

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté des Sciences de l'Ingénieur

Département de Technologie Alimentaire

Laboratoire de Recherche Technologie Alimentaire LRTA

Option : Technologie Alimentaire

MEMOIRE DE MAGISTER

Thème :

Valorisation des pelures de tomates séchées en vue de leur incorporation dans la margarine

Présenté par : Mr ZIDANI Sofiane

Soutenu devant le jury composé de :

Mr BENAMARA Salem

Mr KARABAGLI Abderahmane

Mme GOUGAM Hassina

Mr AMMOUCHE Ali

Mr BENAKMOUM Amar

Pr, UMBB

MC/A, UMBB

CC, UMBB

Pr, ENSA El harrach

CC, UMBB

Président

Examineur

Examinatrice

Promoteur

Co-promoteur

Année universitaire : 2008/2009

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Ma mère et mon père pour leur soutien, leur aide, leur patience et leur amour.

Mes frères: Kamal, Azzedine, Hakim, Laid, Yassine. A chérif.

Mes sœurs: Hassina et Radia

La famille DJERRAD

Toute ma famille

Tous mes amis.

Remerciements

Nous remercions le Dieu tout puissant de nous avoir donné le savoir et la faculté de pouvoir poursuivre nos études et de choisir un métier aussi noble.

Je remercie Mr. Benakmoum A. pour m'avoir proposé ce sujet de mémoire et à Mr. Mansouri A. pour m'avoir fortement encouragé à l'accepter.

Je remercie Mr Ammouche A. Professeur à l'Ecole National Supérieure Agronomique (ENSA EL HARRACH ALGER), pour avoir accepté de m'encadrer et de me diriger ainsi que pour ses conseils et orientations, qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

Je tiens à remercier aussi, Mr. Benakmoum A. mon co-promoteur, Maître assistant, Chargé de cours à l'UMBBoumerdes, pour ses conseils, ses discussions enrichissantes, ses orientations et ses encouragements.

Je remercie Mr MANSOURI Abdelhak, de l'INSERM, Université Paris Descartes, pour ses discussions enrichissantes, ses conseils qui m'ont permis d'évoluer dans ma vision de la recherche et de la façon de la mener, qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

Je remercie Mr Benamara S., Professeur à l'UMBBoumerdes, pour l'honneur qu'il m'a fait en présidant mon jury, pour son aide précieuse et ses orientations.

Je remercie Mr Karabagli A., Maître de conférences à l'UMBBoumerdes, d'avoir honoré ce travail en acceptant de l'examiner.

Je remercie Mme Gougam H., Chargée de cours à l'UMBBoumerdes, d'avoir honoré ce travail en acceptant de l'examiner et pour ses conseils, orientations et ses encouragements.

Je remercie vivement Melle Haderbache L. Chargée de cours à l'UMBBoumerdes, pour son assistance à la réalisation des essais de l'HPLC.

Je remercie vivement Mr. Rahal H. Directeur de production (SARL SOFAMAR), pour son assistance à la réalisation des essais de la margarine.

Mes remerciements vont également à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

ملخص

في هذا العمل قمنا بدراسة حركية تجفيف قشرة الطماطم من نوع " داموس " في 60 و 70 درجة مئوية مع استعمال ثلاثة محاليل للمعالجة الأولية ب: 1% CaCl₂ ، 0,2% NaMS و 0,2% NaMS + 1% CaCl₂ ؛ التحليل الفيزيوكيميائي لبودرة قشرة الطماطم الناتجة بالتجفيف بالحرارة و بالبرودة "Iyophilisation" واستغلال مكوناتها الفاعلة بيولوجيا وهذا باستعمالها مباشرة في تركيبة المارجرين.

المعالجة الاولية ب: 1% CaCl₂ ، 0,2% NaMS + 1% CaCl₂ و 0,2% NaMS خفضت مدة التجفيف بنسبة 9.09% ، 27.27% ، 45.45% و 6.25% ، 18.75% ، 37.5% في 60 و 70 درجة مئوية على التوالي. نموذج Page أعطى قيم عامل التوافق العالية، وقيم اختبار Chi-square الضعيفة؛ مقارنة مع نموذج Henderson Pabis et ، و لهذا السبب اخترنا نموذج Page لتحليل معطيات تجفيف قشرة الطماطم في 60 و 70 درجة مئوية. قشرة الطماطم المعالجة أظهرت طاقة تنشيط ضعيفة مقارنة مع القشرة غير المعالجة، والانتشار الفعلي للرطوبة يزداد بازدياد درجة الحرارة، حيث تصل $10^{-10} \cdot 8.53$ م/ثا² في 70 درجة مئوية مع 1% CaCl₂. قشرة الطماطم المجففة بالبرودة لها قدرة اعادة التمييه عالية.

التركيبية الفيزيوكيميائية لقشرة الطماطم المجففة أظهرت أنها غنية بالليكوبيين 126 مغ/100 غ من الوزن الجاف، الرماد 8%، الذي يحتوي أساسا على الصوديوم Na ، البوتاسيوم K ، الكالسيوم Ca و المغنيزيوم Mg ، و صف الى هذا فهي تحتوي على نسبة 0.46 % من الوزن الجاف من الفينولات و 3.12 غ/100 غ من السكريات. مستخلص قشرة الطماطم بالكحول الميثيلي و الماء 30 / 60 ، ح/ح ، أظهر فعالية ضد الأوكسدة بنسبة 75.56 % ، أكثر من BHT 70.23 % ، و α -tocopherol 57.89 % التي تستعمل كحواظ مشكله كيميائيا في المواد الغذائية. المارجرين بطبيعتها الدسمة معرضة للأوكسدة و ليست غنية بالعناصر البيوكيميائية كتلك المتوفرة في قشرة الطماطم تركيبة المارجرين المصنعة اختيرت بعد عدة تجارب على اساس بعض الخواص الفيزيوكيميائية (اللون، درجة الذوبان، تماسك المزيج دسم/ماء) و القيمة الغذائية (تركيبية الأحماض الدسمة).

التحليل الحسي بين ان المارجرين المصنعة لها لون مقبول، متجانسة، طرية و سهلة الطلي. و في 37 درجة مئوية ثابت SFC أقل من 6%، مما يدل أن مارجرين قشرة الطماطم متجانسة و تذوب بسهولة في الفم. المارجرين المتحصل عليها لها الخصائص الفيزيوكيميائية التالية: الليكوبيين 0.05 مغ/100 غ فهي مارجرين صحية، الماء 18.02%، المادة الدسمة 79.50%، المادة غير الدسمة 20.50% ، pH 4.5 ، ثابت اليود 55.36 غ I₂/100 غ مارجرين، الحموضة 0.15%، ثابت البيروكسيد 2 meq/كغ مارجرين، درجة الانصهار 36.0 درجة مئوية. هذه الخواص مطابقة لمواصفات الأنظمة المعمول بها. التحليل الكروماتوغرافي للأحماض الدهنية المكونة للمارجرين بين أنها تحتوي على جميع الأحماض الدهنية النباتية، بالإضافة إلى الأحماض الدهنية الأساسية 3 و 6، مع نسبة 0.99 بين الأحماض الدهنية المشبعة و الغير مشبعة و هي قريبة من تلك المحددة من طرف اختصاصي التغذية و المقدرة ب 0.8.

تقييم مقاومة المارجرين الغنية بالليكوبيين، للأوكسدة أظهر توافق ايجابي بين اربع اختبارات: تجربة شال، كمية الهيدرو بيروكسيد غير المشبعة، الجزيئات المتفاعلة مع حمض ثيو باريتوريك و اختبار سويفت. المارجرين الغنية بالليكوبيين، حقيقة تقاوم الأوكسدة افضل من المارجرين الشاهدة.

الكلمات الدالة : استغلال؛ قشرة الطماطم؛ المعالجة الأولية؛ تجفيف؛ نموذج؛ الليكوبيين؛ الفينولات؛ فعالية ضد الأوكسدة؛ مارجرين.

Résumé

Le présent travail porte sur la modélisation de la cinétique de séchage des pelures de tomate, avec trois prétraitements au CaCl_2 , NaMS, et le mélange des deux sels. La poudre obtenue a été caractérisée, et ses constituants mineurs ont été valorisés par incorporation directe dans une margarine de table.

Le CaCl_2 à 1%, le (CaCl_2 à 1% + NaMS à 0.2 %) et le NaMS à 0.2 % peuvent réduire la durée de séchage de 37.5 %, 18.75 %, 6.25% et de 45.45%, 27.27%, 9.09% pour les trois prétraitements, à 60 et 70 °C respectivement. Le modèle de Page donne des coefficients de corrélation les plus élevés, et les valeurs de X^2 les plus basses, par rapport au modèle de Henderson et Pabis, et pour cela on a choisi le modèle de page pour caractériser les données de séchage des pelures de tomate à 60 et 70 °C. Les pelures de tomates traitées présentent une faible énergie d'activation en comparaison avec celles non traitées, et la diffusivité effective augmente avec l'augmentation de la température, elle est de 8.5310^{-10} (m^2/s) à 70 °C avec le CaCl_2 1%.

La poudre des pelures de tomate obtenue, présente des teneurs appréciables en lycopène avec 126 mg/100g, 462 mg EAG/100g de polyphénols, et 3.12 g/100g de sucres totaux. Elle contient aussi 8 % de cendres, constitué essentiellement de Sodium, Potassium, Calcium et Magnésium. L'extrait des pelures de tomates présente une activité inhibitrice de 75.56 % supérieure à celle de l' α -tocophérol 57.89 % et du BHT 70.23 %.

Par ailleurs, la margarine est connue pour être sensible à l'altération par oxydation et pauvre en certains éléments essentiels contenus dans les pelures de tomate. Une margarine de table enrichie par les pelures de tomate, a été élaborée industriellement.

D'après l'analyse de la texture et les analyses sensorielles, la margarine élaborée présente une couleur acceptable, un aspect brillant et homogène, elle est plastique et facile à tartiner. À 37 °C, l'indice de SFC est inférieur à 6%, et donc la margarine fond facilement dans la bouche.

L'analyse de la margarine obtenue présente, les caractéristiques physico-chimiques suivantes : un pH de 4.5, un indice d'iode de 55 g d' I_2 /100g de margarine, une acidité de 0.15 %, un indice de peroxyde de 2.0 méq/Kg de margarine, un point de fusion de 36.0°C, et une teneur en lycopène de 0.05 mg/100g. Sa composition en acides gras, montre qu'elle possède toute la gamme des acides gras des huiles végétales (C_8 à C_{20}). Elle est, en outre riche en acides gras essentiels ω -3 (0.95 %) et ω -6 (14.11%), avec un rapport AGI/AGS de 0.99 proche de celui recommandé par les nutritionnistes.

L'évaluation de la stabilité oxydative, s'est révélée en corrélation positive pour les quatre tests effectués à savoir : le test de Shaal, le dosage des diènes conjugués par spectrophotométrie, le dosage des substances réagissant avec l'acide thiobarbiturique, et le test de stabilité de Swift. La margarine enrichie en lycopène, s'est avérée plus résistante à l'oxydation, que la margarine témoin.

Mots clés : Valorisation ; pelures de tomate ; prétraitement ; séchage ; modélisation ; lycopène ; polyphénols ; activité antioxydante ; margarine.

Abstract

This work concerns the characterization of the tomato peel powder and the valorization of its minor components by incorporation direct in a margarine receipt.

The drying characteristics of tomato peel were investigated at 60 and 70 °C. Prior to drying, tomato peel were subjected to dipping in three solution (CaCl₂ 1%, NaMS 0,2 %, CaCl₂ 1%+ NaMS 0,2%) Also, drying of tomato peel was taken as a control. During the experiments, tomatoes were dried to the final moisture content of 3 % from 94.5%. It has been found that pre-treatment and air temperature affect the course and rate of drying. The increase in the air temperature in the range 60–70 °C markedly increased the drying rate of tomato peel. The experimental data were fitted to two drying models: Henderson and Pabis, and Page models. The models were compared using the coefficient of determination and reduced chi-square. The Page model best described the drying curve of tomato peel. The effective diffusivity at each temperature was determined. The effective diffusivity of pre-treated and untreated tomato peel varied between $4.91 \cdot 10^{-10}(\text{m}^2/\text{s})$ and $8.53 \cdot 10^{-10}$. The temperature dependence of the diffusivity coefficient was also described by the Arrhenius type relationship. The activation energy of tomato peel was in the range of 16.40 kJ/mol-30.94 kJ/mol.

The physicochemical characteristics of tomato peel powder show that it's rich in lycopene (126 mg/100g), in fiber (29.94 g/100g DM), in ashes (2 % DM) essentially made of K, Ca, Mg and of total polyphenols (0.46 % DM). An extract of tomato peel by cold extraction using a mixture water /mehanol (50/50 v/v) and concentrate at low temperature, presents an interesting antioxydant activity of 75.56 % superior to that of the α -tocophérol 57.89 % and the BHT 70.23 %.

In addition, the margarine is known to be sensitive to deterioration by oxidation and low in certain essential elements contained in the date extract. A margarine receipt low calorie added with the date extract was elaborate after several tests, on the basis of physical criterion (melting point, color and stability of the emulsion) and nutritional (equilibrium of fatty acids). According to the analysis of texture and sensory analysis, the elaborate margarine has an acceptable color, aspect shining, homogenized, it is plastic and easy to paste. At 37 °C, the index of SFC is lower than 6%, and thus the margarine melts easily in the mouth.

The analysis of the product obtained shows the following physicochemical characteristics: lycopène (0.05 mg/100g), H₂O (18.02 %), no fat (20.50 %), fat content (79.50 %), pH (4.5), iodine value (55,36 g I₂/100g of margarine), acidity (0.15 %), peroxyde value (2.0 margarine méq/Kg), melting point (36,0 °C), in conformity with a good quality product. Its composition in fatty acids determined by CPG, shows that it has all the fatty acids of vegetal oils (C₈ with C₂₀). It is moreover rich in essential fatty acids ω -3 (0,95 %) and ω -6 (14,11 %), with a ratio AGPI/AGS of 0,99 close relation of that recommended by the nutritionists (about 0.8).

The evaluation of oxydative stability, appeared in positive correlation for the four tests: Shaal test, the proportions of dienes by spectrophotometry, TBARS and the test of stability of Swift. The margarine enriched in lycopene, proved more resistant to oxidation, than the pilot margarine.

Keywords: Valorisation; tomato peels; pre-treatment; drying; modelisation; lycopene; polyphenols ; antioxydant activity; margarine.

SOMMAIRE

Remerciements

Sommaire

Introduction 1

Chapitre I_SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Tomate et qualité des fruits	3
I.1. La tomate... ..	3
I.2. Production de la tomate	3
I.3. Développement du fruit de tomate.....	4
I.4. Qualité organoleptique du fruit de tomate	7
I.5. Composition biochimique de la tomate	8
I.5.1. Constituants majeurs	8
I.5.2. Constituants mineurs.....	8
I.6. Fruits, légumes et les antioxydants	9
I.7. Antioxydants de la tomate	9
I.7.1. Polyphénols.....	9
I.7.2. Caroténoïdes	10
I.8. Effets biologiques du lycopène.....	12
II. Transformation industrielle des tomates	14
II.1. Généralités sur le séchage.....	14
II.2. Prétraitements, le séchage et qualité des produits séchés.....	15
III. Généralités sur la margarine	15
III.1. Définition	15
III.2. Composition globale de la margarine.....	16
III.3. Type de margarines	16
III.4. Schéma général de fabrication de la margarine	16
III.4.1. Additifs liposolubles	17
III.4.2. Additifs hydrosolubles.	17
III.5. Margarine enrichie en phytostérols	18
III.6. Acides gras <i>trans</i> et leurs impacts sur la santé.....	18
III.6.1. Généralités.....	18
III.6.2. Réduction des AGT : les procédés mis en œuvre.....	20

IV. Oxydation et antioxydants	23
III.1. Introduction	23
III.2. Mécanismes réactionnels de l'autoxydation	24
<i>Comment réagit le lycopène vis-à-vis de l'oxydation ?</i>	25

Chapitre 2 _ MATERIELS ET METHODES

I. Le matériel végétal	27
II. Les Méthodes	27
II.1. Caractérisation physique de la tomate (DAMOUS).....	27
II.2. Obtention et caractérisation physico-chimique de la poudre des pelures de tomate	27
II.2.1. Détermination de la teneur en eau des pelures de tomate.....	27
II.2.2. Processus du séchage.....	28
II.2.2.1. Séchage par l'air chaud.....	28
II.2.2.2. Séchage par lyophilisation.....	29
II.2.3. Prétraitements avant le séchage	29
II.2.4. Capacité de réhydratation	29
II.2.5. Modélisation mathématique des cinétiques de séchage	29
II.2.6. Analyses des données de séchage.....	30
II.2.6.1. Calcul de la diffusivité effective et de l'énergie d'activation.....	31
II.2.7. Analyses physicochimiques de la poudre obtenue	32
II.2.7.1. Teneur en eau.....	32
II.2.7.2. Détermination du pH	32
II.2.7.3. Détermination de l'acidité titrable	32
II.2.7.4. Brunissement non enzymatique.....	33
II.2.7.5. Teneur en cendres	33
II.2.7.6. Teneur en éléments minéraux.....	33
II.2.7.7. Sucres totaux.....	34
II.2.7.8. Détermination du résidu sec soluble.....	34
II.2.8. Détermination de la couleur	35
II.2.9. Teneur en lycopène des pelures séchées.....	35
II.2.10. Quantification du lycopène des pelures lyophilisées.....	35
II.2.11. Teneur en polyphénols.....	36
II.2.12. Détermination de l'activité antioxydante	37

Chapitre 3 _ ELABORATION ET CARACTERISATION D'UNE MARGARINE DE TABLE

I. Processus de fabrication de la margarine	38
I.1. Formulation.....	38
I.2. Test de l'émulsion	39
I.3. Processus et technologie de fabrication	39
II. Caractérisation physico-chimique et microbiologique	40
II.1. Analyses microbiologiques.....	40
II.2. Caractérisation physicochimique de la margarine.....	40
II.2.1. Teneur en eau et matières volatiles.....	40
II.2.2. Détermination du gras et du non gras	40
II.2.3. Teneur en acides gras par CPG.....	41
II.2.4. pH	42
II.2.5. Indice d'iode	42
II.2.6. Acidité	42
II.2.7. Indice de peroxyde.....	42
II.2.8. Point de fusion	43
II.2.9. Propriété de la couleur	43
II.3. Analyse de la texture	44
II.4. Analyse sensorielle	44
II.5. Estimation du taux de lycopène par spectrophotométrie.....	44
II.6. Evaluation de la stabilité oxydative de la margarine	45
II.6.1. Test de Shaal.....	45
II.6.2. Spectrophotométrie directe d'hydroperoxydes insaturés	45
II.6.3. Dosage des substances réagissant avec TBA (TBARS).....	46
II.6.4. Test de stabilité de Swift	46

Chapitre 4 _ RESULTATS ET DISCUSSION

I. Caractéristiques morphologiques de la tomate	48
II. Modélisation de la cinétique de séchage	48
II.1. Teneur en eau.....	48
II.2. Effets des prétraitements sur le temps de séchage.....	48
II.3. Modélisation de la cinétique de séchage	51
II.4. Calcul de la diffusivité effective et de l'énergie d'activation.....	52
II.5. Capacité de réhydratation	53

II.6. Qualité de la poudre des pelures de tomate	54
II.7. Teneur en lycopène.....	56
II.8. Propriétés de la couleur	56
II.9. Teneur en cendres	57
II.10. Teneur en éléments minéraux.....	58
II.11. Teneur en polyphénols totaux.....	59
II.12. Activité antioxydante de l'extrait des pelures de tomate.....	59

III. Elaboration et caractérisation d'une margarine enrichie en lycopène

III.1. Elaboration de la margarine enrichie en lycopène	60
III.2. Caractérisation de la margarine enrichie en lycopène.....	61
III.2.1. Analyses microbiologiques	61
III.2.2. Caractéristiques physicochimiques	61
III.3. Composition en acides gras	62
III.4. Propriété de la couleur.....	64
III.5. Teneur en lycopène	64
III.6. Analyse de la texture	65
III.7. Analyse sensorielle.....	66
III.8. Stabilité oxydative de la margarine	69
III.8.1. Test de Shaal	69
III.8.2. Spectrophotométrie directe d'hydroperoxydes insaturés	70
III.8.3. Peroxydation des lipides de la margarine.....	71
III.8.4. Test de stabilité de Swift	71

Conclusion.....	73
------------------------	-----------

Références bibliographiques

Annexes

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 Coupes transversale (a) et longitudinale (b) d'un fruit de tomate à maturité ...	6
Figure 1.2 Différentes phases du développement du fruit de tomate	6
Figure 1.3 Principales modifications intervenant au cours du développement et de la maturation du fruit de tomate	7
Figure 1.4 Biosynthèse des caroténoïdes	11
Figure 1.5 Structure moléculaire du lycopène.....	11
Figure 1.6 Mécanisme proposé pour le rôle du lycopène dans les maladies chroniques	13
Figure 1.7 Comportement à la fusion des acides gras <i>trans</i>	19
Figure 1.8 Influence de la qualité du catalyseur et de la température sur la formation d'AGT, en fonction du degré de saturation souhaité	20
Figure 1.9 Fractionnement de l'huile de palme	21
Figure 1.10 Redistribution des acides gras sur le glycérol (Interestérisation).....	22
Figure 1.11 Combinaisons de procédés générant peu ou pas d'AGT	22
Figure 1.12 Schéma simplifié de l'oxydation des AGI, réaction de lycopène vis-à-vis de l'oxydation	24
Figure 2.1 Synthèse schématique du matériel végétal utilisé en relation avec les questions de recherche posées	26
Figure 3.1 Peroxydation d'une portion de chaîne d'acide gras insaturé	45
Figure 3.2 Condensation du dialdéhyde malonique par le 2- acides thiobarbiturique	46
Figure 3.3 Dispositif du test de Swift.....	47
Figure 4.1 Influence de la température de séchage et du prétraitement sur le temps de séchage des pelures de tomate	49
Figure 4.2 Variation du rapport d'humidité avec le modèle Page en fonction du temps, à 60 °C pour les pelures de tomate traitées par CaCl ₂ et celles non traitées	50
Figure 4.3 Variation du rapport d'humidité avec le modèle Page en fonction du temps à, 60 °C pour les pelures de tomate traitées par NaMS et celles non traitées	50
Figure 4.4 Variation du rapport d'humidité avec le modèle Page en fonction du temps à, 60 °C pour les pelures de tomate traitées par CaCl ₂ + NaMS et celles non traitées	50

Figure 4.5 Variation du rapport d'humidité avec le modèle Page en fonction du temps, à 70 °C pour les pelures de tomate traitées par CaCl ₂ et celles non traitées	50
Figure 4.6 Variation du rapport d'humidité avec le modèle Page en fonction du temps, à 70 °C pour les pelures de tomate traitées par NaMS et celles non traitées	51
Figure 4.7 Variation du rapport d'humidité avec le modèle Page en fonction du temps, à 70 °C pour les pelures de tomate traitées par CaCl ₂ + NaMS et celles non traitées	51
Figure 4.8 Influence de la température sur la diffusivité effective	53
Figure 4.9 Courbe d'étalonnage du glucose.....	A1
Figure 4.10 Teneur en lycopène des pelures séchées à différents prétraitements	56
Figure 4.11 Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.....	A1
Figure 4.12 Indice SFC de la margarine témoin et de celle enrichie en lycopène	66
Figure 4.13 Variation de l'acidité en fonction du temps	69
Figure 4.14 Variation de l'indice de peroxyde en fonction du temps	69
Figure 4.16 Courbe d'étalonnage du lycopène.....	A1
Figure 4.17 Courbe d'étalonnage du lycopène par HPLC	A1

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 Evolution des surfaces, et de la production de la culture de la tomate	4
Tableau 1.2 Evolution de la superficie, production et rendement de la culture de la tomate industrielle en Algérie	5
Tableau 1.3 Composition biochimique de la tomate crue et de la tomate pelée	A2
Tableau 1.4 Composition biochimique des pelures de tomate séchées	A2
Tableau 1.5 Principaux antioxydants et l'activité antioxydante des différentes fractions de la tomate	9
Tableau 1.6 Contenu en caroténoïdes des tomates et du jus de tomate	10
Tableau 2.1 Détermination de l'absorbance et la teneur en lycopène des différents échantillons en fonction du facteur de dilution et de solvant d'extraction	A1
Tableau 4.1 Caractéristiques morphologiques de la tomate fraîche « DAMOUS »	48
Tableau 4.2 Valeurs critiques des deux modèles	52
Tableau 4.3 Valeurs de la diffusivité effective	52
Tableau 4.4 Valeurs de la capacité de réhydratation des pelures de tomate séchées.....	54
Tableau 4.5 Effet des prétraitements sur la qualité de la poudre obtenue.....	54
Tableau 4.6 Paramètres de couleur des pelures de tomate.....	57
Tableau 4.7 Teneur en éléments minéraux des pelures de tomate.....	58
Tableau 4.8 Activité antioxydante de l'extrait des pelures de tomate	59
Tableau 4.9 Recette de la margarine témoin et de la margarine enrichie en lycopène	60
Tableau 4.10 Qualité hygiénique de la margarine enrichie en lycopène	61
Tableau 4.11 Caractéristiques physico-chimiques de la margarine enrichie en lycopène	61
Tableau 4.12 Composition en acides gras de la margarine enrichie en lycopène.....	62
Tableau 4.13 Paramètres de couleur de la margarine enrichie en lycopène	64
Tableau 4.14 Indice SFC de la margarine témoin et de celle enrichie en lycopène	65
Tableau 4.15 Description complète de la qualité gustative de la margarine enrichie en lycopène.....	67
Tableau 4.16 Tests de dégustation	68
Tableau 4.17 Dosage de l'hydro peroxyde linoléique	70
Tableau 4.18 Contenu des margarines en substances réagissant avec le TBA	71
Tableau 4.19 Résultats du test de Swift	72

AGI	Acides gras insaturés
AGMI	Acides gras monoinsaturés
AGPI	Acides gras polyinsaturés
AGS	Acides gras saturés
AL	Acide linoléique
AOCS	American Oil Chemistry Society
BNE	Brunissement non enzymatique
BHA	Butylhydroxyanisol
BHT	Butylhydroxytoluène
CPG	Chromatographie en phase gazeuse
CaCl₂	Chlorure de Calcium
D_{eff}	Diffusivité effective (m ² /s)
Da	Dalton
E_a	Energie d'activation (kJ/mol)
EAG	Equivalent acide gallique
FID	Détecteur à ionisation de flamme
H_R	Humidité relative
HPLC	Chromatographie liquide à haute performance
LDL	Low-density lipoprotein (lipoprotéine basse densité)
MF	Matière fraîche
MS	Matière sèche
MA	Ministère de l'agriculture
NaMS	Bisulfite de Sodium
PTL	Pelures de tomate lyophilisées
RH	Rapport d'humidité
R²	Coefficient de détermination
RMN	Résonance magnétique nucléaire
SM	Spectroscopie de masse
SAA	Spectroscopie d'absorption atomique
TBARS	Acide thiobarbiturique, substances réactives
TEAC	Antioxidant Capacity Trolox Equivalent
UV	Ultra-Violet
X²	Chi-square
SFC	Solid fluid contenu

INTRODUCTION

Introduction Générale

Avec une production mondiale de 124 millions de tonnes (FAO 2008), la tomate, considérée comme fruit ou légume, est l'un des produits agricoles le plus consommé dans le monde [1]. Il constitue une source non négligeable de minéraux, vitamines et certains composés naturels secondaires ayant un potentiel antioxydant important.

Une partie de cette production est consommée telle qu'elle et l'autre plus grande, est transformée industriellement en purée, jus de tomate et sauces. Cette transformation génère de grandes quantités de sous-produits non utilisés ; constitués essentiellement des graines et de pelures. Ces déchets sont riches en composés biologiquement actifs d'où l'importance de leur utilisation comme additifs alimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques [2].

En Algérie, la technologie de transformation de la tomate se limite à la production des concentrés et des Ketchups. Pourtant, un développement réfléchi de cette technologie par la maîtrise des procédés et la recherche de nouveaux débouchés pour les pelures de tomate, peut être d'un grand apport. Le recyclage des sous-produits accumulés pendant le processus de fabrication en grandes quantités, contribuerait à limiter l'impact de cette industrie sur l'environnement.

La réintégration de ces sous-produits agricoles dans les aliments peuvent contribuer à donner une valeur ajoutée à ces « déchets ». Les composés biologiquement actifs de ces sous-produits permettraient d'avoir un double impact sur les nouveaux aliments ainsi élaborés.

En effet, ces produits naturels contribueront à apporter une meilleure qualité des aliments sur les plans technologiques et particulièrement sur le plan nutritionnel.

Cette approche valorisante, aboutira à l'élaboration de nouveaux aliments fonctionnels avec un impact préventif contre une multitude de maladies.

Le séchage ou la lyophilisation des pelures de tomate demeure la forme la plus adéquate, afin d'obtenir une poudre riche en composés phénoliques et surtout en caroténoïdes en particulier le lycopène [3].

L'addition directe de la poudre des pelures de tomates dans les produits alimentaires, telles que les margarines pourrait être une meilleure solution que l'utilisation du lycopène pur. Selon la bibliographie, il n'existe aucune étude se rapportant à l'utilisation des pelures de tomates séchées dans les margarines. Des travaux ont été réalisés sur l'influence du jus de tomates sur la composition et les caractéristiques de qualité des saucisses cuites à faible teneur en matière grasse

ainsi que l'effet du lycopène de la tomate séchée par soleil, la pâte de tomate sur la qualité des viandes hachées [2].

Le but de cette étude est la valorisation des pelures de tomate, sous forme de poudre séchée ou lyophilisée, comme additif alimentaire naturel dans la margarine en substitution aux additifs synthétiques couramment utilisés (α -tocophérol, β -carotène). Ce choix est motivé par la grande capacité antioxydante du lycopène ainsi que son caractère hydrophobe faisant de la margarine un excellent solvant, permettant non seulement de protéger cette dernière contre l'oxydation mais aussi rendre le lycopène mieux biodisponible. Ainsi, cette étude s'attellera en premier lieu à étudier la cinétique de séchage des pelures de tomate, en second lieu, à évaluer sa qualité microbiologique et sa composition chimique. Enfin La poudre de pelures de tomate obtenue sera incorporée dans une margarine dont la qualité sera évaluée par plusieurs tests.

CHAPITRE I
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 1: Synthèse bibliographique

I. La tomate et qualité des fruits

I.1. Historique de la tomate

Le terme "Tomate" dérive du mot inca *Tomalt*. Elle fut découverte par les conquérants espagnols en Amérique du Sud au XVI^{ème} siècle. Elle fit sa première apparition en Europe dans les jardins sévillans (en Espagne) de quelques monastères qui se spécialisaient à cultiver des curiosités du Nouveau Monde.

