



# **Biologie et Physiologie Végétales**

## **Respiration et fermentation**

**Imen KHOUNI**

### **Attention !**

Ce produit pédagogique numérisé est la propriété exclusive de l'UVT. Il est strictement interdit de la reproduire à des fins commerciales. Seul le téléchargement ou impression pour un usage personnel (1 copie par utilisateur) est permis.

**OBJECTIF:**

Cette session permet

à l'étudiant de savoir les échanges gazeux issus de la respiration (par comparaison à la photosynthèse) et les conditions de la fermentation des végétaux.

L'étudiant pourra alors distinguer entre respiration, photosynthèse et fermentation.

**PLAN**

I. La respiration

II. Fermentation

## I. La respiration

### I.1. Introduction

On sait que les végétaux supérieurs (surtout leurs feuilles) respirent. Grâce à des cellules spécialisées (mitochondries), elles consomment et émettent alternativement de l'oxygène et du dioxyde de carbone dans l'atmosphère (*figure 45*). La quantité annuelle de  $\text{CO}_2$  rejetée par les plantes est évaluée à 60 Gt par an. Or, tous les modèles actuels prévoient qu'avec l'augmentation du gaz carbonique et des températures, les plantes vont augmenter leur respiration, et donc rejeter encore plus de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère.

La respiration permet, tant aux autotrophes qu'aux hétérotrophes, d'obtenir de l'énergie à partir des glucides. Cette énergie est nécessaire pour qu'ils puissent grandir, bouger et assurer toutes leurs fonctions vitales.

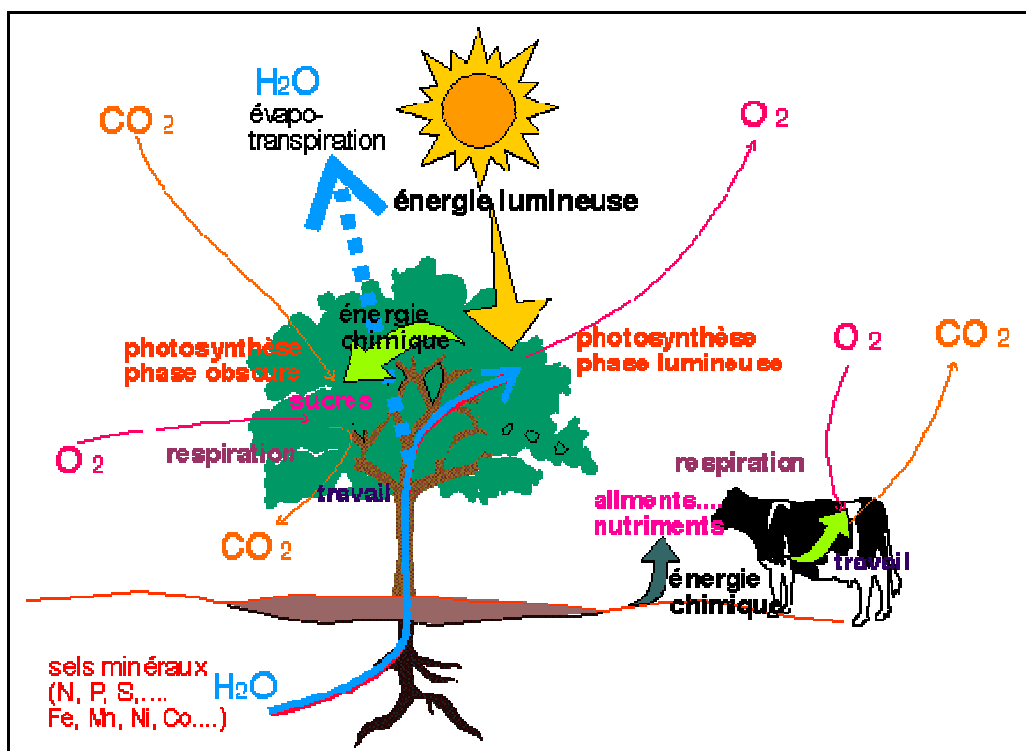


Figure 45 : Echange respiratoire des plantes avec l'atmosphère

Les facteurs qui influencent la respiration chez les végétaux sont :

- **la température** : la respiration est réduite au minimum lorsque la température descend sous 0 °C et elle est maximale à des températures se situant entre 45 et 50 °C;
- **le stade de développement de la plante** : chez les arbres, la respiration augmente pendant la floraison;
- **le type de plante** : les plantes ligneuses respirent moins que les plantes herbacées.

