



The 1st International Conference on Local Resource Exploitation

www.lorexp.org / info@lorexp.org
REF: LOREXP_2021_A1230 Pages: 623–640



Influence du mode de traitement, des concentrations en ananas et en chlorure de sodium sur les qualités organoleptiques et texturales des fromages frais à coagulation exclusivement lactique *Influence of the processing method, pineapple and sodium chloride concentrations on the organoleptic and textural qualities of fresh cheeses exclusively lactic coagulated*

Patrick Neri Kengne Mouafo¹, Yvette Jiokap Nono^{1,*}, Augustin Mbawala²

¹Laboratoire d'Analyses, Simulation et Essais (LASE), Département de Génie Chimique et Environnement, IUT, Université de Ngaoundéré-Cameroun, B.P. 455.

²Département de Sciences Alimentaires et Nutrition, ENSAI, Université de Ngaoundéré-Cameroun, B.P. 455.

* Corresponding Author: jiokapnonoy@yahoo.fr

RÉSUMÉ :

Le but de ce travail a été d'améliorer les qualités organoleptiques et texturales des fromages frais, produits exclusivement par coagulation lactique, par incorporation dans ces derniers, d'ananas prétraités ou non, et du chlorure de sodium. Des tests préliminaires ont été conduits afin de déterminer les conditions de production du fromage à coagulation exclusivement lactique. Les ananas mis en jeu dans cette étude ont été, après parage, séparés en quatre lots afin de subir chacun, un prétraitement différent, à savoir le séchage simple, le blanchiment-séchage, la Déshydratation-Imprégnation par Immersion (DII)-séchage et le blanchiment-DII-séchage, avant d'être broyés pour obtenir une granulométrie comprise entre 1 et 3 mm, puis caractérisés. Une coagulation à 45 °C pendant 4 heures suivie d'une maturation à 23 °C pendant 24 heures ont été les conditions retenues de production du fromage frais le plus apprécié par les panélistes. Une incorporation des fruits prétraités et du chlorure de sodium a été effectuée à différentes concentrations suivant un plan composite centré, avec comme réponse la fermeté et l'appréciation générale du produit obtenu. Il ressort que la concentration en ananas a une influence positive et significative sur la fermeté tandis que son effet sur l'appréciation générale dépend du type de prétraitement subi. Quant à la concentration en chlorure de sodium son influence sur la fermeté du fromage obtenu dépend essentiellement de la concentration en ananas et du type de prétraitement subi. Tous les modèles élaborés ont été validés et les résultats d'analyse sensorielle ont montré que ces incorporations ont une influence significative sur les qualités organoleptiques du fromage obtenu. Pour les quatre variétés de fromages produits, les concentrations optimales en chlorure de sodium et en ananas, permettant de maximiser la fermeté et l'appréciation générale, ont été déterminées.

Mots clés : Prétraitements, Ananas, Chlorure de sodium, Coagulation lactique, Texture, Qualités organoleptiques.

ABSTRACT:

The aim of this work was to improve the organoleptic and textural qualities of fresh cheeses, produced exclusively by lactic coagulation, by incorporating into them, pre-treated or untreated pineapples, and sodium chloride. Preliminary tests were carried out in order to determine the production conditions for exclusively lactic coagulation cheese. The pineapples involved in this study were, after trimming, separated into four batches in order to undergo, each, a different pretreatment, namely simple drying, blanching-drying, Dehydration-Impregnation by Immersion (DII)-drying and bleaching-DII-drying, before being ground to a particle size varying between 1 and 3 mm and then characterized. Coagulation at 45 °C for 4 hours followed by maturation at 23 °C for 24 hours were the conditions used for the production of the fresh cheese most appreciated by the panelists. An incorporation of the pretreated fruits and sodium chloride was carried out according to a central composite design, with the firmness and general appreciation of the product obtained as a response. It was found that the pineapple concentration has a positive and significant influence on firmness while its effect on the general appreciation depends on the type of pretreatment undergone. As for the sodium chloride concentration, its influence on the firmness of the cheese obtained, depended essentially on the pineapple concentration and the type of pretreatment undergone. All the models developed have been validated and the results of sensory analysis have shown that these incorporations have a significant influence on the organoleptic qualities of the cheese obtained. For the four varieties of cheese produced, the optimal concentrations of sodium chloride and pineapple, allowing to maximize firmness and general appreciation, were determined.

Key words: Pretreatments, Pineapple, Sodium chloride, Lactic coagulation, Texture, Organoleptic qualities.

1. INTRODUCTION

Au Cameroun, l'insécurité alimentaire touche 9,6 % des ménages ruraux contre 6,7 % des ménages urbains et est caractérisée par une carence en vitamine A, en fer, en iode, en vitamine D et surtout en protéines animales PAM (2011) dont la consommation moyenne serait de 11,2 g par jour au lieu de 32 g par jour comme le recommande la FAO (2011). Selon l'ACDIC (2006), le déficit en protéines animales observé serait surtout dû à une faible consommation de lait et produits laitiers, en moyenne six fois plus petite que la recommandation de l'OCDE/FAO (2016) de 60 kg/habitant/an. Cependant, les statistiques d'importation, en moyenne de 24 978 tonnes/an, entre 2012 et 2016, montrent une consommation de plus en plus croissante (INS, 2017). Ce constat amène à réfléchir profondément sur la nécessité de la mise sur pied de petites entreprises locales de transformation du lait, afin de booster la production locale et lutter contre les importations et l'insécurité alimentaire.

Sur le plan national, entre 2014 et 2019, la production laitière au Cameroun a progressé de 7 %, pour se situer à 275 000 tonnes (MINEPIA/PRODEL, 2020). Cette production est essentiellement consommée soit à l'état frais "biridam" soit valorisée sous forme de produits fermentés ou non tel que le "pendidam", le "kindirmou", le "lebol", les fromages" (Jiokap Nono *et al.*, 2006 ; Libouga *et al.*, 2006 ; Essomba *et al.*, 2005 ; Essomba *et al.*, 2002). Cette production, assurée par les régions du Nord-Ouest et de l'Adamaoua, est insuffisante pour satisfaire les besoins nationaux estimés à 395 000 tonnes (MINEPIA/PRODEL, 2016). Par ailleurs, la richesse en eau et en éléments nutritifs du lait, les mauvaises pratiques liées à la production des produits dérivés conduisent à une faible durée de leur conservation, limitant leur consommation aux localités de production (Biaton, 2014 ; Pahané, 2012 ; Libouga *et al.*, 2006 ; Essomba *et al.*, 2002). Le Cameroun fait donc face à un problème de distribution du lait, conséquence de sa richesse en eau et en éléments nutritifs, faisant de lui un aliment très périssable du fait de sa susceptibilité aux réactions d'altérations microbiologiques, chimiques et biochimiques (Gall, 2013 ; Adams et Moss, 2008 ; Walstra *et al.*, 2006 ; IRAD, 2005).

De tous les produits laitiers, le fromage occupe une place de choix en raison de sa richesse en protéines, de sa diversité d'utilisation et de son aptitude de conservation (Fox, 2000 ; Fox, 2003). Toutefois, la transformation du lait en fromage reste faible et limitée au niveau artisanal, dû d'une part, à l'absence sur le marché camerounais de l'enzyme coagulante (la présure) nécessaire pour la production et d'autre part, à son coût élevé (Beka, 2011 ; Libouga *et al.*, 2006). Plusieurs études en vue de trouver des substituts à la présure ont été conduites, notamment l'utilisation des enzymes végétales (Beka, 2011 ; Libouga *et al.*, 2006) et l'utilisation exclusive des bactéries lactiques du yaourt lors de nos travaux internes au laboratoire. Ces ferments, en raison de leur disponibilité sur le marché, leur coût abordable par les petits transformateurs et leur facilité de mise en œuvre, s'avèrent être une alternative prometteuse. Cependant l'acidité élevée et l'absence d'un goût caractéristique des produits dérivés ne satisfont pas les consommateurs. Puhan *et al.* (1994) ont montré que la combinaison du lait frais ou fermenté avec d'autres aliments tels que les fruits et les légumes pourrait accroître la consommation de ces derniers tandis que Lakovchenko et Silantjeva (2014) ont montré que l'incorporation des légumes dans les fromages les rendraient plus complets sur le plan diététique et améliorerait leurs valeurs nutritionnelles et leurs propriétés organoleptiques. De plus, en fromagerie, l'incorporation des fruits et légumes dans le produit fini tend à s'étendre donnant naissance à de nouvelles variétés de fromages dits "*fromages parfumés*". Parmi ceux-ci, on distingue le fromage "*wensleydale*" aux cannesberges séchés, le fromage "*taramundi*" incorporé de noix ou de noisettes, le fromage "*posbury*" aromatisé à l'ail, l'oignon, le raifort et le paprika. Le but de ces incorporations est l'amélioration des qualités organoleptiques et nutritionnelles du produit (Harbutt, 2010).

Sur le plan local, les travaux sur l'amélioration des propriétés organoleptiques des fromages frais à coagulation exclusivement lactique sont rares, pourtant nos régions regorgent des fruits savoureux pouvant entrer dans la composition de ces fromages, à l'instar de l'ananas. En effet, l'ananas est le troisième fruit le plus consommé au Cameroun (MINADER, 2020), et il apporte de nombreux bienfaits sur le plan nutritionnel et de la santé (Hossain *et al.*, 2015). Une association avec du chlorure de sodium pourrait être intéressante, car ce dernier a le mérite de masquer les défauts d'amertumes et d'acidité rencontré en fromagerie (Lawrence *et al.*, 2004 ; Walstra *et al.*, 2006 ; Sheehan, 2007 et Fox et Guinee, 2013). Toutefois, l'incorporation de ces éléments n'est pas sans conséquences sur la rhéologie, la texture et l'appréciation générale de la qualité du fromage (Hort *et al.*, 1997 et Kfoury *et al.*, 1989). D'où l'objectif de ce travail qui est de déterminer l'influence du mode de traitement, des taux d'incorporation d'ananas et de chlorure de sodium, sur la texture et l'appréciation générale des fromages frais à coagulation exclusivement lactique.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Matériel

2.1.1. Matériel biologique et chimique

Des ananas matures (*Ananas comosus*) de la variété Cayenne lisse (Figure 1), en parfait état physique et présentant un agréable arôme preuve de leur maturité, ont été utilisés. Ces ananas, cultivés dans le département du Mbam-Cameroun et récoltés au mois

de Juillet ont été soigneusement transportés par train jusqu'à Ngaoundéré, puis acheminés au laboratoire de l'ENSAI pour traitements et analyses. Le temps entre la récolte et le traitement a duré cinq jours. Le lait entier en poudre a été un lait en poudre 26 %, basse température (Ramet et Weber, 1980), de la marque LP, TMC dairies Irlande du Nord. Le lait entier UHT et les ferments utilisés ont été respectivement de la marque Président et Alsa. Ils ont été achetés au grand marché de la ville de Ngaoundéré-Cameroun, puis soigneusement conservés à l'abri de l'humidité et de la lumière. Le lait en poudre utilisé a présenté une teneur en eau base humide de $(4,01 \pm 0,32)$ g/100 g. Les teneurs en sucre, lipide, cendres et protéine ont été respectivement de $(37,7 \pm 0,81)$, $(29,3 \pm 0,35)$, $(3,1 \pm 0,94)$ et $(19,43 \pm 0,55)$ g/100 g de matière sèche.



