

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



Faculté Des Sciences De L'ingénieur

Mémoire de Magister

Présenté par : M^{elle} LARID Roza

En vue de l'obtention du diplôme de **MAGISTER** en :

Filière : Génie Alimentaire

Option : Technologie Alimentaire

THEME

**Valorisation des sous produits de tomates en vue de leur
incorporation dans l'aliment de volaille
(Cas des poules pondeuses)**

Devant le jury composé de:

Mr BENAMARA Salem	Professeur	U.M.B.B	Président
Mme HELOUANE Fatma	Maître de conférences /A	U.M.B.B	Examinatrice
Mr AMIR Youcef	Maître de conférences /A	U.M.M.T.O	Examineur
Mr AMMOUCHE Ali	Professeur	E.N.S.A	Promoteur

Remerciements

Nous remercions le Dieu tout puissant de nous avoir donné patience, courage et force pour mener à terme ce travail et de nous avoir donné le savoir et la faculté de pouvoir poursuivre nos études et de choisir un métier aussi noble.

Ce travail a été réalisé sous la direction et le suivi du Professeur Mr Ammouche A, Professeur à l'Ecole National Supérieure Agronomique (ENSA EL HARRACH ALGER), je le remercie vivement d'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 Mr. Benakmoum A. mon co-promoteur, Maitre assistant, Chargé de cours à l'université de Boumerdes (UMBB), de m'avoir proposé ce sujet de mémoire ainsi que pour ses conseils, ses discussions enrichissantes, ses orientations et encouragements.

Je remercie Mr Benamara S., Professeur à l'université de Boumerdes (UMBB), pour l'honneur qu'il ma fait en présidant mon jury, pour son aide précieuse, ses encouragements et orientations.

Je remercie Mr Amir Y., Maître de conférences à l' l'université de Tizi Ouzou (UMMTO), d'avoir honoré ce travail en acceptant de l'examiner.

Je remercie Mme Helouane F., Maître de conférences à l'université de Boumerdes (UMBB) d'avoir honoré ce travail en acceptant de l'examiner.

Mes vifs remerciements vont à Melle Bellahoues F et Melle Hamel Z pour leur collaboration active à la réalisation du présent travail. Qu'elles trouvent ici l'expression de mon amitié et ma gratitude pour la bonne ambiance qui régnait durant la réalisation de ce travail

J'exprime ma reconnaissance et toute ma gratitude à tout le personnel de L'Unité Avicole « MEDJKANE » des Ouadhias qui m'ont accueilli dans leur site et l'aide qui m'ont apporté pour la réalisation de ce travail. Sans leur collaboration active et cordiale, ce travail n'aurait pu être réalisé.

Toute ma gratitude et ma reconnaissance à Mr kibachi ; fournisseur de tomate fraiche ainsi que pour le responsable de la chambre agricole de Boumerdes.

Mes vifs remerciements vont à Mr Zidani S ; Maitre assistant à l'université Mentouri de Constantine pour l'aide précieuse qu'il m'a apporté le long de ce travail.

A Melle Chekroune M ; Maitre assistante à l'université de Batna et à Melle Ferhoum F ; Maitre assistante à l'université Mentouri de Constantine, pour leurs encouragements et orientations.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance et mes vifs remerciements à M^{me} Gougam H, M^{me} Yelles F, M^{me} Maaachou , M^{elle} Hadarbeche L et Mr Moufouk A pour tout ce qu'ils m'ont prodigué comme conseils, encouragements et la sympathie qui m'ont toujours témoigné.

Je tiens à remercier Mr Nouani A ; notre chef de département Technologie Alimentaire et Maitre de conférences à l'université de Boumerdes (UMBB) de m'avoir avoir facilité l'accès aux laboratoires pédagogiques.

Je remercie toute l'équipe de L'unité de Recherche Génie des Matériaux, à leur tête Mr Benmounah, Mr Hachemi M, Melle Fatiha, Mr Safi, Mr Ben younes, Mr Saidi et Mr Si Ahmed pour leur assistance à la réalisation des essais rhéologiques, pour leurs discussions enrichissantes et pour la sympathie qui m'ont témoigné.

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 également Melle Touati Z Ingénieur de laboratoire de recherche « analyses spectrales » de l'université de Tizi-Ouzou pour m'avoir accueilli au sein du laboratoire et pour son assistance à la réalisation des essais de la spectrophotométrie UV-vis et IR de la pelure de tomate et jaunes d'œuf lyophilisés.

Mes remerciements vont également à toutes les personnes qui m'ont prêté une oreille attentive et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Enfin, toute ma reconnaissance est adressée à mes parents, à qui je dois ma réussite dans la vie et dans mes études, merci pour tous les sacrifices que vous avez consentis au cours de mes études.

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

***Mes très chers parents, pour leur soutien, leur aide précieuse,
leur patience et leur amour.***

La mémoire de notre très chère sœur Saida

Mes frères: Mouh, Madjid et Sofiane

***Ma sœur Ouiza, son mari Mhamed et
leur petit ange Islam***

Mes très chères sœurs: Taous et Nora

Mes amies Faiza, Wardia et Zakia

Toute la famille Larid et Rassoul

المخلص

هذا العمل يركز على استغلال قشرة الطماطم لتحسين نوعية التركيبة الغذائية للبيض، لهذا الغرض استخدمنا التجفيف الشمسي الذي مكنا من الحصول على قشرة غنية بالليكوبيين 112,460 مغ/100غ من الوزن الجاف، البوليفينول 52,82%، بيتا كاروتين 29,48 ملغ/100غ، البروتين (13,85%) والرماد (8,78%)، ويتألف أساسا من الفوسفور، الصوديوم، البوتاسيوم، الكالسيوم والمغنيسيوم.

بالإضافة إلى ذلك أظهرت دراسة إدراج قشور الطماطم الجافة في غذاء الدجاج أنّ هناك تحسن ملحوظ في نشاطه البيولوجي ونوعية البيض الغني بقشور الطماطم الجافة مقارنة بالبيض الخالي منها خاصة بمعدل الإدراج 7%. كمية الكولسترول وثلاثي الغليسريد في صفار البيض الغني بقشور الطماطم الجافة سجلا إنخفاضا مقارنة بالبيض الخالي منها.

التحليل بالأشعة تحت الحمراء وال فوق البنفسجية بيّن أنّ هناك انتقال الليكوبيين والβ-كاروتان من قشور الطماطم الجافة إلى صفار البيض.

التحليل المجهرى الالكتروني لمسحوق صفار البيض المجفف بالبرودة الغني بقشور الطماطم الجافة أظهر فرق واضح في البنية مقارنة بمسحوق صفار البيض الخالي منها.

تم تقييم الخصائص الحسية للبيض (اللون، الذوق، الرائحة) بالإختبار الإحصائي لفريدمان الذي أظهر فارق كبير بين البيض الغني بقشور الطماطم الجافة مقارنة بالبيض الخالي منها.

نمذجة السلوك الريولوجي لصفار البيض الخالي من قشور الطماطم الجافة وتلك الغنية منها أفضل توافق مع نموذج قانون أوزوالد مع معامل إرتباط $r^2=0,99$ و مؤشر التدفق $n=0,8487$ لصفار البيض الخالي من القشور، أما صفار البيض الذي يحتوي على نسبة قشور الطماطم الجافة 4%، 7%، 10%، و13% أعطوا قيم المؤشر على الترتيب 0,8636، 0,823، 0,8286، 0,8363. وقد قدم هذا النموذج معمل التناسق $K=0,6597$ لصفار البيض الخالي من القشور، أما صفار البيض الغني بها بالنسبة المذكور بها أعلاه فقد قدرت قيمة K على الترتيب بـ 0,5467، 1,048، 1,069، 1,8979.

الكلمات الدالة : استغلال؛ قشرة الطماطم؛ تجفيف؛ كاروتانويد؛ غذاء الدجاج؛ البيض.

Résumé

Le présent travail porte sur la valorisation de sous produits de tomate en vue de l'enrichissement des œufs à des fins de fonctionnalité. Dans cette optique, nous avons utilisé un séchage solaire qui nous a permis d'obtenir une pelure ayant des teneurs appréciables en lycopène avec 112,460 mg/100g, polyphénols 52,82 mg EAG/g, β -carotène 29,48 μ g/g, protéines (13,85%) et cendres de (8,78%), constituées essentiellement de phosphore, sodium, potassium, calcium et Magnésium.

Par ailleurs, l'évaluation de l'effet de pelures de tomates sèches introduites dans l'aliment des poules à des doses de 40g/kg, 70g/kg, 100g/kg, et 130g/kg a montré une amélioration des performances zootechniques des poules, et la qualité fonctionnelle et organoleptique des œufs enrichis par rapport aux œufs témoins, en particulier à un taux d'incorporation en pelure de tomate sèche de 7%. Les teneurs en cholestérol et triglycérides dans les jaunes d'œufs enrichis en pelures de tomates sèches sont nettement inférieures à celles des œufs témoins.

L'analyse par spectroscopie UV-visible et infrarouge, a montré un transfert de lycopène et β -carotène de la pelure vers le jaune d'œufs.

L'analyse de la microstructure par microscope électronique à balayage (MEB) des jaunes d'œufs lyophilisés témoin et ceux enrichis en pelure de tomate sèche montre une différence de structure entre ces différents échantillons.

La qualité organoleptique des œufs a été évaluée par le test statistique de Friedman, qui a montré une différence significative entre les œufs enrichis en pelure de tomate sèche et les œufs témoins.

La modélisation du comportement rhéologique des jaunes d'œufs témoins et ceux enrichis en pelure de tomate sèche, a montré une meilleure corrélation avec le modèle de loi de puissance d'Oswald avec des coefficients de corrélation r^2 0,99, l'indice d'écoulement n , est de 0,8487 pour le jaune d'œuf non enrichi, alors qu'il est respectivement de 0,8636, 0,8243, 0,8286, 0,8363 pour les jaunes enrichis à 4%, 7%, 10% et 13% en pelure de tomate.

Ce modèle a donné des coefficients de consistance (K) de 0,6597 pour le jaune d'œuf non enrichi et de 0,5467, 1,0480, 1,069, 0,8979 respectivement pour les doses précédemment citées.

Mots Clés : valorisation, sous produits de tomate, caroténoïdes, aliment de volaille, œufs.

Abstract

This work focuses on the promotion of tomato by-products for the enrichment of eggs for functionality. In this optic, we have used a solar drying which enabled us to obtain a peel with significant levels of lycopene with 112.460 mg/100g, polyphenols 52.82 mg EAG/100g, beta-carotene (29.48 mg/g), total sugars (3.87g/100g), protein (13.85%) and ash (8.78%), essentially consisting of phosphorus, sodium, potassium, calcium and magnesium.

In addition, the valuation of the effect of dry tomato peel introduced into the chicken feed at doses of 40g/kg, 100g/kg, 130g/kg of 70g/kg and zootechnical performance of hens and the functional and sensory quality of eggs enriched showed a significant improvement over non-enriched egg dried peel tomatoes, particularly at an inclusion rate of 7%. The content of cholesterol and triglycerides in egg yolk-enriched with dried peel tomatoes showed reduction compared to non-enriched eggs.

The Analysis by UV-visible and near infrared, showed that there was transfer of lycopene and beta-carotene in the skin to the egg yolk.

The Analysis of the microstructure by scanning electron microscopy of freeze-dried egg yolks witness and those enriched with dried peel tomato shows a difference in structure between these samples.

Sensorial quality of the eggs was evaluated by the test statistic of Friedman, which showed a significant difference between eggs enriched with dried peel tomatoes and eggs witness.

The modeling rheological comportment of egg yolks witness and those fortified with dry tomato peel showed a better correlation with the power law model of Oswald with correlation coefficient r^2 0.99, the flow index n , is 0.8487 for the non-enriched egg yolk, for the egg yolks enriched to 4%, 7%, 10% and 13% tomato peel this index is respectively: 0.8636, 0.8243, 0.8286, 0.8363. This model has provided consistency coefficients (K) of 0.6597 for egg yolk non-enriched, however egg yolks enriched at doses previously cited, the constant k is 0.5467, 1.0480, 1.069, 0.8979 respectively.

Keywords: Valorisation; tomato peels; drying; carotenoids; chicken feed; eggs

Sommaire

Remerciement	
Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction	1

Chapitre I: Synthèse Bibliographique

I. La tomate	3
I.1. Généralités	3
I.1.1. Classification.....	3
I.1.2. Historique.....	3
I.1.3. Contexte économique.....	4
I.2. Structure et développement du fruit de tomate	5
I.3. Composition biochimique de la tomate	6
I.3.1. Constituants majeurs de la tomate	6
I.3.2. Microconstituants de la tomate	7
I.3.2.a. Les caroténoïdes.....	7
I.3.2.b Les Polyphénols	13
I.3.2.c. Les vitamines	15
I.4. Sous produits de tomate	17
I. 4.1. Intérêt d'utilisation des co-produits de la tomate.....	18
I.4.2. La composition biochimique des sous produits de la tomate	19
I.4.2.a. La pulpe de tomate	19
I.4.2.b. La graine de tomate.....	20
I.4.2.c. La pelure de tomates	20
I.5. Le séchage de la pelure de tomate	22
I.6. Les études contribuant à l'enrichissement avec les pelures de tomate.....	23
II. L'œuf	24
II.1. Production et consommation d'œufs	24
II.2. Formation de l'œuf	25
II.3. Structure interne de l'œuf	28
II.4. Composition biochimique de l'œuf	30
II.4. 1. Les protéines.....	31
II.4. 2. Les lipides.....	33
II.4.3. Les minéraux et oligo-éléments.....	34
II.4.4. Les vitamines	35
II.4.5. Les caroténoïdes des œufs	36
II.5. Facteurs de variation de la qualité de l'œuf.....	39

II.6. Les vertus thérapeutiques, nutritionnelles et fonctionnelles des œufs.....	41
II.7. Conservation des œufs.....	44

Chapitre II: Matériels et Méthodes

I. Matériel végétal	44
I. 1. Préparation des échantillons à analyser	45
I.2. Méthodes d'analyse	46
I.2.1. Caractérisation physique de la tomate	47
I.2.2. Caractérisation physico-chimique de pelure de tomate séchée.....	47
I.2.2.1. Détermination de la teneur en eau des pelures de tomates séchées.	47
I.2.2.2. Processus du séchage	47
I.2.2.3. Modélisation de la cinétique de séchage.....	48
I.2.2.4. Détermination du pH.....	49
I.2.2.5. Détermination de l'acidité titrable	49
I.2.2.6. Détermination de la teneur en cendres.....	49
I.2.2.7. Détermination de la teneur en éléments minéraux par spectroscopie d'absorption atomique.	50
I.2.2.8. Dosage des polyphénols de pelures de tomate.....	50
I.2.2.9. Dosage des protéines solubles	52
I.2.2.10. Détermination du résidu sec soluble	53
I.2.2.11. Détermination de la teneur en sucres totaux	53
I.2.2.12. Détermination de la teneur en lipides	54
I.2.2.13. Détermination de la teneur en caroténoïdes totaux.....	54
I.2.2.14. Détermination de la couleur.....	55
I.2.2.15. Teneur en lycopène des pelures séchées	55
II. Expérimentation animale.....	55
II.1. La souche.....	55
II.2. Système d'élevage	56
II.3. Préparation de la diète destinée aux poules	56
II.4. Contrôle journalier.....	56
II.5. Contrôle zootechnique.....	57
II.5.1. Poids des poules.....	57
II.5.2. Taux de ponte	57
II.6. Caractérisation des œufs.....	58
II.6.1. Poids et calibre des œufs	58
II.6.2. Propriétés mécaniques de la coquille.....	58
II.6.3. Préparation de l'échantillon (œuf) destiné à l'analyse	58
II.6.4. Caractérisation physicochimique.....	59
II.6.4.1. Détermination de la teneur en protéines totales.....	59
II.6.4.2. Détermination de la teneur en cholestérol et triglycérides du jaune d'œuf	60

II.6.4.3. Extraction et dosage des composés phénoliques	60
II.6.4.4. Détermination de la teneur en caroténoïdes	61
II.6.4.5. Mesure de la couleur.....	62
II.6.5. Analyse par microscopie électronique à balayage.....	62
II.6.6. Analyse par Spectroscopie Infrarouge (FTIR)	63
II.6.7. Etude du comportement rhéologique.....	64
II.6.8. Analyses organoleptiques des œufs.....	65

Chapitre III: Résultats et Discussions

I. Tomate	67
I.1. Composition globale de la tomate.....	67
I.2. Modélisation du processus de séchage de la pelure de tomate	68
I.2.1. Cinétique d'élimination d'eau de la pelure de tomate	68
I.2.2. Cinétique de dégradation de lycopène	70
I.3. Influence de la température sur les deux critères de qualité étudiés.....	72
I.4. Optimisation du processus du séchage de la pelure de tomate	73
I.5. Caractérisation physico-chimique de pelure de tomate séchée.....	74
I.5.1. Teneur en eau	74
I.5.2. pH et acidité	75
I.5.3. Teneur en cendres	75
I.5.4. Teneur en protéines.....	75
I.5.5. Teneur en lipides.....	75
I.5.6. Teneur en sucres totaux	75
I.5.7. Le résidu sec soluble.....	76
I.5.8. Teneur en minéraux	76
I.5.9. Propriétés de la couleur.....	77
I.5.10. Composés phénoliques.....	77
I.5.11. Teneur en β -carotène.....	78
I.5.12. Teneur en lycopène	78
I.6. Analyse spectrale de la pelure de tomate par spectrophotométrie infrarouge	81
I.7. Analyse par microscope électronique à balayage de la pelure de tomate.....	82
II. Œuf	83
II.1. Performances de croissance de la population étudiée	83
II.1.1. Effectif et conditions d'élevage.....	83
II.1.2. Alimentation et prophylaxie	83
II.1.3. Ingrédients et composition des diètes des poules	84
II.1.4. Performances zootechniques de la volaille.....	84
II.1.4. 1. Poids des poules.....	85
II.1.4.2. Indice de consommation d'aliment.....	86

II.1.4.3. Intensité de ponte.....	87
II.2. Caractérisation physico-chimique de l'œuf multi-enrichi	88
II. 2.1. Caractérisation physique.....	88
II. 2.2. Caractérisation chimique	94
II. 2.2.1. Le pH	94
II. 2.2.2. Minéraux.....	95
II. 2.2.3. Protéines	97
II. 2.2.4. Teneur en cendres et en matière organique des jaunes d'œufs lyophilisés	98
II. 2.2.5. Couleur des jaunes d'œufs lyophilisés	98
II. 2.2.6. Teneur en Cholestérol.....	101
II. 2.2.7. Taux de triglycérides	102
II. 2.2.8. Teneur en composés phénoliques	103
II. 2.2.9. Teneur en caroténoïdes	104
II.3. Analyse spectrale des jaunes d'œufs par spectroscopie Infrarouge	107
II.4. Identification des caroténoïdes et des composés phénoliques dans les jaunes d'œufs lyophilisés par UV-Vis	109
II.5. Microstructure de jaunes d'œuf lyophilisé au MEB.....	112
II.6. Etude du comportement rhéologique du jaune d'œuf	114
II.6.1. Modélisation mathématique du comportement rhéologique de différents types de jaunes d'œuf frais	116
II.6.2. Equation d'état du model loi de puissance d'Oswald (power law rhéology).....	117
II.7. Résultats des analyses organoleptiques	120
Conclusion.....	122
Références bibliographiques	
Annexes	



Liste des figures

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Figure I.1 : Photographie d'un plant de tomate de la variété DAWSEN.....	3
Figure I.2 : Coupes transversale (a) et longitudinale (b) d'un fruit de tomate maturité	6
Figure I.3 : Biosynthèse des caroténoïdes	9
Figure I.4 : La structure chimique du lycopène	10
Figure I.5 : Voies métaboliques proposées d'oxydation de lycopène dans le corps humain.....	11
Figure I.6 : Mécanisme proposé pour le rôle du lycopène dans les maladies chroniques	13
Figure I.7 : Les principales voies de valorisation des résidus agroalimentaires.....	18
Figure I.8 : Les différentes parties de la paroi d'une cellule lignifiée	21
Figure I.9 : Les différentes échelles des parois impliquées dans la structure des pelures de tomates.....	21
Figure I.10 : Appareil génital de la poule	25
Figure I.11 : Cinétique des dépôts et lieu de formation de l'œuf de poule.....	26
Figure I.12 : Structure de l'œuf de poule.....	28
Figure I.13 : Composition de la coquille	29
Figure I.14 : Utilisation des œufs et évolution de ses qualités.....	42

Chapitre II : Matériels et méthodes

Figure II.1 : Méthodologie expérimentale	43
Figure II.2 : Procédure de préparation de la diète de la volaille.....	44
Figure II.3 : Principales étapes d'extraction des polyphénols.	49
Figure II.4 : Organigramme représentant le dosage des polyphénols totaux.	50
Figure II.5 : Méthodologie de préparation de l'échantillon.....	62

Chapitre III : Résultats et discussions

Figure III.1 : Les fractions de la tomate fraîche	66
Figure III.2 : Cinétique de déshydratation de la pelure de tomate à différentes températures.....	66
Figure III.3 : Modélisation de la déshydratation de la pelure de tomate	67
Figure III.4 : Détermination graphique de la constante de réduction décimale (D_e).....	67
Figure III.5 : Cinétique de dégradation de lycopène à différentes températures.....	68
Figure III.6 : Modélisation de la dégradation de lycopène sous l'effet de séchage de la pelure de tomate.....	69

Figure III.7 : Détermination graphique du temps de réduction décimale de la dégradation de lycopène (D_c).	69
Figure III.8 : Détermination graphique de la valeur Z .	70
Figure III.9 : Détermination graphique de l'énergie d'activation E_a .	70
Figure III.10 : Optimisation du processus de la déshydratation de la pelure de tomate : Abaque présentant l'ensemble des lieux (temps- température).	72
Figure III.11 : Spectre UV-visible des caroténoïdes de la pelure de tomate séchée.	78
Figure III.12 : Spectres UV-Visible du lycopène (a)théorique, (b) expérimentale	79
Figure III.13 : Spectre infrarouge de pelure de tomate sèche	79
Figure III.14 : Microstructure de pelure de tomate séchée donnée par microscope électronique à balayage	80
Figure III.15 : Evolution du poids corporel moyen de la volaille durant la période d'élevage ..	83
Figure III.16 : Evolution du poids moyen des œufs durant la période d'élevage.	87
Figure III.17: Teneur en minéraux dans le jaune, le blanc et l'œuf entier.	94
Figure III.18 : Variation de l'indice de couleur du jaune d'œuf lyophilisé en fonction des différents taux d'incorporation.	98
Figure III.19 : Teneur du jaune d'œuf en cholestérol des différents échantillons	99
Figure III.20 : Teneur en triglycérides des jaunes d'œufs des différents lots.	101
Figure III.21 : Teneur en composés phénoliques des jaunes d'œufs lyophilisés des différents lots.	102
Figure III.22 : Teneur en β -carotène des jaunes d'œufs lyophilisés des différents lots	103
Figure III.23 : Teneur en lycopène des jaunes d'œufs lyophilisés des différents lots	104
Figure III.24 : Spectre IR des jaunes d'œufs lyophilisés des différents lots	106
Figure III.25 : Spectres UV-visibles du jaune d'œufs lyophilisés des différents lots	108
Figure III.26 : Comparaison entre les spectres UV-vis du jaune d'œuf lyophilisé (a) et la pelure de tomate sèche (b)	110
Figure III.27 : Spectres UV-Visible d'un isomère Z du lycopène	110
Figure III.28 : Microstructure de jaunes d'œufs des différents lots	111
Figure III.29 : Réhogramme global montrant la variation de contrainte en fonction de la vitesse de cisaillement pour différents jaunes d'œufs	113
Figure III.30 : Variation de la viscosité des jaunes d'œufs en fonction de la vitesse de cisaillement	114
Figure III.31 : Rhéogramme général de variation de la contrainte et viscosité en fonction de vitesse de cisaillement	114

Figure III.32 : Modélisation du comportement rhéologique des jaunes d'œufs des différents lots	116
Figure III.33 : Variation de la contrainte en fonction du taux de cisaillement en corrélation avec le model d'Oswald	117
Figure III.34 : Alignement des particules sous l'effet de cisaillement.....	118
Figure III.35 : Ordre de classement des œufs selon le critère goût	119
Figure III.36 : Ordre de classement des œufs selon le critère odeur	120
Figure III.37 : Ordre de classement des œufs selon le critère couleur	120



Liste des tableaux

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Tableau I.1: Principaux antioxydants et activité antioxydante des différentes fractions de la tomate.....	7
Tableau I.2 : Teneurs des principaux caroténoïdes identifiés dans les tomates fraîches.....	8
Tableau I.3 : Propriétés physico-chimiques de lycopène	10
Tableau I.4 : Taux de lycopène dans les tissus humains	12
Tableau I.5 : Flavonoïdes identifiés dans les tomates fraîches.....	14
Tableau I.6 : Teneurs de quelques composés phénoliques dans des tomates fraîches	15
Tableau I.7 : Composition chimique des résidus en % de MS	19
Tableau I.8 : Composition biochimique des pelures de tomate séchées	20
Tableau I.9 : Proportions des différentes parties de l'œuf de poule	28
Tableau I.10 : Les dimensions moyennes de l'œuf de poule	30
Tableau I.11 : Valeur nutritive moyenne et substances constitutives du contenu de l'œuf	30
Tableau I.12 : Teneur de l'œuf en acides aminés	31
Tableau I.13 : Principales protéines du blanc en % de matière sèche	32
Tableau I.14 : Acides gras principaux du jaune en % des acides gras totaux	33
Tableau I.15 : Composition du vitellus en % de matière sèche.....	33
Tableau I.16 : Teneur de l'œuf en minéraux	34
Tableau I.17 : Teneur de l'œuf en vitamines et apport journalier conseillé.....	34
Tableau I.18 : Distribution des caroténoïdes dans quelques aliments	35
Tableau I.19 : Propriétés fonctionnelles de l'œuf.....	41

Chapitre III : Résultats et discussions

Tableau III.1 : Modélisation de la déshydratation de la pelure de tomate à différentes températures	67
Tableau III.2 : Modélisation de la dégradation de lycopène au cours du séchage à différentes températures	69
Tableau III.3 : Comparaison des différents paramètres cinétiques des deux critères : élimination d'eau et dégradation de la concentration de lycopène par le séchage	70
Tableau III.4 : Teneur en éléments minéraux des pelures de tomate.....	74
Tableau III.5 : Les résultats de l'indice de couleur des PTS.....	76
Tableau III.6 : Principaux composés identifiés dans la pelure de tomate séchée	80

Tableau III.7 : Les ingrédients et la composition chimique du régime destiné aux poules pondeuses	82
Tableau III.8 : Indice de consommation d'aliment par les poules dans les différents lots	84
Tableau III.9 : Evolution du taux de ponte relatif à chaque lot au cours de la période d'élevage	85
Tableau III.10 : Développement du calibre moyen des œufs.....	86
Tableau III.11 : Poids des composantes de l'œuf des différents lots (gr)	88
Tableau III.12 : Les caractéristiques physiques de la coquille.....	89
Tableau III.13 : pH des différents composants de l'œuf	92
Tableau III.14 : Teneur en minéraux des composants de l'œuf des différents lots.....	93
Tableau III.15 : Teneur en protéines du blanc d'œuf obtenu de différents lots	95
Tableau III.16 : Teneur en protéines du jaune d'œufs obtenu de différents lots.....	95
Tableau III.17 : Teneur en cendres et en matière organique des jaunes d'œufs lyophilisés	96
Tableau III.18 : Les paramètres de couleur des jaunes d'œufs enrichis en lycopène	97
Tableau III.19 : Poids du jaune d'œuf et sa teneur en cholestérol total de différents échantillons	99
Tableau III.20 : La quantité de lycopène transférée.....	105
Tableau III.21 : Les composés identifiés dans les jaunes d'œufs lyophilisés	107
Tableau III.22 : Les caroténoïdes identifiés dans les jaunes d'œufs enrichis	109
Tableau III.23 : Les valeurs critiques du model loi de puissance d'Oswald qui caractérise le comportement rhéologique des différents jaunes d'œufs	117



*Liste des
abréviations*

LISTE DES ABREVIATIONS

ADF : Acid detergent fibre

ADL : acid detergent lignine

B : Blanc d'œuf

BHT: Butyl Hydroxy Toluène

BSA: Bovine Sérum Albumine

CMV: Complexe minéral vitaminique

DHA : Docosahexaenoïque

DPIP : 2,6-dichlorophénol indophénol

FAO : Food and Agriculture Organisation

FSH: Follicle Stimulate Hormone (hormone folliculo-stimulante)

GA : Grand Axe

GAE : Equivalent acide gallique

HDL : Lipoprotéines à haute densité

IgY : Yolk Immunoglobulin

ITAVI: Institut technique d'aviculture

J : Jaune d'œuf

JOL : Jaune d'œuf lyophilisé

LDL : Lipoprotéines à faible densité lipidique

NDF : Neutral detergent fibre

O : Œuf entier

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PA : Petit Axe

pH: Potentiel d'hydrogène

PTS : Pelure de tomate sèche

ROS: Reactive Oxygen Spèce (espèces réactives de l'oxygène)

TEAC : Trolox Equivalent Antioxidant Capacity

VLDL : Very Low Density Lipoproteins (lipoprotéines à très basse densité)



Introduction

Introduction générale

Choisir les espèces nutritionnelles utiles à partir des possibilités offertes par un écosystème, fait partie du comportement alimentaire de l'homme.

Les observations scientifiques et nutritionnelles, relatives à l'action positive des aliments sur la santé et le bien-être des individus ne cessent de se multiplier, tant vis-à-vis des substances potentiellement actives que des cibles explorées (**Leccia, 2008**).

Parmi les nutriments qui nous sont indispensables, l'œuf est l'un des meilleurs et les moins coûteuses sources de protéine de haute qualité et contient une distribution équilibrée en divers minéraux et vitamines. C'est un ingrédient polyfonctionnel ; ses propriétés émulsifiantes, foisonnantes, gélifiantes et colorantes en font un ingrédient de base pour l'industrie alimentaire.

L'œuf ; un aliment incontournable pour ceux qui réduisent les consommations de viande, par choix ou par obligation (**Bourre, 2005**). Le taux de consommation par an et par habitant des œufs, a sensiblement régressé ; au début des années 1990, l'Algérien consommait une moyenne de 120 œufs par an. Actuellement, la moyenne de consommation a régressée à environ 80 œufs par habitant et par an (ministère de l'agriculture). Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette régression, le chapitre alimentation animale constitue certainement le problème le plus épineux pour la filière et c'est là que des solutions alternatives devront être trouvées rapidement. Des approches sont à la portée des aviculteurs dans ce domaine et ayant trait à la valorisation des sous-produits agro-alimentaires et additifs, contribuant à la réduction des coûts de production. Les travaux de recherche sur la possibilité de valorisation des sous-produits de la tomate dans l'alimentation animale ont été très peu explorés.

Pendant longtemps, jusqu'à une date récente, il était admis que la composition de l'œuf était constante, le métabolisme de la poule assure la pérennité de cette composition, quelle que soit sa nourriture. Récemment, ce dogme a été remis en question, notamment par la comparaison de la composition en acides gras oméga-3 de l'œuf dit « industriel » avec celui produit par des poules « sauvages », en l'occurrence (**Scheideler et al.,1998**). Il s'est avéré donc qu'il était possible d'enrichir considérablement les œufs en certains nutriments, pour les rapprocher des œufs « pastoraux », voire même dépasser cette composition, pour aboutir à ce qui est appelé « designer egg », la poule étant alors utilisée comme un organisme « bio-magnification » en faveur des œufs.

La tomate, fruit cultivé et consommé sous de nombreuses latitudes, a fait l'objet de nombreuses études. Du fait de sa popularité, les scientifiques se sont intéressés à ses

caractéristiques organoleptiques (couleur, texture, flaveur, goût, etc) (**Moco et al., 2007**). Actuellement, ce fruit et ses produits ont un grand intérêt pour la nutrition animale et humaine parce qu'elles sont d'excellentes sources d'antioxydants naturels en grande partie sous forme de caroténoïdes, composés phénoliques, tocophérols, et acide ascorbique.

Une pratique répandue consiste à utiliser pour l'alimentation animale les co-produits industriels ou agricoles, substances d'origine diverses généralement disponible en grande quantité sur une période limitée et dont l'élimination est coûteuse. Ils sont alors avantageusement valorisés dans les rations animales (**Cotte, 2000**)

Comme la grande majorité du lycopène présent dans la tomate est concentré dans la peau, une bonne proportion de cet antioxydant se retrouve comme déchet des usines de transformation de tomate (**Navarro-González et al., 2011**). Les chercheurs s'efforcent à trouver des moyens pour récupérer ces antioxydants pour créer des produits à valeur ajoutée.

Plus de 70% du coût de revient de la production du poulet de chair et d'œuf est représenté par le coût de l'aliment. De ce fait, l'incorporation des sous-produits agro-alimentaires pourrait contribuer à la réduction des coûts de production et à l'amélioration des performances ainsi que la qualité nutritionnelle des produits.


C'est dans cette optique, que s'inscrit la thématique de notre étude qui entre dans le cadre du **PNR** (Projet National de Recherche) en proposant aux industriels de volaille (chair et ponte) l'incorporation des peaux de tomates (40% de déchets) dans l'aliment.

Le double objectif de cette étude est la valorisation de pelure de tomate sous forme de poudre séchée, comme source riche en éléments nutritionnels et fonctionnels qui peut constituer un excellent supplément dans l'aliment de volaille, et l'enrichissement des œufs en composés bioactifs naturels qui jouissent d'une bonne image auprès du consommateur tout en intégrant la qualité nutritionnelle, technologique et organoleptique des œufs et la valeur santé.

Le présent travail est réparti en trois grands chapitres, le premier est consacré à la synthèse bibliographique focalisée sur le fruit de tomate et l'œuf.

Le second chapitre est relatif aux matériels utilisés et à la méthodologie de travail, qui s'attellera en premier lieu à l'étude de la cinétique de séchage des pelures de tomate à l'air chaud, en second lieu, évaluer la qualité de pelure de tomate séchée du point de vue physicochimique qui sera incorporée dans la diète des poules dont la qualité des œufs est évaluée par plusieurs méthodes.

Le troisième chapitre récapitule l'ensemble des résultats de l'étude qui seront présentés et discutés. Nous terminons notre étude par une conclusion générale et perspective.



Chapitre I
Synthèse
bibliographique



1^{ere} Partie
La Tomate

I. La tomate

I. 1. Généralités

La tomate *Solanum lycopersicum* L. est une plante annuelle herbacée, de la famille des solanacées, originaire du nord-ouest de l'Amérique du Sud, largement cultivée pour ses fruits de formes et de couleurs variées (Chaux, 1994 ; Renaud, 2001 ; Blamey, 2003 ; Tomodori, 2007).

Le terme désigne aussi ce fruit charnu, largement consommé dans de nombreux pays, frais ou transformé. Compte tenu de ses vertus, la tomate n'est pas utilisée que pour ses qualités organoleptiques, mais elle fait l'objet de nombreuses utilisations en tant que médicament et ingrédients de beautés et est considérée comme une plante modèle pour des études scientifiques sur les fruits charnus (INAF, 2007).

I.1.1. Classification

Classe : Magnoliopsida

Sous-classe : Asteridae

Ordre : Solanales

Famille : Solanaceae

Genre : *Solanum*

Nom : *Solanum lycopersicum* Mill

(FAO, 2007 ; IPNI, 2005)



Figure I.1 : Photographie d'un plant de tomate de la variété DAWSEN

I.1.2. Historique

L'origine de la tomate se situe en Amérique du sud. Son ancêtre sauvage, *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*, était présent au Pérou, au Chili, dans la vallée des Andes et en Équateur. Cette plante à fruits très petits fut d'abord domestiquée au Mexique et améliorée par les aztèques. Dans la première moitié du 16^e siècle, la tomate fut apportée en Europe par les conquistadors espagnols, qui adoptèrent son nom indien « tomatl ». Elle fut d'abord implantée dans le sud de l'Europe, notamment en Espagne et en Italie. Sa première description fut en 1544 par un botaniste italien du nom de Mattioli. Il évoque une tomate jaune qui donnera son nom à la tomate italienne : *pomodoro* signifiant « pomme d'or ».

Son nom latin *lycopersicum esculentum* lui fut donné par le botaniste anglais Philip Miller en 1731. Actuellement, pour des raisons phylogénétiques, la tomate est appelée *solanum lycopersicum* L.

La tomate fut rapidement adoptée en cuisine par les pays du sud et fut introduite en Provence en 1750 (**Doré et al., 2006**). Des recettes furent développées dans les pays méditerranéens, cependant dans les pays du nord de l'Europe, elle était plutôt considérée comme une plante ornementale jusqu'au XVIIIe siècle.

La popularité croissante des tomates a eu comme conséquence le développement de nouvelles variétés. Au XXe siècle, l'industrie de la tomate se développa peu à peu pour proposer des produits à base de tomate de plus en plus diversifiés (**Gould, 1991 ; Yamagushi, 1983**).

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 (**Coombe, 1976**).

I.1.3. Contexte économique

Selon la FAO, la tomate serait cultivée dans de nombreux pays (170) et sous divers climats, y compris des régions froides, la culture pouvant se faire sous abri.

Elle est la troisième espèce cultivée au monde en termes de volume de production, après la pomme de terre et la patate douce (**FAO stat, 2009**).

Le premier producteur mondial est la Chine, avec un peu plus de 33,6 millions de tonne, suivie par six pays : les Etats-Unis, la Turquie, l'Inde, l'Egypte, l'Italie et l'Iran qui produisent plus de 5 millions de tonnes. Si l'on considère l'Union européenne dans sa globalité, elle se place au second rang avec 15,9 millions de tonnes, représentant 13,5 % de la production mondiale. L'Italie représente environ 40%, les 4 pays méditerranéens (Italie, Espagne, Grèce et Portugal) produisent plus de 12 millions de tonnes, c'est-à-dire plus de trois quarts (76,8%) de la production européenne. La production belge s'élevait en 2007 à 200.000 tonnes pour une surface cultivée de 500 hectares (**FAO stat**).

En Algérie, la filière de la tomate industrielle est principalement cultivée dans les régions Est: Annaba, El Taref, Guelma, Skikda, avec une superficie agricole utile (SAU) de plus de 60 %.

Cette filière produisant principalement du double concentré de tomate, a contribué durant des années au développement socio-économique du pays, les 17 usines implantées, représentent 80% de la production nationale. Après un développement économique efficient, et des investissements industriels importants (création de 120.000 postes d'emploi en amont 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 :

- faible rendement de production à l'hectare (15 Tonnes/ha);
- appauvrissement des sols et abandon 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'importation pour palier aux déficits (soit une facture annuelle de 100 Millions de dollars US) (ministère de l'agriculture).

I.2. Structure et développement du fruit de tomate

D'un point de vue botanique, la tomate est un fruit appartenant à la famille des baies, mais elle est cultivée et utilisée comme un légume. Ce fruit est constitué de trois parties: le péricarpe (comprenant la peau et la partie charnue), le gel contenu dans les loges et les graines. La peau consiste en quatre à cinq couches de cellules de type épidermique ou hypodermique sous une fine cuticule (**Hulme, 1971**).

Ainsi, le fruit de tomate se caractérise par une structure complexe associant différents tissus aux caractéristiques spécifiques, particulièrement à maturité (Figure I.2) (**Coombe, 1976**).

- un péricarpe externe de couleur rouge, riche en caroténoïdes et en lycopène, représente environ 2% du poids du fruit (**Peschel, 2006**). Il est composé de trois parties : la peau ou exocarpe protégé par une fine cuticule, le mésocarpe et l'endocarpe qui constituent la chair. (**Coombe, 1976**).
- les cavités loculaires (loges) délimitées par le péricarpe externe, le septum ou péricarpe radial et la columelle ou péricarpe interne qui représente 95% du poids de fruit (**Peschel, 2006**)
- des graines portées par le placenta et enveloppées dans le tissu loculaire (gel) (**Coombe, 1976**), de couleur jaune dont la peau est riche en fibre, et l'amande en lipide et protéines, elles représentent environ 3% du poids du fruit (**Peschel, 2006**).

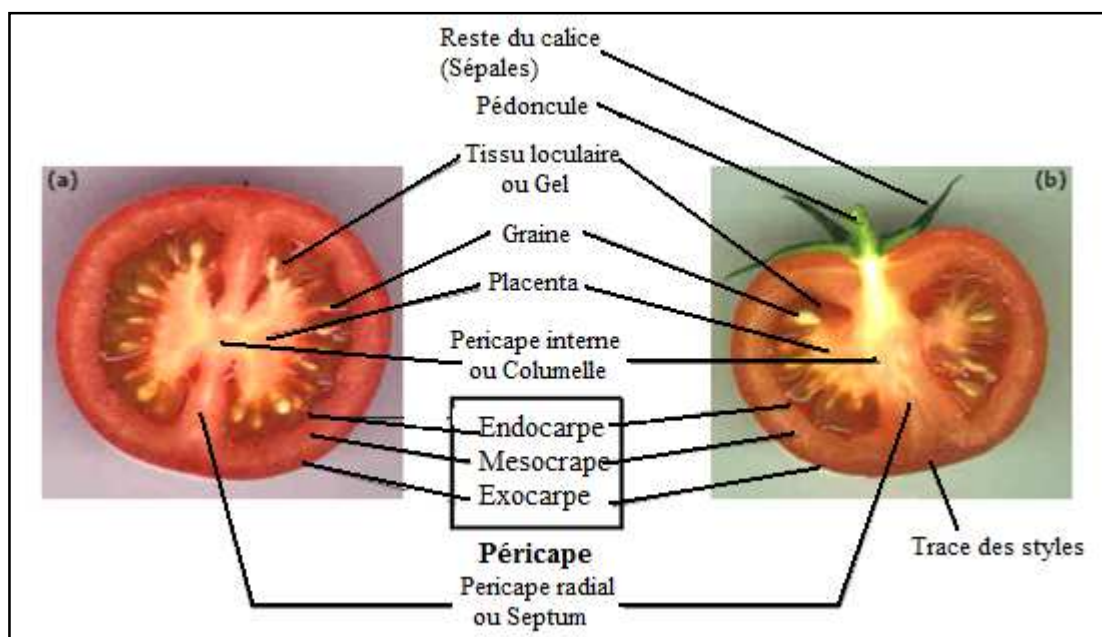


Figure I.2 : Coupes transversale (a) et longitudinale (b) d'un fruit de tomate à maturité
(Gillapsy *et al.*, 1993)

I.3. Composition biochimique de la tomate

La composition biochimique des tomates fraîches de différentes variétés peut varier significativement, en particulier en fonction des cultivars (Lenucci *et al.*, 2006). De même, les conditions de culture (techniques agricoles et facteurs environnementaux) et de conservation post-récolte peuvent entraîner des variabilités de composition au sein d'un même cultivar (Slimestad, 2005; Luthria *et al.*, 2006). Par exemple, une exposition à d'importantes radiations lumineuses lors de la croissance du fruit permettrait d'accroître les teneurs en caroténoïdes et vitamine C (Marsic *et al.*, 2010).

I.3.1. Constituants majeurs de la tomate

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. Elle 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 (Davies, 1981), c'est aussi une source de fibres (2 g /100g) soit le quart des apports nutritionnels conseillés.

La tomate contient aussi de nombreux minéraux et oligoéléments et comme la plupart des fruits et légumes, elle représente une source appréciable de potassium (245,0 mg/ 100g). 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), (Beecher, 1998) des flavonoïdes (la quercitrine, le kaempférol, la rutine et la naringénine), et des caroténoïdes, en particulier le lycopène.

I.3.2. Microconstituants de la tomate

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 (Stephoe *et al.*, 2003; Marchand *et al.*, 1994).

A la suite de nombreuses études épidémiologiques, la tomate et les produits à base de tomate ont été suspectés de limiter les risques de maladies cardio-vasculaires et de cancers (Van Breemen *et al.*, 2008 ; Visioli *et al.*, 2003; Ferguson *et al.*, 1999). Les propriétés nutritionnelles seraient dues en grande partie à la présence de microconstituants antioxydants (caroténoïdes, vitamines et composés phénoliques).

Le tableau I.1 récapitule les principaux antioxydants et l'activité antioxydante des différentes fractions de la tomate.

Tableau I.1: Principaux antioxydants et activité antioxydante des différentes fractions de la tomate (Ramandeep *et al.*, 2005).

Fractions	Polyphénols totaux (mg EAG/100g)		Flavonoïdes mg rutine (eq/100g)	Lycopène (mg/100g)	Acide ascorbique (mg/100g)	Activité antioxydante (μ M TEAC/100g)	
	Hydrophile	Lipophile				Hydrophile	Lipophile
Pelure	29,1	5,6	20,4	8,7	16,9	214,6	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.3.2.a. Les caroténoïdes

Plus de 700 caroténoïdes naturels identifiés jusqu'à présent, dont 50 peuvent être absorbés et métabolisés par le corps humain. Cependant, seulement 14 caroténoïdes ont été identifiés dans le sérum humain, dont le lycopène comme étant le plus abondant (Krinsky, 1989).

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 insaturation, ils sont particulièrement susceptibles à l'oxydation. La deuxième classe contient les xanthophylles (lutéine, zéaxanthine), qui sont les dérivés oxygénés et ont un ou plusieurs groupes oxygénés (Rao, 2006 ; Krinsky, 1989).

Le caroténoïde retrouvé majoritairement dans les tomates rouges est le (E)-lycopène qui constitue leur principal pigment. Le lycopène sous ses formes Z peut également être retrouvé dans de faibles proportions dans ces tomates. Le β -carotène et l' α -carotène, des micronutriments possédant une activité pro-vitaminique A, sont eux aussi présents dans de nombreuses variétés de tomates principalement sous la forme E. Par ailleurs, des intermédiaires de la biosynthèse du lycopène (phytoène, phytofluène, neurosporène et (ζ - carotène) mais également de faibles quantités de lycoxanthine et de γ - et δ -carotène ont été identifiés. On peut aussi noter la présence de xanthophylles: la lutéine, la néoxanthine et la violaxanthine (**Ben-Aziz et al., 1973; Leonardi et al., 2000**).

D'autre part, des produits issus de l'oxydation du lycopène peuvent être présents dans les tomates fraîches, notamment le 1,2-époxy-lycopène et le 5,6-époxy-lycopène (**Ben-Aziz et al., 1973**).

Tableau I.2: Teneurs des principaux caroténoïdes identifiés dans les tomates fraîches (**Ben-Aziz et al., 1973**).

Caroténoïdes	Teneurs (mg/100g de produit frais)
Lycopène (E+Z)	0,11 - 17,5
β -Carotène (E+Z)	0,08 - 1,06
α -Carotène	0,01 - 0,07
ζ -Carotène	0,01 - 0,90
Phytoène	0,01 - 1,92
Phytofluène	0,04 - 1,05
Lutéine	0,01 - 0,20
Neurosporène	0,01 - 0,05
1,2-Epoxy-lycopène	0,03 - 0,17

▪ Localisation des caroténoïdes dans le fruit de tomate

Après analyse de différentes parties de fruits de tomates (peau, pulpe et pépins) de plusieurs cultivars, **Toor et Savage** ont montré que la majorité du lycopène se trouve dans la peau et la pulpe, la peau étant 3 fois plus concentrée en lycopène que la pulpe (**Toor et al., 2005**). De même, (**Moco et al., 2007**) ont quantifié des xanthophylles et des carotènes de la tomate à plusieurs stade du développement, et ceci dans les différents tissus du fruit. Les xanthophylles (néoxanthine, violaxanthine et lutéine) ont été détectées dans toutes les parties du fruit et sont majoritairement présents au sein de la région vasculaire, du placenta et de la columelle. Le β - carotène lui aussi a été détecté dans tous les tissus. Il est présent de façon relativement homogène dans le fruit (**Moco et al., 2007**).

▪ Biosynthèse des caroténoïdes de la tomate

Les caroténoïdes sont des métabolites secondaires issus du métabolisme des terpènes. Leur synthèse se fait au niveau des tissus photosynthétiques, plus précisément dans les chromoplastes, des organites présents à l'intérieur des cellules des fruits où le lycopène et le β - carotène seraient présents sous forme de cristaux (Nguyen *et al.*, 2001). Ce processus de biosynthèse est représenté sur la Figure I.3. Le composé indispensable à la synthèse de tous les caroténoïdes est l'isopentényl pyrophosphate (IPP) qui, suite à des réactions d'isomérisation et de condensation, forme le phytoène. Ce dernier est à l'origine de tous les autres caroténoïdes. Ainsi, par l'intermédiaire de réactions de désaturation, d'oxydation, de cyclisation et de réarrangement impliquant de nombreuses enzymes, l'ensemble des carotènes et xanthophylles de la tomate sont synthétisés.

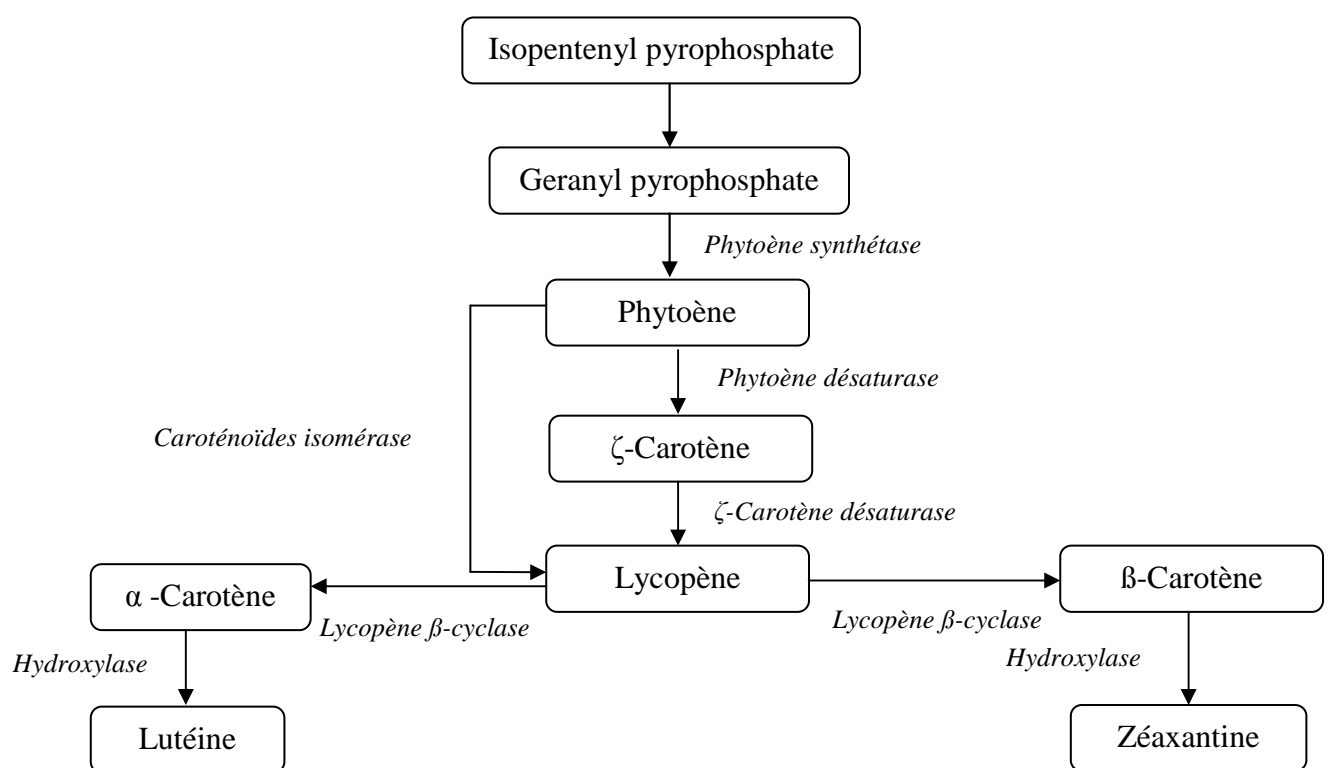


Figure I.3 : Biosynthèse des caroténoïdes (Yefsah-idres, 2007)

❖ Le lycopène

➤ Structure chimique

Le lycopène est un tétraterpène constitué de 8 molécules isoprènes : $C_{40}H_{56}$. C'est un caroténoïde acyclique polyinsaturé, contenant 11 doubles liaisons conjuguées dans la partie centrale de la molécule, et 2 autres doubles liaisons non conjuguées (Figure I.4) (Véronique, 2001).

