

PRODUIRE LE MOUVEMENT : CONTRACTION MUSCULAIRE ET APPORT D'ÉNERGIE

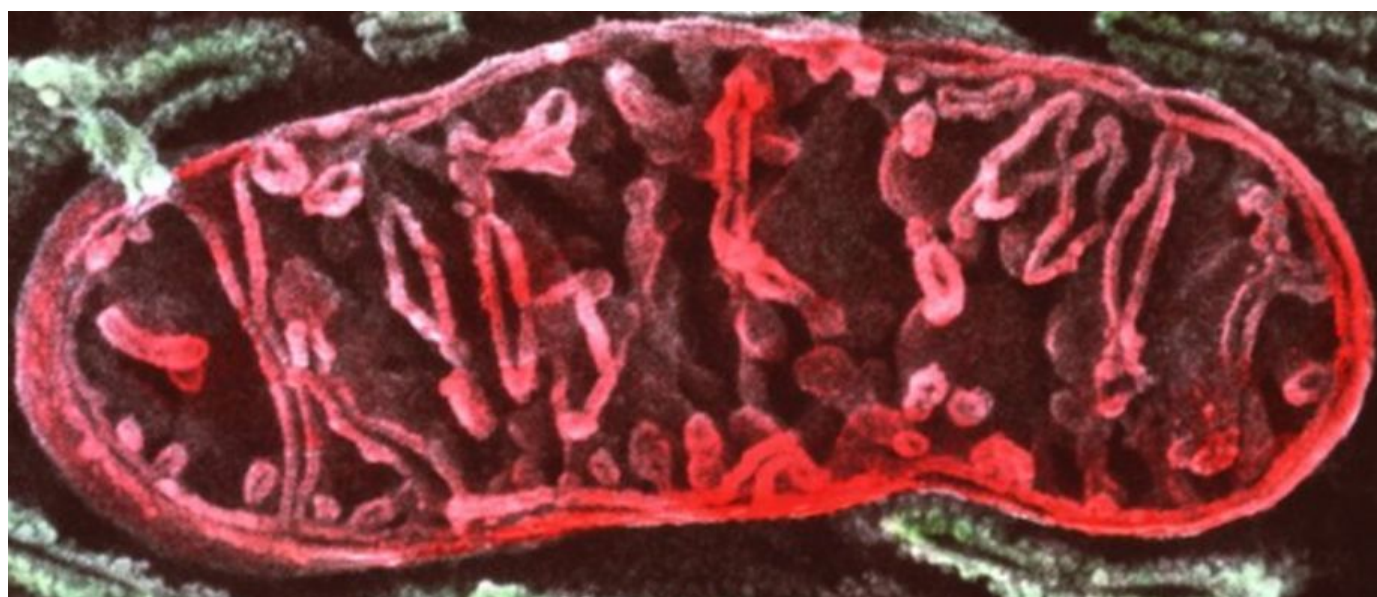


*Terminale
spécialité*

*2- Origine de l'ATP nécessaire à la
contraction*

SOMMAIRE

Introduction :	3
I-Renouveler l'ATP dans les cellules	3
A- l'ATP, molécule énergétique importante du métabolisme	3
1- Importance du métabolisme : Rappels de 2nde	3
2- La molécule d'ATP	3
B- Mise en évidence de différents catabolismes	4
C- Première étape : La glycolyse.	5
D- Deuxième étape	6
1- En aérobie : l'entrée dans la mitochondrie.	6
2- En anaérobie : nécessité de fermentation dans le cytoplasme	8
II- Du type d'effort dépend le mode de fourniture d'ATP des muscles	9
A- Les voies anaérobiques	10
1- La voie alactique = voie de la phosphocréatine	10
2- La voie lactique = voie de la fermentation	10
B- La voie aérobie	10
C- Les voies métaboliques dépendent des fibres musculaires mobilisées	10
1- Les fibres musculaires de type I	10
2- Les fibres musculaires de type II	11
Ainsi, un marathonien aura plus de fibres de type un que de fibres de type deux.	11
III- Des substances permettant d'amplifier ses performances : le dopage.	11
A- Développer la masse musculaire	11
B- Permettre à l'organisme d'aller au delà de ses limites	11
C- Améliorer l'endurance	11
Conclusion	12



