

Chapitre 1

La fermentation

Rôles des microorganismes dans la fermentation

1) La fermentation

La fermentation est un **phénomène naturel**, se produisant lors de la **décomposition de la matière organique** par des microorganismes. Elle était utilisée initialement pour conserver les denrées, préparer du pain, des boissons alcoolisées... En 1789, Lavoisier affirmait déjà que la fermentation vineuse serait un **processus biochimique** où le sucre est transformé en deux portions : en alcool et en acide carbonique suite à l'action d'un **ferment**. C'est seulement en 1836 que l'on découvre que la levure n'est rien d'autre qu'un organisme vivant qui se reproduit par bourgeonnement.

C'est Pasteur qui établira en 1857 que la **fermentation alcoolique** est due à l'activité métabolique de **Saccharomyces cerevisiae** (levure de bière). Il démontrera par la suite que la fermentation est une **réaction chimique et biologique réalisée par des bactéries et des levures**.

☺ La fermentation est donc la **transformation** d'une solution de **sucre** ou de **matière organique** en produits caractéristiques tels qu'**en alcool, acide et gaz carbonique** et ce, **en absence d'air** (ne nécessite **pas d'oxygène O₂**).

Matières organiques (sucre) $\xrightarrow{\text{Fermentation}}$ Acides ; Alcools ; CO₂ + Energie

Lorsqu'une réaction biochimique se réalise **en absence d'oxygène**, on dit qu'elle se déroule en **anaérobiose**.

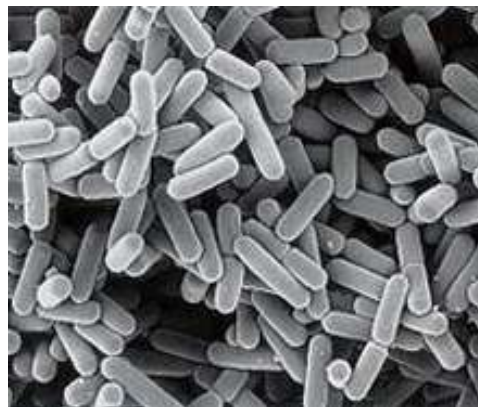
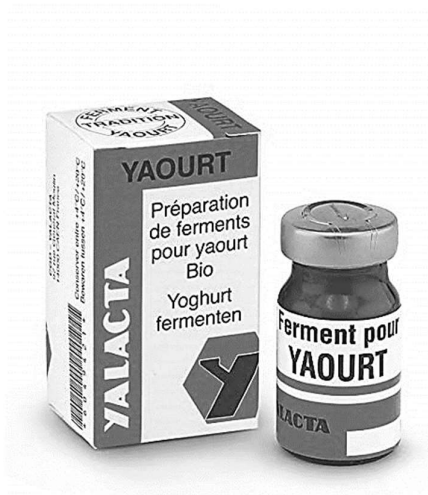
2) Les ferments

Différents microorganismes sont retrouvés dans les aliments et sont classés en deux types de flores :

- **La flore utile** : c'est la flore positive, que l'on va chercher à favoriser. Elle va permettre les différents processus de fermentation. Elle peut se trouver naturellement dans l'aliment, ou être ajoutée lors des procédés de fabrication.
- **La flore pathogène ou indésirable** : c'est la flore négative, que l'on cherche à inhiber. Elle aussi se divise en deux catégories :
 - o La flore d'altération : Des microorganismes pathogènes peuvent se développer et entraîner la formation de **substances toxiques** (flore pathogène). Cela conduit à des **mauvaises odeurs** pouvant nuire à la qualité gustative et esthétique (flore d'altération). Ces microorganismes sont dangereux pour la consommation humaine, **même à faible concentration** et peuvent provoquer une intoxication alimentaire.

☺ Les ferments sont des agents microbiens produisant la fermentation d'une substance. Ils font donc partis de la flore utile.

L'enjeu en agroalimentaire est donc de sélectionner la flore utile et d'éliminer la flore indésirable. Il faut donc constamment réguler les paramètres de fabrication de manière à décider des critères de choix du microorganisme.



