

## Chapitre II :

### 2. Utilisation des microorganismes dans les fermentations alimentaires

#### 2.1. Pain

Les quatre ingrédients utilisés dans la fabrication du pain sont : la **farine**, **l'eau**, **le sel** et **la levure ou levain...** Pour 100 Kg de farine, les proportions des ingrédients sont : de 62 litres d'eau, 2 kg de levure et un peu moins de 2 Kg de sel. Ces proportions peuvent varier selon le pain recherché : le pain de tradition, par exemple, est souvent plus hydraté (entre 65 et 70 litres d'eau pour 100 kilos de farine).

#### Les caractéristiques des ingrédients :

- **La farine** : est l'élément de base. D'abord parce que mélanger de la farine avec de l'eau permet de former une pâte. Ensuite, les qualités de la farine, ses caractéristiques et ses propriétés ont une influence directe sur le pain. Elle lui donne son goût, sa couleur et sa consistance. Le boulanger peut parfois utiliser des mélanges tout prêts soigneusement élaborés par le meunier, appelés "mixes", et destinés à fabriquer un pain spécifique (pain aux céréales...). Le boulanger choisit une farine différente pour chaque type de pain.

- **l'eau** : en humidifiant les particules d'amidon et de gluten, l'eau permet la formation d'un tissu glutineux élastique qui relie entre eux tous les autres composants de la farine. Sans elle, la pâte ne pourrait pas retenir le gaz carbonique au cours de la fermentation. L'eau joue donc un rôle majeur dans la qualité plastique de la pâte. Elle permet de dissoudre le sel.

- **Le sel** : joue un rôle très important dans la "chimie du pain". Il augmente la consistance de la pâte ; incorporé en début de pétrissage, il freine l'oxydation et donc la perte de goût. Il contribue au bon goût du pain, développe la couleur de sa croûte et influence sa conservation.

- **La levure** : de boulanger est un champignon microscopique d'origine naturelle *saccharomyces cerevisiae*. Un gramme de levure fraîche se compose de 9 à 10 milliards de cellules. La levure peut vivre avec ou sans air et sa nourriture préférée est un sucre simple, le glucose. Cet agent biologique permet à la pâte de lever en transformant les sucres en gaz carboniques et en alcools qui s'évaporent à la cuisson. Sans levure, les pains seraient plats. Les conditions de conservation de la levure sont

très importantes : stockée à température trop faible ou surtout trop élevée, elle perd son pouvoir de fermentation.

### **Les huit étapes de la panification**

Les artisans assurent l'ensemble du processus de fabrication du pain jusqu'à la vente au consommateur final. Chaque boulanger a son tour de main, mais les grandes étapes de la panification restent les mêmes.

#### **1. Le pétrissage :**

Le boulanger mélange tous les ingrédients de la pâte. Le gluten contenu dans la farine fixe l'eau versée dans le pétrin. La pâte devient élastique et emprisonne l'air. Si le pétrin est mécanique il facilite cette étape décisive, le boulanger doit rester vigilant et surveiller précisément son déroulement. Différentes méthodes de pétrissage sont possibles. Le pétrissage à vitesse lente permet de fabriquer un pain peu développé, le pétrissage intensifié, plus long avec une vitesse de rotation plus grande, permet de fabriquer un pain très développé, à la croûte fine ; le pétrissage amélioré, compromis entre ces deux méthodes, dure de 10 à 15 mn. Et est entrecoupé de périodes de repos de 2 à 3 mn. Pour que la pâte fermente dans de bonnes conditions, le boulanger doit obtenir une température finale de la pâte comprise entre 23 et 25° C ; si besoin, il refroidit l'eau.

#### **2. Le pointage :**

Avant de diviser la pâte, le boulanger la laisse reposer dans le pétrin : cette étape (le pointage) est importante pour la formation des arômes du pain. La production de gaz carbonique commence. La pâte lève, ses qualités se renforcent, elle devient plus élastique. Pour le pain de tradition, cette étape est plus longue. L'expérience du boulanger lui permet de décider quand la pâte est prête : chaque pâte réagit différemment, en fonction de paramètres qui varient chaque jour (humidité de l'air, etc.). Le boulanger touche la pâte du bout des doigts, et décide si le moment est venu de passer à l'étape suivante.