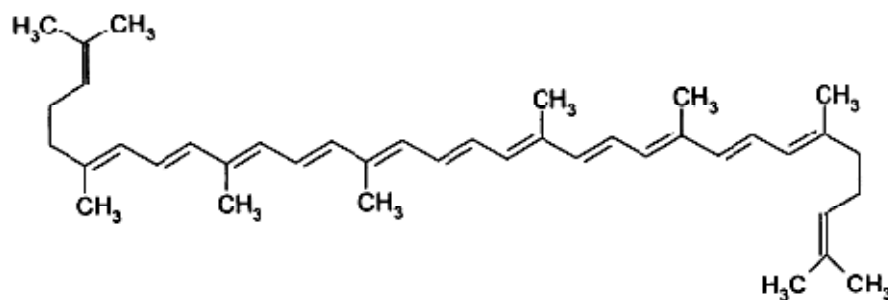


Figure I.4 : Structure chimique du lycopène (Stahl *et al.*, 2000)

Tableau I.3: Propriétés physico-chimiques de lycopène
(Chanforan, 2011 ; Shi et Le Maguer., 2000)

Formule brute	C ₄₀ H ₅₆
Poids moléculaire	536,89 g/mol
Couleur	Rouge à rouge orange
Point de fusion	173°C
Solubilité	- Insoluble dans l'eau - Soluble dans les huiles végétales et les solvants organiques apolaires (l'éther de pétrole, l'hexane, le chloroforme et le benzène). - Peu soluble dans l'acétone et l'éthanol
Spectre d'absorption	444 ; 502 et 472 nm
Coefficient d'extinction moléculaire	E _{1cm} est de 3450

➤ Biodisponibilité de lycopène

La biodisponibilité du lycopène est un point essentiel et dépend des sources alimentaires. Elle est plus élevée dans les produits transformés de la tomate (sauce et purée) que dans les tomates crues. Elle augmente également avec la présence de lipides, la dose consommée et la présence d'autres caroténoïdes comme le β -carotène.

La forme *trans* est mal absorbée, mais les traitements thermiques augmentent sa biodisponibilité en induisant l'isomérisation vers la forme *cis* qui est plus biodisponible (Gibault, 2006).

Le processus de cuisson permet généralement au lycopène d'être plus biodisponible par sa sortie de la matrice dans la phase lipidique de repas. Le concentré de tomates et la purée de tomates se sont révélés être des sources plus biodisponibles de lycopène que les sources alimentaires qui ne sont pas cuites comme la tomate fraîche (Boileau *et al.*, 2002).

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 10 fois plus efficace que l' α -tocophérol en tant qu'antioxydant (Weisburger, 2002).

➤ Répartition du lycopène dans les tissus humains

La distribution tissulaire des caroténoïdes alimentaires, y compris le lycopène n'est pas uniforme. La distribution spécifique des caroténoïdes dans les tissus permet de dire que certains caroténoïdes peuvent exercer un effet biologique unique dans certains tissus mais pas dans les autres. Le tableau I.4 montre le taux de lycopène dans les tissus humains. Cependant, les variations interindividuelles dans les niveaux tissulaires de lycopène sont signalées près de 100 fois.

Les tissus adipeux peuvent servir de marqueurs pour l'évaluation de l'état de lycopène dans le corps humain, car ils constituent une source potentielle du matériel biologique facilement accessible. Le lycopène a été trouvé concentré et être le plus important caroténoïde dans les glandes surrénales, les testicules, le foie et la prostate (Rao ; Agarwal, 1999).

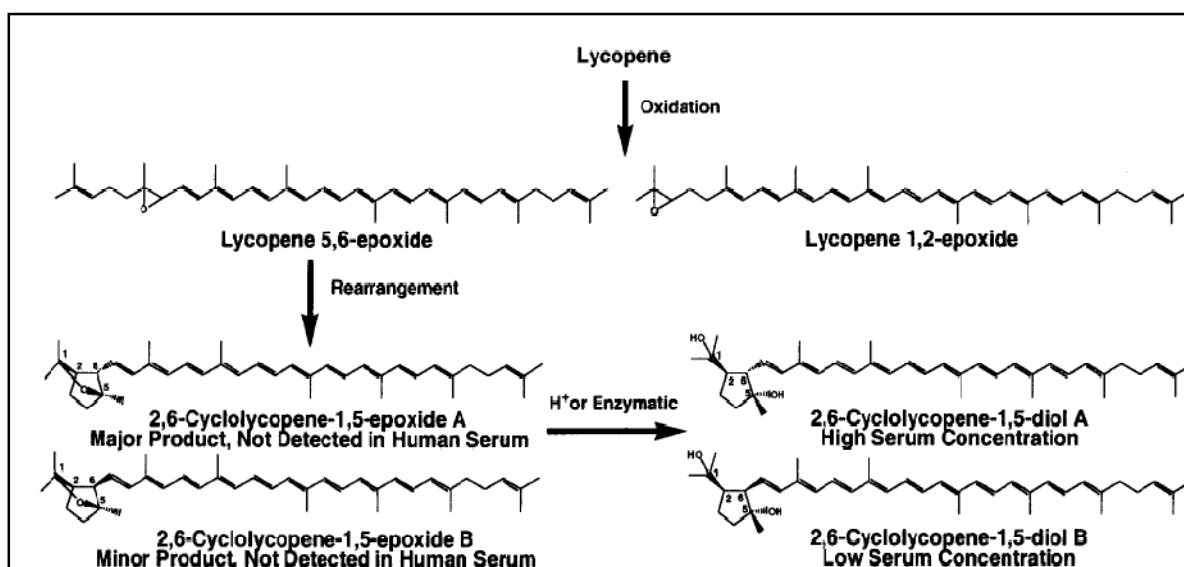


Figure I.5: Voies métaboliques proposées d'oxydation de lycopène dans le corps humain (Khachik *et al.*, 2002).

Le mécanisme biochimique exact de la forte concentration dans ces tissus n'est pas clair. Une hypothèse est que ces tissus ont un grand nombre de récepteurs lipoprotéiques et le lycopène est principalement transporté par ces lipoprotéines (Rao ; Agarwal, 1999).

Tableau I.4 : Taux de lycopène dans les tissus humains (Rao ; Agarwal, 1999).

Tissus	Le lycopène (nmol/g poids humide)
Testicules	4,34 à 21,36
Glandes surrénales	1,9 à 21,60
Prostate	0,8
Foie	1,28 à 5,72
Sein	0,78
Pancréas	0,7
Poumon	0,22 à 0,57
Rein	0,15 à 0,62
Côlon	0,31
Peau	0,42
Ovaire	0,3
Estomac	0,2
Tronc cérébral	Non détectable

➤ **Rôle biologique et mode d'action de lycopène**

Les mécanismes de défense contre l'oxydation, sont génétiquement programmés, comme la production d'enzymes superoxydes 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 (Yefsah-idres, 2007). Des études épidémiologiques ont montré que les niveaux sériques de lycopène et l'apport alimentaire de celui-ci à partir de tomate, sont inversement liés au risques de certains types de cancer, comme le cancer de prostate, le cancer du tractus digestif et le cancer des poumon (Goula *et al.*, 2005).

Le lycopène pourrait également agir comme hypocholestérolémiant en inhibant la synthèse du HMGCoA (hydroxy-3- méthyl glutaryl coenzyme A) réductase (Yefsah-idres, 2007).

Le lycopène peut réduire, en raison de son activité antioxydante élevée, le risque de l'athérosclérose et les maladies coronariennes (Nobre *et al.*, 2009). La figure I.8 montre les différents mécanismes proposés qu'implique le lycopène dans la prévention des maladies chroniques.

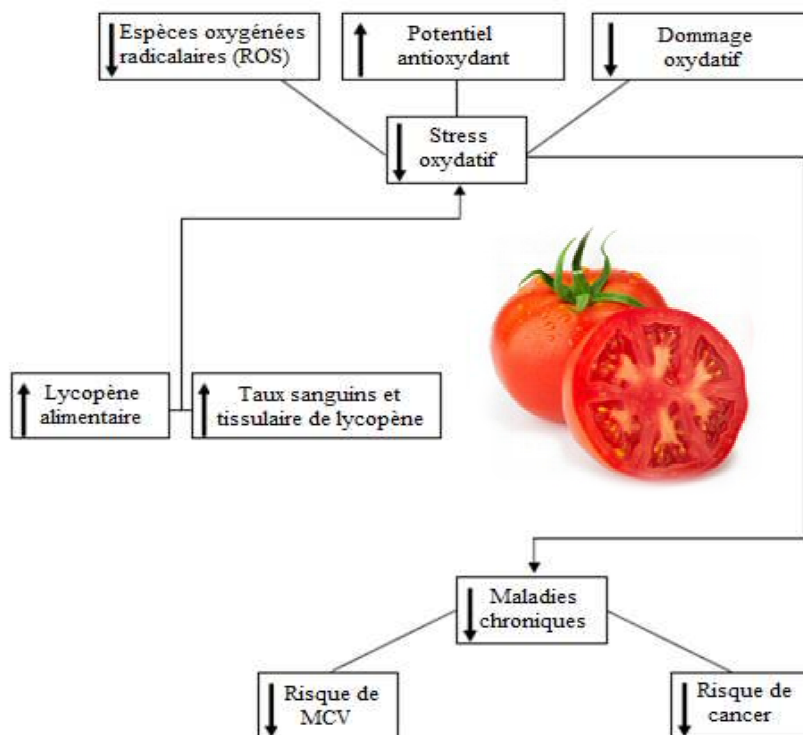


Figure I.6 : Mécanisme proposé pour le rôle du lycopène dans les maladies chroniques
(Yefsah-idres, 2007)

Par ailleurs, l'augmentation de statut de lycopène dans le corps peut réguler les fonctions des gènes, de moduler la réponse immunitaire et hormonale, ou réguler le métabolisme, ce qui réduit le risque des maladies chroniques. Ces mécanismes peuvent également être liés et peuvent fonctionner simultanément pour fournir des prestations de santé (Agarwal ; Rao, 2000 ; Anonyme 1, 2003).

I.3.2.b 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, leur 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 (Spencer *et al.*, 2001).

Les composés phénoliques de la tomate sont des antioxydants actifs (Ramandeep *et al.*, 2005) 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 (Krinsky, 1989).

▪ Diversité des composés phénoliques de la tomate

Une grande diversité de composés phénoliques a été identifiée dans la tomate (tableau I.5). Ce sont principalement des acides hydroxycinnamiques, des flavonols et des flavanones, presque tous sous forme glycosylée.

Tableau I.5 : Flavonoïdes identifiés dans les tomates fraîches
(Slimestad *et al.*, 2008 ; Gall *et al.*, 2003)

Classe de flavonoïde	Aglycone	Composés identifiés
Flavonol	Quercétine	Rutine (quercétine-3-rutinoside)
		Quercétine-3-O-trisaccharide
		Isoquercitrine (quercétine-3-O-glucoside)
		Quercétine-3-O-(2"-O- β -apiofuranosyl-6"-O- α -rhamnopyranosyl- β -glucopyranoside)
	Kaempférol	Dihydrokaempférol-O-hexoside
		Kaempférol-3-O-rutinoside
		Kaempférol-3,7-di-O-glucoside
		Kaempférol-3-O-rutinoside-7-O-glucoside
		Astragaline (kaempférol-3-O-glucoside)
	Myricétine	Myricitrine (myricétine-3-O-rhamnoside)
Flavanone	Naringénine	Naringénine aglycone
		Naringénine chalcone aglycone
		Prunine (naringénine-7-O-glucoside)
		Naringénine chalcone-O-glucoside
		Naringine (naringénine-7-O-néohespéridoside)
	Phlorétine	Phlorétine-3,5'-di-C-glucoside
	Anthocyanidine	Delphinidine
Delphinidine-3-O-(<i>p</i> -coumaroyl)-rutinoside-5-O-glucoside		
Delphinidine-3-O-(caféoyl)-rutinoside-5-O-glucoside		
Pétunidine		Pétunidine-3-O-rutinoside-5-O-glucoside
		Pétunidine-3-O-(<i>p</i> -coumaroyl)-rutinoside-5-O-glucoside
		Pétunidine-3-O-(caféoyl)-rutinoside-5-O-glucoside
Malvidine		Malvidine-3-O-rutinoside-5-O-glucoside
		Malvidine-3-O-(<i>p</i> -coumaroyl)-rutinoside-5-O-glucoside
		Malvidine-3-O-(caféoyl)-rutinoside-5-O-glucoside

Etant donné la diversité des composés phénoliques présents dans les tomates et le manque de standards disponibles dans le commerce, leur quantification a généralement été réalisée grâce à des méthodes de dosage globale. Seuls les composés majoritaires, et pour lesquels des étalons sont disponibles, ont pu être quantifiés. Les teneurs en acide chlorogénique, rutine et naringénine mesurées dans des tomates fraîches sont présentées dans le Tableau I.6.

Tableau I.6 : Teneurs de quelques composés phénoliques dans des tomates fraîches
(Capanoglu *et al.*, 2008 ; Bramley *et al.*, 2002)

Composés phénolique	Teneur (mg/100g de matière sèche)
Acide chlorogénique	3,67-21,0
Rutine	19,8-33,23
Naringénine	0-22,48

▪ Localisation des composés phénoliques dans le fruit de tomate

Selon plusieurs études, les flavonoïdes seraient principalement concentrés au sein de l'épicarpe (Moco *et al.*, 2007 ; Torres *et al.*, 2005 ; Stewart *et al.*, 2000). Cependant, ce tissu est présent dans de faibles proportions par rapport à l'ensemble des tissus du fruit; il contribuerait alors moins que la pulpe à la teneur globale du fruit en flavonoïdes (Moco *et al.*, 2007 ; Toor *et al.*, 2005 ; Torres *et al.*, 2005). La forte concentration de ces composés au sein du tissu épidermique peut s'expliquer par l'intensité des radiations lumineuses reçues par les cellules de l'épicarpe, qui stimulent la synthèse de ces polyphénols. Par ailleurs, les flavonoïdes pourraient jouer un rôle de protection vis-à-vis des pathogènes et du stress environnemental, dû par exemple à la sécheresse ou aux rayonnements ultra-violet (Moco *et al.*, 2007; Lenucci *et al.*, 2006).

Les acides phénoliques ont été détectés dans toutes les parties du fruit. Les acides caféoylquiniques sont majoritairement présents dans l'épicarpe alors que les acides féruliques, coumariques et caféiques glycosylés se répartissent entre le gel, l'épiderme et la région d'attachement vasculaire.

I.3.2.c. Les vitamines

La tomate est reconnue pour sa richesse en vitamine C (forme réduite et oxydée). Par ailleurs, ce fruit contient aussi des vitamines A, B, K et E. Parmi les vitamines B, sont principalement retrouvées la thiamine (B1), la riboflavine (B2), la niacine (B3), l'acide panthoténique (B5), la vitamine B6 et les folates (B9). Ce sont essentiellement les vitamines C et E qui ont été étudiées dans les fruits de tomate.

▪ La vitamine E

L' α -tocophérol est la forme de vitamine E majoritairement retrouvée dans les tomates fraîches. Les autres formes du tocophérol (β -, γ - et δ -) sont également présentes mais dans des proportions plus faibles. Les teneurs en vitamine E varient beaucoup en fonction des variétés de tomate et des dates de récolte (Marsic *et al.*, 2010; Dumas *et al.*, 2003).

Au sein du fruit, la vitamine E est répartie dans les différents tissus mais c'est dans les graines que les concentrations les plus importantes sont retrouvées. Or, elles ne sont pas digérées par l'organisme et la tomate contribue donc peu aux apports en vitamine E (**Marsic et al., 2010; Dumas et al., 2003**).

▪ La vitamine C

A la différence de la vitamine E, la tomate fraîche apporte des quantités non négligeables de vitamine C sous les formes oxydée (DHAA) et réduite (AA). Les teneurs en vitamine C totale sont variables selon les variétés et les conditions de culture; elles sont généralement comprises entre 7 et 30 mg/100g (de matière fraîche) mais peuvent atteindre 70 mg/100 g pour des tomates cerises (**Raffo et al., 2006 ; Chassy et al., 2006 ; Toor et al., 2006**). Les proportions d'acide ascorbique (AA) et déhydroascorbique (DHAA) varient également en fonction des cultivars et des conditions environnementales. La forme oxydée pourrait représenter 0 à 85 % de la vitamine C totale et même atteindre 90 % lorsque les fruits sont cultivés sous un climat chaud.

Ces variations s'expliquent par le fait qu'une modification des conditions environnementales est susceptible d'induire un changement de l'état redox du système AA/DHAA. Ce système pourrait jouer le rôle d'une sonde, entraînant une modulation du métabolisme cellulaire et de la sensibilité aux hormones en réponse à des facteurs extérieurs (**Lenucci et al., 2006 ; Toor et al., 2006**).

Des analyses réalisées sur les différentes parties de fruits de tomate ont permis de localiser la vitamine C. Elle est présente dans tous les tissus mais surtout concentrée au niveau de l'épiderme.

Cette concentration au sein des cellules de l'épiderme peut s'expliquer par la présence, dans de fortes proportions, d'une enzyme impliquée dans la biosynthèse de l'acide ascorbique: la guanidine diphosphate-mannose pyrophosphorylase (GMP) (**Moco et al., 2007 ; Toor et al., 2005**). Dans les cellules de tomate, les précurseurs de l'acide ascorbique sont le glucose-6-phosphate ou le D- Galacturonate.

I.4. Sous produits de tomate

❖ Généralités

En Algérie, la production annuelle des résidus de tomates est estimée à 1.305.000 tonnes/an (FAO, 2006). Les sous produits de l'industrie de transformation de la tomate (*Lycopersicon esculentum*) sont constitués de peaux, pépins, d'un peu de pulpes et des pédoncules parfois mélangés à quelques feuilles et écarts de triage (Ventura *et al.*, 2009).

Une pratique répandue consiste à utiliser pour l'alimentation animale les co-produits industriels ou agricoles, substances d'origines diverses généralement disponibles en grande quantité sur une période limitée et dont l'élimination est coûteuse. Ils sont alors avantageusement valorisés dans les rations animales. Leur utilisation n'est néanmoins attractive que dans certaines régions, déterminées par l'importance de la production locale de la matière première dont ils sont issus et par la prépondérance de la transformation industrielle qui leur donne naissance. Un autre facteur d'intérêt peut aussi résider dans leur valeur nutritionnelle exceptionnelle, par exemple les tourteaux (Cotte, 2000).

En ce qui concerne les co-produits de conservation, de 10 à 40% du tonnage de fruits et légumes entrants en fabrication finissent en déchets.

Leur valorisation est souvent entravée par une saisonnalité marquée et par la dispersion géographique des centres de production mais elle est intéressante si :

- les co-produits reviennent moins chers, à valeur nutritive égale, que l'aliment classique qu'ils remplacent ;
- l'aliment élaboré avec un co-produit soustrait ce dernier des rejets dans l'environnement.

Deux modalités d'utilisation sont alors possibles :

- soit le co-produit est traité par l'industrie agro-alimentaire ;
- soit le co-produit est utilisé directement par l'éleveur afin de favoriser les circuits courts de distribution pour diminuer les coûts de transport (Cotte, 2000).

❖ Définition

Un co-produit est la partie d'un végétal cultivé ou le produit issu d'un processus de fabrication qui ne représente pas l'objet principal de l'activité envisagée (Anred, 1988).

Selon Ademe (2000), un sous-produit est un produit résidu qui apparaît durant la fabrication ou la distribution d'un produit fini. Il est non intentionnel et non prévisible, et est accidentel. Il peut être utilisé directement ou bien constituer un ingrédient d'un autre processus de production en vue de la fabrication d'autres produits finis.

La valorisation des résidus agroalimentaires est le réemploi, le recyclage ou toute autre action visant à obtenir, à partir des déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie (**Proot, 2002**). Les voies de valorisations des résidus agroalimentaires sont illustrées par la figure ci-dessous.

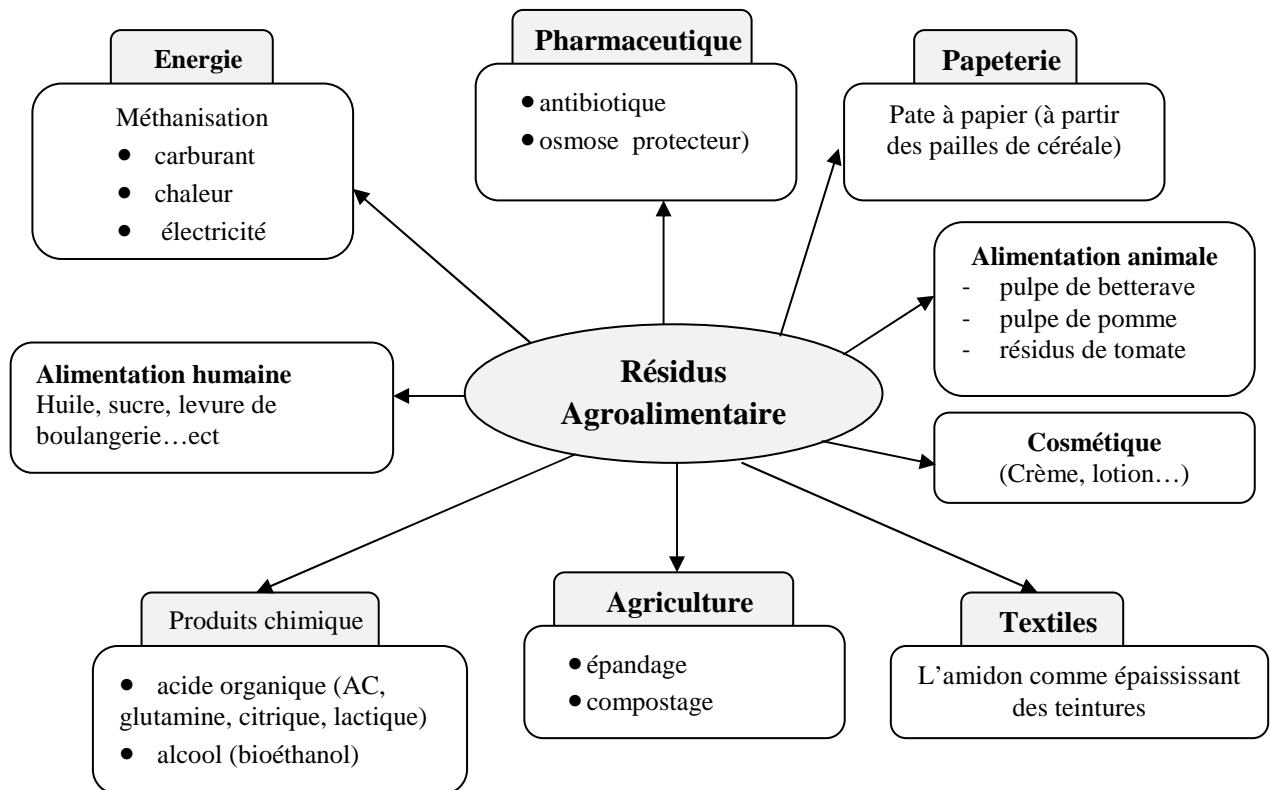


Figure I.7 : Les principales voies de valorisation des résidus agroalimentaires

I. 4.1. Intérêt d'utilisation des co-produits de la tomate

Leur utilisation en alimentation animale peut s'avérer bénéfique pour plusieurs raisons (**Rosner, 1982**) :

- l'aliment élaboré avec co-produit soustrait ce dernier des rejets de l'entreprise en rivière ou en décharge d'où un effet favorable sur l'environnement ;
- au lieu de payer pour rejet dans la nature, l'entreprise peut tirer profit de la valorisation de ces déchets pour l'alimentation animale ;
- le co-produit revient moins cher à l'utilisation, à valeur nutritive égale, que l'aliment classique qu'il remplace. Ceci permet une réduction des coûts alimentaires de l'élevage dans une période où le prix de production (lait/viande) stagne ;
- le co-produit peut remplacer des aliments achetés à l'étranger dont les prix sont indexés aux variations des devises. C'est le cas des aliments à forte valeur protéique, tel le soja.
- la peau de tomate est une source riche en lycopène, car elle contient environ 5 fois plus de lycopène (53,9 mg/100 g) que la pulpe entière de tomate (11 mg/100 g).

Cependant, de grande quantité de lycopène serait jetée comme perte de traitement de tomate (Botsoglou, 2004).

Outre les industriels et les agriculteurs, de nombreux organismes ou personnes sont concernés par l'utilisation des co-produits fabricant l'aliment de bétail, collectivités locales, service du ministère de l'environnement et de l'agriculture, services vétérinaires.

I.4.2. La composition biochimique des sous produits de la tomate

Les co-produits de la tomate sont les résidus des industries de conserverie et sont constitués de peaux, pépins, d'un peu de pulpe et des pédoncules parfois mélangés à quelques feuilles et écarts de triage.

Par ailleurs, les résultats d'étude rapportés par (Amokrane, 2010), montrent que les résidus de tomate sont classés au premier rang de part leur richesse en matière minérale (11,77% MS), en protéines (12,06% MS) et en matière grasse (1,66% de MS) comparativement aux deux autres résidus, pomme et orange. Se conférer tableau ci-dessous.

Tableau I.7: Composition chimique des résidus en % de MS (Amokrane, 2010)

Substrat	MS (%)	MM (%MS)	MO (%MS)	PB (%MS)	MG (%MS)	NDF (%MS)	ADF (%MS)	ADL (%MS)
R. tomate	88,77	11,77±0,41	98,33±0,41	12,06±0,05	1,66±0,01	33,09±0,35	30,01±0,24	9,82±0,23
R. orange	89,04	2,65 ±0,04	97,35±0,04	5,75±0,16	1,-1±0,01	15,67±0,09	11,72±0,13	0,00±0,00
R. pommes	89,14	1,93±0,14	98,07±0,14	2,27±0,05	0,97±0,04	13,68±0,49	9,46±0,17	1,55±0,01

I.4.2.a. La pulpe de tomate

Ce résidu est peu répandu et reste disponible pendant la période estivale (d'août à octobre). Les analyses des composés pariétaux montrent une forte teneur en cellulose brute et en lignine de 24,65% de MS, par rapport à celle de la pectine 5% (Cotte, 2000).

Les protéines ont une composition en acides aminés proche de celle du tourteau de soja, ceci place les pulpes de tomates parmi les aliments ayant une valeur protéique intéressante pour les ruminants. La pulpe de tomate est ainsi une source raisonnable de vitamine B1, B2 et vitamine A (Aghajanzadeh- Golshani *et al.*, 2010).

I.4.2.b. La graine de tomate

Les graines de tomates présentent une forte teneur en matière grasse (MG) et protéines, une analyse qualitative séparée des peaux et graines de tomate donne les valeurs suivantes : 24.5% de protéines et 28.1% de MG dans les graines contre 10% de protéines et 3.6% de MG dans les peaux.

Au vu de ces données, il apparaît que les graines représentent la part la plus importante du potentiel énergétique et azoté des sous produits de la tomate (Cotte, 2000).

I.4.2.c. La pelure de tomates

Les peaux de tomates représentent la part la plus importante du co-produit destiné à l'alimentation animale. Or, la peau de ces fruits présente des particularités.

La peau de tomate est constituée d'un hypoderme, d'un épiderme et d'une cuticule qui le recouvre (Colonna *et al.*, 1995).

L'épiderme est un tissu de revêtement, constitué d'une couche de cellules d'épaisseur variable et dont la paroi externe est plus épaisse, (Grenet, 1997). Les parois des cellules épidermiques sont recouvertes d'une cuticule qui est un mélange complexe de cires, extractibles par les solvants, et d'un polymère insoluble, la cutine (Grenet *et al.*, 1991); (Jarriger, 1981). Cette cuticule semble sécrétée par les cellules de l'épiderme (Jarriger, 1981 ; Meyer 1961), elle facilite la conservation de l'eau par les plantes et les protège des insectes, micro-organismes et champignons.

La composition des pelures de tomate est illustrée dans le tableau I.8.

Tableau I.8 : Composition biochimique des pelures de tomate séchées d'après Monika (2002)

Composants organiques Teneur (mg/100gMS)		Minéraux teneur (mg/100g MS)	
Lycopène	73,40	Calcium	180,0
B-Carotène	02,93	Magnésium	140,0
Protéines	10,08	Phosphore	270,0
Lipides	3,22	Cuivre	0,76
Cendres	25,64	Manganèse	1,25
-	-	Zinc	2,75

Dans le fruit jeune, les parois des cellules sont essentiellement des parois primaires constituées de microfibrilles de cellulose et de diverses hémicelluloses et reliées entre elles par une lamelle moyenne à base de substances pectiques, (Colonna *et al.*, 1995 ;Grenet *et al.*, 1991 ;Meyer 1961). Lorsque le fruit cesse sa croissance, il y a formation d'une paroi secondaire avec dépôt de cellulose, d'hémicellulose et imprégnation par lignine (Colonna *et al.*, 1995 ; Meyer 1961). La lignine peut alors représenter de 15 à 35% des parois et établit des liaisons avec les hémicellulose, les substances pectiques et certaines protéines (figure I.9).

Concernant les tomates, récoltées généralement à un stade de maturité assez avancé, les peaux sont donc essentiellement constituées de cellules à parois lignifiées ce qui explique le fort taux de lignine entrant dans la composition chimique du co-produit. Elle sont recouvertes d'une cuticule dont nous allons préciser la nature biochimique.

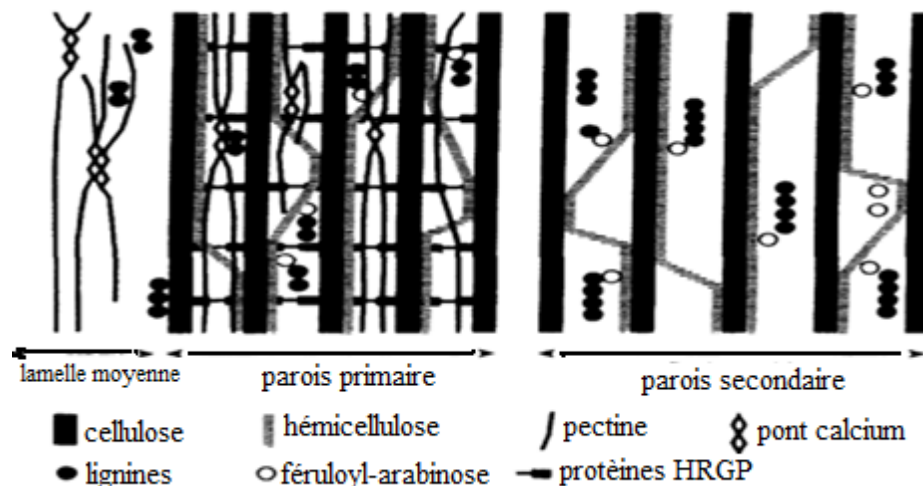


Figure I. 8: Les différentes parties de la paroi d'une cellule lignifiée

Le ramollissement du fruit est associé aux modifications de la composition des hémicelluloses de la paroi cellulaire et des pectines de la lamelle moyenne (Crookes, 1983). La paroi cellulaire, est un assemblage complexe de macromolécules constitutives avec trois réseaux; un réseau hémicellulose-cellulose (rigide), un réseau de polysaccharides matriciels (pectines) et un réseau de protéines structurales (figure I.9). Les variations texturales seront très dépendantes des propriétés de l'épiderme. L'aspect peau gênante, difficile à avaler du fruit de tomate est fortement conditionné par l'épaisseur de l'exocarpe (Huber, 1983). Les personnes allergiques au latex peuvent démontrer une hypersensibilité à la tomate. Celle-ci pourrait être incriminée dans le syndrome d'allergie orale (démangeaisons et sensation de brûlure) (Al-Wandawi, 1985). Des travaux réalisés sur l'extrait de pelure de tomate, ont montré une forte inhibition sur le dégagement de l'histamine. La présence de la substance naréginine chlorogénique (la chalcone de narigenine) dans l'extrait pourrait empêcher les réactions d'allergies. Plusieurs protéines semblent être impliquées dans l'allergie des peaux de tomates (Benakmoum, 2009).

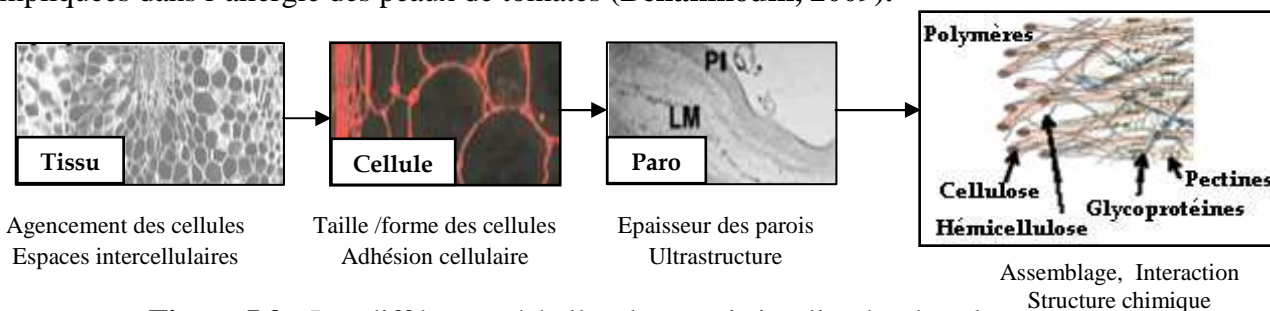


Figure I.9 : Les différentes échelles des parois impliquées dans la structure des pelures de tomates (Huber, 1983)

I.5. Le séchage de la pelure de tomate

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 (**Bimbenet et al., 2007**).

Le séchage au soleil et à l'air libre des denrées alimentaires est une pratique de conservation très ancienne, simple et naturelle. Divers auteurs rappellent qu'au paléolithique, il y a 400.000 ans, l'homme savait conserver les aliments (viandes, poissons, légumes....) par séchage naturel.

Beaucoup de denrées alimentaires sont séchées naturellement à la campagne où subsiste encore une économie pastorale notamment dans les pays tempérés et chauds. Parmi les principaux produits séchés au soleil, nous citons en particulier : le piment rouge, la tomate, l'aubergine, les légumineuses : fèves, pois chiches..., certains fruits : raisin, figue, abricot, prune.... les viandes rouges après découpage et salage.

Les pelures de tomates sont récupérées avec des teneurs en eau élevées (près de 80%), ce qui ne facilite pas leur conservation et leur exploitation, devenant ainsi susceptible à la détérioration. Il est donc nécessaire, de procéder à la réduction du contenu d'eau à un niveau qui permettra leur stockage sur une longue période. Les techniques de séchage traditionnel ou industriel sont suggérées pour une exploitation efficace des sous-produits.

La réduction de la teneur en eau induit la réduction substantielle du poids et du volume, en réduisant les coûts d'emballage, de stockage et de transport. Le séchage industriel peut être réalisé par l'air chaud, comme on peut utiliser des dessiccateurs solaires pour le séchage des pelures dans des conditions de respect de l'environnement. Des connaissances dans la conception, la simulation et l'optimisation du séchage sont requises pour l'obtention d'un produit de qualité. Ce processus dépendra de la technique de séchage adoptée et des paramètres telles que l'humidité, la taille des segments, la température, la vitesse et l'efficacité du système de séchage (**Douymaz, 2007**).

Des précautions sont à prendre pour éviter, les dégradations de lycopène dues principalement à l'isomérisation (**Sacilik, 2006**). Une isomérisation très marquée, peut mener à une réduction de la bioactivité du lycopène, de ce fait, l'évaluation réelle de la qualité des pelures déshydratées dépendra non seulement de la teneur totale en lycopène mais aussi de la distribution en ses isomères (conversion des *trans* isomères en *cis* isomères) (**Qiu, 2004**). Un séchage partiel des pelures de tomate maintiendrait des niveaux élevés des composés antioxydants (**Goula, 2005**). Dans les pays à fort ensoleillement, le séchage dure quelques jours. Après séchage, le produit se conserve naturellement dans des locaux secs et généralement obscurs à une température inférieure à 10°C. Pour la tomate séchée la température de conservation est de 4 à 5°C (**www.tomato.org**).

I.6. Les études contribuant à l'enrichissement avec les pelures de tomate

Les premiers travaux concernant l'utilisation des co-produits de la tomate datent des années 60, travaux menés dans des pays où la production et l'utilisation industrielle de ce fruit dégagent des volumes de résidus très importants (Amérique du sud, Italie, Espagne). Ainsi, les co-produits de la tomate en Espagne sont estimés annuellement à environ 750000 tonnes (**Gonzalez Mendez, 1986**). Ces travaux ont eu comme espèce cible ruminant, du fait de la forte teneur en fibres des pulpes, même si quelques expérimentations ont eu lieu sur porcs et volailles.

L'utilisation de ces co-produits s'est donc accrue soit sous forme fraîche ensilée soit sous forme déshydratée dans les pays à forte production de tomate, d'autant plus que beaucoup de ces pays ne disposaient pas de ressources céréalières très importantes pour l'alimentation animale, (**Zaouche, 1983**).

Les premiers essais d'utilisation des pelures à l'état humide, ont eu lieu sur l'aliment des ovins par ensilage, dans l'objectif de l'enrichir en caroténoïdes (**Deneka, 2006**). Par la suite, cela s'est étendu à l'aliment de volaille en vue d'élever sa teneur en fibres. Ceci, a eu pour effet, le renforcement de la pigmentation jaune de la chair de poulet, et le transfert de quantités discernables de lycopène dans les œufs (**Bourre, 2005 ; Sahin, 2008**).

Les incorporations de lycopène issus des dérivés de tomates, ou de lycopène pur, ont par la suite apparues dans certains aliments et plus particulièrement dans les huiles végétales afin de stabiliser et de favoriser leur résistance lors du stockage. À cet effet, de nombreux travaux ont été réalisés sur la stabilité de l'huile d'olive vierge et de soja enrichie en lycopène pur, en vue de l'introduire sur le marché en tant qu'aliment fonctionnel (**Donald, 2000**).

Dans une autre étude, les caractéristiques organoleptiques des sauces tomates telles la viscosité et la couleur du produit fini ont été améliorées, après enrichissement par les pelures.

Des résultats probants ont été obtenus dans une étude d'amélioration des propriétés sensorielles, et de la texture des saucisses sèches (produit à base de viande enrichi en lycopène) (**Calvo., 2008**).

D'autres applications, de l'introduction du lycopène, dans les préparations alimentaires se sont développées, pour s'étendre à la photoprotection des vitamines du lait, base de certains aliments lactés (**Chen, 2008**). En ce qui concerne les débouchés du lycopène dans l'industrie pharmaceutique et cosmétique, nous citerons, les applications en tant qu'ingrédients dans des produits de santé, avec l'émergence des aliments fonctionnels, suppléments alimentaires, nutraceutiques (**Montenegro, 2007**).

2^{ème} Partie

L'œuf

II. L'œuf

Introduction

L'œuf est connu depuis toujours comme un aliment de base, ayant une grande valeur nutritive, et constitue une source importante de molécules dotées d'activités biologiques, largement utilisées en santé humaine et dans les industries agroalimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques.(*Gautronet al., 2010*).

Il convient donc d'exposer les connaissances acquises sur l'œuf, tant sur le plan de reproduction que sur le plan consommation et conservation.

Cette partie comporte aussi une synthèse de publications de recherche médicale et scientifique, en expérimentation animale et en recherche clinique chez l'Homme, situant ces travaux dans le cadre de l'enrichissement des œufs. Cet aspect concerne les caroténoïdes, les acides gras oméga-3. En effet, l'attention portée à ces substances s'est considérablement accrue ces dernières années, avec quelques études portant sur la poule pondeuse et l'œuf.

II.1. Production et consommation d'œufs

La filière de production et de transformation des œufs occupe une place majeure au sein des industries agroalimentaires avec une production mondiale estimée en 2007 à mille milliards d'œufs.

Dotés de propriétés fonctionnelles très performantes, les œufs et les ovoproduits sont devenus omniprésents dans les aliments et constituent des atouts précieux pour le développement de produits nouveaux (*Nauet al., 2010*).

Durant les dix dernières années, la production mondiale d'œufs a augmenté de 34 %, soit une croissance annuelle moyenne de 3 %, qui s'est un peu ralentie ces dernières années. Elle se situait en 2007 autour de 63 millions de tonnes. Présente dans tous les continents, la production d'œufs est plus ou moins importante selon les pays. Elle est le fait de pays développés et de pays émergents. Le premier producteur est de loin la Chine avec 25,8 millions de tonnes, soit 41 % de la production mondiale, suivie par l'UE à 25 millions de tonnes et les Etats-Unis (**ITAVI d'après FAO et Commission Européenne**).

La consommation européenne est de 240 œufs par personne et par an en moyenne, avec une part croissante des ovoproduits. Différents facteurs d'évolution détermineront les scénarios possibles pour l'avenir, parmi lesquels le contexte réglementaire communautaire (bien-être animal, protection de l'environnement, exigences sanitaires), la forte volatilité des prix des matières premières entrant dans l'alimentation animale (*Magdelaine et al., 2010*).

En Algérie, le taux de consommation des œufs et des viandes blanches a sensiblement régressé. Au début des années 1990, l'Algérien consommait une moyenne de 120 œufs par an, actuellement la moyenne de consommation est régressée à environ 80 œufs par habitant et par an.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette régression, le facteur alimentation constitue certainement le problème le plus épineux pour la filière aviculture et c'est là que des solutions alternatives devront être trouvées rapidement. Des approches sont à la portée des aviculteurs dans ce domaine et ayant trait à la valorisation des sous produits agroalimentaires et additifs, contribuant à la réduction des coûts de production.

II.2. Formation de l'œuf

▪ Anatomie de l'appareil reproducteur femelle

En opposition avec la symétrie de l'appareil génital des femelles des mammifères, celui des oiseaux est dissymétrique ; la partie droite du tractus génital (ovaire et oviducte) est restée à l'état vestigial alors que la partie gauche occupe progressivement un volume important (**Brugère, 1988**).

L'appareil génital femelle comprend l'ovaire qui produit les ovules, l'oviducte qui aboutit au cloaque et dans lequel l'ovule s'entoure des principaux constituants de l'œuf (**Thiebault, 2005**) (Voir figure I.11).

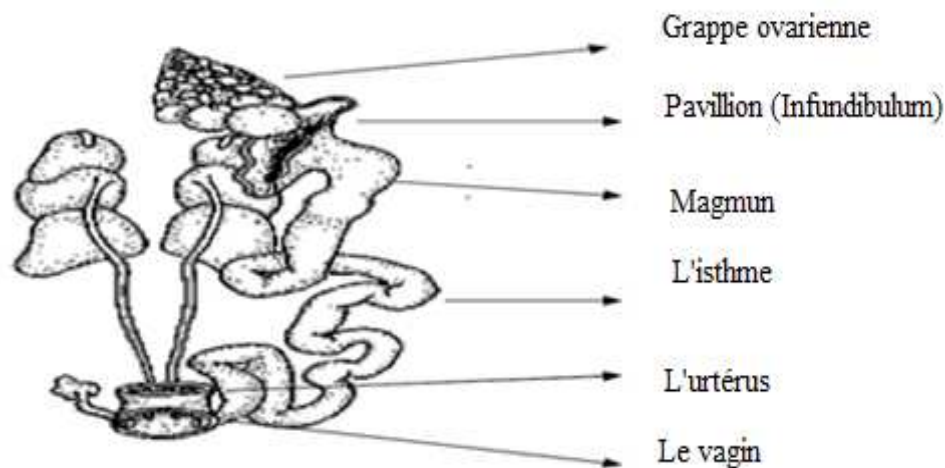
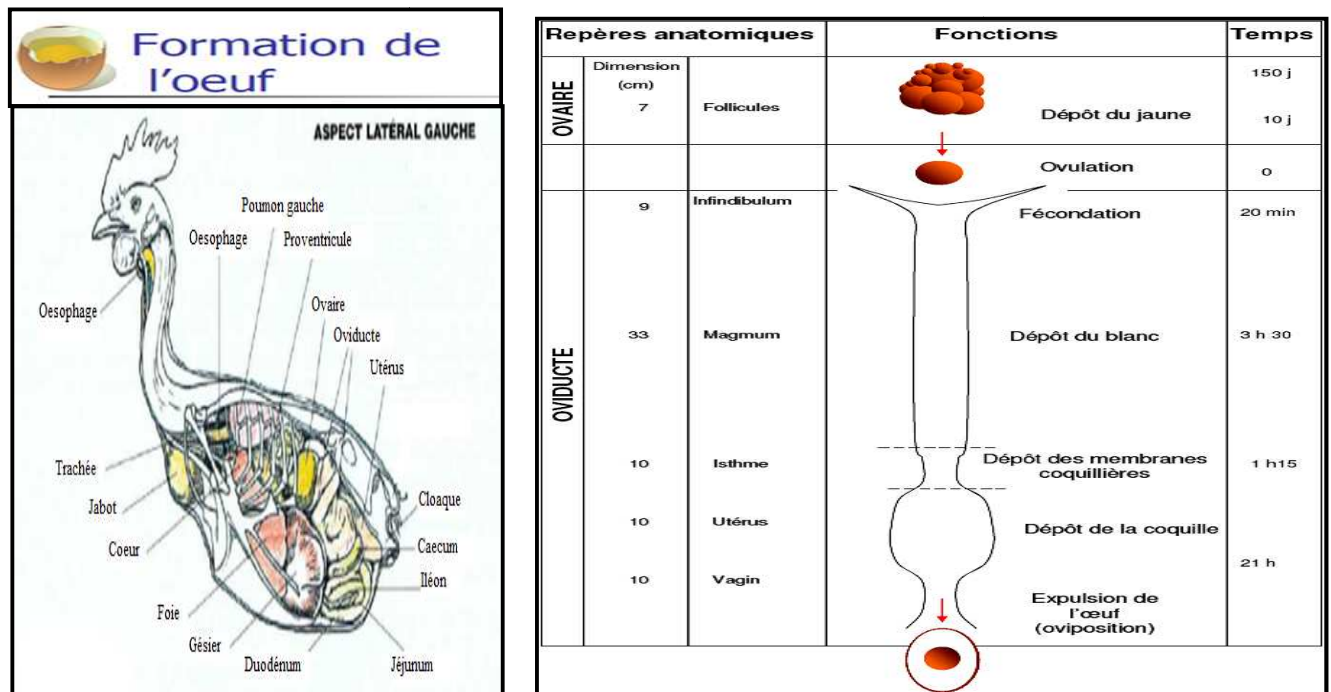


Figure I.10 : Appareil génital de la poule (**Thiebault, 2005**)

L'œuf d'oiseau se caractérise par l'abondance des éléments de réserve ; le jaune s'élabore au niveau de l'ovaire, le blanc et la coquille se forment autour de l'œuf pendant le passage dans l'oviducte (**Gallien cité par Tétry; Crimail, 1981**).

Le vitellus se forme dans l'ovaire avec la participation du follicule. Lorsqu'un ovocyte arrive à maturation, il est envoyé vers l'oviducte en passant par l'infundibulum.

Lors de son passage dans le magnum, ils'entoure de l'albumen puis desmembranes coquillères en passantpar l'isthme. Finalement, lacoquille se forme dans l'utérus,juste avant la sortie de l'œuf par lecloaque(<http://chickscope.beckman.uiuc.edu/>)cité par(Fernandez, 2009).



a) (Villate, 2001) b) (Sauveur, 1988)

Figure I.11: Cinétique des dépôts et lieu de formation de l'œuf de poule.

De l'ovaire au cloaque, on distingue 6 régions anatomiques ayant chacune un rôle précis :

▪ **L'infundibulum**

C'est à ce niveau que se déroule la fécondation si des spermatozoïdes sont présents, par des mouvements péristaltiques, l'ovule est capté à ce niveau puis franchit l'endroit en une vingtaine de minutes (Tétry; Crimail, 1981).

▪ **Le magnum**

C'est une région contournée et glandulaire, l'œuf y entre selon un grand axe et y demeure 3 heures. Il s'y entoure de fibres de mucine et d'albumen très dense ; la couche de blanc qui se forme ainsi est plus mince en direction du cloaque.

La formation de l'albumen ou blanc commence par le dépôt de protéines visqueuses qui au fur et à mesure de la descente de l'œuf et du fait des mouvements de rotation vont prendre une disposition spiralée ; les chalazes (Tétry ; Crimail, 1981).

▪ **L'isthme**

Après 3 h 30 mn de l'ovulation du jaune, l'œuf en formation, pénètre dans l'isthme qui est moins contourné et y séjournera durant 1 h et 1 h 30 mn (Saito et Shimada., 1988).

Pendant ce temps, les fibres de kératine se déposent et formeront la double membrane coquillière. Ces dernières sont encore plissées à la sortie de l'isthme, elles sont accolées sur toute leur surface à l'exception de « la chambre à air » (Tétray ; Crimail, 1981).

▪ L'utérus

L'œuf y séjournera 20 à 22 heures, à ce niveau l'albumen est achevé par imbibition (les 50-60% restants), il y a apport d'une solution saline qui hydrate l'albumen et lui donne son volume définitif (Wolff cité par Tétray ; Crimail, 1981).

En effet, l'œuf n'est que partiellement hydraté lorsqu'il entre dans l'utérus. Pendant les six à sept premières heures de séjour de l'œuf dans l'utérus, la teneur en eau du blanc double passant de 3,5 à 7 g d'eau par g de matière sèche. Ce phénomène appelé « plumping », donne à l'œuf sa forme ovoïde définitive et lui permet d'être en contact étroit avec les parois de l'utérus (Saito et Shimada, 1988).

- la minéralisation ordonnée de la coquille dans le fluide utérin, produite par précipitation de carbonate de calcium associé à des constituants organiques (Saito et Shimada, 1988).

Les membranes coquillières sont alors formées en 03 couches successives :

- une couche mamillaire,
- une couche spongieuse,
- une couche cuticulaire qui peut fixer des pigments.

La coquille minéralisée se dépose, elle est composée de sels de calcium d'où l'apport important de calcium au moment de la ponte (Wolff cité par Tétray ; Crimail, 1981).

▪ Le vagin

L'œuf y séjourne environ un quart d'heure, il assure le transit de l'œuf vers l'extérieur lors de l'oviposition (ponte). L'évagination de cette dernière portion évite le contact direct avec les parois du cloaque et les souillures d'origine fécale (Tétray ; Crimail, 1981).

II.3. Structure interne de l'œuf

L'œuf de poule domestique est constitué d'une coquille (10 % du poids total de l'œuf) renfermant l'albumen (60 %) et le vitellus (30 %) (Alais et al., 2003).

Les parts relatives de chacun de ces constituants peuvent varier dans des proportions importantes en fonction de facteurs génétiques, environnementaux et alimentaires (tableau I.9) (Bourre, 2005).

Tableau I.9 : Proportions des différentes parties de l'œuf de poule (Sauveur, 1988)

	Poids (g)	En % de l'œuf total	
		Moyennes	Extrêmes Poids d'Œuf
Coquille	5,50	9,1	8,5-10,5
Membranes coquillères	0,25	0,4	
Blanc	37	61,5	57-65
Jaune	17,3	29,0	25-33
Total parties comestibles	54	90,5	89-92
Total	60	100	

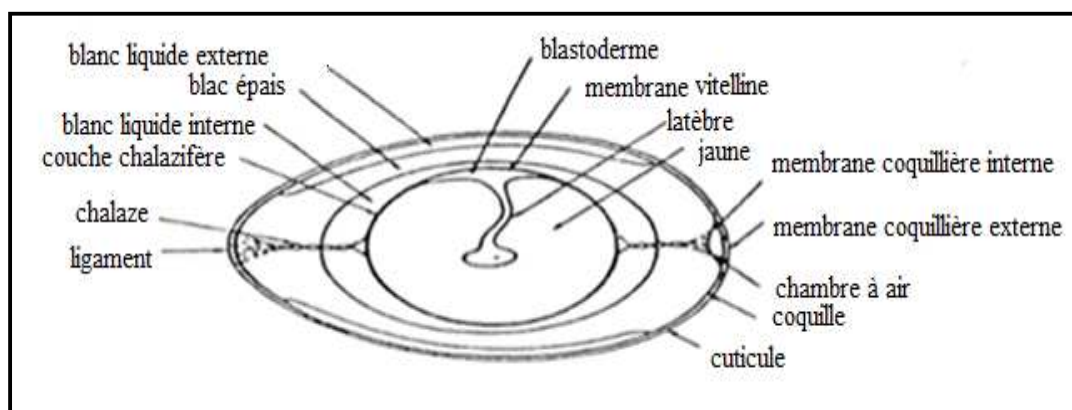


Figure I.12 : Structure de l'œuf de poule (Sauveur, 1988)

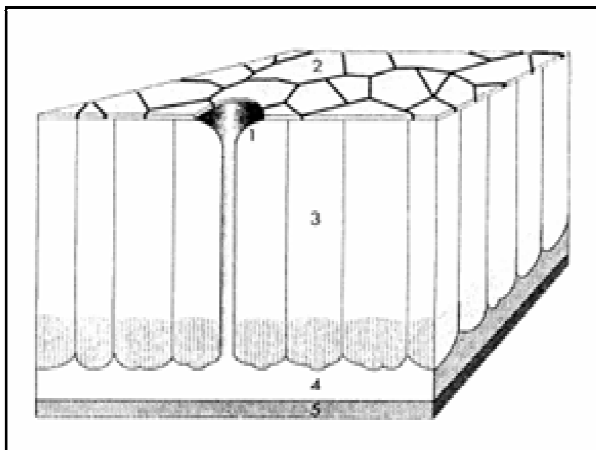
Dans la partie centrale de l'œuf, où se trouvait la vésicule germinative, le premier vitellus clair élaboré forme la latèbre. La vésicule germinative entourée d'un peu de cytoplasme pur étant plus légère glisse vers la surface de l'œuf et l'ensemble constituera la cicatrice ou disque germinatif, la trace de déplacement est marquée par une traînée depuis la latèbre jusqu'à un épaississement : le noyau de Pander (Rostand cité par Tétry; Crimail, 1981).

