



# Les fermentations

### DE MULTIPLES APPLICATIONS

Utilisées par l'homme depuis des millénaires, les fermentations sont des réactions chimiques mettant en jeu des organismes vivants microscopiques.

Ces agents responsables identifiés au <sup>19</sup>e siècle sont les levures (des champignons non filamenteux), les moisissures (des champignons filamenteux) et les bactéries.

Les connaissances concernant leur fonctionnement ont permis d'exploiter industriellement les produits de la fermentation.

Les fermentations les plus connues sont certainement la fermentation alcoolique (production d'alcools) et la fermentation lactique concernant les laitages.

Il en existe d'autres, tout aussi importantes : production de vinaigre, d'acétone...

La maîtrise de ces réactions (identification du microorganisme responsable, conditions requises de pH, de température, etc.) permet d'exploiter des réactions complexes ayant un intérêt pour l'homme.

### QU'EST-CE QUE LA FERMENTATION ?

La fermentation est une réaction biochimique.

Elle met en jeu un organisme vivant microscopique (bactérie ou levure) dans un milieu approprié, et un élément nutritif dont il tire son



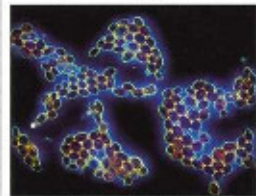
énergie. Comme dans cette **boîte de Pétri** où *Saccharomyces*

*cerevisiae*, la levure de bière, s'est développée car elle est cultivée dans un milieu qui lui est favorable.

En se nourrissant, ces organismes transforment des éléments de base (sucres simples et autres acides organiques) en de nouveaux produits aux propriétés intéressantes.

Ces réactions biochimiques ont la particularité de se dérouler dans un milieu dépourvu d'oxygène que l'on appelle milieu anaérobie.

Les acteurs de ces réactions sont des **levures**, des champignons



microscopiques unicellulaires, ou des bactéries qui sont des micro-organismes constitués d'une seule cellule avec un seul chromosome mais dépourvu de noyau.

Ces organismes microscopiques peuvent vivre dans un milieu dépourvu d'oxygène grâce à leurs équipements enzymatiques. Les enzymes, des molécules qui permettent et accélèrent les réactions chimiques au sein d'un organisme, leur procurent indirectement l'énergie dont ils ont besoin pour vivre.

### DÉCOUVERTE DE LA FERMENTATION

Depuis la sédentarisation de l'homme, les fermentations sont utilisées de façon empirique pour la fabrication d'aliments comme le pain, les boissons alcoolisées ou le vinaigre.

Il a fallu l'invention du microscope en 1677 pour pouvoir établir les premières connaissances sur la

nature des fermentations. Les agents responsables de ces réactions ont été identifiés : les levures et les bactéries. Leurs modes d'action ont pu être étudiés, notamment avec les travaux de



**Louis Pasteur** et ses études sur le vin à la fin du <sup>19</sup>e siècle. Lors de la Première Guerre mondiale, les connaissances

sur la fermentation ont été exploitées de façon industrielle pour la fabrication notamment de munitions. Et aujourd'hui, les recherches tendent à améliorer les techniques connues et à en découvrir de nouvelles, plus efficaces.

### FERMENTATION ALCOOLIQUE

#### PRINCIPE

La fermentation alcoolique est une réaction d'oxydo-réduction.

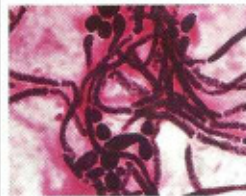
D'un point de vue bilan énergétique, une molécule de sucre simple est transformée en deux molécules d'éthanol et deux molécules de dioxyde de carbone.

La réaction globale s'écrit :  $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2(C_2H_5OH) + 2CO_2$   
La réaction s'accompagne d'un dégagement d'énergie.

#### AGENTS RESPONSABLES

Les micro-organismes qui réalisent la fermentation alcoolique sont des champignons microscopiques unicellulaires appelés levures. Il en existe un grand nombre d'espèces ; la plus connue est certainement la levure de bière (*Saccharomyces cerevisiae*) dont

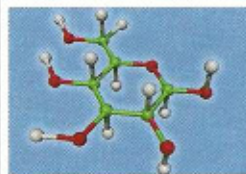
certaines souches sont utilisées plutôt en brasserie et d'autres en



boulangerie. D'autres levures, comme *Candida albicans* se nourrissent grâce à la fermentation alcoolique mais sont aussi nocives pour l'homme car elles provoquent des infections de type candidose. Des champignons microscopiques filamenteux (des moisissures), comme *Aspergillus* ou *Penicillium* pratiquent aussi la fermentation alcoolique.