Figure 1 : *Ananas comosus* variété Cayenne lisse.

2.1.2. Le matériel de laboratoire

Plusieurs appareils ont été utilisés pour mener à bien les analyses effectuées : un spectrophotomètre (JENWAY, model : 7310, serial no. 3975611, UK) pour la mesure de la densité optique lors du dosage des sucres, un pH-mètre (PEC MEDICAL, PHS – 25, USA), une étuve ventilée de marque Memmert (Memmert, France) pour le séchage des échantillons, une étuve (Memmert, type F-Nr 760) pour les incubations, un four à moufle (Prolabo N° 54786, France) pour l'analyse chimique, plusieurs balances pour les analyses et les pesées des échantillons de fromages, une étuve (Fisher Bioblock Scientific, Medcenter), un thermomètre, un réfrigérateur (WESTPOINT, WPS-360-X) pour la conservation des échantillons, un autoclave pour la stérilisation des milieux de culture, un texturomètre de marque BROOKFIELD (BROOKFIELD LRFA Texturometer Analyser, LFRA 4500, No TD 1115) pour la mesure de la force de pénétration et donc, de la fermeté, une centrifugeuse (Heraeus-Kendro, modèle : Primo R, type de Biofuge : D-37520, Fab n :284678, Allemagne), un dessiccateur (GE N prüft, d'Überdruck 8310), un bec Bunsen, un chronomètre. A ces appareils, viennent s'ajouter les ustensiles de cuisine pour la production, le petit matériel de laboratoire (bêcher, tubes à essai, erlenmeyer, boîtes de Pétri, pipettes) pour les analyses physicochimiques et microbiologiques et le matériel de nettoyage pour le nettoyage et la désinfection.

Le matériel chimique est constitué essentiellement de réactifs parmi lesquels la soude, la phénolphtaléine et tous les autres réactifs utilisés pour les différents dosages effectués.

2.2. Méthodes

2.2.1. Prétraitement et caractérisation des ananas

Une fois collectés, les ananas ont été triés afin d'éliminer tout ceux présentant des défauts (ouverture, blessure ou ramollissement dû à un choc), lavés pendant 10 minutes avec une solution d'hypochlorite de Sodium de concentration 50 mg/L afin de les désinfecter conformément au protocole de (Zapata et al, 2011) puis ils ont été pelés. Une fois pelés, les fruits ont été découpés en disque d'environ 5 mm d'épaisseur et le trognon du fruit a été enlevé avant tout prétraitement. Les différents prétraitements ont été les suivants :

- *Séchage :*

Le séchage des ananas s'est fait dans une étuve ventilée à flux léchant avec une charge de claies de 0,5 kg à une température de 60 °C pendant 7 heures afin de préserver au maximum la couleur.

- *Blanchiment et séchage :*

Les ananas sont blanchis dans de l'eau distillée avec un ratio ananas:eau de 1:5 (massique) et à une température de 80 °C pendant 1 minute afin de désactiver les enzymes responsable du brunissement enzymatique (polyphénols oxydase). Puis les ananas blanchis ont été égouttés puis pesé avant d'être mis à l'étuve ventilée pour séchage à 60 °C pendant 7 heures.

- *Déshydratation osmotique et séchage*

Les ananas ont été déshydratés pendant 4 heures dans une solution de saccharose à 45°Brix portée à une température de 45 °C, avec un ratio fruits:solution de 1:5 (massique) conformément au protocole défini par Zapata et al. (2011). Après ce prétraitement, les ananas ont été rapidement rincés à l'eau pour éliminer la solution en excès à la surface des disques de fruits, égouttés puis pesés. La perte de masse, la perte d'eau et le gain en soluté ont ensuite été déterminés. Le séchage des fruits ainsi prétraités a été conduit dans une étuve ventilée à 60 °C pendant 7 heures.

- **Blanchiment, déshydratation osmotique et séchage**

Les ananas ont été blanchis à 80 °C pendant une minute avec un ratio fruits:eau de 1:5 (masse/masse) puis égouttés et pesés avant de subir une déshydratation osmotique pendant 4 heures dans une solution de saccharose à 45°Brix portée à une température de 45 °C et avec un ratio fruits:solution de 1:5 (masse/masse). Les ananas sortis du bain ont rapidement été rincés à l'eau pour éliminer la solution en excès à la surface des disques de fruits, égouttés, pesés puis les différents calculs ont été effectués afin de déterminer la perte d'eau, la réduction de poids et le gain de soluté. Le séchage a été conduit par la suite dans une étuve ventilée à 60 °C pendant 7 heures. Contrairement au procédé couplé de blanchiment-DII mis au point lors du prétraitement des bananes (*Musa acuminata* groupe Cavendish) par Jiokap *et al.* (2002), ici, les opérations de blanchiment et de déshydratation osmotique se font séparément, l'une à la suite de l'autre.

Après séchage, les différents ananas prétraités et séchés ont été broyés avec un broyeur à pâle pour atteindre une granulométrie comprise entre 1 et 3 mm.

- **Bilan de matière du prétraitement**

Les bilans de matière pour le prétraitement de Déshydratation Imprégnation par Immersion ont été effectués à l'aide des équations 1, 2 et 3 (Suresh et Davi, 2011 ; Jiokap Nono *et al.*, 2001) :

$$\text{❖ Perte d'eau : } PE(t) = H(0) - \frac{m_p(t)}{m_p(0)} \times H(t) \quad (1)$$

$$\text{❖ Réduction de poids : } RP(t) = \frac{m_p(0) - m_p(t)}{m_p(0)} \quad (2)$$

$$\text{❖ Gain en soluté : } GS(t) = PE(t) - RP(t) \quad (3)$$

$PE(t)$: Perte d'eau à l'instant t ; $H(0)$: Teneur en eau de l'échantillon à l'instant initial ($t=0$) ; $H(t)$: Teneur en eau de l'échantillon à l'instant t ; $RP(t)$: Réduction de poids à l'instant t ; $GS(t)$: Gain en soluté à l'instant t ; $m_p(0)$: Masse initiale du produit / à l'instant t ; $m_p(t)$: Masse du produit à l'instant t .

2.2.2. Préparation du ferment

Les souches utilisées pour la préparation du fromage sont *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* subsp. *salivarius*. Initialement sous forme lyophilisées, ces souches ont été revivifiées dans 200 ml de lait stérile UHT, dans des conditions aseptiques. Les souches revivifiées ont ensuite été introduites aseptiquement dans 800 ml de lait UHT, et l'ensemble a été incubé à l'étuve à 45,0 °C ± 0,5 °C pendant 3 heures. Le coagulum issu de cette fermentation a servi à ensemercer 10 litres de lait reconstitué et pasteurisé, obtenu à partir de la poudre de lait entier basse température, et l'ensemble a été incubé à l'étuve à 45,0 °C ± 0,5 °C pendant 4 heures. Le coagulum obtenu a été dispatché dans des bocaux en verre stériles de 270 ml de contenance, puis conservé au frais (4 - 5 °C) et ont servi de ferment pour la production du fromage frais à coagulation exclusivement lactique.

2.2.3. Suivi de l'évolution du pH et de l'acidité pendant la coagulation

Un suivi de la coagulation a été effectué à 40 °C et 45 °C, températures minimale et maximale généralement utilisées pour la production de yaourt, afin de déterminer le temps de coagulation nécessaire pour atteindre le pH de 4,6 pour une concentration en ferment de 2,5 %. Le lait en poudre basse température a été reconstitué avec de l'eau osmosée à 140 g/L, puis l'ensemble a été filtré avant d'être pasteurisé (95 °C / 5 min) afin de permettre la précipitation des protéines solubles (Goudéranche, 2002). Après refroidissement jusqu'à la température d'incubation, un échantillon a été prélevé pour la mesure des caractéristiques initiales, ensuite le lait a été ensemercé par 2,5 % du ferment puis réparti dans deux séries de dix pots et incubé dans deux étuves, respectivement à 40 °C et 45 °C pour le suivi des cinétiques. Pour chaque point expérimental, deux pots de chaque étuve ont été retirés pour la détermination du pH et de l'acidité. La moyenne des mesures sur les deux pots a été considérée.

2.2.4. Production de fromage

Pour la production du fromage, après l'obtention du caillé et la maturation (léger développement des souches à température contrôlée), un égouttage spontané est effectué dans des supports en mousseline suspendus, à 18 °C et pendant 48 heures. Le rendement fromager, afin d'évaluer l'efficacité du procédé et définir à quelle classe appartient le fromage obtenu, est calculé selon l'équation 4 :

$$\text{Rendement fromager} = \frac{\text{masse de fromage obtenu}}{\text{masse de lait de départ}} \times 100 \quad (4)$$

Les fromages obtenus ont été réfrigérés pendant 24 heures, à 4-5 °C, avant incorporation du chlorure de sodium et des ananas prétraités. Le schéma synoptique de production est donné sur la Figure 2.

