

I. Industrie de la canne à sucre

Le saccharose est extrait de la betterave sucrière ou de la canne à sucre. Ces plantes possèdent la particularité d'avoir comme glucide de réserve le saccharose résultant de la synthèse chlorophyllienne, ces plantes accumulent le sucre, au niveau de la racine pour la betterave ou de la tige pour la canne.

La betterave sucrière *Beta vulgaris* est une espèce bisannuelle. En Europe métropolitaine, on produit presque uniquement du sucre à partir des betteraves. Elle se caractérise par d'assez bons rendements (entre 50 et 90 t/ha) variant selon la quantité du semis, du sol, des soins et du climat. La récolte s'effectue à partir de septembre avec des durées de campagne de deux à trois mois en moyenne par an.

La canne à sucre « *Saccharum officinarum* » est une plante de la famille des *Poacées* (graminées). Toutes les espèces du genre « *Saccharum* » sont des graminées vivaces de grande longévité dont l'aspect rappelle celui du roseau.

La culture de la canne nécessite de forts taux d'ensoleillement et de chaleur, son rendement peut atteindre 70 t/ha. La richesse en sucre de canne varie selon les pays de 11% à 16%. La composition de la canne à sucre et de la betterave sucrière est donnée dans le tableau suivant :

Tableau I: Composition chimique de la canne à sucre et de la betterave sucrière

Canne à sucre	Betterave sucrière
71% d'eau	76% d'eau
14% de saccharose	15 à 18% de saccharose
13 à 14% de fibre ligneuse	4 à 5% de pulpe
2 à % d'impureté	2 à 3% de non sucre

I.1. Coproduits de l'industrie sucrière « Mélasse »

La mélasse désigne le principal sous-produit de préparation du sucre cristallisé à partir de la betterave sucrière, canne à sucre ou de raffinerie. La mélasse se présente sous forme d'un résidu sirupeux, pâteux visqueux, de coloration brun noirâtre, incristallisable, obtenu après le turbinage de la masse cuite du 3ème jet. 1tonne de canne à sucre donne 120 kg sucre + 300 kg de bagasse + 30 kg de la mélasse.

De manière générale nous pouvons définir la mélasse comme étant la quantité de saccharose retenu par le non sucre. La composition chimique des mélasses de betterave et de canne est

donnée dans le tableau suivant :

Tableau II : Composition chimique des mélasses de betterave et de canne

Paramètres de mesure	Mélasse de betterave	Mélasse de canne
Matière sèche (%)	73	73
Matière minérale (%)	13	14
Matières azotées totale (%)	15	6
Sucres totaux	64	64
Calcium (g/kg MS)	3,7	7,4
Phosphore (g/kg MS)	0,3	0,7
Potassium (g/kg MS)	82	40

Les mélasses présentent des teneurs en cellulose brute et en matières grasses très faibles. Pour les deux mélasses, la teneur en acides aminés est faible : en lysine, méthionine, cystine, tryptophane et thréonine. En revanche, la mélasse de betterave est bien pourvue en bétaine et acide glutamique (4 à 5% de la MS). L'autre fraction de la matière organique « non sucré » des mélasses de betterave correspond à des acides organiques (6 à 8%) : acide lactique, malique, acétique, oxalique principalement ; tandis que les mélasses de canne contiennent une quantité non négligeable de gommés solubles et complexes hydrocarbonés (4%) et acides organiques (3%) : acides acotinique, citrique, malique, succinique. Les mélasses de canne sont plus riches en phosphore et calcium que les mélasses de betterave.

I.2. Valorisation de mélasse

I.2.1. Alimentation du bétail

La mélasse accroît l'appétit des animaux, c'est pour cela sont susceptibles de se substituer à d'autre hydrate de carbone coûteux. Elle possède aussi des propriétés laxatives. L'addition de la mélasse à du fourrage (la paille) réduit les risques d'obstruction intestinale. La dose d'utilisation de la mélasse doit être respectée car si elle est utilisée en grande quantité, elle peut être toxique, la toxicité est liée au manque d'eau de la boisson à proximité du lieu de distribution de la mélasse.

I.2.2. Utilisation dans l'industrie de la levure

Les mélasses ont une composition complexe ce qui fait d'elles un milieu de culture adéquat, un certain nombre d'opérations doivent être effectuées pour permettre la culture des levures.

La clarification n'est pas obligatoire avec les mélasses de betteraves, mais généralement bénéfique avec les mélasses de canne. Son but est l'élimination partielle des boues minérales, des gommes et d'une partie du calcium.

Le sirop de mélasse doit être dilué jusqu'à l'obtention de la concentration souhaitée. La solution est par la suite ajustée à pH souhaité et épuré par centrifugation. Ensuite la solution est autoclavée.

Les mélasses de betterave et de cannes à sucre permettent d'obtenir des biomasses protéiques ou des levures pour la panification ; les deux espèces les plus cultivées sur ces substrats sont *Saccharomyces cerevisiae* et *Candida utilis*.

La fermentation commence d'abord dans le laboratoire dans fioles et des petits fermenteurs afin d'obtenir de la levure mère qui est utilisée à l'échelle industrielle, la levure mère se développe d'abord pendant 2 heures dans une cuve de fermentation, les levures obtenues sont transférées dans une nouvelle cuve en insufflant des quantités d'air croissantes. L'addition de mélasse se fait en continue, après 16 à 18 h on obtient 9 tonnes de levure qui serviront d'inoculum pour plusieurs cuves de fermentation, après 44 h et avec 10 kg de levure mère on obtient 48 tonnes : un fermenteur de 100 m³ permet d'obtenir 5 tonnes de levure en 20 heures.

