

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

Mémoire du Projet de fin d'étude  
2<sup>ème</sup> Année Master



Département: Génie des Procédés  
Spécialité : Génie chimique

=====

**Étude caractéristique du lait reconstitué  
partiellement écrémé de la laiterie AFIA  
(ANNABA) et calcul théorique de  $pK_a$  de l'acide  
lactique l'un des composés clés présents dans le lait**

=====

Présenté par :

SAIDIA Nouha

KHELAIFIA Ibtissem

Sous la Direction de :

*Dr. BELGUIDOUM Karima*

Juin 2024

## Résumé

---

### Résumé

Dans ce travail réalisé au sein de la laiterie AFIA Annaba, Nous avons présenté le suivi de production du lait pasteurisé partiellement écrémé. Pour certifier la conformité de ce dernier aux normes imposées, il est soumis à plusieurs analyses : organoleptiques, physico-chimiques et microbiologiques, de l'eau et du produit fini. Les résultats obtenus sont conformes aux normes exigées.

En revanche, l'utilisation de GAUSSIAN pour calculer les  $pK_a$  de l'acide lactique (un composé clé dans le domaine laitier) permet d'obtenir des estimations précises des forces acides de ses sites hydroxyle et carboxyle. Le groupe carboxyle présente une acidité nettement supérieure ( $pK_a$  plus faible) que le groupe hydroxyle. Ces valeurs sont importantes pour comprendre le comportement chimique et biologique de cet hydroxyacide, en particulier dans des environnements aqueux où l'acidité joue un rôle essentiel.

**Mots-clés :** *Le lait, contrôle de qualité, acide lactique,  $pK_a$ , paramètres physico-chimiques, analyses biologiques.*

## Abstract

---

### Abstract

In this work carried out within the AFIA Annaba dairy, we presented the monitoring of the production of partially skimmed pasteurized milk.

To certify the conformity of the latter with the imposed standards, it is subjected to several analyses: organoleptic, physicochemical and microbiological, of the water and of the finished product. The results obtained comply with the required standards.

On the other hand, using GAUSSIAN to calculate the  $pK_a$  of lactic acid (a key compound in dairy) provides accurate estimates of the acidic strengths of its hydroxyl and carboxyl sites. The carboxyl group has significantly higher acidity (lower  $pK_a$ ) than the hydroxyl group. These values are important for understanding the chemical and biological behavior of this hydroxy acid, particularly in aqueous environments where acidity plays an essential role.

**Keywords:** *Milk, quality control, lactic acid,  $pK_a$ , physicochemical parameters, biological analyses*

ملخص

في هذا العمل الذي تم تنفيذه داخل شركة ألبان عافية عنابة، قمنا بعرض متابعة و مراقبة إنتاج الحليب المبستر منزوع الدسم جزئياً. وللتحقق من مطابقة الأخير للمعايير المفروضة، فإنه يخضع لعدة تحليلات: حسية، فيزيائية وكيميائية، وميكروبيولوجية، للمياه والمنتج النهائي. النتائج التي تم الحصول عليها تتوافق مع المعايير المطلوبة. في المقابل، فإن استخدام GAUSSIAN لحساب  $pK_a$  لحمض اللاكتيك (مركب رئيسي في منتجات الألبان) و الذي يوفر تقديرات دقيقة للقوة الحمضية لمواقع الهيدروكسيل والكاربوكسيل. تحتوي مجموعة الكاربوكسيل على حموضة أعلى بكثير (أقل  $pK_a$  من مجموعة الهيدروكسيل. وتعتبر هذه القيم مهمة لفهم السلوك الكيميائي والبيولوجي لحمض الهيدروكسيل هذا، خاصة في البيئات المائية حيث تلعب الحموضة دوراً أساسياً.

**الكلمات المفتاحية:** الحليب، مراقبة الجودة، حامض اللاكتيك،  $pK_a$ ، المعايير الفيزيائية والكيميائية، التحليلات البيولوجية

## **Remerciements**

*Nos profonds remerciements au bon dieu qui a éclairé notre chemin et qui nous a donné la foi et le courage pour réaliser ce modeste travail. Nous tenons à remercier en premier lieu notre promotrice, Dr. **Belguidoum Karima**, pour son encadrement et ses orientations précieuses tout au long de ce projet. Sa disponibilité, ses conseils avisés et son expertise ont été des éléments déterminants dans la réalisation de ce travail.*

*Nos vifs remerciements vont à tout le personnel de la Laiterie AFIA (L'unité AFIA ELHADJER ANNABA) sans oublier le staff du laboratoire du control de qualité qui nous a suivi, fourni des renseignements et répondu à nos questions durant la période de notre stage.*

*Nos remerciements vont également à tous les membres du jury, qui nous ont fait l'honneur de juger ce travail.*

*Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants et le personnel de département de génie des procédés faculté ST de L'université 8 mai 45 qui nous ont beaucoup encouragé et soutenu tout au long du cycle d'étude.*

*Enfin, nos remerciements vont à tous nos amis et collègues*

## *Dédicaces*

*Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui quels que soient les termes embrassés je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.*

*À L'homme, mon précieux offre du Dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect, mon **cher père**.*

*À la femme qui souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences, qui a fait tout pour me rendre heureuse, mon **adorable mère**.*

*À la mémoire de ma sœur **KHAWLA** disparue trop tôt, je me dis que tu es partie en voyage et un jour je te rejoindrai. Je t'aime tu le sais, tu m'aime je le sais aussi, ma douleur ne doit pas t'empêcher d'être en paix, elle est juste le prix de mon amour pour toi.*

*Que le bon Dieu t'accepte dans leur vaste paradis.*

*À mon cher frère **SALAH EDDINE** et mon adorable sœur **AMEL** qui sont toujours à mes côtés pour me soutenir et m'encourager.*

*À Ma chère binôme **KHELAFIA IBTISSEM** et sa famille*

**NOUHA**

## *Dédicaces*

*Ce modeste travail est dédié à ceux qui, quels que soient les mots utilisés, je ne pourrais jamais leur exprimer mon amour sincère.*

*À mon cher père, mon précieux don de Dieu, qui a été à l'origine de ma vie, de mon succès et de tout mon respect.*

*À mon adorable mère, qui a enduré sans me laisser souffrir, qui a fait tout son possible pour me procurer du bonheur.*

*À celui que j'apprécie énormément et qui m'a apporté son soutien tout au long de ce projet, mon conjoint **OUSSAMA**.*

*À mes sœurs **LINA, HANA** et **WDJDANE** qui sont toujours à mes côtés pour me soutenir et m'encourager.*

*À mon fils, aucune dédicace ne peut valoir exprimer ma tendresse vis-à-vis de lui, car le fait de savoir qu'il est là me donner d'avantage le courage et la volonté de mener à bien ce travail. Que le bon Dieu le faire grandir dans la sagesse.*

*À la famille de mon mari, source de bonheur et de soutien infini.*

*À Ma chère binôme **SAIDIA NOUHA** et sa famille.*

***IBTISSEM***

## *SOMMAIRE*

### Sommaire

	<b>Page</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>I</b>
<b>Liste des photographies</b>	<b>II</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>III</b>
<b>Liste des abréviations</b>	<b>IV</b>
<b>Introduction générale</b>	<b>02</b>
<i>Chapitre I : Génialités sur le lait</i>	
<b>I.1. Définition</b>	<b>05</b>
<b>I.2. Le lait en Algérie</b>	<b>05</b>
<b>I.3. Constituants du lait</b>	<b>06</b>
<b>I.4. Synthèse du lait</b>	<b>08</b>
<b>I.4.1. Synthèse du lactose</b>	<b>08</b>
<b>I.4.2. Synthèse des protéines</b>	<b>08</b>
<b>I.4.3. Synthèse de la matière grasse</b>	<b>08</b>
<b>I.5. Les différents types du lait</b>	<b>09</b>
<b>I.5.1 Lait cru</b>	<b>09</b>
<b>I.5.2. Lait traité thermiquement</b>	<b>09</b>
<b>I.5.2.1. Lait pasteurisé</b>	<b>09</b>
<b>I.5.2.2. Lait stérilisé</b>	<b>09</b>
<b>I.5.2.2.1. Lait stérilisé</b>	<b>09</b>
<b>I.5.2.2.2. Lait stérilisé UHT</b>	<b>09</b>
<b>I.5.2.3. Lait concentré</b>	<b>10</b>
<b>I.5.2.4. Poudre de lait</b>	<b>10</b>
<b>I.6.1. Caractéristiques physico-chimiques</b>	<b>10</b>
<b>I.6.1.1. Masse volumique</b>	<b>11</b>
<b>I.6.1.2. Point de congélation</b>	<b>11</b>
<b>I.6.1.3. Point d'ébullition</b>	<b>11</b>
<b>I.6.1.4. Densité</b>	<b>11</b>
<b>I.6.1.5. Potentiel d'hydrogène (pH)</b>	<b>11</b>

<b>I.6.1.6. Acidité titrable</b>	<b>11</b>
<b>I.6.2. Caractéristiques organoleptiques</b>	<b>12</b>
<b>I.6.2.1. Couleur</b>	<b>12</b>
<b>I.6.2.2. Odeur</b>	<b>12</b>
<b>I.6.2.3. Saveur</b>	<b>12</b>
<b>I.6.3. Caractéristiques microbiologiques</b>	<b>13</b>
<b>I.6.3.1. Action de la flore du lait</b>	<b>14</b>
<b>I.6.3.1.1. Aspect sanitaire</b>	<b>14</b>
<b>I.6.3.1.2. Aspect qualitatif</b>	<b>14</b>
<b>I.7. Procédés de conservations du lait</b>	<b>14</b>
<b>I.7.1. Par le froid</b>	<b>14</b>
<b>I.7.2. Par la chaleur</b>	<b>15</b>
<b>I.8. Fermentation du lait</b>	<b>15</b>
<b>I.9. Présentation générale de l'acide lactique</b>	<b>16</b>
<b>I.9.1. Propriétés physico- chimiques de l'acide lactique</b>	<b>16</b>
<b>I.9.2. Utilisations de l'acide lactique</b>	<b>16</b>
<b>I.9.2.1. Dans l'industrie alimentaire</b>	<b>16</b>
<b>I.9.2.2. Dans les soins cosmétiques</b>	<b>17</b>
<b>I.9.2.3. Dans le domaine médical</b>	<b>17</b>
<b>I.9.2.4. Dans l'industrie</b>	<b>17</b>
<b><i>Chapitre II : Fabrication du lait pasteurisé</i></b>	
<b>II.1. Présentation de l'organisme d'accueil</b>	<b>20</b>
<b>II.1.1. Organisation de l'unité AFIA</b>	<b>20</b>
<b>II.1.2. Produits fabriqués par la laiterie</b>	<b>22</b>
<b>II.2. Procédé de fabrication du lait reconstitué</b>	<b>22</b>
<b>II.2.1. L'eau</b>	<b>22</b>
<b>II.2.2. Reconstitution</b>	<b>23</b>
<b>II.2.3. Inclusion de la poudre de lait</b>	<b>23</b>
<b>II.2.4. L'homogénéisation</b>	<b>24</b>
<b>II.2.5. Filtration</b>	<b>24</b>
<b>II.2.6. Pasteurisation</b>	<b>24</b>
<b>II.2.7. Refroidissement</b>	<b>25</b>

<b>II.2.8. Stockage</b>	<b>25</b>
<b>II.2.9. Conditionnement</b>	<b>26</b>
<b>II.2.10. Commercialisation</b>	<b>26</b>
<b>II.3. Nettoyage et désinfection</b>	<b>27</b>
<i>Chapitre III : Matériels et méthodes</i>	
<b>III.1 Partie expérimentale</b>	<b>31</b>
<b>III.1.1. Matériels</b>	<b>31</b>
<b>III.1.2. Réactifs</b>	<b>31</b>
<b>III.1.3. Traitement de l'eau destinée à la production du lait</b>	<b>32</b>
<b>III.1.3.1. Principe de fonctionnement de la station</b>	<b>32</b>
<b>III.1.3.1.1. Le forage</b>	<b>33</b>
<b>III.1.3.1.2. Le filtre à sable</b>	<b>33</b>
<b>III.1.3.1.3. Le filtre adoucisseur</b>	<b>33</b>
<b>III.1.3.1.4. Le filtre charbon</b>	<b>34</b>
<b>III.1.4. Analyses physico-chimiques de l'eau</b>	<b>34</b>
<b>III.1.4.1. Potentiel d'hydrogène pH</b>	<b>34</b>
<b>III.1.4.2. Dureté</b>	<b>34</b>
<b>III.1.4.3. Test d'alcalinité (TA et TAC)</b>	<b>35</b>
<b>III.1.4.4. Titre alcalimétrique (TA)</b>	<b>35</b>
<b>III.1.4.5. Titre alcalimétrique complet (TAC)</b>	<b>36</b>
<b>III.1.4.6. Dosage des ions chlorures (<math>Cl^-</math>)</b>	<b>36</b>
<b>III.1.5. Analyses microbiologiques de l'eau</b>	<b>36</b>
<b>III.1.5.1. Prélèvement des échantillons</b>	<b>37</b>
<b>III.1.5.2. Méthodes d'analyse</b>	<b>37</b>
<b>III.1.5.3. Principe de la culture bactérienne classique</b>	<b>37</b>
<b>III.1.6. Contrôle de qualité du lait de la laiterie AFIA</b>	<b>37</b>
<b>III.1.6.1. Procédé de fabrication du lait reconstitué</b>	<b>37</b>
<b>III.1.6.2. Analyses physico-chimiques du lait</b>	<b>38</b>
<b>III.1.6.2.1. Détermination de la densité et de la température</b>	<b>39</b>
<b>III.1.6.2.2. Mesure de pH</b>	<b>40</b>
<b>III.1.6.2.3. Détermination de l'acidité</b>	<b>41</b>
<b>III.1.6.2.4. Détermination de la matière grasse</b>	<b>42</b>

<b>III.1.6.2.5. Mesure de la teneur en matière sèche totale</b>	<b>45</b>
<b>III.1.6.2.6. Détermination de la matière sèche dégraissée</b>	<b>46</b>
<b>III.1.7. Analyses microbiologiques de lait</b>	<b>46</b>
<b>III.1.7.1. Analyse des germes aérobies mésophiles totaux</b>	<b>46</b>
<b>III.1.7.2. Enterbacteriaceae 37 °C</b>	<b>46</b>
<b>III.1.7.3. Analyse des salmonelles</b>	<b>47</b>
<b>III.1.8. Analyses organoleptiques</b>	<b>47</b>
<b>III.1.8.1. Tests sensoriels</b>	<b>48</b>
<b>III.2. Partie théorique</b>	<b>49</b>
<b>III.2.1. Détermination des <math>pK_a</math> de l'acide lactique</b>	<b>49</b>
<b>III.2.1.1. Cycle des réactions en phase gazeuse et en phase aqueuse</b>	<b>49</b>
<b>III.2.2. Méthode de calcul</b>	<b>49</b>
<b>III.2.2.1. La théorie de la fonctionnelle de la densité</b>	<b>50</b>
<b>III.2.2.2. Le logiciel GAUSSIAN</b>	<b>50</b>
<b>III.2.3. Formules pour la détermination des <math>pK_a</math></b>	<b>50</b>
<i>Chapitre IV : Résultats et discussions</i>	
<b>IV.1. Partie expérimentale</b>	<b>53</b>
<b>IV.1.1. Analyse de l'eau destinée à la fabrication du lait</b>	<b>53</b>
<b>IV.1.1.1. Analyses physicochimiques de l'eau</b>	<b>53</b>
<b>IV.1.1.2. Analyse microbiologique de l'eau</b>	<b>54</b>
<b>IV.1.2. Analyses du lait pasteurisé partiellement écrémé</b>	<b>54</b>
<b>IV.1.2.1. Analyses physicochimiques du lait reconstitué</b>	<b>55</b>
<b>IV.1.2.1.1. Détermination de Ph</b>	<b>55</b>
<b>IV.1.2.1.2. Détermination de la densité</b>	<b>56</b>
<b>IV.1.2.1.3 Détermination de l'acidité titrable</b>	<b>58</b>
<b>IV.1.2.1.4 Détermination de la matière grasse</b>	<b>59</b>
<b>IV.1.2.1.5 Détermination de l'EST</b>	<b>61</b>
<b>IV.1.2.1.6 Détermination du taux d'ESD</b>	<b>62</b>
<b>IV.1.2.2. Analyses microbiologiques du lait pasteurisé partiellement écrémé</b>	<b>64</b>
<b>IV.1.3. Qualité organoleptique du lait</b>	<b>64</b>
<b>IV.2. Partie théorique</b>	<b>65</b>

<b>IV.2.1. Molécule de l'acide lactique</b>	<b>65</b>
<b>VI.2.2. Calcul des <math>pK_a</math> de l'acide lactique (LA)</b>	<b>66</b>
<b>Conclusion générale</b>	<b>70</b>
<b>Références</b>	<b>73</b>

# *Liste des figures*

<i>Numéro de figure</i>	<i>Titre de figure</i>	<i>Page</i>
<b><i>Chapitre I</i></b>		
<b><i>Figure I.1</i></b>	<b><i>Synthèse du lactose.</i></b>	<b>08</b>
<b><i>Figure I.2</i></b>	<b><i>Structure d'un globule de matière grasse.</i></b>	<b>09</b>
<b><i>Chapitre II</i></b>		
<b><i>Figure II.1</i></b>	<b><i>L'organigramme d'unité AFIA.</i></b>	<b>21</b>
<b><i>Chapitre III</i></b>		
<b><i>Figure III.1</i></b>	<b><i>Étapes de production du lait pasteurisé partiellement écrémé.</i></b>	<b>38</b>
<b><i>Figure III.2</i></b>	<b><i>Schéma d'un cycle représentant les réactions d'une molécule en phase gazeuse et en phase aqueuse.</i></b>	<b>49</b>
<b><i>Chapitre IV</i></b>		
<b><i>Figure IV.1</i></b>	<b><i>Représentation de pH du produit fini.</i></b>	<b>56</b>
<b><i>Figure IV.2</i></b>	<b><i>Représentation de la densité des sept échantillons.</i></b>	<b>57</b>
<b><i>Figure IV.3</i></b>	<b><i>Représentation de l'acidité.</i></b>	<b>59</b>
<b><i>Figure IV.4</i></b>	<b><i>Représentation de la matière grasse dans les sept échantillons analysés.</i></b>	<b>60</b>
<b><i>Figure IV.5</i></b>	<b><i>Représentation de l'extrait sec total des échantillons du lait étudié.</i></b>	<b>62</b>
<b><i>Figure IV.6</i></b>	<b><i>Représentation de l'extrait sec dégraissé de divers échantillons.</i></b>	<b>63</b>
<b><i>Figure IV.7</i></b>	<b><i>Molécule de l'acide lactique avec numérotation.</i></b>	<b>66</b>
<b><i>Figure IV.8</i></b>	<b><i>Molécule de l'acide lactique optimisée.</i></b>	<b>66</b>