## I.2. Echanges gazeux

Les plantes respirent le jour et la nuit. Par contre, la photosynthèse se déroule seulement le jour, en présence de la lumière (*figure 46*).

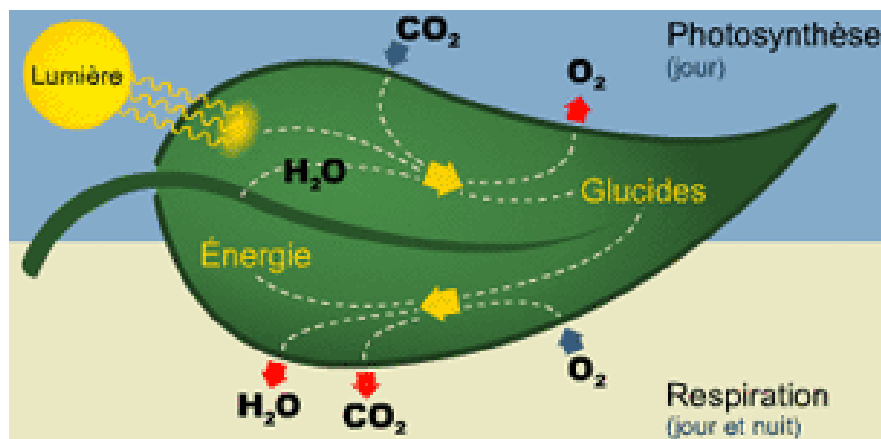
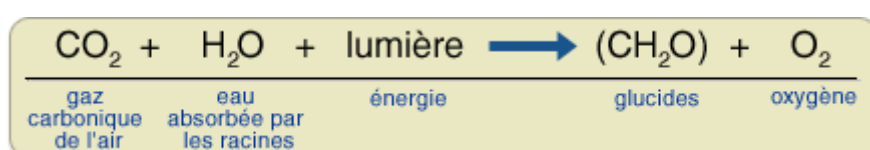


Figure 46 : Schéma montrant les échanges gazeux par respiration et par photosynthèse au niveau d'une feuille végétale.

### I.2.1. Les échanges gazeux par photosynthèse

La photosynthèse est le processus par lequel les végétaux, en présence de lumière, fabriquent leur nourriture et produisent leurs réserves d'énergie. La chlorophylle capte l'énergie lumineuse et l'utilise pour former des glucides (sucres) à partir de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) et d'eau. Cette réaction produit aussi de l'oxygène qui est rejeté dans l'atmosphère. La réaction se résume ainsi :

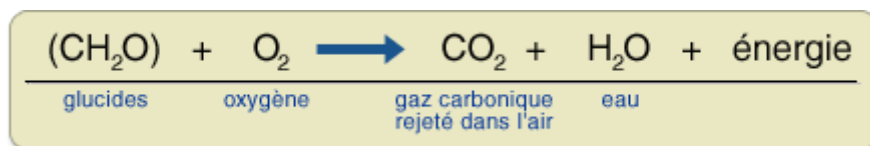


Les glucides produits lors de la photosynthèse servent à la plante de plusieurs façons :

- en tant que source d'énergie immédiate (grâce à la respiration) pour, par exemple, fonctionner, pousser, se reproduire et absorber les éléments nutritifs;
- pour le stockage de réserves énergétiques : par exemple, avant l'hiver, la plante emmagasine des sucres sous forme d'amidon. Ces réserves lui permettent de survivre pendant l'hiver et de recommencer à croître tôt au printemps;
- pour la formation des tissus végétaux : les sucres peuvent être transformés (protéines, lipides ou sucres complexes) pour former des feuilles, du bois, des fleurs, des fruits, des racines, etc.

