

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة 8 ماي 1945 قالمة

Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la terre et de l'Univers



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine: Science de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Alimentaires

Spécialité/Option: Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire

Département : Biologie

Thème :

La valorisation des déchets organiques

Présenté par :

- AGABI Rania
- BOUHADID Amina
- LAHOUARECHE Yassamine

Devant la commission composée de :

Président :	Dr. ZIDI S.	Université de Guelma
Examineur :	Dr. MERZOUG A.	Université de Guelma
Encadreur :	Pr. SOUIKI L.	Université de Guelma

Septembre 2020

Remerciements

Nous remercions Allah, Dieu le Miséricordieux qui nous a éclairé la voix de la Science et de la connaissance et par sa grâce on a réussi à achever ce travail.

*Nos respects et notre reconnaissance vont au Dr. **ZIDI S.** Pour avoir accepté de **présider** ce jury.*

*Nos respects et notre reconnaissance vont au Dr. **MERZOUG A.** Pour avoir accepté **d'examiner** ce travail.*

*Nous remercions vivement **madame SOUIKI LYNDA** professeur à l'université de Guelma qui nous a encadrés et a dirigé notre travail par ces **conseils bénéfiques**, pour son **soutien**, sa **gentillesse**, sa **disponibilité**, sa **patience** pendant des intenses et rationnelles discussions qui nous ont permis de réaliser ce travail dans de bonnes conditions. Des simples remerciements ne sont pas suffisants pour exprimer toute notre reconnaissance envers notre Directrice pour sa **présence**, ses **compétences scientifiques**, ses **qualités humaines**, Acceptez nos sincères remerciements, appréciation, gratitude et respect Professeur.*

*Nous tenons à remercier notre enseignant **Mr. GUEROUI Yacine** maitre de conférences à l'université de Guelma. Notre **cher** enseignant mérite tout le respect et l'appréciation, un homme de qualité. Merci pour toute l'aide que vous nous avez apporté dans tout le parcours de master, pour tes **conseils bénéfiques**, ton **soutien**, ton **encouragement** et **serviabilité**, nous n'oublierons pas votre faveur, même si elle est simple. Vos **qualités intellectuelles**, votre **rigueur**, votre **générosité** nous a marqués et nous serviront toujours d'exemple.*

*Et enfin nous souhaitons une bonne chance et une bonne suite à tous nos collègues de la promotion sortante **2020** du master **Qualité des produits et Sécurité Alimentaire.***

Résumé

Chaque année des quantités considérables des déchets organiques sont rejetées dans l'état par les industries agro-alimentaires, ils présentent un effet néfaste pour l'environnement, par contre ces derniers peuvent être valorisés et utiliser dans des différents domaines. Notre étude s'est intéressée à la valorisation des déchets de deux industries : l'industrie de transformation de tomate et l'industrie laitière. Les déchets de tomates peuvent être valorisés par l'incorporation dans l'alimentation que ce soit humaine ou bien animale et aussi par la récupération des constituants intéressants sont : le lycopène, la cutine et l'huile des graines de tomate. Et pour la valorisation du lactosérum peut être effectué par la formulation des aliments à partir de celui-ci destinés soit pour l'homme ou l'animale, le lactosérum peut subir aussi des procédés physique afin de récupérer : les petites agglomérations des caséines, le gras, protéines, lactose ainsi que des procédés biotechnologiques qui permettent la conversion de lactose en composés intéressants tel que : biogaz, alcools et biomasse. Cette valorisation a pour but de limiter la pollution environnementale et maximiser les profits de ces déchets organiques.

Mots clés

Industrie agro-alimentaire, Déchets organiques, Valorisation, Déchets de tomate, Lactosérum.

Abstract

Every year, considerable quantities of organic waste are discharged in their current state by the agro-food industries, they present a harmful effect on the environment, and however they can be recovered and used in various fields. Our study was interested in the recovery of waste from two industries: the tomato processing industry and the dairy industry. Tomato waste can be valorized by incorporation into food, whether human or animal, and also by the recovery of the interesting constituents are: lycopene, cutin and oil from tomato seeds. And for the valorization of whey can be carried out by the formulation of foodstuffs from it destined either for humans or animals, the whey can also undergo physical processes in order to recover: small agglomerations of caseins, fat, proteins, lactose as well as biotechnological processes that allow the conversion of lactose into interesting compounds such as: biogas, alcohols and biomass. The aim of this recovery is to limit environmental pollution and maximize the profits from these organic wastes.

Keywords

Agro-food industry, Organic waste, Recovery, Tomato waste, Whey.

ملخص

يتم سنويا طرح كميات معتبرة من النفايات العضوية الناجمة عن الصناعة الغذائية حيث لها تأثير ضار على الطبيعة التي ألفت فيها لذلك وجب التفكير في تئمينها و إعادة استعمالها في مجالات عديدة ، لقد اهتمنا في دراستنا على تئمين بقايا تحويل الطماطم و صناعة الحليب و مشتقاته.

بالنسبة لتئمين نفايات الطماطم فيمكن دمجه في الغذاء سواء كان موجها لتغذية الإنسان أو الحيوان ، و أيضا إمكانية استعادة مكونات مهمة منها مثل : الليكوبين ، الكوتين ،الألياف و كذلك استخراج زيت بذور الطماطم .

أما بالنسبة لتئمين نفايات صناعة الألبان و المتمثلة في مصل الحليب فتتم عن طريق صياغة الأطعمة منه المعدة إما للإنسان أو الحيوان ، كما يمكن أيضا إخضاعه لعمليات فيزيائية من أجل استعادة : نكتلات الكازيين الصغيرة المتبقية، الدهون، البروتينات و اللاكتوز ، و كذلك عمليات التكنولوجيا الحيوية التي تسمح بتحويل اللاكتوز إلى مركبات أخرى مفيدة كالغاز الحيوي ، الكحول و الكتلة الحيوية. الهدف الرئيسي من تئمين هذه النفايات هو الحد من التلوث البيئي الناجم عن رميها في الطبيعة، و تحقيق الأرباح.

الكلمات المفتاح

صناعة الأغذية، النفايات العضوية، التئمين، نفايات الطماطم، مصل الحليب.

Liste des figures

N°	Titre	Page
Figure 01	Le fruit de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>)	19
Figure 02	La structure du fruit de tomate	19
Figure 03	Evolution de la production et la superficie nationale de tomate.	28
Figure 04	les plus grandes wilayas productrices de la tomate.	28
Figure 05	Evolution de la production et la superficie nationale de tomate industrielle.	29
Figure 06	les plus grandes wilayas productrices de la tomate industrielle.	29
Figure 07	Evolution des superficies et de la production de la tomate industrielle dans la wilaya de Guelma.	30
Figure 08	les rendements de la tomate industrielle (quintaux/ha).	30
Figure 09	Récolte et transport.	32
Figure 10	Réception et déchargement.	32
Figure 11	lavage et rinçage.	32
Figure 12	triage manuelle.	32
Figure 13	schéma d'un condensateur.	32
Figure 14	Pasteurisation.	32
Figure 15	remplissage et sertissage.	33
Figure 16	stérilisation et refroidissement.	33
Figure 17	la mise en carton.	33
Figure 18	diagramme de fabrication du concentré tomate et récupération des résidus.	34
Figure 19	les déchets issus de la fabrication du concentré tomate.	39
Figure 20	structure chimique du lycopène.	44
Figure 21	Voies technologiques permettant l'obtention des principaux types de lactosérums issus de la première transformation du lait.	53
Figure 22	Différents procédés de valorisation de lactosérum.	61

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
Tableau 01	Les déchets générés par les différentes activités industrielles.	9
Tableau 02	La classification de la tomate « <i>Solanum lycopersicum l</i> » selon Linné.	18
Tableau 03	Teneur des constituants majoritaire de la tomate fraîche « pour 100g ».	27
Tableau 04	Evolution des quantités transformées de la tomate industrielle (2005/2015).	31
Tableau 05	Composition chimique des résidus en pourcentage de la matière sèche.	39
Tableau 06	Composition biochimique des pelures de tomates.	40
Tableau 07	Composition biochimique des graines de tomate.	40
Tableau 08	Propriétés physico-chimique de lycopène.	44
Tableau 09	Teneur en acides gras de l'huile de graines de tomate.	45
Tableau 10	les caractéristiques physico-chimiques de l'huile des graines de tomate.	46
Tableau 11	Composition moyenne du lactosérum doux et acide.	54
Tableau 12	Teneur en vitamines dans le lactosérum.	54

Sommaire

Résumés

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction.....1

Chapitre I :Généralités sur les déchets Organiques

1. Définition de déchets.....	3
1.1. Définition économique.....	3
1.2. Définition juridique.....	3
2. Classification des déchets.....	4
2.1. Classement selon l'origine et l'activité du déchet.....	4
2.2. Classement en fonction de nature du déchet.....	4
2.3. Classement en fonction du comportement et l'effet sur l'environnement.....	5
3. Les déchets organiques.....	5
3.1. Définition.....	5
3.2. Déchets organiques des industries agroalimentaires.....	6
3.2.1. Produit initial à l'origine du déchet.....	6
3.2.2. Générateurs et détenteurs du déchet.....	6
4. Impact de l'industrie alimentaire sur l'environnement.....	7
5. La valorisation des déchets.....	9
5.1. La Valorisation de matière.....	9
5.2. La Valorisation énergétique.....	10
5.3. La valorisation organique.....	11
6. Les intérêts de la valorisation organique.....	12
6.1. Les intérêts environnementaux.....	12
6.2. Les intérêts sociaux.....	13
6.3. Les intérêts économiques.....	13

Chapitre II :La valorisation des déchets de tomate

1. Aperçu sur la tomate.....	15
1.1. La définition.....	15
1.2. La structure.....	15
1.3. La composition biochimique.....	18
1.4. L'importance économique de la tomate.....	18
1.4.1. La production en Algérie.....	18

1.4.2. La production de la tomate industrielle dans la wilaya de Guelma.....	19
1.4.3. La transformation de la tomate industrielle	20
1.5. Technologie de fabrication et de transformation	21
1.5.1. Le procédé de fabrication du concentré de tomate	21
1.5.2. Transformation de tomate	24
2. Les sous-produits des tomates et leurs compositions biochimiques	33
2.1. La pelure de tomate.....	33
2.2. La pulpe de tomate.....	33
2.3. La graine de tomate.....	33
3. Utilisation des déchets tomate	34
3.1. Dans l'alimentation humaine	34
3.2. Dans l'alimentation animale	34
3.2.1. Dans l'alimentation des volailles.....	34
3.2.2. Dans l'alimentation des ruminants	35
3.2.3. Dans l'alimentation des vaches laitières, les bovins en croissance, les ovins et les caprins.....	36
4. L'intérêt d'utilisation des déchets de tomate	36
5. Valorisation des sous-produits de tomates	39

Chapitre III : La valorisation du lactosérum

1. Définition et caractéristiques	45
2. Types de lactosérum	45
2.1. Lactosérum acide	45
2.1. Lactosérum doux.....	46
3. Composition du lactosérum	46
3.1. Eau.....	47
3.2. Le lactose.....	47
3.3. Protéines	47
3.4. Minéraux.....	48
3.5. Matière grasse	48
3.6. Les vitamines	48
4. Effet polluant du lactosérum.....	48
5. Utilisation et valorisation du lactosérum et de ces constituants	52
5.1. Utilisation du lactosérum.....	52
5.1.1. Alimentation humaine.....	52

5.2.1. L'Alimentation animale	53
5.2. Procédés physiques de valorisation du lactosérum.....	54
5.2.1. Récupération des fines et séparation de gras.....	54
5.2.2. Concentration de solides totaux.....	54
5.2.3. Fractionnement de solides totaux-protéines.....	54
5.2.4. Fractionnement de solides totaux-lactose	54
5.2.5. Fractionnement de solides totaux-minéraux	55
5.3. Procédés biotechnologiques de valorisation du lactosérum	55
5.3.1. Production de biogaz et bio-hydrogène	55
5.3.2. Production d'acide lactique.....	56
5.3.3. Production d'alcools	56
Conclusion	59
Références Bibliographiques	61

Introduction

L'augmentation de la population mondiale a entraîné un accroissement des besoins alimentaires et aussi un développement accru des industries agro-alimentaires qui génèrent des quantités énormes de déchets organiques chaque année. Un déchet est un résidu que les gens jugent inutile dans un contexte donné, les déchets organiques sont des éléments de cycles de vie. Notamment, ces déchets ont un impact nocifs sur l'environnement et sur la santé publique, pour cela des écologistes et des biologistes avaient intéressés depuis longtemps aux procédés et techniques permettent une valorisation des résidus afin d'obtenir des bioproduits à valeur ajoutée élevée, ce qui servent à limiter la pollution engendrée par ces industries (Boujema et *al.*, 2009 ; Mrad, 2011).

Parmi les industries agro-alimentaires qui produisant des grandes quantités de déchets organique en Algérie sont : l'industrie de transformation de tomate et l'industrie laitière.

L'industrie de transformation des tomates génèrent une très grande quantité de sous-produit et de déchets pouvant atteindre 33 à 40% du volume de tomates traités et qui sont souvent à l'origine de problèmes techniques, économiques, environnementales et de même écologiques. Les graines et les pelures constituent les principaux sous-produits de cette industrie. Ces déchets sont également utilisés pour l'alimentation animale et humaine. Cependant, leur composition indique la présence d'une source très significative de lycopène et caroténoïde, de lipide, de fibre, de glucide et de protéine. La valorisation de ces déchets pouvant améliorer la rentabilité économique de ces conserveries (Al-Muhtaseb et *al.*, 2010 ; Amalou et *al.*, 2013).

L'industrie laitière est très polluante par le rejet de quantités importantes de lactosérum. Une production fromagère type permet un rendement massique moyen de 10%, chaque kilogramme de fromage fabriqué aura donc entraîné une production approximative de neuf fois son équivalents massique en lactosérum. En Algérie, l'industrie fromagère rejette quotidiennement 6000 litres de lactosérum par jour. Du fait de sa richesse en élément nutritif tels que lactose, protéine solubles, vitamines hydrosolubles, matières grasses et les éléments minéraux, le lactosérum constitue un excellent milieu de culture pour les microorganismes, ce qui fait de lui un facteur de pollution redoutable issue de la fermentation de ses matières organiques (lactose et matières azotées) et à la diminution de la teneur en oxygène dissous de l'eau au-dessous d'un seuil acceptable (Il réduit la vie aquatique en captant l'oxygène dissous), Pour diminuer le risque polluant du lactosérum, ce dernier est utilisé

dans différents domaines tels que l'alimentation humaine, l'alimentation animale et éventuellement dans le domaine de la biotechnologie afin de produire des enzymes, des vitamines, d'alcool, des acides organiques (acide citrique, acide lactique..) (Michel, 1986 ; Gana, 2001 ; Lapointe-Vignola, 2002 ; Boudjema et *al.*, 2009).

L'objectif de notre travail est de mettre en évidence des connaissances sur les déchets organiques notamment les déchets des deux industries : laitière et de tomate, et aussi sur les différentes voies de leur valorisation dans le but de limiter la pollution de l'environnement et l'exploitation économique et maximiser des profits des résidus de la transformation industrielle.

1. Définition de déchets

Le terme déchet peut avoir plusieurs définitions, selon le contexte et aussi le niveau législatif, il varie d'un auteur à un autre et d'un pays à un autre. D'après le programme des nations unies pour le développement 2 (2009) et l'article 3 du journal officiel de la République Algérienne de la loi N 01-19 du 19 décembre 2001 relative à la gestion au contrôle et l'élimination des déchets, un déchet est défini comme : « tout résidu d'un processus de production de transformation ou d'utilisation et plus généralement toute substance ou produit et tout bien meuble dont la propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a obligation de se défaire ou de l'éliminer ».

Notamment ce terme prend des différentes significations du point de vue économique, juridique, sociologique, politique, environnementale et systémique parmi ceux-ci on retient les deux définitions et qui mettent en exergue la valeur économique du déchet et l'enjeu juridique qui entoure sa gestion future.

1.1. Définition économique

Un déchet est défini sur le plan économique comme étant une matière ou un objet dont la valeur économique nulle ou négative, pour son détenteur à un moment et dans un lieu donné et pour que s'en débarrasser ce dernier doit se faire tout seul ou payer quelqu'un pour faire le travail. Bien que cette définition ne soit pas exhaustive elle exclut une bonne part des déchets recyclables, qui possèdent une valeur économique et qui peuvent servir comme de matières premières ou secondaire pour la production d'autres produits voir même des bien pour la communauté aussi bien dans les pays développés ou industrialisés que ceux en développement (Maystre, 1994).

1.2. Définition juridique

Au niveau juridique on trouve également une conception subjective et une conception objective.

Selon la conception subjective, un bien devient un déchet lorsque son propriétaire a la volonté de s'en débarrasser et tant qu'il n'a pas quittée la propriété de cette personne ou l'espace qu'elle loue il reste toujours à lui, mais le jour où ce bien est déposé dans une poubelle ou sur une voie publique il devient également une propriété de la municipalité, car cet acte montre qu'il veut abandonner tout droit de propriété.

Selon la conception objective, un déchet est un bien dont la gestion doit être contrôlée au profit de la protection de l'environnement et aussi la santé publique indépendamment de la

volonté du propriétaire et de la valeur économique, de plus le détenteur d'un bien est soumis à la réglementation et ne pas se décharger de ses responsabilités envers de ce déchet sous prétexte de sa valeur économique (Al-oueimine, 2006).

2. Classification des déchets

2.1. Classement selon l'origine et l'activité du déchet

- **Les déchets ménagers et assimilés** : les déchets ménagers et assimilés sont les déchets produits par les ménages, les commerçants, les artisans et même les entreprises et industries quand ils ne présentent pas de caractère dangereux ou polluant à savoir: papiers, cartons, bois, verre, textiles, emballages (Gillet, 1985).
- **Les déchets industriels** : ces déchets comprennent des matériaux de nature et de composition diverse et donc on distingue :
 - a) **Les déchets industriels banals (non dangereux)** : ces déchets sont constitués de papier, carton, plastique, verre, matière organique végétale ou animale, au sens large ces déchets regroupent les déchets municipaux et les déchets qui peuvent être valorisables par recyclage, fermentation ou par incinération avec récupération d'énergie, sont en général ni toxique ni dangereux, peuvent être traités ou stockés dans les mêmes installations que les déchets ménagers.
 - b) **Les déchets industriels spéciaux (dangereux)** : ces déchets ont un pouvoir polluant important puisqu'ils contiennent des éléments toxiques en quantités variables ce qui génère des nuisances et de ce fait il faut les traiter et stockés correctement (ADEME, 2013).

2.2. Classement en fonction de nature du déchet

- **Les déchets dangereux** : tous les déchets qui présentent une ou plusieurs de ses propriétés suivantes sont considérés également comme dangereux, on site : nocif, toxique, inflammable, cancérigène, corrosif, infectieux, comburant, explosif, toxique pour la reproduction, écotoxique, mutagène, irritant.
- **Les déchets non dangereux** : regroupent tous les déchets qui ne présentent aucun effet dangereux ou bien toxiques, c'est également des déchets banals qui sont issus par les activités des commerçants, les entreprises, artisanats et déchets ménagers (Damien, 2013).
- **Les déchets toxiques en quantités dispersés** : sont des déchets dangereux, mais qui sont produites en petites quantités par les ménages et les commerçants, on distingue des déchets solides, liquides et gazeux :

- a) **Les déchets liquides** : les huiles usagés, peintures, les rejets de lavage, lessives et détergeant, produit de coiffures, eau de javel, encres révélateurs et aérosols.
- b) **Les déchets solides** : tel que, les ordures ménagères, les gravats, emballages, tous les déchets non dangereux souillés.
- c) **Les déchets gazeux** : tel que, biogaz, les fumées d'incinération (El-hafiane, 2012).
- **Les déchets inertes** : sont des déchets provenant également des travaux de démolition, de constructions ou de rénovation (béton, céramique, briques, carrelages...), est aussi de l'exploitation des carrières et des mines plus les activités routières. Ces déchets ne sont pas biodégradables, ne se décomposent pas et ne brûlent pas et ne produisant aucune réaction chimiques ou physiques et qui ne détériorent pas d'autres matières, avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible de générer une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine.
- **Les déchets ultimes** : Les opérations de traitement des déchets produisent de nouveaux déchets : les déchets de déchets de quelque sorte. Ceux-ci seront traités et fourniront encore des déchets. Il arrive un moment où l'opération ne devient plus rentable et l'on obtient ainsi le déchet ultime (Moletta, 2009).