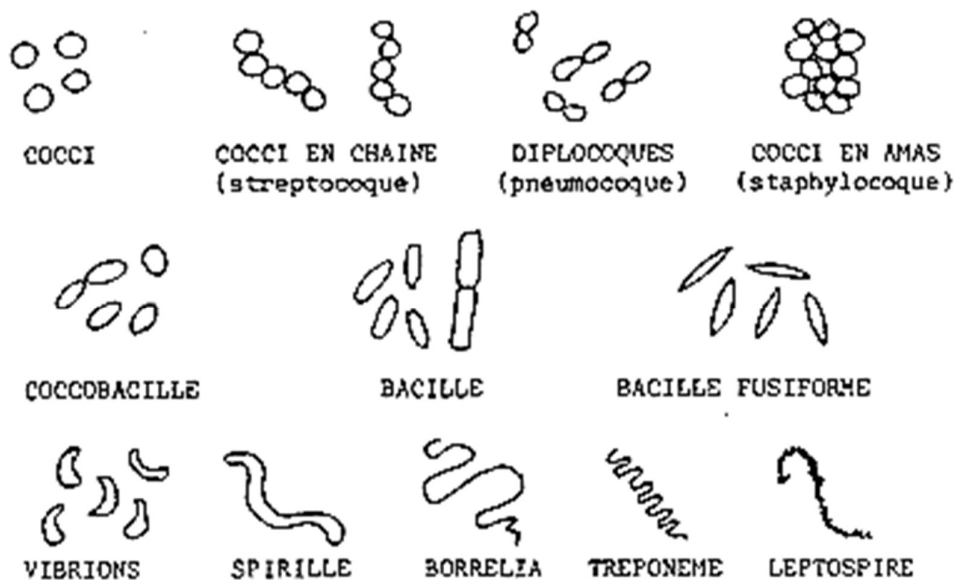
2.1 Les bactéries

Une bactérie est un microorganisme unicellulaire et sans noyau. Il s'agit d'une cellule procaryote dont le génome est constitué d'ADN. Celui-ci consiste en **un seul chromosome**, et on note éventuellement la présence de plasmides (petit morceau d'ADN circulaire). Les bactéries se reproduisent par **scissiparité** c'est-à-dire par **division binaire et asexuée**.

On distingue deux grandes classes de bactéries qui se caractérisent par une différence de la paroi cellulaire : les bactéries à **Gram positif** et les bactéries à **Gram négatif**.

Les bactéries **Gram positif** ont une membrane plus rudimentaire alors que celle des bactéries **Gram négatif** est beaucoup plus complexe composée de molécules très souvent toxiques appelées **endotoxines**.

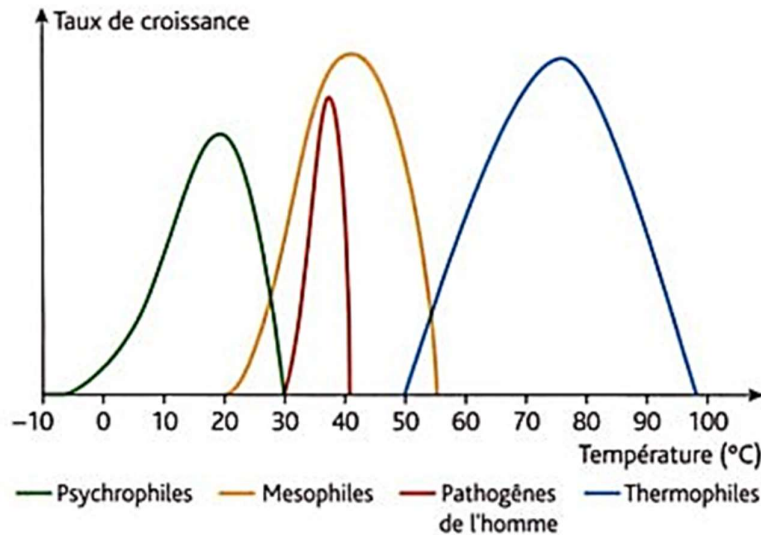
Parmi les bactéries Gram positif, nous pouvons notamment citer *les coques* en forme de sphère (*staphylocoques, streptocoques...*), *les bacilles* en forme de bâtonnet...