D'après : <https://www.bbc.com/news/health-33509823>

Origine de l'ATP

Introduction :

Quelque soit l'activité sportive, et le type d'effort, le muscle a besoin de **calcium et d'énergie** sous forme d'**ATP** pour se contracter. En ce qui concerne l'**ATP**, ou **Adénosine Tri-Phosphate**, il s'agit de la forme chimique de l'énergie de nos cellules, mais il n'en existe pas de stockage. C'est donc **une petite molécule énergétique** qui est **directement utilisable** par le muscle et qui **a besoin d'être rapidement renouvelé** et sans arrêt. **Toute cellule vivante**, isolée ou non, animale ou végétale (autotrophe et non autotrophe), **régénère son ATP en oxydant des molécules organiques par processus respiratoire et/ou fermentaire.**

Photo de couverture : Mitochondries d'après shutterstock

Problèmes : Comment est produit l'ATP ? Comment la cellule régule-t-elle la présence ou le manque d'O₂ pour fabriquer de l'ATP ? Comment la cellule musculaire contrôle finement son métabolisme en fonction de l'effort musculaire ?

I-Renouveler l'ATP dans les cellules

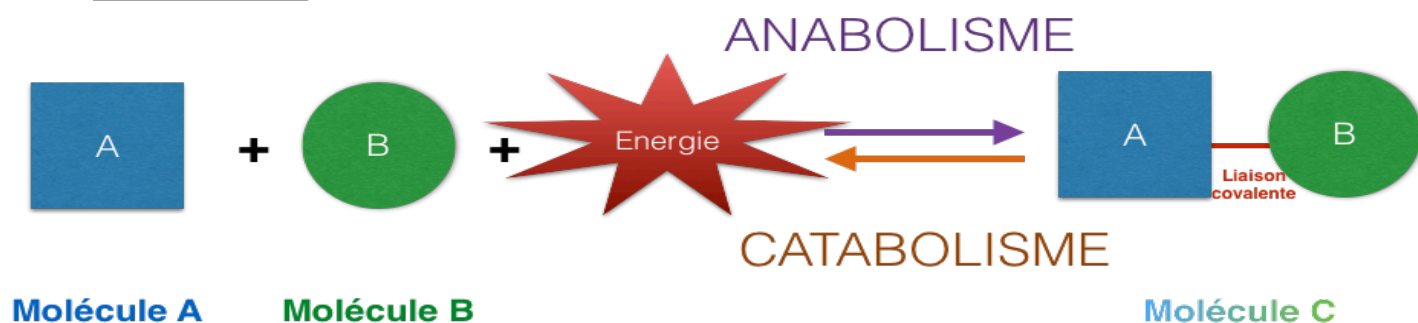
A- l'ATP, molécule énergétique importante du métabolisme

1- Importance du métabolisme : Rappels de 2nde

Dans le cas où le métabolisme concerne des **réactions d'édification de matière**, des molécules sont élaborées en **consommant de l'énergie**. On parle alors d'**anabolisme**. Exemple : la photosynthèse est un anabolisme. Du sucre ($C_6H_{12}O_6$ = le glucose) est élaboré grâce à un apport d'énergie et à partir de molécule plus simple que sont le dioxyde de carbone et l'eau.

Dans le cas où le métabolisme concerne des **réactions de dégradation de matière**, des molécules sont détruites en **produisant de l'énergie**. On parle alors de **catabolisme**. Exemple : la respiration ou la fermentation constituent des catabolismes. Du sucre ($C_6H_{12}O_6$ = le glucose) est dégradé entièrement ou partiellement pour produire de l'énergie.

Doc. 1: Le métabolisme.



D'après JBoscq

Les **voies métaboliques** sont nombreuses et très généralement, sont le plus souvent, sous la dépendance d'**enzymes**, ou encore qualifiées de **biocatalyseurs**. L'énergie prend la forme d'une petite molécule qu'on appelle l'**ATP**, et qui est **universelle dans le monde vivant**.

