

**EFFET DES TRAITEMENTS
THERMIQUES SUR LES
ANTIOXYDANTS DE LA
TOMATE**

BOUMENDJEL Mahieddine ;
BOUTEBBA Aïssa &
HOUHAMDI Moussa

Département de Biochimie. Faculté des Sciences.
Université Badji-Mokhtar d'Annaba.

Résumé

Les études épidémiologiques attestent l'existence d'une corrélation positive entre la consommation des produits à base de tomate riche en antioxydants, et la diminution du risque de développement de certaines pathologies telles que cancer et athérosclérose. Ceci fait des produits dérivés de la tomate des aliments de valeur nutritionnelle intéressante pour la santé humaine. Dans notre étude, nous nous sommes intéressés à l'évaluation de l'effet de deux barèmes de stérilisation sur les teneurs en antioxydants des conserves de double concentré de tomate. Pour cela, notre choix s'est porté sur l'évaluation de certains paramètres physico-chimiques et nutritionnels : teneurs en Brix, en protéines, en sucres et en antioxydants (Acide Ascorbique, Lycopène et tocophérol). Il en ressort que les barèmes les plus agressifs (t° élevée et temps court) sont plus astreignants sur la qualité nutritionnelle, telle que : teneur en résidu sec soluble (Brix) et en vitamines hydrosolubles.

Mots clés : Concentré de tomate, Appertisation, Brix, Protéines, Sucres, Viscosité, Bostwick, Antioxydants, Lycopène, Tocophérol, Acide ascorbique.

Abstract

Epidemiological studies continues to suggest a positive correlation between the consumption of tomato products rich in antioxidants and a lower risk of developing certain types of cancer and atherogenic diseases. This makes tomatoes products very interesting for health. This paper assesses the effect of two heat treatments on water insoluble tomato pulp solids, proteins, sugars and antioxidants (ascorbic acid, tocopherol, lycopene) content in a double concentrate tomatoes cans. Experimental results indicates that NTSS and some antioxidant remained relatively sensible to heat treatment.

Key words: *Tomato products, heat treatment, NTSS, Proteins, sugars, Viscosity, Bostwick, Antioxidants, Lycopene, Tocopherol, Ascorbic acid.*

INTRODUCTION

En industrie de transformation des fruits et légumes, le principal challenge des technologues est de faire en sorte que les surplus saisonniers soient rapidement transformés, pour pouvoir être stockés et redistribués en dehors des périodes de production. Cette transformation saisonnière ne doit pas, pour autant, détériorer leur valeur nutritionnelle.

La tomate, *Lycopersicon esculentum*, est un fruit qui contient de nombreux antioxydants comme les caroténoïdes (β -carotène et lycopène), les tocophérols, les polyphénols et l'acide ascorbique (Matos, 2000). Les pratiques de transformation industrielle comprennent un certain nombre de changements physiques, chimiques et biochimiques qui doivent être pris en compte pour leur impact éventuel sur la biodisponibilité de ces nutriments. Il est important pour l'industrie agroalimentaire de sauvegarder ces nutriments tout au long des étapes de transformations mécanique et thermique.

Outre les caractéristiques nutritionnelles qu'il s'agit de protéger au cours de l'élaboration de l'aliment, les propriétés sensorielles doivent pouvoir être caractérisées. Ces propriétés dépendent étroitement de la structure spatiale des molécules et de leur état d'association dans la matière.

Ainsi, une étude physico-chimique et technologique du produit renseigne sur le niveau de structuration et des interactions que les molécules sont susceptibles d'établir entre elles, rendant de moins en moins empirique les formulations des aliments, des procédés et des caractéristiques technofonctionnelles et nutri-sensorielles du produit à réaliser.

L'objectif de notre étude est d'évaluer l'effet des traitements thermiques appliqués aux conserves de tomate, sur leur qualité physico-chimique, biochimique et nutritionnelle.

Pour cela, notre choix s'est basé sur l'évaluation de certains paramètres biochimiques et nutritionnels : teneurs en Brix, en protéines, en sucres, viscosité, acide ascorbique, lycopène, tocophérol.

L'importance de l'étude des paramètres nutritionnels tels que les antioxydants de la tomate est qu'ils constituent la richesse même du fruit, puisque le lycopène par exemple – provitamine A – possède des vertus thérapeutiques reconnues par diverses instances scientifiques de la médecine et de la biologie.

