

Chapitre 2 : Généralités sur le génie de la réaction

1. Réactions biologiques

1.1. Fermentation

Louis Pasteur, le fondateur de la microbiologie, a défini la fermentation comme étant la vie en absence de l'oxygène O_2 . Mais plus tard, elle a été définie comme une vie en absence de O_2 (Anaérobiose) ou en présence de O_2 (Aérobiose), dès lors que l'organisme vivant est un microorganisme.

Le mot **fermentation** vient du latin **fervere**, qui signifie bouillir (Dégagement des bulles de CO_2).

Quelques fois, la biomasse elle-même est le produit désiré d'une fermentation telle que la levure du pain. Mais, en général la production des métabolites est l'objectif visé par les bio-industriels.

Les métabolites sont divisés en deux catégories principales :

- Métabolites primaires indispensables pour la vie, la croissance et la reproduction des microorganismes, eg. Aminoacides, vitamines...
- Métabolites secondaires non vitaux pour les microorganismes, tels que les pigments et les arômes...

Le schéma général d'une fermentation est le suivant :

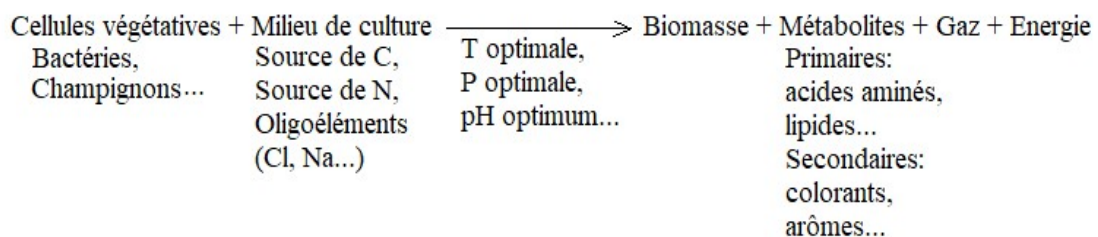
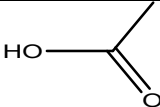
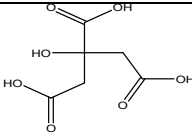
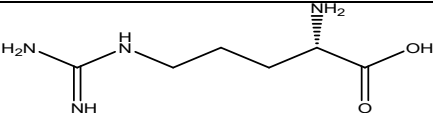
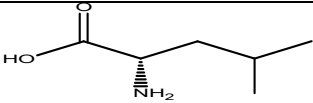
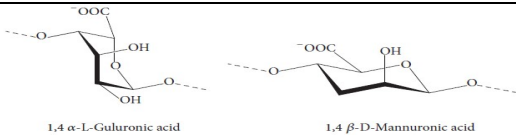
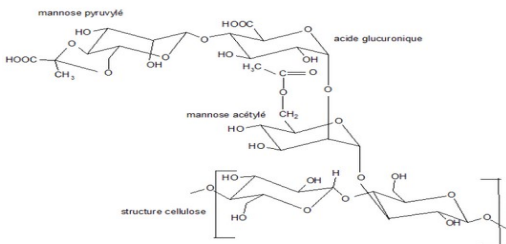
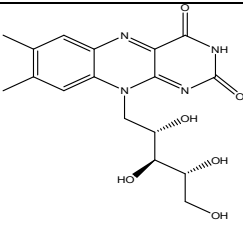
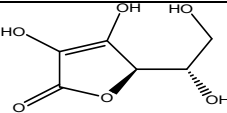


Figure 1. Schéma général de la fermentation.

Le tableau suivant indique quelques métabolites et leurs souches productrices :

Tableau 1. Exemples de quelques métabolites de fermentation.

Métabolite	Structure	Microorganisme utilisé
Acides organiques		
Acide acétique		<i>Acetobacter sp</i>
Acide citrique		<i>Aspergillus niger</i>
Acides aminés		
Arginine		Genre : <i>Corynebacterium</i> ...
Leucine		<i>Brevibacterium flavum</i>
Biopolymères		
Alginate		<i>Azotobacter vinelandii</i>
Xanthane		<i>Xanthomonas campestris</i>
Vitamines		
Riboflavine (Vitamine B2)		<i>Candida famata</i>
Acide ascorbique (Vitamine C)		<i>Acetobacter suboxydans</i>

La courbe de croissance au cours d'une fermentation industrielle est donnée sur la figure ci-dessous. Elle fait apparaître quatre phases distinctes.