Les bactéries ont des optimums physico-chimiques de développement, avec pour chaque **paramètre des valeurs de température, pH, concentration en O₂ idéales**.

La température : Les bactéries, selon leur genre et espèce, peuvent se développer à des gammes de température variées, on les classe alors en trois catégories :

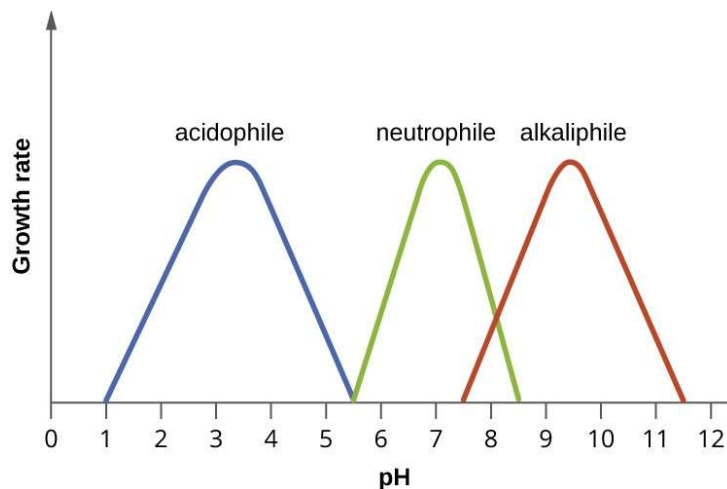
- **Les psychrophiles** (optimum de température compris entre 15 et 30°C)
- **Les mésophiles** (les plus communes, optimum de température compris entre 30 et 45°C)
- **Les thermophiles** (optimum compris entre 55 et 75°C).



Sciences Hachette 2011, p. 127

Le pH : On observe aussi une faculté de développement dépendant de l'acidité du milieu et par conséquent du pH :

- **Acidophiles** ($1 < \text{pH} < 5$)
- **Neutrophiles** ($5 < \text{pH} < 9$)
- **Alcalophiles** ($7,5 < \text{pH} < 12$)



2.2 Les champignons microscopiques

Moisissures et levures appartiennent au règne des Mycètes (champignons). La classification des champignons est très complexe du fait du nombre ainsi que de la diversité des espèces. De ce fait, en agroalimentaire, la **distinction est simplifiée à leurs types morphologiques** (d'aspect physique).

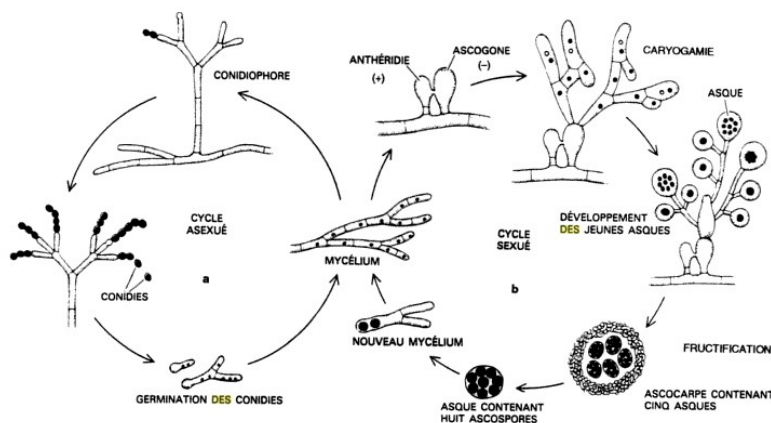
Les champignons microscopiques (micromycètes) peuvent être **muqueux (levures) ou filamenteux (moisissures)**. Néanmoins, on note des exceptions. Ces organismes ont des capacités d'**adaptation élevées**, et se trouvent généralement à des **pH acides** (beaucoup sont acidophiles). Leur **gamme de développement de température est large**, elle aussi, et atteint des températures basses, proche de 0°C.

2.2.a Les moisissures

Les moisissures sont caractérisées par leur appartenance aux **micromycètes filamenteux**, elles sont donc **pluricellulaires**. Les filaments sont plus ou moins **ramifiés**. Les moisissures sont essentiellement concentrées dans le sol. La **reproduction peut être sexuée ou asexuée** utilisée pour la **dissémination** de l'espèce.