En 1806, un américain affirme que la tomate rehausse le goût des sauces et des potages. Trois ans plus tard, Thomas Jefferson se porte à la défense de ce fruit. A partir de 1830, on ne parle plus que de la tomate. L'offensive médiatique fait tomber les dernières barrières et les éditeurs se lancent dans la publication de livres, de recettes, de périodiques horticoles et de chroniques médicales [4].

Aujourd'hui, la plante tropicale s'est adaptée à des régions plus froides que celles de son pays d'origine et la tomate est cultivée dans les pays chauds ou tempérés du monde entier [4].

I.2. Production de la tomate

La tomate est, après la pomme de terre, le légume le plus consommé dans le monde. Elle est cultivée sous toutes les latitudes ce qui suppose une grande plasticité originelle. La production mondiale progresse régulièrement de 64 millions de tonnes en 1988 à 75 millions de tonnes en 1993, pour dépasser les 100 millions de tonnes en 2000. On estime que 30% de cette production est transformée.

En Algérie, la filière de la tomate industrielle vit une situation où l'on ne peut parler ni d'abandon ni de prise en charge totale (Tableau 1.1). Elle est principalement cultivée dans les régions Est (Tableau 1.2) : Annaba, El Taref, Guelma, Skikda, avec une superficie agricole utile (SAU) de plus de 60 %. La région est connue pour sa production de tomates destinées à la transformation industrielle. Cette filière produisant principalement du double concentré de tomate, a contribué des années durant au développement socio-économique du pays, les 17 usines implantées, représentent 80% de la production nationale. Après un développement économique efficient, résultant des investissements industriels importants (création de 120.000 postes d'emploi en amont et en aval du cycle d'exploitation) dans le domaine de la transformation et de la conserverie, ayant abouti à la couverture totale des besoins nationaux, la filière a connu une régression, cette dernière décennie qui s'est traduite par un faible rendement de production à

l'hectare (15 Tonnes/ha), un appauvrissement des sols et abondant de la culture de la tomate industrielle, déperdition des terres agricoles (un potentiel de 30.000 ha), faible utilisation des variétés hybrides à haut rendement, mise en faillite et fermeture de la moitié des unités de transformation avec la suppression de 30.000 emplois, recours à l'exportation pour palier aux déficits (soit une facture annuelle de 100 Millions de dollars US) (ministère de l'agriculture).

Tableau 1.1 : Evolution des surfaces, productions et rendements de la culture de la tomate d'industrie (Ministère de l'agriculture 2007).

Année	Surfaces (ha)	Production (qx)	Rendement (qx/ha)
1996	27 300	4 371 320	160,1
1998	30 160	4 355 240	144,4
2000	27 200	4 753 920	174,8
2001	23 070	4 569 970	198,1
2002	24 690	4 135 770	167,5
2003	27 080	4 301 640	158,8
2004	27 307	5 800 780	212,4
2005	21 265	5 096 650	239,7
2006	10569	2 472 265	233,9
Moyenne 1990-2006	26 102	4 287 046	161,9

I.3. Développement du fruit de tomate

La tomate est un fruit déhiscent appartenant à la famille des baies qui est issu du développement accru de l'ovaire après fusion des parois des carpelles. Ainsi, le fruit de tomate se caractérise par une structure complexe associant différents tissus aux caractéristiques spécifiques, particulièrement à maturité (Figure 1.1).

Les cavités loculaires (loges) sont délimitées par le péricarpe externe, le septum ou péricarpe radial et la columelle ou péricarpe interne. Les graines portées par le placenta sont enveloppées dans le tissu loculaire (gel) qui occupe, dans des proportions variables, la loge. Au niveau du péricarpe externe, trois parties se distinguent: la peau ou exocarpe protégée par une fine cuticule, le mésocarpe et l'endocarpe qui constituent la chair [4]. Quelques heures après anthèse, la fécondation a lieu et la nouaison du fruit est activée au niveau de l'ovaire par les auxines.

Tableau 1.2 : Evolution des superficies, production et rendement de la culture de la tomate industrielle dans les principales wilayas productrices de l'Algérie (MA en 2007).

wilaya	2003			2004			2005			2006		
	Superficie (ha)	Production (qx)	Rdt (qx/ha)	Superficie (ha)	Production (qx)	Rdt (qx/ha)	Superficie (ha)	Production (qx)	Rdt (qx/ha)	Superficie (ha)	Production (qx)	Rdt (qx/ha)
SKIKDA	8 184	1 190 000	145,4	7 209	1 830 000	253,8	6 760	2 000 000	295,9	2 887	744 000	257,7
ANNABA	6 520	956 040	146,6	7 000	1 235 000	176,4	5 150	927 500	180,1	3 100	465 000	150,0
ELTARF	6 800	944 000	138,8	7 460	1 300 000	174,3	4 390	952 450	217,0	1 380	450 000	326,1
GUELMA	2 365	384 800	162,7	2 470	467 260	189,2	2 135	392 500	183,8	1 220	247 000	202,5
TIPAZA	400	107 700	269,3	380	142 000	373,7	393	150 000	381,7	339	150 980	445,4
BOUMERDES	200	44 000	220,0	250	75 000	300,0	350	105 000	300,0	300	90 000	300,0
ALGER	295	86 300	292,5	315	95 000	301,6	260	67 950	261,3	222	65 140	293,4
TOTAL ALGERIE	27 080	4 301 640	158,8	27 307	5800780	212,4	21 265	5 096 650	239,7	10 569	2472265	233,9

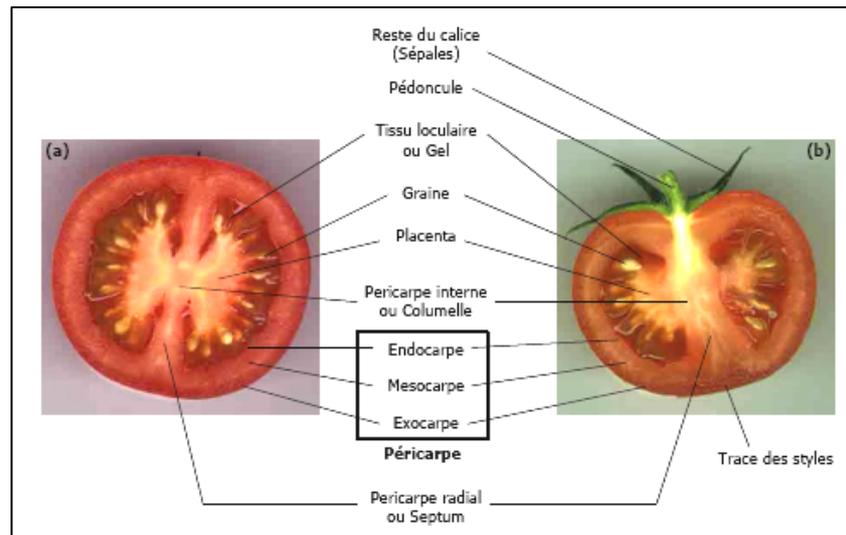


Fig. 1.1 Coupes transversale (a) et longitudinale (b) d'un fruit de tomate à maturité [1]

La première phase de croissance (Figures 1.2 et 1.3) se caractérise par une courte période de divisions mitotiques intensives au niveau des cellules du péricarpe. Le nombre d'ovules fécondés détermine le taux de croissance de l'ovaire et le taux de division cellulaire et le nombre de cellules présentées à la fin de la phase active des divisions mitotiques est en étroite relation avec la taille finale du fruit. La deuxième étape du développement du fruit débute environ deux semaines après l'anthèse. Elle correspond à une phase d'expansion cellulaire au niveau du mésocarpe et du placenta ainsi qu'au développement de l'embryon dans les graines. Les auxines seraient impliquées dans l'initiation de l'expansion cellulaire tandis que les gibbérellines permettraient la poursuite du processus [1].

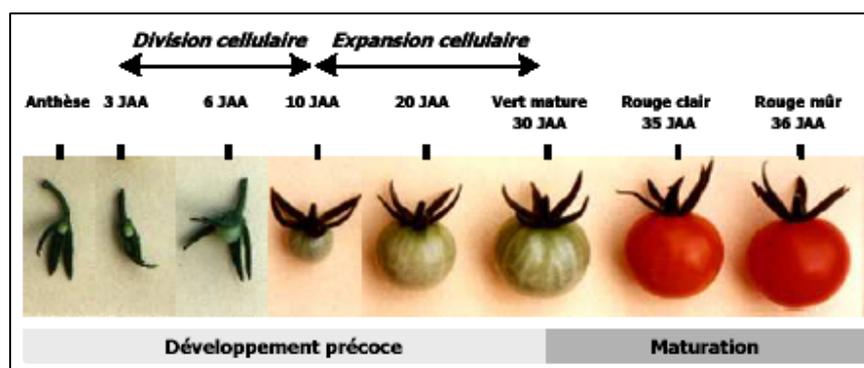


Fig. 1.2 Différentes phases du développement du fruit de tomate [1]

Au cours des premières phases de l'expansion cellulaire, le taux de division cellulaire décroît. Dès ces stades précoces, l'accumulation symplastique d'amidon au niveau du péricarpe se produit

et serait un facteur déterminant pour l'assimilation rapide des hexoses au niveau de l'apoplaste à maturité. La croissance des cellules peut atteindre des proportions équivalentes à 10 fois la taille initiale et s'accompagne d'une augmentation du niveau de ploïdie qui passe de 2 à 256. L'évolution relative en terme de division cellulaire, d'expansion cellulaire, de respiration, de synthèse d'éthylène, d'accumulation de caroténoïdes et de maturation du fruit est illustrée dans la figure I.3.

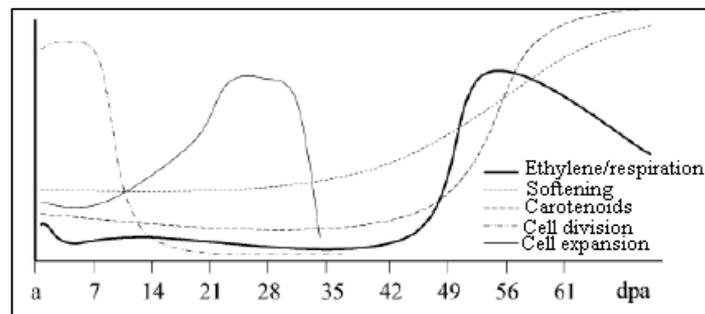


Fig. I.3. Principales modifications intervenant au cours de la maturation du fruit de tomate [1]

A l'issue de ces phases de différenciation cellulaire, le fruit au stade vert mature a atteint sa taille finale et les graines sont à maturité. Le péricarpe externe est composé de petites cellules au niveau de l'exocarpe et de cellules polyploïdes, allongées, présentant de grandes vacuoles au niveau du mésocarpe. Le tissu loculaire, également composé de cellules polyploïdes, prend un aspect gélatinifé et ainsi la maturation du fruit commence (Fig.1.2).

En résumé la valeur nutritive est maximale quand l'aliment a atteint son plein état de maturité dans les conditions naturelles sous l'effet de l'éthylène. L'amidon disparaît progressivement, remplacé par du saccharose, puis, en partie, par du fructose et du glucose. Les substances pectiques sont solubilisées et dépolymérisées, entraînant le ramollissement du fruit. L'action enzymatique diminue l'acidité, donc le rapport sucre/acide s'élève. La couleur du fruit se modifie par dégradation de la chlorophylle, les pigments caroténoïdes et les anthocyanes synthétisés lors de la maturation sont alors démasqués. Les composés de l'arôme des fruits sont synthétisés [4].

I.4. Qualité organoleptique du fruit de tomate

La qualité organoleptique d'un fruit réunit l'ensemble des composantes évaluées par quatre des cinq sens. La vue et le toucher sollicités au moment de l'achat où une attention particulière sera apportée à la couleur, la forme et la fermeté du fruit. L'odorat et le goût interviennent au moment de la consommation pour la perception des saveurs, sucrées et acides

essentiellement, des arômes et de la texture en bouche. La flaveur (saveur et arômes) du fruit se caractérise majoritairement par des composantes chimiques associées à la teneur en sucres et en acides [5]. La perception des saveurs sucrées et acides est principalement associée aux teneurs en fructose et en acide citrique. Concernant l'intensité aromatique, plus de 400 composés volatils ont été identifiés chez la tomate, mais seul un sous-ensemble est important dans la perception des arômes, le nombre variant d'une trentaine à une dizaine selon les études. Enfin, de nombreux attributs sont utilisés pour décrire la texture du fruit tels que la fermeté, la farinosité, la jutosité, la peau gênante, le fondant, le croquant [6].

I.5. Composition biochimique de la tomate

La composition biochimique des fruits de tomate fraîche dépend de plusieurs facteurs, à savoir : la variété, l'état de maturation, la lumière, la température, la saison, le sol, l'irrigation et les pratiques culturales.

I.5.1. Constituants majeurs

Contrairement à la plupart des fruits, la tomate est un aliment très peu énergétique, car prise crue, elle n'apporte qu'environ 22 Kcalories/100 g et 26 Kcalories/100 g à l'état cuit (tableau 1.3). La tomate comme la plupart des légumes, présente une bonne densité nutritionnelle avec : 95% d'eau et 5% de matière sèche composée de 50% de sucres (fructose et glucose), 25% d'acides organiques (acides citriques et maliques), 8% de minéraux, 2% d'acides aminés, de caroténoïdes et autres métabolites secondaires [8], c'est aussi une source de fibres (2 g /100g) soit le quart des apports nutritionnels conseillés.

I.5.2. Constituants mineurs

La tomate contient aussi de nombreux minéraux et oligoéléments et comme la plupart des fruits et légumes, elle apporte beaucoup de potassium (245,0 mg/ 100g) ce qui fait d'elle une source appréciable de cet important minéral. Elle peut fournir également 50 à 160 mg de vitamine C et 22,5 à 90 mg de vitamine E. Parmi les phytoconstituants, elle contient des polyphénols (l'acide férulique, l'acide chlorogénique, l'acide caféique), [9] des flavonoïdes (la quercitine, le kaempférol, la rutine et la naringénine), et des caroténoïdes, en particulier le lycopène.

I.6. Les fruits, les légumes et les antioxydants

Les études d'intervention visant à montrer qu'une alimentation riche en fruits et légumes a une incidence positive sur les taux plasmatiques en antioxydants sont très diversifiées et surtout concluantes. L'ensemble des études épidémiologiques dans diverses régions du globe montre indéniablement que la consommation de fruits et légumes entraîne une augmentation significative de la concentration plasmatique en antioxydants, dont la vitamine C et divers caroténoïdes comme l' α - et le β -carotène, la lutéine et le lycopène [11-26]. Ainsi, il a été montré que la consommation de trois à huit portions de fruits et légumes par jour permet, après deux semaines, d'augmenter significativement la concentration plasmatique en vitamine C et en β -carotène de 72,8 et 53 %, respectivement [27]. Par ailleurs, dans une étude récente, il a été montré que la non-consommation de fruits et légumes conduit à la diminution des taux sériques en vitamine C de l'ordre de 3,55 $\mu\text{g/ml}$ et d'autres antioxydants, constituant, de ce fait, un risque majeur pour l'incidence des maladies cardiovasculaires [28].

I.7. Antioxydants de la tomate

Le tableau 1.5 récapitule les principaux antioxydants et l'activité antioxydante des différentes fractions de la tomate.

Tableau 1.5 : Principaux antioxydants et l'activité antioxydante des différentes fractions de la tomate [29]

Fractions	Polyphénols totaux (mg EAG/100g)		Flavonoïdes mg rutine (eq/100g)	Lycopène (mg/100g)	Acide ascorbique (mg/100g)	Activité antioxydante (μM TEAC/100g)	
	Hydrophile	lipophile				Hydrophile	lipophile
Pelure	29.1	5.6	20.4	8.7	16.9	212.6	18.5
Purée	12.7	2.3	8.2	2.8	8.9	81.8	7.0
Graines	22.0	3.5	12.1	1.6	8.4	114.0	9.4

I.7.1. Les polyphénols

Les polyphénols sont capables de piéger les radicaux libres découlant aussi bien des réactions d'oxydation de différents nutriments que de celles de l'organisme. La richesse des structures des polyphénols en résidus hydroxyles, leurs confère une meilleure capacité à neutraliser les radicaux libres. Etant des antioxydants primaires et radicalaires, ils peuvent ralentir la formation de radicaux libres et interrompre la chaîne autocatalytique. Toutefois, les

mécanismes par lesquels les polyphénols peuvent avoir des effets protecteurs sur la santé via une action antioxydante ne sont pas bien élucidés [30].

Les composés phénoliques de la tomate sont des antioxydants actifs [29] et contribuent aux effets synergiques avec de lycopène. Des effets antioxydants synergiques contre l'oxydation de LDL ont été obtenus quand le lycopène a été employé en association avec différents polyphénols [32].

I.7.2. Les caroténoïdes

Les caroténoïdes sont des pigments liposolubles qui contiennent une chaîne centrale hautement poly-insaturée. La structure de base des caroténoïdes est formée d'une longue chaîne hydrocarbonée en C18 où alternent simples et doubles liaisons portant quatre groupements méthyles, et de cycles en C6 (β -ionone), situés à chacune des extrémités de cette chaîne.

Les caroténoïdes peuvent être de couleur rouge, jaune, ou orange et sont largement distribués dans la nature. Plus de 700 caroténoïdes naturels identifiés jusqu'à présent, dont 50 peuvent être absorbés et métabolisés par le corps humain (Tableau 1.6). Cependant, seulement 14 caroténoïdes ont été identifiés dans le sérum humain, dont le lycopène comme étant le plus abondant [32]. Chimiquement, les caroténoïdes peuvent être divisés en deux classes principales. La première classe contient les caroténoïdes fortement insaturés tels que le lycopène, α -carotènes, β -carotènes, qui n'ont pas d'oxygène et ont habituellement une couleur orange et rouge. Vu leur richesse en insaturations, ils sont particulièrement susceptibles à l'oxydation. La deuxième classe contient les xanthophylles (lutéine, zéaxanthine), qui sont les dérivés oxygénés et ont une ou plusieurs groupes oxygénés [32], [33].

Tableau 1.6 : Contenu en caroténoïdes des tomates et du jus de tomate [31]

Teneur $\mu\text{g}/100\text{g}$	Tomates crues	Jus de tomate
β -Carotène	449	270
γ -Carotène	101	0
Lycopène	2573	9037
Lutéine Zéaxanthine	123	60
Phytoène	1860	1900
Phytofluène	820	830

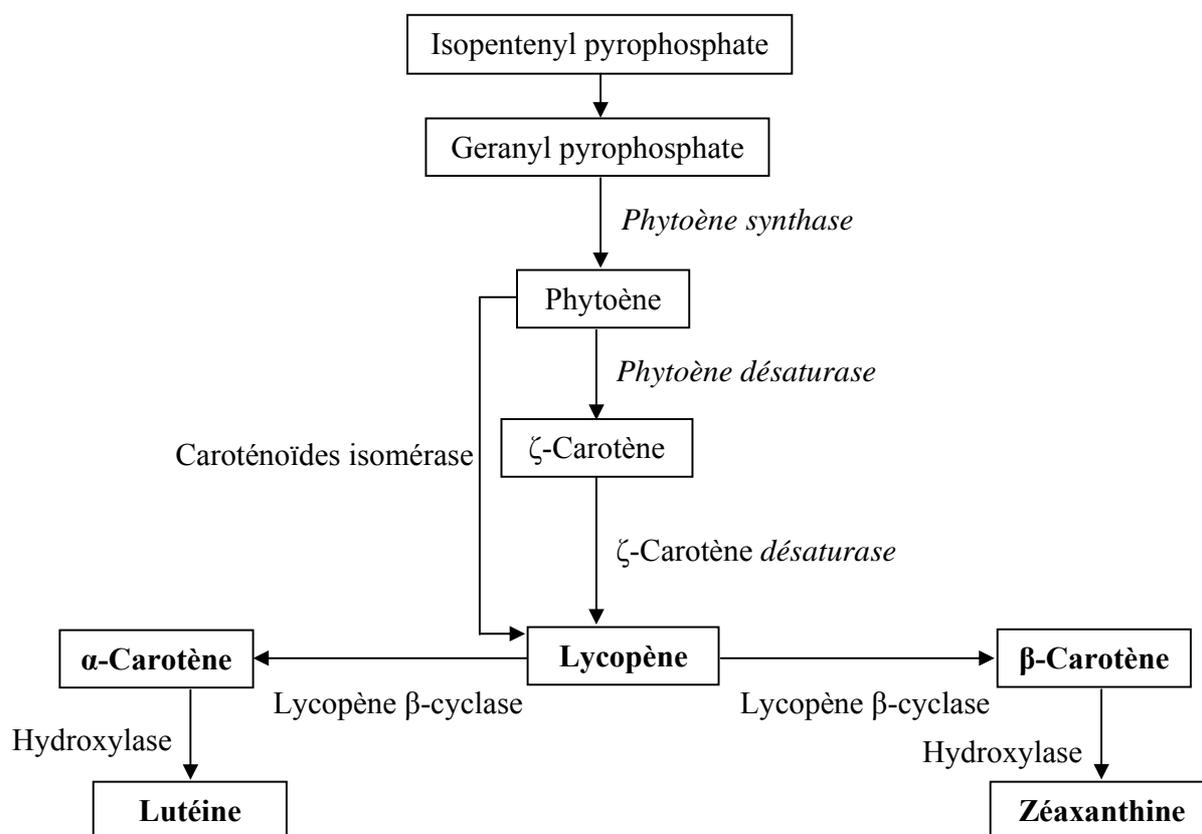


Fig. I.4. Biosynthèse des caroténoïdes [31]

I.6.3. Le lycopène

Le lycopène appartient à la famille des caroténoïdes, c'est un polyène acyclique de chaîne ouverte avec 13 doubles liaisons et une formule moléculaire de $C_{40}H_{56}$. Il a 11 doubles liaisons conjuguées disposées linéairement, le rendant le plus long caroténoïde (Fig. 1.5).

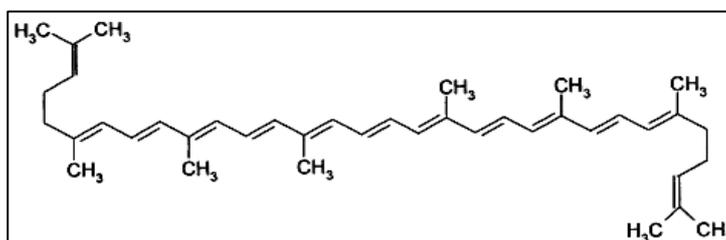


Fig.1.5 La structure moléculaire du lycopène [38]

Le lycopène est plus soluble dans le chloroforme, le benzène, et d'autres solvants organiques que dans l'eau. Dans les systèmes aqueux, il tend à agréger et précipiter sous forme de cristaux. Le

lycopène est absorbé plus facilement par le corps humain lorsqu'il est préparé dans le jus, la sauce, la pâte, et le ketchup [34], ceci peut se produire en partie parce que le lycopène est inclus dans la matrice de fruit frais et des cellules végétales, ce qui empêche son dégagement complet. La transformation des produits alimentaires peut améliorer la biodisponibilité du lycopène en dégradant les parois cellulaires ce qui affaiblit les forces des liaisons entre le lycopène et la matrice de tissu, et augmente sa biodisponibilité. En plus, la forme isomérique du lycopène peut être changée des *trans*-isomères aux *cis*-isomères sous l'effet de la température ce qui augmente son absorption [33]. En outre, parce que le lycopène est soluble dans la phase grasse, l'absorption augmente dans les régimes lipidiques [35]. Bien que le lycopène soit disponible sous la forme de supplément, il est probable qu'un effet synergique soit produit lorsqu'on consomme le fruit entier parce que les autres composants du fruit (acide ascorbique, tocophérols, et d'autres caroténoïdes) peuvent augmenter l'efficacité du lycopène. Le lycopène, avec ses 11 doubles liaisons conjuguées et 2 non conjugués est 100 fois plus efficace que l' α -tocophérol en tant qu'antioxydant [36].

I.8. Les effets biologiques du lycopène

La plupart des réactions oxydatives que l'oxygène est susceptible de provoquer dans l'organisme humain sont extrêmement lentes. Il est donc peu toxique par lui-même. Mais sous l'action de radiations ionisantes, de rayons UV, de métaux de transition ou au cours de réaction enzymatiques, plusieurs espèces beaucoup plus réactives sont produites.

L'appellation « espèces réactives de l'oxygène » (ERO), inclus les radicaux libres de l'oxygène proprement dit, mais certains dérivés oxygénés réactifs non radicalaires donc la toxicité est importante [37].

Les mécanismes de défense contre l'oxydation, sont génétiquement programmés, comme la production d'enzymes superoxyde dismutase et glutathionperoxydase. Par contre, d'autres mécanismes proviennent de composés alimentaires comme la vitamine C, la vitamine E et le sélénium et probablement de substances caroténoïdes. La capacité du lycopène à neutraliser les radicaux libres provenant de l'oxygène moléculaire se fait physiquement et chimiquement. Le lycopène est hautement hydrophobique et est principalement situé dans les membranes; pour cette raison, les réactions du lycopène avec les radicaux libres sont probablement limitées à cet endroit. L'oxydation des LDL, qui est une des hypothèses majeures dans l'apparition de l'athérosclérose, peut être évitée par la présence d'antioxydants, le lycopène et d'autres substances caroténoïdes ont la capacité d'inhiber l'oxydation des LDL. Le lycopène pourrait

également agir comme hypocholestérolémiant en inhibant la synthèse du HMGCoA (hydroxy-3-méthyl glutaryl coenzyme A) réductase [31].

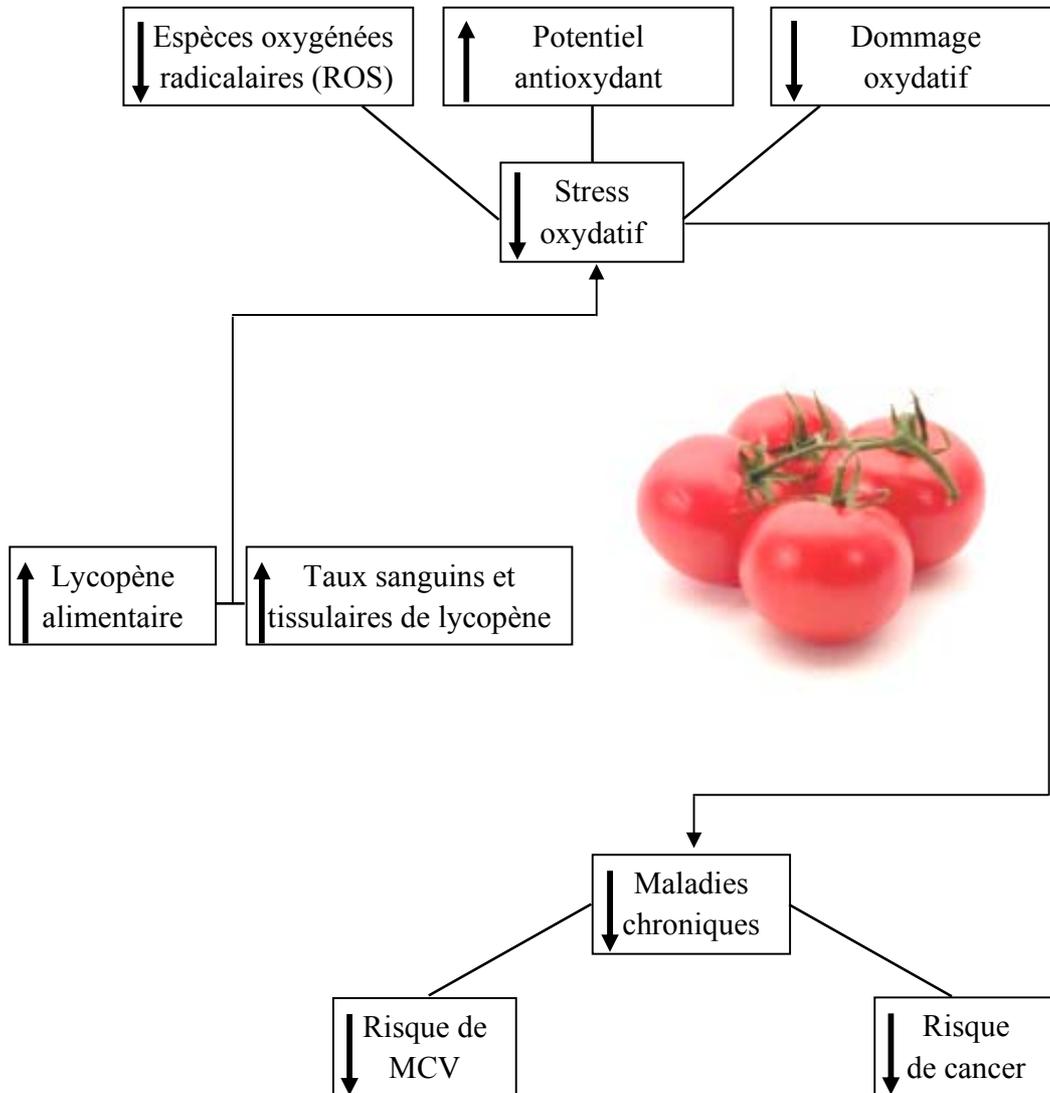


Fig.1.6 Mécanisme proposé Mécanisme proposé pour le rôle du lycopène dans les maladies chroniques [31]

II. Transformation industrielle des tomates

II.1. Généralités sur le séchage

Le séchage est un procédé très ancien de conservation des produits agricoles et alimentaires. Il permet de convertir des denrées périssables en produits stabilisés, par abaissement de l'activité de l'eau (a_w) jusqu'à une valeur inférieure à 0,5. La plupart du temps, ces produits sont stockés à température ordinaire, avant d'être réhydratés pour une utilisation dans un procédé industriel ou dans une préparation culinaire [3]. L'utilisation du séchage dans les IAA a de multiples buts : accroître la durée de conservation des produits (viandes, poissons, fruits, graines, pâtes, épices, thé, champignons) ; stabiliser les produits agricoles (maïs, luzerne, riz, lait, tomate) et amortir le caractère saisonnier de certaines activités ; transformer les produits par des réactions biochimiques ou biologiques (produits de salaison, touraillage de malt) ; stabiliser des co-produits industriels pour l'alimentation animale (pulpes de sucrerie ou d'amidonnerie, drêches de brasserie, farines de viande et de poisson, lactosérum) ; produire des ingrédients ou des additifs pour une seconde transformation, également appelés *Produits alimentaires intermédiaires* (PAI). Le séchage sert aussi à donner une présentation, une structure ou une fonctionnalité particulière au produit (café instantané, flocons de purée de pomme de terre, poudre des pelures de tomate). À ce titre, l'opération de séchage peut être considérée comme une opération de formulation ou de texturation, qui, lorsqu'elle est conduite convenablement, est capable de fournir des produits nouveaux, faciles d'emploi [3]. Il faut souligner que de nombreux produits alimentaires et biologiques subissent un séchage au cours de leur transformation et/ou de leur conservation. C'est souvent une opération qui intervient en fin de fabrication, avant l'étape de commercialisation et qui contrôle en grande partie la qualité et les propriétés d'usage du produit. Le séchage peut également se produire à titre accessoire au cours de nombreuses opérations (cuisson, torréfaction, refroidissement, congélation, stockage à température ordinaire ou en entrepôt frigorifique, broyage).