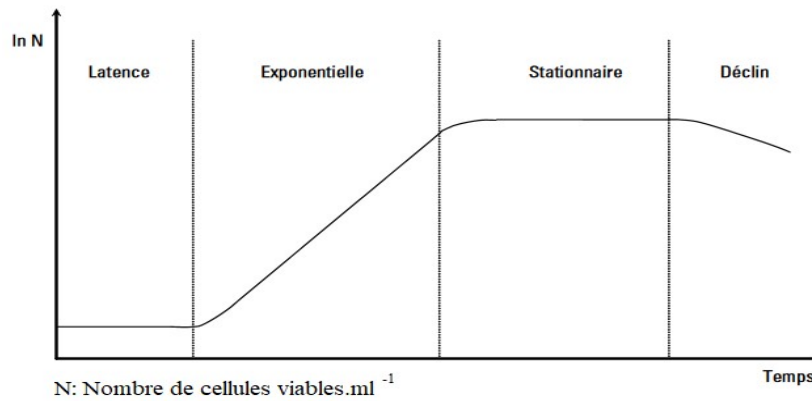


Figure 2. Courbe de croissance bactérienne en mode discontinu.

❖ Phase de latence : elle correspond à une période d'adaptation du microorganisme au milieu de culture.

❖ Phase exponentielle : où la vitesse spécifique de croissance est maximale. Les métabolites obtenus au cours de cette phase sont les métabolites primaires.

❖ Phase stationnaire : Elle fait suite à la consommation des nutriments et à la présence de déchets microbiens bactériostatiques et bactéricides. Les métabolites secondaires sont synthétisés le plus souvent à la fin de la phase de ralentissement et pendant la phase stationnaire.

❖ Phase de déclin : elle correspond à la diminution de la biomasse due à une lyse cellulaire.

1.2. Bioconversion

La bioconversion est une biotransformation de la matière ou de l'énergie. En général, la fermentation correspond à une réaction de biotransformation en présence de microorganismes, alors que la bioconversion est une transformation due à une enzyme isolée.

2. Réactions chimiques

2.1. Gélification

Un gel est un liquide semi-solide de nature colloïdale. Il est constitué principalement de :

-Gélifiant: c'est le composé dispersé ou solubilisé dans un solvant formant le réseau du gel. Les gélifiants alimentaires sont des macromolécules de nature protéique (gélatine) ou glucidique (pectine, carraghénane, amidon, alginate...). La plus part des gélifiants peuvent augmenter la viscosité d'un liquide à très faible concentration (<

5%). L'effet gélifiant peut être amélioré par des facteurs physiques (température) ou chimiques (présence d'ions Ca^{2+} ...).

-Solvant : qui est un liquide (eau).

La gélification passe par trois étapes fondamentales :

- ✓ Etat « sol » : c'est une solution formée de (gélifiant + solvant), les macromolécules sont éloignées les unes des autres.
- ✓ Etat « gel » : c'est la formation d'un réseau ou un gel élastique par l'association des chaînes de gélifiant.
- ✓ Etat « gel rigide » : les chaînes s'organisent entre elles pour former un gel ferme (Figure 3).

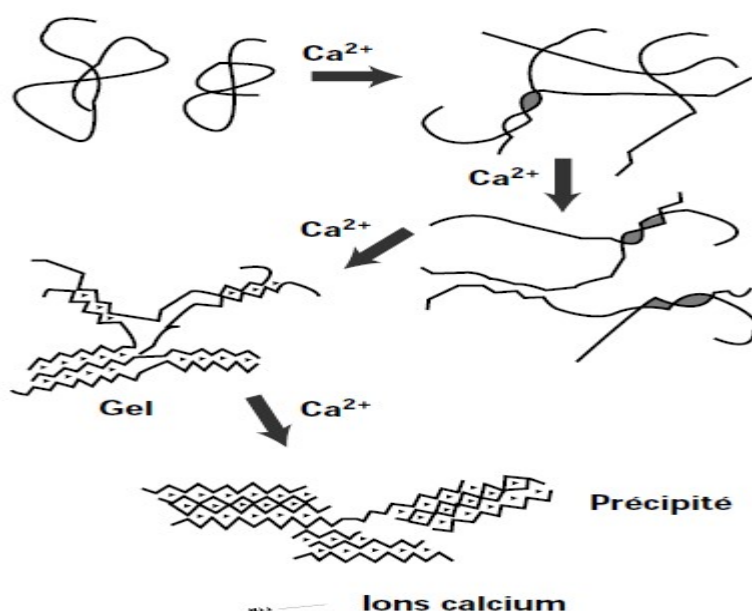


Figure 3. Etapes de gélification.

Le tableau 2 donne des exemples des gélifiants les plus utilisés dans l'industrie alimentaire.

Tableau 2. Principaux gélifiants utilisés en industrie alimentaire.

Origine	Gélifiant	Applications
Algues brunes	Acide alginique (SIN 400)	Laits gélifiés...
Algues rouges	Agar-agar (SIN 406)	Confiserie...
Algues rouges	Carraghénane (SIN 407)	Crèmes desserts, flans, yaourts...
Fruits	Pectine (SIN 440)	Confitures...
Céréales	Amidons modifiés (SIN 14XX)	Mayonnaise, yaourts...

