

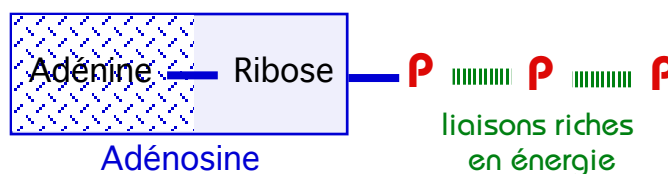
La conversion de l'énergie au niveau cellulaire

TS 2012 – Spécialité – Énergie et cellule vivante – L'ATP molécule indispensable à la vie cellulaire

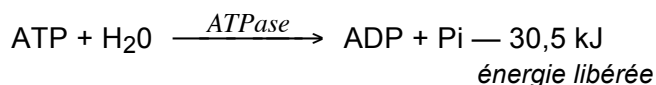
Au niveau des cellules, l'énergie chimique potentielle contenue dans les métabolites est entièrement ou partiellement libérée après dégradation des métabolites au cours de la respiration ou des fermentations. L'énergie libérée est transférée à des molécules d'adénosine triphosphate : l'ATP. L'énergie stockée dans cette molécule permet la réalisation de toutes les réactions endoénergétiques dont la cellule est le siège.

I. L'ATP est un composé phosphorylé riche en énergie.

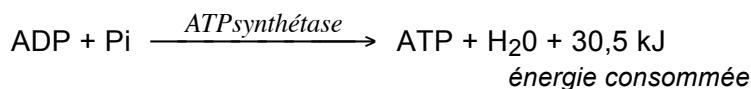
L'ATP est un ribonucléotide, c'est-à-dire une molécule constituée d'un sucre : le ribose, d'une base organique azotée : l'adénine, et de groupements phosphate ou phosphorylé.



En présence de l'enzyme spécifique, l'ATPase, le phosphate terminal se détache; il est transféré sur une molécule d'eau. Cela s'accompagne d'une libération d'énergie utilisable par la cellule de 30,5 kJ. mol⁻¹ environ. Cette réaction d'hydrolyse est exoénergétique car il y a rupture d'une liaison chimique riche en énergie. On obtient de l'adénosine diphosphate, l'ADP, et du phosphate inorganique, Pi :



D'autre part, des molécules d'ATP sont continuellement synthétisées dans la cellule en présence d'une enzyme, l'ATP synthétase, et à partir de l'ADP et du Pi : il y a phosphorylation de l'ADP. La synthèse de l'ATP, réaction endothermique, est couplée à la dégradation des métabolites par respiration ou fermentation. En effet, c'est au cours de cette synthèse que se réalise le transfert d'une partie de l'énergie chimique potentielle des métabolites vers l'ATP, le reste de l'énergie étant dissipé sous forme de chaleur.



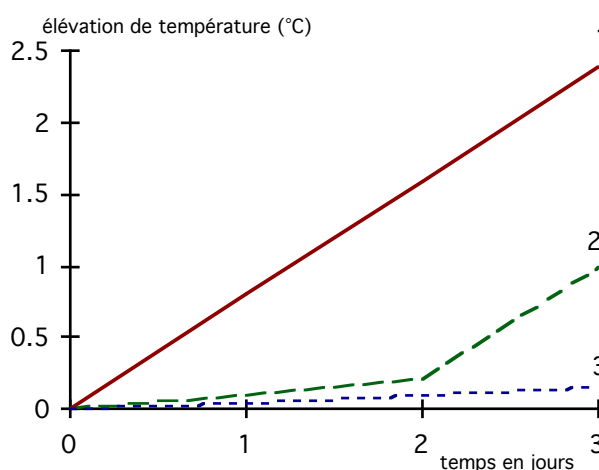
Expérience mettant en évidence le dégagement de chaleur lors de la germination des graines.

On enferme des graines en germination dans une bouteille isotherme. On mesure l'élévation de température chaque jour.

