

# Séquence de classe

Projet Pasteur – Fermentations

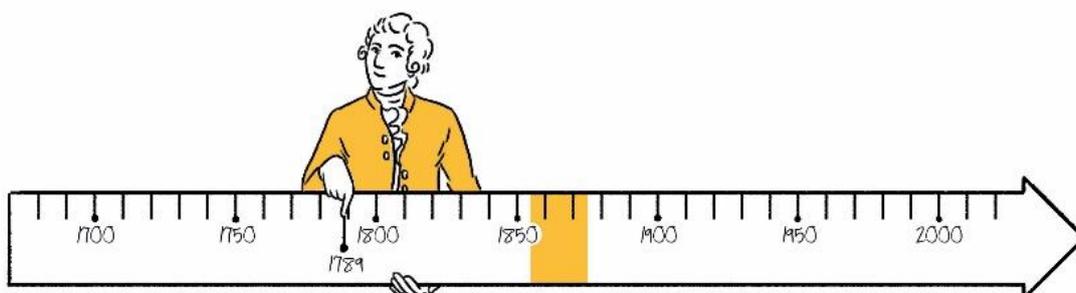
## La fermentation avant Pasteur

Cycles 3 & 4

<b>Thématiques traitées</b>	Conservation des aliments, micro-organismes, transformations chimiques, instruments scientifiques, histoire des sciences et des techniques
<b>Résumé et objectifs</b>	Cette séquence permet de découvrir l'approche des chimistes sur la question de la fermentation. La première activité est une découverte du laboratoire et de ses instruments au temps de Pasteur. La deuxième activité est une approche expérimentale de la fermentation du raisin. La troisième permet de caractériser la transformation, les réactifs et les produits.
<b>Disciplines engagées</b>	Chimie, Français

## Un petit point sur l'histoire...

Louis Pasteur n'a pas construit seul toute la connaissance sur les fermentations. Avant lui, d'autres illustres scientifiques ont posé des bases sur lesquelles il s'est appuyé pour mener ses travaux. Cette séquence se situe donc quelques décennies avant que Pasteur n'entre en scène. Elle présente des connaissances qui s'avéreront indispensables à Louis Pasteur pour remplir la mission que lui confiera Napoléon III. Et notamment celles apportées par le chimiste Antoine Lavoisier.



# Activité 1 : Le laboratoire du chimiste au XIX<sup>e</sup> siècle

Résumé	
<b>Disciplines</b>	Chimie, Français (optionnel)
<b>Déroulé et modalités</b>	À l'aide d'un jeu de cartes, les élèves vont devoir reconnaître les outils présents dans un laboratoire du XIX <sup>e</sup> siècle et ceux dont l'invention est postérieure à cette période.
<b>Durée</b>	30 minutes
<b>Matériel</b>	Jeu de cartes (à imprimer) pour chaque groupe d'élèves (annexe 1).
Message à emporter	
Le travail du scientifique s'appuie sur des outils et des méthodes qui améliorent la fiabilité et la précision des résultats obtenus. C'est un travail qui se fait aussi en équipe, ce qui donne des garanties supplémentaires.	

L'enseignant présente à la classe le contexte historique de la situation. Il pourra s'inspirer du texte suivant :

Aucune théorie scientifique n'est le fruit du travail d'un seul scientifique. Louis Pasteur s'est donc appuyé sur les recherches de chercheurs qui l'ont précédé.

Des chimistes français comme **Antoine Lavoisier** et Joseph Louis Gay-Lussac ont décrit le processus de la « fermentation », clé de la transformation du jus de raisin en vin. Lavoisier est souvent associé à cette citation : « *Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme.* » Il ne l'a jamais prononcée en réalité, mais il a effectivement fait avancer notre compréhension sur les transformations chimiques.



L'enseignant propose ensuite à la classe : « *Nous allons découvrir les connaissances dont disposait Louis Pasteur au moment où il s'est emparé de la question des maladies du vin. Pour cela, nous allons nous mettre dans la peau d'un chimiste du XIX<sup>e</sup> siècle.* »

## Phase 1 : Poussons la porte du laboratoire

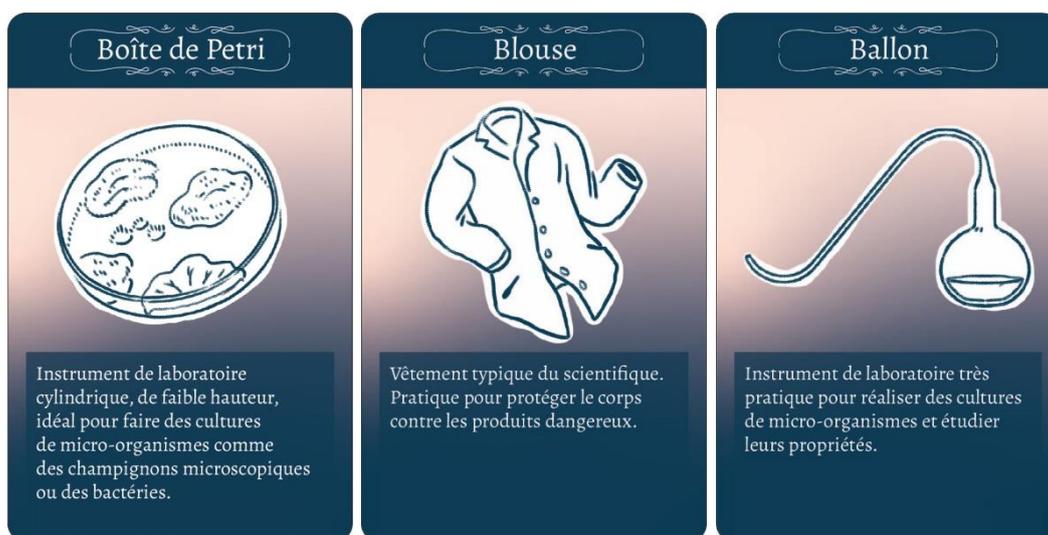
Nous allons maintenant découvrir le laboratoire d'un scientifique au cours du XIX<sup>e</sup> siècle. En observant les éléments qui s'y trouvent, nous en apprendrons beaucoup sur le travail des savants de l'époque, leurs objectifs et leurs méthodes.

L'enseignant peut lire ce texte pour mettre les élèves dans l'ambiance de l'époque (nous sommes en réalité quelques décennies avant Pasteur, autour du début du siècle). C'est un extrait du roman de Balzac *La recherche de l'absolu* (1834), dans lequel le personnage principal, Balthazar Claës, élève de Lavoisier, va se lancer dans une quête scientifique qui vire à l'obsession. C'est Marguerite, sa fille, qui nous ouvre la porte du laboratoire de son père absorbé dans ses recherches :

Lassée de l'attendre, Marguerite monta au laboratoire. En entrant, elle vit son père au milieu d'une pièce immense, fortement éclairée, garnie de machines et de verreries poudreuses ; çà et là, des livres, des tables encombrées de produits étiquetés, numérotés. Partout le désordre qu'entraîne la préoccupation du savant y froissait les habitudes flamandes. Cet ensemble de matras, de cornues, de métaux, de cristallisations fantasmiquement colorées, d'échantillons accrochés aux murs, ou jetés sur des fourneaux, était dominé par la figure de Balthazar Claës qui, sans habit, les bras nus comme ceux d'un ouvrier, montrait sa poitrine couverte de poils blanchis comme ses cheveux.