### 1.2.2. Les échanges gazeux par respiration

La respiration est la réaction contraire de la photosynthèse. Elle consomme de l'oxygène (oxydation des sucres) et libère du gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) et de l'eau selon l'équation ci-dessous.



### 1.2.2. Bilan gazeux pendant une journée

Le **point de compensation de la lumière** des plantes photosynthétiques représente l'intensité lumineuse à laquelle la vitesse d'absorption du dioxyde de carbone (photosynthèse) est contrebalancée par la production du dioxyde de carbone (respiration); ou, à l'inverse, l'intensité lumineuse à laquelle la vitesse de production de l'oxygène est exactement contrebalancée par la vitesse de consommation de l'oxygène (*figure 47*).

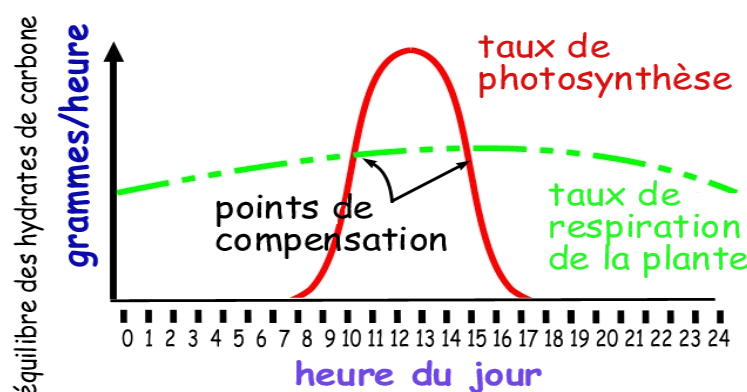
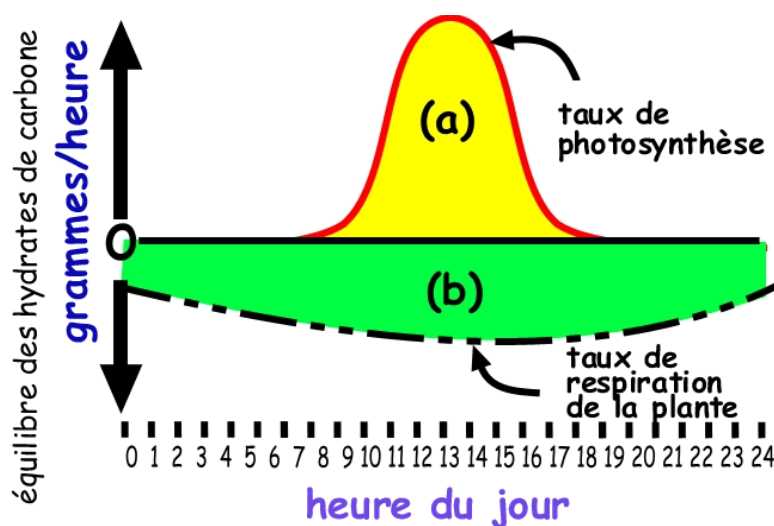


Figure 47 : Schéma montrant le point de compensation de la lumière

La respiration entraîne une consommation des hydrates de carbone produits par la photosynthèse. Par conséquent, la vitesse à laquelle les hydrates de carbone varient est négative durant leur respiration, c'est-à-dire que la quantité diminue. Cela est illustré dans la *figure 48*.



