

IV production des acides aminés(Aa) par les microorganismes

Introduction :

Les acides aminés synthétisés dans la cellule sont utilisés, pour la plus grande partie d'entre eux, pour la formation de protéines car de nombreux systèmes de régulation sont présents dans la cellule. De nombreux mutants ont été isolés pour augmenter la production d'acides aminés. Les acides aminés les plus intéressants du point de vue industriel sont les acides aminés « essentiels ».

Les acides aminés peuvent être produits par différentes voies :

- Par voie chimique
- par voie enzymatique
- par des méthodes d'extraction à partir d'une source riche en acides aminés exigés
- par fermentation microbienne en culture.

4.1. Domaine d'utilisation des acides aminés produits par les microorganismes

Les acides aminés sont utilisés dans l'industrie agroalimentaire comme :

- *agents de saveur en alimentation humaine : ainsi le glutamate sous forme du glutamate monosodique comme exhausteur de saveur de type "goût de bouillon"
- *agents édulcorant (pouvoir "de goût sucré") en nutrition humaine : ainsi l'aspartame (dipeptide synthétisé par la condensation des acides aminés : aspartique et phénylalanine)
- *agents de complémentation en nutrition humaine et animale, pour améliorer la valeur nutritive des produits végétaux, particulièrement pour le cas des acides aminés essentiels : lysine et méthionine qui sont généralement insuffisants chez les végétaux.

4.2 Voies métaboliques de la synthèse des acides aminés

Pour la synthèse d'un acide aminé par un microorganisme, il nécessite la présence des intermédiaires pour former la chaîne **hydrocarbonée** et d'autres pour la fonction **amine**.

La synthèse des acides aminés par les microorganismes, s'effectue à partir de produits intermédiaires du métabolisme glucidique (source de la chaîne hydrocarbonée) : érythrose-phosphate ,produit du cycle des pentoses), produits de la **glycolyse** (trioses-P : phosphoénolpyruvate, phosphoglycérate ; pyruvate, acétyl-CoA) et produits du **cycle de Krebs**(oxaloacétate, α -cétoglutarate).

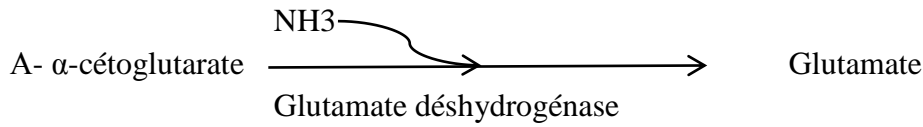
Le groupement amine provient d'un autre acide aminé par une réaction de transamination
La forme d'azote la plus facilement utilisée est la forme **ammoniacale**, mais d'autres formes peuvent être intégrées, y compris la forme moléculaire N₂.

- Les nitrates(NO₃⁻) et les nitrites(NO₂⁻) sont utilisés sous forme d'ammonium (NH₄⁺) grâce à l'existence des réductases correspondantes.
- L'utilisation de l'azote moléculaire (N₂) n'est possible que chez un nombre limité de microorganismes (Azotobacter, Achromobacter, Klebsiella, Bacillus, Enterobacter,

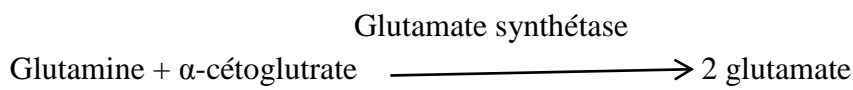
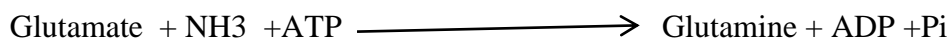
Actinomyces, certains Clostridium, bactéries photosynthétiques, Cyanophycées...), dont certains sont symbiotiques (Rhizobium, Frankia).