Exploitation des résultats d'une autre expérience :

On utilise trois bouteilles isothermes (1, 2, 3) ; la première contient des graines vivantes en germination, la deuxième des graines en germination tuées, et la troisième des graines en germination tuées et stérilisées.

- Expliquez les différences constatées entre les résultats 1 et 3.
- Émettre une hypothèse pour expliquer les résultats obtenus en 2.



Les végétaux chlorophylliens ont, de plus, la possibilité de synthétiser de l'ATP à partir de l'énergie lumineuse.

La dégradation complète, par respiration, d'une molécule de glucose permet la synthèse de 38 molécules d'ATP.

La dégradation incomplète, par fermentation, d'une molécule de glucose permet la synthèse de 2 molécules d'ATP.

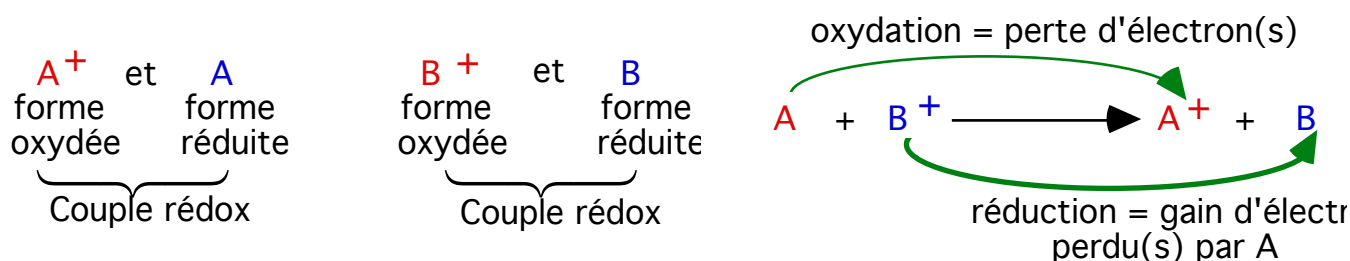
La concentration de l'ATP dans un type de cellules donné est faible, mais constante. La vitesse d'utilisation de l'ATP par hydrolyse, réaction qui fournit à la cellule de l'énergie, est exactement égale à la vitesse de phosphorylation de l'ADP, phosphorylation couplée à la respiration ou à la fermentation.

II. La synthèse d'ATP au cours de la respiration et des fermentations

Respiration et fermentation sont deux mécanismes biologiques qui correspondent à une minéralisation complète ou incomplète des métabolites au cours de réactions d'oxydoréduction qui font intervenir des enzymes.

A. Les réactions d'oxydoréduction caractérisent la respiration et les fermentations

Un oxydant est une substance pouvant fixer un ou plusieurs électrons. Un réducteur est une substance pouvant céder un ou plusieurs électrons. Un couple oxydoréducteur, ou couple rédox, est l'association de la forme oxydée et de la forme réduite d'une même substance. La réaction qui fait intervenir un échange d'électrons entre deux couples rédox s'appelle réaction d'oxydoréduction.

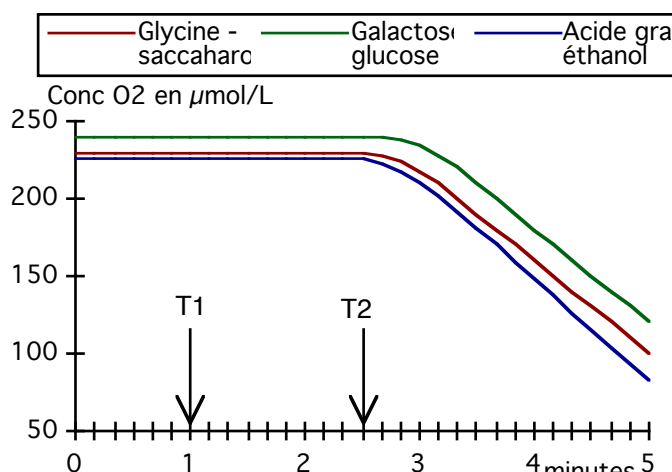


Chaque couple rédox est caractérisé par son potentiel rédox, noté E . Plus la valeur de E est grande, plus le pouvoir oxydant (fixation d'électrons) est élevé. Si deux couples rédox sont en présence, le transfert d'électrons se fait spontanément, avec libération d'énergie, dans le sens des potentiels rédox croissants.

