



PRINTEMPS DES SCIENCES 2021

ANNÉE ACADÉMIQUE 2020-2021

SYNTHÈSE DE BIOPLASTIQUES À BASE DE LAIT

PROJET DE COMMUNICATION SCIENTIFIQUE

AYGUN SERDAR, BRABANT MARIE, METTEN MARGAUX, VANDER EYKEN ANNICK
FACULTÉ DES SCIENCES, DÉPARTEMENT DE CHIMIE
ENCADRANTS : LELOUP JEAN-CHRISTOPHE, OUADI SANA
UNIVERSITÉ LIBRE DE BRUXELLES




Table des matières

Description du projet de communication scientifique.....	2
Annexe 1 : Feuilles de protocole.....	4
Annexe 2 : Feuille de rapport.....	6
Annexe 3 : Modifications, résultats et observations.....	7
I) Réaction observée lors de l'ajout de l'acide.....	7
II) Influence du pH.....	11
III) Influence de la température du lait.....	15
IV) Influence du type de lait.....	16
V) Propriétés du bioplastique obtenu à base de lait entier et de vinaigre.....	18
VI) Ajout de glycérol.....	18
VII) Conclusion.....	19
Annexe 4 : Bibliographie.....	20
Annexe 5 : Bibliographie de la présentation PowerPoint.....	23
Annexe 6 : Tables des illustrations de la présentation PowerPoint.....	27

Les bioplastiques à base de lait

AYGUN Serdar, BRABANT Marie, METTEN Margaux, VANDER EYKEN Annick

Description du projet de communication scientifique

Les plastiques à base de pétrole ont de plus en plus d'effets néfastes. En effet, ils posent un problème de pollution dû à leur dégradation extrêmement lente et ils ont des impacts nocifs sur la faune et sur notre vie en général (1)). Pour essayer de contrer ce phénomène, des bioplastiques ont été développés. Nous avons tenté, nous aussi, de créer un bioplastique pour pouvoir apporter une alternative aux plastiques traditionnels.

Différents types de plastiques existent (2) et 3)):

- Les plastiques traditionnels : fabriqués à partir de pétrole et non biodégradables. Ce type de plastique est produit en grande majorité par rapport aux bioplastiques.
- Les bioplastiques issus du pétrole mais biodégradables, c'est-à-dire qu'ils sont susceptibles d'être décomposés par des organismes vivants, exemple : le polycaprolactone (composé de monomères d'hexanoate issus de l'industrie du pétrole) (4)).
- Les bioplastiques non biodégradables mais biosourcés, fabriqués à partir de matières biologiques (non fossile), exemple : le BIO-PE (bio polyéthylène), fabriqué à partir de la fermentation de la canne à sucre, utilisé autant comme film plastique que comme tuyau ou flacon d'emballage (5)).
- Les plastiques biosourcés et biodégradables, exemple : le polyhydroxyalcanoate (PHA), produit à partir de la fermentation bactérienne de sucres ou de lipides, utilisés par exemple comme film alimentaire (6)).

Quant à nous, nous avons fabriqué un bioplastique à base de lait et de vinaigre et celui-ci fait partie de la catégorie des bioplastiques qui sont biosourcés et biodégradables. Le caillé du lait est le point central de notre expérience.

Nous avons essayé d'optimiser la masse de solide obtenue et la texture du bioplastique en jouant sur le pH, sur la température à laquelle le lait est chauffé et sur le type de lait utilisé.

C'est la caséine du lait qui nous intéresse tout particulièrement. Cette protéine est sous forme de micelles (figure 1) qui se repoussent entre elles au pH naturel du lait car elles sont chargées négativement (7).

1

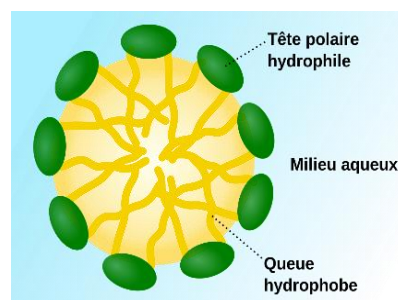


Figure 1 : Structure d'une micelle

À l'ajout d'un acide, les micelles se protonent et cessent de se repousser. Nous obtenons alors le caillé qui nous intéresse. Une fois sec, nous pouvons observer un solide dur et non élastique. C'est notre bioplastique fait à base de lait (figure 2).



Figure 2 : Résultat du bioplastique obtenu

Les bioplastiques sont une alternative indispensable face aux dangers des plastiques traditionnels. Certains produits que nous utilisons quotidiennement sont déjà fabriqués dans le but d'être plus respectueux de l'environnement. Malheureusement, les plastiques traditionnels sont encore produits en quantité astronomique et ceux qui sont déjà dans l'environnement vont se dégrader bien trop lentement (100-1000 ans)(8). Il est donc primordial de sensibiliser la population à ce sujet et de continuer à développer les bioplastiques dans l'optique de diminuer la pollution et les autres impacts sur notre écosystème comme la contribution de gaz à effet de serre lors de la production des plastiques conventionnels.

¹ Figure issue du site : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Micelle>



Synthèse de bioplastiques

à base de lait

EXPERIMENTARIUM
DE CHIMIE

Faculté
des
Sciences **ULB**

I) Réactifs nécessaires (pour obtenir un solide de +/- 4 grammes)

- 50 mL de lait entier
- 3 mL de vinaigre
- Colorants alimentaires (optionnel)

II) Matériel nécessaire

- Une plaque magnétique chauffante
- Un essuie
- Deux béchers de 150 mL
- Un verre à pied de 50 mL
- Un entonnoir
- Une pipette pasteur
- Une baguette en verre
- Un thermomètre
- Une spatule
- Une petite cuillère
- Une puce magnétique
- Un filtre
- Un morceau de papier sulfurisé
- Une étuve
- Emporte-pièces

III) Mode opératoire

- À l'aide d'un verre à pied, mesurer 50 mL de lait entier et verser le lait dans un bécher de 150 mL.
- Placer le bécher sur la plaque chauffante magnétique.
- Ajouter une puce magnétique et démarrer l'agitation.
- Chauffer le lait à 60 °C et vérifier la température à l'aide d'un thermomètre.
- Une fois le lait à 60 °C, retirer le bécher de la plaque chauffante.
- Ajouter 3 mL de vinaigre au lait chaud à l'aide d'une pipette pasteur.
- Mélanger le tout à l'aide d'une baguette en verre.
- Enlever la puce magnétique et filtrer la solution obtenue à l'aide d'un entonnoir et d'un filtre ou à l'aide d'un essuie. Le caillé récupéré ne doit ni être trop sec, ni trop humide.
- Malaxer le solide récupéré dans le filtre à l'aide d'une spatule ou d'une petite cuillère pour lui donner une texture la plus lisse possible.
- Déposer le solide sur un morceau de papier sulfurisé et donner-lui la forme que vous souhaitez. Le solide formé ne doit pas être trop fin sinon il sera cassant.
- Mettre sécher les bioplastiques obtenus à l'étuve à 65 °C pendant 4 heures.
- Après 4 heures de séchage, récupérer les bioplastiques.



Nom, prénom :

Synthèse de bioplastiques à base de lait

1. Quel est le constituant du lait qui nous intéresse dans cette réaction ?

.....

2. Pourquoi le constituant du lait qui nous intéresse est soluble au pH du lait ?

.....

.....