L'incorporation du NH₃ fait intervenir deux systèmes :

-En présence d'une forte concentration

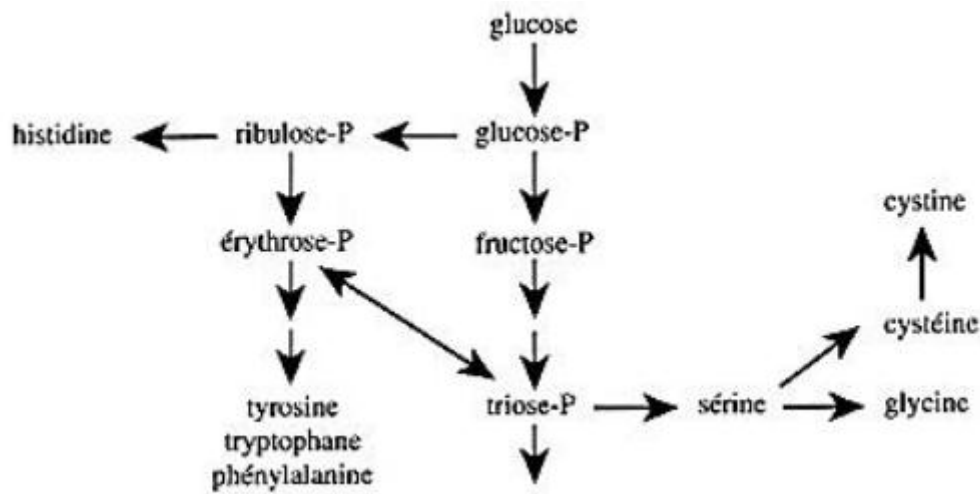


B- En présence d'une faible concentration



4.2.1. Biosynthèse de certains acides aminés à partir des intermédiaires glucidiques

La synthèse des acides aminés à partir des intermédiaires glucidiques est schématisée dans la figure1.



A partir de l'aspartate, s'ouvrent les voies de la biosynthèse de la lysine (bactéries), de la méthionine, de la thréonine et de l'isoleucine.

L'accumulation de lysine peut être obtenue chez des mutants auxotrophes pour la méthionine et la thréonine. La thréonine peut être accumulée par des mutants d'*Escherichia coli* auxotrophes pour la lysine et la méthionine.

L'isoleucine (la L-isoleucine est l'un des acides aminés les plus chers) peut être préparée à partir de milieux riches en thréonine par *Streptomyces rimosus* ou *Serratia* et à partir de milieux contenant de l'acide α -aminobutyrique (α -ABA) par des souches de *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas*, *E.coli*... L' α -ABA et l'isoleucine exercent un effet stimulant sur l'accumulation d'homosérine par des mutants auxotrophes pour la thréonine.

4.5. Synthèse de la leucine et de la valine

La voie de biosynthèse de ces deux acides aminés se rattache au pyruvate et utilise des enzymes communes à la voie de transformation de la thréonine en isoleucine (**Figure 2**).

La valine peut être accumulée par des mutants de certains *Aerobacter* ou de *Micrococcus glutamicus* auxotrophes pour l'isoleucine et la leucine.

