

Université Ahmed Zabana - Relizane
Faculté des Sciences Exactes et Techniques
Département de Biologie

Cours 3



Chapitre 2

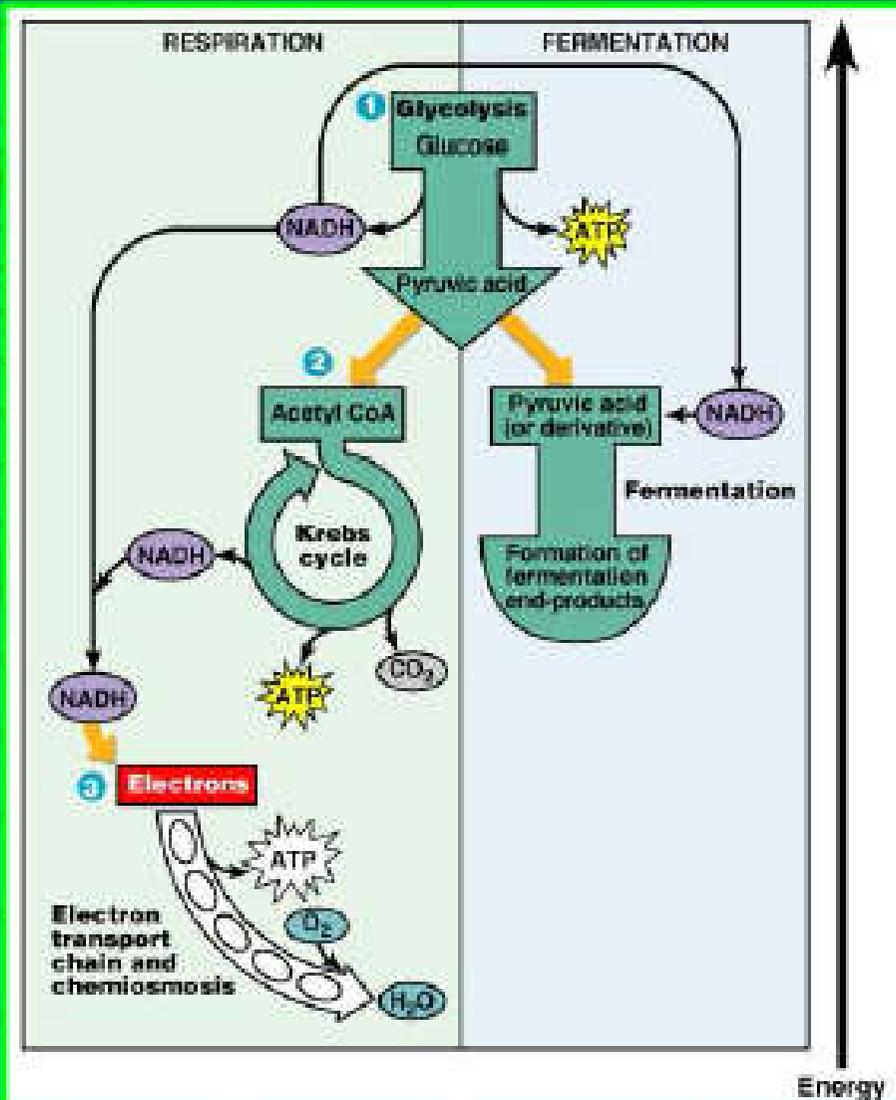
Microbiologie Industrielle

ENSEIGNANTE DU MODULE:
Dr. BENAÏSSA OUCIF H.