Les contrôles d'alimentation du milieu, du pH, d'aération et de température, sont très rigoureux afin d'optimiser la qualité des levures finales. Une période de maturation est effectuée avant la collecte : elle consiste à arrêter l'alimentation du milieu en maintenant l'aération de façon à ce que le bourgeonnement soit stoppé. Les levures sont concentrées et séparées du mout. L'opération est réalisée en continu sur des appareils centrifuges qui permettent de laver la levure et d'obtenir une crème, puis filtration par des filtres rotatifs continus sous vide. Le gâteau obtenu à 30% de matière sèche est extrudé en pain de levures qui se conservent quelques semaines à 4°C.

I.2.3. Production de bioéthanol

En général, les levures appartenant aux genres *Saccharomyces* sont les plus utilisées, malgré les nombreuses espèces de microorganismes connues pour leur capacité à fermenter

les sucres en éthanol. En effet, les souches telles que *Saccharomyces cerevisiae* possèdent plusieurs avantages dont :

- La stabilité génétique ;
- La capacité de fermenter le milieu le plus rapidement possible et produire de l'éthanol avec un rendement proche du rendement théorique ;
- Peu exigeantes en facteur de croissance pour limiter les additions en vitamines aux milieux industriels ;
- Haute tolérance à l'éthanol, afin de conserver une bonne viabilité en fin de fermentation ;
- Croît rapidement, sur un substrat peu coûteux ;
- Conserve dans le temps ses caractères biochimiques, sans risque de variations génétiques.

II. Industrie de l'huile d'olive

Bien que la production de l'olivier soit répartie sur les cinq continents, elle est surtout prédominante dans la zone du Bassin Méditerranéen qui représente 98% de la surface et des arbres en production et 97% de la production totale d'olives.

L'industrie oléicole, en plus de sa production principale qui est l'huile laisse deux résidus, l'un liquide (**les margines**) et l'autre solide (**les grignons**). De plus, l'olivier à travers la taille engendre des feuilles et brindilles et du gros bois. En adoptant la moyenne de 35% de grignons bruts par rapport aux olives traitées, on peut estimer la production mondiale de grignons bruts à environ 2,9 millions de tonnes. Sachant qu'en moyenne 100 kg d'olives traitées engendrent 100 litres de margines, la production mondiale de margine serait de 8,4 millions de mètres cubes. Par ailleurs, et selon les estimations de nombreux pays, 25 Kg de feuilles et brindilles sont produites par an et par arbre. Ceci se traduit par une production annuelle mondiale d'environ 15 millions de tonnes de feuilles et brindilles fraîches. Ce qui se traduit par la nécessité de valoriser ces sous produits.

II.1. Les principaux coproduits

II.1.1. Les coproduits d'huilerie

- **Le grignon brut**: c'est le résidu de la première extraction de l'huile par pression de l'olive entière, ses teneurs relativement élevées en eau (24%) et en huile (9%) favorisent son altération rapide lorsqu'il est laissé à l'air libre.
- **Le grignon épuisé**: c'est le résidu obtenu après déshuilage du grignon brut par un solvant,

généralement l'hexane.

- **Le grignon partiellement dénoyauté:** résulte de la séparation partielle du noyau de la pulpe par tamisage ou ventilation
 - il est dit “gras” si son huile n'est pas extraite par solvant ;
 - il est dit “dégraissé ou épuisé” si son huile est extraite par solvant.
- **La pulpe d'olive:** c'est la pâte obtenue lorsque le noyau a été séparé de la pulpe préalablement à l'extraction de l'huile. Elle est riche en eau (60%) et de conservation très difficile.
- **Les margines:** c'est le résidu liquide aqueux brun qui s'est séparé de l'huile par centrifugation ou sédimentation après le pressage.
- **Les feuilles collectées à l'huilerie:** ce ne sont pas les résidus de la taille, mais des feuilles obtenues après le lavage et le nettoyage des olives à l'entrée de l'huilerie. Leur quantité est estimée, en Grèce, à environ 5% du poids des olives.

II.1.2. Les résidus de la taille et de la récolte

Les oliviers subissent en général une taille sévère un an sur deux et une taille légère l'autre année. Après séparation des grosses branches les feuilles et ramilles (diamètre inférieur à 3 cm) peuvent être distribuées aux ruminants.

II.2. Valorisation

II.2.1. Les grignons

II.2.1.1. Composition chimique

Elle varie selon le stade de maturité, le procédé d'extraction de l'huile et l'épuisement par des solvants. Il comprend la cellulose brute dont le taux est élevé pour les grignons non dénoyautés. La cellulose est beaucoup plus réduite par le tamisage que la lignine. La teneur en matière azotée varie selon le type de grignon, l'azote protéique constitue 95 % de l'azote totale et sa solubilité est faible car les protéines sont liées à la fraction ligno-cellulosique et du faite, elles sont indigeste. La teneur en matière grasse est élevée et riche en acide gras principalement, l'acide oléique 84 %, l'acide stéarique et palmitique. La matière minérale constitue 5 % de la matière sèche et les éléments dominants sont le potassium, le calcium

suivis du phosphore et du sodium.

