



Séquence n°4

La transformation du lait en yaourt est-elle un phénomène chimique ?

Plébiscités par certains, controversés par d'autres, les produits laitiers occupent une place de plus en plus importante dans notre alimentation depuis quelques décennies. Leur essor a pu se développer grâce à la démocratisation des réfrigérateurs dans la société et la mise en place d'un système de transports permettant le respect de la chaîne du froid pour ces produits.

Aujourd'hui, très diversifiés et se présentant sous différentes formes, textures, parfums et conditionnements, nous les consommons directement (lait, yaourt, fromages...) ou comme bases de nombreuses préparations (beurre, crème, lait...)



Cette séquence propose aux élèves de comprendre que la fermentation lactique est une réaction chimique. Elle se décompose en cinq étapes :

- Etude documentaire sur la fermentation lactique et fabrication de yaourts (1h30)
- Fabrication de yaourts (0h15)
- Titrage colorimétrique du Lait (0h45)
- Titrage colorimétrique du yaourt (0h45)
- Synthèse de la séquence (0h15)

Il est également possible d'envisager le titrage de laitensemencé non passé à l'étuve ou l'observation et le titrage de laitsensemencés passés à l'étuve à plus forte température (70°C environ)

La conduite de cette séquence doit se faire au laboratoire. Les effectifs réduits sont à privilégier.

PARTIE 1 : Du lait au yaourt ...

ACTIVITE 1. Détermination des facteurs permettant la fabrication des yaourts

- **Objectifs** : Déterminer les facteurs favorables à la transformation du lait en yaourt (durée, température)
- **Matériel** : Corpus documentaire
- **Ressources disponibles** : D'après Sujet de bac S – Liban 2014 – Exercice n°1
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** :
 - Les élèves doivent comprendre le rôle des bactéries dans la transformation du lait en yaourt et la précipitation de la caséine (Documents 1 et 2)
 - Les élèves, à partir d'un document de données expérimentales doivent déterminer la température de fabrication des yaourts (Document 3)
 - Les élèves, à partir d'une courbe doivent déterminer La durée d'étuve nécessaire à la fabrication des yaourts (Document 4)



Document 1 : Fabrication d'un yaourt

Le lait pasteurisé estensemencé avec des bactéries (*lactobacillus bulgaricus* et *streptococcus thermophilus*) et mis en pots. Ces bactéries vont alors se multiplier et transformer le lactose du lait en acide lactique. La consistance du yaourt est atteinte au bout de quelques heures. Les yaourts sont ensuite refroidis à 4°C ; le froid bloque l'activité des bactéries mais ne les tue pas : au moment de la vente, le yaourt doit contenir au moins 10 millions de bactéries par gramme !

D'après les sites www.espace-sciences.org et www.decouverte-industries-alimentaires.com

Document 2 : Précipitation de la caséine

Le point isoélectrique d'une protéine est la valeur du *pH* pour lequel la somme des charges électriques présentes sur les différents groupes caractéristiques de la protéine s'annule. La protéine est alors dénaturée.

Le point isoélectrique de la principale protéine du lait, la caséine, vaut 4,6.

Pour un *pH* < 4,6 la caséine change de conformation, se déplie et, en solution, précipite. On observe sa coagulation responsable de la texture du yaourt.

DOCUMENT 3 : Acidité et température

Afin d'optimiser la fabrication d'un yaourt dans un atelier de production, un laboratoire de recherche mesure, à différentes températures, l'évolution dans le temps de l'acidité de différents échantillons d'un lait préalablementensemencé avec des bactéries. L'acidité est exprimée en degré Dornic (°D). Plus le degré Dornic est élevé, plus l'acidité est grande.

Les valeurs obtenues sont reportées dans les tableaux ci-dessous.