3. Le vinaigre a-t-il un rôle d'acide ou de base ?

.....

4. Pourquoi ajoute-t-on du vinaigre au lait ?

.....

5. Suite à l'ajout de vinaigre au lait, est-ce que le pH de la solution augmente ou diminue ?

.....

6. Comment s'appelle le pH auquel la charge la protéine est globalement neutre ?

.....

Annexe 3 : Modifications, résultats et observations

Lors de ce travail, nous avons trouvé intéressant de modifier certains paramètres du mode opératoire. D'une part, pour optimiser la masse de solide obtenue et la texture du bioplastique, d'autre part pour comprendre l'importance de certains paramètres.

I) Réaction observée lors de l'ajout de l'acide

Avant de se lancer dans la modification de paramètres, il faut d'abord comprendre la réaction observée lors de l'ajout de l'acide au lait. Pour cela, il faut savoir que le lait est constitué d'eau à 87 %, de glucides entre 4,5 à 5 %, de protéines entre 3 à 3,5 %, de matières grasses de 0,5 à 3,5 % et de minéraux. Les composants du lait qui nous intéressent dans cette réaction sont les protéines. Plus principalement la caséine qui est la protéine la plus présente dans les laits de source animale. Les laits végétaux comme le lait de soja ne contiennent pas de caséines (10)).

La caséine existe sous 4 formes : les caséines α_1 , les caséines α_2 , les caséines β et les caséines κ (11) à 14)). Elles diffèrent entre elles par leur poids moléculaire et le nombre de groupes phosphates qu'elles portent.

- La caséine α_1 (figure 1) est la plus abondante. Elle possède 8 sérines phosphorylées et est sensible au calcium.
- La caséine α_2 (figure 1) est la plus hydrophile des caséines car c'est elle qui possède le plus de groupements phosphorylés. C'est la plus sensible au calcium.

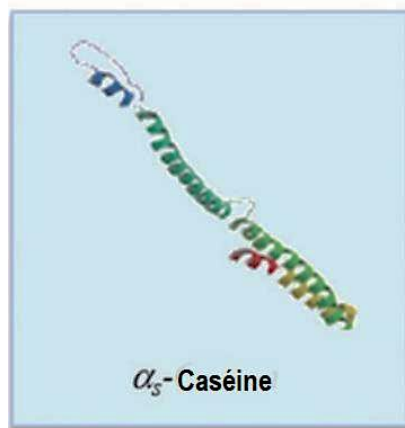


Figure 1 : Structure de la caséine α^2

² Figure 1 issue de : Oliveira, R. S. P. (s. d.). *Modifications des propriétés physico-chimiques de la caséine micellaire en présence du peptide f1-8 généré par hydrolyse trypsique de la bêta-lactoglobuline*. p. 30.

- La caséine β (figure 2) possède 5 sérines phosphorylées et c'est la caséine la plus hydrophobe. Elle est également sensible au calcium et son comportement dépend de la température.

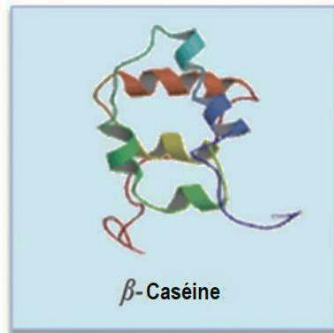


Figure 2 : Structure de la caséine β

- La caséine κ (figure 3) possède une à deux sérines phosphorylées. Elle stabilise les autres caséines par rapport au calcium en créant des complexes solubles. Cette caséine est responsable du maintien du lait à l'état liquide par la création de micelles. C'est la caséine la plus importante pour la coagulation et elle est peu sensible au calcium.

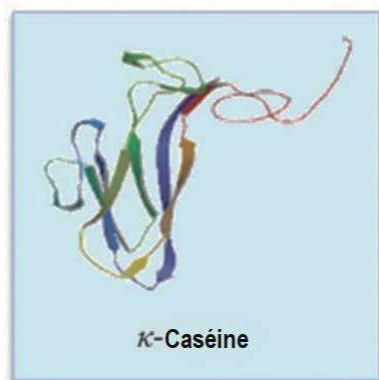


Figure 3 : Structure de la caséine κ ³

³ Figures 2 et 3 issues de Oliveira, R. S. P. (s. d.). *Modifications des propriétés physico-chimiques de la caséine micellaire en présence du peptide f1-8 généré par hydrolyse trypsique de la bêta-lactoglobuline*. p. 30.

La caséine est une protéine qui possède une structure en forme de micelles (figure 4). Une micelle est un assemblage de molécules possédant une tête hydrophile polaire en contact avec le solvant et une queue hydrophobe à l'intérieur de la micelle (figure 4). Une micelle est composée de sous-micelles de caséines (figure 5). Celles-ci contiennent un cœur hydrophobe formé par les caséines β combinées aux parties hydrophobes des autres caséines. Les parties phosphorylées des caséines α et les parties glycosylées des caséines κ recouvrent le cœur de la sous-micelle (figure 5). Les micelles se regroupent entre elles par des liens hydrophobes et par des ponts phosphocalciques qui relient du calcium ionique et des phosphosérines (figure 6) (15) à 17)).

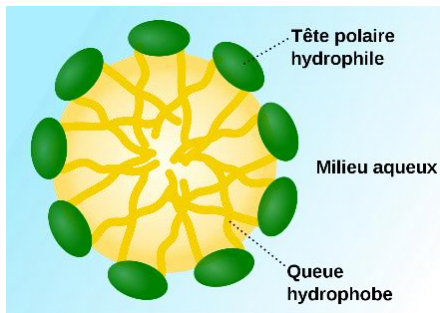


Figure 4 : Structure d'une micelle⁴

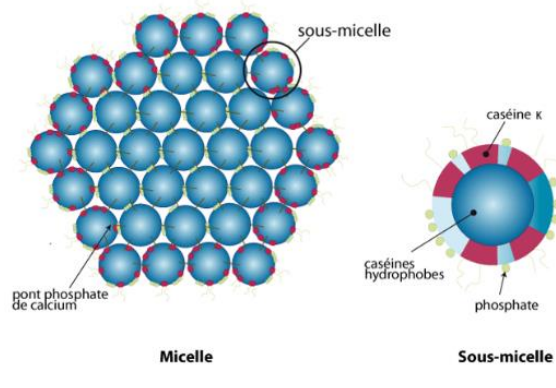


Figure 5 : Assemblage de sous-micelles⁵

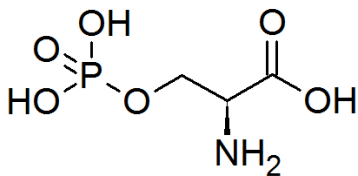


Figure 6 : Structure d'une phosphosérine⁶

⁴ Figure issue du site : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Micelle>

⁵ Figure issue du site : *Protéines alimentaires—Structure de la micelle de caséine.* (s. d.). Consulté 10 mars 2021, à l'adresse https://biochim-agro.univ-lille.fr/proteines/co/ch4_II_e.html

⁶ Figure issue du site : *O-Phosphosérine.* (2018). In *Wikipédia.* <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=O-Phosphos%C3%A9rine&oldid=148551294>

Les micelles de caséines sont stables et solubles au pH du lait (figure 7). Lors de l'ajout de vinaigre, qui joue le rôle d'acide, le lait va être acidifié donc son pH va diminuer (figure 7). Les molécules de caséines vont alors être protonées. En conséquence, celles-ci vont s'attirer car elles perdent leurs charges négatives et deviennent globalement neutres. Elles vont donc former des agrégats insolubles. En effet, à son pH isoélectrique, la caséine devient neutre et précipite. La précipitation de la caséine est due à la dénaturation de celle-ci suite à une modification de pH (18).



