



Microbiologie Industrielle

Cours proposé aux étudiants de la
Licence de Biologie S6

par : *José Edmundo NAVA SAUCEDO*

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 42-44°C.

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 g·L⁻¹ d'**acide lactique**). L'accroissement d'acidité de 1°D correspond ainsi théoriquement à la consommation de 0,19 g·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.

Un **yaourt** contient au minimum 10 millions de **bactéries lactiques** vivantes par gramme ! Produit vivant, le **yaourt** se distingue du « produit » thermisé dont on cherche à allonger la durée de conservation avant la consommation, en tuant sa flore bactérienne, ce qui lui interdit de porter la dénomination **yaourt** qui s'attache à définir un produit "vivant".

Un **yaourt** peut se décliner avec un taux de matière grasse variable, selon celui du **lait** utilisé pour sa fabrication.

Il peut être sucré ou non. Il peut contenir des ingrédients qui en modifient le goût : morceaux de fruits, miel, confiture, arômes naturels ou de synthèse autorisés.

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.

Laits fermentés

En 1899, une nouvelle bactérie était identifiée par l'Institut Pasteur : *Bacillus bifidus* communis. Aujourd'hui, on a isolé plusieurs sortes de bactéries répondant au terme générique de bifidus.

Les plus célèbres sont *Bifidobacterium longum* et *Bifidobacterium bifidum*, présentes dans l'intestin des nouveau-nés.

En 1978, les Japonais utilisèrent les premiers cette bactérie dans les produits laitiers.

La France fit de même en 1981 avec la commercialisation du premier lait fermenté au bifidus.

Il existe aussi des laitsensemencés avec le *Lactobacillus acidophilus* (lait à l'acidophilus).

Yaourt



Consommation de produits laitiers frais en 1999 (en kg par habitant)
Laits fermentés et desserts lactés frais

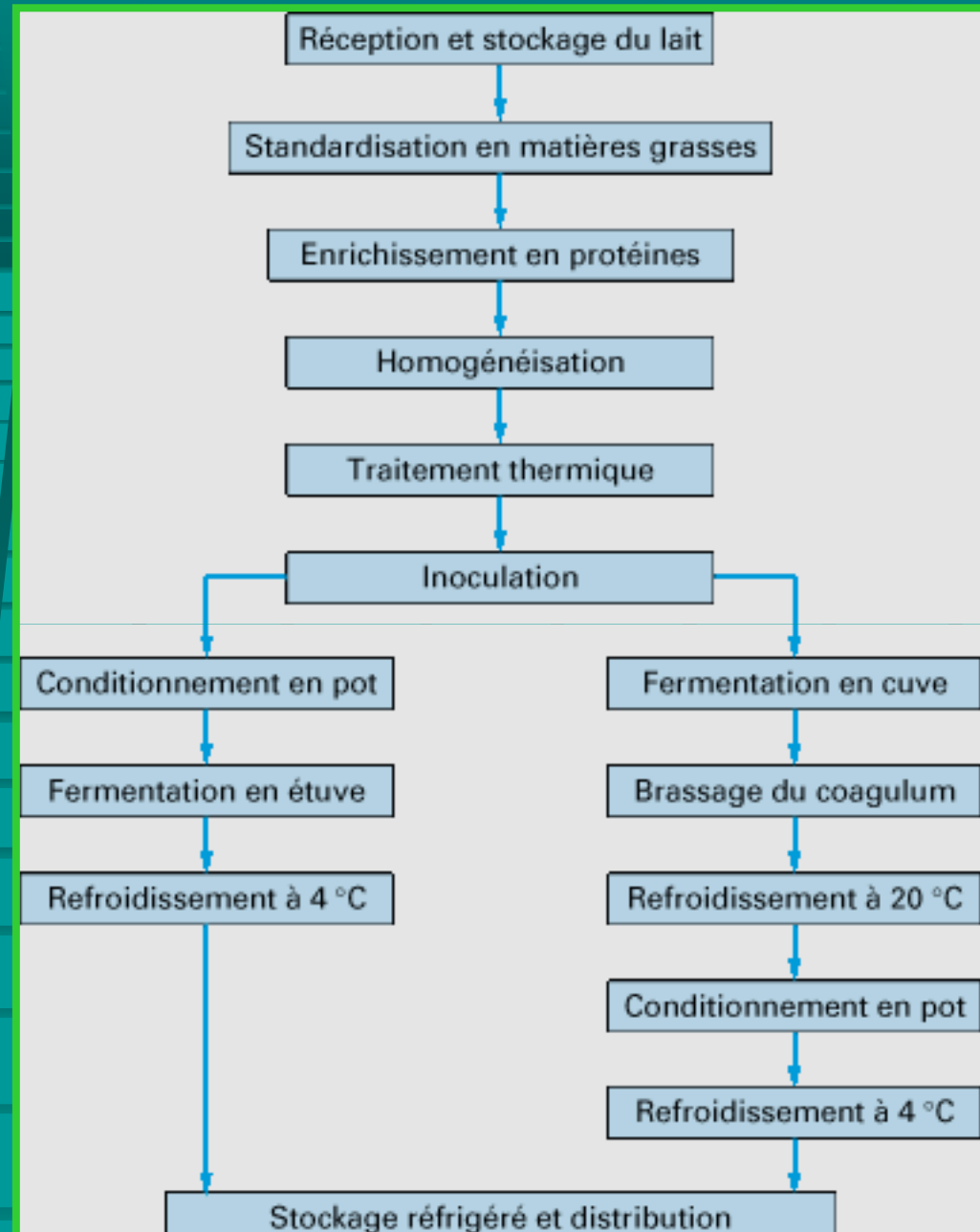
Néerlandais	38,9	Irlandais	11,6
Finlandais	30,9	Autrichien	9,4
Français	27,6	Britannique	6,8
Allemand	26,9	Grec	7,2
Belge/Luxembourgeois	24,5	Italien	6,4
Suédois	19,8		

Source : CNIEL d'après Eurostat

Yaourt



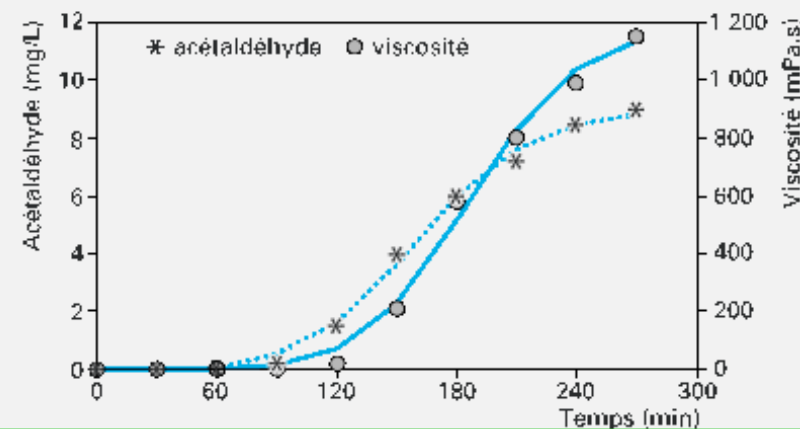
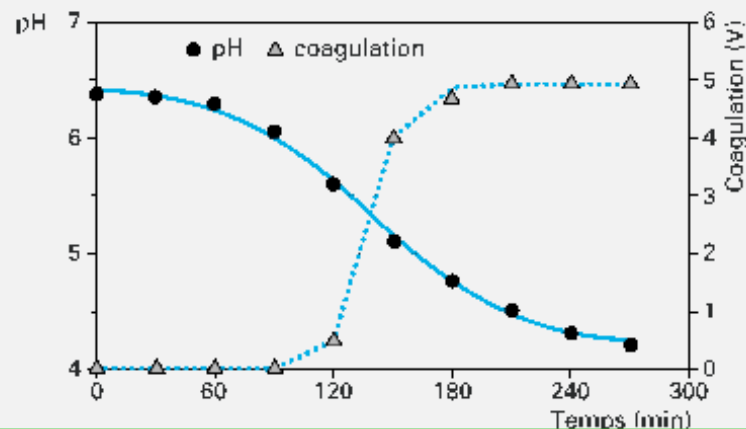
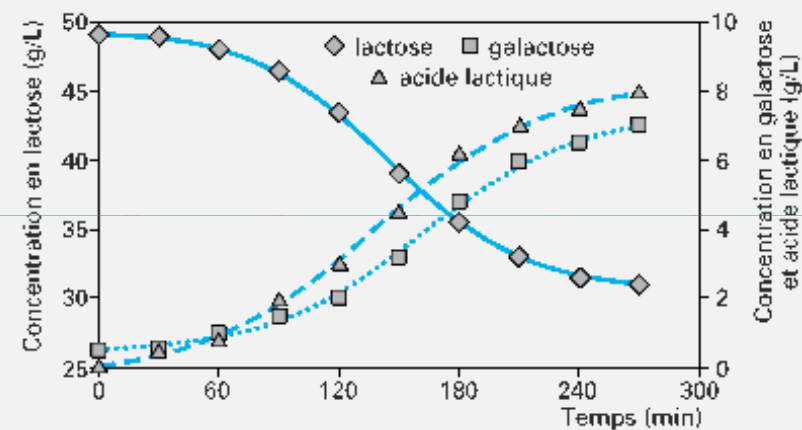
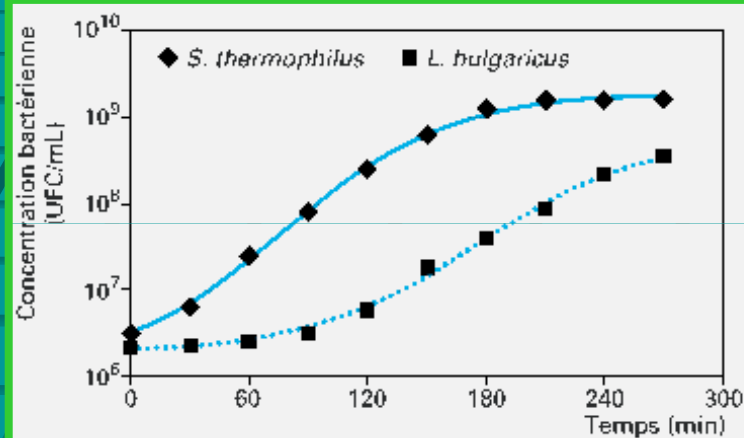
Diagramme général de fabrication des yaourts et des laits fermentés