- La **reproduction asexuée** est utilisée pour la dissémination de l'espèce. La moisissure forme des spores qui sont disséminées dans l'environnement.
- La **reproduction sexuée**, par brassage génétique, va permettre la survie de l'espèce dans les conditions difficiles.



☺ Les **pénicillines** sont des **antibiotiques**. La pénicilline est une **toxine synthétisée** par certaines **espèces de moisissures du genre *Penicillium*** et qui est **inoffensive pour l'humain**. La pénicilline fut découverte en 1928 par le Britannique Alexander **Fleming**.

A droite :

Fromage Roquefort avec l'ensemencement de ***Penicillium roquefortii***.

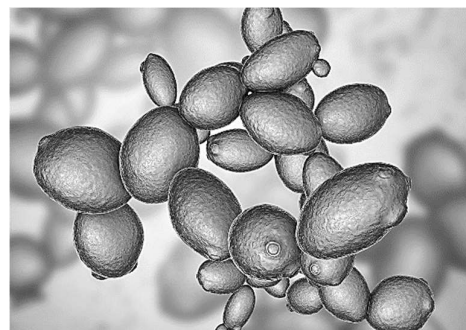


Tableau : Exemple d'utilisations des principales moisissures retrouvées en alimentaire

ESPECES	UTILISATION
<i>Penicillium roqueforti</i>	Fromages à pâte persillée
<i>Penicillium camemberti</i>	Fromages à croûte fleurie
<i>Penicillium nalgiovensis</i>	Flore de surface du saucisson, fromages d'Ellischauser (semblable au camembert)
<i>Penicillium album</i>	Flore de surface du saucisson, couverture de certains fromages
<i>Geotrichum candidum</i>	Affinage des fromages, fabrication de gari (condiment japonais)
<i>Mucor</i>	Flore de surface de certains fromages, transformation de produits divers
<i>Rhizopus</i>	Transformations de produit divers
<i>Aspergillus oryzae</i>	Fermentation de produits à base de riz et de soja
<i>Aspergillus niger</i>	Production de molécules diverses (acide citrique, protéase...)
<i>Fusarium solani</i>	Flore de surface de certains fromages, intervient dans la fabrication du café

2.2b Les levures

Les levures sont des **eucaryotes unicellulaires**, souvent **plus grandes que les bactéries**, de forme ovoïde ou sphérique. Certaines levures croissent sous forme de filaments mais la plupart bourgeonne puis se scinde en deux cellules filles. La levure étant eucaryote, son matériel génétique est composé de **16 chromosomes** linéaires, situés **dans le noyau**.



☺ La **levure chimique** ou poudre à lever est un mélange composé essentiellement d'un **agent basique** (bicarbonate de soude). **Contrairement à la levure de boulanger** dont l'action dépend de **micro-organismes vivants**, la levure chimique fait seulement intervenir des réactions chimiques de type acide-base.

Actuellement il existe une dizaine de levures utilisées dans différentes industries. La plus exploitée étant **Saccaromyces cerevisiae** utilisée dans la **vinification, la panification, la fabrication de bière** et de levure de boulanger.

Ces champignons peuvent survivre dans des **conditions de vie très diverses** :

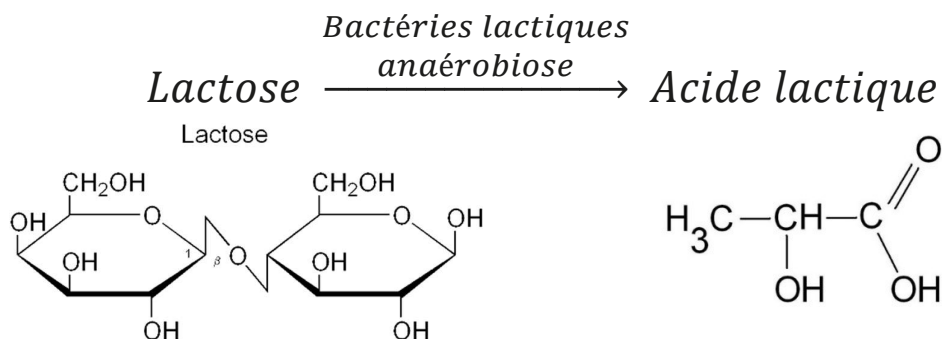
- Température de développement : de **0° à 55°C**. Optimum de croissance : de 12° à 40°C.
- pH : croissance possible de **2.8 < pH < 8**.
- Tolérance alcoolique : jusqu'à 20% d'alcool V/V.