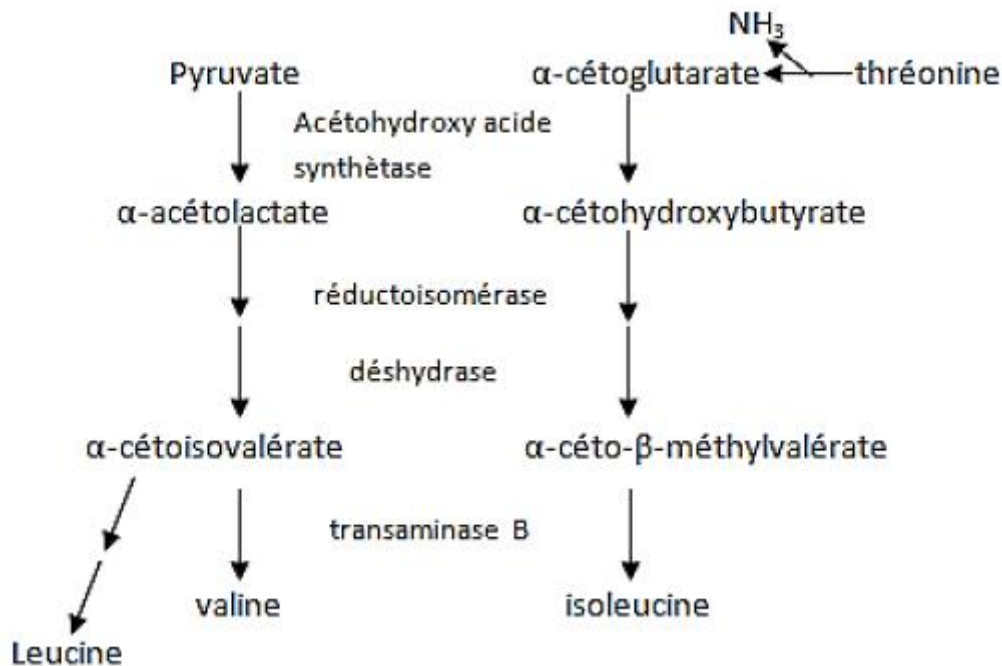


Figure2. Voies de biosynthèse des Aa : valine ; leucine et isoleucine

V. Production des acides organiques

5.1. Définition

Un acide organique est un composé capable de libérer un cation (ion chargé positivement) H^+ en milieux aqueux. Les acides organiques les plus courants sont les acides carboxyliques: Acide lactique, acide acétique, Acides propionique, acide butyrique, acide citrique... etc.

5.2. Domaine d'utilisation des acides organiques

Les acides organiques sont des additifs très utilisés dans l'industrie alimentaire.

Ils peuvent servir d'agents de conservation, d'acidifiants, d'antioxydants et d'émulsifiants.

5.3. Micro-organismes producteurs des acides organiques

Les espèces microbiennes impliquées dans la production des acides organiques se différencient selon le type de l'acide d'intérêt industriel (**Tableau 1**).

Tableau 1. Les acides organiques produits par les micro-organismes et leurs utilisations dans l'industrie alimentaire.

Acides organiques	Micro-organismes producteur	Exemples d'utilisation
Acide acétique	Acetobacter aceti (bactérie)	Agent de conservation dans les mayonnaises, pâtisseries...
Acide lactique	Lactobacillus (bactérie) Aspergillus griseus (moisissure) Rhizopus (moisissure)	Agent de conservation et acidulant pour confitures, boissons gazeuses, olives, poissons...
Acide citrique	Aspergillus niger (moisissure)	Acidulant et antioxydant dans les boissons gazeuses, produits laitiers, fruits congelés..
Acide gluconique	Aspergillus niger (moisissure) Pénicillium chrysogenum (moisissure)	Acidulant pour viandes, renforce le goût dans la margarine...
Acide fumarique	Rhizopus (moisissure) Mucor (moisissure)	Acidulant dans les jus de fruits...
Acide malique	Pénicillium brevicompartum (moisissure) Leuconostoc (bactérie) Aspergillus oryzae (moisissure)	Acidulant dans les jus de fruits, crème glacée...
Acide tartrique	Pénicillium notatum (moisissure)	Acidulant pour boissons...
Acide propionique	Propionibacterium spp	Agent de conservation de nombreux aliments, dont les pâtisseries...

5.4. Voies métaboliques de production des acides organiques

La production des acides organiques se commence par la dégradation du glucose (glycolyse) et la formation du pyruvate. La transformation du pyruvate en acide organique s'appelle un processus de fermentation.

5.4.1 Fermentation lactique

La fermentation lactique est une réaction anaérobie de fermentation qui se produit dans certaines bactéries et des cellules animales, telles que les cellules musculaires.