Vertus thérapeutiques

Les molécules issues du métabolisme normal du corps humain peuvent parfois produire des molécules oxydantes causant de sérieux dommages aux lipides, protéines et matériel génétique des cellules. Ces attaques finissent par submerger les

moyens de défense du corps humain (Poulsen *et col.*, 1998) et le corps a besoin de nouveaux antioxydants pour combattre ces excès de radicaux libres très réactifs. Leurs attaques peuvent aboutir à une longue série de pathologies telles que : Cancer, Athérosclérose, déclin du système immunitaire, dysfonctionnement du cerveau et cataracte (Halliwell, 1994 ; Stahl *et col.*, 1996)

L'organisme dispose d'un certain nombre de moyens enzymatiques pour lutter contre les agressions des radicaux libres, mais l'alimentation joue un rôle-clé en lui fournissant un vaste ensemble d'antioxydants d'origine végétale. Ce sont les tocophérols (vitamine E), les caroténoïdes, la vitamine C, les polyphénols... Tous ont une grande importance dans la protection des graisses contre l'oxydation. (Matos, 2000).

MATERIEL ET METHODES

Préparation des échantillons

Des échantillons de double concentré de tomate sont fabriqués selon la méthode du Cold Break. La pâte de tomate ainsi obtenue est à un taux de résidus secs solubles de 29%, un pH de 4.4, un taux de protéines de 1.99 mg/100g, un taux de sucres de 46.1g/100ml, une viscosité de 7 cm Bostwick, un taux de lycopène de 1.25 mg/100g, de tocophérol de 3.2 mg/100g et un taux d'acide ascorbique de 15 mg/100g.

La pâte est ensuite stérilisée à différentes températures : 100°C et 110°C ($\pm 2^\circ\text{C}$) dans des bains d'eau bouillante et pour des durées allant de 25 à 30 minutes ($\pm 1\text{min}$).

Les conserves stérilisées sont directement refroidies à l'eau courante jusqu'à atteinte d'une température stable approximative de 35°C ($\pm 2^\circ\text{C}$) au cœur de la boîte.

Les échantillons sont, par la suite, numérotés et conservés au réfrigérateur à 5°C ($\pm 0,1^\circ\text{C}$).

Choix des méthodes

La comparaison des barèmes de stérilisation se fait sur la base de leur action sur certains paramètres physico-chimiques, biochimiques et nutritionnels à savoir :

- Extrait sec soluble ou Brix, Protéines, Sucres, Viscosité,
- Teneur en Acide Ascorbique, en Tocophérol et en Lycopène.

Les données de nos résultats ont été exprimées par la moyenne des différentes répétitions et l'analyse statistique a été réalisée grâce aux logiciels Minitab (Weisberg, 1985) et ADE-4 (Thioulouse *et Col.*, 1999)

Les caractéristiques technologique et biochimique de la pâte de tomate sont mesurées ou évaluées grâce aux méthodes normalisées suivantes :

Résidus secs solubles ou Brix

C'est la concentration en saccharose d'une solution aqueuse ayant le même indice de réfraction que le produit analysé (NA 299). Cette concentration mesurée par l'indice réfractométrique est ensuite exprimée par le pourcentage en masse, est mesurée au moyen d'un réfractomètre d'Abbe (CEE, 1764/86). Les résidus secs solubles représentent un critère de qualité très important sur le plan commercial et font l'objet d'une réglementation très stricte. Le classement du produit se fait sur la base de son indice de réfraction exprimé en pourcentage de Brix. Les doubles concentrés de tomates devant avoir un taux compris entre 28 à 30%.

Le taux de protéines : la méthode de kjeldahl

Les constituants protéiques sont présents en faible concentration dans la majorité des fruits et légumes. Ils sont toutefois d'une importance capitale, en tant qu'enzymes impliquées dans le métabolisme des fruits au cours de leur croissance.

La teneur en protéine est exprimée dans les produits à base de tomate à partir du dosage de l'azote total (NF V 03-050). Sachant que les protéines contiennent en moyenne 16% d'azote, on admet par convention que : Protéines en g = 6.25 x N.

Les résultats sont exprimés en mg de protéines par 100gr de produit.

La teneur en sucres : La méthode de Lane-Eynon

Les glucides constituent le groupe le plus important des substances organiques entrant dans la composition chimique des végétaux. Cette teneur en glucide varie en fonction de divers facteurs : luminosité, température, irrigation et engrais. Le glucose, le fructose et le saccharose sont les principaux sucres du fruit (Bodnar *et col.*, 1999). Leur importance réside dans l'accompagnement organoleptique du produit et sont de source naturelle dans cette catégorie de produits (NA 299). Les sucres représentent jusqu'à 65% de la teneur en matière sèche des dérivés de tomates et sont majoritairement des sucres réducteurs, principalement du glucose et du fructose en proportions approximativement égales. (CEE, 1764/86).

