

# La pasteurisation

Cycles 3 et 4

Une séquence du projet *L'Europe des découvertes*

## Résumé

Quand il étudia la conservation des vins, Louis Pasteur mit en application ses connaissances sur les « microbes ». Il avait montré que ces organismes, visibles uniquement au microscope, étaient capables de se nourrir, donc de proliférer, en transformant des aliments. De « bons » microbes permettaient la transformation du jus de raisin en vin, mais de « mauvais » microbes rendaient ensuite ce vin impropre à la consommation. Comment permettre aux premiers de se développer à leur gré, tout en éliminant efficacement les seconds ? C'est à ce problème que propose de réfléchir cette séquence, par l'expérimentation.

# Pasteur et les maladies du vin

François Gros et Béatrice Salviat

Pendant des millénaires, le vin fut l'affaire exclusive des vignerons qui parvinrent, de génération en génération, à transmettre des techniques empiriques souvent très fines pour élaborer l'excellence : sélection de terroirs, de cépages, travail de la vigne. Rituel s'accomplissant dans le mystère des caves, la vinification relevait presque de la magie.

Mais au XVIII<sup>e</sup> siècle, les découvertes scientifiques ouvrent la voie à une profonde évolution des techniques en permettant la compréhension des mécanismes naturels qui font le vin et leur maîtrise de plus en plus raisonnée. Les travaux de Antoine Laurent de Lavoisier sur la fermentation vineuse conduisent à mettre en équation la fermentation alcoolique qui, par l'action des levures, transforme les sucres en alcool éthylique. Les avancées de la chimie annoncent de lents mais profonds bouleversements.

Au siècle suivant, politiques et scientifiques se mobilisent pour sauver la précieuse boisson. L'empereur Napoléon III prie Louis Pasteur d'enrayer les graves menaces qui pèsent sur la qualité du vin français, siège d'altérations trop fréquentes. La biologie va rejoindre la chimie.

Nous sommes en 1863. Âgé de quarante et un ans, Louis Pasteur jouit déjà d'une réputation de grand savant. Il s'intéresse à « la fermentation » depuis six ans. Pour être plus exact, il faudrait mettre ce mot au pluriel, car « des fermentations », il en existe de différentes sortes. L'une d'entre elles consiste en la transformation du sucre du lait en acide lactique (la fermentation lactique), une autre permet la transformation des sucres du raisin ou de la farine en alcool (la fermentation alcoolique déjà nommée), une autre encore aboutit à la transformation de l'alcool du vin en vinaigre (la fermentation acétique). D'autres enfin conduisent à des produits toxiques et nauséabonds (dans la vase des étangs, par exemple, ou dans des déchets agricoles en décomposition tels que le fumier).

Les chimistes soutiennent que ces fermentations sont « œuvre de mort ». Ne sont-elles pas manifestes sur les cadavres ? Pasteur prétend, lui, qu'elles sont « œuvre de vie », car il est persuadé qu'elles se réalisent exclusivement sous l'action d'êtres vivants depuis qu'en 1857, il a observé une cuve dans laquelle s'effectuait une fermentation lactique. Enthousiaste, il avait alors dessiné sur son cahier de laboratoire les minuscules bâtonnets observés sous son microscope. Son intuition ne l'avait pas trompé, les ferments sont bien de petits êtres vivants. Il ne lui restait plus qu'à les chercher partout où se produisent des fermentations.

On dit que le vin se bonifie en vieillissant. Or les maladies qui le frappent agissent bien avant cette bonification. Elles n'ont donc rien à voir avec un

vieillessement naturel : ce sont des fermentations pathologiques. Louis Pasteur montra que chacune de ces maladies était causée par un ferment différent. Mais s'il put ainsi expliquer l'origine des maladies du vin, cela ne lui fournissait pas pour autant une parade. Or il s'était engagé auprès de l'empereur à trouver un remède aux altérations du vin. Dans ce but, il expérimenta et mit au point un procédé efficace de conservation. Très en vogue à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, ce procédé appelé « pasteurisation » est encore utilisé de nos jours pour divers aliments. Nous en expliquerons le principe. Mais auparavant, pour mieux comprendre l'ampleur et l'originalité des travaux de Pasteur, il convient de rappeler les processus « normaux » de fermentation qui permettent la transformation du jus de raisin en bon vin.

## **Les fermentations impliquées dans la fabrication du vin**

Le vin s'élabore à partir de raisin écrasé dans des cuves. Avant l'écrasement, sur la peau des grains, se trouvent des levures. La peau fait barrage et les empêche de pénétrer à l'intérieur du grain. Après l'écrasement, c'est différent, les levures entrent en contact avec le sucre : la fermentation alcoolique peut commencer. Le mot « fermentation » vient du latin *fervere*, qui signifie « bouillonner », et le gaz émis lors de ce bouillonnement n'est autre que le gaz carbonique.

Avant Pasteur, dès 1837, un physicien français, le baron Charles Cagniard de Latour, avait clairement indiqué que la transformation du sucre en alcool était la conséquence de l'activité des levures. Le rôle de ces ferments avait été également remarqué par les biologistes allemands Theodor Schwann et Franz Schulze. Mais à l'époque, ces observations donnaient lieu à des interprétations pour le moins fantaisistes. On sait aujourd'hui que les levures utilisent l'énergie libérée au cours de la fermentation pour organiser la matière organique nécessaire à leur reproduction.

Mais d'où viennent les sucres du raisin qui servent d'aliment aux levures ? Ces sucres, essentiellement du glucose et du fructose, sont produits par la vigne au cours de la photosynthèse puis transformés en alcool et en gaz carbonique. La compréhension et la quantification de la fermentation alcoolique, en permettant de « mesurer » le vin, lui ont fait perdre une partie de son mystère et l'ont transformé en objet scientifique. Sachant par exemple que 17 grammes de sucre par litre de moût vont donner après fermentation 1 % d'alcool, soit 1°, on peut, en mesurant la quantité de sucre dans le moût avec un densimètre, prévoir le titre alcoolique du vin en devenir.

Les sucres ne sont pas le seul constituant du moût. Ce dernier contient également des acides organiques – acide tartrique et acide malique en particulier –, mais aussi des molécules aromatiques, des colorants, des protéines (en particulier des enzymes capables d'accélérer diverses réactions chimiques), des vitamines, des tanins et, on l'oublie trop souvent, de l'eau, sans laquelle la biochimie

du vin ne pourrait avoir lieu. Le gaz carbonique dégagé pendant la fermentation peut rester ou non dans le vin.

C'est l'évolution de ces constituants, d'abord massive au cours de la fermentation alcoolique puis soigneusement contrôlée par le vinificateur, qui assure la bonification du vin au cours de son vieillissement. Au cours du premier hiver, les vins rouges subissent une deuxième fermentation plus discrète qui permet la transformation de l'acide malique en acide lactique : on parle de « fermentation malo-lactique » (elle est différente de la fermentation lactique qui acidifie le lait). Le vin perd de son acidité et gagne en souplesse et en rondeur. Il peut alors être mis en bouteilles ou continuer sa maturation dans des barriques de chêne.