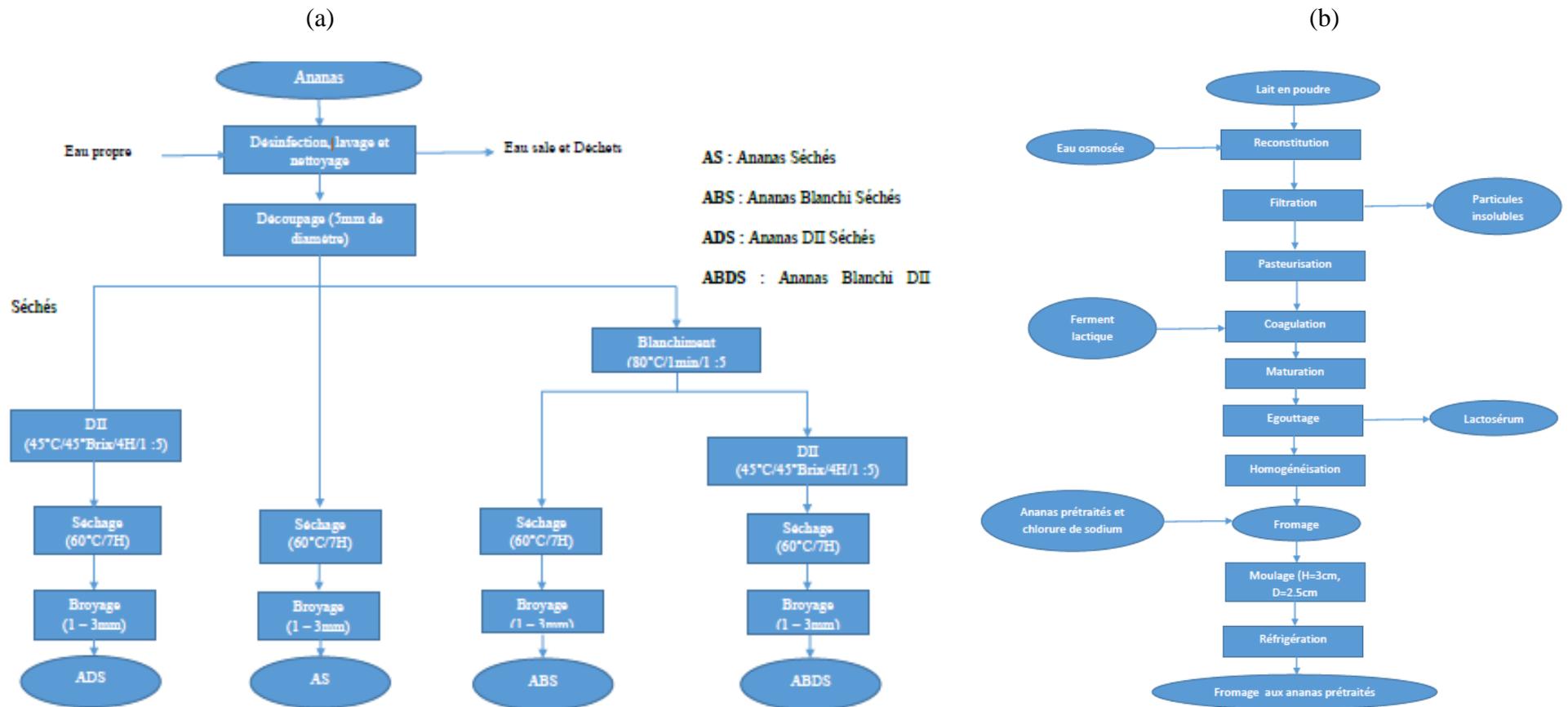


Figure 2 : Schéma synoptique de traitement des fruits (a) et de production des fromages aux fruits (b)

2.2.5. Analyses

- Analyses physico-chimiques

La détermination de la matière sèche s'est faite à l'aide d'une étuve à $105\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$ et les cendres totales ont été quantifiées par la méthode décrite dans AFNOR (1981). Les lipides totaux ont été extraits au Soxhlet selon la méthode Russe décrite par Bourelly (1982). Les sucres solubles et les sucres totaux ont été extraits et dosés selon la méthode décrite par Fischer et Stein (1961). La teneur en fibre des échantillons d'ananas frais et prétraités a été déterminée selon la méthode de Weende (Wolff, 1968). La détermination de l'acidité titrable s'est effectuée selon la méthode normée AFNOR (1982) avec la soude (NaOH) 0,1 N en présence de la phénophtaléine. La teneur en matière azotée totale a été déterminée selon la méthode de Kjeldahl (ISO/TS 17837 : 2008).

- Analyse organoleptique et Texturale

Le panel de dégustation a été constitué de quinze (15) personnes, originaires du Cameroun et du Tchad, consommateurs de fromage ou non. Ils ont été formés pendant cinq (5) jours sur les critères organoleptiques et de notation. La formation a consisté à présenter un produit au panéliste puis avec leur collaboration d'établir les critères d'évaluation permettant une caractérisation organoleptique des fromages. Par la suite le panel a été habitué au produit sur lesquels les modifications seront apportées. A la fin de cette formation, une fiche de notation a été établie. Le test a été effectué une heure après le déjeuner et chaque dégustation a été suivie d'un gargarisme à grande eau afin d'éviter toute interférence. Plus la note est élevée, plus le produit a été apprécié.

Afin de déterminer la texture du produit, les échantillons de fromages ont été moulés dans un moule de forme cylindrique, 3 cm de hauteur et 2,5 cm de diamètre. Puis ils ont été réfrigérés pendant 24 heures avant la mesure de la fermeté par le texturomètre. Le texturomètre BROOKFIELD LRFA Texturometer Analyser (Type LFRA 4500, Numéros de série : TD1115) a permis de mesurer la force de pénétration de divers produits solides ou semi-solides. La sonde conique en plastique d'angle 30° (Figure 3) a été utilisée lors du test normal, avec les paramètres de mesure de pénétrométrie suivants : Seuil de détection : 1 g ; Vitesse d'avancement : 0,1 mm/s ; Trajet de la sonde : 10 mm. Chaque échantillon a été répliqué 3 fois, les peak load et final load de chacune des mesures ont été enregistrés. La valeur moyenne du peak load a permis de calculer la fermeté grâce à l'équation 5 :

$$\text{fermeté} = \text{peak load} \times g \quad (5)$$

$g = \text{accélération de la pesanteur} (9,8\text{ m}^2/\text{s})$



Figure 3 : Sonde conique en plastique (angle 30°C), choisie pour minimiser les effets de bords du contenant.

2.2.6. Plan d'expérience pour l'incorporation des ananas et du chlorure de sodium.

- *Choix des facteurs*

Dans ce travail, les facteurs sont la concentration en chlorure de sodium et la concentration en ananas. En effet, l'ajout de chlorure de sodium dans le fromage permettrait de masquer leur acidité et de contrôler le développement des microorganismes dans le produit. L'incorporation d'ananas dans les fromages frais apporterait son parfum exotique et attrayant bien prisé par les populations. Les plages de variation de la concentration en chlorure de sodium et en ananas ont été respectivement de : 0,5 - 1 % et 5 - 15 %. Le Codex Alimentarius (2014) dans sa norme sur les additifs utilisés en fromagerie, précise que le taux des différentes incorporations ne devrait pas dépasser 30 % de la masse finale du produit.

- *Choix des réponses*

L'incorporation de nouveaux ingrédients dans un produit peut entraîner des modifications sur la microstructure et la macrostructure de ce dernier. Dans le cas des produits alimentaires comme le fromage, ces modifications peuvent avoir des conséquences sur la rhéologie, la texture et la composante microbienne et biochimique, critères importants de classement et d'appréciation de la qualité du fromage (Hort *et al.*, 1997 ; Kfoury *et al.*, 1989). Deux réponses ont été retenues : la fermeté par un test de pénétrométrie et l'appréciation générale des fromages par le panel de dégustation.

- *Choix du plan d'expérience*

Le plan d'expérience mis en oeuvre est un plan composite centré pour deux facteurs (alpha égal à un). C'est un plan assez simple qui permet de tester les effets principaux linéaires et quadratiques des facteurs. Il n'est restreint qu'au domaine expérimental

défini et permet une combinaison judicieuse des différents niveaux des facteurs. Le modèle mathématique postulé à priori est de type polynomial du second degré avec interactions. Son expression est donnée par l'équation 6 (Goupy, 2006) :

$$y = \alpha_0 + \sum_i \alpha_i x_i + \sum_{ii} \alpha_{ii} x_i^2 + \sum_{ij} \alpha_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (6)$$

y représente dans cette équation la variable dépendante qui est la réponse, x_i et x_j sont les variables indépendantes, α_0 est la constante de l'équation, α_i est le coefficient linéaire, α_{ii} est le coefficient quadratique, α_{ij} est le coefficient d'interaction et ε l'erreur.

L'analyse de la variance a été utilisée pour rechercher les sources de variation des réponses ainsi que pour déterminer le niveau de signification de l'équation du modèle et des paramètres de l'équation, grâce au test de Fisher au seuil de 5 %. La valeur F de Fischer a permis de décider du rejet ou non de l'hypothèse nulle au niveau de probabilité considéré (0,05).

- *Validation du modèle*

La qualité d'adéquation du modèle a été exprimée par les coefficients de détermination R^2 et R^2 ajusté. Ces outils mathématiques n'étant pas suffisants pour valider un modèle, d'autres outils et méthodes ont été utilisés pour juger de la qualité de l'adéquation des modèles. Il s'agit de l'analyse absolue de déviation de moyenne (AADM) entre les valeurs calculées et observées qui définit le vrai comportement du système dans le domaine des données expérimentales, le facteur de biais (B_f) et le facteur d'exactitude (A_f). Ils ont été calculés à partir des expressions des équations 7 à 11 :

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{i,obs} - Y_{i,theo})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_{i,obs} - (\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_{i,theo}))^2} \quad (7)$$

$$R^2_{adj} = 1 - \frac{n-1}{n-p} \cdot (1 - R^2) = 1 - \frac{n-1}{n-p} \cdot \frac{SSE}{SST} \quad (8)$$

$$AADM = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{|Y_{i,obs} - Y_{i,theo}|}{Y_{i,obs}} \right)}{n} \quad (9)$$

$$B_f = 10^n \sum \log \left(\frac{Y_{i,theo}}{Y_{i,obs}} \right) \quad (10)$$

$$A_f = 10^n \sum_{i=1}^n \left| \log \left(\frac{Y_{i,theo}}{Y_{i,obs}} \right) \right| \quad (11)$$

Avec : $Y_{i,obs}$ la réponse expérimentale et $Y_{i,theo}$ la réponse calculée à partir du modèle pour l'essai i ; n étant le nombre total des essais du plan d'expériences et p le nombre de paramètres à estimer. SSR, SSE et SST sont respectivement la somme des carrés de la régression, la somme des carrés des erreurs et la somme des carrés total. Le Tableau 1 donne les valeurs d'acceptabilité des différents indicateurs de validations des modèles.