Yaourt



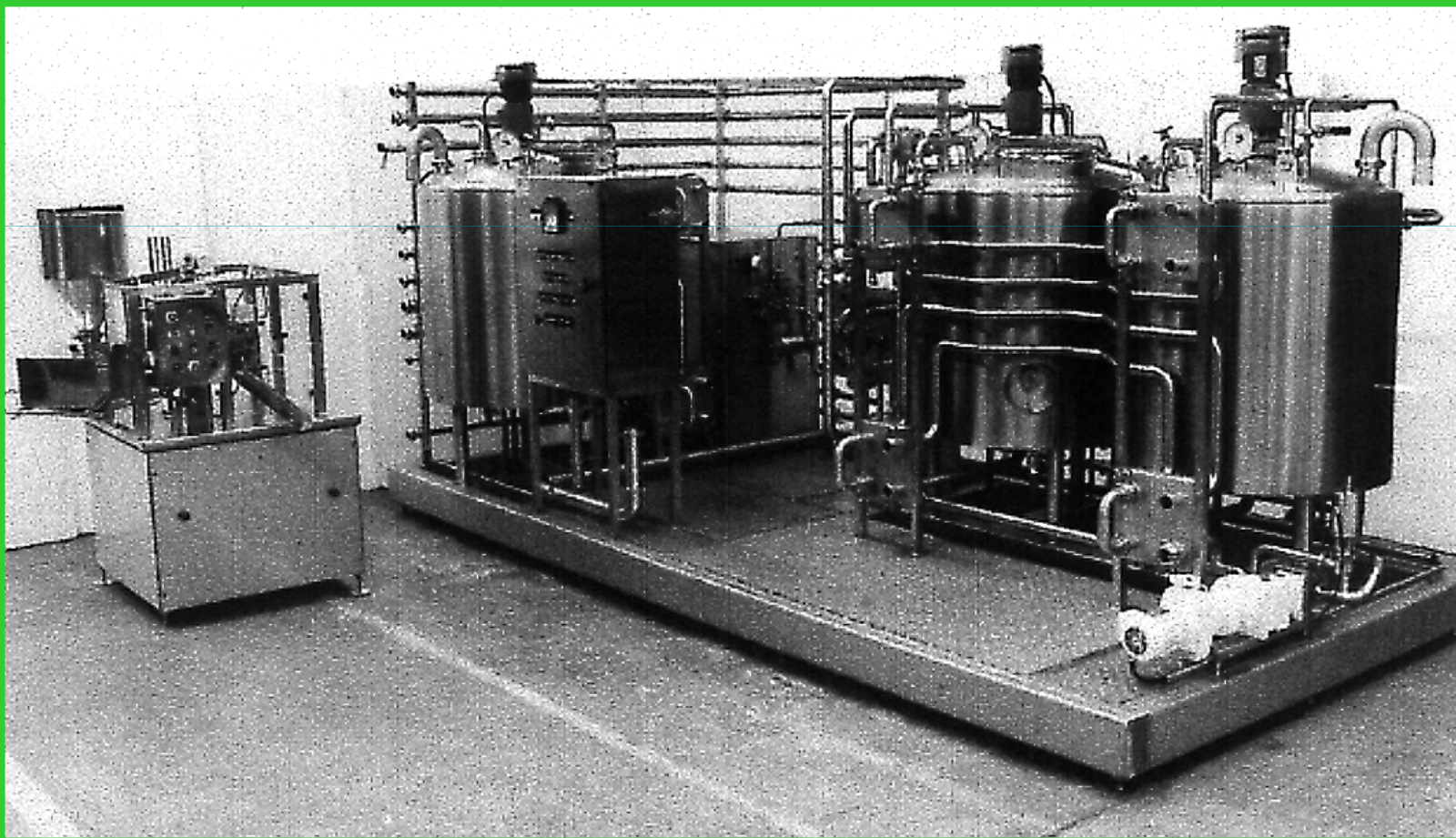
Évolution des principales caractéristiques microbiologiques et physico-chimiques lors de l'étape d'incubation d'un yaourt brassé



Yaourt



Installation pilote de production de yaourts brassés



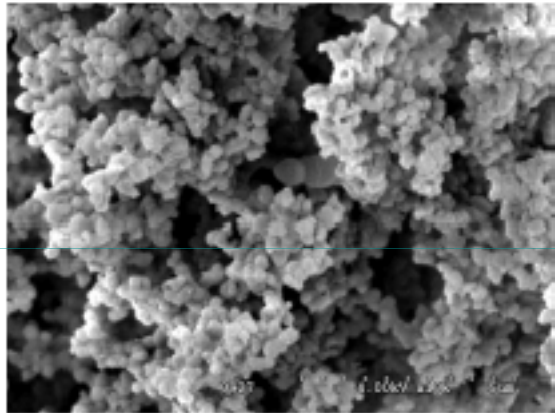
Yaourt



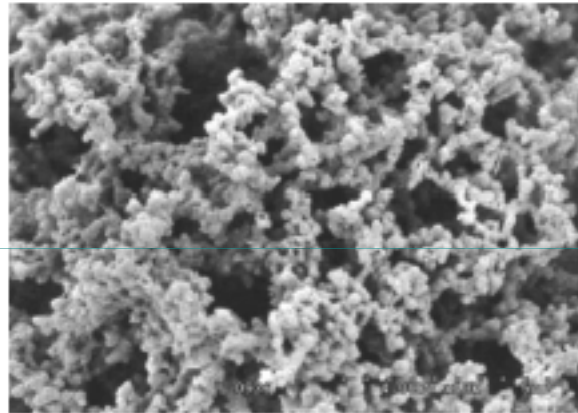
Installation de production de Laits Fermentés



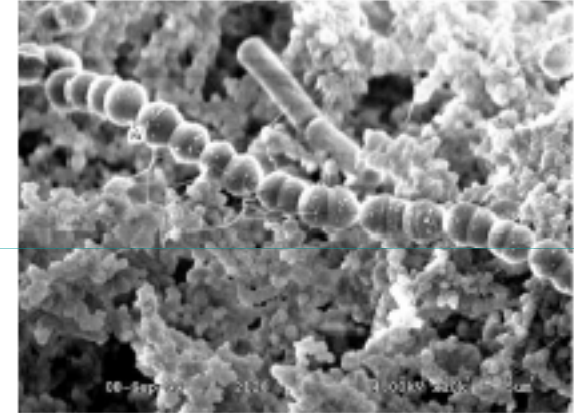
Yaourt



(a) lait chauffé à 80 °C pendant 1 min



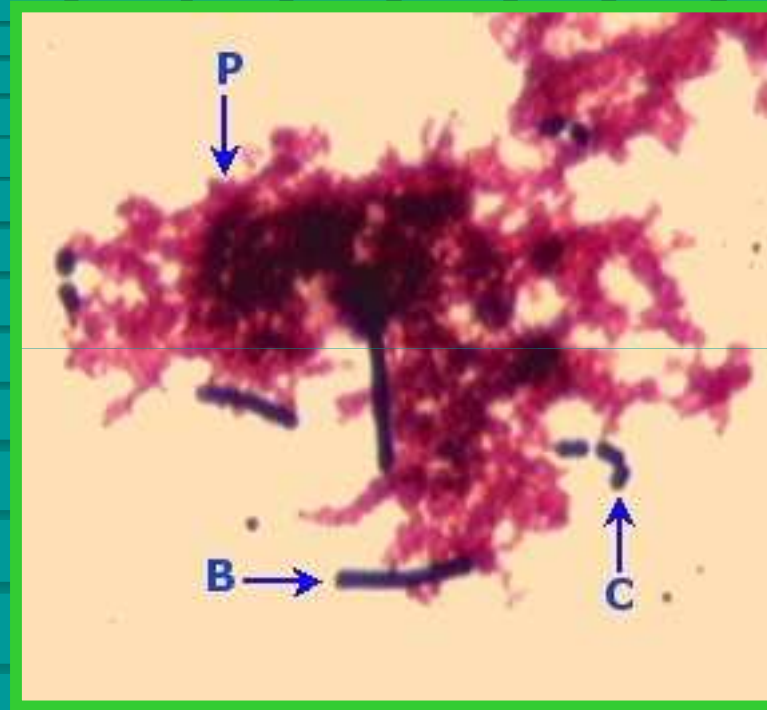
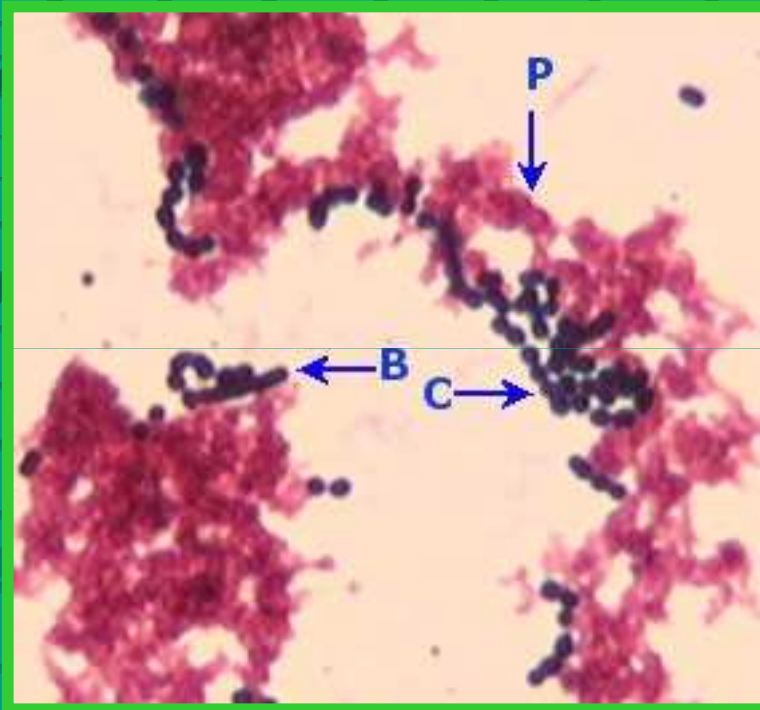
(b) lait chauffé à 90 °C pendant 1 min



(c) lait fermenté avec *L. bulgaricus*
et une souche de *S. thermophilus* texturante

Effet du chauffage du lait et des ferments utilisés sur l'organisation du réseau protéique des yaourts. Micrographies (source J.P. Tissier - INRA)

Yaourt



B = *Lactobacillus bulgaricus*
C = *Streptococcus thermophilus*
P = Protéines (Caséine)

Yaourt

Caractères généraux des principales bactéries lactiques utilisées en fabrication de laits fermentés

Bactérie	Type de métabolisme (1)	Forme isomère de l'acide lactique	Température optimale de croissance (°C)
<i>Leuconostoc</i> ssp.	Hét	D(-)	18 à 30
<i>Lactococcus lactis</i>	Hom	L(+)	27 à 32
<i>Streptococcus thermophilus</i>	Hom	L(+)	39 à 44
<i>Lactobacillus bulgaricus</i>	Hom	D(-)	40 à 46
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	Hom	DL	35 à 40
<i>Lactobacillus casei</i>	Hom	L(+)	35 à 40

(1) Hét : hétérofermentaire ; Hom : homofermentaire.