On distingue deux(02) types de fermentation lactique : fermentation **homolactique** et **hétérolactique**.

5.4.1.1. Fermentation homolactique

Au cours de laquelle une molécule de glucose est finalement convertie en deux molécules d'acide lactique. Il y a fermentation homolactique quand la quantité d'acide lactique est très supérieure à celle des autres produits formés (de l'ordre de > 90% des sucres fermentés). Contrairement, la fermentation hétérolactique (représente entre 25 et 90% d'acide lactique). Suivant les organismes, l'isomère optique formé est soit l'acide D (-), soit l'acide L (+), soit la forme racémique. La proportion d'acide lactique formée varie en fonction du pH (87% à pH 5 et 61% à pH 9 pour *Streptococcus faecalis*). Les autres produits accumulés sont l'acide acétique, l'acide formique, l'éthanol. La fermentation lactique est très utilisée en fromagerie. La fermentation homolactique est effectuée par tous les espèces des genres bactériens *Streptococcus*, *Pediococcus* et *Microbacterium*, par beaucoup de *Lactobacillus*, par certains *Bacillus* et certaines moisissures (Phycomycètes: Oomycètes).

La réaction globale de la fermentation homolactique s'écrit comme suit :

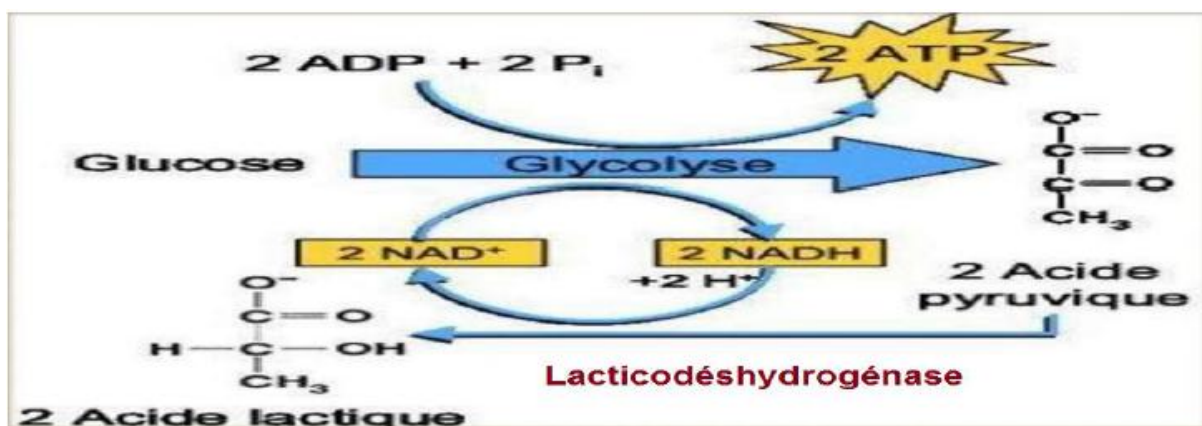


Figure 1. Fermentation homolactique

5.4.1.2. Fermentation hétérolactique

De nombreuses bactéries appartenant aux genres *Lactobacillus* (*L. brevis*, *L. fermenti*), *Leuconostoc* (*Leuc. mesenteroides*, *Leuc. pentosaceus*) diverses entérobactéries et la moisissure *Rhizopusoryzae* (Figure.2) dégradent les hexoses avec formation quasi stoechiométrique d'une molécule de gaz carbonique, d'une molécule d'éthanol et d'une molécule d'acide lactique selon la réaction globale suivante :



Les sucres à cinq atomes de carbone (pentoses) peuvent parfois être fermentés (appelée aussi voie des pentoses phosphates ou voie de Dickens et Horecker) et donnent alors une molécule d'éthanol et une molécule d'acide lactique. Outre ces produits, qui représentent plus de 80%

des glucides utilisés, on obtient également de l'acide acétique et du glycérol. Les fermentations hétérolactiques interviennent également en fromagerie.