2.3. Classement en fonction du comportement et l'effet sur l'environnement

- **Les déchets fermentescibles** : ces déchets sont constitués essentiellement par la matière organique d'origine végétale ou animale à des différents stades de fermentation aérobie ou anaérobie, on site : tonte de gazon, épluchures de fruits, déchets de viande, de charcuterie, les papiers et cartons, le bois et les textiles naturels. Les matières plastiques, bien que se décomposant à long terme, en sont exclus.
- **Les déchets toxiques** : ces déchets correspondent aux poisons chimiques ou bien des radioactifs qui sont issus des laboratoires ou bien des industries.
- **Les déchets immobiles** : ces déchets se différencient suivant leurs caractères plus en moins encombrants, en débris plus ou moins volumineux jusqu'à les carcasses d'automobiles, avion, bus ...etc. (Damien, 2006)

3. Les déchets organiques

3.1. Définition

Les déchets organiques sont l'ensemble des résidus ou sous-produits issus de l'activité des industries agro-alimentaires, agricoles ou bien les collectivités urbaines et qui posent des problèmes de gestion à leurs détenteurs. Sont composés généralement de matières organiques

non synthétique, caractérisée par la présence d'atomes de carbone issus d'organismes vivants, végétaux ou animaux, de plus au niveau des zones péri urbaines et rurales les gisements de déchets agricoles *lato sensu* constituent une composante majeure des déchets organiques. Vue leurs compositions chimiques ils peuvent également subir un phénomène biologique appelée fermentation et de ce fait ces déchets sont putrescibles c'est-à-dire sont capables d'une dégradation spontanée due à leurs capacités fermentescibles intrinsèque et donc sont des déchets biodégradables (chauvin, 2004).

3.2. Déchets organiques des industries agroalimentaires

3.2.1. Produit initial à l'origine du déchet

Les déchets organiques des Industries Agro-alimentaires (IAA) désignent l'ensemble des déchets générés par les industries agro-alimentaires de transformation et de conditionnement de produits alimentaires animaux ou végétaux. Ils présentent une variabilité saisonnière marquée ainsi qu'une grande diversité : pulpes de betteraves, lactosérum, marcs de raisin, vinasses, déchets de légumes en conserverie, déchets de la viande, sang, os, les mélasses (1).

Ils comprennent :

- Des produits animaux issus de la viande, du poisson et du lait
- Des produits végétaux issus de la transformation des fruits, légumes, céréales et oléagineux
- Des déchets de matières premières végétales ou animales,
- Des chutes de produits élaborés ou des produits déclassés (pâtes, fromages...)
- Des boues issues du traitement des effluents

Les déchets des industries agro-alimentaires sont dans leur grande majorité des déchets organiques. Cependant, les industries agro-alimentaires sont également génératrices de déchets d'emballages et de déchets minéraux comme les cendres et sous-produits de traitement à la chaux.

3.2.2. Générateurs et détenteurs du déchet

Ces déchets et sous-produits concernent des entreprises de taille, d'activité et donc de production très différentes (Tab.1).

4. Impact de l'industrie alimentaire sur l'environnement

L'industrie alimentaire est formée par diverses entreprises produisant des produits alimentaires ou des produits semi-finis. Elle comprend des fromageries, des beurreries, des laiteries, des abattoirs et des usines de transformation de la viande, ainsi que des fabriques de confiserie, des minoteries et d'autres entreprises. Le trait caractéristique des entreprises de l'industrie alimentaire est ce qu'elles (dans leur majorité) font partie des établissements humains et donc leurs activités ont un impact important sur la population (en premier lieu et directement). En ce qui concerne la nature, elle est sous l'influence directe et indirecte.

Dans l'industrie alimentaire, des déchets gazeux, liquides et solides sont formés, la plupart étant des substances organiques, bien qu'il soit possible de former des compositions non organiques en tant que produits de décomposition des substances organiques. Le danger de la plupart des déchets mixtes (solide-liquide) s'avère en ce qu'ils sont un substrat (base alimentaire) pour divers organismes saprophytes (champignons, bactéries), ce qui crée la possibilité d'épidémies. Les déchets de l'industrie de la viande et du lait altèrent fortement les qualités olfactive de l'environnement (odeurs désagréables), contribuent à l'émergence d'un grand nombre d'insectes. La poussière de la farine mélangée à l'air donne des mélanges inflammables et explosifs spécifiques pour les industries de la minoterie et de la boulangerie.

Pour donner aux produits alimentaires un aspect marchand on y introduit de divers additifs (colorants, antioxydants, agents de désintégration). Ces substances doivent être inoffensifs ou ajoutés en quantités qui n'exerceront pas une influence significative sur le corps humain. Mais souvent, cela n'est pas respectée et les produits disponibles dans le commerce ne répondent pas aux normes environnementales (Kokoshenko, 2018).

Tableau 01 : Les déchets générés par les différentes activités industrielles (1).

Activité	Type de déchet généré
Industrie de la viande abattage de bovins, ovins, caprins et porcins et filière charcuterie	Graisses, sang, os, abats, déchets de découpe, cuir, poils...
Industrie du poisson	Arêtes, peaux...
Laiterie, fromagerie	Lactosérum (principalement), eaux de lavage, boues
Sucrerie, distillerie de betteraves	Mélasses, pulpes humides, écumes, herbes et radicules, tares terreuses.
Transformation des oléo protéagineux (céréales)	Tourteaux, coques...
Fruits et légumes	Déchets de légumes en conserveries, fruits et légumes de retrait (déchets du circuit frais) Le traitement des fruits et légumes génère essentiellement des effluents (eaux de process, de lavage...), des déchets végétaux (déchets de dégrillage, de parage et de découpe) ainsi que des déchets inertes (terres)
Amidonneries, féculeries	Eaux de féculerie, produits solides
Boissons non alcoolisées (jus de fruit, eaux, sirops, boissons rafraîchissantes sans alcool)	Boues, effluents

5. La valorisation des déchets

La valorisation est partielle, spécifique ou local, c'est également le réemploi, le recyclage ou toute autre action a pour but d'obtenir à partir de sous-produit de déchets, des matériaux réutilisables, de l'énergie ou bien de constituer un ingrédient d'un autre processus de production en vue de la fabrication d'autres produits finis. Tous les types de valorisation des déchets permettent de ménager les ressources, en effet on distingue trois modes de valorisation (Proot, 2002) :

- Valorisation de matière
- Valorisation énergétique
- Valorisation biologique (organique)

On procède la valorisation des déchets lorsque l'opération est économiquement acceptable et écologiquement justifiée, de plus elle est considérée écologique si elle est moins polluante que l'élimination ou bien une nouvelle production. La majorité des déchets ne peuvent être éliminés au niveau de leurs apparitions et de ce fait il faut les acheminer vers un lieu de traitement et comme le traitement des déchets couteux et délicat, les techniques qui conduisent à diminuer la masse suscite beaucoup d'intérêt sont : la récupération et la valorisation. La récupération permet de valoriser les matériaux ou l'énergie contenue dans les déchets, de limiter leur apport dans les installations de traitement, ou de leur faire suivre une filière de traitement spécifique tel que le recyclage, le réemploi, la régénération ou la réutilisation (Couturier, 2001)

5.1. La Valorisation de matière

a) Le Réemploi

Il s'agit d'employé une nouvelle fois le produit pour un usage analogue à celui de sa première utilisation ou en encore plus il s'agit de prolonger la durée de vie du produit avant qu'il ne devient un déchet tout en réduisant les processus de transformation du produit.

b) La Réutilisation

Il s'agit d'utiliser à nouveau un déchet pour un usage différent de son premier emploi.

c) La Régénération

Il s'agit d'un procédé chimique ou physique et redonne les propriétés et les caractéristiques d'un déchet afin de l'utiliser en remplacement d'une matière première neuve.

d) Le recyclage

Il s'agit de la réintroduction directe d'un matériau contenu dans un déchet dans le cycle de production, en remplacement totale ou partiel d'une matière première vierge (Gouilliard, 2003).

5.2. La Valorisation énergétique

Elle consiste également à utiliser une source d'énergie résultant de la thermolyse ou bien de l'incinération, au niveau d'un système industriel appliquant les principes de l'écologie industrielle on trouve l'application de ces modes de traitement puisqu'ils permettent de récupérer l'énergie de la combustion (Vorburger, 2006).

a) L'Incinération

L'incinération est utilisée comme un traitement pour un éventail très large de déchets, ces derniers sont généralement des matériaux hautement hétérogènes composés essentiellement de substance organique, de minéraux, de métaux et d'eau, cette opération est également l'oxydation des matériaux combustibles contenus dans ces derniers au cours de laquelle des gaz brûlés sont générés lesquels contiendront la majorité de l'énergie combustible qui va être récupérée sous forme de chaleur ou bien d'électricité (Moletta, 2009).

b) La thermolyse

C'est une technique qui relie le recyclage et la valorisation énergétique, elle consiste en un traitement thermique modéré de (450°C - 750°C) des déchets après les avoir broyés, séchés et criblés et donc ces déchets vont être chauffés et ne pas brûler, en condition d'anaérobiose. Au cours de ce traitement les matières organiques sont décomposées en deux parties (Gouilliard et Legendre, 2003) :

- **Une partie solide :** un composant solide formé d'un carbone, de cendre et de matières minérales qui n'ont pas été détruites par la chaleur du four, après séparation physique du verre et des métaux, il y a l'obtention d'un composant solide de thermolyse « le coke » qui s'apparente à un charbon composé d'environ 30- 40% de cendre.
- **Une partie gazeuse :** un gaz combustible chaud qui contient une fraction condensable pouvant être liquéfié ou transformé en l'huile, et une fraction non condensable reste à l'état gazeux elle est composée de (hydrogène, méthane, oxydes de carbone, hydrocarbures...etc.) cette dernière est brûlée afin de détruire les dioxines résiduelles et les organochlorés (Miquel et France, 1999).

5.3. La valorisation organique

La matière organique possède la propriété de la biodégradation de ce fait une action bactérienne, naturelle ou induite peut la décomposer rapidement en molécules simples utilisables par les plantes, cette dégradation peut se faire de deux manières : le compostage ou la méthanisation, comme elle peut être aussi maîtrisée industriellement et appliquée aux déchets ménagers. Est donc l'élimination des déchets et réduite au profit de la valorisation et peut-être utilisé en tant que engrais par les agriculteurs. Ce type de valorisation permet une réduction de 40- 50% du volume de déchets (Askri, 2015) ;(Gouilliard et Legendre, 2003).

Les principaux déchets concernés par le traitement biologique sont :

- Déchets des collectivités (voirie, marchés, boues...)
- Déchets d'agriculture et de sylviculture (élevage, culture, forêt)
- Ordures ménagères (la fraction fermentescibles de l'ordure ménagère est constituée essentiellement de déchets alimentaire, déchets vert et de papier/carton)
- Certain encombrants de déchets verts

a) La méthanisation

La méthanisation est un processus de digestion anaérobie applicable à une large gamme de matériaux organiques celluloses : bouse de bovins, fiente de volailles, lisier de porcins, excrément humain, résidus végétaux, fractions organiques fermentescibles des déchets agricole et agro-industries et déchets ménagers et assimilés. La digestion anaérobie est particulièrement intéressante, non seulement par le fait qu'elle contribue au traitement des déchets organiques et à la gestion de la pollution environnementale, mais aussi parce qu'elle offre, à travers ses trois principaux produits : (le biogaz, le digestât solide et le liquide du digesteur) des possibilités intéressantes, des solutions et des options génératrices de revenu. La technologie de méthanisation transforme un problème coûteux en une solution profitable. En effet, le biogaz devient de plus en plus une alternative stratégique d'énergie renouvelable et propre, en particulier au niveau des communautés marginalisées, dans le présent contexte de changements climatiques et crise énergétique. Le liquide du digesteur et le digestât solide sont d'applications multiples dans l'agriculture et les filières agroalimentaires (Walekhwa et al, 2009). Ce traitement anaérobie permettant d'atteindre généralement un double objectif de valorisation énergétique par :

- La stabilisation des déchets organique en vue d'une valorisation matière par sa restitution partielle au sol
- La valorisation énergétique par récupération de méthane (Bayard, 2009).

b) Le compostage

Un traitement biologique se déroule en aérobie et qui consiste à la dégradation et la valorisation de la matière organique, cette dégradation engendrent un dégagement de vapeur et de dioxyde de carbone et la production d'un résidu composé de matière organique et de minéraux appelée composte ou amendement organique. Les fractions organiques de Déchets Ménagers et Assimilés (DMA), de déchets agricoles et agroindustriels (DAA) peuvent également être transformées en matières fertilisantes par compostage, est donc vise également à réaliser les objectifs suivants :

- Réduction de la masse du déchet.
- La production d'un composte valorisable comme amendement organique des sols.
- Stabilisation du déchet pour réduire les pollutions ou nuisance associées à son évolution biologique.

Le compostage peut constituer une alternative intéressante pour le traitement des déchets organiques particulièrement importants dans les pays en développement, ainsi que pour l'amélioration de la qualité des sols agricoles généralement dégradés de ces pays. En effet, le compost améliore de la structure des sols, augmente leur capacité de rétention d'eau, influence de la chimie des sols et renforce les propriétés phytosanitaires des cultures. De plus, le compostage offre l'avantage d'être peu onéreux et relativement simple, dans les conditions de mise en œuvre des pays en développement, les procédés les plus fréquemment utilisés étant le compostage en andains, le compostage en tas à aération passive et le compostage en cuve (Charnay, 2005).

6. Les intérêts de la valorisation organique

6.1. Les intérêts environnementaux

L'élimination des déchets organiques par un traitement biologique plus l'intégration dans les méthodes de gestion moderne et raisonnée permettant une valorisation présente des intérêts environnementaux que ce soit la récupération du biogaz de décharge, la méthanisation ou bien le compostage est chaque procédés possède ses propres intérêts : La valorisation du biogaz par l'exploitation du potentiel énergétique contenu dans les déchets organiques permet l'économie de gaz carburant fossile ou d'électricité tout dépend d'utilisation. Le biogaz contribue à l'effet de serre ce qui justifie l'intérêt primordial de le récupérer sachant bien que les émissions de biogaz dans l'atmosphère après la fermeture de la décharge peuvent durer jusqu'à trente ans et donc il ne s'agit pas de récupérer un gisement inutile mais de limiter une menace pour l'environnement.

Les rejets des lixiviats sont envoyés en station d'épuration ou bien injectés sur les tas de compost, de plus les concentrations en éléments gazeux polluants sur les unités sont presque équivalents aux teneurs rencontrées en site urbain, de ce fait les rejets sont bien contrôlés et donc ce mode de traitement respectueux de l'environnement, toutefois la production d'un amendement organique pour l'épandage permet de rendre au sol ce qui y a été puisé et de ce fait les utilisations annexes d'amendement chimique seront réduites ce qui assure la préservation des sols (Cansell et Molleta, 2003).

6.2. Les intérêts sociaux

L'importance de mettre en place un système de collecte et de traitement des déchets organiques sous l'aspect social réside dans la création et l'offre de nombreuses opportunités d'emploi, d'où une unité de méthanisation moyenne d'une capacité de traitement de 20 000 tonne/an peuvent fournir de cinq à sept emplois est de même pour les unités de compostage. Ces emplois permettent également de requalifier l'image attribuée aux métiers du déchet. De plus ce système engendre un impact psychologique sur les habitants notamment le tri de ces derniers permet d'accroître la fréquentation des déchetteries et motive la sensibilité de la population sur l'ensemble des problèmes environnementaux c'est ce que a été montré par une étude réalisée par le cemagref (Couturier, 2000 ; Resse, 2010).

6.3. Les intérêts économiques

Il existe également de nombreux projets rentables qui peuvent être réalisés à partir de toutes sortes de déchets organiques, qui entrent comme matières premières dans de nombreux projets de transformation et industriels avec des revenus et des bénéfices élevés. Pour l'industrie alimentaire, le facteur économique, c'est-à-dire la rentabilité de l'évaluation choisie, est essentielle. En effet, la commercialisation de ces produits importants, pour la production animale peut générer des revenus pour les structures industrielles, leur permettant, au moins en partie, de mettre en œuvre des méthodes pour améliorer leur qualité. Dans certains secteurs, la valorisation des coproduits fait partie intégrante de l'équilibre économique, à titre d'exemple, les coproduits dans la sucrerie représentent la moitié du volume de betteraves mis en œuvre, leur valorisation est donc un enjeu important pour la filière sucrerie (Réséda, 2017).

Le remplacement de la mélasse par les dattes devrait être d'une grande importance économique, tout d'abord, permettant au pays d'économiser environ 5700000 dollars par an et aux unités de production de levure un gain significatif sur les coûts de production de levure d'environ 150.000000 dinars par an. En outre, les conséquences économiques se traduiront par

une création d'emplois et une distribution de revenus supplémentaires pour les agriculteurs qui verront leurs "sous-produits" mieux valorisés (Acourène et Tama, 2001).

1. Aperçu sur la tomate

1.1. La définition

La tomate (*Solanum lycopersicum L*) est une plante annuelle, herbacée et aromatique (Fig.1) fait partie de la famille des *solanacées* (Tab.2), originaire de la région andine du nord-ouest de l'Amérique du Sud, elle a été introduite au Mexique puis en Espagne et en Italie et de là dans les autres pays du bassin méditerranéens et d'Europe, largement cultivée pour son fruit. Le terme désigne aussi ce fruit charnu, largement consommé dans de nombreux pays, frais ou transformé (Doré et Varoqaux, 2006).

1.2. La structure

Selon les botanistes, la tomate est considérée comme un fruit appartenant à la famille des baies, mais elle est également cultivée et utilisée comme un légume, elle est constituée essentiellement de trois parties (Fig.2), le péricarpe qui englobe la peau et la partie charnue, le tissu loculaire ou gel contenu dans les loges et les graines. La peau est constituée en quatre à cinq couches de cellules épidermiques ou hypodermiques sous une fine cuticule, néanmoins la structure de la tomate est complexe associant différents tissus aux caractéristiques spécifiques particulièrement à maturité (Hulme, 1971). Les trois parties principales de la tomate sont :

- **Le péricarpe externe** qui est composée de trois parties : l'exo-carpe protégé par une fine cuticule, le mésocarpe et l'endocarpe qui constituent loculaire, il est d'une couleur rouge, riche en caroténoïdes et en lycopène, représente environ 2 % du poids de fruit.
- **Les cavités oculaires (loges)** : délimitées par le péricarpe externe, le péricarpe radial (septum) et le péricarpe interne (columelle), qui représente 95 % du poids du fruit.
- **Les graines** : portée par le placenta et enveloppées dans le tissu loculaire (gel), de couleur jaune dont la peau riche en fibre et l'amande en lipides et protéines, elles représentent environ 3% du poids du fruit (Coombe, 1976 ; Peschel et *al.*, 2006).

Tableau 02 : La classification de la tomate « *Solanum lycopersicum l* » selon Linné (Raffy, 2006).

Classification	
Règne	<i>Plantae</i>
Sous règne	<i>Tracheobionta</i>
Division	<i>Magnoliophyta</i>
Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Sous classe	<i>Asteridae</i>
Ordre	<i>Solanales</i>
Famille	<i>Solanaceae</i>
Genre	<i>Solanum</i>
Espèce	<i>Solanum lycopersicum L</i>



Figure 01 : Le fruit de tomate (*Solanum lycopersicum*) (2).

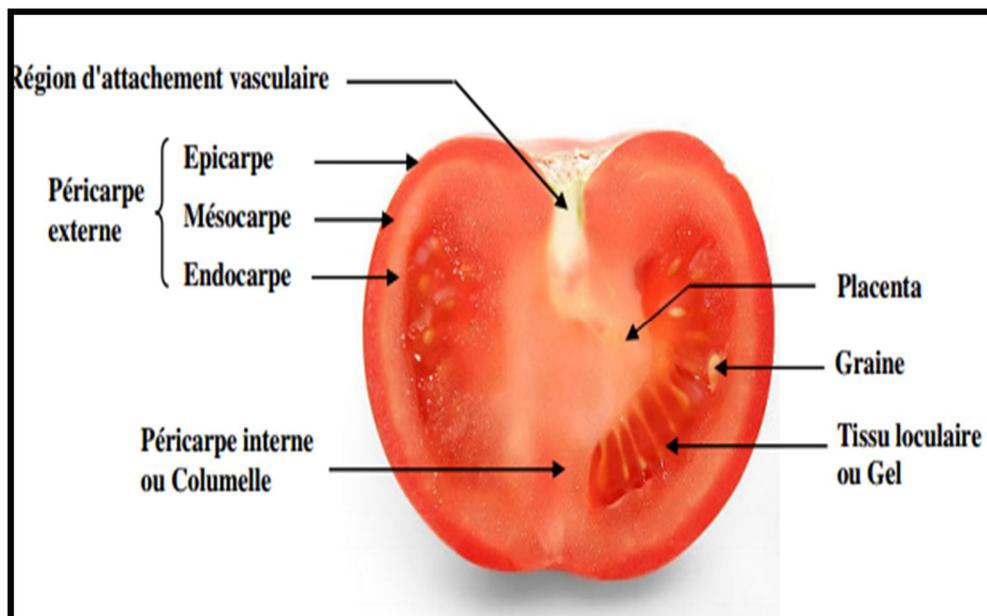


Figure 02 : La structure du fruit de tomate (Chanforan, 2011).