Remarque : Aucune machine, aussi sophistiquée soit-elle, ne peut remplacer sa main.

#### **3. La pesée :**

Quand la pâte a fini de pointer, le boulanger la divise en pâtons pour donner à chacun le poids voulu. Il se sert pour cela par une diviseuse, qui a le petit défaut de diminuer la souplesse de la pâte. Pour pallier cet inconvénient, le boulanger laisse encore un temps de repos.

**4. Le façonnage :**

À la main ou à l'aide d'une machine, le boulanger façonne ensuite chaque pâton, lui donnant la forme du pain qu'il veut obtenir. Ce geste s'appelle "la tourne". Les pains façonnés sont déposés sur des filets. Ils sont parfois placés dans des petits paniers garnis de toile, adaptés à leur forme (longs pour les baguettes, ronds pour les miches).

**5. L'apprêt :**

L'apprêt est un autre temps de repos, une autre fermentation des pâtons une fois façonnés. Il permet à la levure de bien se nourrir des sucres contenus dans la pâte. Le gaz carbonique se dégage. Prisonnier du gluten, il fait gonfler la pâte qui le retient. Chaque pâton triple de volume. Le temps de l'apprêt dépend de la température, de la dose de levure, de la méthode de pétrissage, du temps de pointage et peut aller de une à quatre heures. Certains boulangers placent les pâtons dans des armoires de fermentation à température contrôlée.

**6. L'enfournement :**

Pendant ce temps, le four a chauffé. Sa température s'élève à 250° C. Avant d'y enfourner les pâtons, le boulanger l'humidifie en y injectant de la vapeur. Ainsi, le pain cuit sans se dessécher et la croûte se forme, fine et dorée. Avant de mettre le pain au four, le boulanger donne des coups de lame à la surface du pain. qui permettent au gaz carbonique de sortir de la pâte.

**7. La cuisson :**

Sa durée varie en fonction de la forme et du poids des pains à cuire : elle va de 12 minutes à 50 minutes (selon le type de pain). En début de cuisson, les pâtons continuent à gonfler. La mie se crée et cuit pendant que le pain prend sa forme définitive. La croûte durcit et prend sa couleur.

**8. Le défournement :**

Le pain est sorti du four avec précaution : tout chaud, il est très fragile. Il faut le laisser refroidir (le temps que la vapeur d'eau et le gaz carbonique qu'il contient s'en échappent). Pendant cette période, les pains doivent être gardés dans une pièce sèche et bien aérée.

**Rôle des microorganismes dans la panification**

Le pain est fabriqué à partir de farine, de levure ou levain, de sel et d'eau.

Le levain est une pâte en fermentation à réaction acide Il contient une microflore acidifiante qui est principalement constituée de levures (*Saccharomyces cerevisiae*).

La levure *Saccharomyces cerevisiae* intervient au cours du pétrissage de la pâte à

pain, elle produit des substances chimiques qui vont avoir pour effet de modifier la structure du gluten, donc de modifier la texture de la pâte. Elle va dégrader les sucres et les transformer en dioxyde de carbone et alcool, cela aura pour effet de faire lever la pâte. Au cours de la cuisson, les bulles de dioxyde de carbone restent, et l'alcool s'évapore. Cela va donner au pain sa texture définitive.

## **2.2. Fromage**

### **La fabrication du fromage**

Les fromages sont obtenus à partir de différents lait (brebis, vache, chèvre) soit purs soit mélangés. La fabrication du fromage à l'origine était un moyen de conservation du lait. Elle permettait de ne stocker que la partie solide du lait, après transformation. La fabrication passe par différentes étapes en fonction des caractéristiques du produit final que l'on veut obtenir.

Qu'est-ce que la fermentation lactique

La fermentation lactique est une réaction chimique entre des bactéries et du lait. Les ferments se développent au profit du lactose (glucide du lait) et ils provoquent ainsi la formation d'acide lactique qui fait lentement coaguler la caséine (protéine du lait). La fermentation est arrêtée par la mise au réfrigérateur.