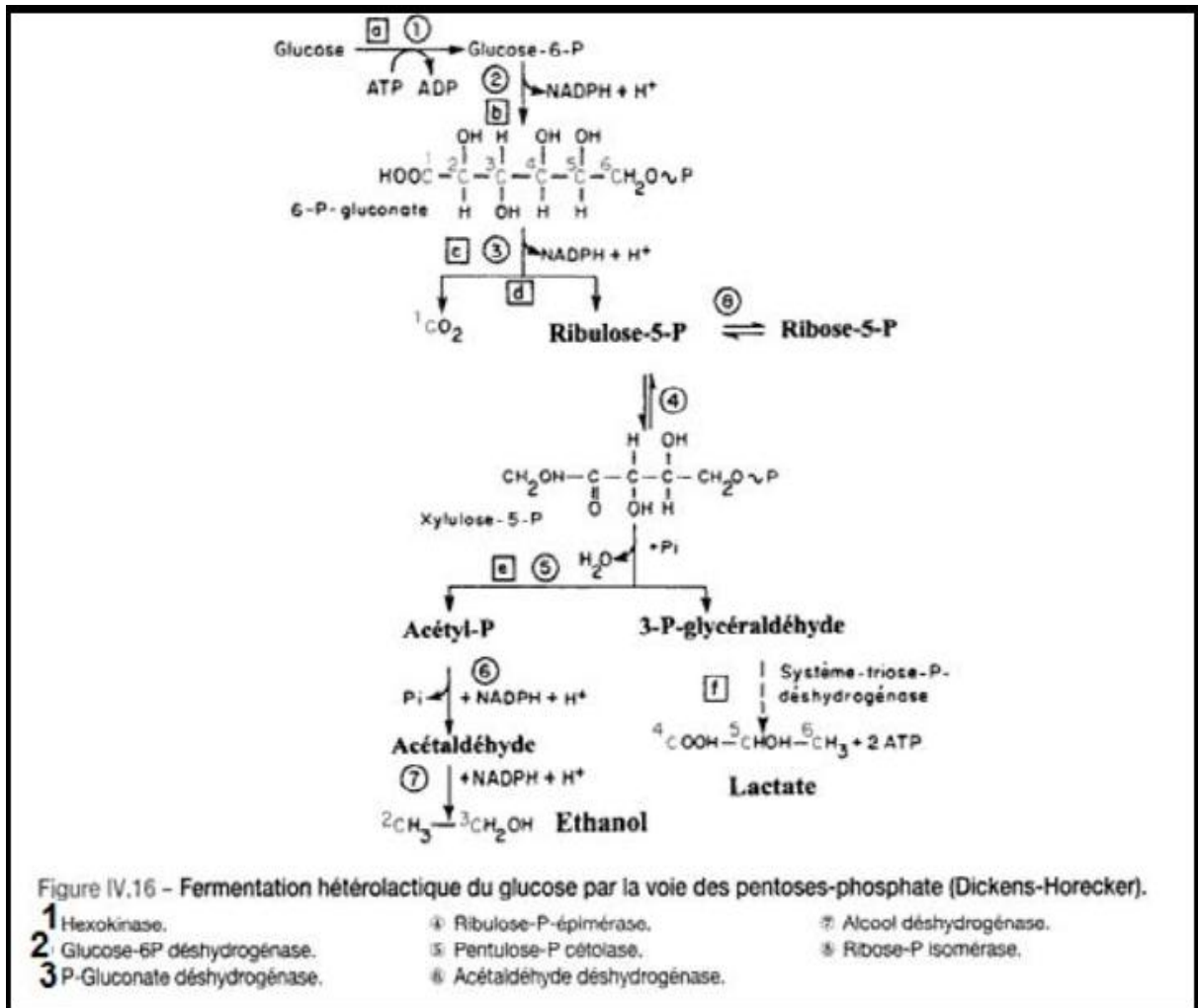


Figure 2. Fermentation hétérolactique.