La viscosité ou consistance

La viscosité représente l'un des facteurs technologiques les plus importants dans la qualité des pâtes de tomate. Les pâtes de tomate sont des produits à viscosité marquée, intermédiaire entre les corps de Bingham et les corps pseudo-plastiques (Smith, 1961). La viscosité est une caractéristique en relation avec la teneur des fruits en substances insolubles dans l'alcool : Protéines, Pectines, Polysaccharides. (Gallais *et col.*, 1992). Elle est l'effet combiné des liquides, matière soluble, insoluble en suspension, pectine, qui contribuent à la consistance générale de la pâte de tomate (Hawbecker, 1995).

L'importance de l'étude de la viscosité renseigne d'une part sur les modalités des traitements technologiques à utiliser (propriétés d'écoulement de la matière, capacité à la condensation, fluidité lors des traitements de transformation, thermoconductivité, densité...) et d'autre part sur les caractéristiques de qualité nutri-sensorielles pour le consommateur (exemple de la consistance marquée du Ketchup qui représente un critère de qualité primordial). Les valeurs sont exprimées en cm Bostwick.

Le lycopène

Le lycopène est le caroténoïde prédominant de la tomate avec un taux de plus de 95% (Tonucci *et col.*, 1995). En raison de sa structure chimique (Fig. 1), le lycopène est l'anti-radicaux libres le plus efficace, particulièrement contre les espèces radicalaires oxygénées. (Conn *et col.*, 1993 ; Stahl 1999). C'est une molécule de formule $C_{40}H_{56}$ (PM 536), non saturé à chaîne ouverte qui exerce son action en cédant ses électrons afin de neutraliser les radicaux libres (Conn, *et col.*, 1993). C'est un pigment appartenant à la classe des terpènes caroténoïdiens, caractérisé par une structure acyclique symétrique contenant onze doubles liaisons conjuguées et deux non conjuguées qui confèrent à la molécule sa couleur rouge. Dans la tomate, le lycopène se trouve sous sa forme *all-trans*, qui est sa configuration la plus thermostable dans la nature (Stahl *et col.*, 1992 ; Agarwal *et col.*, 2000). Le lycopène est présent dans le corps humain à 50% sous sa forme *cis*. Il exerce son activité d'anti-oxydant qui est 10 fois plus élevée que celle du α -tocophérol (Stahl *et col.*, 1996). Contrairement à la vitamine A, les caroténoïdes sont considérés comme n'ayant aucun problème de toxicité par sur-dosage, donc aucune répercussion sur la santé des consommateurs. En effet, la conversion des provitamines A en vitamine A se trouve sous le contrôle d'un mécanisme cellulaire de régulation selon les besoins du corps et diminue lorsque les stocks du corps sont au plein (Kaegi, 1998).

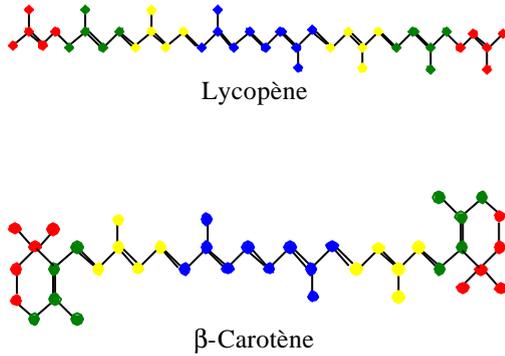


Figure 1 - Structure des principaux caroténoïdes de la tomate Lycopène et β-Carotène (Agarwal *et col.*, 2000 ; Stryer, 1988)

Le Lycopène se trouve principalement dans la peau et le péricarpe de la tomate. La cyclisation de ses extrémités par une enzyme spécifique, la Chromoplast-specific lycopène beta-cyclase, aboutit à la formation du bêta-carotène.

Le dosage du lycopène donne une indication sur un critère de qualité des pâtes de tomate qui est la couleur. La détermination du taux de lycopène se fait à l'aide d'un spectrophotomètre à 502nm (Grolier *et col.*, 2000). A cette longueur d'onde, le lycopène absorbe à 90%, alors que le β-carotène n'absorbe qu'à moins de 10%. (Grolier, 1999).

L'acide ascorbique

L'industrie agroalimentaire utilise l'acide L ascorbique comme antioxydant sous la référence **E300**, il est présent à l'état naturel et en quantités assez importantes dans les tomates encore immatures avec une diminution de son taux lors de la maturation du fruit (Chaux *et col.*, 1994). C'est un réducteur qui réagit avec le dioxygène de l'air l'empêchant ainsi d'oxyder d'autres molécules organiques, ce qui provoquerait leur rancissement (mauvais goût) ou leur changement de couleur (brunissement) (Pascaud, 1998 ; Ruasse, 1998).