# *Liste des Photographies*

<i>Numéro de photographie</i>	<i>Titre de photographie</i>	<i>Page</i>
<i>Chapitre I</i>		
<i>Photographie I.1</i>	<i>Le lait en Algérie.</i>	<i>06</i>
<i>Chapitre II</i>		
<i>Photographie II.1</i>	<i>Situation géographique de l'unité AFIA.</i>	<i>20</i>
<i>Photographie II.2</i>	<i>Produits d'unité AFIA.</i>	<i>22</i>
<i>Photographie II.3</i>	<i>Un triblender.</i>	<i>23</i>
<i>Photographie II.4</i>	<i>Poudre du lait.</i>	<i>24</i>
<i>Photographie II.5</i>	<i>Pasteurisateur.</i>	<i>25</i>
<i>Photographie II.6</i>	<i>Les tanks (Réservoirs de lait).</i>	<i>25</i>
<i>Photographie II.7</i>	<i>La machine de Conditionnement.</i>	<i>25</i>
<i>Photographie II.8</i>	<i>Transport de lait.</i>	<i>26</i>
<i>Photographie II.9</i>	<i>Processus de nettoyage.</i>	<i>26</i>
<i>Chapitre III</i>		
<i>Photographie III.1</i>	<i>La station d'eau</i>	<i>32</i>
<i>Photographie III.2</i>	<i>Tablettes de sel pour le traitement de l'eau.</i>	<i>33</i>
<i>Photographie III.3</i>	<i>Lacto-thermo-densimètre.</i>	<i>39</i>
<i>Photographie III.4</i>	<i>Mesure de la densité et la température par lacto-thermo-densimètre.</i>	<i>40</i>
<i>Photographie III.5</i>	<i>Mesure de PH.</i>	<i>41</i>
<i>Photographie III.6</i>	<i>Acidimètre.</i>	<i>41</i>
<i>Photographie III.7</i>	<i>Le procédé de titrage.</i>	<i>42</i>
<i>Photographie III.8</i>	<i>Butyromètre de GERBER.</i>	<i>43</i>
<i>Photographie III.9</i>	<i>Méthode de mesure de la matière grasse.</i>	<i>44</i>
<i>Photographie III.10</i>	<i>Matière grasse.</i>	<i>44</i>
<i>Photographie III.11</i>	<i>Instrument de mesure de la matière sèche totale (EST).</i>	<i>45</i>
<i>Photographie III.12</i>	<i>Mesure de matière sèche totale.</i>	<i>45</i>

# *Liste des Tableaux*

<i>Numéro de tableaux</i>	<i>Titre de tableaux</i>	<i>Page</i>
<b>Chapitre I</b>		
<i>Tableau I.1</i>	<i>Composition moyenne du lait entier.</i>	<i>07</i>
<i>Tableau I.1</i>	<i>Composition moyenne en du lait de vache, brebis chèvre.</i>	<i>07</i>
<i>Tableau I.1</i>	<i>Principales caractéristiques du lait entier (vache).</i>	<i>12</i>
<b>Chapitre II</b>		
<i>Tableau II.1</i>	<i>Les étapes de nettoyage de la chaîne de production du lait.</i>	<i>28</i>
<b>Chapitre IV</b>		
<i>Tableau IV.1</i>	<i>Résultats des analyses physicochimiques de l'eau.</i>	<i>53</i>
<i>Tableau IV.2</i>	<i>Résultats des analyses microbiologique de l'eau.</i>	<i>54</i>
<i>Tableau IV.3</i>	<i>Résultats de mesure de pH pour les échantillons analysés.</i>	<i>56</i>
<i>Tableau IV.4</i>	<i>Résultats de mesure de la densité pour les échantillons analysés.</i>	<i>57</i>
<i>Tableau IV.5</i>	<i>Résultats de mesure de l'acidité des divers échantillons du produit fini.</i>	<i>58</i>
<i>Tableau IV.6</i>	<i>Teneur en matière grasse des échantillons analysés.</i>	<i>60</i>
<i>Tableau IV.7</i>	<i>L'extrait sec total "EST" des échantillons analysés.</i>	<i>61</i>
<i>Tableau IV.8</i>	<i>L'extrait sec dégraissé (ESD) des échantillons analysés.</i>	<i>63</i>
<i>Tableau IV.9</i>	<i>Analyses microbiologiques du lait pasteurisé partiellement écrémé.</i>	<i>64</i>
<i>Tableau IV.10</i>	<i>Qualité organoleptique du lait.</i>	<i>65</i>
<i>Tableau IV.11</i>	<i>Valeurs des énergies de Gibbs des OH.</i>	<i>66</i>
<i>Tableau IV.12</i>	<i>Les variations des énergies de Gibbs et <math>pK_{as}</math> des OH.</i>	<i>67</i>

# *Liste des abréviations*

### *Liste des abréviations*

PNNS	Programme national nutrition santé
UDP-Gal	Uridine- diphosphogalactose
MFGM	Membrane du globule gras du lait
DA	Dinar algérien
Kcal	Kilocalorie
UHT	Upérisation à haute température
$\rho$	Masse volumique
pH	Potentiel hydrogène
°C	Degré Celsius
°D	Dornic
°f	Degré français
NaCl	Chlorure de sodium
E270	Acide lactique
SARL	Société à responsabilité limitée
OMS	Organisation mondiale de la santé
$\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$	Acide lactique
$\text{CH}_3\text{CHOHCOO}^-$	Ion lactate
EDTA	Acide éthylènediaminetétraacétique
$\text{K}_2\text{CrO}_4$	Chromate de potassium

NET	Noire d'Eriochrome T
TA	Titre alcalimétrique
TAC	Titre alcalimétrique complet
MG	Matière grasse
EST	Extrait sec total
TMG	Teneur en matière grasse.
ESD	Extrait sec dégraissé
Ca <sup>2+</sup>	Ion calcium
Na <sup>+</sup>	Ion sodium
N	Normalité
AgNO <sub>3</sub>	Nitrate d'argent
UFC	Unités formant colonies
VRBG	Violet Red Bile Glucose
$pK_a$	Potentiel de la constante d'acidité
$K_a$	Constante d'acidité
H <sub>2</sub> O	Molécule d'eau
H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	Ion hydronium
Log	Logarithme
$\Delta G_s$	Les variations des énergies de Gibbs en solution
$\Delta G_g$	Les variations des énergies de Gibbs dans le vide
G <sub>g</sub>	Energies de Gibbs dans le vide(ga

$G_l$	Energies de Gibbs dans l'eau
meq	Milliéquivalent
g	Gramme
ml	Millilitre
h	Heure
DFT	Théorie de la fonctionnelle de la densité
TH	Dureté
LPPE	Lait pasteurisé partiellement écrémé
E	Echantillon
LA	Acide lactique
H <sup>+</sup>	Ion hydrogène
Abs	Absence
u.a.	Unité atomique, également appelée Hartree (Ha).
AH	Acide parent (neutre)
A-	Acide anion
OH	Hydroxyle
AL (1-O <sup>-</sup> )	anion de l'acide lactique sur le site 1 (lactate)
AL (2-O <sup>-</sup> )	anion de l'acide lactique sur le site 2

# ***Introduction générale***

### Introduction générale

Le lait est un aliment indispensable largement consommé, reconnu pour sa richesse nutritionnelle et ses nombreux bienfaits pour la santé. Provenant principalement de mammifères domestiques tels que les vaches, les chèvres et les brebis, le lait constitue une source importante de nutriments essentiels, y compris des protéines, des vitamines, des minéraux et des graisses.

L'Algérie est le premier consommateur laitier du Maghreb. Malgré une production locale significative, il reste un important importateur de lait en poudre pour répondre à la demande nationale croissante.

Le lait reconstitué est un produit obtenu en ajoutant de l'eau à la poudre de lait dans les proportions nécessaires pour rétablir le rapport spécifié eau/lait. Ce processus est largement utilisé dans notre pays car le lait frais n'est pas très abondant. Des mesures sont prises pour renforcer le contrôle de l'utilisation du lait en poudre dans le secteur laitier afin de détecter et prévenir les fraudes liées au lait reconstitué.

L'acide lactique est un composé organique important dans le domaine du lait et des produits laitiers. Il joue un rôle multifonctionnel dans ce domaine. Celui-ci joue un rôle primordial dans la fermentation, influence la texture et la saveur, constitue un indicateur de qualité et de fraîcheur, et présente des avantages nutritionnels pour la santé. Dans l'industrie laitière, le contrôle de la production d'acide lactique est essentiel pour garantir la qualité et la sécurité des produits laitiers fermentés.

Ce travail consiste à contrôler la qualité du lait pasteurisé partiellement écrémé objet de notre étude, en effectuant des analyses physico-chimiques en l'occurrence : L'acidité, le potentiel hydrogène (pH), l'extrait sec total (l'EST), l'Extrait sec dégraissé (l'ESD), et la densité, réalisées de façon permanente et les comparer aux normes nationales et internationales avant de procéder à la distribution et la commercialisation du produit fini. Également des analyses microbiologiques tel que la recherche des pathogènes comme les salmonelles ont été effectuées. Par ailleurs une estimation théorique de la force de l'acide lactique par calcul des  $pK_a$  de ses deux sites OH a été faite en utilisant le logiciel GAUSSIAN.

Ce mémoire est divisé en quatre chapitres, organisés de la manière suivante :

- Le premier chapitre présente des généralités sur le lait.
- Le second chapitre présente la laiterie AFIA d'ANNABA où a été réalisé notre stage de fin d'étude, avec le suivi de la production du lait pasteurisé partiellement écrémé.
- Le troisième chapitre est consacré à la présentation de la méthodologie et du matériel utilisés aux différents analyses et contrôles réalisés au sein du laboratoire de la laiterie AFIA.
- Le quatrième chapitre regroupe l'ensemble des résultats obtenus au cours de notre stage ainsi que leurs interprétations. Enfin, une conclusion générale achèvera ce travail.

***Chapitre I***  
***Généralités sur le lait***

## **Introduction**

Ce chapitre consistera en une revue de la littérature concernant le lait ; un aliment essentiel, riche en nutriments, en évoquant les points suivants : sa définition ses origines, ainsi que ses caractéristiques physico-chimiques et sa composition, en mettant l'accent sur l'acide lactique en tant qu'acide essentiel du lait.

### **I.1. Définition**

Le lait est un produit de sécrétion des glandes mammaires des mammifères femelles après la naissance du jeune. Il est la seule source de nutriments pour les jeunes mammifères au tout début de leur vie avant qu'ils puissent digérer d'autres types d'aliments. Selon le Congrès International de la Répression des Fraudes (GENEVE 1908), la dénomination LAIT désigne "le produit intégral de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée. Il doit être recueilli proprement et ne doit pas contenir de colostrum". Généralement, lait tout court indique le lait de vache qui n'a subi ni addition, ni soustraction. C'est le mieux connu et c'est toujours l'élément de référence. Le lait partiellement écrémé le plus consommé dans notre pays est un lait dont une partie de la matière grasse a été retirée, le plaçant entre le lait entier et le lait écrémé en termes de teneur en lipides, tout en préservant ses qualités nutritionnelles [1].

### **I.2. Le lait en Algérie**

Le lait est un aliment de base très consommé en Algérie, cependant le pays rencontre des pénuries récurrentes d'approvisionnement. La production locale ne couvre qu'une faible partie de la demande, estimée à environ 6 milliards de litres par an, et l'Algérie doit donc importer une grande quantité de lait en poudre, de fromages et de produits laitiers. Les raisons de ces pénuries sont multiples : le prix du lait pasteurisé en sachet est bloqué depuis des années à un niveau très bas (25 DA/litre), ce qui décourage la production locale. En outre, les efforts du gouvernement pour développer la filière laitière, notamment en augmentant le cheptel et en améliorant la productivité, peinent encore à porter leurs fruits. Face à cette situation, l'Algérie cherche des solutions, comme un récent accord avec le Qatar pour importer du lait cru et développer sa production locale dans le but de réduire la dépendance aux importations et d'assurer un meilleur approvisionnement du marché intérieur.



*Photographie I.1. : Le lait en Algérie.*

### **I.3. Constituants du lait**

Le lait est une source riche en nutriments essentiels tels que le calcium, le phosphore, le potassium, le magnésium, le zinc, le sélénium, l'iode, les vitamines du groupe B, le bêta-carotène, et les vitamines A et D. Le lait est reconnu comme un aliment complet, fournissant une variété de nutriments nécessaires au bon fonctionnement de l'organisme, ce qui en fait un aliment recommandé pour tous les âges de la vie selon le PNNS.

La composition chimique du lait varie en fonction de la race de la vache considérée, de son âge et de son alimentation.

Un litre de lait de vache pèse 1032 g avec une valeur calorique de 700 à 730 Kcal/l de l'extrait sec (glucide, protéines, matière grasse, sel minéraux...). Il est considéré comme une émulsion de matière grasse dans une solution aqueuse comprenant de nombreux éléments dont les uns sont à l'état dissous et les autres sous la forme colloïdale [2].

La composition moyenne du lait entier est représentée dans le tableau (I.1).

**Tableau I.1. : Composition moyenne du lait entier [2].**

<i>Composants</i>	<i>Vache</i>	<i>Brebis</i>	<i>Chèvre</i>
<b>Protéines</b>	3,4	2,9	5,5
<b>Caséines</b>	2,8	2,5	4,6
<b>Lipides</b>	3,7	4,5	7,4
<b>Lactose</b>	4,6	4,1	4,8
<b>Minéraux</b>	0,7	0,8	1,0

La composition du lait varie légèrement en fonction des espèces animales. La composition moyenne du lait de vache, de brebis et de chèvre est récapitulée ci-après :

**Tableau I.2. : Composition moyenne en % du lait de vache, brebis et chèvre [2].**

<i>Composants</i>	<i>Teneurs (g/100g)</i>
Eau	89,5
Dérivés azotes	3,44
Protéines	3,27
Caséine	2,71
Protéines soluble	0,56
Azote non protéique	0,17
Matières grasses	3,5
Lipides neutres	3,4
Lipides complexe	<0,05
Composés liposolubles	<0,05
Glucides	4,8
Lactose	4,7
Gaz dissous	5% de volume du lait

## I.4. Synthèse du lait

La synthèse du lait dans la glande mammaire est un processus complexe qui implique plusieurs étapes enzymatiques :

### I.4.1. Synthèse du lactose

La formation du lactose nécessite l'UDP-Gal formée par les cellules sécrétrices de la glande mammaire à partir du glucose grâce aux diverses réactions enzymatiques. Le lactose est synthétisé grâce à deux protéines, une galactosyltransférase et l' $\alpha$  lactalbumine. L'ensemble de ces deux protéines forme le complexe enzymatique appelé "lactose synthétase", responsable de la synthèse du lactose dans le lait.

La synthèse du lactose est illustrée par la figure suivante :

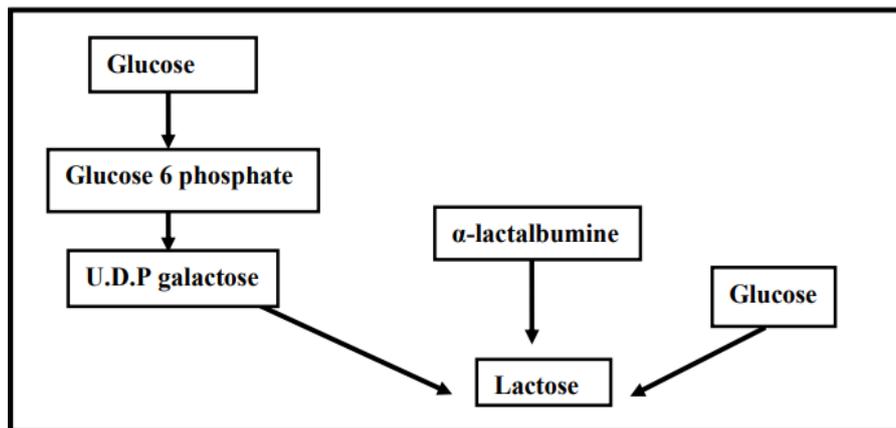


Figure I.1 : Synthèse du lactose [3].

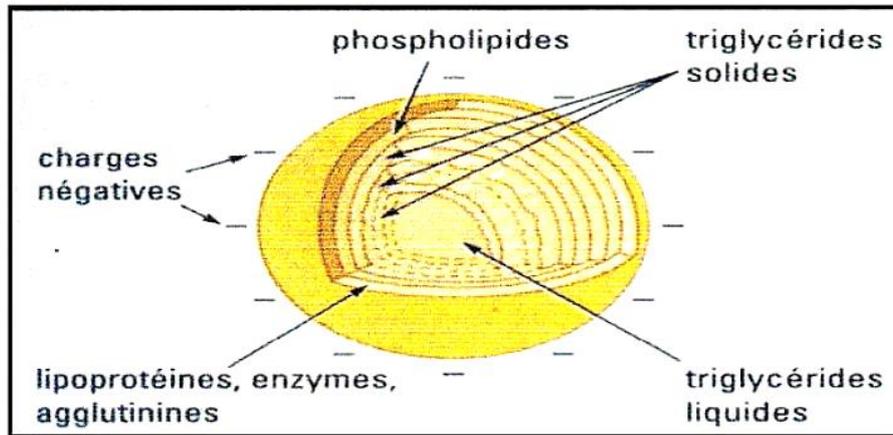
### I.4.2. Synthèse des protéines

Les protéines spécifiques du lait proviennent des acides aminés du sang, tandis qu'une partie est synthétisée dans la glande mammaire à partir d'autres acides aminés banals tels que l'arginine, l'ornithine, d'acides gras ou de glucose. En revanche, les protéines non spécifiques du lait, comme les immunoglobulines et les sérum albumines, proviennent du sang par simple filtration.