**Figure 48 : Consommation des hydrates de carbone produits par la photosynthèse lors de la respiration**

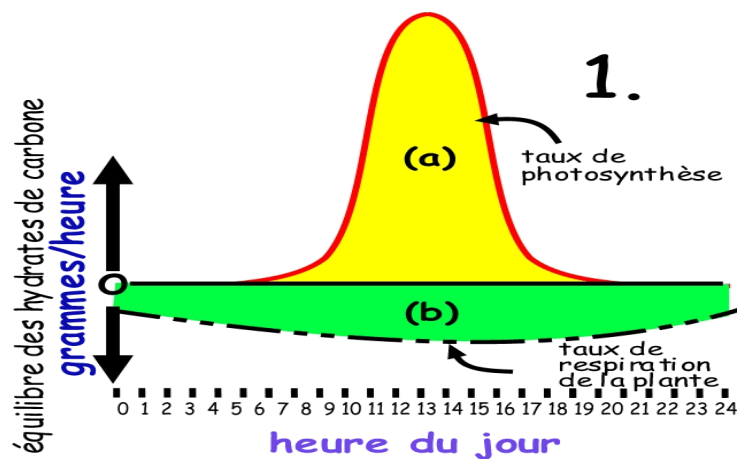
**La zone en jaune (a),** représente la quantité totale d'hydrates de carbone produite pendant une période de 24 heures (attribuable à la photosynthèse). **La zone en vert (b)** représente la quantité totale d'hydrates de carbone consommée durant la respiration.

*Pour qu'une plante verte puisse survivre, croître et produire des fruits à maturité, la zone jaune (a) doit excéder la zone verte (b).*

La zone (a), soit la quantité totale d'hydrates de carbone produite par la photosynthèse, peut être accrue de deux façons :

**1. En augmentant l'intensité** de la lumière (luminosité) (*figure 49*). Le danger est que la lumière soit trop intense et que la chaleur produite endommage les délicates cellules des plantes, tout en faisant augmenter la vitesse de transpiration, ce qui aurait pour effet de flétrir les feuilles.

Bien entendu, il y a une limite au-delà de laquelle l'intensité lumineuse n'a plus d'incidence sur le rendement photosynthétique. Pour la plupart des plantes, cela se produit lorsque l'intensité lumineuse équivaut à environ 40 % de la lumière du jour.

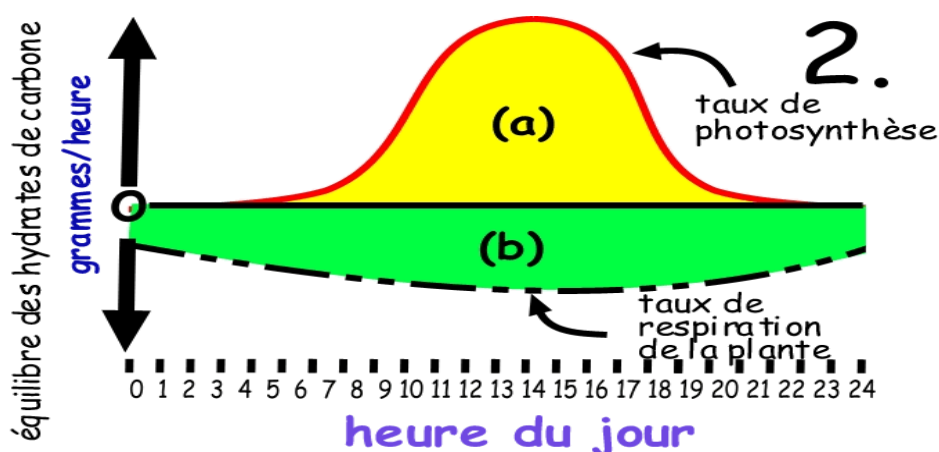


**Figure 49 : Effet de l'augmentation de l'intensité de la lumière sur l'équilibre des hydrates de carbone des plantes**

La zone (a), soit la quantité totale d'hydrates de carbone produite par la photosynthèse, peut également être augmentée :

2. En allongeant la durée d'exposition des feuilles à la lumière (*figure 50*). Dans le cas de la lumière naturelle du soleil, il n'est habituellement pas possible d'accroître la durée pendant laquelle la plante est exposée à la lumière du jour.