## **Le vieillissement naturel du vin**

Les vigneron voyaient la cause des maladies du vin dans une sorte de « vieillissement » trop poussé. On savait que le vieillissement d'un vin accroît généralement son moelleux, modifie son opacité et sa couleur, mais qu'un vieillissement prolongé peut lui faire totalement perdre sa force et son caractère.

En s'intéressant au rôle de l'air dans ce vieillissement, Pasteur confirma qu'il était en réalité très complexe, avec deux effets en apparence opposés sur la qualité des vins, l'un bénéfique, l'autre néfaste. D'une part l'oxygène exerce un effet nocif car il peut favoriser le développement de micro-organismes nuisibles, d'autre part il contribue à éliminer l'acidité et le goût râpeux du vin nouveau. En présence d'oxygène, une partie des pigments colorés précipite et une teinte « pelure d'oignon » particulièrement appréciée peut apparaître. En somme, c'est l'oxygène qui confère au vin vieux sa qualité, mais c'est également lui qui la lui fait perdre si son action se prolonge trop longtemps. Pasteur démontra ces faits en comparant le devenir d'un vin nouveau placé soit dans un tube bien rempli et dont l'embouchure était scellée par de la cire, soit dans un tube de même capacité à moitié rempli cette fois et fermé par un bouchon de liège qui laissait l'oxygène diffuser lentement à travers son épaisseur tout en protégeant le vin des contaminations par les poussières et les micro-organismes présents dans l'air extérieur. Dans le premier tube, il n'observa aucune altération, mais le vin demeura acide et râpeux comme un vin nouveau. Dans le second, le vin acquit le moelleux et les caractéristiques d'un vin convenablement vieilli : son bouquet était merveilleux.

Dans les caves, la barrique, tout en permettant une oxydation très contrôlée et bénéfique des constituants initiaux, apporte aussi des éléments venant du bois lui-même. Ce sont les tanins (déjà présents dans le raisin lui-même) qui donnent du corps et des arômes agréables au vin.

Le vin n'est pas totalement dépourvu d'êtres vivants : il contient des bactéries et les levures responsables de la fermentation alcoolique. Saturées d'alcool, asphyxiées par manque d'oxygène, affamées par manque de sucre et de protéines, complètement inhibées par le dioxyde de soufre que le vigneron ajoute

parfois, elles ne peuvent plus se reproduire. Mais elles sont encore là !

Mis en bouteilles, le vin sera protégé de l'oxydation par une atmosphère confinée pauvre en oxygène. Dès l'ouverture de la bouteille, les constituants aromatiques pourront en revanche être oxydés au contact de l'air dans une carafe, dans le verre ou même dans la bouche (le geste qui consiste à maintenir quelques instants le vin dans sa bouche en se gargarisant manque certes d'élégance mais accroît le plaisir des sens).

Très éphémère, la dégustation n'est habituellement pas la partie la plus pénible de la longue histoire du vin. À condition toutefois que ce vin n'ait pas « tourné à l'amer » ! Le moment est venu de parler des maladies du vin que Pasteur fut amené à étudier.

## **Les fermentations « irrégulières », sources des maladies du vin**

Les maladies pouvaient affecter les vins de plusieurs manières. La principale maladie était la piquûre acétique, qui se traduisait par un aigrissement rendant le vin difficilement consommable. Les vins blancs mousseux, les champagnes pouvaient être atteints d'une autre maladie, appelée « graisse » parce que le vin revêtait une consistance plus ou moins huileuse, avec dépôts de tartre et de lie.

Pasteur avait eu l'occasion d'observer les méfaits du vin ainsi « tourné » dans la cave paternelle. Dès 1858, il y avait noté, par analyse microscopique, la présence de levures « filiformes » (de forme différente de celle de la levure ordinaire) qui pouvaient être jugées responsables de cette maladie par les transformations chimiques qu'elles étaient capables de produire. Mais toutes ces nuisances étaient déjà connues de façon empirique. Certes, Pasteur était familier des vigneron du Jura, puisque ses parents avaient une demeure familiale à Arbois. Mais il était tout de même loin de posséder une connaissance étendue des maladies du vin. Il avait quitté la région arboisienne depuis longtemps pour ses travaux et ses enseignements et n'y revenait que sporadiquement, à l'occasion des vacances. C'est d'ailleurs avec une certaine naïveté qu'il aborda le problème lorsque l'empereur le lui demanda.

Après quelques essais réalisés dès septembre 1863 avec certains de ses élèves, il comprend qu'il va devoir mener lui-même ses propres enquêtes auprès des vigneron. Il ne cessera de se déplacer dans toute la région, visitant les caves, prenant une foule de notes. Les hypothèses sont nombreuses et il ne faut en négliger aucune. À chaque fois qu'il a affaire à un échantillon de vin altéré, Pasteur y trouve, à côté de la levure ordinaire, des ferments distincts de cette levure, bien sûr, et de morphologies différentes selon le type de maladie. Il en conclut que ces germes inhabituels sont responsables des maladies observées et qu'ils provoquent des altérations issues de fermentations concurrençant la fermentation alcoolique normale. D'autres travaux le conduisent à généraliser l'idée qu'à chaque type de fermentation correspond une catégorie particulière

de micro-organismes. Il fonde ainsi les bases de la microbiologie, ouvrant une nouvelle ère industrielle, celle de la bio-industrie, elle-même annonciatrice de nos biotechnologies modernes.

## **La mise au point du procédé de pasteurisation et ses conséquences**

La démonstration était faite : ce sont des micro-organismes qui sont responsables des maladies du vin. Comment, dès lors, se protéger de leur intervention inopinée ? Dans un premier temps, Pasteur pense à utiliser des produits chimiques doués de propriétés antiseptiques pour tuer les germes indésirables à des températures compatibles avec la préservation des éléments organiques du vin (c'est-à-dire à des températures inférieures à 40 °C, car au-delà les enzymes sont détruites). Mais les résultats se révèlent décevants ou peu reproductibles. Il a alors l'idée de chauffer à des températures comprises entre 60 et 100 °C en absence d'air. Le procédé de stérilisation partielle qui sera décrit plus tard sous le nom de « pasteurisation » est né. Le 1er mai 1865, Pasteur présente à l'Académie des sciences une note intitulée « Procédé pratique de conservation et d'amélioration des vins ». Il a préalablement déposé un brevet d'invention susceptible de couvrir ce procédé pendant quinze ans. L'usage de la pasteurisation s'étendra en outre à d'autres produits de consommation (bière, cidre, lait et autres denrées périssables).

Pasteur pressent aussi que ses observations relatives à la contamination microbienne des vins ont un rapport avec les perturbations qui se produisent dans les tissus animaux (maladies infectieuses). En 1866, il dépose entre les mains de Napoléon III l'ouvrage dans lequel se trouvent résumés ses résultats. Tout en marquant, on l'a vu, le début de la microbiologie œnologique, cet ouvrage annonce la suite des travaux de Pasteur sur les maladies infectieuses et la théorie des germes.