Figure 7 : Mesure du pH avant acidification du lait (panneau de gauche), mesure du pH après acidification du lait (panneau de droite)

Suite à cela, nous obtenons une solution hétérogène constituée de deux phases. La phase qui nous intéresse est le caillé. Celle-ci est la phase insoluble qui contient la caséine. C'est avec cette phase que nous allons former le bioplastique. La phase liquide, résiduelle de la coagulation, est composée d'eau, de protéines solubles, de lactose et de minéraux.

✓ Pourquoi les micelles de caséines sont stables et solubles au pH du lait ?

La caséine a un pH isoélectrique de 4,6. Le pH isoélectrique est le pH auquel la charge électrique globale de la caséine est nulle. Nous pouvons voir (figure 8) qu'en dessous de ce pH, la charge globale devient positive. La caséine est alors soluble car les molécules de caséines se repoussent électrostatiquement étant donné qu'elles possèdent la même charge. Au-dessus du pH isoélectrique, la charge globale de la molécule est négative et la caséine est soluble pour la même raison que citée précédemment (19)).

Étant donné que le pH du lait, qui est de 6,8, est plus élevé que le pH isoélectrique de la caséine, la caséine est chargée négativement. Comme les caséines sont chargées négativement, elles se repoussent électrostatiquement entre elles et elles sont donc solubles dans le lait.

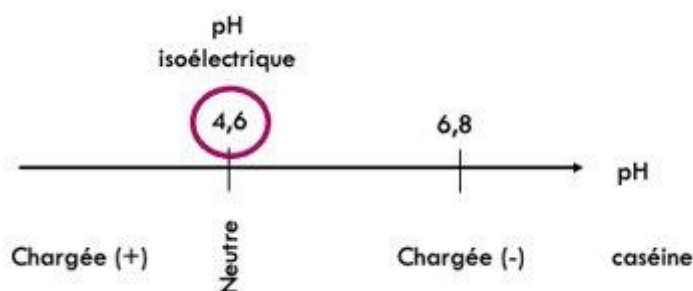


Figure 8 : Illustration du pH isoélectrique de la caséine

II) Influence du pH

Le premier paramètre sur lequel nous avons joué est le pH. Nous avons testé 5 acides avec des pH différents pour déterminer le pH avec lequel la réaction est observée.

Voici un tableau reprenant ce que nous avons testé et les résultats que nous avons obtenus :

Acide ajouté (3 mL)	pH de l'acide	Masse de solide obtenue (g)
Jus d'orange	3,79	0
Coca-Cola	2,49	0
Jus de citron	2,46	4,06
Vinaigre	2,44	4,35
Acide oxalique	1,14	0

Figure 9 : Tableau reprenant la masse de solide obtenue après précipitation de la caséine issue de 50 mL de lait entier en fonction du pH de l'acide

Suite à ces résultats (figure 9), nous avons choisi le vinaigre pour continuer nos expériences car avec le pH de cet acide, nous avons obtenu la meilleure quantité de solide. Nous avons également appuyé notre choix pour une raison économique car comparé aux autres acides, le vinaigre n'est pas cher.

- ✓ Pourquoi notre expérience n'a pas fonctionné avec le coca alors qu'il a un pH proche de l'acide avec lequel nous avons fait nos expériences ?

Il faut savoir que le coca contient de l'acide carbonique et de l'acide phosphorique. Premièrement, nous avons débullé le coca pour éliminer l'acide carbonique qui est sous forme de gaz à température ambiante et pression atmosphérique. En effet, c'est cet acide qui est responsable de la présence de bulles dans le coca. L'expérience utilisant le coca comme acide n'a pas fonctionné malgré que le pH de celui-ci était proche du pH du vinaigre avec lequel nous avons effectué nos expériences. Cela pourrait s'expliquer par le fait que le coca ne contient pas que ces deux acides mais bien d'autres choses. Lors de la réaction, il y a peut-être un interférent présent dans le coca qui empêche la réaction entre l'acide phosphorique et le lait. Cela pourrait expliquer pourquoi nous n'avons pas obtenu de solide (figure 9).

Nous avons également testé l'expérience en influençant le pH de la solution en ajoutant des volumes variables de vinaigre. Grâce à cela, nous pouvons déterminer le pH optimal à avoir après acidification de la solution pour obtenir un bioplastique avec une bonne texture et une masse de solide la plus élevée possible.

Nous avons porté en graphique les résultats obtenus :

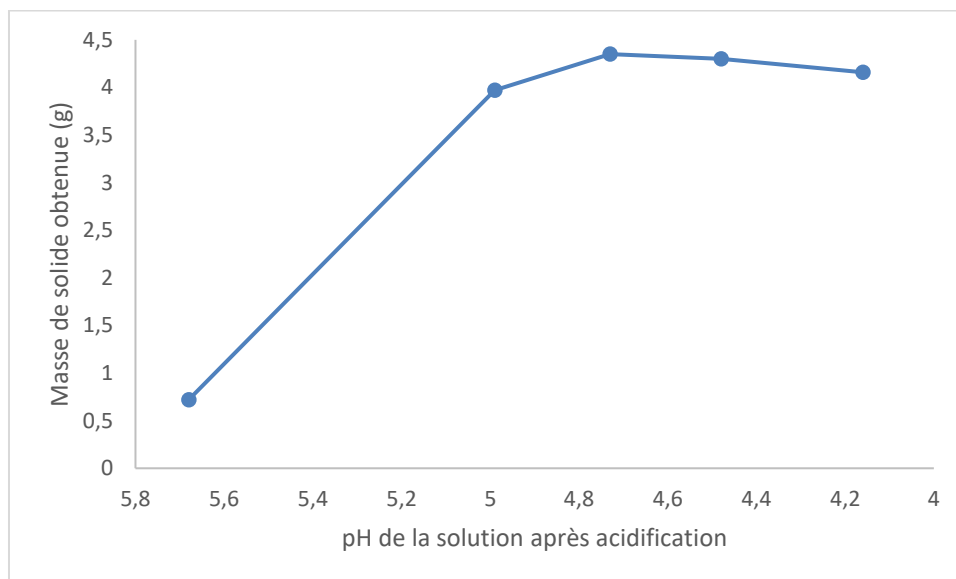


Figure 10 : Évolution de la masse de solide obtenue après précipitation de la caséine issue de 50 mL de lait entier chauffé à 60 °C en fonction du pH de la solution après acidification

Nous pouvons observer (figure 10) que la masse de solide croît lorsque le pH de la solution diminue jusqu'à un maximum. Après celui-ci, la masse de solide diminue. En effet, si le pH de la solution est inférieur au pH isoélectrique de la caséine, la caséine va se charger positivement (explications page 11). Elle va donc se resolubiliser petit à petit car les caséines vont à nouveau se repousser vu qu'elles ont la même charge. Cela va empêcher la précipitation de la caséine et c'est pour cette raison que nous obtenons une masse de solide moins élevée (figure 10). Pour obtenir une masse de solide optimale, il faut que le pH de la solution après acidification soit le plus proche possible du pH isoélectrique de la caséine.