Pour augmenter le temps d'exposition à la lumière produisant la photosynthèse, il faut avoir recours à la lumière artificielle.



**Figure 50 : Effet de la durée d'exposition des feuilles à la lumière sur l'équilibre des hydrates de carbone des plantes**

Si l'énergie électrique disponible est suffisante, la durée et l'intensité de la lumière peuvent alors être contrôlées pour optimiser les conditions de croissance des plantes vertes. Le problème, c'est que l'utilisation de la lumière artificielle pour faire pousser les plantes vertes constitue un très mauvais usage de l'énergie.

### I.4. Le métabolisme respiratoire

Toutes les parties d'un végétal respirent : la racine, la tige, les feuilles, les fleurs et les fruits. Les échanges d'air se font à partir de petites ouvertures régulièrement dispersées appelées stomates. Cela se produit surtout la nuit, au contraire de la photosynthèse.

Le sucre fabriqué lors de la photosynthèse est stocké par les cellules de la plante et lors de la respiration, ce sucre sera brûlé par l'oxygène, c'est une réaction chimique. La combustion du glucose produira de l'énergie, de la vapeur d'eau et du dioxyde de carbone (figure 51). Cette énergie servira à la reproduction de la plante, à sa croissance et l'aidera à accomplir ses autres activités.

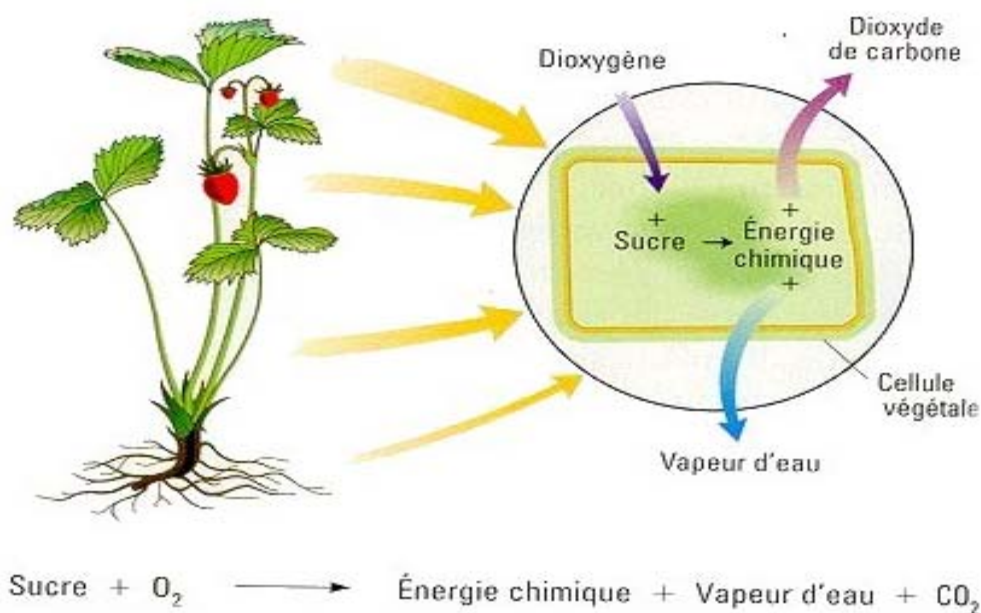


Figure 51 : Le métabolisme respiratoire des plantes

Les végétaux sont capables d'oxyder une grande variété de composés (glucides, protéines et lipides), mais l'essentiel de la respiration des végétaux s'effectue à partir d'oses simples.

Cependant, chez les végétaux, ces oses simples sont stockés sous forme de glucides de réserve (issus de la photosynthèse) :



- d'un polysaccharide : **l'amidon**. On notera que, de par leur masse les polysaccharides des parois des cellules végétales sont les plus abondants de la biosphère.
- d'un diholoside : le **saccharose**. Chez toutes les plantes supérieures, le saccharose est la molécule carbonée la plus fréquemment retrouvée dans la sève phloémienne.