2- La molécule d'ATP

Les cellules sont capables de régénérer l'**ATP** à partir de la **dégradation d'autres molécules énergétiques comme le glucose**.

Définition



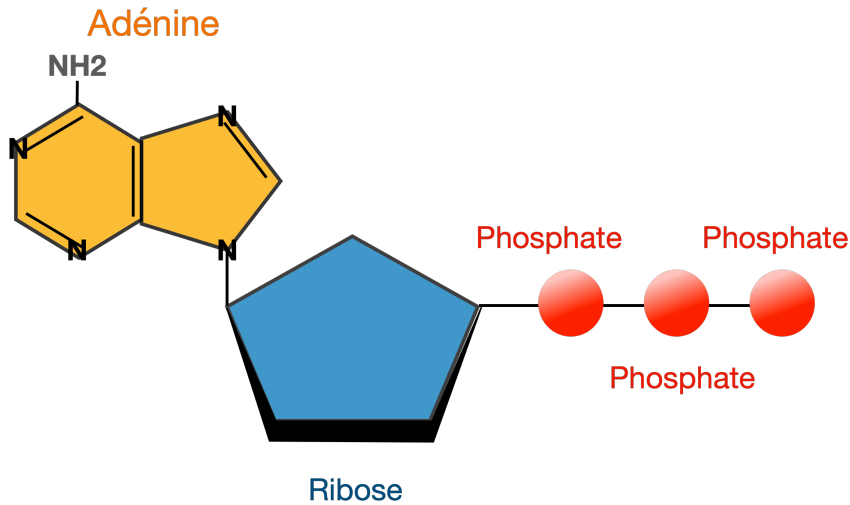
ATP = Adénosine Tri Phosphate = nucléotide possédant 3 phosphates et étant à la base de la fourniture de l'énergie de toute les **réactions chimiques du métabolisme**, de la **locomotion**,

Origine de l'ATP

des **divisions cellulaires** et même des **transports actifs** de molécules au niveau de la membrane plasmique.

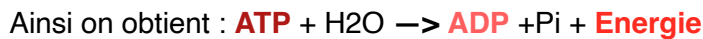
La molécule d'**ATP (adénosine tri phosphate)** est une molécule composée d'un **glucide (le ribose)**, d'une **base azotée (l'Adénine)**, et d'un groupement de **3 acides phosphoriques (ou phosphates)**.

Doc. 2: Adénosine Tri Phosphate (molécule simplifiée)

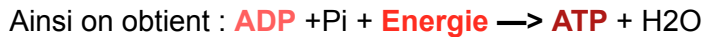


D'après JBoscq

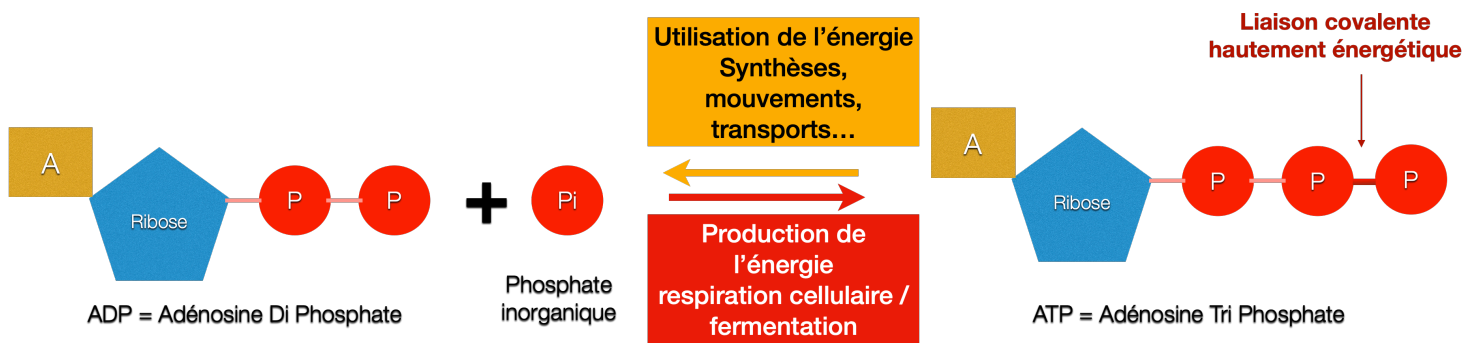
L'ATP peut facilement être hydrolysé en ADP. Cette réaction est appelée une hydrolyse, car elle utilise une molécule d'eau.