1.3. La composition biochimique

Tout d'abord, il faut noter que la composition de la tomate de différents variétés peut varier significativement en particulier en fonction des cultivars, ainsi que les conditions de culture notamment les techniques agricoles et les facteurs environnementaux (la lumière, la température, la saison, le sol) et de conservation post-récolte, peuvent entraîner des variabilités au sein d'un même cultivar (Lenucci et *al.*, 2006 ; Luthria et *al.*, 2006).

La tomate est composé de 94,5 % d'eau, environ de 2 % d'acide aminé des sucres réducteurs notamment le glucose soit de 1,25 g/100g et de fructose soit 1,37 g/100g un faible taux de protéine soit 0,88 g/100g, une source de fibres de 1,25 g/100g soit le quart des apports nutritionnels conseillés, elle apporte 18 kcal/100g à l'état crue et donc la tomate est très peu énergétique contrairement à la plupart des fruits. Elle contient 0,20 g/100g de lipide, cette teneur est variable selon la variété et le degré de maturité lors de la récolte, de nombreux minéraux et oligoéléments dont les principaux sont représentés dans le tableau 03 (USDA, 2007).

1.4. L'importance économique de la tomate

1.4.1. La production en Algérie

La tomate est connue sous le nom de « l'or rouge », ça culture est très répandus en Algérie après la pomme de terre, la tomate est le second produit maraîcher de par la place qu'elle occupe dans les habitudes alimentaires en Algérie, généralement elle est cultivée selon deux modes de production à savoir en culture industrielle et en culture maraîchère (Mallah, 2006).

Selon les sources statistiques de la FAO, l'évolution de la production et la superficie national pour la culture de tomate au cours des années 2010/2018 est présenté dans la (Fig.3), la production de la tomate fraîche s'est établie à 13,72 millions de quintaux durant la campagne agricole 2017/2018, avec une hausse de 17 % de superficies plantées d'environ 23,702 ha, et 27% dans les niveaux de production plus de 1.5 millions de tonnes, le rendement a été de 428 quintaux/ha pour la tomate en plein champs et 1,225 quintaux/ha pour la tomate sous serre. Cependant que les plus grandes wilayas productrices de la tomate fraîche sont (Fig. 4) (MADRP, 2018) :

- **Biskra** 2,33 millions de quintaux. - **Mostaganem** 1,33 millions de quintaux
- **Tipaza** 1,04 millions de quintaux. - **Ain Defla** 728,250 quintaux.

La tomate industrielle fait partie des productions agricoles sur lesquelles s'appuient et se développent les industries agroalimentaires. En Algérie sa production et sa transformation remonte aux années 1920. À l'échelle nationale, les surfaces qui lui sont consacrées ont

considérablement augmenté pour passer de 2000 ha en 1960 à une fourchette comprise entre 24000 et 31000 ha ces dernières années ; et il en est de même pour les usines de transformation dont le nombre a augmenté de 5 en 1970 à 26 en 2000. Elle est principalement cultivée au nord-est du pays: dans les régions d'El Tarf, Annaba, Guelma et Skikda représentent 90% de la superficie totale consacrée à cette culture, le reste est réparti entre le centre du pays (7 %) et l'ouest (3 %). En outre la production globale de la tomate industrielle, elle atteint 15,4 millions de quintaux avec un rendement de 651 quintaux/ha en hausse de 27 % par rapport à la campagne précédente, tandis que la superficie plantée a augmentée à 23,702 ha en hausse de 17 % par rapport à la campagne 2017 (Fig.5). Cependant que les plus grandes wilayas productrices de la tomate industrielle sont (Fig.06) (AMITOM, 2010 ; MADRP, 2018) :

- **Skikda** 4,65 Millions de quintaux. - **Tarf** 3,5 Millions de quintaux.
- **Guelma** 2,06 Millions de quintaux. - **Ain Defla** 1,68 Millions de quintaux.

1.4.2. La production de la tomate industrielle dans la wilaya de Guelma

Le bassin de Guelma depuis quelques années est devenu un des grands espaces de production de la tomate industrielle et de sa transformation dans le nord-est algérien, de Guelma jusqu'à la plaine de Bouchegouf avec une superficie totale de 9250ha. La tomate d'industrie est principalement cultivée au niveau du périmètre Guelma-Bouchegouf sous la forme repiquée, c'est-à-dire l'utilisation de plants provenant d'une pépinière.

A l'échelle du périmètre les surfaces consacrées à la production de la tomate industrielle repiquée ont connu une augmentation régulière puisqu'elles sont passées d'une moyenne de 1803 ha pendant les cinq années (2005/2010) en occupant 19% de la superficie totale du périmètre, pour atteindre une moyenne de 3452 ha pour les cinq années suivantes (2010/2015) soit près de 37% de la superficie du périmètre. Cette augmentation de la superficie cultivée s'est traduite par une croissance continue de la production qui est passée de 247000 quintaux à 1,895 860 quintaux soit un ajout moyen de 800008,2 quintaux durant les cinq premières années (2005/2010) et de 1,890 240 quintaux à 3,129 165 quintaux, soit une augmentation moyenne de 2 315 862 quintaux durant les cinq dernières années (2011/2015) (Fig.7).

Les superficies cultivées se répartissent dans les principales zones potentielles qui se localisent dans la plaine alluviale de la moyenne Seybouse, au niveau des communes de EL-Fedjoudj, Belkheir, Boumahra, Djaballah, Bouchegouf, Béni-Mezline, Guelma, Héliopolis. Cette augmentation du niveau de la production est due également à une nette amélioration des

rendements qui ont presque doublé (Fig.8). En effet, d'une moyenne de 389 quintaux/ha durant la période (2005/2010) ils se sont élevés à 668 quintaux/ha durant la période (2011/2015). Ce fut l'introduction des variétés hybride avec l'installation d'une pépinière par le groupe BENAMOR. En outre, le système de subventions destiné à cette filière accordée par l'Etat a également motivé les agriculteurs (Bennacer, 2018).

1.4.3. La transformation de la tomate industrielle

1.4.3.1. Les unités de transformations de la tomate industrielle

Les unités de transformation locale de AMOR BENAMOR et ABIDI sont localisées au centre du bassin de Guelma le long des axes routiers et sont implantées au niveau des zones de plaine, près des principaux centres urbains de la région (Bennacer, 2018).

1.4.3.2. La conserverie AMOR BENAMOR (CAB)

C'est, lors de sa création en 1984, une petite entreprise familiale. Elle est née à partir d'une petite unité de transformation de concentré de tomates dont la capacité de transformation était de 240 tonnes de tomates fraîches par jour. Trois décennies plus tard, le chemin parcouru est considérable. La filiale CAB est devenue le leader Algérien tant en capacité de production (réception de 7600 Tonne/jour de tomates fraîches pour produire 1500 Tonne/jour de double concentré de tomate) qu'en part de marché national (50 %). Elle est devenue l'une des composantes du complexe agroalimentaire de groupe BENAMOR qui dispose d'autres entreprises agroalimentaires (minoterie, semoulerie, pâtes alimentaires). Dans notre région la CAB possède deux unités de transformation: l'unité située à El-Fedjoudj avec une capacité de réception de 3600 Tonne/jour de tomates fraîches et l'unité de Bouati d'une capacité de 600 Tonne/jour.

1.4.3.3. La conserverie ABIDI Mohamed (ZIMBA)

Elle fait partie du groupe ABIDI qui possède d'autres entreprises agroalimentaires (minoterie, farine boulangère, sacherie). Ce groupe a été créé en 2000. La conserverie produit du double concentré de tomate, de la harissa, de la confiture. Sa capacité de réception de tomate fraîche est de 450 Tonne/jour. Au mois d'aout 2016 elle a été portée à 600Tonne/jour à la suite de l'extension de l'usine. Cette unité se situe dans la commune de Belkheir à la proximité de la route nationale n°80.

1.4.3.4. Evolution des quantités transformées de tomate industrielle

La quantité transformées de la tomate d'industrie dont la moyenne total durant les dix dernières années a été de 82 247 quintaux soit 53% de la production total (Tab.4), cette quantité a connu une augmentation régulière entre les 5 premières années (2005/2010) de 463 251 quintaux soit 58% et les 5 dernières années (2011/2015) de 1 181 698 quintaux soit 51%.

1.5. Technologie de fabrication et de transformation

1.5.1. Le procédé de fabrication du concentré de tomate

Le procédé de fabrication est un ensemble d'opérations unitaire (Fig.18) réalisée sur la matière première pour la transformer à un autre produit selon les étapes c'est dessous (Kangni, 1991) :

➤ Récolte et transport

Dès la maturation des tomates, Ces derniers sont cueillit à la main (Fig.9) Puis transporté dans les meilleurs conditions afin d'être mieux préservés, le transport se fais dans des caisses moyennes pour éviter leur écrasement.

➤ Réception et déchargement

Lors de la réception des camions (Fig.10), ces derniers sont réservées seulement au transport de la tomate, la marchandise est ensuite pesée puis subit un échantillonnage pour avoir sa qualité, ce contrôle se fait par un prélèvement au hasard d'un échantillon auquel on précise le pourcentage des impuretés présentes tel que le pourcentage de matière étrangères, les corps soleil (les taches jaunes des tomates), les écrasées (taches noirs), les tomates moisit, et le véreux. Après la réception des tomates dans les camions, ces derniers seront déchargés à l'aide des ouvriers mais si elles sont un peu relâchées elles seront directement déchargées à partir des camions grâce à un jet d'eau.

➤ Lavage et Rinçage

Les tomates sont déchargés aux trois lignes différents (Fig.11) dans chacune des lignes les tomates reçoivent le 1^{er} lavage dans un petit bassin situé à l'amont de la chaine de production, ensuite vont être également transportées vers un autre canal délavage à l'aide d'un petit plateau mobile qui permet le 2^{ème} lavage des tomates, à ce stade les femmes proviennent à séparer les déchets de l'herbe des tomates grâce à des barreaux verticaux implantés dans le canal.

➤ **Triage manuelle**

Les trieurs examinent les tomates qui passent devant eux avec des mains gantées de plastiques (Fig.12) et ils retirent ensuite du lot toute tomate endommagée, tel que les tomates moisies, les écraser et tous autres impuretés, puis vont être soumise à des douches d'eau javellisé de 2 à 4 ppm pour s'assurer que les tomates sont bien nettoyés.

➤ **Broyage et blanchiment**

En revanche les tomates fraîches et de bon état seront envoyées vers les huit trémies où elles seront frappées par la vapeur afin de faciliter leur broyage. Une fois que le broyage est terminé, elles seront ensuite pompées dans une cuve de préchauffage qui permettra de chauffer les tomates broyées à 70°C.

➤ **Filtration**

Après le traitement thermique et l'inactivation enzymatique, le produit chaud est raffiné dans les passoires qui séparent la partie solide (peaux et pépins) de la partie liquide (jus ou purée). Le jus est collecté dans une cuve placée au-dessous, tandis que les peaux et les pépins grâce au mouvement hélicoïdal de la série de palettes fixées sur le rotor, sont convoyés vers la partie opposée à l'entrée de produit, pour être évacués. Généralement une passoire fait 600 à 800 tours par minute. Le degré de pressurage du produit est déterminé par l'action combinée d'au moins trois composantes : la vitesse de rotation l'angle d'incidence des palettes et le diamètre des trous du tamis.

➤ **Concentration**

Elle se fait grâce à une installation comportant trois principales parties de tailles différentes mais de même structure et de même principe de fonctionnement (Fig.13) (évapore au moins 100 tonnes de jus de tomate par jours). Grâce à un groupe de distribution situé au sommet, on alimente la troisième partie avec le jus (brix = 2-6) de façon homogène à travers les tubes de l'échange de chaleur. On assiste à l'échange thermique entre le jus et la vapeur, et une concentration progressive due à l'évaporation de l'eau du produit. Lorsqu'on atteint un brix de 10-12%, le produit passe dans la deuxième partie puis la première, et y subit le même traitement thermique. La vapeur vive introduit dans le finisseur (première). Et celle issue de l'évaporation du produit servira à alimenter successivement les parties deux et trois. Des réfractomètres placés sur chaque partie permettent de voir l'évolution du produit, lorsque ce dernier atteint la valeur désirée on ferme la communication de la vapeur avec le reste de l'appareil, et le concentré est déversé et envoyé vers la station de pasteurisation. La concentration se fait sous vide (Évaporateur à faisceaux tubulaire), ce qui permet de réduire à

volonté la température d'évaporation afin d'éviter une altération possible ou une modification des caractères chimique et des qualités nutritionnelles et organoleptiques de la tomate.

➤ **Pasteurisation**

Un traitement thermique de quelques secondes à une température supérieure à 85°C (Fig.14) qui assure la stabilité du concentré de tomate, La pâte de tomate est ensuite aspirée de l'évaporateur vers la remplisseuse, qui est constituée d'un tank de réception de la pâte de tomate, d'un échangeur de chaleur tubulaire de pasteurisation et d'un tube de circulation.

➤ **Remplissage et sertissage**

Les boîtes ont été retournées à plusieurs reprises et nettoyées par la vapeur à 90°C avant d'être remplies pour détruire les germes pouvant s'y trouver. Elles arrivent ensuite à la station de remplissage ; de même que le concentré. Un tour complet correspond au remplissage de la boîte qui se fait à 82°C, les boîtes passent ensuite au sertissage qui consiste à la fermeture des boîtes hermétiquement à la face inférieure après le remplissage de concentré de tomate à 90°C (Fig.15). La sertisseuse à quatre têtes et une vitesse proportionnelle à celle du remplissage. À la sortie de la sertisseuse, un dateur inscrit sur cette même face la date de fabrication, d'expiration, l'heure de sortie du produit et le numéro du lot auquel appartient la boîte.

➤ **Stérilisation et refroidissement**

Les boîtes sont stérilisées à l'aide d'un grand stérilisateur rotatif qui donne au continu à la boîte un traitement thermique. Ce traitement permet de garder les caractères nutritifs sans l'addition de conservateur. Ensuite, les boîtes sont rapidement refroidies afin d'éviter que les tomates ne continuent à cuire. Ils se font dans un tunnel à double portion (Fig.16). Dans la première partie se déroule la stérilisation par injection directe sur les boîtes de l'eau chaude. Pour cela, l'eau est chauffée à 96°C dans un échangeur tubulaire, puis envoyée dans le stérilisateur par des jets douches, sur les boîtes qui s'alignent sur un large tapis roulant à faible vitesse. La stérilisation dure huit minutes sur une longueur de six mètres. L'eau chaude utilisée est recueillie et recyclée. Dans la seconde partie du tunnel, de l'eau froide est injectée sur les boîtes pour le refroidissement à 40°C (choc thermique). Il se fait en 40 minutes sur une longueur de 20 mètres. L'eau est recueillie et envoyée au réfrigérant.

➤ **Séchage et conditionnement**

À la sortie du tunnel, un sécheur injecte de l'air chaud sur les boîtes. Ces derniers biens séchés sont emballés de façon automatique dans des cartons de 12 pour les boîtes de 800g et de 24 pour celle de 400g. Ces cartons sont scotchés et stockés dans les hangars avant d'être

livrés à la commercialisation (Fig.17) au moins 21 jours après la date de fabrication ; ce qui permet de terminer les analyses du produit au laboratoire.

1.5.2. Transformation de tomate

La transformation de la tomate industrielle dans le monde a connu un développement considérable, qui consiste à une diversification parmi ces dérivés nous pouvons trouver sur le marché international et national toute une gamme de produits tels que (Kangni, 1991) :

- **Le jus de tomate :** Un produit provenant de la tomate entière écrasée dont la pulpe a subit une pure désagrégation sous dilution ou concentration.
- **La pulpe tomate :** Il s'agit d'un produit obtenu après l'écrasement du fruit et élimination des graines et pelures.
- **Le sérum de tomate :** Ce dernier est obtenu après une filtration ou complètement les particules solides en suspension.
- **Le sirop de tomate :** Produit obtenu par une concentration de tomate.
- **Les palés de tomates :** C'est le résultat d'une concentration de la pulpe avec un taux égale au à 24 % de substance totales, ce produit est considéré comme purée de tomate ou condiment sous forme de pate commercialisé dans les petits emballages.
- **Les sauces tomates :** Elle est très répandus et demandés, ces derniers années, le marché dispose de deux produits : LE KETCHUP, LA SAUCE CHILI.
- **La purée de tomate :** c'est une pâte de tomate à faible concentration dont le taux varié entre 8 et 24 % de substance solide solubles, dans certains pays comme les Etats-Unis d'Amérique cette purée est appelée : pulpe ou concentre de tomate.

Tableau 03 : Teneur des constituants majoritaire de la tomate fraiche « pour 100g »
(USDA, 2007).

composés		Teneur
Calcium	(mg)	10
Fer	(mg)	0,27
Magnésium	(mg)	11
Phosphore	(mg)	24
Potassium	(mg)	237
Sodium	(mg)	5
Zinc	(mg)	0,17
Cuivre	(mg)	0,059
Vitamines		
Vitamine A	(ug)	42
Vitamine C	(mg)	12,7
Vitamine B6	(ug)	80
Thiamine	(ug)	37
Niacine	(mg)	89
Caroténoïdes (ug)		
a-carotène		101
b-carotène		449
lycopène		2573
zèaxanthine		123
Acide gras saturé		
C16 :0	(g)	0,045
C16 :0	(g)	0,033
C18 :0	(g)	0,013
Acide gras mono-insaturés		
C16 :1	(g)	0,050
C16 :1	(g)	0,002
C18 :1	(g)	0,049
Acides gras polyinsaturés		
C18 :2	(g)	0,135
C18 :2	(g)	0,130
C18 :3	(g)	0,005
Phytosteroles (mg)		
Phytosteroles		7
Eau	%	94,5
Energie	(kcal)	18
Protéines	(g)	0,88
Lipides	(g)	0,20
Cendres	(g)	0,50
Carbohydrates	(g)	3,92
Fibres	(g)	1,20
Sucres	(g)	2,63
Glucose	(g)	1,25
Fructose	(g)	1,37

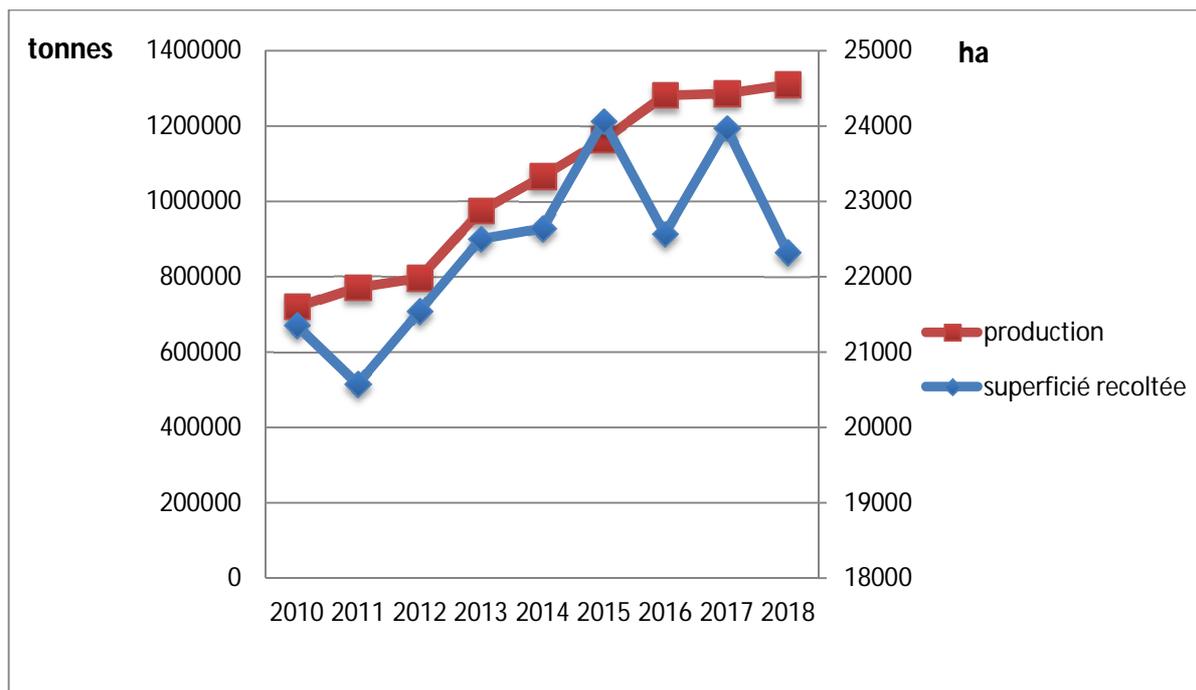


Figure 03 : Evolution de la production et la superficie nationale de tomate (FAO, 2018)