L'albumen se figure dans la structure de l'œuf, il est de nature hétérogène, et il résulte de la juxtaposition de quatre zones distinctes physiquement (Bourre, 2005).

- L'albumen liquide externe : il représente 23% du volume total du blanc, soit 8 g et se trouve au contact de la membrane coquillière interne, c'est la portion qui s'étale rapidement lorsque l'œuf est cassé sur une surface plane (Bourre, 2005) ;
- L'albumen épais ou dense : il représente 57% du volume total ou 21 g. Il est attaché aux deux extrémités de l'œuf et présentant une structure gélifiée (Jeantet *et al.*, 2007) ;
- L'albumen liquide interne : il représente 17% du volume total soit 7g, il est enfermé entre le blanc épais et le vitellus (Bourre, 2005).

La structure de l'œuf fait apparaître la présence de chalazes (1 g ou 3 %), sortes de filaments spiralés allant du jaune vers les deux extrémités de l'œuf à travers le blanc épais et assurant la localisation du jaune à l'intérieur de l'œuf. Leur rupture entraîne une adhérence du jaune contre la coquille (**Bourre, 2005**).

La coquille est une membrane solide semi perméable dont les nombreux pores laissent passer l'air et l'humidité (**Fernandez, 2009**). Elle est composée d'une trame protéique sur laquelle se déposent des cristaux de carbonate de calcium (CaCO_3), elle a une épaisseur comprise entre 300 et 400 μm (**Bourre, 2005**).



1. pore
 2. cuticule
 3. couche de cristallite = coquille calcaire, formée des:
 4. couche palissade (extérieure, claire) et couche mamillaire (intérieure, hachurée)
 5. membrane coquillière externe
- Membrane coquillière interne
Épaisseur totale: 0,32 – 0,40 mm

Figure I.13: Composition de la coquille (**Gloor., 2004**)

Toute la surface de l'œuf est recouverte d'une cuticule organique sécrétée par l'utérus, elle possède une épaisseur de moins de 10 μm , elle limite les pertes d'eau de l'œuf (**Anonyme 2, 2003**). C'est une couche fine, cireuse, brillante mate, sur la surface de la coquille. Elle représente la barrière la plus protectrice à l'extérieure de l'œuf (**Glooret al., 2004**).

- Les membranes coquillières : les deux membranes coquillières ont une épaisseur totale de 70 μm (20 μm pour la membrane interne et 50 μm pour la membrane externe). Chacune est formée d'une superposition de couches de fibres protéiques entrecroisées synthétisées par l'isthme. Elles sont fortement adhérentes l'une à l'autre sauf au niveau de la chambre à air (**Bourre, 2005**).

La membrane externe, de texture brillante mate, adhère à la coquille alors que la membrane interne enveloppe le contenu de l'œuf (elle peut être aisément séparée du contenu de l'œuf dur après la cuisson). La membrane externe sert de support au calcaire durant la formation de la coquille; les deux membranes permettent les échanges gazeux et forment un tissu fibreux fin mais offrant une protection mécanique efficace contre les intrusions de germes (**Glooret al., 2004**).

Les dimensions moyennes d'un œuf de poule sont résumées dans le tableau I.10.

Tableau I.10 : Les dimensions moyennes de l'œuf de poule(Anonyme 2, 2003)

Poids	Grand axe	Petit axe	Grand circ.	Petit circ.	Volume	Surface
60g	5,8cm	4,2cm	16cm	13cm	55cm ³	70cm ²

II.4. Composition biochimique de l'œuf

Les parties comestibles de l'œuf (la coquille étant exclue) renferment environ 3/4 d'eau et 1/4 de matière sèche, cette dernière répartie à peu près pour moitié entre protéines et lipides. En première approximation, un œuf de 60 g renferme environ 6,5 g de protéines, et la même quantité de lipides ; il apporte 90 calories(Bourre, 2005).

L'œuf apporte des quantités notables de certains minéraux (phosphore et fer), de vitamines liposolubles et de quelques vitamines du groupe B. Dans le monde végétal et animal, les protéines d'œuf présentent une meilleure qualité et une plus grande efficacité biologique.

Il pourrait fournir également des acides gras poly-insaturés à très longues chaînes carbonées, d'intérêt structural et pharmacologique. Du fait de sa relative richesse en sodium, le blanc d'œuf peut être conseillé dans les régimes hyposodés (Sauveur, 1988).

Tableau I.11: Valeur nutritive moyenne et substances constitutives du contenu de l'œuf(Sauveur, 1988)

	En g par œuf			En g pour 100 g de chaque partie		
	entier	blanc	jaune	entier	blanc	Jaune
Total	53,5 - 55	35 - 37	17 - 18,5	100	100	100
Eau	39,5 - 41,5	30 - 33	8,0 - 9,2	74,0 - 75,5	87,0 - 89,0	46,5 - 49,0
Matière sèche	13 - 14,3	3,8 - 4,5	8,7 - 10,0	24,5 - 26,0	11,0 - 13,0	51,0 - 53,5
Protéines	6,4 - 7,0	3,3 - 4,0	2,7 - 3,2	12,0 - 12,8	9,5 - 11,5	16 - 17
Lipides	6,1 - 6,9	--	6,0 - 6,8	11,8 - 12,3	--	33 - 34
Saturés	2,3 - 2,5	--	2,1- 2,4	4,3 - 4,5	--	11,2 - 11,7
Insaturés	3,5 - 4,0	--	3,3 - 3,8	6,7 - 7,0	--	18,2 - 19,0
Cholestérols	0,24 - 0,27	--	0,24 - 0,27	0,47 - 0,50	--	1,31 - 1,38
Glucides	0,15 - 0,20	0,12 - 0,16	0,03 - 0,05	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	0,15 - 0,25
Cendres	0,45 - 0,55	0,16 - 0,24	0,2 - 0,3	0,8 - 1,0	0,5 - 0,7	1,1 - 1,6
Calories	88 - 95	14 - 18	74 - 80	160 - 180	40 - 55	380 - 400

II.4. 1. Les protéines

De très haute valeur biologique, l'œuf est non seulement une excellente source de protéines, mais celles-ci sont à tel point d'excellente qualité, qu'on utilise l'œuf comme mesure de référence pour juger la qualité des autres sources de protéines.

La qualité des protéines est exprimée par un chiffre que l'on appelle valeur biologique (VB), elle est très élevée pour l'œuf du fait de la complémentarité existant entre les protéines du jaune et celles du blanc et surtout de l'équilibre entre les acides aminés de ces protéines (**Baribeau, 2004**) Se conférer tableau I.12.

L'œuf apporte des protéines qui ont deux intérêts absolument inestimables : elles sont les meilleures, des mondes animaux et végétaux, de par leur nature et leur composition en acides aminés (tableau I.24) ; elles servent de référence dans tous les pays pour toutes les conditions physiologiques et pathologiques, leur coût économique en fait les protéines qui sont les moins onéreuses(**Bourre, 2005**).

Tableau I.12 : Teneur de l'œuf en acides aminés (en mg par œuf de 60g)(Sauveur, 1988)

	Blanc	Jaune	Œuf entier
Acide aspartique	380	250	630
Acide glutamique	480	340	820
Alanine	210	150	360
Arginine	210	200	410
Cystine	105	50	155
Glycine	125	85	210
Histidine	80	75	155
Isoleucine	190	155	345
Leucine	300	250	550
Lysine	235	220	444
Méthionine	140	70	210
Phénylalanine	200	120	320
Proline	150	120	270
Sérine	240	240	480
Thréonine	160	150	310
Tryptophane	60	45	105
Tyrosine	150	130	280
Valine	240	170	410

La VB des protéines de l'œuf est de 93,7 % (poulet : 80 %; poisson : 78 %). La VB d'une protéine détermine son efficacité à réparer et à fabriquer de nouveaux tissus.

Il faut également noter que les protéines du blanc sont peu digestibles (50%) à l'état cru du fait de la présence de facteurs anti-trypsiniques et surtout parce que le blanc cru stimule peu les sécrétions de sucs gastriques ou pancréatiques, par contre les protéines du jaune sont très bien digérées à l'état cru et c'est la cuisson excessive qui va diminuer son utilisation digestive (**Sauveur, 1988**).

**Tableau I.13 : Principales protéines du blanc en % de matière sèche
(Gilbert, 1971 cité par Protais, 1988)**

Protéine	Quantité	Propriétés
Ovalbumines	54,0	Dénaturées par la chaleur, elles acquièrent une grande rigidité après chauffage.
Les conalbumines	13,0	Elles fixent le fer sur les flavoprotéines
Les ovo mucoides	11,0	Ce sont des inhibiteurs de la trypsine.
Les ovo globulines	8,0	Elles permettent la formation de mousse lorsque les œufs sont battus en neige.
Le lysozyme	3,5	Il est responsable de la formation de la mousse après battage et responsable de la structure en gel du blanc épais.
L'ovomucine	1,5 – 2,9	Elle est responsable de la structure en gel du blanc épais avec le lysozyme.
La flavoprotéine	0,8	Responsable de la flaveur.
L'avidine	0,05	C'est une anti-biotine mais à l'état cru seulement.

NB : Sur le plan biochimique, toutes ces protéines sont des glycoprotéines acides à l'exception de l'avidine qui est une glycoprotéine basique et du lysozyme qui est une haloprotéine basique (**Sauveur, 1988**).

II.4. 2. Les lipides

La composition en acides gras des lipides contenus dans l'œuf peut varier légèrement en fonction de la nature de l'aliment ingéré par la poule, il faut quand même souligner que les phospholipides sont plus riches en acides gras insaturés, et que les acides gras saturés sont contenus dans les triglycérides (**Sauveur, 1988**).

Les lipides du jaune sont représentés à 65-70% de graisses neutres (triglycérides) et à 25-30% de phospholipides. Se conférer au tableau I.15.

Grâce à leur état émulsionné, les lipides du jaune d'œuf ont une digestibilité élevée chez l'homme (elle est de l'ordre de 94 à 96 %). Cette digestibilité est de 98 % pour les triglycérides et de 90 % pour les phospholipides (**Baribeau, 2004**).

La richesse du jaune de l'œuf en acides gras insaturés (les 2/3 des acides gras totaux) et particulièrement en acide linoléique en fait un aliment de haute qualité pour l'homme.

Tableau I.14: Acides gras principaux du jaune en % des acides gras totaux (Sauveur, 1988)

Acides gras en %	
Acides gras saturés (palmitique, stéarique).....	35-40
Acides gras mono – insaturés	40-50
Acides gras di-insaturés (linoléique).....	10-40
Acides gras poly-insaturés.....	3-4

Aussi bien chimiquement que fonctionnellement, les protéines et les lipides du jaune ne doivent pas être considérés ensemble. Le jaune est, en effet, une source de lipides facilement dispersables dans l'eau et permettant l'émulsion d'autres substances ; les caractéristiques nutritionnelles et technologiques sont directement dérivées de ce fait. Ses protéines sont à mettre en relation avec la haute teneur en phospholipides, car tous les lipides (y compris les triglycérides) sont associés à deux protéines au moins, la vitelline et la vitellénine (Bourre, 2005).

Tableau I.15: Composition du vitellus en % de matière sèche (Sauveur, 1988 ; Gilbert, 1971 cité par Protais, 1988)

Compositions du jaune d'œuf en % MS	
Lipides : dont.....	63
Triglycérides	40
Phospholipides.....	19
Cholestérol	2,5-3
Protéines : dont.....	33
Livétines.....	4 à 10
Phosvitines.....	5 à 6
HDL (Vitelline).....	4 à 15
LDL (Vitellénine).....	8 à 9

II.4.3. Les minéraux et oligo-éléments

L'œuf contient de nombreux éléments minéraux parmi lesquels il faut noter, le fer (15 % de la ration journalière), le phosphore (25 % de la ration journalière, qui est sous forme organique, donc particulièrement intéressante) et le soufre (Bourre, 2005). En revanche, le calcium est presque exclusivement trouvé dans la coquille sous forme de carbonate de calcium (93,6%) (Protais, 1988). Seuls le sodium, le potassium et le chlore sont présents à l'état libre; tous les autres minéraux sont liés en grande partie aux protéines et aux phospholipides (Bourre, 2005). Se référer au tableau I.16.

Tableau I.16 : Teneur de l'œuf en minéraux (Sauveur, 1988)

Éléments	Contenu total moyen (mg/œuf de 60g)			Valeur relative extrême (mg/100g de poids frais)		
	Œuf entier sans coquille	Blanc	Jaune	Œuf entier sans coquille	Blanc	Jaune
Sodium	72	62	10	135	140-200	40-70
Potassium	73	53	20	135	30-170	90-130
Chlore	93	62	31	170	150-180	150-180
Calcium	29	3	26	55	7-15	100-190
Magnésium	6	4	2	11	10-12	10-12
Phosphore	120	5	115	220	10-15	550-650
Fer	1,1	3	1,1	2-3	3	5-10
Soufre	90	60	30	170	160-200	160-180

Pour le fer, le chiffre est basé sur le coefficient moyen d'absorption pour tous les aliments. Le fer de l'œuf étant biologiquement plus disponible, il pourrait couvrir au moins 30% des besoins (Bourre, 2005).

II.4.4. Les vitamines

Elles sont plus abondantes dans le jaune que dans le blanc et leur présence reflète la qualité d'aliment ingéré par la poule. Les teneurs de l'œuf en vitamines sont exprimées dans le tableau I.17.

L'œuf est une excellente source de choline, contenue dans la lécithine. La choline favorise un développement normal du cerveau. L'Académie des Sciences et Santé du Canada ont récemment reconnu la choline comme un élément nutritif essentiel. Bien que le corps soit en mesure de fabriquer de la choline, il en fabrique de façon insuffisante de sorte que l'apport provenant des œufs constitue un véritable atout. Deux œufs de gros calibre contiennent la quantité de choline dont un adulte a besoin chaque jour (Desaulniers et Dubost, 2003).

Tableau I.17 : Teneur de l'œuf en vitamines et apport journalier conseillé (Bourre, 2005)

			Œuf entier, partie comestible		
	Blanc (36g)	Jaune (18g)	% de l'apport conseillé		
			Enfant 1-3ans		Adulte
	µg	µg	µg	%	%
A	-	200	200	50	20
D	-	1	1	10	10
E	-	1000	1000	20	9
K	-	20	20	70	45
B1(thiamine)	3	51	53	7,5	3,5
B2(riboflavine)	120	75	195	24	11
B3(PP, niacine)	42	8	50	0,5	0,3
B5(acide pantothénique)	90	810	900	30	9
B6(pyridoxine)	7	48	55	6,8	2,5
B8(Biotine)	1	9	10	20	10
B9(acide folique)	1	19	200	20	7
B12	0,1	0,7	0,8	40	27

Les œufs constituent également une excellente source de vitamine B2 (riboflavine). La principale fonction de la vitamine B2 est de contribuer à la production d'énergie à partir notamment des glucides, des lipides que nous absorbons. C'est une excellente source de vitamine B12, cette vitamine se retrouvant surtout dans le règne animal, deux œufs fournissent environ 50 % des besoins en vitamine B12 d'un adulte. Cette vitamine aide à la fabrication de nouvelles cellules, à l'entretien des cellules nerveuses, au métabolisme de certains acides gras et acides aminés, et active l'acide folique ou vitamine B9 (**Baribeau, 2004**).

C'est aussi une excellente source de vitamine D. Outre le lait, les poissons gras et les rayons UV, le jaune d'œuf est l'une des rares sources de cette vitamine. Le rôle principal de la vitamine D est de favoriser la minéralisation osseuse en augmentant l'absorption du calcium et du phosphore, en stimulant leur rétention par les reins et en empêchant la perte du calcium des os (**Desaulniers et Dubost, 2003**).

II.4.5. Les caroténoïdes des œufs

Généralités

Les caroténoïdes constituent une famille d'environ 500 molécules, principalement formés de pigments liposolubles. Ils génèrent un nombre immense de couleurs que l'on rencontre dans la nature. (**McGraw et al, 2002**). Parmi ces caroténoïdes, 24 environ sont trouvés dans le sang et les tissus humains, et seulement 2 dans les yeux. Ceux qui ont été les plus étudiés sont le β -carotène, le lycopène, la lutéine et la zéaxanthine (**Johnson, 2002**).

Tableau I.18 : Distribution des caroténoïdes dans quelques aliments (**Johnson, 2002**).

	Jaune d'œuf	Raisin rouge	Brocoli	Tomate	Carotte
Néaxantines et violaxantines	8	27	3	0	0
Lutéines et zéaxanthine	89	37	22	6	2
Lutéine	54	33	22	6	2
Zéaxanthine	35	4	0	0	0
Cryptoxantine	4	29	49	0	0
Lycopène	0	0	0	82	0
Alpha-carotène	0	1	0	0	43
β -carotène	0	6	27	12	55

Le jaune d'œuf renferme des pigments caroténoïdes, principalement zéaxanthine et lutéine (xanthophylles), qui donnent sa couleur jaune-orangée. Environ 13 à 15 $\mu\text{g/g}$ de ces pigments proviennent des végétaux consommés par la poule (**Bourre, 2005**). Le jaune d'œuf contient donc d'appréciables quantités de lutéine et de zéaxanthine. Toutefois, les teneurs en lutéine et zéaxanthine sont relativement variables selon les œufs (**Handelmannet al., 1999**).

Plusieurs résultats de recherche ont établi la possibilité que la lutéine et la zéaxanthine puissent protéger contre l'apparition de cataractes et de dégénérescence maculaire laquelle est la première cause de cécité chez les personnes âgées (**Bourre , 2005**).

Ces caroténoïdes se retrouvent dans d'autres aliments, comme les épinards, mais leur absorption est supérieure lorsqu'elles sont tirées des œufs (**Baribeau, 2004**). En fait, parmi la cinquantaine de caroténoïdes qui peuvent être transformés en vitamine A, le β -carotène est celui qui possède la plus grande activité pro-vitaminique (**Johnson, 2002**).

Pour ce qui concerne la lutéine et la zéaxanthine, l'œuf se situe à la charnière entre le végétal et l'animal. En effet, ces substances sont présentes presque exclusivement dans le monde végétal en grande quantité, l'œuf faisant donc exception dans le monde animal.

Point de grande importance, l'œuf est l'aliment le plus riche en lutéine et zéaxanthine dans son contenu en caroténoïdes : à eux deux ils représentent un pourcentage molaire de 89. Pour ce qui concerne la lutéine, elle est en deuxième position (54 % molaire) derrière seulement le maïs (60 %) mais devant les kiwi, épinard, courgette (environ 40) et les brocolis, jus d'orange, raisin, choux de Bruxelles, et la pomme (environ 20). Pour ce qui est de la zéaxanthine, l'œuf est en première position (35%) devant le maïs (25), l'orange, la mangue (environ 20) (**Sommerburget al., 1998**).

▪ Intérêt biologique de Lutéine et zeaxanthine

L'intérêt biologique de la lutéine et la zéaxanthine réside dans le fait que ces substances sont abondantes dans le jaune d'œuf d'une part, et d'autre part s'accumulent dans la région maculaire de la rétine où elles participent à l'efficacité de la vision.

Elles pourraient donc prévenir la dégénérescence maculaire, une maladie de la vision qui affecte 20 % des américains dont l'âge est supérieur à 75 ans et constitue la première cause de cécité; en France, elle menace 1,2 millions de personnes de plus de 50 ans (**Johnson, 2002**).

Un essai clinique chez l'homme montre que la supplémentation en lutéine (30 mg par jour pendant 140 jours) se traduit par une augmentation de la densité optique des pigments de la macula de 21 % et une diminution de la lumière bleue atteignant la rétine de 30 à 40 %, ce qui est tout à fait favorable (**Landrumet al., 1997**).

L'utilisation non parcimonieuse d'œufs, de brocolis et d'épinards soient associée à la diminution du risque de cataracte (jusqu'à 20 %) et de celui de dégénérescence maculaire liée à l'âge (jusqu'à 40 %) ; 8 études épidémiologiques ont analysé la relation entre la cataracte et le taux de lutéine dans le sang et l'alimentation ; 7% pour ce qui concerne la dégénérescence maculaire liée à l'âge (**Moelleret al., 2000**).

Or, actuellement, cette maladie est pratiquement incurable ; les stratégies de prévention sont donc très importantes, afin d'en prévenir les dommages(**Johnson, 2002**).

La lutéine et la zéaxanthine rendent meilleure la représentation visuelle, en particulier par protection contre les UV et par filtration de la lumière bleue, qui est nuisible à la structure et donc à l'activité des photorécepteurs visuels, et d'ailleurs aussi à l'épithélium pigmentaire de la rétine.

Le rôle d'antioxydant est certainement important, d'autant que la rétine et le cristallin sont soumis à un stress oxydatif notable, conséquence de la présence simultanée de lumière (qui favorise la formation d'espèces radicalaires) et d'oxygène, comme en témoigne, par exemple, leur grande vascularisation. La lutéine et la zéaxanthine constituent de meilleurs antioxydants que le α et le β -carotène, tout au moins dans des liposomes (**Farombiet al., 1999**).

▪ Biodisponibilité de Lutéine et zéaxanthine

L'œuf contient moins de lutéine et de zéaxanthine que les végétaux, mais leur biodisponibilité est beaucoup plus grande (**Handelman et al., 1999**). La biodisponibilité des caroténoïdes est fonction de l'environnement alimentaire avec lequel ils sont absorbés(**Schaeffer et al., 1988**).

La matrice lipidique du jaune, avec le cholestérol(200 mg/jaune), les triglycérides (4 g/jaune) et les phospholipides (1g/jaune), associée à des vitamines lipo-solubles (vitamine A, E et D) augmente la bio-disponibilité de la lutéine et de la zéaxanthine(**Schaeffer et al., 1988**).

II.5. Facteurs de variation de la qualité de l'œuf

La qualité de l'œuf se révèle fortement influencée par les modifications physiologiques liées à l'âge de la poule, à une mue ou par les conditions environnementales (température, lumière et système d'élevage), (**Travel; Nys et al., 2010**).

- L'âge des pondeuses constitue le principal facteur influençant la qualité initiale de l'œuf qui tend à se dégrader au cours de la ponte et surtout après le 9^{ème} mois de production(**Lahellec, 1965 ; Protais ; Bougon, 1985 cités par Protais, 1988**).

Les résultats de plus de 10 expériences ont démontré que lorsque la poule vieillit le poids de l'œuf augmente, cet accroissement se traduisant par une augmentation de la part relative du jaune et une diminution de celle du blanc(**Fletcher et al., 1983 cité par Sauveur, 1988**).

- Certaines recherches ont démontré clairement qu'une entrée en ponte trop précoce va provoquer une diminution de la qualité des œufs se traduisant par une diminution des unités Haugh, un accroissement du nombre de taches de sang et une augmentation du nombre d'œufs fêlés (**Protais, 1988**).

- La densité importante des cages conduit à une réduction du poids des œufs (la poule ne pouvant plus se nourrir correctement), un accroissement du taux de mortalité et une dégradation de la qualité de l'œuf (augmentation du nombre d'œufs fêlés, sales).
- L'augmentation de la température ambiante en élevage entraîne, une diminution de consommation d'aliment et par conséquent celle du calcium, mais elle augmente son rythme respiratoire et sa consommation en eau, il s'en suivra une baisse de poids des œufs due à une dégradation de la qualité de la coquille et de l'albumen (**Protais, 1988**).
- De plus, la production des œufs est étroitement liée aux changements d'éclairage quotidiens auxquels les poules sont exposées, donc, un programme lumineux approprié peut agir favorablement sur le nombre et la grosseur des œufs, ainsi que sur le taux de viabilité des poules et leur rendement, pour cela, certaines règles de base de l'éclairage doivent être respectées (**Anonyme 3, 2004**).
- **Travel ; Nyset al (2010)**, ont rapporté que les performances des poules et la qualité des œufs, se dégradent en fin de premier cycle, mais elles peuvent être restaurées, pour un cycle plus court. Pour ce faire, il est recommandé de faire muer les poules vers l'âge de 65 semaines car après 60 semaines d'âge, la qualité de la coquille et de l'albumen se dégradent rapidement. Les qualités sont ainsi restaurées en seconde ponte, et restent acceptables au moins pendant 20 semaines (**Decuypere ; Huyghebaert et Verheyen, 1987 cités par Protais, 1988**).
- Les mauvaises conditions sanitaires et les maladies qui en découlent influent énormément sur la qualité de l'œuf :
 - les effets de la bronchite infectieuse sont bien connus : diminution de la pigmentation et de la solidité de la coquille, liquéfaction importante de l'albumen, augmentation du pourcentage des inclusions et du pourcentage d'œufs à coquilles déformées (**Protais, 1982 cité par Protais, 1988**).
 - lorsque la coquille n'est plus intacte elle va permettre la pénétration de plusieurs bactéries notamment les *Escherichia Coli* et les *Salmonelles* (**Spackman, 1987 cité par Protais, 1988**).
- Une dizaine d'études effectuées entre 1975 et 1985 en Europe ont démontré que le mode de production n'affecte pratiquement pas la composition de l'œuf, les œufs fermiers peuvent avoir des caractéristiques organoleptiques variables mais pas forcément meilleures, en plus ce sont eux qui présentent la qualité bactériologique la moins bonne (**Sauveur, 1988**).
- La nature de l'aliment fourni aux volailles et surtout sa composition vont influencer directement sur la qualité de l'œuf, voici quelques exemples :
 - un abaissement du taux protéique alimentaire va entraîner une réduction du poids de l'œuf portant davantage sur le blanc (**Sauveur, 1988**).

- un régime déficient en lipides et notamment en acide linoléique peut faire diminuer le poids de l'œuf de 10g, les besoins de la poule sont couverts par un apport quotidien de 01g(Sauveur,1988).
- l'incorporation de sucre en substitution d'amidon permet d'augmenter significativement le poids du jaune(Sauveur, 1988).
- la supplémentation des régimes en magnésium, manganèse, zinc, iode, sélénium peut augmenter la teneur du blanc en ces éléments alors que la teneur en fer est plus stable (Sauveur, 1988).
- la teneur en pigments du régime alimentaire contrôle directement la coloration du vitellus, et en fonction de la préférence des consommateurs, le degré de pigmentation peut être choisi en fonction de la quantité mais aussi de la nature des caroténoïdes choisis (Protais, 1988).
- le transfert de certaines vitamines (A et B) à l'œuf semble être légèrement augmenté par l'utilisation de certains antibiotiques (Bacitracine et Flavomycine), à l'opposé il est réduit en présence de grandes quantités de pigments (Naber, 1979 cité par Sauveur B, 1988).
- un régime hypercalorique (plus de 315 kcal) va entraîner une augmentation du poids des poulettes, la quantité d'œufs pondus (1.3 œufs pour une saison de ponte) et un coût nettement supérieur, par contre pour un régime faible en calories (moins de 315 kcal), la poule va être difficile à vendre car trop légère, et la quantité d'œufs produits va diminuer (Anonyme 3, 2004).

II.6. Les vertus thérapeutiques, nutritionnelles et fonctionnelles des œufs

L'intérêt nutritionnel et la valeur santé de l'œuf peuvent être abordés sous deux aspects : d'une part en considérant les acquis qu'il convient de mettre en valeur, d'autre part en envisageant les perspectives qui pourraient le transformer en complément nutritionnel, voire en « aliment médicament »(Bourre, 2005).

II.6.1. Vertus thérapeutiques

Les scientifiques et les professionnels de la santé de partout dans le monde ne cessent de découvrir les ressources inestimables des œufs. Déjà, nous connaissons leurs valeurs nutritives.

Mais il y a bien plus, ce sont des aliments sains qui stimulent le système immunitaire tout en possédant des propriétés thérapeutiques et fonctionnelles fabuleuses, en voici quelques exemples :

- L'albumen de l'œuf est utilisé comme antidote contre certains irritants et toxines en cas d'intoxication.
- Grâce à sa capacité de rétention d'eau et à ses propriétés agglutinantes, le blanc d'œuf est un médicament naturel pour les gastrites, entérites, diarrhées, dysenteries et la déshydratation.

- Des chercheurs de l'Université de Kyoto, au Japon, ont démontré que l'œuf contient deux substances fluorescentes: la « lumiflavine » et le « lumichrome » ainsi qu'une autre substance, le « sulphoraphane », identifiée récemment, ces produits ont la propriété de freiner la multiplication des virus favorisant le cancer et d'empêcher les cellules normales de se transformer en cellules cancéreuses.
- Les globulines G1, G2 et G3, l'ovomacroglobuline, l'anticorps IgY et autres antimicrobiens naturels et immunostimulants contenus dans l'œuf contribuent à prolonger la vie des personnes atteintes du SIDA.
- Le jaune d'œuf et les chalazés sont des sources importantes d'acide sialique utilisée dans le traitement d'infections microbiennes provoquant des ulcères, le cancer du colon, des gastrites et des entérites (Anonyme 4, 2005)
- L'anticorps IgY présent dans les œufs est de meilleure qualité et beaucoup moins coûteux que l'immunoglobuline IgG des mammifères. L'anticorps IgY peut être utilisé pour traiter les rotavirus chez l'humain, les infections à la bactérie E.coli, au Streptocoque, au Pseudomonas, au Staphylocoque et à la Salmonelle (Lerrer ; Gilboa-Garber., 2001).

II.6.2. Vertus fonctionnelles des œufs

L'œuf de poule est un ingrédient polyfonctionnel, car il peut remplir simultanément plusieurs fonctions technologiques dans un produit alimentaire formulé (Anton; Nau., 2010).

Ses propriétés émulsifiantes, foisonnantes, gélifiantes, épaississantes, colorantes et aromatiques en font un ingrédient de base de la cuisine domestique et de l'agroalimentaire.

Plus spécifiquement, le jaune d'œuf est l'agent émulsifiant par excellence, alors que le blanc d'œuf est une référence en terme de foisonnement (Anton; Nau., 2010).

Tableau I.19: Propriétés fonctionnelles de l'œuf(Bibbalet Corpet., 2006)

	Entier	Blanc	Jaune
Toutes industries	Valeur nutritive Pouvoir aromatique		
Biscuiterie, pâtisserie, flans...	Colorant Liant Coagulant Moussant	Moussant Foisonnant	Emulsifiant Colorant
Confiserie		Elasticité Foisonnant	
Glaces	Liant		Emulsifiant
Charcuterie (pâtes quenelles)	Liant émulsifiant		
Pâtes alimentaires	Colorant Liant Elasticité		
Mayonnaises, sauces		Viscosité	Emulsifiant Viscosité
Industrie non alimentaire (cosmétiques)		Liant Propriétés biochimiques	Emulsifiant

II.6.3. Vertus nutritionnelles des œufs

L'œuf représente l'un des aliments le plus nutritif qui soit. Il fournit, à coût modique, des protéines et plusieurs nutriments essentiels. En terme d'apport protéique, deux œufs représentent l'équivalent d'une portion de 100 g de viande ou de poisson(Qui mange un œuf mange un bœuf).

La qualité protéique est telle qu'on l'utilise comme aliments de référence pour évaluer la qualité des autres protéines alimentaires. Les œufs contiennent aussi des lipides, en petite quantité, concentrés dans le jaune, des vitamines A, D, E et K, les vitamines du groupe B et des minéraux, tels que le phosphore, le fer, le magnésium, zinc, iode, sélénium ... (Anonyme 5, 2008).

L'œuf, cet aliment miraculeux constitue:

- Aliment assez peu énergétique, il contient des protéines parfaitement équilibrées, et des graisses d'intérêt certain quand elles sont poly-insaturées.
- Il constitue en outre une source importante de phosphore, fer et vitamines. Il n'est déficient qu'en glucides, calcium et vitamine C.
- Au plan énergétique, un œuf de 60 g fournit de 85 à 90 calories métabolisables (75 dans le jaune et 15 dans le blanc) pour un apport protéique de 7 grammes ; cet aliment représente donc un rapport calories/protéines faible, ce qui est intéressant(Bourre, 2005).

Outre les travaux développant une approche classique en relation avec la valeur nutritionnelle de l'œuf (protéines, vitamines, minéraux), des centres d'intérêt nouveaux se sont révélés. Il s'agit en particulier de certains micro-nutriments comme les caroténoïdes (lutéine et zéaxanthine) et de minéraux comme l'iode et le sélénium. L'attention portée aux acides gras oméga-3 demeure très soutenue (**Bourre, 2005**).

D'autre part, quelques questions restent en suspens, et méritent un intérêt particulier compte tenu du statut sanitaire de la population : il s'agit en particulier du fer et de la vitamine B12. Pour ce qui concerne le cholestérol, il est à nouveau l'objet d'études dans le cadre de la démonstration que la consommation d'œufs riches en certains nutriments n'induit pas (ou peu) d'augmentation de la cholestérolémie (**Bourre, 2005**).

II.7. Conservation des œufs

Une des principales qualités de l'œuf a toujours été sa très bonne durée de conservation. Il reste consommable pendant 28 jours après la ponte, à condition d'être gardé entre 4 et 6 °C au réfrigérateur ou dans un endroit frais à l'abri de la lumière et de l'humidité. Dépasser cette date, la qualité de l'œuf n'est plus garantie. L'idéal est de les laisser dans leur emballage, la pointe en bas pour ne pas compresser la chambre à air et ainsi limiter les échanges gazeux avec le réfrigérateur (**Anonyme 5, 2008**).

Une fois la coquille enlevée, les blancs et les jaunes se conservent deux jours. Les œufs durs se conservent en moyenne une semaine. Au besoin, les blancs, les jaunes et l'œuf entier peuvent être congelés pour usage ultérieur (**Baribeau, 2004**).

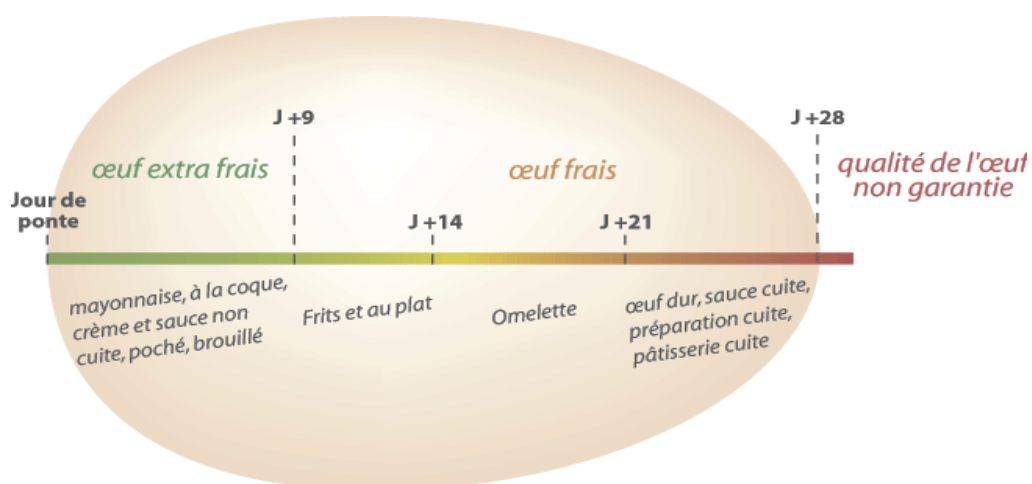


Figure I.14 : Utilisation et évolution de la qualité des œufs (**Anonyme 5, 2008**)



Chapitre II
Matériels et Méthodes

I. Matériel végétal et méthodologie expérimentale

La variété de tomate étudiée (DAWSEN), connue selon la taxonomie de (*Solanum lycopersicum* L.), provient de la région de ZEMMOURI (BOUMERDES) et récoltée durant la période juin, juillet et août 2011.

Les fruits sont prélevés sur plusieurs régimes à diverses hauteurs et orientations. L'échantillon global obtenu a été réduit en échantillons 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 séchées à l'air libre dans une zone ensoleillée.

La figure II.1 représente un schéma récapitulatif de l'ensemble du matériel végétal et la méthodologie expérimentale.

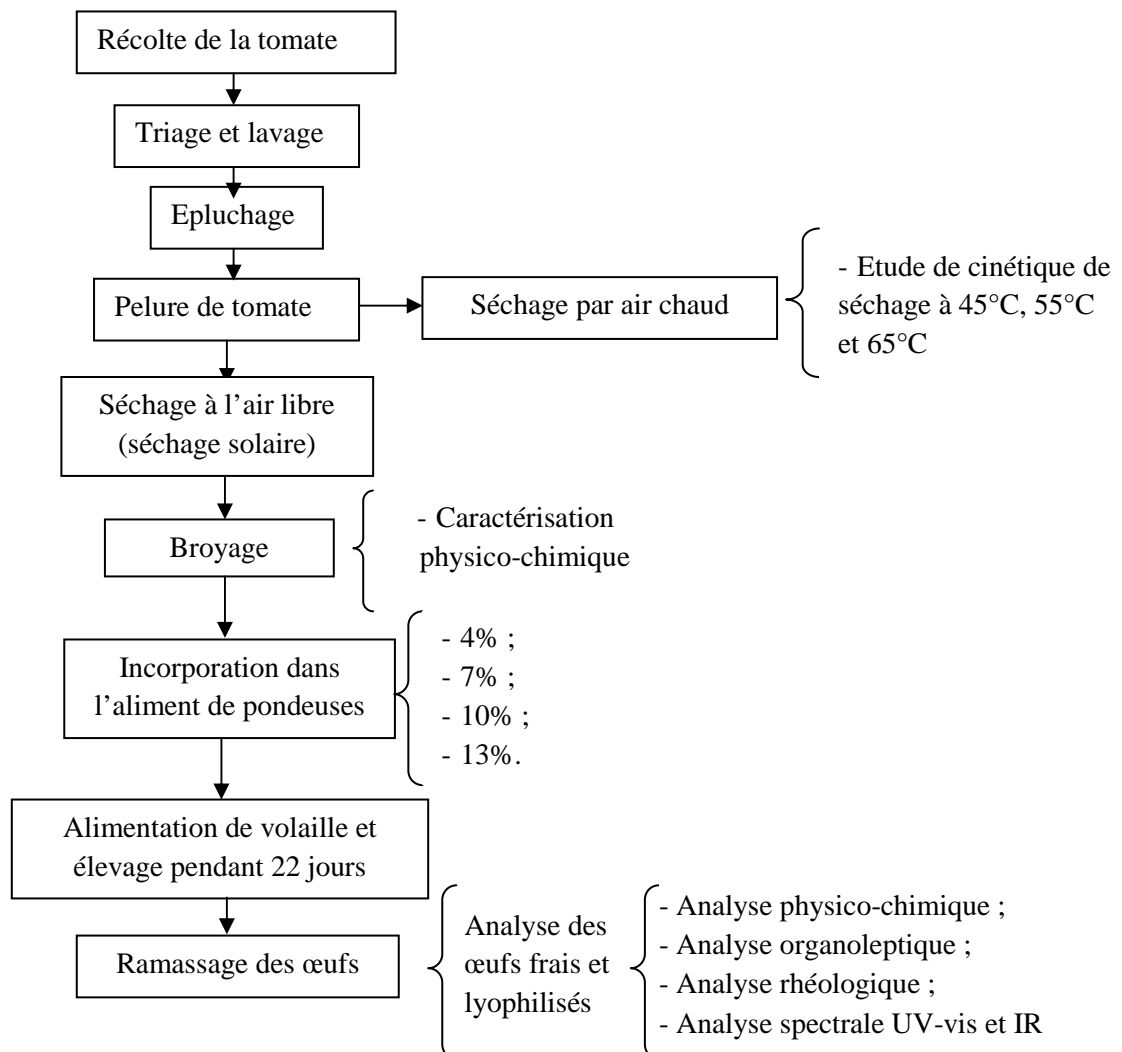


Figure II.1 : Méthodologie expérimentale

I. 1. Préparation des échantillons à analyser

L'échantillon à analyser a été préparé selon le processus de séchage suivant :

- **Séchage par ventilation à l'air chaud**

Le séchage a été effectué par un séchoir à jet d'air chaud. Les échantillons ont été exposés à l'air chaud à trois températures 45, 55 et 65°C. La perte d'eau a été mesurée chaque 15mn à l'aide d'une balance de précision (Mettler, modèle BB3000) jusqu'à l'obtention d'un poids constant et une humidité finale très faible par rapport à l'humidité initiale.

Après séchage, les pelures de tomates 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.

- **Séchage solaire**

Les pelures de tomates ont été séchées sur des surfaces aérées. L'exposition des pelures au soleil est interrompue de 11h à 15 heures. La température moyenne enregistrée le long de la journée est de 39°C.

Après séchage ces dernières ont été broyées pour l'obtention d'un broyat sous forme de grosses particules, emballé dans des sachets alimentaires et destiné à l'alimentation de volaille.



Figure II.2: Échantillons utilisés pour la préparation de la diète de la volaille

I.2. Méthodes d'analyse

Elles se rapportent aux analyses suivantes :

I.2.1. Caractérisation physique de la tomate

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 $\pm 0,1g$;
- 2- les parts relatives en pulpes, pelure et graines ;
- 3- la forme de la tomate.

I.2.2. Caractérisation physico-chimique de pelure de tomate séchée

I.2.2.1. Détermination de la teneur en eau des pelures de tomates séchées.

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 pendant 3heures, jusqu'à obtention d'un poids constant (**Afnor, 1982**).

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

$$W_{e/m.s} = \frac{(M_i - M_f)}{M_f} \cdot 100 \quad (II.1)$$

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

$$W_{e/m.h} = \frac{(M_i - M_f)}{M_i} \cdot 100 \quad (II.2)$$

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

$$W_{m.s} = 100 - W_{e/m.s} \quad (II.3)$$

Soit : **We/ms** est la teneur en eau des pelures de tomates par rapport à la masse sèche en (%), **Mi** est la masse initiale des pelures avant séchage en grammes, **Mf** est la masse des pelures de tomate correspondant au poids constant en grammes, **We/(mh)** est la teneur en eau des pelures de tomate par rapport à la masse humide en (%), **Wms** est la teneur en matière sèche en (%).

I.2.2.2. Processus du séchage

❖ 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 heure avant chaque séchage.

Le séchage des pelures de tomate est conduit à trois températures 45, 55 et 65°C. La perte d'eau est mesurée chaque 15 mn à l'aide d'une balance de précision (Mettler, modèle BB3000).

I.2.2.3. Modélisation de la cinétique de séchage

Afin de modéliser la cinétique de séchage, trois températures sont appliquées : 45, 55 et 65°C.

La courbe de séchage s'obtient en suivant l'évolution de la masse humide de la pelure de tomate (M_h) en fonction du temps. Les teneurs en eau correspondant aux différents temps sont calculées d'après la formule rapportée par **Chekroune et al., (2008)**:

$$W_{e/m.s}(t) = m_{e.r}/m.s = (m_{e.i} - m_{e.év})/m.s = \left[\left(\frac{P_0 \cdot W_e}{100} \right) - (P_0 - P_t) / \left(\frac{P_0 \cdot W_{m.s}}{100} \right) \right] \cdot 100 \quad (II.4)$$

Soit $W_{e(t)/m.s}$ est la 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, We/mh est la teneur en eau par rapport à la masse humide, P_t est le poids de l'échantillon au temps t , $Wm.s$ est la teneur en matière sèche.

Il est admis que la déshydratation des aliments obéit à une loi cinétique d'ordre 1 (**Bimbenet, 2002**). En effet, la modélisation de la cinétique de séchage de la pelure de tomate consiste à vérifier son adéquation avec l'ordre « $n = 1$ » dans l'équation différentielle suivante :

$$dW/dt = -K_e W^n \quad (II.5)$$

Avec K_e constante de vitesse d'élimination d'eau.

L'ordre de la transformation a été vérifié par le coefficient de corrélation (R^2) qui est d'ailleurs le paramètre statistique le plus utilisé.

L'équation (II.5) peut s'intégrer entre une humidité (initiale) W_0 au temps 0 et W au temps t , la constante K_e a la dimension de l'inverse d'une durée, donc on peut mettre cette équation sous la forme :

$$\text{Log}(W_0/W) = t/D_e \quad \text{avec } D_e = 2,3/K_e \quad (II.6)$$

Où : D_e est le temps de réduction décimale = durée nécessaire pour réduire, au cours du séchage à une température T , la teneur en eau au dixième de sa valeur, quelque soit la teneur en eau initiale (W_0).

La régression linéaire sur les valeurs de teneurs en eau (W) mesurées expérimentalement permet de déterminer la constante de vitesse de déshydratation à différentes conditions expérimentales : c'est la valeur absolue de la pente de la droite de régression de : $W = f(t)$.

I.2.2.4. Détermination du pH (NF V 05-108, 1970)

La pelure de tomate est mise dans un bêcher à laquelle nous ajoutons dix fois son volume d'eau distillée, le tout est mis au chauffage dans un bain-marie pendant 30 mn en remuant de temps en temps. Le pH est déterminé par un pH-mètre électronique (HANNA, HI 255 combined meter), en prenant soin que l'électrode soit complètement immergée dans la solution.

I.2.2.5. Détermination de l'acidité titrable (NF V 05-101, 1974)

Le principe de la méthode est basé sur le titrage de l'acidité d'une solution aqueuse de pelures de tomate avec une solution d'hydroxyde de sodium en présence de phénolphtaléine comme indicateur.

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 (Afnor, 1982). L'acidité titrable est exprimée en grammes d'acide citrique pour 100 g de produit.

$$A\% = \frac{250 \times V1 \times 100}{V0 \times M \times 10} \times 0.07 = 175 \frac{V1}{V0 \times M} \quad (II.7)$$

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.

I.2.2.6. Détermination de la teneur en cendres (NF V 05-113, 1972)

Un échantillon de 2gr de la poudre de pelures de tomate séchée et broyée est mis dans des capsules en porcelaine (M1), puis placé 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 (M2).

La teneur en matière organique est exprimée par la formule suivante :

$$MO\% = \frac{(M_1 - M_2)}{P} \quad (II.8)$$

Soit :

MO : matière organique en (%), M_1 : masse des capsules avec la prise d'essai, M_2 : masse des capsules avec cendres, P : masse de la prise d'essai.

La teneur en cendres (Cd) est calculée comme suit :

$$Cd = 100 - MO\% \quad (II.9)$$

I.2.2.7. Détermination de la teneur en éléments minéraux par spectroscopie d'absorption atomique (NF V 05-113, 1972).

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 est faite à une longueur d'onde spécifique de l'élément à doser.

Aux cendres obtenues après incinération d'une masse bien déterminée de pelures de tomate est ajoutée 1 ml d'acide chlorhydrique et 10ml d'eau distillée. Après chauffage du mélange dans un bain marie bien bouillant jusqu'à dissolution des cendres, on complète à 100 ml. A partir de cette solution, nous avons effectué le dosage des éléments minéraux suivant : le potassium, le sodium, calcium, le fer, le zinc, le cuivre, le manganèse, le magnésium par spectrophotométrie d'absorption atomique.

I.2.2.8. Dosage des polyphénols de pelures de tomate**❖ Extraction des polyphénols**

Il s'agit d'une extraction solide-liquide. Le principe consiste en ce que le solvant doit franchir la barrière de l'interface solide-liquide, dissoudre le principe actif à l'intérieur du solide et l'entraîner à l'extérieur. La plupart des auteurs suggèrent que l'entrée du solvant se fait par un mécanisme osmotique et la sortie du soluté par dialyse ou par diffusion. Le solvant utilisé dans cette présente étude est l'éthanol (80%).

Celui-ci possède l'avantage d'être plus facilement éliminé sous vide, il donne en plus un meilleur rendement d'extraction (7 fois plus que celui d'eau) (Diallo *et al.*, 2004 ; Owen et Johns, 1999 ; Vercautern *et al.*, 1996 ; Ribéreau-Gayon, 1968). Le rendement d'extraction en polyphénols augmente aussi avec le temps de contact (Lapornik *et al.*, 2005).

La figure suivante montre le procédé d'extraction.

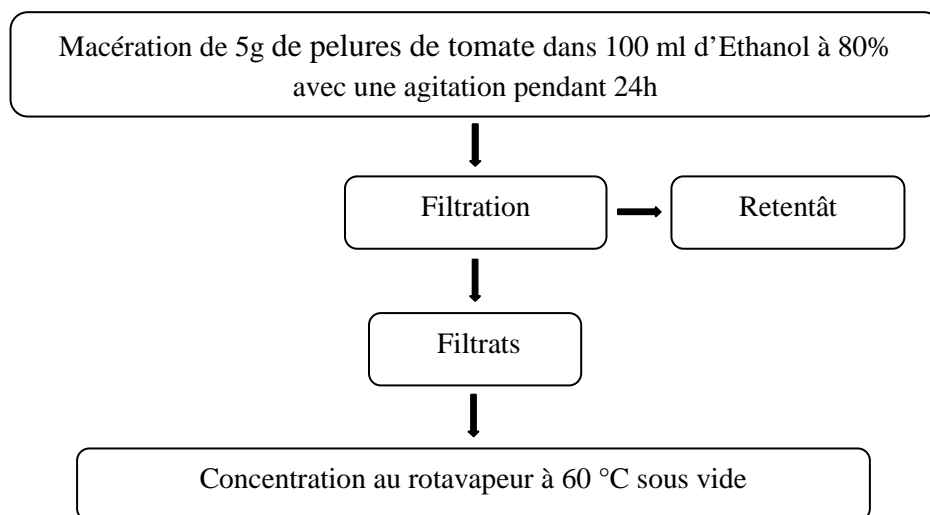


Figure II.3:Principales étapes d'extraction des polyphénols (Owen et Johns, 1999).

❖ Détermination de la teneur en polyphénols totaux

En présence de phénol, le mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et phosphomolibdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$) est réduit en oxydes bleus de tungstène (W_8O_{23}) et de molybdène (Mo_8O_{23}), que l'on détermine par colorimétrie (Ribéreau-Gayon, 1972).

Le dosage des polyphénols totaux est réalisé par la méthode décrite dans la littérature (Kamazawa *et al.*, 2002; Singoleton, 1999) avec quelques modifications.

Le dosage des polyphénols totaux dans l'extrait éthanolique de pelure de tomate est illustré dans la figure suivante :

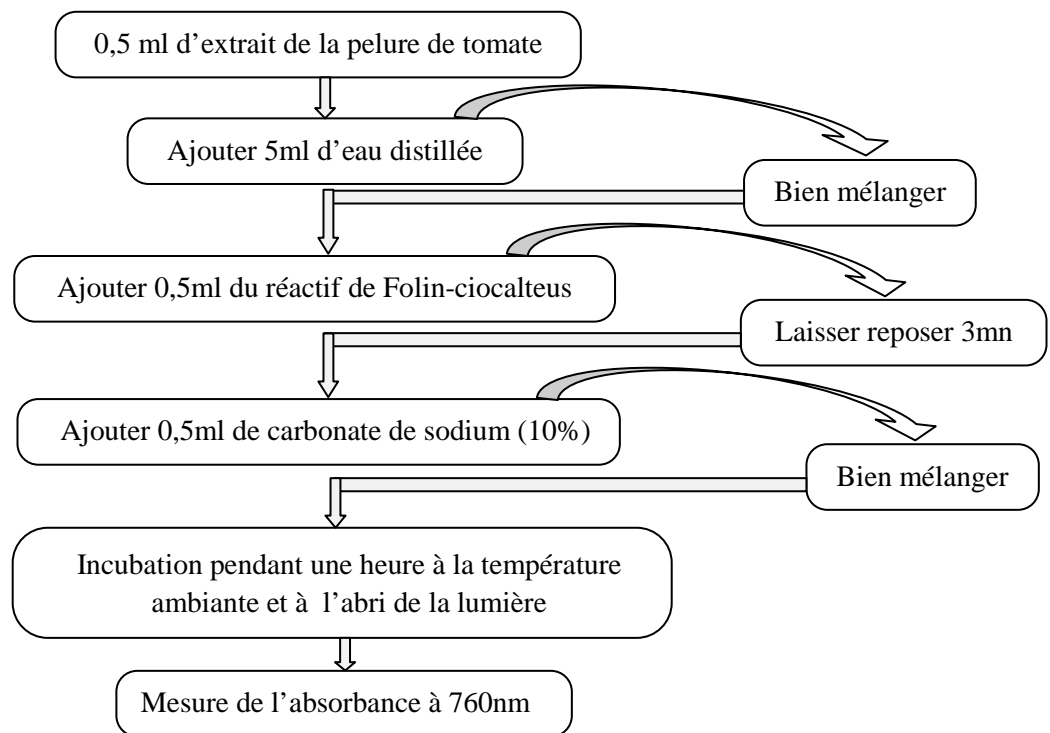


Figure II.4 : Organigramme représentant le dosage des polyphénols totaux

La concentration en composés phénoliques totaux exprimée en mg équivalent d'acide gallique par g de pelure de tomate est déterminée en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue en utilisant l'acide gallique comme standard d'étalonnage.