C'est la rupture de la liaison covalente entre le 3^e Phosphate et le 2^e qui libère l'énergie. On dit que c'est une réaction exergonique. A l'inverse pour reconstituer la 3^e liaison covalente à partir d'ADP, il faut un apport d'énergie. C'est appelé ce qu'on appelle une réaction endergonique.



Doc. 3: Contexte d'utilisation ou de production d'ATP.



D'après JBoscq

L'ATP est un métabolite (molécule du métabolisme) énergétique éphémère dont le stock est très restreint. C'est pourquoi, toute cellule vivante, isolée ou non, animale ou végétale (autotrophe et non autotrophe), régénère en permanence son ATP en oxydant des molécules organiques par processus respiratoire ou fermentaire.

B- Mise en évidence de différents catabolismes



Métabolisme des levures (ExAO)

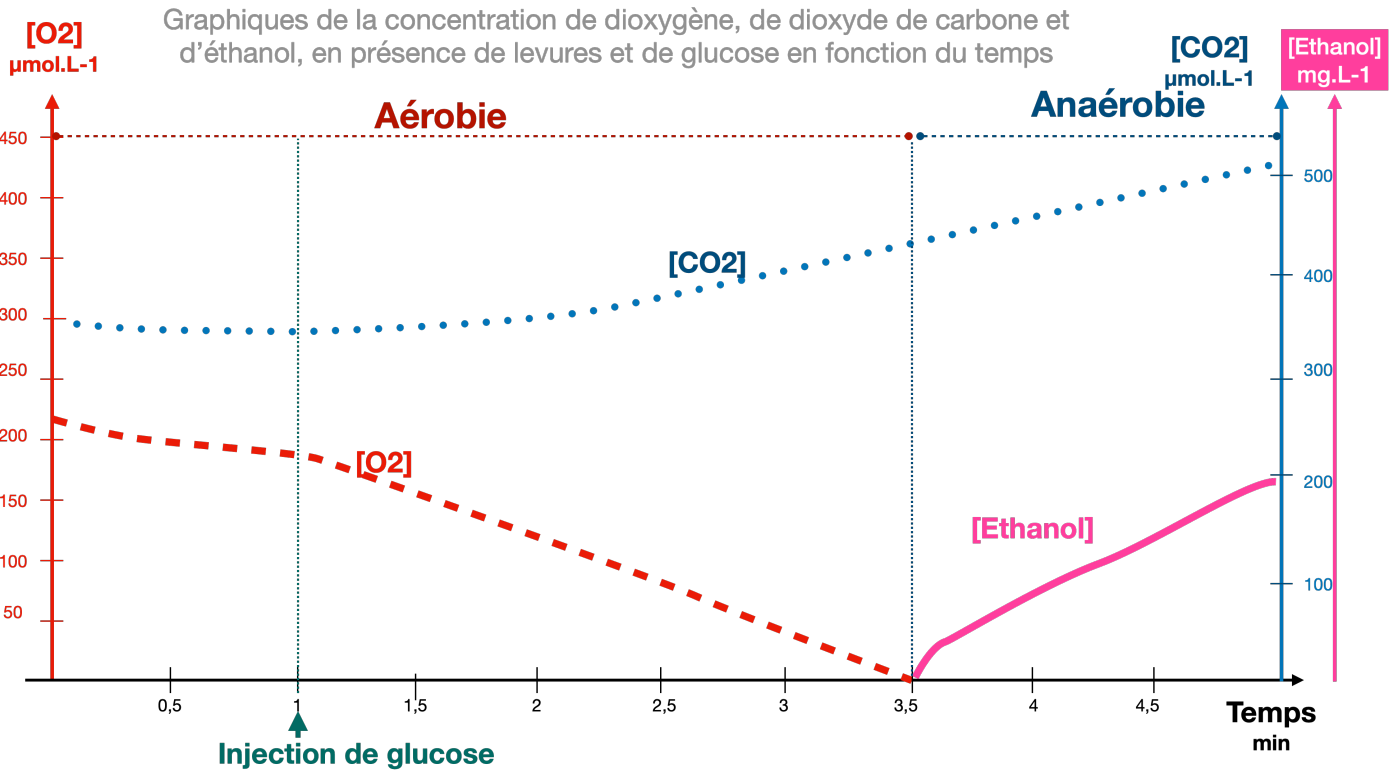
Des cellules (ou organes) peuvent être placées dans une enceinte, contenant ou non du dioxygène. On observe, après injection de glucose, un dégagement gazeux de CO₂.