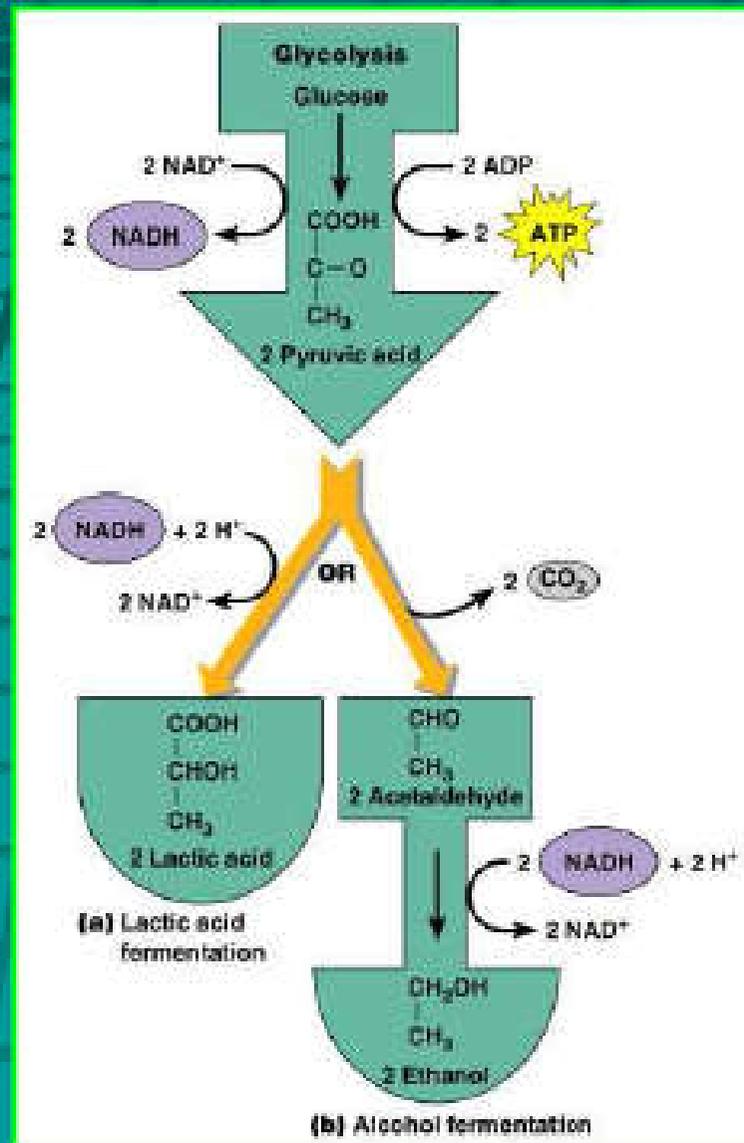
07 Mars , 2021

**Point central de la
Microbiologie Industrielle
La Fermentation**

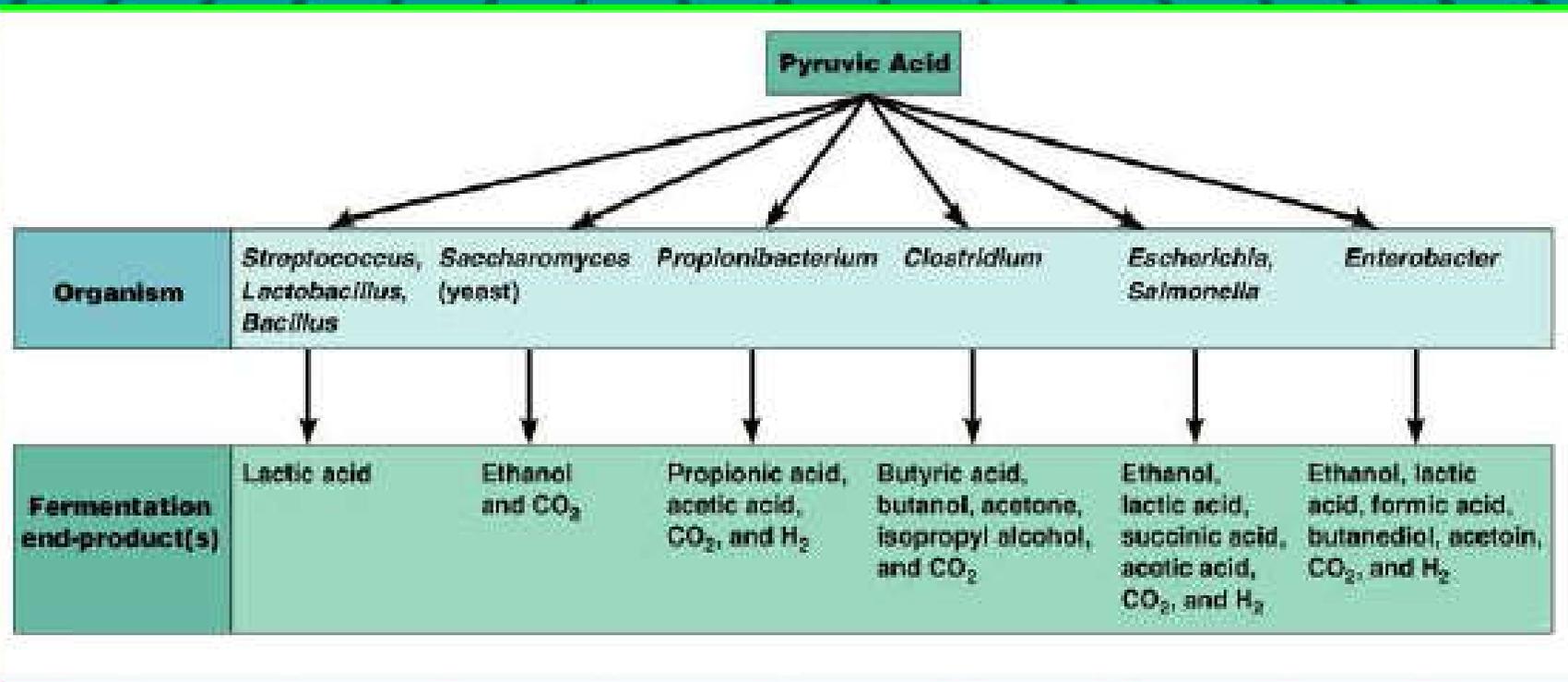
Respiration et Fermentation



Fermentation

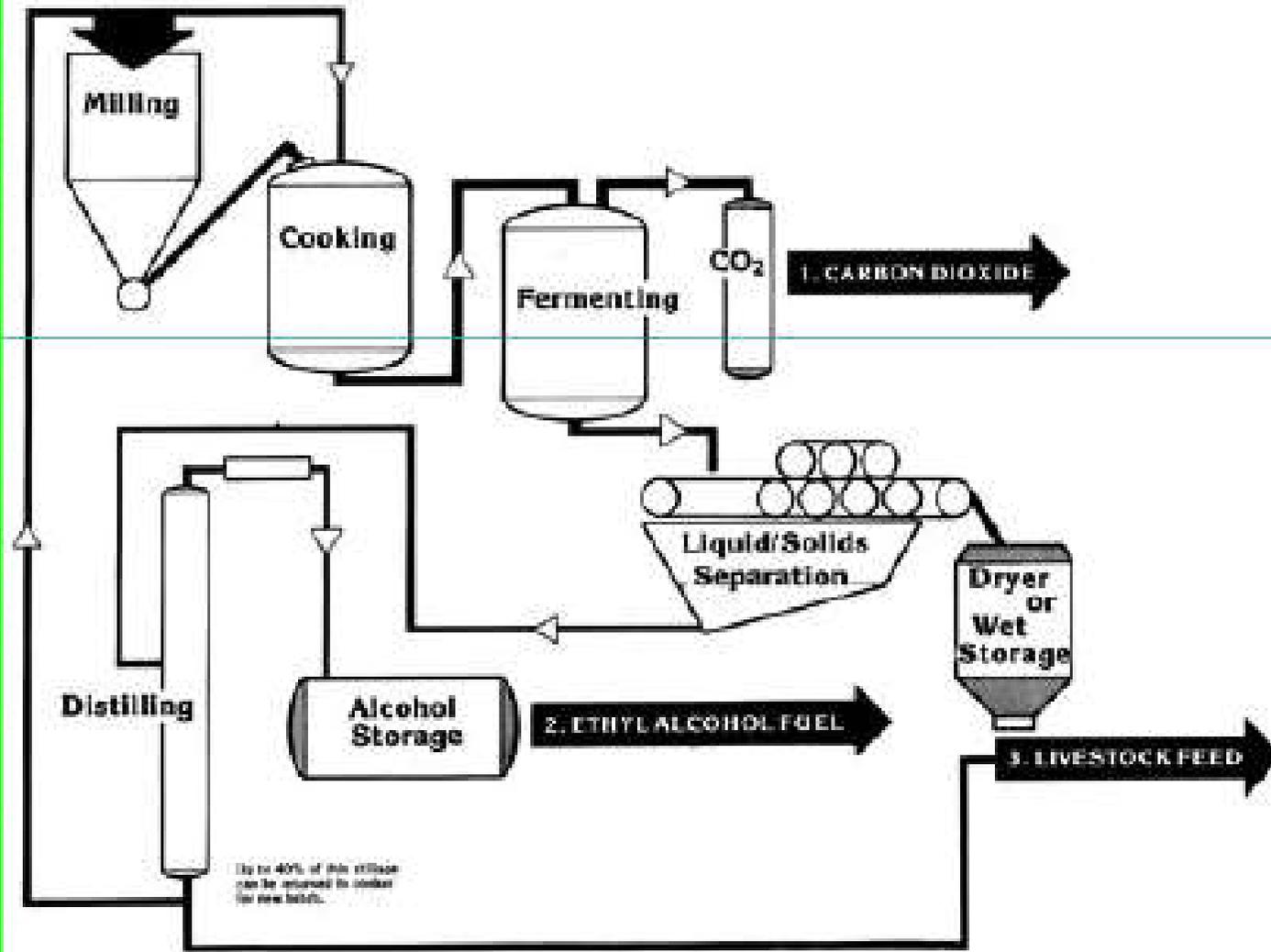


Produits de fermentation



Bioéthanol

Flow Diagram for Ethyl Alcohol Production



Au départ l'homme ne contrôlait pas les levures dans la bière. C'est Pasteur qui mit leur rôle en avant. Leur culture fut mise au point par le Danois Hansen. De nos jours deux sortes de levures sont principalement utilisées dans la fabrication de la bière : *Saccharomyces cerevisiae* (fermentation haute) et *Saccharomyces carlsbergensis* (fermentation basse).

La levure de boulangerie



Un produit naturel vivant

Le pain que nous consommons aujourd'hui est le résultat d'une évolution vieille d'au moins cinq mille ans. Cet héritage ancestral est le fruit de la découverte d'un processus alors inexplicable pouvant faire lever la pâte.

Plusieurs civilisations, les Egyptiens, les Hébreux, les Grecs, et plus tard les Gaulois et les Ibères, fabriquèrent des produits alimentaires fermentés. Pain, vin, bière, étaient obtenus par des processus empiriques, alors inexplicables.