Tableau 1 : Valeurs standards et acceptables des indicateurs de validation des modèles

Indicateurs de validation	Valeurs standards	Valeurs acceptables	Références
R² ajusté	1	≥80 %	Joglekar et May (1987)
AADM	0	[0-0,3]	(Baş et Boyac, 2007).
Facteurs de biais	1	[0,75-1,25]	Dalgaard et Jorgensen (1998)
Facteurs d'exactitude	1	[0,75-1,25]	Dalgaard et Jorgensen (1998)

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Evolution du pH et de l'acidité pendant la coagulation à différentes températures.

Les courbes d'évolution du pH en fonction du temps montrent qu'à 40 °C comme à 45 °C, après environ quatre heures de coagulation les différents caillés atteignent un pH de 4,6 correspondant au pH isoélectrique de la caséine. L'acidité Dornic se situe alors entre 85 et 95°D (Figure 4). Dans cet intervalle, les températures élevées favorisent la production d'acide lactique. Le

développement de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, dont le rôle principale est la production d'acide, serait alors privilégié, au dépend de *Streptococcus thermophilus* subsp. *salivarius* (Goudédranche, 2002).

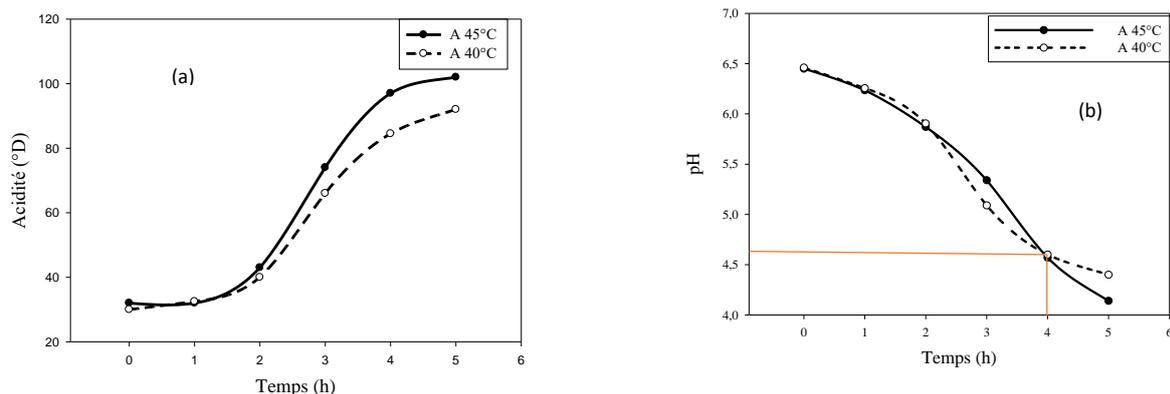


Figure 4 : Evolution de l'acidité Dornic (a) et du pH (b) pendant la coagulation à 40 et à 45 °C, du lait reconstitué ensemencé par des bactéries lactiques (2,5 %) : *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* subsp. *Salivarius*.

Les résultats de l'analyse sensorielle des différents fromages produits à l'issue de la coagulation à ces deux températures (40 et 45 °C) puis maturés pendant 24 heures à des températures différentes (6 °C et 24 °C), sont présentés sur la Figure 5 et le Tableau 2.

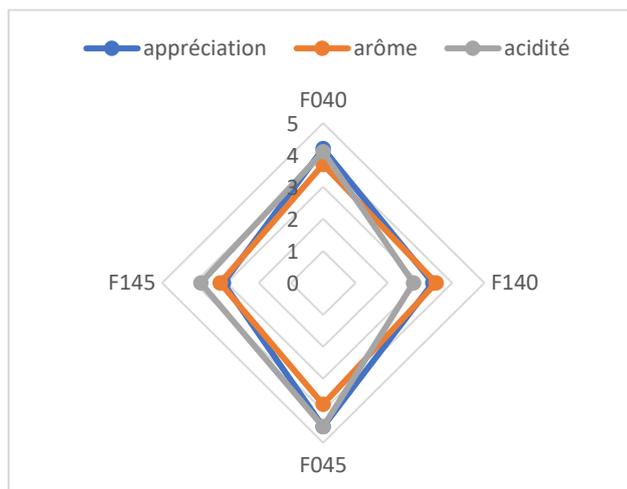


Figure 5 : Résultats de l'analyse sensorielle des fromages frais nature produits dans différentes conditions. F040 : fromage coagulé à 40 °C et maturé pendant 24 heures à 20 °C ; F140 : fromage coagulé à 40 °C et maturé pendant 24 heures à 6 °C ; F045 : fromage coagulé à 45 °C et maturé pendant 24 heures à 20 °C ; F145 : fromage coagulé à 45 °C et maturé pendant 24 heures à 6 °C.

Tableau 2 : Acceptabilité des fromages frais à coagulation exclusivement lactique.

Fromages	Goût	Acidité	Appréciation générale
F040	3,71 ± 0,45 ^a	4,08 ± 0,61 ^b	4,16 ± 0,39 ^a
F140	3,53 ± 0,68 ^{ab}	2,79 ± 0,58 ^c	3,44 ± 0,75 ^b
F045	3,84 ± 0,42 ^a	4,53 ± 0,24 ^a	4,47 ± 0,32 ^a
F145	3,21 ± 0,63 ^b	3,82 ± 0,50 ^b	3,14 ± 0,36 ^b

Sur la même colonne, les chiffres ayant la même lettre en exposant ne sont pas significativement différents au seuil de 5 %.
 Notation : F040 : fromage coagulé à 40 °C et maturé pendant 24 heures à 20 °C ; F140 : fromage coagulé à 40 °C et maturé pendant 24 heures à 6 °C) ; F045 : fromage coagulé à 45 °C et maturé pendant 24 heures à 20 °C ; F145 : fromage coagulé à 45 °C et maturé pendant 24 heures à 6 °C.

L'appréciation générale des fromages par les panélistes indique que les fromages maturés à la température de 20 °C présentent les scores les plus élevés, avec une préférence pour les fromages coagulés à 45 °C. Donc, la coagulation à 45 °C pendant 4 heures suivie de 24 heures de maturation à la température de 20 °C, confère au produit les meilleurs attributs sensoriels.

3.2. Résultats d'analyses physicochimiques

3.2.1. Analyse physicochimique du fromage frais à coagulation exclusivement lactique.

Le fromage frais obtenu par coagulation exclusivement lactique à 45 °C pendant 4 heures suivie de 24 heures de maturation à la température de 20 °C, puis d'un égouttage à 18 °C pendant 48 h a une teneur en eau base humide de $(68,33 \pm 1,31)$ g/100 g. Les teneurs en sucres, lipides, cendres et protéine sont respectivement de $(2,18 \pm 0,97)$, $(20,05 \pm 0,98)$, $(1,23 \pm 0,1)$ et $(8,53 \pm 0,54)$ g/100 g de matière sèche. L'acidité titrable, exprimée en gramme d'acide lactique pour cent grammes de fromage brut est de $(2,89 \pm 0,05)$ g/100 g. Dans ces conditions de production, le rendement fromager est de $(30,78 \pm 2,06)$ %. Selon le Codex Alimentarius (2011), la teneur en eau de ce fromage permet de le classer dans la catégorie des fromages frais à pâte molle. Sa teneur en lipide de 20,05 % est comparable à celle obtenue dans les fromages blancs mous (21 à 22 %) par Abdalla et Ahmed (2010) et dans les fromages produits dans la région du Nord-Ouest du Cameroun (16 - 22 %) par IRAD (2005). La teneur en cendre obtenue est comparable à celle trouvée par Hamama (1995), Abdalla et Ahmed (2010), qui trouvent respectivement une teneur en cendre de 1,20 %, 1,41 % et 2,1 % dans les fromages au lait reconstitué, les fromages coagulés avec la papaïne et les fromages mous blancs. La teneur en protéine obtenue est comparable à celle trouvée dans les fromages "Bouhezza" obtenus par Belbeldi (2013), soit 10,7 %. Cependant elle est inférieure à celle trouvée dans les autres fromages à savoir 13,78 % par Hamama (1995) dans le fromage au lait reconstitué, 10,56 % par Abdalla et Ahmed (2010) dans le fromage coagulé à la papaïne. Cette différence entre les résultats serait liée essentiellement au mode de coagulation utilisé pour la production de fromages et à la composition du lait de départ. En effet, ces auteurs mettent en jeu des enzymes coagulantes et un égouttage poussé aboutissant à des produits présentant une matière sèche supérieure à 35 %. Quant à l'acidité de $2,89 \pm 0,05$ g d'acide lactique pour 100 g de fromage obtenu, elle est supérieure à celle des fromages à coagulation mixte et de celle du fromage "Bouhezza" qui est de 1,32 g d'acide lactique pour 100 g de fromage brut. Cette différence pourrait s'expliquer par le type de microorganismes utilisé pour la coagulation. En effet, les souches *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* subsp. *salivarius* ont un pouvoir acidifiant supérieur à celui des autres souches utilisées en fromagerie (Ramet, 1995).

3.2.2. Analyse physicochimique des ananas frais et ananas prétraités

Les résultats de l'analyse physico-chimique des ananas frais et des ananas prétraités ou non puis séchés, sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 1: Résultats de l'analyse physicochimique des ananas frais et prétraités. Valeurs en g/100 g de matière humide.

