

THE VARIATIONS OF THE PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS OF THE MONOCONCENTRATED TOMATO ACCORDING TO THE TECHNOLOGICAL PROCESS

VARIATIONS DES PARAMETRES PHYSICOCHEMQUES DU MONOCONCENTRE DE TOMATE EN FONCTION DU PROCESSUS TECHNOLOGIQUE

Abir Becheke^{*}, Aissa Boutebba

*Badji Mokhtar University, Faculty of sciences, Department of
biochemistry, B.P. 12, Sidi- Ammar 23000, Annaba, Algeria*

*Corresponding author: bechekerabir@hotmail.com

Received: June, 13, 2018

Accepted: August, 22, 2019

Abstract: During technological process of manufacture of the monoconcentrated tomato, the crushed fresh tomato is preheated and filtered. The juice obtained is concentrated, pasteurized and then sterilized. In order to evaluate the variations of the physicochemical parameters according to the technological process, it is used the normalized standard methods. The liners correlations coefficients are calculated with the MiniTab software. At the time of preheating and filtration, the levels of Brix, ascorbic acid, α -tocopherol, reducing sugars, β -carotene, lycopene, proteins, the color and the brightness decrease. At the level of concentration, there is an increase in these parameters. During pasteurization and sterilization, levels of Brix, ascorbic acid, α -tocopherol and reducing sugars decrease while levels of lycopene and β -carotene, the color and the brightness increase. The protein content remains stable. Throughout the technological process, some parameters have similar variations way. The existence of linear and non-linear relationships between specific physicochemical parameters is proven.

Keywords: *filtration, monoconcentrated tomato, physicochemical parameters, thermic treatments, tomato juice*

INTRODUCTION

La tomate *Lycopersicum esculentum* est l'une des cultures maraîchères les plus répandues dans le monde. Elle est largement consommée pour ses propriétés nutritionnelles et organoleptiques [1, 2] et particulièrement pour son apport en terpènes caroténoïdes antioxydants très puissants : le lycopène et le β -carotène [3] responsables de la couleur rouge de la tomate [4] participant dans les phénomènes de détoxifications cellulaires aidant à la prévention de différents types de cancers [5] notamment celui de la prostate [6 – 8] et réduisant le risque de maladies cardio-vasculaires [9, 10]. A ces deux molécules, il est ajouté dans le bilan du pouvoir antioxydant l' α -tocophérol et l'acide ascorbique présents en quantités appréciables dans la tomate [11 – 13]. Plusieurs études ont montré que la bio accessibilité du lycopène et du β -carotène des tomates cuites est plus grande que celles des tomates crues [14, 15]. Cet aliment est très fragile et périssable. Sa teneur en eau supérieure à 85 % est souvent à l'origine des pertes post-récoltes. Ces dernières peuvent atteindre plus de 40 % dans beaucoup de pays [16]. Le développement des techniques de conservation a pallié à ce problème. L'industrie de transformation technologique vise à conserver ce fruit estival pour qu'il soit disponible durant toute l'année. Il est transformé en différents produits. Cependant les différentes phases du processus technologique de fabrication des concentrés de tomate affectent les paramètres physicochimiques [17, 18]. En effet, les microconstituants sensibles à la chaleur peuvent être partiellement dégradés lors des réactions d'oxydation et d'isomérisation [19 – 21]. Le but actuel des conservateurs est la réduction des barèmes de stérilisation pour l'amélioration de la qualité, tout en maintenant la sécurité sanitaire en assurant la destruction ou l'inhibition des enzymes, des toxines et des microorganismes pathogènes ou non pathogènes capables de proliférer aux températures normales d'entreposage et de distribution sans réfrigération [1]. Il est important de préserver les nutriments tout au long des étapes de traitements mécaniques et thermiques. Le monoconcentré de tomate est destiné à la fabrication des sauces et des purées employées dans des préparations culinaires, du Ketchup, des jus etc. Ce produit obtenu à partir du triple ou du double concentré de tomate nécessite une grande quantité d'énergie [22]. Le processus technologique en Hot-Break et en continu de fabrication du monoconcentré de tomate réduit significativement la quantité d'énergie utilisée. La majorité des études réalisées jusqu'à présent se sont intéressées aux teneurs en microconstituants dans le triple et le double concentré de tomate sans suivre leurs évolutions tout au long du processus technologique. C'est dans ce contexte de dérivés de tomate que s'inscrit ce travail consacré à l'évaluation des variations des paramètres physicochimiques en fonction des phases du processus technologique de fabrication du monoconcentré de tomate par la méthode Hot-Break en continu.

MATERIEL ET METHODES

Matériel biologique

Les variétés de tomates AB 2 F1, Joker F1, Keylargo F1, Loubna F1, Maria F1, Mirsini F1, Navara F1, Super Red F1 et Vespro F1 sont cultivées début mars en plein champs dans des conditions bio dans les régions de Guelma, Annaba, El-taref et Skikda

(Algérie). La récolte est faite manuellement en juillet lorsqu'au moins 80 % des fruits sont rouges.

La tomate fraîche lavée et triée est découpée automatiquement, broyée, préchauffée et filtrée à une température moyenne de 64,66 °C pendant 20 min. Le jus obtenu subit une évaporation de l'eau à 88,23 °C durant 2 h dans un système équipé d'un réfractomètre de station jusqu'à 22 % de Brix. Le concentré pasteurisé à 91,7 °C pour 20 min mis en boîte est stérilisé à 95,1 °C en 10 min puis refroidit.

Détermination de la charge microbienne et du test de stabilité du pH

Pour le calcul de la valeur stérilisatrice, la recherche des germes aérobies à 30°C [23], des entérobactéries [24], des coliformes totaux [25], des staphylocoques [26], des clostridium sulfitoréducteurs [27], des salmonelles [28], des levures [29] et des moisissures [29] ainsi que le test de stabilité du pH [30] sont fait sur le jus frais et le produit fini des récoltes des années 2015, 2016 et 2017. Les données microbiologiques sont représentées dans le Tableau 1.