L'enseignant propose ensuite aux élèves le défi suivant : « Vous allez observer une collection d'objets (ou d'autres éléments) sous la forme de petites cartes. Vous devrez dire si, selon vous, ces éléments étaient ou non présents dans le laboratoire d'un scientifique du XIX<sup>e</sup> siècle. »

Voici quelques exemples de cartes à distribuer dans chaque groupe. L'ensemble des cartes se trouve dans l'annexe 1.



Après un temps de travail en groupe, l'enseignant propose aux élèves de réaliser une autocorrection de leur travail. Pour cela, il leur distribue les quatre documents de l'annexe 2. Il s'agit d'illustrations (plus ou moins fidèles) des laboratoires que fréquentait Pasteur. Voici un tableau qui résume les informations relatives à ces documents. Il laisse les élèves rechercher les différents objets pendant une dizaine de minutes.

Titre	Source	Précisions
Document 1 : Louis Pasteur dans son laboratoire de l'École normale supérieure	Gravure du <i>Journal illustré</i> , 1888	Il s'agit du laboratoire de l'Institut Pasteur.
Document 2 : À la gloire de Pasteur	Tableau d'Eugène Henri Callot (probablement 1915)	Il s'agit du laboratoire de la maison de Louis Pasteur à Arbois.
Document 3 : Le laboratoire de Pasteur	Tableau de Lucien Laurent-Gsell (avant 1887), exposé au musée de la Cohue à Vannes	Il s'agit du laboratoire de l'ENS. On y voit Pasteur avec ses assistants.
Document 4 : Louis Pasteur dans l'étuve des cultures de microbes à l'École normale supérieure	Dessin signé Poyet, publié dans le journal <i>La Nature</i> , 1884	Ce dessin s'inspire de manière assez libre du laboratoire de l'ENS.

## Phase 2 : Éléments de correction de l'activité

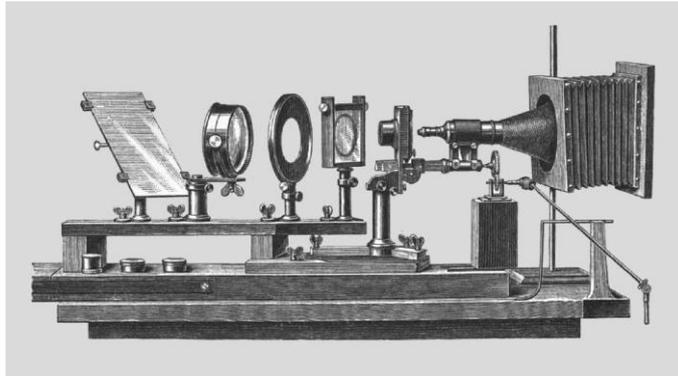
Quand toutes les recherches sont terminées, l'enseignant peut procéder à la correction. Voici un résumé des réponses attendues. Le but de l'activité n'est pas de devenir un expert des outils du XIX<sup>e</sup> siècle. Le jeu de cartes est surtout un prétexte pour amener les élèves à comprendre comment travaille un scientifique, quelles que soient sa discipline et son époque : il s'appuie sur des outils et des méthodes d'observation et d'expérimentation pour rechercher des faits de manière rigoureuse. Le travail collaboratif est également indispensable.

Éléments de la carte	Dans le laboratoire de Pasteur ?
Boîte de Petri	Non, mais elle le sera bientôt !
Blouse	Pas utilisée pour ces expériences.
Ballons	Oui, très utilisés.
Assistants	Oui, Pasteur est bien entouré.
Appareil photo	Oui, récemment utilisé (invention : 1839).
Tube à rayons X	Non, pas encore inventé (1895).
Tubes à essais	Oui, très utilisés.
Polarimètre	Oui, apprécié de Pasteur (invention : 1830).
Ordinateur	Non, pas encore inventé (1945).
Microscope optique	Oui, très utilisé (1595).
Microscope électronique	Non, pas encore inventé (1931).
Masque	Pas utilisé.
Loupe	Pas utilisée car insuffisante pour observer les micro-organismes (mais les élèves ne le découvriront que plus tard).
Carnet de notes	Oui, très utilisé.
Caméra	Non, pas encore inventée (1889).

## Éclairage historique : le laboratoire au temps de Pasteur

### *Observer*

Pasteur ne disposait pas de microscopes aussi puissants qu'aujourd'hui (le premier microscope électronique date de 1931) ! Toutefois, il y avait bien des microscopes optiques et déjà la possibilité de réaliser des photographies des observations faites au microscope. Pasteur a réalisé des microphotographies dans ses études sur les maladies des vers à soie. C'est Robert Koch qui, au tout début des années 1880, a développé cette technique. Les caméras, en revanche, n'apparaissent qu'après la mort de Pasteur (peu de temps après en réalité).



***Un dispositif similaire à celui que Pasteur et son rival allemand Robert Koch ont utilisé.***

***Source : Normand Overney, Gregor Overney (2010), The History of Photomicrography, Micscape Magazine.***

Une autre manière d'observer indirectement le milieu de culture était d'utiliser le polarimètre : l'appareil permet de renseigner sur certaines propriétés optiques du milieu, que Pasteur a su relier à un indice en faveur du rôle d'êtres vivants dans les fermentations (cf. séquence 3). En revanche, les appareils à rayons X n'apparaissent qu'à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Ils seront des outils clés dans les découvertes du XX<sup>e</sup> siècle.

### *Cultiver*

Pasteur ne se contentait pas d'observer les micro-organismes. Il voulait les cultiver pour découvrir leur fonctionnement. Dans cette tâche, d'autres instruments étaient nécessaires, et notamment les ballons. Sur l'image de la carte, nous avons figuré le célèbre ballon à col de cygne. Cette forme n'était pas courante dans les laboratoires, mais a été utilisée par Pasteur pour réfuter la génération spontanée.

Les boîtes de Petri ont joué un rôle clé dans l'histoire de la microbiologie, mais ont été inventées à Berlin en 1887, donc Pasteur ne les a pas utilisées. Elles représentaient une avancée technique car elles permettaient de cultiver un seul organisme à la fois. C'est Richard Petri (un assistant de Robert Koch) qui a inventé cet outil. Mais la boîte ne fait pas tout : il fallait encore concevoir le milieu de culture qui allait permettre la croissance des bactéries. On doit à Fanny Hesse, technicienne de laboratoire et femme d'un microbiologiste du laboratoire de Koch, la suggestion d'utiliser l'agar-agar (qu'elle employait pour faire ses gelées) !