Pasteur est parvenu, en un temps très court, à remplir sa mission. Pourtant, l'explication qu'il donne des fermentations n'est que partielle. Certes, ses travaux marquent un progrès décisif par rapport aux tenants de théories physico-chimiques vagues et invérifiables, mais en passant à côté de ce qui se passe à l'intérieur des cellules, il ne va pas à l'encontre de la théorie vitaliste qui prétend que les êtres vivants sont doués de propriétés particulières impossibles à analyser par de simples lois physiques et chimiques. On a montré depuis que les propriétés des systèmes vivants étaient parfaitement explicables dans un cadre physico-chimique !

Les substances qui rendent possibles les fermentations sont, nous les avons déjà évoquées, les « enzymes » (du grec en, dans, et zumê, levure). Fabriquées par les cellules vivantes, elles sont aussi capables d'agir en dehors de ces cellules, in vitro, dans des conditions précises d'environnement (température, acidité, présence de produits divers). Deux ans après la mort de Pasteur, le savant alle-

mand Eduard Buchner établira qu'un extrait acellulaire de levures est capable de transformer le sucre en alcool. Non seulement les fermentations vont pouvoir être comprises et contrôlées encore plus finement, mais, plus généralement, on va enfin pouvoir décrire et expliquer les centaines de réactions chimiques qui se produisent habituellement à l'intérieur de chaque type de cellules vivantes. L'association de la chimie et de la biologie donne bientôt naissance à la biochimie.

## **L'abandon de la pasteurisation du vin**

À l'époque de Pasteur, son procédé était le seul moyen efficace pour conserver le vin. Mais, inconvenient de taille, il empêchait les bons microbes dont Pasteur ignorait l'existence de provoquer les fermentations naturelles du vin (principalement la fermentation alcoolique) qui, nous l'avons déjà dit, améliorent son goût durant son vieillissement – ce qu'on appelle la « maturation » du vin.

La pasteurisation du vin a donc peu à peu été remplacée par une hygiène rigoureuse – déjà recommandée par Pasteur mais techniquement impossible à son époque – durant les vendanges et la vinification ainsi que par un contrôle des conditions complexes, mais connues désormais, des modes de développement des microbes. On sait maintenant éviter que les quatre « mauvais » microbes découverts par Pasteur (il n'y en a pas plus aujourd'hui) se multiplient dans le vin et, au contraire, y favoriser le développement des « bons » microbes en jouant sur la température du vin, son exposition à l'air ou encore en l'additionnant de sucre ou de produits chimiques, tout cela dans des limites définies et contrôlées par l'État.

## **Conclusion**

Les travaux de Pasteur sur les maladies du vin n'illustrent pas seulement l'efficacité de sa méthode, laquelle impliquait une grande indépendance d'esprit (Pasteur fut d'ailleurs qualifié de « franc-tireur de la science »), une parfaite rigueur expérimentale ainsi que le courage d'entreprendre et de défendre ses idées. Ils éclairent une autre facette de son caractère : un esprit éminemment pratique mis au service des causes les plus concrètes pour autant qu'elles servent à la collectivité. Une grande partie des travaux sur le vinaigre et le vin fut menée à Arbois, en contact direct avec les producteurs. La mise au point de la pasteurisation nécessita en effet de nombreuses consultations avec eux pour s'assurer que la chaleur appliquée n'altérerait pas le goût du produit. Pasteur travailla aussi avec des ingénieurs sur les aspects techniques de sa méthode. Il réfléchit également à son utilisation industrielle : ses publications contiennent des spécifications détaillées et des croquis d'équipement témoignant de la prise en considération de facteurs tels que le prix de revient et d'autres aspects économiques de la conservation des aliments et des boissons par la chaleur. Il tenait à ce lien permanent entre les hommes de métier et les scientifiques.

En 1872, lors d'un congrès viticole et séricicole, Louis Pasteur eut cette phrase qu'il convient de rappeler sans cesse, en ce nouveau siècle où les sciences de la vie connaissent un développement sans précédent grâce au formidable pouvoir démultiplicateur des techniques et où le public, comme les autorités gouvernementales, s'interroge sur la finalité de la recherche : « Il n'existe pas une catégorie de sciences auxquelles on puisse donner le nom de sciences appliquées. Il y a la science et les applications de la science, liées entre elles comme le fruit et l'arbre qui l'a porté. »

# La pasteurisation

Béatrice Salviat

Présents partout dans notre environnement, en particulier dans l'air, les microbes sont les êtres vivants les plus nombreux sur notre planète Terre. Ils sont aussi les plus abondants en masse totale. Mais à cause de leur toute petite taille, ils passent la plupart du temps inaperçus dans la vie quotidienne. Observer et contrôler leur action sur des aliments constitue pour les enfants un enrichissant moyen de se familiariser avec eux.

Quand il étudia la conservation des vins, Louis Pasteur mit en application ses connaissances sur les microbes. Il avait montré que ces organismes, visibles uniquement au microscope, étaient capables de se nourrir, donc de proliférer, en transformant des aliments. De « bons » microbes permettaient la transformation du jus de raisin en vin mais de « mauvais » microbes rendaient ensuite ce vin impropre à la consommation. Comment permettre aux premiers de se développer à leur gré tout en éliminant efficacement les seconds ? C'est à ce problème que nous allons réfléchir, en trois étapes successives :

– Produire des aliments par fermentation. Comme il est appétissant, le pain tout chaud ! La fabrication de vin ou de pain offre une occasion créative de s'interroger, de manipuler, de confronter des recettes et des traditions familiales ou artisanales, mais aussi d'expérimenter en faisant varier différents facteurs, notamment en testant les effets de la présence ou de l'absence de levures. Finalement, ce n'est pas si difficile de faire travailler des microbes !

– Conserver les aliments. Une fois ces aliments fabriqués, nous nous penchons sur le problème de leur conservation. Abandonnons une tranche de bon pain dans un sac en plastique. Au bout d'une semaine, des moisissures bleues ou vertes y ont élu domicile. Il n'est plus question de la manger ! Comment éviter qu'apparaissent ces moisissures ?

– Explorer une technique industrielle de conservation. Parmi les divers procédés permettant d'éliminer les microbes indésirables, celui que Pasteur mit au point, et qui fit l'objet d'un brevet, offre un intérêt tout particulier. Quelles sont ses caractéristiques et ses applications, à la lumière de ce que les enfants auront étudié précédemment ?

Les élèves vont tester leurs hypothèses en manipulant les denrées et en menant des enquêtes. Ils vont débattre et raisonner, mettre en relation leurs idées et les faits, ce qui peut contribuer à développer leur éducation citoyenne. Pour recueillir les productions individuelles et collectives, des schémas, des notes prises sur des feuilles de papier rassemblées deviendront cahier d'expériences. Le matériel expérimental, quant à lui, essentiellement de récupération,

sera très peu onéreux. Cette progression que nous proposons ici n'est qu'une suggestion parmi d'autres, à adapter librement.

Avant d'aller plus loin, une petite précision à propos de « microbe ». Ce mot (du grec micros, petit et bios, vie) est un terme très général qui désigne des êtres vivants variés, d'espèces différentes, ayant pour essentiel point commun leur taille, inférieure à un dixième de millimètre (en regardant sur une règle, il est possible d'appréhender concrètement cet ordre de grandeur).