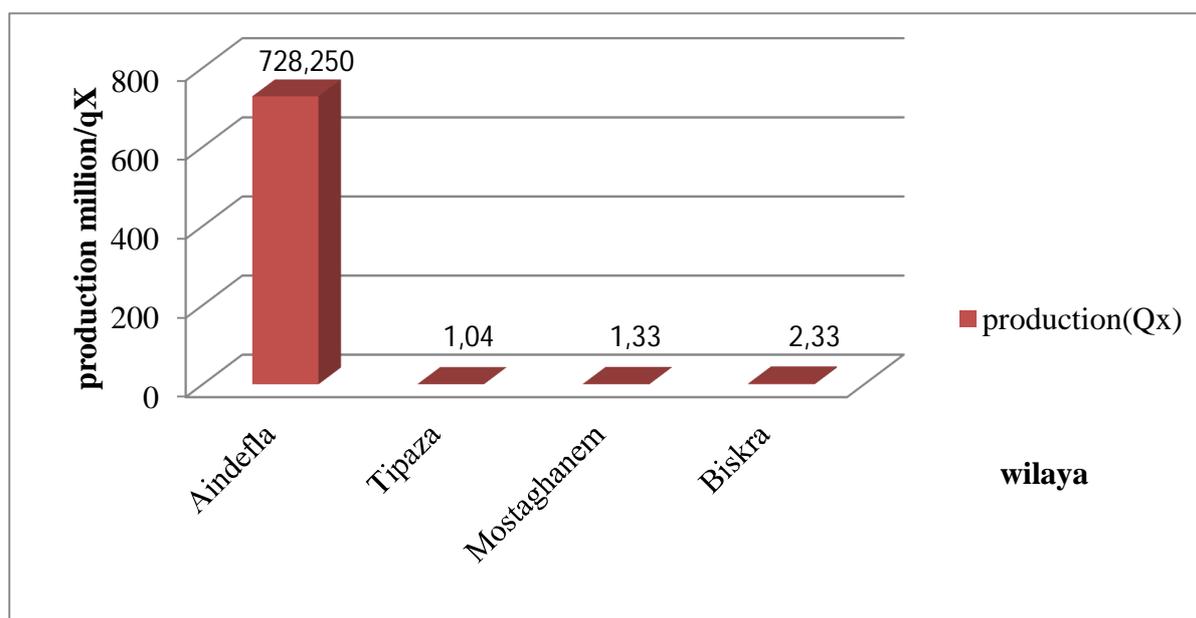


Figure 04 : Les plus grandes wilayas productrices de la tomate (MADRP, 2018).

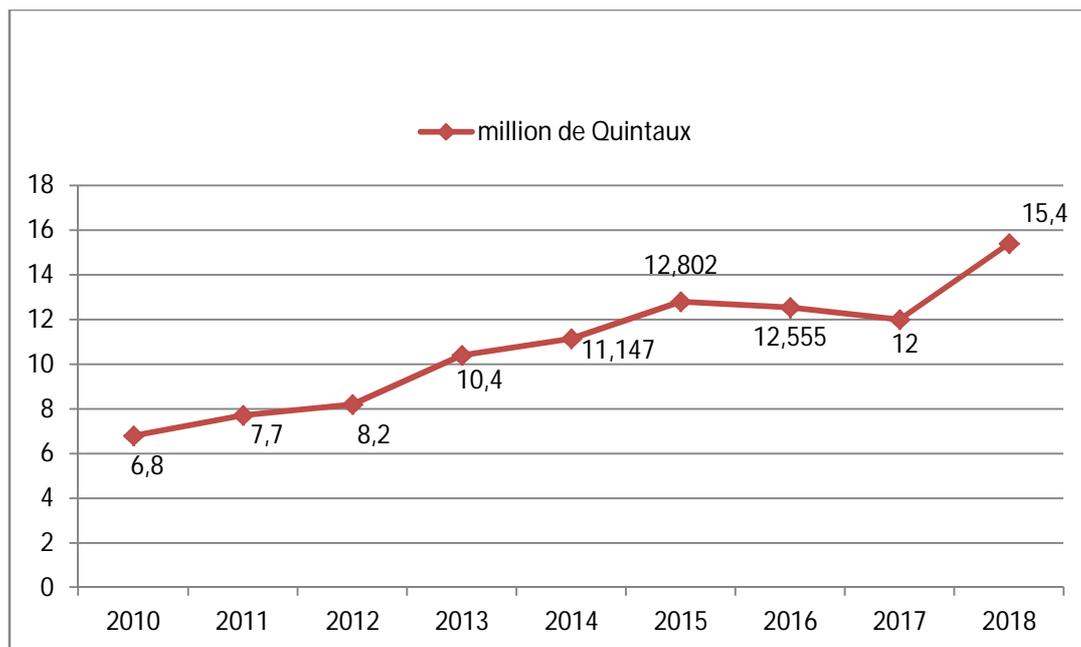


Figure 05 : Evolution de la production et la superficie nationale de tomate industriel (MADRP, 2018).

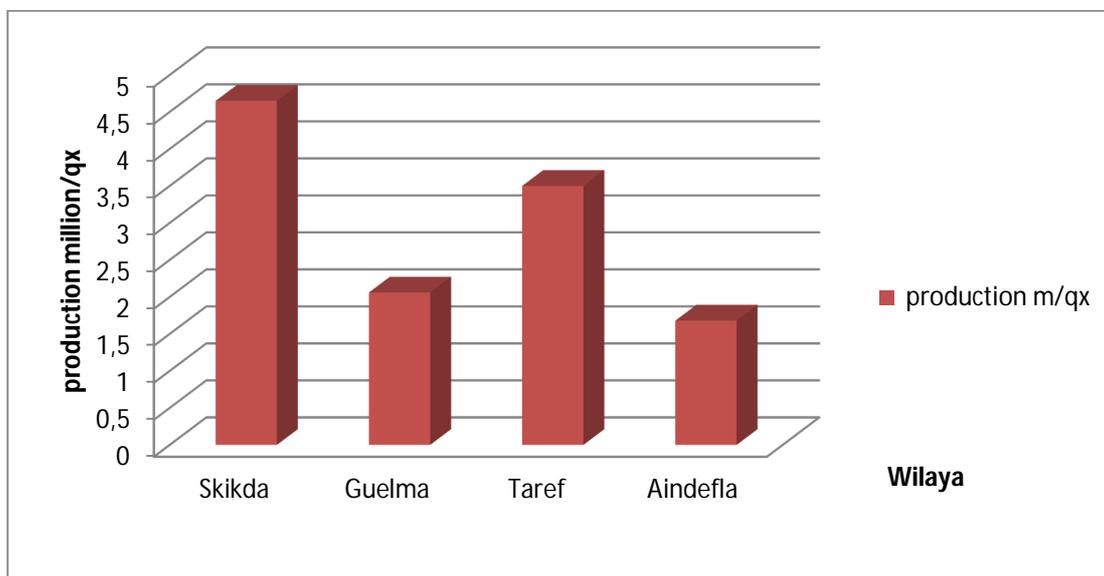


Figure 06 : Les plus grandes wilayas productrices de la tomate industrielle (MADRP, 2018).

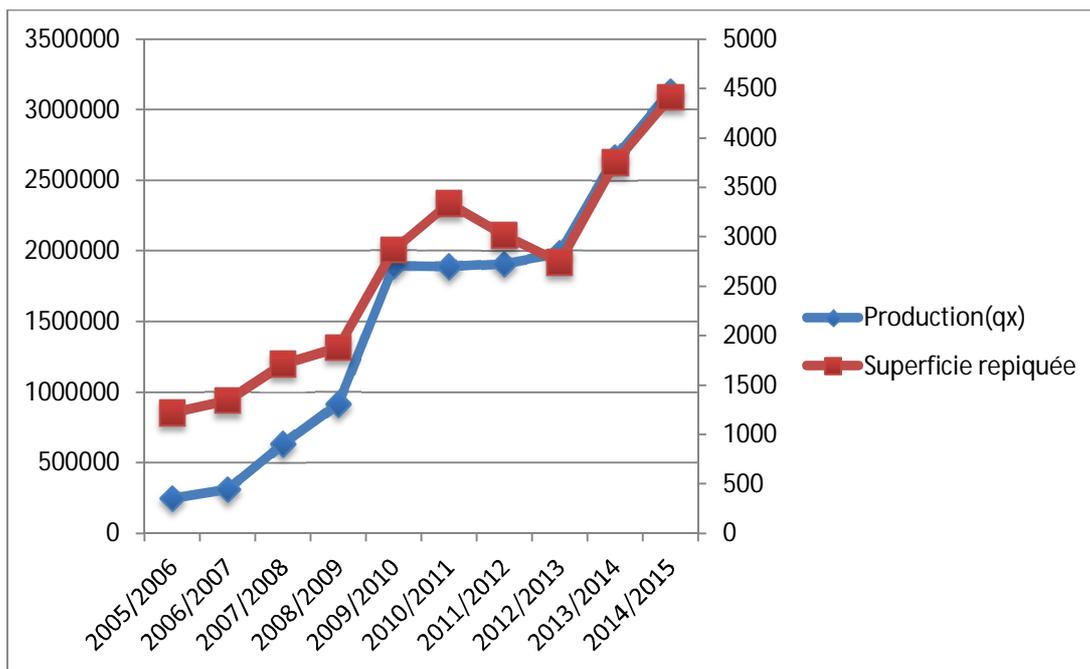


Figure 07 : Evolution des superficies et de la production de la tomate industrielle dans la wilaya de Guelma (La DSA de Guelma, 2016)

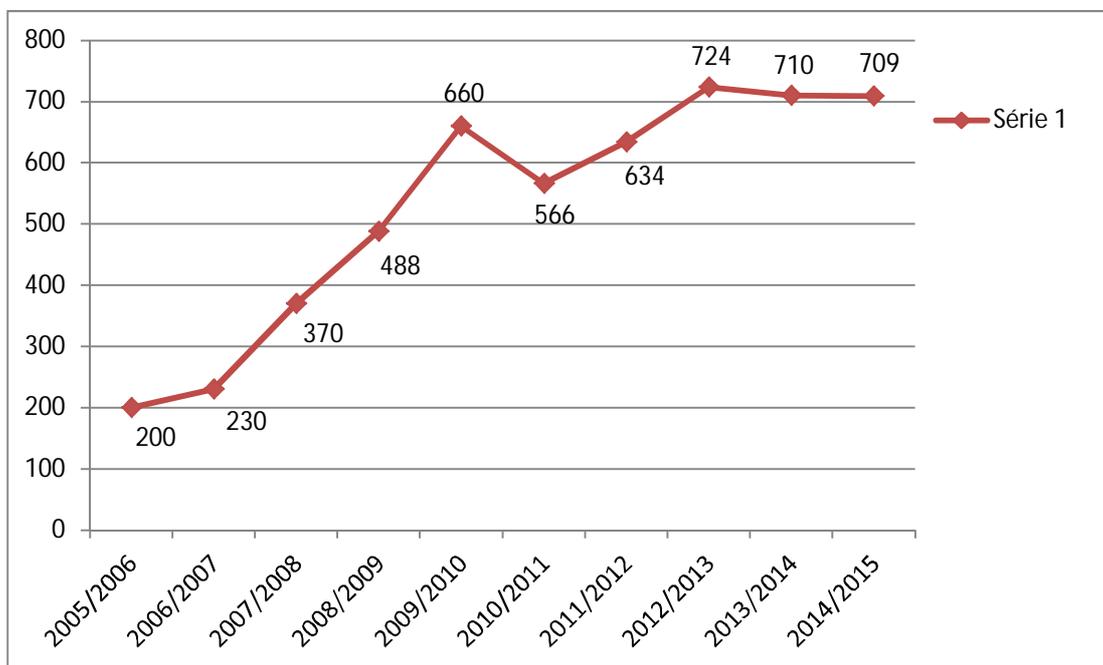


Figure 08 : Les rendements de la tomate industrielle (quintaux/ha) (La DSA de Guelma, 2016).

Tableau 04 : Evolution des quantités transformées de la tomate industrielle (2005/2015)
(la DSA de Guelma, 2016).

Compagne	Production	Quantité transformée
2005/2006	247000	127000
2006/2007	311755	222755
2007/2008	629925	558003
2008/2009	915501	396081,8
2009/2010	1895860	1012416
Moyenne 5 Années	800008,2	463251,16
2010/2011	1890240	834106
2011/2012	1912910	853154
2012/2013	1984810	877527
2013/2014	2662185	1440823
2014/2015	3129165	1902883
Moyenne 5 Années	2315862	1181698,6
Moyenne 10 années	1557935,1	822474,88



Figure 15 : Remplissage et sertissage



Figure 16 : Stérilisation et refroidissement



Figure 17 : La mise en carton (3).

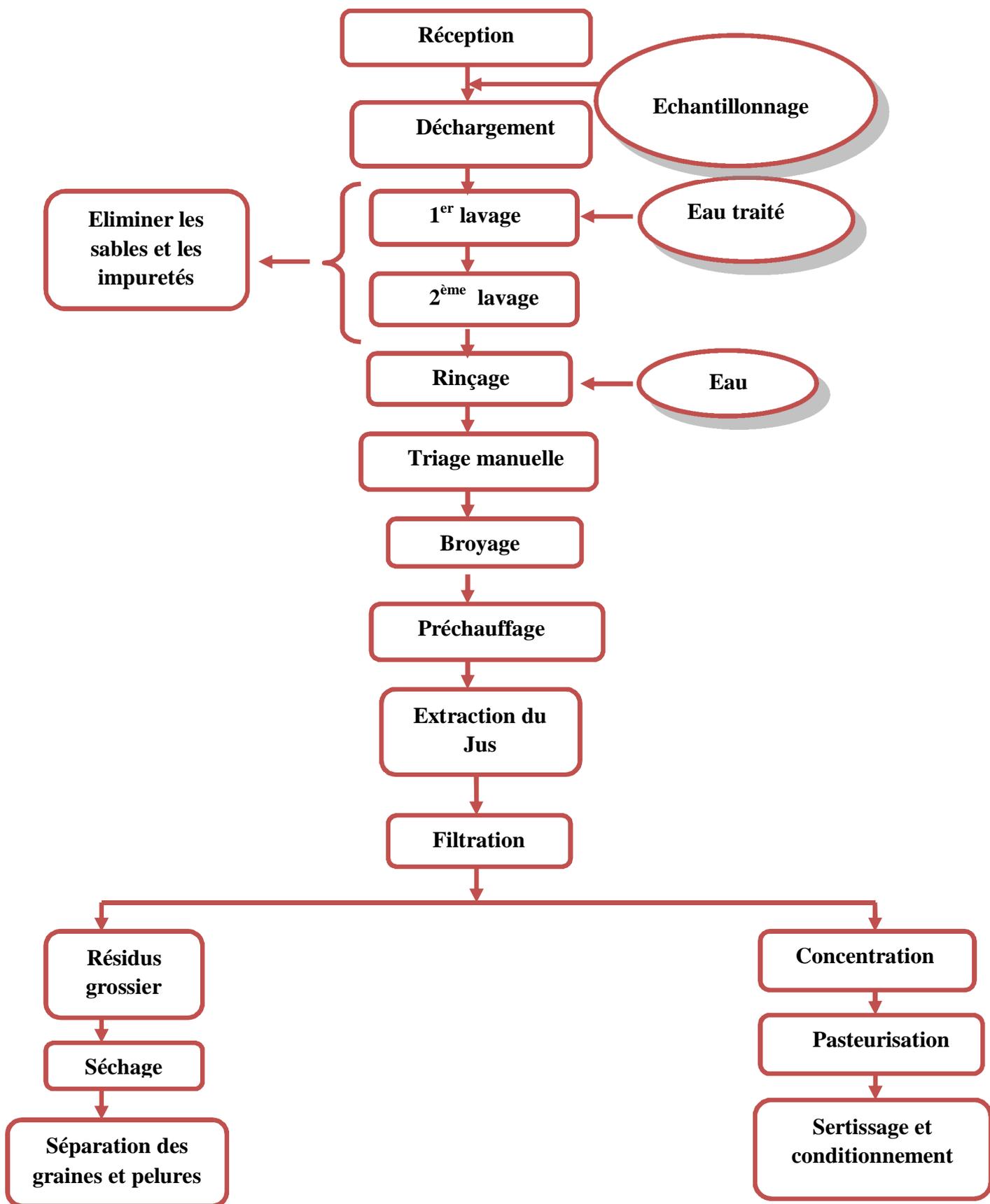


Figure 18 : Diagramme de fabrication du concentré tomate et récupération des résidus

(Amalou et al., 2013).

2. Les sous-produits des tomates et leurs compositions biochimiques

Les sous-produits issus de la transformation de la tomate représentent 10 à 30 % du poids de tomate fraîche, ils se composent de 33 % de graines, 40% de pelure et 27% de pulpe, parfois il y-a même de tomate verte non transformées peut-être mélangés à des feuilles (Fig.19), sont relativement riche en protéine 12,06 % MS, en matière minérale 11,77 % MS et en matière grasse 1,66 % MS (Tab.5), les sous-produits de la tomate sont des produits très hétérogènes, leurs formes physiques, leurs composition chimique et leur valeur nutritionnelle dépendant des propositions relatives des pelures, des graines, et autres matériaux laissé au cours de transformation, qui dépendant eux même des produits fini-transformé (Denek et *al.*, 2006 ; Amokrane, 2010).

2.1. La pelure de tomate

La pelure de tomate est composée d'un hypoderme, d'un épiderme et d'une cuticule qui le recouvre, l'épiderme est un tissu de revêtement formé d'une couche de cellules d'épaisseur variable et dont la paroi externe est plus épaisse. Les parois des cellules épidermiques sont recouverte d'une cuticule elle semble sécrété par les cellules de l'épiderme. La cuticule est un composite naturel recouvrant et protégeant tous les organes aériens des plantes (fruits, graines, feuilles, fleurs). Elle est composée d'un polyester, la cutine, de cires et de polysaccharides. La cuticule contrôle aussi bien les interactions entre la plante et son environnement (résistance aux stress biotiques et abiotiques) que le développement des organes végétaux (différentiation, croissance). Elle joue également un rôle déterminant sur la qualité (texture des fruits et des grains, conservation post-récolte, rétention des polluants et xénobiotiques) et la transformation industrielle (mouture et maltage des grains, pressage des fruits) des produits végétaux. La composition biochimique des pelures de tomate est illustrée dans le tableau 06 (Colonna et *al.*, 1995) ; (Grenet, 1997) ; (Gibault, 2006) ; (INRAE, 2020).

2.2. La pulpe de tomate

L'analyse biochimique montre que la pulpe à une forte teneur en cellulose brute et en lignine de 24,65 % de MS, par rapport à celle de la pectine seulement 5 % de MS, de plus la pulpe contient une source raisonnable en vitamine B1, B2 et A (cotte, 2000).

2.3. La graine de tomate

La composition biochimique des graines et très diversifiées (Tab.7), elle est caractérisée par un taux de matière sèche égale à 93 %, une forte teneur en lipide de 26,6 % de MS, en protéine de 24,72 % MS et en fibres notamment exprimés en équivalent de cellulose brute

de 24,24 % MS, d'autre part les graines sont également pauvre en lycopène et en B-carotène. Vu de ces données, il apparait que les graines représentent la part la plus importante du potentiel énergétique et azoté des sous-produits de tomate (Amalou et *al.*, 2013).