C'est le chimiste français Louis Pasteur qui, entre 1857 et 1863, prouva que la fermentation était provoquée par des microorganismes vivants.

Les levures

Les **levures**, « champignons microscopiques unicellulaires », sont utilisées dans la fabrication du vin, du pain, de la bière...

L'utilisation de **levures** pour la panification et la vinification est connue probablement depuis l'époque préhistorique. Toutefois, la compréhension des mécanismes microbiologiques mis en œuvre date des travaux de Louis Pasteur au XIXe siècle. Les connaissances scientifiques et techniques ainsi acquises ont permis de cultiver et d'utiliser des grandes quantités de **levures** dans les procédés de fermentation industrielle, mais aussi pour la production de vitamines B, de thiamine, des antibiotiques et des hormones stéroïdes. En tant que sous-produit de procédés de fabrication, les **levures** sont utilisées comme nourriture animale.

Les levures

Actuellement, il existe trois cent cinquante espèces de **levures** connues, regroupées en trente-neuf genres différents. La cellule de **levure** constitue à elle seule une véritable usine métabolique miniaturisée.

Les **levures** sont capables de:

- dégrader les aliments qui se trouvent dans leur milieu de culture grâce à une gamme très étendue d'enzymes hydrolytiques telles que des lipases, protéases, saccharases, lactases.
- effectuer toutes ou presque les synthèses dont elles ont besoin pour leur croissance.

Levures

- Les **levures** de boulangerie, de bière et les **levures** lactiques sont les principales “ levures primaires ”
- Les **levures** de boulangerie sont cultivées principalement sur mélasse (co-produit de l'industrie sucrière), en conditions aérobies (en présence d'oxygène).
- Les **levures** de bière (brasserie) sont cultivées en anaérobiose (sans oxygène), à l'exception des premières heures de production de la bière. Les principales matières premières sont l'orge germée (malt) et le houblon.
- Les **levures** de boulangerie et de bière (brasserie) appartiennent généralement à l'espèce *Saccharomyces cerevisiae*.
- Les **levures** lactiques appartiennent généralement à l'espèce *Kluyveromyces* et sont cultivées en conditions aérobies (en présence d'oxygène), principalement sur lactosérum (co-produit de l'industrie laitière).
- Les conditions de fermentation sont contrôlées de façon à générer des **levures** aux caractéristiques spécifiques - contenu en protéines, profil d'acides aminés, vitamines du groupe B, minéraux - qui en font des ingrédients nutritionnels et aromatiques exceptionnels.

Dans la dernière décennie du 20^e siècle, la **levure** de boulangerie est produite dans le monde sur un rythme de 2,5 millions de tonnes par an. C'est la production de microorganismes la plus importante qui soit, en raison des énormes progrès techniques et scientifiques que cette industrie a su exploiter ou développer. Elle aura aussi nourri, par ses procédés innovants, toutes les industries de fermentation qui caractérisent nos biotechnologies. Production d'enzymes, d'acides aminés, de vitamines, ou encore de molécules d'intérêt thérapeutiques : hormones, antibiotiques, vaccins..

Les présentations commerciales de la levure : différentes formes pour différentes applications

Levure pressée

Levure émiettée

Levure liquide

Levure instantanée

Levure sèche active

Levure sèche à humidité intermédiaire surgelée

Levure sèche à pouvoir réducteur

Ingrédients de panification



Ingrédients spécifiques :

- Levures désactivées à pouvoir réducteur qui assurent une bonne extensibilité des pâtes ;
- Enzymes de panification qui optimisent la fermentation et améliorent la machinabilité des pâtes ;
- Starters pour levains qui permettent la réalisation des levains en une seule étape et en moins de 24 heures et participent à l'amélioration du goût du pain ;
- Farines fermentées déshydratées qui apportent arôme et acidité au pain.

Formulations d'ingrédients :

- Correcteurs de meunerie ;
- Bases concentrées pour la fabrication de mixes, prémixes et améliorants ;
- Améliorants de panification.

Bioconversions, Enzymes et arômes



En permanence tourné vers ses clients, *Lesaffre* a développé des savoir-faire spécifiques pour répondre à des demandes très ciblées.

En particulier dans les domaines suivants :

- Production d'**enzymes** pour l'alimentation animale, la brasserie et pour l'amélioration de différents procédés industriels ;
- Production de **substances aromatisantes naturelles** par bioconversion ;
- Séchage par **atomisation** de produits alimentaires très spécifiques ;
- Mélange et conditionnement d'**améliorants de panification** et de produits alimentaires pulvérulents.

Alimentation animale



Le groupe *Lesaffre* a développé une gamme d'additifs naturels pour l'alimentation du bétail. Ces produits permettent d'optimiser le système digestif des animaux d'élevage et d'améliorer les performances de leurs aliments.

BIOSAF Sc 47 - Concentré thermostable de levure vivante, biorégulateur de la flore microbienne digestive

L'emploi de BIOSAF permet de prévenir les déséquilibres de la flore microbienne digestive induits par les traitements antibiotiques ou les nombreux stress incontournables en élevage. L'utilisation de BIOSAF a pour conséquences d'améliorer la nutrition (meilleure valorisation des aliments), les performances (augmentation de la croissance, production laitière améliorée) et l'état sanitaire des animaux (réduction des diarrhées et de la mortalité).

Alimentation animale

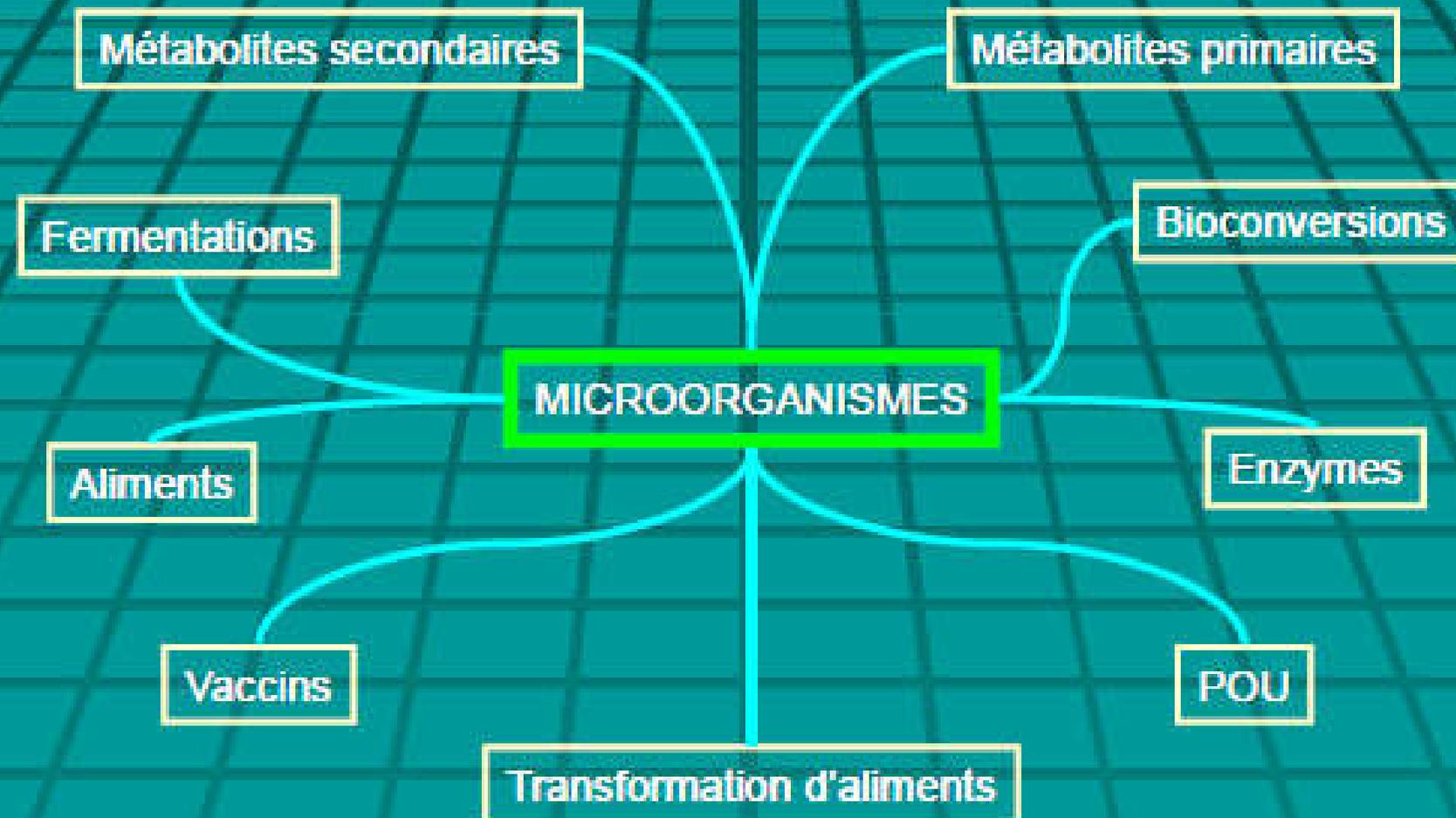
SAFIZYM X (xylanases), SAFIZYM G (β -glucanases) et SAFIZYM F (cellulases)