2.2. Coagulation

Le lait est un système hétérogène constitué de trois phases différentes :

- Phase émulsifiable : (matière grasse + vitamines liposolubles) dispersées dans l'eau.
- Phase vraie (phase aqueuse): (protéines hydrosolubles + sels minéraux + glucides (tq. Le lactose)) dissous dans l'eau.
- Phase colloïdale : micelles de caséines.

La caséine est la protéine dominante du lait. Elle est constituée principalement des acides aminés suivants : acide glutamique, proline, leucine, lysine, sérine et thréonine.

En fonction des masses moléculaires, des taux des glucides et du taux de proline, des types de caséines se distinguent : α S1, α S2, β , et κ .

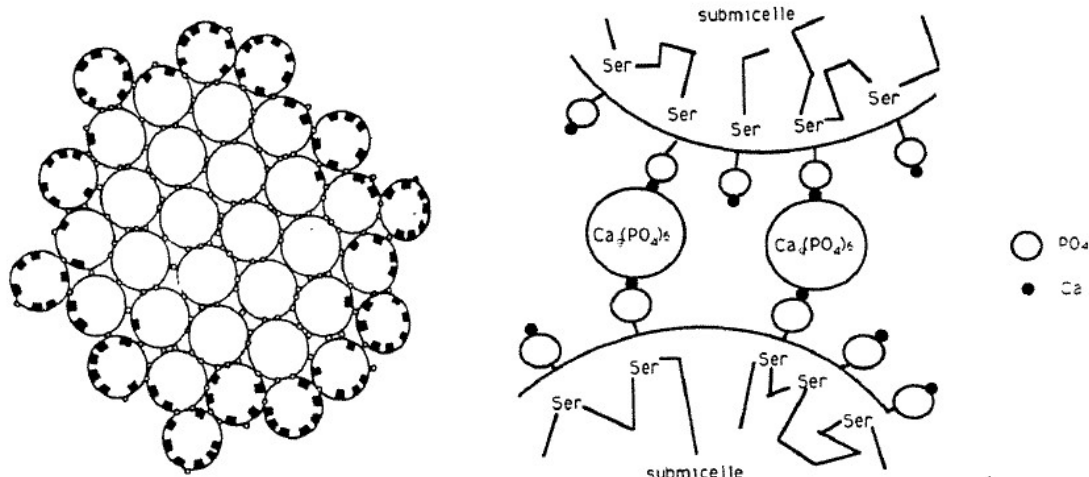


Figure 4. Micelle de caséine (Modèle de Schmidt).

La coagulation du lait est une **modification physico-chimique** des micelles de **caséine** sous l'action d'**enzymes** protéolytiques et (ou) d'**acide lactique**. Elle entraîne la formation d'un réseau protéique appelé coagulum ou gel.

On distingue :

✓ Coagulation enzymatique : Elle est assurée par des enzymes protéolytiques d'origine animale (Présure, pepsine, chymosine...), végétale (Papaïne...), ou microbienne (*Bacillus coagulans*, *Mucor pusillus*...). Au cours de la coagulation enzymatique par la présure, la caséine κ est hydrolysée en deux fragments (hydrophile-lipophile), ensuite un précipité est formé.

✓ Coagulation acide : En plus de l'utilisation des ferments lactiques, l'acidification du lait peut être effectuée par l'ajout des acides alimentaires (acides acétique, citrique, phosphorique ...). Cela provoque la liaison des micelles de caséines entre elles pour former un gel après solubilisation du phosphate et du calcium y inclus.

Références principales :

-E. Aubree, Fiche : Mécanismes de gélification des pectines, Centre de développement alimentaire, Baupte. www.docplayer.fr

-G. Bourat, Fermentations-Propriétés des micro-organismes, Techniques de l'ingénieur, J6002, 1992.

-M. Szekalska, A. Pucilowska, E. Szymanska, P. Ciosek, K. Winnicka, Alginate: current use and future perspectives in pharmaceutical and biomedical applications, International Journal of Polymer Science, ID 7697031 (2016) 2.

-Normes alimentaires internationales, Codex Alimentarius, FAO, 2019.

-P. Baduel, Fermentations-Principales applications industrielles, Techniques de l'ingénieur, J6003, 2002.

-P. Chillet, Opérations unitaires en génie biologique, Canopé–CRDP, Bordeaux, 2011.

-S. D. Banon, Modification de la structure des micelles de caséine lors de l'acidification du lait par hydrolyse de Glucono-Delta-Lactone, Thèse de doctorat, Biotechnologies et industries alimentaires, Institut national polytechnique, Lorraine, 1991.