Nous pouvons maintenant comprendre pourquoi lors de l'ajout de 3 mL d'acide oxalique, nous n'avons pas obtenu de solide (figure 9). Lors de l'ajout de celui-ci, nous atteignons plus vite le pH isoélectrique de la solution étant donné que le pH de cet acide est plus faible. Il faut donc adapter le volume d'acide ajouté or nous ne l'avons pas fait. En effet, si nous ajoutons l'acide oxalique en trop grande quantité, nous nous retrouvons déjà dans la partie du graphe où la masse de solide obtenue diminue (figure 10). Pour obtenir un solide en utilisant l'acide oxalique, nous aurions dû mettre un volume plus petit que 3 mL. Nous pouvons donc conclure que ce n'est pas parce que nous prenons un acide avec un pH le plus faible possible que ça va fonctionner, il faut adapter le volume d'acide à ajouter en fonction du pH (20).

✓ Résultats obtenus en fonction du pH de la solution après acidification

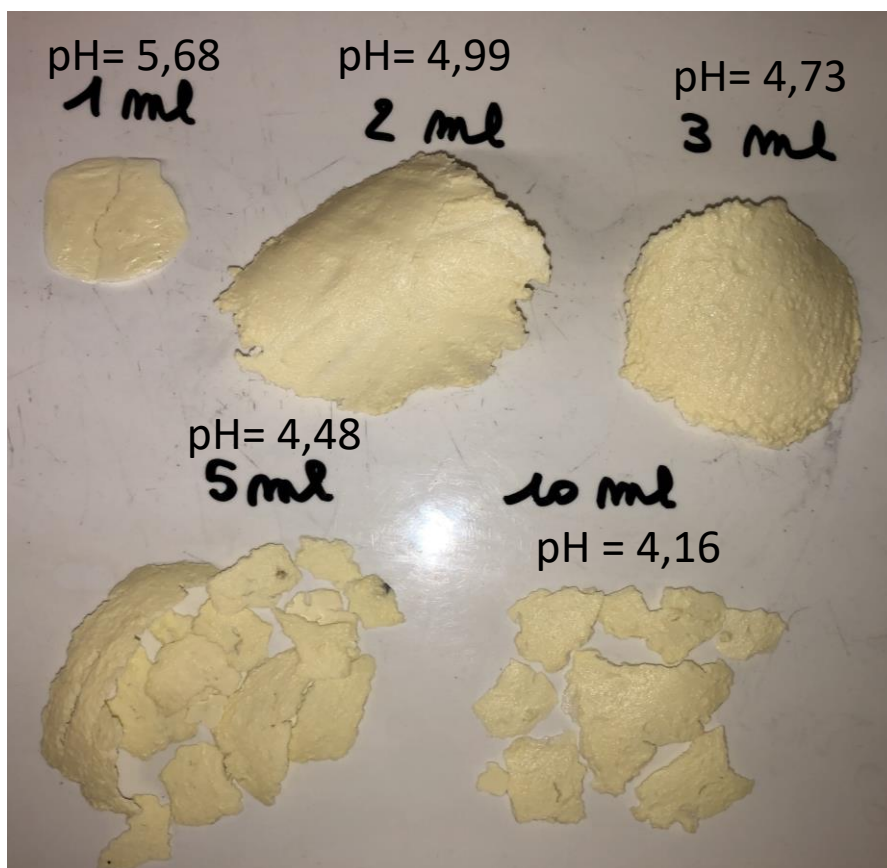


Figure 11 : Résultats obtenus en fonction du pH de la solution après acidification

Nous pouvons observer (figure 11) que lorsque le pH est plus élevé que le pH isoélectrique de la caséine, nous obtenons un solide compact mais celui-ci n'a pas une masse optimale. Lorsque le pH de la solution correspond au pH isoélectrique de la caséine qui est le pH optimum, le solide obtenu est compact et plutôt résistant. À ce pH, nous obtenons la masse de solide la plus élevée. Lorsque le pH est supérieur à l'optimum, les bioplastiques obtenus sont très cassants.

Nous pouvons comprendre les résultats obtenus grâce au schéma suivant (figure 12) :

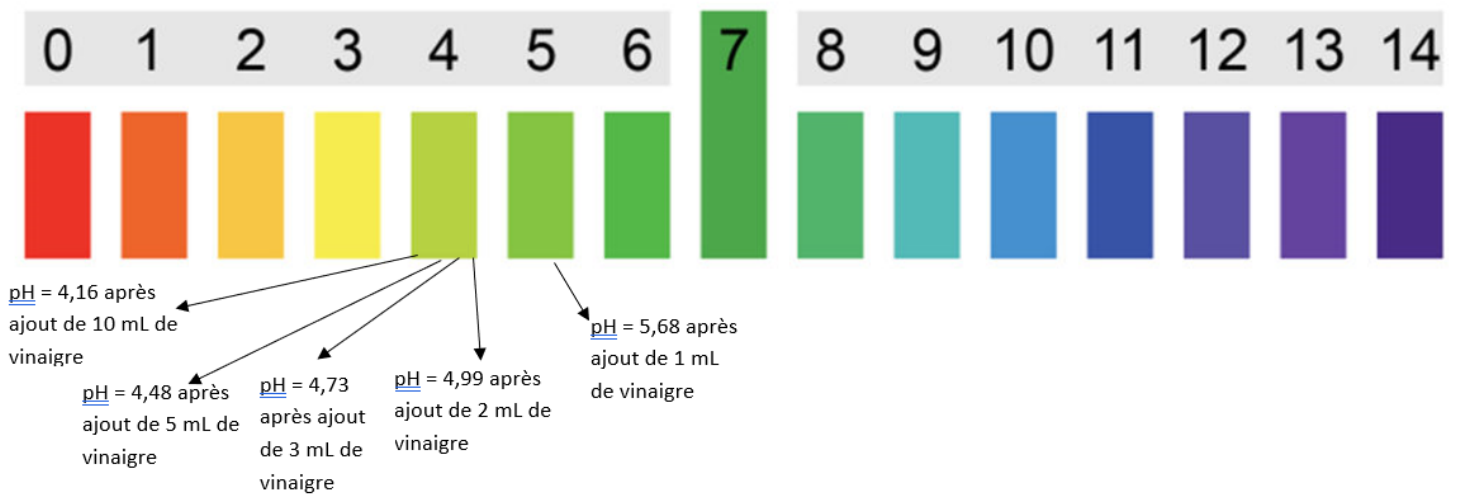


Figure 12 : Confirmation des résultats obtenus en fonction du volume de vinaigre ajouté par la mesure du pH après acidification du lait⁷

En effet, lors de l'ajout d'un ou de deux millilitres de vinaigre, le pH mesuré est au-dessus du pH isoélectrique de la caséine donc toute la caséine n'a pas précipité. C'est pour cela que nous n'avons pas obtenu une masse de solide optimale. Suite à l'ajout de 3 mL de vinaigre, nous sommes aux alentours du pH isoélectrique de la caséine donc celle-ci précipite. Nous obtenons alors une quantité optimale de solide. Lorsque nous ajoutons 5 mL ou plus de vinaigre, nous sommes en-dessous du pH isoélectrique de la caséine et celle-ci se resolubilise petit à petit. C'est pour cela que la masse de solide obtenue diminue.