### **Les étapes de La fabrication du fromage**

**1- Le caillage :** des ferments lactiques ou de la présure sont ajoutés au lait pour provoquer sa coagulation il va alors se fractionner en deux :

- « le caillé » (la partie solide), qui va servir à faire les fromages ;
- « le petit lait » (partie liquide), utilisé pour l'alimentation du bétail.

**2- L'égouttage :** le caillé se contracte et le petit lait s'écoule. Cette séparation se fait spontanément. Il peut être accéléré par brassage, tranchage et chauffage.

**3- Le moulage :** la mise en forme des fromages se fait soit dans des moules perforés, soit par pressage dans des toiles cerclées de bois ou d'autres matériaux.

**4- Le pressage :** cette étape permet d'éliminer l'excès d'eau. On utilise un poids que l'on met sur le moule. Cette étape n'est pas obligatoire car elle dépend du type de fromage que l'on veut obtenir.

**5- Le salage :** réparti à l'intérieur ou sur la surface, le sel permet de maîtriser le développement de micro organismes spécifiques,

**6- L'affinage :** Pour les fromages blancs, les opérations s'arrêtent avec l'égouttage. Pour tous les autres types de fromage commence l'affinage (période de maturation du fromage), il dure de plusieurs jours à quelques mois. Le caillé se transforme en pâte, sous l'effet de la fermentation, le goût et l'odeur apparaissent. Les fromages font l'objet de soins manuels constants (retournement, brossages...). La température et l'humidité ont une influence remarquable sur la progression de l'affinage pour atteindre la saveur finale.

C'est la dernière étape de fabrication du fromage et, c'est lors de cette phase que le fromage va développer son goût, son arôme et ses caractères définitifs au niveau de l'aspect et de la texture. L'affinage est effectuée dans une cave. Le travail en cave consiste à contrôler et orienter le développement des agents d'affinage. Cela se fait selon le type de fromage que l'on veut fabriquer.

**Quelques exemples des microorganismes entre dans la fabrication des fromages :**

**- Le Camembert :** *Penicillium camembertii*,

**- Le Munster :** le fromage était lavé à l'eau salée, *Brevibacterium linens*,

**- Le Roquefort :** (*Penicillium roqueforti*) l'oxygène nécessaire à leur développement.

**- L'Emmental :** les bactéries, la première (une bactérie lactique) rejetant du lactate, la seconde (une bactérie propionique) mangeant ce lactate et rejetant du CO<sub>2</sub>, responsable des bulles dans la pâte. On assiste alors à une véritable coopération entre les micro-organismes, surtout à la surface du fromage.



**Le camembert**



**L'Emmental**

### **Facteurs permettant la maîtrise du développement des micro-organismes**

Le développement de ces micro-organismes dépend :

- du pH : les micro-organismes sont plus ou moins sensibles à l'acidité. D'ailleurs on utilise ce facteur pour empêcher, dès l'étape du caillage, le développement de pathogènes.
- du salage et donc de la teneur en eau libre disponible pour les micro-organismes
- de l'hygrométrie, c'est-à-dire de l'humidité de l'air (quantité d'eau sous forme gazeuse présente dans l'air). Elle est souvent élevée dans les caves, de l'ordre de 80 à 95%. Si on baisse cette teneur on limite le développement des bactéries puis des levures puis des moisissures.
- de l'oxygénation. Une bonne oxygénation, aération va favoriser le développement des micro-organismes aérobies.
- de la température : la température de la cave est gardée entre 10 et 12°C pour maintenir de la vie microbienne

### ***Conclusion***

Dans la fabrication des fromages, tous les types de micro-organismes interviennent. Ils ont de très nombreux rôles comme celui de protéger le fromage d'autres micro-organismes pathogènes en acidifiant le milieu mais ils ont ensuite un rôle essentiel durant l'affinage : un rôle de transformation de la pâte lui donnant tout son goût et sa texture, et donc sa typicité.