3. Utilisation des déchets tomate

3.1. Dans l'alimentation humaine

les déchets de tomates sont également riches en fibre et en protéines ce qui leur permet d'être une bonne source de consommation humaine et vu que les graines de tomates contiennent environ de 40 % de protéines sont également recommandées pour les applications alimentaires destinées à l'homme, de plus, des études ont montré que les déchets de tomates contiennent 13 % de lysine et de ce fait ses dérivés peuvent améliorer la qualité des protéines à basse teneur en lysine (Brodowski et Geisman, 1980 ; Al-Wandawi et *al.*, 1985).

3.2. Dans l'alimentation animale

3.2.1. Dans l'alimentation des volailles

Les résidus de tomates peuvent être également utilisés dans les aliments pour les volailles, notamment pour les poulets de chair et les poules pondeuses (Lira et *al.*, 2010).

➤ Poulet de chair

Les résidus de tomates séchées peuvent être incorporés dans les aliments pour les poulets de chair même si on tient compte du taux faible en énergie au cours de la formulation. Les jeunes animaux ont une ingestion faible est cela dû à la teneur élevée en fibre plutôt qu'une faible palatabilité, alors que les animaux plus âgés peuvent ingérer des rations contenant beaucoup de résidus de tomate. Cependant, même à des faibles taux d'incorporation les performances de croissance et l'efficacité alimentaire se diminuent, d'autre part l'augmentation des taux d'incorporation de 5% à 20% a provoqué une diminution linéaire des performances et une diminution globale du poids corporel relativement faible pour un taux d'incorporation de 20 %. Tandis que les oiseaux âgés plus de 28 jours n'ont pas montré de baisse de croissance à ce taux. Pour l'amélioration de la valeur nutritive des résidus tomate chez les volailles plusieurs traitements sont mis en jeu, tels que les traitements thermiques (air chaud à 121°C et le séchage au soleil), le trempage dans des solutions alcalines, après ces traitements, l'incorporation à 10 % dans le régime alimentaire a amélioré les performances et donc, pour optimiser les performances il est recommandé d'incorporer jusqu'à 5-8 % de la ration pour les animaux de croissance et de 10-12 % pour les animaux en finition allant jusqu'à 20 %

pour les animaux plus de quatre semaines (Al-Betawi, 2005 ; Lira et *al.*, 2010 ; Tabeidian et *al.*, 2011).

➤ Poules pondeuses

L'incorporation des résidus de tomates séchés dans des régimes pour poules pondeuses a été réalisée avec succès, car elle nécessite un taux d'énergie inférieure à celui des poulets de chair, avec un taux d'incorporation inférieure à 10 % il n'y a pas des effets sur les performances mais à un taux élevés il y a diminution de la production d'œufs, cependant certaines expériences réalisées avec un taux de 16 % à 20 % n'ont pas affecter la production d'œufs ni le poids corporel, les résidus de tomates sont une bonne source de lycopène et caroténoïdes et de ce fait la couleur du jaune d'œuf a été renforcée par leurs inclusions dans la ration, de plus ces résidus peuvent être également utilisés comme substitut au son de blé qui possède une teneur en énergie similaire (Dotas et *al.*, 1999 ; Jafari et *al.*, 2006 ; Mansouri et *al.*, 2008 ; Calislar et Uygur, 2010).

En raison de la teneur élevée en MG, les graines de tomate possèdent un taux d'énergie très élevés plus de 12,6 MJ/kg (MS), leurs incorporations dans l'alimentation des poussins âgées de 8-21 jours à donner des performances comparables à celle d'un régime de contrôle jusqu'à 15 %, mais à un taux de 20 % la croissance a été légèrement diminuée (Persia et *al.*, 2003).

3.2.2. Dans l'alimentation des ruminants

Les résidus de tomate servent également à l'alimentation des ruminants en raison de leur forte teneur en fibre, ce ne sont pas de très bons ingrédients, car ils sont moins digestibles que la plupart des grands tourteaux d'oléagineux et autres sources de protéines, ils peuvent être amers et donc les associées à des aliments plus agréables au goût, d'autre part ils sont une bonne source et bon marché de protéine d'énergie et de fibres. Aux Philippines, il a été recommandé d'incorporer les résidus de tomate jusqu'à 50% des besoins quotidiens de fourrage, sous forme fraîche, sèche ou ensilée. Les résidus doivent être donnés avant le fourrage ou bien mélangé (en particulier lorsqu'il est sec) avec le fourrage haché. Les essais sur ruminants disponibles dans la littérature portent essentiellement sur les résidus de tomate, avec des conditions expérimentales extrêmement variables, allant des pays tempérés aux pays tropicaux, ce qui explique la grande diversité de résultats obtenus. Ces produits sont surtout intéressants en l'absence d'ingrédients de meilleure qualité. (Caluya et *al.*, 2003 ; Abbedou et *al.*, 2011).

3.2.3. Dans l'alimentation des vaches laitières, les bovins en croissance, les ovins et les caprins

L'incorporation de 10 % des déchets de tomates déshydratés dans la ration chez les vaches laitières en début de lactation n'a pas provoqué une modification ni sur la production du lait ni la composition ni sur l'ingestion, en Grèce ils ont inclus ses déchets de l'ordre de 33 % du concentrer en vue de remplacée une partie de l'orge et du tourteau de coton sans un effet néfaste sur la santé, la production du lait et la MS ingérée. En Thaïlande, ils ont pu remplacer complètement la paille traitée à l'urée par les résidus de tomates séchées avec l'amélioration de l'ingestion de la MS et l'efficacité alimentaire, cependant l'incorporation de ses derniers à 11 % dans la ration chez les bouvillons en remplacement de cossettes de manioc n'a pas modifié l'ingestion de la MS et la digestibilité. D'autre part chez les chèvres nourries à l'herbe, les résidus ont pu remplacer 25 % à 100 % de tourteau de soja sans aucune modification marquée ni sur l'ingestion du fourrage et de concentrer ni l'utilisation de l'azote (Belibasakis, 1990 ; Yuangklang et *al.*, 2006 ; Safari et *al.*, 2007 ; Yuangklang et *al.*, 2007 ; Yuangklang et *al.*, 2010).

4. L'intérêt d'utilisation des déchets de tomate

Il apparaît que l'utilisation des sous-produits tomate dans l'alimentation des animaux utiles pour plusieurs raisons tels que (Rosner, 1982) :

- L'entreprise peut tirer profit de la valorisation des déchets pour l'alimentation des animaux au lieu quel paye pour les rejetée dans la nature.
- Les sous-produits ont une valeur nutritive intéressante ce qui les permet de remplacés les aliments classique en plus sont moins chère à l'utilisation, ce qui permet une réduction des couts d'élevage dans une période ou le prix de production stagne.
- Les sous-produits peuvent également remplacée les aliments acheter de l'étranger d'où les prix de ces dernier sont indiquées selon les variations de devise, est c'est exactement le cas des aliments à forte valeur protéique tels que soja.
- Les sous-produits peuvent être élaboré avec d'autres aliments, et donc les entreprise vont plus rejetées les déchets dans les rivières ou dans les décharges ce qui est un effet favorable pour l'environnement.



Figure 19 : les déchets issus de la fabrication du concentré tomate (4).

Tableau 05: Composition chimique des résidus en pourcentage de la matière sèche (Amokrane, 2010).

Substrat	MS %	MM %MS	MO %MS	PB %MS	MG %MS	ADF %MS	MAT %MS	NDF %MS
Résidus de Tomate	88,77	11,77	98,33	12,06	1,66	33,09	16,8	9,82

MS : matière sèche ; **MM** : matière minérale ; **MG** : matière grasse ; **MO** : matière organique ; **PB** : protéines brutes ; **ADF** : fibres insolubles dans les détergents acides **MAT** : matière azotée totale ; **NDF** : fibres insolubles dans les détergents neutres.

Tableau 06 : Composition biochimique des pelures de tomates (knoblich et *al.*, 2005).

Composants	Teneurs (mg/100g MS)
lycopène	73,40
B-carotène	02,93
Protéine	10,08
Lipides	03,22
Cendres	25,64
Calcium	180,0
Phosphore	270,0
Magnésium	140,0
cuivre	0,76
Manganèse	1,25
Zinc	2,75

Tableau 07 : Composition biochimique des graines de tomate (Amalou et *al.*, 2013).

Constituants	Quantité
Eau	6,97 %
Matières sèches	93,03 %
Cendres	4,16 %
Matières azotées totales	3,95 %
Protéines	24,72 %
Lipides	26,2 %
Sucre totaux	4,25 %
Cellulose brute	24,24 %
Bêta-carotène	1,76 mg/100g
Lycopène	2,76 mg/100g

5. Valorisation des sous-produits de tomates

La valorisation des résidus de tomate peuvent être résumé à la récupération des constituants suivants :

➤ Lycopène

Il est retrouvé principalement dans la tomate et il est très abondant dans la pelure, son nom est d'ailleurs dérivé de la classification de l'espèce de la tomate « *Solanum lycopersicum L* », le lycopène est un hydrocarbure aliphatique (Fig.20) de poids moléculaire 536,9 Daltons (Tab.8), sensible à la lumière et la température et notamment moins lipophile que le B-carotène, il est également membre de la famille des caroténoïdes, le petit dernier mais certainement pas le moindre puisqu'il est l'un des plus puissant antioxydants naturel connu à ce jour, un pigment naturel qui donne la couleur rouge aux végétaux, Pour faire extraire ce dernier on peut utiliser différents processus d'extraction notamment l'extraction par solvant, ou par fluide supercritique essentiellement CO₂ (Elvira et *al.*, 2006) ; (AFSSA, 2004).

Le lycopène peut être employer en tant qu'un ingrédient alimentaire que ce soit pour la formulation d'un complément alimentaire à viser cosmétique ou bien pour la fabrication de céréales pour le petit-déjeuner et des boissons non alcoolisées à des concentration d'environ (0,5 % - 7 %), soit en tant qu'un colorant dans la fabrication des denrées alimentaire destinée à l'alimentation humaine. De plus, il a des capacités anti-oxydantes importantes ce qui lui permet de diminuer les risques des maladies chroniques dégénératives notamment cardio-vasculaires cutanés et cancéreuses d'où une étude canadienne à monter qu'il a un effet sur le cancer colorectal seulement chez les femmes fumeuses, une autre étude pour le cancer de l'estomac avaient montré que le risque évalué était significativement diminuer chez les sujets consommateurs de tomate et donc il y a une relation positive entre l'apport de lycopène ou la teneur plasmatique en lycopène et l'abaissement du risque, et de même pour le cancer de prostate c'est ce que à était montrée au niveau de l'étude de (Giovannucci et *al.*, 2002). En outre le lycopène joue un rôle préventif contre l'érythème solaire c'est ce que exactement montre l'étude de (Stahl et *al.*, 1992) qui ont évaluée les effets d'une consommation d'un concentré de tomate sur des personne âgées de (26ans – 67ans) sur la prévention d'érythème cutané induit par irradiation ultra-violets (UV) (Colditz et *al.*, 1985 ; Fuhrman et *al.*, 1997 Clinton, 1998 ; Nkondjock et Ghadirian, 2004).

➤ **Fibres**

La tomate présente une source de fibre soit de 1,25g/100g. Les fibres alimentaires désignent un groupe de substances contenues dans les aliments végétaux qui ne peuvent pas être complètement décomposées par les enzymes digestives humaines. Cela comprend les cires, la lignine et les polysaccharides tels que la cellulose et la pectine. À l'origine, on pensait que les fibres alimentaires étaient complètement indigestes et ne fournissaient aucune énergie. On sait maintenant que certaines fibres peuvent être fermentées dans le gros intestin par des bactéries intestinales, produisant des acides gras et des gaz à chaîne courte, néanmoins les fibres présentent plusieurs effets métaboliques sont (Elvira et *al.*, 2006 ; FBN, 2018):

- Induire une sensation de satiété.
- Stimule la digestion.
- Augmenter la durée de transit intestinal.
- Effet positif lors des mécanismes de mastications.
- Réduire la contribution énergétique des aliments, le taux de la glycémie et le taux de cholestérol.

Bien que les fibres puissent être ajoutées pour la fabrication de compléments alimentaires et d'aliments transformés riches en fibres. Les polysaccharides naturels obtenus à partir des résidus de transformation industrielle de tomate à application industrielle ont une activité antigénique utilisée dans l'industrie pharmaceutique pour formuler les vaccins et d'autres produits utilisés comme additifs alimentaires grâce à leurs propriétés émulsifiante, viscoélastique, poly-électrique, adhérentes, biocompatibilité, stabilisante (Tommonaro et *al.*, 2008).

➤ **La cutine**

La cuticule de tomate est constituée majoritairement par la cutine, est une substance de nature lipidique très complexe à base d'alcool à chaîne longue de 18 à 22 atome de carbone, cette substance se trouve également dans la pelure des tomates. La cutine pourrait remplacer des substances chimiques que l'on trouve actuellement dans les vernis à l'intérieur des boîtes de conserve pour isoler les aliments. Deux projets en cours de pré-industrialisation sont menés en Italie et en Espagne ils visent tous deux à utiliser la cutine de la peau de tomate pour en faire un bio-plastique (INRAE, 2020).

La cutine issue des pelures de tomate est également mélangée à d'autres substances entrant habituellement dans la composition des vernis afin d'obtenir un nouveau produit appelé « bio-laque », ce produit a un aspect visuel différent par ce que la cutine des tomates est une substance très foncée et une fois mélangée devient légèrement jaune. La bio-laque possède

des caractéristiques très intéressantes pour l'industrie de l'emballage : non toxique, biodégradable, elle préserve de la déshydratation et elle a la particularité d'adhérer de manière très efficace au métal, sans besoin d'autres composants. Elle peut être appliquée tant à l'extérieur qu'à l'intérieur des boîtes métalliques et surtout elle répond à une problématique sanitaire récente : la migration de substances synthétiques potentiellement toxiques des emballages vers les aliments, comme c'est le cas avec le Bisphénol-A. Aujourd'hui, cette bio-laque est également testée en conditions réelles de production dans une usine près de Thessalonique en Grèce d'où sortent 120 millions de boîtes de conserve chaque année (5).

➤ **L'huile des graines de tomates**

La quasi-totalité de la quantité d'huile contenue dans les résidus de la tomate se trouve dans les graines d'environ 14,6 à 30,4 % de la MS de graine ou 10,82% de la MS totale des résidus, Cette huile est composée essentiellement de trois AGS dont l'acide palmitique et de 13,8 %, l'acide stéarique 6,18 %, l'acide arachidique 0,47 % et quatre AGNS dont l'acide linoléique et de 52,12% , l'acide oléique 24,73% l'acide trans-vaccénique 0,80% (Tab.9), par ailleurs un rapport AGPI/AGS égale à 2,4 qui indique une prédominance des AGNS de 79,55% responsable d'une valeur nutritionnelle et diététique intéressantes, elle est recommandée pour l'assaisonnement des salades, pour l'alimentation animale et peut avoir des applications industrielles diverses après hydrogénation. Cette huile a un effet protecteur du système vasculaire, adoucissant et calmant sur la peau. Les caractéristiques physico-chimiques de l'huile de graines de tomate sont montrés dans le tableau 10 (Elvira et *al.*, 2006 ; Amalou et *al.*, 2013).

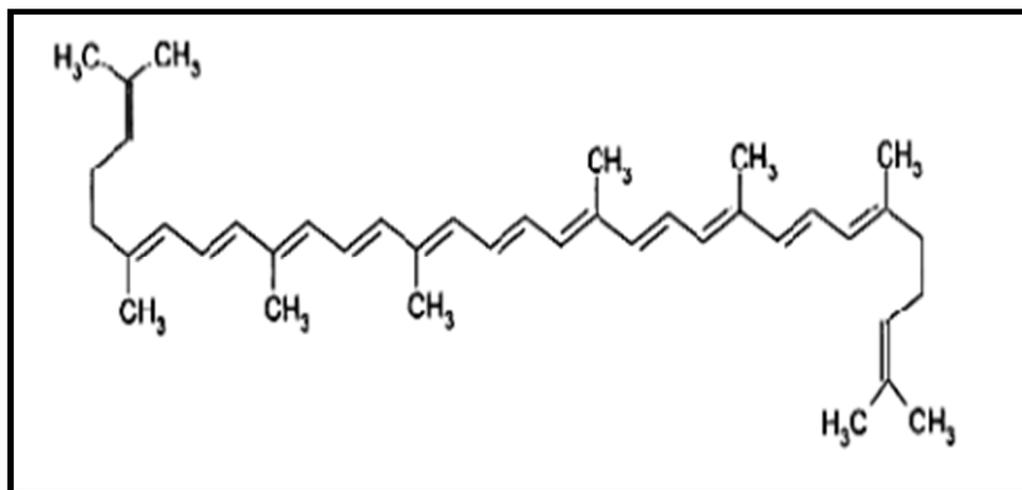


Figure 20: Structure chimique du lycopène (Stahl et *al.*, 2000).

Tableau 08 : Propriétés physico-chimique de lycopène (Shi, 2000).

Formule chimique	$C_{40}H_{56}$
Poids moléculaire	536,9 g/mol
Couleurs	Rouge foncé
Absorbance	Longueur d'onde optimale : 472nm
Solubilité	Soluble dans le chloroforme et le benzène, pratiquement insoluble dans le méthanol et l'éthanol
Point de fusion	172-173° C

Tableau 09 : Teneur en acides gras de l'huile de graines de tomates (Amalou et *al.*, 2013).

Acide gras	Formules	Teneurs (%)
Palmitique	C16 :0	13,81
Stéarique	C18 :0	6,18
Oléique	C18 :1	25,52
Linoléique	C18 :2	52,12
Linoléinique	C18 :3	1,90
Arachidique	C20 :0	0,47

Tableau 10 : Les caractéristiques physico-chimique de l'huile des graines de tomate (Amalou et *al.*, 2013).

Constantes	Huile tomate brute	Huile de tomate raffinée
Acidité %	0,9	0.06
Indice d'iode	117	117
Indice peroxyde	----	0,4
Indice de saponification	188	188
Indice de réfraction	1,467	1,467
Insaponifiable	1,8	1,8
Phosphore (ppm)	66	00
Couleur jaune	36	26
Couleur rouge	6,4	3,2
Chlorophylle (ppm)	15,46	0,0092

1. Définition et caractéristiques

Le lactosérum est le liquide résiduel obtenu après la précipitation et l'élimination de la caséine du lait lors de la fabrication du fromage, ce dernier nécessitant l'étape de coagulation de la caséine sous l'action de la présure (lactosérum doux) ou de l'acidification subséquente du lait (lactosérum acide). Traditionnellement, l'opération qui suit l'étape de coagulations consiste à séparer la phase coagulée du reste du lait au cours d'une opération d'égouttage: la fraction liquide ainsi recueillie s'appelle le lactosérum. Le lactosérum, également connu sous le nom de (petit lait), est un sous-produit liquide de couleurs jaune verdâtre, très fermentescible et fragile. Il représente 85 à 90% du volume de lait utilisé (Guidini et *al.*, 1984 ; Marwaha et *al.*, 1988 ; Morr, 1989 ; Gonzfilez-Siso, 1996).

La production de 10 L de lait permet d'obtenir 1 kg de fromage et 9L de lactosérum soit 600 g de poudre de lactosérum. Il contient environ 50% des nutriments du lait de départ : protéines solubles, lactose, vitamines et minéraux .contenant une grande quantité d'environ 20% (6g/L) de protéines de lait et riche en éléments nutritif. Cependant, c'est un produit intéressant en raison de la présence de protéines riches en acides aminés essentiels (lysine et tryptophane), lactose et diverses vitamines du groupe B (telles que la thiamine et la riboflavine) (Veisseyre, 1975 ; Tetra Pak, 1995 ; Muller et *al.*, 2003 ; Boudry et *al.*, 2012).

2. Types de lactosérum

La coagulation est la première étape de transformation du lait en fromage. Elle conduit à la formation du lactosérum et d'un gel appelé le caillé qui est la base de la fabrication du fromage. Il existe essentiellement deux types de coagulation en fromagerie :

- **La coagulation lactique ou acide** : L'occurrence est causée par des bactéries lactiques (ferments) par dégradation du lactose (sucre naturel du lait) en acide lactique.
- **La coagulation enzymatique ou présure** : Il est fabriqué en ajoutant un additif enzymatique (enzyme) qui peut provoquer la formation de caillé.