#### CONDITIONS REQUISES

Les conditions de la fermentation alcoolique sont un milieu liquide naturel ou artificiel contenant un



sucres simples (*glucose*, fructose, saccharose, galactose, maltose, etc.), un microorganisme possédant l'équipement enzymatique permettant d'utiliser ce sucre comme nutriment et un déficit ou une absence de dioxygène (conditions anaérobies).

Il peut arriver qu'un microorganisme puisse produire son énergie aussi bien en milieu aérobie (avec oxygène) qu'en milieu anaérobie (sans oxygène).

Dans ce cas la quantité d'énergie obtenue est plus importante en présence d'oxygène. Fréquemment un microorganisme est capable d'utiliser comme nutriment plusieurs sortes de sucres simples mais pas forcément tous les sucres présents.

#### UTILISATION PAR L'HOMME

Les applications alimentaires sont diverses.

Il peut s'agir de la fabrication de boissons alcoolisées comme le vin à partir du jus de raisin, de la bière à partir du malt de l'orge ou du



**houblon**, du cidre à partir du jus de

### LE BIOÉTHANOL : UN BIOCARBURANT

Appartenant à la famille des énergies renouvelables, le **bioéthanol** est en fait l'alcool éthylique, que l'on trouve dans toutes



boissons alcoolisées. Les végétaux contenant des sucres simples (betterave, canne à sucre...) ou

complexes (blé, maïs...) peuvent être transformés en bioéthanol, par fermentation alcoolique du sucre. Suivant l'état de polymérisation, ces sucres doivent subir des traitements préalables, d'hydrolyse entre autres, dont le but est de transformer les sucres complexes en sucres simples fermentescibles.

Le bioéthanol est utilisé mélangé à l'essence en des proportions allant de 5 à 85 %. Au-delà de 20 % les moteurs des voitures doivent subir certaines transformations pour s'adapter.

Les biocarburants semblent être une alternative aux énergies fossiles. Seulement, la production à partir de cultures alimentaires pourrait faire concurrence à l'alimentation, favoriser la déforestation et l'érosion des sols.

La recherche actuelle tend à employer des matières premières à vocation purement énergétique. Par exemple, l'utilisation de la biomasse lignocellulosique (herbe, bois, écorce, tige, feuilles, pulpe de papier, etc.) qui ne sont pas comestibles et qui sont considérés comme un déchet de la plante.

La levure participant à la fabrication du pain produisent le dioxyde de carbone qui fait lever la pâte à pain.

### FERMENTATION LACTIQUE

#### PRINCIPE

Comme la fermentation alcoolique, la fermentation lactique est une réaction d'oxydo-réduction.

D'un point de vue du bilan énergétique, la fermentation lactique consiste en une molécule de sucre simple transformée en deux molécules d'acide lactique avec libération d'énergie.

La réaction globale s'écrit :  $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2 CH_3CHOH-COOH$

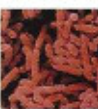
### Ses diverses propriétés

8 000 ans avant J.-C.



Les **Somériens**, un peuple ayant vécu il y a des milliers d'années, maîtrisaient déjà la fermentation du pain et de la bière.

Des micro-organismes au service de l'homme



Certaines levures et bactéries fermentaires servent aussi à la fabrication de vitamines, d'acides aminés ou encore d'antibiotiques, dont *Streptomyces griseus* qui fabrique la streptomycine traitant la tuberculose.

100 millions de bactéries par gramme

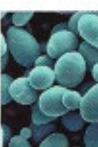


Un gramme de yaourt classique contient plus de 100 millions de bactéries.

CH<sub>4</sub>

Bien qu'il fasse parti des énergies renouvelables, le méthane n'en est pas moins un gaz à effet de serre.