I.2.2.9. Dosage des protéines solubles

❖ Extraction des protéines solubles de pelures de tomate

L'extrait de la poudre de pelures de tomate est préparé par l'incorporation de la poudre de pelures de tomate dans la solution tampon phosphate 0,1M, pH 7,6 avec une proportion de 15% à (4-8°C) pendant 4 à 8 heures.

Les extraits sont centrifugés à 1000 tours par minute pendant 40 minutes et on récupère le surnageant.

❖ Quantification des protéines

Le dosage des protéines totales solubles des extraits de pelures de tomate a été réalisé selon la méthode préconisée par **Bradford (1976)**. C'est une méthode colorimétrique qui permet la détermination des concentrations d'une solution protéique. Cette méthode est basée sur la variation de la coloration du bleu brillant de coomassie G250 lorsqu'il se fixe aux protéines. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de protéine dans le milieu.

Le réactif de BRADFORD se prépare en mélangeant :

- ✓ 100 mg de bleu de coomassie ;
- ✓ 100 ml de l'acide phosphorique à 85% ;
- ✓ 50 ml d'éthanol à 95% ;
- ✓ ajusté à un volume final de 1000 ml avec l'eau distillée.

Ce réactif peut être conservé pendant 1 mois à 4°C à l'obscurité.

Pour la quantification des protéines de pelures de tomate, on prend 10 µl de l'extrait protéique avec 90 µl de la solution tampon et 5 ml de réactif de BRADFORD, bien mélangé. Le mélange est conservé à la température ambiante pendant 10 mn à l'abri de la lumière, par la suite une lecture de la densité optique a été faite par un spectrophotomètre à 597 nm. Une courbe d'étalonnage est tracée, en utilisant la B.S.A (Bovin Sérum Albumine).

I.2.2.10. Détermination du résidu sec soluble (°Brix)(NF V 05-109, 1970)

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 de 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 30mn 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 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.

Le résidu sec soluble est donné par la formule suivante :

$$Brix (\%) = M \times \frac{M_1}{E} \quad (II. 10)$$

Où :

E : est la masse de produit utilisé (g), M_1 : est la masse du résidu sec soluble pour 100g de produit analysé (g), M : est la masse totale de la solution pesée (contenue dans le bécher).

I.2.2.11. Détermination de la teneur en sucres totaux

Les sucres totaux sont déterminés par le test au Phénol (méthode de **Dubois et al., 1956**)

En présence de l'acide sulfurique concentré, les oses sont déshydratés en composés de la famille des dérivés furfuriques. Ces produits se condensent avec le Phénol pour donner des complexes jaune-orangé. La teneur en sucres totaux est déterminée par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 490 nm (**Goodon, 1997**).

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 (**Ghiafeh et al., 2006**). La teneur en sucres totaux est déterminée en utilisant le glucose comme standard.

I.2.2.12. Détermination de la teneur en lipides (NF EN ISO 734-1,2000)

Les corps gras sont les substances organiques qui peuvent être extraits à partir des fruits et végétaux par des solvants organiques non polaires au moyen de l'appareil soxhlet.

Après Séchage du ballon de 500 ml à l'étuve à 105°C pendant une heure et refroidissement au dessiccateur pendant 30 mn, on pèse le ballon à la précision de 0.001g.

Environ 20g de pelure de tomate est introduit dans la cartouche placée à l'intérieur de l'appareil Soxhlet. On verse 200ml d'éther de pétrole dans le ballon et 50ml dans l'extracteur, puis on chauffe le ballon sur le chauffe ballon pendant 4h (20 siphonages par heure) jusqu'à l'épuisement de la matière grasse.

Après élimination du solvant du ballon par distillation, on sèche le résidu du ballon dans une étuve à 70-80°C, puis on laisse refroidir le ballon au dessiccateur pendant 30mn. On pèse le ballon avec l'huile à la précision de 0.001g.

La teneur en matière grasse est exprimée par la formule suivante :

$$MG\% = \frac{(P_2 - P_1)}{P_3} \times 100 \quad (II.11)$$

Soit :

P₁ : Poids du ballon vide (g), P₂ : Poids du ballon avec l'huile extraite (g), P₃ : Poids de la prise d'essai (g).

I.2.2.13. Détermination de la teneur en caroténoïdes totaux

La méthode de **Lee (2001)** a été utilisée pour la quantification de la teneur en caroténoïdes totaux. En bref, dans un flacon on pèse 5 g de poudre de pelure de tomate, auquel on ajoute 50 ml de mixture hexane-acétone-éthanol (v/v/v; 50:25:25) préparée préalablement, le flacon est agité au vortex à 200 t/mn pendant 10 mn à la température ambiante, puis centrifugé à 6500 t/mn pendant 5 minutes à 4 °C, le surnageant a été récupéré et mélangé avec 50 ml de solvant d'extraction.

L'absorbance a été mesurée à 450 nm. Tout le contenu de caroténoïdes a été exprimé comme équivalent de β -carotène.

La teneur en caroténoïdes est exprimée selon la formule suivante :

$$C \left(\frac{\mu g}{g} \right) = \frac{Abs_{450} F_d \cdot 10^6 \cdot V}{3450 \cdot 100 \cdot P} \quad (II.12)$$

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.

I.2.2.14. Détermination de la couleur

Trois lectures directes sont prises sur les pelures de tomates séchées, soigneusement placées dans des boîtes de 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 (**Calvo et al., 2008**). La tonalité est calculée comme $\tan^{-1} (a^*/b^*)$: 90° = jaune, 180° = vert, 0° = rouge. L'indice de saturation est calculé comme $(a^* + b^*) / 2$: 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.

I.2.2.15. Teneur en lycopène des pelures séchées

Dans trois tubes à essai, on pèse 0.1g de pelures de tomates séchées, auxquelles on ajoute 10 ml d'un mélange (hexane- acétone- éthanol : 50/50/1). Les tubes sont agités au vortex pendant 10mn, 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. (**Benakmoum et al., 2008**). Les expériences ont été réalisées sur 3 essais pour chaque échantillon.

$$C (\mu g/g) = \frac{Abs_{472} \cdot F_d \cdot 10^6 \cdot V}{3450 \cdot 100 \cdot P} \quad (II.13)$$

II. Expérimentation animale

II.1. La souche

Dans notre étude nous avons utilisé une souche LOHMANN BROWN-CLASSIC, ces poules à plumage roux (œufs à coquille rousse). Très bien connues pour ses performances de production ainsi que la qualité de ses œufs. Ce sont des poules lourdes, consomment plus d'aliment, produisent une masse totale d'œufs plus élevée (gros calibre) et sont mieux valorisées à la réforme (www.avicultureaumaroc.com).

II.2. Système d'élevage

Vingt poules pondeuses âgées de 41 semaines ont été divisées en cinq lots de 04 poules chacun, et logées dans des cages en batterie.

Les poules de différents lots ont été nourries avec cinq régimes alimentaires différents pendant une période expérimentale de 22 jours.

Un régime standard a été employé comme témoin, fabriqué au niveau de l'unité avicole « Coopérative Agricole MEDJKANE » Ouadhia. Les quatre autres régimes ont été obtenus par l'aliment standard supplémenté avec la pelure de tomate séchée.

- le premier régime contient 4% de pelures de tomate préalablement préparées est destiné à l'alimentation de la volaille plus 96% de l'aliment standard fabriqué au niveau de l'unité.
- le deuxième régime est constitué de 7% de pelures de tomate et 93% de l'aliment standard
- le troisième régime est composé de 10% de pelures de tomate additionnées à 90% de l'aliment standard.
- le quatrième régime est composé de 13% de pelures de tomate additionnées à 87% de l'aliment standard.

II.3. Préparation de la diète destinée aux poules

L'alimentation constitue le facteur essentiel pour la réussite de l'élevage de la pondeuse. Ainsi, il est indispensable d'appliquer un plan d'alimentation rationnel.

L'aliment administré est broyé en miette dont le calibre moyen est de 4 mm parce qu'un excès de composants très fins ou de structure volumineuse, conduirait à une ingestion sélective des aliments notamment dans un apport irrégulier en nutriment. D'autant qu'un aliment de structure trop fine réduit la quantité ingérée et peut engendrer des carences pour certains nutriments. La quantité d'aliment consommée par une poule pondeuse est estimée de 120g/j, à cet égard nous avons préparé des rations de quantités suffisantes pour chaque lot avec des proportions de supplémentation en pelure de tomate sèche (4%, 7%, 10%, 13%). L'aliment est emballé dans des sachets alimentaires et administré quatre fois par jour à la volaille avec intervalle de temps pour la distribution de chaque repas de 4heures.

II.4. Contrôle journalier

Le contrôle de ces paramètres se faisait au moins une fois par jour

- ✓ l'état de santé des animaux
- ✓ la température ambiante
- ✓ la consommation d'aliment et d'eau
- ✓ le taux de mortalité
- ✓ la ventilation
- ✓ l'éclairage

II.5. Contrôle zootechnique

Au cours de la période expérimentale, certains paramètres zootechniques ont été étudiés à savoir le poids des poules ainsi que le taux de ponte.

II.5.1. Poids des poules

Ce paramètre a été mesuré au moyen d'une balance conçue à cet effet, les poids ont été mesurés en une période de cinq jours, depuis le début de l'expérimentation jusqu'au dernier jour (voir l'annexe).

II.5.2. Taux de ponte

Le taux de ponte (TP) appelé aussi intensité de ponte (IP) ou pourcentage de ponte exprime le nombre d'œufs pondus par un troupeau de poules pendant un nombre de jours donnés de ponte. Il s'agit en fait du nombre d'œufs pondus par jour et par un effectif de 100 poules.

La mesure de l'intensité de ponte exprime en fait à la fois la longueur moyenne des séries et la fréquence moyenne des jours de pause. Elle permet à l'éleveur de contrôler chaque jour la production de son troupeau afin d'intervenir rapidement s'il y a une chute brutale de ponte suite à un problème quelconque (www.avicultureaumaroc.com).

❖ Calcul du taux de ponte

Dans la pratique, l'intensité de ponte est rapportée, soit au nombre initial de poules mises en place (poules départ) ; soit au nombre de poules vivantes (poules présentes) au moment de la mesure. En fait, ce dernier mode d'expression tient compte des mortalités qui surviennent pendant la période de ponte, donc sa valeur est toujours ou à la limite égale (TM=0) à celle du premier mode. Les modes de calcul du taux de pontes sont donnés par les formules suivantes :

$$TPPD = (Q/NK) \times 100 \quad (II.14)$$

$$TPPD = (Q/n_1 + n_2 + \dots + n_i + \dots + n_k) \times 100 \quad (II.15)$$

TPPD : Taux de Ponte par Poules Départ

TPPP : Taux de Ponte par Poules Présentes

Q : Nombre total d'œufs produits en k jours

N : nombre initial de poules mise en place

n1 + n2 +.....+ ni+ nk : Somme des nombres de poules présentes chaque jour depuis le jour 1 jusqu'au jour k.

NB : L'intensité de ponte est calculée sur la base journalière (k = 1) ou sur une base hebdomadaire (k = 7) et quelquefois sur des périodes de 4 semaines (k = 28).

II.6. Caractérisation des œufs

Le ramassage des œufs est effectué chaque jour durant toute la période expérimentale. Après la collecte des œufs on effectue un contrôle des paramètres suivants ; prise du poids, mesure du calibre, parallèlement les propriétés mécaniques de la coquille ont été déterminées. Les œufs sont ensuite stockés au réfrigérateur pour maintenir leurs qualités jusqu'à l'analyse.

II.6.1. Poids et calibre des œufs

Le poids des œufs a été mesuré au moyen d'une balance analytique avec une précision de $\pm 0,001$. La mesure de calibre (grand axe et petit axe) a été faite au moyen de pied à coulisse.

II.6.2. Propriétés mécaniques de la coquille

Les propriétés mécaniques de la coquille ont été déterminées sur les œufs indemnes de microfêlures.

Les critères calculés sont les suivants :

- **Index de solidité de la coquille (I)**

L'index de solidité de la coquille est une mesure de quantité de matériau déposé. Ce calcul du pourcentage du poids de la coquille par rapport au poids de l'œuf prend en compte la taille de l'œuf (Mirabito *et al.*, 2005).

L'index de solidité de coquille est exprimé en g/100cm². Il est égal au poids de la coquille (**C** en gramme) par unité de surface (g/100cm²), la surface (**S** en cm²) étant une fonction exponentielle du poids de l'œuf (**P** en gramme). Il est de la forme :

$$I = 100(C/S) = 100 \left[C/k.P \exp^{2/3} \right] \quad (II.16)$$

$$S = K.P^{2/3} \quad (II.17)$$

Avec K = 4,67 si le poids de l'œuf < 60g ; K = 4,68 si le poids de l'œuf compris entre 60 et 70g ou K = 4,69 si poids de l'œuf > 70g).

- **Epaisseur de la coquille (T)**

A partir de l'index de solidité, l'épaisseur (T en mm) de la coquille était calculé selon la formule suivante :

$$T = I/23,5 \quad (II.18)$$

II.6.3. Préparation de l'échantillon (œuf) destiné à l'analyse

Après homogénéisation, les paramètres analytiques des œufs ont été déterminés au moins trois fois pour chaque lot. La préparation des échantillons pour analyse se fait par trois méthodes, selon l'exigence de l'expérience à réaliser.

➤ Œufs frais

Les échantillons ont été préparés manuellement en cassant les œufs, puis séparer le blanc d'œuf du jaune, ce dernier est placé sur un papier filtre pendant quelques minutes pour enlever l'albumen adhérent au jaune.

➤ Œufs lyophilisés

Les Jaunes d'œuf, séparés dans les groupes selon le taux d'incorporation en pelures séchées, ont été séparés manuellement de leurs blancs respectifs, puis homogénéisés à une basse vitesse, emballés dans des boîtes en aluminium, et stockés à - 4°C pour lyophilisation ultérieure.

Avant lyophilisation, les échantillons congelés (jaunes et blancs d'œufs) sont coupés en petits morceaux de dimensions 0,5 × 0,5 cm.

Les jaunes et blancs d'œufs ont été lyophilisés à - 70°C et à 0,1 mbar dans un Lyophilisateur Telstar Cryodos. L'extrait sec des échantillons lyophilisés était approximativement de 97%. Les échantillons ainsi lyophilisés ont été conservés au congélateur dans des boîtes hermétiques propres pour analyse ultérieure.

➤ Œufs cuits (bouillis)

Pour la caractérisation physicochimique des œufs, nous avons analysé les œufs frais et lyophilisés, la cuisson des œufs a été faite pour la caractérisation organoleptique.

II.6.4. Caractérisation physicochimique

La mesure des paramètres pH, cendres, et minéraux a été faite de manière similaire à celle de la pelure de tomate donnée précédemment.

II.6.4.1. Détermination de la teneur en protéines totales

Protéines du jaune : pour la détermination de la teneur en protéines totales dans le jaune d'œuf nous avons utilisé la méthode décrite pour la détermination de la teneur en cholestérol.

Protéines du blanc : pour déterminer la teneur en protéines dans le blanc d'œuf ; 1g de blanc d'œuf est dilué dans 9 ml d'eau physiologique, puis remué pendant 15 min, ensuite dosé par un kit.

- **Le dosage**

Un kit (BIOLABO. Réf 80016. TOTAL PROTEIN. Biuret Method) est utilisé pour la détermination de la teneur en protéines totales par le réactif de Biuret; Hydroxyde de sodium, Tartrate-Na-K, Iodure de potassium, Sulfate de cuivre. L'intensité de couleur est déterminée en faisant la lecture de l'absorbance à 540 nm, en utilisant un spectrophotomètre (Hitachi U-2000, Japon). Ainsi la concentration de protéines totales dans le jaune et le blanc d'œuf peut être déterminée.

La concentration en protéines totales est calculée par la formule :

$$C(g/l) = \frac{DO_{Ec} - DO_B}{DO_{Et} - DO_B} \cdot 60 \quad (II.19)$$

Soit : DO_{Ec} : densité optique de l'échantillon, DO_B : densité optique du blanc, DO_{Et} : densité optique de l'étalon, 60 : concentration de l'étalon en g/l.

II.6.4.2. Détermination de la teneur en cholestérol et triglycérides du jaune d'œuf

La teneur en cholestérol et triglycérides dans le jaune d'œuf est déterminée par la méthode décrite par **Pasin et al., 1998**. En bref; 3g de jaune d'œuf sont dilués dans 27ml de solution de NaCl à 20 g/kg, puis remués pendant 2 h en utilisant un agitateur magnétique ; on prend 1 ml de la solution déjà préparée (jaune d'œuf et NaCl) et on le dilue encore avec de 9ml de la solution de NaCl à 20 g/kg après le dosage se fait par un kit(**Ting, 2011**).

- **Cholestérol**

Un kit de cholesterol (SPINREACT. Réf 100 1092. Cholesterol. CHOD-POD.Enzymaticcolorimetric) est utilisé pour la détermination enzymatique par la Cholestérol Estérase (CHE), la Cholestérol Oxidase (CHOD), Peroxydase (POD) et 4-Aminophenazone (4-AP).

L'intensité de couleur est déterminée en faisant la lecture de l'absorbance à 540 nm, en utilisant un spectrophotomètre (Hitachi U-2000, Japon). Ainsi la concentration de cholestérol dans le jaune d'œuf peut être déterminée. La teneur en cholestérol totale par œuf est déterminée en calculant le taux de cholestérol du jaune d'œuf multiplié par le poids du jaune d'œuf.

- **Triglycérides**

Un kit de triglycérides (Biomagrhreb. Réf 20131.TRIGLYCERIDES.GPO-PAP. Méthode colorimétrique enzymatique) est utilisée pour la détermination enzymatique par la Lipoprotéine lipase, Glycérolkinase, Glycérol 3-P-Oxydase, Amino-4-antipyrine et ATP. L'intensité de couleur est déterminée en faisant la lecture de l'absorbance à 540 nm, en utilisant un spectrophotomètre (Hitachi U-2000, Japon). Ainsi la concentration de triglycérides dans le jaune d'œuf peut être déterminée.

II.6.4.3. Extraction et dosage des composés phénoliques

L'extrait de jaune d'œuf lyophilisé est obtenu en mélangeant approximativement 1g de l'échantillon avec 10ml de mixture méthanol (80% ajusté à un pH=1,5) HCl à 1M (v/v; 80:20).

Le mélange est agité à l'aide d'un vortex pendant 2 mn puis centrifugé à 6000g pendant 10 minutes à 4°C.

Le surnageant récupéré est évaporé sous vide en utilisant un rotavapeur à 35°C, puis reconstitué avec 1ml de méthanol. L'échantillon obtenu est filtré en utilisant un papier filtre dont les pores sont à 0,22 µm de diamètre. Les extractions ont été faites en triple (**Chamila Nimalaratne et al., 2011**).

- **Détermination de la teneur en polyphénols totaux**

La méthode de **Singleton et Rossi (1965)** est utilisée pour la détermination de la teneur des extraits de jaune d'œuf lyophilisé en composés phénoliques totaux. En bref, 0,1 ml de l'extrait obtenu est mélangé avec 0,5 ml du réactif de Folin-Ciocalteu et 1,5 ml de solution de Carbonate de Sodium (Na_2CO_3) à 20%. Le mélange est ajusté à 10 ml avec de l'eau distillée, puis mis au repos pendant 2 heures et à une température ambiante. L'absorbance est lue à 760 nm en utilisant un spectrophotomètre. L'acide gallique est utilisé pour développer la courbe d'étalonnage standard et les résultats ont été exprimés comme en équivalent acide gallique (poids sec de GAE)/g. le dosage est effectué trois fois pour chaque échantillon et les valeurs prises représentent les moyennes (**Chamila Nimalaratne et al., 2011**).

II.6.4.4. Détermination de la teneur en caroténoïdes

Cette méthode est inspirée de la méthode de **Sadler et Davis., 1990 ;Buret, 1991** citée par **Stéphane Georgéa et al., 2011** avec quelques modifications

- **Extraction**

Les caroténoïdes des jaunes d'œuf lyophilisés sont obtenus par extraction solide/liquide d'une quantité appropriée d'échantillon (1–10 g de jaune d'œuf lyophilisé) en utilisant la mixture : hexane/acétone/éthanol (50/ 25/25, v/v/v, HAE).

L'extraction a été faite à l'obscurité, selon le mode opératoire suivant :

- mettre (1-10g) du jaune d'œuf lyophilisé dans un bécher ;
- ajouter 100 ml de mixture hexane-acétone-éthanol (v/v/v; 50:25:25) préparée préalablement ;
- la mixture obtenue est agitée à température ambiante pendant 1h 30 avec un agitateur magnétique ;
- l'extrait est filtré puis transféré dans une ampoule à décanter. La phase organique a été lavée trois fois avec 20ml d'eau distillée.

- la phase organique est séparée de la phase aqueuse, pour être filtrée sur sulfate de sodium anhydre ;
- compléter le volume du filtrat à 50 ml avec l'hexane.

- **Analyse quantitative**

La concentration de lycopène et β -carotène est déterminée par spectrophotomètre (Perkin Elmer- Lambda 25) en utilisant les équations suivantes :

$$C_{\beta_carotène} = 4,624 \times A_{450} - 3,091 \times A_{503} \quad (II.20)$$

$$C_{lycopène} = 3,965 \times A_{450} - 0,806 \times A_{503} \quad (II.21)$$

Où :

C : est la concentration des caroténoïdes et A_{450} , A_{503} sont les absorbances respectives de β -carotène et lycopène.

II.6.4.5. Mesure de la couleur

La couleur des jaunes d'œuf lyophilisés a été mesurée dans le système L^* , a^* , b^* . Des mesures ont été effectuées 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 (Calvo *et al.*, 2007 ; Laca *et al.*, 2010).

- **Mode opératoire**

Une quantité fixe d'échantillon a été versée dans la cellule de mesure et des analyses ont été conduites en mode spéculaire d'exclusion. Les changements de couleur sont exprimés comme ΔE avec la couleur des jaunes d'œuf témoin comme échantillon de référence, ainsi ΔE exprime tout changement de couleur en raison du processus de lyophilisation calculé.

(Santipanichwong et Suphantharika, 2007) :

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (II.22)$$

Des analyses ont été effectuées deux fois.

II.6.5. Analyse par microscopie électronique à balayage

Parmi toutes les microscopies électroniques, la microscopie électronique à balayage (MEB) est l'une des méthodes d'observation et d'analyse la plus utilisée en géologie, science des matériaux et biologie. Cette nouvelle technologie a permis, du fait de sa profondeur de champ, l'observation du relief d'échantillons massifs (Liu *et al.*, 2010).

▪ Principe

Le principe de la microscopie électronique en transmission a été proposé pour la première fois en Allemagne en 1935, par Knoll et Von Ardenne et développé par Zworykin, Hillier et Snyder dans les laboratoires RCA aux Etats-Unis (1940). Elle a connu son véritable essor dans les années 60, grâce aux progrès techniques de la télévision et des détecteurs d'électrons (Oatley).

Le microscope électronique à balayage n'est pas proprement dit un microscope conventionnel dans le sens optique du terme. En effet, il n'y a pas formation d'une image par une lentille objective comme cela est le cas en microscopie optique et en microscopie électronique en transmission mais l'image est formée de manière séquentielle en balayant la surface de l'échantillon en recueillant les particules émises (Liu *et al.*, 2010).

Suivant le type de particules détectées, le microscope électronique à balayage fournit des images différentes dont les informations peuvent être complémentaires.

Nous avons à observer la microstructure des jaunes d'œuf lyophilisés par microscope électronique à balayage afin de déterminer l'effet de la lyophilisation et l'incorporation de pelure de tomate sèche. Différents types de détecteurs servent à compter les particules émises : détecteurs d'électrons secondaires, d'électrons rétrodiffusés ou de rayons X (Liu *et al.*, 2010).

▪ Formation de l'image - Traitement de l'information

Les signaux provenant des détecteurs produisent sur un écran fluorescent une image en noir et blanc. On peut également numériser les images et traiter l'information (traitement du contraste, intégration, filtrage, ...).

Aux divers types de particules émises lors de l'interaction entre le faisceau électronique et l'échantillon correspondent différents modes de fonctionnement du microscope et donc différents types d'imagerie (Liu *et al.*, 2010).

II.6.6. Analyse par Spectroscopie Infrarouge (FTIR)

La Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (ou FTIR : Fourier Transformed InfraRed Spectroscopy) est basée sur l'absorption d'un rayonnement infrarouge par le matériau analysé. Elle permet via la détection des vibrations caractéristiques des liaisons chimiques, d'effectuer l'analyse des fonctions chimiques présentes dans le matériau (Rouessac *et al.*, 2004).

▪ Principe

L'analyse par infrarouge est une méthode d'analyse structurale qui révèle la nature des liaisons entre atomes dans une molécule. Les composés organiques ont en effet la particularité de posséder des liaisons inter-atomiques qui entrent en vibration sous l'action d'un rayonnement infrarouge à des longueurs d'onde caractéristiques.

Ce phénomène s'accompagne d'une consommation d'énergie lumineuse à la longueur d'onde considérée. L'IRTF permet de mesurer les absorbances d'énergie des liaisons chimiques (fonctions alcool, acides, méthyles, méthylène...) de tous les composants présents dans les produits analysés et de les corréler à leurs concentrations, puisque l'intensité de l'absorption est directement proportionnelle à la concentration de la molécule considérée.

La longueur d'onde d'absorption va dépendre de la liaison elle-même (C-H, C-O, C-C, ...) mais aussi de l'environnement moléculaire dans lequel elle se trouve.

Le spectrophotomètre utilisé est de type FTIR SHIMADZU AC POWER (160 VA, 50/60 Hz). Cet appareil est relié via une carte d'acquisition de données à un ordinateur disposant du logiciel Spectrum pour l'acquisition et l'analyse des données (Rouessacet *al.*, 2004).

Des pastilles de jaunes d'œuf lyophilisés et de KBr ont été employées pour des analyses de FTIR. Les mesures ont été faites en mode de transmittance entre 400 et 4000 cm^{-1} .

Tous les spectres ont été rassemblés deux fois. Les deux spectres ont été comparés par superposition, si la différence entre eux est importante, de nouveaux sous-échantillons ont été balayés.



Figure II.5 : Méthodologie de préparation de l'échantillon

II.6.7. Etude du comportement rhéologique

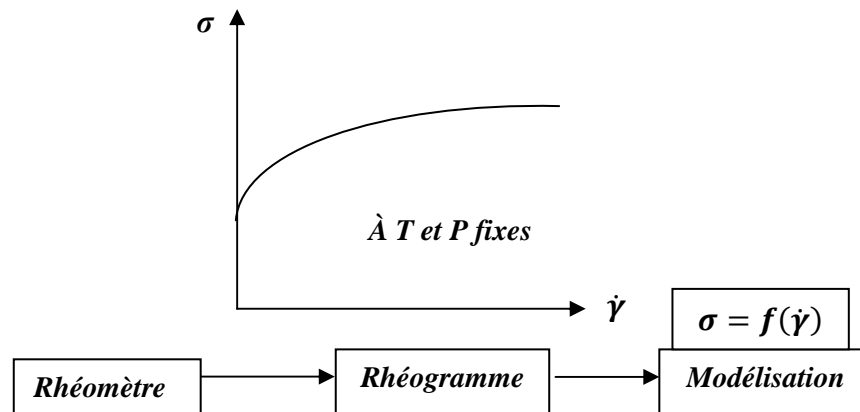
La compréhension des caractéristiques d'écoulement nécessite de comprendre la réponse des fluides à une contrainte imposée. C'est l'objet de la rhéologie, science fondée dans les années 1920 par Bingham et Reiner.

Le but de la rhéologie est de déterminer la relation entre contrainte et déformation ou vitesse de déformation qui détermine toutes les propriétés rhéologiques du matériau (Elisabeth Guazzelli, 2001).

On cherche une relation: $\sigma = f(\dot{\gamma})$ (II.23)

On note σ la contrainte et $\dot{\gamma}$ la vitesse de déformation car nous considérons que les caractérisations du matériau en utilisant un cisaillement simple. Nous cherchons la relation contrainte = f(vitesse de déformation).

Afin de caractériser le comportement rhéologique de différents types de jaune d'œuf, nous nous sommes limités à des situations simples en choisissant en particulier le cisaillement simple comme écoulement de base pour décrire les lois constitutives des matériaux (jaunes d'œufs), ce qui offre un cadre mathématique simplifié et facilite l'interprétation physique. La procédure suivie est donnée comme suit :



Avant l'analyse, les jaunes d'œuf ont été roulés sur un papier filtre (numéro de Whatman 1) pour enlever le blanc d'œuf, puis l'ensemble est homogénéisé pour avoir un volume total d'environ 40cm³.

Les essais rhéologiques ont été effectués en utilisant un viscosimètre de rotation VT550 (THERMO-HAAKE), et une géométrie couette MV-DIN d'acier inoxydable de diamètre 42 millimètres aux taux de cisaillement qui se sont étendus de 0 à 1000 s⁻¹.

Tous les essais ont été effectués à température ambiante (20 ±0,1°C) et avant de commencer les mesures, un pré-cisaillement est effectué pendant 1mn, par la suite l'échantillon est mis en repos pour au moins 1 minute en dernier le cisaillement est entrepris pendant 180s (Laca *et al.*, 2010)

Des courbes contrainte -vitesse de cisaillement ont été enregistrées à la vitesse de 5 mm/s ainsi nous avons enregistré la viscosité (η).

Ces paramètres ont été obtenus en utilisant le Micro- Logiciel stable Rhéowin.

Tous les essais ont été effectués au moins deux fois.

II.6.8. Analyses organoleptiques des œufs

L'évaluation sensorielle a été faite sur des œufs de poules alimentées avec un régime témoin et ceux supplémentés avec la PTS à des taux de 4%, 7%, 10% et 13%.

Pour cela nous avons utilisé des œufs durs cuits en eau bouillante pendant 8-10 minutes refroidis et écosés, les jaunes ont été séparés puis divisés en 4 parties.

Une boîte en aluminium bien scellée contenant cinq échantillons (chaque partie provenant d'un régime) a été présentée au membre du jury.

Les panélistes ont évalué les échantillons d'œufs durs pour décrire les critères goût, odeur et couleur des échantillons. L'eau minérale est autorisée pour le nettoyage de bouche entre la prise des échantillons (**Parpinello et al., 2006**).

Pour l'analyse des résultats, nous avons utilisé le test de Friedman ; c'est le test non paramétrique le plus employé en évaluation sensorielle car il correspond à une expérience équilibrée où n sujets ont noté chacun les p produits de l'étude. Les données sont donc appariées et la statistique de test utilise les rangs des produits, sujet par sujet (ces rangs peuvent tout à fait être calculés à partir de notes mises par les panélistes). Ce test, comme celui de Kruskal et Wallis, est un test de X^2 d'écart entre la somme des rangs obtenus par chaque produit et une somme des rangs moyenne (**Danzant., 1988**).

Comme il a été cité précédemment, les tests sensoriels ont été effectués sur les œufs des différents lots et ont porté sur trois critères : le goût, la couleur et l'odeur

Les produits ont été codés comme suit :

- ✓ A : œufs témoin (0% PTS)
- ✓ B : œufs enrichis à 4% en PTS
- ✓ C : œufs enrichis à 7% en PTS
- ✓ D : œufs enrichis à 10% en PTS
- ✓ E : œufs enrichis à 13% en PTS

L'évaluation des 5 produits portant sur les critères goût, odeur et couleur a été réalisée par 10 sujets qui ont attribué des notes de 1 à 20 pour chaque produit de chaque critère.

La méthode de notation est la suivante :

20 : excellent

10 : moyen

1 : très mauvais.

Les résultats des classements des critères goût, odeur et couleur ainsi que la somme des rangs par produit et par l'ensemble des sujets ont été déterminés.

Pour l'interprétation des résultats obtenus nous avons utilisé le test de Friedman basé sur le calcul de F (**Danzant., 1988**).

$$\text{Soit } F = 12/n \times p(p + 1) \sum [R_i + n(p + 1)/2]^2 \quad (\text{II. 24})$$

Où : R_i désigne comme précédemment la somme des rangs affectés au produit i. On calcule en général F sous forme suivante :

$$F = \frac{12}{n} \times P \times (P + 1) [R_1^2 + \dots + R_p^2] - 3n \times (P + 1) \quad (\text{II. 25})$$

Cette valeur doit être comparée à la valeur ℓ lue dans la table de X^2 à $p - 1$ degrés de liberté au niveau 5%. Comme précédemment le test est un test unilatéral. Pour la décision :

- Si $F > \ell$: on décide que les produits sont perçus comme étant significativement différents ;
- Si $F < \ell$: on décide que les produits sont perçus comme étant identiques.

Lorsque le test conduit à une différenciation significative des produits on fait appel à une comparaison multiple des sommes de rangs des produits. Dans le cas le test de FRIEDMAN, les effectifs sont les mêmes pour chacun des produits. En conséquence chaque différence de moyenne doit être comparée à la valeur :

$$\delta = Z \left[n \times \frac{p(p+1)}{6} \right]^{1/2} \quad (II.26)$$

Où : Z est la valeur lue dans la table gaussienne au niveau

Si $|R_i - R_j| > \delta$ les produits i et j sont perçus comme significativement différents.

Si $|R_i - R_j| < \delta$ les produits sont perçus comme identiques.



Chapitre III

Résultats et Discussions



1^{ere} Partie
La Tomate

I. Tomate

I. 1.Composition globale de la tomate

Les trois fractions de la tomate étudiées sont données dans la figure III.1.

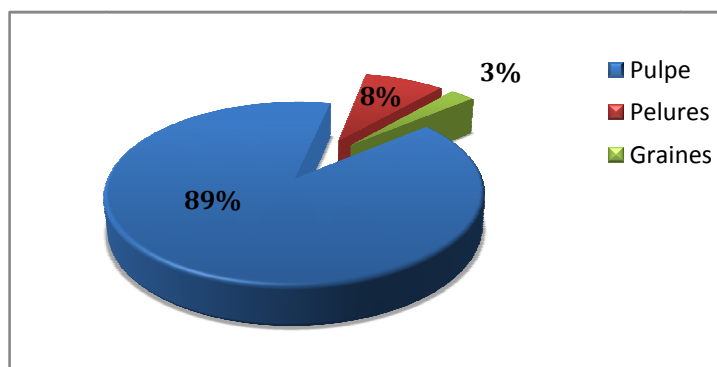


Figure III.1: Les fractions de la tomate fraîche

La teneur en pulpe, exprimée en pourcentage pondéral est de 89,34 %, quant aux pelures, elles représentent environ 8,15 % (MF) du poids total de la tomate.

I.2. Modélisation du processus de séchage de la pelure de tomate

La déshydratation n'est pas une réaction au sens classique, mais sa loi peut être proche de celle des réactions chimiques et les frontières entre l'une et l'autre n'est pas toujours évidente ; en outre il y a souvent interférence entre elles (Bimbenet *et al.*, 2007).

I.2.1. Cinétique d'élimination d'eau de la pelure de tomate

La figure III.2 montre l'évolution de la teneur en eau en fonction du temps à différentes températures.

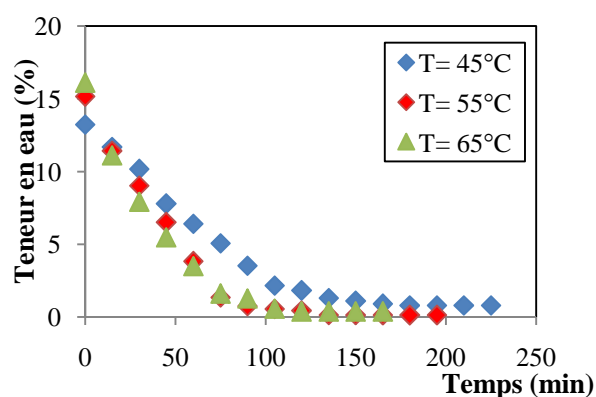


Figure III.2 : Cinétique de déshydratation de la pelure de tomate à différentes températures.

La représentation graphique obtenue montre que la diminution de l'eau pendant le séchage de la pelure de tomate présente la même allure pour les trois températures.

Visuellement, il est aisé de constater l'allure exponentielle de la réduction de l'eau. La décroissance de la teneur en eau en fonction du temps suggère donc une relation mathématique de forme :

$$dW/dt = -K_e W \quad (III.1)$$

A partir de la courbe (figure III.2) représentant la régression linéaire sur les valeurs des teneurs en eau (W) mesurées expérimentalement, nous déterminons les constantes de vitesse relatives à l'élimination d'eau K_e .

Pour mieux modéliser la cinétique de la déshydratation, nous traçons en coordonnées semi-logarithmiques les valeurs montrées sur la figure III.3.

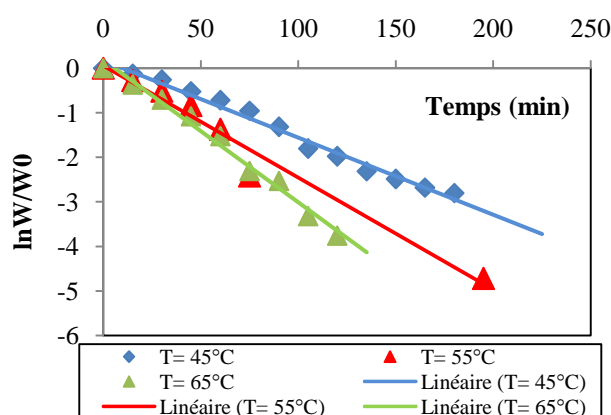


Figure III.3 : Modélisation de la déshydratation de la pelure de tomate.

Letemps de réduction décimale (D_e) est déduit de la figure III.4.

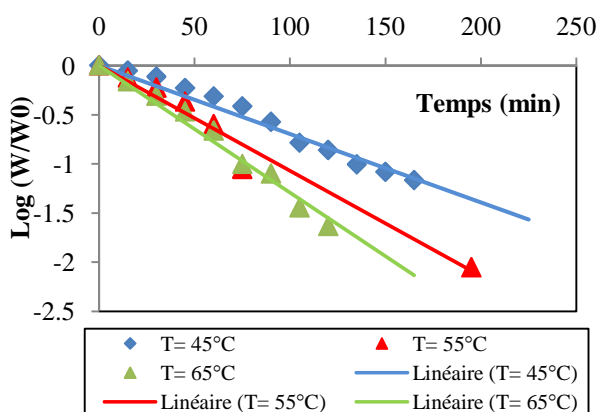


Figure III.4 : Détermination graphique de la constante de réduction décimale (D_e).

Les résultats obtenus confirment l'ordre (1) de la transformation physique inhérente à l'élimination d'eau. En effet quelle que soit la température de séchage, le coefficient de corrélation $R^2 > 0,97$.

La constante de la réduction de l'eau K_e , et le temps de réduction décimale de l'eau D_e sont regroupés dans le tableau III.1. Les modèles obtenus à différentes températures y figurent aussi.

Tableau III.1 : Modélisation de la déshydratation de la pelure de tomate à différentes températures

T	Modèle obtenu	transformation log (W_0/W)	R^2	K_e (gEau/gMs/min)	D_e (min)
45	$\ln W = -0,017t + \ln W_0$	$\log (W_0/W) = t/135,29$	0,986	0,017	135,29
55	$\ln W = -0,025t + \ln W_0$	$\log (W_0/W) = t/92,00$	0,971	0,025	92,00
65	$\ln W = -0,031t + \ln W_0$	$\log (W_0/W) = t/74,19$	0,986	0,031	74,19

D'après ces résultats l'équation correspondant à la réaction d'ordre (1) est adéquate pour modéliser le processus de déshydratation de la pelure de tomate. En plus, les valeurs de D_e baissent avec la température ce qui est conforme aux prédictions théoriques. Mais il semble que cette réduction n'est pas de la même intensité sur l'échelle des températures. En effet :

- $D_{e55}/D_{e45} = 0,68 = Q_{10}$ constante de température
- $D_{e65}/D_{e55} = 0,80$

Ces observations nous amènent à penser que le temps de réduction décimale D_e est très sensible à l'action de la température.

I.2.2. Cinétique de dégradation de lycopène

L'évolution de la dégradation du lycopène au cours du séchage est présentée par la figure III.5

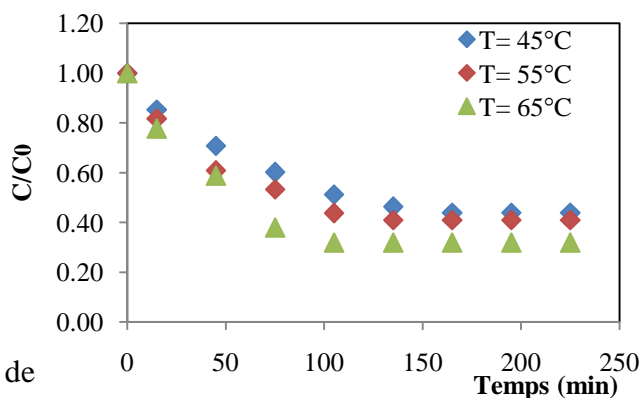


Figure III.5 : Cinétique de dégradation du lycopène à différentes températures.

Graphiquement, la réduction de la concentration de lycopène en fonction du temps pendant le séchage de la pelure de tomate présente aussi une allure exponentielle. Il est possible, donc, d'écrire la dégradation de la concentration sous la forme :

$$\frac{dC}{dt} = -K_d C \quad (III.3)$$

A partir de la figure III.6 représentant la régression linéaire sur les valeurs des concentrations (C) mesurées expérimentalement, nous déterminons les constantes de vitesse relatives à la dégradation de lycopène K_d .

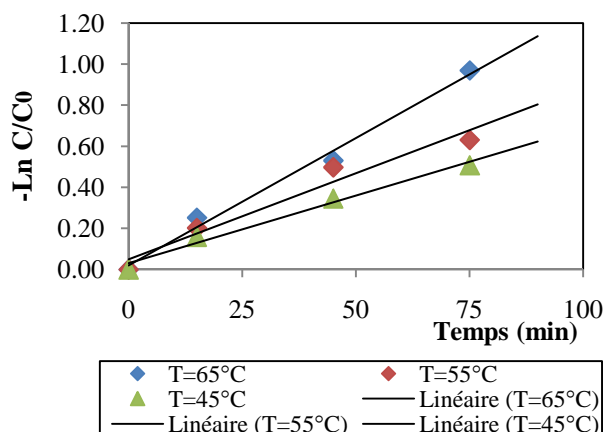


Figure III.6 : Modélisation de la dégradation de lycopène sous l'effet de séchage de la pelure de tomate.

La figure III.7 nous a permis de déduire le temps de réduction décimale correspondant à la dégradation de lycopène (D_c)

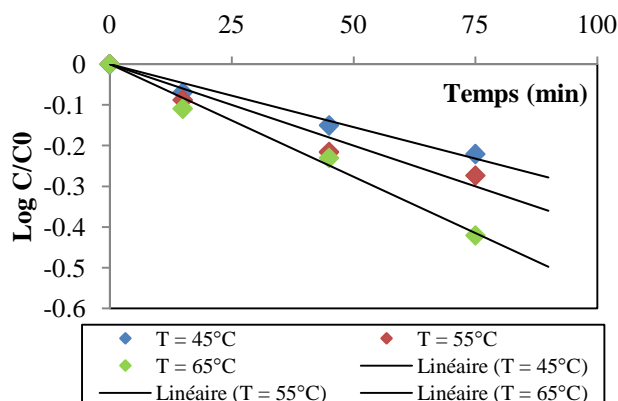


Figure III.7 : Détermination graphique du temps de réduction décimale de la dégradation de lycopène (D_c).

Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau III.2.

Tableau III.2 : Modélisation de la dégradation de lycopène au cours du séchage à différentes températures.

T (°C)	Modèle obtenu	Transformation sous forme $\log(C/C_0)=t/D_d$	R ²	K _d	D _d (min)
45	$\ln C = -0,006 + \ln C_0$	$\log(C/C_0) = t / 383,33$	0,983	0,006	383,333
55	$\ln C = -0,008 + \ln C_0$	$\log(C/C_0) = t / 287,500$	0,956	0,008	287,500
65	$\ln C = -0,012 + \ln C_0$	$\log(C/C_0) = t / 191,667$	0,990	0,012	191,667

D'après les résultats du tableau III.2, l'expression mathématique correspondant à la réaction chimique d'ordre (1) décrit convenablement (au vu des valeurs de R²) les données expérimentales relatives à la dégradation des concentrations de lycopène pendant le processus de séchage.

L'étude qui a été faite par **Lee et Chen., (2002)** a indiqué que la concentration en lycopène diminue avec l'augmentation du temps et de la température de séchage.

I.3. Influence de la température sur les deux critères de qualité étudiés

L'effet de la température sur la vitesse des deux transformations physiques (élimination de l'eau et dégradation de lycopène) peut être représenté par la valeur Z. Le tableau III.3 regroupe les résultats obtenus.

Les énergies d'activation sont obtenues à partir de la représentation graphique de la relation d'Arrhenius (figures III.8).

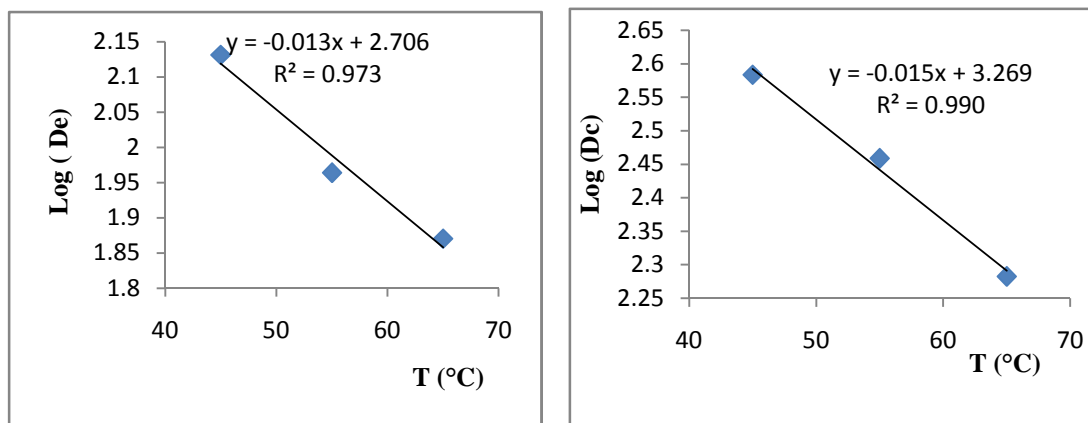


Figure III.8 : Détermination graphique de la valeur Z.

Tableau III.3 : Comparaison des différents paramètres cinétiques des deux critères : élimination d'eau et dégradation de la concentration de lycopène par le séchage.

T°C	Modèles obtenus		K _e . 10 ⁻²	K _d . 10 ⁻²	Ea _e (KJ/mol .K)	Ea _d (KJ/mol. K)	Z _e (°C)	Z _d (°C)
	Elimination d'eau	dégradation de la [C] de lycopène						
45	$\ln W = -0,017t + \ln W_0$	$\ln C = -0,006 + \ln C_0$	1,7	0,6	26,91	30,90	76,92	66,67
55	$\ln W = -0,025t + \ln W_0$	$\ln C = -0,008 + \ln C_0$	2,5	0,8				
65	$\ln W = -0,031t + \ln W_0$	$\ln C = -0,012 + \ln C_0$	3,1	1,2				

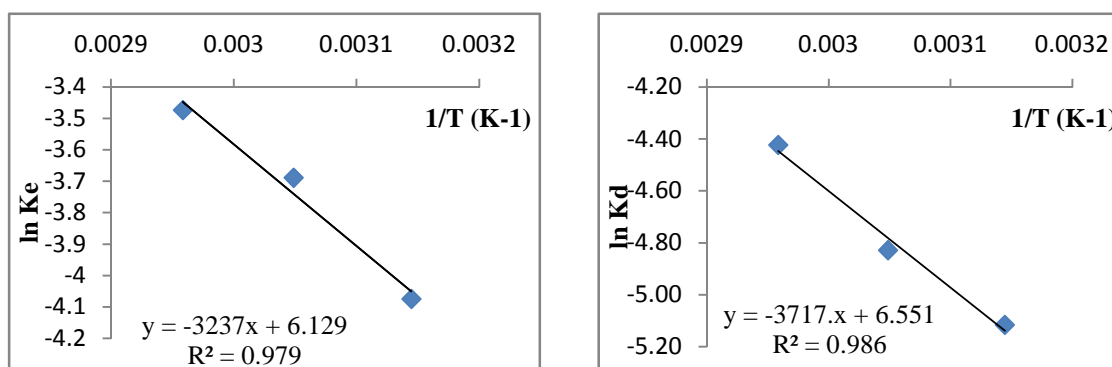


Figure III.9 : Détermination graphique de l'énergie d'activation Ea.

On voit clairement que le mécanisme de dégradation de lycopène est beaucoup plus sensible à la température que celui correspondant à l'élimination de l'eau de la pelure de tomate. Ainsi le rapport $Z_d/Z_e = 0,87$. L'énergie d'activation de l'élimination d'eau est inférieure qu'à celle de la dégradation de lycopène, soit un rapport $E_{a_d}/E_{a_e} = 1,14$.

En se basant sur les valeurs des énergies obtenues, il en résulte qu'en augmentant la température, on diminue la vitesse de la déshydratation et on augmente celle de la dégradation, car $E_{a_d} > E_{a_e}$.

I.4. Optimisation du processus du séchage de la pelure de tomate

Dans le cadre de cette étude, nous avons procédé à une nouvelle approche pour optimiser le processus du séchage de la pelure de tomate comme l'a rapporté **Trachiet *al.*, 2009** pour le cas du séchage du pollen.

La figure III.10 représente un abaque présentant un ensemble de couples temps- température permettant la satisfaction d'une série de conversions données. Il est obtenu à des (E) différentes pour les deux transformations, élimination d'eau (E_e) (lignes bleu et rouge) et dégradation de lycopène (E_d) (lignes noire et verte).

Nous rappelons que l'optimisation du séchage consiste à enlever le maximum possible d'eau de la pelure de tomate en minimisant le plus possible la dégradation de lycopène. Le taux d'humidité requis pour une bonne conservation de la pelure de tomate est de l'ordre de 9% (9g d'eau/100g Ms) (**Bogdanov, 2003 ; M.S.D.A, 2004**). En effet cette valeur, représentant le taux d'eau résiduel maximal dans la pelure de tomate, et est assurée par une efficacité $E_e = 1,46$ correspondant à l'ensemble des couples temps- température représenté sur l'abaque par la ligne bleu.

Concernant la dégradation de lycopène au cours du séchage, la valeur maximale souhaitée est obtenue par une E_d de l'ordre de 0,46 et qui correspond à la ligne verte représentant les lieux temps - température aboutissant au même effet de traitement. L' E_d maximale est obtenue en prenant la dégradation minimale possible, c'est la valeur d'absorbance critique (A_{cr}). Cette dernière représente le point à partir duquel la dégradation de lycopène pourrait être distincte.

D'après l'abaque (figure.III.10), le point (E_o) : $t = 135$ min ; $T = 55^\circ\text{C}$ est le point optimal. Ceci représente le traitement thermique qui permet d'abaisser le taux d'humidité au seuil égal (9%) tout en préservant au maximum la concentration de lycopène (sans dépasser l' A_{cr}).