### I.4.3. Synthèse de la matière grasse

La matière grasse est présente dans le lait sous forme des petits globules sphériques qui sont invisibles à l'œil nu suspendus dans l'eau. Ces globules gras sont hétérogènes ; ils sont essentiellement constitués d'une microgoutte de triglycérides (98 %), partiellement

cristallisés à température ambiante, entourée d'une fine membrane communément appelée la MFGM. Cette enveloppe protectrice est un assemblage complexe de protéines, de phospholipides, de lipoprotéines, d'enzymes...etc (Fig.I.3.) [3].



*Figure I.2 : Structure d'un globule de matière grasse [3].*

## I.5. Les différents types du lait

### I.5.1 Lait cru

Lait n'ayant subi aucun traitement, donc sa production et sa consommation doivent être sévèrement contrôlées.

### I.5.2. Lait traité thermiquement

#### I.5.2.1. Lait pasteurisé

Lait ayant subi un traitement thermique pour détruire les germes pathogènes.

#### I.5.2.2. Lait stérilisé

Selon le procédé de stérilisation, on distingue le lait stérilisé et le lait stérilisé UHT. Ces laits doivent être stables jusqu'à la date limite de consommation.

##### I.5.2.2.1. Lait stérilisé

C'est un lait conditionné stérilisé après conditionnement dans un récipient hermétiquement clos, étanche aux liquides et aux microorganismes par la chaleur, laquelle doit détruire les enzymes les microorganismes pathogènes.

La stérilisation est réalisée à une température élevée entre (100 et 120 °C) pendant une vingtaine de minutes, il peut se conserver très longtemps à température ambiante

##### I.5.2.2.2. Lait stérilisé UHT

C'est un lait traité par la chaleur, qui doit détruire les enzymes, les microorganismes pathogènes, et conditionné ensuite aseptiquement dans un récipient stérile, hermétiquement

clos, étanche aux liquides et aux microorganismes. Le traitement thermique peut être soit direct (injection de vapeur d'eau), soit indirect. Il est réalisé à une température très élevée entre 135- et 150 °C pendant 25 secondes environ.

### **I.5.2.3. Lait concentré**

C'est un lait obtenu par évaporation sous vide. Il est stérilisé en boîte métallique à l'autoclave. La stabilisation du lait peut être assurée par réduction de l'activité de l'eau, on y parvient par élimination partielle de l'eau [4].

Il y a deux catégories de lait concentré :

- Lait concentré sucré : C'est un lait entier sélectionné, pasteurisé, additionné de saccharose et concentré sous vide.
- Lait concentré non sucré : C'est un lait peu concentré, un peu plus de la moitié sans addition de sucre, homogénéisé et stérilisé.

### **I.5.2.4. Poudre de lait**

C'est un produit obtenu par déshydratation (dessiccation) du lait liquide. Cette déshydratation peut être réalisée de différentes manières, et le lait sec conserve les mêmes qualités nutritionnelles que le lait liquide, incluant les protéines, les minéraux et le calcium. Le lait en poudre peut être entier, demi-écrémé ou écrémé.

- Lait entier en poudre : contient 26-40 % de matières grasses
- Lait écrémé en poudre : contient moins de 1,5 % de matières grasses et au moins 34 % de protéines.
- Lait en poudre demi-écrémé : est un type de lait standardisé par l'industrie laitière dont le taux de matières grasses est ajusté entre 1,5 et 1,8 % en poids. Il se situe entre le lait écrémé et le lait entier en termes de teneur en matières grasses.

La poudre en lait se conserve beaucoup plus longtemps que le lait liquide, jusqu'à un an non ouvert et un mois après ouverture à température ambiante [2].

## **I.6. Caractéristiques du lait**

### **I.6.1. Caractéristiques physico-chimiques**

Les caractéristiques physico-chimiques du lait sont essentielles pour définir sa qualité et sa sécurité alimentaire. Voici quelques-unes des caractéristiques physico-chimiques du lait :

**I.6.1.1. Masse volumique**

La masse volumique d'un liquide est définie par le quotient de la masse d'une certaine quantité de ce liquide, divisée par son volume. Elle est habituellement notée  $\rho$  et s'exprime en  $\text{Kg.m}^{-3}$  dans le système métrique.

**I.6.1.2. Point de congélation**

Le point de congélation du lait est légèrement inférieur à celui de l'eau pure puisque la présence de solides solubilisés abaisse le point de congélation. Cette propriété physique est mesurée pour déterminer s'il y a addition d'eau au lait.

**I.6.1.3. Point d'ébullition**

Le point d'ébullition définit comme la température atteinte lorsque la pression de vapeur de la substance ou de la solution est égale à la pression appliquée. Ainsi comme pour le point de congélation, le point d'ébullition subit l'influence de la présence des solides solubilisés. Il est légèrement supérieur au point d'ébullition de l'eau, soit  $100,5^{\circ}\text{C}$ .

**I.6.1.4. Densité**

La densité du lait est comprise entre 1030-1033 à une température de  $20^{\circ}\text{C}$ . Un lait d'une faible densité est pauvre en matières sèches et contient une quantité élevée en matière grasse.

**I.6.1.5. pH**

Le pH renseigne sur l'état de fraîcheur du lait, plus particulièrement en ce qui concerne sa stabilité. À l'état frais et normal, le pH est compris entre 6,60 et 6,80. Si le pH est inférieur à 6,5 le lait devient acide.

**I.6.1.6. Acidité titrable**

Bien que le lait soit considéré comme neutre avec un pH proche de 7, l'acidité titrable du lait est mesurée en pourcentage d'acide lactique. L'acidité titrable est relativement constante et son augmentation est un indice du lait anormal. Elle est exprimée en degrés ( $^{\circ}\text{D}$ ) et par convention, elle est donnée en grammes d'acide lactique par litre de lait [5].

Le tableau ci-dessous regroupe les principales propriétés physico-chimiques du lait.

**Tableau I.3. : Principales caractéristiques du lait entier (vache) [6].**

<i>Caractéristique</i>	<i>Valeur</i>
<b>Densité</b>	1,032 à 20 °C
<b>Viscosité</b>	De 15 à 16 (centpoises) à 20 °C
<b>pH</b>	6,6 et 6,8
<b>Point d'ébullition</b>	100,5 °C
<b>Point de congélation</b>	- 0,530 °C à -0,575 °C
<b>Acidité titrable</b>	13 à 17 (°D)

### **I.6.2. Caractéristiques organoleptiques**

La qualité organoleptique d'un produit se dégrade au fil du temps, la durée de stockage, la température et leur action combinée affectent considérablement les attributs sensoriels totaux. Un lait de bonne qualité organoleptique présente des caractéristiques typiques qui concernent la couleur, l'odeur, la saveur, etc.

#### **I.6.2.1. Couleur**

L'opacité du lait est due à sa teneur en particules suspendues de matières grasses, de protéines et de certains minéraux, la couleur varie du blanc au jaune en fonction de la coloration (teneur en carotène) de la matière grasse.

#### **I.6.2.2. Odeur**

La présence de la matière grasse dans le lait lui confère une odeur caractéristique, Au cours de sa conservation, le lait est caractérisé par une odeur aigre due à l'acidification par l'acide lactique.

#### **I.6.2.3. Saveur**

Il est difficile de définir cette caractéristique du lait normal car elle provient de l'association d'éléments diversement appréciés selon l'observateur. En effet, on distingue la saveur douce du lactose, la saveur salée du NaCl, la saveur particulière de lécithines qui

s'équilibre et qui est atténuée par la masse des protéines [5].

### I.6.3. Caractéristiques microbiologiques

Le lait, même provenant d'une traite effectuée dans des conditions de propreté et d'hygiène normale renferme de nombreux germes dont le développement rapide est assuré par sa température à la sortie de la mamelle (35°C) ainsi que par sa richesse en eau et en glucides.

Les microorganismes du lait sont répartis selon leur importance en deux grandes classes : la flore indigène ou originale et la flore de contamination, cette dernière est subdivisée en deux classes : la flore d'altération et la flore pathogène.

#### a) Flore indigène

Le lait contient peu de microorganismes lorsqu'il est prélevé dans des bonnes conditions à partir d'un animal sain (moins de 10<sup>3</sup> germes/ml) [4]. Cette flore se définit comme l'ensemble des microorganismes qui se retrouvent dans le lait à la sortie du pis, il devrait contenir moins de 5000 UFC/ml, les principales flores sont *Micrococcus* 30-90 %, *Lactobacillus* 10-30 %.

#### b) Flore de contamination

La flore de contamination est l'ensemble des microorganismes dans le lait de la récolte jusqu'à la consommation. Elle se compose d'une flore d'altération et d'une flore pathogène.

##### • Flore d'altération

La flore d'altération du lait fait référence aux micro-organismes responsables de la détérioration de la qualité du lait, en affectant ses propriétés organoleptiques, nutritives et de sécurité. Ces micro-organismes comprennent principalement des bactéries, des levures et des moisissures.

##### • Flore pathogène

Parmi les bactéries pathogènes pouvant être retrouvées dans le lait, certaines ont peu de chance de se développer (*Bacilles de kich*, *Compylobacter foetus*, *Salmonella*). D'autres peuvent se multiplier, c'est le cas des bactéries mésophiles, *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus* [6].

### **I.6.3.1. Action de la flore du lait**

#### **I.6.3.1.1. Aspect sanitaire**

Des germes pathogènes peuvent être responsables des maladies ou intoxications graves généralement limitées par la surveillance vétérinaire des animaux producteurs. Les fièvres thyroïdes ou para thyroïdes peuvent être provoquées par les entéropathogènes salmonella, des toxi-infections ou intoxication par les staphylocoques, le cas de dysenterie par shigelle, d'intoxication par les Escherichia Coli... etc. Le danger potentiel étant considérable, les traitements appliqués au lait seront calculés de façon à éliminer tout risque.

#### **I.6.3.1.2. Aspect qualitatif**

De nombreux micro-organismes peuvent se développer abondamment dans le lait entraînant par leur action des modifications de texture et de goût, Ces altérations vont dépendre des conditions de stockage du lait (aération, température) et des traitements qu'il subit [7].

### **I.7. Procédés de conservations du lait**

#### **I.7.1. Par le froid**

Actuellement, le froid est un moyen très pratique pour conserver les aliments, tout en préservant leurs qualités nutritionnelles et organoleptiques.

##### **A-Réfrigération**

La réfrigération est une technique de semi conservation, qui consiste à placer les denrées dans une enceinte maintenue vers +5 °C. Cette température freine les développements des germes mésophiles, par contre le traitement est sans effet sur les psychrophiles, qui se développent à la température de réfrigération.

##### **B - Congélation**

Est un procédé physique, qui a pour but la conservation prolongée par le froid. Les produits alimentaires sont conservés à -40 °C, il est très important que le lait destiné à être conservé par le froid soit de bonne qualité hygiénique. Le but d'emploi de froid est souvent d'inhiber, retarder ou arrêter d'une part les réactions enzymatiques dans le produit alimentaire et d'autre part la croissance des microorganismes [3].

### **I.7.2. Par la chaleur**

Contrairement à l'action du froid. La chaleur permet de détruire les microbes et non d'inhiber simplement leur développement. D'autre part, elle vise à détruire les enzymes qui peuvent impliquer la détérioration du lait. Ce qui permet l'amélioration de la qualité du lait.

#### **A - La pasteurisation**

Le processus de pasteurisation consiste à chauffer l'aliment jusqu'à une température spécifique, souvent inférieure à 100 °C, afin de détruire certains micro-organismes présents dans un produit., elle est employée pour les aliments qui nécessitent uniquement la destruction des germes pathogènes ou toxigènes.

#### **B - La stérilisation**

La stérilisation consiste à chauffer le produit alimentaire à une température supérieure à 100 °C afin de détruire complètement les micro-organismes et les spores présents dans celui-ci, garantissant ainsi une conservation prolongée. C'est pourquoi le processus de « stérilisation » a pour objectif, en pratique, d'assurer une stabilité pendant une période prolongée de conservation [8].

### **I.8. Fermentation du lait**

La fermentation du lait est un processus biologique essentiel dans la fabrication de produits laitiers tels que le yaourt et le fromage. Ce processus implique la transformation du lactose, le sucre du lait, en acide lactique par des bactéries lactiques. L'acide lactique produit entraîne une acidification du lait, provoquant la coagulation des protéines du lait et modifiant sa texture et sa saveur. Pour fabriquer du yaourt, par exemple, il est nécessaire d'ensemencer du lait avec des bactéries lactiques telles que *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*. Ces bactéries transforment le lactose en acide lactique, contribuant ainsi à la texture et au goût caractéristiques du yaourt. La fermentation lactique est une étape clé dans la production de produits laitiers, offrant de nouvelles propriétés aux aliments, une meilleure conservation, et des bienfaits pour la santé grâce aux bactéries probiotiques impliquées dans le processus [9].

## I.9. Présentation générale de l'acide lactique

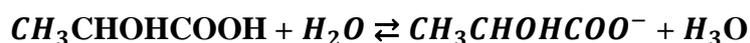
L'acide lactique est un composé organique présent naturellement dans le lait aigre, Il a été isolé pour la première fois du lait aigri en 1780 par le chimiste suédois Karl Wilhelm Scheele.

### I.9.1. Propriétés physico- chimiques de l'acide lactique

Les acides lactiques sont des acides  $\alpha$ -hydroxylés, de formule brute  $C_3H_6O_3$ . Leur structure se reflète dans leur nom systématique : acide 2-hydroxypropanoïque.

- ✓ L'acide A-hydroxypropionique peut se présenter sous deux formes : Liquide clair ou jaunâtre ou des cristaux solubles.
- ✓ A un poids moléculaire de 90,08 g/mol,
- ✓ Commence à bouillir à 127 °C,
- ✓ Fond à 17 °C,
- ✓ Est optiquement actif,
- ✓ Se dissout dans l'eau et l'alcool éthylique,
- ✓ Est hygroscopique,
- ✓ Acidifie diverses substances et produits.

Les acides lactiques sont solubles dans l'eau et considérés comme des acides faibles ( $pK_a=3,86$ ), c'est-à-dire que la réaction de dissociation dans l'eau n'est pas totale:



On trouve donc à la fois en solution l'acide lactique et sa forme basique, l'ion lactate, en proportions variables selon le pH.

### I.9.2. Utilisations de l'acide lactique

L'acide lactique a plusieurs utilisations principales :

#### I.9.2.1. Dans l'industrie alimentaire

- Utilisé comme additif alimentaire (E270) en tant qu'antioxydant, acidifiant ou exhausteur de goût.

### I.9.2.2. Dans les soins cosmétiques

- Utilisé dans les sérums, crèmes, lotions et nettoyants pour ses propriétés exfoliantes et adoucissantes.
- Possède des propriétés dépigmentâtes en inhibant l'activité des tyrosinases impliquées dans la production de mélanine .
- Régulateur de pH dans les formulations cosmétiques.
- L'acide lactique est un actif phare agissant contre les signes de l'âge. Possédant un poids moléculaire plus élevé que l'acide glycolique, il pénètre moins profondément l'épiderme. Bien qu'il agisse en surface, l'acide lactique a la capacité d'augmenter la synthèse de fibres de collagène et d'élastine indirectement. En effet, dans les conditions physiologiques (en milieu aqueux), l'acide lactique se transforme en acide pyruvique par une réaction de déprotonation (perte d'un hydrogène). L'acide pyruvique étant plus lipophile, il pénètre plus facilement l'épiderme. Il stimule ainsi la synthèse de fibres de collagène et d'élastine par les fibroblastes. La peau gagne en élasticité, en densité et en fermeté [10].

### I.9.2.3. Dans le domaine médical

- Utilisé par les médecins dans la prévention des maladies néoplasiques (cancéreuses) en raison de ses propriétés antioxydantes et antibactériennes.
- Utilisé dans la fabrication d'implants médicaux en raison de ses propriétés biodégradables.
- L'acide lactique est utilisé comme désinfectant en milieu médical, avec un large spectre d'efficacité bactérienne et virale. Il est notamment efficace contre les bactéries Gram-négatives comme *Escherichia coli* et *Salmonella*. Il a un rôle important au niveau de la flore intestinale. En effet, il permet d'acidifier l'environnement et contribue à l'élimination des mauvaises bactéries. Il aide ainsi à la digestion des aliments et facilite le transit intestinal.

### I.9.2.4. Dans l'industrie

- Utilisé dans la fabrication de produits écologiques comme les emballages, les textiles, etc. grâce à ses propriétés biodégradable [9].

**Conclusion**

Le lait est en effet une source riche en protéines, calcium, vitamines (B12, D) et autres nutriments essentiels. Ses différentes caractéristiques physico-chimiques, organoleptiques et microbiologiques sont essentielles pour garantir la qualité du lait destiné à la consommation humaine.

L'acide lactique est un composé essentiel présent dans le lait, issu de la fermentation réalisée par certaines bactéries lactiques. Il joue un rôle important dans la fabrication de produits laitiers. De plus, il possède des propriétés antioxydantes et antimicrobiennes, ce qui le rend utile dans divers domaines tels que la cosmétique, l'alimentation, la médecine et l'industrie.