Tableau 1. Charge microbienne totale des jus frais de tomates et des produits finis obtenus des récoltes 2015, 2016 et 2017

| Charge microbienne du jus frais et du produit fini de la récolte 2015 | | |
|--|------------------------|--------------|
| Germes | Jus de tomate | Produit fini |
| Germes aérobies à 30°C (NF V08-051) | 60.10 ² UFC | Absence |
| Entérobactéries (NF V 08-025) | Absence | Absence |
| Coliformes totaux (NF V08-050) | Absence | Absence |
| Staphylocoques (NF 08-057) | Absence | Absence |
| Clostridium sulfitoréducteurs (NF 08-V05) | Absence | Absence |
| Salmonelles (NF 08-052) | Absence | Absence |
| Levures (NF XP- 08-059) | Absence | Absence |
| Moisissures (NF XP- 08-059) | 1 | Absence |
| Charge microbienne du jus frais et du produit fini de la récolte 2016 | | |
| Germes | Jus de tomate | Produit fini |
| Germes aérobies à 30 °C (NF V08-051) | 58.10 ² UFC | Absence |
| Enterobactéries (NF V 08-025) | Absence | Absence |
| Coliformes totaux (NF V08-050) | Absence | Absence |
| Staphylocoques (NF 08-057) | Absence | Absence |
| Clostridium sulfitoréducteurs (NF 08-V05) | Absence | Absence |
| Salmonelles (NF 08-052) | Absence | Absence |
| Levures (NF XP- 08-059) | Absence | Absence |
| Moisissures (NF XP- 08-059) | 1 | Absence |
| Charge microbienne du jus frais et du produit finis de la récolte 2017 | | |
| Germes | Jus de tomate | Produit fini |
| Germes aérobies à 30 °C (NF V08-051) | 62.10 ² UFC | Absence |
| Enterobactéries (NF V 08-025) | Absence | Absence |
| Coliformes totaux (NF V08-050) | Absence | Absence |
| Staphylocoques (NF 08-057) | Absence | Absence |
| Clostridium sulfitoréducteurs (NF 08-V05) | Absence | Absence |
| Salmonelles (NF 08-052) | Absence | Absence |
| Levures (NF XP- 08-059) | Absence | Absence |
| Moisissures (NF XP- 08-059) | 1 | Absence |

Conception et validation des barèmes de stérilisation

La conception et la validation des barèmes de stérilisation sont effectuées grâce au logiciel de calcul normalisé par le CTCPA (Centre Technique de la Conservation des Produits Agricoles - France). Les barèmes de stérilisation et les paramètres technologiques sont représentés dans le Tableau 2.

Tableau 2. Barèmes de stérilisation et paramètres utilisés dans le processus technologique de fabrication du monoconcentré de tomate

| Paramètres technologiques | Années de récoltes | | | | | |
|---|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 2015 | | 2016 | | 2017 | |
| | Barèmes de stérilisation | | | | | |
| | 91,4 °C 20 min | 94,7 °C 10 min | 92,4 °C 20 min | 95,9 °C 10 min | 91,5 °C 20 min | 94,9 °C 10 min |
| Débit [L·h ⁻¹] | 10200 | 8533 | 10300 | 8600 | 10200 | 8533 |
| Capacité de chambrage [L] | 442 | 442 | 442 | 442 | 442 | 442 |
| Valeur caractérisant la pente de la courbe de mortalité de la population microbienne [°C] | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Température de référence [°C] | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 |
| P (valeur stérilisatrice) | 25 | 42 | 28 | 45 | 26 | 43 |
| P°(valeur stérilisatrice spécifique) | >10 | >10 | >10 | >10 | >10 | >10 |
| Refroidissement [°C] | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 |

Prélèvement des échantillons en fonction des étapes du processus technologique

Les échantillons prélevés au niveau de chaque étape du processus technologique pour la fabrication du monoconcentré de tomate par la méthode Hot-Break en continu et dans des conditions d'asepsie numérotés et conservés dans un réfrigérateur à $5 \pm 1^\circ\text{C}$ sont indiqués dans le Tableau 3.

Détermination des paramètres physicochimiques des échantillons

Détermination du taux de Brix

Le Brix représente la concentration en saccharose d'une solution aqueuse ayant le même indice de réfraction que le produit analysé. Il est déterminé au moyen d'un réfractomètre MASELI LR-02 (Parma, Italie) [31]. L'indice de réfraction de la solution est mesuré à 25°C et exprimé par le pourcentage en masse [32].

Détermination du pH

Le pH est une expression globale de l'acidité d'un produit. Les mesures sont réalisées grâce à un pH-mètre digital (Mettler Toledo, Global MarCom, Suisse) [33].

Tableau 3. *Echantillons prélevés au niveau de chaque étape du processus technologique de fabrication du monoconcentré de tomate*

| Echantillons Années de récoltes | Jus frais [Jf] | Jus préchauffé et filtré [Jpf] | Monoconcentré de tomate avant pasteurisation [MCT] | Monoconcentré de tomate pasteurisé [MCTP] | Monoconcentré de tomate stérilisé [MCTS] |
|--------------------------------------|-----------------------------|---|---|---|--|
| 2015 | Jus frais de tomate entière | Prélèvement après préchauffage et filtration à 64 °C pendant 20 min | Prélèvement après concentration à 88,5 °C pendant 2 h | Prélèvement après pasteurisation à 91,4 °C pendant 20 min | Prélèvement après stérilisation à 94,7 °C pendant 10 min |
| 2016 | Jus frais de tomate entière | Prélèvement après préchauffage et filtration à 66 °C pendant 20 min | Prélèvement après concentration à 88,7 °C pendant 2 h | Prélèvement après pasteurisation à 92,4 °C pendant 20 min | Prélèvement après stérilisation à 95,9 °C pendant 10 min |
| 2017 | Jus frais de tomate entière | Prélèvement après préchauffage et filtration à 64 °C pendant 20 min | Prélèvement après concentration à 87,5 °C pendant 2 h | Prélèvement après pasteurisation à 91,5 °C pendant 20 min | Prélèvement après stérilisation à 94,9 °C pendant 10 min |
| Moyennes de température de chauffage | Témoin | Température moyenne de préchauffage 64,66 °C | Température moyenne de concentration 88,23 °C | Température moyenne de pasteurisation 91,7 °C | Température moyenne de stérilisation 95,1 °C |
| Moyenne de temps de chauffage | | Temps moyen de préchauffage 20 min | Temps moyen de concentration 2 h | Temps moyen de pasteurisation 20 min | Temps moyen de stérilisation 10 min |