Origine de l'ATP

- En **anaérobie** (sans O₂), on observe soit la formation **d'éthanol et un dégagement de CO₂**, soit la formation **d'acide lactique** s'il n'y a pas de dégagement de CO₂.
- En **aérobie** (avec O₂), on observe aussi la formation d'eau (H₂O).

Dans les 2 cas les cellules se multiplient, **mais plus efficacement en aérobie qu'en anaérobie**;

Doc. 4 : Résultats ExAO :



D'après JBoscq

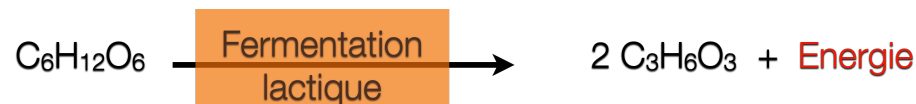
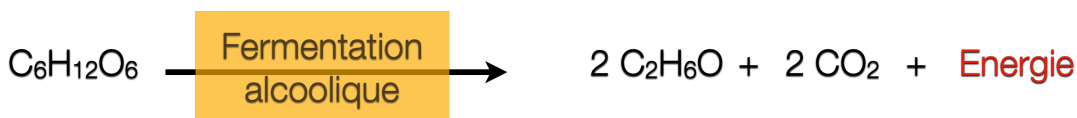
Dans les deux cas cités précédemment, on peut alors effectuer les **équations bilans** pour chaque milieu :

Doc. 5 : Equations bilan

• **Aérobie :**



• **Anaérobie :**



Remarque : il peut y avoir aussi fermentation acétique en présence d'O₂.

D'après JBoscq

C- Première étape : La glycolyse.

La mise en évidence peut-être simple :

Extrait de cytoplasme + glucose => Oxydation partielle en pyruvate. (formation de 2 composés supplémentaires l'un réduit : **NADH,H⁺**, et l'autre **énergétique : ATP**)