⁷ Figure issue du site : *Magazin—Hygiene for life—Wetrok*. (s. d.). Consulté 10 mars 2021, à l'adresse <https://www.wetrok.com/magazine/fr/ph/>

III) Influence de la température du lait

Nous avons également joué sur la température à laquelle le lait doit être chauffé. Nous avons réalisé l'expérience en ne chauffant pas le lait, en le chauffant à 60 °C et en le chauffant à 100 °C. Grâce à cela, nous avons pu voir l'influence de la température.

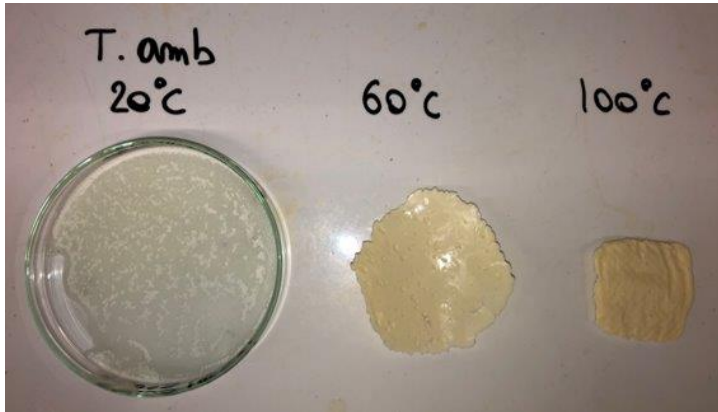


Figure 13 : Résultats obtenus en fonction de la température à laquelle le lait a été chauffé

Nous pouvons voir (figure 13) que lorsque le lait est à température ambiante, nous obtenons 1 g de solide mais nous ne sommes pas certains que le solide obtenu n'est constitué que de caséines. En effet, lors de la filtration, nous avons eu beaucoup de difficultés à extraire un caillé. Le résultat après séchage ressemble plutôt à du lait séché et ce n'est pas compact. Lors du chauffage à 60 °C, nous obtenons 4,35 g de solide et celui-ci est compact. Lors du chauffage à 100 °C, nous obtenons un solide compact et moins gras. Le résultat est plutôt satisfaisant mais nous obtenons moins de solide qu'en chauffant à 60 °C. En effet, nous obtenons 3,66 g de solide (figure 14).

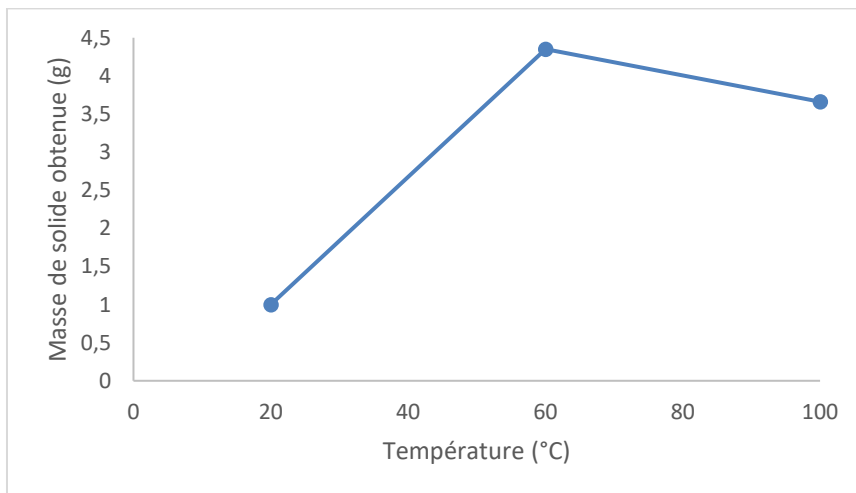


Figure 14 : Évolution de la masse de solide obtenue après précipitation de la caséine issue de 50 mL de lait entier en fonction de la température de chauffage du lait

Nous chauffons le lait non pas pour dénaturer les caséines mais pour accélérer la réaction. La température influence la cinétique et donc la vitesse de réaction. En effet, les caséines sont stables thermiquement au pH du lait. Elles commencent seulement à s'agréger lors d'un chauffage intense or ce n'est pas ce que nous faisons dans cette expérience. Lors de l'ajout de l'acide, la réaction est plus lente à basse température. Dès lors, lorsque nous chauffons le lait à 60 °C, la caséine précipite en quelques minutes lors de l'ajout de l'acide. En effet, un lait chauffé voit l'aptitude de coagulation de ses protéines augmenter (21) à 25)).

Grâce à ces explications, nous pouvons donc comprendre nos résultats obtenus.

IV) Influence du type de lait

Nous avons également testé l'expérience avec différents laits pour déterminer celui qui nous donne le meilleur résultat et la masse de bioplastique la plus élevée.

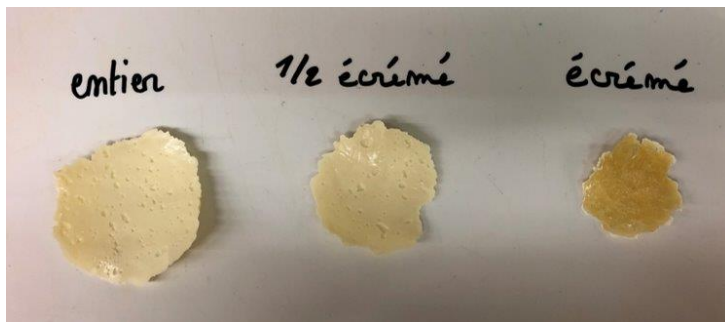


Figure 15 : Résultats obtenus en acidifiant différents laits de vache

Lorsque nous observons les résultats obtenus avec le lait de vache (figures 15 et 18), nous constatons que plus le lait utilisé est gras, plus la masse de bioplastique est élevée mais il faut nuancer ce résultat. En effet, il ne s'agit pas uniquement de caséine précipitée. Il y a également une proportion de lipides qui, enfermés dans le cœur des micelles de caséines, ont précipité avec la caséine. Les bioplastiques issus de lait entier et demi-écrémé ont la même texture grasse et compacte mais la masse de solide obtenue est plus élevée pour le lait entier. Le bioplastique à base de lait écrémé est plus sec et solide mais moins lisse.

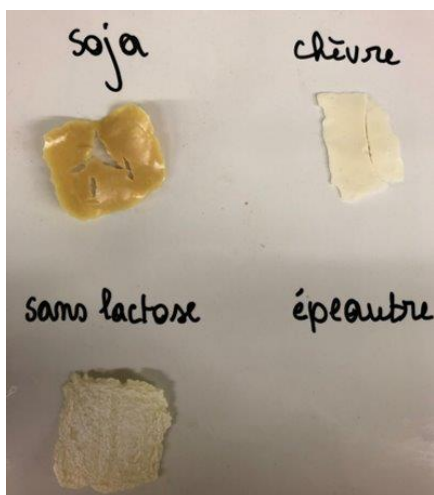


Figure 16 : Résultats obtenus en acidifiant différents laits autre que le lait de vache

Le bioplastique obtenu à base de lait de chèvre (figures 16 et 17) est gras et la masse obtenue n'est pas optimale. En effet, nous n'avons pas su bien recueillir la caséine car lors de la filtration, la solution avait un effet blanc en neige difficile à filtrer. Nous avons donc eu des difficultés à extraire ce qui nous intéressait. Avec le lait de soja (figures 16 et 17), nous avons obtenu un solide compact, plus jaune que les autres et de masse similaire au lait demi-écrémé. Ce lait doit être composé d'une protéine (figure 18) qui aurait les mêmes propriétés que la caséine car nous obtenons un solide malgré que ce lait ne soit pas constitué de caséines étant donné que c'est un lait végétal. Ce lait possède donc une protéine qui réagit au vinaigre de la même manière que la caséine. Cette protéine pourrait être la protéine de soja. Le lait d'épeautre ne nous donne pas de solide ce qui est logique car ce lait ne contient pas de protéines (figures 16, 17 et 18). Le lait sans lactose a une texture compacte et une masse similaire au lait demi-écrémé. Ce qui est logique car la seule différence qu'il y a, c'est que ce lait ne contient pas de sucres. Comme le lactose n'intervient pas dans la réaction, cela n'a pas d'impacts sur le résultat (figures 16, 17 et 18).