Pour une température T₁ = 2°C :

Durée (min)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
Acidité (°D)	19	19	19	19	19	19	20	20	20	20	20	21	21

Pour une température T₂ = 25°C :

Durée (min)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
Acidité (°D)	19	19	19	19	19	20	20	20	20	20	21	21	21

Pour une température T₃ = 45°C :

Durée (min)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
Acidité (°D)	19	19	19	20	20	20	27	34	45	55	64	70	78

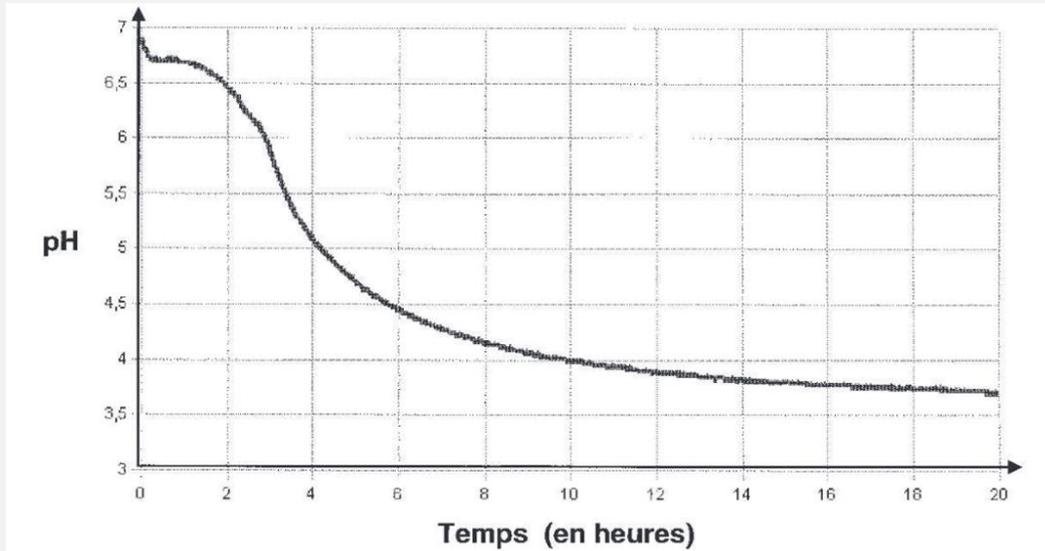
Pour une température T₄ = 80°C

Durée (min)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
Acidité (°D)	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	20



DOCUMENT 4 : évolution du pH lors de la fabrication du yaourt dans un atelier de production industrielle

Le graphe suivant donne l'évolution au cours du temps du pH d'un laitensemencé.



Questions :

Document 1 :

1. Quels sont les micro-organismes qui permettent de produire un yaourt à partir du lait ?
2. A quel paramètre ces micro-organismes sont-ils sensibles ?
3. Quelle est l'espèce chimique présente dans le lait ?
4. Quelle est l'espèce chimique présente dans le yaourt ?

Document 2 :

5. Quel est le nom de la protéine principale du lait ?
6. Quel est son rôle dans la fabrication du yaourt ?
7. A quelle condition peut-on obtenir un yaourt ?

Document 3 :

8. Quels sont les paramètres pris en compte dans l'étude expérimentale ?
9. Quelle est la température qui permet la meilleure activité bactérienne lors de la fermentation lactique ?
10. Pourquoi cette activité n'est-elle pas meilleure si on augmente trop la température ?

Document 4 :

11. Quelle est l'évolution de l'acidité d'un laitensemencé en bactéries ?
12. Au bout de combien de temps la caséine du lait peut-elle flocculer ?



ACTIVITE 2. Fabrication des yaourts

- **Objectifs** : Fabriquer des yaourts à titrer lors de la séance suivante
- **Matériel : Pour deux binômes** :
 - Un bécher de 100 mL (graduation 80),
 - Une spatule,
 - 4 pots en verre,
 - Eprouvette de 20 mL,
 - 90 mL de Lait frais de vache écrémé ou demi-écrémé,
 - Une spatulée de yaourt nature entier (équivalente à une cuillère à café)
 - Parafilm
 - Feutre permanent
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** :
 - Les élèves fabriquent des yaourts à doser pour déterminer le degré Dornic lors de la séance suivante.
 - Il est conseillé de faire fabriquer plus d'un yaourt par binôme car certains moisissent en surface et ne peuvent pas être ensuite mis en salle, d'autres peuvent se renverser dans le bain marie lors du passage à l'étuve.