Détermination de la viscosité

La viscosité est un facteur technologique important en relation avec la teneur en substances insolubles dans l'alcool : protéines, pectine, polysaccharides [34, 35]. Elle est l'effet combiné des liquides, matières solubles, insolubles, en suspension, contribuant à la consistance de la pâte de tomate [36 – 38]. Elle est exprimée par la distance parcourue après 30 secondes par le monoconcentré de tomate préalablement dilué jusqu'à 12 % de Brix à 25 °C dans le couloir d'écoulement du viscosimètre Bostwick (LABOMAT, France). Les valeurs sont données en cm Bostwick [39].

Détermination de l'acidité titrable

L'acidité titrable est la mesure approximative de la teneur totale en acides organiques naturels. Elle est effectuée par titration avec NaOH 0,1 N (Emsure®) en présence d'un indicateur coloré la phénolphtaléine (Biopharm®) jusqu'au virage à pH =8. Les résultats sont exprimés en acide citrique monohydraté prédominant dans la tomate [40].

Détermination du rapport des couleurs rouges sur jaune et la luminosité

La couleur et la luminosité sont effectuées grâce un colorimètre (ColorFlex EZ, HunterLab, Etats-Unis) avec optique 0/45. Il est fixé la luminosité (L) et les couleurs rouge (a) et jaune (b). Il est déduit le rapport a/b [41].

Détermination du Lycopène et du β -carotène

Le lycopène est le terpène le plus abondant dans la tomate. Il est responsable de la couleur rouge. Il se trouve dans la peau et la pulpe du fruit [4]. Après dilution du concentré de tomate avec de l'eau distillée, le lycopène et le β -carotène sont mis en évidence par spectrophotométrie à $\lambda = 502$ nm (Masseli LC-01, MASSELI MESURE, Italie). Les résultats sont exprimés en mg/100 g de produit [42].

Détermination de la teneur en sucres réducteurs

Les sucres représentent 65 % de la teneur en matière sèche des dérivées de tomate. Ils sont majoritairement des sucres réducteurs. Le glucose et le fructose sont en proportions approximativement égales [1]. Le taux de sucres réducteurs est réalisé par la méthode de Lane-Eynon sans conversion en utilisant la liqueur de Fehling (A+B). Ils sont donnés en pourcentage de sucre converti par 100 g de matière sèche [43].

Détermination de l'acide ascorbique (Vitamine C)

La vitamine C est dosé par volumétrie avec le 2,6-dichloro-phénol-indophénol (School – Tech Inc) [44]. Elle s'oxyde facilement en milieu alcalin en acide déhydroascorbique. Son action réductrice sert de base à la révélation de ce composé chimique. A pH acide, elle décolore le 2,6-dichlorophénol. Cette réaction est quantitative et permet de caractériser l'ascorbémie [1].

Détermination de l' α -tocophérol (Vitamine E)

La vitamine E est le troisième antioxydant de la tomate après le lycopène et l'acide ascorbique. Après son extraction à l'éther de pétrole, elle est dosée par spectrophotométrie à $\lambda = 502$ nm (Masseli LC-01, Masseli Mesure, Italie) [45].

Détermination du taux des protéines totales

Les protéines sont particulièrement des enzymes impliquées dans le métabolisme au cours des étapes de développement et de maturation du fruit. Le taux de protéines totales est calculé en multipliant la teneur d'azote par le coefficient 6,25 selon la méthode de Kjeldhal. Il est présenté en mg/ 100g de produit [46].

Analyses statistiques

La moyenne arithmétique et l'écart – type de trois répétitions pour chaque paramètre physicochimique du jus frais, du jus préchauffé et filtré et du monconcentré de tomate avant et après pasteurisation et après stérilisation sont déterminés avec la tomate des récoltes des années 2015, 2016 et 2017. Les coefficients de corrélations linéaires entre différents paramètres physicochimiques sont calculés et leurs significations recherchées au niveau $\alpha = 0,05$, $\alpha = 0,01$ et $\alpha = 0,001$. Les calculs sont réalisés sont fait avec le logiciel d'analyse et de traitement statistique des données Minitab (v.16) (MiniTab Ltd, Royaume-Uni).

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Moyennes des paramètres physicochimiques et leurs variations en fonction du processus technologique de fabrication du monoconcentré de tomate

Les moyennes des paramètres physicochimiques et leurs variations en fonction du processus technologique de fabrication du monoconcentré de tomate obtenues avec la tomate des récoltes des années 2015, 2016 et 2017 sont représentées dans les Tableaux 4 et 5.