Sur le plan organoleptique, cet acide procure au produit un goût acidulé qui, doublé du goût sucré, donne la saveur des concentrés de tomate. Toutefois, des taux trop élevés de cet acide gâchent la qualité organoleptique du produit et sont l'expression d'une matière première utilisée encore à l'état immature (Chaux *et col.*, 1994).

La méthode utilisée pour le dosage de la vitamine C est une méthode normalisée volumétrique au 2,6-dichloro-phénol-indophénol (Pascaud, 1998). L'acide ascorbique s'oxyde facilement, surtout en milieu alcalin, en acide dehydroascorbique. L'action

réductrice de l'acide ascorbique sert de base à la détermination chimique du composé. A pH acide, l'acide ascorbique décolore le 2,6-dichloro-phénol-indophénol ; la réaction est quantitative et permet une détermination de l'ascobémie (Pascaud, 1998).

Le tocophérol

Vitamine de l'anti-stérilité, indispensable pour le système immunitaire, musculaire et nerveux, grâce à ses grandes propriétés d'anti-oxydant, elle intervient aussi dans différentes phases du métabolisme : protection des Acides Gras Non Saturés. Elle protège aussi contre le cancer de la prostate et du tractus intestinal (Gerber, 1999).

La vitamine E est le troisième anti-oxydant de la tomate (après le lycopène et l'acide ascorbique). Elle est exclusivement présente dans les graines de tomate. (Grolier, 2000).

La vitamine E, sous sa forme α-tocophéryll succinate, participe à la lutte contre la prolifération des cellules cancéreuses en induisant spécifiquement les phénomènes d'apoptose dans ces dernières (Neuzil *et col.*, 2000).

Les acides polyinsaturés constituant les phospholipides des membranes cellulaires sont exposés aux réactions d'oxydation et de peroxydation produisant des dérivés toxiques. La protection des acides polyinsaturés est effective pour une relation quantitative convenable, de l'ordre de 1mg de vitamine E par gramme d'acide polyinsaturé ingéré (Grierson, 1991 ; Pascaud, 1998).

La méthode utilisée pour doser la vitamine E consiste à l'extraire grâce à un solvant comme l'éther de pétrole et à la doser selon la méthode de Rougereau au spectrophotomètre à 510nm (Rougereau, 1981).

RESULTATS ET DISCUSSION

Brix

La stérilisation agit très fortement sur les teneurs en Brix de la tomate, en les diminuant de façon significative ($P < 0,01$). Le test t démontre une différence significative ($P < 0,01$) entre la stérilisation à 100° et à 110°C, c'est-à-dire que le taux de matière sèche diminue avec l'augmentation de la température. Nous remarquons sur la figure 1 qu'à partir des tests de corrélation, l'Analyse en composante principale conduit aux hypothèses suivantes : Les variations du taux de Brix dépendent des variations du taux de protéines ($r=0,98$) et du taux de sucres ($r=0,86$).

Protéines

La stérilisation agit très fortement sur les teneurs en Protéines de la tomate en les diminuant de façon significative ($P < 0,01$). Le test t démontre une

différence significative entre la stérilisation à 100° et 110°C, c'est-à-dire que le taux de protéines diminue avec l'augmentation de la température de stérilisation. Ceci s'explique par un dépliement et une entrée en réaction des protéines à température élevée induisant une dénaturation de ces dernières.

A partir des tests de corrélation, nous avons trouvé que la variation ou diminution du taux de protéines est très fortement corrélée à la variation du taux de sucres ($r=0.92$), ceci laisserait envisager une réaction entre protéines-sucres du type Maillard (Teodorescu, 1991) (Eichner et col., 1996). Les sucres réducteurs réagissent avec les protéines au cours des traitements thermiques. Les glucides réducteurs, par leur groupe carbonyle, réagissent particulièrement avec la lysine rendu accessible lors de leur dépliement et la rendent plus ou moins indisponible, diminuant la digestibilité des protéines et la formation de composés qui nuisent à la qualité organoleptique des aliments comme la formation des composés d'Amadori (Eichner et col., 1994) (Ruisse, 1998). Le dosage des sucres par la méthode de Lane-Eynon n'a donné aucune différence significative entre les prises d'essai avant et après inversion. Ceci implique que la totalité des sucres présents dans le concentré de tomate sont des sucres réducteurs (plus de 95% des sucres sont le glucose et le fructose, et saccharose en représente que moins de 2%). Ce facteur pourrait favoriser le déclenchement des processus de brunissement non enzymatique ou réaction de Maillard. En effet, la réaction de Maillard se produit pendant les traitements thermiques d'aliments tels que les concentrés de tomate contenant des protéines en présence de sucres réducteurs (Adrian, 1991). Aussi, cette réaction est plus importante pour les traitements à 110°C ($r=0.86$) qu'à 100°C ($r=0$). Cette cinétique suivrait une vitesse d'une réaction chimique qui peut être assimilée à l'équation d'Arrhenius, où une certaine quantité d'énergie est nécessaire pour déclencher la réaction. L'équation d'Arrhenius, traduit l'hypothèse selon laquelle une molécule peut réagir, par exemple se dégrader ou se combiner avec d'autres molécules, que si elle a acquis un certain niveau d'énergie interne ; on dit alors que la molécule en cause est activée (Cheftel et col., 1979). Ce qui est probablement à l'origine de la différence entre les deux traitements employés.