Yaourt

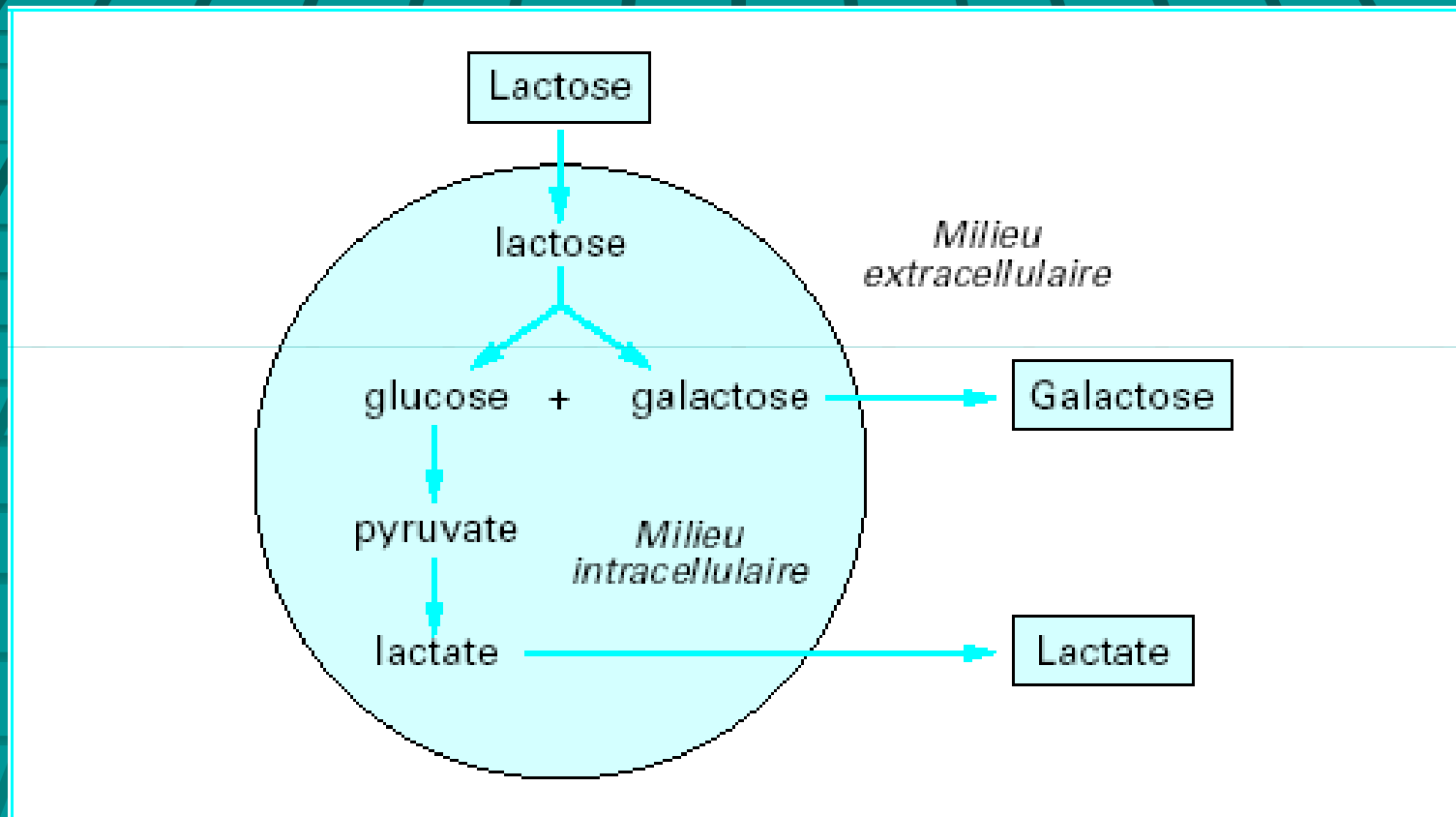


Schéma simplifié des réactions du métabolisme fermentaire chez les bactéries lactiques homofermentaires du yaourt

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.

LA FABRICATION DU FROMAGE



CAILLAGE (du lait pour le Beaufort)

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.

LA FABRICATION DU FROMAGE



MOULAGE (du caillé pour le camembert)

Le caillé obtenu est déposé dans des moules perforés.

Les moules de formes et de tailles variées donnent leur forme aux fromages.

LA FABRICATION DU FROMAGE



EGOUTTAGE (sous presse pour l'Emmental)

Le caillé est égoutté pour évacuer le lactosérum.

Pour les fromages à pâte pressé, le caillé est fortement pressé dans le moule pour extraire le maximum de lactosérum.

LA FABRICATION DU FROMAGE



SALAGE (pour le camambert)

Les fromages sont démoulés et salés.

Les fromages sont salés soit par saupoudrage de sel sec, soit par immersion dans l'eau salée (saumure).

LA FABRICATION DU FROMAGE



AFFINAGE (Cave d'affinage pour le Beaufort)

Les fromages mûrissent (fermentation) en cave d'affinage dont la température et l'humidité sont contrôlées. Pendant l'affinage, les fromages sont régulièrement retournés, certains sont lavés, d'autres sont brossés.

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

Fromage

Fromages blancs (aussi appelés fromages frais)

Ce sont des fromages non affinés, ils sont de couleur blanche, fabriqués avec du lait de vache, de chèvre ou de brebis.

Leur fabrication comprend deux étapes :

- * le caillage, coagulation du lait en présence de ferments lactiques et d'un peu de présure ;
- * l'égouttage spontané (ou accéléré par centrifugeuse), qui permet de séparer le caillé du lactosérum (petit lait).

Les fromages frais sont en général peu égouttés. Le caillé est ensuite mis en pots (fromages blancs de type "faisselle"). Il peut aussi être battu (fromages blancs lisses) et éventuellement additionné de crème ou d'autres ingrédients (sucre, fruits...), salé ou aromatisé.

Tous les fromages frais sont immédiatement réfrigérés, il s'agit d'un produit laitier ultra-frais.

Fromage

Pâtes molles à croûte fleurie

Ces fromages se caractérisent par une croûte couverte d'un duvet blanc et feutré appelé "fleur", d'où le nom de croûte fleurie. Le camembert, le brie, mais aussi le chaource et le saint marcellin sont parmi les plus célèbres représentants de cette famille.

Le lait de vache est coagulé par adjonction de ferments lactiques et de présure. Le caillé est ensuite moulé dans un moule perforé où il s'égoutte très lentement. Une fois démoulé, le fromage est salé et séché dans un hâloir. Puis on ensemence la surface des fromages en pulvérisant du *Penicillium camemberti*, un champignon qui se développe au cours de l'affinage et donne aux fromages leur croûte duvetée particulière.

Selon les fromages, le séjour en cave d'affinage dure entre 2 et 6 semaines.

Fromage

Pâtes molles à croûte lavée

Cette famille compte l'époisses, le maroilles, le pont-l'évêque, le livarot, le munster ...

Le procédé de fabrication est identique à celui des pâtes molles à croûte fleurie. C'est l'étape de l'affinage qui fait la différence.

Après le démoulage, les fromages sont placés sur des planches pour y être salés. Au bout de dix jours de hâloir, ils sont transférés dans une cave tempérée et humide.

Intervient alors l'opération majeure d'où ils tirent leurs caractéristiques, notamment la couleur orangée de la croûte : ils sont régulièrement lavés avec de l'eau salée. Cela préserve la souplesse de la croûte et favorise le développement des "ferments du rouge" qui ont besoin d'humidité. On les brosse aussi pour activer la fermentation.

Dans certaines régions, on utilise du marc, du vin, du cidre ou de la bière pour laver la croûte des fromages, ce qui leur donne un goût particulier.

Fromage

Pâtes pressées non cuites

Dans cette famille où l'on trouve le saint paulin, le cantal, le salers et le saint nectaire, le trait caractéristique tient au fait que l'on presse assez fortement le caillé dans les moules pour l'égoutter.

Le lait est coagulé. Le caillé égoutté est émietté en petits morceaux. Moulé dans des moules perforés, il est pressé pour en évacuer au maximum le lactosérum.

Le temps de pressage varie selon le taux d'humidité que l'on veut donner à la pâte : celle du reblochon et du morbier est moins compacte que celle du cantal. Les fromages sont ensuite salés par immersion dans un bain de saumure et démoulés.

On éponge le fromage et, à plusieurs reprises, on le frotte de sel, à sec, en espaçant les opérations. Ils sont ensuite placés en cave humide pendant deux à trois mois. Pendant l'affinage, ils sont régulièrement retournés, frottés et parfois lavés.

Les fromages de grande dimension comme le cantal et le laguiole sont moulés en plusieurs fois : chaque pièce est constituée de plusieurs tomes qui se soudent et s'homogénéisent sous la pression.

Fromage

Bleus ou pâtes persillées

A l'exception du roquefort, fabriqué avec du lait de brebis, la quasi-totalité des pâtes persillées est fabriquée à partir du lait de vache : bleu d'Auvergne, de Gex, des Causses, fourme d'Ambert.

Le lait est coagulé. Le caillé est ensuite, égoutté, émietté. Salé etensemencé avec les spores d'un champignon, le *Penicillium glaucum*, pour les bleus ou le *Penicillium roqueforti* pour le roquefort, il est ensuite tassé dans des moules. Après pressage, les fromages sont démoulés.

Avant le départ en cave d'affinage, ils sont percés de part en part avec de longues aiguilles. Cela permettra à l'air de circuler dans la pâte pour favoriser le développement des moisissures pendant l'affinage. Celui-ci est long et minutieux, il se fait en cave à température et degré d'hygrométrie contrôlés.

Fromage

Les pâtes pressées cuites

Ces fromages, dont les représentants les plus célèbres sont le gruyère, le comté, l'emmental et le beaufort, se caractérisent par le procédé de travail du caillé et la taille énorme des meules.

Ces fromages sont appelés également fromages de garde : dans leurs terroirs de montagne, ils constituaient autrefois un bon moyen de conserver de la nourriture pour les longs mois d'hiver.

La fabrication peut durer jusqu'à 20 heures avant le départ à l'affinage. Le lait est coagulé en cuves géantes (1 000 à 2 000 litres !). Puis, il est tranché en petits dés dans sa cuve. Il y est ensuite brassé et chauffé. Pendant le brassage qui dure au minimum 45 minutes (à 53°C – 54°C), les dés de caillé se contractent, se transformant en grains.

Quand le brassage est terminé, les grains de caillé sont retirés de la cuve, moulés dans d'énormes moules et mis sous presse. Une fois démoulée, la meule de fromage est immergée dans un bain d'eau salée.

L'affinage se passe ensuite en deux étapes : un séjour en cave fraîche suivi d'un séjour cave "chaude" (19°C ou plus). Pendant l'affinage, les meules sont retournées, brossées et parfois frottées au sel.