Tableau 4. Moyennes des paramètres physicochimiques du jus frais, du jus préchauffé et filtré et du monoconcentré de tomate avant et après pasteurisation et après stérilisation

| | Echantillons P. P | [Jf] | [Jpf] | [MCT] | [MCTP] | [MCTS] |
|----------|---|------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| | | | | | | |
| Groupe 1 | Brix [%] | 5,630 ±0,170 | 5,480 ±0,252 | 22,731 ±0,295 | 22,330 ±2,014 | 22,040 ±0,013 |
| | Sucres réducteurs [%] | 12,747 ±0,012 | 10,183 ±0,017 | 48,206 ± 0,020 | 47,026 ±0,018 | 46,633 ±0,010 |
| | Acide ascorbique [mg·100 g ⁻¹] | 10,500 ±0,172 | 7,530 ±0,169 | 14,430 ± 0,158 | 12,470 ± 0,140 | 12,060 ±0,120 |
| | α-tocophérol [mg·100 g ⁻¹] | 0,560 ±0,030 | 0,430 ± 0,028 | 2,026 ± 0,030 | 2,016 ±0,019 | 1,960 ±0,050 |
| | Lycopéne [mg·100 g ⁻¹] | 35,030 ±0,013 | 34,449 ±0,013 | 52,190 ±0,014 | 52,262 ±0,012 | 52,361 ±0,012 |
| Groupe 2 | β-carotène [mg·100 g ⁻¹] | 9,035 ±0,173 | 7,733 ±0,252 | 15,360 ± 0,290 | 15,537 ±0,190 | 16,421 ±0,186 |
| | Rapport des couleurs rouge sur jaune a/b | 2,293 ±0,014 | 2,170 ±0,054 | 2,290 ±0,047 | 3,120 ±0,067 | 3,170 ±0,069 |
| | Luminosité | 30,735 ±0,073 | 26,041 ±0,056 | 26,190 ±0,090 | 26,299 ±0,050 | 26,450 ±0,070 |
| | Viscosité [cm Bw] | 000 | 000 | 6,140 ± 0,164 | 6,604 ±0,013 | 7,030 ±0,090 |
| | pH | 4,240 ±0,152 | 4,210 ±0,160 | 4,130 ± 0,070 | 4,120 ±0,140 | 4,080 ±0,120 |
| Groupe 3 | Acidité titrable [%] | 6,383 ±0,123 | 6,660 ±0,176 | 7,090 ± 0, 014 | 7,350 ±0,180 | 7,864 ±0,192 |
| | | | | | | |
| Groupe 4 | Protéines [mg·100 g ⁻¹] | 1,679 ±0,020 | 1,163 ±0,018 | 4,360 ± 0,029 | 4,360 ± 0,017 | 4,360 ±0,015 |

*P.P: Paramètres Physicochimiques

D'après le Tableau 4 montrant les phases de préchauffage à 64,66 °C pendant 20 min et filtration, de concentration à 88,23 °C durant 2 h, de pasteurisation à 91,7 °C pour 20 min et stérilisation à 95,1 °C en 10 min pour la tomate des récoltes des années 2015, 2016 et 2017, il est observé qu'au cours du préchauffage et filtration du jus, les taux de Brix, d'acide ascorbique, d' α -tocophérol, de sucres réducteurs, de β -carotène, de lycopène, de protéines et le rapport des couleurs rouge sur jaune et la luminosité décroissent. Ceci est dû à l'élimination de la peau et les graines comme déchets.

Ces parties du fruit contiennent la majeure partie des protéines et certains sucres réducteurs intervenant dans l'expression globale du Brix [47 – 50]. La peau est plus riche en lycopène et en β -carotène que la pulpe [51]. Le préchauffage provoque la dégradation de l'acide ascorbique et de l' α -tocophérol [52 – 57]. Au niveau de la concentration du jus, les taux de Brix, d'acide ascorbique, d' α -tocophérol, de sucres réducteurs, de β -carotène, de lycopène, de protéines et le rapport des couleurs rouge sur jaune et la luminosité augmentent. Cela est expliqué par l'évaporation d'eau jusqu'à 22 % de Brix. La pâte de tomate devient consistante. Concernant la pasteurisation et la stérilisation du monoconcentré de tomate, les traitements thermiques appliqués agissent de la même façon sur les paramètres physicochimiques. Les taux de Brix, d'acide ascorbique, d' α -tocophérol et de sucres réducteurs diminuent alors que les taux de lycopène et de β -carotène, le rapport des couleurs rouge sur jaune, la luminosité et la viscosité croissent. Il y a destruction et entrée en réaction de certains composés de la matière sèche ce qui conduit à une baisse du taux de Brix paramètre clé de la qualité du monoconcentré de tomate.

L'élévation de la température et le milieu acide causent le déclenchement du processus de brunissement non enzymatique ou réaction de Maillard provoquant la réduction du taux de sucres réducteurs [58 – 60] et la dégradation de l'acide ascorbique et de l' α -tocophérol en fonction du temps d'exposition [61 – 65]. Les températures suffisamment hautes engendrent la bioaccessibilité du β -carotène et de lycopène [66 – 71]. Ce dernier s'isomérise et passe de la forme all-trans à la forme cis perçue comme une amélioration de la qualité [1]. Elles inhibent les enzymes pectinolytiques conduisant à un concentré de grande viscosité [72 – 74]. Cette dernière augmente, il y a perte de la consistance et ramollissement de la pâte de tomate. La modification des protéines fibreuses et la cellulose sont la cause de la diminution de la consistance [75, 76]. La teneur en protéines reste stable. La vapeur d'eau est envoyée sur le tube dans lequel le produit est dirigé vers la mise en boîte et le sertissage pour la pasteurisation et la stérilisation. Au cours de ces deux étapes aucune perte de monoconcentré de tomate n'est remarquée. C'est la raison de la stabilité du taux de protéines. Durant toutes les phases du processus technologique, il est constaté une baisse de pH et une augmentation de l'acidité dues à la libération des acides organiques, tels les acides acétique et citrique sous l'effet de la chaleur [77]. Il est distingué que les paramètres physicochimiques du groupe constitué des taux de Brix, d'acide ascorbique, d' α -tocophérol et de sucres réducteurs et ceux de l'ensemble formé par les taux de lycopène et de β -carotène, le rapport des couleurs rouge sur jaune et la luminosité varient de façon comparable à l'intérieur de chaque groupe. Il est observé que la viscosité du monoconcentré de tomate évolue avec les taux de lycopène et de β -carotène, le rapport des couleurs rouge sur jaune et la luminosité au cours des phases de pasteurisation et de stérilisation. Les teneurs en protéines changent comme les taux de Brix, d'acide ascorbique, d' α -

tocophérol, de sucres réducteurs, de β -carotène et de lycopène et le rapport des couleurs rouge sur jaune et la luminosité jusqu'au début de la phase de pasteurisation.