Une gamme d'enzymes cellulolytiques permettant d'améliorer la digestibilité des aliments pour volaille et pour porc.

Les enzymes agissent sur des substrats végétaux spécifiques. Leur intérêt est de permettre la substitution partielle d'une matière première de très bonne valeur énergétique ou protéique (e.g. riz ou maïs, et soja) par une autre de moins bonne valeur mais moins chère (e.g. blé, orge ou son de blé, tournesol ou colza). Les enzymes permettent de lever les contraintes anti-nutritionnelles et d'atténuer l'écart de digestibilité entre ces matières premières.



Place des Microorganismes



Microorganismes d'importance industrielle

<u>Microorganisme</u>	<u>Produit</u>	<u>Utilisation</u>
<i>Streptomyces</i> sp.	Vitamine B12	Supplement
<i>Lactobacillus delbrueckii</i>	Acide lactique	Réactif
<i>Aspergillus niger</i>	Acide citrique	Conservateur
<i>Acetobacter</i> sp.	Acide acétique	Vinaigre, solvant
<i>Aspergillus</i> sp.	Pectinases	Clarification
<i>Saccharomyces</i> sp.	Ethanol	Boissons, réactif
<i>Penicillium chrysogenum</i>	Penicilline	Antibiotique

Production de la Bière

trempage

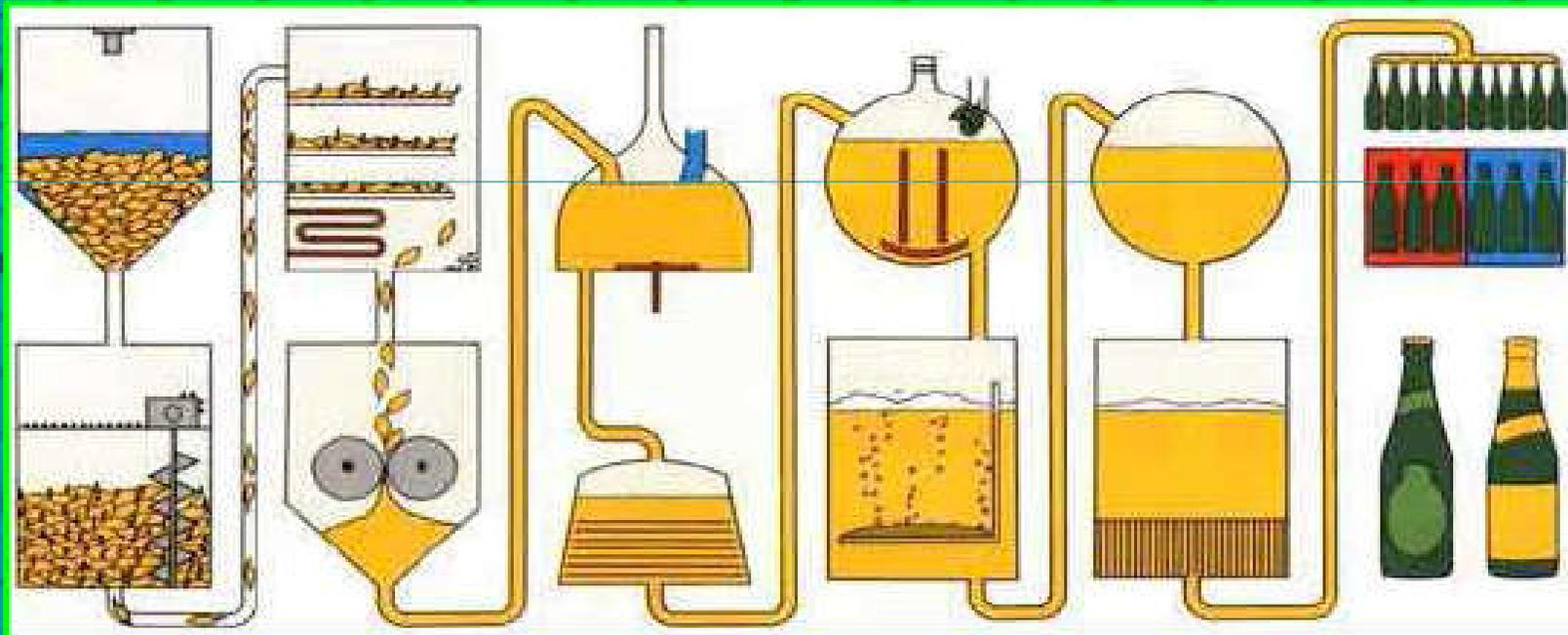
touillage

empâtage

cuisson

garde

conditionnement



germination

concassage

filtration

fermentation

filtration

Cuves de fermentation - Bière



Fermentation haute

La fermentation haute est un type de fermentation utilisé dans le brassage de la bière. Il nécessite l'adjonction dans le moût de levure « haute », qui transforme le glucose (entre autres) en alcool et en gaz carbonique.

La levure « haute » couramment utilisée est *Saccharomyces cerevisiae*. La fermentation a lieu durant 3 à 8 jours à une température de 15 à 25 degrés. Lorsque la levure haute a épuisé le glucose elle remonte à la surface de la bière, d'où l'appellation de fermentation haute.

Elle était la méthode de brassage la plus répandue avant que ne fût inventé le réfrigérateur, mais la température élevée ne protège pas la bière de bactéries ou de champignons interlopes. En particulier, la bière ainsi produite se conserve moins longtemps que celle de fermentation basse.