Viscosité

La consistance des pâtes de tomate est en partie due aux protéines et aux polysaccharides (pectines, cellulose...) présents initialement dans le fruit.

Le test t démontre une différence significative entre la stérilisation à 100° et à 110°C, c'est-à-dire que la viscosité de la tomate se trouve plus affectée avec une augmentation de la température

($P<0,001$). A partir des tests de corrélation, l'Analyse en composante principale conduit aux hypothèses :

En relation avec le taux de Brix

L'effet de concentration induit une augmentation de la consistance des pâtes de tomate, qui elle-même joue un rôle de sauvegarde des MSS en diminuant les propriétés thermoconductrices lors des traitements thermiques. Veera *et col.* (1987) ont étudié les propriétés thermo-conductrices de la pâte de tomate à des concentrations allant de 18 à 28% de Brix pour différentes températures allant de 30 à 70°C à pas de 10°C. ils conclurent que la viscosité variait selon l'équation d'Arrhenius en fonction de la concentration en Brix. Ceci rejoint les mesures de corrélation du Brix et de la viscosité qui sont corrélées à $r=0.53$ (ACP axe 1-3).

En relation avec le taux d'antioxydants

Les antioxydants sauvegardent la structure native des polysaccharides en évitant l'attaque par la chaleur induisant les réactions : Oxidative reductive depolymerisation (Mitchell et col., 1991). La dégradation des pectines, celluloses et autres polymères au sein de la matrice cellulaire induit une diminution de la consistance, qui permet donc une plus grande pénétration de la chaleur lors de la pasteurisation des conserves. Sur l'axe 1-2 de la figure 2, nous remarquons que la viscosité est inversement proportionnelle au taux de Lycopène et de Tocophérol ($r=-0.89$ et $r=-0.95$), mais qu'elle reste proportionnelle à l'acide ascorbique ($r=0.99$). Ces résultats rejoignent ceux d'autres chercheurs tels que Mitchell et col. (1991). En effet, ces auteurs ont remarqué que l'addition d'antioxydants à une solution polysaccharidique chauffée, limitait les réactions d'oxydation, induisant une diminution de la consistance (Viscosité), donnant ainsi une consistance plus élevée.

En relation avec les taux de protéines

Le test de corrélation conduit aux hypothèses suivantes: La pâte de tomate étant un aliment fibreux (présence de fibres de cellulose et de protéines), les variations de la viscosité sont corrélées avec ceux des protéines ($r=0,50$). En effet, d'autres chercheurs ont observé une corrélation entre l'addition de protéines au coulis de tomate et l'augmentation de sa consistance. Dans leurs travaux, les auteurs ont conclu que, plus ils augmentaient la quantité de protéines de soja (de 0,25 à 3,0 %) au coulis de tomate, plus une augmentation de la consistance Bostwick était observée (1,7 à 26,0 %). Ceci explique clairement l'importance des protéines dans la formulation finale de la viscosité des pâtes de tomate.

Taux de Lycopène

La stérilisation agit sur les teneurs en Lycopène de la tomate en les diminuant de façon significative ($P < 0,01$). Le test t démontre une différence significative ($P < 0,01$) entre la stérilisation à 100° et à 110°C, c'est-à-dire que le taux de Lycopène varie avec l'augmentation de la température de stérilisation avec toutefois une meilleure préservation pour la stérilisation à 110°C. Les variations du taux de Lycopène étant quand même moins importantes que chez les vitamines hydrosolubles, tel que l'acide ascorbique (5.87% et 20% respectivement à 100°C et 110°C). Ce résultat confirme les études menées par différents chercheurs sur le comportement des terpènes caroténoïdiens dans les conserves alimentaires et leur bonne stabilité pendant les traitements thermiques. En effet, Nguyen et col. (1998) ont trouvé que les traitements thermiques non excessifs ne produisent pas de changement notable sur la teneur globale en lycopène, et qu'ils n'affectent que les pourcentages en isomères *Cis* et *Trans* du Lycopène (Stahl et col., 1992). Une diminution du taux de lycopène est corrélée aux variations de la viscosité de la tomate ($r = -0.89$), qui intervient en tant que facteur limitatif de la pénétration de la chaleur. En effet, Stahl démontre que la constante de destruction des caroténoïdes est inversement proportionnelle à la viscosité de la matrice (Stahl et col., 1992) démontrant par-là l'importance et le rôle de la viscosité du produit dans la préservation des différents nutriments présents dans les conserves de tomate.

