16649-2	m = 10	UFC/g	< 10
Lévures et moisissures	NF ISO 13681	m = 10 000	UFC/g	< 10 000
Clostridium perfringens	NF EN ISO 7937			< 100
Salmonella	NF EN ISO 6579	Abs	UFC/25g	Absence
Température du produit au prélèvement				*54 °C*
Température du produit à la réception				*26,9 °C*
Observations par unité				***Satisfaisant***

Figure 11 : Analyse microbiologique sur le jus d'ananas avant pasteurisation

Rapport microbiologique sur des échantillons de jus d'ananas après pasteurisation

NATURE DE PRÉLÈVEMENT

N° Dossier : 0959
Lieu de prélèvement : COCONI
Commune : OUANGANI
Prélèveur : Le laboratoire
Date de prélèvement : 22/11/2018 à 11h06
Date de réception : 29/11/2018 à 12h25
Motif d'analyse : AUTOCONTRÔLE

Nom ou code du prélèveur : HAFIDOU
Date de début analyse : 29/11/2018 à 12h52
Température Local de stockage :

CARACTÉRISTIQUES DU PRODUIT

Nom commercial : PUR JUS D'ANANAS APRES PATEURISATION
Nature de conditionnement : Flacon 300ml
Date de fabrication : 22/11/2018

N° Lot :
DLC / DLUO :

RÉSULTATS DES ANALYSES

Germes analysés	Méthode	Limites	Unité	Éch. N° 1606	Éch. N° 1607	Éch. N° 1608	Éch. N° 1665
Escherichia Coli ß-glucuronidase positive à 44°C	NF ISO 16649-2	m = 10	UFC/g	< 10	< 10	< 10	< 10
Lévures et moisissures	NF ISO 13681	m = 10 000	UFC/g	< 10 000	< 10 000	< 10 000	< 10 000
Clostridium perfringens	NF EN ISO 7937			< 100	< 100	< 100	< 100
Salmonella	NF EN ISO 6579	Abs	UFC/25g	Absence	Absence	Absence	Absence
Température du produit au prélèvement				*54 °C*	*27 °C*	*37 °C*	*55 °C*
Température du produit à la réception				*26,9 °C*	*20 °C*	*30 °C*	*40 °C*
Observations spécifiques				*26,9/J+0*	*T° 27°C/J+7*	*T° 37°C/J+7*	*T° 55°C/J+7*

Figure 12 : Analyse microbiologique sur le jus d'ananas après pasteurisation

Conclusion des rapports microbiologiques

Les résultats obtenus ne font pas apparaître une différence de contamination bactériologique par rapport aux traitements différenciés des échantillons. Nous avons à faire ici à un échantillon peu contaminé avant la pasteurisation, il serait peut-être intéressant de voir les cas où il aurait d'échantillons avec des germes présents avant la pasteurisation.
Les purs jus d'ananas peuvent donc être traités et conservés par rapports aux différents procédés que vous avez prédéfinis en interne.
Ces observations sont valables uniquement pour des échantillons traités dans les conditions équivalentes.

Figure 13 : Conclusion des rapports microbiologiques

Annexe 8 : Croissance des microorganismes

Tableau 6 : Conditions optimales de croissance des microorganismes présents dans le jus d'anans et risque potentiel associé dans le jus

	pH optimal de croissance	Conclusion et autres informations
Escherichia coli (Don, 2008)	7	Peu de développement
Clostridium perfringens (Juneja *et al*., 2010)	6/7. Peut se développer entre 5 et 9	Peu de développement
Salmonella (FOOD STANDARDS AUSTRALIA NEW ZEALAND, 2013)	7/7,5. Peut se développer entre 3,8 et 9,5	Peu de développement. Peu de résistance thermique car aw grande
Candida guillermondii (tableau 5 : Bousmaha *et al*., 2014)	Peut se développer de 2 à 9	Développement plutôt important
Candida pelliculum (Tchango Tchango *et al*., 1997)		D75°C = 1,5 Z = 17,2
Saccharomyces cerevisiae	Peut se développer entre 2,5	Développement plutôt

(Praphailong and Fleet, 1997)	et 8	important
Lactobacillus (Aghababaie *et al.*, 2011)	5,5	Peu de développement
Bacillus (Bundesinstitut für Risikobewertung, 2019)	Pas de multiplication sous pH 4,2 pour B. cereus	Peu de développement
Leuconostoc (Campaniello and Sinigaglia, 2017)	contrôle du développement par pH < 3,5	Peu de développement
Pediocoques (Biswas *et al*., 1991)	contrôle du développement par pH < 3,5	Peu de développement
Klebsiella pneumoniae (Zhang *et al*,. 2007)	8	Peu de développement

Annexe 9 : Calcul du barème de pasteurisation

(1) Calcul du temps de réduction décimal équivalent

$D_{90°C} = D_{60°C} * 10^{\frac{60-90}{5}}$ avec $D_{60°C}$ $S.cerevisiae$ = 22 minutes et Z = 5°C