II.2.1.2. Méthode de traitement du grignon

a) Tamissage

C'est une séparation des débris des coques de la pulpe. Cette opération est réalisée après l'extraction de l'huile de grignon en réduisant le part des débris de coque. Le tamissage engendre un produit moins dense et surtout moins riche en constituants pariétaux, cette opération améliore la digestibilité.

b) Traitement aux alcalis

L'amélioration de la digestibilité des grignons est possible par le traitement à la soude. Ce dernier est efficace en présence de la chaleur et nécessite au moins 40 g de réactif / kg de produit. La neutralisation pour éliminer l'excès d'alcaline n'est pas nécessaire (dans le cas des grignons épuisés).

c) Traitement à l'ammoniac

Des grignons tamisés et épuisés sont pulvérisés avec de l'ammoniac à 3 %. Ils résultent une amélioration importante de la valeur nutritive par enrichissement en azote et l'amélioration de la digestibilité de tous les nutriments en particuliers des matières azotés.

d) Traitement aux carbonates de sodium

On a comparé des traitements à différentes doses de NaOH et de Na_2CO_3 sur des grignons partiellement dénoyautés pendant 150 min à 70° avant l'addition du solvant, il s'avère que les deux méthodes améliorent considérablement la digestibilité in vitro. La soude par contre se révèle toute fois plus efficace.

e) Traitement biologique : utilisation des champignons

On a rapporté que les tissus contenant dans les grignons d'olive sont résistants à la dégradation microbienne des cultures de champignon sur les grignons. Ils n'ont pas diminué la teneur en fibre même après un traitement aux alcalis.

- **Fermentation microbienne**

Des marocains ont fait fermenter un mélange de grignon d'olive, de la bagasse et des micro-organismes. La haute teneur en carbone et en substances nutritionnelles de la bagasse favorise la prolifération microbienne. Le 1 essai a révélé que la transformation des grignons d'olive peut se faire en 2 ou 3 jours en utilisant les micro-organismes les plus appropriés. En fin d'expérience 3 souches ont été retenues pour leur capacité de réduire la teneur cellulosique, rendant les grignons d'olive plus digeste.

II.2.1. 3. Méthode de valorisation

a) *Utilisation des grignons dans l'alimentation des animaux*

Les grignons bruts sont utilisés en Tunisie en mélange à du son ou même du cactus pour alimenter les dromadaires sur une bonne partie de l'année ou les ovins pendant les périodes difficiles. Mais très peu d'essais ont été effectués avec ce type de grignon. Concernant Les grignons gras partiellement dénoyauté.

b) *Utilisation des grignons comme combustible*

Elle a représenté et représente encore dans la majorité des pays, l'application la plus courante. En réalité le grignon d'olive est un combustible de valeur calorifique moyenne (2950 Kcal/kg). Cette quantité de chaleur est apportée principalement par la coque qui représente 60% du total et qui a un pouvoir calorifique relativement élevé (4000 Kcal/kg). La coque peut être utilisée comme matière première pour la fabrication du furfural. La pulpe n'apporte que peu de calories.

II.2.2. Les margines

II.2.2.1. Caractéristiques physiques et chimiques des margines

Les margines posent un sérieux problème de contamination pour tous les pays oléicoles. Il est en relation avec l'industrie et l'environnement. 1 mètre cube de marge équivaut à la pollution engendrée par 1200 habitants. 25 à 40 millions de mètres cubes de marge sont produits annuellement, dont 90% sont localisés dans le bassin méditerranéen et déversés dans la nature sans traitement préalable.

De plus, les nouveaux systèmes d'extraction de l'huile (centrifugation) multiplient par 3 la quantité d'eau utilisée et donc de marge. Le problème de la valorisation des margines est donc inquiétant et se pose en termes de préservation de l'environnement.

Les composés fondamentaux des margines sont l'eau (83,2%), les substances organiques (15%) et les substances minérales (1,8%). Ils contiennent en moyenne 170 kg de résidus secs par mètre cube. Ces résidus secs contiennent 20 kg de substances minérales et 150 kg de substances organiques. Les substances minérales sont composées de 0,6 à 2 kg d'azote, 0, 1 à 0,5 kg de phosphore, 1,2 à 3,6 kg de potassium et de 0,05 à 0,2 kg de magnésium. Les substances organiques contiennent principalement, 50 kg de sucres (fructose, glucose, saccharose, ...) et 0,3 à 10 kg d'huile résiduelle.

Les substances phénoliques (flavonoïdes, de phénols et des glucosides phénoliques) contenues dans les margines sont potentiellement toxiques et inhibent le développement des microorganismes (ex : l'oleuropéine inhibe le développement de certaines bactéries, dont des *Lactobacilles* et des champignons comme les *Geotrichum*, *Rhizopus* et *Rhizoctonia*) aussi bien en présence ou en l'absence d'oxygène.

II.2.2.2. Traitements des margines et quelques utilisations potentielles

a) Biodégradation naturelle des margines dans des bassins ouverts

Ce procédé d'évacuation consiste à accumuler les margines dans des bassins pour qu'elles s'évaporent et éviter ainsi leur déversement dans la nature. L'inconvénient que peut revêtir cette méthode d'évacuation est qu'en essayant d'éviter une pollution hydrique, nous risquons de provoquer une pollution de l'environnement en raison des problèmes de manque d'esthétique et de mauvaises odeurs que présentent les bassins d'évaporation.

b) Valorisation des margines par récupération de quelques composants

L'expérience dans ce domaine est très récente. Il s'agit, en particulier de la récupération des composants aromatiques et phénoliques et des solutions de glucides. Les extraits phénoliques obtenus ont été comparés aux antioxydants de synthèse les plus connus (BHA, BHT), dans des essais de résistance à l'oxydation. Il a été constaté que l'addition de l'extrait des margines protège de l'oxydation de l'huile de manière plus efficace que l'addition du BHA.