Caractéristiques	Ananas frais	Ananas séché	Ananas blanchis séché	Ananas DII séché	Ananas Blanchis DII Séché
Humidité	$86,82 \pm 1,48^a$	$20,88 \pm 2,13^b$	$16,71 \pm 1,72^c$	$13,76 \pm 1,79^{cd}$	$12,94 \pm 3,04^d$
Sucres totaux	$13,3 \pm 0,62^d$	$69,28 \pm 0,06^c$	$69,89 \pm 0,15^b$	$75,13 \pm 1,4^a$	$75,72 \pm 1,1^a$
Sucres réducteurs	$13,3 \pm 0,62^e$	$52,7 \pm 0,06^d$	$26,9 \pm 0,15^c$	$59,41 \pm 1,4^b$	$65,4 \pm 1,1^a$
Lipides	$0,08 \pm 0,03^c$	$0,25 \pm 0,07^a$	$0,18 \pm 0,03^b$	$0,06 \pm 0,001^d$	$0,01 \pm 0,001^e$
Cendres	$0,18 \pm 0,03^e$	$2,36 \pm 0,21^d$	$3,51 \pm 0,34^c$	$5,51 \pm 0,78^a$	$3,89 \pm 0,17^{bc}$
Protéines	$0,32 \pm 0,01^e$	$1,43 \pm 0,09^c$	$2,21 \pm 0,11^b$	$0,76 \pm 0,03^d$	$2,42 \pm 0,54^{ab}$
Fibres	$1,26 \pm 0,02^c$	$5,1 \pm 0,74^b$	$7,5 \pm 1,36^a$	$4,78 \pm 0,53^b$	$5,02 \pm 1,72^b$
Acidité titrable (meq/100 g)	$1,533 \pm 0,01^d$	$9,77 \pm 0,25^a$	$5,63 \pm 0,32^b$	$1,67 \pm 0,15^{cd}$	$0,7 \pm 0,2^e$

Les valeurs dans la même ligne ayant les mêmes lettres en exposant (a, b, c) ne sont pas significativement différents au seuil de 0,5 %.

Le Tableau 3 montre que la teneur en sucre est plus élevée sur les échantillons ayant subi un prétraitement de DII. En effet, les traitements de DII appliqués aux ananas ont conduit à une perte d'eau, gain en soluté et réduction de poids respectivement de 7,38 %, 4,18 % et 3,2 %. Tandis que la DII appliquée aux ananas blanchis a fourni des valeurs respectives de 20,67 %, 11,14 % et 9,53 %. Les valeurs plus élevées de ces paramètres pour les ananas blanchis se justifieraient par le traitement thermique

initialement appliqué, conduisant à une fragilisation des membranes cellulaires, ayant pour effet la décroissance de la résistance de ces membranes au flux d'eau vers l'extérieur des cellules et au flux de soluté vers l'intérieur des cellules (Agarry *et al.*, 2013 ; Karim et Adebowale, 2009 ; Alzamora *et al.*, 2003 et Alvarez *et al.*, 1995). Par ailleurs, on note un important taux de sucres réducteurs dans les ananas blanchis DII séchés, qui pourrait indiquer une inversion du saccharose pendant les traitements. Les produits issus des divers traitements ayant une composition particulière, il ressort que le mode de traitement influence la composition physicochimique et la valeur nutritionnelle des ananas.

3.2.3. Modélisation de la fermeté du fromage aux ananas prétraités

Un plan composite centré pour deux facteurs, avec alpha égal à un, a été utilisé afin d'évaluer l'influence des concentrations en ananas et en chlorure de sodium sur la fermeté et l'appréciation du fromage obtenu. Les résultats des différents essais, et pour l'analyse de la fermeté, sont présentés dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Résultats de mesure de la fermeté des essais du plan d'expérience des quatre types de fromage produits.

Essai	Conc. NaCl		Conc. Ananas		Fermeté (en N)			
	V.C.	V.R.	V.C.	V.R.	FAS	FABS	FADS	FABDS
1	0	0,75 %	0	10 %	0,221	0,216	0,225	0,216
2	0	0,75 %	0	10 %	0,221	0,221	0,216	0,221
3	0	0,75 %	0	10 %	0,225	0,216	0,211	0,216
4	-1	0,5 %	-1	5 %	0,181	0,196	0,196	0,196
5	0	0,75 %	-1	5 %	0,191	0,191	0,201	0,191
6	1	1 %	-1	5 %	0,206	0,206	0,206	0,206
7	-1	0,5 %	0	10 %	0,23	0,230	0,221	0,230
8	0	0,75 %	0	10 %	0,225	0,221	0,216	0,221
9	1	1 %	0	10 %	0,245	0,225	0,221	0,225
10	-1	0,5 %	1	15 %	0,279	0,260	0,265	0,260
11	0	0,75 %	1	15 %	0,284	0,274	0,255	0,274
12	1	1 %	1	15 %	0,314	0,294	0,26	0,294

Conc. NaCl: concentration en chlorure de sodium ; **Conc. Ananas :** concentration en ananas ; **V.C :** valeur codée ; **V.R :** valeur réelle ; **FAS :** Fromage aux Ananas Séchés ; **FABS :** Fromage aux Ananas Blanchi Séchés ; **FADS :** Fromage aux Ananas DII Séchés ; **FABDS :** Fromage aux Ananas Blanchi DII Séchés.

Du Tableau 4, il ressort que la fermeté des fromages varie entre 0,181 et 0,314 N. Ces deux valeurs extrêmes sont observées au niveau des fromages aux ananas séchés. Les expressions des différentes réponses de la fermeté en fonction de la concentration en chlorure de sodium (X_1) et de la concentration en ananas (X_2) sont présentées par les équations 12, 13, 14 et 15.

❖ Equation du modèle de fermeté du fromage aux ananas séchés

$$\text{fermeté FAS} = 0,2242 + 0,0125 * X_1 + 0,0498 * X_2 + 0,0025 * X_1 * X_2 + 0,0110 * X_1^2 + 0,0110 * X_2^2 \quad (12)$$

❖ Equation du modèle de fermeté du fromage aux ananas blanchis puis séchés

$$\text{fermeté FABS} = 0,2189 + 0,0065 * X_1 + 0,0392 * X_2 + 0,006 * X_1 * X_2 + 0,0078 * X_1^2 + 0,0128 * X_2^2 \quad (13)$$

❖ Equation du modèle de fermeté du fromage aux ananas DII séchés

$$\text{fermeté FADS} = 0,2170 + 0,0008 * X_1 + 0,0295 * X_2 - 0,0038 * X_1 * X_2 + 0,0039 * X_1^2 + 0,0109 * X_2^2 \quad (14)$$

❖ Equation du modèle de fermeté du fromage aux ananas blanchi DII séchés

$$\text{fermeté FABDS} = 0,2189 + 0,0065 * X_1 + 0,0392 * X_2 + 0,006 * X_1 * X_2 + 0,0078 * X_1^2 + 0,0128 * X_2^2 \quad (15)$$

Le Tableau 5 présente les valeurs expérimentales et calculées de la fermeté des fromages.

Tableau 5 : Valeurs observées et valeurs théoriques de la mesure de fermeté des différents fromages.

Essai	Conc. NaCl		Conc. Ananas		FAS		FABS		FADS		FABDS	
	V.C.	V.R.	V.C.	V.R.	Obs.	Théo.	Obs.	Théo.	Obs.	Théo.	Obs.	Théo.
1	0.0	0,75 %	0.0	10 %	0,221	0,224	0,216	0,219	0,225	0,217	0,216	0,219
2	0.0	0,75 %	0.0	10 %	0,221	0,224	0,221	0,219	0,216	0,217	0,221	0,219
3	0.0	0,75 %	0.0	10 %	0,225	0,224	0,216	0,219	0,211	0,217	0,216	0,219
4	-1.0	0,5 %	-1.0	5 %	0,181	0,186	0,196	0,120	0,196	0,198	0,196	0,120
5	0.0	0,75 %	-1.0	5 %	0,191	0,185	0,191	0,192	0,201	0,198	0,191	0,192
6	1.0	1 %	-1.0	5 %	0,206	0,206	0,206	0,200	0,206	0,207	0,206	0,200
7	-1.0	0,5 %	0.0	10 %	0,23	0,222	0,230	0,220	0,221	0,220	0,230	0,220
8	0.0	0,75 %	0.0	10 %	0,225	0,224	0,221	0,219	0,216	0,217	0,221	0,219
9	1.0	1 %	0.0	10 %	0,245	0,247	0,225	0,233	0,221	0,222	0,225	0,233
10	-1.0	0,5 %	1.0	15 %	0,279	0,281	0,26	0,266	0,265	0,264	0,26	0,266
11	0.0	0,75 %	1.0	15 %	0,284	0,285	0,274	0,2701	0,255	0,257	0,274	0,270
12	1.0	1 %	1.0	15 %	0,314	0,311	0,294	0,291	0,26	0,258	0,294	0,291

Notation : V.C. : Valeur codée ; V.R. : Valeur Réelle ; Obs. : Réponse observée ; Théo. : Réponse Théorique (calculée à partir du modèle).

Le Tableau 5 nous a permis de calculer les indicateurs de validation des différents modèles, dont les valeurs sont présentées dans le Tableau 6.

Tableau 6 : Résultats de calculs des indicateurs de validation des différents modèles

Indicateurs	FAS	FABS	FADS	FABDS
R²	99,08%	97,32%	97,91%	97,32%
R²_{aj}	98,31%	95,08%	96,17%	95,08%
AAD	0,013	0,040	0,050	0,085
B_f	0,999	0,980	0,958	1,026
A_f	1,013	1,041	1,060	1,077

Il ressort du Tableau 6 que tous les facteurs de validation des modèles sont dans la marge de validation requise. Les modèles représentés par les équations 12, 13 14 et 15 ont donc été validés pour la suite du travail.

Le logiciel Statgraphics nous a permis de déterminer les facteurs qui ont une influence significative sur la fermeté des fromages et de spécifier ceux qui ont contribué positivement ou négativement. Le Tableau 7 présente les effets de chaque facteur ou combinaison de facteurs à un seuil de signification de 5 %.

Tableau 7 : Significance des effets sur la réponse.

Paramètres	FAS		FABS		FADS		FABDS	
	Coef.	P-Value	Coef.	P-Value	Coef.	P-Value	Coef.	P-Value
X₁	0,0125	0,001	0,0065	0,0614	0,0008	0,6678	0,0065	0,0614
X₂	0,0500	0,0000	0,0392	0,0000	0,0295	0,0000	0,0392	0,0000
X₁ * X₂	0,0025	0,3661	0,0060	0,1343	-0,0038	0,1485	0,0060	0,1343
X₁²	0,0110	0,0126	0,0078	0,1178	0,0039	0,2115	0,0078	0,1178
X₂²	0,0110	0,0126	0,0128	0,0239	0,0109	0,0078	0,0128	0,0239

Le Tableau 7 montre que la concentration en ananas (X₂) et l'interaction concentration en ananas – concentration en ananas ont une influence significative et positive sur la fermeté des fromages. Ceci serait dû au fait que l'ananas a une fermeté plus élevée que celle du fromage et sa présence dans le produit à des concentrations élevées augmente sa probabilité d'être touché par la sonde lors du test de pénétrométrie. Quant à la concentration en chlorure de sodium, son influence sur la fermeté est positive, ce qui est en accord avec celui de Ramet (1995) et El-Bakry (2012) qui expliquent que le chlorure de sodium en fromagerie entraîne la modification des capacités des caséines à se lier à l'eau dans la matrice du fromage donnant de ce fait un gel plus ferme. Cependant, cette influence n'est pas significative dans la majorité des fromages obtenus. Ceci s'explique par le fait que

l'influence de la concentration en ananas sur la fermeté est tellement grande qu'elle rend celle de la concentration en chlorure de sodium négligeable.