Étant données les très grandes variabilités et diversité des produits alimentaires et biologiques, le meilleur moyen de caractériser le comportement au séchage d'un produit consiste à mesurer expérimentalement sa cinétique de séchage. Dans le cas d'un produit solide séché par entraînement, l'expérience de base consiste à placer le produit en question dans un courant d'air parfaitement maîtrisé (température, humidité, vitesse) et à enregistrer l'évolution de sa masse au cours du temps, par des pesées à intervalles de temps réguliers. D'autres techniques sont

envisageables (analyse de l'humidité de l'air sortant notamment) qui ont été décrites et analysées par Kemp et al. [3].

La déshydratation à basse température (lyophilisation) consiste à éliminer par sublimation, la majeure partie de l'eau contenue dans un produit. Elle autorise une conservation à long terme grâce à l'abaissement de l'activité de l'eau du produit [39].

II.2. Les prétraitements, le séchage et la qualité des produits séchés

Généralement, certains fruits et légumes tels que des raisins, prunes, abricots, poivrons et tomates sont couverts naturellement d'une couche mince de cire [40]. Cette couche externe protège les fruits et légumes, mais affecte l'écoulement de l'humidité de l'intérieur du fruit sur sa surface, un processus crucial dans le séchage.

Avant le processus de séchage, l'immersion dans des solutions chimiques comme les émulsions d'ester méthyliques et éthyliques ou les prétraitements alcalins dans les solutions de l'hydroxyde de sodium, le chlorure de sodium, le carbonate de potassium et le chlorure de calcium a été employé pour ouvrir la barrière de cire des fruits et légumes. L'immersion des fruits cireux pendant plusieurs secondes en solution d'oléate éthylique ou un autre composé approprié (dérivés d'acide gras habituellement utilisés comme agents mouillants et émulsifiants) réduit considérablement le temps de séchage. Les effets de l'immersion des fruits et légumes dans des solutions sur le processus du séchage sont rapportés en littérature [41], [42].

Les tomates avant le processus de séchage sont traitées par diverses solutions telles que le chlorure de calcium [43], [44], chlorure de sodium [45], et le chlorure-sucrose de sodium [46], et ensuite peuvent être séchées sous différentes formes [47].

Le KMS est utilisé pour protéger les pigments caroténoïdes et conserver la couleur pendant la déshydratation des tomates [40]. Le calcium protège la structure des parois cellulaires des fruits et légumes, en interaction avec l'acide pectique pour former le calcium-pectate, qui maintient la fermeté du produit après différents traitements [47].

III. Généralités sur la margarine

III.1. Définitions

La margarine est une émulsion de type eau dans l'huile W/O qui comprend deux phases essentielles: une phase continue: la phase grasse, et une phase dispersée: la phase aqueuse. Elle contient aussi des additifs (lécithine, monoglycérides, sel, colorant, antioxydants, conservateurs,

vitamines) répartis, en partie, dans la phase grasse et en partie dans la phase aqueuse. L'émulsion est un système liquide comprenant deux phases non miscibles, une des deux phases étant finement dispersée dans l'autre. Mais du fait de son instabilité thermodynamique, l'émulsion tend à se séparer, pour redonner les deux phases d'origine. Il est donc nécessaire, dans le cas de la margarine, de faciliter la mise en émulsion et de stabiliser celle-ci, c'est le rôle des émulsifiants qui réduisent la quantité de travail nécessaire à la formation d'un mélange homogène à partir de ces deux phases non miscibles: la stabilité finale du produit sera obtenue par cristallisation de la phase grasse à haut point de fusion au sein de l'émulsion. La définition complète de la margarine est donc celle d'un système polydispersé de corps gras à l'état solide et à l'état liquide, d'eau et/ou lait, d'ingrédients et quelquefois de bulles de gaz [48].

III.2. Composition globale de la margarine

En général, toutes les margarines ont une composition globale identique, dont une phase grasse constitue de lipides représentant de 80 % à 82 % de la masse totale, 16 % à 18 % d'eau et/ou lait, constituant la phase aqueuse et enfin, 2 % d'additifs, obligatoires ou facultatifs [48].

III.3. Types de margarines

La margarine a été conçue pour remplacer le beurre et a été fortifiée avec des vitamines A, D, E, et sa composition est réglementée par des lois et des normes d'identité dans chaque pays. Aujourd'hui il existe un grand nombre de margarines qui se différencient par la composition de la phase grasse mais aussi, par le type d'ingrédients ajoutés. Il est difficile de donner une même composition typique des margarines tant celles-ci peuvent varier en fonction des utilisations, des saisons et des régions [48].

III.4. Schéma général de fabrication de la margarine

La fabrication de la margarine est une technologie connue et maîtrisée. Elle comprend succinctement les phases suivantes [49] :

- Préparation de la phase grasse complète : huile et graisses telles quelles, raffinées et/ou modifiées par hydrogénation, interestérisation ou fractionnement, lécithine, monoglycérides et colorants.
- Préparation de la phase aqueuse complète : eau, lait, sel, sucre, arôme, conservateurs, correcteur de pH....
- Préparation de l'émulsion qui est le mélange de ces deux phases.

- Refroidissement, cristallisation, malaxage de l'émulsion de manière à lui conférer les caractéristiques rhéologiques espérées et la stabilité désirée. Ces trois opérations peuvent avoir lieu séquentiellement les unes à la suite des autres ou bien simultanément.
- Conditionnement du produit qui peut être sous enveloppage (margarines traditionnelles) ou bien en pots confectionnés en différents matériaux.

Le choix des matières grasses (composition et propriétés), ainsi que les conditions de fabrication jouent un rôle important pour régler les caractéristiques des margarines.

III.4.1. Additifs liposolubles

Les émulsifiants, sont des composés ayant des propriétés tensioactives, dues à leur caractère amphiphatique : leurs structures chimiques étant composées à la fois de groupes hydrophiles et lipophiles et, de ce fait, pouvant se dissoudre dans les deux phases, permettant leur union sous forme d'émulsion homogène. Ces corps sont caractérisés par leur équilibre hydrophile-lipophile ou HLB. Les émulsifiants utilisés dans les margarines sont les mono et diglycérides et la lécithine. La couleur de la margarine est obtenue soit par addition d'huile de palme rouge, soit de β -carotène. Les margarines sont souvent aromatisées par le diacétyle, arôme naturel du beurre ou le butane Dione 1.3 de synthèse. On utilise une solution dans l'huile à 4 %. Au-delà d'une certaine limite le goût n'est pas agréable et jugé comme artificiel. La présence d'eau rend la margarine très sensible à l'oxydation. La meilleure protection est de maintenir le produit fini à l'abri de l'oxygène, mais on peut ajouter des antioxydants comme la vitamine C et ses sels, ainsi que la vitamine E notamment les tocophérols (extraits naturels) liposolubles, ou les antioxydants synthétiques : BHA, BHT, Gallates de propyle d'éthyle, qui ont pour rôle d'éviter l'oxydation des huiles en retardant l'apparition du rancissement. Afin de réduire les risques de carences en vitamines A du fait du remplacement du beurre par la margarine, certains pays européens avaient depuis longtemps invité les fabricants de margarine à introduire 20 à 30 UI de vitamine A dans leurs produits [48].

III.4.2. Additifs hydrosolubles

L'eau de la margarine doit répondre aux critères de potabilité, elle doit subir un adoucissement pour éliminer les ions métalliques et les substances toxiques et une pasteurisation pour éliminer les microorganismes. Le lait est à la fois une solution, une suspension et une émulsion, les sels minéraux et le lactose sont en solution, les matières ajoutées en suspension et

les matières grasses en émulsion. Le sel est ajouté pour améliorer la sapidité, mais il peut jouer un rôle protecteur "Bactériostatique". Les teneurs peuvent varier de 0.1 à 1 et même 2 %. Outre le sel de table (NaCl), l'addition de l'acide sorbique (E200) ainsi que celle de ses sels de sodium (E201), de potassium (E202) et de calcium (E203) isolément ou ensemble dans une proportion pondérale de 2 g par kilogramme de produit fini. L'acide citrique est autorisé à la dose maximale de 1 g par Kg de produit fini [48]. L'amidon en tant que révélateur à une dose de 2 % permet de différencier la margarine du beurre, quoiqu'il existe actuellement d'autres moyens de les distinguer. Le sucre augmente les qualités organoleptiques, et donne la douceur aux margarines, il est utilisé dans les margarines de tables.

III.5. Margarine enrichie en phytostérols

Fruit d'or a été le premier producteur à lancer sa margarine "santé". C'est la fameuse Pro.activ: 20 g par jour (environ 4 tartines) permettraient de réduire de 15 à 20 % le taux des LDL-cholestérol (correspondant à une réduction de plus de 40 % des risques cardiovasculaires). Et cela sans modifier le taux de bon cholestérol. Or la force de Pro.activ est d'avoir enrichi sa margarine pour arriver à 8 % de phytostérols. Et ses qualités ont été démontrées par de nombreuses études scientifiques [50], [51], [52]. Ce produit est destiné aux gens souffrant d'hypercholestérolémie.

III.6. Les acides gras *trans* et leurs impacts sur la santé

III.6.1. Généralités

Les AGT issus de la production et de la transformation des huiles et des corps gras végétaux sont liés à la mise en œuvre de deux procédés : l'hydrogénation partielle et l'application de températures élevées lors de la dernière étape du raffinage des huiles (désodorisation). Les traitements à haute température conduisent à la formation d'isomères *trans* des acides gras polyinsaturés (AGPI) linoléique (C18 :2 n-6) et linoléique (C18 :3 n-3) alors que le procédé catalytique d'hydrogénation partielle génère aussi des isomères *trans* monoinsaturés (C18 :1t n-9, acide élaïdique majoritaire).

A la différence des doubles liaisons *cis* (les plus courantes), les insaturations *trans* conduisent à des molécules à la géométrie plus droite (proche de celle des acides gras saturés) (figure 1.7), qui s'intègrent plus aisément dans le réseau cristallin formé par les matières grasses : ainsi, le comportement à la fusion des AGT se situe entre celui des acides gras saturés et celui des acides

gras insaturés *cis*. Cette propriété explique pourquoi les AGT ne sont pas neutres en termes de fonctionnalité et que leur substitution dans certaines applications où ils remplissent en partie la « fonction solide » puisse poser quelques difficultés de formulation.

La forme géométrique des acides gras (*cis* ou *trans*) leur confère des propriétés technologiques et un comportement dans l'organisme différents. Le terme *trans* répond donc à une définition scientifique et, contrairement à ce que l'on peut entendre parfois, n'a rien à voir avec les termes « transformé » ou « transgénique » [50].

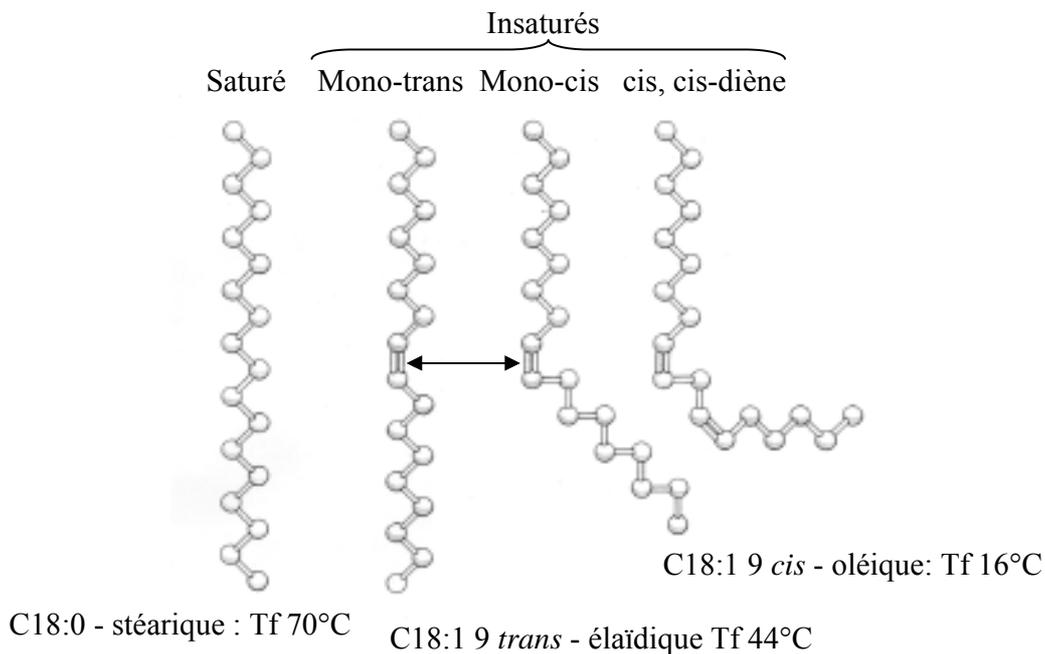


Fig.1.7 Le comportement à la fusion des acides gras *trans* [49]

a- Les sources d'acides gras *trans*

Les acides gras *trans* sont présents naturellement dans le lait (et ses produits dérivés) et la viande de ruminants. Ils peuvent aussi se former lors de traitements technologiques (hydrogénation partielle) visant à solidifier des matières grasses végétales. On peut donc en trouver dans les aliments contenant des matières grasses solidifiées par cette technique. Des acides gras *trans* peuvent aussi être formés à haute température lors du raffinage des huiles (désodorisation).

b- Les effets des acides gras *trans* sur la santé

Des études ont montré qu'une consommation excessive d'acides gras *trans* serait susceptible d'augmenter le risque de maladies cardiovasculaires, [53] par :

- Une augmentation des transporteurs du cholestérol de type LDL, appelées aussi mauvais cholestérol, par rapport aux régimes contenant des AGS et des AGI-*cis*;
- Une diminution des transporteurs du cholestérol de type HDL, appelées aussi bon cholestérol, par rapport aux régimes contenant des AGS et des AGI-*cis*;
- Une augmentation des triglycérides, par rapport aux régimes contenant des AGI-*cis*.

III.6.2. Procédés mis en œuvre pour réduire la formation d'AGT dans les matières grasses

Dès la fin des années 80, des solutions technologiques avaient été mises en place pour réduire les quantités d'AGT dans les margarines et shortenings. C'est en particulier le cas des margarines et matières grasses à tartiner avec pour certaines d'entre elles, un ensemble de reformulations aboutissant à une gamme de produit contenant moins de 1% d'AGT en 1996 [53]. Ces évolutions sont dues à la fois à un choix optimisé de matières premières et à la mise en œuvre de procédés alternatifs à l'hydrogénation partielle.

a- L'hydrogénation totale

On appelle hydrogénation totale une réaction d'hydrogénation conduite jusqu'à son terme, (figure 1.8), c'est-à-dire où tous les acides gras insaturés ont été transformés en acides gras saturés : l'huile totalement hydrogénée ne contenant plus de doubles liaisons, *ne contient évidemment plus d'isomères trans*, [53].

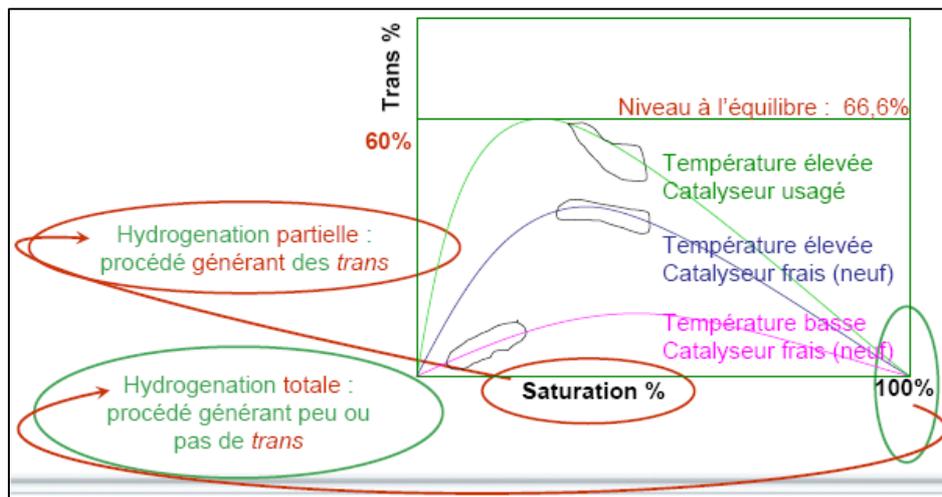


Fig.1.8 Influence de la qualité du catalyseur et de la température sur la formation d'AGT, en fonction du degré de saturation souhaité [50]

b- Le fractionnement

Le fractionnement des corps gras est un procédé physique de transformation qui a pour but de séparer les triglycérides « solides » (les plus riches en acides gras saturés) de ceux qui, plus insaturés sont plus fluides ou « liquides ». Cette séparation est réalisée par un refroidissement contrôlé du corps gras, provoquant la cristallisation d'une fraction « stéarine » solide, ensuite séparée d'une fraction « oléine », plus fluide (figure 1.9).

La composition en acides gras des deux fractions obtenues est évidemment différente de celle du corps gras de départ.

L'huile de palme constitue la principale application de ce procédé. Le fractionnement peut être opéré une seconde fois sur les premières fractions obtenues, aboutissant ainsi à une gamme de fractions présentant des températures de fusion échelonnées de moins de 20°C à plus de 50°C.

Ces fractions sont utilisées en tant que composant des phases grasses pour margarines et en tant qu'équivalents ou substituts de beurre de cacao [53].

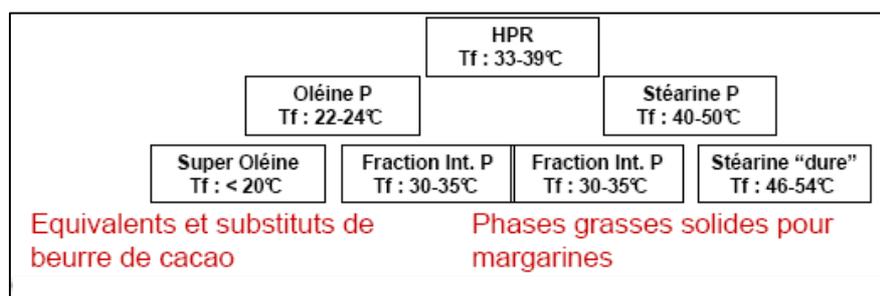


Fig.1.9 Fractionnement de l'huile de palme [50]

c- L'interestérisation

L'interestérisation est un procédé qui a pour but de redistribuer les acides gras sur le glycérol, provoquant ainsi une modification des propriétés de fusion de l'huile. L'interestérisation d'une huile ne modifie pas sa composition en acides gras totaux.

Ainsi, un mélange initial qui contient 46% de « solides » à 60°C avec une température de fusion de 65°C peut être transformé par interestérisation en un mélange de nouveaux triglycérides avec une température de fusion de 50°C et un taux de solides à 60°C très significativement abaissé à 5,5%, (figure 1.10).

d- Combinaisons de procédés générant peu ou pas d'AGT

L'objectif de produire une matière grasse à teneur réduite ou nulle en AGT, continuant à répondre aux attentes organoleptiques, peut ainsi être atteint en faisant un choix approprié de

matières premières (huiles fluides ou semi-fluides ou graisses concrètes) (figure 1.11), et en combinant plusieurs procédés formant peu ou pas d'AGT [50].

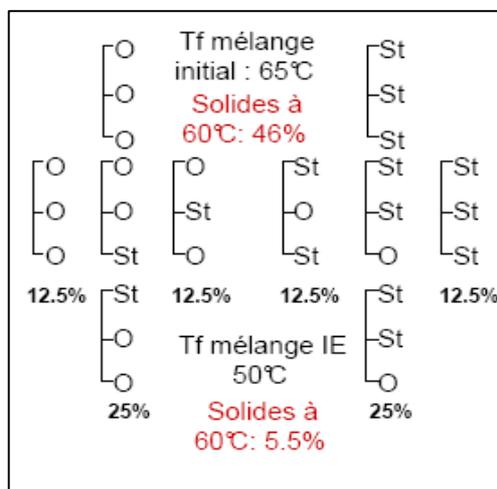


Fig.1.10 Redistribution des acides gras sur le glycérol (Interestérification) [50]

Par exemple, des huiles fluides peuvent être totalement hydrogénées pour donner des matières grasses concrètes (teneur en AGT < 1%) ; celles-ci peuvent être interestérifiées avec des huiles fluides pour moduler le comportement à la fusion et réduire la teneur en solides, cette orientation pouvant être au besoin parachevée par un fractionnement complémentaire.

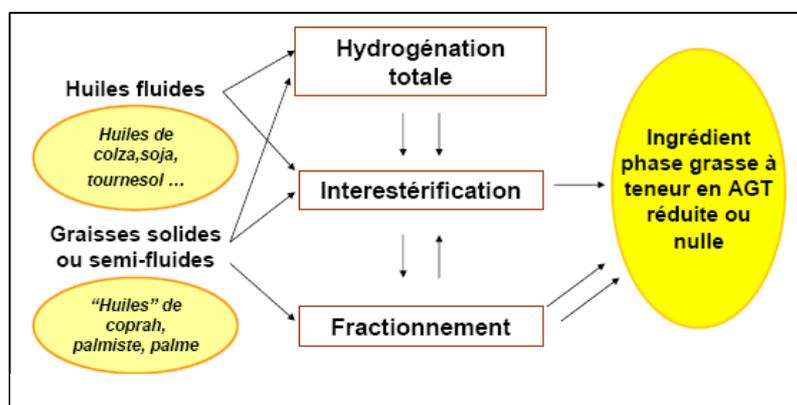


Fig.1.11 Combinaisons de procédés générant peu ou pas d'AGT [50]

D'un autre côté, des « huiles » ou graisses solides ou semi-fluides pourront, par fractionnement, donner une fraction stéarine moyennement solide, elle-même susceptible d'être modifiée par interestérification. Sans que ces procédés soient systématiquement tous mis en oeuvre, ils constituent des voies alternatives disponibles pour obtenir des phases grasses répondant aux fonctionnalités requises par les différentes applications.

IV. Oxydation et antioxydants

IV.1. Introduction

Les matières grasses s'altèrent essentiellement par oxydation, les altérations microbiologiques de ces produits sont exclues dans la mesure où leur activité d'eau est pratiquement nulle.

Il existe plusieurs types d'oxydations qui mettent en œuvre des mécanismes réactionnels très différents, aboutissant au rancissement oxydatif ou hydrolytique. Les altérations conduisant au rancissement oxydatif sont l'autoxydation, la photooxydation et l'oxydation enzymatique catalysée par la lipooxygénase. Les produits primaires de ces oxydations sont des hydroperoxydes qui peuvent générer, après leur dégradation, des composés de faible poids moléculaire (carbonyles, alcools, acides,...), dont certains sont très olfactifs (Figure 1.12). A ce stade, la flaveur de « rance » se développe dans le lipide altéré ; ce qui réduit sa qualité marchande et conditionne directement sa durée de vie. Les altérations conduisant au rancissement hydrolytique sont la lipolyse enzymatique et l'hydrolyse spontanée des lipides. Elles sont caractérisées par une forte augmentation de l'acidité des produits altérés, l'indice de peroxyde de ces derniers stagne ou montre une faible augmentation. Le rancissement oxydatif ou hydrolytique des lipides limite leur durée de conservation et les rend inaptes à la consommation alimentaire.

L'impact de l'oxydation des lipides est triple :

- Impact nutritionnel et organoleptique : dégradation des vitamines liposolubles et des acides gras essentiels ; développement de flaveurs anormales, changement de couleur.
- Impact sanitaire : les composés secondaire d'oxydation montrent des effets cytotoxiques et mutagènes (cas du malondialdéhyde, par exemple, qui réagit avec l'ADN) ou encore des effets cancérigènes, mutagènes et athérogènes (cas des monomères cycliques et oxystérols).
- Impact économique : perte de la valeur marchande suite à l'oxydation qui déprécie la qualité du produit. C'est le cas, par exemple, des huiles d'olive vierges dont le prix est fonction de la qualité : « extra », « fine », « courante » et « lampante ». L'huile d'olive vierge « extra » est de meilleure qualité et se vend plus chère que les autres catégories.

L'huile d'olive vierge « lampante », ne pouvant être consommée en l'état, est vendue à bas prix pour un usage industriel ou aux unités de raffinage.

IV.2. Mécanismes réactionnels de l'autoxydation

L'autoxydation de la matière grasse abandonnée au contact de l'oxygène constitue un ensemble complexe de réactions non encore complètement élucidées. Elles conduisent à la rupture des chaînes carbonées avec le développement de produits pour la plupart volatils, à structure carbonylée (figure 1.12). Les propriétés organoleptiques de la matière grasse sont altérées : c'est le rancissement.

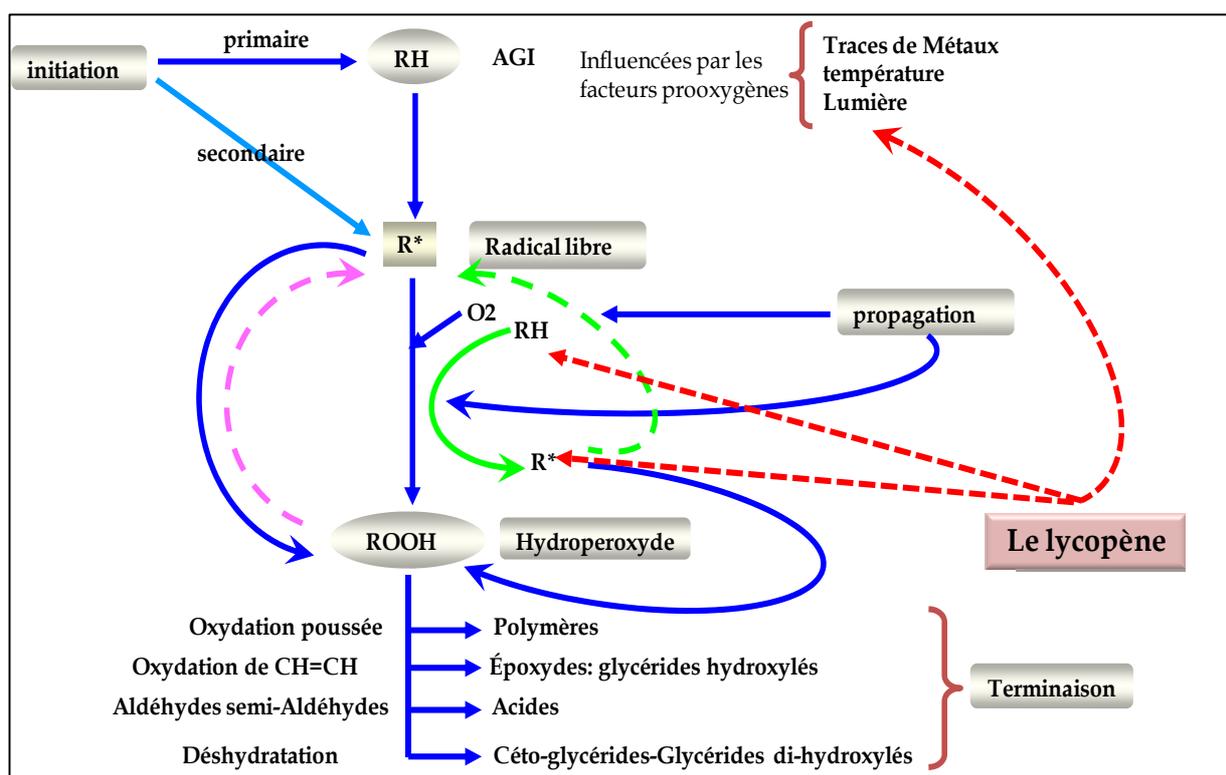


Figure 1.12 Schéma simplifié de l'oxydation des AGI, réaction de lycopène vis-à-vis de l'oxydation.

L'autoxydation des acides gras insaturés (RH) procède par un ensemble de réactions en chaîne auxquelles participent surtout des radicaux libres (R^{*}). On distingue les stades d'initiation, de propagation et de terminaison.

Sur la base de ces réactions, l'autoxydation de la matière grasse fraîche évolue en 3 périodes distinctes. La période d'induction où il y a formation d'hydroperoxydes stables, le goût de la matière grasse n'est pas altéré. La période d'oxydation active où la formation des hydroperoxydes est accélérée. La période d'accélération des réactions secondaires, l'absorption

de l'oxygène est rapide sans qu'il y ait augmentation de l'indice de peroxyde, le goût de la matière grasse est fortement altéré. Ces 3 périodes sont influencées par les facteurs prooxygènes (lumière, température, traces de métaux) et antioxygènes (Lycopène, BHA, BHT, polyphénols, tocophérols).

Comment réagit le lycopène vis-à-vis de l'oxydation ? :

Plusieurs effets biologiques imputés aux substances caroténoïdes se rapportent à leurs capacités de protéger contre les dommages oxydatifs. Le lycopène est le piègeur le plus efficace de l'oxygène singulet, comme il peut également neutraliser les radicaux libres provenant de l'oxygène moléculaire par un ensemble de réactions physiques et chimiques (figure 1.12). Le transfert de l'énergie d'excitation de l'ion d'oxygène vers la molécule de lycopène produit une molécule d'oxygène plus stable et une molécule de lycopène en état d'excitation qui dissipera son excédent d'énergie au niveau des doubles liaisons conjuguées sous forme de chaleur [37].

CHAPITRE II

MATERIEL ET METHODES

La figure 2.1 présente un schéma récapitulatif de l'ensemble du matériel végétal et la méthodologie expérimentale.