La fraction de marge dépourvue de ces composants phénoliques et aromatiques peut être utilisée pour la production de biomasse.

c) Obtention des protéines unicellulaires

Ce procédé ne manque pas d'intérêt car il se traduit par une diminution de la DBO (60 à 70%) et l'obtention de 13 kg de levure (*Torulopsis utilis*) par mètre cube de marge. De plus, les cellules de levure absorbent le colorant brun des marges qui empêche l'épuration parfaite des eaux polluées.

d) Obtention de biogaz

La digestion anaérobie pour produire de biométhane est une technique utilisée pour valoriser les marges. Le processus de digestion anaérobie implique rupture de la substance organique par la réaction biochimique qui transforme les molécules en méthane et gaz carbonique, l'énergie du méthane peut être utilisée sous la forme thermique ou convertie en énergie électrique ; 1 m³ de marge à 70 kg produit 24,5 m³ de méthane.

f) Production d'enzymes

La croissance de *Cryptococcus albidus* sur marge durant 48 h élimine environ 75 % de la

DBO tout en produisant de la biomasse et des enzymes (13 U/ml).

La production d'enzymes atteint jusqu'à 29,5 U/ml après élimination des polyphénols par floculation. Ces enzymes ont été testés pour l'amélioration du système d'extraction d'huile d'olive. L'addition de 2 litres d'une solution de ces enzymes concentrée par ultrafiltration (90 UV/ml) pendant un cycle de broyage, a augmenté le taux d'extraction de 84,3 % à 90,7 %.

g) Compostage

Le composte s'obtient par dégradation aérobie et anaérobie des margines ; les margines sont stockées dans des bassins d'évaporation et on ajoute d'autre résidus agricoles pour les absorber après, on retourne de résidu dégradé et on utilise comme fertilisant, le compost produit et plus riche en Phosphore et Potassium que le compost issu des résidus urbains.

I. Lactosérum

I.1. Définition du lactosérum

Le lactosérum est la phase aqueuse qui se sépare de caillé par égouttage lors de la fabrication du fromage, sauf le cas du fromage fondu.

Lactosérum= petit lait : représente 90% du lait transformé en fromage (10 L du lait requis pour la fabrication d'1 Kg du fromage et 9 L du lactosérum).

Le lactosérum est un sous-produit issu essentiellement de la fabrication fromagère, il est obtenu suite à la coagulation des caséines sous l'action de la présure (lactosérum doux), ou suite à l'acidification du lait (lactosérum acide). Traditionnellement, l'opération qui suit l'étape de coagulation 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. Ce dernier est un sous-produit de la fromagerie et de la caséinerie, son pH est compris entre 5 et 6.5. Il représente près de 90% du lait mis en œuvre.

Le lactosérum est un liquide jaune verdâtre, contenant une quantité importante de protéines de lait environ 20% et riche en éléments nutritifs. Le lactosérum est très fermentescible et fragile. Il représente 85 à 90% du volume de lait utilisé.

Il contient environ 50 % des nutriments du lait de départ : protéines solubles, lactose, vitamines et minéraux.

I.2. Type du lactosérum

Lactosérum doux : est obtenu par coagulation du lait par présure, il provient de la fabrication du fromage à pâte pressé ou cuite.

Lactosérum acide : est obtenu par coagulation lactique et provenant soit de la fabrication du fromage type pâte fraîche ou pâte molle.

I.3. Composition du lactosérum

La matière sèche totale : dépend de type de fromage fabriqué, elle varie de 60 à 70 g/L, pour le fromage à pâte 64 à 65 g/L, pâte molle de 68 à 70 g/L, pour les pâtes pressées 70 à 73 g/L.

Tableau I : Composition du lactosérum

Composés			
Lactose	60-80 g/100 g MS		
Matière azotée	10-14 g /100 g MS	Fraction protéique	Fraction globuline
			Fraction albumine (β- lacto-globuline α-lacto-albumine)
			Fraction protéase peptone
		Fraction non protéique	
Matière minérale	Sodium 650-950 mg/100 g MS		
	Potassium 2400-2900 mg/ 100 g MS		
	Magnésium 80-160 mg/ 100 g MS		
	Phosphore 700-800 mg/100 g MS		
	Chlore 1500-1800 mg/100 g MS		
Vitamine	Riboflavine (vitamine B ₂), acide pantothénique, thiamine (vitamine B ₁), vitamine C.		
Matière grasse	Phospholipides, les diacétyle glycérol, les acides gras libres, les esters, du cholestérol, du monocyclo-glycéride.		

I.4. Valeur nutritionnelle

La valeur nutritionnelle et les propriétés fonctionnelles du lactosérum sont liées au lactose et aux protéines.

a) *Lactose*

- Le lactose est un disaccharide, composé d'une molécule de glucose et une autre de galactose, ce dernier est un constituant essentiel des cérébrosides composant les tissus nerveux ;
- Il contribue à stabiliser le pH intestinal d'où une meilleur utilisation digestive du calcium et du phosphore ; cette stabilité du pH évite l'installation de flores purifiantes ;
- Il représente un intérêt diététique fondamental puisqu'il représente la seule source d'hydrate de carbone de tous les mammifères y compris l'homme ;
- C'est un facteur favorable aux réactions de caramélisation et réaction de Maillard, ainsi qu'il est un très bon support d'arôme et un bon substrat de culture pour les ferments de maturation.

b) *Protéines*

Les protéines du lactosérum ont une meilleure valeur nutritive que la caséine, du fait qu'elles constituent une source équilibrée en acides aminés indispensables notamment en lysine, acide aminés soufrés et en tryptophane tandis que la caséine présente un léger déficit

en ces acides aminés.

Les protéines du lactosérum ont des propriétés fonctionnelles très intéressantes :

- Pouvoir émulsifiant en présence de matière grasse ;
- Pouvoir gélifiant par coagulation à la chaleur ;
- Pouvoir moussant.