B. Nature des métabolites dégradés.

Le glucose est le métabolite le plus fréquemment utilisé au cours des réactions d'oxydoréduction. Selon l'équipement enzymatique de la cellule, lié à l'expression des gènes, la nature des substrats pouvant être dégradés est variable: différents sucres, acides aminés, acides gras ou alcools.

Expérience : on étudie la capacité des Levures vivant en milieu aérobie à dégrader différents substrats. Pour évaluer cette capacité on mesure la consommation de dioxygène.



On opère sur trois lots de Levures placées en suspension. Au temps $T_1 = 1$ minute, on ajoute à la suspension de Levures un premier substrat (glycine pour le premier lot, galactose pour le deuxième et un acide gras pour le troisième). Au temps $T_2 = 2\text{min. } 30\text{sec}$, on ajoute un deuxième substrat (saccharose au premier lot, glucose au deuxième, éthanol au troisième). Les résultats sont reportés sur le graphique ci-dessus.

C. La glycolyse, première étape de la respiration et des fermentations.

La glycolyse, phénomène anaérobie, a lieu dans le hyaloplasme et représente le début de l'oxydation du glucose par déshydrogénation. Grâce aux déshydrogénases, le glucose est oxydé et des

transporteurs d'hydrogène (notés T^+) se trouvent réduits (forme notée TH_2). La glycolyse aboutit à la formation de deux molécules d'acide pyruvique et de deux molécules de TH_2 , ainsi qu'à la synthèse de deux molécules d'ATP :

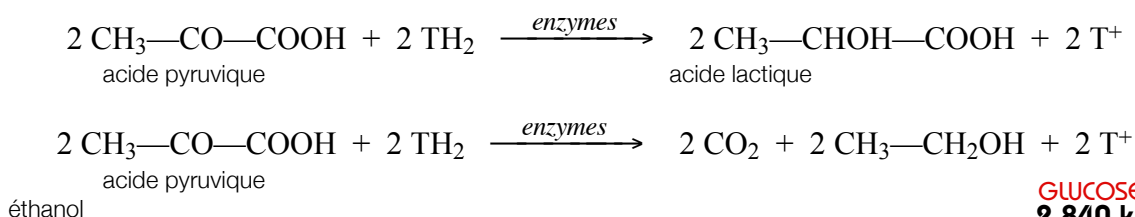


D. La seconde étape de la dégradation des métabolites

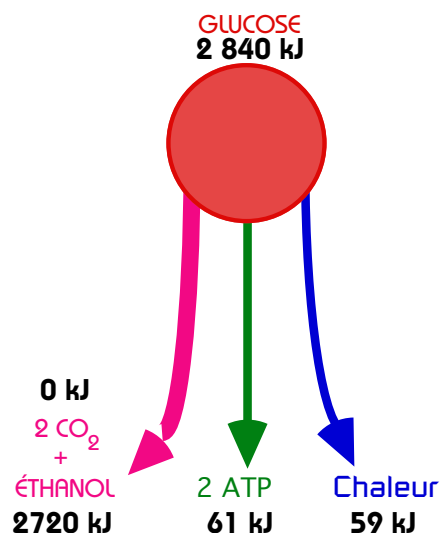
Le devenir de l'acide pyruvique dépend de la quantité de dioxygène disponible dans le milieu et de l'équipement enzymatique des cellules.