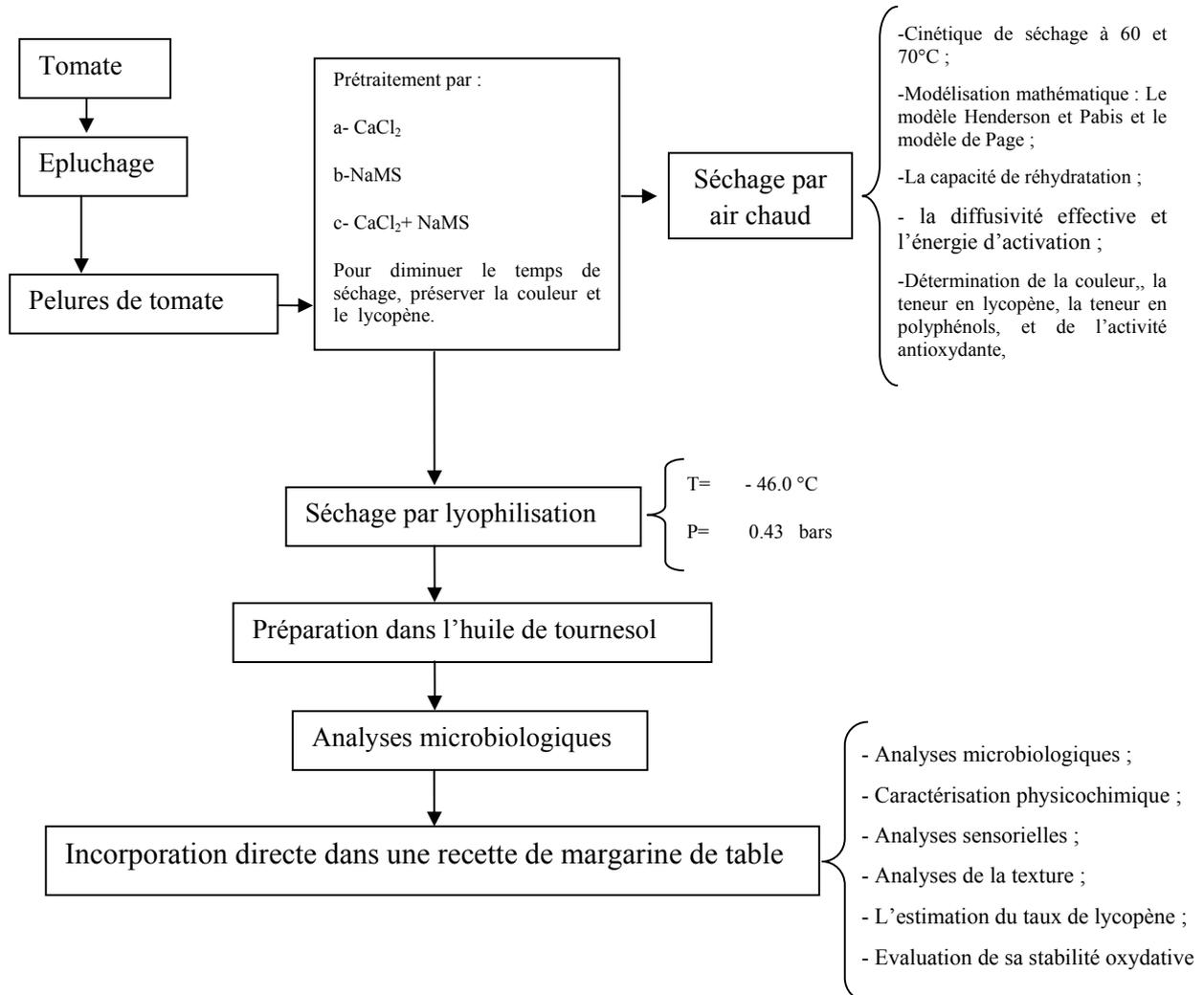


Figure 2.1 Méthodologie expérimentale.

Chapitre 2: Matériel et méthodes

I. Matériel végétal

La tomate étudiée provient de la région de ZEMMOURI (BOUMERDES) durant la période mai, juin, juillet. Le prélèvement est réalisé sur deux à trois rangs homogènes de chacune d'elles. Les fruits sont prélevés au hasard sur plusieurs régimes à diverses hauteurs et orientations. L'échantillon global obtenu a été réduit en échantillon de laboratoire par divisions successives. La tomate est récoltée à pleine maturité, lavée et nettoyée et aussitôt passée sous jet d'eau chaude (80°C) pendant 10mn et puis sous jet d'eau froide pour ramollir et faciliter le détachement de la pelure. Après épluchage manuel, les pelures sont séparées de la pulpe et des graines, pour être emballées dans des sachets alimentaires et placées au congélateur (-18°C).

II. Méthodes

Elles se rapportent aux expériences suivantes :

- 1- Caractérisation physique de la tomate ;
- 2- Obtention de la poudre des pelures de tomate par deux méthodes :
 - a- Séchage à l'air chaud à 2 températures 60 et 70 °C, et à 3 différents prétraitements.
 - b- Séchage par lyophilisation.
- 3- Caractérisation physicochimique des différentes poudres obtenues ;
- 4- Elaboration et caractérisation d'une margarine enrichie en lycopène.

II.1. Caractérisation physique de la Tomate (DAMOUS)

Les caractéristiques physiques sont réalisées sur 10 fruits prélevés au hasard sur lesquels sont déterminés :

- 1- Le poids de la tomate, au moyen d'une balance analytique à la précision de ± 0.1 g.
- 2- la couleur (visuellement).

II.2. Obtention et caractérisation physico-chimique de la poudre des pelures de tomate

II.2.1. Détermination de la teneur en eau des pelures de tomate

La teneur en eau est déterminée sur un échantillon d'1g broyé et étalé dans une capsule en porcelaine puis séché dans une étuve réglée à une température de 103 ± 2 °C, jusqu'à obtention d'un poids constant [61]. Dans des capsules vides séchées à l'étuve durant 15 mn à 105 ± 2 °C, on pèse

dans chacune 1 g de pelures de tomate préalablement broyé et on les place dans l'étuve réglée à 105 ± 2 °C pendant 3 heures ; jusqu'à l'obtention d'un poids constant.

La teneur en eau par rapport à la masse sèche est calculée par la formule :

$$W_{e/m.s} = \frac{(m_i - m_f)}{m_f} \cdot 100 \quad (2.1)$$

La teneur en eau par rapport à la masse humide est calculée par la formule :

$$W_{m.h} = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} \cdot 100 \quad (2.2)$$

La teneur en matière sèche du produit est calculée par la formule :

$$W_{m.s} = 100 - W_{e/m.s} \quad (2.3)$$

Soit $W_{e/m.s}$ est la teneur en eau des pelures par rapport à la masse sèche en (%), m_i est la masse initiale des pelures avant séchage en grammes, m_f est la masse des pelures correspondant au poids constant en grammes, $W_{e/m.h}$ est la teneur en eau des pelures par rapport à la masse humide en (%), $W_{m.s}$ est la teneur en matière sèche en (%).

II.2.2. Processus du séchage

II.2.2.1. Séchage par l'air chaud

Les expériences de séchage ont été effectuées dans un séchoir de laboratoire. Les conditions expérimentales à l'intérieur du séchoir sont fixées au moins 1 h avant chaque séchage. Le séchage des pelures de tomate est conduit à deux températures 60 et 70 °C pour les différents prétraitements avec une densité de 0.2 Kg/m² et un débit d'air de 1.2 m/s ; un témoin pour chaque température et chaque prétraitement est réalisé dans les mêmes conditions. La perte d'eau est mesurée chaque 30 mn à l'aide d'une balance de précision (Mettler, modèle BB3000), jusqu'à atteindre 3% d'humidité finale en partant de l'humidité initiale. Après séchage, les pelures de tomate sont broyées en utilisant un moulin, la poudre ainsi obtenue est stockée à 4°C dans des flacons en polyéthylène recouverts avec du papier aluminium afin de la protéger de la lumière et de la réhydratation.

II.2.2.2. Séchage par lyophilisation

Les pelures de tomate sont lyophilisées dans un lyophilisateur de type TELSTAR Cryodos à -50°C et 0.448 bars.

II.2.3. Prétraitements avant le séchage

Les pelures de tomate sont traitées comme suit: **(a)** immersion dans 1 g/100 g de chlorure de calcium (CaCl_2) dans de l'eau distillée (1:1 p/p) à température ambiante pendant 10 mn, **(b)** immersion dans la solution de métabisulfite de sodium (NaMS) 0,2 g/100 g (1:1) à température ambiante pendant 10 mn, **(c)** immersion dans 1 g/100 g CaCl_2 avec 0,2 g/100 g NaMS dans une masse égale d'eau pendant 10 mn. La concentration et la température en sel ont été normalisées dans des études préliminaires. La meilleure combinaison a été choisie en se basant sur le déplacement minimum de l'absorption de sel et l'élimination maximum d'eau. **(e)** le témoin: immersion dans une masse égale d'eau pendant 10 mn à la température ambiante. Avant séchage on enlève le maximum d'eau des pelures de tomates traitées.

II.2.4. La capacité de réhydratation

A un échantillon de 5 g de chaque poudre on ajoute 200 ml d'eau distillée dans un bécher à 25°C et on laisse le mélange pendant 24 h [62]. Par la suite on pèse les échantillons et la capacité de réhydratation est exprimée par le maximum d'eau absorbée (kg) sur la matière sèche à la fin de la réhydratation.

II.2.5. Modélisation mathématique des cinétiques de séchage

Les teneurs en eau correspondant aux différents temps sont calculées d'après la formule suivante :

$$w_{\frac{e}{m.s}}(t) = \frac{m_{e.r}}{m.s} = \frac{(m_{e.i} - m_{e.év})}{m.s} = \left[\frac{\left(\frac{P_0 \cdot w_{\frac{e}{m.h}}}{100} \right) \cdot (P_0 - P_t)}{\left(\frac{P_0 \cdot w_{m.s}}{100} \right)} \right] \cdot 100 \quad (2.4)$$

Soit $w_{\frac{e}{m.s}}(t)$ est le teneur en eau au temps t (Kg d'eau/Kg matière sèche), $m_{e.r}$ est la masse d'eau restante, $m.s$ est la masse sèche, $m_{e.i}$ est la masse d'eau initiale, $m_{e.év}$ est la masse d'eau évaporée, P_0 est le poids initial de l'échantillon, $w_{\frac{e}{m.h}}$ est la teneur en eau par rapport à la masse humide, P_t est le poids de l'échantillon au temps t, $w_{m.s}$ est la teneur en matière sèche.

On exprime le rapport d'humidité par la formule suivante :

$$\mathbf{RH} = \frac{W_t - W_e}{W_0 - W_e} \quad (2.5)$$

W_t est la teneur en eau au temps t (Kg d'eau/Kg matière sèche), W_0 est l'humidité initiale (Kg d'eau/Kg matière sèche) et W_e est l'humidité à l'équilibre de l'échantillon (Kg d'eau/Kg matière sèche). W_e est relativement petit par rapport à W_t ou W_0 , donc on peut simplifier et l'erreur est négligeable [54].

La modélisation des courbes de séchage obtenues pour les pelures de tomate est faite par le modèle Henderson et Pabis, et le modèle Page. Le modèle de Henderson et Pabis est la solution générale de la loi de Fick. Ce modèle est utilisé pour modéliser les caractéristiques de séchage de divers produits agricoles [55]. Ceci peut être écrit comme suit :

$$\mathbf{RH} = a \exp(-kt) \quad (2.6)$$

a et k sont les constantes de séchage, t est le temps de séchage (mn).

Le modèle de Page, développé par Page (1949) a été utilisé pour modéliser les caractéristiques de séchage de divers légumes et fruits tels que les abricots, le poivron rouge, l'aubergine et le pourpier [42], [56], [57], [58]. Le modèle est exprimé par la formule suivante :

$$\mathbf{RH} = \exp(-ktn) \quad (2.7)$$

n est la constante de séchage.

II.2.6. Analyse des données de séchage

On applique les deux modèles du rapport d'humidité de Henderson et Pabis et Page pour les données de séchage, et on détermine les paramètres des deux modèles (Tableau 4.1) par régression non linéaire. On utilise deux paramètres, le coefficient de détermination (R^2) et le chi-square (X^2) entre les valeurs expérimentales et théoriques du rapport d'humidité, pour évaluer l'adéquation des deux modèles avec les données expérimentales. Le chi-square (X^2) est calculé par la formule suivante :

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\mathbf{RH}_{\text{exp},i} - \mathbf{RH}_{\text{th},i})^2}{N - z} \quad (2.8)$$

Soit $\mathbf{RH}_{\text{exp},i}$ est le rapport d'humidité expérimentale, $\mathbf{RH}_{\text{th},i}$ est le rapport d'humidité théorique, N est le nombre d'observation, z est le nombre des constantes de séchage .

Le meilleur modèle choisi pour caractériser les données de séchage des pelures de tomate est celui qui présente un coefficient de détermination le plus élevé et un faible chi-square [59].

II.2.6.1. Calcul de la diffusivité effective et de l'énergie d'activation

Pour calculer la diffusivité effective on utilise l'équation de diffusion de Fick's, ou considère la constante de diffusivité de l'humidité et la distribution uniforme de l'humidité initiale [60] :

$$\mathbf{RH} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D_{\text{eff}} t}{4L^2}\right) \quad (2.9)$$

Soit D_{eff} est la diffusivité effective (m²/s), L est la moitié de l'épaisseur de l'échantillon (m), n est un nombre entier. L'équation (2.9) peut être simplifiée en prenant le premier terme des solutions :

$$\mathbf{RH} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{\text{eff}} t}{4L^2}\right) \quad (2.10)$$

La diffusivité effective est calculée aussi par la pente de l'équation (2.10). On trace $\ln(\mathbf{MR})$ en fonction de temps, on obtient une ligne droite avec une pente k_0 :

$$\mathbf{K}_0 = \frac{\pi^2 D_{\text{eff}}}{4L^2} \quad (2.11)$$

On exprime l'effet de la température sur la diffusivité par l'équation d'Arrhenius :

$$\mathbf{D}_{\text{eff}} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{R(T+273,15)}\right) \quad (2.12)$$

Soit D_0 est le facteur pré-exponentiel de l'équation d'Arrhenius (m²/s), E_a est l'énergie d'activation de la diffusivité de l'humidité (kJ/mol), R est la constante des gaz parfaits (kJ/mol K), T est la température (°C).

Pour calculer l'énergie d'activation, on trace $\ln D_{\text{eff}}$ en fonction de l'inverse de la température ($1/T$), Fig.4.8. Les équations (2.13), (2.14), (2.15) et (2.16) représentent l'effet de la température sur la diffusivité effective des pelures de tomate traitées et non traitées avec les coefficients suivants :

$$D_{\text{eff}} = 6.561 \exp\left(-\frac{E_a}{R(T+273,15)}\right) \quad (\text{Témoins}) \quad (2.13)$$

$$D_{\text{eff}} = 3.254 \exp\left(-\frac{E_a}{R(T+273,15)}\right) \quad (\text{CaCl}_2) \quad (2.14)$$

$$D_{\text{eff}} = 4.121 \exp\left(-\frac{E_a}{R(T+273,15)}\right) \quad (\text{NaMS}) \quad (2.15)$$

$$D_{\text{eff}} = 3.571 \exp\left(-\frac{E_a}{R(T+273,15)}\right) \quad (\text{Mélange}) \quad (2.16)$$

II.2.7. Analyses physicochimiques de la poudre obtenue

II.2.7.1. Détermination de la teneur en eau

Dans des capsules vides séchées à l'étuve durant 15 mn à 105 ± 2 °C, on met dans chacune 1 g de pelures de tomate préalablement broyée et on les place dans l'étuve réglée à 105 ± 2 °C pendant 3 heures ; jusqu'à l'obtention d'un poids constant [61].

La teneur en eau par rapport à la masse humide est calculée par la formule :

$$W_{\text{m.h}} = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} \cdot 100 \quad (2.17)$$

II.2.7.2. Détermination du pH

On met la pelure de tomate dans un bêcher et on y ajoute trois fois son volume d'eau distillée, on chauffe dans un bain-marie pendant 30 mn en remuant de temps en temps. Ensuite le mélange obtenu est broyé dans un mortier [61]. Le pH est déterminé par un pH-mètre électronique (HANNA, HI 255 combined meter), en prenant soins que l'électrode soit complètement immergée dans la solution.

II.2.7.3. Détermination de l'acidité titrable

On pèse 25 g de pelures de tomate dans une fiole conique avec un réfrigérant à reflux, puis on y ajoute 50 ml d'eau distillée récemment bouillie et refroidie, puis on mélange jusqu'à l'obtention d'un liquide homogène. On chauffe le contenu au bain-marie pendant 30 mn. Après refroidissement, on verse le mélange dans une fiole jaugée de 250 ml en complétant jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée récemment bouillie et refroidie, après filtration on prélève 25 ml du filtrat et on titre avec de la solution d'hydroxyde de sodium 0.1N jusqu'à l'obtention d'une

couleur rose persistante pendant 30 secondes [61]. L'acidité titrable est exprimée en grammes d'acide citrique pour 100 g de produit.

$$A \% = \frac{(250 \times V_1 \times 100)}{(V_0 \times M \times 10)} \times 0.07 = 175 \frac{V_1}{V_0 \times M} \quad (2.18)$$

Soit M est la masse de produit prélevé en grammes, V_0 est le Volume en ml de la prise d'essai, V_1 est le volume en millilitres de la solution d'hydroxyde de sodium à 0.1 N utilisé, 0.07 est le facteur de conversion de l'acidité titrable en équivalent d'acide citrique.

II.2.7.4. Le brunissement non enzymatique

Pour l'estimation du brunissement non-enzymatique, on mélange 5g de pelures de tomate avec 100 ml de 60ml / 100 ml d'alcool absolue dans un bêcher en verre. 12 h après, on filtre l'homogénat sur un papier filtre Whatman n°4 [62]. On mesure l'absorbance (DO) du filtrat à 420 nm en utilisant 60 ml/100 ml alcool comme blanc dans un spectrophotomètre. L'indice de brunissement est exprimé comme la valeur de l'absorbance à 420 nm.

II.2.7.5. Détermination de la teneur en cendres

La pelure de tomate broyée (2g) est mise dans des capsules en porcelaine (M_1), qui sont placées dans un four à moufle réglé à 550 ± 15 °C, pendant 5 heures jusqu'à obtention d'une couleur grise, claire ou blanchâtre, après refroidissement on pèse les capsules (M_2) [61]. On exprime la matière organique par la formule suivante :

$$MO \% = \frac{(M_1 - M_2)}{P} \times 100 \quad (2.19)$$

Soit MO est la matière organique en (%), M_1 est la masse des capsules + prise d'essai, M_2 est la masse des capsules + cendres. P est la masse de la prise d'essai. La teneur en cendres (Cd) est calculée comme suit :

$$Cd = 100 - MO \% \quad (2.20)$$

II.2.7.6. Détermination de la teneur en éléments minéraux

En absorption atomique la concentration est déduite de la mesure de l'absorption de la lumière par les atomes de l'élément restés à l'état fondamental lorsqu'ils sont éclairés par une source lumineuse convenable. La mesure de l'intensité lumineuse est faite à une longueur d'onde

spécifique de l'élément à doser. On dissout les cendres obtenues dans 1ml d'HCl (concentré), puis on y ajoute 10ml d'eau distillée. Le mélange est chauffé au bain-marie bouillant jusqu'à dissolution complète des cendres. La solution ainsi obtenue est versée dans une fiole jaugée de 100 ml, puis complétée à 100 ml avec de l'eau distillée [61]. A partir de cette solution nous effectuons le dosage des éléments minéraux : le potassium, le calcium, le sodium, le magnésium, le zinc, le fer, le cuivre et le manganèse, par spectrophotométrie d'absorption atomique.

II.2.7.7. Sucres totaux

A un volume de 0.1ml de l'extrait hydroalcoolique de pelures de tomate (dilué dans de l'eau distillé 1/10 (p/p)), on ajoute 0.4 ml d'eau distillée, 0.3ml de 5g/100g de phénol et on mélange. Puis on ajoute 1.8ml de l'acide sulfurique. On mesure l'absorbance (DO) de la couleur obtenue à 480 nm à l'aide d'un spectrophotomètre [62]. La teneur en sucres totaux est déterminée en utilisant le glucose comme standard.

II.2.7.8. Détermination du résidu sec soluble (°Brix)

On entend par résidu sec soluble (déterminé par réfractométrie) la concentration en saccharose d'une solution aqueuse ayant le même indice de réfraction que le produit analysé, dans les mêmes conditions de préparation et de température. Cette concentration est exprimée en pourcentage massique. On mesure à 20°C, l'indice de réfraction de l'échantillon préparé, et à l'aide d'un tableau de conversion on détermine la teneur en résidu sec soluble. On pèse 5g de la poudre des pelures de tomate dans un bécher de 250 ml, préalablement taré. On ajoute une quantité d'eau distillée égale à neuf fois la masse du produit. On chauffe au bain marie pendant 30 mn en remuant de temps en temps. Après refroidissement, on ajoute de l'eau distillée jusqu'à ce que la totalité du contenu du bécher soit approximativement de 100 ml. On mélange avec soin. 20 mn après on centrifuge le mélange, puis on détermine le taux de résidu sec soluble par le réfractomètre [61]. Le résidu sec soluble est donné par la formule suivante :

$$\mathbf{Brix\ (\%)} = M \times \frac{M_I}{E} \quad \mathbf{(2.21)}$$

Où E est la masse de produit utilisé pour la détermination (g), M_I est la masse du résidu sec soluble pour 100g de produit analysé (g), et M est la masse totale de la solution pesée (contenue dans le bécher).

II.2.8. Détermination de la couleur

Trois lectures directes sont prises sur les pelures de tomate séchées et lyophilisées, soigneusement placées dans des boîtes Pétri couvertes de verre optique. La couleur est mesurée par un chroma Mètre à réfractance (CM- 2025 Minolta Japon) utilisant le système CIE Lab, calibré par le « rose tile » (L^* 44.88, a^* 25.99, b^* 6.67) et une source lumineuse D-65 [2]. La tonalité est calculée comme $\tan^{-1}(a^*/b^*)$: 90° = jaune, 180° = vert, 0° = rouge. L'indice de saturation est calculé comme $(a^* + b^*)^{1/2}$: distance entre l'origine et le point de la couleur déterminée. L^* : 0 = noire et 100 = blanc; a^* - 60 = vert et +60 = rouge; b^* - 60 = bleu et +60 = jaune.

II.2.9. Teneur en lycopène des pelures séchées

Dans trois tubes à essai, on pèse 0.1g de pelures de tomate lyophilisées, auquel on ajoute 10 ml d'un mélange (hexane- acétone- éthanol : 50/50/1). Les tubes sont agités au vortex pendant 10 mn, pour ensuite subir une centrifugation à 5000 t/mn pendant 15 mn à 4°C . 1ml de la phase organique est extrait, et dilué dans 10 ml d'hexane. La densité optique (DO) est mesurée à 472 nm. Une courbe d'étalonnage a été réalisée avec dilution du lycopène pure, dans l'hexane, [63]. Les expériences ont été réalisées sur 3 essais pour chaque échantillon.

$$C (\mu\text{g/g}) = \frac{Abs_{472} \cdot F_d \cdot 10^6 \cdot V}{3450 \cdot 100 \cdot P} \quad (2.22)$$

F_d est le facteur de dilution, V est le volume de solvant d'extraction, 3450 est le coefficient d'extinction de l'hexane, P est le poids de la prise d'essai.

II.2.10. Quantification du lycopène des pelures lyophilisées par HPLC

On pèse 1g de pelure lyophilisée dans une fiole conique, on ajoute 60ml de KOH méthalonique à 10% pendant 10 s. La solution obtenue est mélangée par un agitateur magnétique à l'obscurité à 40°C pendant 2 heures. Après saponification l'échantillon ainsi obtenu, est transvasé dans une ampoule à décanter, on y ajoute 60ml d'eau distillée, 30ml d'éther de pétrole et 3ml de méthanol, l'éther de pétrole contient le lycopène et d'autres composés lipidiques solubles est récupéré et stocké à 4°C , la phase de l'eau est mélangée encore avec 30ml d'éther de pétrole + 3ml de méthanol, l'éther de pétrole contient le lycopène et d'autres composés lipidiques solubles est récupéré et stocké à 4°C . On extrait le lycopène de la phase aqueuse jusqu'à ce que l'éther de pétrole devient incolore. On mélange les différentes phases de l'éther de pétrole et on

ajoute 200ml d'eau distillée, la phase supérieure de l'éther de pétrole contient le lycopène, et la phase inférieure de l'eau contient des résidus alcalins. L'éther de pétrole est lavé deux fois par 200 ml d'eau distillée pour éliminer la totalité des résidus alcalins, filtré sur un filtre Whatman pour éliminer les résidus de l'eau, et évaporé sous vide à 30°C. Le résidu sec a été repris dans 1 ml de la phase mobile, 20µl ont été injectée [2].

La préparation de la phase mobile a été réalisée au moment de l'emploi. Elle consiste en un mélange de (Acétonitrile, Dichlorométhane, Méthanol : 70/20/10 : V/V/V).

Conditions d'injection : Colonne Nucleodur C18, Détecteur JASCO UV 2075 plus, Débit 1ml/mn, Pompe JASCO P4- 980, Température de la colonne 20 °C.

II.2.11. Détermination de la teneur en polyphénols

II.2.11.1. Extraction des polyphénols

Il s'agit d'une extraction solide-liquide. Le solvant utilisé dans cette présente étude est le méthanol pur (99%), [63]. Celui-ci possède l'avantage d'être éliminé facilement sous vide. Il donne en plus un meilleur rendement d'extraction dépassant celui de l'eau [64], [65], [66], [67].

Le rendement d'extraction en polyphénols augmente aussi avec le temps de contact [68].

On introduit 1 g des pelures de tomate dans un mortier, avec 50 ml de mélange méthanol-eau (60/40), après une macération de 15 mn environ le mélange obtenu est filtré par un papier filtre Whatman, la phase aqueuse récupérée est concentrée au Rota vapeur à 45°C. On obtient ainsi un extrait visqueux.

II.2.11.2. Détermination de la teneur en polyphénols totaux

La teneur en polyphénols totaux des pelures de tomate lyophilisées est déterminée selon la méthode de Folin Ciocalteu [69].

Dans un tube en verre de 5ml, on introduit 5ml d'eau distillée, 0.5ml de l'extrait obtenu et 0.5 ml de réactif de Folin Ciocalteu, on mélange correctement pendant 1 mn, on ajoute 0.5 ml de solution aqueuse de carbonate de sodium à 20%. Le mélange est agité au vortex et conservé à température ambiante à l'abri de la lumière pendant 90mn. On mesure l'absorbance à 760 nm. Le blanc est représenté par le méthanol. La concentration en composés phénoliques totaux est déterminée en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue en utilisant l'acide gallique comme standard.

II.2.12. Détermination de l'activité antioxydante

II.2.12.1. Détermination du pouvoir antioxydant par inhibition de l'oxydation de l'AL

La mesure de l'inhibition du degré d'oxydation de l'acide linoléique est l'une des méthodes les plus utilisées pour la détermination de l'activité antioxydante et antyperoxydante.

La présence d'antioxydants inhibe l'oxydation des lipides par la réduction des radicaux libres [71]. Avec le test utilisé dans la présente étude, le taux d'oxydation est estimé par la méthode colorimétrique au thiocyanate ferrique (FTC) qui permet d'évaluer le taux de peroxydes présents dans le milieu réactionnel. Une absorbance élevée traduit une oxydation importante et par conséquent une absorbance faible signifie une activité antioxydante élevée [72].

Dans des tubes à essais on met 5ml d'extrait des pelures de tomate (obtenue pour le dosage des polyphénols totaux en utilisant le méthanol comme solvant d'extraction), 0.5ml d'acide linoléique (2.52 %) dans de l'éthanol à 99 %, 1 ml de tampon phosphate (0.05M, pH 7) et 0.5ml d'eau distillée, après une incubation à 40°C, à l'abri de la lumière, on prélève toutes les 24 h un aliquote (100 µl) dans un tube à essai additionné de 3ml d'éthanol à 75%, 100µl de thiocyanate d'ammonium à 30%, 100µl de chlorure ferreux (0.02M) préparé dans de l'acide chlorhydrique 3.5% ; après 3 mn on mesure l'absorbance de la coloration rouge à 482nm, jusqu'à obtention d'une absorbance maximale du témoin. On procède avec les mêmes opérations en remplaçant l'extrait des pelures de tomate, respectivement, par les solutions de l' α -tocophérol et de BHT à 0.01% dans le méthanol [70].

L'inhibition de l'oxydation des lipides par les antioxydants présents dans les pelures de tomate, par l' α -tocophérol et par le BHT est exprimée en pourcentage selon l'équation suivante :

$$\% \text{ d'inhibition de l'oxydation de l'acide linoléique} = 100 - \left[\frac{A_{1(t=96h)}}{A_{0(t=96h)}} \right] \times 100 \quad (2.23)$$

Soit A_0 est l'absorbance du témoin et A_1 est l'absorbance de l'échantillon à tester après 96 heures d'incubation à 40°C.

CHAPITRE III
ELABORATION D'UNE MARGARINE
ENRICHIE EN LYCOPENE

Chapitre 3 : Elaboration et caractérisation d'une recette margarine

I. Processus de fabrication de la margarine

I.1. La formulation

La première démarche consiste à fixer les propriétés que l'on désire conférer à notre produit, notamment son point de fusion, son pH et sa teneur en matière grasse totale. Dans notre étude nous avons formulé une margarine de table dont la composition globale standard est 80 % de phase grasse (matière grasse + ingrédients liposolubles), 20 % de phase aqueuse (eau + ingrédients hydrosolubles). La recette détaillée est donnée dans le tableau 4.9. La phase grasse utilisée est constituée de quatre huiles: Soja 36/37; Palme 45/46, MEWAH (mélange d'huiles) et l'oléine de palme. Ces huiles sont préalablement pesées selon la formulation proposée tout en réalisant la pesée des ingrédients liposolubles. Ces huiles sont versées dans un tank de capacité d'environ 3000L, équipé d'un agitateur, ainsi que d'un serpentín de chauffage. L'agitation permet d'empêcher la stratification, de préférence dans une atmosphère d'azote pour éviter l'oxydation et la dégradation du goût durant le stockage. En parallèle, les ingrédients liposolubles en quantités requises par la recette sont dissous dans un autre tank de 500L à doubles parois équipé d'un agitateur contenant l'oléine de palme. Lorsque l'agitateur est en marche, on ajoute des émulsifiants, la lécithine, l'acide citrique et les pelures de tomate.

La phase aqueuse est constituée d'eau osmosée, de lait reconstitué, de sel à 0.5 %, de sorbate de potassium d'acide citrique. Ces ingrédients préalablement pesés dans un autre tank de 500L à double parois équipé d'un agitateur. Ensuite ces deux phases sont pompées dans le PREMIX pour développer la formation d'une émulsion type eau dans l'huile (émulsification). L'émulsion est gardée sous agitation constante pour empêcher sa séparation à l'aide d'agitateurs (rapide et lent). La finesse de l'émulsion obtenue et sa stabilité, sont des critères importants pour la réussite de cette opération. Une dispersion convenable de l'eau sous une forme de gouttelettes de quelques microns, assure une bonne plasticité et une conservation prolongée de la margarine. Elle contribue aussi à donner à cette dernière sa saveur.

Une margarine sans pelures de tomate est élaborée en parallèle afin de servir de témoin pour le test de Swift.

I.2. Test de l'émulsion

On projette une gouttelette d'émulsion dans un bécher d'eau tiède, si la gouttelette se diffuse dans l'eau, l'émulsion n'est pas réussie, et on ajoute la quantité nécessaire d'émulsifiant; si la gouttelette est englobée; l'émulsion est réussie et on n'a pas besoin d'ajouter les émulsifiants. Les gouttes d'émulsion ont gardés leurs forme dans l'eau tiède ce qui signifie que l'émulsifiant est en quantité suffisante.