Fromage

Fromages de chèvre

Picodon, valencay, sainte maure, crottin de chavignol, chabichou, c'est une famille nombreuse. Son dénominateur commun n'est pas le type de fabrication mais la matière première : le lait de chèvre, pasteurisé ou non.

On fait cailler le lait par addition de ferments lactiques ou de présure. La quantité de présure utilisée et la durée de coagulation sont déterminantes dans la fabrication du fromage. Dans le cas du sainte maure ou du crottin, on ajoute peu de présure et la coagulation est lente (24 heures). Par contre, pour fabriquer un fromage de chèvre de type pâte molle à croûte fleurie, l'emprésurage sera important et la coagulation ne durera qu'une heure.

Le caillé obtenu est ensuite égoutté, moulé et salé. La durée de l'affinage dépend de la taille du fromage et de la consistance souhaitée. Lorsqu'il sort du moule, le fromage de chèvre est frais. Au bout de huit jours, il commence à développer des arômes et des saveurs typiques. Après deux semaines, son goût s'affirme nettement. Une fois sec, voire très sec - au bout de 3 à 4 semaines - sa pâte devient compacte et ferme.

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**, **roqueforti**) ou blanc (**album**, **camemberti**). 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.

Vinaigre



Vinaigre

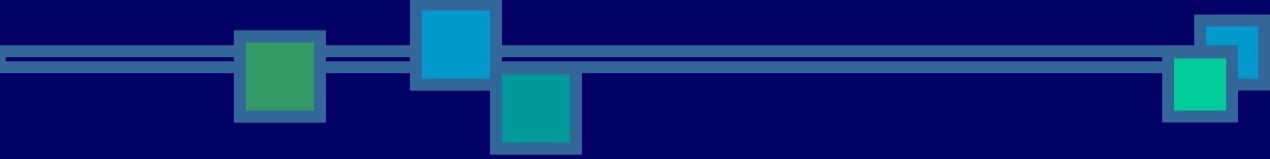


Le vinaigre

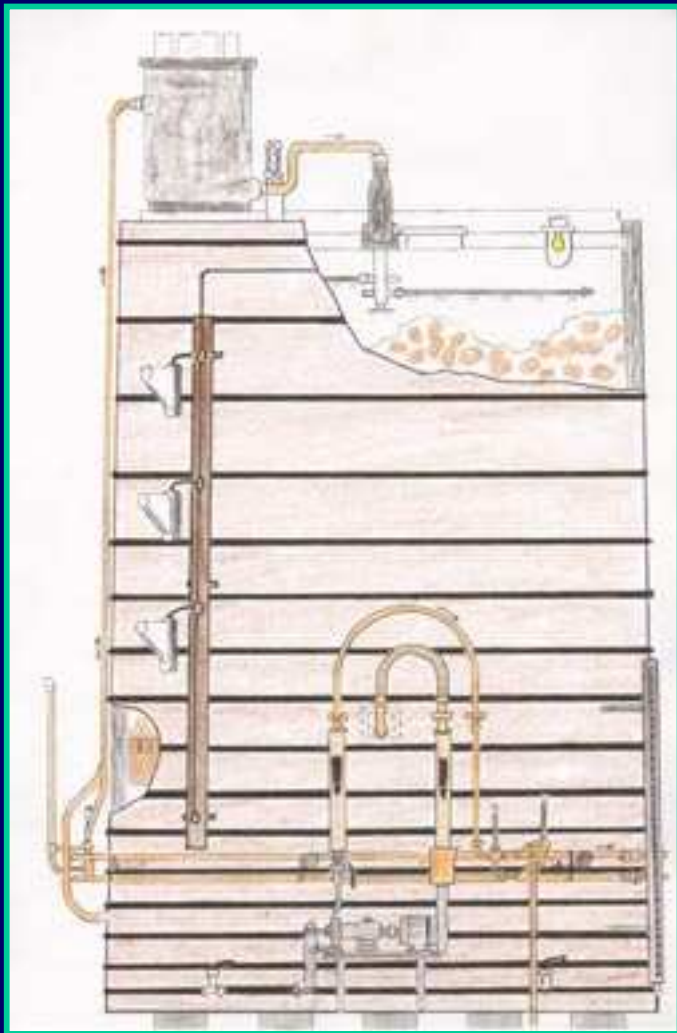
- La « mère de vinaigre »

- 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.
- 

Le vinaigre - procédé sur copeaux d'hêtre



Générateur *FRINGS*

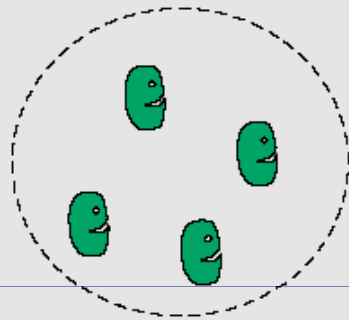
Le vinaigre - procédé sur copeaux d'hêtre



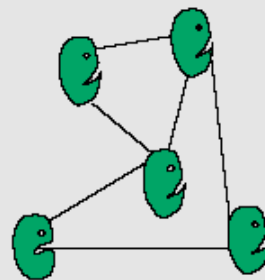
- Son principe consiste à faire ruisseler de façon continue le liquide à acétifier sur une masse de copeaux de hêtre reposant dans de grandes cuves. Ceux-ci conçus exclusivement pour les vinaigreries sont enroulés en spirales, légèrement ouvertes avec un côté rugueux à l'extérieur pour servir de support aux bactéries.
- Le liquide à acétifier est situé au fond de la cuve.
- Pendant qu'une turbine souffle dans celle-ci de bas en haut, oxygène indispensable aux bactéries, une pompe placée au fond de la cuve récupère le liquide et le renvoie à un tourniquet arroseur qui reverse sans cesse l'alcool à transformer sans discontinuer sur la masse de copeaux et ce jusqu'à atteindre une acétification parfaite.
- Trois thermomètres coudés permettent le contrôle de la température qui doit rester en dessous de 40 ° C.



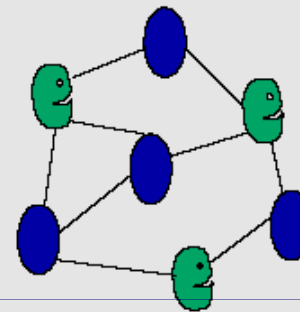
Types d'immobilisation



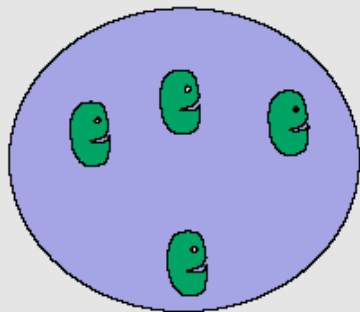
Confinement (e.g. micro-capsules)