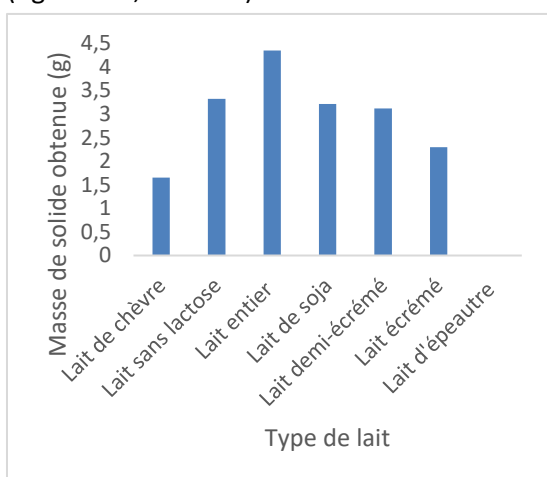


Figure 17 : Comparaison des masses de solide obtenues après précipitation de la caséine issue de 50 mL de différents types de laits chauffés à 60 °C pour 3 mL de vinaigre ajouté

Type de lait	Matières grasses (g)	Protéines (g)	Glucides (g)	Calcium (mg)
Entier	3,6	3,4	4,7	120
Demi écrémé	1,6	3,5	4,8	120
Écrémé	<0,5	3,5	4,9	120
Épeautre	1	0	8,9	120
Soja	1,7	3	2,5	120
Chèvre	3,5	3,1	4,4	?
Sans lactose	1,5	3,3	4,7	120

Figure 18 : Tableau comparatif reprenant la composition des différents laits et qui appuient nos différents résultats

V) Propriétés du bioplastique obtenu à base de lait entier et de vinaigre

Le bioplastique formé est dur, résistant mais pas élastique.

Les propriétés du bioplastique créé ne sont pas les mêmes que celles des plastiques conventionnels car les molécules qui les composent sont différentes.

VI) Ajout de glycérol

Nous avons essayé d'obtenir un effet plastifiant à notre bioplastique en ajoutant du glycérol lors de notre expérience. Le glycérol est un alcool liquide, transparent et visqueux (26 à 28)).

Nous avons testé cette expérience en ajoutant 2 mL de glycérol avant mais aussi après le chauffage mais cela n'a rien changé au résultat.

Le résultat obtenu (figure 20) n'a pas un effet plastifiant comme nous l'aurions voulu mais cela a donné un bioplastique moins gras et plus lisse.

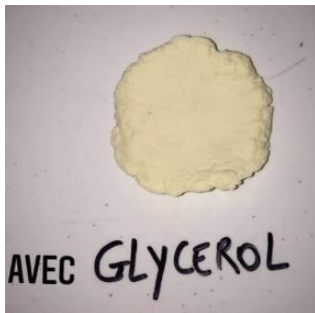


Figure 20 : Résultat obtenu après ajout de glycérol

VII) Conclusion

Nous avons démontré qu'il était possible de créer un bioplastique à base de lait gras et de concevoir celui-ci avec des produits du quotidien à faible coût comme le lait et le vinaigre. Cependant, il faut revoir certaines propriétés comme le fait qu'ils ne soient pas élastiques pour améliorer leur qualité. Malgré cela, ce travail démontre aussi qu'il est possible de créer du plastique avec autre chose que le pétrole et cela permettrait de lutter contre la pollution due aux plastiques. C'est pour cette raison qu'il faut poursuivre dans cette voie pour essayer de sauver notre planète.

La partie du lait qui nous intéresse pour créer notre bioplastique est déjà utilisée pour la formation du fromage. Alors, l'idéal serait de fabriquer un plastique à base du lactosérum qui n'est pas utilisé pour ne pas perturber la production du fromage.

Annexe 4 : Bibliographie

- 1) *State_plastics_WED_FR.pdf*. (s. d.). Consulté 10 mars 2021, à l'adresse https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/25513/state_plastics_WED_FR.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- 2) Bioplastique. (2021). In *Wikipédia*.
<https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Bioplastique&oldid=178561286>
- 3) *Bioplastiques : Solution d'avenir ou fausse bonne idée ? | valbiomag.labiomasseenwallonie.be*. (s. d.). Consulté 10 mars 2021, à l'adresse <https://valbiomag.labiomasseenwallonie.be/news/bioplastiques-solution-davenir-ou-fausse-bonne-idee>
- 4) Polycaprolactone. (2020). In *Wikipedia*.
<https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Polycaprolactone&oldid=988019399>
- 5) Les types de bioplastiques : Biosourcés et/ou biodégradables. (s. d.). *NaturePlast*. Consulté 10 mars 2021, à l'adresse <http://natureplast.eu/le-marche-des-bioplastiques/biosources-etou-biodegradables-types-de-bioplastiques/>
- 6) Polyhydroxyalcanoate. (2020). In *Wikipédia*.
<https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Polyhydroxyalcanoate&oldid=171846747>
- 7) Micelle. (2021). In *Wikipédia*. <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Micelle&oldid=179904047>
- 8) *SIEDMTO - Durée de vie des déchets*. (s. d.). Consulté 10 mars 2021, à l'adresse <http://www.siedmto.fr/tri-et-prevention-des-dechets/duree-de-vie-des-dechets/>
- 9) Jefferson, M. T., Rutter, C., Fraine, K., Borges, G. V. B., de Souza Santos, G. M., Schoene, F. A. P., & Hurst, G. A. (2020). Valorization of Sour Milk to Form Bioplastics : Friend or Foe? *Journal of Chemical Education*, 97(4), 1073-1076. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00754>
- 10) <http://iplc.fr/Tout-sur-le-lait/La-composition-du-lait>
- 11) Oliveira, R. S. P. (2018). Modifications des propriétés physico-chimiques de la caséine micellaire en présence du peptide f1-8 généré par hydrolyse trypsique de la bêta-lactoglobuline (mémoire). Québec, Université de Laval. p. 30.
(<https://corpus.ulaval.ca/jspui/bitstream/20.500.11794/30372/1/34434.pdf>)