I.3. Processus et technologie de fabrication

Le processus est réalisé dans une chaîne en système continu (procédé PERFECTOR). L'émulsion ainsi formée va passer dans un pasteurisateur à une température de 80°C pendant quelques secondes. L'émulsion est pompée à l'aide d'une pompe haute pression vers le système PERFECTOR. Les tubes refroidisseurs sont équipés d'un rotor sur lequel sont montés des couteaux, dont le but principal est le raclage de la paroi intérieure, refroidie par un fluide réfrigérant. L'émulsion de margarine, dont la température se situe entre 40 et 50°C, est pompée dans le tube refroidisseur supérieur et continue son chemin par le tube inférieur jusqu'à l'emballageuse. Le fluide refroidisseur suit un chemin inverse, il entre au moyen d'un compresseur, dans le réservoir d'égouttage situé sous les deux tubes refroidisseurs. La pression du produit peut varier de 20 à 60 bars tandis que la température de refroidissement peut varier de -10 à -25°C. Durant le fonctionnement de l'installation, les tubes refroidisseurs sont enveloppés d'ammoniac liquide, dont la circulation est commandée par une soupape flottante. Le produit solide est ensuite repris dans un cylindre malaxeur laminaire (machine à battons); grâce au travail mécanique auquel il est soumis, il acquiert ses propriétés plastiques, une homogénéité et une texture convenable. Entre la cristallisation et le malaxage le produit est laissé au repos quelques temps, ce qui permet un léger réchauffement et une « maturation » [74]. Les glycérides présentent 3 formes de cristallisation, α , β' et β , la forme α est celle qui présente le point de fusion le plus bas. La forme β présente le point de fusion le plus élevé et c'est la plus stable, mais aussi la plus difficile à atteindre. Dans la margarine, la transition est longue et très souvent la matière grasse demeure sous la forme β' .

La margarine de table enrichie en pelures de tomate, est conditionnée dans des pots en polypropylène de 800g hermétiquement fermés, stockés au réfrigérateur à une température de 5°C.

II. Caractérisation physico-chimique et microbiologique

II.1. Analyses microbiologiques

Les risques de contamination microbiologiques de la margarine proviennent surtout de la phase aqueuse, car les huiles constituent un milieu défavorable au développement des bactéries. La phase aqueuse est plus vulnérable aux contaminations microbiennes, ainsi le lait même pasteurisé, peut servir de milieu de culture à des microorganismes introduits accidentellement. Les bactéries, les levures et les moisissures provenant de la phase aqueuse, détériorent la qualité de la margarine en libérant des acides gras libres, des aldéhydes et des cétones responsables des mauvaises odeurs. La margarine est un produit sain, mais les bactéries sont des agents sournois, pour cela, et pour assurer la qualité bactériologique des pelures de tomate avant incorporation, et du produit fini, on a déterminé cinq germes qui sont susceptibles d'infecter la qualité de la margarine, les germes aérobies à 30°C, les Coliformes fécaux, le *Staphylococcus aureus*, les Salmonelles, les Levures et les Moisissures.

II.2. Caractérisation physicochimique de la margarine enrichie en lycopène

II.2.1. Détermination de la teneur en eau et matières volatiles

Le principe est basé sur la perte à l'étuve à 103°C de la margarine, mélangée avec du sable. On pèse 5 g de margarine dans une capsule contenant 20g de sable purifié, la capsule et son contenu sont introduits dans une étuve réglée à 105°C pendant 30mn. La capsule est refroidie dans un dessiccateur puis on pèse, jusqu'à l'obtention d'un poids constant. La perte à l'étuve est terminée quand la diminution de poids ne dépasse pas 0.05 % par demi-heure de chauffage [61]. La teneur en eau et matières volatiles est exprimée par la formule suivante :

$$\text{Eau et matières volatiles (\%)} = \frac{P_1 \times 100}{P_2} \quad (3.1)$$

Soit P_1 est la perte de poids (g), P_2 est le poids de la prise d'essai (g).

II.2.2. Détermination du gras et du non gras

Les deux parties grasses et non grasses sont séparées grâce à une extraction par solvant, et leur poids est calculé après séchage à l'étuve réglée à 105 °C.

On pèse 5 à 10 g de margarine dans une capsule en porcelaine et on met le tout dans une étuve réglée à 105 °C pendant 1 heure; on chauffe le tout sur une plaque électrique à 120 °C; on filtre à l'aide d'un filtre préalablement séché et taré, on filtre sous vide puis on lave le filtre avec une

solution d'éther éthylique; le filtre est porté dans une étuve à 105 °C pendant une demi-heure; refroidi dans un dessiccateur puis on pèse; jusqu'au poids constant [73]. La teneur en non gras exprimée en % est donnée par la formule suivante :

$$\text{NG \%} = \frac{(P_2 - P_1)}{P} \times 100 + \% \text{ eau} \quad (3.2)$$

Soit P_1 est le poids du filtre vide (g), P_2 est le poids du filtre avec le résidu (g) et P est la masse de la prise d'essai (g). La teneur en gras exprimée en % est donnée par la formule suivante:

$$\% \text{ G} = 100 - \% \text{ NG} \quad (3.3)$$

II.2.3. Détermination de la teneur en acides gras de la margarine enrichie en lycopène

L'analyse chromatographique en phase gazeuse des corps gras n'est pas toujours possible en raison de leurs températures d'ébullitions trop élevées et de leur insatiabilité thermiques. La transformation chimique des acides gras constituant le corps gras en esters méthyliques permet d'abaisser leurs températures d'ébullition et d'obtenir des dérivés thermostables.

On pèse 4 g de notre margarine dans un ballon de 100 ml raccordé à un réfrigérant à reflux. On y ajoute 50ml de méthanol et 1ml de potasse méthanolique. Le ballon est placé sur une plaque chauffante avec agitation continue assurée par un agitateur magnétique, pendant 10 mn. On verse par le haut du réfrigérant 30ml d'eau et on transvase le contenu du ballon dans une ampoule à décanter. Le ballon est rincé plusieurs fois par 20ml d'eau distillée, puis 20ml d'hexane. Après agitation, les esters méthyliques se rassemblent dans la phase organique; on procède à une deuxième extraction par 20ml de solvant. L'ensemble des phases organiques obtenues sont versées dans l'ampoule à décanter lavée deux fois par 10ml d'eau distillée. On filtre sur le sulfate de sodium anhydre, la presque totalité du solvant est évaporée à l'aide d'un rotavapeur. L'injection se fait dans les conditions suivantes: Détecteur FID, le gaz vecteur est le N_2 , la température du détecteur est de 280°C, la température de l'injecteur est de 260°C, la température de la colonne en programmation est de 80°C à 180°C avec une vitesse de 5°C/mn et le débit de gaz vecteur est de 25ml/mn [61].

Les acides gras sont identifiés par leurs temps de rétentions par rapport à un chromatogramme de référence d'un mélange standard d'esters méthyliques de composition et concentration connues.

II.2.4. Détermination du pH

Le pH est déterminé directement sur la phase aqueuse après sa séparation de la margarine, à l'aide d'un pH-mètre [61].

II.2.5. Détermination de l'indice d'iode

L'indice d'iode nous renseigne sur le degré d'insaturation globale des corps gras [74]. L'indice d'iode est calculé selon la formule suivante:

$$II = \% C_{18:1} \times 0.860 + \% C_{18:2} \times 1.732 + \% C_{18:3} \times 2.616 \quad (3.4)$$

II.2.6. Détermination de l'acidité

L'hydrolyse des corps gras, qu'elle soit d'origine chimique ou enzymatique entraîne la formation d'acides gras libres, dont la mesure permet d'évaluer l'état de son altération par hydrolyse.

Dans une fiole conique de 100 à 150ml on pèse 3 à 5g de la margarine, on y ajoute un mélange de 50ml d'alcool éthylique - éther diéthylique (1:2; V:V), on titre par la solution de soude 0,1 N en utilisant le phénol phtaléine comme indicateur jusqu'à une coloration rose pâle persistant une dizaine de secondes [73]. L'indice d'acide en mg de KOH est calculé selon la formule suivante :

$$IA = \frac{V \times 5.61}{P} \quad (3.5)$$

Soit V est le volume de soude employé (ml), P est le Poids de la prise d'essai (g), 5.61 est le nombre de mg de potasse équivalent à 1ml de soude à 0.1 N. L'acidité en (%) est calculée en équivalent acide oléique :

$$A\% = 0.5 \times IA \quad (3.6)$$

II.2.7. Détermination de l'indice de peroxyde

L'altération chimique des corps gras insaturés par l'oxygène de l'air débute par la formation d'un peroxyde. Ce phénomène a lieu au cours du stockage, cette réaction étant une réaction autocatalytique, elle commence très lentement, puis après une période d'induction où l'oxydation est pratiquement indécélable, s'accélère de façon exponentielle. La détermination de la quantité des peroxydes d'un corps gras renseigne sur son altération par oxydation. Dans une molécule de peroxyde il y'a une molécule d'oxygène fixée, mais sur les deux atomes d'oxygène, un seul est actif capable d'oxyder, par exemple, les iodures en iode, l'iode libéré sera réduit par le thiosulfate de sodium.

Dans une fiole conique de 250 ml; on pèse exactement 2 g de margarine, on joute 10 ml d'alcool éthylique, 20 ml d'acide acétique glacial et 1 ml de solution d'iodure de potassium saturée. Après agitation pendant 1 mn on met la fiole à l'abri de la lumière pendant 5 mn et on titre par le thiosulfate de sodium 0.01N jusqu'à l'apparition d'une coloration jaune paille puis on ajoute 1ml de solution d'amidon (la coloration devient bleue) et on continue le titrage jusqu'à décoloration totale, en parallèlement on effectue un essai à blanc [73]. L'indice de peroxyde (*IP*) exprimé méq/Kg, est donné par la formule suivante :

$$IP(\text{méq/Kg}) = \frac{V - V_1}{P} \times 10 \quad (3.7)$$

Soit *V* le volume de thiosulfate consommé, *V₁* le volume de thiosulfate de l'essai à blanc, *P* le poids de la prise d'essai.

II.2.8. Détermination du point de fusion

Il n'existe pas de température de fusion de corps gras mais un intervalle de températures dans lequel se fondent leurs différents constituants. Par convention, la température de fusion d'un corps gras correspond à la température du début de la fusion de celui-ci.

Le tube capillaire propre est rempli par la margarine jusqu'à une hauteur de 2cm, puis refroidi au congélateur pendant 20mn, le tube est rattaché à un thermomètre de façon que la colonne de la margarine se trouve au même niveau que le réservoir du thermomètre, l'ensemble est introduit dans un bêcher contenant de l'eau ayant une température inférieure de 10 °C environ de la température de fusion présumée ; on chauffe le bêcher de façon que la température s'élève d'environ 0.5°C par minute, en surveillant le moment où la margarine commence à monter dans le tube capillaire, on lit la température (T°C) sur le thermomètre [73].

II.2.9. Détermination de la couleur

Trois lectures directes sont prises sur la margarine avec et sans pelures de tomate, soigneusement placée dans des boites pétri couverte de verre optique [2]. La couleur est mesurée par un chroma Mètre à réfractance (CM- 2025 Minolta Japon) utilisant le système CIE Lab, calibré par le « rose tile » (*L** 44.88, *a**25.99, *b** 6.67) et une source lumineuse D-65. La tonalité est calculée comme $\tan^{-1}(a^*/b^*)$: 90° = jaune, 180° = vert, 0° = rouge. L'indice de saturation est calculé comme $C = (a^* + b^*)^{1/2}$: distance entre l'origine et le point de la couleur déterminée. *L**: 0 = noire et 100 = blanc; *a** - 60 = vert et +60 = rouge; *b** - 60 = bleu and +60 = jaune.

II.3. Analyse de la texture

La teneur en solide est une mesure de la quantité de graisse à l'état solide dans une graisse à une certaine température, déterminée par RMN. La teneur en graisse solide reflète la proportion des fractions liquide et solide dans une graisse. Elle constitue une caractéristique physique importante influençant beaucoup les propriétés technologiques et sensorielles des corps gras. A une température donnée, elle est directement liée à la mollesse ou à la dureté de la graisse. Une fois la graisse incorporée dans un aliment, cette dernière influence la consistance (la dureté, la rigidité) de l'aliment. La spectroscopie RMN peut fournir une information qualitative (structure chimique) et quantitative (la proportion relative d'acides gras saturés et insaturés, le degré d'insaturation).

La margarine est fondu à 70°C dans un bûcher, on obtient deux phases séparés, la phase grasse est filtrée sur un papier filtre préalablement séché. On remplit trois tubes propre et sec à 2cm ensuite on les met dans un bain marie : 15 mn à 100°C ; 05 mn à 60°C ; 60 mn à 0°C respectivement. On place les tubes dans l'appareil RMN et on lit la première valeur en % à 5 °C. On réchauffe les tubes dans le bain marie 30 mn à 10°C (2^{eme} lecture), puis 30 mn à 15°C (3^{eme} lecture) [73]. On note les valeurs de SFC chaque 30mn à des températures différentes. Ensuite on trace la courbe de SFC (%) en fonction de la température (°C).

II.4. Analyse sensorielle

L'analyse sensorielle, réalisée par un panel de dégustateurs entraînés, est la plus représentative de la perception des consommateurs. Il permet une description complète de la qualité gustative de la margarine (saveur, arômes, couleur et texture). En parallèle, on a réalisé un essai hédonistique en utilisant 09 échelles de notation non-structurée (01 : Extrêmement désagréable et 09 : Extrêmement agréable) dans lesquelles les assesseurs ont évalué les différents caractéristiques : odeur, couleur, texture et goût [2].

II.5. Quantification du lycopène

Voire **II.2.10**. Seulement la prise d'essai pour la margarine est de 30g.

II.6. Evaluation de la stabilité oxydative de la margarine

Les oxydations représentent les principales altérations des matières grasses insaturées, aboutissant à leur rancissement oxydatif. Selon les mécanismes réactionnels mis en œuvre, les oxydations sont subdivisées en autoxydation, photooxydation et oxydation enzymatique. Les méthodes utilisées pour évaluer la stabilité oxydative de la margarine, vis-à-vis de l'autoxydation prise comme exemple des altérations d'oxydation, sont passées en revue.

II.6.1. Méthode à l'étuve (Test de Shaal)

Le test consiste à oxyder la matière grasse dans une étuve à 30°C. La mise en évidence de l'oxydation est montrée par la mesure de l'indice de peroxyde sur des prélèvements faits tous les 7 jours [98]. Cette méthode présente l'avantage de se rapprocher des conditions réelles de stockage.

II.6.2. Spectrophotométrie directe d'hydroperoxydes insaturés

La peroxydation des acides gras non saturés provoque la conjugaison des doubles liaisons (figure 3.1), et la formation de diènes conjugués relativement stables, qui peuvent être mesurés en spectrophotométrie à 233 nm. Avec l'augmentation de sensibilité des spectrophotomètres actuels, cette technique semble une des plus fiables pour la mesure finale de la peroxydation lipidique.

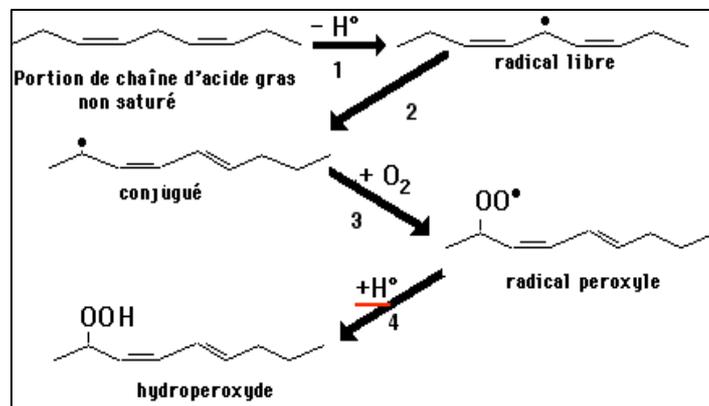


Fig.3.1 Peroxydation d'une portion de chaîne d'acide gras insaturé [48].

On dissout 0.1 g de la margarine dans 10 ml de cyclohexane pur, ensuite on mesure l'absorbance (DO), de la solution obtenue à 0,1%, par spectrophotomètre à 233nm [73].

II.6.3. Dosage des substances réagissant avec l'acide thiobarbiturique

L'oxydation des lipides conduit à la perte d'acides gras essentiels et à la production de composés à odeur désagréable (composés carbonylés). La prévention de l'oxydation peut s'effectuer par l'ajout de composés naturels ou de synthèse.

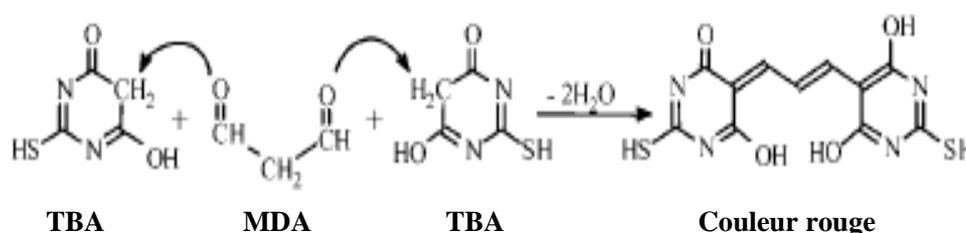


Fig.3.2 Condensation du dialdéhyde malonique par 2- acides thiobarbiturique

Le test TBA permet d'évaluer la formation des composés carbonylés, produits secondaires de l'oxydation. Il consiste à faire réagir le 2-acides thiobarbiturique (figure 3.2), avec le dialdéhyde malonique produit par décomposition des lipoperoxydes, et aboutit à la formation d'un composé rouge. Le dosage des substances de type aldéhyde réagissant avec l'acide thiobarbiturique (TBA) et notamment le dialdéhyde malonique est effectué selon la méthode de Draper et Hadley [75].

Pour cela, 2 g de margarine sont homogénéisés dans l'acide trichloroacétique, TCA à 0,1 %, puis incubées pendant 30 min dans un mélange TBA à 0,375 %/ TCA à 15 %/ HCl 0,25 N, à 95 °C. L'absorbance est mesurée à 535 nm. La quantité de TBARS est calculée sur la base du coefficient d'extinction molaire $\epsilon = 155 \text{ mM}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$, en utilisant l'équation suivante [75] :

$$\text{mg équivalent MDA/Kg} = (A_{\text{corrigé}} \cdot V_{\text{TCA}} \cdot 2 \cdot M \cdot 10^{-2}) / 1.56 \text{ m} \quad (3.8)$$

Soit V_{TCA} : volume du solvant d'extraction, m : masse de l'échantillon analysée (g), M : masse moléculaire du malonaldéhyde = 72 g.mol.

II.6.4. Test de stabilité de Swift

La résistance à l'oxydation ne peut être mesurée véritablement que par des essais pratiques de conservation. Mais ceux-ci, en raison de leurs durées, ne permettent pas d'exploiter les résultats obtenus. Le test de Swift [73], consiste à oxyder par un courant d'air humide le corps gras maintenu à 98°C dans un bain thermostaté. La mise en évidence de l'oxydation est faite avec le test normalisé de L'A.O.C.S. L'oxydation est révélée par la mesure de l'indice de peroxyde et par la mise en évidence colorimétrique des produits volatils acides qui prennent naissance lorsque l'oxydation devient notable. Les produits acides sont mis en évidence par un changement de

couleur d'un indicateur de pH en solution faiblement alcaline, choisi pour que le virage coïncide sensiblement avec la valeur de 5mécq/Kg de l'indice de peroxyde. Le montage utilisé est illustré par la photo (figure 3.3).

On chauffe la margarine dans un bain-marie jusqu'à fusion et la rendre homogène par agitation énergique ; dans un ballon en verre on pèse 20 g de margarine, on ajoute 1 ml, mesuré à la pipette, de la solution d'indicateur et 10 ml d'eau distillée.

- 1- Pompe à air
- 2- H₂SO₄ (filtration de l'air)
- 3- NaOH (filtration de l'air)
- 4- Thermocouple
- 5- Ballon tricol
- 6- Système de chauffage
- 7- La solution indicatrice avant et après le virage.

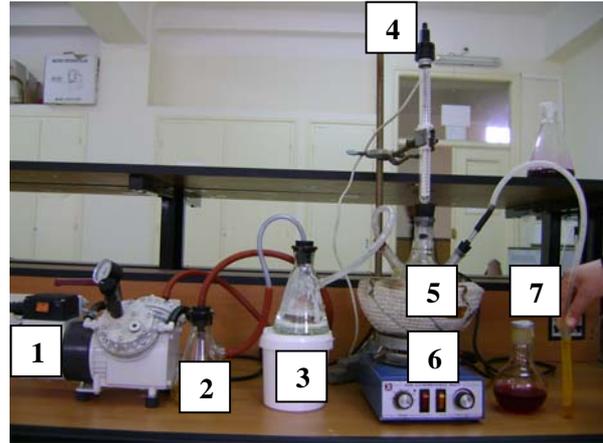


Fig.3.3 Dispositif du test de Swift

Le tube contenant la margarine est placé sur la plaque thermostatée, et relié à un autre tube contenant la solution indicatrice (rouge de crésol) à l'aide d'un tube en caoutchouc et on fait passer l'oxygène à la vitesse de 8 litres à l'heure soit environ 50 à 60 bulles à la minute. On détermine à la fois le temps au bout duquel les produits volatils formés au cours de l'oxydation et entraînés par le courant d'oxygène dans la solution d'indicateur, provoquent l'abaissement du pH de cette solution qui vire du carmin au jaune, et on suit l'indice de peroxyde au cours de ce temps. Les résultats sont exprimés par la durée en heure entre le début de l'essai et l'observation du virage.

CHAPITRE IV
RESULTATS ET DISCUSSION

Chapitre 4 : Résultats et discussion

I. Composition globale de la tomate

Les trois fractions de la tomate étudiée sont données dans le tableau 4.1.

Tableau 4.1 : Les fractions de la tomate fraîche « DAMOUS »

Paramètres	Valeur moyenne (%)
Tomate fraîche	100
Pulpe	75
Pelures de tomate +graines	25
Forme	Sphérique

La teneur en pulpe, exprimée en pourcentage pondéral (Poids de la pulpe/Poids du fruit frais), indique que la tomate, présente un teneur de 91.17 %. Les pelures de tomate représentent environ 8.82 % (MF) du poids total de la tomate.

II. Modélisation de la cinétique de séchage

II.1. Teneur en eau

L'humidité nous permet de rapporter les résultats des constituants biochimiques à la matière sèche. La teneur en eau des pelures de tomate est de 87 %.

II.2. L'Effet des prétraitements sur le temps de séchage

L'effet des prétraitements par CaCl_2 , NaMS et le mélange des deux sels ($\text{CaCl}_2 + \text{NaMS}$) sur le rapport d'humidité des pelures de tomate en fonction du temps à 60 et 70 °C, est illustré dans les figures 4.1– 4.7. On constate que le prétraitement par les différentes solutions est un facteur très important parce qu'il affecte la durée de séchage. Le temps de séchage est de 160 mn, 110 mn à 60 et 70 °C, respectivement, pour les pelures de tomate non traitées (témoins), après le prétraitement dans les différentes solutions, le temps de séchage est de : 100, 130, 150 mn et de 60, 80, 100 mn pour le CaCl_2 , le ($\text{CaCl}_2 + \text{NaMS}$) et le NaMS, respectivement, à 60°C et 70 °C. Par conséquent, ces prétraitement peuvent réduire la durée de séchage de 37.5 %, 18.75 %, 6.25% et de 45.45%, 27.27%, 9.09% à 60 et 70 °C respectivement. Les mêmes effets, ont été observé pour les tomates [40], et le poivron rouge [58].

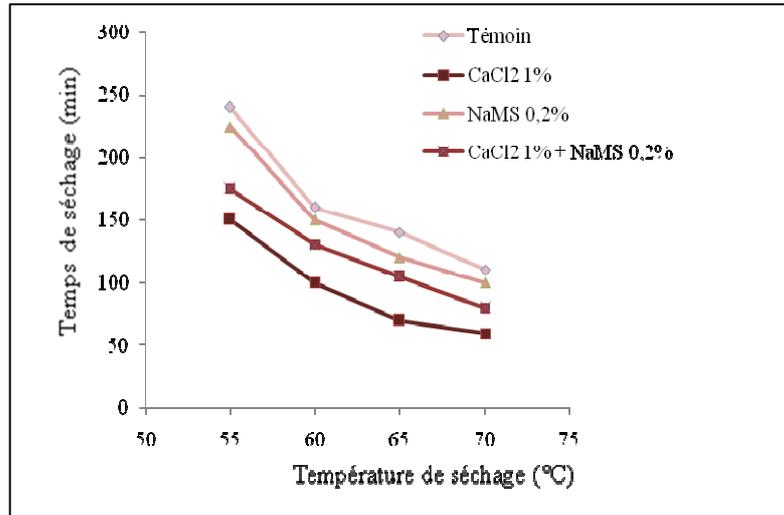


Fig.4.1 Influence de la température de séchage et du prétraitement sur le temps de séchage des pelures de tomate.

Les figures 4.2 – 4.7 représentent les variations du rapport d'humidité avec le modèle de Page en fonction du temps de séchage à 60 et 70 °C pour les pelures de tomate, obtenues à différents prétraitements, avec un débit d'air constant 1.5 m/s. Durant la première période de séchage les pertes d'eau sont rapides, mais elles diminuent avec le temps. Nous remarquons que le modèle de Page montre une bonne corrélation avec les données expérimentales, obtenues par les expériences de séchage. Des résultats similaires ont été rapportés dans la littérature pour différents légumes [57], [76].

Le rapport d'humidité diminue, de manière continue avec le temps de séchage. La température et le prétraitement ont un effet important sur le temps de séchage et sur la teneur en eau des pelures de tomate. L'influence de la température est significative à 70°C avec la solution de CaCl₂ comme prétraitement. Le processus de séchage des pelures de tomate est contrôlé par des mécanismes de diffusion. Des résultats similaires ont été rapportés dans la littérature pour différents fruits et légumes [77], [78].

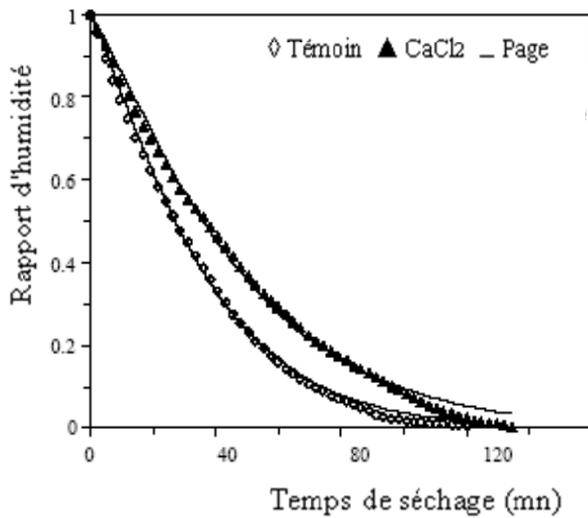


Fig.4.2 Variation du rapport d'humidité avec le modèle Page en fonction du temps à 60 °C pour les pelures de tomate traitées par (CaCl₂) et non traitées.

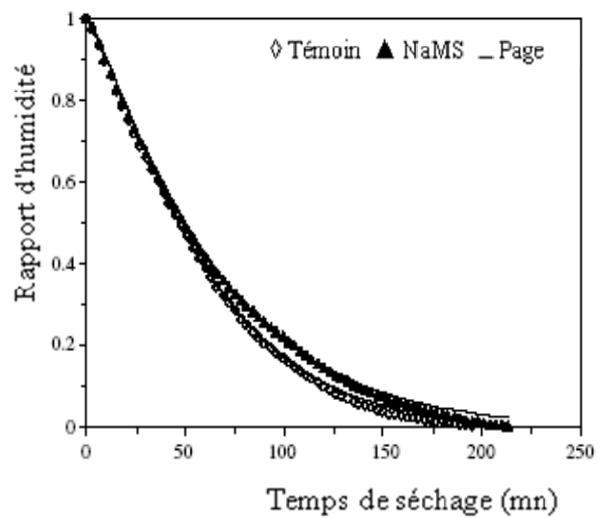


Fig.4.3 Variation du rapport d'humidité avec le modèle Page en fonction du temps à 60 °C pour les pelures de tomate traitées par (NaMS) et non traitées.

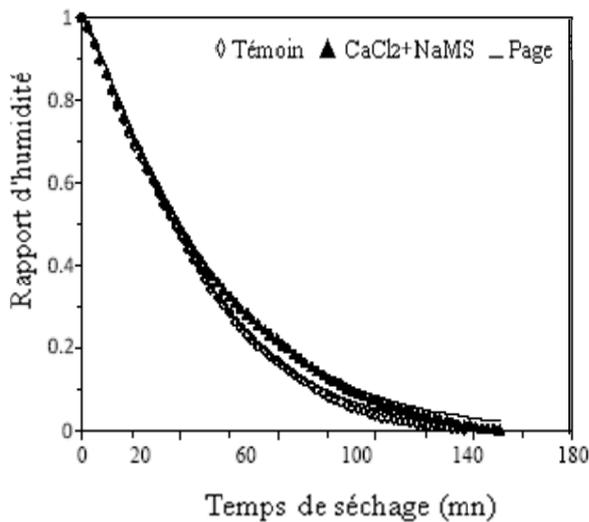


Fig.4.4 Variation du rapport d'humidité avec le modèle Page en fonction du temps à 60 °C pour les pelures de tomate traitées par (CaCl₂ + NaMS) et non traitées.

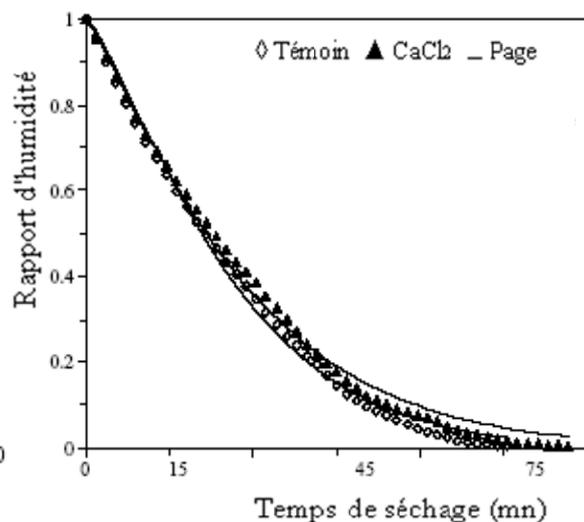


Fig.4.5 Variation du rapport d'humidité avec le modèle Page en fonction du temps à 70 °C pour les pelures de tomate traitées par (CaCl₂) et non traitées.