La plupart des microbes sont formés d'une seule cellule plus ou moins sphérique, ovoïde ou allongée. Les levures ont un noyau contenant l'ADN, support de l'information génétique. Elles mesurent à peu près un centième de millimètre. Les bactéries sont environ dix fois plus petites que les levures (de l'ordre du millième de millimètre) et leur ADN n'est pas contenu dans un noyau. À l'école primaire, il n'est pas question d'étudier la morphologie des différents microbes, ni de parler d'ADN ou de noyau, mais on peut comprendre que ce n'est pas parce que les microbes sont très petits qu'ils sont identiques les uns aux autres !

## **Produire des aliments par fermentation**

Utilisées depuis l'Antiquité et dans la plupart des civilisations, les fermentations servent à produire des aliments divers : pains, fromages, boissons alcoolisées. Toutefois, pour connaître l'explication scientifique de ce phénomène naturel, il fallut attendre les travaux de Louis Pasteur. Ce dernier montra que la transformation du jus de raisin en vin était due à l'activité de levures, champignons microscopiques se trouvant sur la peau des raisins.

A priori, les enfants ne connaissent pas les travaux de Pasteur. À partir de questions de la vie quotidienne, ils tenteront tout d'abord de répondre à l'une ou l'autre de ces questions : « Comment fait-on du pain ? », « Comment fabrique-t-on du vin ? », « Comment obtient-on des yaourts ? ». Le but est, modestement, de produire un aliment consommable. Dans un premier temps, tous émettent leur opinion et proposent des idées, ils en discutent entre eux, éventuellement par groupes, puis a lieu un premier bilan. La classe fait le point sur ce que l'on sait à coup sûr (« Pour le pain, il faut de la farine ! ») et sur ce que l'on ignore (« Aurions-nous oublié certains ingrédients ? »). Des informations et des questions sont consignées sur une affiche collective et sur le cahier d'expériences.

Ensuite, si les débats ont été menés suffisamment loin, il est possible de tester les recettes proposées. Un questionnement préalable mené dans la famille, une visite auprès du boulanger ou d'un viticulteur, une recherche dans des livres ou sur internet pourront se révéler nécessaires à un moment ou à un autre. Si les mots « levure » ou « microbe » sont prononcés, on s'interrogera sur leur sens. Sinon, ils seront progressivement introduits quand le besoin s'en fera sentir. Au fur et à mesure des séances, il est conseillé de photographier les réalisations obtenues.

## **Produire du vin**

Pour donner un aperçu de ce que peuvent réaliser les enfants, voici le rapport écrit d'une classe qui a préalablement effectué une visite chez un producteur de vin : « 30 septembre nous cueillons le raisin. 1<sup>er</sup> octobre nous le pressons en écrasant les grains avec une fourchette dans un grand saladier, puis nous goûtons, le jus est très sucré ! Nous recouvrons le saladier d'un film plastique transparent. 4, 5 et 6 octobre nous voyons des bulles sous le plastique qui devient bombé. Le moût flotte au-dessus du liquide. Nous goûtons à nouveau. Le liquide est moins sucré qu'avant. Le goût et l'odeur ont changé. 7 octobre nous voyons beaucoup de bulles et de la mousse remonte à la surface. 14 octobre nous goûtons encore (sans avaler !), il y a de l'alcool, le sucre a disparu. Nous avons réussi à fabriquer du vin ! ».

Qu'est devenu le sucre ? D'où vient l'alcool ? Les enfants peuvent vérifier avec un microscope la présence de micro-organismes puis faire l'hypothèse que le sucre se transforme en alcool et prolonger les expériences sur la fermentation du raisin. À l'aide d'un appareil bon marché utilisé par le vigneron, l'alcomètre ou aréomètre (on verse le vin à tester dans un tube gradué contenant un flotteur qui monte d'autant plus haut qu'il y a plus d'alcool, le taux se lisant sur les graduations du tube), ils peuvent alors constater que plus on met de sucre (dans des limites raisonnables de quelques morceaux par litre), plus la quantité d'alcool produite est grande. Les levures réalisent une « fermentation alcoolique ».

## **Produire du vinaigre**

La fabrication du vinaigre est chose plus aisée encore. On prend du vin, on le met dans une bonbonne ou une dame-jeanne à moitié remplie, offrant une surface de contact large avec l'air. Puis on attend. Deux semaines à un mois plus tard, on obtient du vinaigre artisanal. Le goût a changé cette fois aussi ! Le liquide est acide. Le voile qui s'est développé à la surface du vin contient des microbes qui ont besoin d'air pour effectuer une fermentation, appelée « fermentation acétique ».

La question de savoir d'où viennent les microbes formant le voile peut être posée. Sont-ils produits par « génération spontanée » dans le vin ou bien sont-ils issus de germes préalablement contenus dans l'air ? L'histoire des sciences a montré que cette question avait suscité de virulentes controverses entre scientifiques au cours du XIX<sup>e</sup> siècle. Seule une expérimentation très méticuleuse, impossible à effectuer en classe, avait permis à Pasteur de trancher : la « génération spontanée » n'existe pas. On peut dire aux enfants que dans certains laboratoires bien équipés, on sait protéger le vin des microbes de l'air, et que jamais, dans ces conditions, le voile ne se développe spontanément. Mais sachons poser des limites. La familiarisation pratique suggérée ici servira surtout de référence concrète pour donner du sens à des problèmes qui ne seront résolus qu'ultérieurement au cours de la scolarité des enfants.

## **Faire du pain**

Voici une recette parmi d'autres : « Avec 500 g de farine, 300 g d'eau, 20 g de levure et 10 g de sel, on a réussi une recette pour fabriquer du pain. Il faut mélanger la farine, l'eau, la levure et le sel jusqu'à ce que la pâte se décolle du saladier et des mains. Puis on laisse reposer quinze à trente minutes. Ensuite on divise la pâte en morceaux (350 g pour une baguette, 120 g pour des petits pains) dont on fait des boules. On laisse reposer quinze minutes. On replie ensuite plusieurs fois les morceaux sur eux-mêmes. On leur donne la forme voulue. On les pose sur une serviette propre en tissu et on laisse lever la pâte une à deux heures. Puis, dans le four à thermostat 7 ou 8, aux environs de 250 °C, on fait bouillir de l'eau dans un récipient afin de produire de la vapeur pour que le pain reste bien moelleux à la cuisson dans cette ambiance humide. On entaille les pains avec un couteau au moment de mettre dans le four. Du gaz s'échappe. On laisse cuire environ une demi-heure en surveillant régulièrement. »

Les enfants peuvent tester plusieurs recettes et expérimenter : « Quand il n'y a que de l'eau, de la farine et du sel dans la pâte, le pain ne gonfle pas et reste tout plat après la cuisson. Et puis le goût n'est pas excellent ! Mais quand on rajoute de la levure de boulanger, quelle différence ! »

Quand on fait cuire la levure toute seule avant de l'introduire dans la farine, la pâte ne lève pas : « Forcément, on a tué les microbes en les chauffant et du coup, ils ne peuvent plus travailler ! »

La levure de boulanger se présente sous forme de petits cubes que l'on peut acheter dans le commerce à faible prix. Comme la levure du vin, cette levure transforme les sucres de la farine en alcool et dioxyde de carbone (ou gaz carbonique). Dans le cas du vin, c'est l'alcool qui est intéressant, dans le cas du pain, c'est le gaz car il fait lever la pâte. La petite quantité d'alcool produite s'évapore à la cuisson. Consommer du pain est donc sans danger pour les enfants, alors que boire du vin est évidemment totalement déconseillé, compte tenu des dégâts que cela peut entraîner sur le système nerveux !