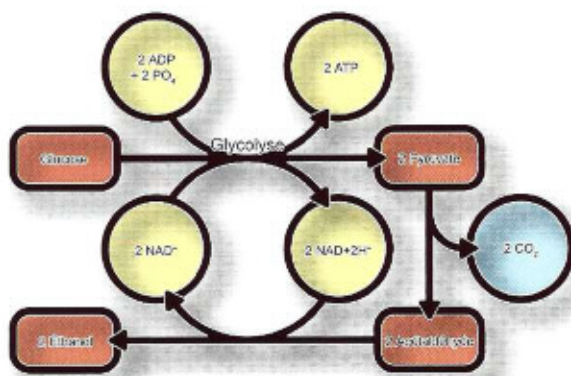
*Saccharomyces cerevisiae*



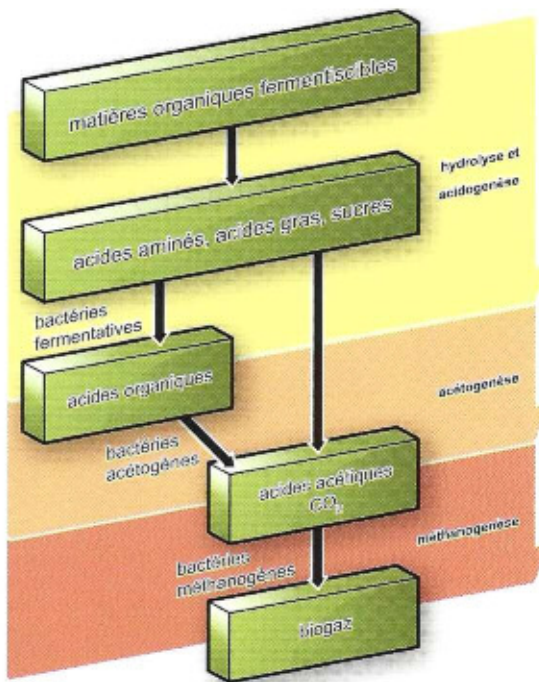
1837

La première levure identifiée

### La fermentation alcoolique



## La méthanisation



## LES AUTRES FERMENTATIONS

### FERMENTATION MALOLACTIQUE

Après la phase de fermentation alcoolique, le vin est placé dans des



**fûts** pour entamer la phase de vieillissement.

À ce stade, le vin présente un taux d'acidité qui le rend impropre à la dégustation. Cette acidité est le fait de la présence d'acide tartrique et d'acide



malique, des acides présents dans le **raisin**.

La fermentation malolactique permet d'assouplir le vin. Il s'agit de bactéries lactiques qui transforment l'acide malique en acide lactique.

Ces bactéries sont naturellement présentes dans le vin et la réaction se fait généralement spontanément après la fermentation alcoolique. Néanmoins, certains facteurs peuvent limiter cette réaction : quantité insuffisante de bactéries lactiques, problème d'activation des enzymes...).

Dans ce cas, le vinificateur peut ajouter certaines souches, principalement celles d'*Enococcus oeni*, pour améliorer le vin. De plus, la fermentation malolactique apporte de nouveaux arômes au vin.

### FERMENTATION ACÉTIQUE

La fermentation acétique n'est pas une fermentation au sens strict du terme. Il s'agit de la fabrication du vinaigre à partir de l'alcool : une molécule d'alcool est transformée en une molécule d'acide acétique.

La fermentation acétique suit naturellement la fermentation alcoolique, mais contrairement aux autres fermentations, elle se déroule à l'air libre (milieu aérobie).

Cette réaction a été étudiée par Louis Pasteur comme une « maladie du vin ». Le vinaigre est un liquide acide obtenu grâce à l'oxydation de l'éthanol dans le vin, le cidre, la bière et autres boissons fermentées.

Le vinaigre est certainement un « vin aigre » mais il est aussi un très bon conservateur.

Il joue un rôle important dans la cuisine pour son usage condimentaire (assaisonnements, marinades...), mais



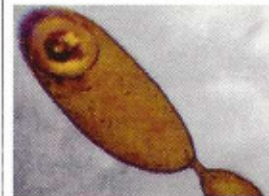
aussi pour ses qualités antiseptiques, pour la **conservation des aliments**,

très utiles avant l'apparition des réfrigérateurs.

### FERMENTATION BUTYRIQUE

L'acide butyrique ou acide butanoïque se trouve par exemple dans le beurre rance, le parmesan, les boîtes de conserve avariées, les choucroutes ratées...

Les agents responsables de cette réaction sont des bactéries anaérobies



du genre **Clostridium**.

Ces bactéries sont surtout connues pour provoquer le botulisme, le tétanos et la gangrène gazeuse chez l'homme. Lors de la fermentation butyrique, une molécule de glucose est transformée en une molécule d'acide butyrique. La réaction s'accompagne d'un dégagement de dioxyde de carbone grâce à un processus enzymatique unique.

Une autre voie est possible : certaines espèces de *Clostridium*, comme *Clostridium acetobutylicum*, produisent de l'acétone et du butanol par un autre processus commençant comme une fermentation butyrique.

Dans ce cas, les bactéries suivent le processus de fermentation décrit précédemment mais, lorsque le pH est

inférieur à 5, elles passent vers la production de butanol et d'acétone pour empêcher une plus forte baisse du pH.

Lors de la réaction, deux molécules de butanol et une molécule d'acétone sont produites.

Cette voie de la fermentation butyrique a été largement exploitée de manière industrielle pour la production d'explosifs par exemple.

### FERMENTATION PROPIONIQUE

La fermentation propionique est réalisée par des bactéries appartenant au genre *Propionibacterium*.

Ces bactéries transforment le lactose en acide propionique et acide acétique. Ces deux acides sont responsables de la saveur de certains fromages à pâte cuite.