### **2.3 Lait :**

Le lait est un liquide complexe essentiellement composé d'eau et de 4 types de constituants importants dont la proportion diffère selon des espèces et les races : exemple Composition moyenne du lait de vache = Eau: 87,5 %, Glucides: 4,9 %, Lipides: 3,6 %, Protéines: 3,4 %, Sels minéraux: 1 %.

La fabrication de produits laitiers peut se faire à partir de lait de vache, de chèvre ou de brebis. Il existe un large panel de produits laitiers :

- la crème, crue ou pasteurisée, obtenue après écrémage du lait.
  - « Crème » : minimum 30% de matière grasse dans le lait
  - « Crème légère » : minimum 12% de MG
- le beurre, obtenu après maturation et barattage de la crème. Il doit contenir 82% de MG, 16% d'eau et 2% de matière sèche non grasse.

- Le yaourt ou yoghourt, obtenu à partir de la fermentation du lait avec les bactéries *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*. La pasteurisation est obligatoire. Les laits fermentés avec d'autres bactéries ne sont pas des yaourts.
- Les fromages frais (fromage blanc, petit suisse, ...) sont des fromages non affinés obtenus après une fermentation lactique.
- Les desserts lactés, composés au minimum de 50% de lait (crèmes dessert, riz au lait, ...)
- Les fromages, obtenus après coagulation du lait, égouttage du caillé et éventuellement phase d'affinage. Il existe 8 familles de fromages (fondu, frais, pâte molle à croûte fleurie, pâte molle à croûte lavée, pâte persillée, pâte pressée cuite, pâte pressée non cuite, chèvre)

### **La qualité et le rendement du lait :**

La qualité du lait collecté à la ferme peut être analysée selon les critères suivants :

- Qualité physique: Le lait doit être libéré de toute impureté.
- Qualité chimique: Teneur en matière grasse et protéines.
- Qualité bactériologique: Dénombrement de la flore totale aérobie mésophile. Celle-ci doit être la plus faible possible.
- Absence de germes pathogènes (*Brucella*, *Lystéria*...)

L'amélioration des rendements résultent en particulier des facteurs suivants :

- La qualité de la matière première: jouer sur l'alimentation, la sélection des animaux, l'hygiène de traite, la propreté de conservation du lait
- La maîtrise des procédés de fabrication: Contrôle de l'acidification, de la température ...
- Le bon réglage et le fonctionnement du matériel (écrémeuse ...)

Le rendement de transformation est un critère essentiel pour évaluer la rentabilité de l'atelier.

| Produits laitiers | Quantité de produit                    | Quantité de lait |
|-------------------|--|------------------|
| <b>vache</b>      | 1L de crème                            | 10L              |
|                   | 1kg de beurre                          | 20L              |
|                   | 1kg de fromage blanc                   | 2-3L             |
|                   | 8 pots de yaourts (125g)               | 1L               |
|                   | 1kg de fromage affiné type pâte pressé | 10-12L           |
|                   | 1kg de fromage lactique frais          | 6-7L             |

|               |                                  |        |
|---------------|----------------------------------|--------|
| <b>Chèvre</b> | 1kg de fromage lactique demi-sec | 8L     |
|               | 1kg de fromage lactique sec      | 9,5L   |
|               | 1kg de fromage type pâte pressée | 10-11L |
| <b>Brebis</b> | 1kg de fromage lactique          | 3-4L   |

-Une fois collecté dans les fermes, le lait est transporté jusqu'à la laiterie où il sera transformé en laits de consommation et en produits laitiers. Mais avant d'être traité, le lait qui arrive à l'usine doit être réceptionné.

C'est dans une salle spéciale que la réception du lait se fait selon deux opérations: le mesurage et le versage.

Le lait est ensuite examiné, goûté, et un échantillon est pris au besoin pour doser l'acidité (ce qui permet de mettre à part les laits acides impropres à la consommation).

### **Les traitements du lait**

Le lait cru tel qu'il est collecté à la ferme ne peut pas se conserver plus de 48 heures au réfrigérateur et n'est consommable que s'il est bouilli. C'est pourquoi, afin de se conserver plus longtemps et être directement consommable par le consommateur, ce lait, qui est transporté jusqu'à la laiterie par un camion frigorifique (4°C), a besoin de subir des traitements thermiques et physiques.