## **Fabriquer des yaourts**

Vous avez certainement déjà remarqué ce petit goût acide qui existe dans le yaourt mais pas dans le lait. D'où vient-il ? On fabrique des yaourts avec une yaourtière, sorte de bain-marie (tout simplement un bac contenant de l'eau avec un système de chauffage) qui maintient la température à environ 38 °C. À partir d'un litre de lait mélangé à un yaourt, on obtient huit yaourts au bout d'une demi-journée. Pourquoi est-il important d'ajouter un yaourt au lait pour fabriquer d'autres yaourts ? Tout simplement parce que ce yaourt apporte des microbes (là, ce ne sont pas des levures mais des bactéries qui interviennent). Ces microbes vont se développer en utilisant la nourriture qu'ils trouvent dans le lait. Pour cela, ils font de la « fermentation lactique » en transformant le sucre du lait en un acide (l'acide lactique). La fermentation lactique est différente de la fermentation alcoolique. Chaque type de microbe réalise un type différent de fermentation.

Parfois, quand on l'a laissé trop longtemps à l'air, le yaourt finit par devenir

mauvais : on ne peut plus le manger car cela peut être dangereux pour la santé... et puis son goût est bien désagréable. En effet, il existe des ferments « utiles », qui permettent de fabriquer des aliments, et des ferments « indésirables », qui rendent les aliments impropres à la consommation. Essayons de trouver comment nous protéger de ces derniers.

## **La conservation des aliments et la protection contre les microbes indésirables**

Un débat peut être initié à partir du vécu des enfants. Y a-t-il des conditions particulières pour conserver les aliments ? Tous les aliments se conservent-ils de la même façon ?

### **Les enfants observent puis expriment leur point de vue sur la conservation des aliments**

Divers aliments fabriqués par les enfants mais aussi des aliments prélevés dans la nature, rapportés de la maison ou du restaurant scolaire (fruits, gâteaux, etc.) sont laissés à température ambiante dans la classe : « Les aliments mal conservés, ça moisit, ça pourrit, ça tourne, c'est périmé, gaspillé, ça s'abîme, il y a des bactéries, des virus, des poils, des champignons microscopiques, on peut faire du compost, ça vieillit, ça sent mauvais, c'est mauvais pour la santé ! Voilà pourquoi il faut faire attention quand on garde des aliments » <sup>1</sup>.

Pour conserver les aliments, on doit prendre des précautions. Lesquelles ? Les enfants formulent des hypothèses : « Il faut les mettre au froid dans le réfrigérateur ou le congélateur, les laisser dans une boîte de conserve, les saler beaucoup, les faire cuire avec du sucre comme la confiture, etc. »

### **Les enfants comparent différents modes de conservation**

Dès le lendemain, certaines des idées émises par les enfants sont confrontées à la réalité. Différentes méthodes de conservation de divers aliments sont comparées. Jour après jour, les élèves font des dessins d'observation, prennent éventuellement des photographies et inscrivent leurs remarques sur leur cahier d'expériences. Laissés à température ambiante, conservés dans le sel, bouillis, emballés ou non, enfermés dans un bocal, dans l'alcool, congelés, réfrigérés, disposés dans une cave, la viande, le lait ou la poire ne se comportent pas de la même façon. Après avoir discuté par petits groupes des protocoles à mettre en œuvre, les enfants placent les aliments dans de nouvelles conditions. Chaque jour, les modifications éventuelles sont à nouveau consignées soigneusement par écrit : la forme, la couleur, l'odeur sont bien décrites.

Au bout de quelque temps, on conclut que toutes les méthodes de conservation ne conviennent pas pour tous les aliments : « La poire se conserve longtemps

à température ambiante, alors que le lait caille ! Pour conserver efficacement le lait, il faut le faire bouillir, mais cela ne suffit pas. Il faut ensuite le refroidir rapidement et le conserver au frais, à 4 °C environ »<sup>2</sup>

Est-ce que les aliments se conservent mieux avec ou sans air ? « Les flacons de lait laissés à l'air subissent des modifications : du gaz apparaît et il y a parfois aussi des moisissures qui se développent au bout de quelques jours. Les flacons de lait bouchés et chauffés dans une Cocotte-Minute ne subissent pas ces modifications. Le lait y reste plus longtemps intact. »

En s'appuyant sur leurs expériences et sur des recherches documentaires, les enfants relèvent deux paramètres importants pour conserver un produit à température ambiante : chauffage préalable et absence de contact avec l'air.

## **Les enfants cherchent dans quelles conditions se développent les moisissures**

Les moisissures sont des champignons qui altèrent les aliments et, dans la nature (par exemple dans le sol), précèdent souvent leur décomposition. Quand un aliment est moisi, il est rarement conseillé de le manger, sauf dans quelques cas particuliers, comme celui des fromages tels que le roquefort ou le bleu.

Dans l'air, les moisissures existent sous forme de spores, sortes de petites capsules microscopiques, qui se développent ensuite en filaments lorsqu'elles trouvent de bonnes conditions pour se nourrir. Quelles sont les conditions du développement de la moisissure du pain ? Les élèves réfléchissent et suggèrent des hypothèses : il faut que la moisissure dispose d'eau, elle a besoin de lumière, elle se développe mieux au froid, etc. Ils expérimentent. Cette investigation offre plusieurs avantages méthodologiques. À cette occasion, les enfants apprennent à faire varier un à un chaque paramètre, tous les autres restant constants. On dispose de plusieurs boîtes en plastique munies de couvercles, dans lesquelles on place une tranche de pain : dans une première expérience, toutes les boîtes sont mises à la lumière, à température ambiante, mais certaines contiennent beaucoup d'eau, d'autres un peu et les dernières pas du tout (on ajoute éventuellement un sachet de produit desséchant). Les enfants constatent que le pain sec ne moisit pas : les moisissures ont besoin d'humidité.

Pour tester les besoins thermiques par exemple, toutes les boîtes contenant du pain sont placées à l'obscurité avec la même quantité d'eau, mais certaines sont placées dans la classe à température ambiante et d'autres au réfrigérateur. Les enfants constatent que les moisissures se développent mieux à température douce.

Sur le même principe, on peut placer les boîtes à la lumière ou à l'obscurité (dans un placard de la classe par exemple). Les expériences montrent que les moisissures ont besoin d'humidité et de chaleur pour proliférer, mais pas de lumière.

Ces expériences menées sur les moisissures ont essentiellement pour but d'initier à une démarche expérimentale avec émission d'hypothèses, proposition

d'un protocole (on dit ce que l'on va faire pour tester l'hypothèse), réalisation des expériences (on met, on prend), confrontation des résultats (on observe, on dessine sur le cahier de sciences), interprétation (on dit ce que l'on comprend) et conclusion (on critique éventuellement et on formule de nouvelles hypothèses à tester par d'autres manipulations). Sans vouloir faire un parallèle naïf entre les travaux des scientifiques et ceux des enfants, on peut cependant considérer que ce qui précède peut constituer une initiation à une démarche de chercheur proche de celle que mena Louis Pasteur lorsqu'il mit au point la pasteurisation.