Dans la plupart des fromageries, le caillage du lait se fait par la conjugaison des deux méthodes de coagulation avec, généralement, la prédominance de l'une ou de l'autre d'entre elles. On appelle cette méthode la coagulation mixte. Le lactosérum doit être considéré comme un produit dérivé plutôt qu'un sous-produit de la fabrication des fromages, ou de la caséine (Linden et Lorient, 1994 ; Legube et *al.*, 2012) (Fig.21). On distingue deux types:

2.1. Lactosérum acide

Le sérum acide est le produit laitier liquide obtenu durant la fabrication du fromage, de la caséine ou de produits similaires par séparation du caillé après coagulation du lait et/ou des

produits dérivés du lait. Cette dernière est principalement obtenue par acidification, en précipitant la caséine à condition que le point isoélectrique de la caséine soit de 4,6, le lait soit coagulé en ajoutant de l'acide fort ou de l'acide lactique pour obtenir du lactosérum acide (Violleau, 1999).

La caséine est combinée à des sels de calcium, l'acidification entraîne sa déminéralisation qui fait passer dans le lactosérum une part importante d'éléments minéraux, notamment le calcium et le phosphore. Les lactosérums acides sont moins riches en lactose et plus riches en minéraux. Ils sont aussi plusensemencés en germes lactiques et moins sujets à des fermentations que les lactosérums doux aussi les lactosérums acides sont souvent utilisés à l'état liquide tandis que les sérums doux sont généralement déshydraté les teneurs élevées en acide lactique et en minéraux posent des difficultés pour la déshydratation de ces lactosérums, aussi, ils sont souvent utilisés à l'état liquide. Le lactosérum acide provient de la fabrication des pâtes fraîches et des pâtes molles, son pH varie entre 3.8et 4.6 (Sottiez, 1990 ; Violleau, 1999 ; Moletta, 2002).

2.1. Lactosérum doux

Après coagulation sous l'action de la présure, la caséine peut obtenir du lactosérum doux sans acidification préalable, on obtient alors un lactosérum doux, pauvre en sels minéraux et riche en lactose et en protéines. En plus des protéines solubles du lait, ce type de lactosérum contient une glycoprotéine qui provient de l'hydrolyse de la caséine Kappa par la présure. Si toutes les précautions nécessaires ne sont pas prises pour traiter le lactosérum issu de la fromagerie, la poursuite de la fermentation naturelle augmentera son acidité. Le lactosérum doux issu de la fabrication de fromage à pâte pressée cuite ou non cuite (Emmenthal, Saint Paulin, Edam...etc.), est de pH variant entre 5 et 6,3. Les lactosérums doux sont généralement déshydratés (Sottiez, 1990) ; (Morr, 1993) ; (Morr ,1989) ; (Moletta, 2002).

3. Composition du lactosérum

La composition physico-chimique du lactosérum peut varier considérablement en fonction du processus de coagulation et de la composition initiale du lait (saison, race animale, nourriture), le tableau suivant montre que le lactosérum est riche en lactose et en potassium. Dans le lactosérum acide une partie du lactose a été transformé en acide lactique; les lactosérums doux ont une faible teneur en calcium (reste dans le caillé pour participer à la coagulation des protéines), alors que les lactosérums acides sont riches en calcium (Morr et *al.*, 1993) (Tab.08).

3.1. Eau

Le lactosérum se caractérise par une dilution très élevée, il contient en moyenne 94% d'eau (Morr et Ha, 1993 ; Linden et Lorient, 1994).

3.2. Le lactose

Le lactose est le principal composant du lactosérum (76 g/l). Il représente la majeure partie de la matière sèche du sérum. C'est un diholoside constitué par l'union d'une molécule de α ou β - D- glucose et d'une molécule de β -D-galactose, ce qui est à l'origine de la présence de deux lactoses stéréo-isomères réducteurs (Luquet et Francois, 1990).

Le lactose est caractérisé par :

- Une solubilité limitée.
- Un pouvoir sucrant faible.
- Sa seule source importante dans la nature est le lait et les produits laitiers (Visser et *al.*, 1988).

De plus, le lactosérum doux est plus riche en lactose que le lactosérum acide, En fait, dans ce dernier une partie du lactose a été transformé en acide lactique. Il peut subir des réactions de cristallisation, de dégradation physico-chimique et de fermentation lactique bactérienne. Le lactose représente l'essentiel de la matière sèche, c'est la source de carbone et d'énergie pour les microorganismes dans un milieu de culture au cours de la fermentation (Sottiez, 1990 ; Gana et Touzi, 2001).

3.3. Protéines

Les protéines ne forment pas la fraction la plus abondante du lactosérum (13,5 g/l), mais elle est la plus intéressante sur le plan économique et nutritionnel. Il a été démontré que la valeur nutritionnelle des protéines sériques du lait est supérieure à celle des protéines du blanc d'œuf en tant que protéine de référence, surtout en raison de leur composition élevée en acides aminés essentiels (Sottiez, 1990 ; McIntoch et *al.*, 1998).

Deux grandes familles de protéines entrent dans la composition du lait à savoir, la première famille est constituée de caséines qui représentent environ 80% des protéines totales du lait et la deuxième est composée des protéines solubles constituées essentiellement de :

- La β - lactoglobuline (β - LG) : 3,2 g /kg
- L' α - lactalbumine (α -LA) : 1,2 g /kg
- L'albumine sérique bovine (BSA) : 0,4g/kg
- Les immunoglobulines (Ig) : 0,75g/kg

- Les protéases peptones : 0,1 à 0,2 g/kg

À l'échelle industrielle, ces protéines solubles sont extraites du lactosérum, qui contient environ 1% de protéines (Morr et Ha, 1993).

3.4. Minéraux

Dans certains processus de fabrication du fromage, il y a une étape de salage dans laquelle le sel est ajouté, qui avec toutes les matières minérales en solution dans le lait se retrouve dans le lactosérum. Les 8 à 10% des matières salines de l'extrait sec du sérum sont constitués de chlorures de sodium et de potassium (50%) et le reste de différents sels de calcium, principalement sous forme de phosphate de calcium (Vrignaud, 1983).

D'après Méreo (1971), ces sels minéraux constituent les éléments indésirables «du sérum». En effet, il semble que des niveaux relativement élevés constituent un obstacle à l'utilisation du lactosérum dans l'alimentation humaine et infantile.

3.5. Matière grasse

Le lactosérum n'est pas riche en matière grasse, elle est estimée à un taux de 1,00 g/l. Elles ne représentent que 0,7 % de la matière sèche du lactosérum, puisque la quasi-totalité de la matière grasse du lait est retenue dans le caillé. Une certaine quantité de lipides du lait est entraînée dans le sérum brut, cependant cette quantité est faible. La matière grasse peut être récupérée et utilisée dans la fabrication d'un beurre de second choix (Boudier et Botofon, 1979 ; Sottiez, 1990).

3.6. Les vitamines

Les vitamines du lactosérum sont hydrosolubles, car les vitamines liposolubles sont entraînées par la matière grasse du caillé égoutté. Ce sont donc essentiellement les vitamines du groupe B: parmi lesquelles, on note des quantités importantes de riboflavine (B2) (qui donne la couleur jaune verdâtre du lactosérum), d'acide pantothénique (B5), thiamine (B1), de pyridoxine (B6) et l'acide ascorbique (Linden et Lorient, 1994 ; Woo, 2002) (Tab. 09).

4. Effet polluant du lactosérum

En raison du rejet de grandes quantités de lactosérum, l'industrie laitière est l'une des industries les plus polluantes. Parce que le lactosérum est riche en nutriments tels que lactose, protéine solubles, vitamines hydrosolubles, matières grasses et les éléments minéraux, c'est un excellent milieu de culture pour les microorganismes, ce qui en fait un puissant facteur de pollution ce qui le rend dommageable aux écosystèmes aquatiques car un litre de lactosérum présente une demande biochimique en oxygène (DBO) élevée qui varie entre 40 000 à 50 000

mg d'O₂/l de lactosérum alors que la norme de rejet pour une entreprise est de 30mg d'O₂/litre une fois libéré dans l'eau, comme, les rivières, les canaux d'irrigation, ou sur la terre, le lactosérum conduit à des problèmes environnementaux. En effet, il met en danger la structure physique et chimique du sol, diminue le rendement des cultures et réduit la vie aquatique par l'épuisement de l'oxygène dissous les micro-organismes attaquent certains constituants du lactosérum (lactose principalement) par exemple les micro-organismes consomment l'oxygène de l'eau. Ce dernier manquera aux poissons et aux plantes aquatiques qui mourront d'asphyxie (Yang *et al.*, 1980 ; McAuliffe *et al.*, 1982 ; Michel, 1986 ; Lachebi et Yelles, 2018).

D'après Sienkiewicz (1992), le rejet de 100 tonnes de lactosérum correspondrait à une charge organique équivalente à celle rejetée par une ville comptant 55000 habitants. Ils existent un certain nombre de procédés pour l'épuration des mélanges eaux blanches et lactosérum, la gestion du lactosérum seul permettrait de réduire la charge polluante totale des rejets ainsi que le dimensionnement des installations de traitement préexistantes.

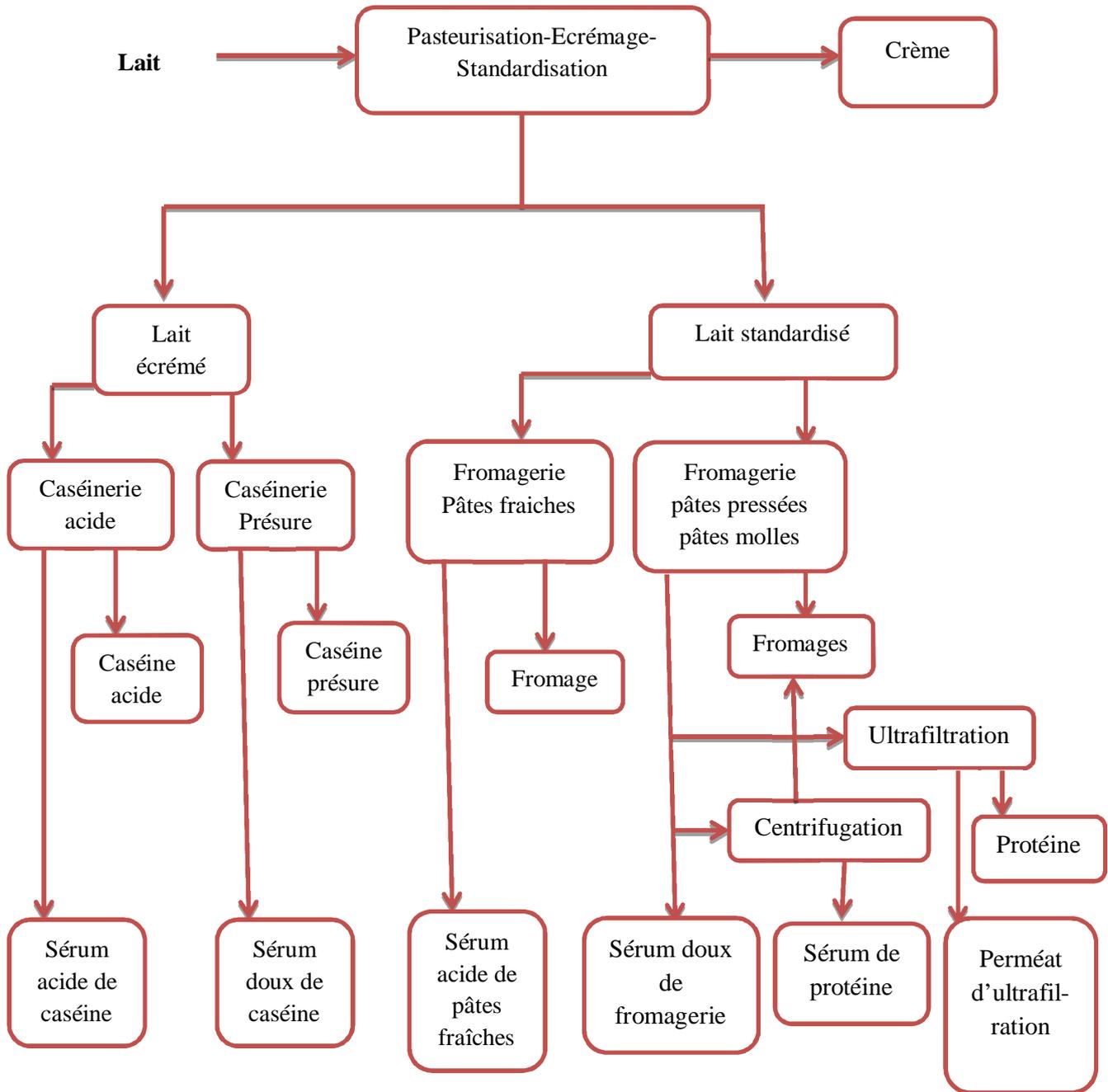


Figure 21 : Voies technologiques permettant l'obtention des principaux types de lactosérums issus de la première transformation du lait (Alais, 1984).

Tableau 11 : Composition moyenne du lactosérum doux et acide (Morr et Ha, 1993 ; Linden et Lorient, 1994).

Vitamines	Concentration (mg /ml)
Thiamine	0,38
riboflavine	1,20
acide nicotinique	0,85
acide panothénique	3,4
pyrodoxine	0,42
cobalamine	0,03
acide ascorbique	2,2

Tableau 12: Teneur en vitamines dans le lactosérum (Linden et Lorient, 1994)

Constituants	Lactosérum doux (%)	Lactosérum acide (%)
Eau	93	93,5
Lactose	4,77	4,71
Protéines	0,82	0,75
MG	0,07	0,03
Acide lactique	0,15	0,55
Cendres	0,53	0,69
Calcium	0,05	0,13
Sodium	0,07	0,06
Potassium	0,13	0,15
Phosphore	0,06	0,09

5. Utilisation et valorisation du lactosérum et de ces constituants

5.1. Utilisation du lactosérum

La richesse du lactosérum a conduit plusieurs chercheurs et industriels à mettre en œuvre une stratégie de valorisation de ce sous-produit et ça va permettre de minimiser le risque de pollution provoquée par le lactosérum rejeté dans les eaux résiduaires. Dans ce contexte, le lactosérum trouve son utilisation dans divers domaines.

5.1.1. Alimentation humaine

Le lactosérum (protéine sérique et lactose) possède ces propriétés nutritionnelles et fonctionnelles (solubilité, propriétés moussantes, émulsifiantes et gélifiantes) et peut être utilisé pour formuler des aliments destinés à la consommation humaine (Sienkiewicz et Riedel, 1990) :

➤ Industrie de boisson

Un lactosérum pasteurisé a été additionné à cinq types de jus de fruits différents (orange, raisin, fraise, banane et pomme) en plus de l'ajout de saccharose et d'acide ascorbique. Les résultats ont indiqué que les boissons obtenues étaient de bonne qualité, notamment le jus d'orange, le jus de pomme et le jus de fraise. Par conséquent, on peut avoir à partir du lait, du fromage et des boissons fruitées à base de lactosérum, Les boissons à base de lactosérum, ont une grande valeur diététique, digestion facile et rapide. Elles sont légères, désaltérantes, et très agréable à boire (Vojnovic et *al.*, 1993 ; Macwan et *al.*, 2016).

➤ Industrie laitière

Le lactosérum est incorporé dans la fabrication du yaourt et du lait fermenté comme remplaçant de l'eau dans le processus de reconstitution du lait à partir de la poudre du lait. Cette incorporation permet une amélioration notable du point de vue aspect et arôme du yaourt, principalement en raison des effets bénéfiques des protéines sériques et du lactose du lactosérum (Vojnovic et *al.*, 1993).

La matière grasse du lactosérum (la « crème de sérum ») peut être utilisée pour la fabrication de fromage à pâte fondue ou de beurre de second choix (Boudier et Luquet, 1980 ; Luquet et Boudier, 1990).

➤ Utilisation dans les glaces et crèmes glacées

Le lactosérum doux en poudre peut remplacer jusqu'à 25% du lait écrémé pour faire de la crème glacée ou les avantages sont essentiellement d'ordre économique, tandis que celle de lactosérum acide (pH 4,6) peut remplacer une partie du sucre pour la fabrication des sorbets de bonne qualité (Apria, 1973).

➤ **Dans la confiserie**

Le lactosérum a des utilisations importantes dans la fabrication de certains bonbons, et il se trouve le moins coûteux des produits laitiers utilisables du fait de son importante teneur en eau (Vrignaud, 1983).

➤ **En boulangerie**

Le lactosérum doux est de plus en plus utilisé dans les produits de boulangerie et présente de nombreux avantages:

- Meilleure conservation: la combinaison du lactose avec les matières azotées (réaction de Maillard) donne des complexes stables qui constituent donc un moyen de lutte naturelle contre le rancissement.
- Amélioration du goût et l'arôme du pain.
- Amélioration des caractéristiques internes et externe: affinage de la coloration; pâte plus tendre et augmentation du rendement (Apria, 1980).

5.2.1. L'Alimentation animale

En alimentation animale, Il y a 2 voies d'utilisation :

- Une voie sèche dans laquelle le lactosérum déshydraté est intégré dans un mélange sous forme de poudre ou inclus dans la composition de granulés destinés aux animaux cette transformation est réalisée par des sociétés de fabrication d'aliments pour animaux.
- Une voie liquide dans laquelle le lactosérum est directement conduit chez l'agriculteur, ceux-ci l'utilisent pour une alimentation en soupe après intégration de la farine en mélangeuse (Boudry et *al.*, 2012).

Le débouché principal des lactosérums est l'alimentation des veaux et de façon plus fluctuante l'alimentation animale dans son ensemble (Adrian, 1971).

C'est sur cette utilisation croissante que se sont penchées de nombreuses équipes de recherches spécialisées dans ce domaine, pour améliorer cette alimentation et diminuer les troubles gastro-intestinaux, ainsi:

- L'utilisation du lactosérum fermenté avec *Lactobacillus acidophilus* pour l'alimentation des veaux a montré une meilleure croissance sans aucun désordre gastro-intestinal. cet essai a également réussi chez les volailles et les porcs.
- L'enrichissement du lactosérum en azote non protéique par fermentation et neutralisation a donné des résultats satisfaisants pour l'alimentation de bœufs et de vaches laitières.

- De nombreux travaux ont signalé le développement réussi d'un ensilage de paille avec le lactosérum pour l'alimentation des ruminants (Bardy et *al.*, 2016).

5.2. Procédés physiques de valorisation du lactosérum

5.2.1. Récupération des fines et séparation de gras

Emond (2014) affirme que les matières grasses, les particules de fromage (fines ou des petites agglomérations des caséines) et les bactéries sont des constituants indésirables du lactosérum. C'est pour cette raison que les étapes de prétraitement de lactosérum incluent les opérations unitaires de clarification, de séparation de gras et refroidissement.

5.2.2. Concentration de solides totaux

La concentration a comme but d'éliminer la quantité d'eau présente dans le lactosérum. Ce procédé permet de réduire le volume du lactosérum afin de faciliter le transport et de produire un produit de valeur ajoutée comme le lactosérum en poudre. L'évaporation permet la concentration de solides totaux entre 45 et 60%.Après, le lactosérum concentré peut être transporté vers un autre site soit pour un traitement ultérieur (séchage) ou séché directement sur place (Spreer, 1998 ; Tetra pak, 2003).

5.2.3. Fractionnement de solides totaux-protéines

Le lactosérum contient presque 0,8% de protéines, lequel correspondent à 20% de la protéine totale du lait (Fig.22) (Spreer, 1998).

Le fractionnement des protéines constitue la fraction la plus intéressante du lactosérum, soit du point de vue nutritionnel, fonctionnel ou économique (Trivino-Arevalo, 2017).

Il existe divers procédés pour réaliser la séparation des protéines du lactosérum:

- L'ultrafiltration ou La séparation membranaire permet la concentration de protéines par tamisage. Elle permet d'obtenir des concentrés de protéines de lactosérum (CPL).
- La dénaturation ou la précipitation des protéines, grâce à la combinaison d'un traitement thermique (90 -95°C) et un ajustement de pH (4,4 -4,8), le produit obtenu est connu sous le nom de lactalbumine.
- La chromatographie d'échange d'ions, etc. (Lapointe-vignola, 2002 ; Tetra pak, 2003).

