



éduscol

Ressources pour le lycée général et technologique

Ressources pour la classe de seconde
générale et technologique

Méthodes et pratiques scientifiques Thème science et aliments Projet « autour du yaourt »

Enseignement d'exploration

Ces documents peuvent être utilisés et modifiés librement dans le cadre des activités d'enseignement scolaire, hors exploitation commerciale.

Toute reproduction totale ou partielle à d'autres fins est soumise à une autorisation préalable du directeur général de l'Enseignement scolaire.

La violation de ces dispositions est passible des sanctions édictées à l'article L.335-2 du Code de la propriété intellectuelle.

25 août 2010
(édition provisoire)

THÈME : SCIENCE ET ALIMENTS

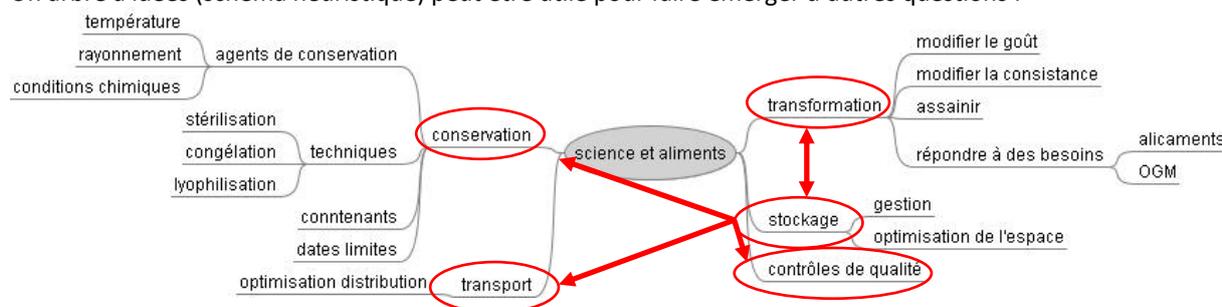
Projet : « autour du yaourt »

Choix du scénario

Le yaourt est un produit alimentaire dont l'étude permet de comprendre et de perfectionner les processus de transformation et de conservation des aliments. Il est l'occasion d'un travail réunissant les disciplines scientifiques autour de questions comme :

- Comment obtenir un yaourt à partir de lait ?
- Quelles sont les transformations mises en jeu lors de la fabrication ?
- Comment optimiser cette fabrication ?
- Comment contrôler la qualité du produit obtenu ?
- Comment conserver un yaourt ?
- Comment le conditionner ?
- ...

Un arbre à idées (schéma heuristique) peut être utile pour faire émerger d'autres questions :



Situation déclenchante

La visite d'une entreprise de fabrication de produits laitiers, un reportage audiovisuel, ou une publicité, permettra d'introduire ce thème.

On peut également envisager de réaliser une enquête statistique dans l'établissement autour de ce produit : connaissance du procédé de fabrication ? Habitudes alimentaires ?...

La réalisation d'une exposition à l'intérieur du lycée, notamment dans le cadre de portes ouvertes, pourrait être un fil directeur de ce projet.

Scénario pédagogique

Les activités proposées dans ce tableau ne correspondent pas à un nombre fixé de séances. Certaines activités prennent en effet du temps et nécessiteront 2 voire 3 séances selon les choix pédagogiques de l'équipe.

Sujets d'étude	Modalités d'organisation possible
Situation déclenchante	1 ou 2 séances (SVT, SPC, Maths)
Compréhension des transformations	4 à 6 séances (SVT, SPC, Maths)
Influence de différents paramètres et conservation du yaourt	2 ou 3 séances (SPC, SVT)
Conditionnement du yaourt	2 séances (Maths)

Indications pour l'évaluation

Supports d'évaluation envisageables	Compétences / Capacités mises en œuvre
<ul style="list-style-type: none"> • Protocoles avec critères de réussite donnés aux élèves • Production de posters, diaporamas en vue de l'exposition • Présentation orale des comptes-rendus d'activités de groupes 	<p>Pratiquer une démarche scientifique :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Extraire et organiser l'information • Communiquer • Réaliser, manipuler • Raisonner <p>Initiative S'exprimer à l'oral TICE Travail en équipe</p>

Exemples d'activités envisageables

Sujet d'étude : Compréhension des transformations	
Activité : comparaison des constituants du lait et du yaourt	<ul style="list-style-type: none"> Recherche documentaire des constituants du lait et du yaourt. Mise en œuvre de différents protocoles de caractérisation des constituants du lait et /ou du yaourt. Utilisation de Rastop
Activité : rôle des bactéries lors de la fabrication d'un yaourt Document annexe 1	<ul style="list-style-type: none"> Rechercher la recette d'un yaourt Observation de ferment au microscope Mesures de pH Travail de traduction du pH en quantité d'acide produit (sans pour autant aborder la notion de log) : la droite devient une courbe d'allure sigmoïde avec chute très forte du pH vers +2 à +5 heures. Cette chute de pH correspond à la forte production d'acide lactique. Travail sur tableur évolution du pH et activité des deux espèces de bactéries
Sujet d'étude : Influence de différents paramètres et conservation du yaourt	
Activité : Influence des différents paramètres ; conservation Document annexe 2	<ul style="list-style-type: none"> Test du paramètre temps Test du paramètre température Test du paramètre « bactéries vivantes » Test du paramètre « lait en poudre » <p>Pour chaque paramètre testé : élaboration puis mise en œuvre du protocole adéquat. Possibilité ici de répartir les élèves en groupes (un groupe / paramètre testé)</p> <ul style="list-style-type: none"> date de péremption
Sujet d'étude : Conditionnement du yaourt	
Activité : conditionnement du yaourt en pot Document annexe 3	<ul style="list-style-type: none"> Déterminer des paramètres de telle sorte que l'aire totale (aire latérale + aire du fond, sans couvercle) soit la plus petite possible : cas du pot conique et cas du pot cylindrique