II. Valorisation du lactosérum

Les effluents produits par l'industrie fromagère sont caractérisés par leur volume et leur charge polluante élevée. Bien qu'il existe des possibilités de valorisation du lactosérum, approximativement la moitié de la production mondiale n'est pas exploitée mais rejetée comme effluents, ce qui constitue une perte importante de matière alimentaire.

Dans ces conditions le lactosérum représente un problème environnemental très important à cause des volumes considérables générés et à cause de sa teneur élevée en matière organique.

Le rejet du lactosérum est considéré comme un polluant car il impose une forte demande biochimique en oxygène (DBO), de 30000-50000 ppm.

Une fois libéré dans l'eau, par exemple, 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.

II.1. Méthodes de valorisation des constituants du lactosérum

La valorisation du lactosérum permet non seulement de lutter contre la pollution mais aussi à la mise sur le marché d'une variété du produit pour des industries agro-alimentaires.

Il est en outre un bon substrat pour les bactéries lactiques, la production de biomasse (levure) et la production d'autres métabolites telle que : enzymes, antibiotiques....

II.1.1. Valorisation des protéines du lactosérum

II.1.1.1. Thermocoagulation

Il s'agit du procédé le plus ancien. Il s'agit de porter à ébullition du lactosérum acidifié à pH 4,6-4,7 pour que les protéines précipitent. Leur récupération se fait par filtration ou décantation. La concentration finale du filtrat est environ de 88% pour les protéines. En

revanche, les propriétés fonctionnelles des protéines sont altérées.

II.1.1.2. Précipitation au phosphore

Cette technique consiste à baisser le pH jusqu'à 2,5 et ajout de l'hexa-méta-phosphate de sodium (sans chauffage).

II.1.1.3. Ultrafiltration

Cette technique est une opération de séparation par membrane mise en œuvre des pressions modérées consistant à faire circuler le lit (lactosérum) tangentiellement à une membrane semi-perméable retenant des molécules d'une taille supérieur à 0,005 μm , le retentât de 65% à 85% de protéines et le permeat est essentiellement du lactose et des sel minéraux.

II.1.1.4. Chromatographie échangeuse d'ion

Elle est utilisée pour la production industrielle du concentré (80% est plus de rendement), le procédé de sphirosyle utilise des billes de silices poreuses sur laquelle ont été greffées les groupements échangeurs, dans le cas du lactosérum doux le procédé retenu consiste à mettre en œuvre une colonne de sphirosyle échangeur d'anion et une colonne de sphirosyle échangeur de cation faible.

En effet, au pH du lactosérum (6,6) d'où la plupart des protéines sont sous forme anionique et s'adsorbent sur l'échangeur d'anion, une faible proportion (7 à 10%) constitue essentiellement d'immunoglobuline et sous forme de cation et s'adsorbe sur échangeur de cation, avec du lactosérum le procédé retenu consiste à mettre en œuvre une colonne de sphirosyle échangeur de cation. En effet au pH du lactosérum acide (4,6) l'ensemble des protéines est sous forme cationique et s'adsorbent sur échangeur de cation.

II.1.2. Valorisation des lipides polaires du lactosérum

Sont appréciés pour leurs propriétés émulsifiantes et surtout pour leurs propriétés physiologiques associées à la présence de glycosphingolipides et de phospholipide.

Les lipides polaires peuvent être extraits du babeurre ou du lactosérum par précipitation thermique, séparation sur membrane ou encore par adsorption sélectif (résine+matrice).

La microfiltration tangentielle, fait partie des procédés à membrane utilisés en

séparation liquide pour lequel le transfert de matière est assuré par un gradient de pression, parmi les possibilités de purification de phospholipides contenant dans le lactosérum, la mise en œuvre successif de technologie à membrane permettant d'obtenir un produit de brasse de la plus grande partie de sa flore contaminante.

II.1.3. Valorisation du lactose du lactosérum

L'ultrafiltration permet de séparer les protéines du perméat de lactosérum. On obtient alors d'un côté le perméat contenant le lactose et les sels minéraux, et de l'autre le rétentat où se trouvent les protéines. Cette technique est donc une méthode d'extraction du lactose, cependant elle ne permet pas d'obtenir du lactose dépourvu de sels minéraux.

L'extraction du lactose peut se faire par un autre procédé qui est la cristallisation. Préalablement, il faut enlever les protéines (dénaturées ou non) du lactosérum car elles rendent ce procédé moins efficace. La première étape consiste à concentrer le lactosérum par évaporation. Une fois concentré, ce dernier est soumis à une cristallisation par refroidissement. Les cristaux de lactose obtenus sont séparés puis broyés.

II.1.4. Points de récupération des minéraux

L'excès de minéraux est responsable des défauts de la saveur, pour cette raison différents procédés de déminéralisation sont appliqués :

a) Nanofiltration

Est aussi un procédé de séparation qui fait intervenir la pression comme force motrice. Sa capacité de séparation se situe entre ultrafiltration (1 à 10 nm) et l'osmose inverse (0,1 à 1 nm). Les membranes utilisées dans la nanofiltration ont un seuil de coupure variant de 1 à 5 nm, laissant périmer les ions monovalents et molécules du diamètre équivalents, la nanofiltration est utilisée pour la déminéralisation des minéraux sélectifs des lactosérums doux et acide.

Avec la nanofiltration le taux de cendres du lactosérum est simultanément réduit à 35%, il est possible de réduire la teneur en chlorure dans le lactosérum à 70%, et celle du sodium et potassium de 30 jusqu'à 70%.