## **La pasteurisation**

Sur les étiquettes des emballages de certains aliments que le maître aura demandé d'apporter en classe, les enfants lisent le mot « pasteurisé » : « lait pasteurisé », « jus de fruit pasteurisé ». D'où vient ce terme ? Que signifie-t-il ?

Les élèves cherchent et trouvent dans le dictionnaire la définition de la pasteurisation : c'est un procédé qui consiste à chauffer pendant quelques minutes un liquide à des températures inférieures à 100 °C et à opérer ensuite un refroidissement rapide. Cela est donc différent de la stérilisation qui a pu être faite dans la Cocotte-Minute, où l'on chauffait également pendant plusieurs minutes mais cette fois à plus de 100 °C (voir plus bas).

## **Recherches sur les travaux de Pasteur**

Les cahiers de Pasteur sont remplis de dessins de petits organismes, de croquis, de schémas de matériels divers, de commentaires. Ils rendent compte des innombrables expériences réalisées sur chaque problème que le chercheur a rencontré.

Les enfants lisent la description des découvertes de Pasteur sur les fermentations (elle se trouve sur le cédérom), puis discutent – d'où viennent les maladies du vin ? comment peut-on empêcher ces maladies ? – et rédigent leurs conclusions.

Le brevet sur la conservation du vin, déposé le 11 avril 1865, est venu couronner toute une démonstration expérimentale rigoureuse (comparable, on l'a vu, même si elle fut bien plus compliquée, à celle que les enfants ont menée en étudiant les conditions de développement des moisissures), dont les nombreuses manipulations ont nécessité de strictes conditions d'hygiène. Son fac-similé est examiné (également dans la médiathèque du cédérom).

Après avoir mis en évidence grâce au microscope la présence de micro-organismes vivant dans l'air – les enfants et même beaucoup d'adultes imaginent à tort que les microbes se créent spontanément à partir des aliments –, Pasteur a reconnu que certains d'entre eux produisaient les maladies ou altérations spontanées des vins. Il découvrit qu'en chauffant le vin à une température comprise entre 60 et 100 °C à l'abri de l'air, ces microbes étaient détruits. Ce procédé empêchait toute fermentation irrégulière des vins, quelle que soit leur nature,

sans nuire de façon trop importante à leur qualité – en effet, le vin était chauffé juste ce qu'il fallait, mais pas plus, pour lui conserver un goût acceptable. On pourra cependant expliquer à la classe que le procédé convient mieux à d'autres aliments et que, pour le vin, il ne fut utilisé qu'un temps car justement, il en amoindrissait le goût.

### **Les applications industrielles de la pasteurisation**

Pasteur écrivit ceci à propos du vin : « Nous avons chauffé en deux jours 650 hectolitres. La rapidité de l'opération se prête aux approvisionnements les plus considérables et les plus prompts. Ces 650 hectolitres vont partir pour les côtes occidentales de l'Afrique (où nos marins ne boivent guère que du vinaigre) avec 50 hectolitres du même vin non chauffé. Si l'essai réussit, c'est-à-dire si les 650 hectolitres arrivent et peuvent séjourner sans altération, et que les 50 hectolitres s'altèrent, ce dont je ne doute pas sur la foi de mes expériences de laboratoire, la question sera résolue et, à l'avenir, tout le vin de la marine sera assuré contre les maladies par le chauffage préalable. »

Quelle est l'hypothèse de départ de Pasteur ? Que s'attend-il à trouver ? Quelles seront les conséquences industrielles si l'hypothèse est validée ? Les quantités indiquées sont-elles comparables à celles produites actuellement par les viticulteurs ?

L'étude des applications industrielles de la pasteurisation peut également être l'occasion de tirer des informations d'une visite ou d'un document, de réaliser une enquête et d'en rendre compte par écrit, par oral, par des photographies, un film ou un panneau mural.

### **Pasteuriser et conserver le goût ?**

Un jus d'orange pasteurisé se conserve moins longtemps qu'un jus d'orange stérilisé. Certains enfants se demanderont pourquoi on continue à pasteuriser le jus d'orange alors qu'il faut en plus garder le produit au frais.

Pour avoir la réponse, il suffit de comparer différents jus d'orange. Les élèves organisent des tests à l'aveugle en numérotant les gobelets contenant différents jus d'orange. Ils se rincent la bouche entre deux dégustations et trouvent en général que le jus frais est meilleur que le jus pasteurisé, lui-même meilleur que le jus stérilisé<sup>3</sup>... mais pas toujours ! En général, moins on chauffe, moins on altère les composants, donc le goût de l'aliment. Ce test permet d'enrichir le vocabulaire relatif à la description des sensations gustatives (sucré, acide, parfumé...).

### **Conclusion**

Les travaux de Pasteur ont entraîné les enfants dans le monde mystérieux et fascinant des microbes. Savent-ils que des microbes interviennent dans le déclenchement de maladies ? Cette étude pourra être prolongée par une

réflexion et un débat sur l'hygiène et la santé, un travail qui pourra commencer par de petites expériences et se prolonger par une enquête et une visite. Dans une laiterie, par exemple, le lait reçu dans des tanks réfrigérés est immédiatement pasteurisé avant de servir à la fabrication d'autres aliments. Les conditions d'hygiène sont strictes : on désinfecte à l'eau de Javel, on stérilise les instruments, le personnel porte blouses et calottes. À l'hôpital, les mêmes précautions sont observées.

En définitive, ces études aident à mieux comprendre en quoi consistent des pratiques courantes telles que la désinfection, la pasteurisation, la stérilisation.

- désinfecter (à l'aide de produits chimiques) permet de détruire des microbes pathogènes, autrement dit des agents infectieux. L'alcool est un désinfectant relativement médiocre car il ne permet pas de détruire toutes les bactéries ;
- pasteuriser consiste à chauffer à moins de 100 degrés Celsius et permet la destruction des microbes actifs, y compris les microbes utiles, mais pas celles des spores ;
- stériliser consiste à tuer tous les microbes et leurs formes de résistance, soit à l'aide de produits chimiques ou de rayons ionisants (ultraviolets, rayons gamma), soit en chauffant à plus de 100 degrés Celsius pendant plusieurs minutes.

- 1 : Extrait des travaux de la classe de Sylvie Fremineur, Le Chaumet-Évires.
- 2 : Extrait des travaux de l'école primaire de Saint-Germain et Mons.
- 3 : Travaux de l'école de Bergerac.

## Opération "antivinaigre"

Arbois, Jura, il y a près de cent cinquante ans, au mois de septembre 1858.

Jules Vercelet est soucieux. Récemment, la demande en bons vins a énormément augmenté et Jules, comme les autres viticulteurs, doit produire de plus en plus. Mais une menace pèse sur eux tous. Souvent, le vin qu'ils produisent, si bon au moment de sa mise en bouteilles, prend peu après un très mauvais goût qui le rend invendable. Que faire ?