DOCUMENT 5 : protocole pour la fabrication du yaourt

- Verser le lait dans le bécher légèrement au-dessus de la graduation 80.
- Ajouter une spatulée de yaourt entier.
- Bien mélanger à l'aide de la spatule.
- Ecrire sur deux pots en verre « réfrigérateur ».
- A l'aide de l'éprouvette graduée, séparer le mélange dans 4 pots en verre en fraction de 20 mL.
- A l'aide du parafilm, filmer les deux pots allant au réfrigérateur.
- Déposer les deux autres pots dans le bain marie.
- Laisser le bain marie et les yaourts environ 8h à l'étuve (40°C) ou dans un four (40°C).
- A l'aide du parafilm, filmer les yaourts formés puis après refroidissement les mettre au frigo jusqu'à la séance suivante.

ACTIVITE 3. Observations des yaourts (A faire la séance suivante)

- **Objectifs** : Observer les yaourts fabriqués lors de la séance précédente avant de les titrer
- **Matériel : Par binôme** :
 - Un yaourt filmé conservé au réfrigérateur
 - Un yaourt filmé passé à l'étuve ou au four puis conservé au réfrigérateur
 - Papier pH
 - Soucoupe
 - Agitateur en verre

Attention ! Les yaourts présentant une quelconque moisissure doivent être détruits à l'eau de javel ou en autoclave. Ils ne doivent en aucun cas être manipulés par les élèves.

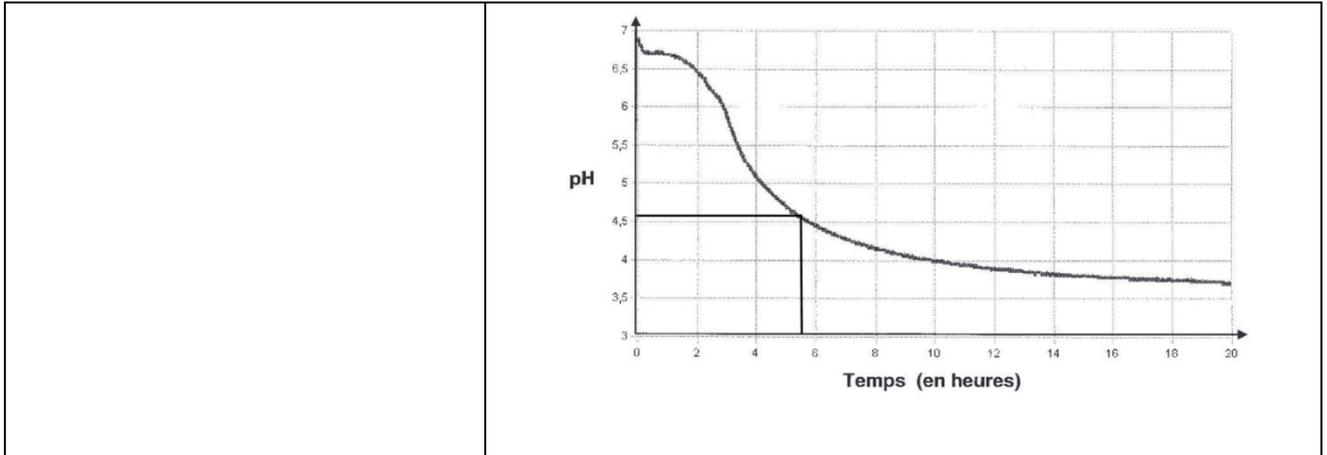
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** :
 - Les élèves comparent les deux yaourts obtenus et valident les conditions expérimentales choisies lors la séance précédente (passage à l'étuve)



- Les élèves mesurent le pH de chaque yaourt par la méthode de la touche.