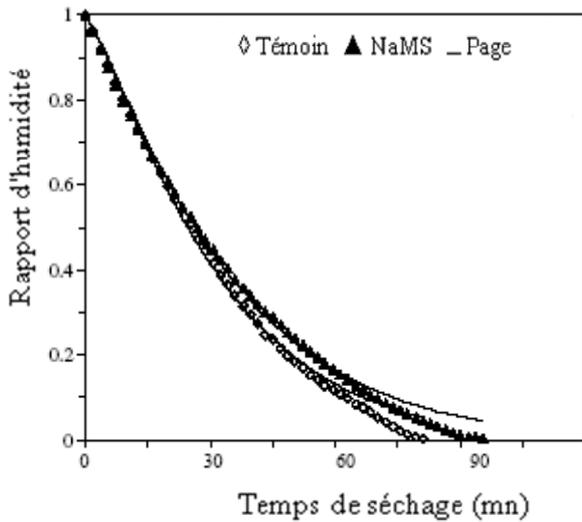


Fig.4.6 Variation du rapport d'humidité avec le modèle Page en fonction du temps à 70 °C pour les pelures de tomate traitées par (NaMS) et non traitées.

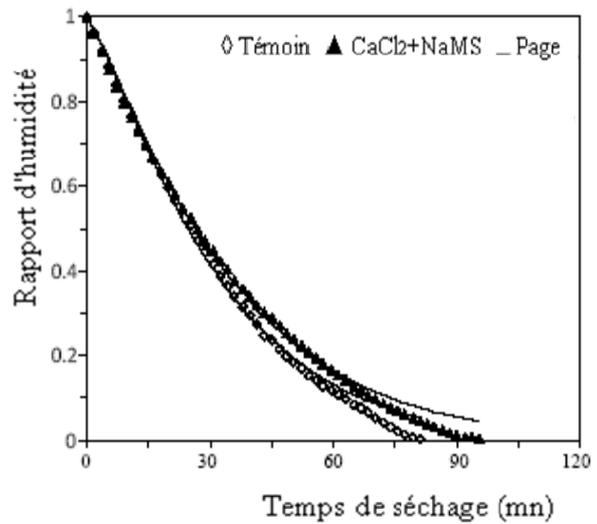


Fig.4.7 Variation du rapport d'humidité avec le modèle Page en fonction du temps à 70 °C pour les pelures de tomate traitées par (CaCl₂+NaMS) et non traitées.

II.3. Modélisation de la cinétique de séchage

Les résultats de l'analyse statistique pour les deux modèles sont représentés dans le tableau 4.2.

L'application des modèles du rapport d'humidité de Henderson et Pabis et celui de Page à nos résultats afin de déterminer les paramètres des deux modèles. Le coefficient de corrélation, est supérieur à 0.98 pour les différentes courbes de séchage avec les deux modèles. Le modèle de Page donne des valeurs de R^2 , les plus élevés, et des valeurs de X^2 , les plus basses par rapport au modèle de Henderson et Pabis. Les valeurs de R^2 varient de 0.9819 à 0.9951 pour Henderson et Pabis, et de 0.9943 à 0.9985 pour le modèle de Page. En ce qui concerne, les valeurs de Chi-square, celles-ci varient de 0.00041 à 0.00186 pour Henderson et Pabis, et de 0.00012 à 0.00076 pour le modèle de Page. Par conséquent, nous pouvons conclure que le modèle de Page est meilleur que celui de Henderson et Pabis pour caractériser les données de séchage des pelures de tomate à 60°C et 70 °C.

Tableau 4.2 : Les valeurs critiques des deux modèles pour le séchage des pelures de tomate

Code	T (°C)	Modèles et constantes	R ²	X ²
Témoins	60	Handerson et Pabis ($a : 1.0538, k : 0.0018$)	0.9879	0.00107
		Modèle Page ($k : 0.0005, n : 1.1705$)	0.9949	0.00045
	70	Handerson et Pabis ($a : 1.0757, k : 0.0022$)	0.9837	0.00186
		Modèle Page ($k : 0.0006, n : 1.1876$)	0.9943	0.00076
CaCl ₂	60	Handerson et Pabis ($a : 1.0755, k : 0.0018$)	0.9910	0.00080
		Modèle Page ($k : 0.0003, n : 1.2283$)	0.9985	0.00012
	70	Handerson et Pabis ($a : 1.0591, k : 0.0024$)	0.9916	0.00073
		Modèle Page ($k : 0.0006, n : 1.1985$)	0.9979	0.00018
NaMS	60	Handerson et Pabis ($a : 1.0760, k : 0.0020$)	0.9840	0.00151
		Modèle Page ($k : 0.0004, n : 1.2089$)	0.9953	0.00047
	70	Handerson et Pabis ($a : 1.0740, k : 0.0024$)	0.9819	0.00172
		Modèle Page ($k : 0.0003, n : 1.2900$)	0.9950	0.00047
CaCl ₂ +NaMS	60	Handerson et Pabis ($a : 1.0575, k : 0.0016$)	0.9951	0.00041
		Modèle Page ($k : 0.0005, n : 1.1537$)	0.9984	0.00013
	70	Handerson et Pabis ($a : 1.0544, k : 0.0018$)	0.9895	0.00091
		Modèle Page ($k : 0.0004, n : 1.1940$)	0.9961	0.00033

II.4. Calcul de la diffusivité effective et de l'énergie d'activation

Les valeurs de la diffusivité effective à 60 et 70 °C sont données dans le tableau 4.3. Les valeurs de la diffusivité effective des pelures de tomate séchées à 60°C et 70°C, varient dans l'intervalle $4.9 \cdot 10^{-10} - 5.91 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, pour les pelures non traitées et de $6.65 \cdot 10^{-10}$ à $8.53 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, pour les pelures traitées. Les valeurs obtenues sont dans l'intervalle approprié, pour des produits similaires [79].

Tableau 4.3 : Valeurs de la diffusivité effective obtenues à différents prétraitements

Code	T (°C)	D _{Eff} (m ² /s)
Témoins	60	$4.91 \cdot 10^{-10}$
	70	$5.91 \cdot 10^{-10}$
CaCl ₂	60	$7.56 \cdot 10^{-10}$
	70	$8.53 \cdot 10^{-10}$
NaMS	60	$6.65 \cdot 10^{-10}$
	70	$7.11 \cdot 10^{-10}$
CaCl ₂ + NaMS	60	$6.78 \cdot 10^{-10}$
	70	$7.65 \cdot 10^{-10}$

On remarque aussi que les valeurs de la diffusivité effective, augmentent avec l'augmentation de la température et atteignent une valeur maximale à 70°C. Elle est de $8.53 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, $7.65 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, $7.11 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ pour le CaCl_2 , le ($\text{CaCl}_2 + \text{NaMS}$) et le NaMS respectivement.

Les valeurs de la diffusivité effective des pelures de tomate sont similaires à celles estimées par différents auteurs pour les tomates et autres végétaux : $2.3\text{--}9.1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ pour les tomates séchées de 60°C à 110°C, [80] ; $3.72\text{--}12.27 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ pour les tomates séchées de 45°C à 75 °C, [81] ; $0.87\text{--}2.17 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ pour la pomme de terre séché de 50°C à 70°C, [82] ; $2\text{--}4.2 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ pour les tranches de l'ail séché de 50°C à 90°C, [40].

Les valeurs de l'énergie d'activation sont de 16.40 kJ/mol, 19.57 kJ/mol, 20.90 kJ/mol pour le CaCl_2 , le ($\text{CaCl}_2 + \text{NaMS}$) et le NaMS respectivement, et de 30.94 kJ/mol pour les pelures non traitées. On notera, que les pelures de tomates traitées présentent une faible énergie d'activation comparativement avec les pelures de tomate non traitées. Celle-ci est inférieure à l'énergie d'activation du piment rouge (41.95 kJ/mol) [83].

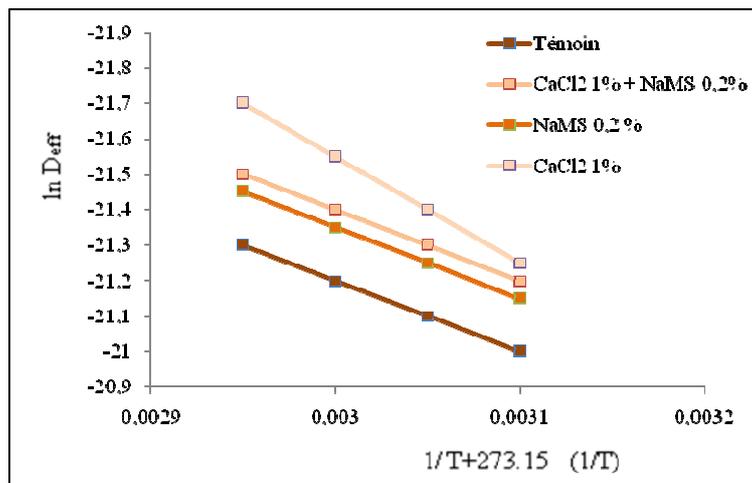


Fig. 4.8 Influence de la température sur la diffusivité effective des pelures de tomates traitées et non traitées.

II.5. La capacité de réhydratation

Les résultats de la capacité de réhydratation sont exprimés dans le tableau 4.4. La capacité de réhydratation des pelures de tomate traitées paraît plus rapide que celle des pelures de tomate non traitées.

Tableau 4.4 : Capacité de réhydratation des pelures de tomate séchées à 60 et 70 °C à différents prétraitements.

	T (°C)	Capacité de réhydratation kg eau/kg MS
Témoins	60	3,3
	70	3,2
NaMS	60	3,5
	70	3,2
CaCl₂ + NaMS	60	3,7
	70	3,3
CaCl₂	60	4.4
	70	3.2
Lyophilisée	-	7,5

Le prétraitement par différentes solutions a donné des produits plus compacts après le processus de séchage à 70 °C. Ce facteur a défavorablement influencé la réhydratation des pelures de tomate. D'après les résultats obtenus, on peut dire que la réhydratation est plus rapide à 60 °C. Du point de vue capacité de réhydratation, 60 °C semble être, la température optimale pour le séchage des pelures de tomate. Des résultats similaires ont été rapportés pour la tomate [40].

II.6. Effets de la température et des prétraitements, sur la qualité de la poudre obtenue

Les effets de la température, et des prétraitements sur la qualité de la poudre des pelures de tomate pendant le séchage sont donnés dans le tableau 4.5.

Tableau 4.5 : Effets des prétraitements sur la qualité de la poudre des pelures de tomate

Traitement	T (°C)	Humidité (g/100g)	Sucres totaux (g/100g)	Acidité (g/100g)	Lycopène (mg/100g)	BNE (420nm)	Résidu sec soluble (%)
Témoins	60	5,0	1.15	5,82	82.55	0.48	39.11
	70	4,7	1.17	4,82	73.58	0.40	40.11
CaCl₂	60	3,8	1.80	4,59	92.67	0.30	42.12
	70	3,5	1.65	4,70	122.65	0.26	41.12
NaMS	60	4,4	1.40	5,25	89.43	0.35	40.56
	70	4,1	1.38	5,04	90.34	0.29	42.56
CaCl₂+NaMS	60	3,5	2.10	5.01	82.50	0.47	45.23
	70	3,1	2.00	4,82	102.41	0.27	42.93
Lyophilisée	-	2,1	3.12	4,13	126.23	0.23	46.98
ES	60	0.110	0.113	0.050	0.456	0.022	0.210
	70	0.105	0.099	0.026	0.390	0.030	0.199

a/ l'Humidité : d'après les résultats obtenus, on remarque que le prétraitement par CaCl_2 favorise l'élimination de l'eau des pelures de tomate, par une mobilité intense dans les pelures de tomate, pendant le séchage. Le CaCl_2 influence sur la cinétique de séchage, par des changements importants sur la texture des pelures, constaté lors de l'émersion. Aussi, le prétraitement par le CaCl_2 , diminue la durée de séchage de manière très significative (plus d'une heure) comparativement au témoin. Pour les deux températures utilisées 60 et 70 °C, les valeurs de l'humidité finale, des pelures de tomate traitées sont assez proches, mais demeurent plus basses que le témoin. Les mêmes valeurs paraissent élevées comparativement aux pelures de tomate lyophilisées. Des observations similaires ont été reportées dans la littérature [84], [85].

b/ les sucres totaux : le taux de sucres totaux est nettement plus élevé dans les pelures de tomate lyophilisées (3.12 g/100g), et prétraitées par rapport au témoin. La teneur en sucres est plus élevée dans les pelures traitées par le mélange ($\text{CaCl}_2 + \text{NaMS}$), 2,1 g/100g, suivie par le CaCl_2 , 1.8 g/100g, et le NaMS, 1.4 g/100g. Ces changements peuvent être liés à la réaction du brunissement non enzymatique, elle est plus élevée dans l'échantillon témoin (DO=0.48) que dans le prétraitement par le CaCl_2 (DO=0.30) et le NaMS (DO=0.35), [85], [62], [105]. Il n'apparaît pas de différence significative de la teneur en sucres sous l'effet de la température, pour les pelures de tomate prétraitées.

c/ le résidu sec soluble : en ce qui concerne, le résidu sec soluble des différents échantillons, celui-ci varie entre 39 et 46 %, correspondant à un indice de réfraction de 2.25. La mesure des teneurs en extrait sec soluble des pelures de tomates montre (tableaux 4.5) que les pelures tomates séchées, avec ou sans prétraitement, présentent un taux de solubles comparable à celui des pelures de tomate fraîches. Ceci est logique et indique que seules l'évaporation de l'eau et éventuellement de substances volatiles sont impliquées dans le processus de séchage.

d/ l'acidité : l'acidité présente des valeurs faibles dans le cas des pelures lyophilisées, prétraitées par le CaCl_2 et le KMS, comparativement au témoin. A 60 °C, l'acidité présente une augmentation, cela pourrait être lié à la fermentation partielle de l'échantillon, en raison de la durée de séchage, et à l'activité enzymatique de la pectine au cours de la phase initiale du séchage [86].

II.7. Teneur en lycopène

La teneur en lycopène varie entre 73.85 et 122.95 mg/100g des pelures de tomate séchées.

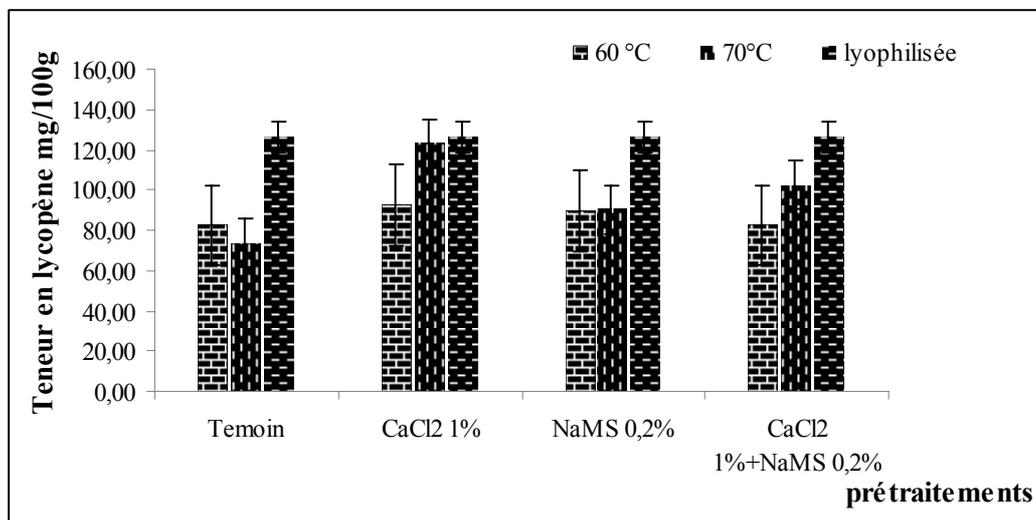


Fig. 4.10. Teneur en lycopène des pelures séchées à différents prétraitements

Les résultats de la fig. 4.10 indiquent que les prétraitements agissent en protégeant le lycopène pendant le séchage.

A une température de 60°C, on obtient la teneur la plus élevée avec CaCl₂, suivi du NaMS et enfin le mélange (CaCl₂+NaMS), comparativement au témoin. En ce qui concerne, la température de 70°C on constate une augmentation de la teneur en lycopène pour les mêmes prétraitements, comparativement au témoin, mais de manière plus significative, soit une augmentation de 30%, par rapport à la température de 60°C. Il apparaît donc, que le prétraitement des pelures de tomate a eu un effet protecteur sur le lycopène en empêchant son oxydation et que l'augmentation de la température à favoriser la disponibilité du lycopène, par effet de concentration [86]. Les résultats obtenus concernant l'effet du CaCl₂ et le KMS, sont proches de ceux trouvés pour la pulpe de la tomate [87].

II.8. Propriétés de la couleur

Le séchage affecte significativement les paramètres de la couleur (tableau 4.6) du produit fini. Les pelures de tomate témoin (non prétraitées) présentent une couleur orange et donc a^* et b^* les plus faibles et par conséquent un indice de saturation plus faible.

Tableau 4.6 : Effets des prétraitements sur les paramètres de couleur des pelures de tomate

Echantillon	Température	L^*	a^*	b^*	H^*	C^*
Témoin	60 °C	12,16	5,84	5,17	17,78	7,79
CaCl ₂	60 °C	23,16	9,87	9,67	20,06	11,16
NaMS	60 °C	27,10	8,14	8,76	15,71	12,09
CaCl ₂ +NaMS	60 °C	31,16	7,90	10,89	26,28	17,89
Témoin	70 °C	17,14	8,84	3,19	18,78	9,79
CaCl ₂	70 °C	25,13	11,88	6,67	21,76	10,76
NaMS	70 °C	27,10	12,34	7,06	18,01	13,19
CaCl ₂ +NaMS	70 °C	38,14	15,84	9,89	29,28	15,89
Lyophilisée	-	66,59	20,89	26,58	51,83	33,81

Les pelures de tomate lyophilisées et les pelures traitées par CaCl₂, présentent une couleur rouge typique et par conséquent les valeurs de la tonalité (L) et de l'indice de saturation (C) les plus élevées. La valeur élevée de a^* et b^* est due à la couleur du lycopène. Il n'y a pas une différence significative entre les prétraitements. La différence entre le témoin et les pelures de tomate traitées est observée pour le paramètre b^* où la valeur est de double par rapport au témoin. Cela peut être dû à des pertes de lycopène pendant le séchage par oxydation des caroténoïdes, principalement le lycopène, et par conséquent changement de la couleur rouge à l'orange.

On observe une diminution de l'intensité de la couleur dans tous les échantillons, celle-ci est fonction des prétraitements. Il apparaît tout de même, que le CaCl₂ a eu un effet protecteur pour réduire le brunissement, suivi par le CaCl₂+ NaMS et le NaMS. Le CaCl₂ est utilisé pour protéger les pigments caroténoïdes et la couleur, et son effet est connu pendant le processus du séchage. Le calcium peut réagir en bloquant le groupement amine qui entre dans la réaction du brunissement, et il est capable de former des composés chélates avec des substances organiques ayant la structure de l'acide α - amine carboxylique [47], [88], [89].

Pendant le séchage la couleur typique « rouge » des pelures de tomate change graduellement en rouge brique et puis devient marron. Ce phénomène est connu par le brunissement non enzymatique (réaction de Maillard) qui génère des pigments noirs et dégrade la couleur naturelle des produits [84], [85].

II.9. Teneur en cendres

Le taux de cendres représente la quantité totale en sels minéraux présents dans un échantillon. La valeur trouvée dans les pelures de tomate est de 8 % (MS).

II.10. Teneur en éléments minéraux

Les teneurs en éléments minéraux sont représentés dans le tableau 4.7.

La teneur en sodium dans les pelures de tomate est de 8030 mg/100g, c'est l'élément prédominant dans les pelures de tomate [10]. La teneur en potassium dans les pelures de tomate est de 290 mg/100g. Le potassium est le principal cation du liquide intracellulaire, il joue un rôle dans la transmission des influx nerveux et la contraction musculaire [90]. Il n'y a aucune recommandation journalière pour le potassium, les experts recommandent un apport de 2 à 2.5 g/j [32].

Tableau 4.7 : Teneur en éléments minéraux des pelures de tomate, (en mg/100 g (MS))

Eléments minéraux	Teneur en mg/100g MS
Macroéléments	
Potassium	290.0
Calcium	270.0
Magnésium	130.0
Sodium	8030.0
Oligoéléments	
Zinc	7.55
Fer	0.76
Cuivre	1.25
Manganèse	3.10

Le calcium se retrouve dans les pelures de tomate avec une teneur de 270 mg/100g, cette valeur est légèrement supérieure aux résultats trouvés par Monika Knoblich [10]. Les apports journaliers conseillés sont de l'ordre 800 mg pour les adultes et de 1000 à 1400 mg pour les personnes âgées, [91]. La teneur en magnésium dans les pelures de tomate est de 130 mg/100 g. Cette valeur est légèrement inférieure aux résultats trouvés par Monika Knoblich [12], le magnésium est indispensable à l'activation de presque toutes les enzymes de la glycolyse, à la synthèse des acides nucléiques et au déroulement des réactions d'oxydation phosphorylante. Les apports journaliers recommandés sont de 350 mg chez l'adulte [91]. La teneur en manganèse est de 3.10 mg/100g, cette teneur est supérieure à celle signalé par Monika Knoblich [10] Le manganèse joue le rôle d'antioxydant, c'est aussi un activateur enzymatique pour les hydrolases, les carboxylases, kinases et les transférases, les apports journaliers recommandés sont de l'ordre de 2 à 5 mg [92].

II.11. Teneur en polyphénols totaux

Le dosage des polyphénols totaux nous donne une estimation globale de la teneur en différentes classes des composés phénoliques contenus au niveau de l'extrait l'hydroalcoolique de la poudre des pelures de tomate. La valeur moyenne de la concentration en polyphénols est de 462 mg EAG/100g (MS). Les principaux flavonoïdes des pelures de tomate sont : la rutine, la naringénine, le 4'-4-hydroxy-2'-methoxychalcone [63]. En comparant la teneur en polyphénols des pelures de tomate à celle d'autres fruits qui sont de 1.54, 0.273, 0.2, 0.425, 0.217, et 0.217 % (MF) pour les sureaux, le kiwi, les prunes, les pommeuses, les pommes et l'orange respectivement [93], on peut considérer les tomates comme une source d'antioxydants naturels et de ce fait, un aliment fonctionnel.

II.12. L'activité antioxydante

Les pourcentages d'inhibition de l'oxydation de l'acide linoléique par les antioxydants présents dans l'extrait des pelures de tomate et dans les solutions de l' α -tocophérol et de BHT, utilisés comme antioxydants de référence, sont donnés dans le tableau 4.8.

Tableau 4.8 : Activité antioxydante de l'extrait des pelures de tomate

Echantillons	Pourcentage d'inhibition (%)
L'extrait des pelures de tomate (0.01%)	75.56 \pm 0.04
Solution de l' α -tocophérol (0.01%)	57.89 \pm 0.02
Solution de BHT (0.01%)	70.23 \pm 0.03

L'extrait hydroalcoolique des pelures de tomate présente une activité inhibitrice de 75.56 %, elle est supérieure à celle de l' α -tocophérol 57.89 % et du BHT 70.23 %. Il possède un potentiel antioxydant important dû aux caroténoïdes, au lycopène et éventuellement aux polyphénols d'où l'effet de synergie. L'activité antioxydante des caroténoïdes dans les solutions organiques est en fonction de la concentration en oxygène, de la structure chimique des caroténoïdes et la présence d'autres antioxydants (polyphénols et tocophérol) [94]. L'addition du lycopène pur à 0.5 % et 1% protège l'huile d'olive vierge de l'oxydation naturelle durant le stockage, par la protection des polyphénols et de l' α -tocophérol [95]. D'autre part, Les composés phénoliques sont des antioxydants actifs présents dans la tomate [9]. Les caroténoïdes sont des antioxydants efficaces contre les deux formes réactives de l'oxygène moléculaire, singulet et les radicaux peroxy [96]. La concentration de l'extrait des pelures de tomate dans l'huile d'olive vierge, nécessaire pour inhiber 50 % de radicaux de superoxydes est équivalente à 5g / 100g d'huile [63].

III. Elaboration et caractérisation d'une margarine enrichie en lycopène

III.1. Elaboration de la margarine enrichie en lycopène

Les recettes détaillées de la margarine témoin et de celle enrichie en lycopène, sont données dans le tableau 4.9.

Tableau 4.9 : Recette de la margarine témoin et de celle enrichie en lycopène

Matières premières	Composition (%)	
	Margarine témoin	Margarine enrichie en lycopène
Huile de palme hydrogénée 45/46	14,05	14,05
Huile de soja hydrogénée 36/37	26,10	26,10
Oléine de palme	22,75	22,75
Graisses végétales (coprah+palmiste)	16,73	16,73
Ingrédients liposolubles		
Mono et di-glycérides	0,502	0,502
Lécithine	0,502	0,502
α - tocophérol	0,010	-
Arôme	0,067	-
β -Carotène	0,020	-
Pelures de tomate lyophilisées	-	0,042
EAU	18,07	18,07
Ingrédients hydrosolubles		
Sorbate de sodium	0,042	0,042
Acide citrique	0,033	0,033
Sucre	0,335	0,335
NaCl	0,502	0,502
Lait en poudre 0% MG	0,335	0,335
Point de fusion	36.0	36.0

Le tableau ci-dessus relate la composition des deux margarines, nous constatons que le point de fusion recherché a été atteint, le goût et la couleur sont caractéristiques d'une margarine. Les gouttes d'émulsion ont gardé leurs formes dans l'eau tiède, ce qui signifie que l'émulsifiant est en quantité suffisante (émulsion stable). Des tests de stabilité seront effectués pour apprécier la résistance oxydative de la margarine enrichie en lycopène.

III.2. Caractérisation de la margarine enrichie en lycopène

III.2.1. Analyses microbiologiques

Les résultats des analyses microbiologiques des pelures de tomate avant incorporation, ainsi que ceux de la margarine enrichie en lycopène sont représentés dans le tableau 4.10.

Tableau 4.10 : Qualité hygiénique de la margarine enrichie en lycopène

Germes /ml	Echantillons	Echantillons					Normes	Références
		1	2	3	4	5		
Germes aérobies à 30°C	Pelure	960	960	960	960	960	300-1000	NA 1207/9
	Margarine	10	10	10	10	10	$3 \cdot 10^4 - 10^5$	
Coliformes fécaux	Pelure	20	20	20	20	20	absence	ISO 4831
	Margarine	00	00	00	00	00		
Staphylococcus aureus	Pelure	00	00	00	00	00	30-100	ISO 6888
	Margarine	00	00	00	00	00		
Salmonella	Pelure	00	00	00	00	00	absence	ISO 6785
	Margarine	00	00	00	00	00		
Levures	Pelure	00	00	00	00	00	30-100	ISO 5552
	Margarine	10	10	10	10	10		
Moisissures	Pelure	00	00	00	00	00	absence	ISO 5552
	Margarine	00	00	00	00	00		

D'après les résultats obtenus, nous constatons la présence des coliformes fécaux, probablement due à la manipulation, au cours de préparation des pelures de tomates. La margarine paraît saine sur le plan bactériologique. Des conclusions analogues sur le risque d'intoxication *Staphylococcique* sont peu probables, et la contamination d'autres produits par la margarine devrait être inexistante [48].

III.2.2. Caractéristiques physicochimiques de la margarine enrichie en lycopène

Les résultats de la caractérisation physicochimique de la margarine enrichie en lycopène sont représentés dans le tableau 4.11.

Tableau 4.11 : Caractéristiques physico-chimiques de la margarine enrichie en lycopène

Paramètres	Composition
Teneur en eau (%)	18.02
Matière grasse (%)	79.50
Non gras (%)	20.50
pH	04.50
Indice d'iode (g I ₂ /100g CG)	55.36
Indice de peroxyde (meqgO ₂ /Kg CG)	02.00
Acidité (%)	00.19

La composition en matière grasse, en eau et le pH de la margarine enrichie en lycopène, correspondent aux critères fixés pour son élaboration. L'indice d'iode nous renseigne sur le degré d'insaturation global de la margarine, la valeur obtenue 55 g d'iode pour 100 g de margarine est en corrélation avec la composition en acides gras de cette dernière (29.77 % d'AGI totaux constitués de 18.48 % d'AGMI et 11.29 % d'AGPI). L'acidité nous renseigne sur le degré d'altération des corps gras par hydrolyse. La valeur trouvée est de 0.17 %, celle-ci est conforme aux normes, [48]. En ce qui concerne l'indice de peroxyde, celui-ci rend compte de l'altération des corps gras par oxydation, inconvénient majeur touchant essentiellement les AGI. Notre produit présente un indice de 2.0 méq O₂/kg, valeur inférieure à 5 méq/kg, maximum requis par les normes, [48]. Le point de fusion de 36.0 °C de la margarine correspond à celui choisi pour la recette retenue. Elle doit être fixée de manière à ce qu'elle soit fondante dans la bouche mais aussi plastique à température ambiante pour supporter le travail mécanique lors de la tartinabilité. A titre comparatif, notre résultat se situe dans l'intervalle des températures de fusion de 15 margarines de Turquie se situant entre 33.0 et 36.9 °C, [97].

III.3. Composition en acides gras de la margarine enrichie en lycopène

Le tableau 4.12 représente la composition en acides gras de la margarine enrichie en lycopène.

Tableau 4.12 : Composition en acides gras de la margarine enrichie en lycopène

N° Carbone	Nom commun	Teneur en % des AGTotaux
C _{8:0}	Acide caprylique	08.20
C _{12:0}	Acide laurique	14.23
C _{14:0}	Acide myristique	07.75
C _{16:0}	Acide palmitique	13.06
C _{16:1}	Acide palmitoléique	00.83
C _{18:0}	Acide stéarique	06.15
C _{18:1} ω9	Acide oléique	33.07
C _{18:2} ω6	Acide linoléique	14.11
C _{18:3} ω3	Acide linoléique	00.95
Autres non identifiés		01.65

AGS	49.39
AGMI	33.90
AGPI	15.06
AGI/AGS	00.99

La composition en acide gras, reflète la teneur en acides gras des huiles végétales utilisées. La présence de l'acide caprylique, laurique et myristique à des teneurs de 8.20, 14.23 et 07.75 respectivement proviennent des huiles lauriques (coprah et palmiste) qui représentent 16% de notre recette. Les huiles de palme et de palmiste sont extraites d'un même fruit, mais présentent des compositions en acides gras différentes. L'huile de palme est extraite de la pulpe (riche en acide palmitique et oléique), quant à l'huile de palmiste elle est extraite du noyau (riche en acide myristique, laurique, caprique et caprylique). L'acide palmitique présente une teneur de 13.06 %, celle-ci provient de l'huile de palme entrant dans la recette de notre margarine. L'huile de soja hydrogénée et l'huile de palme renferment des teneurs importantes en acides stéarique, oléique, linoléique, et des traces de l'acide linoléique. L'acide oléique s'avère l'acide gras prédominant dans notre margarine avec une teneur de 33.07 %. De récentes études, ont démontré que les régimes alimentaires riches en acide oléique sont associés à une diminution des LDL-cholestérol dans le plasma sanguin, et peuvent réduire donc, l'incidence des maladies cardiovasculaires [98]. L'acide oléique résiste mieux à l'oxydation lors du stockage à température ambiante, et aux températures élevées de cuisson (fritures).