Sharma et col. (1996), ont démontré qu'une diminution du taux de lycopène est observée lors des traitements thermiques de transformation de la tomate (100°C), c'est-à-dire, lors des étapes de concentration et de pasteurisation de la tomate. Ils en conclurent qu'une augmentation de la concentration du Brix, des acides organiques et des sucres contribuait fortement à sa dégradation (Blakely, 1994). Ceci conforte les résultats obtenus lors de l'expérimentation puisque les tests de corrélation révèlent une variation inverse du taux de lycopène en fonction du Brix ($r = -0.84$).

Taux de Tocophérol

Le test t de student ne révèle aucune différence significative entre les quatre lots étudiés. Aussi le pourcentage de diminution du tocophérol est sensiblement bas par rapport aux autres vitamines (-1.95% pour les tocophérols, -5.87 pour le lycopène et -20% pour l'acide ascorbique). Ceci s'explique par la bonne stabilité des tocophérols vis-à-vis des traitements à la chaleur. Etant donné la forte concentration de la vitamine E exclusivement dans les graines, les processus technologiques peuvent donner des résultats différents. On peut citer comme exemple,

que selon le diamètre des peignes des broyeurs, le passage de quantités de vitamine E peut être différent (Grolier, 2000).

Taux d'Acide Ascorbique

L'acide ascorbique est la vitamine la plus sensible à l'oxygène, aux oxydants et à la chaleur. L'oxydation de cette vitamine est influencée par différents facteurs : Elle se produit dès température ambiante, mais l'augmentation de la température l'accélère fortement. En effet, sa diminution est proportionnelle à l'augmentation de la chaleur avec -15% à 100°C et -25% à 110°C.

CONCLUSION

Les traitements thermiques provoquent des changements de conformation des molécules bio-actives, induisant une variation de la valeur nutritionnelle des aliments. D'une façon globale, les traitements employés lors de notre étude confortent les résultats des autres chercheurs, à savoir l'élimination des idées reçues sur la stérilisation industrielle des aliments, puisque les pourcentages de perte des nutriments restent mineurs par rapport aux traitements thermiques utilisés.

Certains soupçonnent encore la stérilisation d'entraîner une grave détérioration de la valeur vitaminique des produits conservés. Il a pourtant été démontré que les pertes de vitamines correspondantes sont faibles, en raison de la désaération du contenu des boîtes et de l'importance de la viscosité de la matrice ; seule la vitamine C qui résiste moins bien à la chaleur et à l'oxygène, disparaîtrait au cours de la stérilisation en proportions plus élevées. Les caroténoïdes et la vitamine E paraissent plus résistants. Un traitement thermique modéré permet de mieux conserver les vertus nutritionnelles et spécialement les teneurs en vitamines hydrosolubles. Les traitements thermiques peuvent parfois aider en augmentant la biodisponibilité des vitamines liposolubles, qui résistent mieux au traitement par la chaleur.

Aussi, la teneur en sucres (principal constituant de la résidu sec soluble ou Brix) diminue par destruction ou entrée en réaction des oses en milieu acide et à chaud. Ces variations dans les teneurs en Brix sont principalement dues aux réactions des composés tels que : protéines et sucres (réaction de Maillard).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Adrian J., juillet/août 1991. La vie et l'œuvre de Louis-Camille Maillard. *Indus. Agro Alim.* **108(1)**: 579-581.