Ressources

Site de l'AGEFAFORIA sur les industries alimentaires	http://www.decouverte-industries-alimentaires.com
Site de l'académie de Clermont	http://www3.ac-clermont.fr/10-15/ressources/sciences/experimentation/yaourt/yaourt.htm
Olympiades de Chimie sur le lait	Consulter le site de l'UDP
TP constituants du lait	http://pedagogie.ac-toulouse.fr/sc_phy/site_php/spip.php?article338
Compléments pour le professeur	Mot-clé « yaourt » sur le forum de connaissances de la FAO

Annexe 1

Rôle des bactéries dans la fabrication d'un yaourt

Les activités et les manipulations décrites ont été testées dans le cadre d'un enseignement expérimental dans une classe de seconde. Le document intègre des résultats obtenus par des élèves.

Quelles sont les transformations envisageables lors de la fabrication du yaourt ?

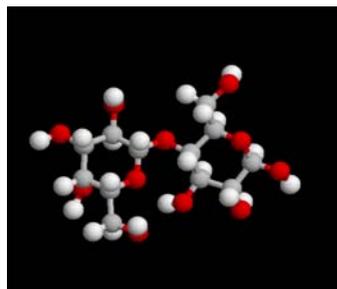
On utilise les résultats de l'activité : « **comparaison des compositions du lait et du yaourt** » :

Constituants du lait pour 1 litre	
Lait	Yaourt
Eau	Eau
Glucides : <ul style="list-style-type: none"> • Lactose 47 à 52 g 	Glucides <ul style="list-style-type: none"> • Lactose : 33 à 36 g • Galactose : 15 g • Glucose : 0,5 g
Lipides : <ul style="list-style-type: none"> • Glycérides • Phospholipides • Stérols 	Lipides : <ul style="list-style-type: none"> • Glycérides • Phospholipides • Stérols
Protides : <ul style="list-style-type: none"> • Protéines non enzymatiques : <ul style="list-style-type: none"> ○ Caséine 31 à 34 g (soluble) ○ Albumine 27 à 29 g ○ Autres 4 à 5 g • Protéines enzymatiques : traces <ul style="list-style-type: none"> ○ amylases ○ lipases ○ protéases 	Protides : <ul style="list-style-type: none"> • Protéines non enzymatiques en quantité toujours importante : <ul style="list-style-type: none"> ○ Caséine (insoluble) ○ Albumine ○ Autres • Protéines enzymatiques, en quantité assez importante : <ul style="list-style-type: none"> ○ amylases ○ lipases ○ protéases • Acides aminés
Vitamines : traces	Vitamines : traces
Sels minéraux : quelques mg	Sels minéraux : traces
Gaz dissous : 5 % du volume	Composés aromatiques
	Acide lactique : quantité importante
	Bactéries : $100 \cdot 10^6$ / g

1/ On constate la disparition d'une partie du lactose, l'apparition de galactose, et d'un tout petit peu de glucose.

On compare :

- Lactose/galactose/glucose/lactate → images Rastop (3D) : trouver les formules brutes à partir des images



Lactose
Image Rastop

Il y a visiblement coupure (hydrolyse ?) du lactose en glucose et galactose.

Première question : pourquoi y a-t-il du galactose dans le yaourt et pas la même quantité de glucose ?

2/ On constate l'apparition d'acide lactique et de composés aromatiques.

En conséquence, on doit constater l'acidification du milieu. On peut vérifier cette acidification avec du papier pH. (Pour référence, dans le lait : pH \approx 7 et dans le yaourt : pH \approx 4)

Seconde question : quelle est l'origine de l'acide lactique ?

On a constaté que la masse molaire de l'acide lactique est égale à la moitié de celle du glucose.

Ce constat permet la mise en relation de l'apparition de l'acide lactique avec la disparition du glucose.

Hypothèse : les bactéries coupent le lactose en glucose et galactose puis transforment le glucose en acide lactique, qui s'accumule. Par contre, elles n'utilisent pas le galactose.

Comment éprouver cette hypothèse ?

Acide lactique : une mesure de pH permet le suivi de l'apparition de l'acide lactique.

Testons la 1^{ère} hypothèse : Test sur les différents glucides avec mesure de l'apparition de l'acide lactique

Bactéries diluées dans eau + glucide \rightarrow mesure sur 10 heures avec sonde pH

(3 mL d'une solution de ferment à 0,25 g/10mL + 100 mL d'une solution de glucide à 1 mol/L)

-  témoin avec ferment dans l'eau \rightarrow pas d'acidification du milieu
-  eau + glucose \rightarrow forte acidification du milieu
-  eau + lactose \rightarrow forte acidification du milieu
-  eau + galactose \rightarrow pas d'acidification du milieu

Matériel :

bain marie
thermomètre
sonde de pH + logiciel de saisie
coupelle, spatule, agitateur, pipette (5mL), bechers