5.4.2. Fermentation butyrique

Essentiellement réalisée par les bactéries anaérobies strictes appartenant presque exclusivement au genre *Clostridium* (Cl.) :

– *Cl. butyricum*, *Cl. tyrobutyricum*, *Cl. lactoacetophilum* dégradent l'amidon avec production de dioxyde de carbone (près de 45% du glucose disparu), d'acide acétique (25%), d'acide butyrique (25%) et d'hydrogène. La gangrène gazeuse est due à l'infection, par des bactéries de ce type, de tissus non oxygénés du fait de la destruction par traumatisme de l'appareil circulatoire.

– *Cl. perfringens*, *Cl. tetani* produisent, en plus, de l'acide lactique et de l'éthanol.

Cl. Pasteurianum, *Cl. acétobutylicum* donnent, en milieu acide, des quantités notables d'alcool butyrique et d'acétone, et, en milieu alcalin, surtout de l'acide butyrique (figure 3) .

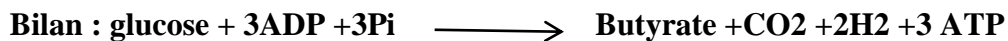
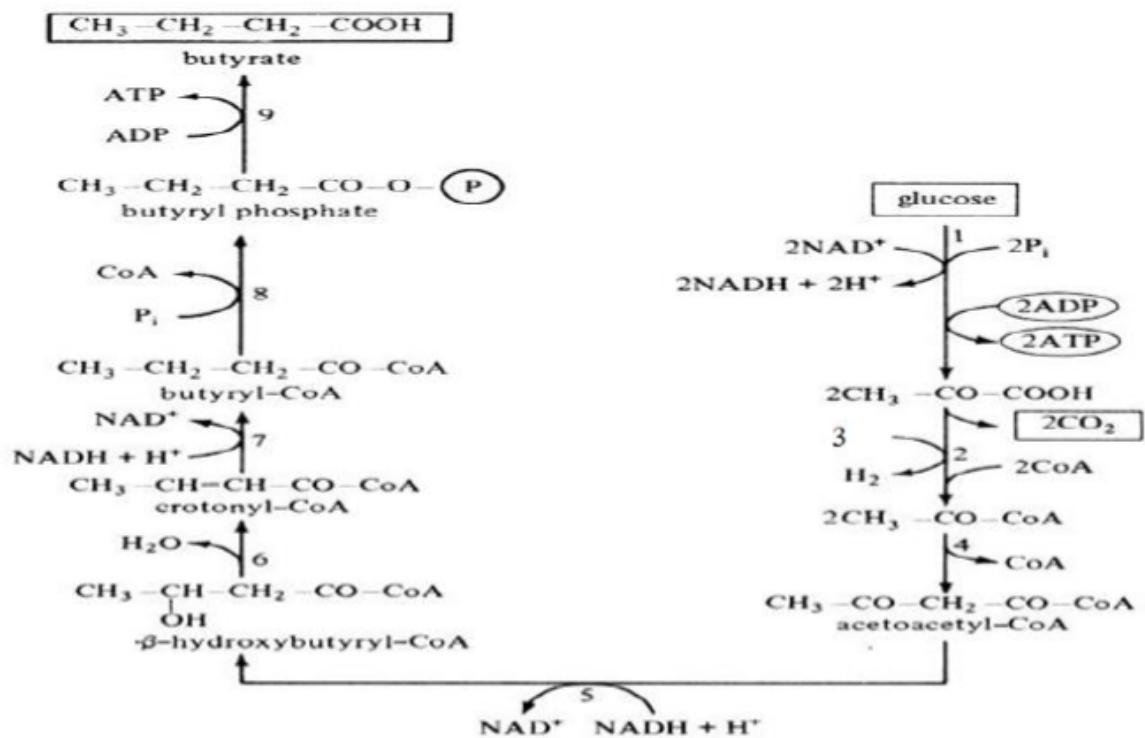


Figure 3. Production de l'acide butyrique.