- 12) https://biochim-agro.univ-lille.fr/proteines/co/000_Module_Proteines_17.html
- 13) PAYENS, T. A. (1982). Les propriétés physico-chimiques des caséines alpha s1, bêta et kappa. *Le Lait*, 62(617_618_619_620). Institut néerlandais de recherches laitières, B.P. 20, 6710 Ba Ede (Pays-Bas). p. 306-320.
- 14) Bahri, A. (2013). Stabilité des micelles de caséines réticulées par la génipine. Montpellier, Centre International d'Etudes Supérieures Agronomiques. (<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01209481/document>)
- 15) https://biochim-agro.univ-lille.fr/proteines/co/ch4_II_f_2.html
- 16) https://tice.agrocampus-ouest.fr/pluginfile.php/17872/mod_resource/content/0/Support/html/ch4_2.html
- 17) Oliveira, R. S. P. (2018). *Modifications des propriétés physico-chimiques de la caséine micellaire en présence du peptide f1-8 généré par hydrolyse tryptique de la bêta-lactoglobuline (mémoire)*. Québec, Université de Laval. 73 (<https://corpus.ulaval.ca/jspui/bitstream/20.500.11794/30372/1/34434.pdf>)
- 18) *Protéines alimentaires—Stabilité de la micelle de caséine*. (2016). Consulté 12 mars 2021, à l'adresse https://biochim-agro.univ-lille.fr/proteines/co/ch4_II_f.html
- 19) Skoog, West, Holler, Crouch. (2015). *Chimie analytique* (3^{ème} édition). De boeck.
- 20) Jefferson, M. T., Rutter, C., Fraine, K., Borges, G. V. B., de Souza Santos, G. M., Schoene, F. A. P., & Hurst, G. A. (2020). Valorization of Sour Milk to Form Bioplastics : Friend or Foe? *Journal of Chemical Education*, 97(4), 1073-1076. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00754>
- 21) ADRIAN, J. (1975). Les traitements thermiques appliqués aux produits laitiers et leurs conséquences dans le domaine azoté. *Le Lait*, 55(541_542), Centre de Recherches sur la nutrition, C.N.R.S. – 92190 Bellevue. 24-40. (<https://hal.inrae.fr/hal-02926792/document>)
- 22) Filion, M.-M. (2006). *AMÉLIORATION DE LA STABILITÉ THERMIQUE DU LAIT PAR MODULATION DU POTENTIEL D'OXYDORÉDUCTION (mémoire)*. Québec,, Université de Laval. 159. (<https://www.collectionscanada.gc.ca/obj/s4/f2/dsk3/QQLA/TC-QQLA-23497.pdf>)

- 23) Mohamed, M. A. (2020). -*Mieux comprendre la structure interne de la micelle de caséines et sa dynamique par RMN du Solide. Master CHIMIE Parcours Chimie Durable Organique (CD-Org) Mieux comprendre la structure interne de la micelle de caséines et sa dynamique par RMN du Solide (mémoire)*. France, Institut des Sciences Chimiques de Rennes. 44. (<https://hal.inrae.fr/hal-02926792/document>)
- 24) Oliveira, R. S. P. (2018). *Modifications des propriétés physico-chimiques de la caséine micellaire en présence du peptide f1-8 généré par hydrolyse trypsique de la bêta-lactoglobuline (mémoire)*. Québec, Université de Laval. 73 (<https://corpus.ulaval.ca/jspui/bitstream/20.500.11794/30372/1/34434.pdf>)
- 25) Pierre, A., BRULE, G., FAUQUANT, J., & Piot, M. (1977). Influence des traitements thermiques sur les propriétés physicochimiques des rétentats obtenus par ultrafiltration de lait de vache et de lait de chèvre. I. DENATURATION DES PROTEINES SOLUBLES. *Le Lait*, 57(569_570), 646-662. (<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00928776/document>)
- 26) <https://sante.journaldesfemmes.fr/fiches-sante-du-quotidien/2684001-glycerol-definition-role-vaseline-dangers-alcool-alimentaire/>
- 27) <https://fr.wikipedia.org/wiki/Glycérol>
- 28) Chevalier, E. (2019). *Développement et caractérisation de matériaux antimicrobiens extrudés à base de caséines : Mise au point d'étiquettes bio-résistantes pour l'optimisation de la traçabilité en fromagerie* (thèse). France, Univers89.

Annexe 5 : Bibliographie de la présentation PowerPoint

- Slide 3

<https://fr.boell.org/sites/default/files/2020-09/ATLAS%20DU%20PLASTIQUE%20VF%202020.pdf>

<https://wwf.be/fr/campagnes/pollution-plastique/>

- Slide 4

<http://natureplast.eu/le-marche-des-bioplastiques/biosources-etou-biodegradables-types-de-bioplastiques/>

- Slide 5

<http://natureplast.eu/le-marche-des-bioplastiques/avantages-des-bioplastiques/>

https://www.european-bioplastics.org/avada_faq/what-are-the-advantages-of-bioplastic-products/

<https://www.les-affranchis.bio/ca-veut-dire-quoi-biodegradable/>

- Slide 7

<http://iplc.fr/Tout-sur-le-lait/La-composition-du-lait>

- Slide 8 et 9

Oliveira, R. S. P. (2018). *Modifications des propriétés physico-chimiques de la caséine micellaire en présence du peptide f1-8 généré par hydrolyse trypsique de la bêta-lactoglobuline (mémoire)*. Québec, Université de Laval. p. 15 à 25.

(<https://corpus.ulaval.ca/jspui/bitstream/20.500.11794/30372/1/34434.pdf>)

https://biochim-agro.univ-lille.fr/proteines/co/000_Module_Proteines_17.html

PAYENS, T. A. (1982). Les propriétés physico-chimiques des caséines alpha s1, bêta et kappa. *Le Lait*, 62(617_618_619_620). Institut néerlandais de recherches laitières, B.P. 20, 6710 Ba Ede (Pays-Bas). p. 306-320. (<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00928932/document>)

Bahri, A. (2013). *Stabilité des micelles de caséines réticulées par la génipine (mémoire)*. Montpellier, Centre International d'Etudes Supérieures Agronomiques. p. 1 à 7. (<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01209481/document>)

- Slide 9 et 10

https://biochim-agro.univ-lille.fr/proteines/co/ch4_II_f_2.html

https://tice.agrocampus-ouest.fr/pluginfile.php/17872/mod_resource/content/0/Support/html/ch4_2.html

Oliveira, R. S. P. (2018). *Modifications des propriétés physico-chimiques de la caséine micellaire en présence du peptide f1-8 généré par hydrolyse trypsique de la bêta-lactoglobuline (mémoire)*. Québec, Université de Laval. p. 15 à 25. (<https://corpus.ulaval.ca/jspui/bitstream/20.500.11794/30372/1/34434.pdf>)

- Slide 11

Desobry-Banon, S. (2018). *Modification de la structure des micelles de caséine lors de l'acidification par hydrolyse de Glucono-Delta-Lactone (thèse)*. France, Université de Lorraine. (<https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01776196/document>)

https://tice.agrocampus-ouest.fr/pluginfile.php/17872/mod_resource/content/0/Support/html/ch4_2.html

- Slide 12

Mohamed, M. A. (2020). *Mieux comprendre la structure interne de la micelle de caséines et sa dynamique par RMN du Solide (mémoire)*. France, Institut des Sciences Chimiques de Rennes. p. 8 à 14. (<https://hal.inrae.fr/hal-02926792/document>)

- Slide 13

http://www.2amii.org/upmc/2017_JEUDI_PM/THUET/L%27emulsification.html

Vander burg, R. (1927). *Etude du lait considéré comme émulsion. le processus de la montée de la crème. Le Lait*, 7(65). (<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00894868/document>)

- Slide 16

Protéines alimentaires—Stabilité de la micelle de caséine. (2016). Consulté 12 mars 2021, à

l'adresse : https://biochim-agro.univ-lille.fr/proteines/co/ch4_II_f.html

- Slide 17

Skoog, West, Holler, Crouch. (2015). *Chimie analytique* (3^{ème} édition). De boeck.