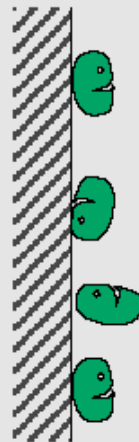
Réticulation



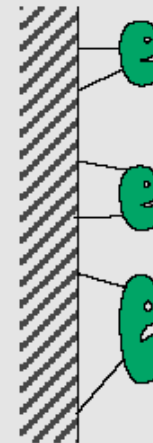
Co-réticulation



Inclusion



Adsorption



Liaisons covalentes

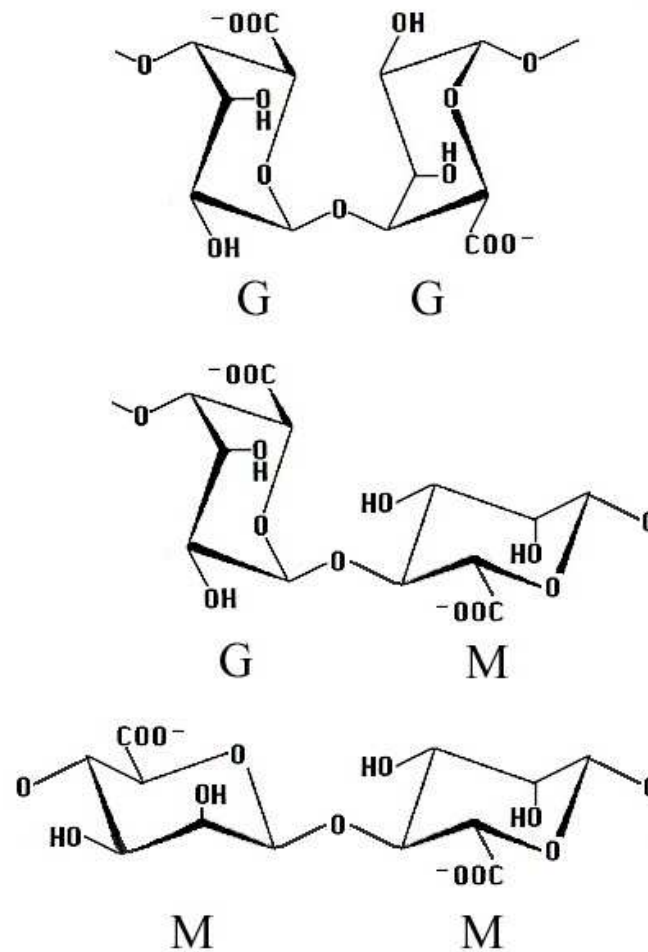
L 'alginate

Polysaccharide extrait à
partir d'algues brunes

Macrocystis pyrifera

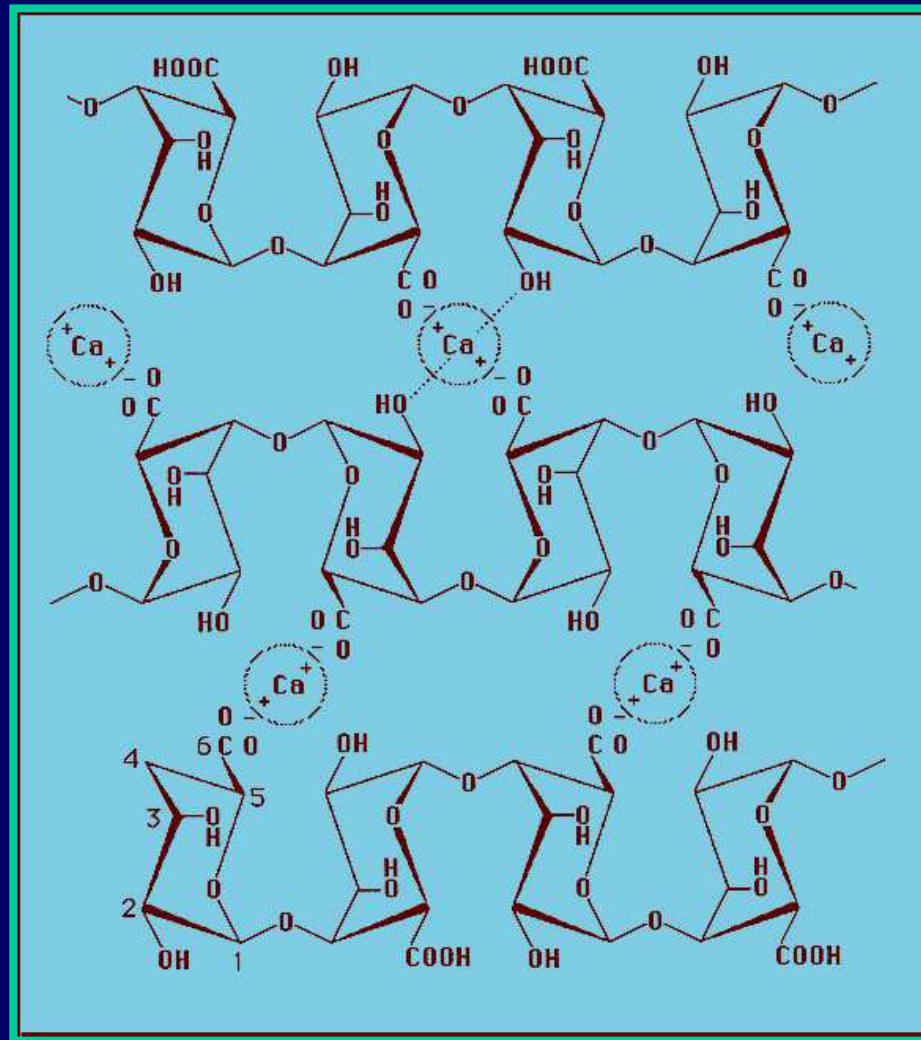
ou

Laminaria hyperborea

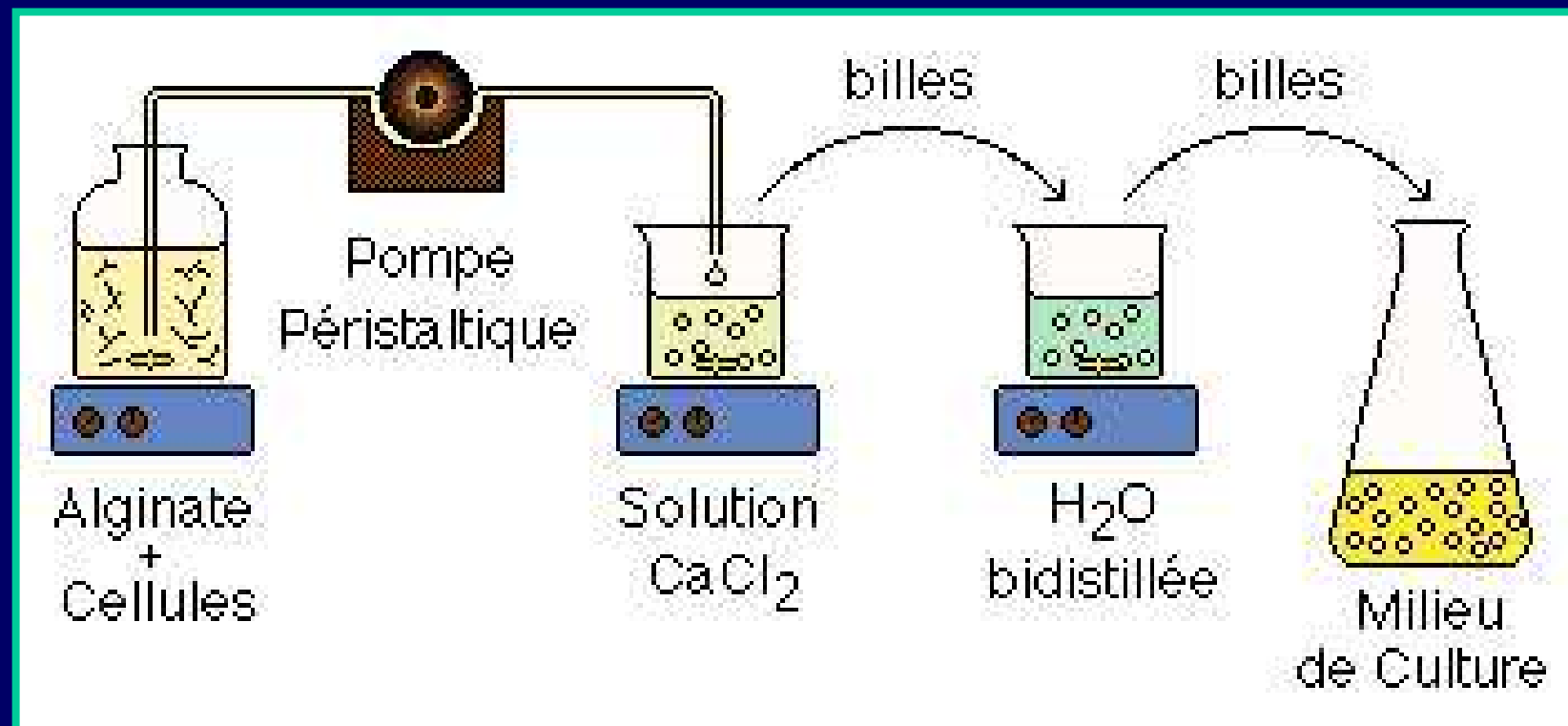


L' « egg-box »

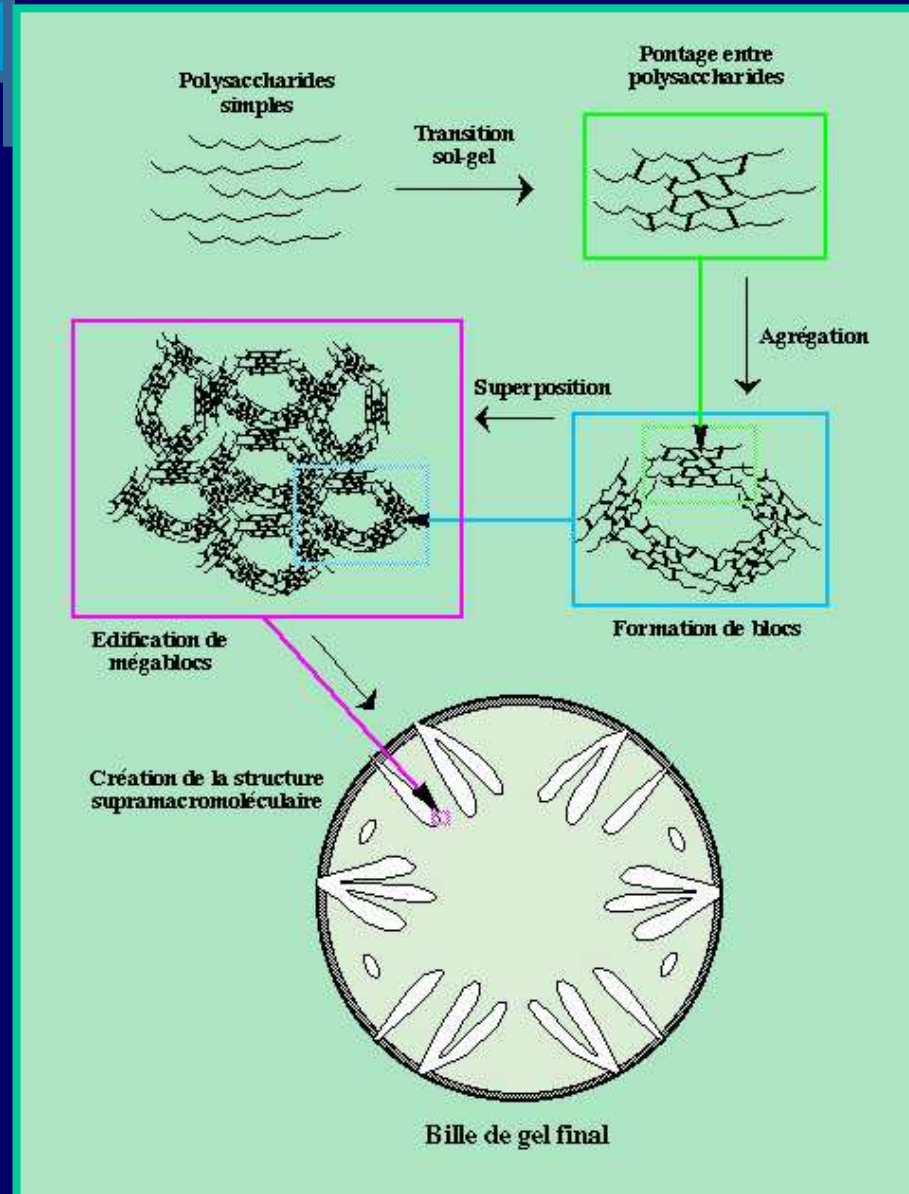
Formation d'un
réseau par
gélification
ionotropique avec du
calcium.