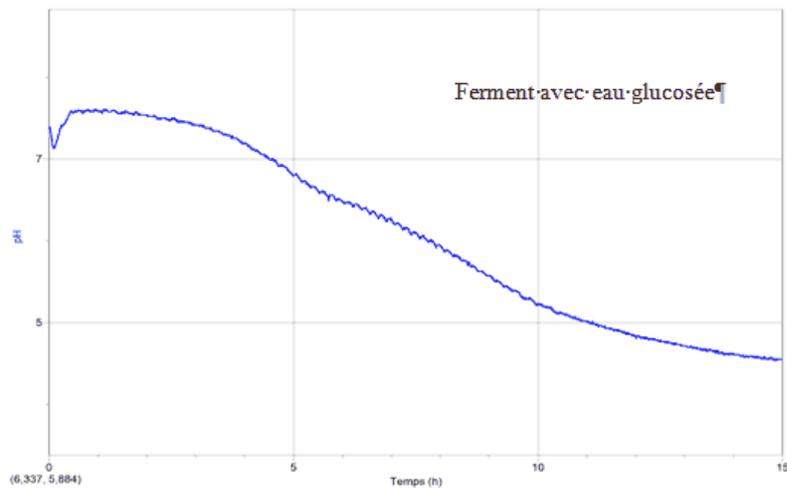
Produits :

Ferment déjà prêt : 1 g de ferment lyophilisé dans 50 mL d'eau
Solutions de glucides : 90 g/L pour le glucose et le galactose, 171 g/L pour le lactose

Élaboration du protocole en commun :

-  Régler le thermostat de façon à avoir une température de 40°C dans le bain marie
-  Prélever 5 mL de solution de ferment et les ajouter à 100 mL de chaque solution de glucides
-  Prévoir un témoin avec de l'eau
-  Placer le tout au bain marie à 42°C
-  Paramétrer le logiciel pour un relevé de pH sur une durée de 10 heures
 -  témoin avec ferment dans l'eau \rightarrow pas d'acidification du milieu
 -  eau + glucose \rightarrow forte acidification du milieu
 -  eau + lactose \rightarrow forte acidification du milieu
 -  eau + galactose \rightarrow peu d'acidification du milieu

Résultats graphiques obtenus :



Bilan :

Le glucose, issu de l'hydrolyse du lactose, est utilisé par les bactéries mais pas le galactose. Celui-ci s'accumule dans le yaourt, tout comme l'acide lactique. C'est donc la transformation des glucides par les bactéries qui est à l'origine d'une acidification du milieu.

Les transformations des protéines du lait

En s'appuyant sur la comparaison des compositions du lait et du yaourt, on constate qu'il n'y a pas de variation significative de la composition en protéines mais que la caséine précipite (coagulation).

Hypothèse : c'est la diminution du pH qui provoque la coagulation de la caséine

On peut éprouver cette hypothèse en déterminant la valeur du pH pour laquelle le lait (donc la caséine) coagule.

Mesure du point isoélectrique de la caséine : on ajoute goutte à goutte une solution d'acide chlorhydrique à 1mol/L dans du lait (éventuellement dilué), en inclinant légèrement le bécher, de façon à repérer la coagulation.

Lorsque la coagulation est observée, on mesure le pH.

→ La coagulation de la caséine se produit vers un pH égal à 5.

→ on fait le lien avec l'acide lactique apparu

À quel moment dans la fabrication du yaourt peut-on supposer que cette coagulation se produit ?

Hypothèse : la coagulation se produit quand le pH atteint la valeur 5 soit au bout de 4 à 6 heures (cf résultats viscosité obtenus par les groupes qui étudient le paramètre Temps)

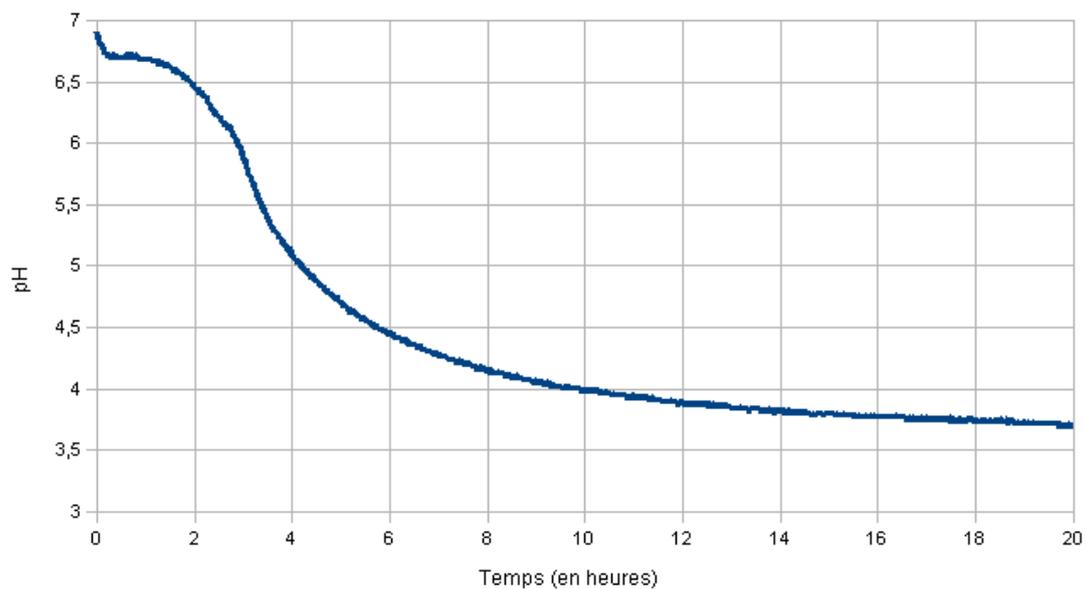
On éprouve l'hypothèse : Comment évolue la production d'acide lactique au cours de la fabrication du yaourt ?