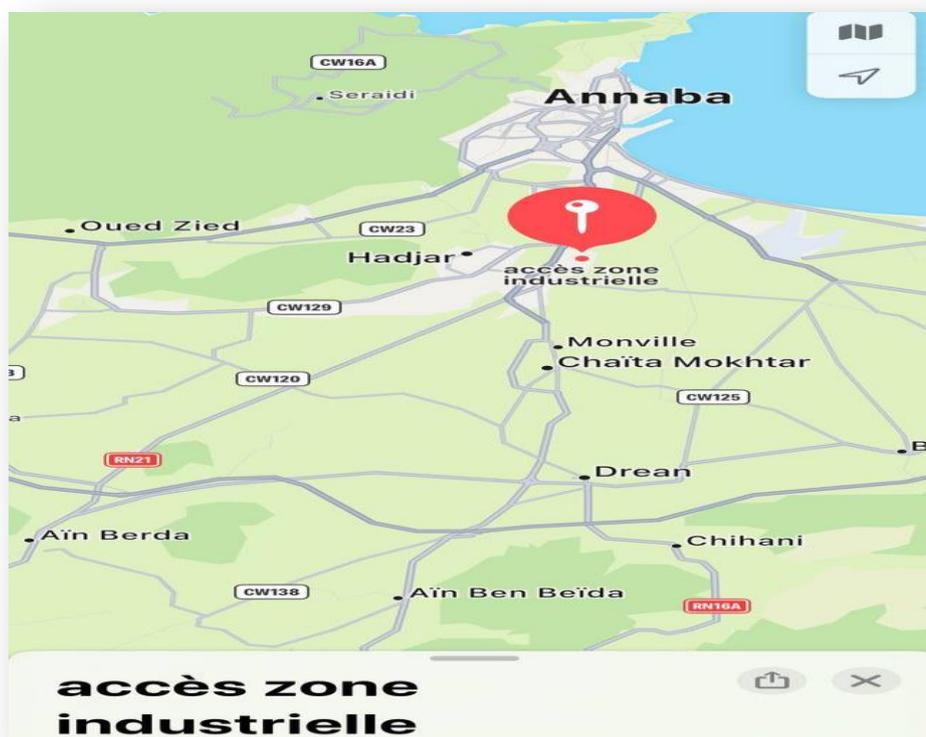
***Chapitre II :***  
***Fabrication du lait***

## Introduction

Ce chapitre est focalisé sur la présentation de l'unité AFIA en tant que lieu de notre stage pratique. Nous allons également mettre en évidence le procédé de fabrication du lait pasteurisé partiellement écrémé ainsi que les étapes de nettoyage et désinfection de matériels.

### II.1. Présentation de l'organisme d'accueil

L'unité AFIA d'ANNABA est un groupe industriel des productions laitières, créée en 2017. C'est une SARL SOPROD ALGERIE. Elle est située à la zone industrielle pont boucher El Hadjar ANNABA avec une superficie de 9018 m<sup>2</sup>.



*Photographie II.1: Situation géographique de l'unité AFIA.*

#### II.1.1. Organisation de l'unité AFIA

La laiterie d'AFIA est gérée par un gérant qui dirige les différents services incluant "l'administration générale, service technique et commercial (**Figure II.2**). L'entreprise fonctionne avec un effectif total de 55 personnes ; sa production journalière est de 44809 litres de lait pasteurisé selon les renseignements recueillis auprès de l'administration.

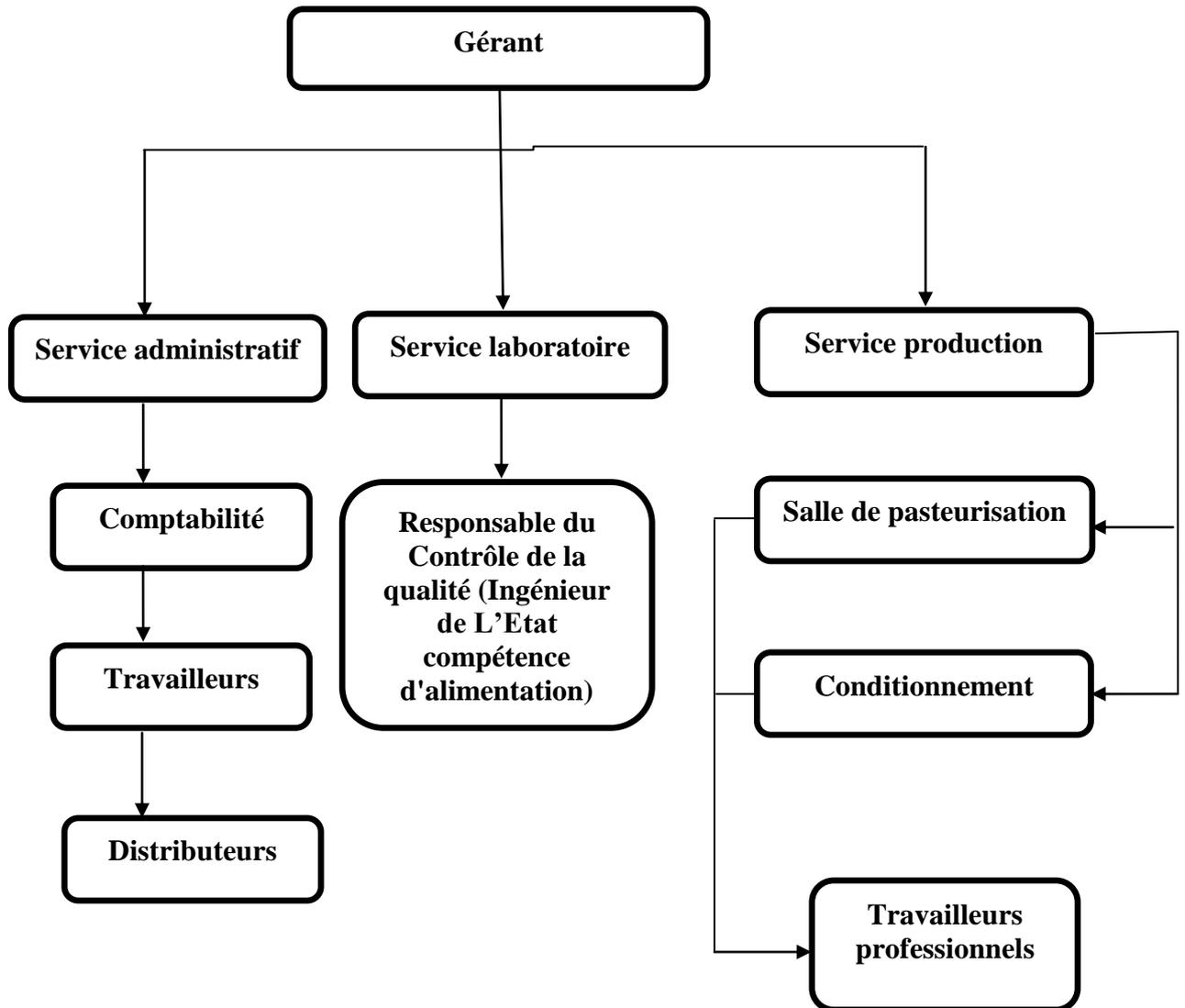


Figure II.1: L'organigramme d'unité AFIA.

### II.1.2. Produits fabriqués par la laiterie

Les produits actuellement fabriqués par cette laiterie sont : Le lait pasteurisé, l'ben, raib, crème fraîche et le beurre naturel.



*Photographie II.2: Produits d'unité AFIA.*

Notre étude est focalisée sur le lait pasteurisé partiellement écrémé qui offre une alternative plus légère en matières grasses tout en conservant une bonne partie des nutriments du lait complet, ce qui peut être avantageux pour ceux qui souhaitent réduire leur consommation de graisses tout en maintenant un apport nutritionnel équilibré.

### II.2. Procédé de fabrication du lait reconstitué

L'étude a consisté à faire le suivi du procédé de fabrication du lait depuis les matières premières jusqu'au produit fini.

#### II.2.1. L'eau

Elle doit être potable et répondre notamment aux standards fixés par l'OMS. Sur le plan microbiologique, elle ne doit pas contenir aucun germe pathogène. Si l'eau n'est pas potable de façon permanente, il est indispensable de la traiter. Sur le plan physicochimique, il est nécessaire qu'elle ne renferme ni pesticides ni nitrates, qu'elle ait une dureté totale comprise entre 0 et 15 et qu'elle ait un pH proche de la neutralité [11].

### II.2.2. Reconstitution

La reconstitution consiste à mélanger la poudre du lait avec l'eau de processus ayant une température comprise entre 35 °C et 45 °C pour conférer de meilleures mouillabilités dissolubilités à la poudre sans formation de grumeaux [12].

### II.2.3. Inclusion de la poudre du lait

La poudre du lait est incluse progressivement et manuellement en quantités mesurées dans un tri Blender, duquel elle est soutirée vers un tank de reconstitution au même temps que l'eau, ce qui permet le mélange de l'eau avec la poudre [13].



*Photographie II.3 : Un tri Blender.*

La laiterie AFIA utilise deux types de poudre pour la reconstitution du lait pasteurisé demi écrémé :

- Poudre écrémée (0 % de la matière grasse)
- Poudre de lait entier (26 % de la matière grasse).



*Photographie II.4: Poudre du lait*

#### II.2.4. L'homogénéisation

La recirculation est couplée avec l'agitation dans les tanks de reconstitution afin d'augmenter la distensibilité, de favoriser l'hydratation des composants colloïdaux et d'éviter la formation d'agglomérats [14]. Lorsque toute la poudre est bien mélangée, l'agitateur et la pompe de circulation s'arrêtent et le contenu du tank est laissé en repos jusqu'à la dissolution complète de la poudre. Une fois que le temps d'hydratation s'est écoulé (environ une heure), l'agitateur redémarre et une pompe soutire le lait à travers des filtres.

#### II.2.5. Filtration

La filtration a pour but de séparer toutes les particules solides en suspension dans le lait avant que celui-ci parvienne au réservoir. Une fois que le lait cru est pompé à travers la surface poreuse du filtre, il se crée une différence de pression des deux côtés du filtre qui pousse les particules de petites tailles. Tandis que Le filtre retient les particules les plus grosses, les empêchant ainsi de pénétrer dans le réservoir à lait [15].

Le lait reconstitué, filtré est ensuite acheminé vers un échangeur de chaleur à plaques où il est pasteurisé.

#### II.2.6. Pasteurisation

La pasteurisation est une étape permettant de ralentir le développement de bactéries dans le lait en le portant à une certaine température avant de le refroidir. Le lait est conduit vers le pasteurisateur, où il est traité à 85 °C pendant 30 secondes [16].



*Photographie II.5 : Pasteurisateur.*

### II.2.7. Refroidissement

Après pasteurisation, le lait doit être refroidi très rapidement entre 4 à 6 °C pour qu'il puisse par la suite être conditionné et stocké. Ceci pour éviter d'exposer pendant longtemps le lait aux températures de développement des microbes [17].

### II.2.8. Stockage

Après refroidissement le lait est stocké à une température de 6 °C [18]. La figure II.8 ci-dessus représente les réservoirs de stockage du lait



*Photographie II.6 : Les tanks (Réservoirs de lait).*

### II.2.9. Conditionnement

L'étape la plus critique est le conditionnement. Effectivement, il existe des risques d'infiltration de microbes dans le lait pasteurisé si les règles d'hygiène élémentaires ne sont pas respectées et si le conditionnement n'est pas effectué très rapidement [19].



*Photographie II.7 : La machine de Conditionnement.*

### II.2.10. Commercialisation

Après les analyses microbiologiques et physicochimiques, un bon de conformité à la consommation est délivré. A la commercialisation, le lait conditionné est transporté par camion frigorifique à une température de 4 à 6 °C [17].



*Photographie II.8 : Transport de lait.*

### II.3. Nettoyage et désinfection

Dans les industries laitières, le nettoyage et la désinfection de la chaîne de production sont des opérations nécessaires et ont pour but d'éliminer les souillures organiques, microbiennes et minérales capables de contaminer le produit fini [20].



*Photographie II.9 : Processus de nettoyage.*

Les étapes de nettoyage de la chaîne de production du lait sont répertoriées dans le tableau II.1 :

Tableau II.1. Les étapes de nettoyage de la chaîne de production du lait [20].

Etape	Produit	Temps	Température	Dilution	Intérêt
<b>Prérinçage</b>	Eau	10 min			Elimination des souillures macroscopiques et des traces de produit fini
<b>Nettoyage alcalin+ additive</b>	Soude caustique + Additif (tensionactif, dispersant et séquestrant)	15 min	75 à 85 °C	2 % du poids de la soude	Elimination des souillures organiques
<b>Rinçage intermédiaire</b>	Eau	10 min			Elimination de la Soude
<b>Nettoyage acide</b>	Acide nitrique	15 min	60 à 70 °C	Elimination des micro organismes	Elimination des souillures minérales. -Neutralisation du reste de la soude
<b>Rinçage intermédiaire</b>	Eau	10 min			Elimination d'acide
<b>Désinfection</b>	Disinfectant	15 min	35 à 40 °C	Elimination des micro-organismes	Elimination des micro-organisms

**Conclusion**

La fabrication du lait pasteurisé partiellement écrémé à partir de la poudre implique la reconstitution du lait, la standardisation de la matière grasse, la pasteurisation, l'homogénéisation, le refroidissement et le conditionnement aseptique avant la distribution

***Chapitre III :***  
***Matériels et méthodes***

## Introduction

Dans ce chapitre nous présenterons les réactifs, le matériel, les modes opératoires effectués dans cette étude afin de contrôler la qualité du lait produit au niveau de la Laiterie AFIA d'ANNABA, ainsi que les formules utilisées pour le calcul théorique des  $pK_{as}$  de l'acide lactique.

## Objectif

Notre stage s'est déroulé au sein de la Laiterie AFIA d'ANNABA, en période du 19 février au 21 mars 2024.

L'étude qui s'est penchée sur le lait produit au niveau de la laiterie a impliqué :

- Une vérification de l'eau utilisée pour la production du lait
- Un suivi du procédé de fabrication du lait pasteurisé
- Un contrôle du produit fini (lait pasteurisé partiellement écrémé).

## III.1 Partie expérimentale

### III.1.1. Matériels

La conduite de ce travail a nécessité l'utilisation de différents matériels d'importance variée tels que :

- La verrerie usuelle de laboratoire.
- pH-mètre
- Lacto-thermo-densimètre
- Acidimètre
- Butyromètre
- Dessiccateur
- Centrifugeuse
- Etuve
- Balance analytique

### III.1.2. Réactifs

- Phénolphtaléine
- Hydroxyde de sodium
- Alcool iso amylique
- Acide sulfurique

- Acide nitrique
- NET
- Acide EDTA
- Méthylorange

### III.1.3. Traitement de l'eau destinée à la production du lait

Il est nécessaire d'utiliser une eau dont les caractéristiques physicochimiques et microbiologiques sont spécifiques pour produire du lait. Ainsi, le processus de traitement de l'eau joue un rôle essentiel pour obtenir un produit de haute qualité.

Le traitement de l'eau dans une laiterie implique principalement une filtration initiale pour éliminer les impuretés grossières, un adoucissement et une désinfection pour obtenir une eau de qualité adaptée aux différents usages dans la production laitière.

La station d'eau est composée de plusieurs parties :

- a. Bac de L'eau brute.
- b. Filtre à sable.
- c. Filtre adoucisseur.
- d. Filtre à charbon.



*Photographie III.1 : La station d'eau.*

#### III.1.3.1. Principe de fonctionnement de la station

Le principe de fonctionnement de la station consiste à soutirer de l'eau dans le forage en passant par plusieurs bacs tampons et des filtres. En aval de chaque bac, il existe 1 ou 2 pompes, ce qui permet d'avoir toujours au moins une pompe de secours.

### III.1.3.1.1. Le forage

Le forage dans une station d'eau est une opération essentielle pour l'approvisionnement continu en eau brute. Une fois l'eau brute extraite par des pompes immergées, elle est stockée dans un bac dédié avant d'être acheminée vers un processus de filtration.

### III.1.3.1.2. Le filtre à sable

La filtration à sable est une méthode d'épuration biologique qui consiste à faire passer l'eau à traiter à travers un lit de matériau filtrant approprié (le sable). Au cours de ce passage, la qualité de l'eau s'améliore considérablement par la diminution du nombre de micro-organismes (bactéries, virus, kystes), par l'élimination de matières en suspension et colloïdales et par des changements dans sa composition chimique [21].

### III.1.3.1.3. Le filtre adoucisseur

Les adoucisseurs d'eau réduisent la dureté de l'eau, c'est-à-dire son degré de minéralisation en calcium et en magnésium qui caractérise l'eau calcaire à l'origine de l'entartrage des canalisations et de désagréments d'utilisation. L'eau chargée d'ions  $Ca^{+2}$  passe sur des billes de résine sur lesquelles sont fixés des ions  $Na^{+}$ . Par échange d'ions, les ions sodium sont consommés et dilués dans l'eau, tandis que les ions calcium et magnésium sont évacués à l'égout avec les eaux de rinçage des billes. Les billes de résine sont régénérées régulièrement par une solution saturée en sels de sodium.



Photographie III.2 : Tablettes de sel pour le traitement de l'eau.

#### III.1.3.1.4. Le filtre charbon

Un filtre à charbon actif dans une laiterie fonctionne en adsorbant les contaminants présents dans l'eau, contribuant ainsi à maintenir des normes élevées d'hygiène et de qualité des produits laitiers.

#### III.1.4. Analyses physico-chimiques de l'eau

##### III.1.4.1. Potentiel hydrogène pH

Le pH est une grandeur sans unité. Un indice qui permet de mesurer l'activité de l'ion hydrogène dans une solution. Un milieu neutre affiche un pH égal à 7. C'est le cas de l'eau pure à 25 °C [22].

- **Mode opératoire**

Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre, après étalonnage par immersion directe de sa sonde dans l'échantillon d'eau à analyser. La lecture se fait après stabilité de la valeur affichée [23].

##### III.1.4.2. Dureté

La dureté de l'eau est la concentration totale en sels de calcium et magnésium. Elle est exprimée en degré français : 1 °f correspond à 4 mg de calcium par litre d'eau [24].

- Eau dure : supérieure à 30 °f.
- Eau moyennement dure : entre 15 et 30 °f.
- Eau douce : inférieure à 15 °f.

Elle est déterminée par un titrage molaire des ions calcium et magnésium avec une solution de sel disodique de l'acide EDTA à pH=10. L'indicateur coloré est le NET, qui donne une couleur rouge foncé ou violette en présence des ions calcium et magnésium.

- **Mode opératoire**

L'échantillon (50 ml) d'eau à analyser a été placé dans un erlenmeyer de 250 ml. Par la suite, quelques gouttes de tampon k10 (ammoniac) et un peu de poudre d'urochrome noire sont ajoutées. Une agitation est effectuée afin d'obtenir l'apparition de la couleur violette. En fin de compte, on effectue le titrage avec l'EDTA (0,01 N) jusqu'à ce que la couleur bleue

apparaît, puis on lit le volume versé.

- **Formule**

$$\text{TH (}^\circ\text{f)} = V * 4 \quad \text{III.1}$$

Volume de l'EDTA (ml)

### III.1.4.3. Test d'alcalinité (TA et TAC)

L'alcalinité de l'eau se définit comme étant sa capacité à neutraliser un acide. L'alcalinité de l'eau naturelle est liée principalement aux ions hydroxydes ( $\text{OH}^-$ ), les ions carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) et les ions hydrogencarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) et certaines formes de matière organique contribuent légèrement à son alcalinité.