Dans les limites des conditions de cet essai, nous pouvons exploiter cet abaque pour obtenir n'importe quelle conversion recherchée. Si par exemple nous voulons obtenir une pelure trop sèche (7%) il suffit de sécher le produit à 55° pendant 150min ou à 45°C pendant 225min.

Si on veut un produit plus ou moins humide (13%) on peut procéder à un traitement de $T=45^{\circ}\text{C}$ et $t=105$ min ou un traitement de $T=55^{\circ}\text{C}$ et $t=75$ min.

De même, l'obtention d'une pelure d'une concentration donnée peut être réalisée en utilisant cet abaque.

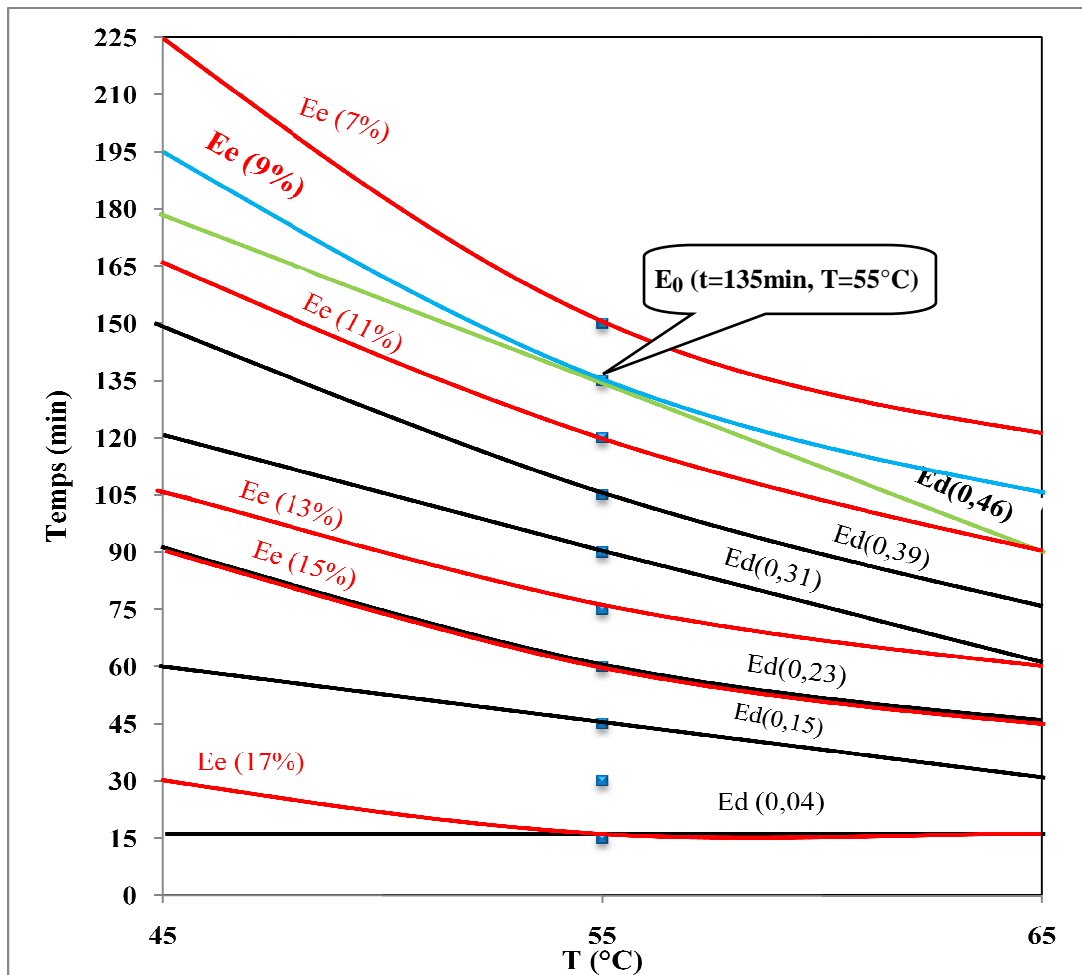


Figure III.10 :Optimisation du processus de la déshydratation de la pelure de tomate ; Abaque présentant l'ensemble des facteurs (temps-température) permettant de satisfaire une série de conversions données.

I.5. Caractérisation physico-chimique de pelure de tomate séchée

I.5.1. 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 tomates séchées est de 3,07g/100g. Comparativement à d'autres techniques de déshydratation, la PTS présente une bonne stabilité. Le séchage solaire offre également l'avantage d'une asepsie lors des essais d'incorporation.

I.5.2. pH et Acidité

Les pelures de tomates séchées présentent un pH acide de 4,8. Ce pH est préjudiciable aux bactéries mais approprié au développement de la flore fongique (Reynes *et al.*, 1994).

Cette acidité est étroitement liée à la composition biochimique de la tomate. L'acidité des PTS est de 5,18 g/100g, 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 (Okanlawon, 2002).

I.5.3. 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 séchée est de 8,78 % (MS), ce taux est largement supérieur à ceux trouvés par d'autres auteurs (3,1%) (Navarro-González *et al.*, 2011; Botsoglouet *al.*, 2004).

I.5.4. Teneur en protéines

La pelure de tomate sèche présente une teneur en protéine de 13,85 g/100g, elle est supérieure à celle rapportée par Knoblichet *al.*, (2005) (10,08 g/100g). Dans une autre étude, Botsoglouet *al.*, (2004) ont rapporté une valeur de 18,4g/100g.

I.5.5. Teneur en lipides

Comme pour les protéines, la teneur en lipides de pelure de tomate sèche étudiée est faible, elle est de l'ordre de 3,15 g/100g, une valeur tout à fait proche de celle de Knoblichet *al.*, (2005) (3,22g/100g).

A l'issue de ces résultats, on constate que la pelure de tomate sèche a une faible teneur en protéines brutes, en lipides, et en cendres. Plusieurs auteurs, Navarro-González *et al.*, (2011) ; Knoblichet *al.*, (2005) ; Botsoglouet *al.*, (2004), ont trouvé des teneurs élevées en fibres diététiques dans la pelure de tomate, et confirment sa richesse en composés complexes d'hydrates de carbone représentés par la fibre diététique.

I.5.6. Teneur en sucres totaux

Le taux de sucres totaux contenu dans la pelure de tomate séchée est de (3,87 g/100g). Le taux en sucres peut varier, il est lié à la réaction du brunissement non enzymatique (Georgeliset al., 2006 ; Mehdi Ghiafeh Davoodiaet al., 2006, Poretta et Sandei., 1990).

D'après Vitaglioneet al., (2008), les principaux sucres de la fibre de peau de tomate sont le mannose (38,56%), le galactose (16,17%), le xylose (15,38%), l'arabinose (15,16%), et le glucose (14,64%), ce qui indique que les hémicelluloses sont le polysaccharide prédominant de cette fibre.

Cependant, le contenu des acides uroniques, lié à la pectine et au SDF (fibres diététiques solubles), est très bas. Une quantité élevée d'IDF (fibres diététiques insolubles) dans la fibre de tomate pourrait être considérée comme un avantage, parce que les fibres diététiques insolubles peuvent être utilisées dans l'industrie alimentaire comme ingrédient pour augmenter les composés insolubles non digestibles (Vitaglioneet al., 2008).

I.5.7. Le résidu sec soluble

La pelure de tomate séchée, présente un résidu sec soluble de 46,93 %, correspondant à un indice de réfraction de 2,25. La mesure des teneurs en extrait sec soluble des pelures de tomates ont montré un taux de solubles comparable à celui des pelures de tomates 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.

I.5.8. Teneur en minéraux

Les teneurs en éléments minéraux des pelures de tomate sèche sont représentées dans le tableau III.4.

Tableau III.4 : Teneur en éléments minéraux des pelures de tomate, (en mg/100 g MS)

Minéraux	Teneur en mg/100gMS
Macroéléments	
Potassium	1200
Calcium	155,10
Magnésium	138,56
Sodium	358,33
Phosphore	245,46
Oligoéléments	
Zinc	4,08
Cuivre	1,32

La composition minérale de la pelure de tomate séchée (le tableau III.4) indique que les principaux éléments sont K, Mg, Ca, P et Na. Ces résultats montrent que la pelure de tomate pourrait être considérée comme une source de K, Mg, et Ca, ainsi qu'en Na. Cependant, sa teneur en Fe et Zn est considérée comme faible.

Le potassium est l'élément prédominant dans la pelure de tomate séchée, sa teneur est de 1200mg/100g, malgré qu'elle soit très importante, elle reste inférieure à la valeur trouvée par **Knoblichet al.,(2005)** (2830 mg/100g). Cependant, une valeur inférieure à celle trouvée dans la présente étude (1125 mg/100g) a été signalée par **Navarro-González et al.,(2011)**.

Cet élément minéral est le principal cation du liquide intracellulaire, il joue un rôle dans la transmission des influx nerveux et la contraction musculaire(**Tortora et al.,1987**).

Le calcium se retrouve dans les pelures de tomate avec une teneur de 155,10 mg/100g, cette valeur est proche à celle trouvée par **Knoblichet al.,(2005)**, et elle est supérieure de celle **Navarro-González et al., (2011)**. Les apports journaliers conseillés sont de l'ordre de 800mg pour les adultes et de 1000 à 1400 mg pour les personnes âgées(**Dupinet al., 1992**).

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 (**Dupinet al., 1992**). La teneur en magnésium dans les pelures de tomate est de 138,56 mg/100 g. Cette valeur est proche de celle trouvée par **Knoblichet al.,(2005)**, et elle est inférieure à celle trouvée par **Navarro-González et al., (2011)**.

Le sodium se retrouve dans la pelure de tomate séchée à une teneur de 358,53mg/100g. Cette valeur est supérieure de celle trouvée par **Navarro-González et al.,(2011)**(78,33 mg/100g), et elle est très loin de celle signalée par **Knoblichet al., (2005)**.

D'un point de vue nutritionnel, le faible rapport de Na/K dans la fibre diététique de pelure de tomate est intéressant, car la faible teneur en sodium présent dans le fruit de tomate, a été suggéré comme étant un facteur protecteur contre les maladies cardio-vasculaires(**Navarro-González et al., 2011**).

En outre, cette propriété est intéressante d'un point de vue nutritionnel, car la fibre de tomate pourrait être employée comme supplément dans des aliments, et elle n'augmente pas la teneur en minéraux des aliments d'une manière significative (**Navarro-González et al., 2011**).

I.5.9. Propriétés de la couleur

En ce qui concerne l'indice de couleur, le rapport (a^*/b^*) enregistré est souvent fortement corrélé avec la teneur en lycopène, et la prise des mesures de la rougeur du fruit se fait sur les peaux de tomate (**Kerkhofs, 2005**).

Tableau III.5 : Les résultats de l'indice de couleur des PTS

Couleur			
L*	a*	b*	c*
60,45	19,28	23,85	30,67

La valeur moyenne de couleur rouge (a^*) des pelures de tomates séchées est semblable aux valeurs obtenues pour des tomates fraîches en étape de maturité (Sandei, 2007). Le deuxième composant chromatique (b^*) présente une valeur positive, (mesure de la couleur jaune). La valeur moyenne du rapport de a^*/b^* indique que les pelures ont été extraites d'une tomate rouge de bonne maturité. Les indices de couleur, tels que le rapport a^*/b^* , et l'indice de saturation C^* , augmentent significativement lors de l'étape de maturation.

I.5.10. Composés phénoliques

Le contenu total en composés phénoliques de peau de tomate est de $52,82 \pm 0,006$ mg/g. Ce taux est plus élevé que celui rapporté par Navarro-González *et al.*, (2011) soit de 158,1 mg GAEL/100 g.

Navarro-González *et al.*, (2011), montrent que la fibre de peau de tomate a plusieurs flavonoïdes avec des effets bénéfiques pour la santé des personnes. Par exemple, la rutine diminue le risque de maladies cardiaques et hépatiques et baisse nettement le taux des triglycérides (García-Fernández *et al.*, 2010), et elle a été suggérée qu'elle a des propriétés anti-inflammatoires (Guardia *et al.*, 2001). La naringénine a été suggérée en tant qu'antioxydant, un anti-inflammatoire, et un régulateur de métabolisme.

I.5.11. Teneur en β -carotène

La concentration du β -carotène contenue dans la PTS utilisée dans la présente étude est de $29,48 \pm 1,28$ μ g/g, elle est proche de la valeur $29,6 \pm 3$ μ g/g du poids sec rapporté par d'autres auteurs Baysalet *al.*, (2000) et supérieure à celle trouvée par Botsoglouet *al.*, (2004) ($24,3 \pm 2,6$) mg/kg.

Des caroténoïdes ont été montrés dans certains nombres d'études pour être capables d'agir en tant qu'antioxydants pour piéger les radicaux libres.

Le β -Carotène neutralise les radicaux de peroxyde en formant un additif entre le β -carotène et le radical de peroxyde, rapportant une résonance stabilisée du radical de caroténoïde, et non pas le don d'un atome d'hydrogène en tant qu'antioxydants phénoliques (Burton *et al.*, 1984) D'autre part, la qualité de lycopène s'est avérée deux fois plus grande que celle du β -carotène et 10 fois plus grande que celle de α -tocophérol, ce qui rend sa présence dans les aliments d'un intérêt considérable (Devasagaya *et al.*, 1995 ; Di Mascio *et al.*, (1989, 1991)).

I.5.12. Teneur en lycopène

Les déchets produits pendant la transformation de tomates sont obtenus sous forme de graines et des résidus de peau, ce qui pourrait fournir une source utile du lycopène (**Choudhari ; Ananthanarayan., 2007**).

Il est bien connu que le taux d'extraction augmente avec le temps de contact (**Laporniket al., 2004**). Le lycopène contenu dans la pelure de tomate sèche, est extrait par macération à l'aide d'un solvant assistée par une agitation. La teneur en lycopène mesurée par spectrophotométrie UV-visible est de l'ordre de $112,460 \pm 69,60$ mg/100g. On constate qu'avec la macération, l'extraction de ce caroténoïde a été satisfaisante.

Selon **Navarro-González et al., (2011)**, une quantité résiduelle de lycopène reste dans l'échantillon, parce que la pelure de tomate a continué à montrer une couleur rouge suite à l'extraction avec de l'hexane.

Ces résultats suggèrent qu'il ya lieu d'améliorer l'extraction du lycopène de la pelure de tomate, et un traitement plus fort est requiert, comme l'extraction liquide supercritique (**Rozzi et al., (2002)**) ou anhydride carbonique supercritique (**Topalet al., 2006**).

Al-Wandawi (1985), a signalé une teneur du lycopène de 12 mg/100g dans la peau de tomates utilisées pour la transformation en Irak. Alors que **Sharma et Le Maguer (1996)** ont rapporté une valeur de 54 mg/100g dans la peau des tomates provenant de Canada. **George et al., (2004)** ont signalé que la teneur en lycopène varie de 5 à 14 mg/100g dans la peau des tomates cultivées en Inde.

La variation de la teneur en lycopène de la tomate obtenue dans différentes parties du monde est probablement due à des différences dans leurs conditions de croissance. Il a été rapporté que les tomates cultivées en plein champs contiennent des niveaux élevés de lycopène allant de 5,2 à 23,6 mg/100 g, tandis que les tomates cultivées sous serre contiennent moins de lycopène allant de 0,1 à 10,8 mg/100g. Le cultivar et la phase de maturation de la tomate peuvent également affecter le taux de lycopène et d'autres antioxydants. Ces facteurs tiennent compte de la variation du taux du lycopène signalé dans différentes études (**Toor ; Savage., 2005**).

Dans d'autres études, **Rozzi et al., (2002)** ; ont constaté que la pelure et les graines de tomate contiennent 24,5 µg de lycopène/g de poids sec, tandis que **Baysalet al., (2000)** ; ont trouvé 310 µg du lycopène/g du poids sec, quant à **Botsoglou et al., (2004)** ont signalé une teneur en lycopène de $281,0 \pm 10,4$ mg/kg du poids sec.

D'autre part, la concentration de lycopène dans la PTS, bien qu'elle soit élevée, elle reste inférieure à celle déterminée par la présente étude. **Cadoniet al.,(2000)** ; rapportent que la pelure et les graines de tomate contiennent 778 µg du lycopène/g du poids sec.

Les raisons de ces anomalies, pourraient être attribuées à une variabilité élevée dans la teneur en lycopène des fruits de tomate utilisés pour le traitement. Normalement, les tomates contiennent ~ 3-5 mg du lycopène/100g de matière première. Cependant, quelques variétés rouge foncé contiennent plus de 15mg/100g de fruits crus, tandis que les variétés jaunes contiennent seulement ~ 0.5 mg /100 g de tomates (**Hartet al., 1995**). Beaucoup de facteurs y compris la maturité, le cultivar, et la chaleur peuvent affecter la concentration de lycopène contenu dans le fruit de tomate (**Thompson et al., 2000 ; Sharma et al.,1996**).

Le spectre UV-visible de la pelure de la tomate séchée (figure III.11) permet d'identifier ses composants majeurs (composés phénoliques et caroténoïdes) en se référant à l'étude réalisée par **Chanforan, (2011)**.

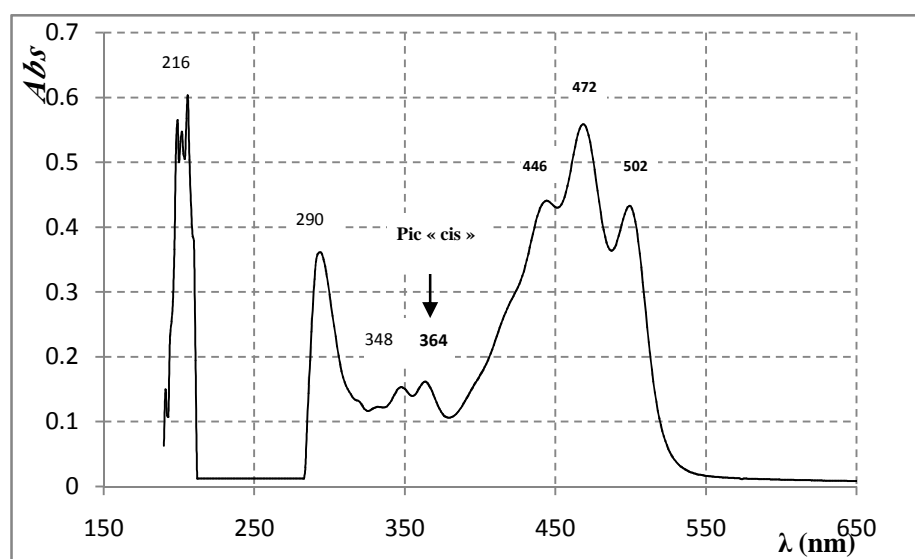
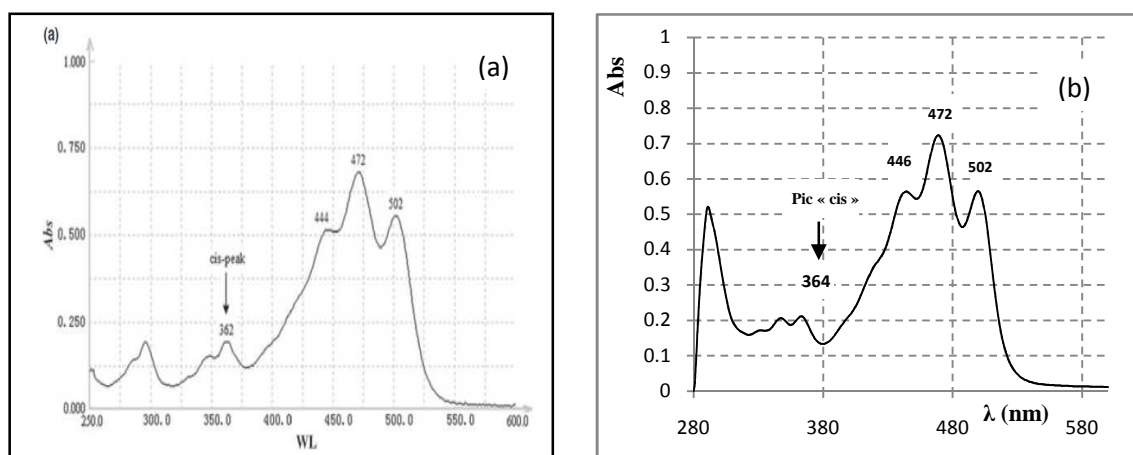


Figure III.11 : Spectre UV-visible des caroténoïdes de la pelure de tomate séchée.

Sachant que le lycopène est le caroténoïde prédominant dans la pelure de tomate séchée, nous avons exploité la gamme caractéristique de lycopène montrée par le spectre **(b)**(figure III.12).



(Honest ; Kessyet *al.*, 2010)

Figure III.12 : Spectres UV-Visible du lycopène (a) théorique, (b) expérimental

Le spectre UV-visible obtenu pour le lycopène contenu dans la pelure de tomate sèche, est semblable à celui donné dans la littérature (voir figure III.12). Le spectre (b) fait apparaître trois bandes caractéristiques d'absorption maximale de lycopène à 446, 502, et 472 nm, cette dernière étant la longueur d'onde d'absorption maximale.

La peau de tomate est donc, une source riche en lycopène, car elle contient environ 5 fois plus de lycopène que la pulpe entière de tomate (Botsoglouet *al.*, 2004). Par conséquent, la PTS peut être une source importante des antioxydants naturels pour l'industrie alimentaire.

I.6. Analyse spectrale de la pelure de tomate par spectrophotométrie infrarouge

La technique d'analyse par infrarouge est une méthode d'analyse structurale qui révèle la nature des liaisons entre atomes dans une molécule. Le spectre d'analyse de la poudre de tomate sèche donné par spectrophotomètre FTIR est illustré dans la figure III.13.

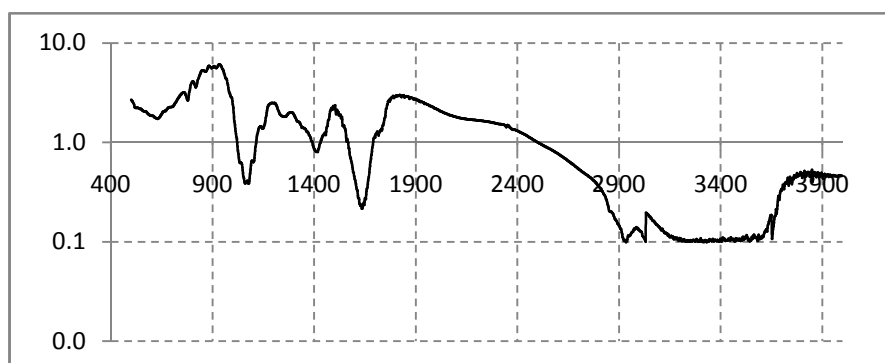


Figure III.13 : Spectre infrarouge de pelure de tomate sèche

Le spectre IR (Figure III.13) donné par (T) en fonction de nombre d'onde (entre 400 et 4000 cm^{-1}) nous a permis d'identifier les différents groupements fonctionnels présents dans la pelure de tomate séchée et qui sont récapitulés dans le tableau III.6.

Tableau III.6 : Principaux composés identifiés dans la pelure de tomate séchée

Fréquences (cm ⁻¹)	Liaison	observation
783	C-H	Hydrocarbure aromatique mononucléaire.
820	C-H	Hydrocarbure aromatique mononucléaire.
1080	C-O	Alcool primaire
1386	C-H	Hydrocarbure aliphatique à chaîne ramifiée.
1425	C-H	Groupe méthyle situé en α du groupe carbonyle cétonique.
1620	C=C	Hydrocarbure éthylénique. Conjugaison de C=C avec un noyau aromatique.
1639	C=O	β -dicétone. bande large. cyclisation probable par liaison hydrogène intermoléculaire.
1654	C=C	Diènes conjugués dépourvus de centre de symétrie.
3300-3500	N-H	Deux bandes l'une symétrique et l'autre asymétrique des amines primaires.

I.6. Analyse par microscope électronique à balayage de la pelure de tomate

L'analyse de la poudre de pelure de tomate par microscope électronique à balayage, a fait apparaître la microstructure illustrée par la figure III.14.

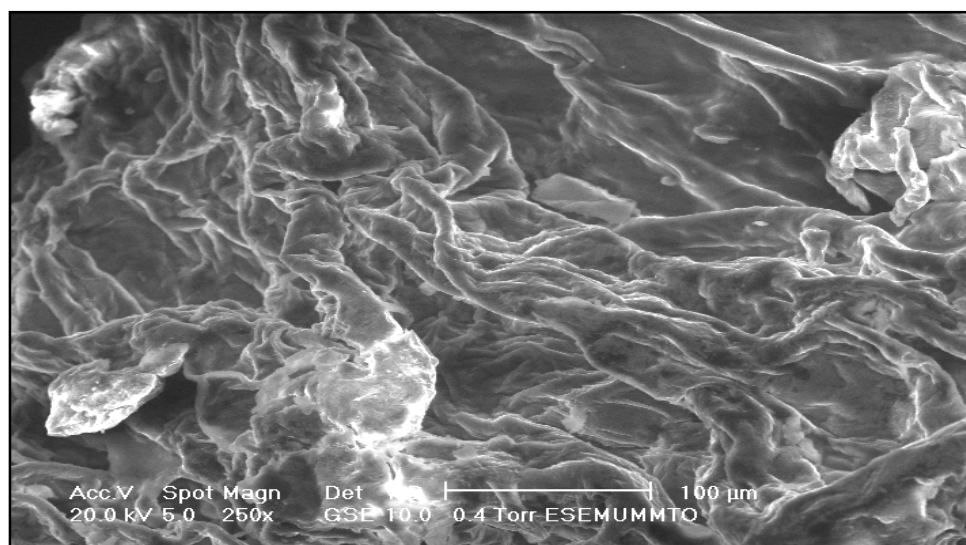


Figure III.14 : Microstructure de pelure de tomateséchée obtenuepar microscope électronique à balayage

Différentes variantes ont été observées dans la composition physico-chimique de la pelure de tomate séchée qui pourraient être dues à plusieurs facteurs, notamment l'origine de la ferme (région), les conditions du sol et de l'utilisation d'engrais, l'irrigation, variété de tomate, le mûrissement, conditions de traitement des tomates ainsi que de nombreux autres facteurs liés au processus de séchage.

2^{ème} Partie

L'œuf

II. Œuf

II.1. Performances de croissance de la population étudiée

L'élevage des poules, la préparation du régime et la production des œufs multi-enrichis ont été réalisés au niveau d'une coopérative agricole « MEDJKANE », spécialisée dans l'élevage des poules pondeuses avec un effectif de 17000 poules, au niveau de la commune des Ouadhias, wilaya de Tizi-Ouzou.

L'expérimentation animale s'est déroulée du mois d'Août jusqu'au début du mois de septembre pour une période de 22 jours.

L'âge des poules utilisées dans la présente étude est de 41 semaines, elles sont toutes issues de l'élevage de la souche LOHMANN BROWN-CLASSIC.

Les objectifs attendus de cette expérience sont, en premier lieu la valorisation d'un sous produit agroalimentaire de haute valeur biologique qui est la pelure de tomate, par la suite, nous avons étudié l'effet de la supplémentation diététique en pelures de tomates séchées sur les performances zootechniques des poules pondeuses ainsi que l'effet sur les qualités nutritionnelles, fonctionnelles et organoleptiques des œufs ainsi enrichis.

II.1. 1. Effectif et conditions d'élevage

Dans le cadre de cette étude, 20 poules sont élevées dans des cages en batterie, dans le même bâtiment en dur et obscure, ventilé mais non climatisé.

Elles sont élevées sous des lampes chauffantes. La température de l'ambiance est réglée automatiquement à $21\pm 4^{\circ}\text{C}$ suivant le comportement des poules sous la lampe. L'éclairage quotidien est maintenu en continu pendant 16 heures.

II.1.2. Alimentation et prophylaxie

Les poules ont été réparties, selon leurs poids corporels initiaux, en cinq groupes. Chaque groupe est composé de quatre poules et logé dans une cage.

Pour répondre aux exigences nutritives d'élevage des poules, un régime témoin de base entièrement végétal a été formulé, il est composé de, maïs, tourteau de soja, du blé concassé, des vitamines et de minéraux (tableau III.7).

La diète de base a été donnée à l'un des groupes, qui va servir de lot témoin. Les diètes données aux quatre autres groupes sont composées de la diète de base supplémentée avec la pelure de tomate séchée à différents taux: 40, 70, 100 et 130 g/Kg.

L'alimentation en eau potable a été offerte *ad libitum*, tandis que les procédures conventionnelles d'élevage et de gestion sont appliquées tout au long de la période d'alimentation qui a duré 22 jours. Les poules ont été manipulées selon les principes de soin des animaux dans l'expérimentation.

II.1.3. Ingrédients et composition des diètes des poules

Les ingrédients et la composition chimique du régime de base destiné aux poules pondeuses sont récapitulés au tableau III.7.

Tableau III.7 : Ingrédients et composition chimique du régime destiné aux poules pondeuses (Mansoori *et al.*, 2008)

Composition (g/kg)					
Ingrédients	Diète contrôle	Diète avec 4% de PTS	Diète avec 7% de PTS	Diète avec 10% de PTS	Diète avec 13% de PTS
Maïs	540	540	540	540	540
Soja	230	200	215	185	175
Son du blé	125	115	80	70	50
PTS	00	40	70	100	130
Calcaire	80	80	80	80	80
Phosphore	15	15	15	15	15
CMV	10	10	10	10	10
Composition chimique (% MS)					
Protéines	18,03	18,07	18,11	18,10	18,05
Lipides	2,69	2,71	2,67	2,69	2,67
MS	89,98	89,95	89,98	89,96	89,98
Cendres	10,88	10,93	10,88	10,92	10,88

Les régimes ont été formulés selon les besoins nutritionnels de poules pondeuses et équilibrés, pour répondre à toutes les autres exigences en éléments nutritifs des oiseaux.

II.1.4. Performances zootechniques de la volaille

Durant la période d'expérimentation de 22 jours, certains paramètres zootechniques ont été déterminés:

- les poids vifs de poules enregistrés chaque cinq jours ;
- la consommation d'aliment enregistrée quotidiennement ;
- le nombre d'œufs pondus et leurs poids dans les différents lots sont également relevés quotidiennement ;
- la mortalité a été estimée en fin de période d'élevage.

II.1.4. 1. Poids des poules

L'évolution du poids corporel moyen des poules enregistré en une période de cinq jours, montre que ce paramètre suit la même allure jusqu'au 15^{ème} jour, puis il tend à diminuer vers le 22^{ème} jour, à l'exception du lot témoin où nous avons enregistré une augmentation du poids des poules. On peut conclure donc, que la supplémentation en pelure de tomate dans l'aliment à différents taux a montré un effet bénéfique sur les performances de poules.

L'évolution du poids corporel des poules au niveau des différents lots est donnée dans la figure III.15.

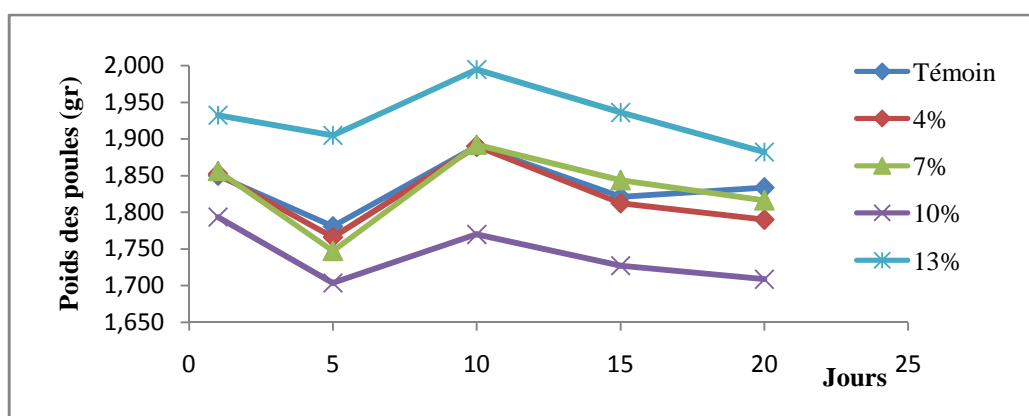


Figure III.15 : Evolution du poids corporel moyen de la volaille durant la période d'élevage.

Globalement, le poids des poules n'a pas enregistré une diminution comparativement au poids initiaux de poules, et donc la croissance des poules n'est pas affectée par l'incorporation de PTS dans la diète.

Au 5^{ème} jour nous avons enregistré une baisse de poids de 4,65%, 5,87%, 5,01% et de 1,42%, respectivement dans les lots supplémentés en PTS à 4%, 7%, 10% et 13%. En revanche au 10^{ème} jour d'élevage, nous avons enregistré une augmentation de poids corporel de 7%, 8,26%, 3,86% et de 4,72% correspondant aux lots de 4%, 7%, 10% et 13%. A la fin de la période d'élevage, nous avons relevé une stabilité du poids des poules.

Sahin et al., (2006) ont signalé que les performances de la volaille, à savoir le gain en poids vif, l'efficacité d'alimentation et les caractéristiques des carcasses ont été améliorées par la supplémentation en lycopène à des doses de 50, 100 et 200 mg/kg de régime.

La variation du poids corporel des poules est corrélée avec la variation de l'indice de consommation d'aliment ainsi que les conditions environnementales de l'ambiance durant la période d'élevage. Dans ce contexte **Ensminger et al., (2000)**, ont rapporté que le taux de croissance et l'efficacité d'alimentation diminuent à haute température environnementale (>18 et 22°C) pour les cailles japonaises).

D'après Siegel, (1995) cette dernière est un facteur de stress qui induit une cascade d'événements neural et hormonal qui s'accompagnent par une augmentation de la production et sécrétion des corticostéroïdes, principalement corticosterone chez les oiseaux.

Les concentrations élevées des glucocorticoides exercent des effets cataboliques, qui font diminuer le taux d'assemblage, qui auront ainsi comme conséquence déficit et retardement dans la croissance du muscle (Odedra *et al.*, 1983 ; Higuchi *et al.*, 1996 ; Hayashi *et al.*, 1992). Ainsi les facteurs de stress ont des influences significatives sur la production de viande chez les poulets à rôtir.

Le retardement de croissance dans les groupes soumis à un stress est probablement dû à une diminution de synthèse de protéines musculaires et à la protéolyse élevée dans le muscle (Hayashi *et al.*, 1994). La protéolyse du muscle pourrait être le résultat des dommages des protéines musculaires provoquées par l'oxygène actif (Hunt *et al.*, 1988) et ceci peut être rompu par la supplémentation de lycopène dans la ration. Leal *et al.*, (1999) ont signalé que les poulets à rôtir qui ont été exposés aux mycotoxines ont montré une diminution de poids corporels, de prise d'alimentation, et d'efficacité d'alimentation ; ces diminutions ont été réduites par la supplémentation en lycopène.

Parallèlement aux résultats de la présente étude, Jain *et al.*, (1999) ont rapporté que la prise d'alimentation et le poids vif n'ont pas été affectés par la supplémentation de lycopène chez le rat aux conditions de température ambiante.

II.1.4.2. Indice de consommation d'aliment

Les indices de consommation relevés au cours de la période d'élevage des poules sont récapitulés dans le tableau III.8.

Tableau III.8 : Indice de consommation d'aliment par les poules dans les différents lots

Indice de consommation (%)					
Lots Jours	0%	4%	7%	10%	13%
1 ^{er} jour	93,75±0,1	89,58±0,4	94,79±0,3	84,38±0,2	94,79±0,3
7 ^{ème} jour	95,39±0,2	96,28±0,2	94,20±0,1	95,83±0,2	95,83±0,2
14 ^{ème} jour	96,13±0,2	96,80±0,1	95,24±0,2	96,83±0,1	96,13±0,3
22 ^{ème} jour	97,00±0,1	96,90±0,3	96,24±0,3	97,51±0,2	96,71±0,1

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que durant la première semaine d'expérimentation, la consommation d'aliment est augmentée dans tous les lots, excepté le lot supplémenté à 7% en pelure de tomate séchée qui a enregistré une légère diminution.

A partir de la deuxième et troisième semaine, nous avons enregistré une augmentation remarquable de l'indice de consommation d'aliment dans tous les lots.

Ceci montre que, la supplémentation en PTS dans l'aliment de poules n'a pas d'influence sur l'indice de consommation comparativement au lot témoin.

Globalement, l'indice de consommation enregistré dans la présente étude varie de 96,24% à 97,51%, ces résultats sont relativement élevés par rapport à ceux rapportés par **Monsoori et al., (2008)**, où l'incorporation de purée de tomate sèche dans l'aliment des poudeuses à 50 et 100 g/kg, l'indice de consommation d'aliment n'a pas dépassé les 91,6%.

II.1.4.3. Intensité de ponte

Selon **Christians, (2002)** plusieurs facteurs peuvent moduler le nombre d'œufs pondus, comme les conditions physiques de la femelle ou la nourriture disponible.

Garcia-Fernandez, (2009) a rapporté que, les indices les plus classiquement observés pour déterminer la qualité d'une ponte sont le nombre d'œufs pondus et leurs poids.

Les performances de ponte exprimées par le rapport du nombre d'œufs pondus et le nombre de poules de départ, sont représentées dans le tableau III.9.

Tableau III.9 : Evolution du taux de ponte relatif à chaque lot au cours de la période d'élevage

Lots K (jours)	TPPD (%)				
	0%	4%	7%	10%	13%
1	100,00	100,00	75,00	100,00	100,00
7	96,43	100,00	78,57	100,00	89,29
14	96,43	100,00	82,14	100,00	89,29
22	97,73	100,00	88,64	98,86	90,91

TPPD : taux de ponte des poules (en %) par poule de départ.

Les performances de ponte ne sont pas affectées par l'incorporation de pelure de tomate sèche dans l'aliment de poudeuses, où le taux de ponte est de 100% au niveau de lot 4%.

Du premier au dernier jour de l'expérimentation, nous avons enregistré une augmentation de l'intensité de ponte de 13,64% dans le lot 7%, et une diminution au niveau des lots témoin, 10%, et 13%.

Globalement l'intensité de ponte en fin de période expérimentale est donnée par l'ordre décroissant suivant : IP lot4% > IP lot 10% > IP lot témoin > IP lot13% > IP lot7%.

Ce résultat pourrait être lié à la variation de l'intensité lumineuse et aux entrées de lumière parasite. Aussi, cela peut être lié au taux d'augmentation du poids des œufs durant la période expérimentale où nous avons remarqué que plus le gain de poids des œufs augmente, plus l'intensité de ponte diminue.

Dans l'étude réalisée par **Knoblich et al., (2005)** le taux de production d'œufs et la consommation d'aliments ne sont pas affectés au cours de l'expérimentation de deux semaines.

L'étude menée par **Gawande et al., (2007)**, a montré qu'après avoir atteint la maturité sexuelle, la poule locale de différentes régions et communautés d'Assam pond $11,18 \pm 0,48$ à $15,49 \pm 0,45$ œufs en espace d'environ d'un mois. Cette étude a révélé que les volailles de Nagaon ont pondu plus d'œufs (cycle de ponte) que ceux de Kamrup et Sibsagar, ce qui peut être dû à une maturité sexuelle précoce chez la poule locale de Nagaon.

II.2. Caractérisation physico-chimique de l'œuf multi-enrichi

II. 2.1. Caractérisation physique

▪ Calibre des œufs

Les dimensions moyennes des œufs de poule des différents lots sont résumées dans le tableau III.10.

Tableau III.10 : Développement du calibre moyen des œufs

LOTS	0%		4%		7%		10%		13%	
	GA	PA	GA	PA	GA	PA	GA	PA	GA	PA
1^{er} jour	57,05	45,98	56,04	45,18	56,55	45,36	55,62	44,99	57,4	43,5
7^{ème} jour	57,21	42,32	56,73	46,17	56,18	45,61	56,94	44,05	58,4	44,90
14^{ème} jour	58,15	45,04	57,85	44,88	56,39	45,32	54,94	44,08	58,33	43,76
22^{ème} jour	58,29	42,71	57,55	44,69	58,02	45,02	56,77	43,92	58,57	44,18

D'après ces résultats, nous constatons qu'il n'y a pas de différence remarquable du calibre des œufs entre les différents lots. Les valeurs moyennes enregistrées au cours de cette période d'élevage varient de 5,5 à 5,8 cm pour le GA et de 4,2 à 4,6 pour le PA. Ces valeurs sont en concordance avec celles données dans la littérature.

▪ Poids des œufs

Sachant que le poids des œufs peut varier selon la composition et la quantité d'aliment consommée par la poule. La figure III.16 illustre le développement de poids des œufs dans les différents lots.

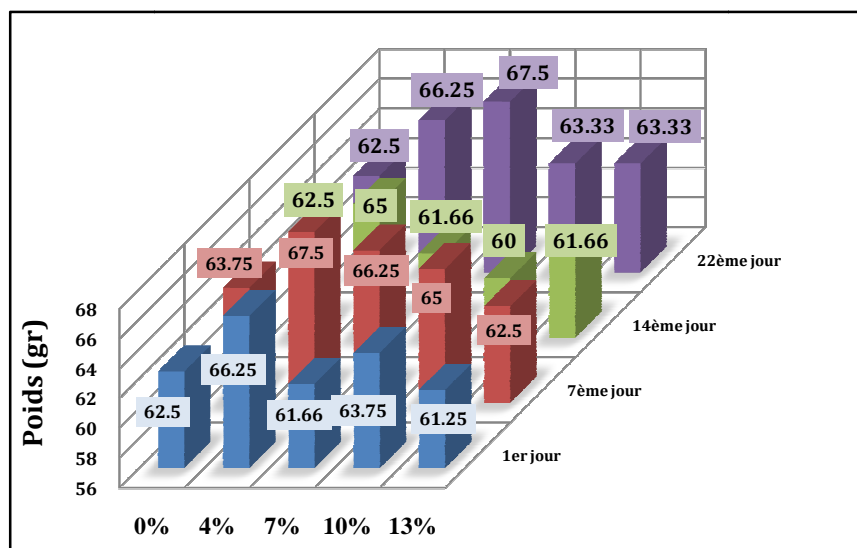


Figure III.16 : Evolution du poids moyen des œufs durant la période d'élevage.

Le poids moyen des œufs enregistré du 1^{er} au 22^{ème} jour d'élevage des poules varie alternativement. Au 22^{ème} jour, les lots témoin et 4% ont gardé le même poids.

En revanche, les poids des œufs correspondant aux lots 7% et 13% ont augmenté, les œufs du lot 10% ont enregistré une légère diminution de poids passant de 63,75 à 63,33g.

D'après les résultats montrés dans la figure III.16, le gain du poids moyen des œufs de différents lots peut être classé selon cet ordre:

$$\text{GP lot7\%} > \text{GP lot 13\%} > \text{GP Témoin} = \text{GP lot4\%}.$$

Le gain de poids est estimé à 9,4% et 3,3% respectivement dans les lots supplémentés à 70 et 130 g/kg de PTS.

Dans la présente étude, les poids des œufs enrichis en pelure de tomate en particulier à 7%, sont nettement plus élevés que ceux rapportés dans l'étude réalisée par **Mansoori et al., (2008)** sur des poules alimentées avec une ration enrichie avec la purée de tomate sèche (5 et 10%), où les poids respectifs sont de l'ordre de 63,3 et 64,4g.

Globalement, la supplémentation en PTS dans l'aliment de poules, a amélioré la qualité des œufs ainsi enrichis, cela signifie que la souche sélectionnée dans cette étude a répondu positivement et s'est facilement adaptée avec la nouvelle formulation.

Dans ce contexte, **Mojca Simčič et al., (2008)**, ont rapporté que le poids des œufs peut varier d'une souche à une autre, pour les poules Styrian le poids des œufs est de $53,1 \pm 1,3$ g et il est de $63,5 \pm 4,6$ g pour la souche Isa Brown. Ainsi, le poids du jaune d'œuf varie de $16,4 \pm 1,6$ g pour la souche styrian et $15,9 \pm 2,0$ pour la souche Isa Brown.

▪ Poids des composants de l'œuf

Les résultats des poids moyens des composants de l'œuf enregistrés du 1^{er} au 22^{ème} jour, montrent que les parts relatives de l'œuf sont représentées par le blanc qui est le composant majoritaire, suivi du jaune, la plus faible part est représentée par la coquille (tableau III.11).

Tableau III.11 : Poids des composantes de l'œuf des différents lots (gr)

Lots	Jours	1 ^{er} jour	7 ^{ème} jour	14 ^{ème} jour	22 ^{ème} jour
Lot 0%	Jaune	17,724±0,15	17,714±0,20	16,012±1,02	16,980±0,37
	Blanc	39,484±0,78	40,181±1,04	37,266±0,64	40,983±0,28
	Coquille	8,291±0,32	8,530±0,14	8,204±0,19	8,137±0,45
Lot 4%	Jaune	18,129±1,08	18,877±0,76	17,682±0,31	17,447±0,54
	Blanc	36,068±0,78	38,750±0,48	36,990±0,39	37,436±1,16
	Coquille	8,205±0,30	7,845±0,16	7,516±0,35	7,739±0,18
Lot 7%	Jaune	16,894±0,85	17,095±1,01	16,986±0,36	16,665±0,47
	Blanc	34,450±0,86	36,247±1,08	35,535±0,69	39,860±1,67
	Coquille	7,447±0,18	7,190±0,24	8,174±0,15	8,009±0,38
Lot 10%	Jaune	16,354±0,66	17,589±0,69	15,536±0,10	15,176±0,12
	Blanc	34,347±1,75	35,397±0,54	35,130±0,63	36,326±0,73
	Coquille	7,446±0,47	7,678±0,16	7,148±0,29	7,635±0,24
Lot 13%	Jaune	17,281±1,02	20,380±0,11	17,724±0,80	19,590±1,77
	Blanc	33,141±0,57	34,767±1,13	36,141±0,49	35,725±1,14
	Coquille	7,611±0,38	7,72±0,34	7,531±0,27	7,682±0,67

• Poids de la coquille

La coquille de l'œuf contribue à l'embryogenèse de plusieurs façons. Son rôle le plus évident est la protection mécanique de l'œuf. Elle permet aussi les échanges d'air et d'eau et fournit, avec le jaune d'œuf, le calcium nécessaire au bon développement du squelette, des muscles et du cerveau (Karlssona & Lilja., 2008).

Le poids de la coquille enregistré durant la période expérimentale varie de 8,13 à 8,53 pour le lot témoin. Suite à la supplémentation de l'aliment de poules avec la PTS à différents taux, les poids de la coquille sont comparables à ceux du lot témoin, pour le lot 4%, le poids enregistré en fin de la période expérimentale (7,73g) a été réduit par rapport au poids enregistré en début d'expérimentation qui était de 8,20g.

Dans le lot enrichi à 7% en PTS, le poids de la coquille est augmenté par rapport au poids enregistré au début de l'expérimentation, il est de 7,44g au premier jour puis il passe à 8,17g au 14^{ème} jour qui représente le poids le plus élevé enregistré parmi les lots supplémentés en PTS.

Au taux d'incorporation de 10%, le poids de la coquille enregistré sur quatre périodes de mesure, est inférieur à celui relevé dans le lot témoin, les poids maximum ont été relevés aux 7^{ème} et 21^{ème} jour de l'expérimentation, qui sont de 7,678 et 7,6351g respectivement.

Au taux d'incorporation de 13%, les poids de la coquille demeurent inférieurs à ceux du lot témoin et du lot 7%, et ils sont comparables à ceux enregistrés dans le lot supplémenté à 10%.

- **Les caractéristiques physiques de la coquille**

Les caractéristiques physiques des coquilles de différents lots sont montrées dans le tableau III.12.

Tableau III.12 : Les caractéristiques physiques de la coquille

Paramètres Lots	Surface (cm ²)	Index de solidité (g/100cm ²)	Epaisseur de la coquille (mm)	Surface (cm ²)	Index de solidité (g/100cm ²)	Epaisseur de la coquille (mm)
	1^{er} jour			7^{ème} jour		
0%	74,28±0,57	11,08±0,17	0,47±0,02	75,27±0,58	11,17±0,26	0,47±0,02
4%	75,95±0,67	10,86±0,15	0,47±0,01	76,94±0,65	10,18±0,07	0,44±0,01
7%	73,45±0,41	10,09±0,11	0,42±0,01	76,85±0,23	9,68±0,30	0,40±0,01
10%	74,86±0,18	9,78±0,19	0,44±0,02	75,35±0,31	9,86±0,28	0,44±0,01
13%	72,44±0,28	10,36±0,12	0,47±0,01	72,93±0,78	10,36±0,12	0,45±0,01
	14^{ème} jour			22^{ème} jour		
0%	74,28±0,57	11,02±0,11	0,46±0,01	74,28±0,57	10,98±0,06	0,46±0,01
4%	75,47±0,19	10,48±0,54	0,43±0,01	75,95±0,67	10,56±0,46	0,44±0,01
7%	73,45±0,14	10,59±0,60	0,47±0,02	77,22±0,37	10,06±0,06	0,48±0,01
10%	71,89±0,16	9,78±0,19	0,44±0,02	74,70±0,34	10,08±0,20	0,45±0,01
13%	72,60±0,45	10,18±0,13	0,45±0,01	74,76±0,40	10,29±0,04	0,44±0,01

Globalement, nous n'avons pas enregistré de variations importantes de l'index de solidité au cours de la période d'élevage, pratiquement dans tous les lots.

L'index de solidité de la coquille exprimé en g/100cm², est une mesure de quantité de matériau déposé. Après supplémentation de l'aliment de poules avec de PTS et à différents taux, nous n'avons pas enregistré de diminution de cet indice comparativement à celui de la coquille témoin (tableau III.12).

Concernant les résultats du deuxième paramètre physique de la coquille, nous remarquons qu'au premier et septième jour de l'expérimentation, l'épaisseur de la coquille des œufs du lot témoin est restée stable à 0,47 mm. Au cours de la deuxième et troisième semaine de l'expérimentation l'épaisseur de la coquille a régressé et reste stable à 0,46mm.

Au niveau du lot supplémenté à 4%; après une semaine d'alimentation l'épaisseur de la coquille a été réduite de 6,38% comparativement à la valeur enregistrée au premier jour (0,47mm), de 8,51% à la deuxième semaine et de 6,38% en fin de l'expérimentation.

Pour le lot supplémenté à 7%, l'épaisseur de la coquille au premier jour de l'expérimentation est de 0,42 mm, après une semaine elle est réduite de 4,76%. Au bout de la deuxième et troisième semaine nous avons enregistré une augmentation d'épaisseur de la coquille de 11,91% et 7,14% respectivement.

A un taux d'incorporation de 10%, l'épaisseur de la coquille demeure constante (0,44mm) du premier jusqu'au 14^{ème} jour, et en fin de l'expérimentation, ce paramètre a augmenté de 2,27%.

À un taux d'incorporation de 13%, nous avons enregistré une réduction d'épaisseur de l'ordre de 4,25%, après deux semaines de régime par rapport à la valeur enregistrée au premier jour (0,47mm), et au bout de la troisième semaine, l'épaisseur de la coquille a été réduite de 6,38%. Ainsi à ce taux de supplémentation en PTS dans le régime de base de poules, les caractéristiques physiques de la coquille sont affectées.

En conclusion, par rapport aux valeurs enregistrées au début de l'expérimentation concernant l'épaisseur de la coquille des œufs de chaque lot, nous pouvons dire que l'incorporation de PTS dans l'aliment de poules a agi positivement sur l'une des propriétés importantes de la coquille qui est l'épaisseur ce qui garantit la rigidité de l'œuf surtout durant le transport et limite le taux de fissure des œufs et donc moins de contaminations. Nous constatons également qu'en fin de la période expérimentale, la valeur la plus élevée d'épaisseur de la coquille (0,48 mm) est obtenue à un taux d'incorporation de 7% en PTS dans l'aliment de poules, ce qui représente une augmentation de 4,34% par rapport à l'épaisseur de l'œuf du lot témoin.

Mirabito *et al.*, (2008) ont rapporté que pour un système d'élevage aménagé, l'épaisseur de la coquille est de 0,36mm, correspondant à un index de solidité de l'ordre de 8,65 g/cm².

Les résultats donnés dans la littérature montrent une influence claire du système de logement sur l'épaisseur de la coque, **Pavlovski *et al.*, (2001)** ont détecté des coquilles plus épaisses en œufs issus d'un système d'élevage en grange et des coquilles plus minces en système d'élevage libre, alors que **Leyendecker *et al.*, (2001)** ont observé des coquilles plus épaisses dans le système d'élevage à accès libre.

- **Le poids du vitellus**

La masse du jaune d'œuf et sa composition sont de bons indicateurs de la qualité de l'œuf, car le jaune d'œuf contient les réserves énergétiques de l'embryon (**Williams, 1994**).