Peut-on mettre en lien son évolution avec celle de la coagulation du yaourt ?

Mesure de pH en continu sur 10 heures → courbe montrant la diminution du pH.

pH = 5 vers 4 à 6 heures : hypothèse validée

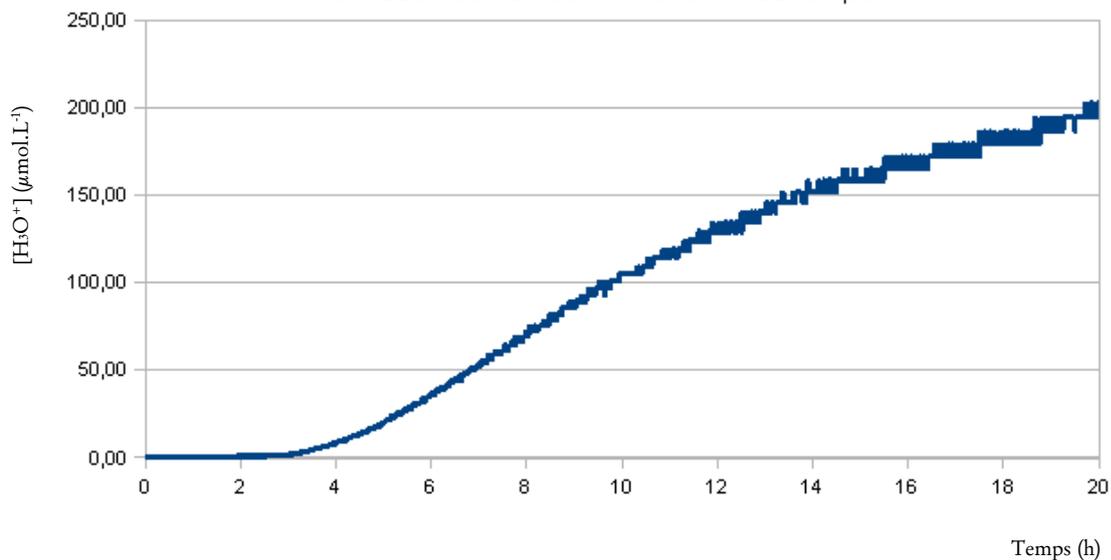
fabrication du yaourt :
évolution du pH en fonction du temps



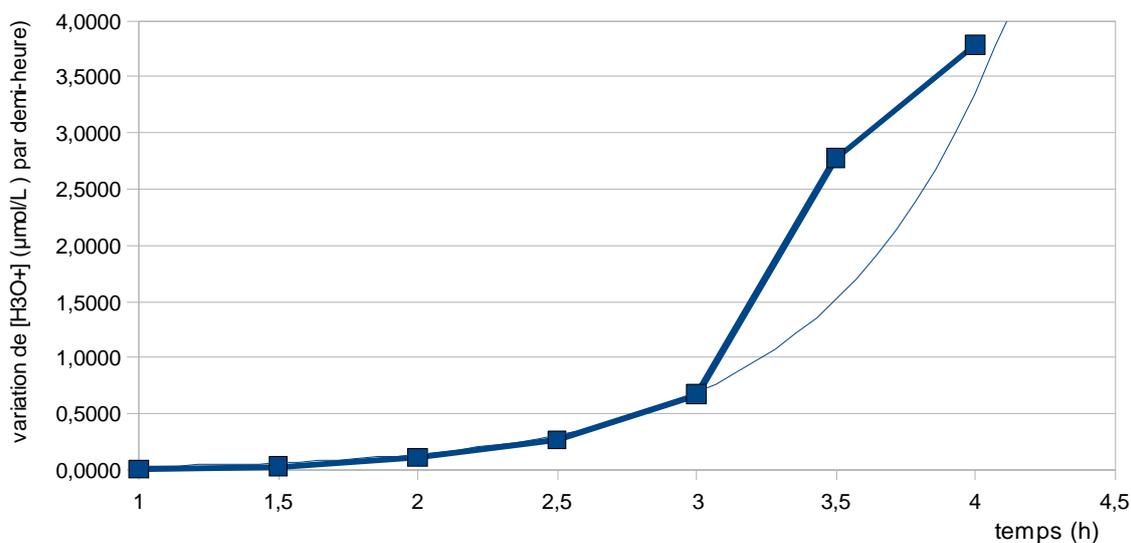
Complément pour le professeur :

Les micelles de caséine perdent leur charges négatives à cause de l'acidification, elles se rapprochent et s'entremêlent (coagulation en gel).

évolution de l'acidité en fonction du temps



évolution de la vitesse de production d'acide lactique pendant les premières heures et courbe de tendance exponentielle



Remarque : En reprenant le tableau de valeur, on peut, sur cette période, essayer de repérer le temps nécessaire pour doubler la quantité d'acide. On trouve entre 20 minutes et 1 heure sur la période 1,5 à 4,5 heures. On peut l'interpréter comme le temps nécessaire pour un doublement de la population de bactéries.