- Slide 18

Jefferson, M. T., Rutter, C., Fraine, K., Borges, G. V. B., de Souza Santos, G. M., Schoene, F. A. P., & Hurst, G. A. (2020). Valorization of Sour Milk to Form Bioplastics : Friend or Foe? *Journal of Chemical Education*, 97(4), 1073-1076. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00754>

- Slide 21

https://ensaia.univ-lorraine.fr/sites/ensaia.univ-lorraine.fr/files/users/telechargements/rapport_final_fermentation2.pdf

- Slide 22

Burillard, L. (2015) *Les fermentations alimentaires*. France, Université de Lorraine.

(https://ensaia.univ-lorraine.fr/sites/ensaia.univ-lorraine.fr/files/users/telechargements/rapport_final_fermentation2.pdf)

Oliveira, R. S. P. (2018). *Modifications des propriétés physico-chimiques de la caséine micellaire en présence du peptide f1-8 généré par hydrolyse trypsique de la bêta-lactoglobuline (mémoire)*. Québec, Université de Laval. p. 15 à 25.

(<https://corpus.ulaval.ca/jspui/bitstream/20.500.11794/30372/1/34434.pdf>)

- Slide 23

ADRIAN, J. (1975). Les traitements thermiques appliqués aux produits laitiers et leurs conséquences dans le domaine azoté. *Le Lait*, 55(541_542), Centre de Recherches sur la nutrition, C.N.R.S. - 92190 Bellevue. p. 24-40. (<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00928675/document>)

Filion, M.-M. (2006). *Amélioration de la stabilité thermique du lait par modulation du potentiel d'oxydoréduction* (mémoire). Québec, Université de Laval.

(<https://www.collectionscanada.gc.ca/obj/s4/f2/dsk3/QQLA/TC-QQLA-23497.pdf>)

Mohamed, M. A. (2020). *Mieux comprendre la structure interne de la micelle de caséines et sa dynamique par RMN du Solide* (mémoire). France, Institut des Sciences Chimiques de Rennes. p. 8 à 14. (<https://hal.inrae.fr/hal-02926792/document>)

Oliveira, R. S. P. (2018). *Modifications des propriétés physico-chimiques de la caséine micellaire en présence du peptide f1-8 généré par hydrolyse trypsique de la bêta-lactoglobuline (mémoire)*. Québec, Université de Laval. p. 15 à 25.

(<https://corpus.ulaval.ca/jspui/bitstream/20.500.11794/30372/1/34434.pdf>)

Pierre, A., BRULE, G., FAUQUANT, J., & Piot, M. (1977). *Influence des traitements thermiques sur les propriétés physicochimiques des rétentats obtenus par ultrafiltration de lait de vache et de lait de chèvre. I. DENATURATION DES PROTEINES SOLUBLES*. *Le Lait*, 57(569_570), 646-662.

(<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00928776/document>)

- Slide 27

<https://sante.journaldesfemmes.fr/fiches-sante-du-quotidien/2684001-glycerol-definition-role-vaseline-dangers-alcool-alimentaire/>

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Glycérol>

Chevalier, E. (2019). *Développement et caractérisation de matériaux antimicrobiens extrudés à base de caséines : Mise au point d'étiquettes bio-résistantes pour l'optimisation de la traçabilité en fromagerie*(thèse). France, Université de Lyon.

- Slide 28

Jefferson, M. T., Rutter, C., Fraine, K., Borges, G. V. B., de Souza Santos, G. M., Schoene, F. A. P., & Hurst, G. A. (2020). Valorization of Sour Milk to Form Bioplastics : Friend or Foe? *Journal of Chemical Education*, 97(4), 1073-1076. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00754>

Annexe 6 : Table des illustrations de la présentation PowerPoint

- Slide 3

<https://wwf.be/fr/campagnes/pollution-plastique/>

- Slide 4

<https://prixdubaryl.com/comprendre-petrole-cours-industrie/65957-perspectives-du-prix-du-petrole.html>

<https://www.jardiner-malin.fr/fiche/identifier-terre-sol-jardin.html>

<https://www.elle.fr/Elle-a-Table/Les-dossiers-de-la-redaction/News-de-la-redaction/Le-lait-bio-ne-serait-pas-si-blanc-3793212>

<https://www.orthoacademie.com/la-triste-histoire-vecue-de-la-vache-et-du-veau/>

- Slide 5

<http://www.economiesolidaire.com/2011/03/08/reduire-les-emissions-de-ges/>

<https://www.linfordurable.fr/conso/dechets-menagers-il-est-urgent-de-changer-nos-habitudes-6329>

<https://www.les-affranchis.bio/ca-veut-dire-quoi-biodegradable/>

- Slide 6

<https://bx1.be/news/coronavirus-la-plate-forme-no-culture-no-future-lance-une-campagne-pour-se-faire-entendre/>

- Slide 7

https://fr.freepik.com/photos-gratuite/verre-lait-contre_5507833.htm

- Slide 8

Oliveira, R. S. P. (2018). *Modifications des propriétés physico-chimiques de la caséine micellaire en présence du peptide f1-8 généré par hydrolyse trypsique de la bêta-lactoglobuline*. p. 30.

- Slide 9

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Micelle>

- Slide 10

Protéines alimentaires—Structure de la micelle de caséine. (s. d.). Consulté 10 mars 2021, à l'adresse

https://biochim-agro.univ-lille.fr/proteines/co/ch4_II_e.html

- Slide 11

Desobry-Banon, S. (2018). *Modification de la structure des micelles de caséine lors de l'acidification par hydrolyse de Glucono-Delta-Lactone*. 200.

- Slide 12

Mohamed, M. A. (2020). -*Mieux comprendre la structure interne de la micelle de caséines et sa dynamique par RMN du Solide*. Master CHIMIE Parcours Chimie Durable Organique (CD-Org) *Mieux comprendre la structure interne de la micelle de caséines et sa dynamique par RMN du Solide*. 44.

- Slide 13

http://www.2amii.org/upmc/2017_JEUDI_PM/THUET/L%27emulsification.htmlThivierge, N. (s. d.). *FACULTÉ DES SCIENCES DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION UMSERSITÉ LAVAL*. 85.

- Slide 14

<https://www.bryanwhitefield.com.au/blog/experiment-to-stretch-your-teams/>

- Slide 20

<https://www.wetrok.com/magazine/fr/ph/>

- Slide 22

<https://www.orthoacademie.com/la-triste-histoire-vecue-de-la-vache-et-du-veau/>

<http://informations-documents.com/environnement/coppermine15x/displayimage.php?pid=22235>

- Slide 27

<https://sante.journaldesfemmes.fr/fiches-sante-du-quotidien/2684001-glycerol-definition-role-vaseline-dangers-alcool-alimentaire/>

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Glycérol>

- Slide 28

Jefferson, M. T., Rutter, C., Fraine, K., Borges, G. V. B., de Souza Santos, G. M., Schoene, F. A. P., & Hurst, G. A. (2020). Valorization of Sour Milk to Form Bioplastics : Friend or Foe? *Journal of Chemical Education*, 97(4), 1073-1076. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00754>