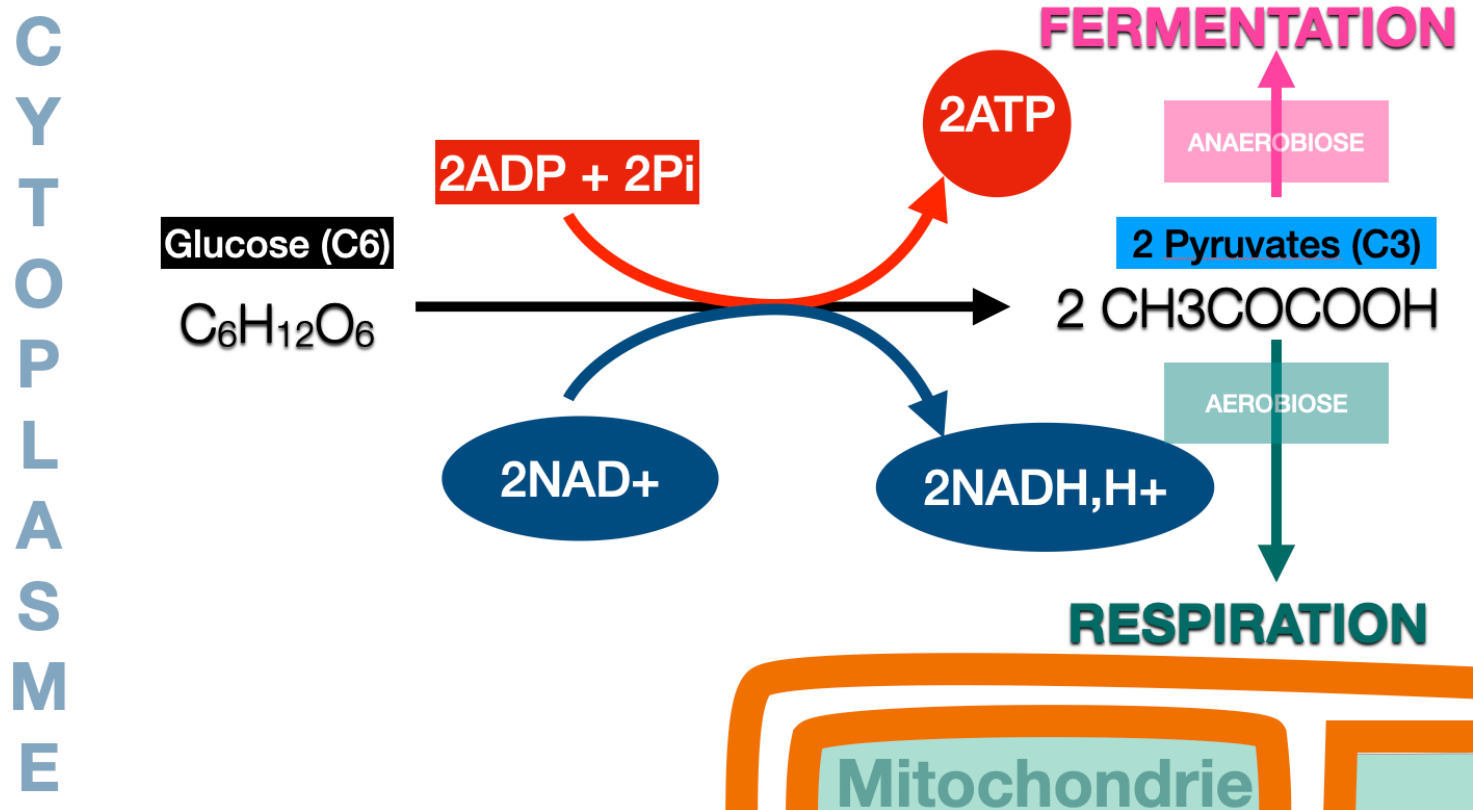
Origine de l'ATP

Elle se réalise dans le cytoplasme de la cellule. Cette étape est commune à la respiration et la fermentation. Elle permet l'oxydation d'une molécule de glucose en 2 molécules de pyruvate, et la réduction de transporteurs réduits (2 NADH,H+) ainsi que la synthèse de 2 molécules d'ATP.

Remarques importantes :

- ➔ Cette étape **ne nécessite pas la présence de dioxygène**.
- ➔ Elle permet le **clivage d'un glucide à 6 carbones en deux glucides à trois carbones**, pour aboutir à la formation de **2 pyruvates (2x3C)** ($\text{CH}_3\text{-CO-COOH}$).
- ➔ Elle **consomme 2 ATP** pour former un composé biphosphorylé, **mais produit 2 ATP par composé à 3 carbones**. **Ce qui aboutit au final à 2 ATP formés**.
- ➔ Dans la cascade de réactions, le composé glucidique est bien **oxydé**, ce qui permet la réduction de deux accepteurs **RH2** (plus connu sous le nom de **NADH, coenzyme de déshydrogénase réduit**).
- ➔ Pour que les réactions se réalisent, il faut la présence d'enzymes.