### **La standardisation**

La standardisation est le premier traitement subi par le lait cru. En effet, la composition du lait étant variable selon le type d'alimentation, les saisons et la race des vaches laitières, son taux de matière grasse (MG) peut s'élever de 30 à 70g/l.

Une écrémeuse standardisatrice est donc utilisée pour réunir la composition des différents laits, qui proviennent de différentes exploitations, et pour faire correspondre le taux de MG à celui exigé par la législation pour les laits de consommation et les produits laitiers. Ce processus consiste alors à recueillir la crème du lait par centrifugation, puis à la réintroduire selon les taux de MG souhaités:

- le lait entier s'obtient en réintroduisant plus de 3,25 % de MG (crème).
- le lait demi-écrémé s'obtient en réintroduisant environ 1,7 % de MG.
- le lait écrémé s'obtient en réintroduisant 0,1 à 0,3 % de MG.

La standardisation permet finalement d'amener artificiellement le lait à une teneur fixe en MG tout en prenant garde de conserver au lait une valeur nutritive suffisante.



### **L'homogénéisation**

Ce traitement, qui fait suite à la standardisation, a pour objectif d'éviter que la MG ne remonte à la surface et ne gêne l'écoulement du lait ou ne se dépose sur l'emballage de celui-ci lors du traitement thermique de conservation qui a lieu ensuite. Son principe est simple puisqu'il consiste à faire éclater par pression les globules de MG en de fines particules homogènes.

Selon la durée de conservation et l'état bactériologique souhaité, le lait standardisé et homogénéisé subit ensuite des traitements thermiques: la pasteurisation ou la stérilisation.

### **La pasteurisation**

La pasteurisation est un traitement thermique qui consiste à débarrasser le lait de ses germes pathologiques (qui donnent des maladies). Il existe deux types de pasteurisation:

- la pasteurisation basse lente lors de laquelle le lait est chauffé pendant 30 minutes à une température comprise entre 63 et 65°C ou bien 05 minutes à 68°C.
- la pasteurisation haute lors de laquelle le lait est chauffé 15 secondes à une température comprise entre 72 et 75°C puis immédiatement refroidi.