En d'autres termes, les oses simples ne sont pas directement utilisables pour la respiration.

L'étape préalable est donc la **mobilisation** de l'amidon et du saccharose. Cette mobilisation consiste à dégrader par l'action d'enzymes appelées  **$\beta$ -amylase** et **saccharase** (respectivement) ces sucres complexes en oses simples qui seront exportés vers le cytosol.

Ces oses simples aboutiront à la formation du **glucose 1-phosphate** ou du **glucose 6-phosphate** précurseur de la **glycolyse**.

**Remarque** : la cellule végétale contient une proportion élevée d'un homopolysaccharide de structure, la cellulose (50% de la matière organique de la biosphère). Ce n'est donc pas un polysaccharide de réserve.

#### 1.4.1. L'amidon

Dans les cellules végétales, l'amidon est présent sous forme d'un mélange de deux polysaccharides : l'amylose et l'amylopectine.

**a. L'amylose** représente 15 à 30% de la masse de l'amidon. C'est un polymère linéaire de résidus glucose liés par une liaison  $\alpha$ -(1,4)-D-glucosidique (**figure 52**). Cette longue chaîne prend la forme d'une hélice (6 résidus de glucose par tour d'hélice), stabilisée par des liaisons hydrogène entre les groupements hydroxyle et les molécules d'eau.

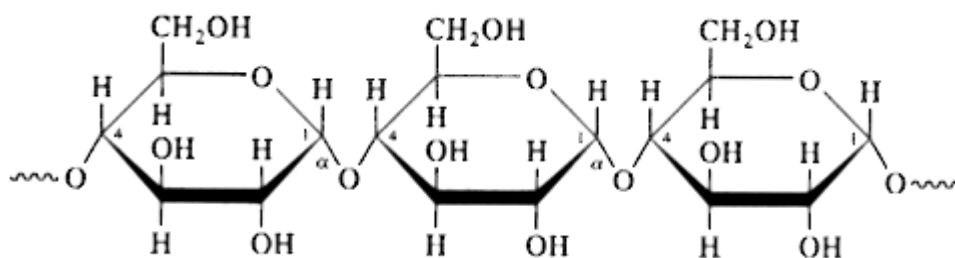


Figure 52 : Structure de l'amylose

**b. L'amylopectine :** représente 70 à 85% de la masse de l'amidon. Elle diffère de l'amylose du fait qu'il s'agit d'un polymère ramifié (*figure 53*) :

- les glucoses des chaînes sont liés par la liaison  $\alpha$ -(1,4)-D-glucosidique,
- et les branchements entre chaînes sont liés par la liaison  $\alpha$ -(1,6)-D-glucosidique.