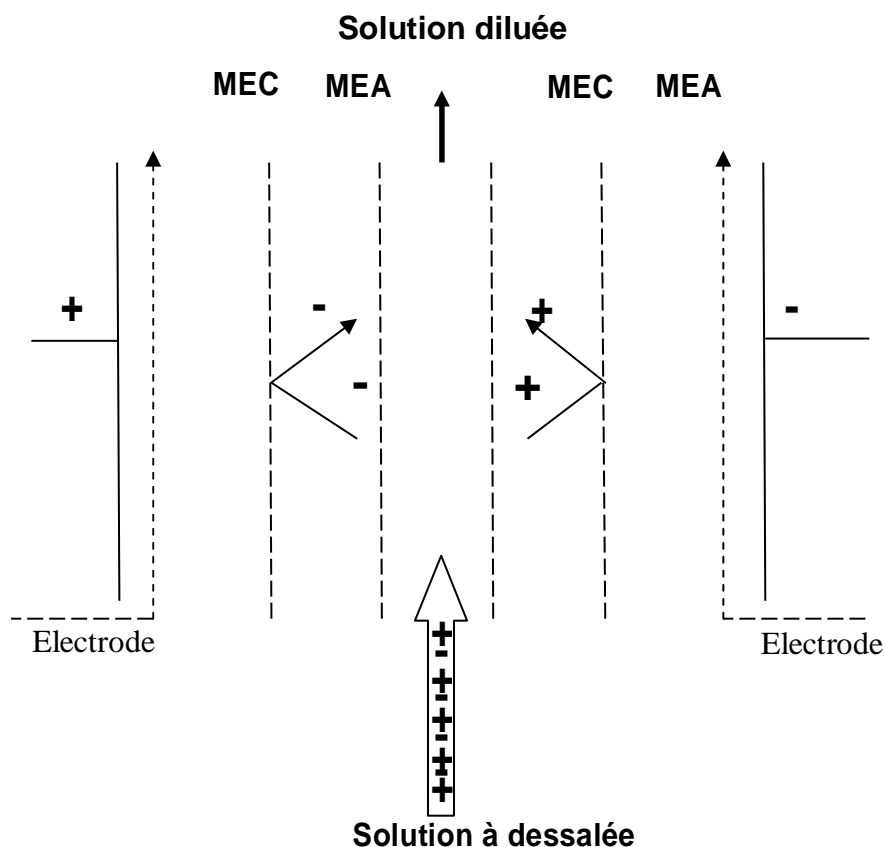
b) Osmose inverse

Est née de la réversibilité de l'osmose naturelle, l'osmose directe lorsque l'on place dans deux compartiments séparés par une membrane semi perméable la même quantité de solution pure (B) et d'une solution aqueuse contenant des sels (A). On constate le transfert

de l'eau pure, de (B) vers (A) jusqu'à ce que la pression due au liquide contenant en (A) empêche le transfert, la différence de niveau est la pression **osmotique**.

L'osmose inverse, si l'on applique à la solution saline (A) une pression $P > P_0$ l'eau s'écoule en sens inverse de A vers B à travers la membrane semi perméable, l'osmose de devant débarrasser le lactosérum que de son eau dans la réalité il subit une légère perte de minéraux.

c) Electrodialyse



MEA : membrane sélective pour anion ; **MEC** : membrane sélective pour cation.

On sait que lorsqu'on soumet un liquide contenant des espèces ioniques. Un champ électrique grâce à deux électrodes entre lequel on applique une DDP, les cations et les anions migrent respectivement vers les électrodes positives et négatives ou il se décharge si l'on place sur le trajet des ions une série de membrane perméable les une aux anions l'autre aux cations.

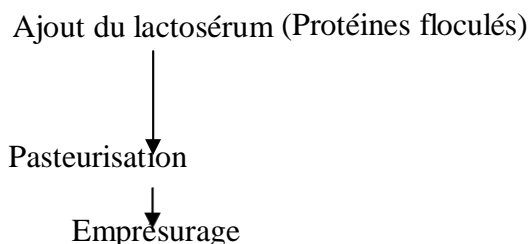
Alternativement la migration est limitée dans les compartiments formés par cette série de barrière. L'application d'un champs électrique perpendiculairement au plan des

membranes permet donc d'extraire en partie ou en totalité les ions contenant dans un fluide et d'opérer ainsi une séparation espèces chargées et espèces neutres.

II.2. Utilisation du lactosérum dans l'alimentation humaine

II.2.1. Utilisation du lactosérum en fabrication fromagère

Ce concentré de protéine va être injecté dans le lait standardisé. Lait standardisé (Fixation de la matière sèche : matière grasse, taux du lactose)



Le concentré de protéine du lactosérum issue du procédé est incorporé avant pasteurisation au lait standardisé destiné à la fabrication fromagère. Le lait est emprésuré, les protéines floculées provenant du lactosérum de la fabrication précédente resteront dans le caillé, les protéines du lait de la fabrication en cours restant dans lactosérum qui sera à son tour traité.

La présence dans le caillée d'un taux accrue de protéines entraine un temps d'égouttage beaucoup plus long. La présence des protéines du lactosérum entraine la formation d'une structure poreuse dans le fromage qui devient moins compacte et perméable au gaz, l'influence des protéines du lactosérum sur les propriétés structurale est dû aux propriétés hydrophiles de ces protéines, l'addition même à des faible concentrations 4 g/L, de ces protéines augmente beaucoup la capacité de rétention d'eau du fromage.

II.2.2. Utilisation du lactosérum dans le yaourt

La fabrication du yaourt à partir de lait en poudre écrémé et du lactosérum acide avec addition ou non du lait frais homogénéisé a été évoquée ; des testes d'évaluation sensorielle ont montré l'acceptabilité d'un tel produit fait avec 60% du lactosérum acide, 29% de lait entier homogénéisé et 11% de poudre de lait écrémé.