La teneur en acide linoléique (15.11 %), ce paramètre est le paramètre de classification des margarines. En effet les margarines peuvent être classées en trois catégories en fonction de leur teneur en acide linoléique : Les margarines hard contenant moins de 20 % d'acide linoléique ; les margarines demi-molles contenant 20 à 40 % d'acide linoléique; et les margarines molles contenant plus de 40 % d'acide linoléique [97]. En se référant à cette classification, notre margarine est dite hard.

Les *trans* isomères des $C_{18:1}$, $C_{18:2}$, $C_{18:3}$, effet indésirable de l'hydrogénation, ne sont pas mis en évidence dans cette analyse.

Notre margarine contient 50.96 % d'AGI dont 34.90 % d'AGMI et 16.06 % d'AGPI, cette composition apporte les acides gras essentiels ω -3 et ω -6 qui sont indispensables à la vie, ils ont un rôle anti-agrégant plaquettaire, hypotriglycéridémiant, ainsi que dans les réactions immunitaires anti-inflammatoires, et dans la prévention des maladies dégénératives des cancers [48], [99]. Le rapport AGPI/AGS de notre margarine est de 0.99, il est proche des recommandations des nutritionnistes qui est de l'ordre de 0.8 [99].

III.4. La couleur

L'addition des pelures de tomate permet d'obtenir une margarine dont les paramètres de couleur (Tableau 4.13) sont proches de celle du témoin.

Tableau 4.13 : Les paramètres de couleur de la margarine enrichie en lycopène

Echantillon	L^*	a^*	b^*	H^*	C^*
Margarine témoin	69,15	4,49	9,59	80,05	25,99
Margarine avec PTL	67,76	8,66	18,75	67,77	20,26

La margarine enrichie en lycopène présente une couleur rouge-jaune et par conséquent les valeurs de la tonalité et l'indice de saturation sont plus élevées. L'augmentation de a^* et b^* est due à la couleur du lycopène. La différence entre la margarine enrichie en lycopène et la margarine témoin est observée pour le paramètre b^* , où la valeur est double par rapport au témoin. Cela peut être dû à des modifications du lycopène pendant le stockage. En effet un stockage inadéquat des pelures de tomate peut provoquer l'oxydation des caroténoïdes, principalement le lycopène, et par conséquent changement de la couleur rouge à l'orange. La tonalité (Hue angle index) de la margarine varie entre 20.1 et 32.5 indiquant une couleur orange.

III.5. La teneur en lycopène

La teneur en lycopène est de 0.05 mg/100g de margarine. Celle-ci est faible, tenant compte de la quantité des pelures ajoutée à la margarine. Ceci peut être dû à une distribution non homogène des pelures dans la phase grasse. Aussi la saponification lors de l'extraction des caroténoïdes, rend difficile la séparation de la phase grasse et la phase aqueuse, ce qui empêche l'extraction complète du lycopène de la phase grasse. La saponification inhibe l'estimation exacte des caroténoïdes dans la « sobrasada » [2].

La diminution de la teneur en lycopène est probablement due à la réaction du lycopène avec les radicaux libres et autres composés formés pendant le stockage, de trois mois, de la margarine.

Plusieurs études ont montré que les triglycérides augmentent la biodisponibilité des caroténoïdes. Les triglycérides pourraient faciliter la bio-accessibilité des caroténoïdes en présentant un réservoir hydrophobe dans lequel les caroténoïdes pourraient s'extraire progressivement [101]. Les triglycérides stimulent la sécrétion biliaire et augmentent ainsi la quantité de micelles pouvant solubiliser les caroténoïdes.

Une prise de 100 g de margarine contenant 0.04% de pelures de tomate lyophilisée contribuerait approximativement 20% de prise quotidienne de lycopène trouvée dans le régime méditerranéen.

III.6. Analyse de la texture par p-RMN (SFC)

L'indice SFC se rapporte au pourcentage des matières grasses qui sont solides à des températures différentes. Les résultats obtenus sont présentés dans le Tableau 4.14.

Tableau 4.14 : Indice SFC de la margarine témoin et la margarine enrichie en lycopène

Température (°C)	10	15	20	25	30	35	40	45
SFC (%) de la margarine témoins	38.0 ±3	30.0 ±3	23.0 ±2	17.0 ±1	13.0 ±1	10.0 ±1	03.0 ±1	0.50
SFC (%) de la margarine avec pelures de tomate	38.0 ±3	30.0 ±3	23.0 ±2	17.0 ±1	14.0 ±1	06.0 ±1	04.0 ±1	1.00

D'après les résultats obtenus on peut dire que notre margarine est plastique et facile à tartiner, à 37 °C, l'indice de SFC est inférieur à 6%, et donc la margarine fond facilement dans la bouche.

La margarine comme la plupart des composés d'acides gras à longue chaîne peut exister, dans l'état solide, sous différentes formes cristallines [100]. Ce polymorphisme résulte, d'une part, de l'organisation spatiale des chaînes aliphatiques contenues dans les molécules lipidiques et, d'autre part, de l'empilement en strates des molécules de triglycérides.

On remarque la présence de quelques impuretés solides (1%) dans la margarine enrichie en lycopène. La cristallisation de la matière grasse en émulsion est souvent décrite par un mécanisme de nucléation homogène par opposition au mécanisme de nucléation hétérogène, reporté pour la matière grasse en phase continue. Les impuretés présentes dans le liquide servent de point de nucléation aux cristaux de triglycérides. En émulsion, l'huile étant finement divisée en globules gras, le nombre de gouttelettes est très largement supérieur au nombre d'impuretés de sorte qu'au sein d'une gouttelette, l'huile est considérée comme « pure ».

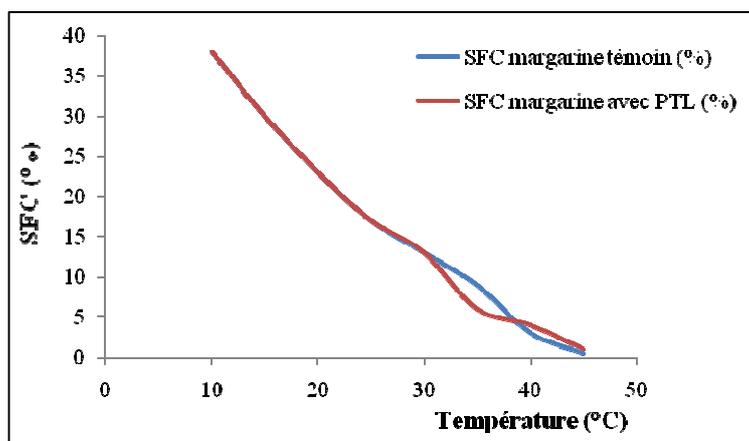


Fig. 4.12 Indice SFC de la margarine témoin et la margarine enrichie en lycopène

La différence de l'indice SFC (%) à 30, 35 et 40 °C entre la margarine témoin et celle enrichie en lycopène est due au mécanisme de cristallisation. La cristallisation en émulsion ne peut pas être décrite par un simple mécanisme de nucléation homogène. Les gouttelettes de matière grasse dans la margarine étant stabilisées par des tensioactifs, leur partie hydrophobe peut servir de point de nucléation pour la cristallisation des triglycérides. Cette nucléation hétérogène peut se produire soit à l'interface, soit au sein du globule gras si une partie du tensioactif se trouve dispersée en phase huileuse. Les contraintes au sein du réseau cristallin de matière grasse sont suffisantes pour que les gouttelettes ne perdent pas totalement leur forme initiale. Les gouttelettes restent partiellement coalescées tant que le réseau solide est maintenu. Si on augmente la température, les globules gras fusionnent rapidement. Le phénomène de coalescence partielle et le degré d'instabilité des globules gras qui en résulte sont influencés par de nombreux paramètres tels que le taux de matière grasse cristallisée, les cristaux de matière grasse à l'interface (taille, forme et orientation), la présence d'émulsifiants (nature et concentration), la taille des gouttelettes ou la vitesse de cisaillement [100].

III.7. Analyses sensorielles

D'après le test réalisé (Tableaux 4.15 et 4.18), la margarine enrichie en lycopène, présente une couleur acceptable, aspect brillant, homogénéisé, elle est molle et facile à tartiner. Pour éviter la présence des points orange clairs dans la margarine, il suffit d'utiliser un micro broyeur pour l'obtention de la poudre, qui s'adapte à notre aliment.

Tableau 4.15 : Description complète de la qualité gustative de la margarine enrichie en lycopène

Caractéristiques	Margarine Témoin	Margarine avec pelure de tomate
Arome	L'appréciation de l'arome donne l'odeur du beurre doux	Nous avons apprécié l'odeur de la margarine qui dégage une odeur fraîche et agrémenter d'un arôme de tomates.
Couleur	À la lumière du jour on apprécie la couleur jaune de la margarine.	À la lumière du jour on apprécie la couleur orange claire de la margarine. Pour cause d'utilisation de faible quantité de pelure de tomate, comme seul colorant « 0.04% »
Texture	Visuellement paraît lisse et homogène. Pratiquement ; En trempant l'index dans la margarine, celle-ci ne présente pas de résistance. En palpant entre l'index et le pouce la margarine, elle ne présente pas de grumeaux (l'opération de cristallisation est bien réalisée)	Visuellement paraît lisse et homogène. Présence des points très fins orange. Pratiquement, Analogue à celle témoin.
Saveur	Goût du beurre	Goût du beurre

III.8. Stabilité oxydative de la margarine

III.8.1. Test de Shaal

La variation de l'acidité et de l'indice de peroxyde en fonction de la durée de stockage, est illustrée par les figures 4.13 et 4.14 respectivement.

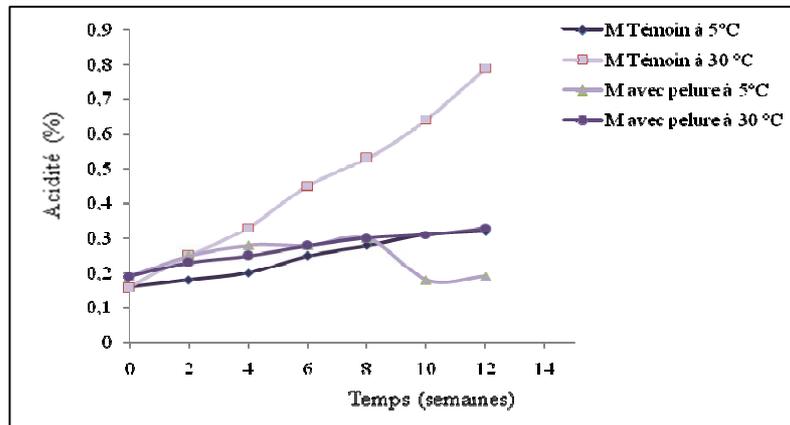


Fig. 4.13 Variation de l'acidité en fonction du temps de stockage, de la margarine témoin (MT) et la margarine enrichie en lycopène

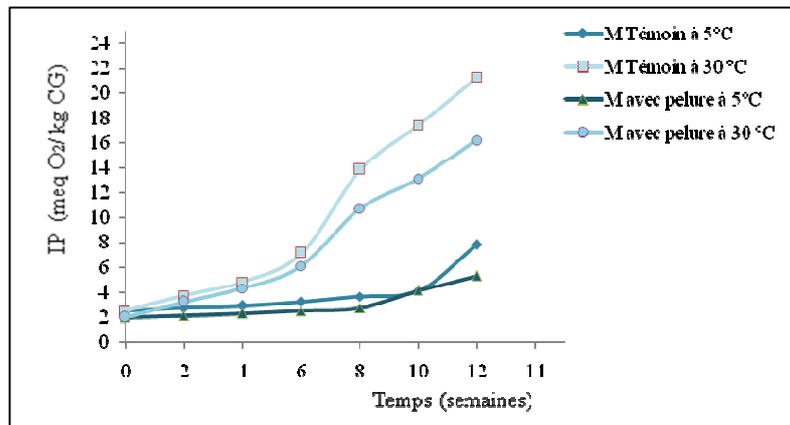


Fig. 4.14 Variation de l'indice de peroxyde en fonction du temps de stockage, de la margarine témoin et la margarine enrichie en lycopène

La margarine enrichie en lycopène présente une acidité élevée par rapport à la margarine témoin, cela est dû à l'acidité des pelures de tomate. L'acidité augmente en fonction du temps avec libération d'acides gras libres. La diminution de l'acidité à la 8^{ème} semaine est en corrélation avec l'indice de peroxyde.

Les valeurs de l'indice de peroxyde se présentent comme suit : 2,5 méq d'O₂/ Kg pour la margarine témoin, et 2,0 méq d'O₂/ Kg pour la margarine enrichie en lycopène. Ces résultats demeurent acceptables. L'indice de peroxyde augmente, proportionnellement avec la durée de stockage. La formation des peroxydes à partir des acides gras insaturés dépendrait de leur libération lors de l'hydrolyse. Dans un premier temps il se forme des peroxydes (composés primaires), ce qui explique l'augmentation de l'indice de peroxyde. Après 12 semaines de stockage à 5°C, l'indice de peroxyde de la margarine enrichie en lycopène est de 6,3 méq d'O₂/ Kg, et reste inférieur à celui de la margarine témoin qui est de 7,8 méq d'O₂/ Kg. A la température de 30 °C, l'indice de peroxyde augmente avec le temps de stockage. A la 8^{ème} semaine on constate une diminution, due à la transformation des peroxydes en composés secondaires de l'oxydation (composés non radicalaires).

Compte tenu de l'instabilité des peroxydes, l'indice de peroxyde à lui seul ne reflète pas toutefois le degré d'oxydation, pour cela, un complément d'analyse a été effectué :

- Spectrophotométrie directe d'hydroperoxydes insaturés,
- Dosage des substances réagissant avec l'acide thiobarbiturique,
- Test de stabilité de Swift.

III.8.2. Spectrophotométrie directe d'hydroperoxydes insaturés

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 4.17.

Tableau 4.17 : Dosage d'hydro peroxyde linoléique

	Margarine témoin		Margarine enrichie en lycopène	
	DO à 232 nm	DO à 270 nm	DO à 232 nm	DO à 270 nm
Déterminations				
Margarine stockée à 5°C				
01 semaine	0.240	0.100	0.210	0.090
12 semaines	0.651	0.330	0.470	0.250
Margarine stockée à 30°C				
01 semaine	0.240	0.099	0.210	0.095
12 semaines	1.350	0.520	0.820	0.240

D'après ces résultats, la margarine témoin présente une extinction de 0.65 et de 1.35 à 232 nm après 12 semaines de stockage à 5°C et 30°C respectivement. Contrairement à celle de la margarine enrichie en lycopène, avec des valeurs plus faibles, de 0.47 et 0.82. Plus l'extinction à

232 nm est plus intense, plus la margarine est peroxydée, de même, plus l'extinction à 270 nm est plus forte, plus la margarine est riche en produits secondaires d'oxydation [73]. Ces résultats sont en corrélation positive avec l'indice de peroxyde. Les caroténoïdes peuvent retarder la peroxydation des lipides, par inactivation de l'oxygène radicalaire [32], 38], [102].

III.8.3. Peroxydation des lipides de la margarine

Les valeurs enregistrées dans le tableau 4.18, représentent les teneurs en substances (dont le MDA) réagissant avec l'acide thiobarbiturique (TBARS). Celles-ci paraissent plus faibles dans la margarine enrichie en lycopène, que dans la margarine témoin.

Tableau 4.18 : Contenu (mg MDA/100g margarine) des margarines en substances réagissant avec l'acide thiobarbiturique

Type de Margarine	TBA (mg dialdéhyde malonique /100 g margarine)
Margarine témoin (stockée pendant 3mois à 5°C)	230,64
Margarine enrichie en lycopène (stockée pendant 3mois à 5°C)	156.62

Le TBA est un réactif spécifique pour quantifier les dialdéhydes malonique dans la margarine, qui sont formés par auto-oxydation, photo- et thermo-destruction.

En comparant les deux margarines, nous remarquons que celle enrichie en lycopène accumule moins de ces substances (MDA) que le témoin.

Le lycopène est le piègeur le plus efficace de l'oxygène singulet, comme il peut également neutraliser les radicaux libres provenant de l'oxygène moléculaire par un ensemble de réactions physiques et chimiques. Le transfert de l'énergie d'excitation de l'ion d'oxygène vers la molécule de lycopène produit une molécule d'oxygène plus stable et une molécule de lycopène en état d'excitation qui dissipera son excédent d'énergie au niveau des doubles liaisons conjuguées sous forme de chaleur [31].

III.8.4. Test de stabilité de Swift

Les résultats de l'oxydation forcée sont présentés dans le tableau 4.19.

Dans les conditions expérimentales, une mousse fine et stable à la surface de l'huile est apparue après 6 heures de chauffage ; c'est un signe d'altération des l'huile [103]. Elle serait la

conséquence de la concentration d'un certain groupe de composés particuliers tels que les polymères de triglycérides et glycérides polaires.

Tableau 4.19 : Résultats du test de Swift

Type de Margarine	IP à to	IP à tf	Temps nécessaire pour le changement de couleur de l'indicateur (heures)
Margarine Témoin	7.70	27.0	1 ± 0,20
Margarine enrichie en lycopène	6.50	19.0	6 ± 0.09

D'après le tableau 4.19, on remarque que la margarine enrichie en lycopène résiste mieux à l'oxydation après 6 heures de chauffage, que la margarine témoin qui a réagit après 1 heure. Une résistance supérieure à la normale sera la preuve de la présence d'antioxygènes dans le corps gras étudié, et qui prolonge considérablement sa durée de résistance à l'oxydation [73]. Dans notre cas la présence du lycopène n'est pas étrangère à cet état de fait. Il est établi que les caroténoïdes maintiennent la stabilité oxydative des huiles [104].

D'après ce résultat, on peut déduire que les pelures de tomate contiennent des antioxydants réagissant en synergie, plus puissants que l' α -tocophérol. Le lycopène, est connu pour être deux fois plus efficace que le β -Carotène, et 100 fois plus que l' α -tocophérol [37], [102].

CONCLUSION

Le présent travail a englobé l'effet de la température, et le prétraitement par les solutions de CaCl_2 , NaMS, et le ($\text{CaCl}_2 + \text{NaMS}$), sur la cinétique de séchage des pelures de tomate, par la suite, s'est fait la caractérisation de la poudre obtenue, la détermination de son activité antioxydante, et l'élaboration d'une margarine enrichie en lycopène, sa caractérisation ainsi que l'évaluation de sa stabilité.

Concernant les résultats de la cinétique de séchage, on peut dire que la température et les prétraitements influent sur les caractéristiques de séchage, et sur la capacité de réhydratation de la poudre obtenue. Le temps de séchage des pelures de tomate traitées apparaît plus faible comparativement au témoins. La réhydratation est plus rapide pour les pelures de tomate traitées à 60°C , que les pelures non traitées. Du point de vue capacité de réhydratation, 60°C est la température optimale trouvée pour le séchage des pelures de tomate. Dans notre cas, le modèle de Page est meilleur que le modèle de Henderson et Pabis pour la caractérisation des données de séchage. La diffusivité effective augmente avec l'élévation de la température et atteint une valeur maximale à 70°C , elle est de $8.53 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, $7.65 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, $7.11 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ pour le CaCl_2 , le ($\text{CaCl}_2 + \text{NaMS}$) et le NaMS respectivement. Aussi, l'énergie d'activation des pelures de tomate traitées est plus faible que celle des pelures non traitées.

Le prétraitement combiné par CaCl_2 et le NaMS constitue une opportunité d'amélioration de la qualité de la poudre des pelures de tomate, avec une réduction du temps de séchage, et la sauvegarde de la couleur originelle.

La poudre des pelures de tomate obtenue, présente des teneurs appréciables en lycopène avec $126 \text{ mg}/100\text{g}$, $462 \text{ mg EAG}/100\text{g}$ de polyphénols, et $3.12 \text{ g}/100\text{g}$ de sucres totaux. Elle contient aussi 8% de cendres, constitué essentiellement de Sodium, Potassium, Calcium et Magnésium.

Au vue de ces teneurs, nos pelures de tomate séchées présentent des propriétés très intéressantes, comme antioxydants, et colorants naturels. Ces phytonutriments s'accrochent parfaitement à la formulation de notre margarine. Des travaux d'enrichissement par la poudre des pelures de tomate, ont été effectués sur les saucisses cuites à faible teneur en matière grasse [2], les boissons, les viandes, comme substituants de la couleur et comme ingrédients fonctionnels, avec des résultats concluants.

L'essai de formulation d'une margarine de table enrichie en pelures de tomate a été expérimenté, en vue de substituer deux additifs synthétiques par le lycopène.

Les indices de caractérisation de notre margarine révèlent :

Les critères (gras, non gras et point de fusion) s'avèrent conformes à la recette préétablie. En outre, les indices du degré d'altération par oxydation (acidité et indice de peroxyde) sont conformes aux normes. L'analyse des acides gras par CPG a révélé la présence de toute la gamme des acides gras des huiles végétales. Celle-ci est riche en acides gras essentiels ω -3 et ω -6 avec un rapport AGPI/AGS de 0.9 proche des recommandations des nutritionnistes.

La margarine obtenue présente une couleur acceptable, avec un aspect brillant et homogène, sa texture l'oriente vers les margarines faciles à tartiner.

L'analyse par HPLC, nous a montré des taux de 0,05 mg lycopène /100g de margarine, son caractère hydrophobe faisant de la margarine un excellent solvant, favorisant la biodisponibilité du lycopène.

L'évaluation de la stabilité oxydative, s'est révélée en corrélation positive pour les quatre tests effectués à savoir :

- Le test de Shaal,
- Le dosage des diènes conjugués par spectrophotométrie,
- Le dosage des substances réagissant avec l'acide thiobarbiturique,
- Le test de stabilité de Swift.

La margarine enrichie en lycopène, s'est avérée plus résistante à l'oxydation, que la margarine témoin.

En conséquence, la substitution des additifs synthétiques (β -Carotène et α -Tocophérol), par les pelures de tomate a eu pour effet, une approche innovante et concluante, afin d'encourager une co-valorisation, dans l'objectif d'élaborer un aliment fonctionnel.

Au vu des résultats obtenus, et tenant compte de la problématique du sujet, il nous semble conséquent d'approfondir le présent travail par :

- La détermination du profil phénolique des pelures de tomate.
- La caractérisation des autres caroténoïdes (Zéaxanthine, Lutéine), des pelures de tomates intervenant dans la DMLA.
- La caractérisation des isomères du lycopène dans la margarine enrichie.
- Affinage de l'extraction lors de l'incorporation des pelures de tomates dans l'huile.
- L'analyse sensorielle de la margarine enrichie en lycopène par un jury expérimenté.
- L'effet nutritionnel de la margarine enrichie en lycopène.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Gillapsy G, Ben-David H, Gruissem W. 1993. Fruits: a developmental perspective. *Plant Cell* 5,1439-1451.
- [2] Calvo,M.M. Garcia,M.L. Selgas, M.D. (2007). Dry fermented sausages enriched with lycopene from tomato peel. *Meat Science* xxx (2007).
- [3] BIMBENET, J-J. Séchage des produits alimentaires. Techniques de l'ingénieur, traité Agroalimentaire, F 3000.
- [4] Coombe BG. 1976. The Development of Fleshy Fruits. *Annual Review of Plant Physiology* 27, 207- 228.
- [5] Causse M, Saliba-Colombani V, Lesschaeve I, Buret M. 2001b. Genetic analysis of organoleptic quality in fresh market tomato. 2. Mapping QTLs for sensory attributes. *Theoretical and Applied Genetics* 102, 273-283.
- [6] Barrett DM, Garcia E, Wayne JE. 1998. Textural modification of processing tomatoes. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 38, 173-258.
- [7] Hernández Suárez M., 2008. Chemical composition of tomato (*Lycopersicon esculentum*) from Tenerife, the Canary Islands. *Food Chemistry* 106 (2008) 1046–1056.
- [8] Davies JN, Hobson GE. 1981. The constituents of tomato fruit - the influence of environment, nutrition, and genotype. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 15, 205-280.
- [9] Beecher, G. R. (1998). Nutrient content of tomatoes and tomato products. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 218:98–100.
- [10] Monika K, Brandi A, and David L. (2002). Analyses of tomato peel and seed byproducts and their use as a source of carotenoids. *J Sci Food Agric* (in press) DOI: 10.1002/jsfa.2091.
- [11] Le Marchand L, Hankin JH, Carter S, Essling C, Luffey D, Franke A, et al. A pilot study on the use of plasma carotenoids and ascorbic acid as markers of compliance to high fruit and vegetable dietary intervention. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 1994;3:245–51.
- [12] Rauma AL, Törrönen R, Hänninen O, Verhagen H, Mykkänen H. Antioxidant status in long-term adherents to a strict uncooked vegan diet. *Am J Clin Nutr* 1995;62:1221–7.
- [13] Yeum KJ, Booth SL, Sadowski JA, Liu C, Tang G, Krinsky N, et al. Human plasma carotenoid response to the ingestion of controlled diets high in fruits and vegetables. *Am J Clin Nutr* 1996;64:594–602.
- [14] Hininger I, Chopra M, Thurnham D, Laporte F, Richard MJ, Favier A, et al. Effect of increased fruit and vegetable intake on the susceptibility of lipoprotein to oxidation in smokers. *Eur J Clin Nutr* 1997;51:601–6.

- [15] Bulux J, de Serrano Q, Perez R, Rivera C, Solomos N. The plasma β - carotene response to a single meal carrots in Guatemala schoolchildren. *Int J Food Sci Nutr* 1998;49:173–9.
- [16] de Pee S, West CE, Permaesih D, Martuti S, Hautvast J. Orange fruit is more effective than are dark-green, leafy vegetables in increasing serum concentrations of retinol and β -carotene in schoolchildren in Indonesia. *Am J Clin Nutr* 1998;68:1058–67.
- [17] Miller ER, Appel LJ, Risby TH. Effect of dietary patterns on measures of lipid peroxidation results from a randomised clinical trial. *Circulation* 1998;98:2390–5.
- [18] McEligot AJ, Rock CL, Flatt SW, Newman V, Ferber S, Pierce JP. Plasma carotenoids are biomarkers of long-term high vegetable intake in women with breast cancer. *J Nutr* 1999;129:2258–63.
- [19] Thompson HJ, Heimendinger J, Haegele A, Sedlacek SM, Gillette C, O'Neill C, et al. Effect of increase vegetable and fruit consumption on markers of oxidative cellular damage. *Carcinogenesis* 1999;20:2261–6.
- [20] Broekmans WM, Klopping-Ketelaars IA, Schuurman CR, Verhagen H, van den Bertg H, Kok FJ, van Poppel G. Fruits and vegetables increase plasma carotenoids and vitamin C and decrease homocysteine in humans. *J Nutr* 2000;130:1578–83.
- [21] Record IR, Dreosti IE, MCInervey JK. Changes in plasma antioxidant status following consumption of diets high or low in fruit and vegetables or following dietary supplementation with an antioxidant mixture. *Br J Nutr* 2001;85:459–64.
- [22] van den Berg R, van Vliet T, Broekmans W, Cnubben N, Vaes W, Roza L, et al. A vegetable-fruit concentrate with high antioxidant capacity has no effect on biomarkers of antioxidant status in male smokers. *J Nutr* 2001;131:1714–22.
- [23] Freese R, Alfthan G, Jaujiainen M, Basu S, Erlund I, Salminen I, et al. High intakes of vegetables, berries, and apples combined with a high intake of linoleic or oleic only slightly affect markers of lipid peroxidation and lipoprotein metabolism in healthy subjects. *Am J Clin Nutr* 2002;76:950–60.
- [24] John JH, Ziebland S, Yudkin P, Roe LS, Neil H. Effects of fruit and vegetable consumption on plasma antioxidant concentrations and blood pressure: a randomised controlled trial. *Lancet* 2002;359:1969–74.
- [25] Samman S, Sivarajah G, Man J, Ahmad Z, Petocz P, Caterson I, et al. A mixed fruit and vegetable concentrate increases plasma antioxidant vitamins and folate and lowers plasma homocysteine in men. *J Nutr* 2003; 133:2188–93.
- [26] Steptoe A, Perkins-Porras L, McKay C, Rink E, Hilton S, Cappuccio F. Behavioural counselling to increase consumption of fruit and vegetables in low income adults: randomised trial. *BMJ* 2003;326:855–61.

- [27] Zino S, Skeaff M, Williams S, Mann J. Randomised controlled trial of effect of fruit and vegetable consumption on plasma concentrations of lipids and antioxidants. *BMJ*1997; 314:1787–91.
- [28] Gey F. Vitamins E plus C and interacting conutrients required for optimal health. *Biofactors* 1998;7:113–74.
- [29] Ramandeep K, Toor, Geoffrey P. Savage (2005). Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. *Food Research International* 38 (2005) 487-494.
- [30] Spencer JP, Schroeter H, Rechner AR, Rice-Evans C. Bioavailability of flavan-3-ols and procyanidins: gastrointestinal tract influences and their relevance to bioactive forms in vivo. *Antioxid Redox Signal* 2001;3: 1023–39.
- [31] Yefsah-idres A., 2007. Biodisponibilité et incidence physicochimique chez le rat. Thèse magister, INA. El-Harrach, Alger, p : 7-14.
- [32] Krinsky, N.I. (1989). Antioxidant functions of carotenoids. *Free Radic. Biol. Med* 7(6):617–35.
- [33] RAO A. V., (2006). Lycopène. *FOOD AND NUTRITION RESEARCH*. 10.1016/S1043-4526(06)51002-2.
- [34] Gartner, C., Stahl, W., Sies, H. (1997). Lycopene is more bioavailable from tomato paste than from fresh tomatoes. *Am. J. Clin. Nutr.* 66:116–122.
- [35] Lee, A., Thurnham, D. I., Chopra, M. (2000). Consumption of tomato products with olive oil but not sunflower oil increases the antioxidant activity of plasma. *Free Radic. Biol. Med.* 29(10):1051–1055.
- [36] Weisburger, J. H. (2002). Lycopene and tomato products in health promotion. *Exp. Biol. Med.* 227:924–927.
- [37] A.V. Rao, L.G. Rao, (2007). Carotenoids and human health. *Pharmacological Research* 55 (2007) 207–216.
- [38] Stahl, W., Heinrich, U., Jungmann, H., Sies, H., Tronnier, H. (2000). Carotenoids and carotenoids plus vitamin E protect against ultraviolet light-induced erythema in humans. *Am. J. Clin. Nutr* 71:795–798.
- [39] Michèle M, Frédéric R. La lyophilisation. *Techniques de l'ingénieur, traité Agroalimentaire*, F 3 240.
- [40] Doymaz I, (2007). Air-drying characteristics of tomatoes. *Journal of Food Engineering* 78 (2007) 1291–1297.