En mathématiques, on peut envisager un travail mettant en relation le pH et la quantité d'acide produit (sans pour autant aborder la notion de logarithme décimal).

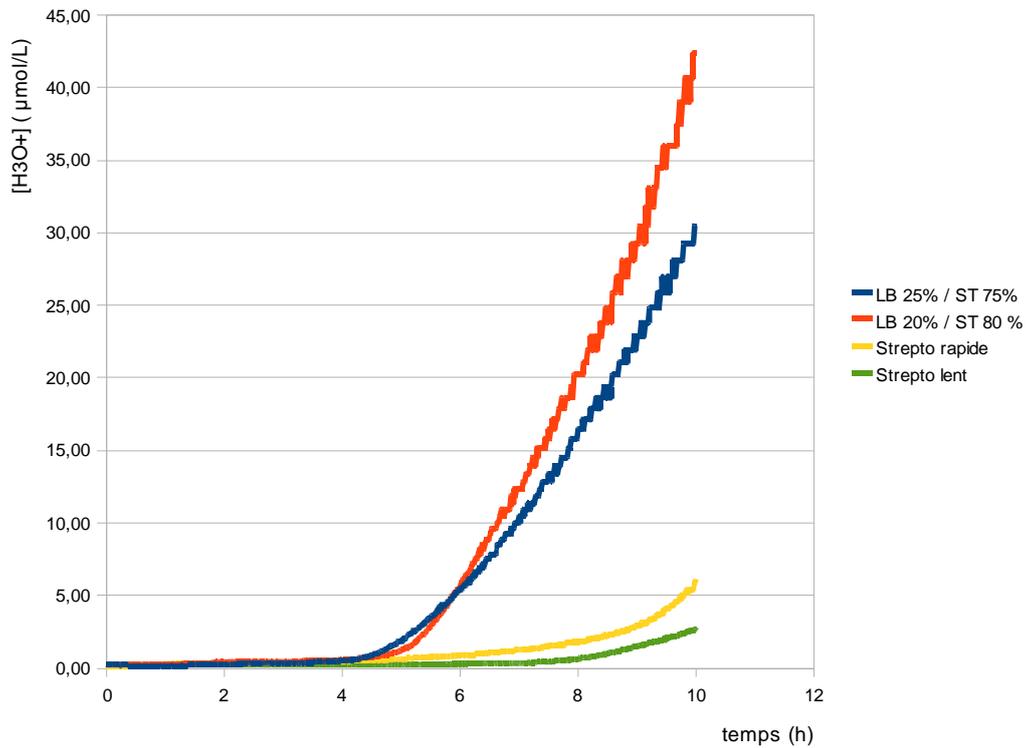
Quel lien existe-t-il entre l'évolution du pH et l'activité des deux espèces de bactéries ? Jouent-elles le même rôle dans la fabrication du yaourt ?

- Mesure de pH avec **Lactobacillus bulgaricus** seul : l'acidification, après environ 2 heures de latence, est beaucoup plus forte.
- Mesures de pH avec **Streptococcus thermophilus** seul (2 types testés : lent & rapide) : faible acidification constatée.

Ces deux espèces sont **microaérophiles** et vivent en symbiose dans le yaourt. Elles produisent davantage d'acide lactique cultivées ensemble que séparément.

Résultats graphiques obtenus :

évolution de la production d'acide lactique pour différents ferments



Des compléments pour le professeur sont disponibles sur le forum de connaissances de la FAO (<http://www.fao.org>, mot-clé « yaourt »)

Annexe 2

Influence des différents paramètres lors de la fabrication d'un yaourt

Quelle est la recette du yaourt ?

Recette du yaourt, recherchée sur internet (« **yaourt maison yaourtière** »)

- ✓ du lait
- ✓ du ferment ou un yaourt
- ✓ de la poudre de lait éventuellement

Il faut maintenir à une température de 42°C pendant 8 à 10 heures.

Influence des différents paramètres énoncés dans la recette

Pour réaliser cette étude, il est nécessaire de quantifier la plus ou moins bonne « prise » du yaourt. On fait émerger l'idée d'un dispositif : on laisse s'écouler le yaourt (écoulement d'autant plus rapide que le yaourt est « liquide », d'autant plus lent que le yaourt est « visqueux »). La notion de viscosité est dégagée, on accède à cette grandeur par la mesure de la vitesse d'écoulement de 100 mL yaourt à travers un entonnoir dans une éprouvette graduée.

- ✓ Temps : 8 heures : Si on laisse plus de temps, moins de temps, que se passe-t-il ?
Tests avec des durées différentes, allant de 1 heure à 1 jour.
Penser à mettre les couvercles pour éviter l'évaporation sur les longues durées.
- Température : 42°C : Que se passe-t-il si l'on ne chauffe pas, si l'on chauffe trop ?
Tests à différentes températures
Penser à mettre les couvercles pour éviter l'évaporation à des températures supérieures à 40°C.
- A 42°C, les bactéries sont-elles vivantes? Faut-il qu'elles soient vivantes ?
Test avec différentes concentrations d'antibiotiques (ex : amoxicilline)
Témoin sans antibiotiques
Témoin avec lait + antibiotiques mais sans ferment (pour vérifier que les antibiotiques seuls n'ont pas d'effet sur le lait)
- Quel est l'intérêt du lait en poudre ?
Test avec différentes concentrations de lait en poudre.