En bon chimiste, Pasteur utilisait bien des tubes à essais, dont l'origine remonte au Moyen Âge.

## Se protéger

La blouse fait son apparition dans les laboratoires vers la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. On voit parfois Pasteur et ses assistants la porter, mais sur les gravures plus tardives. Si les masques sont très anciens – notamment pour se protéger des épidémies –, leur utilisation dans les laboratoires n'est pas une coutume adoptée au temps de Pasteur et ni lui ni ses assistants n'en utilisent.

## Noter, analyser

Le carnet de notes (ou cahier d'expériences) était aussi un outil indispensable. La science est complexe, déjà à l'époque de Pasteur. Les scientifiques tiennent des raisonnements sophistiqués, font des hypothèses, imaginent des protocoles. Les résultats sont consignés et mènent vers de nouvelles idées. Sans le carnet de notes, il serait impossible de s'y retrouver. Nous avons la chance d'avoir les carnets de notes de Pasteur, ce qui nous aide à comprendre son raisonnement.

Par contre, Pasteur et ses contemporains n'avaient pas d'ordinateurs pour les aider dans leurs analyses !

## Collaborer

Pasteur ne travaillait pas seul. C'est lui qui invente le statut d'« assistant préparateur ». Ce sont des jeunes collègues qui l'aident dans sa réflexion et son travail au quotidien, au laboratoire et sur le terrain. Pasteur a véritablement fait avancer le travail d'équipe en science.

Pour conclure et donner une image peut-être plus fidèle de la recherche au XIX<sup>e</sup> siècle que les tableaux ne pourraient le suggérer, voici une citation de Pasteur à propos de son laboratoire à l'École normale, un grenier aménagé : « *Mon laboratoire quoique très modeste est disposé convenablement. Mais je n'ai pas la moindre ressource, M. le Ministre, pour faire face aux dépenses matérielles et journalières. N'ayant aucune ressource accessoire d'aucune sorte, obligé de payer le charbon et le gaz que je brûle, le domestique qui m'assiste dans les soins de propreté des instruments, il m'est impossible de rester au-dessous d'une dépense minimum de 1 500 fr. annuellement.* » (L'occasion d'expliquer aux élèves qu'il y avait jadis des francs !)



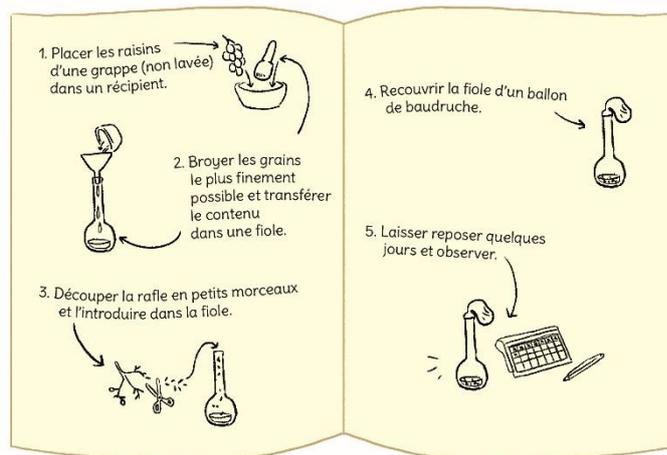
## Activité 2 : Approche expérimentale de la fermentation

Résumé	
Disciplines	Chimie
Déroulé et modalités	Les élèves suivent un protocole pour réaliser une fermentation et caractériser un produit : le dioxyde de carbone.
Durée	30 minutes (prévoir ensuite quelques jours avant la lecture des résultats)
Matériel	<p>Par groupe :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• des raisins (difficiles à trouver après l'hiver) ;</li><li>• une paire de ciseaux ;</li><li>• un pilon ;</li><li>• un mortier ;</li><li>• un ballon (verrerie) ;</li><li>• un ballon de baudruche ;</li><li>• un entonnoir à solide (large diamètre pour que les morceaux de raisins puissent passer et ne pas rester bloqués dans la partie basse de l'entonnoir) ;</li><li>• de l'eau de chaux (optionnelle) ;</li><li>• le protocole (annexe 3).</li></ul> <p><b>Note</b> : Il est possible de remplacer le pilon par un galet et le mortier par un bol. De même, on peut remplacer le ballon par une bouteille en verre à goulot étroit de préférence.</p>
Message à emporter	
<p>Certaines substances de l'environnement peuvent réagir entre elles (ce sont les réactifs) et former de nouvelles substances (ce sont les produits) : on parle de transformation chimique. La fermentation est un exemple de transformation chimique lors de laquelle du sucre (le réactif) est converti en différents produits (qui peuvent être du dioxyde de carbone ou de l'alcool par exemple).</p>	

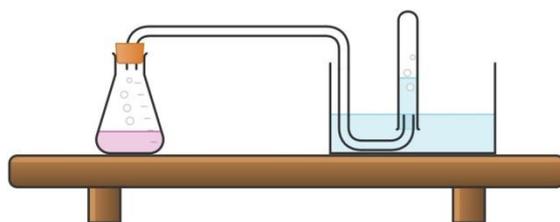
## Phase 1 : Le protocole

L'enseignant propose ensuite à la classe le défi suivant : « Vous allez maintenant vous mettre dans la peau d'un chimiste qui étudie la réaction de transformation du jus de raisin en vin. Voici votre carnet de notes : respectez le plus fidèlement possible le protocole choisi ! »

L'enseignant distribue aux groupes d'élèves le protocole donné en [annexe 3](#). Il faut broyer trois ou quatre grains de raisin avec pilon et mortier, ainsi que la rafle coupée en morceaux. Il ne faut surtout pas laver le raisin en amont. Tout le contenu est versé dans un ballon que l'on recouvre d'un... ballon de baudruche.



**Note :** Il existe une variante de ce protocole qui permet d'observer plus finement la transformation, notamment en mesurant le volume de gaz dégagé au cours du temps (possibilité de construire un graphique). La fiole contenant les raisins broyés est fermée par un bouchon percé d'un trou. Cela permet de fixer un tube coudé relié à une éprouvette graduée. Ce dispositif n'est bien sûr possible à mettre en œuvre que dans les collèges et lycées équipés.



## Phase 2 : Les résultats attendus... et les autres

Au bout de deux-trois jours, le ballon gonfle, ce qui traduit la formation d'un gaz. C'est du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) que l'on peut mettre en évidence en vidant le contenu du ballon de baudruche dans un récipient contenant de l'eau de chaux. Celle-ci se trouble en présence de  $\text{CO}_2$ .



Il est possible que de la moisissure apparaisse dans certaines expériences. Pas de panique ! C'est au contraire une très bonne opportunité pour faire réfléchir les élèves... N'y a-t-il pas en effet un point commun entre les observations et l'histoire de Pasteur ? Si l'on se rappelle le cas de monsieur Bigo présenté dans la séquence 1, certaines fermentations ne se déroulent pas convenablement. Reste à comprendre pourquoi. Dans la séquence 4, nous montrerons qu'il s'agit en réalité de contamination par d'autres micro-organismes présents dans le milieu environnant et qui entrent en compétition avec les levures.