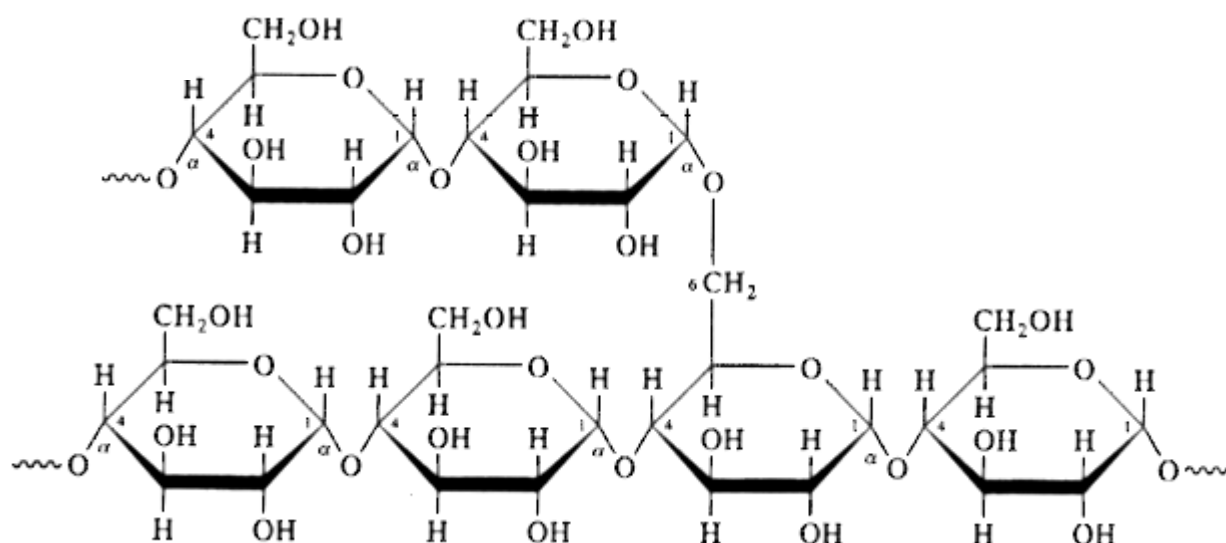
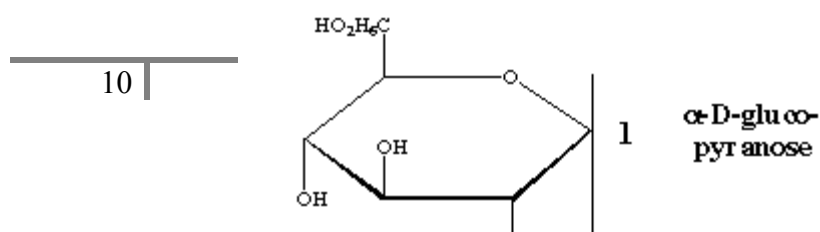


Figure 53 : Structure de l'amylopectine

#### 1.4.2. Le saccharose ou $\alpha$ -D-glucopyranosyl- $\beta$ -D-fructofuranoside

C'est un sucre extrêmement représenté dans le règne végétal et tout particulièrement dans la canne à sucre et la betterave. Il est hydrolysé par la saccharase en  $\alpha$ -D-glucopyranose et en  $\beta$ -D-fructofuranose. C'est le seul diholoside non reducteur trouvé à l'état naturel avec le tréhalose. En effet, l'hydroxyle du carbone anomère du fructose (carbone 2) est engagé dans une liaison osidique avec le carbone anomère du glucose (carbone 1). Ainsi, on peut considérer le saccharose comme étant :

- l' $\alpha$ -D-glucopyranosyl- $\beta$ -D-fructofuranoside (liaison 1,2) (*figure 54*),
- ou le  $\beta$ -D-fructofuranosyl- $\alpha$ -D-glucopyranoside (liaison 2,1).



### **I.5. Conclusion**

La respiration est une réaction fondamentale de tous les végétaux sur pied, et après la récolte. Chez la plante qui pousse, il s'agit d'un processus qui ne s'interrompt jamais tant que les feuilles continuent à fabriquer des hydrates de carbone, et qui ne peut être interrompu sans dommage pour la plante pendant sa croissance ou pour le produit récolté.

## **II. Fermentation**

**N.B : Cette partie sera détaillée au cours de microbiologie industrielle (technologie de fermentation).**

### **II.1. Introduction**

La respiration exige une bonne aération. L'air contient environ 20 pour cent de l'oxygène indispensable à la respiration normale de la plante, durant laquelle l'amidon et les sucres sont transformés en gaz carbonique et en vapeur d'eau. Lorsque l'air se raréfie et que la quantité d'oxygène libre dans le milieu ambiant descend en dessous de 2 pour cent au moins, il y a **fermentation** et non plus respiration. La fermentation décompose les sucres en alcool et en gaz carbonique, et l'alcool ainsi produit confère une odeur désagréable au produit et accélère son vieillissement.

Le terme fermentation est dérivé du mot latin *fervere*, qui signifie bouillir. En effet, l'observation d'un liquide en fermentation (alcoolique principalement) montre un dégagement important de gaz provoquant de la mousse, de l'écume et l'aspect d'un liquide en ébullition.