3) Les produits de la fermentation

Il existe différents types de fermentations. Elles sont classées en fonction des déchets produits et des ferments utilisés.

3.1 La fermentation lactique

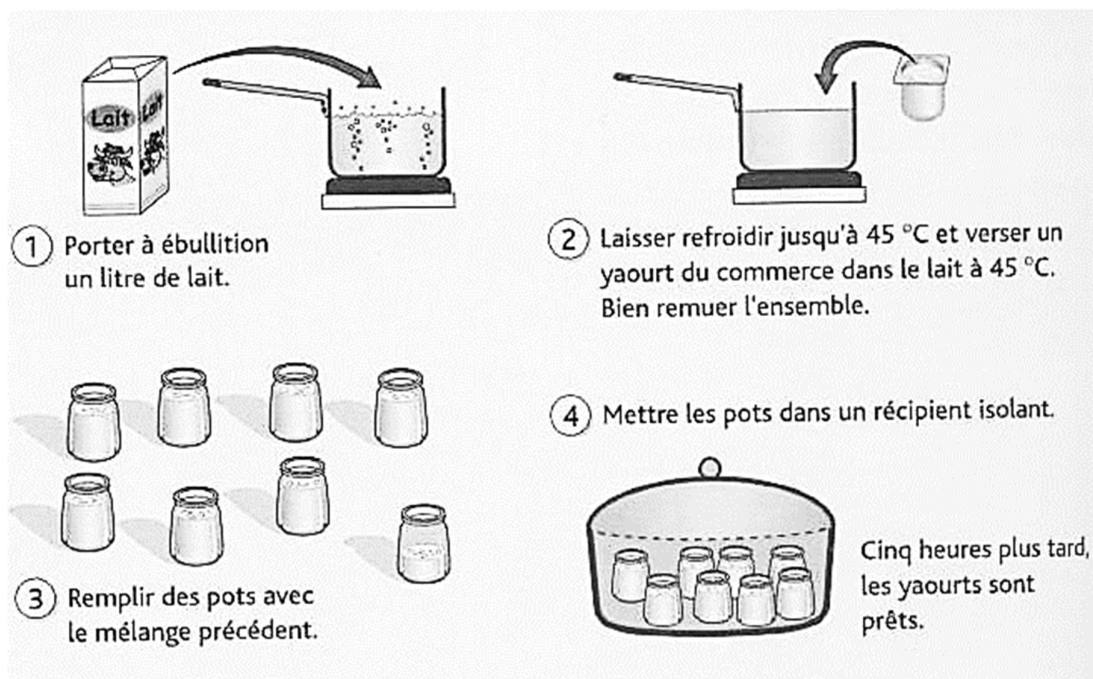
La fermentation lactique est un mode de **fermentation anaérobie** (en absence d'oxygène) qui, en présence de **glucides (sucres)** et de bactéries (**les ferments lactiques**), induit la formation d'**acide lactique**.



3.1.a La fabrication des yaourts

Le yaourt résulte de la fermentation du lait par deux bactéries lactiques, *Streptococcus thermophilus* vivant en symbiose avec *Lactobacillus bulgaricus*. L'appellation « yaourt » est réservée à ce lait ayant été fermenté par ces deux souches de bactéries.

La fabrication de yaourts se réalise en diverses étapes. Tout d'abord, **le lait est pasteurisé**, c'est à dire qu'il est **chauffé à 72°C pendant 15 secondes**. Cela permet d'**éliminer les microorganismes pathogènes**. Il est ensuite **ensemencé après** avoir été préalablement **refroidi et maintenu à une température de 45°C** qui est la température optimale de croissance des bactéries lactiques. Puis, il y a l'étape d'**étuvage**, où le lait est mis en pot pendant **5h**, ce qui permet aux ferments de se développer et de transformer le lait.