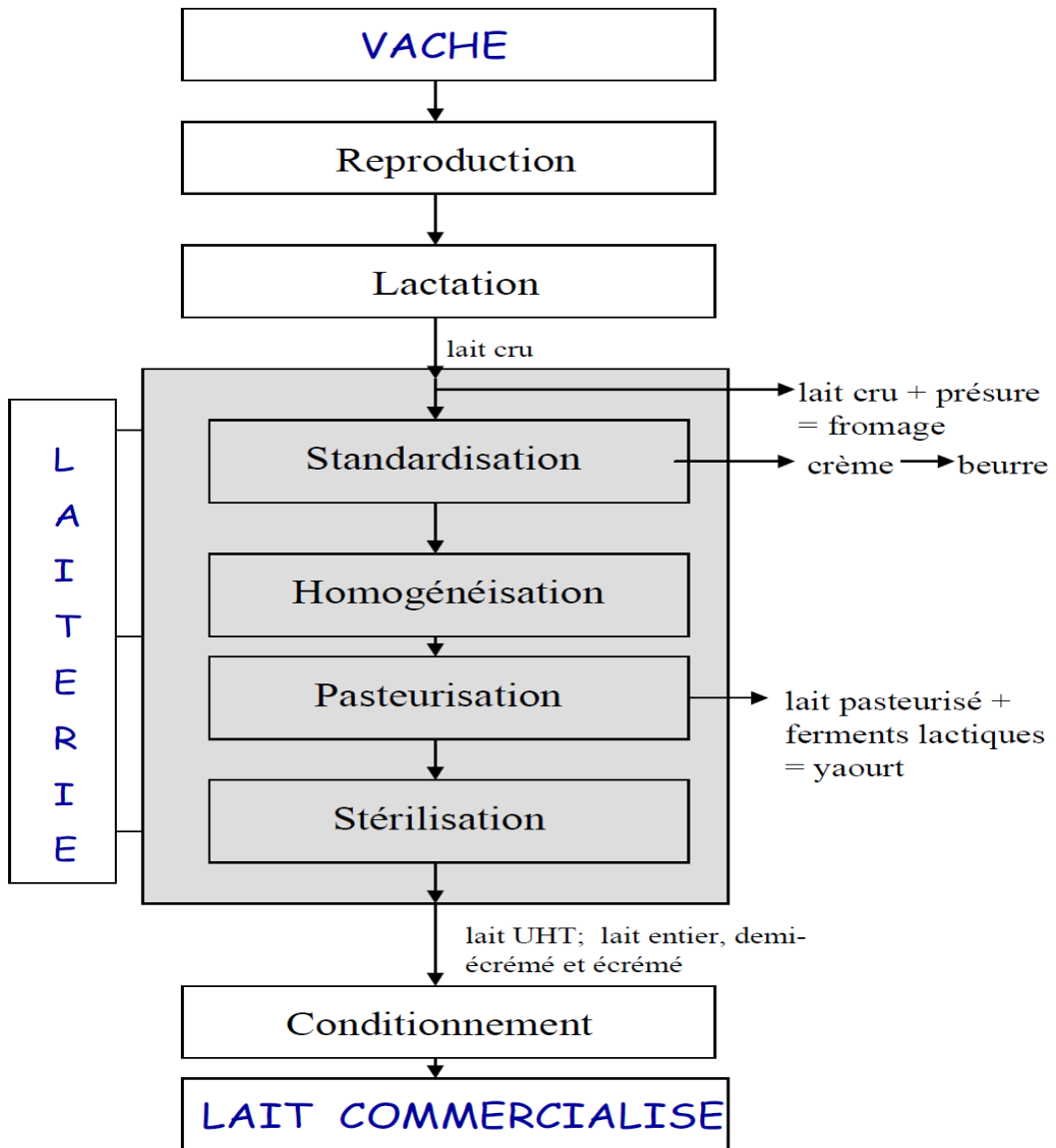
Mais le produit pasteurisé n'étant pas stérile, il est nécessaire de le refroidir immédiatement à 3°C. Après quoi, le lait est pressurisé, c'est-à-dire conservé à une pression atmosphérique normale et mis en bouteille. On obtient alors du lait pasteurisé qui peut se conserver 7 jours au réfrigérateur.

### **La stérilisation**

Ce traitement thermique, à la différence du précédent, détruit tous les germes du lait, pathologiques ou non.

Le lait stérilisé selon la méthode classique est alors chauffé à 115°C pendant 15 à 20 minutes et peut se conserver 4 mois. Quant au lait stérilisé Ultra Haute Température (U.H.T.), il est chauffé à 140°C pendant 2 ou 3 secondes et peut se conserver 3 mois.

Finalement, tous ces traitements, thermiques et physiques, permettent d'obtenir toute une gamme de laits de consommation que nous pouvons acheter dans le commerce.



Cycle du lait de la vache jusqu'à la commercialisation

## **2.4. Autres**

### **Les légumes lacto-fermentés**

La fermentation lactique n'est pas seulement utilisée pour conserver les produits laitiers elle permet également la conservation de champignons et de légumes de toutes sortes : choux, betterave, carotte, haricot, oignon, etc. Cette technique consiste à conserver les légumes en favorisant le développement de bactéries lactiques qui acidifient le milieu et inhibent ainsi la croissance des autres organismes indésirables.

Pour que la fermentation ait lieu, il faut que toutes les conditions de développement des bactéries lactiques soient réunies. Ainsi, les légumes doivent fournir du sucre, des vitamines du groupe B et des sels minéraux. La fermentation se déroulant en milieu anaérobie, l'oxygène doit être chassé du milieu, pour cela, les légumes sont le plus souvent recouverts d'eau salée (le sel inhibant les bactéries responsables de la décomposition des légumes). Enfin, la température doit se trouver entre 18 et 22°C en début de fermentation.