# Activité 3 : La fermentation vue par les chimistes

Résumé	
<b>Disciplines</b>	Chimie
<b>Déroulé et modalités</b>	Les élèves s'approprient la transformation chimique qui se déroule dans une eau sucrée dans laquelle on introduit des levures, en analysant des extraits d'un texte s'inspirant des travaux de Duclaux. Si l'enseignant le juge pertinent pour sa classe, il propose aux élèves de simuler ce qui se passe à l'échelle microscopique.
<b>Durée</b>	2 heures (1 heure pour l'activité + 1 heure pour le prolongement)
<b>Matériel</b>	<p>Pour chaque élève :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Une photocopie des extraits de texte de l'annexe 4.</li></ul> <p>Pour le prolongement, par groupe d'élèves :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• un jeu de cartes complété (annexe 5) ;</li><li>• une boîte de matériel contenant 24 cubes ou briques encastrables entre eux (cubes de numération, briques de jouets...) d'une couleur, 12 cubes d'une seconde couleur, 12 cubes d'une troisième couleur ;</li><li>• une boule de polystyrène ou une bille ;</li><li>• des coquillettes ;</li><li>• deux récipients ;</li><li>• une balance.</li></ul>
Message à emporter	
Lors d'une transformation chimique, la matière qui constitue les réactifs se réorganise, mais se conserve entièrement pour former les produits.	

Dans cette phase, l'enseignant distribue un texte historique qui présente l'importance qu'ont eu les balances de précision dans les progrès d'une science encore assez jeune au temps de Pasteur : la chimie. Le texte historique original est donné ici à titre indicatif. Il a été écrit par Émile Duclaux, assistant de Louis Pasteur. C'est une biographie de son maître, intitulée *Pasteur, histoire d'un esprit*. Le texte a été simplifié et raccourci pour la classe dans l'annexe 4. Il a également été découpé en trois parties (état initial, état final et validation) pour faciliter son appropriation par les élèves. Le voici dans sa version originale :

C'est ici que nous pouvons signaler, comme nous l'avons fait à propos de l'introduction en chimie des considérations relatives au pouvoir rotatoire, la puissance fécondante d'un instrument nouveau entrant dans une science qui ne le connaissait pas ou le méconnaissait. C'est à l'introduction de la balance dans la chimie que Lavoisier doit sa gloire. Elle lui avait servi à résoudre bien des problèmes : elle résout encore le problème de la fermentation. Lavoisier établit sur le plateau d'une balance un vase rempli d'eau dans laquelle il avait ajouté un poids donné de sucre et un peu de levure de bière. De la perte de poids subie par ce vase à la fin de la fermentation, il conclut le poids d'acide carbonique dégagé pendant le phénomène. Il sépare ensuite l'alcool par distillation, le pèse, et trouve que la somme des poids de l'alcool et de l'acide carbonique donne à peu près le poids du sucre primitif. La conclusion est facile à tirer : le sucre se dédouble simplement en alcool et en acide carbonique ; il n'y a pas d'autres produits normaux de la transformation.

### Notes :

- Dans le texte historique, Émile Duclaux mentionne le « sucre ». Nous avons décidé de conserver « sucre » et de ne pas utiliser « glucose » avec les élèves.
- Émile Duclaux aborde le récit de manière historique. Il se place donc à l'époque de Lavoisier et de ses contemporains. Lorsqu'il déclare que la « conclusion est facile à tirer », Duclaux est en réalité ironique. Avec ses connaissances, il sait que la connaissance produite par Lavoisier n'est qu'une première approximation et que non, le sucre ne se dédouble pas simplement et qu'il est faux d'observer qu'il n'y a « pas d'autres produits normaux de la transformation ». Dans la séquence 3, au moment d'illustrer le rôle clé des êtres vivants dans la fermentation, il sera possible de revenir sur ce commentaire de Duclaux.

### En amont/préparation

L'enseignant imprime les cartes de l'annexe 5.

Il est à noter que la modélisation de la transformation chimique est assez exigeante pour des élèves de cycle 3. D'après les tests de cette séquence, elle est difficile pour des élèves de 6<sup>e</sup>, mais à leur portée. Elle semble par contre représenter un saut conceptuel important pour des élèves de CM1 et de CM2. L'enseignant peut donc choisir de ne travailler que sur l'analyse documentaire avec sa classe et de ne pas réaliser la simulation proposée dans l'activité.



S'il souhaite mettre en œuvre le prolongement proposé (modélisation de la transformation chimique), il prépare une boîte de matériel pour chaque groupe d'élèves. Chaque équipe doit avoir à disposition 24 petits cubes (unités de numération ou briques de jouets) d'une couleur, 12 petits cubes d'une seconde couleur et enfin 12 petits cubes d'une troisième couleur.

Par convention, les chimistes utilisent le blanc pour le premier ensemble de cubes (modélisant les atomes d'hydrogène), le rouge pour le second ensemble (modélisant les atomes d'oxygène) et le noir pour le dernier ensemble (modélisant les atomes de carbone). Dans cette activité, il est bien évidemment possible de ne pas respecter ces conventions. Si l'enseignant n'a pas pu se procurer suffisamment de cubes de trois mêmes couleurs pour l'ensemble de sa classe, il indique en haut de chaque carte de l'**annexe 5** à quelles couleurs correspondent les lettres A, B et C.

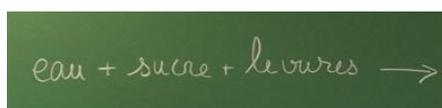
### Variante :

- Il est possible de préparer des boîtes de matériel simplifiées avec 24 briques et non 48 briques. Dans ce cas, les élèves utiliseront les mêmes briques pour l'état initial et l'état final. Pour certains élèves, cette variante semble plus accessible car ils se retrouvent face à moins de briques et ne se demandent pas pourquoi ils n'ont pas utilisé tout le matériel dès la première phase de l'activité. Pour d'autres, passer de l'état initial à l'état final avec les mêmes briques peut s'avérer assez difficile. L'enseignant peut donc choisir entre les deux variantes proposées suivant la quantité de matériel à sa disposition, mais également le niveau de ses élèves et les difficultés rencontrées.

## Phase 1 : L'état initial de la transformation chimique

L'enseignant distribue le premier extrait du texte sur Lavoisier : l'état initial. Il lit ou fait lire à haute voix l'extrait. Un échange entre le professeur et la classe permet de vérifier que les élèves ont compris le texte. Pour ceux qui en ont besoin, l'enseignant explicite les mots de vocabulaire qui posent problème.

Il demande alors aux élèves : « *Quels sont les "ingrédients" dans le vase de Lavoisier ?* » Les élèves répondent alors qu'il y a de l'eau, du sucre et des levures dans le vase. L'enseignant note au tableau le début de l'équation chimique, bien évidemment avec des mots et pas des formules chimiques. Il indique que les « ingrédients » au début de l'expérience sont appelés les « réactifs » et que le début de l'expérience est appelé « état initial » pour les chimistes.