Dans la présente étude, le poids des jaunes d'œuf enrichis en PTS, tend à augmenter en fin de période d'élevage. En augmentant le taux de PTS dans l'aliment jusqu'à 13%, le poids du jaune d'œuf a marqué une augmentation de 15% au 7^{ème} jour comparativement au poids du jaune du lot témoin enregistré le même jour.

Mojca Simčić et al., (2008) ont rapporté que le poids des œufs peut varier d'une souche à une autre, ainsi, le poids du jaune d'œuf varie de $16,4 \pm 1,6$ g pour poule syrien et $15,9 \pm 2,0$ pour la souche Isa Brown. **Scheideler et al., (1998)** ont conclu que les poules plus âgées produisent des jaunes plus grands, provoqués par la plus grande taille du foie et sa capacité accrue d'absorber des lipides. **Milinsk et al., (2003)** ont prouvé que le stress affecte la composition en acides gras du jaune chez les oiseaux.

- **Le poids de l'albumen**

Le blanc, composant majoritaire de l'œuf, est le principal facteur régissant la taille de l'œuf. C'est le constituant le plus volumineux, composé majoritairement d'eau (**Dzialowskia et al., 2008**).

L'eau contenue dans le blanc d'œuf est déterminante : une déshydratation expérimentale du blanc diminue drastiquement la probabilité de l'éclosion même si elle n'altère pas le développement embryonnaire (**Davis et Ackerman., 1987**).

Les résultats du tableau III.11 montrent que dans le lot témoin, le poids varie de 37,26g à 40,98g, poids maximum atteint en fin de période expérimentale, nous avons ainsi un taux d'augmentation de 3,7%.

Aux taux de 4%, le poids de l'albumen passe de 36,07g à 37,43g en fin de période expérimentale, ce qui se traduit par une augmentation de 3,7%.

Au taux d'incorporation de 7% en PTS dans la ration de poules, nous avons une augmentation remarquable du poids d'albumen, il passe de 34,45g à 39,86 gr en une période de 22 jours, ce qui représente un taux d'accroissement de 15,7%.

Au taux de 10%, les poids d'albumen relevés varient de 34,35g, valeur enregistrée au premier jour d'expérimentation à 36,33g en fin de période d'alimentation, ce qui représente une augmentation de 5,8%.

A 13% d'incorporation de PTS, nous avons relevé également une augmentation du poids d'albumen de **7,78%** en allant du 1^{er} au 22^{ème} jour d'expérimentation.

D'après les résultats relevés en fin de la période d'élevage, nous déduisons le classement décroissant relatif aux poids d'albumen des différents lots :

Poids d'albumen du lot témoin > poids d'albumen du lot 7% > poids d'albumen du lot 4% > poids d'albumen du lot 10% > poids d'albumen du lot 13%.

Globalement, nous avons enregistré dans tous les lots une augmentation du poids d'albumen par rapport au poids enregistré en début d'expérimentation, cela signifie qu'il n'y a pas d'effet négatif suite à l'incorporation de PTS dans l'aliment sur ce paramètre, surtout avec le résultat encourageant qui a été enregistré dans le lot à 7% de PTS (15,7%).

Nos résultats sont en concordance avec ceux obtenus par **Garcia-López et al., (2007)**, qui ont montré qu'aucune différence significative n'a été relevée sur le poids des œufs entre races, mais il y a des différences en termes de poids de l'œuf, du blanc et du jaune au sein des groupes selon la qualité de la ration.

D'après **Mansoori et al., (2008)**, l'incorporation de 10% de PTS dans l'aliment de poule pondeuses n'a aucun effet sur les paramètres mesurés (le gain de poids, la production d'œufs / jour; l'indice de consommation, poids de la coquille; épaisseur et index de solidité de la coquille).

Il a été rapporté aussi que, la diète des poules pondeuses contenant la purée de tomate sèche jusqu'au taux de 12% n'a pas affecté la production d'œufs, la consommation d'aliment et les performances de la poule ainsi que le poids des œufs et l'épaisseur de la coquille (**Dotas et al., 1999; Jafari et al., 2006**).

II. 2.2. Caractérisation chimique

Pour la qualité des œufs, quatre œufs provenant de chaque lot ont été rassemblés sur le même jour.

II. 2.2.1. Le pH

Les valeurs moyennes de mesure du pH de blanc, du jaune, et l'œuf entier de différents lots sont représentées dans le tableau III.13.

Tableau III.13 : pH des différents composants de l'œuf

Lots	0%	4%	7%	10%	13%	4%	7%	10%	13%
pH	14 ^{ème} jour					22 ^{ème} jour			
Blanc d'œuf	8,72	8,70	8,82	8,77	8,79	8,79	8,88	8,80	8,83
Jaune d'œuf	6,89	6,35	6,16	6,25	6,20	6,26	6,00	6,04	6,07
L'œuf entier	7,6	7,46	7,41	7,48	7,52	7,48	7,44	7,39	7,48

Pour tous les lots, les blancs d'œufs ont un pH basique au bout de 14^{ème} et 22^{ème} jours, il varie de 8,70 à 8,82 au 14^{ème} jour et de 8,79 à 8,88 au 22^{ème} jour.

Les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans le blanc du lot de 7% de supplémentation en PTS avec un pH de 8,82 au 14^{ème} jour et de 8,88 au 22^{ème} jour. Cette augmentation du pH peut être due à la présence d'acides aminés basiques dans le supplément.

Après deux semaines d'alimentation que ce soit avec l'aliment de base ou celui supplémenté en PTS à quatre niveaux d'incorporation (4%, 7%, 10% et 13%), les valeurs de pH du jaune d'œufs marque une acidité comparable pour les différents lots, il varie de 6,16 qui est la valeur la plus basse enregistré au niveau du lot 7% à 6,89 valeur la plus élevée d'acidité enregistrée au niveau du lot témoin. Au 22^{ème} jour, le pH du jaune d'œufs a marqué toujours des valeurs se situant dans l'intervalle d'acidité où le pH varie de [6,00 à 6,26]. Le résultat le plus élevé est enregistré chez le témoin qui présente un pH de 6,89, et la plus basse valeur (6,0) est relevée dans le jaune d'œufs enrichis à 7% de PTS.

Pour le pH des œufs entiers, nous n'avons pas enregistré une différence remarquable entre l'œuf témoin (7,6) et ceux enrichis (7,39-7,52). Donc, l'incorporation de PTS n'a pas d'influence sur ce paramètre.

Pour le même système d'élevage, **Hidalgo et al., (2007)** ont rapporté des valeurs de pH (7,6) très proches de celles trouvées dans la présente étude. **Stadelman, (1995)** a rapporté un pH de 6-6,4 dans le jaune d'œuf lyophilisé.

II. 2.2.2. Minéraux

Les teneurs en éléments minéraux dans les blancs et les jaunes d'œufs, ainsi que les œufs entiers des différents lots obtenus par spectrométrie d'absorption atomique sont consignées dans le tableau III.14 et figure III.14.

Tableau III.14 : Teneur en minéraux des composants de l'œuf des différents lots

Minéraux (mg/100g)		Na	K	Ca	P	Zn	Cu
Lot 0%	J	59,56	117,76	126,22	649,88	3,64	0,31
	B	170,34	154,82	9,91	15,15	0,25	
	O	135,24	133,2	55,3	180,09	1,21	
Lot 4%	J	68,01	138,29	130,23	619,1	3,77	0,6
	B	174,11	168,39	10,33	15,98	0,28	
	O	140,2	148,5	59,49	190,16	1,65	
Lot 7%	J	79,49	186,6	142,14	726,58	3,97	0,28
	B	179,8	226,08	11,98	16,33	0,3	
	O	169,8	175,12	62,11	195,5	1,98	
Lot 10%	J	82,01	167,37	141,56	692,16	3,88	0,24
	B	182,19	177,39	11,83	16,39	0,32	
	O	167,4	179,13	60,38	192,4	1,39	
Lot 13%	J	82,66	136,1	108,48	579,97	4,02	0,3
	B	187,98	176,13	10,03	14,19	0,35	
	O	188,09	182,13	54,41	189,1	1,95	

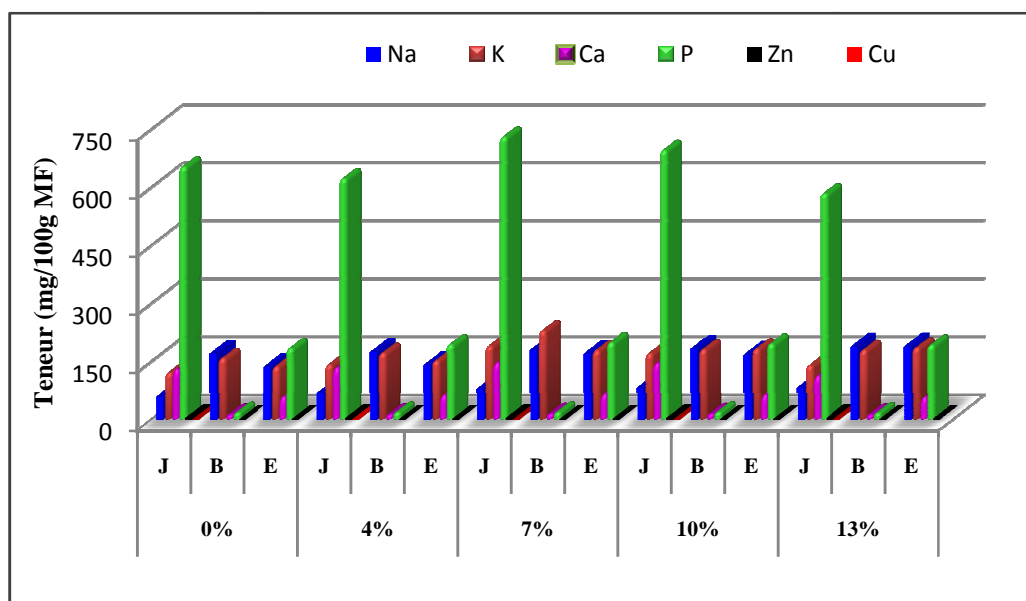


Figure III. 17: Teneur en minéraux dans le jaune, le blanc et l'œuf entier

Les minéraux sont essentiels à l'organisme, parce qu'ils remplissent plusieurs fonctions notamment; ils contrôlent l'équilibre hydrique (pression osmotique), règlent l'équilibre acide-base (pH), font partie de certaines structures (os, dents), entrent dans la composition des enzymes, des hormones et catalysent de nombreuses réactions du métabolisme (Dupin *et al.*, 1992).

▪ Les macroéléments

Le potassium, le phosphore, le sodium et le calcium sont les éléments les plus dominants dans le jaune, le blanc et l'œuf entier.

Dans l'œuf entier, la teneur en potassium varie de 133,2mg/100g pour le lot témoin à 182,13mg/100g représentant la valeur la plus élevée enregistrée au niveau du lot supplémenté à 13% en PTS. L'incorporation de PTS dans l'aliment des poules a fait augmenter la teneur en potassium dans l'œuf de 11,49%, 31,53%, 34,48% et de 36,73% respectivement dans les lots 4%, 7%, 10%, et 13%.

Au même titre que l'œuf, l'incorporation de PTS dans l'aliment a fait augmenter la teneur en potassium dans le jaune et le blanc d'œufs.

Nous remarquons également qu'il ya accroissement de la teneur en phosphore, calcium et sodium dans le blanc et le jaune d'œuf après supplémentation d'aliment en PTS à différents taux. Par rapport au lot témoin, le lot 7% a marqué le taux d'enrichissement le plus élevé en Ca et P dans le jaune d'œuf (11,20% et 10,55%).

La teneur en sodium nécessaire pour la volaille est d'environ 1,5 g/kg d'aliment. Une quantité excessive de sodium, de l'ordre de 20 g /kg de chlorure de sodium, peut réduire la consommation d'aliments de bétails et la production des œufs (**Damron et Kelly., 1987**).

▪ Les oligoéléments

Les oligoéléments détectés par spectrométrie d'absorption atomiques dans les œufs sont le zinc et le cuivre.

D'après les résultats donnés au tableau III.14, nous constatons que l'incorporation de PTS à 4%, 7%, 10% et 13% se traduit par une augmentation de la teneur en ces oligoéléments, parmi lesquels le lot 7% a enregistré la plus forte valeur.

Les études réalisées par **Skrivan et al., (2005)**; **Nys et Sauveur., (2004)** ont montré que, la concentration en oligoéléments des œufs est de (12,57±0,56) mg/kg en zinc, de (0,88± 0,1) mg/kg en cuivre et de (20,82 ± 3,46) mg/kg en fer.

II. 2.2.3. Protéines

Les résultats de dosage des protéines totales des jaunes et blancs d'œufs relatifs aux différents lots sont présentés dans les tableaux III.15 et III.16.

Tableau III.15: Teneur en protéines du blanc d'œuf des différents lots

	0%	4%	7%	10%	13%
14^{ème} jour					
Poids du blanc (g)	37,27 ±0,18	36,99 ±0,15	35,53 ±0,36	35,13±0,23	36,14±0,18
Teneur en protéines(%)	11,85	12,03	13,65	13,52	13,70
22^{ème} jour					
Poids du blanc (g)	38,1 ±0,23	37,44 ±0,28	39,86 ±0,36	36,32±0,21	36,72±0,31
Teneur en protéines(%)	12,02	12,72	13,75	12,83	13,64

Les résultats des tableaux III.15 et III.16 mettent en évidence une amélioration de la teneur en protéines suite à l'incorporation de PTS dans l'aliment comparativement au lot témoin.

Tableau III.16: Teneur en protéines du jaune d'œufs de différents lots.

	T	4%	7%	10%	13%
14^{ème} jour					
Poids du jaune (g)	16,01± 0,23	16,68± 0,29	17,78 ± 0,19	17,53±0,27	17,72
Teneur en protéines (%)	16,86	17,86	19,85	18,14	20,15
22^{ème} jour					
Poids du jaune (g)	16,98 ± 0,27	17,03 ± 0,31	17,96 ± 0,22	17,68±0,32	18,59
Teneur en protéines (%)	16,96	17,90	19,88	18,17	20,33

Donc, l'incorporation de pelure de tomate sèche dans l'aliment a agi positivement sur la teneur en protéine dans le jaune et le blanc d'œuf.

En fin de la période expérimentale de trois semaines, les poules ont répondu positivement au régime alimentaire contenant la PTS se traduisant par l'augmentation de la teneur en protéines dans le jaune et le blanc d'œuf dans les différents lots, néanmoins la réponse est plus importante au taux de 7% et 13% en PTS où la teneur en protéines est dans l'ordre 13,75% et 13,64% dans le blanc, et de 19,88% et 20,33% dans le jaune d'œuf.

Hidalgo et al., (2007) ont rapporté des teneurs en protéines dans un œuf entier frais de l'ordre de : 12,1, 12,5, 12,6 et 12,5 g/100g , pour différents systèmes d'élevage respectivement : en cage, élevage au sol dans lesquels les poules sont en liberté, élevage en plein-air et élevage biologique (organique).

La concentration moyenne en protéines des œufs de poules, sans leurs coquilles, est d'environ 10,7 % ($\pm 1,24$), teneur calculée par rapport au poids de l'œuf entier (**Nys et Sauveur., 2004 ; Shafer et al., 1998 ; Prochaska et al., 1996 ; Novak et al., 2004 ; Vieira et Moran., 1998**). La coquille représente environ 0,2% de la teneur en protéines de l'œuf entier (**Ahmed et al., 2003 ; Nys, 1996**). Par conséquent, la concentration moyenne en protéines des œufs entiers est de 10,9 %.

II. 2.2.4. Teneur en cendres et en matière organique des jaunes d'œufs lyophilisés

Les teneurs en cendres et en matière organique des jaunes d'œufs lyophilisés sont récapitulées dans le tableau III.17.

Tableau III.17 : Teneur en cendres et en matière organique des jaunes d'œufs lyophilisés

Paramètre	Le 14 ^{ème} jour		Le 22 ^{ème} jour	
	Matière organique (%)	Cendre (%)	Matière organique (%)	Cendre (%)
Lots				
0%	97,107	2,893	96,971	3,029
4%	97,107	2,893	96,691	3,309
7%	96,850	3,150	96,680	3,320
10%	96,953	3,047	96,821	3,179
13%	96,940	3,060	96,860	3,140

D'après les résultats du tableau III.17, nous constatons que le taux de cendres augmente du 14^{ème} jour au 22^{ème} jour en passant de 3,15% à 3,32% à un taux d'incorporation de 7%.

L'étude faite par **Garcia-López et al., (2007)** a montré que l'analyse immédiate des jaunes d'œufs n'a montré aucune différence entre et au sein des races, mais il y a une tendance à moins de matières sèches et de graisses dans les jaunes d'œuf des poules nourries avec la ration produite à la ferme, et cela est probablement dû à moins de teneur en lipides (triglycérides).

II. 2.2.5. Couleur des jaunes d'œufs lyophilisés

La couleur du jaune d'œuf est attribué aux caroténoïdes (xanthophylles ; lutéine, zéaxanthine, β -cryptoxanthine) (Li-Chan et Kim., 2008 cité par Laca *et al.*, 2010).

Dans la présente étude, la propriété de lycopène a été reflétée par l'amélioration de couleur du jaune d'œuf, qui est l'une des causes déterminantes du choix et de perception du consommateur.

Les valeurs de luminosité (L^*), de rougeur (a^*) et de couleur jaune (b^*) pour les jaunes d'œufs lyophilisés et pour chaque lot sont illustrées dans le tableau III.18.

Tableau III.18 : Les paramètres de couleur des jaunes d'œufs enrichis en lycopène

Jours	Paramètres	(0%)	4%	7%	10%	13%
1 ^{er} jour	L^*	86,54 \pm 0,02	79,78 \pm 0,07	81,28 \pm 0,02	83,40 \pm 0,02	82,39 \pm 0,02
	a^*	06,55 \pm 0,04	10,78 \pm 0,05	09,03 \pm 0,03	09,20 \pm 0,02	07,82 \pm 0,02
	b^*	43,61 \pm 0,01	54,37 \pm 0,05	50,73 \pm 0,05	52,40 \pm 0,02	47,62 \pm 0,02
	ΔE	97,13 \pm 0,02	97,14 \pm 0,04	96,24 \pm 0,03	98,92 \pm 0,02	95,49 \pm 0,02
	IC	08,54 \pm 0,02	11,21 \pm 0,05	10,09 \pm 0,03	09,95 \pm 0,02	09,32 \pm 0,03
14 ^{ème} jour	L^*	86,56 \pm 0,05	79,52 \pm 0,06	83,08 \pm 0,01	82,36 \pm 0,04	82,50 \pm 0,02
	a^*	06,53 \pm 0,02	10,72 \pm 0,04	11,94 \pm 0,04	11,71 \pm 0,03	10,37 \pm 0,03
	b^*	43,65 \pm 0,03	49,25 \pm 0,06	52,71 \pm 0,05	52,09 \pm 0,01	48,39 \pm 0,02
	ΔE	97,17 \pm 0,03	94,15 \pm 0,04	99,11 \pm 0,02	98,15 \pm 0,02	96,21 \pm 0,02
	IC	8,50 \pm 0,04	12,27 \pm 0,05	12,76 \pm 0,02	12,66 \pm 0,01	12,09 \pm 0,02
22 ^{ème} jour	L^*	86,54 \pm 0,02	82,49 \pm 0,07	76,44 \pm 0,04	78,40 \pm 0,02	81,06 \pm 0,03
	a^*	06,53 \pm 0,02	10,49 \pm 0,03	15,92 \pm 0,01	11,91 \pm 0,02	12,59 \pm 0,02
	b^*	43,64 \pm 0,02	49,39 \pm 0,04	52,64 \pm 0,04	50,91 \pm 0,02	48,40 \pm 0,03
	ΔE	97,14 \pm 0,02	96,71 \pm 0,03	94,17 \pm 0,02	94,23 \pm 0,02	95,25 \pm 0,02
	IC	8,51 \pm 0,02	11,99 \pm 0,03	16,83 \pm 0,01	13,18 \pm 0,02	14,58 \pm 0,03

A l'œil nu, nous constatons une différence remarquable entre la couleur de jaunes d'œufs des différents lots (4%, 7%, 10% et 13%), ainsi la couleur jaune tirant sur l'orange plus intense a été observée au niveau des jaunes d'œufs des lots de 7%, puis une couleur jaune moins intense été observée dans les jaunes d'œufs du lot de 13%, cependant les lots 4%, 10% et le lot témoin ont présenté des jaunes d'œufs à coloration jaunâtre.

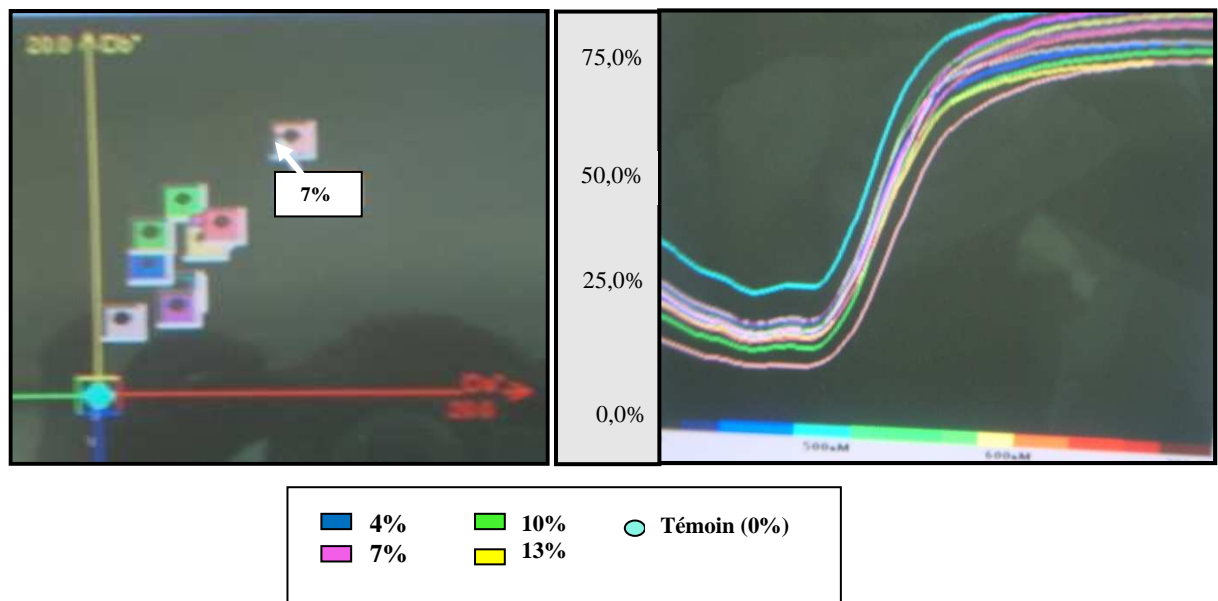


Figure III.18 : Variation de l'indice de couleur du jaune d'œuf lyophilisé en fonction des différents taux d'incorporation en PTS.

Les résultats montrés dans le tableau III.18 montrent clairement la variation des paramètres (L^* , a^* , b^*) ainsi que l'indice de couleur (IC) des jaunes d'œufs durant la période expérimentale.

Du premier au dernier jour d'expérimentation, le paramètre de clarté (L^*) est sensiblement réduit au niveau des lots supplémentés à 7%, 10% et 13% en PTS, cependant le lot 4% a marqué une augmentation, quant au lot témoin ce paramètre est resté stable à 86,54.

Pour les deux autres paramètres (a^* et b^*), nous avons enregistré une augmentation en fin de période expérimentale pour les lots supplémentés à 4%, 7%, 10% et 13% en PTS par rapport au lot témoin, d'où le taux d'augmentation d'indice de couleur donné respectivement comme suit : 40,89%, 97,77%, 54,88% et 71,33%.

La représentation graphique de ces paramètres (figure III.18), montre clairement que le lot 7% se distingue des autres lots particulièrement du lot témoin cela peut s'expliquer par son haut indice de couleur qui est de 16,83.

Dans la présente étude, les jaunes d'œufs supplémentés en PTS présentent des indices de couleur plus élevés que ceux rapportés par d'autres auteurs ($10,5 \pm 0,5$) (Rossi *et al.*, 2007).

D'après Sahin *et al.*, (2008), la supplémentation du régime de cailles en lycopène; améliore la couleur du jaune d'œuf, où l'indice de couleur passe de 6,00 pour les œufs non enrichis à 8,00 et 10,83 pour des œufs enrichis à des doses respectives de 100 et 200mg/kg de lycopène.

De ce qui précède, nous constatons que le régime de poule a une influence sur la pigmentation des jaunes d'œufs plus particulièrement au taux de 7%.

Plusieurs auteurs **Yannakopoulos et al., (1992)** ; **Dotas et al., (1999)** ont rapporté que l'incorporation de PTS dans le régime des pondeuses jusqu'aux niveaux de 12 et 15% n'a pas affecté la pose mais elle améliore sensiblement la couleur du jaune. Les essais d'alimentation avec des cailles ont montré que l'addition de purée de tomate dans le régime jusqu'au niveau de 6% n'a pas amélioré l'élevage et les caractéristiques de ponte (**Florou-Paneri, 1989**), tandis que l'incorporation diététique au taux de 10% a amélioré de manière significative la couleur de carcasse en dehors de tout effet nuisible sur la croissance (**Nikolakakis et al., 2003**).

Les résultats obtenus par **Mansoori et al., (2008)**, ont montré que la couleur du jaune d'œufs produits, est améliorée par incorporation de PTS dans l'aliment, à des taux de 5 et 10 g/100gr, les indices de couleur respectifs sont de : 9,7 et 10,3 contre 6,7 pour le jaune d'œuf témoin.

II. 2.2.6. Teneur en Cholestérol

Les teneurs en cholestérol total dans les jaunes d'œuf frais sont illustrés dans la figure III.19 et tableau III.19.

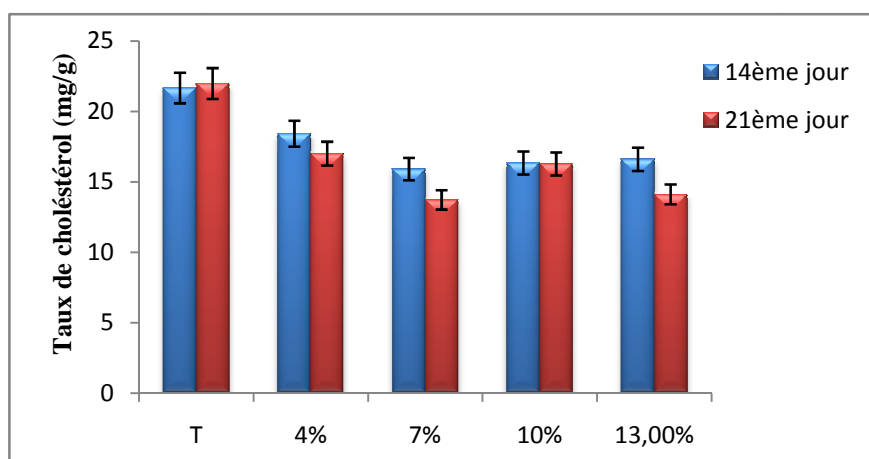


Figure III.19: Teneur du jaune d'œuf en cholestérol total de différents échantillons

Tableau III.19: Poids du jaune d'œuf et sa teneur en cholestérol total des différents échantillons (mg/g JO).

	T	4%	7%	10%	13%
14^{ème} jour					
Poids du jaune(g)	16,56±0,35	17,38±0,24	17,70±0,27	17,63±0,33	17,74±0,20
Cholesterols total (mg/g JO)	21,67±0,06	18,42±0,02	15,91±0,02	16,35±0,12	16,61±0,05
22^{ème} jour					
Poids du jaune (g)	17,03±0,27	17,68±0,31	18,08±0,22	17,34±0,32	17,86±0,25
Cholestérol total (mg/g)	21,99±0,05	17,01±0,02	13,73±0,02	16,28±0,05	14,12±0,06

D'après les résultats obtenus nous remarquons une baisse du niveau de cholestérol de 14,99%, 26,58%, 24,55 et 23,35% respectivement dans les lots 4%, 7%, 10%, et 13% par rapport au lot témoin ($21,67 \pm 0,06$ mg/g de jaune d'œuf au 14^{ème} jour de l'expérimentation).

Vers la fin de la période expérimentale nous avons enregistré une réduction du taux de cholestérol de 22,64%, 37,56%, 25,97% et 35,79% respectivement dans les œufs enrichis à 4%, 7%, 10%, et 13% en PTS comparativement aux œufs témoins.

Ces résultats montrent que l'incorporation de PTS dans l'aliment a provoqué une baisse du niveau du cholestérol dans le jaune d'œuf. Cette réduction peut être due au taux élevé de composés phénoliques présents dans la PTS (52,82 mg/g de matière sèche). Dans ce contexte, **Lien et al., (2008)** ont rapporté une réduction du taux de cholestérol de jaune d'œuf en ajoutant 0,5 g/kg de l'hespéridine et de naringénine (composés phénoliques) dans le régime alimentaire des poules pondeuses. La réduction du taux de cholestérol de jaune d'œuf peut être due à l'inhibition de l'activité de HMG-CoA (3-hydroxy-3-méthyle-glutaryl-CoA) réductase, enzyme principale qui règle le taux de biosynthèse du cholestérol dans le foie (**Lee et al., 1999,2003; Bok et al., 2000; Kim et al., 2003**).

Pratiquement tout le cholestérol trouvé dans le jaune d'œuf provient du foie, où il est synthétisé, puis transporté dans le plasma sanguin pour atteindre l'ovaire où il sera inclus dans le développement folliculaire par des récepteurs médiateurs de l'endocytose.

La pelure de tomate sèche est riche en flavonoïdes, d'après **Rivard-Gervais, (2001)**, ces composés sont des antioxydants, substances qui empêchent ou limitent la capacité des radicaux libres d'oxyder les lipoprotéines de faible densité (LDL) qui interviennent dans le processus de l'athérosclérose. Selon la même auteure l'analyse des données de 38 études cliniques sur des sujets hyperlipidémiques qui consommaient un régime alimentaire riche en flavonoïdes a mis en évidence une diminution de 13 % des taux de LDL et une diminution de 10 % des taux de triglycérides.

La PTS, sous-produit de tomate est composée de fibres ; alors qu'il est reconnu que les fibres solubles peuvent contribuer à réduire le taux de LDL cholestérol et la cholestérolémie. Les mécanismes mis en cause seraient l'augmentation de l'excrétion d'acides biliaires, la diminution de l'absorption du cholestérol et des graisses, et enfin, la formation, lors de la fermentation des fibres, de produits dérivés des acides gras à chaînes courtes qui pourraient inhiber la synthèse hépatique du cholestérol (**Rivard-Gervais., 2001**).

Ainsi, l'incorporation de PTS dans l'aliment de volaille nous a permis la production des œufs à bas cholestérol, ce qui peut être un moyen efficace et acceptable pour le bien être des consommateurs. En outre, l'addition de PTS dans un régime alimentaire de poules pondeuses sera simple et peu coûteux.

L'augmentation du stress oxydatif et les niveaux élevés de glucose et de cholestérol ont été associés à un haut risque de maladies chroniques, telles que le cancer, diabète et maladie cardiovasculaire. Ces facteurs affectent également les performances et les caractéristiques de carcasse de volaille avec des conséquences économiques significatives (**Sahin et al., 2006**).

Les niveaux de sérum en quelques vitamines antioxydantes, cholestérol, triglycéride, et glucose, de cailles japonaises élevées sous la température ambiante élevée (34°C) a été étudiée par **Sahin et al.,(2006)**. Selon ce même auteur, la supplémentation en lycopène a augmenté la concentration de HDL tandis que, les concentrations de VLDL et de LDL ont été réduites en particulier avec la supplémentation en lycopène à une concentration de 200 mg/kg.

D'après **Oshima et al., (1997)**, le lycopène agit en tant qu'agent hypocholestérolémiant modéré. Dans ce contexte **Rao et Shen, (2002)** ont signalé que le niveau du cholestérol total dans le plasma est réduit par la supplémentation de lycopène.

Oshima et al., (1997), ont signalé que les LDL humains pourraient être protégées contre des dommages oxydatifs photosensibilisés par le lycopène. **Paran et Engelhard., (2001)** ont rapporté que la supplémentation en lycopène a réduit les lipides du sang, les lipoprotéines et le stress oxydatif chez les patients hypertendus.

II. 2.2.7. Taux de triglycérides

L'histogramme suivant montre les résultats de dosage des triglycérides dans les jaunes d'œuf de différents lots.

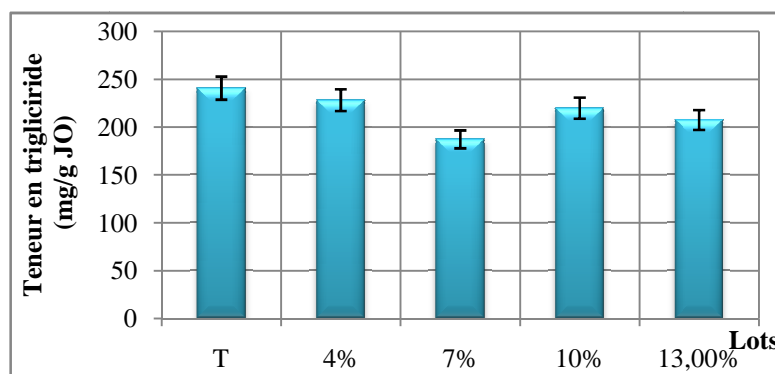


Figure III.20: Teneur en triglycérides dans les jaunes d'œufs des différents lots

Les résultats illustrés dans la figure III.20 montrent l'effet de l'enrichissement en PTS sur la teneur en triglycérides dans le jaune d'œuf. En fin de l'expérimentation animale, nous avons relevé une réduction de 5,21% dans le lot de 4% par rapport au lot témoin, qui a enregistré une valeur de 240,86±2,64 mg/g de jaune d'œuf. Egalement une baisse du niveau de TG a été enregistrée au taux de 7%, 10% et 13% de supplémentation en PTS, qui sont de 22,08%, 8,68% et 13,80 % respectivement.

La réduction du taux de triglycérides dans le jaune d'œuf peut être due au taux élevé de composés phénoliques présents dans la PTS. Selon **Rivard-Gervais, (2001)**, l'analyse des données de 38 études cliniques contrôlées sur des sujets hyperlipidémiques qui consommaient un régime alimentaire riche en flavonoïdes a mis en évidence une diminution de 10 % du taux de triglycérides.

L'étude réalisée par **Sahin et al.,(2006)**, sur la supplémentation de lycopène à doses différentes (50, 100 et 200 mg/kg de régime) pour les cailles japonaises élevées à température ambiante, a fait apparaître qu'il n'y a pas eu d'effet significatif sur les teneurs en triglycéride qui sont respectivement : 1,5 ; 1,5 ; 1,4 ; 1,3 (mol/L).

Par ailleurs, il en ressort de ces études que la race, la ration et la lignée provoquent des changements dans la teneur en cholestérol du jaune d'œuf (**Washburn et Nix., 1974; Sheridan et al., 1982; Hargis., 1988; Shafey et al., 1992**).

II. 2.2.8. Teneur en composés phénoliques

Les composés phénoliques ont montré plusieurs activités biologiques et pharmacologiques, y compris l'inhibition de la 3-hydroxy-3-méthyl-glutaryl-CoA (HMG-CoA) réductase et de l'Acyl-CoA: l'enzyme cholestérol acyltransferase (ACAT) (**Bok et al., 2000; Kim et al., 2004**), activité anti-radicalaire, anti-inflammatoire, et stoppent le développement de certains cancers (**Friedman, 2007; Yang et al., 2008; Seo et al., 2003**).

Les teneurs des échantillons des jaunes d'œufs lyophilisés des différents lots en composés phénoliques totaux, exprimée en mg/100g de jaune d'œuf est illustrée dans la figure suivante.

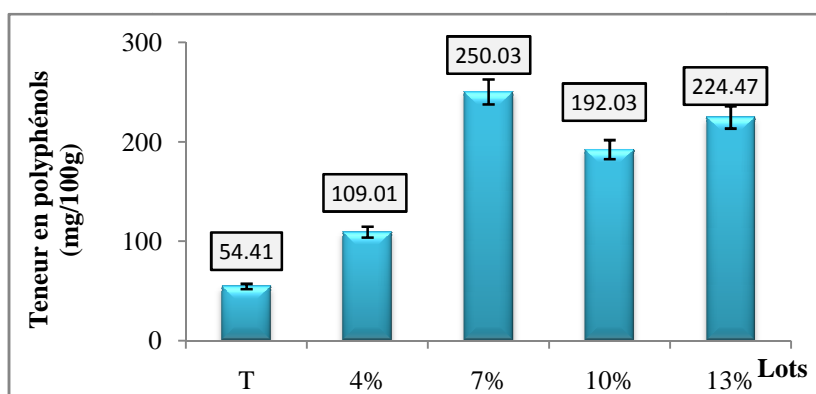


Figure III.21: Teneur en composés phénoliques des échantillons de jaunes d'œufs lyophilisés des différents lots.

D'après les résultats montrés dans la figure III.21, nous déduisons que l'incorporation de PTS dans l'aliment de poules a un effet positif sur la concentration en polyphénols du jaune d'œuf, où nous avons enregistré une augmentation comparativement au lot témoin de 100,36%, 359,54%, 252,94% et de 312,56%, respectivement dans les lots de 4%, 7%, 10%, et 13 %.

Sikora *et al.*, (2008), ont signalé que le degré de dégradation des polyphénols d'un aliment dépend infiniment de sa nature et les conditions de traitement. Aucun rapport n'est signalé dans la littérature sur la teneur des œufs en composés phénoliques totaux (Faller *et al.*, 2009).

II. 2.2.9. Teneur en caroténoïdes

a. Teneur en β -carotène

La teneur en β -carotène dans les jaunes d'œufs lyophilisés des différents lots exprimée en $\mu\text{g/g}$ est montrée dans la figure III.22.

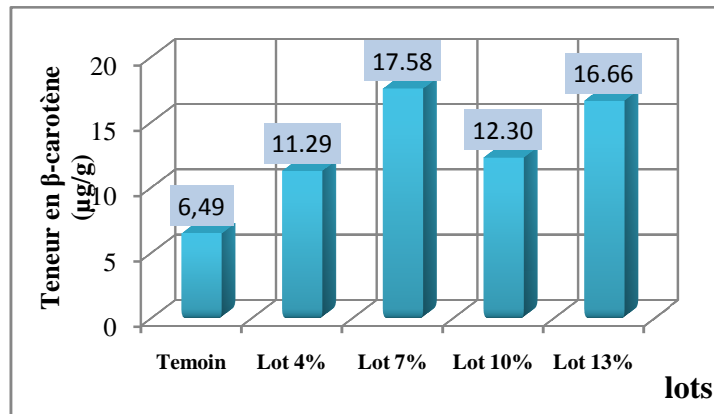


Figure III.22 : Teneur en β -carotène des jaunes d'œufs lyophilisés des différents lots

Ces résultats mettent en évidence la présence de β -carotène dans tous les jaunes d'œufs enrichis en PTS. Donc, l'incorporation de pelure de tomate sèche dans l'aliment de poules a contribué à l'augmentation du contenu en caroténoïdes de jaune d'œuf, particulièrement aux taux de 7% et 13%. Cela suggère le transfert des caroténoïdes de l'aliment vers l'œuf en utilisant la poule comme modèle biologique.

Dans l'œuf, les caroténoïdes sont impliqués dans la régulation du développement embryonnaire pour leurs propriétés antioxydantes. Généralement, après l'ingestion, les caroténoïdes sont absorbés dans l'intestin grêle avec d'autres nutriments liposolubles, puis délivrés avec des protomicros au foie où les caroténoïdes sont associés aux lipoprotéines pour être transportés au jaune d'œuf (Surai *et al.*, 2001).

L'une des plus importantes fonctions des β -carotène dans le corps humain est leur capacité de se convertir en rétinol (fonction de provitamine A), environ 10% de caroténoïdes identifiés en nature possèdent cette faculté (García-González *et al.*, 2005).

Chez la volaille, les caroténoïdes jouent le rôle de colorants des plumes et de la peau, antioxydants, précurseurs de vitamine A, et accomplissent différentes fonctions dans l'endocrine et le système immunitaire (Moller *et al.*, 2000).

b. Teneur en lycopène

Le lycopène, est un caroténoïde important en tomates, est l'un des antioxydants les plus efficaces parmi les caroténoïdes diététiques. Les propriétés antioxydantes du lycopène sont vraisemblablement responsables principalement de son rôle biologique, dont peut être important dans la prévention des maladies chroniques qui sont associées au stress oxydant tel que le cancer et les maladies cardio-vasculaire (**Rao et Shen., 2002**).

Après avoir incorporer la PTS dans l'aliment de poudeuses à des taux de 4%, 7%, 10% et 13%, nous avons dosé la teneur en lycopène dans le jaune d'œuf lyophilisé, par spectrophotométrie UV-VIS. Sa teneur dans ces cinq produits est donnée dans la figure III.23 ci-dessous.

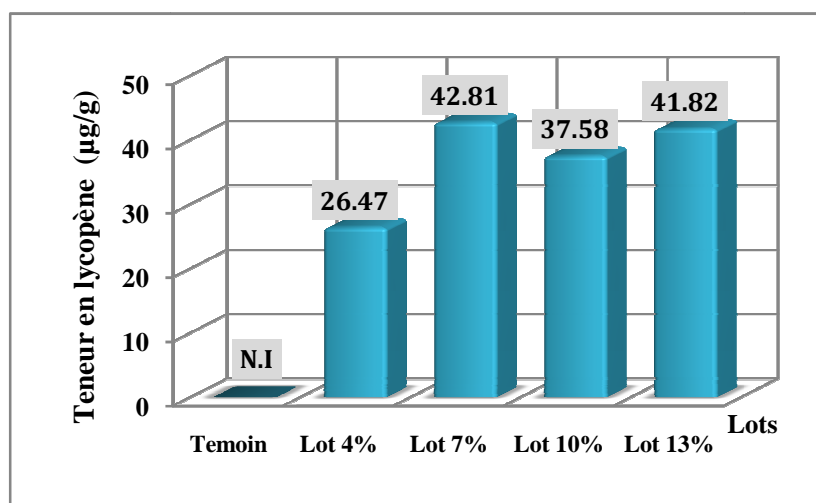


Figure III.23: Teneur en lycopène des jaunes d'œufs lyophilisés des différents lots

D'après la figure montrée en haut, nous constatons qu'il ya un enrichissement en lycopène à chaque taux d'incorporation en PTS dans l'aliment de poules. Nous avons enregistré un taux maximum de lycopène dans le jaune d'œuf du lot enrichi à 7%.

Les jaunes d'œuf des cailles qui ont été alimentées par un régime sans lycopène contiennent de quantité indétectable de lycopène (**Sahin et al., 2008**).

L'étude qui a été faite par **Sahin et al., (2008)**, montre qu'il y a eu transfert du lycopène aux jaunes d'œuf des cailles, suite à une supplémentation de 100 et 200mg/kg de lycopène dans le régime. A ces doses, les teneurs en lycopène dans le jaune d'œuf sont respectivement 22,42 et 28,50 µg/g.

Les résultats trouvés dans la présente étude suggèrent la réponse des poules élevées en batterie aux aliments contenant des antioxydants principalement le lycopène et la possibilité de production d'aliments fonctionnels.

▪ **Taux de transfert de lycopène vers le jaune à chaque taux d'incorporation en PTS**

Lorsque la pelure de tomate sèche a été incluse à 40 g/kg dans la ration de poules, et si les poules ont mangé 120 g d'aliment, le lycopène apporté est de 5,39808mg par jour.

De même pour un taux d'incorporation de PTS dans l'aliment à 7, 10 et 13%, les quantités de lycopène apportées par jour seront ainsi : 9,4466, 13,4952 et 17,5438mg/g de PTS/jour respectivement.

Les quantités de lycopène transférées ainsi que l'efficacité de transfert sont données dans le tableau III.20.

Tableau III.20 : La quantité de lycopène transférée

Lots	C de lycopène en µg/g	Quantité transférée µg/jr	Efficacité de transfert (%)
Témoin	-	-	-
Lot 4%	26,47	127,03728	1,86
Lot 7%	42,81	359,63172	3,35
Lot 10%	37,58	450,9144	3,06
Lot 13%	41,82	652,43256	3,48

Au 26,47µg/g de lycopène contenu dans le jaune enrichi en PTS, la poule a transféré 127,03 µg de lycopène par jour vers le jaune, et si elle a pondue un œuf chaque jour, l'efficacité de transfert est de 1,86%.

Les résultats trouvés dans la présente étude, sont important par rapport à ceux donnés dans l'étude de **Knoblich, (2005)** qui montre que la quantité de lycopène transférée dans le jaune d'œuf est de 0,86µg/g jaune d'œuf suite à l'incorporation de PTS à 75g/kg d'aliment. Le taux de transfert est de 0,1%.

Des résultats similaires ont été également montrés chez les cailles nourries avec des rations contenant 20g/kg de poudre de tomate (**Karadas et al., 2006**). En fait, l'aliment de poules contenant de sous-produits de tomate peut transférer jusqu'à 5,8% de lycopène au jaune d'œuf (**Knoblich et al., 2005; Karadas et al., 2006**, cité par **Mansoori et al., (2008)**).

D'après **Knoblich, (2005)** il n'ya pas de rapports de recherche qui peuvent expliquer le faible taux de transfert de lycopène de sous-produit de la tomate. Elle ajoute aussi qu'environ 25% de β-carotène, mais pas, le lycopène, a été converti en un isomère cis.

D'autres changements occasionné par le contenu minéral concentré peut ont détruit le lycopène ou à la baisse sa constitution dans le jaune.

En conclusion, cette étude a démontré que les poules ayant suivies un régime supplémenté en PTS ont pu produire des œufs riches en lycopène, et d'après **Sahin *et al.*, (2008)** la consommation de ces œufs par l'homme a pu mener à l'amélioration du statut antioxydant qui a été reflété par l'élévation de la concentration de lycopène dans le sérum et la diminution de concentration de MDA.

La livraison des aliments antioxydants par la production d'aliment fonctionnel pour empêcher quelques maladies chez l'homme est rendue donc possible.

II.3. Analyse spectrale des jaunes d'œufs par spectroscopie Infrarouge

L'analyse par spectroscopie IR (FTIR) des jaunes d'œufs lyophilisés des différents lots, nous a permis d'identifier la limite d'absorption de nos échantillons.

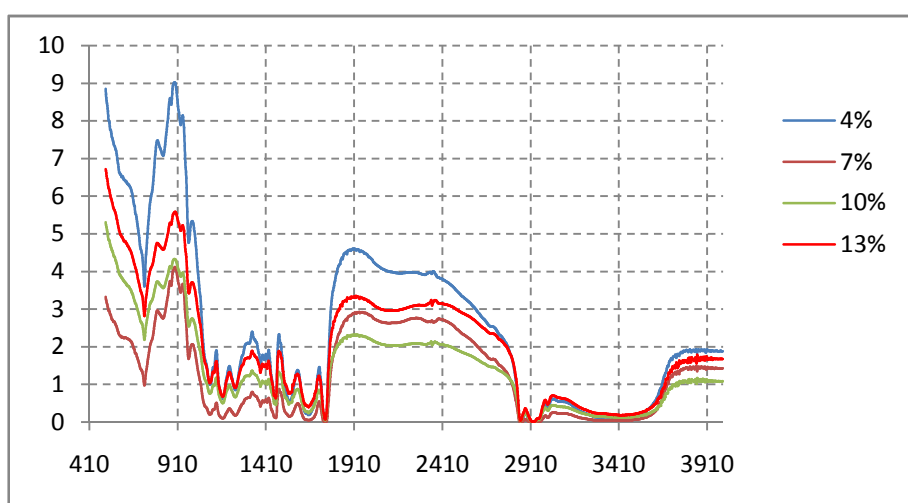


Figure III.24: Spectre IR des jaunes d'œufs lyophilisés de différents lots

La discrimination peut expliquer des différences dans les spectres entre les régimes. Les spectres donnés par (T) en fonction de nombre d'onde (entre 400 et 4000 cm^{-1}) des jaunes d'œuf lyophilisés (Figure III.24), montrent qu'il y a une superposition des spectres des différents lots, avec une différence marquée d'intensités des pics, ce qui prouve qu'il y a eu transfert et augmentation des concentrations des composants du jaune d'œuf.

Les différents composés identifiés dans les jaunes d'œuf lyophilisés, sont donnés dans le tableau III.21.

Tableau III.21: Les composés identifiés dans les jaunes d'œufs lyophilisés

Fréquences (cm ⁻¹)	Liaison	Observation
725	C-H	Hydrocarbures aromatiques mononucléaire
838	C-H	Hydrocarbures aromatiques mononucléaire
1105	C-O	Alcool secondaire
1172	C-O	Des phénols, la position est influencée par le voisinage du groupe hydroxyle OH
1250	C-O	Ester méthyliques des acides gras à longue chaînes
1467	N-H	Amino-acides
1550	C=O	β-dicétone. bande large. cyclisation probable par liaison hydrogène intermoléculaire.
1640	C=O	Amide secondaire linéaire
1650	C=C	Diènes conjugués dépourvus de centre de symétrie.
1650-1686	C=O (Cétone)	- Conjugaison de C=O avec C=C éthylénique. -Conjugaison de C=O avec un groupe aromatique.
1755	C-O	sel α aminoacide.
2866	O-H	Groupe hydroxyle lié par liaison hydrogène intramoléculaire.
2977	O-H	Groupe hydroxyle lié par liaison hydrogène intramoléculaire.
3026	N-H	Aminoacide dipolaire forme libre

Vue que les jaunes d'œufs ont été obtenus par des poules alimentées avec et sans PTS, donc nous pouvons prévoir un transfert de certains composant de la pelure de tomate vers le jaune d'œuf ainsi enrichis.

D'près le tableau III.21, nous relevons la présence de quelques composés qui ont été relevés dans la PTS, néanmoins l'intensité d'apparition du composé est faible cela peut s'expliquer par le taux de transfert de la PTS au jaune d'œufs.

En conclusion, l'analyse par IR peut être employée pour un criblage rapide des échantillons de jaune d'œuf provenant de différents systèmes d'alimentation. Cette étude démontre que cette méthode d'analyse est utile pour déterminer la qualité des jaunes d'œuf, particulièrement le contenu en lycopène, qui est important dans l'analyse des œufs enrichis par la PTS, qui peuvent être exactement prévus.

II.4. Identification des caroténoïdes et des composés phénoliques dans les jaunes d'œufs lyophilisés par UV-Vis

L'analyse par UV-Vis des extraits de caroténoïdes provenant de différents jaunes d'œufs lyophilisés, a permis leur analyse qualitative et quantitative. Les spectres obtenus pour les 5 produits analysés présentent des profils relativement similaires. Les spectres correspondant à l'extrait de caroténoïdes de jaunes d'œuf lyophilisés pour les lots : témoin, 4%, 7%, 10% et le lot 13% sont représentés sur la Figure III.25.

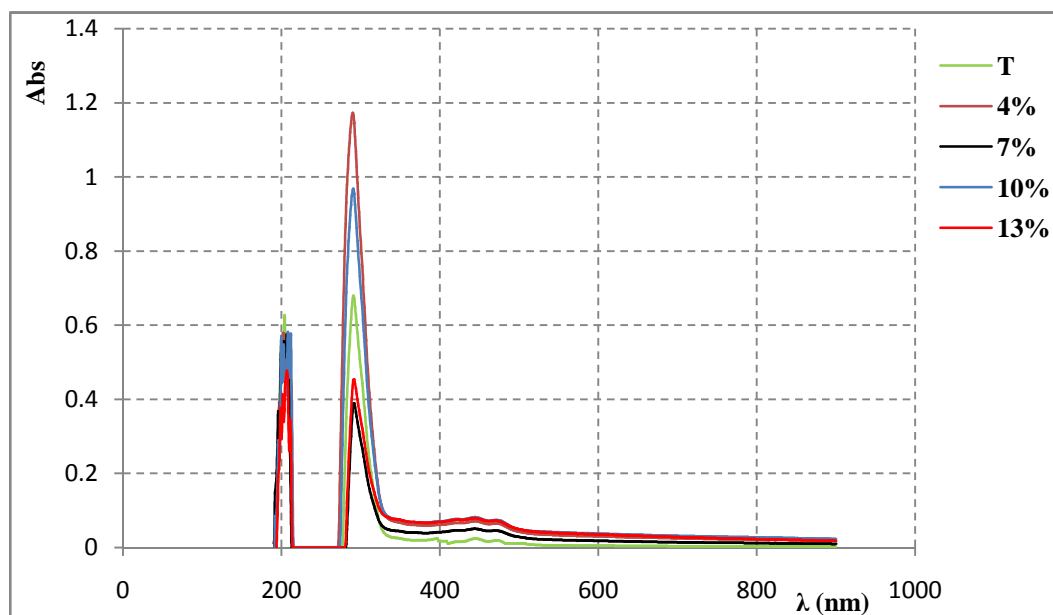


Figure III.25 : Spectres UV-visibles du jaune d'œufs lyophilisé des différents lots

Les jaunes d'œuf des lots supplémentés avec de PTS à 4%, 7%, 10% et 13% n'ont montré aucune différence dans les caractéristiques spectrales entre les différents régimes, les spectres ont la même allure mais l'intensité des pics était différente. Cela dus probablement à la repense des poules aux différents régimes durant la période expérimentale.