1. Cas des fermentations

Au cours des réactions de fermentation, généralement anaérobies, l'acide pyruvique se transforme en un résidu organique contenant encore beaucoup d'énergie chimique potentielle : l'acide lactique, ou l'éthanol, par exemple. Mais la production d'ATP se limitera aux deux molécules fabriquées antérieurement au cours de la glycolyse :



Ci-contre. Schéma montrant le transfert d'une partie de l'énergie chimique potentielle du glucose à l'ATP au cours de la fermentation alcoolique.



1. Cas de la respiration

Mise en évidence de la présence et du rôle des mitochondries dans le phénomène de la respiration cellulaires.

Les réactions de la respiration cellulaire, entretenues par la présence de dioxygène, se produisent au niveau des mitochondries dispersées dans le hyaloplasme.

Chaque mitochondrie est un organe de quelques microns, délimité par une enveloppe membranaire qui enferme une matrice riche en enzymes et possédant des fragments d'ADN et des ribosomes (preuves d'une origine endosymbiotique de la mitochondrie). On distingue une membrane externe et une membrane interne. Les replis de la membrane interne, appelés crêtes mitochondriales, sont le siège des réactions d'oxydoréduction respiratoires et de la synthèse d'ATP, grâce à la présence de molécules d'ATP synthétase situées au niveau des sphères pédonculées (boutons).

L'acide pyruvique pénètre dans les mitochondries où il constitue le point de départ d'une suite de réactions enzymatiques qui aboutissent à la formation de composés minéraux ne renfermant plus d'énergie chimique potentielle. L'acide pyruvique subit ainsi une série de décarboxylations grâce à des décarboxylases et de déshydrogénations grâce à des déshydrogénases. Les six atomes de carbone du glucose se retrouvent dans six molécules de dioxyde de carbone : il y a minéralisation du carbone organique. Les déshydrogénations conduisent à la réduction des transporteurs.

Après une première décarboxylation et déshydrogénation de l'acide pyruvique, le groupement acétyle (CH_3-CO) de cet acide se fixe sur un corps en C_4 (à quatre atomes de carbone) préexistant dans la mitochondrie. Le corps en C_6 (à six atomes de carbone) ainsi formé subit un ensemble de réactions constituant le cycle de Krebs (deux décarboxylations et quatre déshydrogénations) à la fin duquel se trouve régénéré le corps en C_4 , fixateur du groupement acétyle.

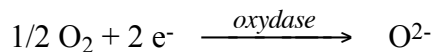
Ensuite, les transporteurs d'hydrogène réduits (TH₂), produits lors du cycle de Krebs, ainsi que ceux provenant de la glycolyse sont réoxydés au niveau de la membrane interne mitochondriale.

Voir décarboxylations et déshydrogénations de l'acide pyruvique dans la matrice de la mitochondrie.
(— *décarboxylation* — *déshydrogénation*).

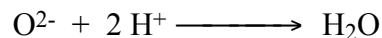
Au cours de leur réoxydation, les TH₂ cèdent leurs électrons à des transporteurs, enchâssés dans cette membrane, et constitués en ensembles de molécules au potentiel rédox croissant : on parle de chaîne respiratoire. L'énergie libérée par le transfert des électrons de transporteur en transporteur le long de la chaîne sert au transport actif de protons (H⁺), de la matrice vers l'espace intermembranaire. Le gradient de protons qui en résulte est à l'origine du flux de protons qui retournent vers la matrice en passant par les canaux à protons situés au niveau des sphères pédonculées.

L'énergie libérée par ce flux sert à la synthèse de 36 molécules d'ATP grâce à l'activité de l'ATP synthétase située dans les sphères. La formation des TH₂ au cours de la dégradation du substrat organique, puis leur réoxydation le long de la chaîne respiratoire, permet donc la formation de l'ATP. Cette phosphorylation de l'ADP, grâce à l'énergie provenant de l'oxydation de substrats organiques comme le glucose, s'appelle la phosphorylation oxydative.