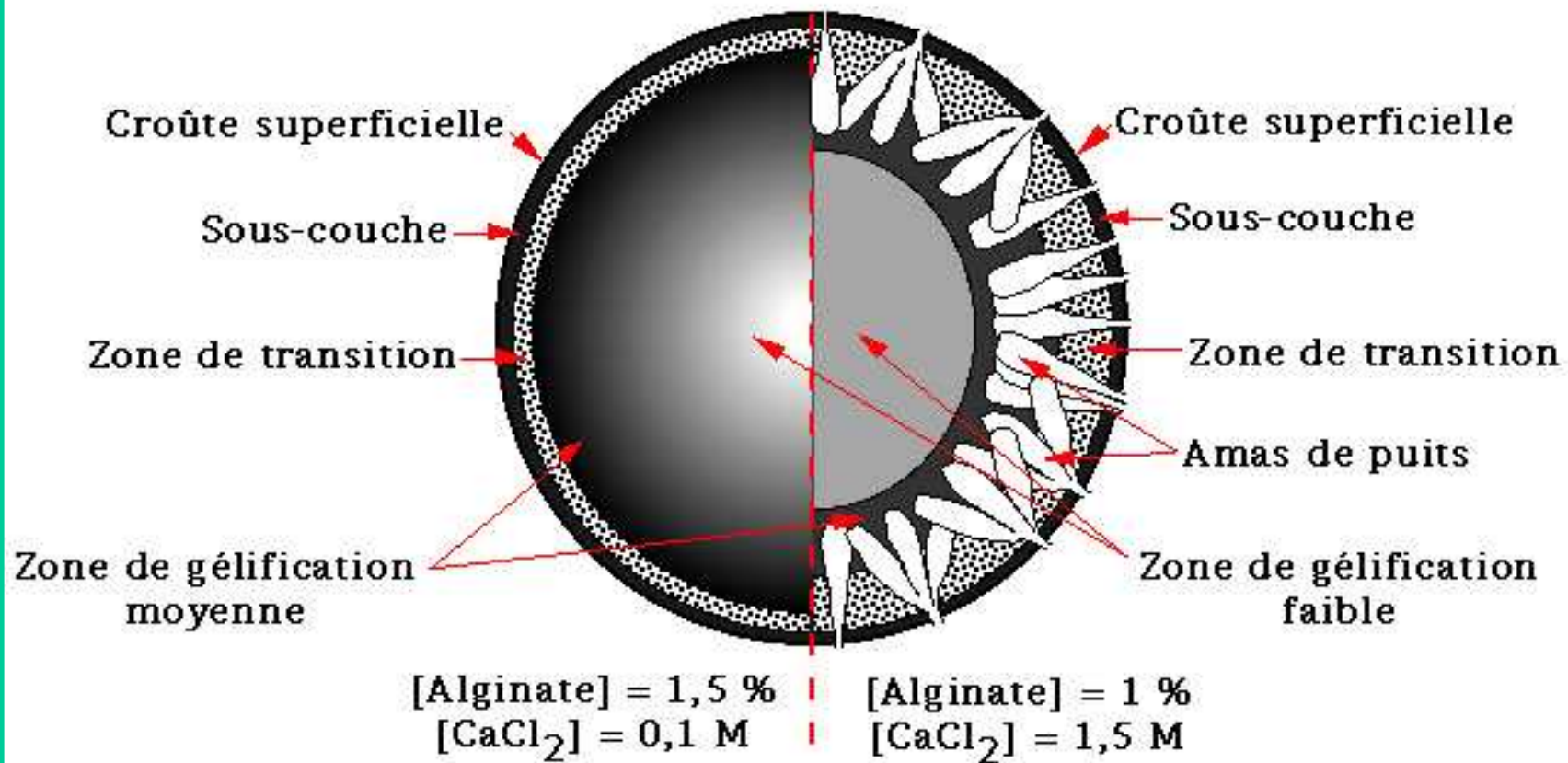
Préparation des billes d'alginate



La gélification



La matrice



La cellule un sac à enzymes ?

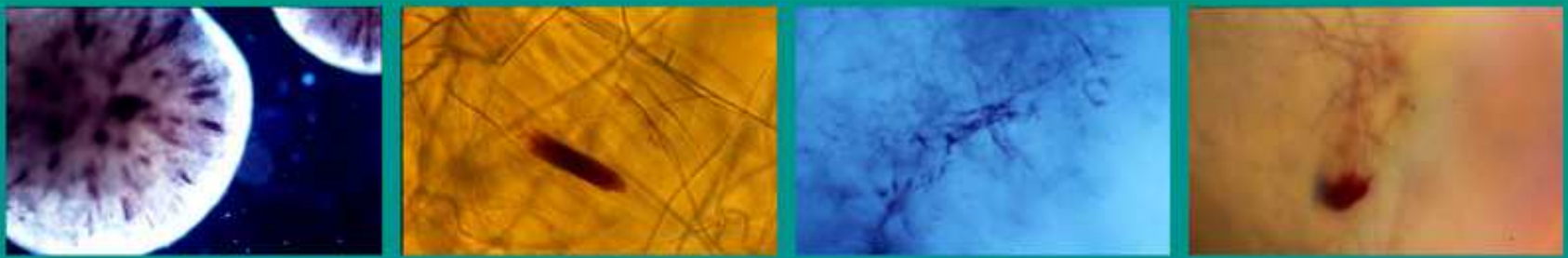
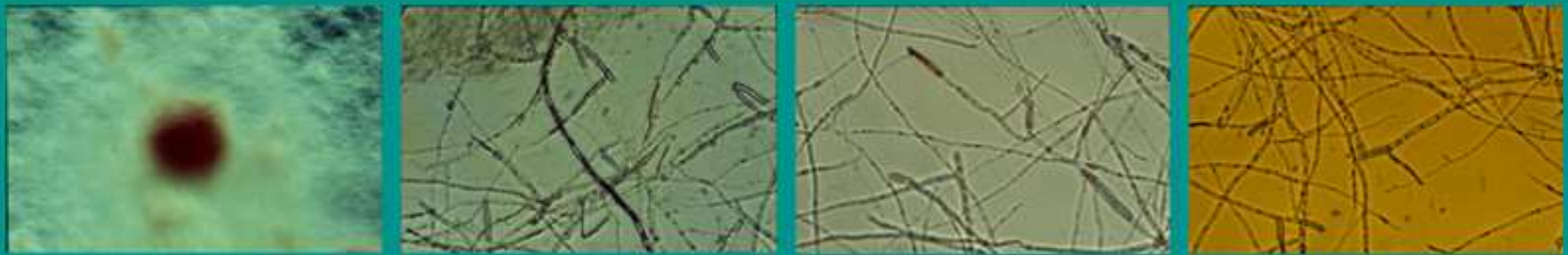


- Trente années de recherche ont montré que la cellule n'est pas seulement un “sac à enzymes” mais une entité complexe organisée en compartiments fonctionnels distincts, qui lui confèrent la capacité de se diviser, de migrer, de se différencier, d'adhérer à d'autres cellules et même de mourir. De nombreuses voies de signalisation intracellulaire, des protéines de structure, des familles d'enzymes, des vésicules de transport participent activement au fonctionnement de cette usine vivante.



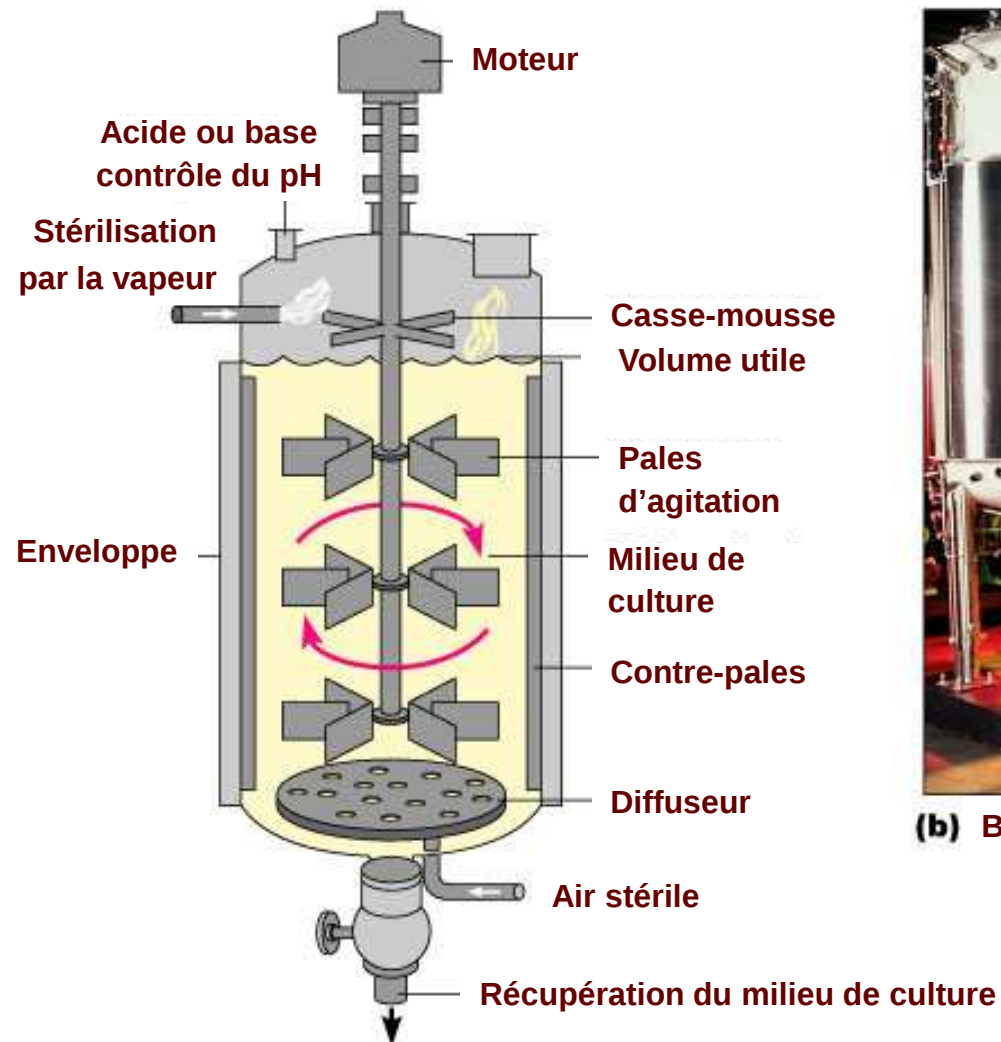
Confinement cellulaire (immobilisation)

*Métabolites secondaires (lipides, polycétides et terpènes)
dans du mycélium de *Gibberella fujikuroi* libre*



*Métabolites secondaires (lipides, polycétides et terpènes)
dans du mycélium de *Gibberella fujikuroi* immobilisé*

Bioréacteurs



(a) Bioréacteur à culture submergée



(b) Bioréacteur système intégrée

Bioréacteurs

Fermentations pour la production de :

Biomolécules :

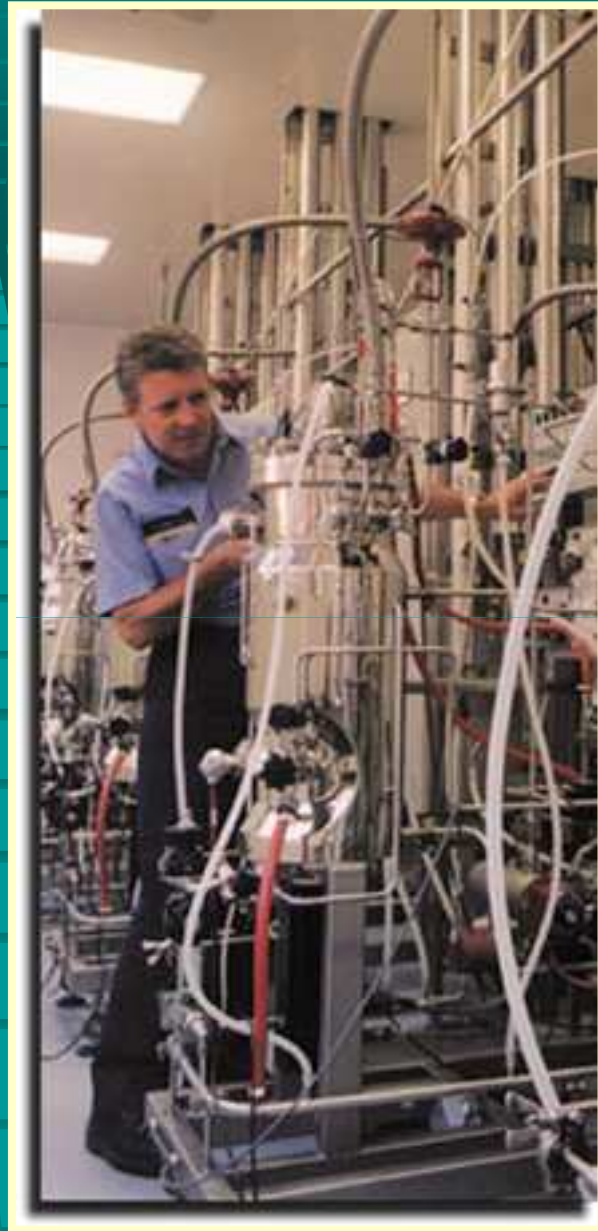
- Aminoacides
- Acide citrique
- Enzymes
- Vitamines