Après le dîner, Jules parcourt le dernier numéro du Moniteur viticole, la revue des viticulteurs, lorsque, tout à coup, un nom familier le fait sourire : celui de Louis Pasteur, son ancien camarade de classe.

Jules lit l'article à voix haute :

"M. Louis Pasteur, jeune chimiste originaire d'Arbois, vient de découvrir qu'il existe des organismes vivants si petits qu'on ne peut les voir qu'à l'aide d'un microscope ; il les a donc appelés "microbes".

"Ces microbes, nous explique le savant, sont comme tous les êtres vivants : pour se développer, grandir et se reproduire, ils doivent se nourrir de matière organique, ou substance vivante. Ces microbes, très petits, ne prélèvent, pour se nourrir, qu'une infime partie de la substance vivante. Mais cela suffit à modifier la composition chimique de cette dernière. On appelle cette modification la fermentation. Ayant grandi au milieu des vignes, la première fermentation à laquelle s'est intéressé M. Pasteur est évidemment la fermentation du jus de raisin en vin."

Jules se redresse :

"Et c'est dans un jus de raisin en fermentation que M. Pasteur a, à l'aide de son microscope, rapidement découvert le microbe qui modifie le jus de raisin et le transforme en vin, ce que l'on appelle depuis toujours la fermentation du jus de raisin.

"Ce microbe particulier, nous explique le savant, peut transformer le sucre contenu dans n'importe quel jus en alcool, c'est la raison pour laquelle M. Pasteur a donné le nom de "levure alcoolique" à ce microbe et à la fermentation du sucre en alcool qu'il provoque le nom de "fermentation alcoolique".

"Bien sûr il existe dans le monde un nombre incalculable de microbes différents qui provoquent chacun une fermentation particulière et cela dans des conditions bien définies. Par exemple, cette "levure alcoolique" ne peut se développer qu'à l'intérieur de la substance vivante, là où elle n'est plus en contact avec l'air, comme ici, à l'intérieur du jus de raisin."

"Bon, c'est très bien d'avoir découvert ce petit être vivant merveilleux qui transforme le jus de raisin en vin, mais j'aimerais savoir pourquoi mon vin ne reste pas du vin et devient si souvent du vinaigre ou que sais-je d'autre de totalement imbuvable..."

Et, dans l'espoir d'en apprendre davantage, Jules poursuit sa lecture :

"Ce n'est pas tout, continue le journaliste du Moniteur viticole, M. Pasteur a ensuite remarqué qu'après que la "levure alcoolique" a fermenté le jus de raisin en vin, ce dernier peut à son tour être transformé, fermenté, par un autre microbe, le *Mycoderma aceti*, qui, lui, ne peut se développer qu'à l'air libre, à la surface du vin. Grâce à l'oxygène de l'air, cet autre microbe transforme l'alcool du vin en acide acétique, ce qui équivaut à transformer le vin en vinaigre. Les fabricants de vinaigre peuvent désormais utiliser ce microbe pour fabriquer leur produit à partir de leur vin."

Louis Pasteur passe justement, comme chaque année, ses vacances dans la maison paternelle, tout à côté. En cinq minutes Jules est chez son ami, le ramène chez lui et le conduit dans sa cave. Puis il débouche une bouteille de vin rangée avec d'autres un peu à part et en verse un fond de verre à Louis. À peine ce dernier l'a-t-il porté à sa bouche qu'il s'écrie :

"Pouah ! Mais c'est du vinaigre !

- Eh oui ! reconnaît Jules, découragé, et cela arrive souvent ! Mais toi, Louis, qui as découvert ce microbe si utile pour faire du vinaigre, ne pourrais-tu pas nous aider, nous, les viticulteurs, à empêcher notre vin d'être transformé en vinaigre ?"

Louis réfléchit :

"Il faudrait d'abord vérifier que tous vos mauvais vins contiennent bien ce microbe particulier du vinaigre, et aussi comprendre pourquoi le vin ne tombe malade que dans certaines bouteilles. Pour cela, il me faudrait un grand laboratoire et quelques aides."

Mais ses vacances arboisiennes touchent à leur fin et il doit rentrer à Paris où il est professeur. Pendant cinq ans, retenu par d'autres recherches sur les microbes, il demande à Jules de pratiquer à sa place certaines expériences sur le vin, comme de comparer deux fermentations différentes, l'une produite en laissant le vin à l'air libre, l'autre, au contraire, produite en conservant le vin bien à l'abri de l'air dans un flacon. Jules, pas peu fier de collaborer aux recherches du grand savant, note scrupuleusement les aspects et les goûts que prend

chaque vin ainsi testé. Mais Louis a besoin d'en savoir plus et, en janvier 1863, enfin, il annonce à Jules qu'il va venir en personne étudier les vins malades à Arbois durant les grandes vacances.

Aussitôt arrivés, Pasteur et ses collaborateurs déballetent leur matériel - vases, étuves, appareils et produits divers - sur des tables à tréteaux dans un ancien café. Dans ce laboratoire improvisé, il n'y a ni gaz ni eau, on chauffe au charbon, il faut aller chercher l'eau à la fontaine publique et toute la petite équipe doit aller laver les ustensiles à la rivière. Certains appareils de chimie ont même été fabriqués spécialement par le ferblantier et le forgeron d'Arbois.

Pendant près de deux mois, Jules guide son ami de cave en cave chez d'anciens camarades de classe. Louis y prélève des échantillons de vin dans des tubes à essai puis les rapporte au laboratoire pour les goûter et les examiner au microscope. Dans son cahier, il décrit chaque mauvais goût ressenti, ainsi que chaque microbe observé, qu'il dessine à côté. Il note aussi quel temps il faisait lorsque le vin est tombé malade et a pris un mauvais goût.

Au bout de deux mois, Louis demande à Jules de réunir tous les viticulteurs dont il a analysé les vins malades. Tous s'assoient autour d'une petite table et le savant prend la parole :

"À l'aide de mon microscope, j'ai découvert, dans vos vins devenus mauvais, quatre microbes différents, qui leur donnent quatre mauvais goûts différents qui correspondent à quatre "maladies" possibles du vin.

- Mais d'où viennent ces microbes ? demande Jules.

- Les différentes manipulations du raisin, répond Pasteur, depuis les vendanges jusqu'à la mise en bouteilles, apportent des centaines de microbes. Ceux-ci ne se développent - ne provoquent donc des fermentations - que dans le vin une fois fait, et à certaines conditions. Cela dépend du temps qu'il fait, de l'endroit où est entreposé le vin, de l'air qu'il reçoit, et de toutes sortes de critères complexes ou inconnus de nous. Heureusement, toutes ces conditions ne sont pas toujours présentes, ce qui explique qu'une partie seulement de vos vins soit transformée par des microbes et tombe malade.

"La meilleure solution pour vous, continue Louis, est d'intervenir lorsque tout le jus de raisin vient d'être transformé en vin afin d'y détruire tous les microbes apportés, avant qu'ils n'aient le temps de se développer. Mais vous ne devez rien ajouter au vin, sous peine de modifier son goût.

- Comment faire ? s'interroge Jules.

- User de magie... suggère ironiquement un viticulteur.