C'est en réalité, l'action de transformation de substances végétales sous l'action de micro-organismes ou plus exactement d'enzymes qu'ils contiennent.

## II.2. Les différents types de fermentation

Il existe plusieurs types de fermentation à savoir :

### 1. La fermentation alcoolique

Cette fermentation est réalisée par des levures dont la levure de boulanger (*Saccharomyces cerevisiae*). L'équation bilan de la fermentation alcoolique est la suivante :



### 2. La fermentation acétique

C'est l'oxydation de l'éthanol en acide acétique. Cette oxydation peut être réalisée par des bactéries comme *Acetobacter* et *Gluconobacter*. L'équation bilan de la fermentation acétique est la suivante :



### 3. La fermentation lactique

Elle est aussi appelée la fermentation homolactique, ou encore lactofermentation. Elle est réalisée par *Streptococcus*, *Lactobacillus* et certains *Bacillus*. Cette fermentation est appliquée pour la fabrication des produits ensilés. L'équation bilan de la fermentation lactique est la suivante :



### 4. La fermentation butyrique

C'est la fermentation type des boîtes de conserve avariées, des ensilages de mauvaise qualité et de la choucroute ratée. Elle est provoquée par des *Clostridium butyricum* et *C. perfringens*. L'équation bilan de la fermentation butyrique est la suivante :



### 5. La fermentation acétonobutylique

Elle est réalisée par *Clostridium acetobutylicum* qui donne naissance à des substances comme l'acétone, le butanol, etc. Elle peut servir à la valorisation des produits agricoles par la production de carburants.

## II.3. Applications industrielles

En industrie agroalimentaire, plusieurs produits sont obtenus suite à l'application de la technologie de fermentation à des matières premières de nature végétale ; citons à titre d'exemple :

### 1. La fabrication de pâtes levées et de pain

Le pain est fabriqué à partir de farine, de levure ou levain, de sel et d'eau. C'est l'activité chimique des levures qui provoque le dégagement de bulles de gaz carbonique et fait lever la pâte à pain. Le levain est une pâte en fermentation à réaction acide qui provient de la fermentation spontanée d'un mélange de farine et d'eau. Il contient une microflore acidifiante constituée essentiellement de bactéries lactiques (*Streptococcus*, *Lactobacillus*, *Bacillus*) et de levures (*Saccharomyces cerevisiae*).

### 2. La fabrication de boissons alcoolisées

La fermentation alcoolique sous l'effet des levures transforme le glucose en éthanol et en dioxyde de carbone. La fabrication de l'alcool est un processus complexe qui fait souvent intervenir plusieurs micro-organismes.

### 3. La fabrication de vinaigre

Le vinaigre est obtenu par la fermentation acétique qui transforme en acide acétique l'alcool d'un vin sous l'effet des bactéries *Acetobacter*. C'est l'acide acétique qui donne au vinaigre son acidité caractéristique et en fait un conservateur efficace.

### 4. La fabrication d'ensilage

L'ensilage est une méthode de conservation du fourrage par voie humide passant par la fermentation anaérobie. Il est caractérisé par une acidification rapide due à la production des acides organiques, essentiellement l'acide lactique, par les bactéries d'acide lactique « *Lactobacillus* ». Le fourrage sera conservé et préservé de la détérioration des microorganismes indésirables. L'ensilage

est un processus efficace pour stabiliser les produits végétaux utilisables dans l'alimentation animale.

Le bilan de la fermentation au cours de l'ensilage se résume comme suit :

✚ en présence d'oxygène:

**Matière végétale + O<sub>2</sub> + Bactéries aérobies** → **CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + chaleur**

✚ en absence d'oxygène :

**Matière végétale + Bactéries anaérobies** → **Acides organiques**

Les principaux acides organiques issus de cette fermentation sont : l'acide lactique, l'acide acétique, l'acide propionique et l'acide butyrique.