Du spectre récapitulatif de ces extraits obtenu par UV-VIS, nous relevons trois parties bien distinctes de longueur d'onde suivantes :

- 1^{ère} partie : allant de 199 à 211nm
- 2^{ème} partie : allant de 291 à 293 nm
- 3^{ème} partie : allant de 420 à 474 nm

Le pic majoritaire a été relevé à $\lambda_{\max} = 292\text{nm}$ dans tous les produits analysés. D'autres composés, en apparence moins concentrés sont également présents, l'intensité de pics correspondant à ces composés sont enregistrés à $\lambda_{\max} = 190\text{nm}$ et un dernier pic où λ va de 420 à 474 nm.

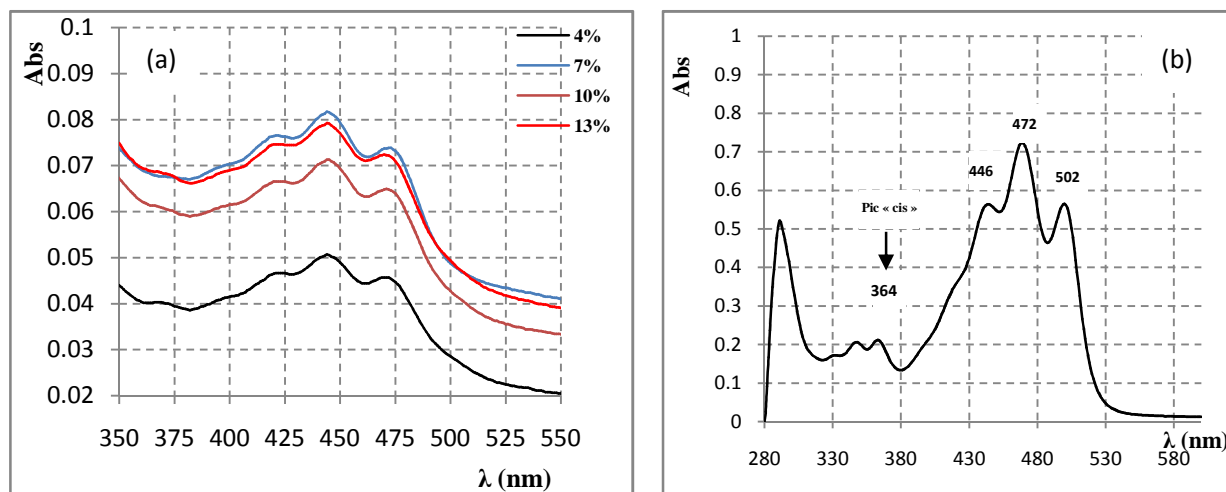


Figure III.26 : Comparaison entre les spectres UV-vis du jaune d'œuf lyophilisé (a) et la pelure de tomate sèche (b)

L'identification des isomères de lycopène et de β -carotène se fait grâce au spectre UV-visible. Ainsi, la principale longueur d'onde maximale d'absorption d'un isomère Z est inférieure à celle de l'isomère E; pour un double isomère Z, l'écart des longueurs d'ondes sera plus important (Chanforan, 2011).

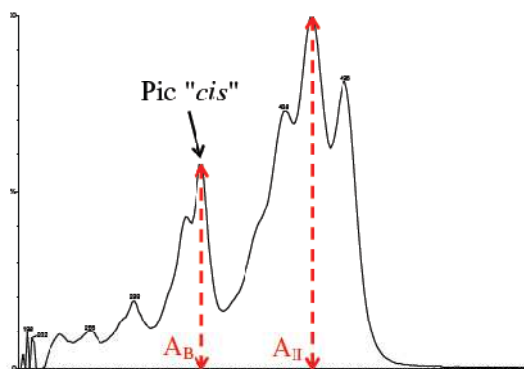


Figure III.27 : Spectres UV-Visible d'un isomère Z du lycopène

Selon les données de la littérature (Chanforan, 2011), et le spectre donné par ce même auteur, un nombre important d'isomères de lycopène présentant deux isomérisations serait également présent dans les produits à base de tomate.

Le spectre UV-VIS donné dans la figure ci-dessus montre que nos résultats sont concordants à ceux obtenus par cet auteur, donc il ya eu transfert du lycopène depuis la diète vers l'œuf.

La plus grande intensité de pic a été relevée dans le jaune d'œuf contenant la PTS à 7%, juste au dessus de ce pic nous avons enregistré un pic très proche du 1^{er} pic correspondant au lot à 13% d'inclusion en PTS, ensuite un pic appartenant au lot à 10% d'inclusion en PTS apparaît.

Un peu plus loin de ces trois premiers pics, nous avons enregistré un quatrième pic correspondant au lot contenant de PTS à 4% et en dernier lieu le lot témoin qui a enregistré le plus faible pic.

II.5. Microstructure de jaunes d'œuf lyophilisé au MEB

La microstructure des jaunes d'œufs lyophilisés de chaque lot à été faite par microscope électronique à balayage. Les micrographes obtenus sont récapitulés dans la figure III.28.

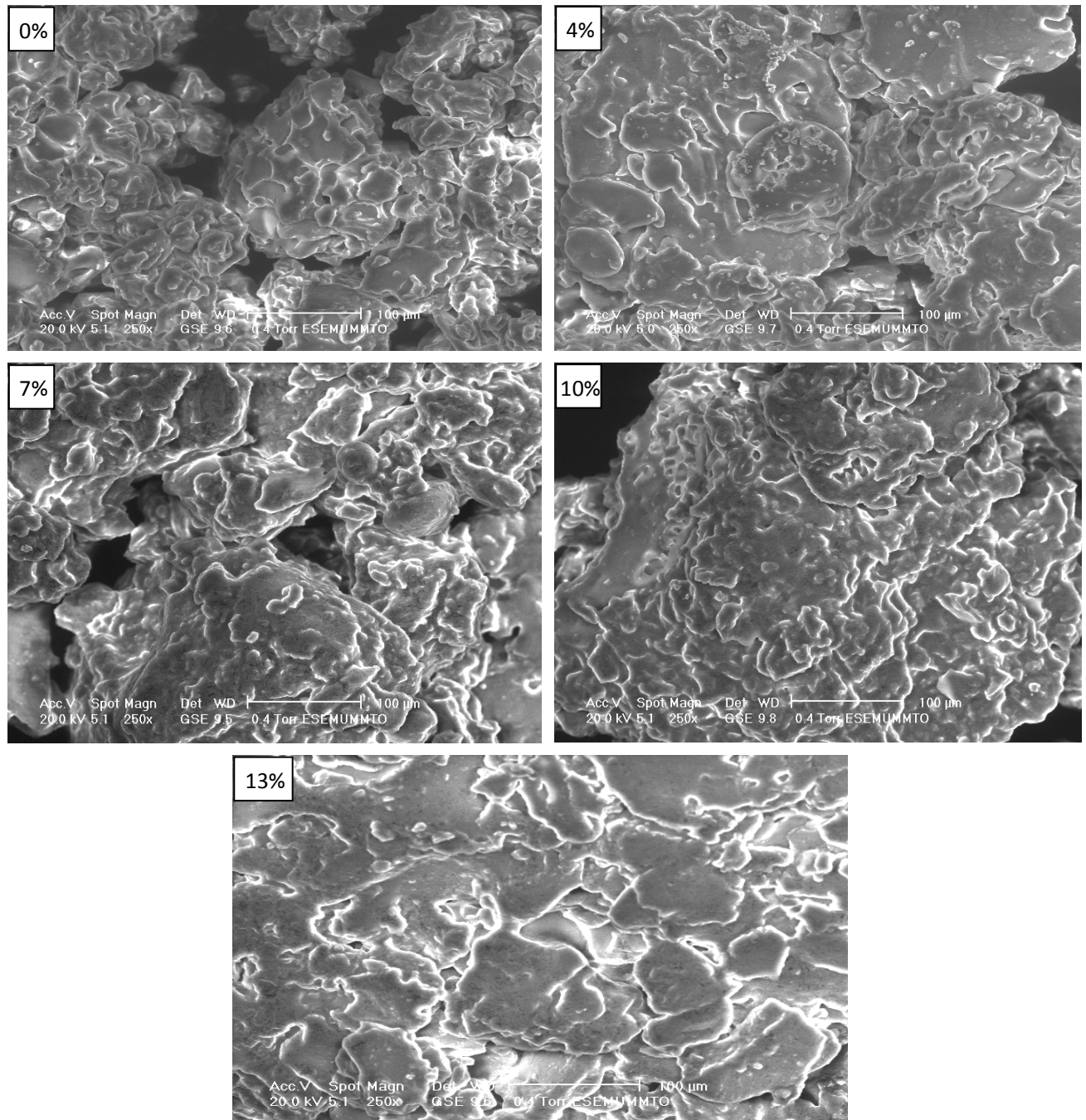


Figure III.28: Microstructure de jaunes d'œufs des différents lots

D'après les micrographes obtenus, nous remarquons une différence de structure d'un jaune d'œuf lyophilisé à un autre en fonction du taux d'enrichissement en pelure de tomate dont :

- **Jaune d'œuf témoin (0%)** : du micrographe, nous remarquons présence de globules de diamètre de 20 microns. On constate aussi qu'il y'a toute une structure bien compacte, c'est des amas de granules liés les uns aux autres de formes irrégulières.

- **Jaune d'œuf enrichi à 4%** : dans ce micrographe on remarque qu'il ya présence de petit granules de faible dimension par rapport à ceux vus dans le jaune d'œuf témoin, et en quantité supérieure toujours par rapport au témoin. Nous pouvons voir également avec l'objectif 250, que certains de ces gros globules s'allongent pour former une sorte de pole ; à la surface de ces globules se présentent des granules de forme sphérique. Certaines se regroupent en grappe d'autres se retrouvent dispersées de part et d'autre sur la surface de gros globules.

- **Jaune d'œuf enrichi à 7%** : nous distinguons une microstructure composée d'amas détachés légèrement les uns des autres. La structure de ces jaunes d'œuf apparait sous forme de grands agrégats, donc il y a eu cohésion de globules ce qui a induit la formation d'une grande masse. Par rapport au jaunes d'œuf enrichis à 4% de PTS, nous remarquons l'absence de granules et par rapport au jaunes d'œuf témoin, le micrographe montre un détachement des amas formés.

- **Jaune d'œuf enrichi à 10%** : le micrographe fait apparaitre une structure bien compacte, qui se traduit par la présence d'amas plus denses, avec une surface rugueuse par rapport aux lots précédents. Les agrégats formés sont de grande dimension en nombre réduit, ce qui nous a permis d'observer un nombre réduit.

- **Jaune d'œuf enrichi à 13%** : d'après le micrographe, les jaunes d'œuf enrichis à 13% en PTS, montre une microstructure très compacte. A ce taux d'incorporation de PTS, la cohésion des globules a atteint son maximum ce qui nous a permet d'observer une structure agglomérée.

Conclusion

Allant de 0% jusqu'à 13%, le nombre de granules initialement élevé et de petite taille s'agglomèrent pour former des amas de grande taille. Ces derniers s'adhèrent les uns aux autres formant ainsi une grosse masse qui est bien illustrée dans le micrographe du lot 13%.

II.6. Etude du comportement rhéologique du jaune d'œuf

Rappelant que notre objectif dans cette partie est de déterminer la relation entre contrainte et vitesse de cisaillement afin de déduire les propriétés rhéologiques des jaunes d'œufs frais.

Les rhéogrammes qui servent à décrire les propriétés rhéologiques de cinq types de jaune d'œufs à taux d'incorporation en PTS différents (0%, 4%, 7%, 10 et 13%) sont illustrés dans les figures III.29.

La représentation contrainte de cisaillement et viscosité en fonction de la vitesse de cisaillement donnés dans la figure III.29, révèle un comportement non linéaire pour tous les jaunes d'œufs à différent taux d'inclusion en PTS.

Un des comportements pratiques les plus intéressants des fluides non-newtoniens est leur relation non linéaire entre contrainte et vitesse de déformation. La structure interne du fluide est complexe et peut être influencée par l'écoulement (Guazzelli, 2001).

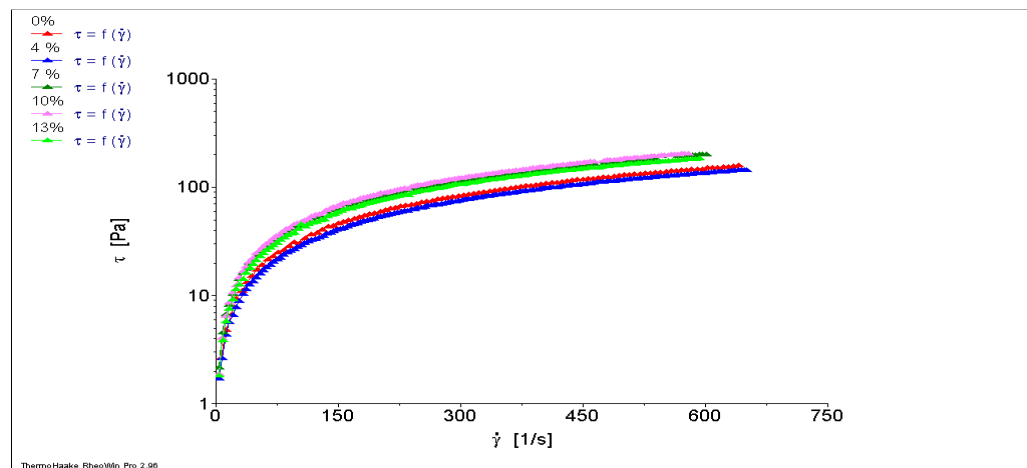


Figure III.29 : Réhogrammes montrant la variation de contrainte en fonction de la vitesse de cisaillement pour différents jaunes d'œufs.

D'après les réhogrammes, contrainte en fonction de la vitesse de cisaillement, nous avons remarqué que la contrainte de cisaillement augmente quand la vitesse de cisaillement augmente. Vulgairement dit, plus on "brasse" un liquide, plus il faut dépenser d'énergie.

Mais qu'en est-il du rapport des deux grandeurs? C'est une propriété du matériau qui n'est rien d'autre que la viscosité dynamique. $\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$

Les rhéogrammes qui traduisent la variation de la viscosité en fonction de la vitesse de cisaillement pour les différents jaunes d'œufs sont illustrés dans la figure III.30.

D'après la représentation graphique, viscosité en fonction de la vitesse de cisaillement, nous constatons que la viscosité diminue en augmentant la contrainte. Cet effet est dû en général à une brisure de la structure interne sous l'effet de cisaillement.

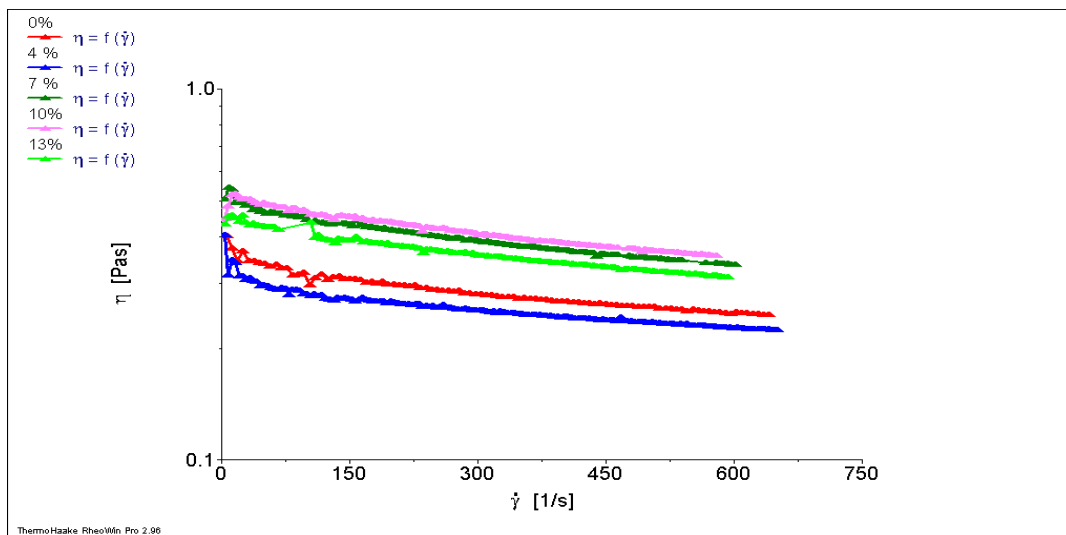


Figure III.30: Variation de la viscosité des jaunes d'œufs en fonction de la vitesse de cisaillement.

La variation simultanée de la contrainte et viscosité en fonction de la vitesse de cisaillement est récapitulée dans la figure III.31 ci-dessous.

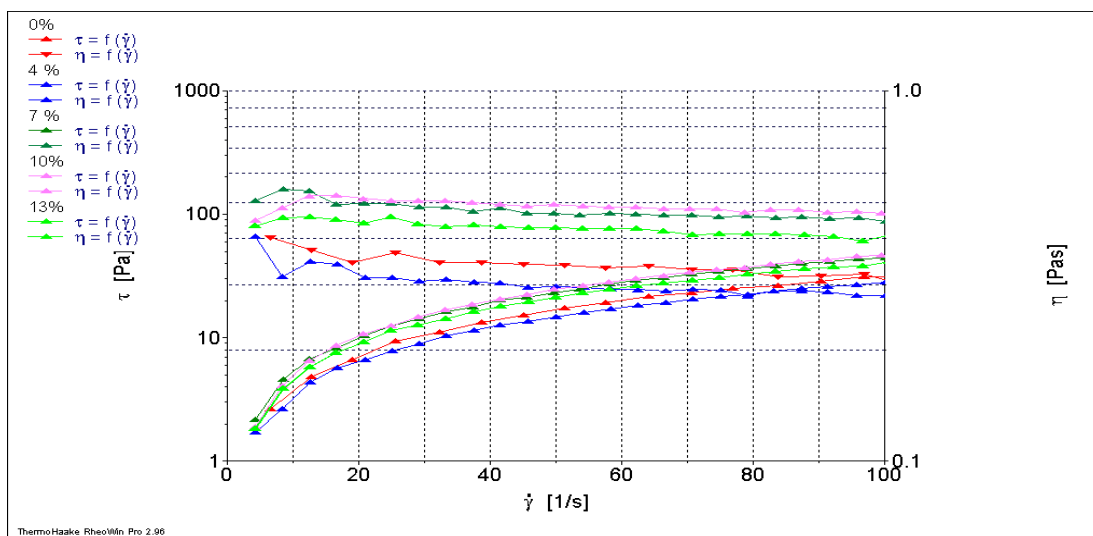


Figure III.31 : Rhéogramme général de variation de la contrainte et viscosité en fonction de vitesse de cisaillement

Dans ce cas la viscosité n'est pas constante. À chaque valeur du couple vitesse de cisaillement, contrainte de cisaillement ($\dot{\gamma}$, τ) correspond une valeur de la viscosité η . Dès lors, on parle de viscosité apparente (Fluides non newtoniens (non linéaires)).

Un comportement non-newtonien important est la viscoélasticité. La réponse du fluide à une déformation présente à la fois un aspect visqueux (où les contraintes sont proportionnelles aux vitesses de déformation) et un aspect élastique (où les contraintes sont proportionnelles aux déformations) (Guazzelli, 2001).

Nous constatons que les jaunes des œufs enrichis à 7%, 10% ainsi qu'à 13% en PTS ont une tendance à augmenter la contrainte de cisaillement, par contre les jaunes enrichis à 4% en PTS a une tendance inverse par rapport au jaune d'œuf du lot témoin.

D'après ces rhéogrammes nous déduisant que l'incorporation de pelure de tomate sèche dans l'aliment des poules à des taux 7%, 10% et 13% a agit positivement sur les propriétés rhéologiques des jaunes d'œufs par rapport au témoin. Néanmoins, nous constatons qu'à 7% et 10%, la contrainte augmente mais au dessus de ce dosage nous avons un effet inverse d'où une réduction de contrainte et donc une réduction de viscosité.

II.6.1. Modélisation mathématique du comportement rhéologique de différents types de jaunes d'œuf frais

D'après l'allures des rhéogrammes obtenus viscosité et contrainte en fonction de vitesse de cisaillement, nous constatons que les jaunes d'œufs de la présente étude ont un comportement rhéologique des liquides rhéofluidifiants (en anglais. shear softening, thinning), Autrefois et encore parfois appelés pseudoplastiques.

La représentation passe par l'origine avec une décroissance de la dérivée, c'est-à-dire diminution de la viscosité apparente, quand le gradient de vitesse augmente.

Afin de caractériser ce type de comportement rhéologique, plusieurs modèles peuvent être utilisés : le modèle d'Ostwald ou loi de puissance (1925), modèle d'Ellis, modèle de Williamson et le modèle de Cross.

L'évolution de la contrainte en fonction de vitesse de cisaillement est correctement corrélée avec le model de loi de puissance pour les différents types de jaunes d'œuf.

Les rhéogrammes qui traduisent la variation de la contrainte en fonction de vitesse de cisaillement en corrélation avec le model de loi de puissance pour les différents types de jaunes d'œuf frais sont illustrés dans la figure III.33.

II.6.2. Equation d'état du model loi de puissance d'Ostwald (power law rhéology)

Une loi empirique très utilisée pour la variation de la viscosité avec le taux de cisaillement est la loi de puissance (proposée pour la première fois par Ostwald en 1925) : $\tau = k\dot{\gamma}^n$

Où le coefficient k et l'exposant n sont à déterminer expérimentalement.

La viscosité s'écrit donc : $\eta = k\dot{\gamma}^{n-1}$

$$\log \tau = \log k + n \log \dot{\gamma}$$

Où K : coefficient de consistance du fluide (viscosité pour un gradient de 1 s^{-1})

n : indice d'écoulement, avec $0 < n < 1$

Où la pente de la droite donne : n et l'ordonnée à l'origine la constante k .

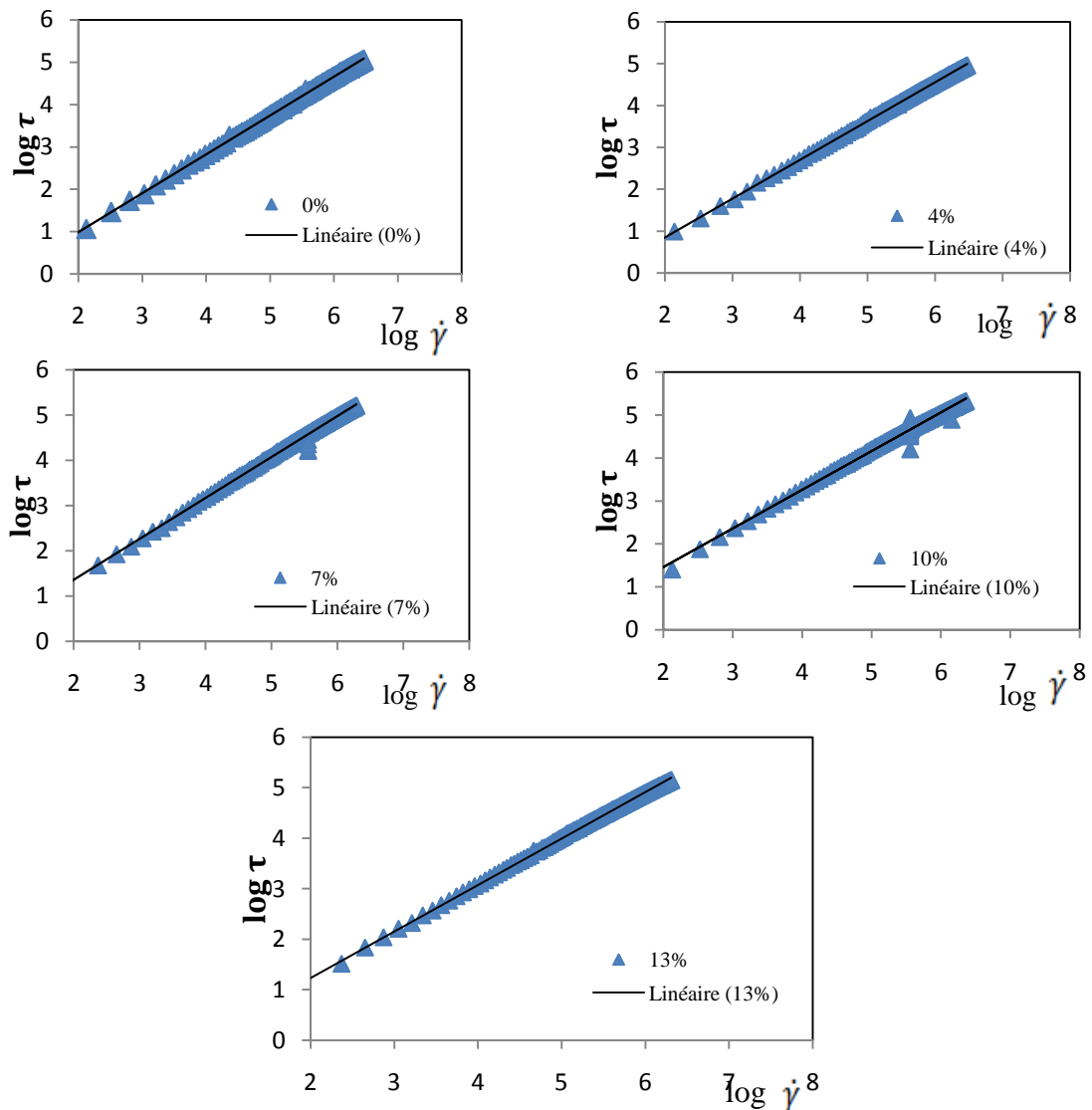


Figure III.32 : modélisation du comportement rhéologique de jaunes d'œufs des différents lots

L'application de ce modèle à nos données expérimentales, a présenté des coefficients de corrélation de 0,99 pour les différents jaunes d'œuf. Les valeurs des autres paramètres du modèle sont données dans le tableau III.23.

Le rhéogramme qui traduit la corrélation du modèle loi de puissance d'Oswald avec les données expérimentales de la contrainte et vitesse de cisaillement est illustré dans la figure III.34.

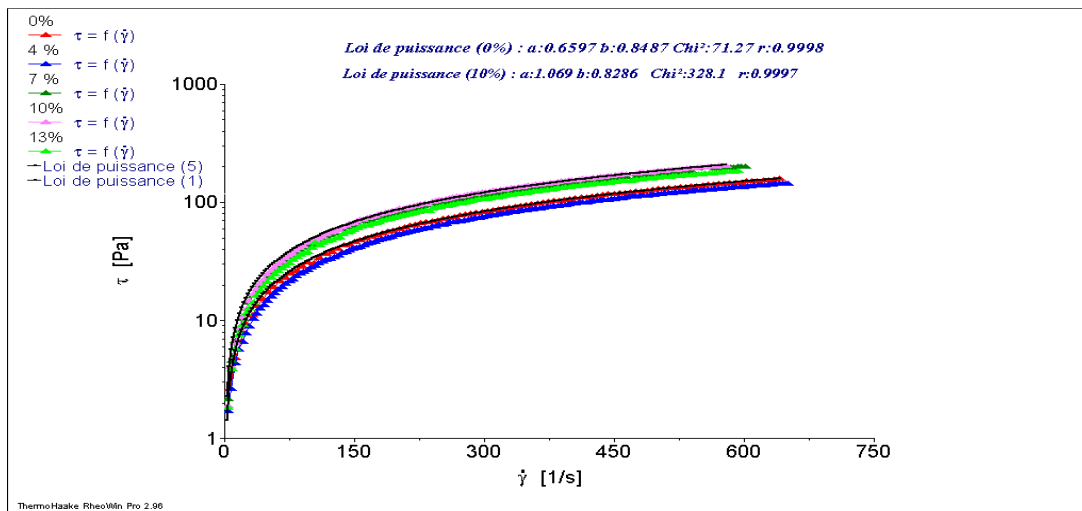


Figure III.33 : Variation de la contrainte en fonction du taux de cisaillement en corrélation avec le modèle d'Oswald.

De ce qui précède, nous pouvons conclure qu'au dessous de 4% d'inclusion de PTS dans l'aliment de poules, le comportement rhéologique des jaunes d'œufs a été affecté, et en allant aux taux supérieurs de 7% et 10% ce comportement a montré une augmentation remarquable, mais en deçà (à 13%), il y a eu un effet inverse où nous avons un changement d'allure de rhéogramme.

Tableau III.23: Les valeurs critiques du modèle loi de puissance d'Oswald qui caractérise le comportement rhéologique des différents jaunes d'œufs

Lots	Paramètres loi de puissance d'Oswald			
	a(k)	b(n)	r ²	x ²
0%	0,6597	0,8487	0,9998	71,27
4%	0,5467	0,8636	0,9998	96,75
7%	1,0480	0,8243	0,9996	317,3
10%	1,069	0,8286	0,9997	328,1
13%	0,8979	0,8363	0,9997	270,4

A l'échelle microscopique, les molécules, sous l'effet de la vitesse de cisaillement ont tendance à s'aligner progressivement le long des couches ce qui favorise leur glissement relatif. Une seconde interprétation consiste à envisager une modification de la structure du matériau sous l'effet du gradient de vitesse (déstructuration par rupture de liaison de type Vander Waals, défloculation des particules).



Figure III. 34 : Alignement des particules sous l'effet de cisaillement (Arbaret, 2001)

En conclusion, les jaunes d'œufs frais à différents taux d'inclusion en PTS, ont montré un comportement rhéologique comparable à celui des fluides non newtoniens pour lesquels la relation contraintes et les taux de cisaillement (ou les gradients de vitesse) n'est pas linéaire.

Souvent, ces propriétés proviennent de la présence dans le fluide d'objets de grande taille par rapport à l'échelle atomique comme les macromolécules dans les polymères, des particules dans les suspensions ou des gouttelettes dans les émulsions. Ces objets peuvent eux-mêmes former des structures plus grandes, comme des agrégats de plaquettes dans les argiles, qui peuvent influencer fortement les propriétés de l'écoulement. Ces fluides sont très répandus dans la nature (neige, boue, sang, crème...), dans l'industrie (peinture, mousse à raser, mayonnaise, yaourt...) (Guazzelli, 2001).

L'étude qui a été faite par Laca *et al.*, (2010), montre que du point de vue structural, la résistance au cisaillement de granules de jaune d'œuf est plus haute que celle de la pâte lipidique. Cette différence de résistance au cisaillement peut s'expliquer par la haute valeur protéique dans la fraction 1 (granules) (puisque les protéines sont responsables du support de structure), et que la fraction 2 contient un haut pourcentage de lipides (puisque les lipides favorisent l'écoulement).

II.7. Résultats des analyses organoleptiques

Les résultats des classements des critères goût, odeur et couleur ainsi que la somme des rangs par produit et par l'ensemble des sujets ont été déterminés. Pour l'interprétation des résultats obtenus nous avons utilisé le test de Friedman basé sur le calcul de F (Danzant, 1988).

❖ Calcul de F pour le critère goût :

$$F = 12 [(55)^2 + (49)^2 + (22)^2 + (44)^2 + (31)^2] / 10 \times 5 \times (5 + 1) - 3 \times 10 \times (5 + 1)$$

$$F = 168,14$$

Lu sur la table (voir annexe) de X^2 à degré de liberté de P-1(4) à 5% est de : L = 9,49

F > L → Les produits sont perçus comme étant significativement différents.

• Détermination des couples d'échantillons qui diffèrent entre eux

Pour cela on effectue un test de comparaison multiple des sommes des rangs.

La plus petite différence significative est égale à : $\delta = Z \cdot [n \times p (p + 1) / 6]^{1/2}$

Où Z est la valeur lue dans la table Gaussienne au niveau

$$[2\alpha / p \times (p - 1)] \text{ c'est-à-dire } [(2 \times 5\%) / 5 \times (5 - 1)] = 0,5\% \text{ donc } Z = 2,81 \text{ (Voir annexe).}$$

$$\text{D'où : } \delta = 2,81 [10 \times 5 \times (5 + 1) / 6]^{1/2} \implies \delta = 19,87$$

Si $|R_i - R_j| > \delta$: les produits i et j sont perçus comme étant significativement différents.

Si $|R_i - R_j| < \delta$: les produits i et j sont perçus comme étant significativement identiques.

Dans notre étude :

$|R_A - R_B| = 6 < 19,87 \rightarrow$ donc les produits A et B sont perçus significativement identiques.

$|R_A - R_C| = 33 > 19,87 \rightarrow$ donc les produits A et C sont perçus significativement différents.

$|R_A - R_D| = 11 < 19,87 \rightarrow$ donc les produits A et D sont perçus significativement identiques.

$|R_A - R_E| = 24 > 19,87 \rightarrow$ donc les produits A et E sont perçus significativement différents.

$|R_B - R_C| = 27 > 19,87 \rightarrow$ donc les produits B et C sont perçus significativement différents.

$|R_B - R_D| = 5 < 19,87 \rightarrow$ donc les produits B et D sont perçus significativement identiques.

$|R_B - R_E| = 18 < 19,87 \rightarrow$ donc les produits B et E sont perçus significativement identiques.

$|R_C - R_D| = 22 > 19,87 \rightarrow$ donc les produits C et D sont perçus significativement différents.

$|R_C - R_E| = 9 < 19,87 \rightarrow$ donc les produits C et E sont perçus significativement identiques.

$|R_D - R_E| = 13 < 19,87 \rightarrow$ donc les produits D et E sont perçus significativement identiques.

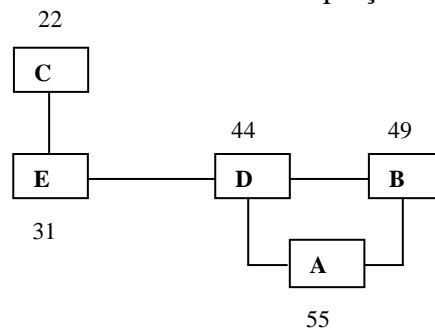


Figure III.35 : Ordre de classement des œufs selon le critère goût

D'après la figure III.35, les œufs enrichis en PTS sont significativement plus appréciés par rapport au témoin.

- **Calcul de F pour le critère odeur**

$$F = 188,38 \text{ et } L = 9,49$$

$F > L$ Les produits sont perçus comme étant significativement différents.

- **Détermination des couples d'échantillons qui diffèrent entre eux**

$|R_A - R_B| = 12 < 19,87 \rightarrow$ donc les produits A et B sont perçus significativement identiques.

$|R_A - R_C| = 44 > 19,87 \rightarrow$ donc les produits A et C sont perçus significativement différents.

$|R_A - R_D| = 29 > 19,87 \rightarrow$ donc les produits A et D sont perçus significativement différents.

$|R_A - R_E| = 34 > 19,87 \rightarrow$ donc les produits A et E sont perçus significativement différents.

$|R_B - R_C| = 32 > 19,87 \rightarrow$ donc les produits B et C sont perçus significativement différents.

$|R_B - R_D| = 17 < 19,87 \rightarrow$ donc les produits B et D sont perçus significativement identiques.
 $|R_B - R_E| = 22 > 19,87 \rightarrow$ donc les produits B et E sont perçus significativement différents.
 $|R_C - R_D| = 15 < 19,87 \rightarrow$ donc les produits C et D sont perçus significativement identiques.
 $|R_C - R_E| = 10 < 19,87 \rightarrow$ donc les produits C et E sont perçus significativement identiques.
 $|R_D - R_E| = 5 < 19,87 \rightarrow$ donc les produits D et E sont perçus significativement identiques.

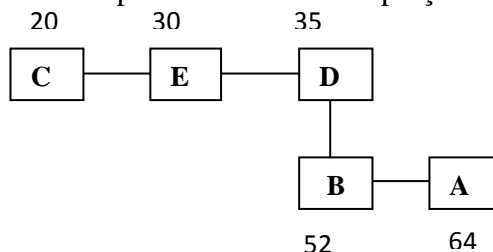


Figure III.36 : Ordre de classement des œufs selon le critère odeur

D'après la figure III.36, les œufs enrichis en PTS sont significativement plus appréciés par apport au témoin.

- **Calcul de F pour le critère couleur**

$$F = 180,96 \text{ et } L = 9,49$$

$F > L$ Les produits sont perçus comme étant significativement différents.

- **Détermination des couples d'échantillons qui diffèrent entre eux**

$|R_A - R_B| = 16 < 19,87 \rightarrow$ donc les produits A et B sont perçus significativement identiques.
 $|R_A - R_C| = 42 > 19,87 \rightarrow$ donc les produits A et C sont perçus significativement différents.
 $|R_A - R_D| = 20 > 19,87 \rightarrow$ donc les produits A et D sont perçus significativement différents.
 $|R_A - R_E| = 32 > 19,87 \rightarrow$ donc les produits A et E sont perçus significativement différents.
 $|R_B - R_C| = 26 > 19,87 \rightarrow$ donc les produits B et C sont perçus significativement différents.
 $|R_B - R_D| = 4 < 19,87 \rightarrow$ donc les produits B et D sont perçus significativement identiques.
 $|R_B - R_E| = 16 < 19,87 \rightarrow$ donc les produits B et E sont perçus significativement identiques.
 $|R_C - R_D| = 22 > 19,87 \rightarrow$ donc les produits C et D sont perçus significativement différents.
 $|R_C - R_E| = 10 < 19,87 \rightarrow$ donc les produits C et E sont perçus significativement identiques.
 $|R_D - R_E| = 12 < 19,87 \rightarrow$ donc les produits D et E sont perçus significativement identiques.

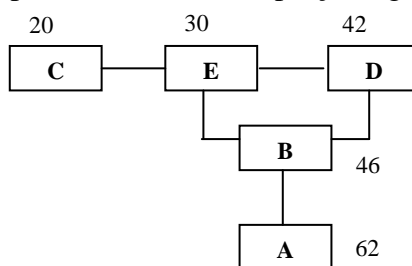
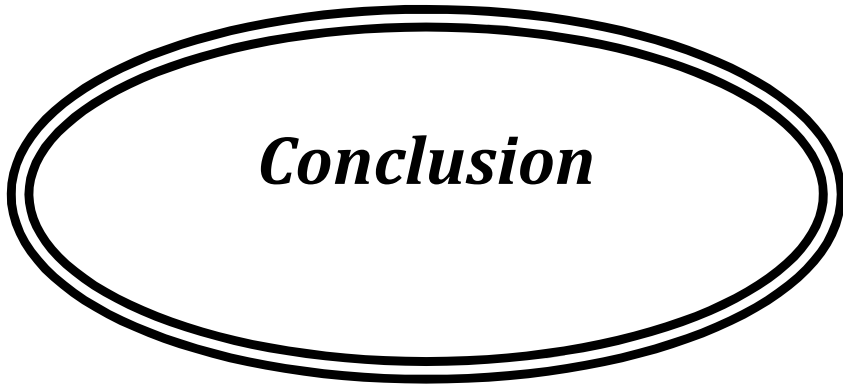


Figure III.37 : Ordre de classement des œufs selon le critère couleur

D'après la figure III.37, les œufs enrichis en PTS sont significativement plus appréciés par apport au témoin.



Conclusion

Conclusion

Les sous produits de tomate ont actuellement un grand intérêt pour la nutrition animale et humaine parce qu'ils sont d'excellentes sources d'antioxydants naturels en grande partie sous forme de caroténoïdes, composés phénoliques, tocophérols, et acide ascorbique.

Ce présent travail montre que la pelure de tomate est une source appréciable en lycopène 112,460 mg/100g, polyphénols 52,82 mg EAG/g, β -carotène 29,48 μ g/g, protéines (13,85%) et cendres de (8,78%), constituées essentiellement de phosphore, sodium, potassium, calcium et Magnésium.

La supplémentation diététique des aliments de volaille avec la pelure de tomate séchée peut être une stratégie simple et commode pour transférer les antioxydants tels que le lycopène, ainsi que les polyphénols vers l'œuf, ce qui offre un aliment doués de propriétés fonctionnelles très appréciable.

Les résultats de la présente étude montre qu'il ya eu transfert des composants de la pelure de tomate vers l'œuf, qui c'est traduit par l'apparition des pics d'absorption en UV-visible et IR, relatifs au lycopène, composant majoritaire de la pelure, ainsi nous avons enregistré un taux de transfert de lycopène variable selon la quantité de la pelure introduite dans l'aliment des poules, où nous avons enregistré un taux de transfert élevé à 7% (42,81 μ g/g) correspondant à une efficacité de transfert de 3,35% .

Le lycopène transféré vers l'œuf, a agit positivement sur la qualité de l'œuf, dont son effet hypocholestérolémiant a fait baisser le taux de cholestérol au maximum de 26,85% par rapport au témoin correspondant au taux d'incorporation en PTS de 7%. Un même effet a été remarqué pour la teneur en TG dans le jaune d'œuf.

L'incorporation de PTS dans l'aliment des poules a amélioré la concentration en polyphénols ; où nous avons enregistré une augmentation remarquable comparativement au témoin.

La pelure de tomate séchée a pu rivaliser avec ses pigments naturels, une amélioration significative de la couleur des jaunes d'œufs; elle a montré des résultats prometteurs sur la coloration de ces derniers en particulier à un taux de 7%.

La qualité organoleptique des œufs a été évaluée par le test statistique de Friedman, qui a montré une différence significative entre les œufs enrichis en pelure de tomate séchée et ceux témoins.

L'étude du comportement rhéologique des jaunes d'œufs a montré qu'au dessous de 4% d'incorporation de PTS dans l'aliment de poules, le comportement rhéologique des jaunes d'œufs a été affecté, et en allant aux taux supérieurs de 7% et 10% ce comportement a montré une augmentation remarquable, mais en deçà (à 13%), il y a eu un effet inverse.

La modélisation du comportement rhéologique des jaunes d'œufs témoins et ceux enrichis en pelure de tomate séchée, a montré une meilleure corrélation avec le modèle de loi de puissance d'Oswald, avec des coefficients de corrélation r^2 0,99, d'indice d'écoulement ($n=0,8487$) pour le jaune d'œuf non enrichi, pour les jaunes enrichis à 4%, 7%, 10% et 13%, cet indice est respectivement : 0,8636, 0,8243, 0,8286, 0,8363. Ce modèle a donné des coefficients de consistance (K) de 0,6597 pour les jaunes d'œufs témoins, pour ceux enrichis aux doses précédemment citées la constante k est de : 0,5467, 1,0480, 1,069, 0,8979 respectivement.

Au vu des résultats encourageants obtenus, il apparaît clairement que la pelure de tomate contient des éléments nutritifs et fonctionnels qui les rendent précieuses dans les régimes de la volaille et la production d'aliments fonctionnels. Également, l'aboutissement de ce travail apporterait quelques réponses positives à portée écologique, économique et financière sur le plan national.

Toutefois, il nous semble conséquent d'approfondir le présent travail par :

- le choix des prétraitements des sous produits favorisant la stabilité et la biodisponibilité des biomolécules pour leurs conservations et mode présentation des matrices (séchage sous vide ou solaire) ;
- les essais d'incorporation en tenant compte des proportions d'enrichissement ;
- en ce qui concerne les niveaux d'incorporation les études ne sont pas unanimes mais tous s'accordent sur la nécessité de prévoir une période d'adaptation suffisamment longue et l'introduction progressive des peaux dans la ration ;
- la détermination de la biodisponibilité et du sort des caroténoïdes dans l'organisme des volailles ;
- l'exploitation et traitement des résultats scientifiques et techniques obtenus, en vue de leurs applications dans l'industrie agroalimentaire.



Références
Bibliographiques

A

- Agarwal S., Rao A., 2000.** Tomato lycopene and its role in human health and chronic diseases. *CMAJ* 163:739.
- Ademe., 2000.** Les coproduits d'origine végétale des industries agroalimentaires. Ademe Edition, 76p.
- Afnor., 1982.** Recueil de normes françaises des produits dérivés des fruits et légumes jus de fruits. Ed. AFNOR, 325 p.
- Aghajanzadeh-Golshani A., Maheri-Sis N., Mirzaei A., and Baradara-Hasanzadeh., 2010.** Comparaison of Nutritional Value of tomato pomace and brewer's grain for ruminant using in vitro gas production technique. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, pp.1-9.
- Ahmed A., Rodriguez-Navarro A., Vidal ML., Gautron J., Garcia-Ruiz JM., Nys Y., 2003.** Effet de la mue sur la qualité de la coquille d'œuf chez les poules âgées. *Cinquièmes Journées de la Recherche Avicole*, 477- 480 Nys, 1996
- Alais C., Linden G., et Micho L., 2003.** *Biochimie alimentaire – 5^{ème} édition* (Ed. par. Dunod: Paris).
- Al-Wandawi H., Abdul-Rahman M., Shaikhly K., 1985.** Tomato processing wastes as essential raw material sources. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 33 : 804-807.
- Amokrane S., 2010.** Etude des prétraitements microbiologiques des résidus agro- alimentaires lignocellulosiques en vue de leur valorisation en alimentation animale. Mémoire de magister, université Mantouri Constantine ; 308/M09-18/5N/2010.P 56, 57.
- Anonyme 1, 2003.** *Alternative Medicine Review*, Vol. 8, n°3.
- Anonyme 2, 2003.** Chapitre 1 : Les gamètes. Site : [http://www.vete1250/embryologie comparée des animaux](http://www.vete1250/embryologie%20comparée%20des%20animaux).
- Anonyme 3, 2004.** Hy-line variety brown, guide d'élevage, 2004.
- Anonyme 4, 2005.** Les vertus thérapeutiques des œufs. Site : [http://www.oeufs.ca / fr/ sante/ miracul œufs](http://www.oeufs.ca/fr/sante/miraculoeufs).
- Anonyme 5, 2008.** Quoi de neuf sur l'œuf. Mars 2008. Site : <http://www.arenh.asso.fr/indev.php>
- Anred., 1988.** Les sous-produits des industries agro-alimentaires en alimentation animale. Acte de colloque. Tome 1; Angers, 8-9 novembre 1988, 165p.
- Anton M., Nau F., Lechevalier V., Guerin-Dubiard C., Croguennec T., 2010.** Les ovoproduits : des ingrédients fonctionnels pour des matrices complexes. INRA, UR1268 Biopolymères Interactions Assemblages, Equipe Interfaces et Systèmes Dispersés, F-44316 Nantes, France *Inra Prod.Anim.*, 23 (2), 215-224.
- Arbaret., 2001.** Notions de rhéophysique. Rhéologie des magmas silicatés. <http://web.cnrs-orleans.fr/~webisto/larbaret/index.htm>

B

- Baribeau H., 2004.** L'œuf. Site: <http://www.reseauproteus.net>
- Baysal T., Ersus S., Starmans DAJ., 2000.** Supercritical CO₂ extraction of β -carotene and lycopene from tomato paste waste. *J. Agric. Food Chem.*, 48, 5507-5511.
- Beecher GR., 1998.** Nutrient content of tomatoes and tomato products. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 218:98-100.
- Benakmoum A., 2009.** Effets du lycopène sur certains paramètres structuraux et fonctionnels chez le rat en croissance. Thèse Doctorat, El-Harrach (Alger), Ecole Nationale Supérieure.

- Ben-Aziz A., Britton G., and Goodwin T W., 1973.** Carotene epoxides of *Lycopersicon esculentum*, *Phytochemistry* 12, 2759-2764.
- Bibbal D., Corpet D., 2006-2007.** Œuf et ovoproduits
- Bimbenet JJ., 2007.** Séchage des produits alimentaires. Techniques de l'ingénieur, traité Agroalimentaire, F 3000.
- Bimbenet JJ., Duquenoy A., Trystram G., 2002.** Génie des procédés alimentaires des bases aux applications, Paris, 1^{re} édition, Mars, pp 554.
- Blamey M. & Grey-Wilson C., 2003.** La flore d'Europe occidentale. Paris : Flammarion.
- Boileau AC., Shi J., Le Maguare MM., 2000.** Lycopene in tomatoes: Chemical and physical properties affected by food processing. *Crit Rev Biotechnol*, 20: 293-334.
- Bok SH., Shin YW., Bae KH., Jeong T.S., Kwon YK., Park YB., Choi MS., 2000.** Effects of Naringenin and Lovastatin on plasma and hepatic lipids in high fat and high-cholesterol fed rat. *Nutr. Res.* 20, 1007–1015.
- Botsoglou N., Papageorgiou G., Nikolakakis I., Florou-paneri P., Giannenas I., Dotas V., and Sinapis E., 2004.** Effect of Dietary Dried Tomato Pulp on Oxidative Stability of Japanese Quail Meat. *J. Agric. Food Chem.*, Vol. 52, No. 10.
- Bourre J M., 2005.** Dossier scientifique sur l'œuf.
- Bourre JM., 2005.** L'œuf naturel Multi-enrichi : des apports élevés en nutriments, notamment acides gras oméga-3, en vitamines, minéraux et caroténoïdes. *Médecine et Nutrition*. Vol. 41, n.3: 116 - 125.
- Bradford, 1976.** A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding, *Analytical Biochemistry* v.72, p. 248-254.
- Bramley PM., and Rice-Evans C., 2002.** Effects of food processing on flavonoids and lycopene status in mediterranean tomato variety, *Free Radical Research* 36, 803-810.
- Brugère H., 1988.** Particularité de la physiologie des oiseaux. *L'aviculture Française*, Editions Rosset, 77-78.
- Burton GW., Ingold KU., 1984.** Carotene: an unusual type of lipid antioxidant. *Science*, 224, 569-573.

C

- Cadoni E., De Griorgi MR., Medda E., Poma G., 2000.** Supercritical CO₂ extraction of lycopene and β -carotene from ripe tomatoes. *Dyes Pigm.*, 44, 27-32.
- Calvo MM., Garcia ML., Selgas MD., 2008.** Dry fermented sausages enriched with lycopene from tomato peel. *Meat Science*, 80: 167–172.
- Capanoglu E., Moco S., Tikunov Y., Bino R. J., Boyacioglu D., Hall R. D., Vervoort J., and De Vos RCH., 2008.** Tissue specialization at the metabolite level is perceived during the development of tomato fruit, *Journal of Experimental Botany*.
- Chamila Nimalaratne., Daise Lopes-Lutz., Andreas Schieber., Jianping WU., 2011 .** Free aromatic amino acids in egg yolk show antioxidant properties. *Food Chemistry* 129 (2011) 155–161. Department of Agricultural, Food and Nutritional Science (AFNS), 4-10 Ag/For Centre, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada T6G 2P5
- Chanforan C., 2011.** Stabilité de microconstituants de la tomate (composés phénoliques, caroténoïdes, vitamines C et E) au cours des procédés de transformation : études en systèmes modèles, mise au point d'un modèle stoechio-cinétique et validation pour l'étape unitaire de préparation de sauce tomate. Thèses de doctorat 31 Mar 2011.