La fermentation haute permet d'obtenir de hautes teneurs en alcool (la levure haute n'est pas ralentie en présence d'alcool) ainsi que des arômes complexes. Les bières ainsi produites sont généralement moins chargées en gaz carbonique que les bières de fermentation basse. Elles se consomment à plus haute température que ces dernières, généralement entre 6 et 12 degrés.

Une bière obtenue par fermentation haute est couramment appelée *Ale*, notamment au Royaume-Uni.

Fermentation basse

La fermentation basse est un type de fermentation utilisé dans le brassage de la bière. Elle nécessite l'adjonction dans le moût de levure « basse », qui transforme le glucose (entre autres) en alcool et en gaz carbonique.

Les bières obtenues par fermentation basse ont un goût de houblon et de malt. Elles sont en moyenne moins fruitées et moins alcoolisées que les bières de fermentation haute, mais plus chargées en gaz carbonique. Elles se consomment fraîches, généralement entre 4 et 7 degrés.

La levure basse les plus fréquemment employé est *Saccharomyces uvarum* (anciennement *Saccharomyces carlsbergensis*). Au cours de la fermentation la levure migre vers le fond du fût, d'où l'appellation de « basse ». Celle-ci dure 7 à 10 jours entre 4 et 12 degrés.

La fraîcheur requise par le procédé a l'avantage de protéger la bière contre les bactéries et les champignons. Les bières obtenues par fermentation basse ont une durée de conservation supérieure à celles obtenues par fermentation haute. En revanche, les levures basses produisent moins d'alcool que les hautes, car leur travail est freiné par l'alcool qu'elles produisent.

Cantonné à la Bavière depuis le XVe siècle, ce mode de fermentation s'est répandu au XIXe siècle avec la Pilsener, l'invention du réfrigérateur permettant d'y recourir tout au long de l'année.

La fermentation basse est suivie d'une phase de stockage qui durait quelques mois, aujourd'hui quelques semaines. Cela vaut aux bières de fermentation basse le nom usuel de *Lager* (de *lagern*, stocker en allemand).

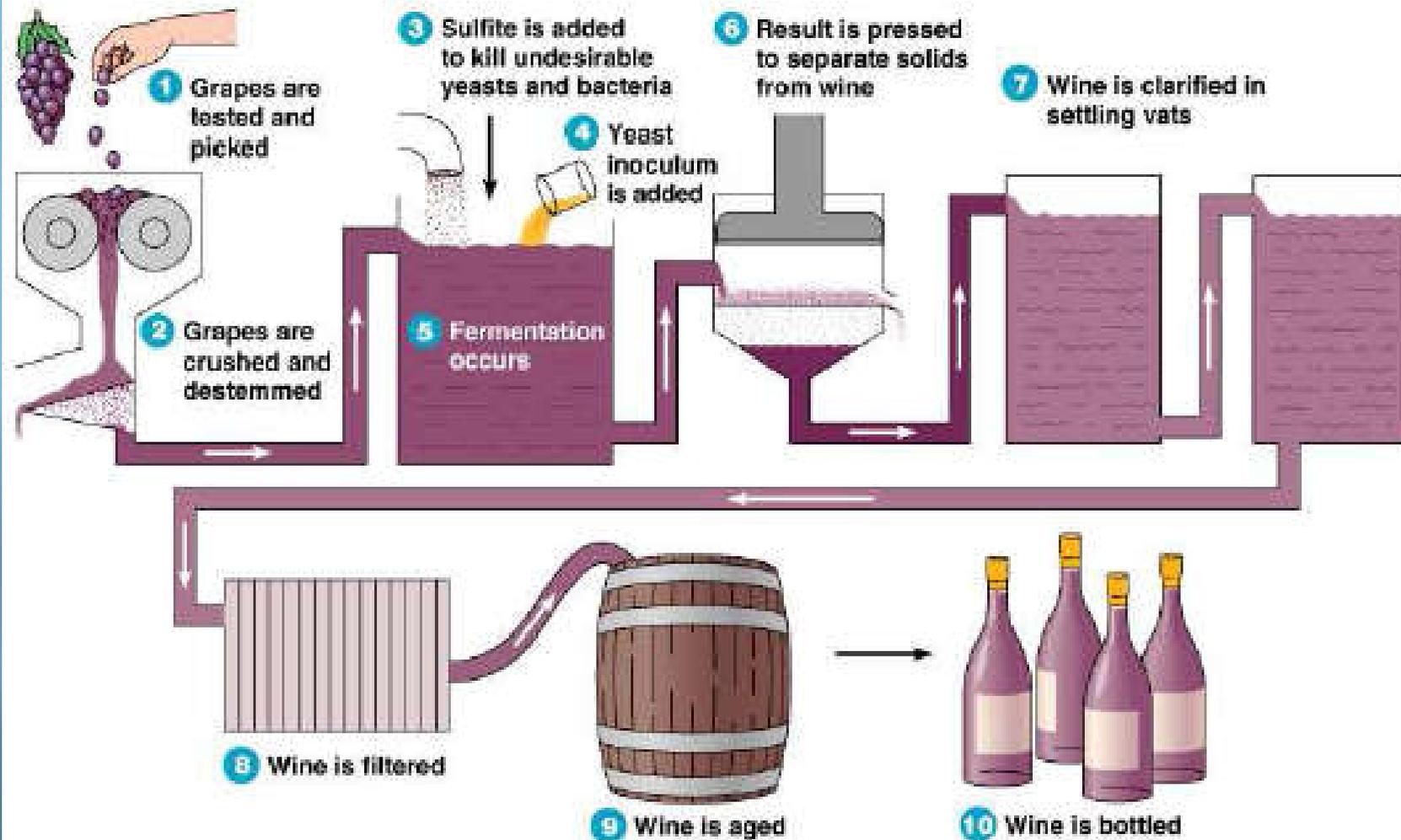
Fermentation spontanée et mixte

La fermentation spontanée est un type de fermentation utilisé dans le brassage de la bière, transformant le glucose (entre autres) en alcool et en gaz carbonique. Contrairement aux fermentations haute et basse, elle ne nécessite pas d'ajout de levure dans le moût : exposé à l'air libre, il estensemencé par des levures sauvages.

C'était le mode de production de la bière avant la culture de la levure, maîtrisée au cours du Moyen Âge. Aujourd'hui il n'est guère plus utilisé que dans les bières belges de type lambic et donne un goût acide dû aux acides lactique et acétique.

La fermentation mixte est un type de fermentation utilisé dans le brassage de la bière. Il combine la fermentation haute et la fermentation spontanée.

Fabrication du Vin



La fermentation alcoolique - Vin traditionnel

Les **sucres** contenus dans le moût sont transformés en **alcool** et en **CO₂** (gaz carbonique) par l'action des **levures**.

Cette transformation du moût en vin est un phénomène biologique qui porte le nom de fermentation alcoolique. Le moût désigne du jus de raisin dans une cuve. Pour rappel, les levures sont contenues sur la peau du grain de raisin, dans une matière cireuse qui se nomme la **pruine**.

La fermentation alcoolique se constate par :

- Dégagement de **CO₂**
- Bouillonnement du moût
- Augmentation de la température
- Changement de couleur du moût
- Changement de saveur
- Diminution de la densité du liquide



Fermentation malolactique



La **fermentation malolactique** est une **fermentation** grâce à laquelle le vin va perdre de son acidité. Elle se succède à la fermentation alcoolique et elle est indispensable à l'élaboration des vins rouges.