BILAN :

- Temps : durée minimale de 8 heures.
- Température optimale autour de 45°C.
- Antibiotiques : Échec en présence d'antibiotiques donc nécessité de bactéries vivantes.
- Poudre de lait : influe sur la consistance du yaourt.

Exemple de production élève

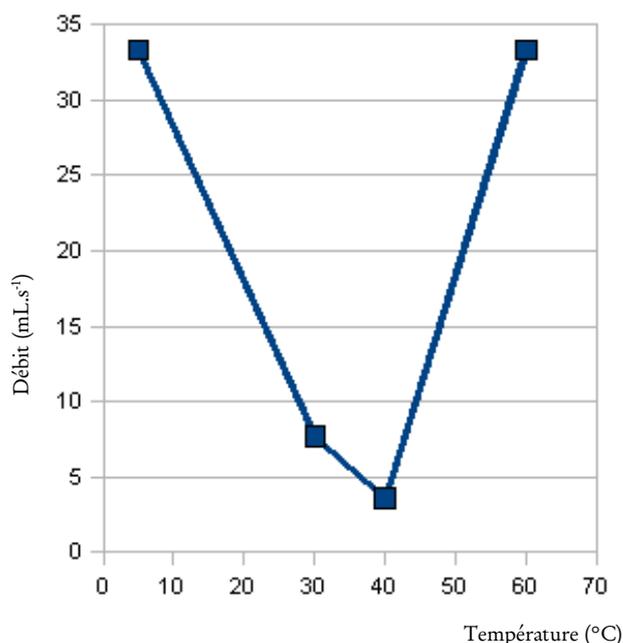
Température = 42°C : Que se passe-t-il si l'on ne chauffe pas, si l'on chauffe trop?

Tests à différentes températures

Température	5°C	30°C	40°C	60°C
Description	Liquide, odeur plutôt normale, pas d'odeur de lait, ressemble à du lait	Liquide avec dépôt, plus odeur de yaourt, un peu de consistance	Solide, odeur de yaourt, apparition de lactosérum	Vraiment odeur du lait, liquide, présence d'une peau de lait
Débit d'écoulement du yaourt	100 mL en 3 s $Q_v = 33,3 \text{ mL/s}$	100 mL en 13 s $Q_v = 7,7 \text{ mL/s}$	100 mL en 28 s $Q_v = 3,6 \text{ mL/s}$	100 mL en 3 s $Q_v = 33,3 \text{ mL/s}$

Le débit d'écoulement du yaourt est lié à la viscosité de celui-ci. La viscosité est d'autant plus importante que le débit est faible.

Évolution du débit d'écoulement du yaourt en fonction de la température

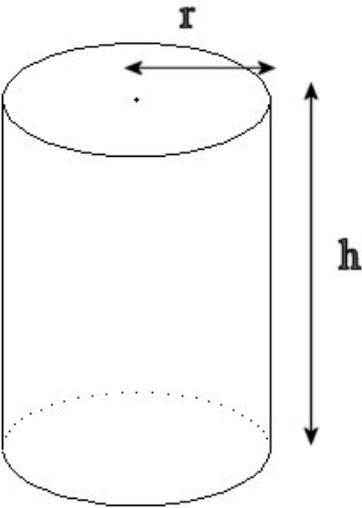
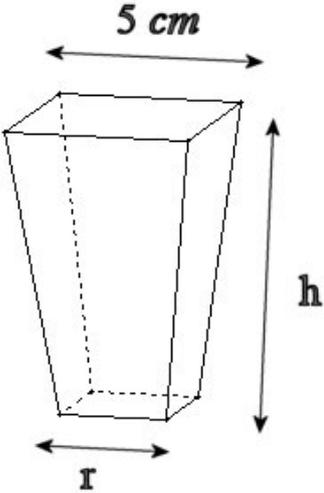


Annexe 3

Forme optimale pour le conditionnement du yaourt en pot

On souhaite conditionner les yaourts dans des pots dont le volume est de 125 cm^3 . Pour des raisons économiques, on souhaite minimiser la quantité de matériau utilisée pour la fabrication d'un pot. En considérant l'épaisseur constante, on ramène le problème à l'étude de l'aire extérieure du contenant.

Deux modèles sont proposés :

<p>1°) Le pot cylindrique :</p> <p>r et h sont à déterminer de telle sorte que l'aire totale (aire latérale + aire du fond, sans couvercle) soit la plus petite possible.</p>	<p>2°) Le pot conique :</p> <p>A partir d'un carré de côté 5 cm. On construit un tronc de cône de hauteur h. On note r la longueur du côté de la base.</p> <p>r et h sont à déterminer de telle sorte que l'aire totale (aire latérale + aire du fond, sans couvercle) soit la plus petite possible.</p>
	

On peut mener les deux études en parallèle, selon la forme de pot choisie, en constituant plusieurs groupes dans la classe. Un travail au tableur sera mené dans les deux situations pour la recherche du minimum.

On pourra également réaliser les patrons de ces solides dans différentes configurations, et des figures dynamiques avec geospace.