1, Enzymes du glycolyse; **2**, pyruvate-déshydrogénase; **3**, hydrogénase; **4**, acetyl-CoA-acetyltransférase (thiolase); **5**, β-hydroxybutyryl-CoA-déshydrogénase; **6**, crotonase; **7**, butyryl-CoA-déshydrogénase; **8**, phosphotransbutyrylase; **9**, butyrate kinase.

5.4.3. Fermentation propionique

L'accumulation d'acide propionique est réalisée par diverses bactéries anaérobies strictes ou facultatives, notamment du genre *Propionibacterium* et certaines *Clostridium*, *Corynebacterium*, *Neisseria*, *Veillonella*, en utilisant des substrats variés, comme les sucres, le glycérol, l'acide lactique, l'acide malique. Cette fermentation, à partir d'acide lactique, joue un rôle en fromagerie (fabrication des fromages de type gruyère). L'acide propionique est formé par réduction du pyruvate, ou par décarboxylation de l'acide succinique. La fermentation propionique peut s'effectuer aussi à partir du lactate avec le pyruvate comme intermédiaire, sauf chez *Clostridium propionicum* où l'intermédiaire est l'acide acrylique (**Figure. 4**).

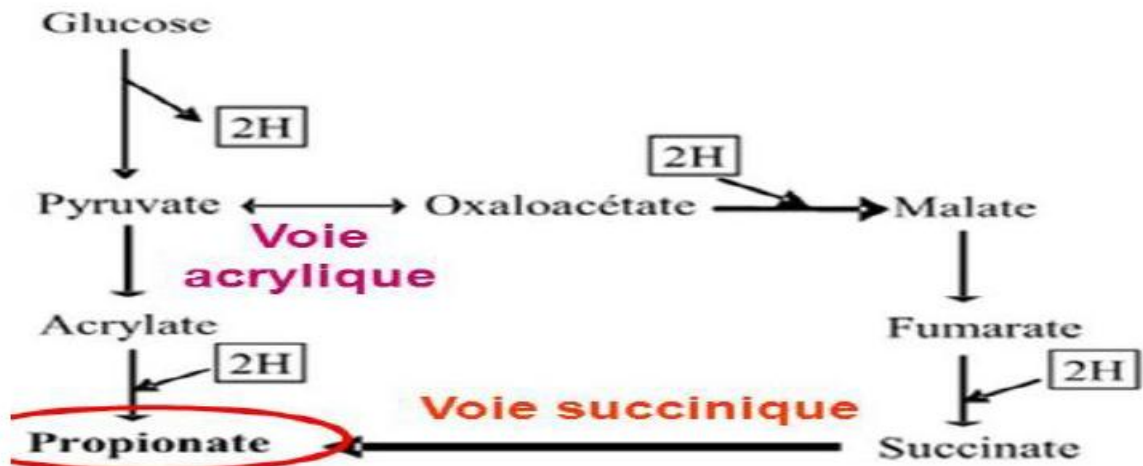


Figure 4. Production d'acide propionique.

5.4.4 Fermentations acides mixtes

La fermentation acide mixte montre une diversité des produits de fermentation.

C'est le cas le plus fréquent pour les fermentations bactériennes. Elle est réalisée par des Entérobactéries appartenant aux genres *Escherichia*, *Salmonella*, *Proteus*, *Shigella* et *Yersinia*. Elle est aussi rencontrée chez les *Vibrio*, certains *Aeromonas*. *Escherichia coli*, anaérobie facultatif, dégrade le glucose en anaérobiose avec formation des produits suivants: acide acétique (45% du glucose utilise), acide succinique (5%), acide lactique (17%), acide formique (1%), gaz carbonique (13%), éthanol (16%), hydrogène (1%). Ces proportions varient beaucoup en fonction du pH du milieu: en milieu alcalin, l'acide formique est beaucoup plus important et il ne se dégage plus de gaz carbonique (**Figure 5**).