Découverte dans les années 60, la **fermentation malolactique** était auparavant considérée comme une maladie du vin. En effet, cette **fermentation** ne se déclenche pas systématiquement comme la **fermentation alcoolique**, elle est provoquée par des bactéries (micro-organismes) qui vont transformer l'acide malique en acide lactique (plus agréable sur le palais) en rejetant du gaz carbonique. Cette **fermentation** peut commencer quelques jours après la **fermentation alcoolique** mais elle débute, plus généralement, dans les deux mois qui suivent. Toutefois, elle peut aussi se déclencher tardivement (printemps) car c'est un processus très difficile à maîtriser et souvent capricieux.

Fermentation malolactique



Les bénéfices de cette **fermentation** sont évidents : une désacidification naturelle, une diminution de l'astringence et un renforcement de la couleur pour les vins rouges. De nouveaux arômes apparaissent et d'autres, comme les arômes primaires du raisin, s'atténuent.

La **fermentation malolactique** permet aussi de stabiliser le vin, il est moins sujet à d'autres altérations d'origines microbiennes ou levuriennes.

La **fermentation malolactique** ne s'applique pas systématiquement. En effet, pour certains vins blancs on doit préserver une certaine acidité ainsi que les parfums de fruits. Pour ces vins on empêche le déclenchement de la **fermentation malolactique** en ajoutant du soufre après la **fermentation alcoolique**.

Yaourt



Le yaourt, produit vivant, est un lait fermenté

Après la standardisation du lait (pour la rectification du taux de matière grasse), sa pasteurisation (traitement thermique) et son homogénéisation (répartition homogène des particules de matière grasse dans le lait), le lait est prêt pour la fabrication des yaourts. Il peut être écrémé, totalement ou partiellement, ou non.

On l'enrichit éventuellement en matière sèche, c'est-à-dire en poudre de lait, pour en améliorer la consistance. Puis on le refroidit à la température de 42-44C.

On l'ensemence ensuite avec deux bactéries spécifiques : *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*. La première lui apporte son acidité tandis que la deuxième développe ses arômes.

Les procédés de fabrication diffèrent selon la texture désirée : ferme, brassée ou liquide.

Yaourt



Le yaourt « ferme »

Après l'ensemencement, il est conditionné en pots qui passent à l'étuve (42° - 44°C).

Pendant trois heures, les bactéries se reproduisent par millions et s'attaquent au lactose qui est transformé partiellement en acide lactique qui modifie la structure des protéines, qui forment alors un gel.

Lorsque les yaourts ont atteint le degré d'acidité voulu (80 - 90° Dornic), ils passent en chambre froide ventilée ou en tunnel de refroidissement, et sont stockés à 2 - 4°C .

L'acidité d'un lait fermenté est communément exprimée en degrés Dornic ($0,1 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ d'acide lactique). L'accroissement d'acidité de 1°D correspond ainsi théoriquement à la consommation de $0,19 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ de lactose. De façon générale, l'acidité atteinte est de 120°D .

Le yaourt « brassé »

A la différence du précédent, sa fermentation ne s'effectue pas en pots, mais en vrac, dans des cuves. Lorsque l'acidité atteint 100° Dornic, le caillé est brassé puis refroidi avant d'être conditionné en pots, qui seront stockés en chambre froide.

Yaourt



Le yaourt « à boire »

Sa texture est liquide, justement pour lui permettre d'être bu aisément. Après avoir été brassé, il est battu dans les cuves, avant d'être conditionné.

La **DLC** (date limite de consommation) du yaourt ne peut être postérieure de 24 jours à la date de fabrication, car ses **bactéries** caractéristiques doivent rester vivantes.

Laits fermentés

Les autres laits fermentés

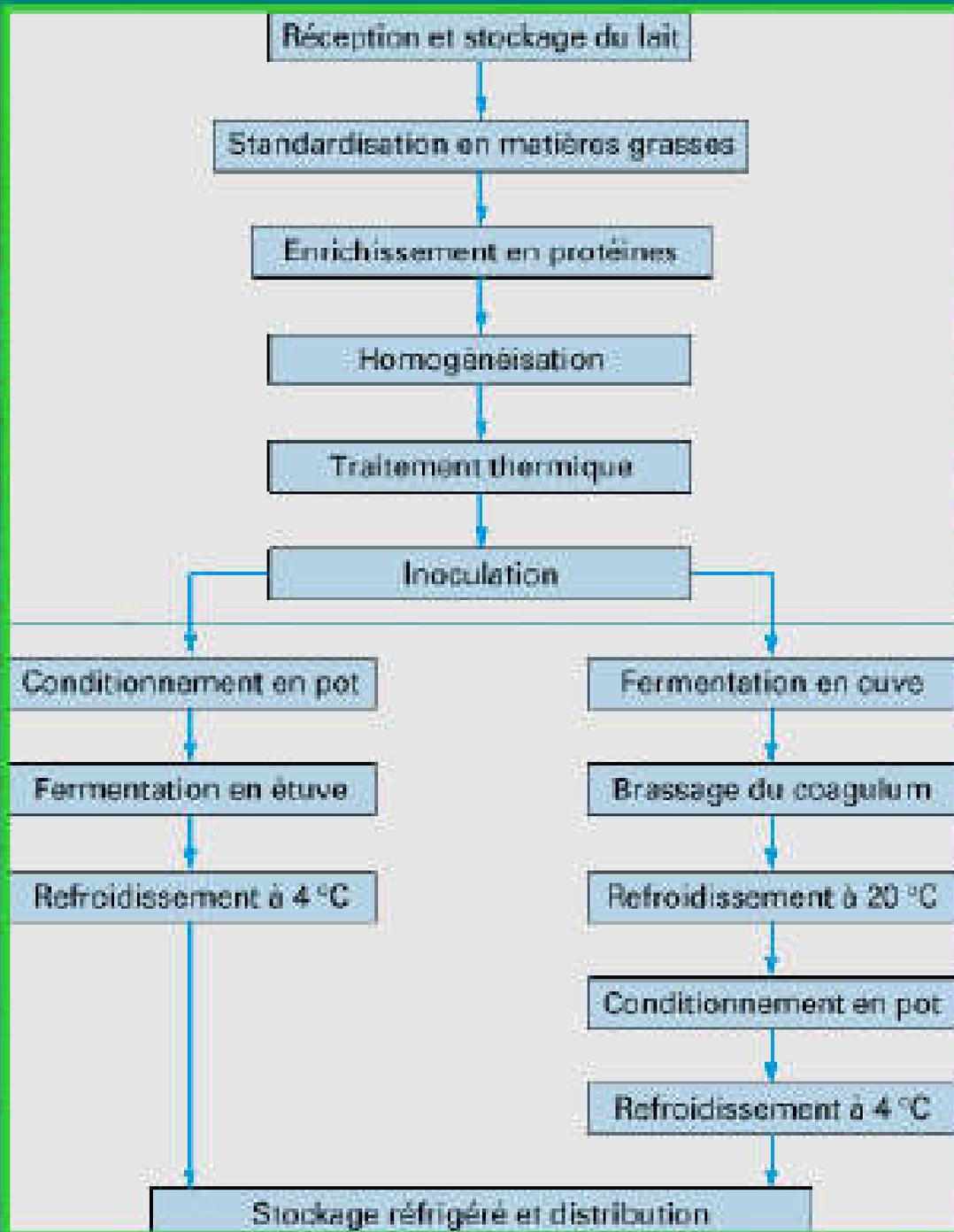
Le **lait fermenté** existe depuis des millénaires. Le lait Ribot, un lait baratté, est une spécialité gauloise ; le kéfir, ou « yaourt des centenaires » du Caucase est très consommé au Moyen-Orient ; le koumys, boisson d'Asie centrale, se prépare à base de lait de jument, d'ânesse ou de chamelle.