Résultats d'expériences et dispositifs expérimentaux

<p>Activité 1</p> <p>Détermination des facteurs permettant la fabrication des yaourts</p>	<p>Document 1 : Fabrication d'un yaourt</p> <p>➔ Fabrication d'acide lactique par transformation chimique du lactose grâce aux bactéries</p> <ol style="list-style-type: none">1. Les micro-organismes responsables de la fermentation lactiques sont des bactéries.2. Les bactéries sont sensibles à la température du milieu où elles se développent.3. L'espèce chimique présente dans le lait est le lactose.4. L'espèce chimique présente dans le yaourt est l'acide lactique. <p>Document 2 : Précipitation de la caséine</p> <p>➔ La texture du yaourt est obtenue si le pH est inférieur à 4,6</p> <ol style="list-style-type: none">5. La protéine principale du lait se nomme la caséine.6. La caséine est l'agent de texture du yaourt.7. La caséine floccule lorsque le pH du laitensemencé est inférieur à 4,6. <p>Document 3 : Acidité et température</p> <p>➔ L'activité bactérienne est maximale pour une température de 45°C.</p> <ol style="list-style-type: none">8. Les paramètres pris en compte son la température du lait, le temps et l'acidité du milieu. 1°D (Degré Dornic) traduit une concentration en acide lactique de 0,1 g.L-1. <p>La meilleure température est 45°C car nous constatons une forte augmentation de l'acidité du lait.</p> <p>Pour une température de 60°C, on constate que l'acidité du laitensemencé n'augmente pas car les bactéries ont été tuées par une température trop élevée.</p> <p>Document 4 : Précipitation de la caséine</p> <p>C'est au bout de 6 heures que le pH du laitensemencé est inférieur à 4,6</p> <p>Pour une température optimale, les bactéries transforment le lactose du lait en acide lactique faisant augmenter l'acidité du lait donc diminuer le pH du laitensemencé.</p> <p>L'acidité du lait permettant à la caséine de flocculer est atteinte pour un pH inférieur à 4,6. La courbe nous permet de déterminer qu'il faut 6 heures d'étuve avant de former un yaourt.</p>
--	--



Activité 2
Fabrication des yaourts

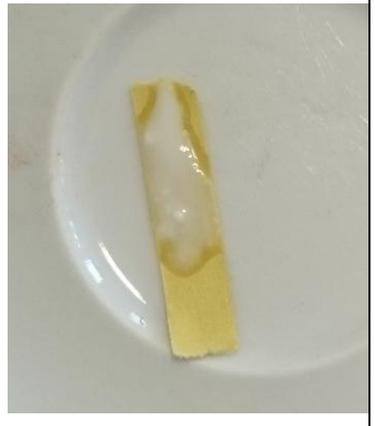


Activité 3
Observations des yaourts

- Le laitensemencé mis directement au réfrigérateur est resté liquide. On peut parfois observer un début de floculation de la caséine localement.
- Le laitensemencé mis à l'étuve est devenu un yaourt solide. La caséine a floculé.
- A l'aide du papier pH, on constate que le yaourt est plus acide que le laitensemencé placé au réfrigérateur



pH laitensemencé : Plutôt 6



pH du yaourt : environ 4



Ce qu'il faut savoir faire :

Compétences	Capacités à maîtriser	Où dans cette séquence ?
APP	Rechercher les informations pour comprendre le phénomène de fermentation lactique du lait en yaourt	Activité n°1
ANA	Extraire des informations d'un tableau de mesures expérimentales	Activité n°1
REA	Exploiter une courbe pour rechercher une valeur.	Activité n°1
	Réaliser protocole donné	Activité n°2
	Faire une mesure à l'aide d'un papier pH	Activité n°3
VAL	Confirmer par l'observation une condition expérimentale	Activité n°3
COM	Répondre à des questions de manière argumentée	Activité n°1

Liens avec le programme de physique chimie de seconde

Thème	Notions et contenus	Où dans cette séquence ?
Constitution et transformation de la matière	La réaction chimique	Activité n°1
	Synthèse d'une espèce chimique présente dans la nature (acide lactique)	Activité n°2
	Identification d'espèce chimiques à l'aide d'un test chimique (papier pH)	Activité n°3