Des yaourts sont également fabriqués avec du lait standardisé à 3,2% de matière grasse en y ajoutant 0,2 à 0,6% de poudre du lactosérum, ce mélange est pasteurisé à 82°C

et incubé à 42°C pendant 3 heures avec une culture de *Lactobacillus* et *Streptococcus* (rapport 50/50).

Les études montrent que la concentration maximale du lactosérum pouvant remplacer le lait écrémé en poudre dans le yaourt est de 0,3%. A une concentration supérieure à 0,4% le lactosérum masque l'arôme spécifique et donne une saveur parasite prononcée.

II.2.3. Utilisation du lactosérum en confiserie

Le lactosérum a d'importante utilisation dans la fabrication de certains bonbons. Il est le moins coûteux par rapport aux produits laitiers. Le lactosérum concentré en sucre est adapté à la fabrication du bonbon mais comme il contient beaucoup de saccharose, il est utilisé dans les proportions de 32% à 84% pour la confection de fondons (du mille feuille) et du caramel. En chocolaterie le lactosérum doux est utilisé en taux de 2 à 3% par rapport au poids pour son pouvoir éclaircissant en particulier pour les produits chocolatés de garniture.

II.2.4. Utilisation dans les produits carnés

Des boulettes de viande contenant jusqu'à 40% de caillé de lacto-albumine sont passées à la friture à 165°C selon des temps variables, il a été constaté que les taux élevés de lacto-albumine diminuent les pertes à la cuisson et la teneur en humidité après passage dans la friture, mais entraîne une augmentation de l'absorption de matière grasse provenant du bain d'huile. Les produits fabriqués ont été testés et y compris l'acceptabilité par le consommateur qui diminue avec l'accroissement de lacto-albumine.

Le lactosérum modifié en poudre est efficace comme agent rehaussant l'arôme des aliments et comme agent liant ; il est considéré comme rehaussant d'arôme et émulsifiant dans les produits à base de viande hachée.

II.2.5. Utilisation dans les semi-conserves et dans les SOS

Le lactosérum acidifié par fermentation à 2,6% d'acide lactique peut être utilisé pour la fabrication de certaines semi-conserves et en particulier pour la préparation des concombres, de betterave, du radis et autres condiments. Les concombres et les haricots verts conservent la coloration qu'ils possèdent à l'état frais ainsi que leur goût.

II. 3. En boulangerie

Le lactosérum doux connaît un emploi croissant dans les produits de boulangerie de

fait de nombreuses avantages :

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

II .4. Utilisation dans la biotechnologie

Le lactosérum par sa composition biochimique en particulier le lactose qui est principalement utilisé comme source de carbone et d'énergie pour les milieux de fermentation par plusieurs microorganismes assimilant le lactose. Il s'agit des levures de boulangerie telles que *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida kefyr* et *Kluyveromyces fragilis*, cette dernière est cultivée sur le lactosérum doux déprotéiné et enrichi par des facteurs de croissance dont le but est de produire de la biomasse.

Le lactose est un disaccharide formé par le galactose et le glucose, sa conversion en éthanol (bioénergie) ne peut être effectuée que seulement par certaines levures appartenant aux genres *Saccharomyces* et *Kluyveromyces* ou des bactéries du genre *Zymomonas mobilis* qui sont capables de fermenter directement le lactose en éthanol. Le lactosérum peut aussi être utilisé comme milieu de culture pour les moisissures. *Penicillium camemberti* produit des protéases acides, neutres et alcalines sur ce milieu.

Ce sous-produit a été utilisé aussi comme milieu de base pour la production de la cellulase par *Aspergillus niger* et de l'alpha-amylase par *Rhizopus oryzae*.

II.4.1. Lactosérum : substrat de fermentation

Les fermentations sur substrat du lactosérum la plus intéressante et la plus étudiée ces dernières années est la fermentation par les levures qui seront ensuite utilisées comme aliment animale et humain.

Les levures : ce sont des sources de protéines et vitamines en France, il existe des procédés de fabrication de levure, on cite 2 procédés : procédé BEL et BEVOS.

a) Production de levures lactiques par le procédé BEL

Le procédé BEL de valorisation de lactosérum permet l'obtention de levures en continu et comprend 2 opérations, la première opération est l'extraction de protéines.

Extraction de protéines : le lactosérum traité immédiatement à la sortie de fromagerie et soumis à l'extraction de lacto-protéines. En effet, les protéines complexes ne sont pas assimilées par les levures, une séparation basée sur le phénomène de dénaturation par voie acide et thermique permet de récupérer 75% de matière protéique de lactosérum. La poudre est obtenue par séchage d'une pâte de lactoprotéine.

Valorisation de jus lactosé et déprotéiné par culture des levures

Le lactosérum déprotéiné constitue 95 à 98 % de volume de sérum traité et contient en outre la quasi-totalité de lactose, il est utilisé comme milieu nutritif pour cultiver de façon continue une quantité maximale de levure (*Saccharomyces fragilis*). La levure obtenue est séparée du milieu lavée, filtrée, plasmolysée et séchée (plasmolysé pour se débarrasser des lipases), le rendement est de 16 à 20 Kg de levures séchées par m³ de sérum.

b) Production des levures par le procédé DEVOS

Le procédé convient bien à la valorisation des lactosérums acides dont une fraction importante de lactose est dégradée en acide lactique.