La fermentation se déroule ensuite en 3 phases :

- La pré-fermentation, d'une durée de 2-3 jours où de nombreuses espèces de microorganismes se développent, entraînant la décomposition et le ramollissement des légumes.
- La fermentation, qui débute lorsque les bactéries lactiques prennent le dessus sur les autres microorganismes.
- Le stockage, lorsque le pH descend en dessous de 4. Les microorganismes indésirables ne sont plus capables de se développer et de nouveaux arômes se révèlent.

Les légumes peuvent ensuite être conservés durant au moins un an même si la température monte au-dessus de 10°C. Cette méthode de conservation est donc non seulement économique puisque qu'elle ne nécessite aucun apport d'énergie mais également bonne pour la santé car les bactéries lactiques produisent en parallèle de nombreuses vitamines et l'acide lactique a de nombreuses vertus digestives.

### ***La fermentation acétique***

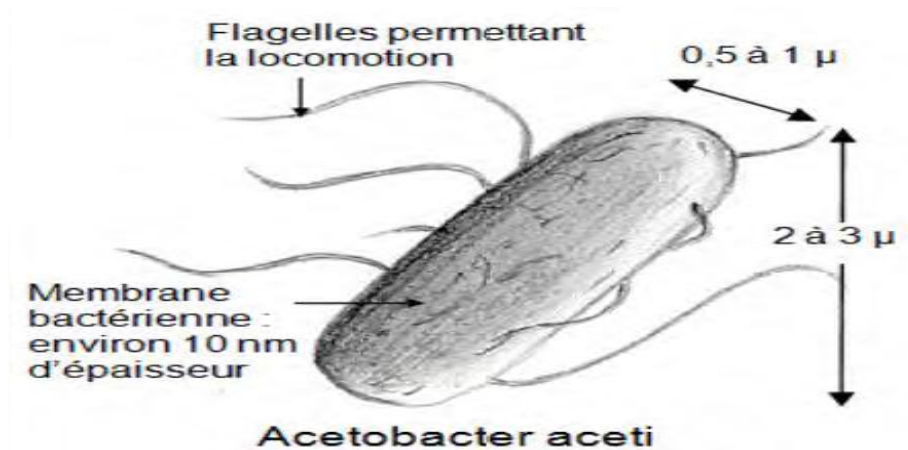
L'acide acétique provient de l'oxydation de l'alcool par l'oxygène de l'air. Le vin, la bière, le cidre et en général tous les liquides alcooliques fermentés s'aigrissent au contact de l'air. Louis Pasteur s'est appuyé sur les expériences des vinaigriers de son

temps ainsi que sur les effets de la fermentation pour déterminer la nature du ferment utilisé. Il montre que le ferment est un être vivant qu'il appelle *Mycoderma aceti* (fleur de vinaigre). Il observa la multiplication dans toutes les directions de ces mycodermes et effectua par la suite de nombreuses expériences pour montrer que *Mycoderma aceti* était le seul ferment dans la production du vinaigre. La réaction de fermentation acétique simplifiée est :