PARTIE 2 : Titrages colorimétriques de l'acide lactique du lait et du yaourt

ACTIVITE 1. Titrage colorimétrique de l'acide lactique du lait

- **Objectifs** : Déterminer le degré Dornic (°D) du lait
- **Matériel** : Pour un binôme :
 - Burette + support
 - Agitateur magnétique + Turbulent
 - Un bécher
 - Un pot en verre (bécher poubelle)
 - Une éprouvette graduée de 20 mL
 - Pissette d'eau distillée
 - Solution d'hydroxyde de sodium de concentration $c = 0,05 \text{ mol.L}^{-1}$
 - Une solution de bleu de bromothymol
 - Lait frais de vache écrémé ou demi écrémé
- **Ressources disponibles** : Protocole détaillé
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** :



- Les élèves réalisent le titrage colorimétrique de l'acide lactique du lait en suivant pas à pas le protocole
- A partir du volume à l'équivalence, il détermine le degré Dornic du lait à l'aide de la relation fournie par le professeur :

$$^{\circ}D = \frac{0,05 * V_E * 90 * 10}{20}$$

DOCUMENT 1 : protocole expérimental du dosage de l'acide lactique du lait

1. Remplir la burette avec la solution d'hydroxyde de sodium de concentration $c = 0,05 \text{ mol.L}^{-1}$.
2. Vider la burette dans un bécher «poubelle».
3. Remplir de nouveau la burette avec la solution d'hydroxyde de sodium de concentration $c = 0,05 \text{ mol.L}^{-1}$.
4. Faire le « Zéro » pour que le bas du ménisque du liquide touche le trait de la graduation '0'.
5. A l'aide d'une éprouvette graduée, mesurer 20 mL de Lait et le verser dans le bécher.
6. Ajouter de l'eau distillée dans le bécher jusqu'au trait « 75 mL».
7. Ajouter quelques gouttes de bleu de bromothymol.
8. Poser le bécher contenant le lait dilué sur l'agitateur magnétique et introduire le turbulent. Mettre ce dernier en route.
9. Verser la solution d'hydroxyde de sodium, mL par mL. Lorsque le milieu commence à changer de couleur, verser goutte après goutte la solution d'hydroxyde de sodium.
10. Arrêter de verser la solution d'hydroxyde de sodium lorsque le changement de couleur est persistant. (Jaunâtre → bleutée)
11. Relever la valeur du volume équivalent V_E en mL
12. Jeter le milieu réactionnel dans le cristalliseur sur le bureau du professeur.
13. Vider la burette dans le bécher «poubelle». Vider ce bécher dans le bidon de récupération «Base»
14. Remplir la burette d'eau distillée et la vider dans un bécher «poubelle», puis jeter le contenu de ce dernier à l'évier.