**Prolongement de la phase 1 :** Il distribue ensuite le matériel nécessaire à l'activité. Il donne alors la consigne suivante : « *Utilisez les briques de couleur pour reconstituer les différents ingrédients présents au début de la fermentation. Aidez-vous des cartes pour y parvenir.* » Les élèves mettent en commun leurs idées au sein de leur groupe de travail et reconstituent l'état initial. L'enseignant demande aux élèves de garder cette première reconstitution sur leur table.

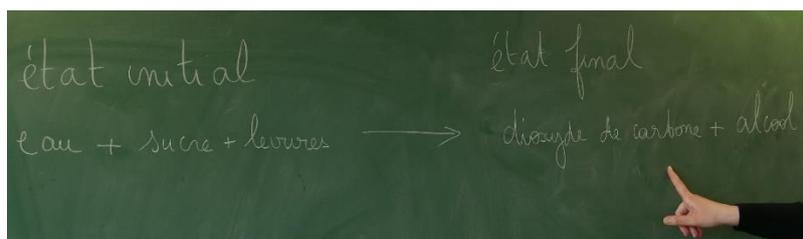


**Note :** Dans la photographie ci-dessus (et les suivantes), la molécule de glucose est représentée par trois piles de cubes de même couleur et non reliées entre elles pour des raisons pratiques ! On attend des élèves uniquement qu'ils mettent le bon nombre de cubes dans le becher.

## Phase 2 : L'état final de la transformation chimique

Le professeur distribue l'extrait 2 du texte qui présente l'état final de la fermentation. Il lit ou fait lire à haute voix l'extrait. Un échange entre le professeur et la classe permet de vérifier que les élèves ont compris le texte.

L'enseignant demande ensuite : « *Quels sont les "ingrédients" présents à la fin de l'expérience de Lavoisier ?* » Les élèves répondent alors qu'il y a de l'alcool et du dioxyde de carbone dans le vase. L'enseignant note au tableau la fin de l'équation chimique, bien évidemment avec des mots et pas des formules chimiques. Il indique que les « ingrédients » obtenus à la fin de l'expérience sont appelés les « produits » et que la fin de l'expérience est appelée « état final » pour les chimistes.



Le professeur demande s'il ne manque pas des éléments à la fin de l'expérience. Les élèves se souviennent de leur propre expérience et proposent alors d'ajouter l'eau et les levures dans l'état final.

**Note :** Les levures et l'eau ne sont pas des réactifs ni des produits de la transformation chimique. Les levures sont les catalyseurs et l'eau le solvant mais, dans un premier temps, cette proposition permet aux élèves de s'approprier le concept de réaction chimique et de voir tous les acteurs qui y prennent part.

**Prolongement de la phase 2 :** L'enseignant donne la consigne suivante : « *Utilisez les briques de couleur pour reconstituer les différents ingrédients présents à la fin de la fermentation. Aidez-vous des cartes pour y parvenir.* »

Les élèves mettent en commun leurs idées au sein de leur groupe de travail et reconstituent l'état final. L'enseignant demande aux élèves de garder cette seconde reconstitution sur leur table.



## Phase 3 : Interprétations de Lavoisier

L'enseignant distribue l'extrait 3 du texte qui présente la conclusion du chimiste. Il lit ou fait lire à haute voix l'extrait. Un échange entre le professeur et la classe permet de vérifier que les élèves ont compris le texte.

**Prolongement de la phase 3 :** L'enseignant donne la consigne suivante : « Vérifiez votre reconstitution en utilisant la balance à la manière de Lavoisier. Corrigez votre travail si nécessaire. »

Les élèves mettent en commun leurs idées au sein de leur groupe de travail et simulent la conclusion proposée par le texte.

L'enseignant propose aux groupes de mettre en commun leurs reconstitutions. Les élèves n'ont pas forcément « dédoublé » le sucre de la même façon. Un débat pourra s'engager entre les élèves sur les quantités utilisées dans les différentes reconstitutions et la loi de conservation de la matière lors d'une transformation chimique. En effet, certains élèves devraient se rendre compte que la quantité des produits pose problème par rapport à la quantité du réactif, quand on compare les masses de l'état initial et de l'état final. Il faut en fait deux édifices « alcool » et deux édifices « dioxyde de carbone » pour obtenir la même masse à l'état final qu'à l'état initial.



### Notes pédagogiques :

- Un solvant en chimie est une substance qui a le pouvoir de dissoudre d'autres substances comme les réactifs. Le solvant le plus connu et utilisé sur Terre est l'eau (H<sub>2</sub>O), mais il en existe d'autres comme les alcools, l'acétone ou les hydrocarbures. Le solvant est très souvent en très large excès par rapport aux réactifs et aux produits. C'est pourquoi on a choisi de le représenter par une multitude de pâtes dans l'activité (mais on aurait pu choisir de ne pas le représenter du tout, en explicitant l'idée aux élèves).
- Il ne s'agit pas ici de parler d'atomes, de liaisons covalentes et de réorganisation de la matière. On part sur des édifices bruts qui sont tous « justes » dans le cas de cette simulation, même ceux éloignés des formules développées du glucose, de l'éthanol et du dioxyde de carbone. Cette simulation se base sur les formules brutes et laisse de côté les mécanismes réactionnels. On ne sait notamment pas à quoi servent les levures (et si les élèves posent la question, c'est très bien !)... Tout ceci sera exploré dans la séquence 3.



### Travailler l'esprit critique et les méthodes de la science

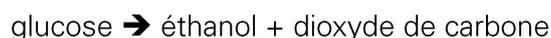
Il est possible que lorsque les élèves pèsent leurs états initiaux et finals, ils ne trouvent pas exactement les mêmes masses. Cela signifie-t-il qu'ils ont mal manipulé ? Pas du tout ! Il est normal que les masses diffèrent un petit peu car nombre de paramètres entrent en compte comme l'uniformité des cubes, la sensibilité de la balance...

Si l'on veut s'approcher le plus possible de la réalité et prendre conscience des différences de mesure, il faudrait par exemple reproduire l'expérience plusieurs fois et faire une moyenne des résultats obtenus.

Il peut être intéressant d'engager le débat avec les élèves qui se demandent si les mesures obtenues sont identiques ou non. Tout dépend de la masse totale dans notre cas. En effet, 1 gramme d'écart par rapport à 100 grammes ou 10 grammes représente un écart de 1 % ou 10 %. Il faut comparer la différence obtenue entre deux pesées par rapport à la masse totale pour savoir si le résultat est acceptable. Dans l'activité, on peut accepter un écart de quelques grammes, mais un écart d'une dizaine de grammes signifiera que les deux objets ne peuvent pas être considérés comme identiques.