5.2.4. Fractionnement de solides totaux-lactose

Le lactose est le principal composant du lactosérum. Deux principales options sont disponibles pour valoriser le lactose du lactosérum: la cristallisation et l'hydrolyse. La récupération de lactose peut se faire à partir du concentré de lactosérum ou de lactosérum dé-protéiné. Cependant l'extraction de lactose à partir de lactosérum peut générer la

dénaturation partielle des protéines et réduire les rendements d'extraction. C'est pour cela que le fractionnement de lactose se fait généralement à partir de lactosérum dé-protéiné. Généralement, le fractionnement de lactose est fait en trois étapes: la concentration, la cristallisation et la séparation de cristaux. L'hydrolyse du lactose permet de produire des sirops de glucose-galactose, lesquels peuvent être produits par voie enzymatique ou par voie chimique. Ce dernier, consiste à soumettre le lactosérum (sans protéines) à un traitement thermique à température élevée (90°C -140°C) dans un milieu très acide (pH 1,2-1,5). Dans la voie enzymatique, de la lactase (β -galactosidase) est utilisé (Spreer, 1998 ; Lapointe-vignola, 2002 ; Tetra pak, 2003 ; Trivino-Arevalo, 2017).

5.2.5. Fractionnement de solides totaux-minéraux

Les minéraux affectent la saveur, la fonctionnalité et la valeur des produits dérivés du lactosérum. En effet, la séparation des minéraux du lactosérum permet d'améliorer l'efficacité d'évaporation et l'aptitude à la cristallisation. C'est pour cela que la déminéralisation est une opération importante dans la valorisation de lactosérum. Il existe principalement trois méthodes industrielles permettant de déminéraliser le lactosérum: l'échange ionique, l'électrodialyse et la séparation membranaire. Le lactosérum déminéralisé est employé dans les breuvages où la teneur élevée en minéraux des poudres de lactosérum conventionnelles confère un goût salé non souhaité. Le lactosérum partiellement déminéralisé (25-30%) est utilisé dans la production de crème glacée, les confiseries et les pâtisseries. Le lactosérum déminéralisé complètement (90-95%) est utilisé dans les formules alimentaires pour des enfants (Lapointe-vignola, 2002 ; Trivino-Arevalo, 2017).

5.3. Procédés biotechnologiques de valorisation du lactosérum

La fermentation du lactosérum permet la conversion du lactose en différents composés tels que la production de biogaz, de biomasse, d'alcools, d'acides organiques, d'acides aminés, d'enzymes ou de lipides. Dans ce procédé, le lactose est la source de carbone ou nutriment principal pour les microorganismes à l'origine de la fermentation (Spreer, 1998 ; Lapointe-vignola, 2002).

5.3.1. Production de biogaz et bio-hydrogène

L'hydrogène (H_2) est dérivé du traitement du combustible (la pyrolyse des hydrocarbures) ou de l'eau (l'hydrolyse), mais l' H_2 peut également être obtenu par fermentation anaérobie. Actuellement, seulement 1% de la production mondiale de H_2 est produite par une fermentation anaérobie à l'aide de microorganismes tels que *Clostridia*. La

fermentation de lactosérum afin de produire l'hydrogène a été étudiée dans différents réacteurs: réacteurs continus, réacteur UASB (Up flow Anaerobic Sludge Blanket), réacteur CSTR (Continuous Stirred-Tank Reactor) et un réacteur anaérobie à lit fixe. Les études ont montré que le fonctionnement continu fournit une stabilité, une productivité et un rendement élevé de l'hydrogène (Venetsaneas *et al.*, 2009 ; Carrillo-Reyes *et al.*, 2014 ; Rosa *et al.*, 2014).

La méthanisation est un procédé de traitement par digestion anaérobie qui transforme la matière organique en méthane et gaz carbonique. Le procédé de méthanisation inclut l'utilisation et le traitement des eaux usées de l'usine. Dans une première étape, le lactosérum est mélangé avec les eaux usées afin d'homogénéiser les produits. Dans cette étape, il y a l'hydrolyse du lactose. Après, les effluents passent à l'étape d'aéoflottation où les matières en suspension sont enlevées par microbullage. Les matières enlevées vont à un bassin de récupération pendant que les effluents clarifiés passent à un bassin anaérobie pour commencer la digestion des matières organiques (biogaz) (Pescuma *et al.*, 2015 ; Trivino-Arevalo, 2017).

5.3.2. Production d'acide lactique

Les microorganismes de l'espèce *Lactobacillus* sont les plus utilisés pour la conversion de lactose contenu dans le lactosérum en acide lactique. Actuellement, près de 90% de l'acide lactique produit dans le monde provient de la fermentation des saccharides par des bactéries lactiques. Ces bactéries peuvent utiliser du lactosérum et ensuite hydrolyser le lactose afin de produire du glucose et du galactose. L'acide lactique a plusieurs applications dans les industries alimentaires, pharmaceutiques et chimiques. Au cours des dernières années l'intérêt de la production d'acide lactique a augmenté puisqu'il peut être utilisé pour la production d'acide polylactique. Ce dernier est un polymère utilisé pour la production de plastiques biodégradables (Panesar *et al.*, 2007 ; Spalatel, 2012 ; Pescuma *et al.*, 2015 ; Fernández-Gutierrez *et al.*, 2018).

5.3.3. Production d'alcools

Ethanol: la production d'éthanol à partir du lactosérum a été très étudiée dans le monde dû à la haute teneur en carbohydrates disponible présente dans ce résidu fromager, le lactose est fermenté en utilisant des conditions de levure et des conditions d'opération anaérobies afin de produire de l'éthanol et du CO₂ (Koushki *et al.*, 2012 ; Ariyanti *et al.*, 2014).

Spalatelu (2012) affirme que la production d'éthanol à base de lactosérum est très compétitive économiquement, puisqu'il existe différentes sources alimentaires (maïs, la sucre de canne, etc.), résidus de cultures et biomasses.

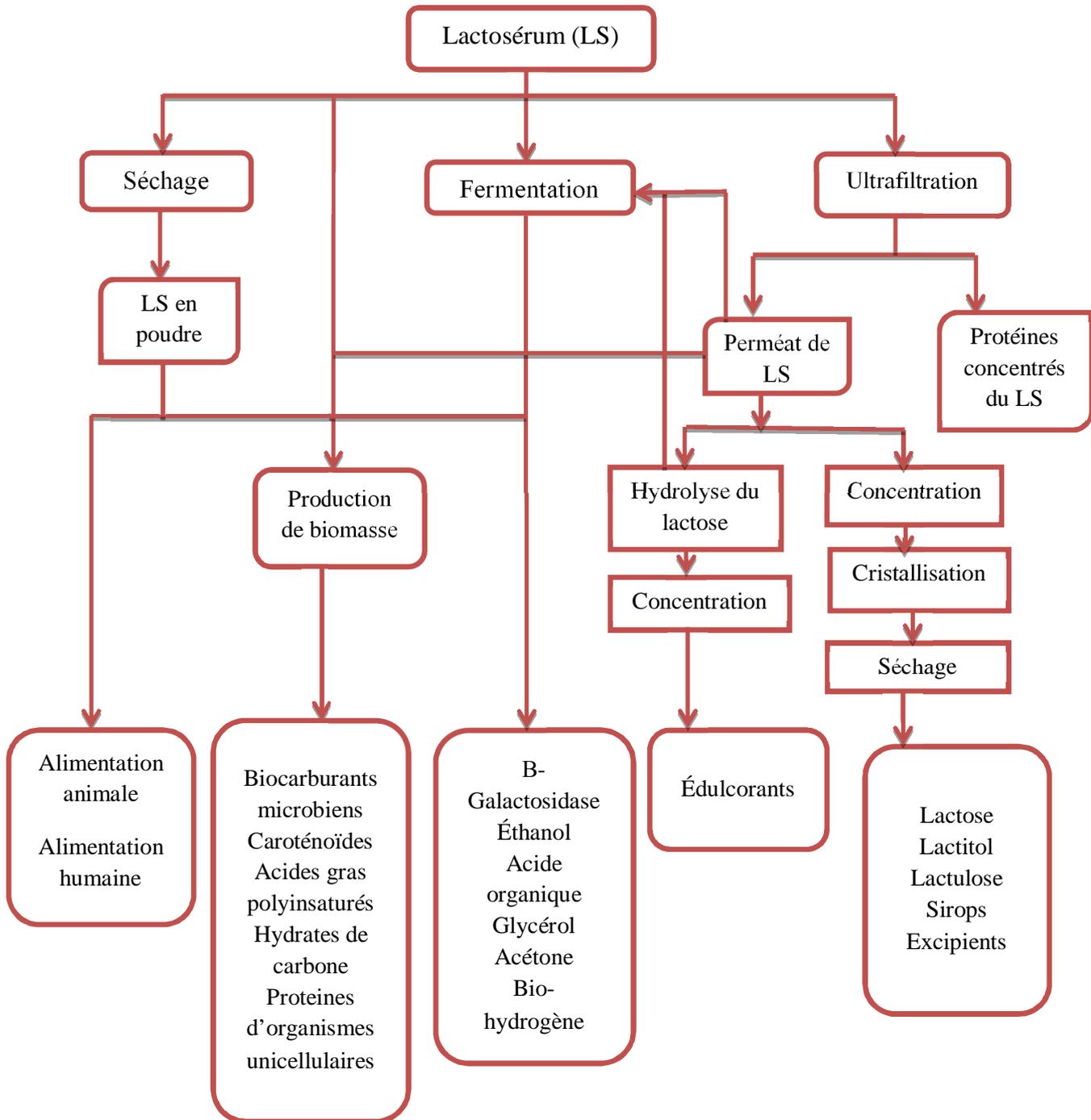


Figure 22: Différents procédés de valorisation de lactosérum (Gonzfilez-Siso, 1996; Panesar et Kennedy, 2012 ; Da-Silva et *al.*, 2014).

Conclusion

Le développement des nouvelles technologies pour la valorisation des déchets organiques issues des industries agro-alimentaires est nécessaire, surtout que les quantités produites par ces industries ne cessent d'augmenter au fil des années. Cela va servir d'une part à limiter le problème de pollution environnementale engendrée par ces déchets, d'autre part à synthétiser une large gamme des produits qui trouvent différentes utilisations et aussi l'exploitation économique de ces déchets, à condition que cette valorisation ne soit pas onéreuse.

En ce qui concerne la valorisation des résidus de l'industrie de transformation de tomate qui sont constituées principalement par des graines et des pelures, ils peuvent être incorporés dans l'alimentation humaine dans plusieurs produits grâce à leur richesse en fibre et en protéines et donc améliorer la qualité nutritionnelle de ces derniers, et aussi dans l'alimentation animale notamment pour les volailles (poulet de chair et les poules pondeuse) et les ruminants (vaches laitières, les bovins en croissance, les ovins et les caprins). Cette valorisation peut être aussi résumée à la récupération des constituants les plus intéressants qui sont :

- ✓ le lycopène est l'un des antioxydant les plus puissant et un colorant naturel qui peut être utilisé en tant qu'un ingrédient alimentaire que ce soit pour la formulation d'un complément alimentaire à viser cosmétique ou bien pour la fabrication des céréales et des boissons non alcoolisées.
- ✓ La cutine sert également à la fabrication des bio-laque qui possèdent des caractéristiques très intéressantes pour l'industrie de l'emballage.
- ✓ L'huile des graines de tomate a une valeur nutritionnelle et diététique intéressante ainsi que des utilisations cosmétiques et des applications industrielles diverses.

Concernant la valorisation du lactosérum, il est possible de formuler plusieurs aliments soit destinés pour l'alimentation humaine comme : les boissons, produits laitiers (yaourt, fromage, lait fermenté), glaces et crème glacées, confiseries et des produits de boulangerie, soit pour l'alimentation animal. Il peut également subir des procédés physiques pour récupérer les fines et séparer le gras, la concentration des solides totaux sous forme de lactosérum en poudre, le fractionnement des solides totaux-protéines, le fractionnement du solide totaux-lactose pour obtenir sirops de glucose-fructose ou bien des cristaux de lactose. En plus il peut subir des procédés biotechnologiques qui permettent la conversion du lactose

en différents composés intéressants tels que : la production du biogaz, biomasse, alcools, acides organiques, acides aminés et d'enzyme.

Références Bibliographiques

A

Abbedou S., Riwahi S., Iniguez L., Zaklouta M., Hess HD et Kreuzer M, 2011. Dégradabilité ruminale, digestibilité, conteneur énergétique et influence sur le renouvellement de l'azote de divers sous-produits méditerranéens chez les moutons Awassi à queue grasse. Science et technologie de l'animale. Vol.163, n°2-4, pp 99-100.

Acourène S et Tama M, 2001. Utilisation des dattes de faible valeur marchande (rebuts de Deglet-Nour, Tinissine et Tantboucht) comme substrat pour la fabrication de la levure boulangère. Revue Energie Renouvelable. Production et valorisation de biomasse, pp 1-10.

ADEME, 2013. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie. La composition des ordures ménagères en France (données et références), Paris, pp 60.

Adrian J, 1971. A propos des poudres de lait et des lacto protéines levures. Industrie of Alimentation and Agricultural. Vol. 88, pp 1607.

AFSSA, 2004. Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à l'évaluation des risques éventuels liés à l'emploi de lycopène en tant qu'ingrédient alimentaire, pp 2-4.

Alais C, 1984. Science du Lait: Principes des Techniques Laitières.4^{ème} Edition SEPAIC. Paris.

Al-Betawi N.A, 2005. Preliminary study on tomato pomace as unusual feedstuff in broiler diets .Pakistan journal of Nutrition. Vol. 4, n°1, pp 57-63.

Al-Muhtaseb A.H., Al-Harashsheh M., Hararah M and Magee T.R, 2010. Drying characteristics and quality change of unutilized-protein rich-tomato pomace with and without osmotic pre-treatment. Industrial Crops and Products. Vol. 31, pp 171–177.

Aloueimine S.O, 2006. Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott (Mauritanie) : contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision. Thèse de doctorat. Université de Limoges, pp 195.

Alvardo A., Pacheo-Delahaye E and Hevia P, 2001. Value of a tomato byproduct as a source of dietary fiber in rats.Plant Foods for Human Nutrition. Vol. 56, n°4, pp 335-348.

Al-Wandawi H., Abdul-Rahman M et Al-shaikhly K, 1985. Les déchets de transformation de la tomate comme source de matières premières essentielles. Journal de chimie agricole et alimentaire. Vol.33, n°5, pp 804-807.

Amalou D., Ait ammour M., Ahishakiye B.M et Ammouche A, 2013. Valorisation des sous-produits de conserverie : cas des graines de tomates. (N°309-2016-5272).

AMITOM, 2010. Association méditerranéenne international de la tomate. « Etude réalisée par l'association méditerranéenne internationale de la tomate ». <http://www.amitom.com>.

Amokran S, 2010. Etude des prétraitements microbiologiques des résidus agro-alimentaires lignocellulosiques en vue de leur valorisation en alimentation animale. Mémoire de magister. Université de Mantouri Constantine, p 56-57.

Apria, 1973. Les lactosérums traitement et utilisation, association pour la promotion industrie agriculture. Paris, pp 3-132.

Apria, 1980. Utilisation de lactosérum en alimentation humaine et animal.

Ariyanti D., Aini AP and Pinundi DS, 2014. Optimization of ethanol production from whey through fed-batch fermentation using *Kluyveromyces marxianus*. Energy Procedia. Vol. 47, pp 108-112.

Askri A, 2015. Valorisation des digestats de méthanisation : effets sur les cycles biogéochimiques du carbone et de l'azote dans le sol et conséquences environnementales. Thèse de doctorat. Université de Paris- Saclay, pp 30-38.

B

Bardy S., Bentz M., Bussière T., Chatras J., Fontaine L., Gaugler M., Lechat A., Leugronne O et Fick M, 2016. Valorisation du lactosérum. Rapport de projet .Université de lorraine, ENSAIA, Vandœuvre-lès-Nancy France.

Bayard R et Gourdon R, 2010. Traitement biologique des déchets. Techniques de l'Ingénieur. Vol. 2, pp 45.

Belibasakis N.G, 1990. L'effet du marc de tomate séchée sur le rendement laitier et sa composition et sur certains composants biochimiques du plasma sanguine chez la vache. World Review of Animal Production. Vol. 24, n°3, pp 39-46.

Bennacer L et Cherrad S.E, 2018. Production et transformation de la tomate industrielle dans le bassin de Guelma : une filière en développement. Science et Technologie D. N°47, pp 71-79.

BFN. British Nutrition Foundation, 2018. Dietary fibre, pp 1-3.

Botinestean C., Hadaruga N.G., Hadaruga D.I and Jianu I, 2012. Fatty acids composition by gas chromatography–Mass spectrometry (GC-MS) and most important physical-chemicals parameters of tomato seed oil. Journal of Agro alimentary Processes and Technologies. Vol. 18, n°1, pp 89-94.

Boudier K et Botofon K, 1979. Etude de l'activité acidifiante de Streptococcus salivariusthermophilus et Lactobacillus bulgaricus croissance d'un ferment lactique sur lactosérum. Mémoire d'ingénieur en technologie des industries agro-alimentaires, INA, El-Harrach Alger, pp 90.

Boudier K et Luquet N, 1980. Le lait source d'ingrédients performant et versatiles. journal of agriculture food. Canada, pp 1233 -1246.

Boudjema K., Fazouane-Naimi F., Hellal A et Mechakrab A, 2009. Optimisation et modèle de production d'acide lactique par Streptococcus thermophilus sur lactosérum. Sciences &Technologie, pp 80-90.

Boudry C., Maquet P et Montfort E, 2012. Le lactosérum en alimentation porcine. Essentiel du Porc (L). Vol. 19, pp 21-24.

Brodowski D et Geisman JR, 1980. Teneur en protéines et composition en acides aminés des protéines des graines de tomates à différents stades de maturité. Journal of Food Science. Vol. 45,n°2, pp 228-229.

C

Calauya R., Sair R., Recta G and Balneg B, 2003. Tomato pomace as feed for livestock and poultry. University of Mariano Marco state, pp 41-52.

Calislar S et Uygur G, 2010. Effets de la pulpe de tomate sèche sur la pigmentation du jaune d'œuf et certaines caractéristiques de rendement des œufs des poules pondeuses. Journal des Sciences Vétérinaires et agricoles. Vol. 9, n°1, pp 96-98.

Cansell F et Moletta A, 2003. Etat de l'art du traitement des déchets organiques : traitement thermiques et méthanisation. RECORD Edition, Bordeaux, pp 96.

Carrillo-Reyes J., Celis L.B., Alatrisme-Mondragón F and Razo-Flores E, 2014. Decreasing methane production in hydrogenogenic UASB reactors fed with cheese whey. Biomass and Bioenergy. Vol. 63, pp 101–108.

Chanforan C, 2011. Stabilité de micro-constituants 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. Thèse de doctorat. Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, pp 57.

Charnay F, 2005. Compostage des déchets urbains dans les Pays en Développement : élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost. Thèse de Doctorat. Université de Limoges, pp 277.

Chauvin M, 2004. La réglementation française sur la valorisation agronomique des déchets organiques : Organisation et points principaux. ADEME Bretagne, pp 12.

Clinton S., Emenhiser C., Schwartz S., Bostwick D., Williams A., Moore B and Erdman J, 1996. Cis-trans lycopene isomers, carotenoids, and retinol in the human prostate. Cancer Epidemiology and prevention Biomarkers. Vol. 5, n°10, pp 823-833.

Colditz G., Stampfer M et Willett W, 1985. Régime Alimentaire et cancer du poumon : un examen des preuves épidémiologiques chez l'homme. Archive de médecine interne. Vol. 147, n°1, pp 157-160.

Colonna P., Buleon A., Leloup V., Thibault J.F., Renard C.M et Viroben G, 1995. Constituants des céréales, des graines, des fruits et leurs sous-produits. Nutrition des ruminants domestiques. INRA Edition, paris, pp 83-121.

Coombe B, 1976. Le développement des fruits charnus. Revue annuelle de physiologie végétale. Vol. 27, n°1, pp 207-228.

Cotte F, 2000. Etude de la valeur alimentaire de pulpe de tomate chez les ruminants. Thèse Docteur vétérinaire. Université de Lyon 1, pp 135.

Couturier C, 2000. Méthanisation des déchets ménagers et assimilés : Recycler les déchets organiques et valoriser leur potentiel énergétique. Edition SOLAGRO Toulouse, pp 32.

Couturier C., Meiffren I, 2001. Valorisation du biogaz en Europe : Contexte réglementaire, fiscal, économique et politique. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie. Edition SOLARGO, pp 55.

D

Damien A, 2013. Guide de traitement des déchets : Réglementation et choix des procédés 6^{ème} édition. Edition Dunod, Paris France, pp 461.

Damien E, 2004. Guide du traitement des déchets 3^{ème} édition. Edition Dunod, Paris France, pp 430.