☺ Les **bactéries** présentes doivent être **encore vivantes** au moment de la **consommation** du yaourt, ce qui permet une **meilleure digestion** et un meilleur **transit**.

3.1.b La fabrication des fromages

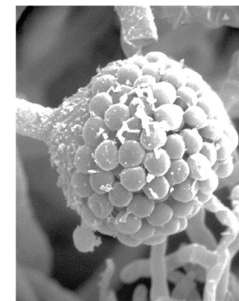
On peut distinguer au moins **4 grandes familles** de fromage : à pâtes dures, pâtes pressées, pâtes molles et pâtes fraîches. La **texture va dépendre de la vitesse de progression de l'acidification** et l'aromatisation va, quant à elle, dépendre du métabolisme des ferments utilisés.



Dans le circuit de fabrication du fromage, après pasteurisation du lait, de la même façon que pour la fabrication de yaourts, celui-ci est caillé par ajout de **présure et de ferments lactiques**. Il est **transféré dans des moules** qui diffèrent selon le type de fromage. Le **lait, une fois caillé, est séparé du petit lait** (c'est la partie liquide issue de la coagulation du lait) ce qui permet de prolonger sa conservation. Il s'agit de l'**égouttage**. Après cette étape, les fromages frais et blancs sont consommés directement. Les fromages, qui ont été démoulés, sont ensuite salés soit par du sel fin via un saupoudrage superficiel, soit par de la saumure (immersion dans une solution saturée en sel). Il s'agit du **saumurage**.

☺ La **présure** est un **coagulant du lait**. Elle peut avoir diverses origines :

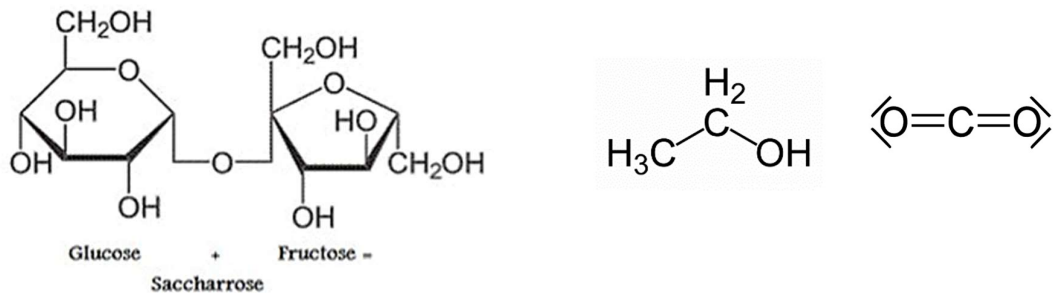
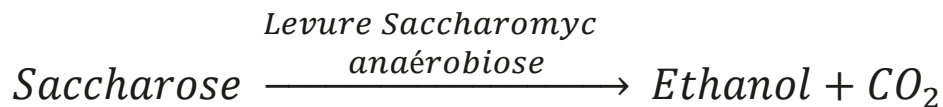
- D'origine **animale** : la présure contient deux enzymes coagulantes, la « chymosine » et la « pepsine » ; elle est obtenue du 4^{ème} estomac des jeunes ruminants.
- D'origine « **microbienne** » : dont l'enzyme est issue de la fermentation par des **champignons** : Le *Rhizomucor miehei* ou le *Mucor miehei*...).