## Éclairage scientifique : la fermentation, une transformation chimique

Lorsqu'on parle d'une transformation chimique, on fait intervenir des réactifs qui se transforment en produits. Dans notre cas, le réactif est le glucose et les produits sont l'éthanol et le dioxyde de carbone. Nous avons également remarqué que cette réaction ne pouvait pas fonctionner sans les levures, mais ces dernières ne font pas partie du bilan chimique de la réaction. Leur rôle ne sera pas détaillé ici. Voici une manière schématique de traduire la réaction de fermentation d'après le récit des expériences de Lavoisier :



Les élèves utilisent des briques de couleur afin de reconstituer les réactifs et les produits. La plupart des élèves représentent la transformation comme suit.



Cependant, cette réaction n'est pas juste. Les élèves le remarquent lors de la dernière étape où ils pèsent leurs états initiaux et finals. Ils observent alors que les masses ne sont pas « à peu près égales ». À l'aide de l'équation, on peut s'en assurer en comptant les atomes de carbone (C) entre les réactifs et les produits. Six carbones du côté des réactifs contre trois pour les produits. La réaction n'est pas équilibrée. Pour cela, il faut rajouter « un dioxyde de carbone » et « un éthanol ».



Maintenant, la règle de conservation des masses lors d'une transformation chimique est respectée et les masses mesurées par les élèves entre les états initiaux et finals sont identiques.

Dans la vie courante, lorsqu'on consomme une boisson alcoolisée, il s'agit d'une boisson avec de l'éthanol. La majorité des composés de la famille des alcools sont toxiques pour les êtres humains comme pour les levures. Le méthanol peut entraîner la cécité, voire la mort en attaquant le nerf optique. L'éthanol est un déchet produit par les levures lors du processus de fermentation. Cependant, l'évolution a permis aux humains de pouvoir savourer une boisson contenant de l'éthanol, bien que cette molécule reste un poison à haute quantité comme le prouve la désagréable sensation après une soirée un peu trop arrosée. L'éthanol étant toxique pour les micro-organismes qui le produisent, une boisson alcoolisée obtenue par fermentation ne pourra pas dépasser un pourcentage d'éthanol de 14 à 16 %. Ensuite, toutes les levures sont tuées par la trop grande concentration d'éthanol. Pour obtenir des alcools plus forts, on utilise le principe de la distillation, qui consiste à concentrer l'alcool d'un mélange.

## Phase 4 : De la chimie vers la biologie

L'enseignant échange avec la classe sur ce qui semble important à retenir à la fin de cette activité. Voici un exemple de trace écrite possible à la suite de cet échange : « *Les chimistes ont réussi à faire progresser leur science quand ils ont introduit des instruments de mesure et notamment la balance. Ils ont réussi à mieux comprendre certaines transformations chimiques grâce à ces instruments. Lors d'une transformation chimique, les quantités de matière se conservent. Nous avons simulé une fermentation. Notre simulation a des limites. Nous n'avons travaillé que sur une molécule de sucre alors qu'il y en a beaucoup, beaucoup plus dans une cuillère à café remplie. Nous n'avons considéré qu'une levure dans notre modélisation alors qu'elles sont très nombreuses dans le milieu de culture. Enfin, les tailles de ces différentes entités n'ont pas du tout été respectées !* »

Si les élèves n'ont pas posé de question sur le rôle de la levure, c'est le moment de les interroger : pourquoi l'avoir introduite dans l'affaire ? Lavoisier aussi avait passé sous silence le rôle de la levure. Les scientifiques avaient pourtant bien à l'esprit que sans elle, il n'y avait pas de fermentation. Mais alors, quel rôle joue-t-elle ? Prendre en considération son existence va permettre aux scientifiques de réaliser que la compréhension de la fermentation par Lavoisier était en fait limitée et qu'il n'était pas possible de traduire ce phénomène par une courte équation... Toutes les explications à ce mystère se trouvent dans la séquence 3 !

\*

L'enseignant peut maintenant faire compléter la **fiche des idées clés à retenir** par les élèves. Il s'inspire des éléments que nous proposons (les plus importants sont en gras) dans la **fiche pour l'enseignant** afin de mener une discussion en groupe classe pour faire formuler aux élèves ce qu'ils ont retenu des activités.



## Fiche de synthèse pour l'enseignant

- **La science autour de Louis Pasteur**

**Certaines substances de l'environnement peuvent réagir entre elles (ce sont les réactifs) et former de nouvelles substances (ce sont les produits): on parle de transformation chimique. La fermentation est un exemple de transformation chimique** lors de laquelle du sucre (le réactif) est converti en différents produits (qui peuvent être du dioxyde de carbone ou de l'alcool par exemple). Au cours d'une transformation chimique, il n'y a ni création ni perte de matière. D'où la célèbre phrase que l'on attribue à Lavoisier (sans qu'il l'ait dite !) : « *Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme !* »

- **Comprendre le rôle de la science**

**Le rôle de la science est de produire des faits à partir d'observations et d'expérimentations.** Pour ce faire, les scientifiques s'appuient sur des **outils** qui les aident à faire des observations et des mesures objectives, puis des interprétations rigoureuses. Les scientifiques notent dans un carnet de manière rigoureuse les **méthodes** qu'ils utilisent car d'autres personnes doivent pouvoir refaire les manipulations pour vérifier si elles obtiennent les mêmes résultats. Enfin, les scientifiques ne travaillent pas seuls, mais en **équipe** : cela les aide à trouver des idées originales et à confronter leurs points de vue. **Tous ces éléments (outils précis, démarche explicite et travail d'équipe) sont des garanties pour que la connaissance construite soit fiable.**

Pasteur dira : « *Notre ignorance est grande dès que nous n'avons plus pour guide des faits bien constatés.* »

- **Louis Pasteur, un scientifique attaché au travail de laboratoire**

Louis Pasteur était un scientifique extrêmement rigoureux et le laboratoire a représenté un élément clé de sa réussite. Il a su s'entourer d'une équipe performante pour développer ses recherches. Il s'est appuyé sur une diversité d'outils existants (le microscope pour observer les micro-organismes, le ballon et la boîte de Petri pour les cultiver). Il a même fait construire des nouveaux outils spécialement adaptés à ses hypothèses (comme le ballon à col de cygne).