Les **laits fermentés** d'aujourd'hui ont des procédés de fabrication globalement identiques à ceux du yaourt. Simplement, ils n'ont pas droit à l'appellation « yaourt » car ce ne sont pas les mêmes bactéries qui assurent la fermentation du lait.

Yaourt



Diagramme général de fabrication des yaourts et des laits fermentés



Fromages

- Caillé : Caseïne solide obtenue par l'action des bactéries lactiques et de présure (rénine)
- Petit-lait : lactosérum séparé du caillé

Exemples :

- Fromages à pâte cuite produits par des bactéries lactiques
- Fromages à pâte molle affinés par *Penicillium* à la surface



CAILLAGE Le lait est mis à cailler avec de la présure et des ferments lactiques.

Selon le type de fromage que l'on veut obtenir, on utilise plus ou moins de présure et de ferments lactiques.

Fromage

Les techniques modernes n'ont rien changé à l'œuvre de la nature. Elles ont simplement permis de mieux maîtriser les phases de fabrication, apportant plus de régularité à la qualité du produit.

Par commodité, on classe les fromages en 7 familles qui vont du type de fromage le plus riche en eau, aux plus secs. Une huitième famille, à part, regroupe les fromages au lait de "chèvres".

Pour tous les fromages, la première phase du processus de fabrication est identique : on fait cailler du lait tiède en y ajoutant des ferments lactiques et de la présure. Les autres opérations peuvent être menées de façons très diverses pour aboutir à une très grande variété de fromages.

Telle fabrication est caractérisée par la manière dont le caillé est égoutté, telle autre par la taille et la forme du moule, ou par l'ensemencement, ou par la technique de salage, ou encore par le temps d'affinage...

Présure n. f. Matière sécrétée par la caillette des jeunes ruminants, contenant une enzyme qui fait cailler le lait.

Fromage

Fromages blancs (aussi appelés fromages frais)

Pâtes molles à croûte fleurie

Pâtes molles à croûte lavée

Pâtes pressées non cuites

Bleus ou pâtes persillées

Les pâtes pressées cuites

Fromages de chèvre

Ferments

On distingue deux grands types de ferments : d'acidification et d'affinage

Les ferments acidifiants sont composés d'un mélange de bactéries lactiques (*Lactobacillus* et *Streptococcus*), mésophiles (se développent aux alentours de 33°C) ou thermophiles (se développent aux alentours de 43°C, pour pâtes cuites ou yaourts).

Leur utilité principale réside en leur production d'acide lactique à partir du lactose du lait. L'acidité ainsi générée limite la croissance d'autres microorganismes pathogènes. Elle finit également par inhiber le métabolisme des bactéries lactiques elles-mêmes, et il est donc nécessaire de se débarrasser d'une partie de cette acidité au cours de l'affinage. C'est le rôle notamment des ferments d'affinage.

Les ferments acidifiants participent également à l'affinage et produisent des arômes qui leur sont propres, par exemple le diacétyl qui apporte une note typique de crème fraîche.

Les ferments d'affinage sont généralement désacidifiants (par consommation de l'acide lactique ou par production d'ammoniaque neutralisant).

Ils sont en outre fortement aromatisants. Ils se classent en bactéries, champignons ou levures. Chaque classe génère un ensemble d'arôme particuliers.

Ferments

* *Brevibacterium linens* ("ferment du rouge"): cette bactérie se développe en surface, particulièrement sur les croûtes lavées, qu'elle rend collantes. Généralement, elle colore la croûte en rouge-orangé. Elle dégrade fortement les protéines du fromage, libérant les groupements aminés sous forme d'ammoniaque (désacidifiant) mais aussi les groupements soufrés sous forme de molécules odorantes. Ces dernières possèdent généralement des odeurs fortement déplaisantes, du type chou bouilli, poireau, ail, oignon, etc. Cette bactérie est particulièrement caractéristique des fromages comme le Herve, le Münster, le Maroilles. Elle a un peu de mal à s'établir seule; son apparition (parfois spontanée) est notamment favorisée par la présence de *Geotrichum*.

* *Leuconostoc* (ou *Oenococcus*) : il s'agit d'une bactérie lactique particulière, également présente dans la choucroute et responsable de la fermentation malo-lactique des vins. Elle produit des quantités importantes de gaz carbonique, ce qui permet de provoquer l'apparition d'"ouvertures" dans la pâte.

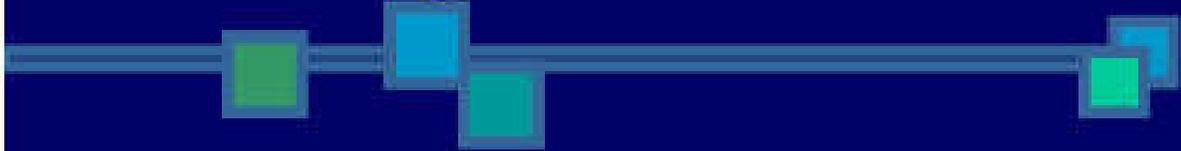
* *Geotrichum* ("le cheveu de la terre", en grec): ce champignon très discret, de couleur blanc jaunâtre est précieux pour le fromager. Parfois spontané, il s'établit très rapidement, colonise et protège l'ensemble de la croûte des opportunistes tels le *Mucor*. Excellent désacidifiant, il favorise l'implantation de *Penicillium* ou de *Brevibacterium* puis tempère leur croissance. Son arôme est discret, rappelant les pommes trop mûres. Seul, il se développe fortement en donnant à la surface du fromage un aspect plissé caractéristique souvent observé sur fromages de chèvre, surnommé "peau de crapaud".

Ferments

* *Penicillium* : champignons de couleurs variées, en général bleu (*glaucum*, *roquefort*) ou blanc (*album*, *camembert*). Ces souches ne produisent pas de pénicilline, mais consomment fortement l'acide lactique et peuvent produire de l'ammoniaque par protéolyse. Comme tous les champignons, l'oxygène leur est nécessaire, d'où une croissance en surface aisée (croûtes fleuries) mais plus difficile dans le cas des pâtes persillées qui nécessitent des perforations pour amener l'air à l'intérieur des fromages. Les *P. glaucum* peuvent générer des goûts piquants très prononcés dans les fromages acides (type Roquefort), plus doux dans les fromages plus neutres (Fourme d'Ambert). Ils peuvent également engendrer l'apparition d'amines allergisantes (histamine, etc.), responsables d'intolérance au produit pour certaines personnes (ceci est fréquent par exemple avec les Gorgonzola piquants).