3.2 La fermentation alcoolique

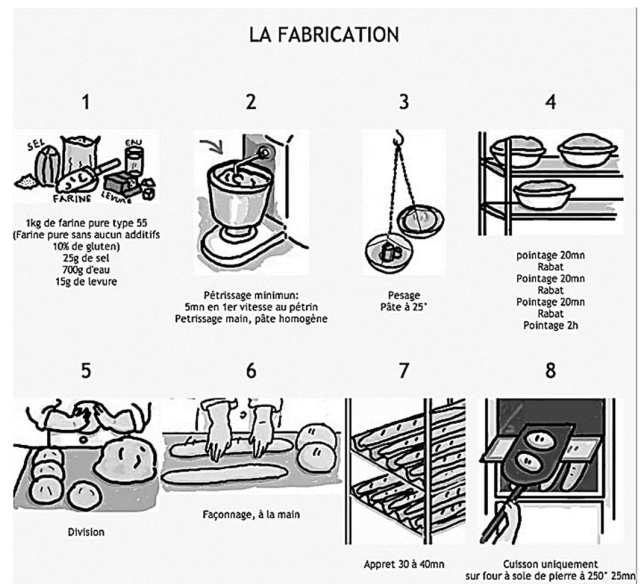
Lors de la fermentation alcoolique, plusieurs changements peuvent apparaître tels que :

- Un **dégagement** de gaz carbonique (CO_2)
- Une **augmentation de la température**
- Un changement de la couleur
- Un **changement d'odeur** et de saveur
- Une diminution de la densité (transformation du sucre en alcool)
- Une **augmentation des volumes**



3.2.a La fabrication du pain (panification)

Pour fabriquer du pain, il faut de la farine, de l'eau, du sel et de la levure de boulanger ou du levain. **La farine apporte des sucres fermentescibles utilisés par la levure** et des protéines (**le gluten**) qui donneront la **texture** à la pâte à pain. Les microorganismes apportée par la levure de boulanger (***Saccharomyces cerevisiae***) produit la fermentation des glucides en dioxyde de carbone CO_2 et éthanol (alcool éthylique). Le gaz remplit les alvéoles du réseau de gluten et fait lever la pâte. **L'éthanol s'évaporera lors de la cuisson.**



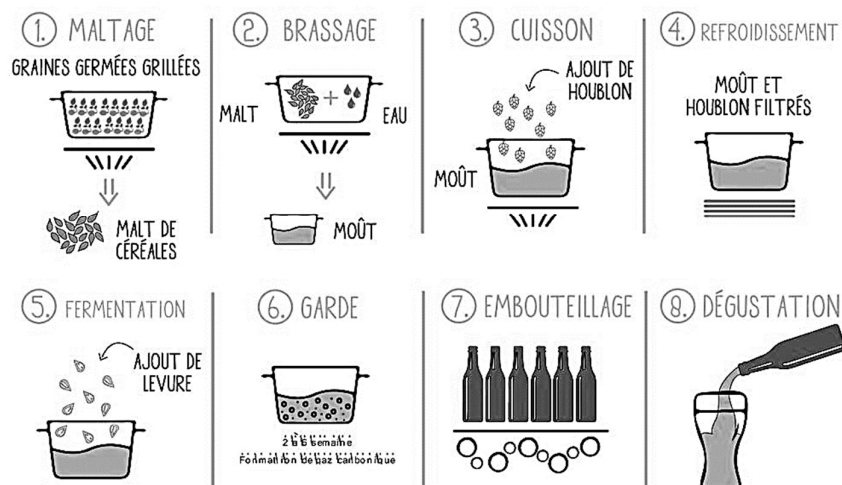
3.2.a La fabrication de la bière

La présence de levures est une condition indispensable à une bonne fermentation alcoolique. Celles-ci doivent avoir un **métabolisme anaérobie** et être immergées. La température doit se situer entre **20 et 25°C**.

Il existe **4 types de fermentations** :

- La **fermentation spontanée** : dans ce procédé ancestral, les levures sauvages naturellement présentes dans l'air libre contaminent le mout, l'ensemencent et stimulent ainsi sa fermentation.
- La **fermentation haute** : **on ajoute des levures de type *Saccharomyces cerevisiae* au moût**. Une fois qu'elles ont épuisé le glucose, les levures remontent à la surface. Les bières ainsi produites ont une forte teneur en alcool.
- La **fermentation basse** : on ajoute des levures de type *Saccharomyces carlsbergensis* au moût. Ces levures ont la particularité de migrer vers le fond de la cuve. Les bières ainsi produites sont moins alcoolisées, mais ont une teneur plus riche en CO₂, et un goût prononcé de houblon.
- La **fermentation mixte** qui allie les **deux processus de fermentation haute et basse**.