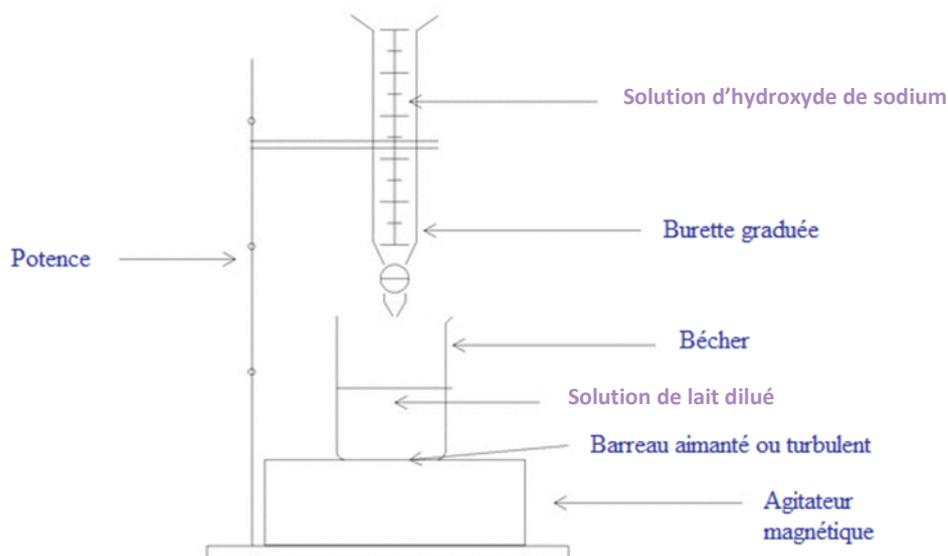




Schéma du dispositif expérimental

ACTIVITE 2. Titrage colorimétrique de l'acide lactique du yaourt

- **Objectifs** : Déterminer le degré Dornic (°D) du yaourt
- **Matériel** : Pour un binôme :
 - Burette + support
 - Agitateur magnétique + Turbulent
 - Un pot en verre (bécher poubelle)
 - Pissette d'eau distillée
 - Solution d'hydroxyde de sodium de concentration $c = 0,25 \text{ mol.L}^{-1}$
 - Une solution de bleu de bromothymol
 - Un yaourt fabriqué lors de la séance précédente
- **Ressources disponibles** : Protocole détaillé
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** :
 - Les élèves réalisent le titrage colorimétrique de l'acide lactique du yaourt en suivant pas à pas le protocole
 - A partir du volume à l'équivalence, il détermine le degré Dornic du yaourt à l'aide de la relation fournie par le professeur :

$$^{\circ}D = \frac{0,25 * V_E * 90 * 10}{20}$$



DOCUMENT 2 : protocole expérimental du dosage du yaourt

1. A l'aide de l'agitateur magnétique, mélanger le yaourt afin de le rendre liquide. (On peut ajouter un peu d'eau distillée si le yaourt est trop ferme).
2. Ajouter de l'eau distillée dans le bécher contenant le yaourt jusqu'au trait «75 mL». Mélanger.
3. Ajouter quelques gouttes de bleu de bromothymol.
4. Remplir la burette avec la solution d'hydroxyde de sodium de concentration $c = 0,25 \text{ mol.L}^{-1}$.
5. Vider la burette dans un bécher « poubelle».
6. Remplir de nouveau la burette avec la solution d'hydroxyde de sodium de concentration $c = 0,25 \text{ mol.L}^{-1}$.
7. Faire le «Zéro» pour que le bas du ménisque du liquide touche le trait de la graduation «0».
8. Poser le bécher contenant le yaourt brassé et dilué sur l'agitateur magnétique et introduire le turbulent. Mettre ce dernier en route.
9. Verser la solution d'hydroxyde de sodium, mL par mL. Lorsque le milieu commence à changer de couleur, verser goutte après goutte la solution d'hydroxyde de sodium.
10. Arrêter de verser la solution lorsque le changement de couleur est persistant. (jaunâtre → bleuté)
11. Relever la valeur du volume équivalent V_E en mL correspondant.
12. Jeter le milieu réactionnel dans le cristalliseur sur le bureau du professeur.
13. Vider la burette dans le bécher «poubelle». Vider le bécher dans le bidon de récupération «Base».
14. Remplir la burette d'eau distillée et la vider dans un bécher «poubelle», puis jeter le contenu à l'évier.