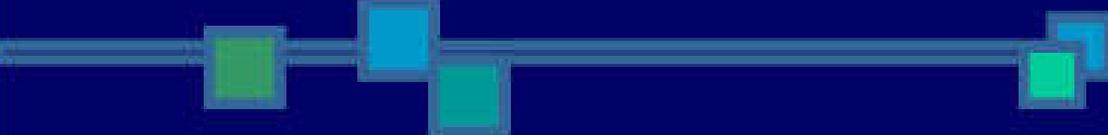
* *Levures* (*Candida*, *Kluyveromyces lactis*, etc.): ce sont des champignons levuriformes. Amateurs de l'oxygène, ils se développent en surface où ils sont très discrets visuellement. Leur intérêt réside dans les arômes produits, de type fruités et/ou alcoolisés (comme dans les vins jeunes) et dans leurs capacités désacidifiantes.

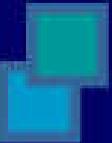
Le vinaigre



- La « mère de vinaigre »
 - La « mère de vinaigre » est le regroupement des bactéries acétiques qui se forme en surface du vinaigre. Elle a une consistance gélatineuse mais ferme et une couleur proche du liquide qu'on acétifie et va donc du blanc crème au rouge. La « mère de vinaigre » doit flotter en surface afin d'assurer l'acétification car les bactéries ont besoin d'air pour assurer ce travail. Pasteur écrivait déjà dans ses *Etudes sur le vinaigre et le vin* : « J'ai reconnu que la fleur de vinaigre [mère] ne détermine plus l'acétification dès qu'elle est submergée. Il faut, pour qu'elle agisse, qu'elle recouvre la surface du liquide. »
- 

Le vinaigre



- Pasteur précise cependant que « *le Mycoderma aceti submergé n'acétifie pas alors même qu'il continue de vivre et de se multiplier.* » Les mères englouties permettent donc de démarrer une acétification dans un nouveau vinaigrier. Elles ne doivent, de toute manière, jamais être jetées car elles sont composées, à plus de 99 %, de vinaigre. Il suffit de les presser dans la main afin de récupérer celui-ci.
 - Lorsque vous serez en possession d'une mère qui vous permettra de démarrer un vinaigre, il vous sera peut-être difficile de la maintenir en surface. Voici donc un petit truc très utile : déposez en surface deux petits bâtonnets de hêtre utilisés par les médecins afin d'examiner la gorge des patients et posez délicatement la mère dessus, cela l'aidera à flotter. Une autre manière d'assurer l'ensemencement consiste à récupérer tout le vinaigre de la mère par pressage – car il est particulièrement riche en bactéries acétiques – et à le laisser ensuite couler délicatement en surface.
- 

Bioréacteurs

Fermentations pour la production de :

Biomolécules :

- Aminoacides
- Acide citrique
- Enzymes
- Vitamines

Biotransformations de stéroïdes

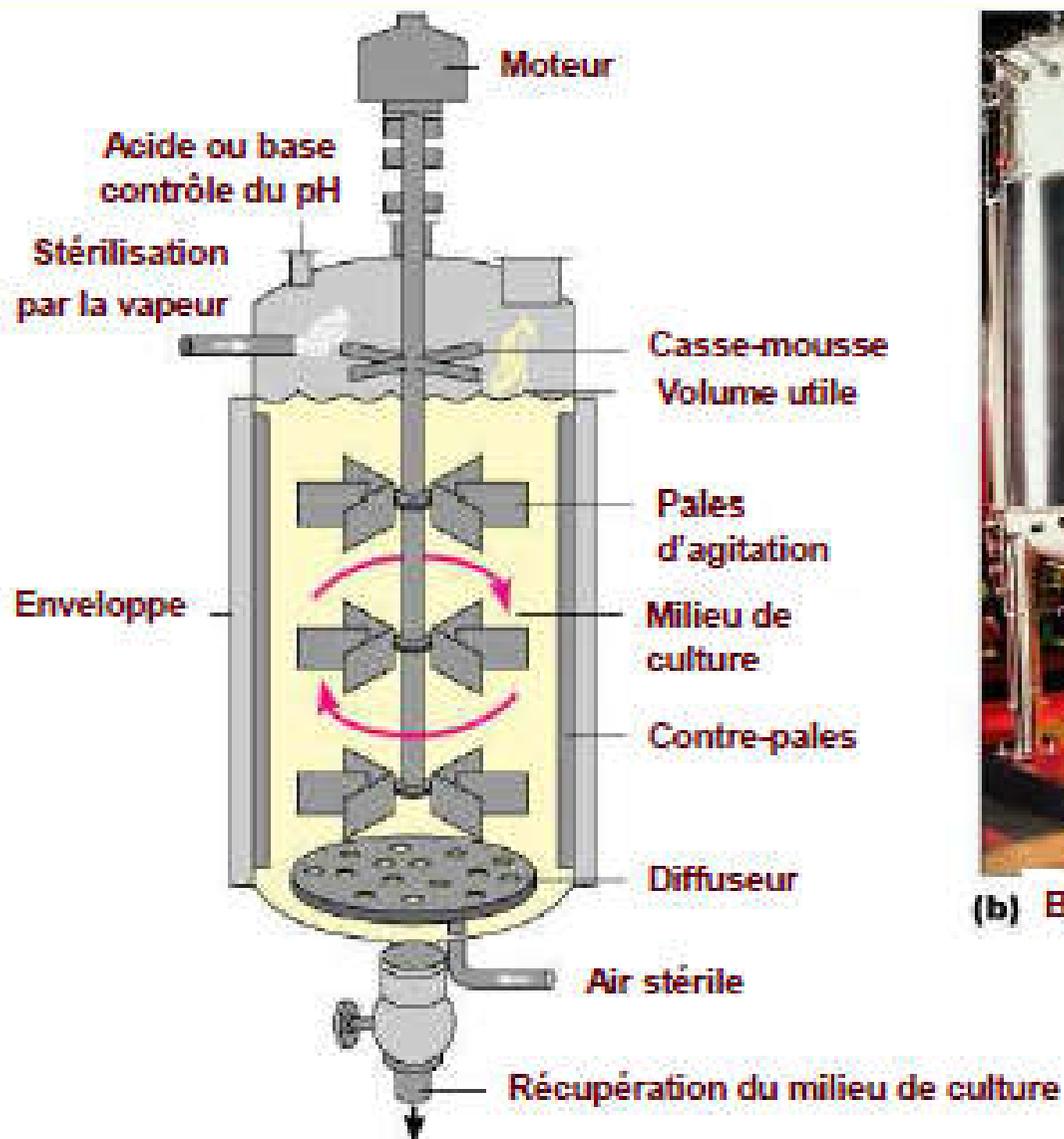
Produits pour l'industrie chimique

Denrées alimentaires :

- Boulangerie
- Produits dérivés du lait
- Condiments



Bioréacteurs



(a) Bioréacteur à culture submergée



(b) Bioréacteur système intégrée

Microbiologie industrielle

Secteur alimentaire

Fermentations, bioconversions, cultures

Production

Aliments et boissons, Additifs alimentaires

Ferments, Vitamines

Enzymes, Autres

Secteur médical et pharmaceutique

Fermentations, bioconversions, cultures

Production

Antibiotiques, Vitamines

Vaccins, Stéroïdes

Enzymes, Autres

Microorganismes utilisées

Screening - sélection hyperproducteurs

Mutants - mutation naturel ou induite (mutagènese dirigée)

Génie Génétique (Biologie Moléculaire)

Equipements, Techniques

- Bioréacteurs

- Biocatalyseurs (supports, immobilisation)