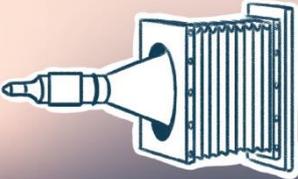
# Séquence de classe

## La fermentation avant Pasteur

Projet Pasteur – Fermentations  
 Cycles 3 & 4

## Annexes

### Annexe 1 – Cartes du jeu « Le laboratoire du chimiste au XIX<sup>e</sup> »

<p><b>Boîte de Petri</b></p>  <p>Instrument de laboratoire cylindrique, de faible hauteur, idéal pour faire des cultures de micro-organismes comme des champignons microscopiques ou des bactéries.</p>	<p><b>Blouse</b></p>  <p>Vêtement typique du scientifique. Pratique pour protéger le corps contre les produits dangereux.</p>	<p><b>Ballon</b></p>  <p>Instrument de laboratoire très pratique pour réaliser des cultures de micro-organismes et étudier leurs propriétés.</p>
<p><b>Assistants</b></p>  <p>Pas évident de réfléchir, de concevoir et de réaliser les expériences tout seul. C'est beaucoup plus efficace de pouvoir compter sur une équipe et des assistants.</p>	<p><b>Appareil photo</b></p>  <p>Objet technique permettant de prendre des photos, notamment de tout petits êtres vivants en le couplant à un microscope. Utile pour montrer vos découvertes au monde entier.</p>	<p><b>Tube à rayons X</b></p>  <p>Dispositif technique permettant d'exposer un échantillon à des rayons X pour comprendre de quoi il est fait et comment il est constitué.</p>

### Tube à essais



Instrument de laboratoire très pratique pour réaliser une série de petites expériences, éventuellement en changeant un paramètre pour comparer les résultats.

### Polarimètre



Instrument de laboratoire utilisé pour étudier certaines propriétés physiques de l'objet. Peut aider à savoir si le phénomène étudié est lié à l'action d'êtres vivants.

### Ordinateur



Objet technique permettant aux scientifiques de rassembler et d'analyser la grande quantité des données qu'ils récoltent lors de leurs observations et expériences.

### Microscope optique



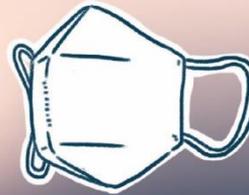
Instrument d'optique indispensable à tous les savants qui veulent observer les détails du monde microscopique. Grossit quelques centaines de fois.

### Microscope électronique



Objet technique indispensable à tous les savants qui veulent observer l'infiniment petit. Grossit quelques milliers ou millions de fois.

### Masque



Objet très pratique pour éviter de se faire contaminer par les micro-organismes que l'on cultive au laboratoire.

### Loupe



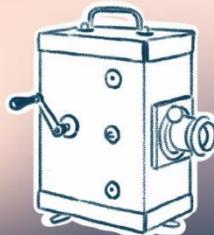
Instrument d'optique facile à se procurer et qui permet de grossir l'objet observé de quelques fois. Pratique pour déceler des détails qui échappent à notre regard.

### Carnet de notes



Objet permettant aux scientifiques de décrire les expériences qu'ils mettent en œuvre et de noter les résultats obtenus, les questions soulevées, les erreurs commises, les solutions trouvées. Indispensable pour guider le raisonnement.

### Caméra



Objet technique permettant de faire des films. Possibilité de le coupler à un microscope pour observer le fonctionnement de petits êtres vivants.

## Annexe 2 – Gravures et photographies autour du laboratoire de Pasteur

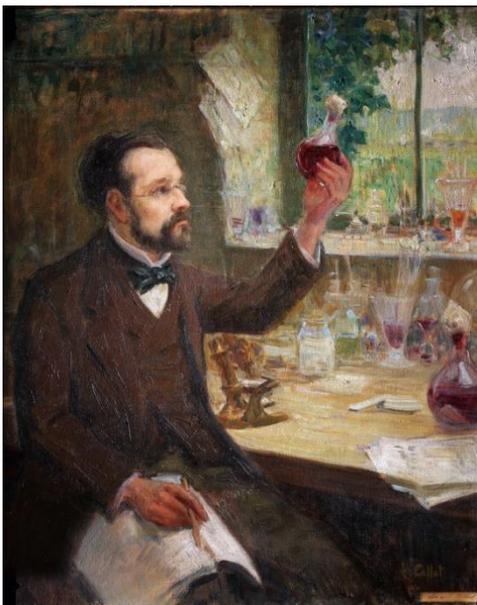
### Document 1



**Titre :** Louis Pasteur dans son laboratoire de l'École normale supérieure  
Dessin, *Le grand laboratoire de Monsieur Pasteur*, de Meulle, gravé par Meyer : fait partie d'une série de dessins illustrant « les travaux scientifiques de Pasteur », publiés dans Le Journal illustré le 30/03/1884