On distingue deux types d'alcalinité : Titre alcalimétrique (TA) et titre alcalimétrique complet (TAC), ces deux valeurs permettent de connaître les concentrations en (bicarbonates, carbonates et éventuellement en hydroxydes) contenues dans l'eau. Le TA et le TAC s'expriment généralement en ( $^\circ\text{f}$ ) [25].

### III.1.4.4. Titre alcalimétrique (TA)

Le TA correspond à la mesure de la teneur d'une eau en hydroxydes et de la moitié de sa teneur en carbonates :  $\text{TA} = [\text{OH}^-] + 1/2[\text{CO}_3^{2-}]$

- **Mode opératoire**

Un volume de 50 ml de l'échantillon d'eau à analyser a été versé dans une capsule de porcelaine blanche de 12 cm de diamètre. Après l'ajout de trois gouttes de phénophtaléine. La solution est devenue rose, cette dernière a été titrée avec de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , sous agitation constante, jusqu'à décoloration complète de la solution (l'absence de l'alcalinité). Enfin le volume V1 est noté (soit V1 le nombre de millilitres d'acide utilisés pour obtenir le virage).

- **Formule**

$$\text{TA (}^\circ\text{f)} = V1 * 4 \quad \text{III.2}$$

### III.1.4.5. Titre alcalimétrique complet (TAC)

Le TAC est la teneur d'une eau en hydroxydes, carbonates, hydrogénocarbonates :

$$\text{TAC} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-].$$

#### • Mode opératoire

Deux gouttes d'hélianthine ont été ajoutées sur le même échantillon, ce qui a donné une couleur jaune-orangée. Un titrage avec l'acide sulfurique a été réalisé en agitant, jusqu'à l'apparition de la coloration rouge brique; soit  $V_2$  le volume du  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , versé, à noter.

#### • Formule

$$\text{TA (°f)} = V_1 + V_2 * 4$$

III.3

### III.1.4.6. Dosage des ions chlorures ( $\text{Cl}^-$ )

Ce dosage consiste à déterminer la concentration des ions chlorures libres dans l'eau.

#### • Mode opératoire

Une quantité de 50 ml de l'échantillon d'eau à analyser a été versée dans un bécher de 250 ml avec quelques gouttes d'indicateur pour chlorure le  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ , qui a changé la couleur de la solution en jaune. Le titrage a été fait par ajout progressif (goutte à goutte) de la solution de nitrate d'argent contenue dans la burette graduée à la solution maintenue en agitation dans le bécher. La fin du dosage est indiquée par la couleur rouge brique et le volume ( $V$ ) de la solution argent métrique versée est noté.

#### • Formule

$$\text{Cl (mg/l)} = V * 4 * 7,1$$

III.4

V: Volume de  $\text{AgNO}_3$  (ml).

### III.1.5. Analyses microbiologiques de l'eau

Les analyses microbiologiques de l'eau dans une laiterie se concentrent sur la recherche de ces bactéries coliformes, *Escherichia coli* et entérocoques, spores anaérobies sulfito-réducteurs et *Pseudomonas aeruginosa* qui indiquent une contamination fécale et la

possibilité de germes pathogènes. Leur présence, même en faible quantité, est interdite dans l'eau utilisée pour la désinfection du matériel de traite, car elle peut compromettre la salubrité du lait produit.

#### **III.1.5.1. Prélèvement des échantillons**

- **Stérilisation** : Utilisation de flacons stériles pour éviter toute contamination.
- **Conservation** : Les échantillons doivent être conservés à basse température (environ 4 °C) et analysés rapidement après prélèvement.

#### **III.1.5.2. Méthodes d'analyse**

Les techniques employées pour évaluer ces bactéries sont principalement basées sur la culture bactérienne classique.

#### **III.1.5.3. Principe de la culture bactérienne classique**

La culture bactérienne consiste à ensemencer un échantillon d'eau sur un milieu nutritif solide ou liquide, puis à incuber cet échantillon dans des conditions optimales pour permettre la croissance des bactéries cibles. Les colonies résultantes sont ensuite comptées et, dans certains cas, identifiées pour déterminer la présence et la quantité de bactéries spécifiques.

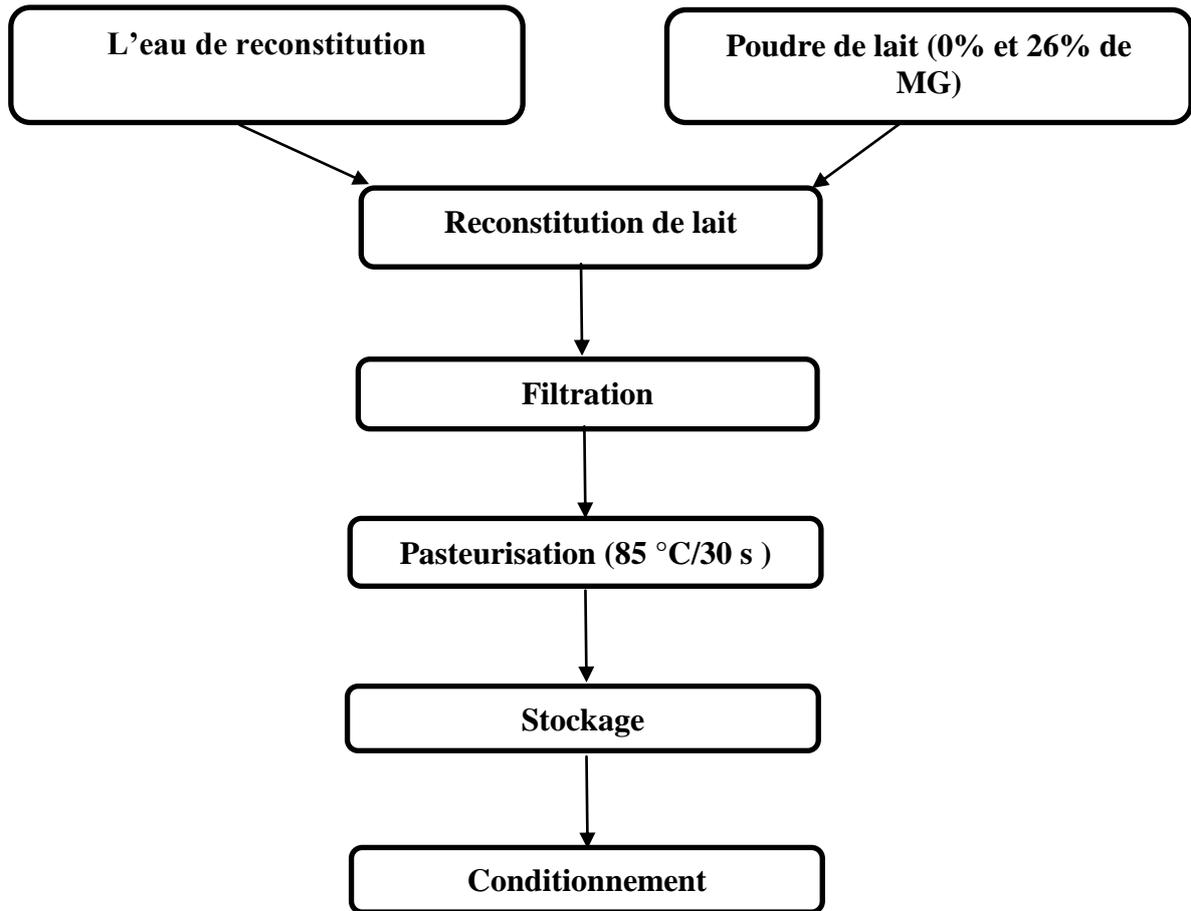
#### **III.1.6. Contrôle de qualité du lait de la laiterie AFIA**

La poudre de lait est réceptionnée et stockée dans des silos. Des contrôles organoleptiques sont effectués sur chaque lot de poudre réceptionné pour vérifier l'aspect, la couleur, l'odeur et la saveur.

#### **III.1.6.1. Procédé de fabrication du lait reconstitué**

Le processus de préparation permet d'obtenir un lait pasteurisé partiellement écrémé, sûr et de bonne qualité, prêt pour la commercialisation et la consommation.

Les principales étapes de production du lait partiellement écrémé sont les suivantes :



*Figure III.1 : Étapes de production du lait pasteurisé partiellement écrémé.*

Le lait partiellement écrémé est soumis à des analyses physico-chimiques pour évaluer sa qualité, sa conformité aux normes et sa sécurité alimentaire. Ces analyses permettent de garantir la qualité du produit final avant sa mise sur le marché.

#### **III.1.6.2. Analyses physico-chimiques du lait**

Plusieurs paramètres physico-chimiques ont été mesurés ou calculés en l'occurrence : L'acidité, le pH, l'EST, la teneur en matière grasse, et la densité. Ceci pour examiner la qualité du produit fini (lait pasteurisé partiellement écrémé).

Les méthodes adoptées pour la détermination de ces paramètres sont celles appliquées par le laboratoire d'analyse physico-chimique de la laiterie AFIA.

### III.1.6.2.1. Détermination de la densité et de la température

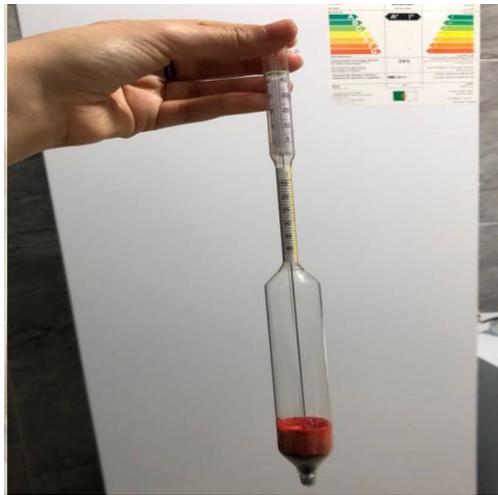
#### ➤ Principe

La densité d'un liquide est le rapport entre la masse volumique de ce liquide et celle d'un même volume d'eau à 20 °C. Elle est réalisée au moyen d'un lacto-thermo-densimètre.

#### ➤ Appareillage

L'instrument qui permet la mesure de la densité et de la température comprend :

- Lacto-thermo-densimètre avec thermomètre incorporé ;
- Eprouvette cylindrique, de hauteur apportée à celle de lacto-thermo-densimètre et de diamètre intérieur supérieur à 9 mm au moins au diamètre de la carène de lacto-thermo-densimètre.



*Photographie III.3 : Lacto-thermo-densimètre.*

#### ➤ Mode Opérateur

Du lait à analyser est versé dans une éprouvette (250 ml) qui est tenue en position inclinée jusqu'à ce que le lait déborde sur ses côtés. Effectivement, ce débordement est indispensable, car il élimine les résidus de mousse qui perturberaient la lecture et prévient la formation de bulles d'air. L'éprouvette est remplie au point que le volume restant soit inférieur à celui de la carène du lactodensimètre (ce niveau est facilement identifiable par un trait de jauge sur l'éprouvette). Après avoir rempli l'éprouvette, on la place en position verticale. On plonge délicatement le lactodensimètre dans le lait en le maintenant dans l'axe de l'éprouvette et en le retournant dans sa descente jusqu'à ce qu'il atteigne sa position d'équilibre. Ensuite, on procède à la lecture de la température et de la densité.



**Photographie III.4 : Mesure de la densité et la température par lacto-thermo-densimètre.**

Cependant si le lactodensimètre est utilisé à une température autre que 20 °C, une correction de la lecture doit être faite de la manière suivante :

-Si la température est à 20 °C la densité est en effet réelle.

-Si la température est inférieure à 20 °C on enlève 0,2 à la densité lisible pour chaque degré Celsius (1°C).

- Si T est < 20°C

$$D = D^{\circ} - 0.2$$

**III.5**

-Si la température est supérieure à 20 °C on ajoute 0,2 à la densité lisible pour chaque degré Celsius (1°C).

- Si T est > 20°C

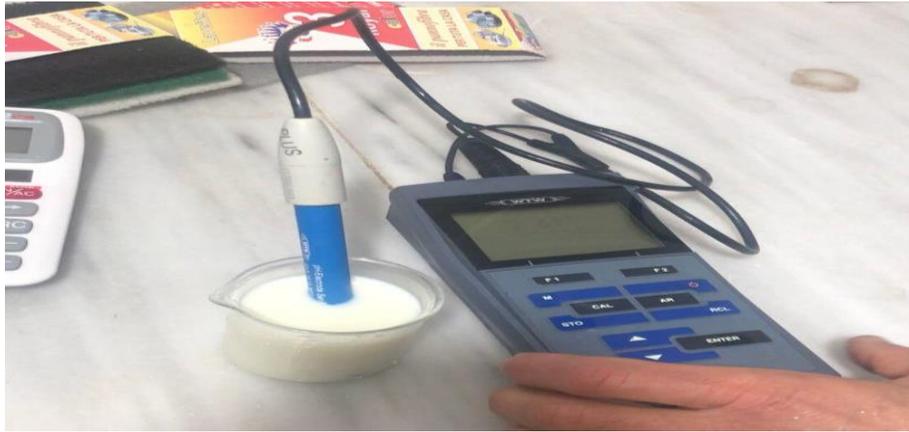
$$D = D^{\circ} + 0.2$$

**III.6**

(D= densité corrigée, D° =densité sur le lacto-thermo-densimere, T= température en °C).

### III.1.6.2.2. Mesure de pH

Un volume de lait est versé dans un bécher dans lequel l'électrode du pH-mètre est introduite. Le pH de l'échantillon est obtenu par lecture directe du chiffre affiché sur l'appareil après sa stabilisation [26].



*Photographie III.5 : Mesure de pH.*

### III.1.6.2.3. Détermination de l'acidité

#### ➤ Principe

La détermination de l'acidité du lait est basée sur la neutralisation de l'acidité lactique dans le lait par une solution d'hydroxyde de sodium en présence de phénolphtaléine comme indicateur coloré.



*Photographie III.6 : Acidimètre.*

#### ➤ Mode opératoire

En utilisant une pipette, on verse un échantillon de 10 ml de lait dans un bécher de 100 ml. On ajoute entre 3 et 4 gouttes de phénolphtaléine (1 %). On titre avec une solution d'hydroxyde de sodium dans un acidimètre jusqu'à ce qu'il y ait un virage au rose qui est facilement observable en comparant avec la solution témoin composée du même lait.

La mesure de l'acidité par un titrage acido-basique est illustrée par la figure ci-dessous :



*Photographie III.7 : Le procédé de titrage.*

L'acidité titrable (acidité naturelle + acidité développée) mesure tous les ions  $H^+$  disponibles dans le milieu qu'ils soient dissociés (ionisés) ou non [27]. Elle est déterminée par la formule suivante:

$$AT = V * 10$$

**III.7**

(AT= Acidité titrable, V=volume en millilitres de la solution d'hydroxyde de sodium versé).

#### **III.1.6.2.4. Détermination de la matière grasse (méthode acido-butyrométrique de Gerber)**

##### ➤ **Principe :**

Cette méthode est basée sur la dissolution des composants du lait par l'acide sulfurique à l'exception de la matière grasse qui se sépare sous l'influence de la centrifugation

et grâce à l'adjonction d'une petite quantité d'alcool iso-amylique permettant la séparation de la phase aqueuse et la phase lipidique.



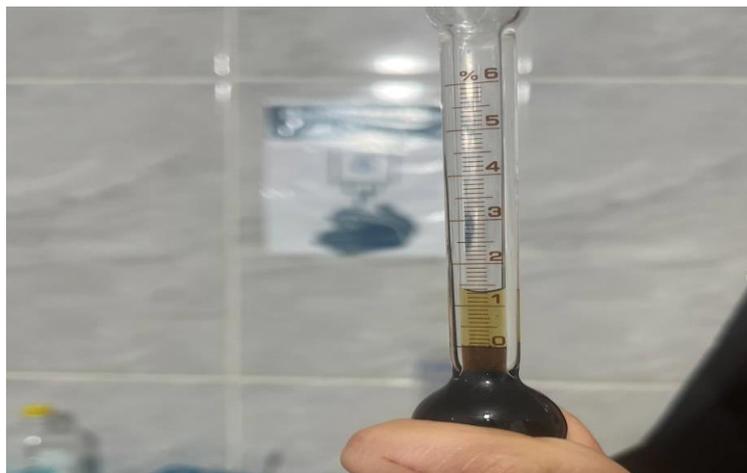
*Photographie III.8 : Butyromètre de GERBER .*

➤ **Mode opératoire**

Un volume 10 ml de  $H_2SO_4$  concentré (91%) est introduit dans un butyromètre gradué spécial. Une quantité de 11 ml de l'échantillon de lait est ajouté à l'aide d'une pipette en l'écoulant à travers les parois pour éviter le mélange prématuré du lait avec l'acide. Un millilitre d'alcool iso-amylique est également ajouté. Le mélange est agité pour bien l'homogénéiser, puis centrifugé pendant 5 minutes à 1200 tours / min. La matière grasse, moins dense, remonte à la surface et se rassemble dans la partie graduée du butyromètre. Après centrifugation, on procède à la lecture directe du pourcentage de matière grasse sur l'échelle graduée du butyromètre.



*Photographie III.9 : Méthode de mesure de la matière grasse.*



*Photographie III.10 : Matière grasse.*

La teneur en matière grasse est exprimée en (g/l) du lait et est donnée par la formule suivante :

$$\text{TMG} = (M - M') * 10$$

**III.8**

TMG: teneur en matière grasse.

M: la valeur atteinte par le niveau supérieur de la colonne grasse.

M': la valeur atteinte par le niveau inférieur de la colonne grasse.

### III.1.6.2.5. Mesure de la teneur en matière sèche totale

On entend par « matière sèche » du lait le produit résultant de la dessiccation du lait dans les conditions décrites par la norme.



*Photographie III.11 : Instrument de mesure de la matière sèche totale (EST).*

#### ➤ Mode opératoire

Une fois la boîte de Petri vide est pesée, on met un échantillon de 5 ml du lait dans la boîte. Ensuite on place la boîte de petri dans l'étuve à une température de 103 °C pendant 3 heures. A la sortie de l'étuve, la boîte de petri est à nouveau pesée.

La teneur en matière sèche totale est exprimée en pourcentage par rapport au poids de l'échantillon.