- Non, de logique, rétorque Louis devant son auditoire attentif. En effet, d'après vos remarques, ces mauvais microbes ne provoquent de mauvais goûts que lorsque certaines températures inhabituelles sont observées, ce que j'ai vérifié au laboratoire. C'est à ce moment-là que j'ai découvert qu'une chaleur soudaine et très forte pouvait aussi les tuer.

- Mais si on fait bouillir le vin, dit un autre viticulteur, tout l'alcool va s'évaporer et il ne restera qu'un jus de raisin cuit !

- Très juste, répond Louis, il faut donc chauffer votre vin, sans le faire bouillir, pendant quelques minutes seulement, durant lesquelles la chaleur détruira tous les microbes présents dans le vin. Faites-le ensuite rapidement refroidir et puis mettez-le en bouteilles. Il ne restera plus aucun microbe dans le vin susceptible de le fermenter, donc de lui donner un mauvais goût lors de sa conservation."

Le 11 avril 1865, Pasteur dépose un brevet pour un "procédé relatif à la conservation des vins" dans les termes suivants : "J'ai reconnu que les maladies du vin sont produites par des microbes qui existent dans le vin avant qu'il ne devienne malade. Le vin ne s'abîme pas si les microbes sont tués auparavant. Un moyen simple et pratique consiste à chauffer le vin à une température comprise entre 60 et 100 °C. Ce procédé empêche toutes les mauvaises fermentations sans abîmer le vin."

À partir de ce moment-là, tous les viticulteurs se mettent à chauffer leur vin selon la méthode inventée par Pasteur, et tous reconnaissent qu'ainsi débarrassé de ses microbes par la chaleur, il ne s'abîme plus et qu'ils peuvent donc en vendre beaucoup plus. Des viticulteurs décident même d'appeler "pasteurisation" ce procédé de chauffage du vin.

Grâce à cette invention, Pasteur devient le plus connu des jeunes savants de l'époque, il est l'invité d'honneur de toutes les soirées scientifiques, y compris de celles de son plus prestigieux admirateur, l'empereur Napoléon III. Mais le plus heureux, c'est encore Jules, qui passe désormais pour un viticulteur-chimiste et à qui l'on demande de tester chaque nouvel appareil de pasteurisation. Les inventeurs, particulièrement nombreux au XIXe siècle, avaient en effet eu tôt fait de mettre au point des appareils permettant de pasteuriser de grandes quantités de vin.

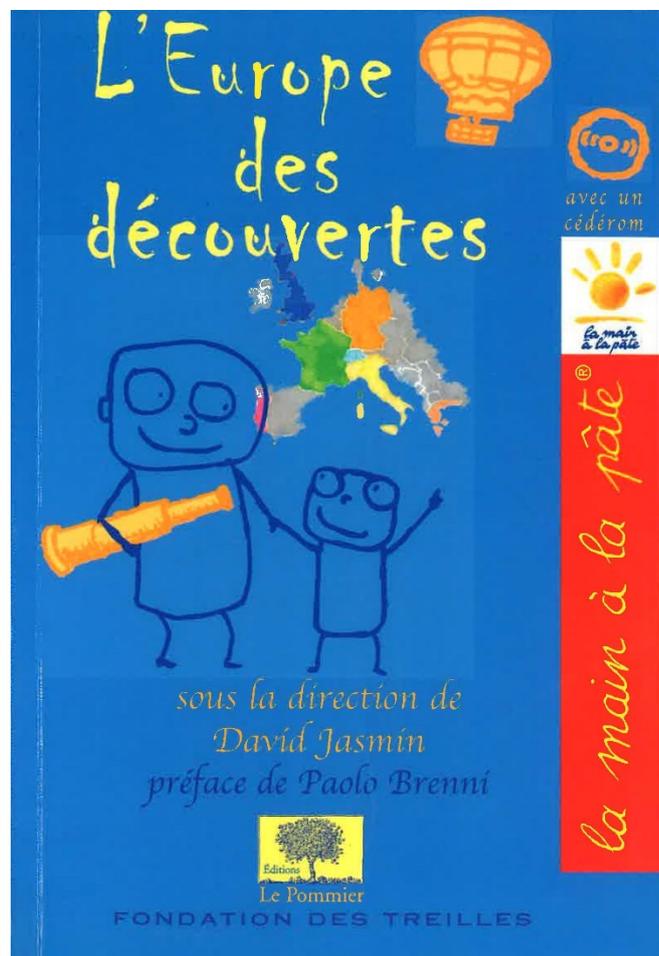
La pasteurisation se généralisa dès le début du XXe siècle pour empêcher les fermentations des liquides et y détruire les microbes dangereux ; elle est obligatoire depuis 1920 pour de très nombreuses boissons, et notamment le lait.

À

À

Òã æ^@Çã^!Á

Cette ressource est issue du projet thématique *L'Europe des découvertes*, paru aux Éditions Le Pommier.



Quelle meilleure façon de se familiariser avec l'esprit scientifique que d'observer Galilée découvrir les satellites de Jupiter dans sa lunette astronomique, s'élever dans les airs en compagnie des frères Montgolfier ou mesurer le bleu du ciel avec Ferdinand de Saussure, l'inventeur du cyanomètre? *L'Europe des découvertes*, un livre, accompagné d'un cédérom, pour permettre aux enfants de prendre le pouls de la science.

Issu d'un projet mis en œuvre par *La main à la pâte* et plusieurs partenaires européens, l'ouvrage présente douze découvertes qui nous font visiter sept pays d'Europe (Allemagne, France, Grande-Bretagne, Grèce, Italie, Portugal et Suisse). Du parachute de Léonard de Vinci au télégraphe de Chappe, de la caravelle à la pasteurisation... l'ouvrage propose, pour chaque découverte, une grande variété de documents : dans le livre, trois types de texte – historico-scientifique, pédagogique et pour enfant –, dans le cédérom, plus directement destiné aux petits, des animations interactives et des cahiers d'expériences.

*L'Europe des découvertes* ouvre ainsi la voie à une utilisation constructive de l'histoire des sciences et des techniques, au-delà du rôle de complément culturel qui lui est le plus souvent assigné.

Car la science a une histoire : elle évolue au gré des inventions, des nouveaux moyens mis en œuvre, mais aussi des échecs et des réfutations. Enseigner aux enfants cette merveilleuse aventure leur permet de retrouver le sens qui habite la science et ceux qui l'ont incarnée.

*la main à la pâte*®

Dynamique de rénovation de l'enseignement des sciences à l'école primaire (maternelle et élémentaire), *La main à la pâte* est une opération conduite par l'Académie des sciences, qu'un Plan de rénovation, mis en place par le ministère de l'Éducation nationale, a étendue à tout le territoire national. C'est aussi un label de qualité attribué à cet ouvrage par un comité issu de l'Académie des sciences.



168-01/1  
27 €

diffusion harmonia mundi

Diffusion  
BELIN  
depuis  
juin 2007

Retrouvez l'intégralité de ce projet sur : <https://www.fondation-lamap.org/projets-thematiques>.

## Fondation *La main à la pâte*

43 rue de Rennes  
75006 Paris  
01 85 08 71 79  
contact@fondation-lamap.org

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

 FONDATION  
**La main à la pâte**  
POUR L'ÉDUCATION À LA SCIENCE