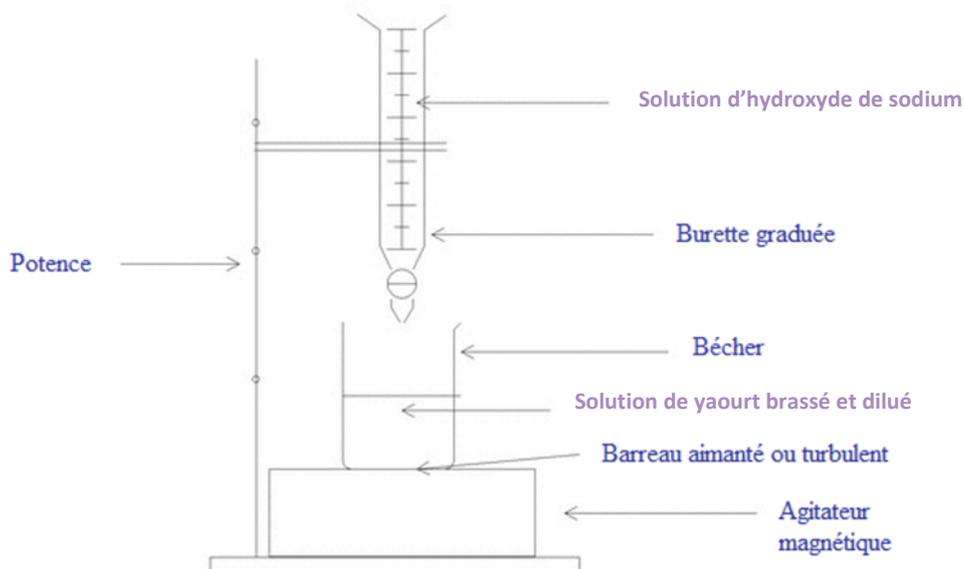
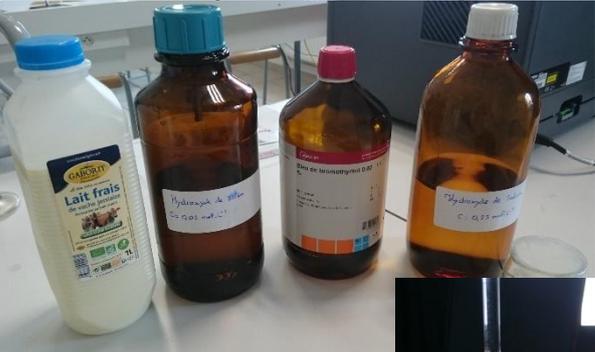


Schéma du dispositif expérimental



ACTIVITE 3. Exploitation des titrages

- **Objectifs** : Comparer les degrés Dornic (°D) du lait et du yaourt
- **Matériel** : Pas de matériel
- **Ressources disponibles** : Les résultats expérimentaux des deux titrages
- **Explication des consignes, des attentes ; taches possibles** :
 - Les élèves complètent à partir de la fiche de protocole le schéma du dispositif
 - Les élèves interprètent les résultats expérimentaux.

<p>Activités 1 et 2</p> <p>Le matériel expérimental</p>	<p>Poste de travail :</p>  <p>Les produits :</p>  <p>Equivalence du titrage : Le milieu passe d'une teinte jaunâtre à une teinte bleutée</p> 
<p>Activité 1</p> <p>Titration colorimétrique de l'acide lactique du lait</p>	<p>Le volume à l'équivalence est : $V_E = 4,9 \text{ mL}$</p> <p>Le lait est acide à 11°D</p>
<p>Activité 2</p> <p>Titration colorimétrique de l'acide lactique du yaourt fabriqué</p>	<p>Le volume à l'équivalence est : $V_E = 8,4 \text{ mL}$</p> <p>Le yaourt est acide à 95°D</p>



Activité 3 Exploitation des titrages	On constate que le degré Dornic du yaourt est 8,5 fois plus élevé que celui du lait ce qui signifie qu'il y a plus d'acide lactique dans le yaourt que dans le lait. On conclue qu'il y a bien eu fermentation lactique grâce aux bactéries ajouté au lait qui ont produit de l'acide lactique, permettant à la caséine de flocculer pour former un yaourt.
--	--

Ce qu'il faut savoir faire :

Compétences	Capacités à maîtriser	Où dans cette séquence ?
APP	Comprendre le phénomène de fermentation lactique du lait en yaourt	Activité n°3
ANA	-	-
REA	Suivre le protocole d'un titrage colorimétrique	Activité n°1 et 2
	Faire le calcul d'un degré Dornic	Activité n°1 et 2
VAL	Valider la réaction de fermentation lactique	Activité n°3
COM	Schématiser un dispositif expérimental	Activité n°3

Liens avec le programme de physique chimie de seconde

Thème	Notions et contenus	Où dans cette séquence ?
Hors programme en complément du dosage par étalonnage du thème constitution et transformation de la matière	Développer des compétences expérimentales : technique du titrage	