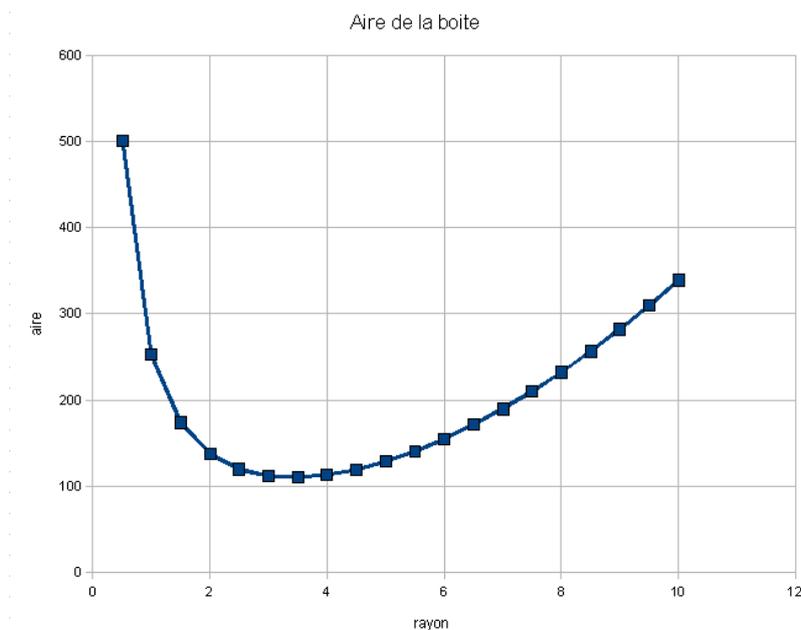
1) Pour le pot cylindrique :

On peut laisser les élèves partir avec les deux variables possibles :

Si r est la variable on obtient l'aire $A(r) = \pi r^2 + \frac{125}{r}$

Si h est la variable on obtient $A(h) = 10\sqrt{2\pi h} + \frac{125}{h}$

	A	B	C	D	E	F
1	volume	rayon	hauteur	aire latérale	aire fond	aire totale
2	125	0,5	=A2/E2	=2*PI()*B2*C2	=PI()*B2^2	=D2+E2
3	125	1	39,79	250	3,14	253,14
4	125	1,5	17,68	166,67	7,07	173,74
5	125	2	9,95	125	12,57	137,57
6	125	2,5	6,37	100	19,63	119,63
7	125	3	4,42	83,33	28,27	111,61
8	125	3,5	3,25	71,43	38,48	109,91
9	125	4	2,49	62,5	50,27	112,77
10	125	4,5	1,96	55,56	63,62	119,17
11	125	5	1,59	50	78,54	128,54
12	125	5,5	1,32	45,45	95,03	140,49
13	125	6	1,11	41,67	113,1	154,76
14	125	6,5	0,94	38,46	132,73	171,19
15	125	7	0,81	35,71	153,94	189,65
16	125	7,5	0,71	33,33	176,71	210,05
17	125	8	0,62	31,25	201,06	232,31
18	125	8,5	0,55	29,41	226,98	256,39
19	125	9	0,49	27,78	254,47	282,25
20	125	9,5	0,44	26,32	283,53	309,84
21	125	10	0,4	25	314,16	339,16



La recherche du minimum pourra faire l'objet d'une démarche algorithmique, et permettra la mise en œuvre d'outils variés.

2) Pour le pot conique (plus difficile) :

Un travail uniquement sur les expressions algébriques n'est pas envisageable par des élèves de seconde.
 La gestion avec un logiciel de calcul formel semble aussi assez difficile.
 Par contre, la décomposition des calculs avec un tableur est abordable.
 Après un temps de recherche, on orientera si nécessaire les élèves vers le choix de la variable r .

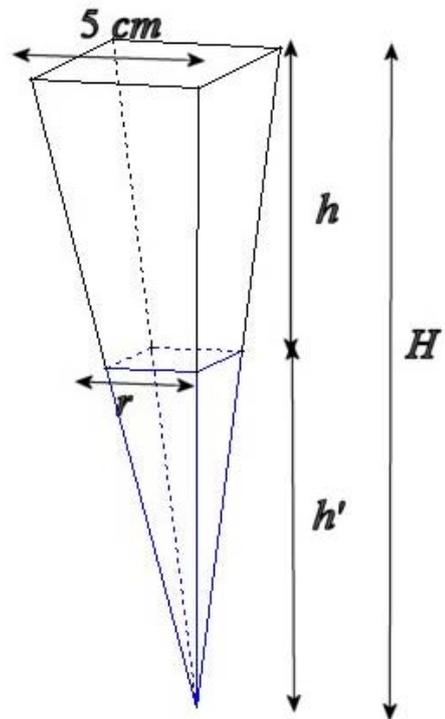
Une première étape consiste à exprimer le volume du pot.

$$V = \frac{1}{3} (5^2 H - r^2 h')$$

Comme $h' = \frac{rH}{5}$

On peut exprimer H en fonction de r :

$$H = \frac{3V \times 5}{5^3 - r^3}$$



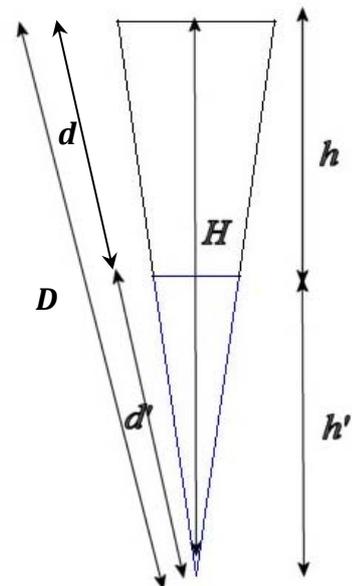
Pour le calcul de l'aire latérale, la difficulté consiste à obtenir la hauteur de chacun des trapèzes : $d = D - d'$