Da-Silva T.L., Gouveia L and Reis A, 2014. Integrated microbial processes for biofuels and high value-added products: the way to improve the cost effectiveness of biofuel production. Applied microbiology and biotechnology. Vol. 98, n°3, pp 1043-1053.

Denek N et Can A, 2006. Valeur nutritive du marc de tomate humide ensilé avec de la paille de blé et du grain de blé pour les moutons Awassi. Recherche sur les petits ruminants. Vol. 65, n°3, pp 260-265.

Doré C et Varoqaux F, 2006. Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées. INRA Edition, Paris, pp 698.

Dotas D., Zamanidis S and Balios J, 1999. Effect of dried tomato pulp on the performance and egg traits of laying hens. British Poultry Science. Vol. 40, n°5, pp 695-697.

DSA. Direction des Services Agricoles de Guelma, 2016 : divers rapports.

E

El -Wandawi H., Maha A and El-shaikhly k, 1985. Tomato processing wastes as essential raw materials. Journal of Agricultural and Food Chemistry. vol. 33, n°5, pp 804-807.

El-hafiane S, 2012. Gestion des déchets solides au niveau de la Commune Urbaine d'Agadir et leur impact sur le milieu naturel. Mémoire de Master. Université de Caddy Ayyad Marrakech, pp 20-21.

Elvira C., Faraldi M and Bildstein M, 2006 . Hanbook on bioactive compounds from tomato processing residues, pp 44. www.bioactive-net.com.

Emond C, 2014. Développement de particules de lactosérum aux propriétés contrôlées par injection de vapeur. Université de Laval Canada.

F

FAOSTAT, 2018. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. . <http://faostat.fao.org/>.

Fernandez- Gutierrez D, 2018. Biovalorisation du petit lait en 2,3-butanediol par fermentation. Thèse de doctorat. Université de Lyon, pp 60.

Fuhrman B., Elis A and Aviram M, 1997. L'effet hypocholestérolémique du lycopène et de B-carotène est lié à la suppression de la synthèse du cholestérol et à l'augmentation de l'activité des récepteurs LDL dans les macrophages. Communications de recherche biochimique et biophysique. Vol. 233, n°3, pp 658-662.

G

Gana S et Touzi A, 2001. Valorisation du lactosérum par la production de levures lactiques avec les procédés de fermentation discontinue et continue. Avis sur les énergies renouvelables et durables : Production et valorisation – Biomasse, pp 51-58.

Ghaly A.E and Singh R.K, 1989. Pollution potential reduction of cheese whey through yeast fermentation. Appliedbiochemistry and biotechnology. Vol. 22, n°2, pp 181-203.

Gibault T, 2006. Lycopène ! Peut-être. Tomate ! Sans aucun doute. Equation nutrition. Vol. 55, n°5, pp 2.

Gillet R, 1985. Traité de gestion des déchets solides urbains : ordures ménagères, Nettoyage et élimination des déchets. Edition O.M.S. Vol. 1, pp397.

Giovannucci E., Rimm E., Iu Y., Stampfer M et Willett W, 2002. Une étude prospective des produits à base de tomate, du lycopène et du risque de cancer de la prostate. Journal de l'institut national du cancer. Vol. 94, n°5, pp 391-398.

Gonzfilez -Siso M.I, 1996. The biotechnological utilization of cheese whey: a review. BioresourceTechnology. Vol.57, n°1, pp 1-11.

Gouilliard S et Legendre A, 2003. Déchets ménagers. Edition Paris Economica, pp 50- 66.

Gourdon R, 2007. Traitement biologique des déchets. Edition Techniques de l'Ingénieur, traité Environnement, pp 14.

Grenet E, 1997. Aspect microbiologique de la dégradation microbienne des tissus végétaux dans le rumen. Production animal. Vol. 10, n°3, pp 241-249.

Guidini M., Papillon D., Raphalen D et Bariore B, 1984. Contribution à la valorisation du lactosérum. Utilisation actuelle et potentielles. Bul. Soc. Sci. Bretagne. Vol. 56, pp 77-88.

H

<http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/Data/SR16/reports/sr16fg11.pdf>.U.S

Hulme A.C, 1971. La Biochimie des fruits et de leurs produits. Vol. 2, pp 400-404.

I

Ibrahim K.A., Abu-sbeih K.A., Al-Trawneh I and Bourghli L, 2014. Preparation and characterization of alkyd resins of Jordan valley tomato oil. Journal of Polymers and the Environment. Vol. 22, n°4, pp 553-558.

INRAE. Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement. Salon de l'agriculture et sécurité alimentaire, 2020.

J

Jafari M., Pirmohammadi R and Bampidis V, 2006. The use of dried tomato pulp in diets of laying hens. International Journal of poultry Science. Vol. 5, n°7, pp 618-622.

K

Kangni K, 1991. Conception d'une usine de conservation de la tomate. Thèse de doctorat. Ecole polytechnique Sénégal, pp112.

Kennedy J.F et Cabral M.S, 1985. In immobilized enzymes and cells. J Woodward Edition, I.RL Press Oxford U.K, pp 19-37.

Knoblich M., Anderson B et Latshaw D, 2005. Analyses des sous-produits de la peau et des graines de tomate et de leur utilisation comme source de caroténoïdes. Journal de la science de l'alimentation et de l'agriculture. Vol. 85, n°7, pp 1166-1170.

Kokoshenko I.V, 2018. Impact de l'industrie alimentaire sur l'environnement. Université technique nationale du Bélarus.

Kosikowski F.V, 1979. Whey Utilization and Whey Products. Journal of Dairy Science. Vol. 62, n°7, pp 1149-1160.

Koushki M., Jafari M., et Azizi M., 2012. Comparison of ethanol production from cheese whey permeate by two yeast strains. Journal of food science and technology. Vol. 49, n°5, pp 614-619.

L

Lachebi S et Yelles F, 2018. Valorisation du lactosérum par technique membranaire. Algerian Journal of Environmental Science and Technology. Vol. 4, n°3, pp 820-825.

Lapointe-Vignola C, 2002. Science et technologie du lait: transformation du lait. Presses inter Polytechnique, 2^{ème} Edition. Montréal Québec, pp 600.

Lapointe-Vignola C, 2002. Science et technologie du lait: transformation du lait. Presses inter Polytechnique, 2^{ème} Edition. Montréal Québec, pp 600.

Legube T., Sti V.W et Follut M.L, 2012. SOLUTION-Le traitement des effluents de la filière Lait Fromage. Industries Alimentaires et Agricoles. Vol. 129, n°1, pp 29.

Lenucci M., Cadinu D., Taurino M., Piro G et Dalessandro G, 2006. Composition antioxydante dans les cultivars de cerise et de tomate à haute teneur en pigment. Journal de Chimie Agricole et Alimentaire. Vol. 54, n°7, pp 261-266.

Linden G et Lorient D, 1994. Biochimie agro-industrielle Valorisation alimentaire de la production agricole. Masson, Paris Milan Barcelone, pp 392.

Lira R., Rabello C., Mohaupt M., Vanderlei P., Quintão G and Lana S, 2010. Performance productive des poulets de chair nourris avec des déchets de tomates. Revista Brasileira de Zootecnia.vol. 39, n°5, pp 1074-1081.

Luquet F.M et Francois M, 1990. Lait et les produits laitiers, vaches, brebis, chèvre. Tome II : Techniques et documentations-Lavoisier, pp 621.

Luquet F.M et Boudier J.F, 1990. Utilisation des lactosérums en alimentation humaine et animale. Apria. Vol. 21, pp 1-7.

Luthria D., Mukhopadhyay S et Krizek D, 2006. Teneur en acides phénoliques et phénoliques totaux dans les fruits de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Les fruits Influencées par le cultivar et le rayonnement UV solaire. Journal de composition et d'analyse des aliments. Vol. 19, n°8, pp 771-777.

M

Macwan SR., Dabhi BK., Parmar SC., and Aparnathi KD, 2016. Whey and its utilization. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. Vol. 5, n°8, pp 134-155.

MADRP. Ministère de l'Agriculture et le Développement Rurale et de la Pêche. Série statistique Agricoles, 2018.

Mansoori B., Modirsanei M., Radfar M., Kiaei M., Farkhoy M et Honarзад J, 2008. Digestibilité et valeurs énergétiques métabolisables du marc de tomate séchée pour les coqs pondeurs et de type viande. Animal Feed Science and Technology. Vol. 141, n°3-4, pp 384-390.

Marwaha E, 1988. Physiology of *Streptococcus thermophilus*during the late stage of milk fermentation with special regard to sulfur amino-acid metabolism. Proteomics. Vol. 8, pp 4273-4286.

Marwaha S.S and Kennedy J.F, 1988.Whey-pollution problem and potential utilization. International journal of food science & technology. Vol. 23, n°4, pp 323-336.

Maystre, 1994. Déchets urbains : naturel et caractérisation. Presses polytechniques et universitaires Romandes Lausanne, pp 1-2.

- McAuliffe K.W., Scotter D.R., Macgregor A.N and Earl K.D, 1982.** Casein whey wastewater effects on soil permeability. *Journal of Environmental Quality*. Vol.11, n°1, pp 31-34.
- McIntosh G.H., Royle P.J., Le Leu R.K., Register G.O., Johnson M.A., Grinsted R.L and Smithers G.W, 1998.** Whey proteins as functional food ingredients. *International Dairy Journal*.Vol. 8, n°5-6, pp 425-434.
- Mereo J, 1980.** Les utilisations industrielles du sérum, fromagerie. *Revue français Paris*, pp 365-401.
- Méreo M, 1971.** Les utilisations industrielles du sérum de fromagerie. *Industrie agro-alimentaire*, pp 817-823.
- Michel A, 1986.** Production des protéines de levure à partir de lactosérum brut. Thèse de doctorat. Université de Lyon 1 France, pp 133.
- Miquel G and France, 1999.** Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. Rapport sur les nouvelles techniques de recyclage et de valorisation des déchets ménagers et des déchets industriels banals. Assemblée nationale.
- Modler H.W, 1988.** Development of a continuous process for the Production of ricotta cheese. *Journal of Dairy Science*. Vol.71, pp 93.
- Moletta R, 2002.** Gestion des problèmes environnementaux dans les IAA. *Tech et Doc*, Paris, pp 600.
- Moletta R, 2008.** La méthanisation. Edition Tec & Doc, Paris, pp 532.
- Moletta R, 2009.** Traitement des déchets. Edition Tec & Doc, Paris, pp 3- 23.
- Morr C, 1989.** Whey proteins: manufacture. *Developments in dairy chemistry*, 4(6), 245-284.
- Morr C, and Ha E.Y, 1993.**Whey protein concentrates and isolates: processing and functional properties. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*. Vol. 33, n°6, pp 431-476.
- Mrad N, 2011.** Valorisation des déchets gras de poisson en biocombustible pour moteur diesel. Thèse de doctorat. Université de Nantes France, pp 145-150.

Muller A., Chaufer B., Merin U., et Daufin G., 2003. Purification of alpha-lactalbumin from a prepurified acid whey: Ultrafiltration or precipitation. *Le Lait*. Vol. 83, n°6, pp 439-451.

N

Nkondjock A and Ghadirian P, 2004. Dietary carotenoids and risk of colon cancer : case-control study. *International Journal of Cancer*. Vol. 110, n°6, pp 800-805.

Nour V., Corbu A., Rotaru P., Karageorgou I and Lalas S, 2018. Effect of carotenoids extracted from dry tomato waste on the stability and characteristics of various vegetable oils. *Grasas y Aceites* .Vol. 69, n°1, pp 238.

P

Panesar P.S and Kennedy J.F, 2012. Biotechnological approaches for the value addition of whey. *Critical reviews in biotechnology*. Vol.32, n°4, pp 327-348.

Panesar P.S., Kennedy J.F., Gandhi D.N and Bunko K, 2007. Bioutilisation of whey for lactic acid production. *Food chemistry*. Vol. 105, n°1, pp 1-14.

Pavlostathis S., Gossett J, 1985. Modeling alkali consumption and digestibility improvement from alkaline treatment of wheat straw. *Biotechnology and Bioengineering*. Vol. 27, n°3, pp 345-353.

Persia M., Parsons C., Schang M and Azcona J, 2003. Nutritional Evaluation of dried tomato seeds. *Science poultry*. Vol. 82, n°1, pp 141-146.

Peschel W., Sánchez-Rabaneda F., Diekmann W., Gartzía I., Jiménez D., et Codina C, 2006. Une approche industrielle à la recherche d'antioxydants naturels à partir de déchets de légumes et de fruits. *Food Chemistry*. Vol. 97, n°1, pp137-150.

Pescuma M., de Valdez G.F and Mozzi F, 2015. Whey-derived valuable products obtained by microbial fermentation. *Applied microbiology and biotechnology*. Vol. 99, n°15, pp 6183-6196.

Poirier M, 1996. Industrie de transformation du lait et environnement. Guide technique sectoriel. Gouvernement de Québec.

Proot J, 2002. Les technologies propres appliquées aux industries agroalimentaires, pp 12.

R

Raffy L, 2006. La tomate et ses secrets de famille. Equation Nutrition. Vol. 55, n°5, pp 3.

RESEDA, 2017. Réseau pour la santé et la sécurité et la qualité des denrées animales. Enquête sur le gisement et la valorisation des coproduits des industries agroalimentaire, Paris, pp 103.

Resse A, 2010. Les fermentescibles dans les ordures ménagères - Deux gestions séparées : la collecte des fermentescibles et le composteur individuel. Ingénieries eau-agriculture-territoires, Lavoisier IRSTEA CEMAGREF, 1999, pp 27-28.

Rosa P.R., Santos S.C and Silva E.L, 2014. Different ratios of carbon sources in the fermentation of cheese whey and glucose as substrates for hydrogen and ethanol production in continuous reactors. International journal of hydrogenenergy. Vol. 39, n°3, pp 1288-1296.

Rosner G, 1982. Opération Rhône-Alpes de valorisation des sous-produits de l'agroalimentaire par l'alimentation animale. Etablissement Publique Régional Rhône-Alpes Lyons France. 2^{ème} rapport.

Rouez M, 2008. Dégradation anaérobie de déchets solides : caractérisation, facteurs d'influence et modélisations. Laboratoire de Génie Civil et d'Ingénierie Environnementale Lyon. Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, pp 259.

S

Safari R., Valizadeh R., Efteljaro F., Tahmasebi A et Bayat J, 2007. Effets du marc de tomate séché et ensilé sur l'ingestion de matière sèche, le rendement laitier et la composition des vaches laitières en Iran. Actes de la British Society of Animal Science, pp 240.

Shi J and Le Maguer M, 2000. Lycopene in tomatoes : Chemical and physical properties affected by food processing. Critical Reviews in Biotechnology. Vol. 20, n°3, pp 293-334.

Sienkiewicz T and Riedel CL, 1990. Whey and whey utilization: possibilities for utilization in agriculture and foodstuffs production. Verlag Th Mann. Gelsenkirchen-Buer, Germany, pp 215.

Sottiez P, 1990. Produits dérivés des fabrications fromagères : lait et produits laitiers ; vache, brebis, chèvre, Edition Lavoisier, Paris, pp 633.

Spalatelu C, 2012. Biotechnological valorisation of cheese whey. Innovative Romanian Food Biotechnology. Vol. 10, pp 1–8.

Spreer E, 1998. Milk and dairy product technology.1^e Edition Marcel Dekker INC, New York États Unis, pp 483.

Stahl W and Sies H, 1992. Uptake of lycopene and its geometrical isomers is greater from heat-processed than from unprocessed tomato juice in humans. Journal of Nutrition. vol. 122, n°11, pp 2161.

T

Tabeidian S., Toghiani M et Shahidpour A, 2011. Effet des niveaux incrémentiels de marc de tomate séchée avec et sans supplémentation enzymatique alimentaire sur les performances de croissance, les caractéristiques de la carcasse et la digestibilité des protéines iléales des poussins de chair. Le journal vétérinaire. Vol. 10, n°4, pp 443-448.

Tetra Pak, 1995. Manuel de transformation du lait. Tetra Pak Processing System, Suède,pp 442.

Tetra Pak, 2003. Dairy processing handbook. Lund, Tetra Pak Processing Systems AB, pp 452.

Tommonaro G., Poli A., De Rosa S et Nicolaus B, 2008. Polysaccharides dérivés de la tomate pour applications biotechnologiques: approches chimiques et biologiques, molécules. vol. 13, n°6, pp 1384-1398.

TrivinoArevalo A, 2017. Étude environnementale comparative des procédés de valorisation du lactosérum. Mémoire de Master. Université Laval. Québec Canada, pp78.

U

USDA united states department of agriculture, 2007.National Nutrient Database for Standard Reference, Legacy Release.

V

Veisseyre R, 1975. Technologie du lait: Principes des techniques laitières, 3^{ème} Edition SEPAIC, Paris, pp 714.

Venetsaneas N., Antonopoulou G., Stamatelatou K., Kornaros M and Lyberatos G, 2009. Using cheese whey for hydrogen and methane generation in a two-stage continuous process with alternative pH controlling approaches. Bio-resourc and technology. Vol. 100, n°15, pp 3713-3717.

ViolleauJacquet V, 1999. Déminéralisation par électrodialyse en présence d'un complexant. Applications au lactosérum. Thèse de doctorat. Montpellier, France, pp 115.

Visser R.A., van den Bos M.J and Ferguson W.P, 1988. Lactose and its chemical derivatives Bull of IDF. Vol. 233, pp 33-44.

Vojnović V., Ritz M and Vahčić N, 1993. Sensory evaluation of whey-based fruit beverages. Food/Nahrung. Vol . 37, n°3, pp 246-251.

Vorbuger J, 2006. Écologie industrielle et valorisation des déchets. Essai stage. Université Laval Québec, pp 22-31.

Vrignaud Y, 1983. Valorisation du lactosérum, une longue histoire. Revue laitière Française. Vol. 422, pp 41-46.

W

Walekhwa P., Mugisha J and Drake L, 2009. Biogas energy from family sized digester sin Uganda: Critical factors and policy implications. Energy Policy. Vol. 37, pp 2754 - 2762.

Woo A, 2002. La grande diversité du lactosérum. Agriculture et agroalimentaire, Canada, pp 313.

Y

Yang S.Y., Jones J.H., Olsen F.J., and Paterson J.J., 1980. Soil as a medium for dairy liquid waste disposal. Journal of Environmental Quality. Vol. 9, n°3, pp 370-372.

Yuangklang C., Vasupen K., Wongsuthavas S., Bureenok S., Panyakaew P., Alhaidary A., Mohamed H et Beynen A, 2010. Effet du remplacement du tourteau de soja par du marc de tomate séchée sur la fermentation du rumen et le métabolisme de l'azote chez les bovins de boucherie. Le journal américain de l'agriculture et science de biologie. Vol. 5, n°3, pp 256 – 260.

Yuangklang C., Vasupen K., Srenanul P., Wongsuthavas S., Mitchaothai J et Kongwaha K, 2007. Effet de la substitution du tourteau de soja par le marc de tomate séchée sur la prise alimentaire, la fermentation du rumen et l'utilisation de l'azote chez les chèvres. Actes British Society of Animal Science, pp 240.

Yuangklang C., Vasupen K., Srenanul P., Wongsutthavas S., Mitchaothai J, 2006. Effet de l'utilisation du marc de tomate séchée comme source de fourrage grossier sur la consommation alimentaire, la fermentation du rumen et les métabolites sanguins chez les bovins de boucherie. Actes de la 44^{ème} Conférence annuelle de l'Université Kasetsart, Animaux, médecine vétérinaire, pp158-166.

Webographie

(1) :Déchets organiques des industries agroalimentaires.

<http://mjoly.canalblog.com/archives/2010/05/06/17807212.html>. Consulté le (24/04/2020).

(2): Figure de la tomate '*solanum lycopersicum*'.

https://www.alamyimages.fr/tomates-solanum-lycopersicum_image282293185.html.

Consulté le (28/03/2020).

(3): Les figures de processus de transformation de tomate.

<http://www.djamiatic.net/tomate/cours/cours6.htm>. Consulté le (18/04/2020).

(4) : les déchets issus de la fabrication du concentré tomate. <http://www.tomatojos.net/08-tomato-paste-processing> Consulté le (24/04/2020).

(5) : la cutine https://fr.euronews.com/2014/09/29/les-dechets-de-tomates-vernis-pour-les-conserves?fbclid=IwAR0KZnRqEI6aa-BzAh9iTk_C2ydxEjslct3OP-SK1lfVehJOGuz4C1DE-IM Consulté le (05/05/2020).