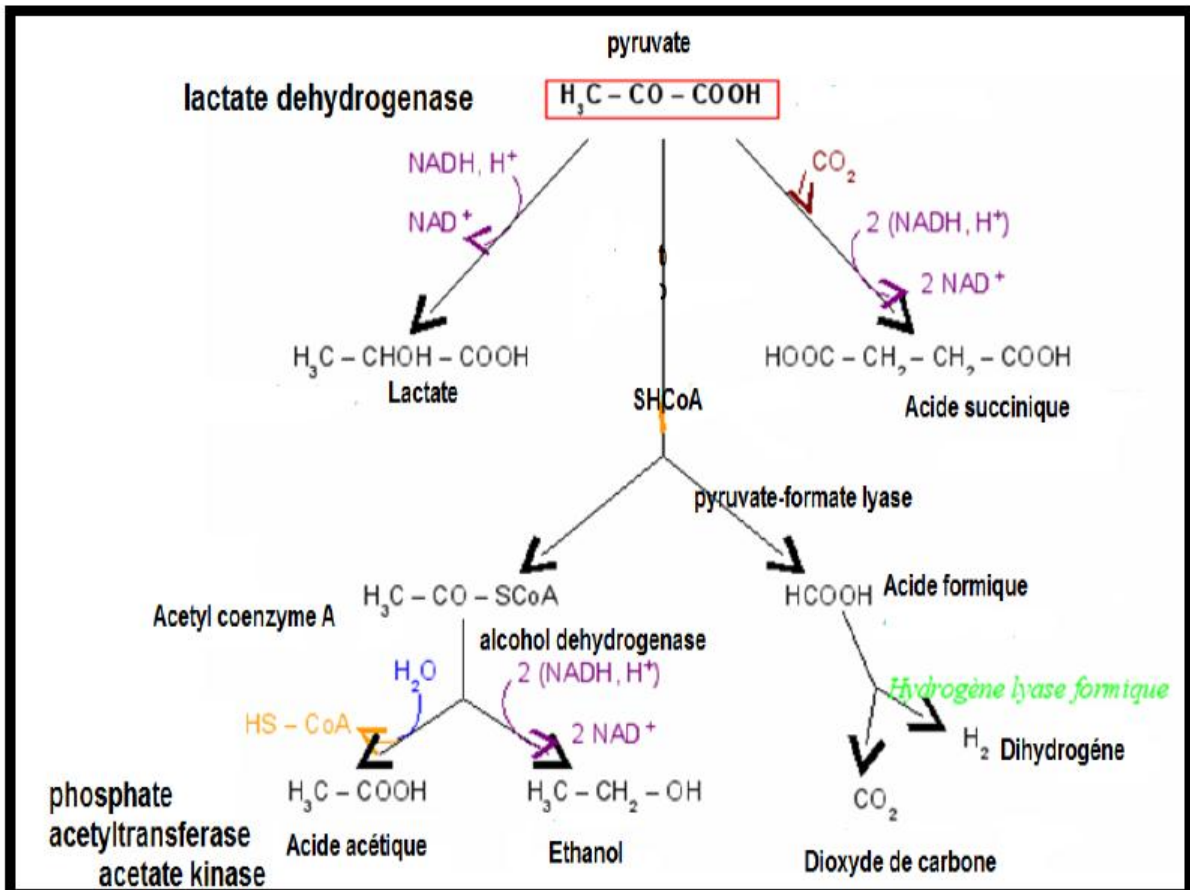


Figure 5. Fermentation acide mixte.