- Agarwal S. & Rao A.V., 2000.** Tomato lycopene and its role in human health and chronic diseases. *CMAJ*, **163(6)**: 739-744.
- Blakely S.R., 1994.** Bioavailability of carotenoids in tomato paste and dried spinach and their interactions with canthaxanthin - *F.A.S.E.B. J8*: A192.
- Bodnar J. & Garton R.W., 1994.** Production de tomate de consommation en frais. Fiche technique ISSN 1198-7138 du Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales de l'Ontario. *Agdex 257/20. N°94-020*.
- Chaux C. & Foury C., 1994.** Productions Légumières: Légumineuses potagères. *Légumes fruits. Collection Agriculture d'aujourd'hui Sciences, Techniques, Applications. Éditions Lavoisier-Tec-Doc. Paris. 3 (3)*: 145-231.
- Cheftel J.C., Cheftel H. & Besançon P., 1979.** Introduction à la Biochimie et la technologie des aliments. *Technique et documentation éd. Paris. 1 (2)*: 410 p.
- Conn P.F., Schalch W. & Truscott T.G., 1993.** The singlet oxygen and carotenoid interaction. *Ann N Y. Acad. Sci.* 31; **691**: 10-19.
- Eichner K., Reutter M., Wittmann R., 1994.** Detection of Amadori compounds in heated foods. *J. Food Proc. Pres.*, **543**: 42-54
- Eichner K., Schrader I., Lange M., 1996.** Early detection of changes during heat processing and storage of tomato products. *Am. Chem. Soc. pp.* 32-44
- Gallais A. & Bannerot H., 1992.** Amélioration des espèces végétales cultivées : objectifs et critères de sélection – *INRA*. p.p. 379-391.
- Gerber M., 1999.** A role for tomatoes and lycopene in the protection from chronic degenerative diseases? The result of epidemiological studies. In: *Role and control of antioxidants in the tomato processing industry, Second bulletin on the advancement of research. A European Commission Concerted Action Programme FAIR CT 97. 3233.* 6p.
- Grierson D., 1991.** Tomato molecular biology. *Plant Sci. Repport of 1991.* University of Nottingham. pp. 21-22.
- Grolier P., 1999.** Antioxdants in the tomato fruit. In: *Role and control of antioxidants in the tomato processing industry, Second bulletin on the advancement of research. A European Commission Concerted Action Programme FAIR CT 97-3233.* 4p.
- 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.
- Halliwell B., 1994.** Free radicals and antioxidants: a personnel view. *Nutr. Rev.*, **52 (8pt 1)**:253-265.
- Hawbecker D.E., 1995.** Microbiology, Packaging, HACCP & Ingredients. *Plant Quality Control. Comstock Michigan Fruit Div., (7)*: 261-283.
- Kaegi E., 1998.** Unconventional therapies for cancer Vitamins A, C and E - on behalf of the Task Force on Alternative Therapies of the Canadian Breast Cancer Research Initiative – *CMAJ*, **158**:1483-8.
- Matos H.R., 2000.** Protective effect of lycopene on lipid peroxidative DNA. *Arch. Bioch. Bioph.* **383 (1)**: 56-59.
- Mitchell J. & Hill S., 1991.** The use of antioxidants to control polysaccharide molecular weight loss. *Food News.* University of Nottingham. p. 29.
- Neuzil J., Weber T., Gellet N., Weber C., 2000.** Selective cancer cell killing by α -tocopheryl succinate. *British Journal of Cancer.*, **84 (1)**: 87-89
- Nguyen M.L. & Schwartz S.J., 1998.** Lycopene stability during food processing. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **218 (2)**: 101-105.
- Pascaud M., 1998.** Vitamines. Encyclopædia Universalis version 4.0. France.
- Poulsen H.E., Loft S., Priem H., Vistisen K., Lykkes feltd J., Nyssonen K. & Salonen J.T., 1998.** Oxidative DNA damage *in vivo* : relationship to age, plasma antioxidants, drug metabolism, glutathion-S-transferase activity and urinary creatinine excretion. *Free Radic. Res.*, **29 (2)**: 565-571.
- Rougereau A., 1981.** Technique d'analyse et de contrôle de la qualité dans l'industrie agro-alimentaire. *TEC DOC, Lavoisier éd.*, **5**: 246-247.
- Ruasse J.P., 1998.** Comportement alimentaire: Hygiène alimentaire. Encyclopædia Universalis. Version 4.0, France.
- Shrama S.K. & Le Maguer M., 1996.** Kinetics of lycopene degradation in tomato pulp solids under different processing and storage conditions. *Food Res. Int.*, **29 (3-4)**: 309-315.
- Smith H.R., 1961.** The consistency of tomato catsup. *The Canning Trade.* **54 (1)**: 4-17.
- Stahl W, Sies H., 1992.** Uptake of lycopene and its geometrical isomers is greater from heat-processed than from unprocessed tomato juice in humans. *J. Nutr.*, **22 (11)**:2161-2166.

Stahl W. & Sies H., 1996. Lycopene: a biologically important carotenoid for humans? *Arch. Biochem. Biophys.*, **336** (1):1-9.