- [41] Bolin, H. R., Petrucci, V., & Fuller, G. (1975). Characteristics of mechanically harvested raisins produced by dehydration and by field drying. *Journal of Food Science*, 40, 1036–1038.
- [42] Doymaz, I. (2004). Effect of pre-treatments using potassium metabisulphide and alkaline ethyl oleate on the drying kinetics of apricots. *Biosystems Engineering*, 89, 281–287.
- [43] Lewicki, P. P., Le, H. V., & Pomaran'ska-Lazuka, W. (2002). Effect of pre-treatment on convective drying of tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 54, 141–146.
- [44] Lewicki, P. P., & Michaluk, E. (2004). Drying of tomato pre-treated with calcium. *Drying Technology*, 22, 1813–1827.
- [45] Sacilik, K., Keskin, R., & Elicin, A. K. (2006). Mathematical modelling of solar tunnel drying of thin layer organic tomato. *Journal of Food Engineering*, 73, 231–238.
- [46] Heredia, A., Barrera, C., Andrés, A. (2007). Drying of cherry tomato by a combination of different dehydration techniques. Comparison of kinetics and other related properties. *Journal of Food Engineering* 80 (2007) 111–118.
- [47] Telis, V. R. N., & Sobral, P. J. A. (2002). Glass transitions for freeze-dried and air-dried tomato. *Food Research International*, 35, 435–443.
- [48] Karleskind A., 1992. Manuel des Corps Gras. Ed. Tech & Doc, Paris, Tome 1 et 2. 1579 p.
- [49] Ahmad M., Clyde S., 1992. Les matières grasses destinées aux produits de boulangerie. Que sont-elles ? Comment fonctionnent-elles. *United Soybean Board*.
- [50] VAN DUIJN G. – Technical aspects of *trans* reduction in margarines. *Oléagineux Corps gras Lipides (OCL)*, 2000, 7, 95-98.
- [51] Ho S.S., Pal S., 2005. Margarine phytosterols decrease the secretion of atherogenic lipoproteins from HepG2 liver and Caco2 intestinal cells. *Atherosclerosis*, 182, pp 29–36.
- [52] Chardigny J-M, « Do trans fatty acids from industrially produced sources and from natural sources have the same effect on cardiovascular disease risk factors in healthy subjects? (TRANSFACT), *Am J Clin Nutr*, vol. 87, n° 3, 2008, p. 558-566.
- [53] EFSA (AESAs). - Avis du groupe scientifique sur les produits diététiques, la nutrition et les allergies sur une question de la Commission relative à la présence d'acides gras *trans* dans les aliments et aux effets sur la santé humaine de la consommation d'acides gras *trans*. (Question n° EFSA-Q-2003-022), *The EFSA Journal*, 2004, 81, 1-49.
- [54] Diamante, L. M., & Munro, P. A. (1993). Mathematical modelling of the thin layer solar drying of sweet potato slices. *Solar Energy*, 51, 271–276.
- [55] Chinnan, M. S. (1984). Evaluation of selected mathematical models for describing thin layer drying of in shell pecans. *Transactions of the ASAE*, 27, 610–615.

- [56] Akpınar, E. K., & Bicer, Y. (2004). Modelling of the drying of eggplants in thin-layers. *International Journal of Food Science and Technology*, 39, 1–9.
- [57] Kashaninejad, M., & Tabil, L. G. (2004). Drying characteristics of purslane (*Portulaca oleraceae* L.). *Drying Technology*, 22, 2183–2200.
- [58] Doymaz, I., & Pala, M. (2002). Hot-air drying characteristics of red pepper. *Journal of Food Engineering*, 55, 331–335.
- [59] Sarsavadia, P. N., Sawhney, R. L., Pangavhane, D. R., & Singh, S. P. (1999). Drying behaviour of brined onion slices. *Journal of Food Engineering*, 40, 219–226.
- [60] Crank, J. (1975). *The mathematics of diffusion* (2nd ed.). Oxford, UK: Clarendon Press.
- [61] Afnor., 1982. Recueil de normes françaises des produits dérivés des fruits et légumes jus de fruits. Ed. Afnor, 325 p.
- [62] Mehdi Ghiafeh Davoodia, P. Vijayanandb, S.G. Kulkarnib, K.V.R. Ramana (2006). Effect of different pre-treatments and dehydration methods on quality characteristics and storage stability of tomato powder. *LWT* 40 (2007) 1832–1840.
- [63] Benakmoum, A., Abbedou, S., Ammouche, A., Panagiotis, K., Dimitrios, G. (2008). Valorisation of low quality edible oil with tomato peel waste. *Food Chemistry* 110 (2008) 684-690.
- [64] Diallo D., Sanogo R., Yasambou H., Traoré A., Coulibaly K., Maïga A., 2004. Étude des constituants des feuilles de *Ziziphus mauritiana* Lam.(Rhamnaceae), utilisées traditionnellement dans le traitement du diabète au Mali. *C. R. Chimie* 7, pp 1073–1080.
- [65] Owen P.L., Johns T., 1999. Xanthine oxidase inhibitory activity of north eastern North American plant remedies used for gout. *Journal of Ethnopharmacology*, 64, pp 149-160.
- [66] Vercauteren J., Cheze C., Triau J., 1996. Polyphenols 96. Edition : INRA, Paris : pp 31-43.
- [67] Ribéreau-Gayon P., 1968. Les composés phénoliques des végétaux. Ed. Dunod Paris, 254 p.
- [68] Lapornik B., Prosek M., Wondra A.L., 2004. Comparison of extracts prepared from plant byproducts using different solvents and extraction time. *Journal of Food Engineering*. Article in press.
- [69] Waterman, P. G., and Mole, S. (1994) *Analysis of phenolics plant metabolite*. Oxford: Blackwell Scientific Publication, pp. 83-91.
- [70] Wang L., Yen J.H., Liang H.L., Wu M.J., 2003. Antioxidant effect of methanol extracts from Lotus pulmule and Blossom (*Nulembo nucifera* Gerth). *Journal of Food and Drug Analysis*, 11, pp 60-66.

- [71] Gordon M.H., 1990. The mechanism of antioxidant action *in vitro*. In “*Food antioxidants*”. Ed.B.J.F. Hudson- London et New York . pp 1-18.
- [72] Hashimoto F., Ono M., Masuoka C., Ito Y., Sakata Y., Shimizu K., Nonaka G., Nishioka I., Nohara T., 2003. Evaluation of the anti-oxidative effect (in vitro) of tea polyphenols. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 67 (2), pp 396-401.
- [73] Wolff, J.P. In: Manuel d’analyse des corps gras, Azoulay éditeur, Paris, 1968.
- [74] Brown, L.C., Margarine production. *JAOCS*, 33:506, 1956.
- [75] Draper HH., Hadley M. (1990). Malondialdehyde determination as index of lipid peroxidation. *Methods Enzymol.* **186**, p. 421–431.
- [76] Ahmed, J., & Shivhare, U. S. (2001). Effect of pre-treatment on drying characteristics and colour of dehydrated green chillis. *Journal of Food Science and Technology*, 38, 504–506.
- [77] Sacilik, K., Keskin, R., & Elicin, A. K. (2006). Mathematical modelling of solar tunnel drying of thin layer organic tomato. *Journal of Food Engineering*, 73, 231–238.
- [78] Sogi, D. S., Shivhare, U. S., Garg, S. K., & Bawa, A. S. (2003). Water sorption isotherm and drying characteristics of tomato seeds. *Biosystems Engineering*, 84, 297–301.
- [79] Zogzas, N. P., Maroulis, Z. B., & Marinos-Kouris, D. (1996). Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. *Drying Technology*, 14, 2225–2253.
- [80] Giovanelli, G., Zanoni, B., Lavelli, V., & Nani, R. (2002). Water sorption, drying and antioxidant properties of dried tomato products. *Journal of Food Engineering*, 52, 135–141.
- [81] Akanbi, C. T., Adeyemi, R. S., & Ojo, A. (2006). Drying characteristics and sorption isotherm of tomato slices. *Journal of Food Engineering*, 73, 141–146.
- [82] Ahrne’, L., Prothon, F., & Funebo, T. (2003). Comparison of drying kinetics and texture effects of two calcium pre-treatment before microwave-assisted dehydration of apple and potato. *International Journal of Food Science and Technology*, 38, 411–420.
- [83] Gupta, P., Ahmed, J., Shivhare, U. S., & Raghavan, G. S. V. (2002). Drying characteristics of red chilli. *Drying Technology*, 20, 1975–1987.
- [84] Gallali, M. Y., Abujnab, Y. S., & Bannari, D. F. (2000). Preservation of fruits and vegetables using solar drier: a comparative study of natural and solar drying, III; chemical analysis and sensory evaluation data of the dried samples. *Renewable Energy*, 19, 203–212.
- [85] Georgelis N, Scott JW, Baldwin EA. 2006. Inheritance of high sugars from tomato accession PI 270248 and environmental variation between seasons. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 131, 41-45.

- [86] Okanlawon, S. O., Ibrahim, M. H., & Oyebani, A. O. (2002). Effect of predrying treatment on the storage of dried tomato. *Tropical Science*, 42, 40–41.
- [87] Sharma, S. K., & Maguer, M. L. (1996). Kinetics of lycopène dégradation in tomato pulp solid under different processing and storage condition. *Food Research International*, 29, 309–315.
- [88] Simon, M., Wagner, J. R., Silveira, V. G., & Hendel, C. E. (1955). Calcium chloride as non-enzymatic browning retardant for dehydrated white potatoes. *Food Technology*, 12, 271–275.
- [89] Baloch, W. A., Khan, S., & Baloch, A. K. (1997). Influence of chemical additives on the stability of dried tomato powder. *Food Science and Technology*, 32, 117–120.
- [90] Tortora G.J., Anagnostakos N.P., 1987. Principes d'anatomie et de physiologie. 5ème édition, pp 688-693.
- [91] Dupin H., Cuq J.L., Malewiak M.I., Rouaud C.L., Berthier A.M., 1992. Alimentation et nutrition humaines. Ed. ESF, Paris, 1533 p.
- [92] Jaccot B., Campillo B., 2003. Nutrition humaine. Ed. Masson, Paris, 311 p.
- [93] Cieslik E., Greda A., Adamus W., 2006. Contents of polyphenols in fruit and vegetables. *Food Chemistry*, 94, pp 135-142.
- [94] Krinsky, N.I. (1993). Actions of carotenoids in biological Systems. *Annual review of nutrition*, 13, 561-587.
- [95] Montesano, D., Cossignani, L., D'Arco, G., Simonetti, M. S., & Damiani, P. (2006). Pure lycopène from tomato preserves extra virgin olive oil from natural oxidative events during storage. *JAOCS*, 83, 933-941.
- [96] Stahl W., Sies H., 2003. Antioxidant activity of carotenoids. *Molecular Aspects of Medicine*, 24, pp 345-351.
- [97] Karabulut I., Turan S., 2006. Some properties of margarines and shortenings marketed in Turkey. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, pp 55-58.
- [98] Anwar F., Hussain A.I., Iqbal S., Bahanger M.I., 2006. Enhancement of the oxidative stability of some vegetable oils by blending with *Moringa oleifera* oil. *Food Chemistry*, Article in Press.
- [99] BOURRE J-Ma, 2005. L'œuf naturel Multi-enrichi : des apports élevés en nutriments, notamment acides gras oméga-3, en vitamines, minéraux et caroténoïdes. *MEDECINE ET NUTRITION*, 2005-Volume 41, N°3.
- [100] Maud C., 2005. Impact de la cristallisation des corps gras sur les propriétés des produits finis. *OCL VOL. 12 N° 5-6 SEPTEMBRE-DECEMBRE 2005*.

- [101] Rao A, V. and Agarwal S., 1999. Role of lycopène as antioxydant carotenoid in the prevention of chronic diseases. *Nutrition Research*, Vol. 19. No. 2, pp. 305-323.1999.
- [102] SHIXIAN Q, DAI Y, KAKUDA Y, SHI J, MITTAL G, YEUNG D, JIANG,Y., 2005. Synergistic Anti-Oxidative Effects of Lycopene with Other Bioactive Compounds. *Food Reviews International*, 21:295–311, 2005.
- [103] Benakmoum A., 2002. Incidences nutritionnelles d'une huile thermooxydée sur les fractions lipidiques sériques chez le rat en croissance. Thèse magister, INA. El-Harrach, Alger.
- [104] Fakourelis, N., Lee, E. C., & Min, D. B. (1987). Effects of chlorophyll and β -carotene on the oxidation stability of olive oil. *Journal of food science*, 52, 234-235.
- [105] Poretta, S., & Sandei, L. (1990). Effect of chemical composition on nonenzymic browning in tomato products. *Industrie Alimentaire*, 29, 113–116.

ANNEXES

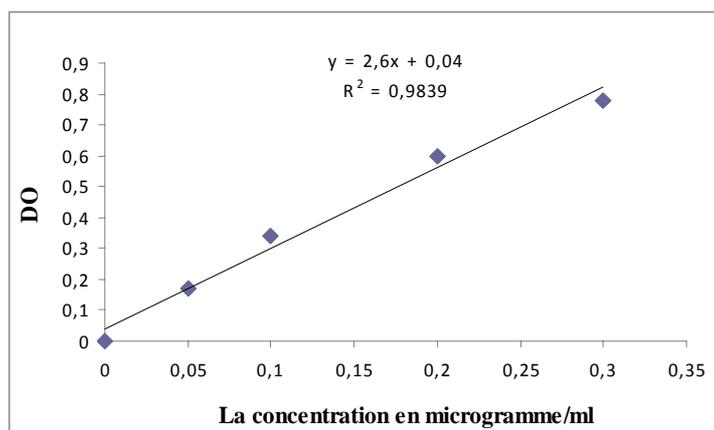


Fig. 4.9. La courbe d'étalonnage du glucose

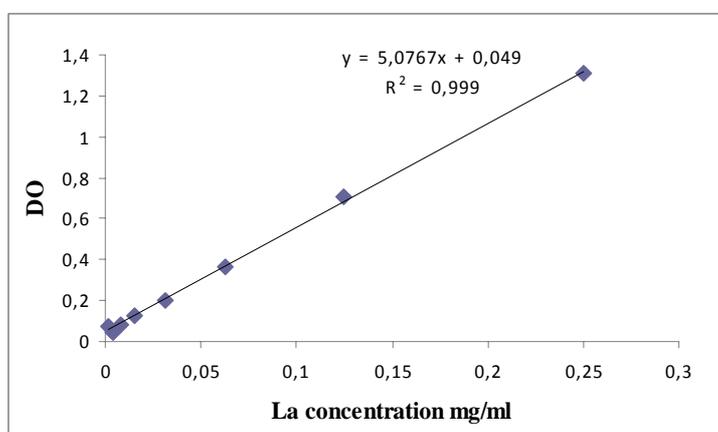


Fig. 4.11. La courbe d'étalonnage de l'acide gallique pour les polyphénols

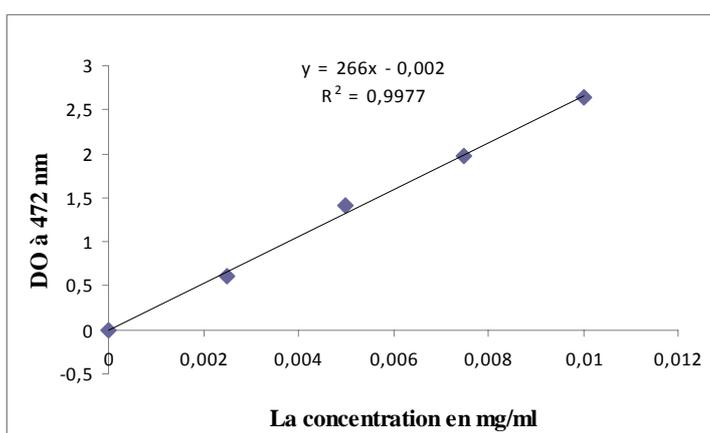


Fig. 4.16. La courbe d'étalonnage du lycopène

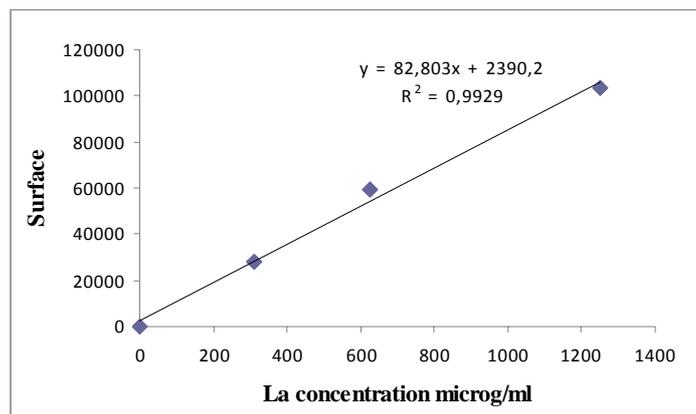


Fig. 4.17. La courbe d'étalonnage du lycopène par HPLC

Tableau 2.1 : Détermination de l'absorbance et la teneur en lycopène des différents échantillons en fonction du solvant d'extraction [82].

Température	Echantillon	Poids des échantillons (g)		Abs à 472nm		Facteur de dilution	Solvant d'ext. (ml)	Lyc A (ug/g)	Lyc B (ug/g)	Moy (ug/100g)
		Essai A	Essai B	Essai A	Essai B					
60	Temoin	0,1019	0,1025	0,3130	0,2690	10	10	890,33	760,69	825,51
60	CaCl ₂	0,1015	0,1021	0,3150	0,3360	10	10	899,55	953,88	926,72
60	NaMS	0,1032	0,1052	0,2690	0,3750	10	10	755,53	1033,23	894,38
60	Mélange	0,1025	0,1010	0,2740	0,3050	10	10	774,83	875,30	825,07
70	Temoin	0,1077	0,1070	0,2640	0,2810	10	10	710,51	761,21	735,86
70	CaCl ₂	0,101	0,1019	0,3910	0,4700	10	10	1122,11	1336,92	1229,51
70	NaMS	0,1015	0,1019	0,3090	0,3250	10	10	882,42	924,46	903,44
70	Mélange	0,1033	0,1030	0,3910	0,3380	10	10	1097,13	951,17	1024,15

Tableau 1.3 : Composition biochimique de la tomate crue et de la tomate pelée [7]

	Teneurs par 100 g	
	Tomate crue	Tomate pelée, conserve
Energie (kcal)	18,0	17,0
Energie (kJ)	77,0	75,0
Eau (g)	93,3	93,6
Glucides disponibles (g)	3,2	3,0
Fibres alimentaires (g)	1,3	1,1
Lipides (g)	0,2	0,2
Protéines (g)	0,9	1,0
Sodium (mg)	6,0	73,0
Potassium (mg)	245,0	228,0
Magnésium (mg)	11,0	12,0
Phosphore (mg)	25,0	20,0
Calcium (mg)	10,0	16,0
Fer (mg)	0,4	0,7
Carotène (µg)	600,0	520,0
Lycopène (mg)	6,0	2,0

Tableau 1.4 : Composition biochimique des pelures de tomate séchées [10]

Composition	Les pelures de tomate
Teneur g/100g	
Protéines	10.08
Lipides	3.22
Cendres	25.64
Fibres (detergent acid)	29.94
Acide aminés mg /100g	8340.0
Minéraux (mg/ 100g MS)	
Calcium	180.0
Magnésium	140.0
Phosphore	270.0
Potassium	2830.0
Sodium	8380.0
Fer	7.55
Cuivre	0.76
Manganèse	1.25
Zinc	2.75
Lycopène	73.40
B-Carotène	02.93

Tableau 4.23

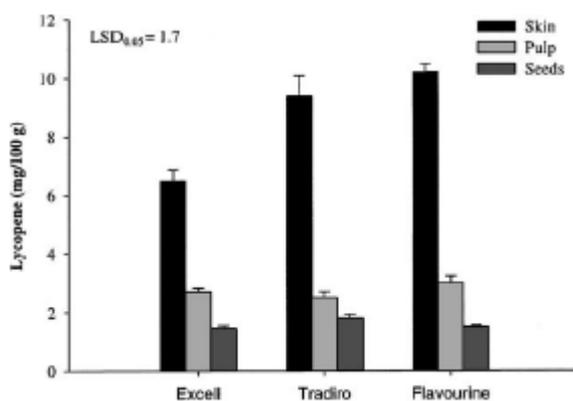
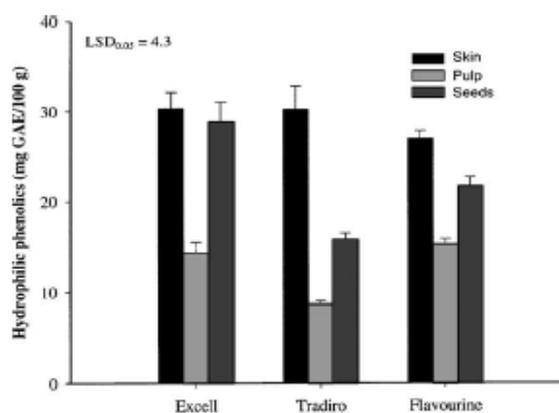
Profilé phénolique des pelures de tomate

R.T. (min)	$[M+H]^+$ (m/z)	Fragment ion (m/z) at 12 eV	Fragment ion (m/z) at 40 eV	λ_{max} (nm)	Identification
6.01	287	231	163	240, 284	4'-4-5-Hydroxy-2'-methoxychalcone
14.98	611	611	303, 276	256, 352	Rutin
19.01	273	273	147, 153	238, 290	Naringenin

Tableau 4.24

Profilé phénolique de la purée de tomate

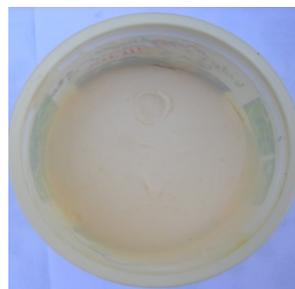
R.T. (min)	$[M+H]^+$ (m/z)	Fragment ion (m/z) at 12 eV	Fragment ion (m/z) at 40 eV	λ_{max} (nm)	Identification
13.78	743	743	611, 465, 303	254, 354	Rutoside-tartrate
15.03	611	611	465, 303	256, 354	Rutin
19.12	273	273	273	240, 290	Naringenin
25.11	182	182	182, 167	280	2-(4-Hydroxy-3-methoxyphenyl) acetic acid
25.72	343	172	172	238, 282	Trihydroxybenzoic acid
26.79	277	171, 277, 294, 299	171, 299	250, 272	Ester of gallic acid
27.99	219	219, 236, 241	-	238, 280	8-Acetyl-7-hydroxy-4-methylcoumarin

**Fig. 4.18** Teneur en lycopène de la tomate**Fig. 4.18** Polyphénols totaux de l'extrait hydrophilique de la tomate.

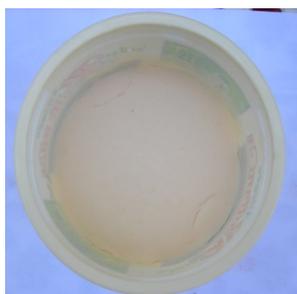
Elaboration d'une margarine de table enrichie en pelures de tomates à différentes concentrations :



Margarine+PTL 0,014



Margarine+PTL 0,021 %



Margarine+PTL 0,042 %



Margarine+PTL 0,056 %

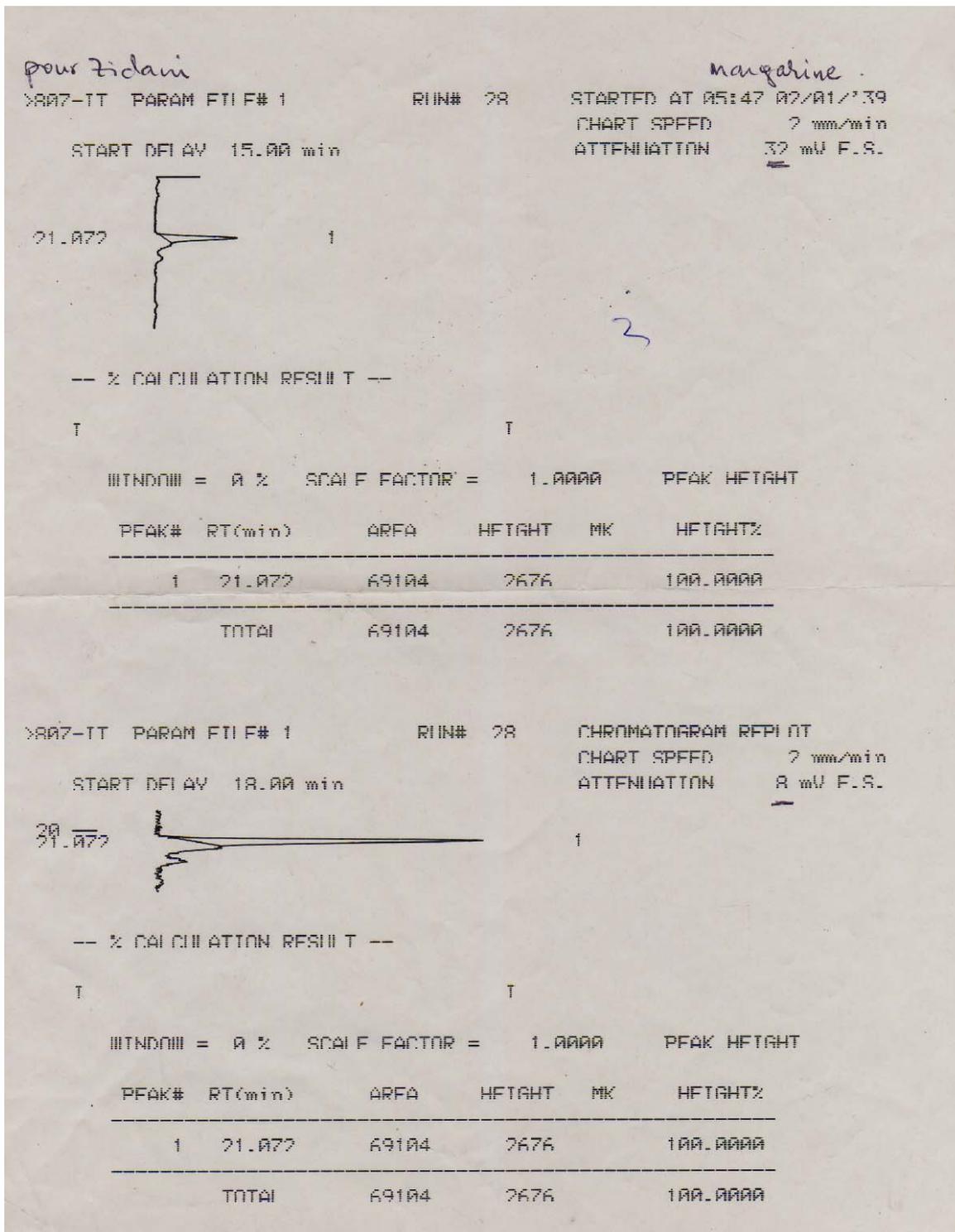


Margarine Témoin



Margarine enrichie en lycopène 0,042 %

La teneur en lycopène de la margarine enrichie en pelures de tomates



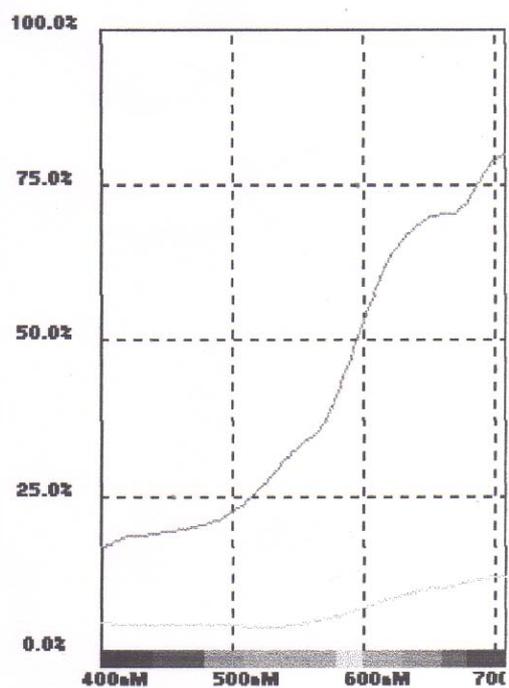
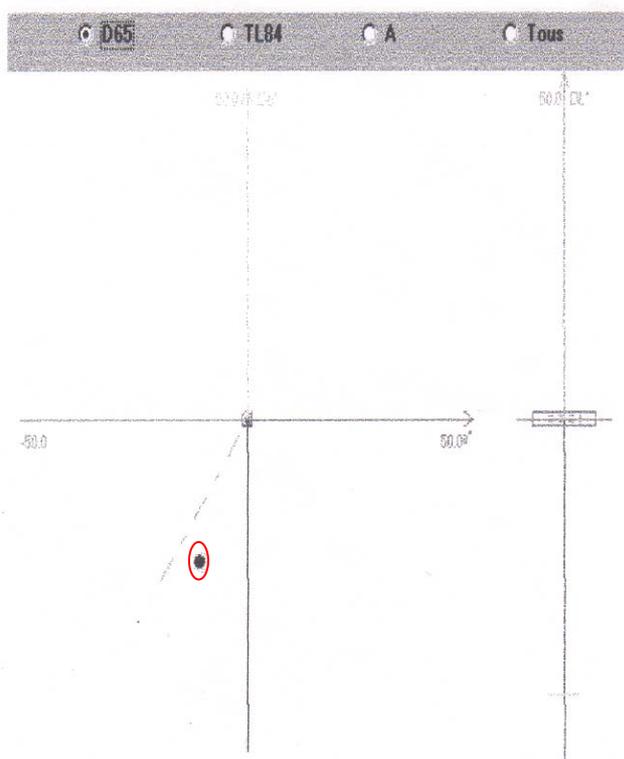
Propriétés de la couleur des pelures de tomates lyophilisées

Système : CIE Lab 76 (a*b*)

Ecart : CIE Lab 76 (Da*Db*)

illuminant :	D65					
Standard :	L*	a*	b*	C*	h°	
PTL/ZEMOURI	66.59	20.89	26.58	33.81	51.83	
Echantillons :	L*	a*	b*	C*	h°	dE*
PELURE/HUILE	27.14	10.84	4.89	11.89	24.28	46.13

-	+
---	---



La couleur de la margarine enrichie en lycopène

Système : CIE Lab 76 (a*b*)

Ecart : CIE Lab 76 (Da*Db*)

Standard :	L*	a*	b*	C*	h°	
MARGARINE/T	69.15	4.49	25.59	25.99	80.05	
Echantillons :	L*	a*	b*	C*	h°	dE*
MARGARINE/P	67.76	7.66	18.75	20.26	67.77	7.67

-	+
---	---