*Photographie III.12 : Mesure de matière sèche totale.*

La matière sèche est exprimée en pourcentage comme suit :

$$\frac{(M1 - M0)}{(M2 - M0)} * 100$$

III.9

M0: est la masse en grammes de la boîte de petri vide.

M1: est la masse en grammes de la boîte de petri et du résidu après dessiccation et refroidissement.

M2 : est la masse en grammes de la boîte de petri et de l'échantillon avant dessiccation.

2<sup>ème</sup> formule :

$$\text{EST} = (1-d) * 2665 + (M.G * 1,2) \quad \text{III.10}$$

EST: extrait sec total.

D : la densité du lait. M.G: matière grasse.

#### III.1.6.2.6. Détermination de la matière sèche dégraissée

La matière sèche dégraissée est obtenue par la différence entre la matière sèche totale et la matière grasse. La matière sèche dégraissée est calculée par la formule suivante :

$$\text{ESD} = \text{EST} - \text{MG} \quad \text{III.11}$$

#### III.1.7. Analyses microbiologiques de lait

Les analyses microbiologiques du lait impliquent le prélèvement d'échantillons, des analyses spécifiques pour détecter divers microorganismes indicateurs, et une évaluation de la conformité aux normes de qualité et de sécurité du lait.

##### III.1.7.1. Analyse des germes aérobies mésophiles totaux

Le principe du dénombrement des germes aérobies mésophiles repose sur l'ensemencement d'une dilution connue de l'échantillon de lait sur un milieu nutritif solide, suivi de l'incubation à une température mésophile (généralement 30°C, pendant 72 heures., et enfin du comptage des colonies bactériennes formées. Le résultat est exprimé en unités formant colonies (UFC/ml) par ml de lait, en tenant compte du facteur de dilution.

$$\frac{\text{UFC}}{\text{ml}} = \frac{\text{Nombre de colonies comptées} \times \text{Facteur de dilution}}{\text{Volume de l'échantillon inoculé}} \quad (\text{en ml}) \quad \text{III.12}$$

- **Nombre de colonies comptées** : C'est le nombre total de colonies bactériennes que vous avez comptées sur la plaque après incubation.

- **Volume de l'échantillon inoculé (en ml)** : C'est le volume de l'échantillon de lait que vous avez ajouté à la plaque pour incubation. Par exemple, si vous avez ajouté 0,1 ml de l'échantillon à la plaque, ce chiffre serait 0,1.
- **Facteur de dilution** : Le facteur de dilution est déterminé par le processus de dilution que vous avez appliqué à l'échantillon. Par exemple, si vous avez dilué l'échantillon initial de lait à 1:100 (1 partie de lait pour 99 parties de diluant), le facteur de dilution serait 100.

### III.1.7.2. Enterbacteriaceae 37 °C

Les Enterobacteriaceae sont une famille de bactéries gram-négatives qui peuvent être présentes dans divers environnements, y compris le lait. Leur détection à 37 °C (température optimale pour la croissance des Enterobacteriaceae) dans le lait peut être effectuée pour évaluer la qualité microbiologique du produit.

- **Principe**

L'analyse des Enterobacteriaceae dans le lait consiste à détecter et à quantifier les bactéries de cette famille présentes dans l'échantillon. Cela peut se faire en utilisant la méthode de culture sur des milieux de culture sélectifs appropriés, il s'agit d'homogénéiser soigneusement les échantillons de lait pour assurer une répartition uniforme des bactéries puis les ensemercer sur des milieux de culture sélectifs, tels que la gélose VRBG. Après incubation à une température de 37 °C pendant une période de temps appropriée (24 heures), les colonies bactériennes qui se sont développées sur les milieux de culture sont observées. Les résultats sont exprimés en nombre de colonies d'Enterobacteriaceae par unité de volume d'échantillon (généralement par millilitre de lait).

### III.1.7.3. Analyse des salmonelles

Les salmonelles sont des agents pathogènes dangereux et peuvent causer des symptômes tels que des diarrhées, des vomissements, des douleurs abdominales, de la fièvre et des maux de tête. Le principe d'analyse des salmonelles dans le lait repose sur des méthodes spécifiques visant à détecter la présence de ces bactéries dans l'échantillon de lait.

La méthode consiste à placer les échantillons de lait dans un milieu de culture sélectif et enrichi qui favorise la croissance des salmonelles tout en inhibant la croissance d'autres

micro-organismes. Après incubation, une partie du milieu enrichi estensemencée sur des milieux de culture sélectifs et spécifiques pour les salmonelles. Les colonies suspectes de salmonelles sont ensuite identifiées.

Les résultats de la détection des salmonelles dans le lait sont généralement exprimés en termes de présence ou d'absence de salmonelles, ainsi que parfois en termes de nombre de colonies ou d'unités formant colonie (UFC) par unité de volume d'échantillon.

### III.1.8. Analyses organoleptiques

#### III.1.8.1. Tests sensoriels

L'objectif principal de ces tests est d'évaluer la qualité organoleptique du lait. Ils visent à évaluer les propriétés perceptibles du lait notamment son goût, son odeur, et son apparence, par les organes sensoriels tels que la bouche, le nez et les yeux. Ainsi, trois tests sont indispensables : le test visuel, le test du goût, et le test de l'odorat.

##### a) Test visuel

Le test visuel consiste à observer (regarder) le lait pour détecter d'éventuelles anomalies par rapport à sa couleur, sa consistance et sa texture.

- **Regarder la couleur** : Le lait frais a une teinte blanche uniforme. Si le lait a une teinte jaunâtre, cela peut indiquer une dégradation due à l'oxydation. Il faut noter que la couleur du lait peut être influencée par la nourriture consommée par les vaches.

- **Vérifier la consistance** : La consistance du lait doit être homogène, sans grumeaux ni séparation ou formation de dépôts.

- **Vérifier la texture** : La texture d'un lait en bon état doit être lisse. Tout signe de rugosité peut indiquer une altération.

##### b- Test du goût

Le lait frais a un goût doux et légèrement sucré. Tout goût aigre, acide, amer, ou rance peut indiquer une détérioration.

##### c- Test de l'odorat

Un lait frais et sain a une odeur douce et agréable. Des odeurs anormales telles que le

moisi, le rance ou une odeur chimique, pourraient indiquer une altération.

### III.2. Partie théorique

#### III.2.1. Détermination des $pK_a$ de l'acide lactique

Dans le cas des acides faibles, on définit la constante d'équilibre de dissociation de l'acide ou constante d'acidité ( $K_a$ ).

A partir du  $K_a$  on définit le  $pK_a$ , on utilise généralement le  $pK_a$  plutôt que le  $K_a$  pour déterminer la force d'un acide. On remarque que plus l'acide est fort plus le  $pK_a$  est petit. En effet, si celui est fortement dissocié, la concentration  $[AH]$  devient faible [28].



$$K_a = \frac{[A^-] \cdot [H_3O^+]}{[AH]} \quad \text{III.14}$$

$$pK_a = -\log K_a \quad \text{III.15}$$

#### III.2.1.1. Cycle des réactions en phase gazeuse et en phase aqueuse

Un schéma d'un cycle des réactions pour la détermination des énergies libres est présenté dans la figure III.14.

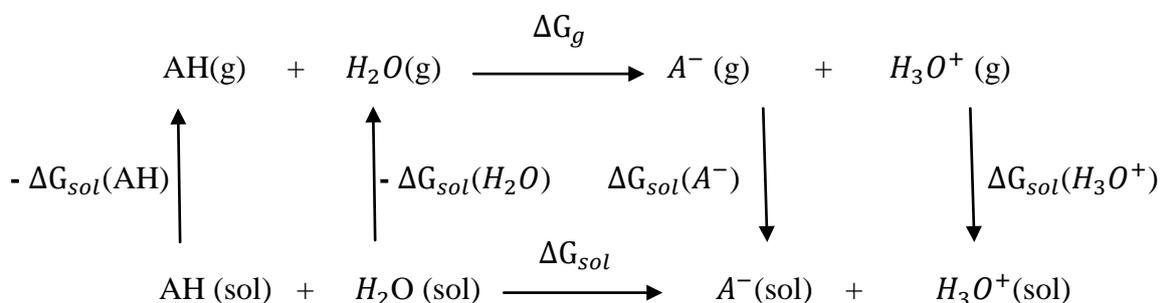


Figure III.2: Schéma d'un cycle représentant les réactions d'une molécule en phase gazeuse et en phase aqueuse [29].

#### III.2.2. Méthode de calcul

La méthode DFT a permis de déterminer les énergies libres en phase gazeuse et en phase aqueuse de l'acide lactique, ainsi que les radicaux libres, en utilisant le logiciel GAUSSIAN 09 et GAUSS View 6.0.

### III.2.2.1. La théorie de la fonctionnelle de la densité

La théorie de la fonctionnelle de la densité se démarque des méthodes basées sur les équations de Hartree Fock HF en se basant sur la notion de densité électronique  $\rho(r)$  plutôt que sur celle de fonction d'onde multiélectronique [30].

### III.2.2.2. Le logiciel GAUSSIAN

GAUSSIAN est un logiciel de modélisation moléculaire. Il s'agit d'un logiciel qui est rapidement devenu un programme de structure électronique très apprécié et fréquemment employé. Il repose sur les principes fondamentaux de la mécanique quantique, ce qui lui permet de prédire de multiples caractéristiques électroniques et moléculaires d'atomes, de molécules ainsi que de réactions chimiques. Les caractéristiques principales incluent les énergies, la structure et les divers paramètres géométriques, les fréquences, les charges atomiques et les symétries des vibrations des systèmes moléculaires [30].

### III.2.3. Formules pour la détermination des $pK_a$

Les variations des énergies libres ont été calculées en utilisant les formules suivantes :

$$\Delta G_{sol} = \Delta G_g + \Delta G_{sol}(A^-) + \Delta G_{sol}(H_3O^+) - \Delta G_{sol}(AH) - \Delta G_{sol}(H_2O) \quad \text{III.16}$$

$$\Delta G_{sol} = \Delta G_g + \Delta G_{sol}(A^-) + \Delta G_{sol}(H_3O^+) - \Delta G_{sol}(AH) - \Delta G_{sol}(H_2O) \quad \text{III.17}$$

$$\Delta G_g = (A^-)_g + G(H_3O^+)_g - G(AH)_g - G(H_2O)_g \quad \text{III.18}$$

$$\Delta G_{sol}(A^-) = G(A^-)_{sol} - G(A^-)_g \quad \text{III.19}$$

$$\Delta G_{sol}(AH) = G(AH)_l - G(AH)_g \quad \text{III.20}$$

$$pK_a = \frac{\Delta G_{sol}^-}{1,364} - 1,744 \quad \text{III.21}$$

$\Delta G_{sol}(H_3O^+) = -110$  Kcal/mol [29].

$$\Delta G_{sol}(H_2O) = -6,32 \text{ Kcal/mol [29]}.$$

### **Conclusion**

La laiterie AFIA met en place des contrôles rigoureux à chaque étape, de la réception de la poudre jusqu'à la commercialisation du lait reconstitué pasteurisé, pour garantir la qualité et la sécurité du produit final.

Après le détail du matériel et des méthodes mises en œuvre dans ce chapitre, nous pouvons constater que les méthodes d'analyse choisies pour notre étude sont simples, efficaces, précises et adéquates pour le contrôle de qualité du lait étudié.

***Chapitre IV :***  
***Résultats et discussions***

## Introduction

Ce chapitre récapitulera les résultats des analyses organoleptiques, physicochimiques et microbiologiques de l'eau et du lait pasteurisé partiellement écrémé.

Les valeurs de  $pK_a$  des OH de l'acide lactique seront également exposées, avec des interprétations pour chaque partie.

### IV.1. Partie expérimentale

#### IV.1.1. Analyse de l'eau destinée à la fabrication du lait

L'analyse de l'eau vise à contrôler sa qualité physicochimique et microbiologique pour s'assurer qu'elle est propre et ne risque pas de contaminer le lait. Les résultats obtenus doivent être comparés aux normes exigées pour l'eau potable (la norme Algérienne sur la potabilité des eaux).

##### IV.1.1.1. Analyses physicochimiques de l'eau

Les paramètres physicochimiques qui ont été mesurés ou calculés sont : La dureté TH, pH, chlorure, titre alcalimétrique TA, titre alcalimétrique complet TAC.

Les analyses ont été réalisées sur trois échantillons de l'eau traitée prélevés à des dates différentes (11, 12 et 13 mars 2024), les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau (IV.1).

*Tableau IV.1: Résultats des analyses physicochimiques de l'eau.*

	pH	TH (d °F)	TA (meq/l)	TAC (meq/l)	Chlorure (mg/l)	Aspect
<b>1</b>	7,9	31,2	0	2,5	365,23	Eau limpide
<b>2</b>	8,14	34,6	0	2,5	393,60	Eau limpide
<b>3</b>	7,5	32,8	0	2,5	382,14	Eau limpide
<b>Moyenne</b>	7,84	32,9	0	2,5	380,32	Eau limpide
<b>Normes</b>	6,5> <9	Max 50	-	-	Max 500	-

Les résultats obtenus démontrent que les paramètres physicochimiques étudiés pour

les divers échantillons respectent les normes requises. Il est observé que le pH de l'échantillon 2 (8,14) est de nature basique.

#### IV.1.1.2. Analyse microbiologique de l'eau

Les paramètres microbiologiques étudiés comprennent : *Escherichia coli*, Entérocoques, Spores anaérobies sulfito-réducteurs, Coliformes totaux et *Pseudomonas aeruginosa*.

Les analyses ont été effectuées sur les mêmes échantillons de l'eau traitée. Les résultats obtenus sont réunis dans le tableau suivant :

**Tableau IV.2: Résultats des analyses microbiologique de l'eau.**

Intitulé de l'analyse	Résultat / Echantillon	
	1 (UFC/g)	Norme
<i>Escherichia coli</i> [37 °C]	Abs	Absence dans 250 ml
Entérocoques [37 °C]	Abs	Absence dans 250 ml
Spores anaérobies sulfito-réducteurs [46 °C]	Abs	Absence dans 50 ml
Coliformes totaux [37 °C]	Abs	Absence dans 250 ml
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> [37 °C]	Abs	Absence dans 250 ml

Les résultats du tableau (IV.2) indiquent que l'eau étudiée est dépourvue de micro-organismes dangereux, elle est conforme aux normes réglementaires. La qualité microbiologique de celle-ci est donc satisfaisante.

#### IV.1.2. Analyses du lait pasteurisé partiellement écrémé

Plusieurs prélèvements du lait ont été étudiés afin d'effectuer des analyses physicochimiques et microbiologiques sur le lait pasteurisé partiellement écrémé (produit fini).

Les paramètres physicochimiques mesurés ou calculés sont : la densité, la matière grasse, le pH, l'extrait sec total (EST), l'extrait sec dégraissé (ESD) ainsi que l'acidité.

Les tests microbiologiques réalisés sont : Les indicateurs d'hygiène (bactéries aérobies, entérobactéries) et des pathogènes spécifiques (*Salmonella*) qui font partie des tests de routine dans le contrôle microbiologique des aliments et en particulier le lait.

#### IV.1.2.1. Analyses physicochimiques du lait reconstitué

Les paramètres physicochimiques mesurés ou calculés sont : la densité, la matière grasse, le pH, l'extrait sec total (EST), l'extrait sec dégraissé (ESD) ainsi que l'acidité.

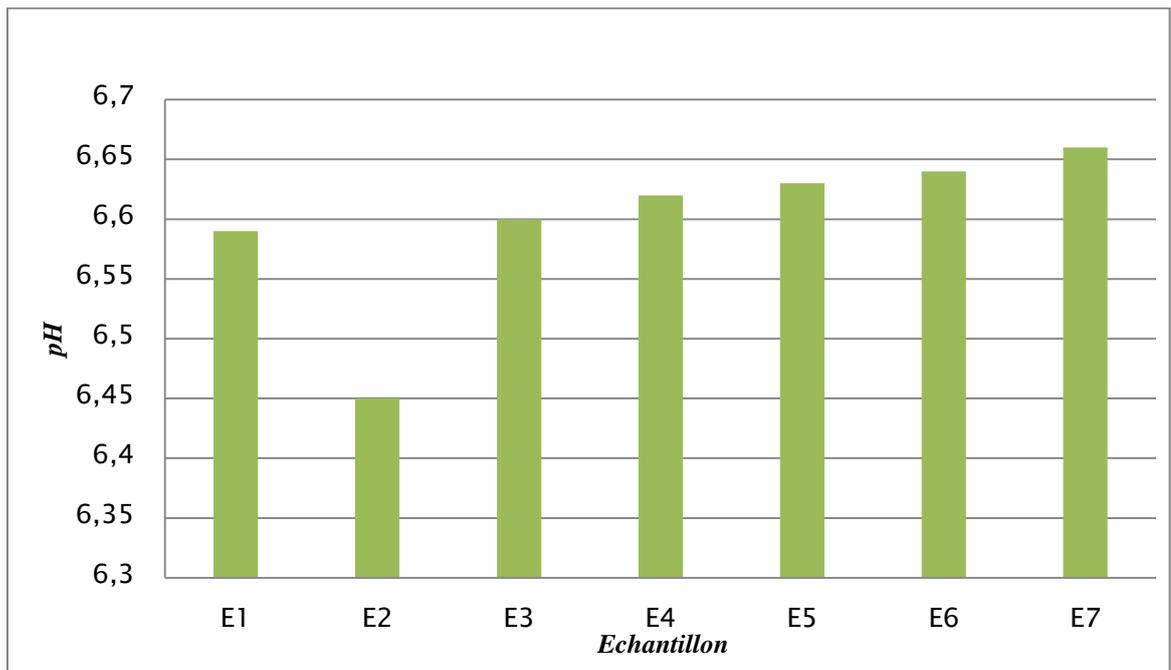
##### IV.1.2.1.1. Détermination de pH

Le pH des différents échantillons du lait reconstitué est mesuré juste après sa préparation pour obtenir une indication précise de son acidité ou de son alcalinité.