3.2.4. Modélisation de l'appréciation des fromages aux ananas prétraités

Les résultats des essais de la matrice expérimentale sont présentés dans le Tableau 8.

Tableau 8 : Valeurs observées et théoriques de l'appréciation de différents types de fromages.

Essai	Conc. NaCl		Conc. Ananas		FAS		FABS		FADS		FABDS	
	V.C.	V.R.	V.C.	V.R.	Obs.	Ajust.	Obs.	Ajust.	Obs.	Ajust.	Obs.	Ajust.
1	0.0	0,75 %	0.0	10 %	8,9	8,780	9,1	8,992	5,7	5,738	8,1	8,733
2	0.0	0,75 %	0.0	10 %	8,6	8,780	8,9	8,992	6	5,738	9	8,733
3	0.0	0,75 %	0.0	10 %	8,7	8,780	9,3	8,992	5,9	5,738	9,3	8,733
4	-1.0	0,5 %	-1.0	5 %	5,4	5,720	8,1	7,742	6,9	6,763	9,1	9,133
5	0.0	0,75 %	-1.0	5 %	6,9	6,590	7,5	7,983	6,4	6,375	8,6	8,567
6	1.0	1 %	-1.0	5 %	6,1	6,080	5,3	5,175	6,8	6,963	6,7	6,700
7	-1.0	0,5 %	0.0	10 %	7,8	7,490	7,8	8,450	5,7	6,075	8,9	8,800
8	0.0	0,75 %	0.0	10 %	9	8,780	9,5	8,992	5,5	5,738	8,4	8,733
9	1.0	1 %	0.0	10 %	8,3	8,690	6,3	6,483	6,6	6,375	7,4	7,367
10	-1.0	0,5 %	1.0	15 %	5,5	5,480	8,3	8,008	5,1	4,863	7,3	7,367
11	0.0	0,75 %	1.0	15 %	6,8	7,190	8,5	8,85	4,4	4,575	7,9	7,800
12	1.0	1 %	1.0	15 %	7,9	7,530	6,7	6,642	5,2	5,263	6,9	6,933

Notation : V.C. : Valeur codée ; V.R. : Valeur Réelle ; Obs. : Réponse observée ; Théo. : Réponse Théorique (calculée à partir du modèle).

Ce tableau nous a permis de calculer les indicateurs de validation de ces différents modèles donnés par le Tableau 9.

Tableau 9 : Résultats de calculs des indicateurs de validation des modèles d'appréciation des différents fromages

Indicateurs	FAS	FABS	FADS	FABDS
R^2	95,54 %	92,3 %	92,17 %	89,38 %
R^2_{aj}	91,83 %	85,89 %	85,65 %	80,52 %
AAD	0,031	0,166	0,037	0,290
B_f	1,11	1,13	1,10	1,074
A_f	1,031	1,168	1,037	1,418

De ce tableau, il ressort que tous les facteurs de validation du modèle sont dans la marge de validation requise, excepté le facteur d'exactitude du fromage FABDS dont la valeur de 1,418 est supérieure à la valeur maximale acceptable de 1,25. Le Tableau 10 présente les coefficients des modèles ainsi que la signification des effets des facteurs sur les réponses, au seuil de 5 %.

Tableau 10 : Significances des différents facteurs et interactions

Paramètres	FAS		FABS		FADS		FABDS	
	Coef.	P-Value	Coef.	P-Value	Coef.	P-Value	Coef.	P-Value
Constante	8,7800		8,9900		5,7400		8,7300	
X_1	0,6000	0,0078	-0,9833	0,0026	0,1500	0,2422	-0,7167	0,0043
X_2	0,3000	0,0980	0,4333	0,0717	-0,9000	0,0002	-0,3833	0,0547
$X_1 * X_2$	0,4250	0,0642	0,3000	0,2633	0,0500	0,7361	0,5000	0,0444
X_1^2	-0,6875	0,0243	-1,5200	0,0022	0,4875	0,0307	-0,6500	0,0360
X_2^2	-1,8900	0,0002	-0,5750	0,1017	-0,2625	0,1809	-0,5500	0,0630

Le Tableau 10 montre que pour les fromages FAS et FABS la concentration en ananas (X_2) a une influence positive sur l'appréciation bien qu'elle ne soit pas significative. Cependant, dans les fromages FADS et FABDS la concentration en ananas influence négativement l'appréciation ce qui serait dû à la présence de sucre en grande quantité apporté par les prétraitements qu'ont subi les fruits incorporés dans ces fromages et qui donnent l'impression aux panélistes de consommer un yaourt séché. Quant à la concentration en chlorure de sodium (X_1), son influence est significative, excepté le cas du fromage FADS. La présence de sel diminue significativement l'appréciation des fromages FABS et FABDS tandis qu'il a un effet positif et

significatif sur l'appréciation des fromages FAS et FADS. Les ananas séchés étant plus acides que ceux prétraités, l'ajout de chlorure de sodium dans le fromage FAS permettrait de masquer l'acidité de ces fromages (Fox et Guinee, 2013 ; Sheehan, 2007 ; Walsta *et al.*, 2006 et Lawrence *et al.*, 2004).

3.2.5. Zone optimale des fromages obtenus

Les courbes des iso-réponses de chaque réponse (fermeté et appréciation) des quatre différents types de fromages ont été superposés (Figure 5) afin de délimiter la zone optimale de chaque type de fromage. Le but a été de maximiser la fermeté et l'appréciation.

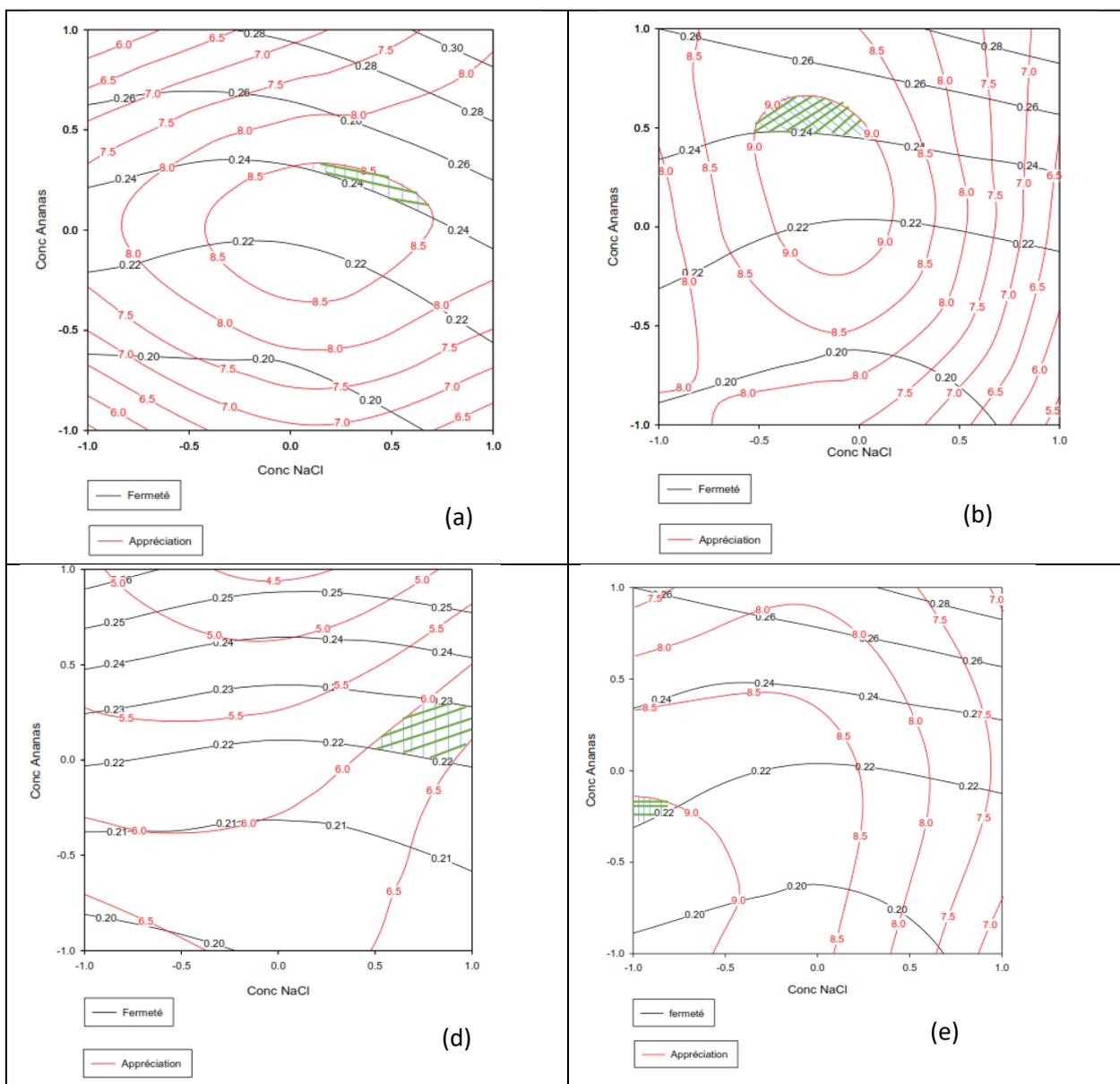


Figure 5 : Zone optimale (zone hachurée). (a) : fromage aux ananas séchés (FAS) ; (b) : fromage aux ananas blanchis séchés (FABS) ; (c) : fromage aux ananas DII séchés (FADS) ; (d) : fromage aux ananas blanchis DII séchés (FABDS).

Le Tableau 11 présente la plage des concentrations optimales pour les facteurs étudiés.