Tableau 5. Corrélations linéaires entre les paramètres de qualité de chacun des 4 groupes déterminés en fonction du processus technologique de fabrication du monoconcentré de tomate

| Groupes | Paramètres de qualité | | Coefficients de corrélations linéaires (r) | Valeurs des probabilités (p) |
|----------|--|--|--|------------------------------|
| | Variables | | | |
| Groupe 1 | Sucres réducteurs [%] | Brix [%] | r=+0,999*** | p=0,000 |
| | Acide ascorbique [mg·100 g ⁻¹] | | r=+0,855 | p=0,065 |
| | α-tocophérol [mg·100 g ⁻¹] | | r=+0,999*** | p=0,000 |
| | Acide ascorbique [mg·100 g ⁻¹] | Sucres réducteurs [%] | r=+0,872 | p=0,054 |
| | α-tocophérol [mg·100 g ⁻¹] | | r=+1,000*** | p=0,000 |
| | Acide ascorbique [mg·100 g ⁻¹] | α-tocophérol [mg·100 g ⁻¹] | r=+0,873 | p=0,053 |
| Groupe 2 | β-Carotène [mg·100 g ⁻¹] | Lycopène [mg·100 g ⁻¹] | r=+0,992*** | p=0,001 |
| | Rapport a/b | | r=+0,704 | p=0,184 |
| | Luminosité | | r=-0,546 | p=0,341 |
| | Viscosité [cm Bw] | | r=+0,997*** | p=0,000 |
| | Rapport a/b | β-Carotène [mg·100 g ⁻¹] | r=+0,748 | p=0,146 |
| | Luminosité | | r=-0,461 | p=0,434 |
| | Viscosité [cm Bw] | | r=+0,993*** | p=0,000 |
| | Luminosité | Rapport a/b | r=-0,294 | p=0,631 |
| | Viscosité [cm Bw] | | r=+0,752 | p=0,143 |
| | Luminosité | Viscosité [cm·Bw] | r=-0,558 | p=0,328 |
| Groupe 3 | Brix [%] | Protéines [mg·100 g ⁻¹] | r=+0,994*** | p=0,001 |
| | Sucres réducteurs [%] | | r=+0,997*** | p=0,000 |
| | α-tocophérol [mg·100 g ⁻¹] | | r=+0,885* | p=0,04 |
| | Acide ascorbique [mg·100 g ⁻¹] | | r=+0,998*** | p=0,000 |
| | Lycopène [mg·100 g ⁻¹] | | r=+0,996*** | p=0,000 |
| | β-Carotène [mg·100 g ⁻¹] | | r=+0,995*** | p=0,000 |
| | Rapport a/b | | r=+0,704 | p=0,184 |
| | Luminosité | | r=-0,468 | p=0,42 |
| Groupe 4 | pH | Acidité titrable [%] | r=-0,975 | p=0,05 |

* Rapport a/b: Rapport des couleurs rouge sur jaune ; *: Corrélation linéaire significative au niveau $\alpha = 0,05$; **: Corrélation linéaire hautement significative au niveau $\alpha = 0,01$;*** : Corrélation linéaire très hautement significative au niveau $\alpha = 0,001$

D'après le Tableau 5, les coefficients de corrélations linéaires entre les taux de Brix et de sucres réducteurs et d' α -tocophérol, le taux de sucres réducteurs et d' α -tocophérol, le taux de lycopène et de β -carotène ainsi que la viscosité, le taux de β -carotène et la

viscosité, le taux de protéines avec les teneurs de Brix, de sucres réducteurs, d'acide ascorbique, de lycopène et de β -carotène et ceux calculés pour le taux de protéines avec l' α -tocophérol sont respectivement positifs très hautement significatifs et positifs significatifs. Il est prouvé l'existence de relations linéaires positives. Les coefficients de corrélations linéaires entre le taux d'acide ascorbique et de Brix, le taux de sucres réducteurs et d' α -tocophérol, le taux de lycopène et le rapport des couleurs rouge sur jaune aussi bien que la luminosité, le taux de β -carotène et le rapport des couleurs rouge sur jaune et la luminosité, le rapport des couleurs rouge sur jaune avec la luminosité et la viscosité, la viscosité et la luminosité et le taux de protéines avec le rapport des couleurs rouge sur jaune et la luminosité sont non significatifs. Il n'y a pas de relations linéaires entre les variables considérées.

CONCLUSION

Au cours du processus technologique de fabrication du monoconcentré de tomate par la méthode Hot-Break en continu avec la tomate des récoltes des années 2015, 2016 et 2017, au moment du préchauffage du jus à 64,66 °C pendant 20 min et filtration, les taux de Brix, d'acide ascorbique, d' α -tocophérol, de sucres réducteurs, de β -carotène, de lycopène, de protéines et le rapport des couleurs rouge sur jaune et la luminosité décroissent. Au niveau de la concentration du jus à 88,23 °C durant 2 h, il y a augmentation de ces paramètres. Lors de la pasteurisation à 91,7 °C pour 20 min et la stérilisation à 95,1 °C en 10 min, les taux de Brix, d'acide ascorbique, d' α -tocophérol et de sucres réducteurs baissent tandis que les taux de lycopène et de β -carotène, le rapport des couleurs rouge sur jaune, la luminosité et la viscosité augmentent. La teneur en protéines reste stable. Tout au long du processus technologique le pH baisse.