Les résultats de l'analyse du pH des sept échantillons de lait sont présentés dans le tableau ci-après et illustrés par la figure (VI.1) :

**Tableau IV.3: Résultats de mesure de pH pour les échantillons analysés.**

Échantillon	pH	Norme
1	6,59	(6,60-6,80) [31]
2	6,45	
3	6,60	
4	6,62	
5	6,63	
6	6,64	
7	6,66	
Moyenne	<b>6,59</b>	



*Figure IV.1: Représentation de pH des différents échantillons du produit fini.*

Le pH des divers échantillons varie de 6,45 à 6,66 avec une moyenne de 6,59 qui reste encore une valeur acceptable selon les normes [31] ou le pH est généralement compris entre 6,60 et 6,80.

On constate que le pH de l'échantillon E2 (6,45) est inférieur à 6,5 cela indique une acidification du lait.

Le pH évolue avec la composition du lait, une teneur élevée en substances acides : protéines, anions phosphates, citrate ou acides lactique entraîne une diminution du pH.

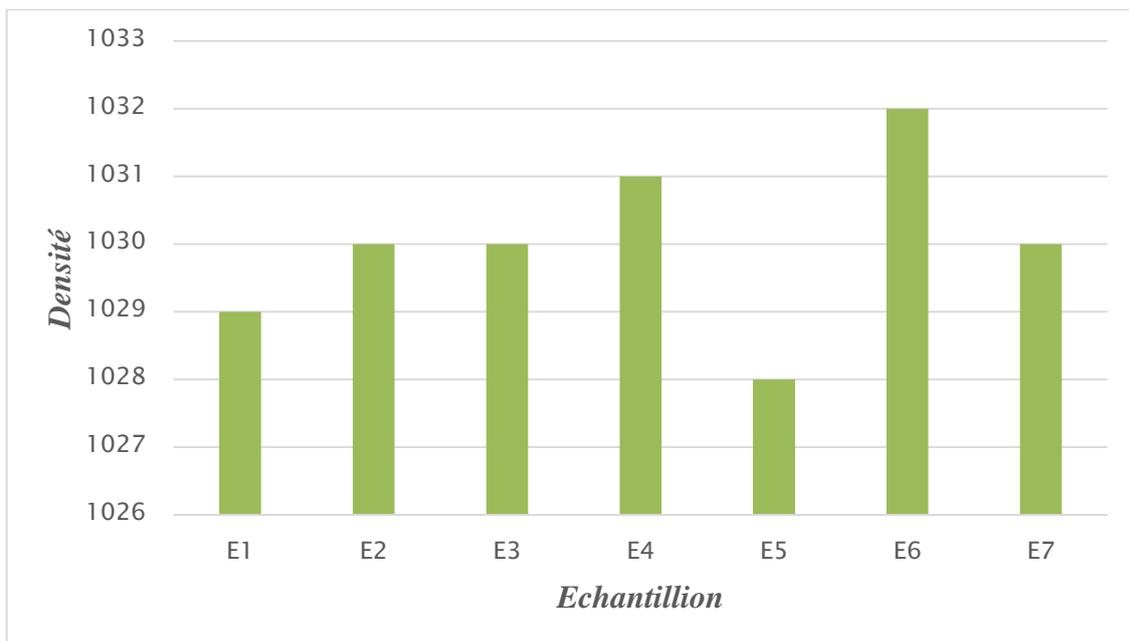
#### **IV.1.2.1.2. Détermination de la densité**

Pour obtenir des résultats précis concernant la densité du lait reconstitué, un densimètre de mesure de la densité spécialement conçu à cet effet est utilisé.

Le tableau suivant présente les résultats de l'analyse de la densité de différents échantillons .

**Tableau IV.4: Résultats de mesure de la densité pour les échantillons analysés.**

Échantillon	Densité (g/cm <sup>3</sup> )	Norme
1	1029	[32] (1030-1034)
2	1030	
3	1030	
4	1031	
5	1028	
6	1032	
7	1030	
<b>Moyenne</b>	<b>1030</b>	

**Figure IV.2: Représentation de la densité des sept échantillons.**

Les résultats illustrés par la figure (VI.2) montrent que la densité des échantillons varie entre 1028 et 1032, avec une moyenne de 1030 .

Ces valeurs sont proches à celles imposées par l'état, qui sont situées entre 1030 et 1034 [32].

Il est évident que la densité d'un lait dépend de sa teneur en matière sèche et est inversement proportionnelle au taux de matière grasse. L'écémage du lait entraîne donc une augmentation de sa densité.

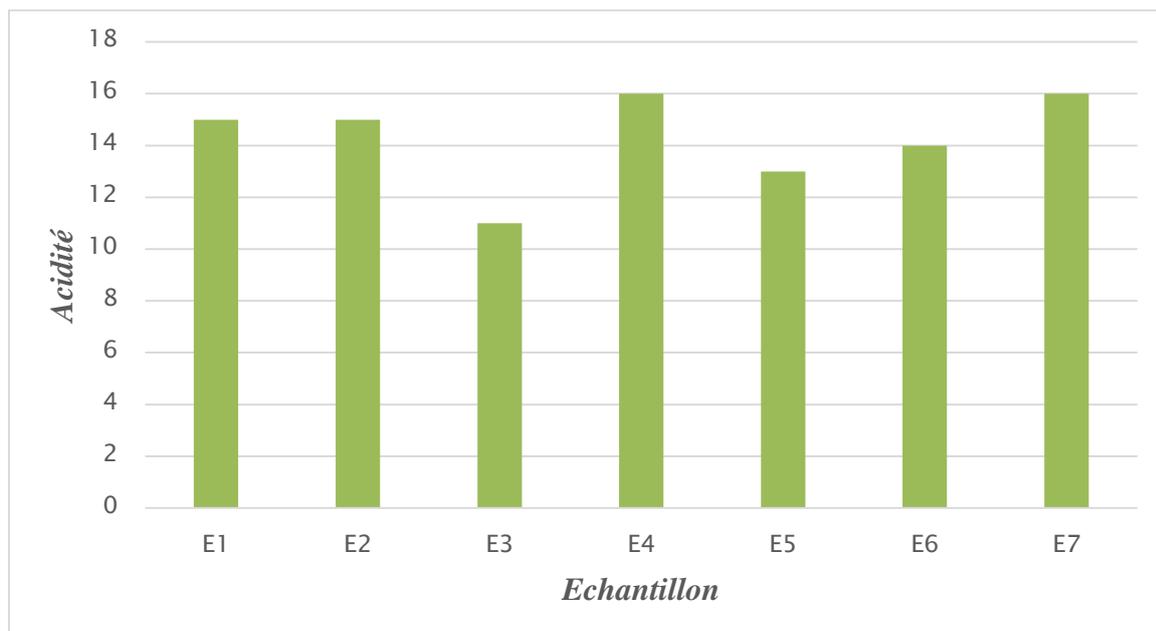
#### IV.1.2.1.3 Détermination de l'acidité titrable

L'acidité du lait est un indicateur clé de sa stabilité et de sa durée de conservation. Des niveaux d'acidité appropriés peuvent contribuer à prévenir sa détérioration en inhibant la croissance de micro-organismes responsables de la dégradation. Elle correspond à la quantité d'acide lactique présente dans le lait. On rappelle que l'acidité titrable = acidité naturelle + acidité développée.

Le tableau ci-dessous regroupe les résultats de l'analyse de l'acidité titrable de différents échantillons du lait reconstitué.

**Tableau IV.5: Résultats de mesure de l'acidité des divers échantillons du produit fini.**

Échantillon	Acidité (D°)	Norme
1	15	15 – 18 [33]
2	15	
3	11	
4	16	
5	13	
6	14	
7	16	
<b>Moyenne</b>	<b>14,28</b>	



**Figure IV.3 : Représentation de l'acidité.**

Selon les données présentées dans le tableau et illustrées par la figure (VI.3), les échantillons présentent des valeurs d'acidité titrable allant de 11 à 16 °D, avec une valeur moyenne de 14,28 °D. D'après ces résultats, trois échantillons (3-ème, 5-ème et 6-ème) présentent des valeurs d'acidité inférieures à la norme, qui se situe entre 15 et 18 °D, c'est-à-dire 1,5 à 1,8 g/l d'acide lactique. Les constituants du lait qui contribuent à l'acidité naturel sont les phosphates (0,09 %), les caséines (0,05 - 0,08 %) les autres protéines (0,01 %), les citrates (0,01 %) et le bioxyde de carbone (0,01 %). En plus de cette acidité naturelle, il y a également l'acidité développée qui découle de l'évolution des bactéries lactiques qui produisent de l'acide lactique par fermentation du lactose [33].

#### **IV.1.2.1.4 Détermination de la matière grasse**

Cette analyse est également essentielle pour garantir la qualité et la valeur nutritionnelle du lait reconstitué. La teneur en matière grasse dépend du type de lait en poudre utilisé et du rapport de dilution appliquée. Elle est mesurée par la méthode Gerber.

Les résultats de la mesure de la matière grasse dans les divers échantillons sont présentés dans le tableau (VI.6).

Tableau IV.6: Teneur en matière grasse des échantillons analysés.

Echantillon	Matière grasse (g/l)	Norme
1	15	15 à 20 g/l [34]
2	14	
3	15	
4	16	
5	14	
6	13	
7	15	
<b>Moyenne</b>	<b>14,57</b>	

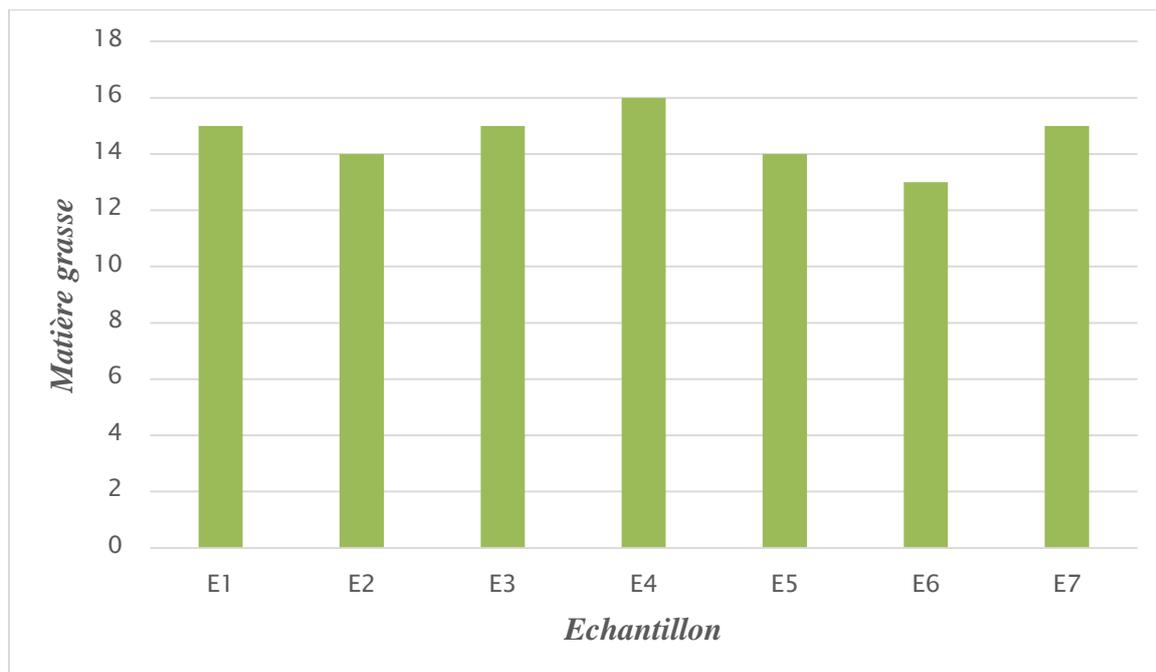


Figure IV.4: Représentation de la matière grasse dans les sept échantillons analysés.

Il est recommandé que la quantité de matière grasse dans le lait soit comprise entre 15 et 20 g/l. En analysant les résultats présentés dans le tableau ci-dessus, on constate que la teneur en matière grasse des échantillons est comprise entre 13 et 16 g/l, avec une valeur moyenne de 14,57 g/l, légèrement en deçà de l'intervalle requis par l'OMS [34]. L'objectif de la reconstitution est de combiner de l'eau et du lait en poudre écrémé et entier afin d'obtenir

un lait partiellement écrémé avec un rapport matière grasse/matière sèche dégraissée conforme au produit souhaité. On peut expliquer les faibles quantités de matière grasse présentes dans les deux derniers échantillons par le non-respect du rapport entre la matière grasse et la matière sèche dégraissée.

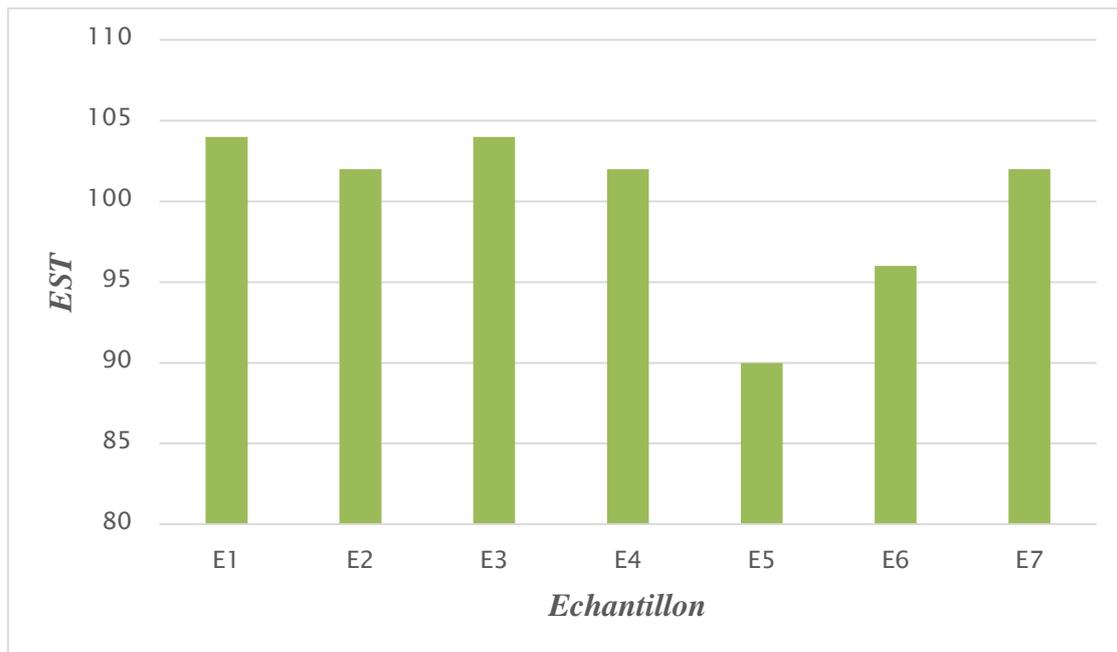
#### IV.1.2.1.5 Détermination de l'EST

L'extrait sec total représente l'ensemble des composants du lait qui forment la matière sèche, obtenue par évaporation de l'humidité du lait. Elle est mesurée par dessiccation.

Les résultats de la mesure de l'extrait sec total de divers échantillons sont présentés dans le tableau ci-dessous :

*Tableau IV.7: L'extrait sec total "EST" des échantillons analysés*

Echantillon	EST (g/l)	Norme
1	104	<b>[33]</b> EST=103 g/l.
2	102	
3	104	
4	102	
5	90	
6	96	
7	102	
<b>Moyenne</b>	100	



**Figure IV.5 : Représentation de l'extrait sec total des échantillons du lait étudié.**

Les valeurs de l'EST affichées dans le tableau (VI.7) varient de 90 à 104 g/l, avec une valeur moyenne de 100 g/l. La diminution de la teneur en matière sèche totale est principalement due à une réduction de la poudre de lait (entier ou écrémé) lors de la reconstitution du lait, ce qui a un impact sur la qualité ainsi que le goût de ce lait.

#### **IV.1.2.1.6 Détermination du taux d'ESD**

La détermination du taux d'extrait sec dégraissé (ESD) du lait se fait en soustrayant la teneur en matière grasse de l'extrait sec total (EST).

Le tableau suivant expose les résultats de l'analyse de l'extrait sec dégraissé de divers échantillons de lait.

Tableau IV.8: L'ESD des échantillons analysés.

Echantillon	ESD (g/l)	Norme
1	89	[35] 90 g/l
2	87	
3	89	
4	87	
5	76	
6	83	
7	85	
<b>Moyenne</b>	85,14	

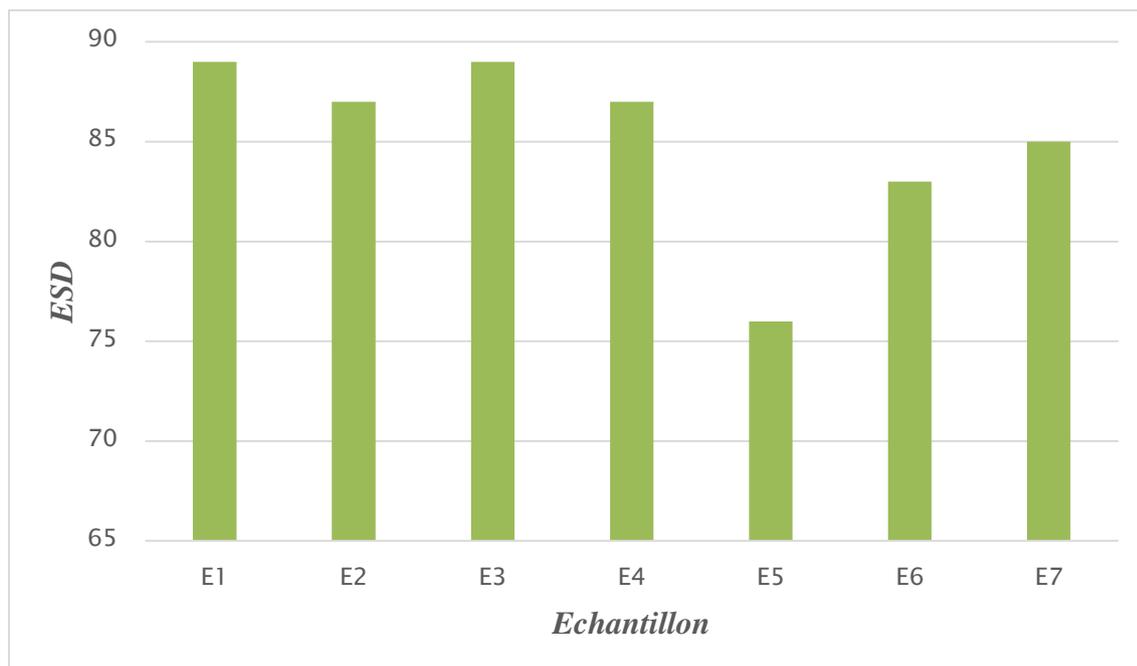


Figure IV.6 : Représentation de l'extrait sec dégraissé de divers échantillons.