D et d' s'obtiennent grâce au théorème de Pythagore :

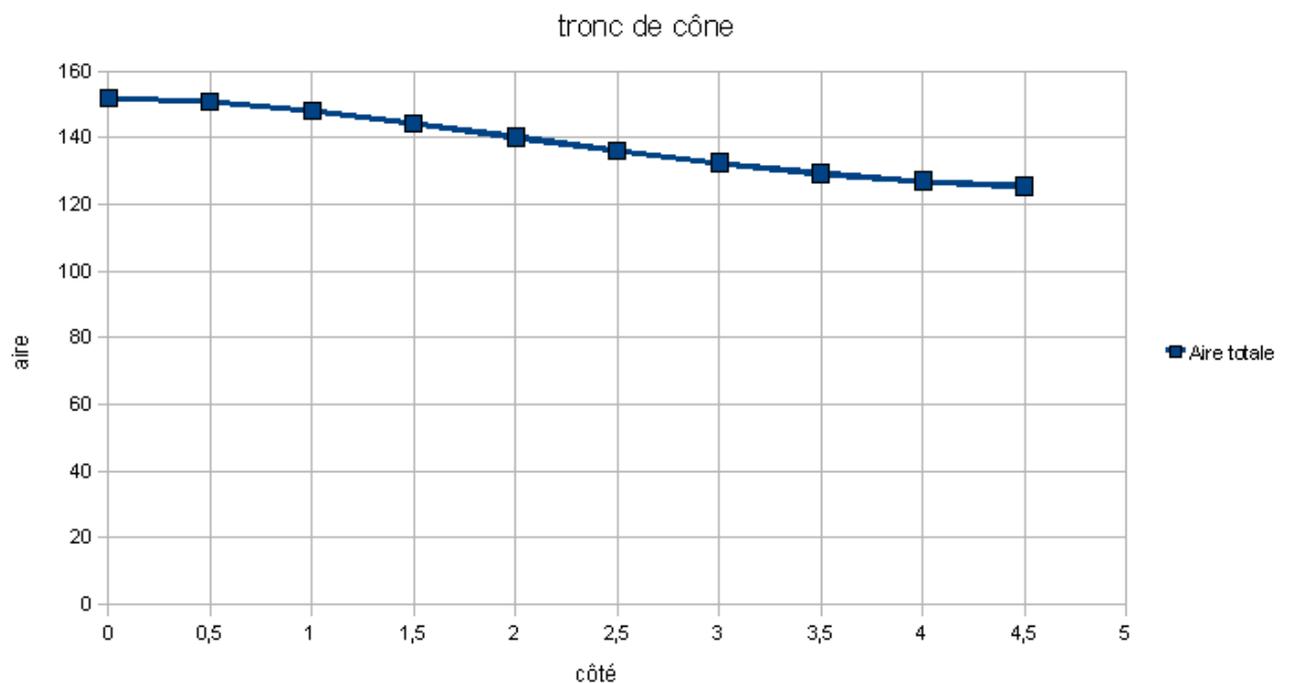
$$D = \sqrt{H^2 + \left(\frac{5}{2}\right)^2}$$

$$d' = \sqrt{h'^2 + \left(\frac{r}{2}\right)^2}$$

La réalisation d'un patron peut être utile pour conduire à l'obtention de cette figure.



	A	B	C	E	D	F	G	H	I	J	K	L
1	Volume	Grand carré : R	Petit carré : r	Grande hauteur : H	Petite hauteur : h'	Hauteur h	Grande hauteur latérale: D	Petite hauteur latérale: d'	Hauteur latérale : d	Aire latérale	Aire fond	Aire totale
2	125	5	0	$=3*A2*B2/(B2^3-C2^3)$	$=C2*D2/B2$	$=D2-E2$	$=RACINE(D2^2+(B2/2)^2)$	$=RACINE(E2^2+(C2/2)^2)$	$=G3-H3$	$=4*I3*(B3+C3)/2$	$=C3^2$	$=J3+K3$
3	125	5	0,5	15,02	1,5	13,51	15,22	1,52	14	150,7	0,25	150,95
4	125	5	1	15,12	3,02	12,1	15,33	3,07	12	147,13	1	148,13
5	125	5	1,5	15,42	4,62	10,79	15,62	4,69	11	142,12	2,25	144,37
6	125	5	2	16,03	6,41	9,62	16,22	6,49	9,7	136,24	4	140,24
7	125	5	2,5	17,14	8,57	8,57	17,32	8,66	8,7	129,93	6,25	136,18
8	125	5	3	19,13	11,48	7,65	19,3	11,58	7,7	123,49	9	132,49
9	125	5	3,5	22,83	15,98	6,85	22,97	16,08	6,9	117,13	12,25	129,38
10	125	5	4	30,74	24,59	6,15	30,84	24,67	6,2	111,02	16	127,02
11	125	5	4,5	55,35	49,82	5,54	55,41	49,87	5,5	105,27	20,25	125,52
12	125	5	5	#DIV/0 !	#DIV/0 !	#DIV/0 !	#DIV/0 !	#DIV/0 !	5	#DIV/0 !	25	#DIV/0 !



La solution optimale $r = 5$ est hors de l'ensemble de définition de la fonction.

On peut faire remarquer aux élèves la particularité de cette situation : une formule qui n'est pas définie, une situation géométrique que l'on peut tout de même envisager. On pourra alors parler de « position limite » : le cône devient un cylindre, et le pot prend la forme d'un cube.