Le groupe constitué des taux de Brix, d'acide ascorbique, α -tocophérol et de sucres réducteurs et celui formé par les taux de lycopène et de β -carotène, le rapport des couleurs rouge sur jaune et la luminosité varient de façon comparable à l'intérieur de chaque groupe. La viscosité évolue tel les taux de lycopène et de β -carotène, le rapport des couleurs rouge sur jaune et la luminosité dans les phases de pasteurisation et de stérilisation. La teneur en protéines change comme les taux de Brix, d'acide ascorbique, d' α -tocophérol, de sucres réducteurs, de β -carotène et de lycopène et le rapport des couleurs rouge sur jaune et la luminosité jusqu'au début de la pasteurisation. Il est prouvé l'existence de relations linéaires entre le taux de Brix et ceux de sucres réducteurs et d' α -tocophérol, le taux de sucres réducteurs et d' α -tocophérol, le taux de lycopène et de β -carotène ainsi que la viscosité, le taux de β -carotène et la viscosité, le taux de protéines et de Brix, de sucres réducteurs, d'acide ascorbique, de lycopène et de β -carotène et le taux d' α -tocophérol et de protéines. Il n'existe pas de relations linéaires entre le taux d'acide ascorbique et de Brix, le taux de sucres réducteurs et d' α -tocophérol, le taux de lycopène et le rapport des couleurs rouge sur jaune aussi bien que la luminosité, le taux de β -carotène et le rapport des couleurs rouge sur jaune et la luminosité, le rapport des couleurs rouge sur jaune avec la luminosité et la viscosité, la viscosité et la luminosité et le taux de protéines avec le rapport des couleurs rouge sur jaune et la luminosité.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Boumendjel, M.E., Boutebba, A.: Heat treatment effects on the biochemical and nutritional content of double concentrated tomato paste, *Acta Horticulturae*, **2003**, 613 (69), 429-432;
2. Sawadogo, I., Koala, M., Dabire, C., Ouattara, L.P., Vbegjet, B., Hema, A., Gnoula, C., Pale, E., Nebie, R. : Etude de l'influence des modes de transformation sur les teneurs en lycopène de quatre variétés de tomates de la région du nord du Burkina Faso, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **2015**, 2 (9), 24-34;
3. Frusciante, L., Carli, P., Ercolan, R.M., Pernice, R., Antonio, D., Fogliano, V., Pellegrini, N.: Antioxidant nutritional quality of tomato, *Molecular Nutrition Food Research*, **2007**, 51 (5), 609-617;
4. Lenucci, M.S., Cadinu, D., Taurino, M., Piro, G., Dalessandro, G.: Antioxidant composition in cherry and high-pigment tomato cultivars, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **2006**, 54 (7), 2606-2613;
5. Omoni, A.O., Aluko, R.E.: The anti-carcinogenic and anti-atherogenic effects of lycopene: a review, *Trends in Food Science & Technology*, **2005**, 16 (8), 344-350;
6. Kucuk, O., Sarkar, F. H., Djuric, Z., Sakr, W., Pollak, M. N., Khachik, F., Banerjee, M., Bertram, J. S., Wood, D. P., Jr.: Effects of lycopene supplementation in patients with localized prostate cancer, *Experimental Biology and Medicine (Maywood)*, **2002**, 227 (10), 881-885;
7. Campbell, J.K., Canene-Adams, K., Lindshield, B.L., Boileau, T.W.M., Clinton, S.K., Erdman, J.W.Jr.: Tomato phytochemicals and prostate cancer risk, *The Journal of Nutrition*, **2004**, 134 (12), 3486S-3492S;
8. Obermuller-Jevic, U.C., Olano-Martin, E., Corbacho, A.M., Eiserich, J.P., van der Vliet, A., Valacchi, G., Cross, C.E., Packer, L.: Lycopene inhibits the growth of normal human prostate epithelial cells in vitro, *The Journal of Nutrition*, **2003**, 133 (11), 3356-3360;
9. Ludwig, D.S., Pereira, M.A., Kroenke, C.H., Hilner, J.E., Van Horn, L., Slattery, M.L., Jacobs, D.R.Jr.: Dietary fiber, weight gain, and cardiovascular disease risk factors in young adults, *Journal of the American Medical Association*, **1999**, 282 (16), 1539-1546;
10. Lairon, D., Arnault, N., Bertrais, S., Planells, R., Clero, E., Hercberg, S., BoutronRuault, M.-C.: Dietary fiber intake and risk factors for cardiovascular disease in French adults, *American Journal of Clinical Nutrition*, **2005**, 82 (6), 1185-1194;
11. Koh, E., Wimalasiri, K.M.S., Renaud, E.N.C., Mitchell, A.E.A.: A comparison of flavonoids, carotenoids and vitamin C in commercial organic and conventional marinara pasta sauce, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **2008**, 88 (2), 344-354;
12. Toor, R.K., Savage, G.P.: Antioxidant activity in different fractions of tomatoes, *Food Research International*, **2005**, 38 (5), 487-494;
13. Guil-Guerrero J.L., Rebolloso-Fuentes M.M.: Nutrient composition and antioxidant activity of eight tomato (*Lycopersicon esculentum*) varieties, *Journal of Food Composition and Analysis*, **2009**, 22 (2), 123-129;
14. Porrini, M., Riso, P.: Factors influencing the bioavailability of antioxidants in foods: A critical appraisal, *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, **2008**, 18 (10), 647-650;
15. Parada, J., Aguilera, J.M.: Food microstructure affects the bioavailability of several nutrients, *Journal of Food Science*, **2007**, 72 (2), R21-R32;
16. Dossou, J., Soulé, I., Montcho, M.: Analyse économique de la production de purée de tomate à petite échelle au Bénin, *Tropicicultura*, **2006**, 24 (4), 239-246;
17. Lavelli, V., Giovanelli, G.: Evaluation of heat and oxidative damage during storage of processed tomato products. II. Study of oxidative damage indices, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **2003**, 83 (9), 966-971;
18. Sahlin, E., Savage, G.P., Lister, C.E.: Investigation of the antioxidant properties of tomatoes after processing, *Journal of Food Composition and Analysis*, **2004**, 17(5), 635-647;
19. Nguyen, M., Francis, D., Schwartz, S.: Thermal isomerisation susceptibility of carotenoids in different tomato varieties, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **2001**, 81 (9), 910-917;
20. Ishida, B.K., Roberts, J.S., Chapman, M.H., Burri, B.J.: Processing Tangerine tomatoes: Effects on lycopene-isomer concentrations and profile, *Journal of Food Science*, **2007**, 72 (6), C307-C312;
21. Yokota, T., Etoh, H., Oshima, S., Hayakawa, K., Ishiguro, Y.: Oxygenated lycopene and dehydrated lutein in tomato puree, *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*, **2003**, 67 (12),