Biotransformations de stéroïdes

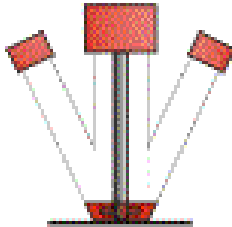
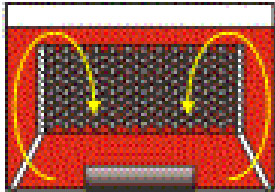
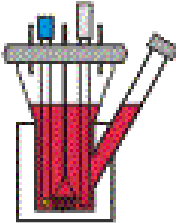
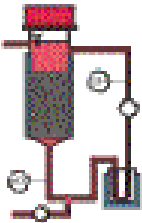
Produits pour l'industrie chimique

Denrées alimentaires :

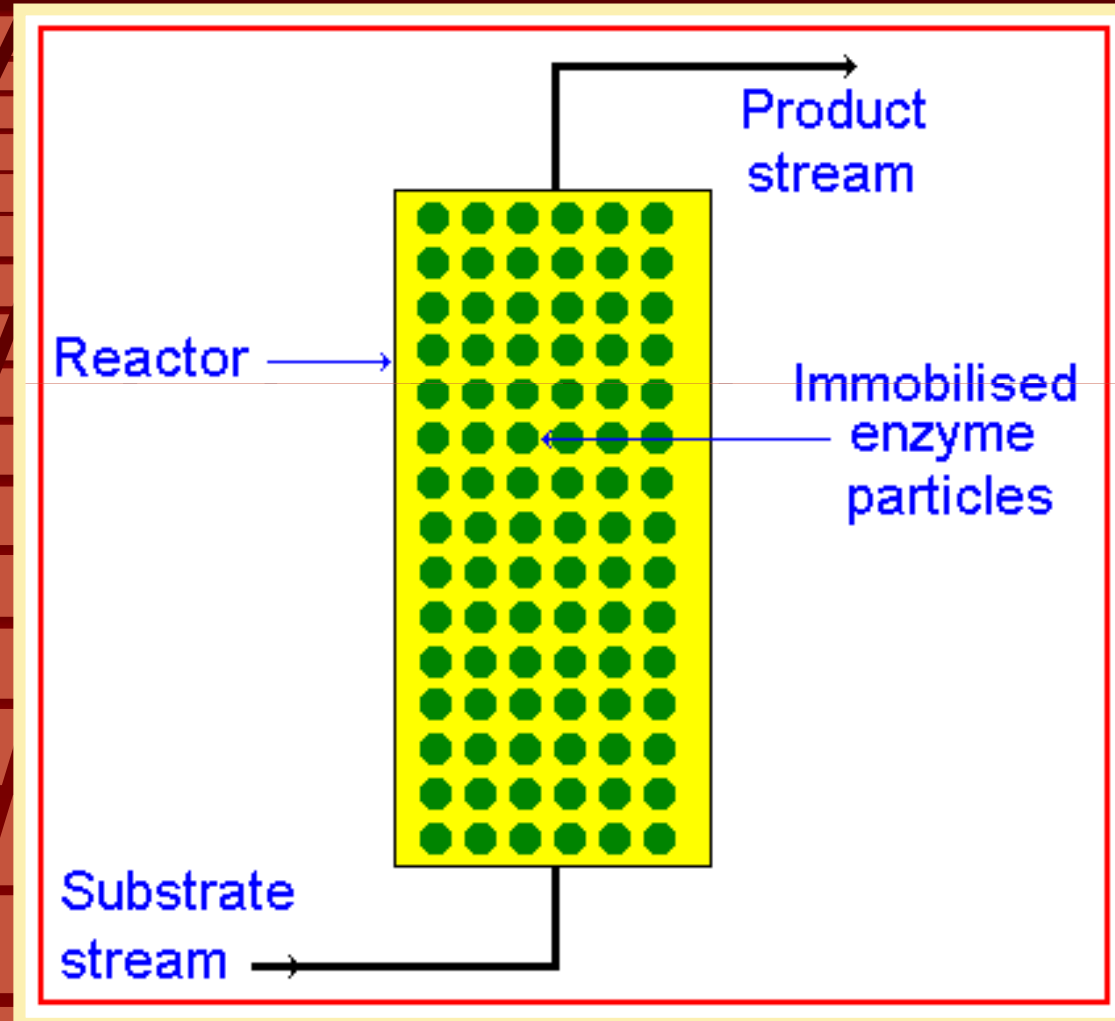
- Boulangerie
- Produits dérivés du lait
- Condiments



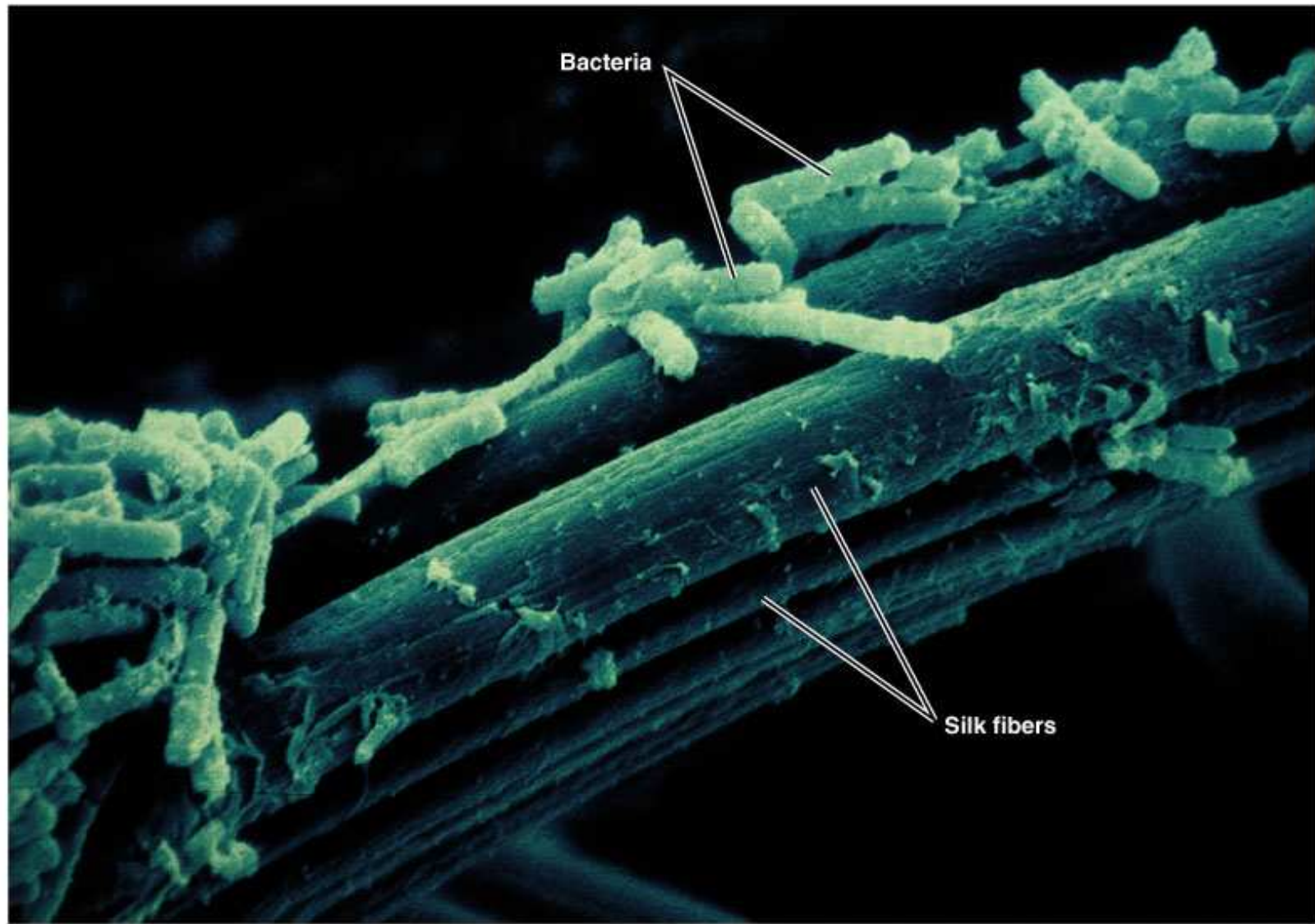
Bioréacteurs

	Suspended cells	Immobilized cells
Screening system	Mini spinner 	Mini-loop reactor 
Production system	Suspension reactor 	Fixed-bed reactor 