Stahl W., 1999. Lycopene: Bioavailability and biological properties. *In: Role and control of antioxidants in the tomato processing industry, Second bulletin on the advancement of research. A European Commission Concerted Action Programme FAIR CT 97-3233.* 2p.

Stryer L., 1988. La biochimie de Lubert Stryer. Troisième édition, traduction française de Weinman S. & Kamoun.P. *Editions Médecine-Science Flammarion.* Paris. p 571.

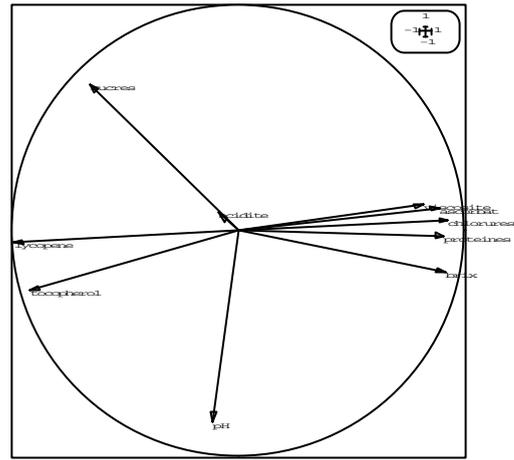
Teodorescu L., juillet/août 1991. Recherches sur les réactions entre le fructose et les acides aminés. *Ind. Agro Alim.* **108**(1): 587-592

Thioulouse J., Chessel D., Dolédec S. & Olivier J.M., 1999. ADE-4, version W1.0 – Université de Lyon-1. France.

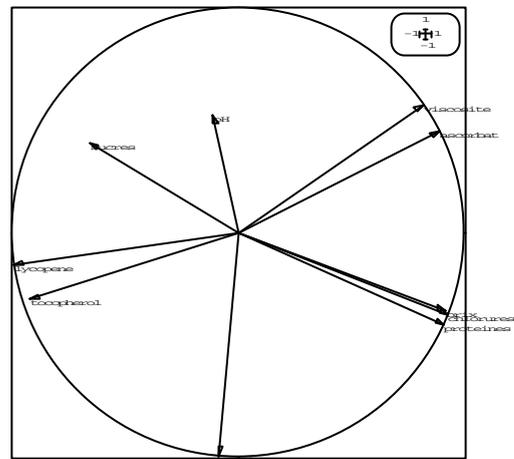
Tonucci L.H., Holden J.M., Beecher G.R., Khachik F., Davis C.S. & Mulokzi G., 1995. Carotenoid content of thermally processed tomato-based food products. *J. Agric. Food Chem.*, **43**: 579-586.

Veera C. & Sangchai S., 1987. Study of fluid flow and heat transfer properties of tomato paste. *King Mongkut's Inst. Of Technology. Thesis B. Eng in Chemistry.*

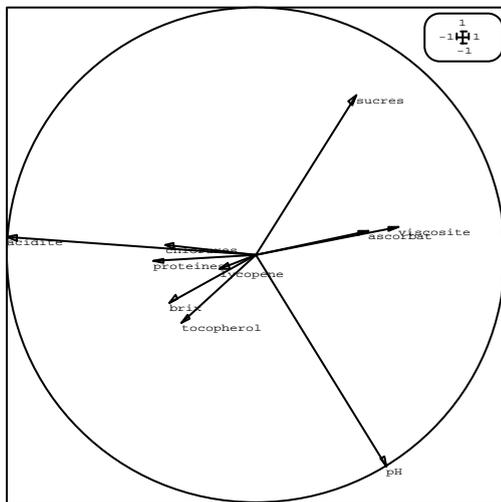
Weisberg S., 1985. Minitab reference manual. P.A. States collège, Minitab. P232.



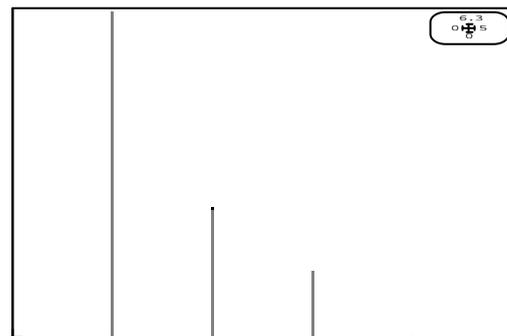
ACP Axe 1 – 3



ACP Axe 2 – 3



ACP Axe 1 – 2



Taux d'inertie par axe :	
Axe 1	: 0.6248
Axe 2	: 0.2480
Axe 3	: 0.1272

Figure 2 – Cercle de corrélation des axes 1-2; 1-3; 2-3.