- 2644-2647;
22. Houssou, P.A.F., Dansou, V., Ayi-Fanou, L., Abdelkerim, A.D., Mensah, G.A.: Technologie de production simultanée de purée et du jus de tomate, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **2015**, 9 (5), 2469-2476;
23. Norme Française NF V 08-051 Microbiologie. Directives générales pour le dénombrement des germes aérobies à 30°C;
24. Norme Française NF V 08-025 Microbiologie. Directives générales pour le dénombrement des Entérobactéries à 37°C;
25. Norme Française NF V 08-050 Microbiologie. Directives générales pour le dénombrement des coliformes totaux à 30°C;
26. Norme Française NF V 08-057 Microbiologie. Directives générales pour le dénombrement des staphylocoques à 37°C;
27. Norme Française NF V 08-05 Microbiologie. Directives générales pour le dénombrement des clostridium sulfito-réducteurs à 37°C;
28. Norme Française NF V 08-052 Microbiologie. Directives générales pour le dénombrement des Salmonelles à 37°C;
29. Norme Française NF XP 08-059 Microbiologie. Directives générales pour le dénombrement des levures et moisissures à 25°C;
30. Norme Française NF V 08-402- concernant le contrôle de stabilité des conserves de pH inférieur à 4,5;
31. Norme ISO 2173 - concernant les produits dérivés des fruits et légumes : détermination du résidu sec réfractométrique;
32. Norme Algérienne NA 5669- concernant les produits dérivés des fruits et légumes : détermination du résidu sec;
33. Norme Française NF T 90-008 -concernant la mesure électrométrique du pH avec l'électrode de verre;
34. Chong, H.H., Simsek, S., Reuhs, B.L: Analysis of cell-wall pectin from hot and cold break tomato preparations, *Food Research International*, **2009**, 42 (7)770-772;
35. Hurtado, M.C., Greve, L.C., Labavitch, J.M.: Changes in cell wall pectins accompanying tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) paste manufacture, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **2002**, 50 (2), 273-278;
36. Servais, C., Jones, R., Roberts, I.: The influence of particle size distribution on the processing of food, *Journal of Food Engineering*, **2002**, 51 (3), 201-208;
37. Bayod, E., Mansson, P., Innings, F., Bergenstahl, B., Tornberg, E.: Low shear rheology of concentrated tomato products, Effect of particle size and time, *Food Biophysics*, **2007**, 2 (4), 146-157;
38. Bayod, E., Tornberg, E.: Microstructure of highly concentrated tomato suspensions on homogenisation and subsequent shearing, *Food Research International*, **2011**, 44 (4), 755-764;
39. CODEX STAN-13-1981- Norme codex pour les tomates en conserve. Référé au concentré de tomate Hot- Break, caractéristiques principales;
40. Norme Française NF V 05-101- concernant les produit dérivés des fruits et légumes: détermination de l'acidité titrable;
41. Règlement (CEE) n° 1764/86de la Commission du 27 mai 1986 fixant des exigences minimales de qualité pour les produits à base de tomate. Document 386R1764;
42. Grolier P., Bartholin G., Broers L., Caris-veyrat C., Dadomo M., Di Lucca G., Dumas Y., Meddens F., Sandei L., Schuch W., 2000. Les anti-oxydants de la tomate et leur biosynthèse In: *Les anti-oxydants de la tomate et ses dérivés et leur bienfaits pour la santé. Le livre blanc de la tomate, Action concertée de la Commission Européenne, FAIR CT 97-3233*, 3 p;
43. Règlement (CEE) n° 1764/86 de la Commission du 27 mai 1986 fixant des exigences minimales de qualité pour les produits à base de tomate. Document 386R1764;
44. CACQE méthode d'analyse n° 08.97.22 Fruits, légumes et produits dérivés détermination de la teneur en acide ascorbique partie 2 : méthodes pratiques;
45. Rougereau, A., *Technique d'analyse et de contrôle de la qualité dans l'industrie agroalimentaire, TEC&DOC, Lavoisier éd.* 1981, Vol. 5, 246-247 ;
46. Norme Française NF V 03-050- concernant les produits agricoles alimentaires : Directives générales pour le dosage de l'azote avec minéralisation selon la méthode de Kjeldahl;
47. Tsatsaronis, G.C., Boskou, D.G.: Amino acid and mineral salt content of tomato seed and skin