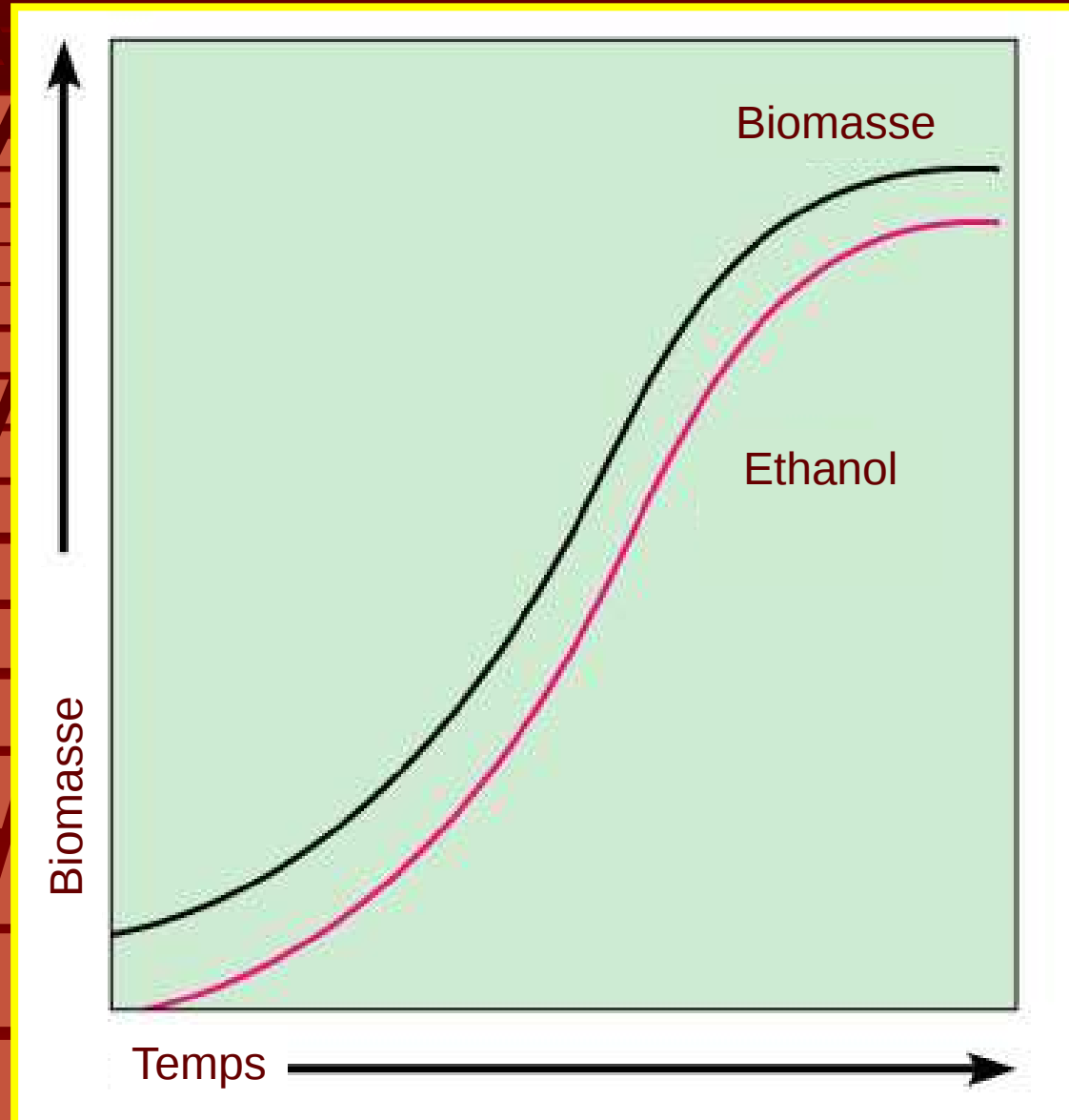
Bioréacteur à lit fixe



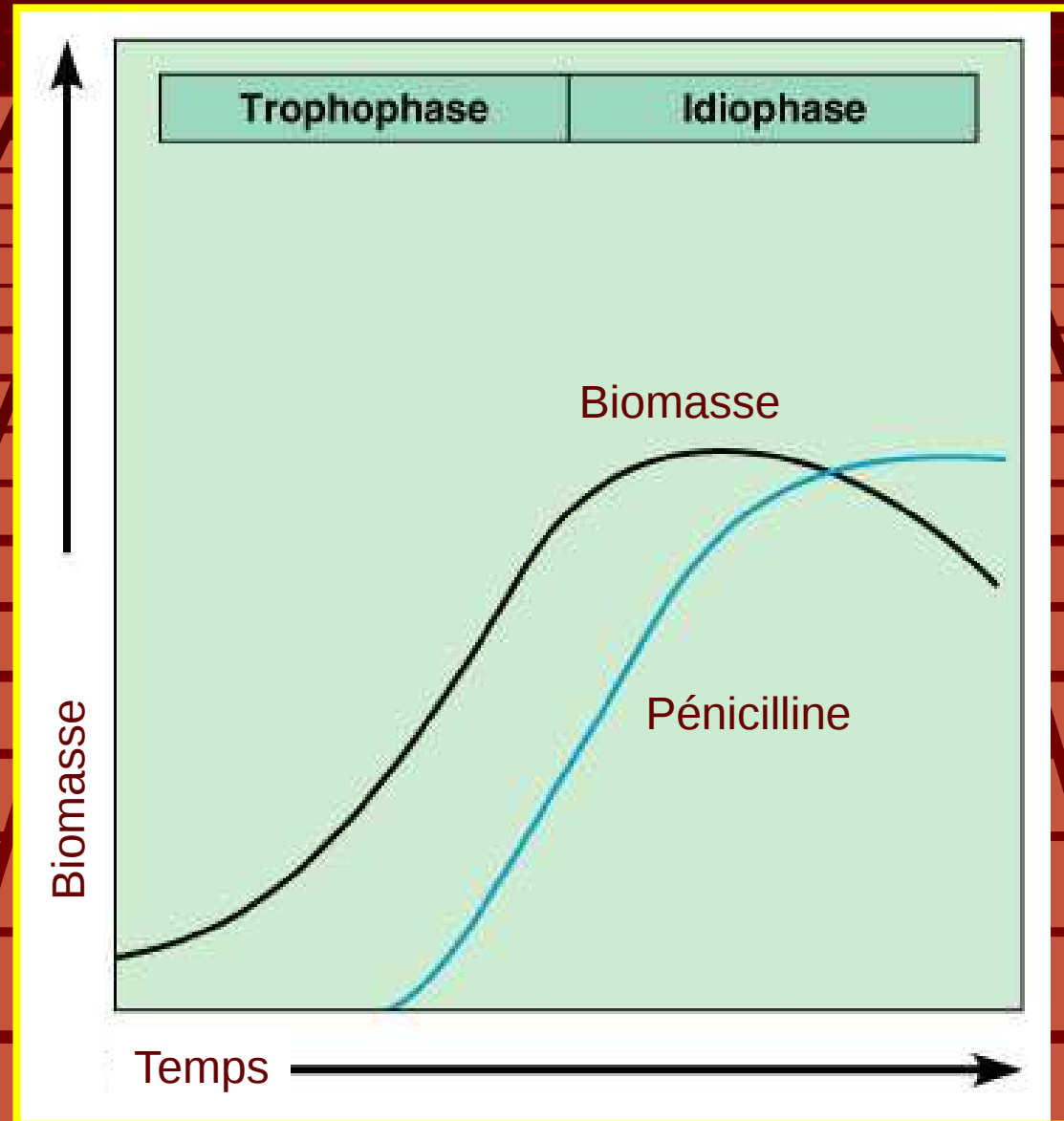
Cellules immobilisées



Métabolites primaires



Métabolites secondaires



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)

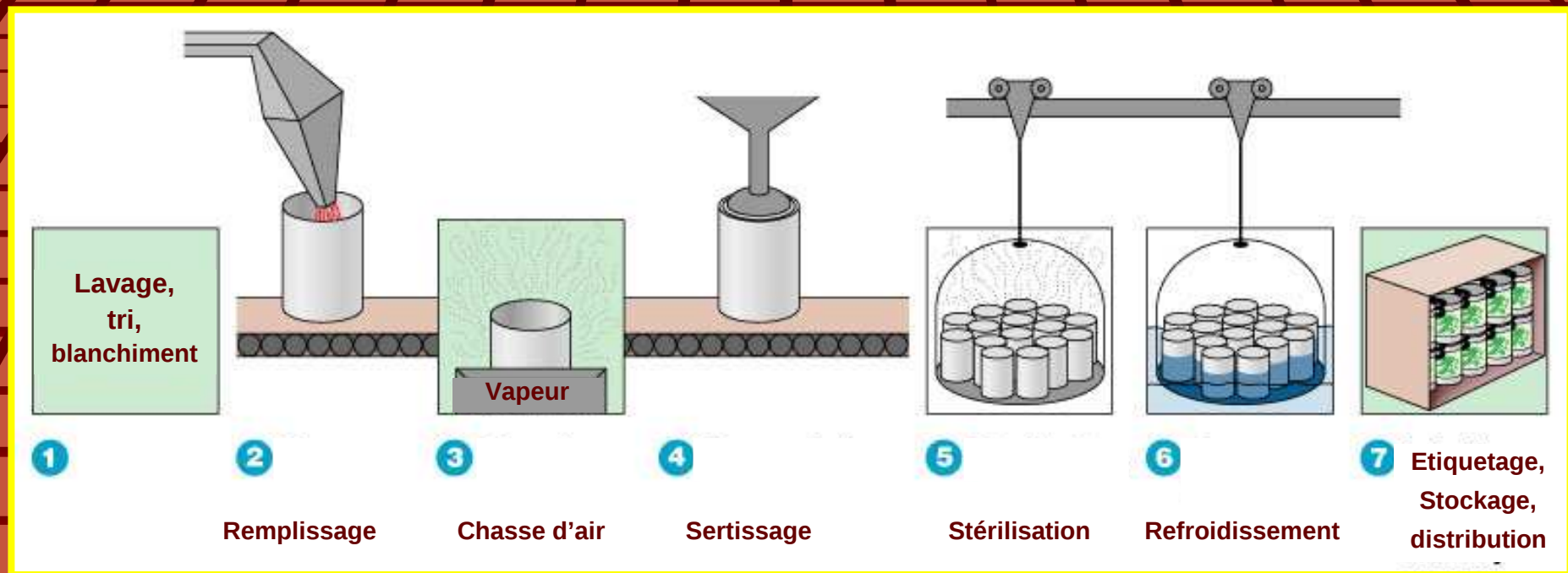
Génie Génétique (Biologie Moléculaire)

Equipements, Techniques

- Bioréacteurs

- Biocatalyseurs (supports, immobilisation)

Industrie de l'appertisation



Stérilisation industrielle

- La stérilisation industrielle peut détruire jusqu'à 10^{12} endospores de *Clostridium botulinum*
- Les endospores survivantes des bactéries anaérobies et thermophiles peuvent détériorer les conserves par la production de gaz ou par le développement de l'amertume du produit

Conservation

Les aliments peuvent être conservés par :

Deshydratation (lyophilisation)

Pression osmotique (sel ou sucre)

Fermentation

Conservation des aliments

Utilisation de matières
prestérilisées pour les
emballages remplis
aseptiquement

Les rayons Gamma
tuent les bactéries, les
insectes et les vers
parasites

Utilisation d'électrons à
haute énergie



Expertise - Microbiologie prévisionnelle



L'utilisation de la microbiologie comme moteur d'un Intégrateur Temps Température (ITT) pour simuler la dégradation effective des denrées alimentaires est une innovation majeure et unique au monde.

Cette technologie permet de tracer précisément ce qui se passe effectivement à l'intérieur d'un produit alimentaire tout en offrant une grande paramétrabilité, précision et souplesse.



Cette expertise repose sur la maîtrise de procédés spécifiques :

- Identification de l'altération des produits au cours de leur durée de vie.
- Identification moléculaire des germes, connaissance et prédiction du comportement dans les aliments et réalisation de tests de croissance.
- Etude de l'altération physique, chimique et organoleptique.
- Mesure de l'impact des conditions de conservation sur la vitesse d'altération du produit.
- Détermination des facteurs limitant la durée de vie des aliments par des études de vieillissement, avec identification de la nature et de l'origine des contaminants microbiologiques, et par l'étude des altérations physiques ou organoleptiques.
- Etude de la cinétique de dégradation de l'aliment en fonction du temps et de la température.

Les cinétiques d'évolution des flores pathogènes dans l'aliment au cours du temps sont déterminées en utilisant les données existantes et la microbiologie prévisionnelle ou en réalisant des tests de croissance.



Fin