- Chassy AW., Bui L., Renaud ENC., Van Horn M., and Mitchell AE., 2006.** Three-year comparison of the content of antioxidant microconstituents and several quality characteristics in organic and conventionally managed tomatoes and bell peppers, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54, 8244-8252.
- Chaux C. & Foury C., 1994.** Production légumières. Tome 3-Légumineuses potagère, légume fruits. Paris : technique et documentation – Lavoisier.
- Chekroune M, et al., 2008.** Effet du couple temps-température sur l'efficacité du séchage. Cas des dattes Mech-Degla. *Ind. Alim. Agr.*, v.125 (03-04), p.22-25.
- Chen J., Shi J., Jun Xue S., Mac Y., 2008.** Comparison of lycopene stability in water- and oil-based food model systems under thermal- and light-irradiation treatments *LWT - Food Science and Technology*: 1-8.
- Choudhari S.M., Ananthanarayan L., 2007.** Enzyme aided extraction of lycopene from tomato tissues. *Food Chemistry*, Vol. 102, n. 1, p.p. 77-81.
- Christians JK., 2002.** Avian egg size: variation within species and inflexibility within individuals. *Biological Reviews Cambridge Philosophical Society*, 77, 1-26.
- Colonna P., Buleon A., Leloupe V., Thibault J.F., Renard C., Lahaye M., Viroben G., 1995.** Constituants des céréales, des graines, des fruits et de leurs sous-produits.
- Coombe BG., 1976.** The Development of Fleshy Fruits. *Annual Review of Plant Physiology* 27, 207-228.
- Cotte F. 2000.** Etude de la valeur alimentaire des pulpes de tomates. Thèse Med.Vet., Lyon I, pp.40-56 ; 64-67.
- Crookes PR., Grierson D., 1983.** Ultrastructure of tomato fruit ripening and the role of polygalacturonase isoenzymes in cell wall degradation. *Plant Physiology*, 72: 1088 - 1093.
-
- D
- Damron BL., Kelly LS., 1987.** Short-term exposure of laying hens to high dietary sodium chloride levels. *Poult Sci* 66:825-828.
- 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.
- Davis TA., et Ackerman RA., 1987.** Effects of increased water loss on growth and water content of the chick embryo. *J Exp Zool Suppl*, 1, 357-364.
- Desaulniers M., Dubost M., 2003.** Table de composition des aliments. Département de nutrition, Université de Montréal. Canada.
- Devasagayam TPA., Werner T., Ippendorf H., Martin HD., Sies H., 1995.** Synthetic carotenoids, novel polyene polyketones and new capsorubin isomers as efficient quenchers of singlet molecular oxygen. *Photochem. Photobiol.*, 55, 532-538.
- 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.
- Di Mascio P., Kaiser S., Sies H., 1989.** Lycopene as the most efficient biological carotenoid singlet oxygen quencher. *Arch. Biochem. Biophys*, 274, 532-538.
- Di Mascio P., Murphy MC., Sies H., 1991.** Antioxidant defense systems, the role of carotenoid, tocopherol and thiols. *Am. J.Clin. Nutr. Suppl.*, 53, 194-200.

Donald F., Steenson W., David B., 2000. Effects of β -Carotene and Lycopene Thermal Degradation Products on the oxidative Stability of Soybean Oil. *JAOCS*, Vol. 77, No. 11:1153- 1160.

Doré C., & Varoquaux F., 2006. Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées. Paris: INRA.

Dotas D; Zamandis S., Balios J., 1999. Effect of dried tomato pulp on the performance and egg traits of laying hens. *Br. Poult. Sci.*, 40: 695-697.

Douymaz I., 2007. Air-drying characteristics of tomatoes. *Journal of Food Engineering* 78: 1291–1297.

Dumas Y., Dadomo M., Lucca G. d., and Grolier P., 2003. Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes, *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83, 369-382.

Dupin H., Cuq JL., Malewiak MI., Rouaud CL., Berthier AM., 1992. Alimentation et nutrition humaines. Ed. ESF, Paris, 1533 p.

Dzialowskia EM., Reed WL., Sotherland PR., 2008. Effects of egg size on double-crested cormorant (*phalacrocorax auritus*) egg composition and hatchling phenotype. *Comp Biochem Physiol Part A*, 152, 262-267.

E

Ensminger ME., Oldfield JE., Heinemann W., 2000. Feeds and Nutrition. The Ensminger Publishing Company, Clovis, CA, USA, pp. 108-110.

F

Faller ALK., & Fialho E., 2009. The antioxidant capacity and polyphenol content of organic and conventional retail vegetables after domestic cooking. *Food Research International*, 42, p210–215.

FAO, 2007. Disponible sur : <http://faostate.fao.org> et <http://ecocrop.fao.org>.

FAOSTAT, 2009. <http://faostat.fao.org/>, Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

Farombi EO., & Britton G., 1999. Antioxidant activity of palm oil carotenes in peroxy radical-mediated peroxidation of phosphatidyl choline liposomes. *Redox.Rep.* 4: 61-68.

Ferguson LR., 1999. Prospects for cancer prevention, *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis* 428, 329-338.

Fletcher DL., Britton WM., Pesti GM. and Savage SI., 1983. The relationship of later flock age and egg weight on egg component yields and solid content. *Poult. Sci.*, 62: 1800-1805.

Florou-Paneri P., 1989. The use of industrial processed tomato wastes for quail feeding. Ph.D. Thesis, Epistimoniki Epetirida of the Faculty of Veterinary Medicine, Aristotle University of Thessaloniki; Vol. 23, section 10.

G

Gall G., Dupont MS., Mellon FA., Davis AL., Collins GJ., Verhoeyen ME., and Colquhoun IJ., 2003. Characterization and content of flavonoid glycosides in genetically modified tomato (*Lycopersicon esculentum*) fruits, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*: 51 (9) 2438-2446 51, 2438-2446.

Ghiafeh M., Davoodia P., Vijayanandb SG., Kulkarnib KVR., Ramana., 2006. Effect of different pre-treatments and dehydration methods on quality characteristics and storage stability of tomato powder. *LWT* 40, 1832-1840.

- Garcia-Fernandez V., 2009.** Qualité du partenaire et qualité de l'œuf chez les oiseaux. Thèse de doctorat en Ethologie. Université Paris Ouest La Défense Nanterre, France.
- García-González M., Moreno J., Manzano JC., Florencio FJ., Guerrero MG., 2005.** Production of Dunaliella salina biomass rich in 9-cis- β -carotene and lutein in a closed tubular photobioreactor. J. Biotechnol. 115, p81–90.
- Gautron J., Rehault-Godbert S., Jonchere V., Herve-Grepinet V., Mann K., Nys Y., 2010.** L'apport des techniques à haut débit (protéomique et transcriptomique) dans l'identification et la caractérisation fonctionnelle des protéines de l'œuf. Inra Prod. Anim., 23 (2), 133-142.
- Gawande SS, Kalita N., Barua N., Saharia KK., 2007.** Elevage du poulet local en milieu rural d'Assam (Inde). Aviculture Familiale Vol. 17, N° 1&2
- George B., Kaur C., Khurdiya DS., & Kapoor HC., 2004.** Antioxydants in tomato (Lycopersium esculentum) as a function of genotype. Food Chemistry, 84, 45–51.
- 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.
- Gibault T., 2006.** Lycopène? Peut-être. Tomate? Sans aucun doute!. Equation Nutrition, Vol. 55, n. 5, p.2.
- Gillapsy G., Ben-David H., Gruissem W., 1993.** Fruits: a developmental perspective. Plant Cell 5, 1439-1451.
- Gloor A., Meierhans D., Sontheim F., Stalder U., 2004.** Œufs et ovoproduits ; Manuel suisse des denrées alimentaires MSDA, chapitre 21.
- Gonzalez Mendez M., 1986.** Espagne : Les céréales en question. Revue de l'alimentation animale, 396 :55-65.
- Goodon B., 1997.** Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales. Tec.et Doc. P 346-354.
- Goula AM., Adamopoulos GK., 2005.** Stability of lycopene during spray drying of tomato pulp. Food Science and Technology, Vol. 38, n. 5, p.p. 479-487.
- Gould WA., 1991.** Tomato production, processing and technology, 3rd; CTI Publications, Inc, Baltimore.
- Grenet E., 1997.** Aspects microscopiques de la dégradation microbienne des tissus végétaux dans le rumen. INRA Prod. Anim., 10 (3) :241-249.
- Guardia T., Rotelli AE., Juarez AO., & Pelzer LE., 2001.** Anti-inflammatory properties of plant flavonoids. Effects of rutin, quercetin and hesperidin on adjuvant arthritis in rat. IL Farmaco, 56, 683-687.
- Guazzelli E., 2001.** Rhéologie des fluides complexes.

H

- Handelman GJ., Nightingale ZD., Lichtenstein AH., Schaefer EJ., & Blumberg, JB., 1999.** Lutein and zeaxanthin concentrations in plasma after dietary supplementation with egg yolk. Am.J.Clin.Nutr. 70 : 247-251.
- Hargis PS., 1988.** Modifying egg yolk cholesterol in the domestic fowl. World's Poultry Sci. J. 44: 17-27.
- Hart DJ., Scott KJ., 1995.** Development and evaluation of an HPLC method for the analysis of carotenoids in foods, and the measurement of the carotenoid content of vegetables and fruits commonly consumed in the UK. Food Chem., 54, 101- 111.

- Hayashi K., Kayali AG., Tomita Y., 1992.** Reduction of corticosterone-induced growth impairment by testosterone and its mechanism. *J. Anim. Sci. Tec.* 63, 1001–1008.
- Hayashi K., Nagai, Y., Ohtsuka A., Tomita Y., 1994.** Effect of dietary corticosterone and trilostane on growth and skeletal muscle protein turnover in broiler cockerels. *Br. Poult. Sci.* 35, 789–798.
- Hidalgo M., Rossi F., Clerici S., Ratti 2007.** A market study on the quality characteristics of eggs from different housing systems. *Food Chemistry* 106 (2008) 1031–1038.
- Higuchi K., Hayashi K., Shimoozaki Y., Ohtsuka A., Tomita Y., 1996.** Calcitonin reduces corticosterone-induced muscle proteolysis. *J. Nutr. Sci. Vit.* 41, 545–552.
- Honest H., Kessy Huanwei Zhang & Lianfu Zhang., 2010.** A study on thermal stability of lycopene in tomato in water and oil food systems using response surface methodology. *International Journal of Food Science and Technology* 46, 209-215.
- Huber DJ., 1983.** Polyuronide degradation and hemicellulose modifications in ripening tomato fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 108 : 405-409.
- Hulme AC., 1971.** *The Biochemistry of Fruits and their Products*, Vol. 2, Academic Press, Norwich.
- HuntJ., Dean RT., Wolff SP., 1988.** Hydroxyl radical production and autoxidative glycosylation. *Biochem. J.* 256, 205–212.

I

- INAF, 2007.** Institut des nutraceutiques et des aliments fonctionnels.
<http://www.inaf.ulaval.ca/fr/inaf/index.html>
- IPNI, 2005.** The internationale plante names index.
http://www.ipni.org/ipni/simplePlantNameSearch.do?find_wholeName=solanum+lycopersicum&output_forma=normal&query_type=by_query&back_page=query_inpi.html (03/12/2009).

J

- Jafari M., Pirmohammadi RR and Bampidis V., 2006.** The use of dried tomato pulp in diets of laying hens. *Int. J. Poult. Sci.*, 5: 618-622.
- Jain CK., Agarwal S., Rao AV., 1999.** The effect of dietary lycopene on bioavailability, tissue distribution, in-vivo antioxidant properties and colonic preneoplasia in rats. *Nutr. Res.* 19, 1383-1391.
- Jarriger R., 1981.** Les constituants glucidiques des fourrages : variation, digestibilité et dosage. In : Demarquilly C. *prevision de la valeur nutritive des aliments des ruminants*. INRA, Versailles, 13-40.
- Jeanet R., Croguennec T., Schuch P., Brulé G., 2007.** *Science des aliments : Biochimie - Microbiologie - Procédés - Produits*, Vol 2 : *Technologie des produits alimentaires*, Tech & Doc, Paris, 456 pp.
- Johnson EJ., 2002.** The role of carotenoids in human health. *Nutr.Clin.Care.Mar.-Apr.*;5.(2.):56.-65. 5: 56-65.

K

- Kamazawa S. Tanguchi M., Suauki Y., Shimra M., Kwon M-S et Nakayama T.(2002).** Antioxidant activity of polyphénols in carbob pod. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, p373-377.
- Karadas F., Grammenidis E., Suari PF., Acamovic T and Sparks NHC., 2006.** Effects of carotenoids from lucerne, marigold and tomato on egg yolk pigmentation and carotenoid composition. *Br. Poult. Sci.*, 47: 561-566.

- Karlssona O., Lilja C., 2008.** Eggshell structure, mode of development and growth rate in birds. *Zoology*, Article in Press.
- Kerkhofs NS., Lister CE., Savage GP., 2005.** Change in Colour and Antioxidant Content of Tomato Cultivars Following Forced-Air Drying. *Plant Foods for Human Nutrition*, 60: 117-121.
- Khachik F., De Moura FF., Zhao DY., Aebischer CP., Bernstein PS., 2002.** Transformations of selected carotenoids in plasma, liver, and ocular tissues of humans and in nonprimate animal models. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. Nov.* 43 (11), 3383-3392.
- Kim HK., Jeong TS., Lee MK., Park YB., Choi MS., 2003.** Lipid-lowering efficacy of hesperetin metabolites in high-cholesterol fed rats. *Clin. Chim. Acta.* 327, 129-137.
- Knoblich M., Anderson B., Latshaw D., 2005.** Analyses of tomato peel and seed byproducts and their use as a source of carotenoids *J Sci Food Agric* **85**:1166-1170 DOI: 10.1002/jsfa.2091
- Krinsky NI., 1989.** Antioxidant functions of carotenoids. *Free Radic. Biol. Med* 7(6):617-5.

ℒ

- Laca A., Paredes B., Di'az M., 2010.** A method of egg yolk fractionation. Characterization of fractions. Department of Chemical Engineering and Environmental Technology, University of Oviedo, C/Julian Claveria s/n., 33071 Oviedo, Spain
- Lairon D., Arnault N., Bertrais S., Planells R., Clero E., Hercberg S., and Boutron-Ruault MC., 2005.** Dietary fiber intake and risk factors for cardiovascular disease in French adults, *American Journal of Clinical Nutrition* 82, 1185-1194.
- Landrum JT., Bone RA., Joa H., Kilburn MD., Moore LL., Sprague KE., 1997.** A one year study of the macular pigment: the effect of 140 days of a lutein supplement. *Exp Eye Res.* Department of Chemistry, Florida International University, Miami, FL 33199, USA. Jul; 65(1):57-62.
- Lapornik B., Prosek M., et Wandra AL., 2005.** Comparison of extracts prepared from plant byproduct using different solvent and extraction time. *Journal of food engineering*, 71 (2): p214-222.
- Leal M., Shimada A., Ruiz F., & Mejia EG., 1999.** Effect of lycopene on lipid peroxidation and glutathione-dependent enzymes induced by T-2 toxin in vivo. *Toxicology Letters*, 109, 1-10.
- Leccia MT. (2008).** Antioxydants et photoprotection : prudence. *Annales de dermatologie et de vénéréologie.* doi:10.1016/j.annder :7-10.
- Lee HS., 2001.** Characterization of carotenoids in juice of red navel orange (Cara Cara). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, p2563-2568.
- Lee MK., Moon SS., Lee SE., Bok SH., Jeong TS., Park YB., Choi MS., 2003.** Naringenin 7-o-cetyl ether as inhibitor of HMG-CoA reductase and modulator of plasma and hepatic lipids in high cholesterol-fed rats. *Bioorg. Med. Chem.* 11, 393-398.
- Lee SH., Jeong TS., Park YB., Kwon YK., Choi MS., Bok SH., 1999.** Hypocholesterolemic effect of hesperetin mediated by inhibition of 3-hydroxy 3-methylglutaryl coenzyme a reductase and acyl coenzyme A: cholesterol acyltransferase in rats fed high-cholesterol diet. *Nutr. Res.* 19, 1245-1258.
- Lenucci MS., Cadinu D., Taurino M., Piro G., Dalessandro G., 2006.** Antioxidant composition in cherry and high-pigment tomato cultivars, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54, 2606-2613.
- Leonardi C., Ambrosino P., Esposito F., and Fogliano V., 2000.** Antioxidative activity and carotenoid and tomatine contents in different typologies of fresh consumption tomatoes, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48, 4723-4727.
- Lerrer B., Gilboa-Gaber N., 2001.** Canadian journal of microbiologie, volume 47, N° 12, Dec 2001, 1095 -1100.

- Leyendecker M., Hamann H., Hartung J., Kamphues J., Ring C., Glünder G., 2001.** Analysis of genotype-environment interactions between layer lines and hen housing systems for performance traits, egg quality and bone breaking strength. 1st communication: Performance traits. *Züchtungskunde*, 73, 290–307.
- Li-Chan ECY., & Kim HO., 2008.** Structure and chemical composition of eggs. In Y. Mine (Ed.), *Egg bioscience and biotechnology* (pp. 1–96). New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
- Lien TF., Yeh HS., Su WT., 2008.** Effect of adding extracted hesperetin, naringenin and pectin on egg cholesterol, serum traits and antioxidant activity in laying hens. *Arch. Anim. Nutr.* 62, 33–43.
- Liu F., Cao X., Wang H., Liao X., 2010.** Changes of tomato powder qualities during storage. *Powder Technology* 204 159–166.
- Luthria DL., Mukhopadhyay S., and Krizek DT., 2006.** Content of total phenolics and phenolic acids in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits as influenced by cultivar and solar UV radiation, *Journal of Food Composition and Analysis* 19, 771- 777.

M

- Magdelaine P., Braine A., 2010.** Panorama mondial et européen de la production et de la consommation d'œufs. Volume 23, Numéro 2., Numéro spécial "Qualité de l'œuf". *Inra Prod.Anim.*, 23 (2), 111-122
- Mansoori B., Modirsanei M., and Kiaei MM., 2008.** Influence of dried tomato pomace as an alternative to wheat bran in maize or wheat based diets, on the performance of laying hens and traits of produced eggs. *Iranian Journal of Veterinary Research, Shiraz University, Vol. 9, No. 4, Ser. No. 25, 2008.*
- Marchand L., Hankin JH., Carter S., Essling C., Luffey D., Franke A., 1994.** 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*;3:245-51.
- Marsic NK., Sircelj H., and Kastelec D., 2010.** Lipophilic antioxidants and some carpometric characteristics of fruits of ten processing tomato varieties, grown in different climatic conditions, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58, 390-397.
- McGraw KJ., Adkins-Regan E., & Parker RS., 2002.** Anhydrolutein in the zebra finch: a new, metabolically derived carotenoid in birds. *Comp.Biochem.Physiol.B.Biochem.Mol.Biol.* Aug. ; 132. (4): 811.-8. 132: 811-818.
- Meyer., 1961.** Vegetables and fruits. Chap 7. In: *Food chemistry*; Chapman et Hall, Lonres, 218-293.
- Milinsk MC., Murakami AE., Gomes STM., Matsushita M., & de Souza NE., 2003.** Fatty acid profile of egg yolk lipids from hens fed diets rich in n _ 3 fatty acids. *Food Chemistry*, 83, 287–292.
- Mirabito L., Coignard S., Travel A., 2005.** Effet du mode de logement des poules pondeuses d'œuf de consommation sur les performances zootechniques et divers critères de qualité des œufs Résultats d'une étude en élevage de production. 6èmes Journ. Rech. Avicole, 30-31 mars, Saint-Malo, France, 24.
- Moco S., Capanoglu E., Tikunov Y., Bino RJ., Boyacioglu D., Hall RD., VervoortJ., and De Vos, RCH., 2007.** Tissue specialization at the metabolite level is perceived during the development of tomato fruit, *Journal of Experimental Botany*.
- Moeller SM., Jacques PF., & Blumberg JB., 2000.** The potential role of dietary xanthophylls in cataract and age-related macular degeneration. *J.Am.Coll.Nutr.Oct.*;19. (5.Suppl.): 522S.-527S. 19: 522S-527S.

Moller AP., Biard JD., Blount DC., Houston P., Ninni N., Saino and Surai PF., 2000. Carotenoid-dependent signals: indicators of foraging efficiency, immunocompetence or detoxification ability? *Avian Poult Biol Rev* 11:p137–159.

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.

Montenegro MA., Nunes IL., Mercadante AZ., Ercadante., Claudio D. Borsarelli CD., 2007. Photoprotection of Vitamins in Skimmed Milk by an Aqueous Soluble Lycopene-Gum Arabic Microcapsule. *J. Agric. Food Chem*, 55: 323-329.

MSDA, 2004. Manuel Suisse des Denrées Alimentaires

N

Nau F & al., 2003. L'œuf de poule : une mine de molécules a activités biologique. Cinquièmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, 26 et 27 mars.

Nau F & al., 2010. Qualité nutritionnelle de l'œuf et des ovoproduits. Journées de la Recherche Avicole, Clermont Ferrand, du 15 au 17 septembre.

Navarro-González I., García-Valverde V., García-Alonso J., Jesús Periago M., 2011. Chemical profile, functional and antioxidant properties of tomato peel fiber. 10.1016/j.foodres.2011.04.005. Spain

Nguyen M., Francis D., and Schwartz S., 2001. Thermal isomerisation susceptibility of carotenoids in different tomato varieties, *Journal of the Science of Food and Agriculture* 81, 910-917.

Nikolakakis I., Banakis D., Florou-Paneri P., Dotas V., Giannenas I., Botsoglou N., 2003. Effect of dried tomato pulp on the performance and carcass characteristics of growing quail. *Arch.Geflugelk.*, 67, 1-5.

Nobre BP., Palavra AF., Pessoa FLP., Mendes RL., 2009. Supercritical CO₂ extraction of trans-lycopene from Portuguese tomato industrial waste. *Food Chemistry*, Vol. 116, n. 3, p.p. 680-685.

Novak C., Yakout H., Scheideler S., 2004. The combined effects of dietary lysine and total sulfur amino acid level on egg production parameters and egg components in dekalb delta laying hens. *Poult Sci* 83, 977-984.

Nys Y., Sauveur B., 2004. Valeur nutritionnelle des œufs. *INRA Prod Ani* 17, 385-393.

O

Odedra BR., Bates PC., Millward DJ., 1983. Time course of the effect of catabolic doses of corticosterone on protein turnover in rat skeletal muscle and liver. *J. Biochem.* 214, 617–627.

Okanlawon SO., Ibrahim MH., Oyebani AO., 2002. Effect of predrying treatment on the storage of dried tomato. *Tropical Science*, 42, 40–41.

Oshima S., Sakamoto H., Ishiguro Y., Terao J., 1997. Accumulation and clearance of capsanthin in blood plasma after the ingestion of paprika juice in men. *J. Nutr.* 127, 475-1479.

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.

P

Paran E., Engelhard Y., 2001. Effect of tomato's lycopene on blood pressure, serum lipoproteins, plasma homocysteine and oxidative stress markers in grade I hypertensive patients. *AJH* 14 (4), 333.

Parpinello GP., Meluzzi A., Sirri F., Tallarico N., Versari A., 2006. Sensory evaluation of egg products and eggs laid from hens fed diets with different fatty acid composition and supplemented with antioxidants. *Food Research International* 39, 47-52.

- Pavlovski Z., Hopic S., & Lukic M., 2001.** Housing systems for layers and egg quality. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 17, 197-201.
- Peschel W., Sanchez-Rabaneda F., Diekmann W., Plescher A., Gartzia I., Jimenez D., Lamuela-Ravento R., Buxaderas S., Codina C., 2006.** An industrial approach in the search of natural antioxidants from vegetable and fruit wastes. *Food Chemistry*, 97 : 137-150.
- Peschel W., Sanchez-Rabaneda F., Diekmann W., Plescher A., Gartzia I., Jimenez D., Lamuela-Ravento R., Buxaderas S., Codina C., 2006.** An industrial approach in the search of natural antioxidants from vegetable and fruit wastes. *Food Chemistry*, 97 : 137-150.
- Poretta S., Sandei L., 1990.** Effect of chemical composition on nonenzymic browning in tomato products. *Industrie Alimentaire*, 29, 113-116.
- Prochaska JF., Carey JB., Shafer DJ., 1996.** The effect of L-Lysine intake on egg component yield and composition in laying hens. *Poult Sci* 75, 1268- 1277.
- Proot J., 2002.** Les technologies propres appliquées aux industries agroalimentaires. Aris.T, Bourgone, pp.12.
- Protais J., 1988.** La qualité de l'œuf de consommation ; L'aviculture Française, Editions Rosset, p761-772.

Q

- Qiu W., Jiang H., Wang H., Yuan J., 2004.** Isomerisation of all-trans-lycopene to cis-lycopene in organic solvents. *Shipin Yu Fayao Gongye*, 30 : 1-5.

R

- Raffo A., La Malfa G., Fogliano V., Malani G., and Quaglia G., 2006.** Seasonal variations in antioxidant components of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* cv. Naomi F1), *Journal of Food Composition and Analysis* 19, 11-19.
- Ramandeep K, Toor., Geoffrey P., Savage., 2005.** Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. *Food Research International* 38, 487-494.
- Rao AV., 2006.** Lycopène. *Food and nutrition research*. 10.1016/S1043- 4526(06)51002-2.
- Rao AV., Agarwal S., 1999.** Role of lycopene as antioxidant carotenoid in the prevention of chronic diseases: a review. *Nutrition Research*, Vol. 19, n. 2, p.p. 305-323.
- Ribéreau-Gayon P.,1968.** Les composés phénoliques des végétaux. Ed. Dunod Paris, 254 p.
- Rao AV., Shen H., 2002.** Effect of low dose lycopene intake on lycopène bioavailability and oxidative stress. *Nutr. Res.* 22, 1125-1131.
- Renaud V., & Dudouet C., 2001.** Le traité Rustica du potager. Paris : Édition Rustica.
- Reynes M., Bouabidi H., Piombo G., Risterucci AM., 1994.** Caractérisation des principales variétés de dattes cultivées dans la région du Djérid en Tunisie. *Journal of Fruits*, Vol. 49, pp. 289-298.
- Rimm EB., Ascherio A., Giovannucci E., Spiegelman D., Stampfer M J., Willett WC., 1996.** Vegetable, fruit, and cereal fiber intake and risk of coronary heart disease among men, *JAMA* 275, 447-45.
- Rivard-Gervais N., 2001.** Aliments fonctionnels et produits nutraceutiques ; les fibres, les vitamines et les autres éléments nutritifs. *Le Médecin du Québec*, volume 36, p 4.
- Rosner G., 1982.** Opération Rhône-Alpes de valorisation des sous-produits de l'agroalimentaire par alimentation animale. 2^{ème} rapport.

Rouessac F., Rouessac A., Cruché D., 2004. Analyse Chimique, Méthodes et techniques instrumentales modernes. Dunod, Paris, 6ème édition

Rozzi NL., Singh RK., Vierling RA., & Warkins BA., 2002. Supercritical fluid extraction of lycopene from tomato processing byproducts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 2638–2643.

S

Sacilik K., Keskin R., Konuralp Elicin A., 2006. Modeler mathématique du séchage solaire de tunnel de la couche mince tomate organique. *Journal of Food Engineering* 73 : 231 - 238.

Sahin K., Onderci M., Sahin N., Gursu MF., & Kucuk O., 2006. Effects of lycopene supplementation on antioxidant status, oxidative stress, performance and carcass characteristics in heat-stressed Japanese quail. *Journal of Thermal Biology*, 32, 307-312.

Sahin N., Akdemir F., Orhan C., Kucuk O., Hayirli A., Sahin K., 2008. Lycopene-enriched quail egg as functional food for humans. *Food Research International* 41, 295-300.

Santipanichwong, R., & Suphantharika, M. (2007). Carotenoids as colorants in reduced-fat mayonnaise containing spent brewer's yeast β -glucan as a fat replacer. *Food Hydrocolloids*, 21(4), 565–574.

Saito N et Shimada K., 1988. Ovarian prostaglandin levels at the midsequence oviposition the terminal oviposition and the first ovulation of a sequence in the hen *Gallus-domesticus*, *Japanese Poultry Science*, 25 (5): p296-304.

Sandei L., Pieracci V., Maselli A., Visentini G., Leoni C., 2007. The Instrumental Measurement of Colour and Lycopene in Tomato and Tomato Products In: *International Symposium on the processing Tomato*. B'Chirs A., Colvine S., Vol. 1, p.p. 129-138.

Sauveur B., 1988. Reproduction des Volailles et production d'œufs. Paris, Edition INRA, 11-49 ; 347-375 ; 377-431.

Schaeffer JL., Tyczkowski JK., Parkhurst CR. & Hamilton PB., 1988. Carotenoid composition of serum and egg yolks of hens fed diets varying in carotenoid composition. *Poult.Sci.* 67: 608-614.

Scheideler SE., Froning GW., & Jaroni D., 1998. Factors affecting n-3 fatty acid deposition from dietary flaxseed and elongation of C 18:3 to C 22:6 in the egg. In A. P. Simopoulos (Ed.). *The return of n-3 fatty acids into the food supply 1. Land-based animal food products and their health effects* Vol. 83, pp. 230–231. Basel: Karger AG.

Shafer DJ., Carey JB., Prochaska JF., Sams AR., 1998. Dietary methionine intake effects on egg component yield, composition, functionality and texture profile analysis. *Poult Sci* 77, 1056-1062.

Shafey T.M., Dingle JD. and McDonald MW., 1992. Comparison between wheat, triticale, rye, soybean oil and strain laying bird on the production, and cholesterol and fatty acid contents of eggs. *Br. Poultry Sci.* 33: 339-346.

Sharma SK., Le Maguer M., 1996. Lycopene in tomatoes and tomato pulp fractions. *Ital. J. Food Sci.*, 2, 107-113.

Sheridan AK., Humphris CSM. and Nicholins J., 1982. The cholesterol content of eggs produced by Australian egg laying strains. *Bri. Poultry Sci.* 23: 569-575.

Shi J et Le Maguer M., 2000. Lycopene in tomatoes: chemical and physical properties affected by food processing. *Crit Rev Biotechnol*; 20(4): 293-334.

Sikora E., Cieslik E., Leszczynska T., Filipiak-Florkiewicz A., & Pisulewski PM., 2008. The antioxidant activity of selected cruciferous vegetables subjected to aquathermal processing. *Food Chemistry*, 107, p55–59.

- Siegel HS., 1995.** Stress, strains and resistance. *Br. Poultry Sci.* 36, 3–22.
- Simčič M., Stibilj V., Holcman A., 2009.** The cholesterol content of eggs produced by the Slovenian autochthonous Styrian hen, *Food Chemistry* 114 1- 4.
- Singleton V., Orthofer R et Lamuela-Raventos R. (1999).** Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocateau reagent. *Method of enzymologie*, 299, p152- 178.
- Skrivan M., Skrivanova V., Marounek M., 2005.** Effects of dietary zinc, iron and copper in layer feed on distribution of these elements in eggs, liver, excreta, soil and herbage. *Poult Sci* 84, 1570-1575.
- Slimestad R., and Verheul MJ., 2005.** Content of chalconaringenin and chlorogenic acid in cherry tomatoes
- Slimestad R., Fossen T., and Verheul MJ., 2008.** The flavonoids of tomatoes, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56, 2436-2441.
- Sommerburg O., Keunen JE., Bird AC., & van Kuijk FJ., 1998.** Fruits and vegetables that are sources for lutein and zeaxanthin: the macular pigment in human eyes. *Br.J.Ophthalmol.* 82: 907-910.
- Spencer JP., Schroeter H., Rechner AR., Rice-Evans C., 2001.** Bioavailability of flavan-3-ols and procyanidins: gastrointestinal tract influences and their relevance to bioactive forms in vivo. *Antioxid Redox Signal*;3: 1023-39.
- Stadelman WJ & Cotterill JO., 1995.** *Egg science and technology* (4th ed.). AVI Publisher Company, Westport , CT. 355 p; [linkinghub.elsevier.com / retrieve / pii / S0023643806002386](http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643806002386)
- 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.
- Stephens A., Perkins-Porras L., McKay C., Rink E., Hilton S., Cappuccio F., 2003.** Behavioural counselling to increase consumption of fruit and vegetables in low income adults: randomized trial. *BMJ*;326:855–61.
- Stewart AJ., Bozonnet S., Mullen W., Jenkins GI., Lean MEJ., and Crozier A., 2000** Occurrence of flavonols in tomatoes and tomato-based products, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48, 2663-2669.
- Surai PF., Bortolotti GR., Fidgett AL., Blount JD., and Speake BK., 2001.** Effects of piscivory on the fatty acid profiles and antioxidants of avian yolk: studies on eggs of the gannet, skua, pelican and cormorant. *J Zool (Lond)* 255:p305-312.
-
- T*
- Tétry A., Crimail P., 1981.** *La grande Encyclopédie Larousse*, Œuf, 14, 8732 - 8736.
- Thiebault D., 2005.** Les organes génitaux des oiseaux. Site : [http : //www.oiseaux.net](http://www.oiseaux.net).
- Thompson KA., Marshall MR., Sims CA., Wei CI., Sargent SA., Scott, JW., 2000.** Cultivar, maturity, and heat treatment on lycopene content in tomatoes. *J. Food Sci.*, 65, 791-795.
- Ting S., Yeh HS., Lien TF., 2011.** Effects of supplemental levels of hesperetin and naringenin on egg quality, serum traits and antioxidant activity of laying hens. *Animal Feed Science and Technology* 163. P59-66.
- Tomodori., 2007.** La fleur de tomate. Disponible sur : <http://tomodori.com>. (17/05/2009).
- Toor RK., and Savage GP., 2005.** Antioxidant activity in different fractions of tomatoes, *Food Research International* 38, 487-494.
- Toor RK., Savage GP., and Lister CE., 2006.** Seasonal variations in the antioxidant composition of greenhouse grown tomatoes, *Journal of Food Composition and Analysis* 19, 1-10.

Topal U., Sasaki M., Goto M., & Hayakawa K., 2006. Extraction of lycopene from tomato skin with supercritical carbon dioxide: Effect of operating conditions and solubility analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 5604-5610.

Torres CA., Davies NM., Yanez JA., and Andrews PK., 2005. Disposition of selected flavonoids in fruit tissues of various tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Genotypes, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53, 9536-9543.

Tortora GJ., Anagnostakos NP., 1987. Principes d'anatomie et de physiologie. 5^{ème} édition, pp 688-693.

Trachi M., 2009. Etude physicochimique des différents types de pollens récoltés par l'abeille locale (*Apis mellifera intermissa*) dans les différentes régions d'Algérie (montagne, plaine et steppe).

Travel A., Nys Y., Lopes E., 2010. Facteurs physiologiques et environnementaux influençant la production et la qualité de l'œuf. ITAVI, Recherches Avicoles, F-7380 Nouzilly, France ; INRA, UR83 Recherches Avicoles, F-37380 Nouzilly, France. *Inra Prod. Anim.*, 23 (2), 155-166.

U

USDA/CNPP. 2007. USDA national nutrient database for standard reference, <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/Data/SR16/reports/sr16fg11.pdf>, U.S. agricultural research service.

V

Van Breemen RB., and Pajkovic N., 2008. Multitargeted therapy of cancer by lycopene, *Cancer Letters* 269, 339-351.

Ventura MR., Pieltain MC., and Castanon JIR., 2009. Evaluation of tomato crop by-product as feed for goats. *Animal Feed Science and Technology*, pp. 1-5.

Vercauteren J., Cheze C., Triau J., 1996. Polyphenols 96. Edition : INRA, Paris : pp 31-43.

Véronique B., Daniel L., 2001. Le lycopène : un antioxydant très puissant, partie II, le clinicien *Consultation en nutrition* vol 12 : 53 -60.

Vieira SL., Moran ET., 1998. Broiler chicks hatched from egg weight extremes and diverse breeder strains. *J Appl Poultry Res* 7, 392-402.

Villate D., 2001. L'appareil digestif de la poule. In : *Les maladies des volailles*. Edition : INRA., P 27-38.

Visioli F., Riso P., Grande S., Galli C., and Porrini M., 2003. Protective activity of tomato products on in vivo markers of lipid oxidation, *European Journal of Nutrition* 42, 201-206.

Vitaglione P., Napolitano A., & Fogliano V., 2008. Cereal dietary fibre: A natural functional ingredient to deliver phenolic compounds into the gut. *Trends in Food Science & Technology*, 19, 451-463.

W

Wang H., Zhao M., Yang B., Jiang Y et Guohua R., 2008. Identification of polyphenols in tobacco leaf and their antioxidant and antimicrobial activities. *Food Chemistry*. 163: 1399 - 1406.

Washburn KW., and Nix DF., 1974 Genetic basis of yolk cholesterol content. *Poultry Sci.* 53:109-115.

Weisburger JH., 2002. Lycopene and tomato products in health promotion. *Exp. Biol. Med.* 227:924-927.

Williams TD., 1994. Intraspecific variation in egg size and egg composition in birds: effects on offspring fitness. *Biological Reviews Cambridge Philosophical Society*, 69, 35-59.

- www.tomato.org.
- www.avicultureaumaroc.com

Υ

Yamagushi M., 1983. World Vegetables. Principles, Production and Nutritive Values, Ellis Horwood Limited, Westport.

Yannakopoulos AL., Tserveni-Goussi AS., Christaki EV., 1992. Effect of locally produced tomato meal on the performance and the egg quality of laying hens. J. Feed Sci. Technol., 36, 53-57.

Yefsah-idres A., 2007. Biodisponibilité et incidence physicochimique chez le rat. Thèse magister, INA. El-Harrach, Alger, p : 7-14.

Z

Zaouche M., 1983. L'apport nutritionnel des sous-produits en alimentation animale. Revue de L'alimentation Animale, 365, 29-35.



Annexes

1. Méthodologie expérimentale pour la préparation des échantillons



Ceufs récoltés



Séparation du blanc et jaune d'œuf



Congélation



Découpage



Lyophilisation



Blanc d'œuf lyophilisé



Jaune d'œuf lyophilisé



Conservation

2. Courbe d'étalonnage des polyphénols

- Peser 200 mg d'acide gallique ;
- Les dissoudre dans 100 ml d'éthanol, soit une solution (S₁) avec une concentration de 2 mg/ml ;
- Diluer la solution mère comme suit :
- ✓ Prélever 5ml de la solution mère puis ajouter 5 ml d'eau distillée et l'en obtient la dilution S/2 ;
- ✓ Prélever 5ml de la solution S/2 puis rajouter 5ml d'eau distillée et l'en obtient la dilution S/4 ;
- ✓ Refaire la même procédure pour les autres dilutions.

Tableau.1: Préparation des dilutions de l'acide gallique pour la réalisation de la courbe standard des polyphénols totaux.

Dilution	S	S/2	S/4	S/8	S/16	S/32	S/64	S/128
Concentration (mg /ml)	2	1	0,5	0,25	0,12	0,06	0,03	0,01

- ✓ Prélever 0,5 ml de chaque dilution d'échantillon dans des tubes à essais ;
- ✓ Ajouter 5ml d'eau distillée dans chaque tube ;
- ✓ Ajouter 0,5 ml de réactif de folin-Ciocalteu ;
- ✓ Après 3 mn, ajouter 0,5 ml de carbonate de sodium à 10% ;
- ✓ Laisser incuber pendant une heure à température ambiante et à l'abri de la lumière.

Le blanc est représenté par 5 ml d'eau distillée additionné de 0,5 ml de Folin-Ciocalteu et 0,5 ml de carbonate de sodium à 10%.

La lecture des absorbances est faite à 760 nm, après agitation et repos d'une heure. La concentration en composés phénoliques totaux est déterminée en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue en utilisant l'acide gallique comme standard d'étalonnage.

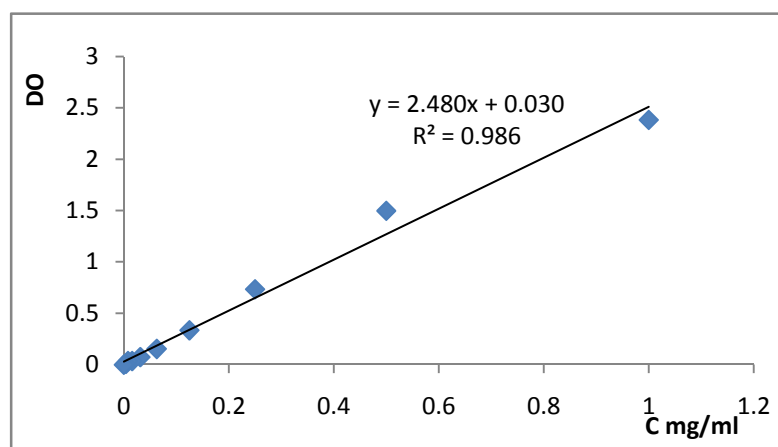


Figure.1 : Courbe d'étalonnage des polyphénols

3. Courbe d'étalonnage des protéines par la méthode de BRADFORD

Tableau.2: les DO de BSA à différentes concentrations.

Concentration en BSA (ug/ul)	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
DO (moyenne)	0	0,144	0,336	0,543	0,696	0,896

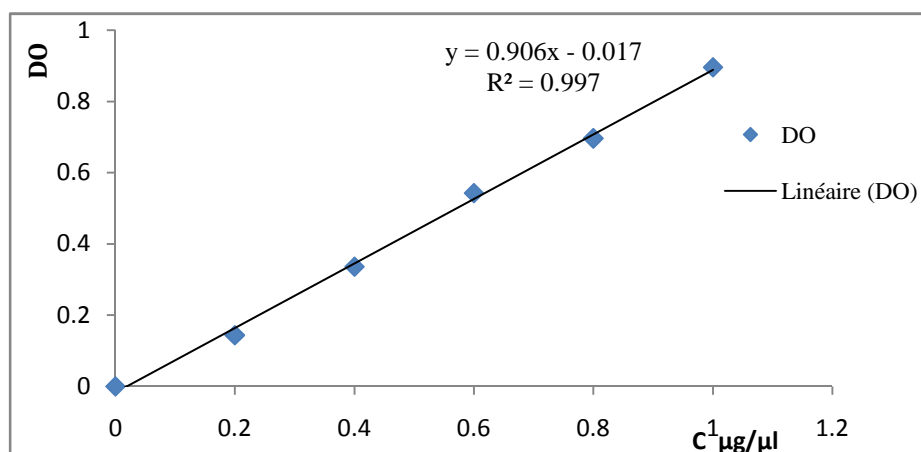


Figure.2 : Courbe d'étalonnage des protéines

4. Courbe d'étalonnage des sucres totaux

Tableau 3: Les DO de glucose à différentes concentrations

Glucose (mg/ml)	0	0,002	0,004	0,006	0,008	0,01
DO	0	0,076	0,138	0,209	0,301	0,41

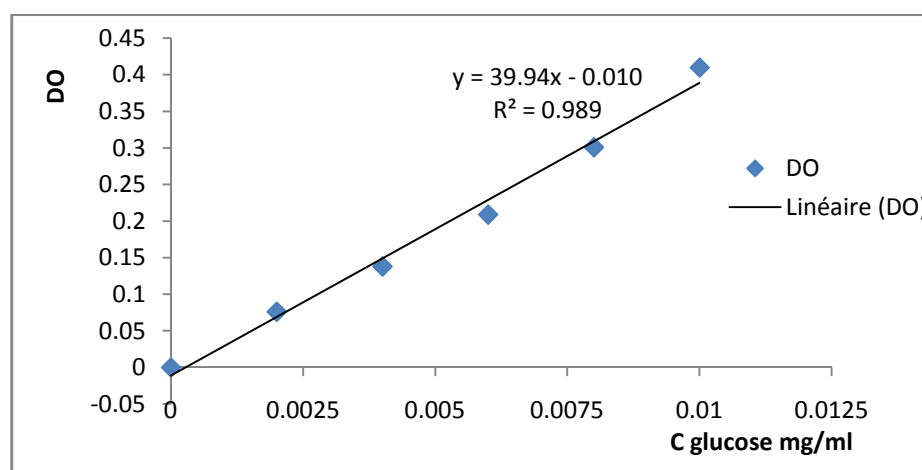


Figure.4 : Courbe d'étalonnage des sucres totaux

5. Analyse sensorielle

Tableau.4: Résultats de classement des critères goût, odeur et couleur

Critères Produits Sujets	Goût					Odeur					Couleur				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
1	4	4	3	6	3	5,5	5,5	2	4	3	7	4	2	4	3
2	8	4	2	3	3	5,5	5,5	2	4	3	7	4	2	4	3
3	4	4	2	7	3	6	5	2	4	3	7	4	2	4	3
4	7	5	2	2	4	8	4	2	3	3	5,5	4	2	5,5	3
5	5	5	2	4	4	8	4	2	3	3	8	5	2	3	2
6	4	7	2	4	3	5	5	2	4	4	5	5	2	4	4
7	6	6	2	3	3	8	4	2	3	3	7	4	2	4	3
8	5,5	5,5	2	4	3	6	7	2	2	3	6	4	2	4	4
9	5,5	4	3	5,5	2	5,5	5,5	2	4	3	5,5	4	2	5,5	3
10	5,5	4	2	5,5	3	6	6	2	4	2	4	8	2	4	2
Σ	55	49	22	44	31	64	52	20	35	30	62	46	20	42	30



Figure.3: préparation d'aliment (aliment de base + pelure de tomate).



Figure.4: Prise du poids.



Figure.5: élevage en batterie



Figure 6: Préparation et séchage solaire de la pelure de tomate

TABLE DE χ^2

DDL α	10%	5%	2,5%	1%	1‰
1	2,71	3,84	5,02	6,63	10,83
2	4,61	5,99	7,38	9,21	13,82
3	6,25	7,81	9,35	11,34	16,27
4	7,78	9,49	11,14	13,28	18,47
5	9,24	11,07	12,83	15,09	20,52
6	10,64	12,59	14,45	16,81	22,46
7	12,02	14,07	16,01	18,47	24,32
8	13,36	15,51	17,53	20,09	26,13
9	14,68	16,92	19,02	21,67	27,88
10	15,99	18,31	20,48	23,21	29,59
11	17,27	19,67	21,92	24,72	31,26
12	18,55	21,03	23,34	26,22	32,91
13	19,81	22,36	24,74	27,69	34,53
14	21,06	23,68	26,12	29,14	36,12
15	22,31	25,00	27,49	30,58	37,70
16	23,54	26,30	28,84	32,00	39,25
17	24,77	27,59	30,19	33,41	40,79
18	25,99	28,87	31,53	34,80	42,31
19	27,20	30,14	32,85	36,19	43,82
20	28,41	31,41	34,17	37,57	45,32
21	29,61	32,67	35,48	38,93	46,80
22	30,81	33,92	36,78	40,29	48,27
23	31,01	35,17	38,08	41,64	49,73
24	33,20	36,41	39,37	42,98	51,18
25	34,38	37,65	40,65	44,34	52,62
26	35,56	38,88	41,92	45,64	54,05
27	36,74	40,11	43,19	46,96	55,48
28	37,92	41,34	44,46	48,28	56,89
29	39,09	42,56	45,72	49,59	58,30
30	40,26	43,77	46,98	50,89	59,70

z	u	z	u	z	u	z	u	z	u	z	u
0.00	0.5000	1.00	0.1587	2.00	0.0228	0.00	1.0000	1.00	0.3174	2.00	0.0456
0.02	0.4920	1.02	0.1539	2.02	0.0217	0.02	0.9840	1.02	0.3064	2.02	0.0434
0.04	0.4840	1.04	0.1492	2.04	0.0207	0.04	0.9680	1.04	0.2984	2.04	0.0414
0.06	0.4761	1.06	0.1446	2.06	0.0197	0.06	0.9522	1.06	0.2892	2.06	0.0394
0.08	0.4681	1.08	0.1401	2.08	0.0188	0.08	0.9362	1.08	0.2802	2.08	0.0376
0.10	0.4602	1.10	0.1357	2.10	0.0179	0.10	0.9204	1.10	0.2714	2.10	0.0358
0.12	0.4522	1.12	0.1314	2.12	0.0170	0.12	0.9044	1.12	0.2628	2.12	0.0340
0.14	0.4443	1.14	0.1271	2.14	0.0162	0.14	0.8886	1.14	0.2542	2.14	0.0324
0.16	0.4364	1.16	0.1230	2.16	0.0154	0.16	0.8728	1.16	0.2460	2.16	0.0308
0.18	0.4286	1.18	0.1190	2.18	0.0146	0.18	0.8572	1.18	0.2380	2.18	0.0292
0.20	0.4207	1.20	0.1151	2.20	0.0139	0.20	0.8414	1.20	0.2302	2.20	0.0278
0.22	0.4129	1.22	0.1112	2.22	0.0132	0.22	0.8258	1.22	0.2224	2.22	0.0264
0.24	0.4052	1.24	0.1075	2.24	0.0125	0.24	0.8104	1.24	0.2150	2.24	0.0250
0.26	0.3974	1.26	0.1038	2.26	0.0119	0.26	0.7948	1.26	0.2076	2.26	0.0238
0.28	0.3897	1.28	0.1003	2.28	0.0113	0.28	0.7794	1.28	0.2006	2.28	0.0226
0.30	0.3821	1.30	0.0968	2.30	0.0107	0.30	0.7642	1.30	0.1936	2.30	0.0214
0.32	0.3745	1.32	0.0934	2.32	0.0102	0.32	0.7490	1.32	0.1868	2.32	0.0204
0.34	0.3669	1.34	0.0901	2.34	0.0096	0.34	0.7338	1.34	0.1802	2.34	0.0192
0.36	0.3594	1.36	0.0869	2.36	0.0091	0.36	0.7188	1.36	0.1738	2.36	0.0182
0.38	0.3520	1.38	0.0838	2.38	0.0087	0.38	0.7040	1.38	0.1676	2.38	0.0174
0.40	0.3446	1.40	0.0808	2.40	0.0082	0.40	0.6892	1.40	0.1616	2.40	0.0164
0.42	0.3372	1.42	0.0778	2.42	0.0078	0.42	0.6744	1.42	0.1556	2.42	0.0156
0.44	0.3300	1.44	0.0749	2.44	0.0073	0.44	0.6600	1.44	0.1498	2.44	0.0146
0.46	0.3228	1.46	0.0721	2.46	0.0069	0.46	0.6456	1.46	0.1442	2.46	0.0138
0.48	0.3156	1.48	0.0694	2.48	0.0066	0.48	0.6312	1.48	0.1388	2.48	0.0132
0.50	0.3085	1.50	0.0668	2.50	0.0062	0.50	0.6170	1.50	0.1336	2.50	0.0124
0.52	0.3015	1.52	0.0643	2.52	0.0059	0.52	0.6030	1.52	0.1286	2.52	0.0118
0.54	0.2946	1.54	0.0618	2.54	0.0055	0.54	0.5892	1.54	0.1236	2.54	0.0110
0.56	0.2877	1.56	0.0594	2.56	0.0052	0.56	0.5754	1.56	0.1188	2.56	0.0104
0.58	0.2810	1.58	0.0571	2.58	0.0049	0.58	0.5620	1.58	0.1142	2.58	0.0098
0.60	0.2743	1.60	0.0548	2.60	0.0047	0.60	0.5486	1.60	0.1096	2.60	0.0094
0.62	0.2676	1.62	0.0526	2.62	0.0044	0.62	0.5352	1.62	0.1052	2.62	0.0088
0.64	0.2611	1.64	0.0505	2.64	0.0041	0.64	0.5222	1.64	0.1010	2.64	0.0082
0.66	0.2546	1.66	0.0485	2.66	0.0039	0.66	0.5092	1.66	0.0970	2.66	0.0078
0.68	0.2483	1.68	0.0469	2.68	0.0037	0.68	0.4966	1.68	0.0930	2.68	0.0074
0.70	0.2420	1.70	0.0446	2.70	0.0035	0.70	0.4840	1.70	0.0892	2.70	0.0070
0.72	0.2358	1.72	0.0427	2.72	0.0033	0.72	0.4716	1.72	0.0854	2.72	0.0066
0.74	0.2296	1.74	0.0409	2.74	0.0031	0.74	0.4592	1.74	0.0818	2.74	0.0062
0.76	0.2236	1.76	0.0392	2.76	0.0029	0.76	0.4472	1.76	0.0784	2.76	0.0058
0.78	0.2176	1.78	0.0375	2.78	0.0027	0.78	0.4354	1.78	0.0750	2.78	0.0054
0.80	0.2119	1.80	0.0359	2.80	0.0026	0.80	0.4238	1.80	0.0718	2.80	0.0052
0.82	0.2061	1.82	0.0344	2.82	0.0024	0.82	0.4122	1.82	0.0688	2.82	0.0048
0.84	0.2005	1.84	0.0329	2.84	0.0023	0.84	0.4010	1.84	0.0658	2.84	0.0046
0.86	0.1949	1.86	0.0314	2.86	0.0021	0.86	0.3898	1.86	0.0628	2.86	0.0042
0.88	0.1894	1.88	0.0301	2.88	0.0020	0.88	0.3788	1.88	0.0602	2.88	0.0040
0.90	0.1841	1.90	0.0287	2.90	0.0019	0.90	0.3682	1.90	0.0574	2.90	0.0038
0.92	0.1788	1.92	0.0274	2.92	0.0018	0.92	0.3556	1.92	0.0548	2.92	0.0036
0.94	0.1736	1.94	0.0262	2.94	0.0016	0.94	0.3472	1.94	0.0524	2.94	0.0032
0.96	0.1685	1.96	0.0250	2.96	0.0015	0.96	0.3370	1.96	0.0500	2.96	0.0030
0.98	0.1635	1.98	0.0239	2.98	0.0014	0.98	0.3270	1.98	0.0478	2.98	0.0028