La désacidification est assurée par la culture de levure de type *Saccharomyces*, ces levures consomment exclusivement l'acide lactique et constitue un enrichissement en protéines. La teneur en acide lactique baisse de 90% et la teneur en protéine augmente de 50%, le pH passe de 4,3 à 6,8 %. Le lactosérum levuré et pasteurisé, concentré sous vide et séché sur tour Spray.

II.4.2. Dans la production des vitamines et des enzymes

Plusieurs travaux ont été réalisés pour la production des vitamines et des enzymes, par le biais de micro-organismes, qui utilisent comme milieu de culture le lactosérum, à savoir :

- *Propionibacterium shermanii* : qui produit la vitamine B12 ;
- *Saccharomyces fragilis* : qui permet la production du lactose (bêta galactosidase).

II.5. Utilisation du lactosérum dans l'alimentation animale

Les applications les plus étudiées ont été l'alimentation des porcs, de cheptel laitier et des vœux. Des essais ont également été effectués sur les ovins et les volailles.

- Pour le bétail laitier

La consommation du lactosérum liquide par les vaches, en période de lactation diminue la consommation de foin et de céréales mais n'affecte pas la production laitière.

- Pour le veau

L'ultra filtrat du lactosérum à l'état liquide et bien toléré par le veau après sevrage. Il peut remplacer la totalité de l'eau de boisson, et apporter jusqu'à 30-35% de la matière ingérée chez les animaux pesant 100 à 110 kg. En outre le lactosérum peut être utilisé pour d'autres animaux : volailles ovins.

I. Préoccupations environnementales

L'industrie algérienne a connu un important développement tant par sa diversité que par sa capacité, mais le processus d'industrialisation s'est effectué dans des conditions qui n'ont pas respecté les préoccupations environnementales. Malgré l'existence de lois relatives à la protection de l'environnement, les projets industriels ont été réalisés sans études d'impacts.

Les opérateurs économiques ont privilégié les sites :

- faciles à aménager ;
- proches des lieux offrant un important potentiel de main d'œuvre ;
- a proximité des voies de communication ;
- disposant de toutes les commodités.

Dans le choix des procédés de fabrication, les critères de protection de l'environnement n'ont pas été essentiels. Dans ce contexte, l'impact environnemental résultant de l'activité industrielle apparaît alors préoccupant :

- rejets sans traitement ;
- pollution atmosphérique ;
- production de déchets industriels toxiques ou dangereux.

Les pollutions engendrées par le rejet d'eaux industrielles non traitées, les émissions de gaz et la production de déchets dangereux, dont la gestion n'a pas encore trouvé des solutions, posent de sérieux problèmes environnementaux. Les déchets sont généralement stockés in situ sur les lieux de production sans tenir compte des normes et réglementations en vigueur, qu'elles soient nationales ou internationales. Ce mode de stockage peut conduire à une contamination des eaux souterraines et à une pollution de l'air en l'absence de traitement des fumées. Les rejets d'eaux résiduelles industrielles fortement concentrées en produits toxiques dangereux tels que sels de métaux lourds, colorants, hydrocarbures, solvants chlorés et autres se font directement dans la nature (mer, oueds...).

Au vu de cette situation, une analyse approfondie a été menée, pour proposer une stratégie d'amélioration de la gestion des déchets industriels. La création en 2000 du ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement (MATE) a ouvert des perspectives nouvelles. Un vaste programme de renforcement institutionnel et juridique est en cours. Un

Rapport national sur l'état et l'avenir de l'environnement et le développement durable (RNE 2000) a été adopté par le conseil des ministres. Une Stratégie nationale de l'environnement (SNE) et un Plan national d'actions pour l'environnement et le développement durable (PNAE-DD) ont été préparés, dans une perspective décennale. Un plan d'actions prioritaire triennal a été défini. Le gouvernement a consenti d'importants investissements environnementaux dans le cadre du plan triennal de relance économique (2001-2004). La fiscalité environnementale a été introduite dans la loi de finances 2002.

II. Objectifs et perspectives

L'analyse des causes et des facteurs de la crise écologique démontrent clairement l'étendue et la gravité des problèmes liés à la gestion des déchets et de l'environnement en Algérie qui affectent la santé et la qualité de la vie de la population, la productivité et la durabilité du capital naturel, l'efficacité de l'utilisation des ressources et la compétitivité de l'économie en général et l'environnement régional et global. Aussi les objectifs environnementaux devraient consister à :

- **Améliorer la santé et la qualité de vie des citoyens**

- Améliorer l'accès aux services d'eau potable et de l'assainissement ;
- Diminuer les risques liés à la pollution d'origine industrielle ;
- Améliorer la qualité de l'air dans les grandes villes et aux abords des zones industrielles ;
- Diminuer la production des déchets et introduire leur gestion intégrée, tant au niveau institutionnel que financier ;
- Améliorer les cadres juridique, institutionnel et de gestion des déchets et de l'environnement.

- **Réduire les pertes économiques et améliorer la compétitivité**

- Rationaliser l'utilisation des ressources en eau ;
- Traiter les eaux résiduaires industrielles pour leur réutilisation dans le procédé de production ;
- Rationaliser l'utilisation des ressources énergétiques ;
- Rationaliser l'utilisation des matières premières dans l'industrie ;
- Minimiser la production des déchets toxiques et dangereux en minimisant les flux ;
- Valoriser les déchets par leur réutilisation comme matière première dans d'autres process de production ;

- Introduire et promouvoir les nouvelles technologies qui minimisent la production de déchets ;
- Améliorer la gestion environnementale, la maîtrise des coûts de production, l'image de marque et la valeur marchande des entreprises ;
- Transformer (éventuellement fermer) les entreprises industrielles les plus polluantes et les moins viables économiquement.