Les électrons sont finalement fixés par le dioxygène absorbé par la cellule, qui représente l'accepteur final :



L'oxygène réduit réagit avec les protons (H⁺) de la matrice pour former de l'eau :

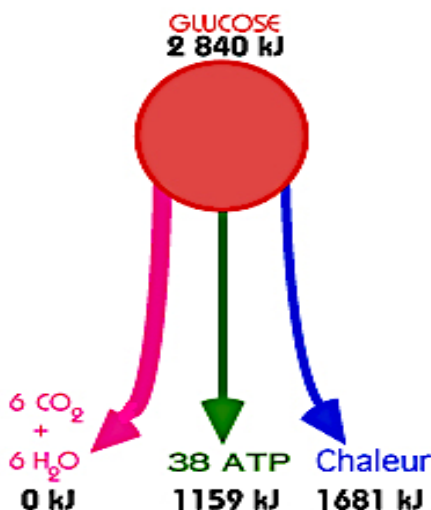


E. Bilan du transfert de l'énergie potentielle du glucose à l'ATP

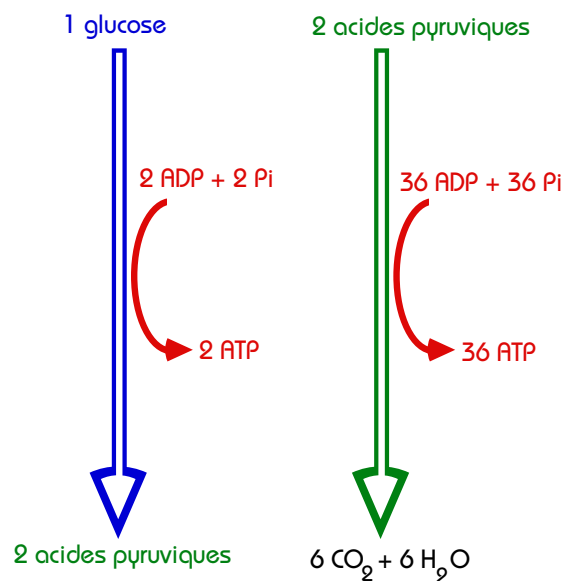
Si lors des fermentations, la production d'ATP se limite aux deux molécules libérées par la glycolyse d'une molécule de glucose, au cours de la respiration, 38 molécules d'ATP sont formées par molécule de glucose dégradée :

- 2 proviennent de la glycolyse, début d'oxydation du substrat organique dans le hyaloplasme;
- 36 proviennent de la réoxydation des transporteurs d'hydrogène (TH₂) dans la mitochondrie.

Respiration et fermentations libèrent de la chaleur. Celle-ci résulte de la dissipation d'une partie de l'énergie chimique potentielle du glucose.



Transfert d'une partie importante de l'énergie chimique potentielle du glucose à l'ATP au cours de la respiration.



Les molécules d'ATP formées pendant la respiration.

La respiration est caractérisée par un ensemble de réactions d'oxydoréduction au cours desquelles se réalise le transfert d'une grande partie de l'énergie chimique potentielle du substrat organique vers l'ATP.

III. Conclusion générale.

La respiration et les fermentations sont des mécanismes biologiques qui permettent aux cellules de synthétiser des molécules d'ATP, source d'énergie directement utilisable par les êtres vivants pour couvrir leurs dépenses énergétiques. L'énergie chimique contenue dans l'ATP représente une partie de l'énergie chimique potentielle des substrats organiques dégradés, complètement au cours de la respiration, incomplètement au cours des fermentations. Cette conversion de l'énergie des métabolites en ATP se fait avec production de chaleur, forme d'énergie non utilisable par la cellule. La synthèse de l'ATP dans la cellule se réalise au cours de réactions d'oxydoréduction qui ont lieu dans le cytoplasme (glycolyse et fermentations) et dans la mitochondrie (respiration). La quantité d'ATP formée lors de la respiration est beaucoup plus importante que celle qui résulte des fermentations.

Ces réactions nécessitent de nombreuses enzymes dont la présence dans la cellule est liée à l'expression de son programme génétique.