De plus, le dégagement de dioxyde de carbone lors de la réaction entraîne « l'ouverture » de ces fromages.

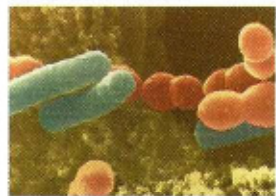
Il s'agit des fromages à pâte cuite de



type Comté, **Gruyère** ou Emmental. Les mécanismes et la maîtrise de ces réactions sont encore mal connus. Par ailleurs, les bactéries propioniques sont aussi capables de synthétiser la vitamine B12.

### AGENTS RESPONSABLES

Les microorganismes qui réalisent la fermentation lactique sont des bactéries du genre *Streptococcus* et certaines espèces de *Lactobacillus*.



Ce sont des bactéries en bâtonnets comme *Lactobacillus bulgaricus* ou en coque en chapelet comme *Streptococcus thermophilus*.

### CONDITIONS REQUISES

Pour qu'il y ait fermentation lactique, il faut du glucose ou des sucres du **lait** (lactose, galactose). La température à



laquelle se déroule la réaction doit être plus élevée que la température ambiante et le milieu dépourvu d'oxygène (milieu anaérobie). La température

s'élève légèrement lors de la réaction et le milieu s'acidifie. On parle de fermentation homolactique lorsque la quantité d'acide lactique obtenue est très supérieure à celle des autres produits formés.

Il existe des fermentations dites hétérolactiques.

Dans ce cas, la quantité d'acide lactique formé n'est plus majoritaire comparé aux autres produits.

Ces fermentations hétérolactiques interviennent aussi en fromagerie mais, le plus souvent, elles sont à l'origine de l'altération de produits alimentaires comme le vin, la bière, les jus de fruits, etc.

### UTILISATION PAR L'HOMME

Lors de la fabrication des yaourts, on ajoute deux espèces de bactéries : *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*.

Pour avoir l'appellation « yaourt », ces deux bactéries doivent être vivantes dans le produit fini.

Les autres produits laitiers fermentés avec d'autres bactéries lactiques n'ont pas le droit à l'appellation « yaourt » en France.

C'est le cas, par exemple, des nouveaux produits avec des ferments de type *Lactobacillus bifidus* et *Lactobacillus casei defensis*. Ces bactéries à qui l'on prête des vertus nutritionnelles, sont naturellement présentes chez le



### nourrisson allaité.

Les autres produits dans lesquels la fermentation lactique intervient lors de la fabrication, sont bien entendu certains fromages qui sont obtenus à partir de la coagulation du lait suivie d'une fermentation, mais aussi les saucissons ou la choucroute.

## VALORISATION DES DÉCHETS : LA MÉTHANISATION

La méthanisation, ou digestion anaérobie, est le processus naturel biologique de dégradation de la matière organique en absence d'oxygène.

La matière organique dégradée se retrouve principalement sous la forme de biogaz.

Ainsi, la méthanisation est un bioprocédé qui dépollue des rejets chargés en matière organique tout en produisant de l'énergie sous forme de méthane.

Les rejets peuvent être les ordures ménagères, les déjections animales,



les boues des **stations d'épuration**, les eaux usées...

La méthanisation est assurée grâce à des microorganismes appartenant à différentes populations microbiennes. Beaucoup de réactions chimiques entrent en jeu, en particulier certaines fermentations.

On distingue classiquement trois phases successives : l'hydrolyse et l'acidogénèse, l'acétogénèse et la méthanogénèse.

La matière organique complexe est tout d'abord hydrolysée en substances simples.

Ensuite, ces substrats sont utilisés lors de l'étape d'acidogénèse par des bactéries dites acidogènes, qui vont

produire des alcools et des acides organiques, ainsi que de l'hydrogène et du dioxyde de carbone.

L'étape d'acétogénèse permet la transformation des divers composés issus de la phase précédente en précurseurs directs du méthane : l'acétate, le dioxyde de carbone et l'hydrogène.

La méthanogénèse est assurée par des micro-organismes anaérobies stricts qui appartiennent au domaine des *Archaea*.

Cette dernière étape aboutit à la production de méthane. Elle est réalisée par deux voies possibles : l'une à partir de l'hydrogène et du dioxyde de carbone par les espèces dites hydrogénéotrophes, et l'autre à partir de l'acétate par les espèces acétotrophes.

Toutes ces réactions ont lieu dans un



### digesteur.

La combustion du méthane produit sert à la production d'énergie.

Cette énergie peut être sous forme thermique ou sous forme électrique.

Le méthane peut aussi servir directement de carburant automobile.

Le méthane est ainsi le seul hydrocarbure classique qui peut être obtenu grâce à un processus biologique naturel.