### Production du vinaigre :

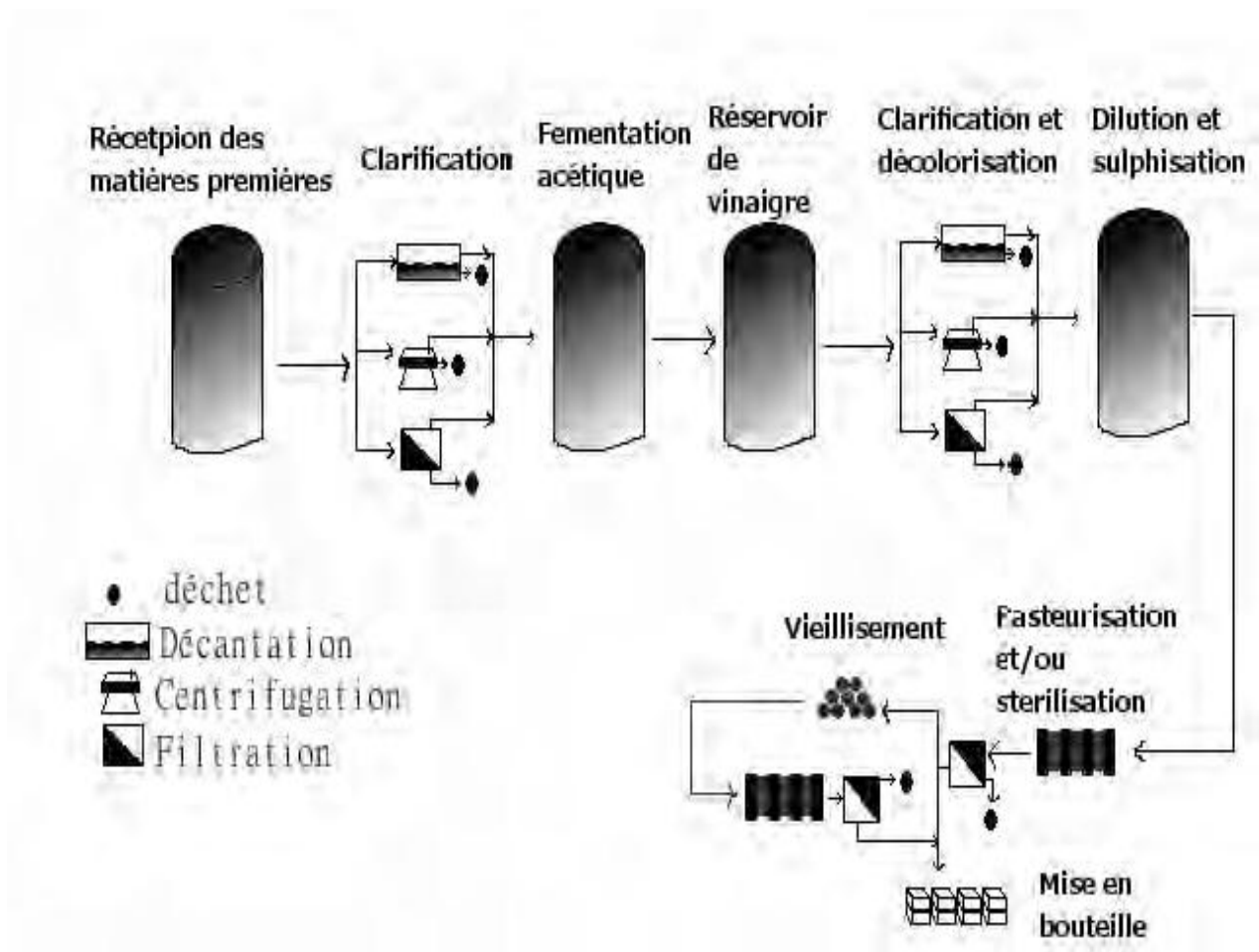
Il existe plusieurs méthodes de production du vinaigre, parmi ces méthodes, **La méthode d'Orléans** : elle consiste à faire une culture d'*Acetobacter aceti* en mélangeant dans un tonneau ventilé le vin et du vinaigre. Les bactéries sont alors présentes principalement à l'interface air-liquide c'est à dire en surface. Il s'agit d'une méthode de culture statique. Aujourd'hui cette méthode est utilisée pour produire du vinaigre traditionnel et de qualité.



**Figure** : Schéma légendé d'*Acetobacter aceti*

Depuis les travaux de Pasteur, la bactérie *Acetobacter aceti* est mise en culture rationalisée pour une production de vinaigre industrielle. Le processus de fermentation est ainsi accéléré, autrefois de 3 semaines, il est aujourd'hui possible de produire d'importantes quantités de vinaigre en 24 heures.

La méthode industrielle implique l'utilisation d'un bioréacteur fonctionnant avec un niveau élevé d'aération et des bactéries immergées dans la solution de culture. La fabrication du vinaigre industriel utilise différents processus résumés dans le diagramme suivant:



**Figure :** Diagramme montrant les différentes étapes de la fabrication du vinaigre.

Le vinaigre peut être fabriqué à partir de différentes matières premières notamment du raisin, du riz, des pommes, des baies, des céréales, du petit-lait ou du miel.

La législation concernant l'appellation vinaigre varie selon les pays : en Europe la concentration en acide acétique doit être au moins de 60g.L-1 et aux Etats-Unis elle doit être d'au moins 40g.L-1.