**Crédit :** Institut Pasteur/Musée Pasteur

### Document 2



**Titre :** Le laboratoire de Pasteur  
Tableau d'Eugène Henri Callot (probablement 1915)

**Crédit :** avec l'aimable autorisation de EPPC Terre de Louis Pasteur/Maison natale de Dole

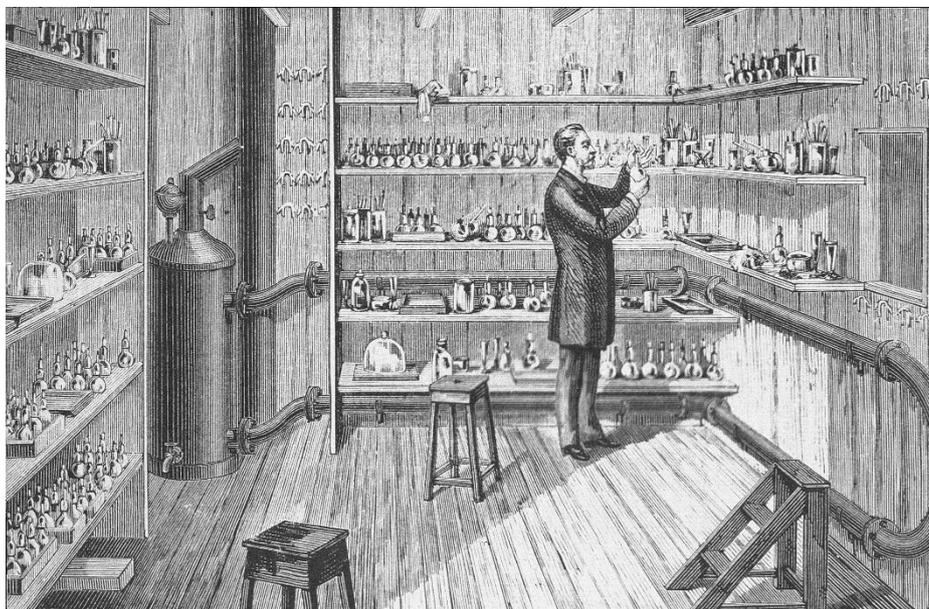
### Document 3



**Titre :** Le laboratoire de Pasteur  
Tableau de Lucien Laurent-Gsell  
(avant 1887)

**Crédit :** avec l'aimable autorisation des  
Musées de Vannes

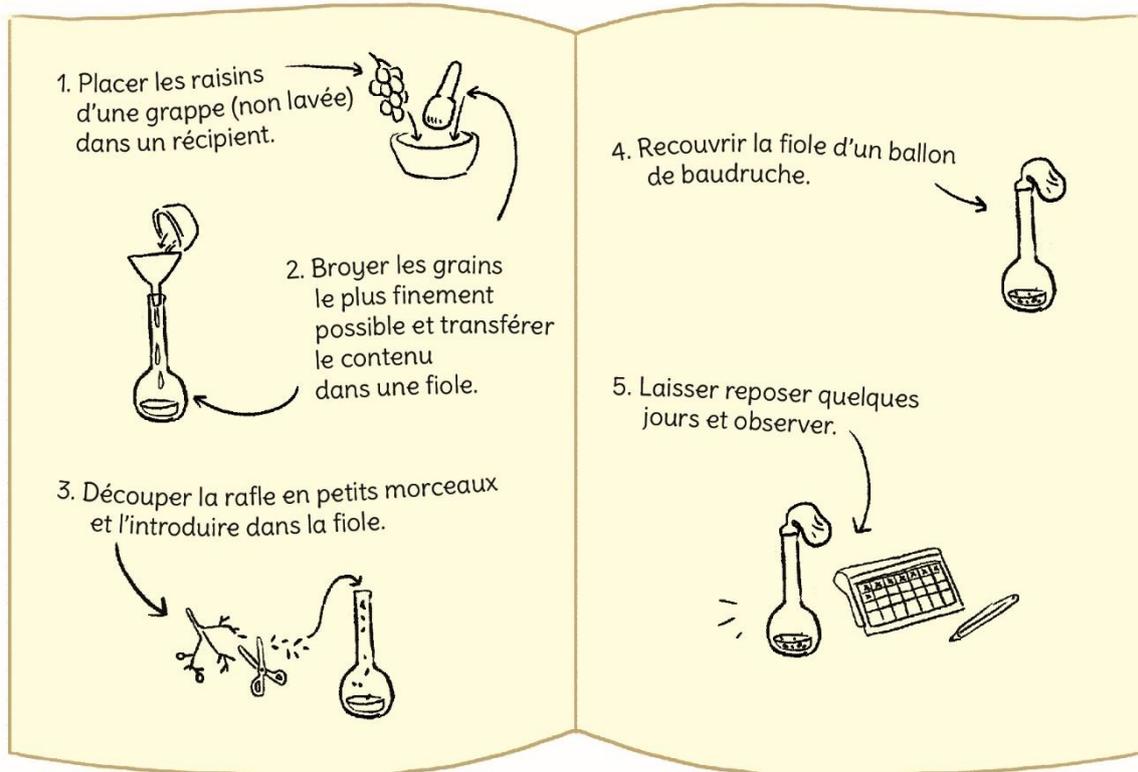
### Document 4



**Titre :** Louis Pasteur dans l'étuve des cultures de microbes à l'École normale supérieure  
Dessin, signé Poyet, publié dans le journal *La Nature*, 1884

**Crédit :** Institut Pasteur/Musée Pasteur

## Annexe 3 – Le protocole d'étude de la fermentation alcoolique



## Annexe 4 – Récit des expériences de Lavoisier sur la fermentation

### Extrait 1 : état initial

*« C'est à l'introduction de la balance dans la chimie que Lavoisier doit sa gloire. Elle lui avait servi à résoudre bien des problèmes : elle résout encore le problème de la fermentation. Lavoisier établit sur le plateau d'une balance un vase rempli d'eau dans laquelle il avait ajouté du sucre et des levures de bière. »*

**Consigne : Utilisez les briques de couleur pour reconstituer les différents ingrédients présents au début de la fermentation. Aidez-vous des cartes pour y parvenir.**

✂-----

### Extrait 2 : état final

*« Au bout d'un certain temps, du dioxyde de carbone se dégage et de l'alcool se forme. Tout le sucre a été consommé. »*

**Consigne : Utilisez les briques de couleur pour reconstituer les différents ingrédients présents à la fin de la fermentation. Aidez-vous des cartes pour y parvenir.**

✂-----

### Extrait 3 : validation

*« Lavoisier pèse le dioxyde de carbone puis l'alcool et il trouve que la somme des masses de l'alcool et du dioxyde de carbone est à peu près égale à celle du sucre initial. La conclusion est facile à tirer : le sucre se dédouble simplement en alcool et en dioxyde de carbone ! »*

**Consigne : Vérifiez votre reconstitution en utilisant la balance à la manière de Lavoisier. Corrigez votre travail si nécessaire.**

✂-----

## Annexe 5 – Matériel et cartes pour la simulation

<b>SUCRE</b>	Couleur A : Couleur B : Couleur C :
• 6 briques de la couleur A	
• 12 briques de la couleur B	
• 6 briques de la couleur C	

<b>ALCOOL</b>	Couleur A : Couleur B : Couleur C :
• 2 briques de la couleur A	
• 6 briques de la couleur B	
• 1 brique de la couleur C	

<b>DIOXYDE DE CARBONE</b>	Couleur A : Couleur B : Couleur C :
• 1 brique de la couleur A	
• 0 brique de la couleur B	
• 2 briques de la couleur C	

<b>LEVURES</b>	Couleur A : Couleur B : Couleur C :
• énormément de briques de couleur A	
• énormément de briques de couleur B	
• énormément de briques de couleur C	
<p>Il y a aussi d'autres éléments (D, E, F...).</p> <p>Pour représenter tout ça, on utilise une grosse boule (boule de polystyrène, balle, grosse bille...).</p>	

<b>EAU</b>	Couleur A : Couleur B : Couleur C :
<ul style="list-style-type: none"> <li>• pas de brique de couleur A</li> <li>• 2 briques de couleur B</li> <li>• 1 brique de couleur C</li> </ul>	
<p>Dans un milieu avec de l'eau, il n'y a pas un seul ensemble de briques d'eau, mais des millions. Pour représenter cela, on utilise plein de coquillettes.</p>	

---

## Auteurs

Mathieu FARINA, Fatima RAHMOUN

## Crédits

Photographies : pour la Fondation *La main à la pâte* : Guillaume Soto Léna

Illustrations : Marjorie GARRY

## Remerciements

Julien BOQUET, Philippe BRUNIAUX, Benjamin CROCHEMORE, Patrice DEBRE, Aurélie DUPUIS, Djamila GADOUCHE, Stéphanie GORSE, Caroline MAIROT, Eve MONTIER-SORKINE, Olivier PANTANI, Annick PERROT, Daniel RAICHVARG, Maxime SCHWARTZ, Katell SENABRE, Anne WALTER, Mathias WARNET

**Cette ressource a été produite avec le soutien de la Fondation de la Maison de la Chimie et de bioMérieux**



Fondation de la Maison de la Chimie



**En partenariat avec Mediachimie et l'Institut Pasteur.**



## Date de publication

Janvier 2022

## Licence

Ce document a été publié par la Fondation *La main à la pâte* sous la licence Creative Commons suivante : Attribution + Pas d'utilisation commerciale + Partage dans les mêmes conditions.



Le titulaire des droits autorise l'exploitation de l'œuvre originale à des fins non commerciales, ainsi que la création d'œuvres dérivées, à condition qu'elles soient distribuées sous une licence identique à celle qui régit l'œuvre originale.

## Fondation *La main à la pâte*

43 rue de Rennes

75006 Paris

01 85 08 71 79

contact@fondation-lamap.org

[www.fondation-lamap.org](http://www.fondation-lamap.org)