Tableau 11 : Concentrations optimales en ananas et en chlorure de sodium pour chacun des fromages

Échantillons	Concentration en NaCl		Concentration en ananas	
	V.C	V.R (%)	V.C	V.R (%)
Fromage aux ananas séchés (FAS)	0 à 0,7	0,75 - 0,925	0,1 à 0,35	10,5 – 11,75
Fromage aux ananas blanchis séchés (FABS)	-0,5 à 0	0,625 – 0,75	0,38 à 0,64	11,9 – 13,2
Fromage aux ananas DII séchés (FADS)	0,4 à 1	0,85 - 1	-0,1 à 0,3	9,5 – 11,5
Fromage aux ananas blanchis DII séchés (FABDS)	-1 à 0,25	0,5 – 0,8125	-0,3 à -0,15	8,5 – 9,25

A partir des zones optimales délimitées, les fromages aux différents fruits prétraités ont été produits en minimisant au maximum le niveau des différents facteurs utilisés tout en restant dans la zone délimitée. Le Tableau 12 donne le niveau des différents facteurs utilisés.

Tableau 12 : Niveau des facteurs utilisés pour la production des optima.

Échantillons	Concentration en NaCl		Concentration en ananas	
	Valeur codée	Valeur réelle	Valeur codée	Valeur réelle
Fromage aux ananas séchés (FAS)	0	0,75 %	0,1	10,5 %
Fromage aux ananas blanchis séchés (FABS)	-0,5	0,625 %	0,38	11,9 %
Fromage aux ananas DII séchés (FADS)	0,4	0,84 %	-0,1	9,5 %
Fromage aux ananas blanchis DII séchés (FABDS)	-1	0,5 %	-0,3	8,5 %

Une analyse de la texture au pénétromètre et une analyse sensorielle ont été effectuées sur les fromages produits, afin de les classer par ordre de préférence et afin de les comparer avec un fromage sans incorporation (F0). Le Tableau 13 et le radar de la Figure 6 présentent les résultats des analyses.

Tableau 13 : Texture des fromages optimisés

	F0	FAS	FABS	FADS	FABDS
Fermeté Observé	0,17 ± 0,015 ^b	0,23 ± 0,007 ^a	0,24 ± 0,010 ^a	0,21 ± 0,016 ^a	0,23 ± 0,007 ^a
Fermeté Théorique	/	0,24	0,26	0,22	0,24

Les valeurs dans la même ligne ayant les mêmes lettres en exposant (a, b) ne sont pas significativement différents au seuil de 0,5 %.

Le Tableau 13 montre que les résultats de textures obtenus se situent dans la zone optimale définie. De plus nous observons que les résultats obtenus expérimentalement se rapprochent de ceux prédits par les différents modèles obtenus. L’appréciation restant un facteur essentiel pour la vulgarisation d’un produit qui n’est pas ancré dans les habitudes alimentaires d’une population, une analyse sensorielle des fromages incorporés de fruits prétraités et de fromage sans incorporation permet ainsi d’évaluer l’acceptabilité de ces fromages et les classer par ordre de préférence (Figure 6). La classification de Duncan que les paramètres hédoniques varient d’un fromage à l’autre est présentée dans le Tableau 14. Ces paramètres ont été attribués à partir d’une échelle de notation de 1 à 5 points. Chaque valeur est la moyenne des notes attribuées par les panélistes. L’analyse a été effectuée sur Statgraphics centurion et SPSS version 20.0.

Tableau 14 : Acceptabilité des fromages

Fromages	Goût	Acidité	Texture au toucher	Appréciation générale
F0	1 ± 0,1 ^e	4,7 ± 0,2 ^a	4,7 ± 0,2 ^a	1,9 ± 0,3 ^d
FAS	4,4 ± 0,3 ^a	3,4 ± 0,5 ^b	2,8 ± 0,9 ^{bc}	4,5 ± 0,4 ^a
FABS	3,9 ± 0,4 ^b	2,8 ± 0,7 ^c	3,4 ± 0,6 ^b	3,8 ± 0,6 ^b
FADS	2,1 ± 0,3 ^d	1,1 ± 0,6 ^d	2,1 ± 0,8 ^c	2,4 ± 0,5 ^c
FABDS	2,3 ± 0,7 ^{cd}	2,3 ± 0,8 ^c	3,1 ± 0,6 ^b	4,1 ± 0,4 ^{ab}

Les valeurs dans la même colonne ayant les mêmes lettres en exposant (a, b, c) ne sont pas significativement différents au seuil de 0,5 %.

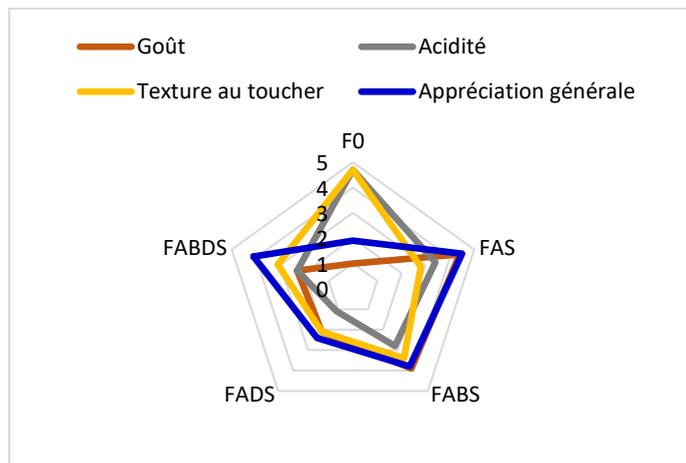


Figure 6 : Représentation des résultats de l'analyse sensorielle. Pour une note proche de 5 : Goût : très bon ; Acidité : très acide ; Texture au toucher : Très agréable ; Appréciation générale : Très satisfait. **F0**= (fromage à coagulation exclusivement lactique sans incorporation), **FAS**= (fromage incorporé d'ananas séchés), **FABS**= (fromage incorporé d'ananas blanchis séchés), **FADS**= (fromage incorporé d'ananas DII séchés), **FABDS**= (fromage incorporé d'ananas blanchis DII séchés).

Il ressort de ces résultats que le fromage sans incorporation est le fromage le moins apprécié. Il existe une différence significative entre l'acidité des différents fromages et celle du fromage sans incorporation. Celui-ci est le fromage le plus acide. De plus, on remarque que les fromages incorporés d'ananas ayant subi une DII présentent les plus faibles valeurs d'acidité. Ceci serait la conséquence du gain en sucre par les ananas pendant la DII et du départ des solutés propres de l'ananas vers la solution de DII. Les résultats de texture au toucher montrent que le fromage sans incorporation présente la meilleure texture au toucher par rapport aux fromages aux ananas prétraités. Les tailles irrégulières des ananas dans le fromage pourraient expliquer ces différences d'appréciation. Le fromage aux ananas séchés et le fromage aux ananas blanchis puis séchés présentent les meilleurs goûts, indiquant qu'ils conservent, mieux que les ananas prétraités, les qualités organoleptiques de l'ananas. Cette propriété peut être corrélée au taux de réhydratation des fruits. En effet, des analyses ont montré que l'ananas séché présente une faible capacité de réhydratation et un ramollissement le moins élevé après 24 heures de trempage dans une solution saline à 0,5 % à 6 °C. Ces résultats sont en accord avec ceux de Karim et Adebowale (2009) qui montrent que les ananas prétraités (blanchiment, DII et ajout de SO₂) avant séchage présentent une capacité de réhydratation plus élevées que les ananas ayant subi un séchage simple. D'autres auteurs, à l'instar de Agarry *et al.* (2013) et Ramallo and Mascheroni (2012), montrent que les prétraitements en prélude au séchage fragilisent de manière irréversible la structure cellulaire des tissus des végétaux favorisant de ce fait le séchage. Cette destruction de leur structure cellulaire favoriserait leur réhydratation ultérieure.

4. CONCLUSION

L'objectif de ce travail était de déterminer les conditions de coagulation exclusivement lactique appropriées et les aptitudes des ananas prétraités selon divers modes, à améliorer l'appréciation globale des fromages frais obtenus. Il ressort que :

- La coagulation exclusivement lactique du lait par le procédé mis en œuvre conduit à un fromage appartenant, de par sa teneur en eau, à la catégorie des fromages frais à pâte molle ;
- L'incorporation dans le fromage des ananas, prétraités ou non, augmente la fermeté du produit et améliore son arôme ;
- La présence du chlorure de sodium dans le fromage diminue son acidité et améliore ses qualités organoleptiques ;
- Le séchage simple des ananas est le prétraitement fournissant le produit le plus apprécié par les panélistes.
- La coagulation exclusivement lactique peut être envisagée pour développer de nombreuses variétés de fromages frais qui répondent aux exigences des consommateurs.

Afin de compléter ce travail, il serait intéressant de valider ces résultats sur du lait frais, d'étudier l'influence de la taille des particules d'ananas sur les propriétés rhéologiques et sur l'appréciation des fromages et de déterminer la durée de conservation du produit au frais.

5. REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Ministère de l'Enseignement Supérieur de la République du Cameroun pour son soutien financier à travers le Compte du Fonds Spécial pour la modernisation de la recherche dans les Universités d'Etat (Décret Présidentiel N_2009/121 du 8 avril 2009).

6. CONFLITS D'INTÉRÊT

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêt.

7. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdalla M.O.M. et Ahmed O.I., 2010. Effect of heat treatment, level of sodium chloride on the chemical composition of white cheese. *Research Journal of Animal and Veterinary Sciences*, **5**, 69–72.
- ACDIC, Association Citoyenne de Défense des Intérêts Collectifs, 2006. Filière laitière au Cameroun, 69p. www.acdic.net
- Adams M.R. and Moss M.O., 2008. Food Microbiology, Third Edition. *The Royal Society of Chemistry*, United Kingdom, 137p
- AFNOR (Association Française de Normalisation), 1982. Recueil des normes françaises des produits dérivés des fruits et légumes. Jus de fruits. 1ère éd., Paris la défense (France).
- AFNOR, 1981. Recueil de normes françaises. Corps gras, graines oléagineuses, produits dérivés. AFNOR, Paris (France), 2ème édition.
- Agarry S.E., Ajani A.O. et Aremu M.O. 2013. Thin layer drying kinetics of pineapple: effect of blanching temperature – time combinaison. *Nigerian Journal of Basic and Applied Science*, **21**(16), 1–10
- Alvarez C.A., Aguerre R., Gomez R., Vidales S., Alzamora S.M. and Gerschenson L.N., 1995. Air Dehydration of strawberries: Effects of Blanching and Osmotic Pretreatments on the Kinetics of moisture Transport. *Journal of Food Engineering*, **25**, 167–179.
- Alzamora S.M., Nieto A. et Castro M.A., 2003. Structural Effects of Blanching and Osmotic Dehydration Pretreatments on Air Drying Kinetics of Fruit Tissues, chapitre 4, Weltri-Chanes Jorge, Vélez-Ruiz Jorge F., Barbosa-Cánovas Gustavo V., Transport Phenomena in Food Processing, CRC Press LLC, Florida, 87–88.
- Baş D. and Boyac I.H., 2007. Modeling and Optimization I: Usability of response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, **78**(3), 836–845.
- Beka R.G., 2011. Une alternative végétale en fromagerie : préparation d'un extrait coagulant à partir des fruits de *Balanites aegyptiaca*, étude biochimique et application technologique, thèse de doctorat / Ph.D en Sciences Ingénierie des Fonctions Biologiques de l'université de Lille 1 et en Sciences Alimentaires et Nutrition de l'Université de Ngaoundéré. 167p.
- Belbeldi A., 2013. Contribution à la caractérisation du Fromage Bouhezza : contenu lipidique et vitamines, thèse de Doctorat, Université de Constantine I, Algérie, 96p.
- Biaton N.E., 2014. Évaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'un Aliment de la rue dans la ville de Ngaoundere : le Kindirmou, mémoire de Master, Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agro Industrielles, 122p.
- Bourelly J., 1982. Observation sur le dosage de l'huile des graines de cotonnier. *Cot. Fib. Trop*, **27**(2), 183–196.
- Codex Alimentarius, 2011. Rapport du programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires.
- Codex Alimentarius, 2014. General standart for food additives, codex stan192 – 1995, FAO/OMS, 372p.
- Dalgaard P. and Jorgensen L.V., 1998. Predicted and Observed growth of *Listeria monocytogenes* in seafood challenge tests and in naturally contaminated cold smoked salmon. *International Journal of Food Microbiology*, **40**(1-2), 105–115.
- El-Bakry M., 2012. Salt in cheese: A review. *Current Research in Dairy Sciences*, **4**(1), 1–5.
- Essomba J.M., Dury S., Edjenguèlè M. et Bricas N., 2002. Permanences et changements dans la consommation des produits laitiers ; la 'success story' des petites entreprises de transformation à Ngaoundéré, Cameroun. Contribution au colloque MEGA-TCHAD. 20 – 22 Novembre, Paris. 10p
- Essomba J.M., Dury S., Edjenguèlè M. et Bricas N., 2005. La consommation des produits laitiers à Ngaoundéré au Cameroun. L'émergence des MPE (micro et petites entreprises), projet européen INCO-PME Agro-Alimentaires, Ressources vivrières et choix alimentaires dans le bassin du lac Tchad, 458–475.

- FAO, 2011. Etat de l'insécurité alimentaire dans le monde. Food and Agriculture Organization, rapport annuel, 62p.
- Fox P., Guinée T.P., Cognan T.M., McSweeney L.H., 2000. Fundamental of cheese science, Aspen publication, Gaithersburg, Maryland, 1–17 et 78–89.
- Fox Patrick F. et Guinée T.P., 2013. Cheese science and technology, chapitre 17, Park Young W. et Haenlein George F.W., Milk and Dairy Products in Human Nutrition: Production, Composition and Health, First Edition, John Wiley & Sons, Oxford, 358p
- Fox Patrick F., 2003. The major constituents of milk, chapter 2, Smit G., Dairy Processing: improving quality, First Edition, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 5–38.
- Gall C.F., 2013. Production systems around the world, chapitre 1, Park Young W. et Haenlein George F.W. (2013) Milk and Dairy products in human nutrition: Production, Composition and Health, Wiley-Blackwell, Oxford, 1–23.
- Goudéranche H. Camier-Caudron, B., Gassi, J.-Y. Et Schuck, P., 2002. Procédés de transformation fromagère (Partie 3), Techniques de l'Ingénieur, F 6 307 – 1 à F 6 307 – 11.
- Goupy, J., 2006, Tutoriel, Les plans d'expérience, Revue MODULAD, numéro 34, 43 pages.
- Hamama A., Zahar M., El-Marrakchi A., Aboulala F., Bent Mohamed Abderrahman M., 1995. Préparation du fromage frais à partir du lait recombinaison. *Actes Inst. Agron. Vet.*, **15**(4), 21–26.
- Harbutt J., 2010. Le grand livre des fromages, édition 1, MILAN, France, 354p.
- Hort J., Grys G., Woodman J., 1997. Relationships between the chemical, rheological and textural properties of cheddar cheese. *Le Lait*, **77**, 587 – 600.
- Hossain Md. F., Akhtar S., Anwar M., 2015. Nutritional Value and Medicinal Benefits of Pineapple. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, **4**(1), 84–88.
- INS, Institut National de la Statistique du Cameroun, 2017. Annuaire statistique du Cameroun, p 218.
- IRAD, 2005. Rapport annuel Institut de Recherche Agricole pour le Développement, Ministère de la Recherche scientifique et de l'Innovation, 45p
- Jiokap Nono. Y., Libouga D.G., Ngongang D., Ramet J.P., Parmentier M., 2006. Feasibility of cheese production and whey valorization in Adamawa province of Cameroon. *African Journal of Biotechnology*, **5**(6), 517 – 522.
- Jiokap Nono Y., Nuadje G.B., Raoult-Wack A.L., Giroux F., 2001. Déshydratation-imprégnation par immersion de rondelles de mangue (*Mangifera indica*) : influence de la température et de la concentration de la solution sur les cinétiques de certains éléments constitutifs du fruit. *Fruits*, **56** (3) 169 – 177.
- Jiokap Nono Y., Reynes M., Zakhia N., Raoult-Wack A.L., Giroux F., 2002. Mise au point d'un procédé combiné de déshydratation imprégnation par immersion et séchage de bananes (*Musa acuminata* groupe Cavendish). *Journal of Food engineering*, **55**, 231–236.
- Joglekar A.M. and May A.T., 1987. Product excellence through design of experiments. *Cereal Food World*, (**32**), 857 – 868.
- José E.Z.M., Johan M. Arias A. et Gelmy L. Ciro G., 2011. Optimization of osmotic dehydration of pineapple (*Ananas comosus* L.) using the response surface methodology. *Physiology & Post-Harvest Technology, Agronomía Colombiana*, **29**(2), 249–256.
- Karim, O.R. and Adebowale A.A., 2009. A dynamic method for kinetic model of ascorbic acid degradation during air dehydration of pretreated pineapple slices. *International Food Research Journal* **16**, 555–560.
- Kfoury M., Mpagana et Hardy J., 1989. Influence de l'affinage sur les propriétés rhéologiques du Camembert et du Saint Paulin, *Lait*, **69** (2), 137–149.

- Lakovchenko N., Silantjeva L., 2014. Vegetable ingredients in soft cheese made from concentrated skim milk by ultrafiltration. *Saint-Petersburg, Russia Agronomy Research*, 12(3), 717–726.
- Lawrence R.C., Creamer L.K., Crow V.L., Heap H.A., Honoré C.G., Johnston K.A., Samal P.K., 2004. Cheddar cheese and related dry-salted cheese varieties, Chapter 4, Fox Patrick F., McSweeney Paul L.H., Cogan Timothy M. et Timothy P. Guinee, Cheese Chemistry, Physics and Microbiology, Volume 2, Major Cheese Groups. *Third edition, Elsevier, Oxford*, 90–121.
- Libouga D.G., Vercaigne M.D., Djangal S.L., Choukambou L., Ebangi A.L., Ombionyo M., Beka R.G., Aboubakar T.M., Guillochon D., 2006. Mise en évidence d'un agent coagulant utilisable en fromagerie dans les fruits de *Balanites aegyptiaca*. *Tropicultura*, 24(12), 229–238.
- MINADER, 2020. Ministère de l'Agriculture et du développement Rural (MINADER), Direction des Enquêtes et Statistiques Agricoles, rapports des enquêtes de terrain 2020.
- MINEPIA/PRODEL, 2020. Magasine « Investir au Cameroun ».
- OCDE/FAO, 2016. « Lait et produits laitiers », dans Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO. 2016–2025, Éditions OCDE, Paris. DOI: http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2016-11-fr
- Pahané M.M., 2012. Influence des pratiques de fabrication, des biosurfactants sur la qualité microbiologique et la durée de conservation d'un lait fermenté local : le Pendidam, mémoire de Master, Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agro Industrielles, ENSAI-Cameroun. 117p.
- PAM, 2011. Situation de la sécurité alimentaire et des marchés au Cameroun. 59p. www.wfp.org/foodsecurity
- Puhan Z., Driessen F.M., Jelen P., Tamime A.Y., 1994. Fresh product-yoghourt, fermented milk, Quarg and fresh cheese. *XXXI^e Dairy expert symposium*, Mljekarstvo, Opatija, Croatie, 44(4), 285–298.
- Ramallo L.A. and Mascheroni R.H., 2012. Quality evaluation of pineapple fruit during drying process. *Food and Bioprocess Technology*, 275–283. DOI:10.1016/j.fbp.2011.06.001
- Ramet J.P. et Weber F., 1980. Contribution à l'étude de l'influence des facteurs de milieu sur la coagulation enzymatique du lait reconstitué. *Le Lait*, INRA Éditions, 60(591–592), 1–13.
- Ramet J.P., 1995. Étude FAO Production et Santé Animales : La fromagerie et les variétés de fromages du bassin Méditerranéen, Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome, 222p.
- Sheehan J.J., 2007. How does NaCl affect the microbiology of cheese? Chapter 46, McSweeney P.L.H., Cheese problems solved. *Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England*, 119–120.
- Suresh K.P. et Devi P., 2011. Optimization of some process variables in mass transfer kinetics of osmotic dehydration of pineapple slices. *International Food Research Journal*, 18, 221–238.
- Walstra P., Wouters J.T. M., Geurts T.J., 2006. Dairy Science and Technology, 2nd edition, Taylor & Francis group, New York, 639p.
- Wolff J.P., 1968. Manuel d'analyse des corps gras. Azoulay éd., Paris, 519 p.