ÉTAPE DE FABRICATION DE LA BIÈRE



Etapes de la fabrication de la bière :

L'orge, le houblon, la levure et l'eau sont les quatre constituants principaux nécessaires à la fabrication de la bière.

1) Le maltage :

Pour produire de la bière, il faut avant tout passer par une étape de maltage. Hydratation, germination, séchage, chauffage et nettoyage : l'objectif est de **fabriquer des enzymes chargées de découper les molécules d'amidons non fermentescibles** (c'est-à-dire qui ne sont pas susceptibles de fermenter) contenues dans l'orge.

2) Le brassage :

Le brassage permet ensuite **d'activer ces enzymes par chauffage**. Le malt est concassé et hydraté. Le **mélange obtenu ne contient alors plus que des sucres élémentaires fermentescibles**.

3) La cuisson du moût

Après filtration, le moût passe par une phase de cuisson afin de **détruire les enzymes restantes**. C'est aussi le moment d'**incorporer houblon et épices** qui vont donner l'essentiel de son **goût** à la bière. Le moût doit ensuite être à nouveau filtré puis refroidi pour éviter tout risque de contamination. Il est aussi oxygéné pour préparer le travail des levures.

4) La fermentation alcoolique

La fermentation alcoolique désigne la **réaction chimique naturelle qui transforme le sucre en alcool**. Dans le cas de la bière, elle s'étale sur plusieurs jours et a lieu grâce à l'ajout de levures.

5) La garde

Une fois débarrassée des restes de levures, la bière entre dans une **phase de maturation** appelée la garde. Elle repose dans une cuve étanche à une température de **0 °C** pendant deux à six semaines et **se gorge de gaz carbonique**.

Questionnaire sur la fermentation

- 1) Comment pouvons-nous définir la fermentation ? S'agit-il d'un processus nécessitant l'implication de l'air (O_2) ?
- 2) Notez le bilan réactionnel général de la fermentation.
- 3) Quelles sont les grandes familles de microorganismes assurant la fermentation ? Citez-les ? Définissez-les ?
- 4) Que signifie : « Les bactéries se reproduisent par scissiparité ? »
- 5) Citez 3 types de bactéries pouvant se différencier par leur forme. Dessinez-les.
- 6) Quelles sont les paramètres qui influencent le développement bactérien ?
- 7) Parmi les bactéries suivantes, quelles sont les plus pathogènes pour l'homme ? Les psychrophiles, les mésophiles ou les thermophiles. Pourquoi ?
- 8) Quelle est la famille des bactéries se développant dans un milieu basique ?
- 9) Comment pouvons-nous définir la grande famille des « mycètes » ? Quelles sont les sous-catégories issues du règne des mycètes et sur quel point se différencient-elles ?
- 10) Dans le règne des mycètes, la reproduction s'effectue-t-elle par voie sexuée ou asexuée ? Expliquez.
- 11) Quelle est la grande découverte d'Alexander Fleming en 1928 ?
- 12) Quelle est la grande propriété des fromages moisissés ? Expliquez ?
- 13) Pouvons-nous considérer les levures chimiques comme étant des levures microbiologiques ? Pourquoi ?
- 14) En quoi consiste la fermentation lactique ? Produit(s) de départ et produit(s) obtenu(s) ? Processus aérobie ou anaérobie ? Quelle est la nature du ferment intervenant dans cette fermentation ? Citez 2 exemples.
- 15) Quelles sont les 2 grandes étapes de la fabrication du yaourt ?
- 16) Qu'est-ce que la pasteurisation du lait ?
- 17) Dans la fabrication du fromage, que se passe-t-il lors de « l'égouttage » ?
- 18) Qu'est-ce qu'une présure ? Origines possibles ?
- 19) En quoi consiste la fermentation alcoolique ? Produit(s) de départ et produit(s) obtenu(s) ? Processus aérobie ou anaérobie ? Quelle est la nature du ferment intervenant dans cette fermentation ? Citez 3 exemples.
- 20) « La fabrication du pain produit de l'éthanol donc nous ingurgitons de l'alcool en consommant du pain ». Etes-vous d'accord avec cette affirmation ? Pourquoi ?