- waste, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **1975**, 26 (4), 421-423;
48. Persia, M.E., Parsons, C.M., Schang, M., Azcona, J.: Nutritional evaluation of dried tomato seeds, *Poultry Science*, **2003**, 82 (1), 141-146;
49. Latlief, S.J., Knorr, D.: Tomato Seed Protein Concentrates: Effects of Methods of Recovery Upon Yield and Compositional Characteristics, *Journal of food science*, **1983**, 48 (6), 1583-1586;
50. Sogi, D.S., Shivhare, U.S., Garg, S.K., Bawa, A.S.: Water Sorption Isotherm and Drying Characteristics of Tomato Seeds, *Biosystems Engineering*, **2003**, 84 (3), 297-301;
51. Toor, R.K., Savage, G.P.: Antioxidant activity in different fractions of tomatoes, *Food Research International*, **2005**, 38(5), 487-494;
52. Gahler, S., Otto, K., Bohm, V.: Alterations of vitamin C, total phenolics, and antioxidant capacity as affected by processing tomatoes to different products, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **2003**, 51 (27), 7962-7968;
53. Seybold, C., Frohlich, K., Bitsch, R., Otto, K., Bohm, V.: Changes in contents of carotenoids and vitamin E during tomato processing, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **2004**, 52 (23), 7005-7010;
54. Rickman, J.C., Barrett, D.M., Bruhn, C.M.: Nutritional comparison of fresh, frozen and canned fruits and vegetables. Part 1. Vitamins C and B and phenolic compounds, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **2007**, 87 (6), 930-944;
55. Sanchez-Moreno, C., Plaza, L., Ancos, B., Cano, M. P.: Nutritional characterization of commercial traditional pasteurized tomato juices: carotenoids, vitamin C and radical-scavenging capacity, *Food Chemistry*, **2006**, 98 (4), 749-756;
56. Pérez-Conesa, D., García-Alonso, J., García-Valverde, V., Iniesta, M.D., Jacob, K., Sánchez-Siles, L.M., Ros, G., Periago, M.J.: Changes in bioactive compounds and antioxidant activity during homogenization and thermal processing of tomato puree, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **2009**, 10 (2), 179-188;
57. Patras, A., Brunton, N., Da Pieve, S., Butler, F., Downey, G.: Effect of thermal and high pressure processing on antioxidant activity and instrumental colour of tomato and carrot purées, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **2009**, 10 (1), 16-22;
58. Fichner, K., Schader, I., Lange, M.: Early detection of changes during heat processing and storage of tomato products, *American Chemical Society*, **1996**, 12 (3), 32-44;
59. Anthon, G.E., Le Strange, M., Barrett, D.M.: Changes in pH, acids, sugars and other quality parameters during extended vine holding of ripe processing tomatoes, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **2011**, 91 (7), 1175-1181;
60. Capanoglu, E., Beekwilder, J., Boyacioglu, D., Hall, R., De Vos, R.: Changes in antioxidant and metabolite profiles during production of tomato paste, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **2008**, 56 (3), 964-973;
61. Rojas, A.M., Gerschenson, L.N.: Ascorbic acid destruction in aqueous model systems: an additional discussion, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **2001**, 81 (15), 1433-1439;
62. Shi, J., Le Maguer, M.: Lycopene in tomatoes: chemical and physical properties affected by food processing, *Critical Reviews in Biotechnology*, **2000**, 20 (4), 293-334;
63. Dewanto, V., Wu, X.Z., Adom, K.K., Liu, R.H.: Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **2002**, 50 (10), 3010-3014;
64. Garcia-Alonso, F.J., Bravo, S., Casas, J., Perez-Conesa, D., Jacob, K., Periago, M.J.: Changes in Antioxidant Compounds during the shelf life of commercial tomato juices in different packaging materials, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **2009**, 57 (15), 6815-682;
65. Lavelli, V., Giovanelli, G.: Evaluation of heat and oxidative damage during storage of processed tomato products. II. Study of oxidative damage indices, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **2003**, 83 (9), 966-971;
66. Colle, I., Lemmens, L., Van, S., Ann, B., Loey, V., Hendrickx, M.: Effect of thermal processing on the degradation, isomerization, and bioaccessibility of lycopene in tomato pulp, *Journal of Food Science*, **2010**, 75 (9), 753-759;
67. El-Agamey, A., Lowe, G.M., McGarvey, D.J., Mortensen, A., Phillip, D.M., Truscott, T.G., Young, A.J.: Carotenoid radical chemistry and antioxidant/pro-oxidant properties, *Archives of Biochemistry and Biophysics*, **2004**, 430 (1), 37- 48;
68. Mayeaux, M., Xu, Z., King, J.M., Prinyawiwatkul, W.: Effects of cooking conditions on the

- lycopene content in tomatoes, *Journal of Food Science*, **2006**, 71 (8), C461- C464;
69. Takeoka, G.R., Dao, L., Flessa, S., Gillespie, D. M., Jewell, W. T., Huebner, B., Bertow, D., Ebeler, S. E. Processing effects on lycopene content and antioxidant activity of tomatoes, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **2001**, 49 (8), 3713-3719;
70. Anese, M.F.P., Fogliano, V., Nicoli, M.C., Massini, R.: Effect of equivalent thermal treatments on the color and the antioxidant activity of tomato purees, *Journal of Food Science*, **2002**, 67 (9), 3442-3446;
71. Qiu, D., Chen, Z.R., Li, H.R.: Effect of heating on solid beta-carotene, *Food Chemistry*, **2009**, 112 (2), 344-349;
72. Tibäck, E.A., Svelander, C.A., Colle, I.J.P., Altskär, A.I., Alminger, M.A.G., Hendrickx, M.E.G., Ahrné, L.M., Langton, M.I.B.C.: Mechanical and thermal pretreatments of crushed tomatoes: effects on consistency and in vitro accessibility of lycopene, *Journal of Food Science*, **2009**, 74 (7), E386-E395;
73. Sanchez, M.C., Valencia, C., Gallegos, C., Ciruelos, A., Latorre, A.: Influence of processing on the rheological properties of tomato paste, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **2002**, 82 (9), 990-997;
74. McCarthy, K.L., McCarthy, M.J. Relationship between in-line viscosity and bostwick measurement during ketchup production, *Journal of Food Science*, **2009**, 74 (6), E291-E297;
75. Valencia, C., Sanchez, M.C., Ciruelos, A., Latorre, A., Franco, J.M., Gallegos, C.: Linear viscoelasticity of tomato sauce products: influence of previous tomato paste processing, *European Food Research and Technology*, **2002**, 214 (5), 394-399;
76. Kaur, C., George, B., Deepa, N., Jaggi, S., Kapoor, H.C.: Viscosity and quality of tomato juice as affected by processing methods, *Journal of Food Quality*, **2007**, 30 (6), 864-877;
77. Boubidi, F., Boutebba, A.: Effects of heat treatments on quality of parametrs and of natural antioxidant of triple concentrated tomato paste, *Annals: Food Science and Technology*, **2013**, 14 (1), 5-12.