Pour *C. pelliculum* : $D_{75°C}$ = 1,5 minutes et Z = 17,2°C

(2) Calcul du taux de réduction décimal des microorganismes

$$\log\left(\frac{N0}{N}\right) = \frac{t}{D_T}$$

Annexe 10 : Impact de barème de pasteurisation sur différentes matrices

Tableau 7 : Impact de barème de pasteurisation sur différentes matrices

Matrice	Barème	Impact du chauffage
Jus d'orange	90°C pendant 1 min dans un échangeur tubulaire (Velàzquez-Estrada *et al*., 2013)	→Diminution de l'acide ascorbique →Diminution des caroténoïdes totaux →Diminution de la vitamine A →Aucun impact sur les flavonoïdes →Diminution des polyphénol totaux →Diminution de la capacité antioxydante
	90°C pendant 1 ou 2 min dans un échangeur tubulaire (Velàzquez-Estrada *et al*., 2011)	→Reduction de 96% de l'activité de PME →Faible détection voire aucune détection des différents microorganismes suivants : bactéries mésophiles, psychotrophiques, bactéries lactiques, levures, champignons, Entérobactéries et coliformes →Absence voire faible reprise de la croissance des microorganismes à 50 jours avec un stockage à 4°C
	98°C pendant 28s dans un échangeur tubulaire (Tiwari *et al*., 2008)	→Dégradation de l'acide ascorbique lors du stockage à 10°C pendant 30j lorsque le jus est chauffé

Jus d'ananas	80°C pendant 10 min (Shamsudin *et al*., 2012) 55 à 95 °C pendant 80 min dans un bain marie (Rattanathanalerk *et al*., 2004)	La viscosité plastique diminue lorsque la température de stockage augmente. →Diminution de la clarté (L/L0) →Augmentation de la rougeur →Diminution de la couleur jaune →ΔE augmente →Augmentation de HMF

Annexe 11 : Tableau Ciqual (ANSES,2017)

Tableau 8 : Composition du jus d'ananas (ANSES, 2017)

Composition physico-chimique		
	Jus d'ananas du commerce (100 mL)	Ananas frais (100 g)
Protéines	<1g	<1g
Lipides	<1g	<1g
Glucides	12g	11g
Dont sucres	12g	10,4g
Fibres	<1g	1,33g
Vitamine C	14mg	36,4mg
Vitamine B3	0,3mg	0,35mg
Vitamine B1	0,055mg	0,08mg
Vitamine B2	0,02mg	0,026mg
Fer	0,18mg	0,25mg
Magnésium	13,6mg	20,3mg
Potassium	134mg	142mg
Phosphore	9,8mg	11mg
Calcium	8mg	21,5mg
Iode	5,2mg	1,4µg
Acides organiques	0,6g	0,6g
pH	< 4	-
Teneur en matières solubles (°Brix)	11°Brix	-

Annexe 12 : Cinétique d'ordre 1 de la destruction de la vitamine C

La dégradation de la vitamine C suit une réaction d'ordre 1 :

$$-\frac{dC}{dt} = k * C$$

C'est la concentration en vitamine C, t le temps et k la constante de réaction

En intégrant l'équation ci-dessus on obtient :

$$C = C_0 * e^{(-k*t)}$$

Où C_0 est la concentration initiale en vitamine C.

Pour une question de facilité de calculé, on passe par le logarithme népérien :

$$\frac{Ln\ (C)}{Ln\ (C_0)} = -k * t$$

La constante de réaction k peut être calculé grâce à la loi d'Arrhenius :

$$k = k_0 * e^{(-\frac{Ea}{R*T})}$$

k_0 est la constante d'Arrhenius, R est la constante des gaz parfaits (8.314 J/mol.K) , T est la température en Kelvin et Ea (KJ/mol) l'énergie d'activation.

On remplace le k dans l'équation est on obtient :

$$\frac{Ln\ (C)}{Ln\ (C_0)} = -k_0 * e^{\left(-\frac{Ea}{R*T}\right)} * t$$

Pour la vitamine C, le temps de rétention décimale, soit le temps nécessaire pour que 90% de la concentration en vitamine C soit réduite, est calculé par :

$$D = \frac{2.303}{k}$$

Annexe 13 : Impact du traitement thermique sur certaines enzymes d'altération

Tableau 9 : Impact du traitement thermique sur certaines enzymes d'altération

Composition enzymatique de l'ananas			
	Activité	Température d'inactivation	Caractéristiques
Bromélaine	12,417 U/ml[1]	65-70°C[2]	protéolyse des protéines
Polyphenoloxydase[3]	4652 U/g	>75°C	Brunissement enzymatique par oxydation des polyphénols
Peroxidase	-	70-100°C[4]	Oxydation de la vitamine C
Pectine methylestérase	$3,7x10^{-4}$ à $7,1x10^{-3}$ U/ml[5]	>55°C[6]	Hydrolyse les liaisons ester de la pectine

[1] Sriwatanapongse *et al.*, 2000
[2] Devakate *et al*., 2008
[3] Queiroz *et al*., 2008
[4] Davey et al., *2000*
[5] Castaldo *et al*., 1997
[6] Sew *et al*., 2014