La quantité de l'extrait sec dégraissé exprime la teneur en éléments secs débarrassés de la matière grasse, elle est presque toujours proche de 90 g/l. Les résultats illustrés par la représentation graphique ci-dessus montrent des valeurs allant de 76 à 89 g/l avec une valeur moyenne d'environ 85,14 g/l.

Ces résultats sont nettement en dessous de la norme mentionnée dans le journal

officiel de la République Algérienne (1993), qui fixe la quantité de matière sèche dégraissée dans le lait reconstitué à 90 g/l. Il se peut que certaines pratiques industrielles ne soient pas conformes aux normes de qualité établies, par exemple par la dilution du lait pour augmenter le volume de production, ce qui est une pratique frauduleuse et /ou le lait en poudre ne respecte pas les normes.

#### IV.1.2.2. Analyses microbiologiques du lait pasteurisé partiellement écrémé

Le contrôle microbiologique du lait pasteurisé vise à évaluer les conditions hygiéniques de fabrication et de conservation, en recherchant des microorganismes indicateurs de contamination pour protéger la santé du consommateur.

Dans notre étude, nous avons réalisé des analyses microbiologiques du lait pasteurisé partiellement écrémé afin de repérer des microorganismes tels que les bactéries aérobies, l'Enterobacteriaceae et Salmonella.

Les analyses ont été effectuées sur trois échantillons du lait étudié à des températures de 30 °C et 37 °C.

Les résultats de ces analyses sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau IV.9 : Analyses microbiologiques du lait pasteurisé partiellement écrémé.**

Intitulé de l'analyse	Résultat / Echantillon			Normes
	1	2	3	
Germes aérobies [30 °C]	14/ml	10/ml	12/ml	10 <sup>5</sup> /ml
Enterobacteriaceae [37 °C]	Abs/ml	Abs/ml	Abs/ml	10/ml
Salmonella [37 °C]	Abs/ml	Abs/ml	Abs/ml	Abs dans 25 ml

Les tests microbiologiques effectués sur le lait pasteurisé partiellement écrémé révèlent l'absence de l'Enterobacteriaceae et de Salmonella à une température de 37 °C, ainsi que des niveaux adéquats de bactéries aérobies à 30 °C, c'est-à-dire des valeurs très inférieures au seuil spécifique pour ces microorganismes. La qualité microbiologique du lait analysé est donc satisfaisante.

#### IV.1.3. Qualité organoleptique du lait

Il est essentiel d'analyser la qualité organoleptique du lait, en particulier lorsqu'on le consomme en nature, car il est souvent consommé froid, ce qui met en avant ses qualités gustatives naturelles. La présence de café ou de chocolat dans le lait chaud peut altérer ses

propriétés naturelles.

L'analyse organoleptique du lait permet de détecter d'éventuelles anomalies, comme une dégradation due à l'oxydation, des variations de couleur, de consistance ou de texture, qui peuvent influencer la perception du consommateur sur la qualité du lait.

Dans notre travail, ces tests sensorielles ont été faites sur le produit fini (LPPE) obtenu le 19 mars de l'année en cours. Les résultats de ces tests sont récapitulés dans le **tableau (IV.10)**.

*Tableau IV.10 : Qualité organoleptique du lait.*

Caractère examiné	Résultat	Norme
Couleur	Blanc mat	Blanc mat : lait normal. Blanc jaunâtre : lait riche en crème Blanc bleuâtre : lait écrémé ou fortement mouillé
Odeur	Absence d'odeur anormale	Odeur faible
Gout et Saveur	Absence d'anomalie de gout	Saveur caractéristique et agréable (variable selon le degré de chauffage du lait ).
Consistance	Liquide	Aspect homogène

Le lait testé contient environ 2 % de matière grasse. Il a une consistance plus liquide et une teneur en lipides plus faible que le lait entier, le rendant légèrement moins savoureux, il a une apparence blanche, une odeur fraîche et douce, un goût frais et sain et une texture lisse et homogène (**Tableau IV. 10**). Ainsi le lait analysé présente une qualité sensorielle en accord avec les normes.

## IV.2. Partie théorique

### IV.2.1. Molécule de l'acide lactique

Les figures (IV.7) et (IV.8) représentent respectivement l'acide lactique numéroté et la molécule optimisée par le logiciel GAUSSIAN en utilisant la DFT pour une compréhension approfondie de l'acidité des groupes fonctionnels au sein de la molécule.

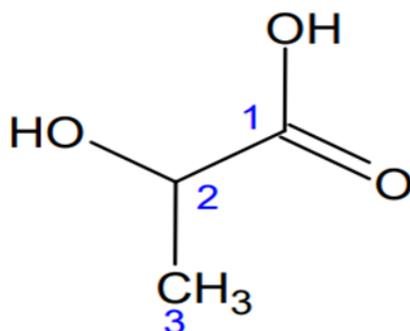


Figure IV.7: Molécule de l'acide lactique avec numérotation.

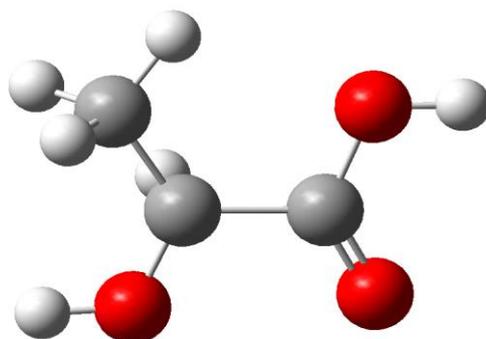


Figure IV.8: Molécule de l'acide lactique optimisée (B3LYP/6-311+ +G(d,p)).

### VI.2.2. Calcul des $pK_a$ de LA (acide lactique)

Le  $pK_a$  est la constante de dissociation acide, exprimée sous forme logarithmique, et il représente le pH auquel la moitié des molécules d'acide sont dissociées (libérant un proton  $H^+$ ) et l'autre moitié sont non dissociées

Les valeurs des énergies de Gibbs (enthalpies libres) en phase gazeuse et en solution sont rassemblées dans le tableau (IV.11).

Tableau IV.11: Valeurs des énergies de Gibbs des OH.

Entité	AL(1-O <sup>-</sup> )	AL(2-O <sup>-</sup> )
$G_g(\text{ua})$	-343.079	-342.664
$G_{\text{sol}}(\text{ua})$	-343.200	-343.167

Selon le tableau ci-dessus nous constatons que les valeurs des énergies de Gibbs sont

proches et sont toutes négatives.

L'acide lactique est l'un des principaux contributeurs à l'acidité du lait, surtout dans les produits laitiers fermentés.

La force d'un acide est mesurée par son  $pK_a$ . Dans ce travail, nous avons calculé théoriquement les  $pK_a$  des deux OH; celui de la fonction hydroxyle et du groupe carboxyle de l'acide lactique.

Le tableau ci-dessous récapitule les valeurs des variations des énergies de Gibbs et les valeurs de  $pK_{as}$  des différents OH de l'acide lactique.

**Tableau IV.12: Les variations des énergies de Gibbs et  $pK_a$  des OH.**

Entité	AL (1-O <sup>-</sup> )	AL (2-O <sup>-</sup> )
$\Delta G_g$ (Kcal/mol)	177,00	432,98
$\Delta G_{sol}$ (Kcal/mol)	7,32	24,89
$pK_a$	3,62	16,50

Le tableau ci-dessus indique que les valeurs de  $pK_a$  de OH-1 est de 3,62. Cette valeur est très proche de la valeur expérimentale (3,86) [36]. Tandis que le  $pK_a$  du site OH-2 est de 16,50.

La valeur de  $pK_a$  (3,62) du site (OH-1) indique que cet acide est un acide faible. Cela signifie qu'il ne se dissocie pas complètement dans l'eau, et la solution contenant de l'acide lactique aura un pH modérément acide. Ce qui lui permet d'être à la fois un agent tampon et un régulateur de pH efficace dans divers milieux biologiques et industriels.

La valeur du  $pK_a$  du groupe hydroxyle (site OH-2) de l'acide est considérablement plus élevée que celle du groupe carboxyle (site OH-1), reflétant la nature beaucoup moins acide du groupe hydroxyle par rapport au groupe carboxyle qui peut céder aisément un proton au profit d'une autre molécule au radical. Donc c'est le site le plus avantageux pour l'activité antioxydante.

Cependant, si l'on considère spécifiquement le groupe hydroxyle attaché au carbone 2 (le carbone adjacent au groupe carboxyle), sa déprotonation est beaucoup moins favorable. Le groupe hydroxyle (OH-1) en général a un  $pK_a$  beaucoup plus élevé que le groupe carboxyle. Pour les alcools, les  $pK_a$  sont typiquement dans la gamme de 15 à 18, mais cela peut être modifié par des effets inductifs et de résonance.

**Conclusion**

L'étude des caractéristiques physico-chimiques, microbiologiques et organoleptiques du lait reconstitué a révélé que la plupart des paramètres analysés respectent les normes requises, garantissant une qualité optimale du produit final. Cependant, quelques échantillons présentent des valeurs légèrement en dehors des normes. Malgré ces exceptions, la qualité globale du lait reconstitué reste satisfaisante. On outre, le calcul théorique des  $pK_a$  des deux OH de l'acide lactique a montré, que le  $pK_a$  de la déprotonation du groupe hydroxyle de l'acide lactique est bien supérieur à celui du groupe carboxyle.

# *Conclusion générale*

## Conclusion générale

La partie expérimentale de notre étude est réalisée dans la laiterie AFIA d'ANNABA pendant la période du 19 février au 21 mars de l'année en cours.

Ce travail avait pour objectif, d'une part, de suivre la chaîne de production d'un lait pasteurisé partiellement écrémé, et d'autre part, de vérifier la qualité de ce produit en effectuant des analyses organoleptiques, physico-chimiques et microbiologiques de l'eau traitée utilisée pour la fabrication du lait et du produit fini. En revanche, l'évaluation théorique de la force de l'acide lactique est réalisée en calculant les  $pK_a$  de ses deux sites OH en utilisant le logiciel GAUSSIAN.

Au terme de ce travail, nous avons obtenu les principaux résultats suivants :

- Le procédé de fabrication du lait pasteurisé reconstitué qui a été commencé par la réception et le stockage de la poudre dans des conditions appropriées pour préserver sa qualité, jusqu'au conditionnement a été bien suivi et le produit obtenu était d'une apparence blanche, une odeur fraîche et douce, un goût frais et sain et une texture lisse et homogène. Ainsi le lait produit par la laiterie AFIA présente une qualité sensorielle en accord avec les normes.
- Les différents paramètres physico-chimiques et microbiologiques analysés sont, dans l'ensemble, proches des normes recommandées ou s'y conforment. Toutefois, quelques échantillons présentent des valeurs légèrement inférieures aux normes. Malgré cela, aucun dépassement des spécifications critiques n'a été décelé pour la plupart des échantillons prélevés, que ce soit pour l'eau ou pour le lait pasteurisé reconstitué. Cela permet de conclure que le produit fini, à savoir le lait pasteurisé reconstitué, est globalement de bonne qualité.
- Le calcul théorique de la force d'acidité de l'acide lactique montre qu'il est principalement acide via le groupe carboxyle ( $pK_a$  est d'environ 3,62 (site OH-1)).
- Cette acidité est modérée, permettant à cet hydroxyacide, de jouer un rôle significatif dans les processus biologiques et industriels, notamment dans la fermentation du lait.

- Les valeurs de  $pK_a$  obtenues sont cohérentes avec les données expérimentales, confirmant la validité des calculs théoriques et fournissant des informations précieuses pour la compréhension et l'utilisation de l'acide lactique dans divers domaines.

# *Références*

---

## Références

- [1] **Kara S, Mehiedine T, 2020.** Etude de la qualité physico-chimique et microbiologique des laits commercialisés; Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem.
- [2] **Ider Z, 2017.** Suivi de processus de fabrication, analyse physicochimique et microbiologique de lait reconstitué pasteurisé L.P.C. au niveau de Tifra-lait; Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [3] **Benallegue H, Debbeche S, 2015.** Etude de la qualité physico-chimique et microbiologique de 3 marques de lait U.H.T, (Candia, Obeï et Hodna); Université des Frères Mentouri Constantine.
- [4] **Kourghli S, Hadj Ammer S, 2018.** Analyses physico-chimiques et microbiologiques du lait pasteurisé conditionné de Laiterie Fromagerie de Boudouaou; Université Akli Mohand Oulhadj– Bouira.
- [5] **Allouche M, Baghdadi M, 2022.** Effet des traitements technologique sur la qualité physico chimique et microbiologique du lait cru et reconstitué; Université Ibn-Khaldoun de Tiart.
- [6] **Azzouz K, Medioune N, Mechouche H, 2004.** contrôle de la qualité physico-chimique du lait reconstitué pasteurisé; Université de Jijel.
- [7] **Guernane N, Haballa A, 2021.** Étude comparative des analyses physico-chimiques et microbiologiques entre le lait cru et la poudre de lait; Université M’hamed Bougara (Boumerdes).
- [8] **Kigmou A, Belaroussi A, 2019.** Caractérisation physico-chimique et microbiologique de lait pasteurisé de la laiterie d'Adrar; Université d'Adrar.
- [9] **Lot M, Tahraoui K, 2019.** Caractérisation de la qualité physico-chimique et microbiologique du lait pasteurisé conditionné de la "W" Beni Tamou; Université Saad Dahlab de Blida1.
- [10] **Chethouna F, 2011.** Etude des caractéristiques physico-chimiques, biochimiques et la qualité microbiologiques du lait camelin pasteurisé, en comparaison avec le lait camelin cru; Université Kasdi Merbah Ouargla.
- [11] **Gosta B, 1995.** Lait longue conservation, une manuelle transformation de lait. Edition: Sweden; Paris.
- [12] **Kourghil S, Hadj Ammer S, 2018.** Analyses physico-chimiques et microbiologiques du lait pasteurisé conditionné de Laiterie Fromagerie de Boudouaou; Université Akli Mohand

Oulhadj-Bouira.

[13] **Bouklouche M, 2018.** Procédé de fabrication du lait; Analyses physico-chimiques, Université Akli mohand Oulhadj bouira.

[14] **Avezard C, Lablee J, 1990.** Laits et produits laitiers recombines

[15] **Joël C, 2008.** Cours: Opérations unitaires ingénierie biologique: "LA ASTEURISATION "

[16] **Jeantet R, Croylene T, Mahant M, Schuck P, 2008.** Mémoire de magister; les produits laitiers.

[17] **Neze Chaib M, 2018-2019.** Mémoire de master; Contrôle de l'intégration de lait cru demi écrémé (15g/l) dans le lait pasteurisé conditionné (LPC): Cas de la laiterie « GIPLAIT », Mostaganem.

[18] **Avesard, 1980.** Mémoire de magister; Les laits reconstitués.

[19] **Chouiti F, 2013-2014.** Mémoire de master; Recherche et caractérisation des bacilles thermophiles dans le lait pasteurisé de vache et le lait recombinaé.

[20] **Luquetf M, 1986.** Mémoire de master; Laits et produits laitiers vache, Brebis, Chèvre.

[21] **Crittenden J, Trussell R, Hand D, 2012.** Water treatment; principles and design.

[22] <https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/chimie-ph-222/>

[23] **Tebbakh S, Kelaiaia B, 2020.** Suivi du procédé de production et contrôle de qualité de la tomate (*Solanumlycopresicon L.*) de l'usine Zimba (Guelma); l'Université 8 Mai 1945, Guelma.

[24] <http://www.eaudeparis.fr/vos-questions-nos; reponses/categorieFAQ/qualite-de-leau-du-robinet/>

[25] **Dafri N, Khamassi I, Nouadri H, 2019.** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau utilisée dans les industries agro-alimentaire Cas ; Conserverie Amor Ben Amor-Bouati Mahmoud, l'Université 8 Mai 194; Guelma.

[26] **Audigie C, Figarella J, Zonszain F. (1984).** Manipulation d'analyse biochimique; Edition : DOIN, Paris.

[27] **Debabi M, Mkouadri A, 2015.** Suivi de la cinétique de l'acidité titrable et du pH des laits collectés du marché ; UNIVERSITE 8 MAI 1945 GUELMA.

[28] <https://www.lachimie.fr/solutions/phmetrie/ph.php>.

[29] **Josefredo R, Pliego Jr, 2002.** Thermodynamic cycles and the calculation of pKa; Universida de Federal de Santa Catarina, CEP 88040-900, Florianopolis, SC, Brazil.

[30] <http://dspace.univdjelfa.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/644/%20>

Chapitre%20I.pdf?sequence=4&isAllowed=y

[31] **Jora ,1998**. Critères microbiologiques des laits et des produits laitiers. Journal officiel de la république algérienne (1998).N°35, 37ème ANNEE, 1 safar 1419 correspondant 27 mai 1998 Arrêté interministériel du 25 Ramdhan 1418 correspondant au 24 janvier 1998 modifiant et complétant l'arrêté du 14 safar 1415 correspondant au 23 juillet 1994 relatif aux spécification microbiologiques de certaines denrées alimentaires. p : 8.

[32]**Ghaoues S,(2011)**. Evaluation de la qualité psycho-chimique et organoleptique de cinq marques de laits reconstitués partiellement écrémé commercialiser dans l'est Algérie mémoire pour l'obtention du diplôme de magister en science alimentaire, Mentouri Constantine.130P.

[33]**Adrian J.( 1987)** . valeur alimentaire du lait. La maison rustique, Paris 85-95.

[34]**Nist Chemistry WebBook** ; Une ressource en ligne fournie par le National Institute of Standards and Technology (NIST), qui répertorie les propriétés chimiques et physiques de nombreux composés.

[35]**Veisseyre R, (1979)**.Technologie du lait constitution, récolte, traitement et transformation du lait. 3<sup>ème</sup> édition. Edition la maison rustique, Paris.

[36]**Handbook of Chemistry and Physics** ; Publié par la CRC Press, cette source est un guide de référence standard pour de nombreuses données chimiques, y compris les pKa des acides organiques et inorganiques.