Doc. 5 : Bilan glycolyse



D'après JBoscq

D- Deuxième étape

1- En aérobie : l'entrée dans la mitochondrie.

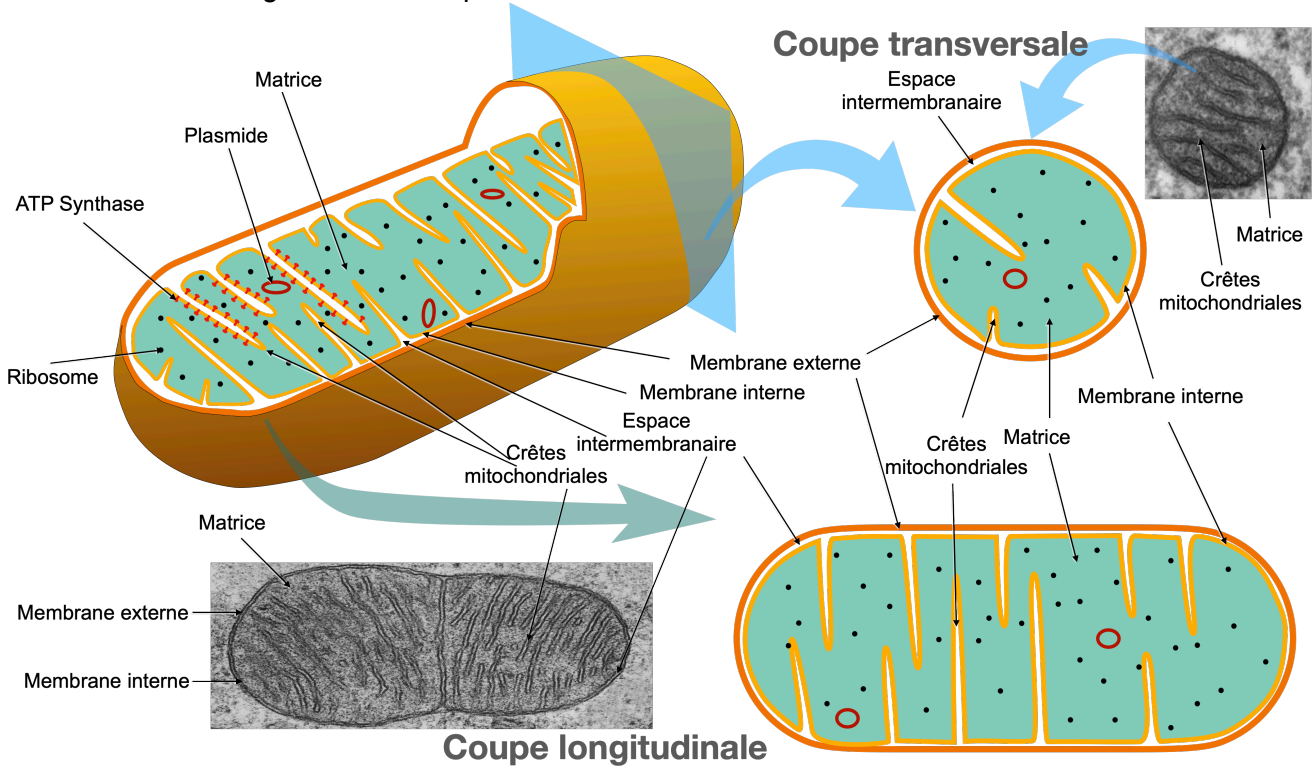
Cette étape ne peut se réaliser que dans la matrice d'une **mitochondrie** (organite cellulaire chez les Eucaryotes spécialisé dans la respiration cellulaire).

Ces organites mesurent environ **1 μm sur 2 μm** , et sont **semi-autonomes** (voir chapitre *Complexification des génomes*). Ils sont hérités par la mère et doivent se dupliquer.

Dans le muscle, elles sont réparties tout du long de la myofibrille et permettent une alimentation directe des têtes de myosine.

Origine de l'ATP

Doc. 6 : Mitochondrie : organe de la respiration cellulaire.



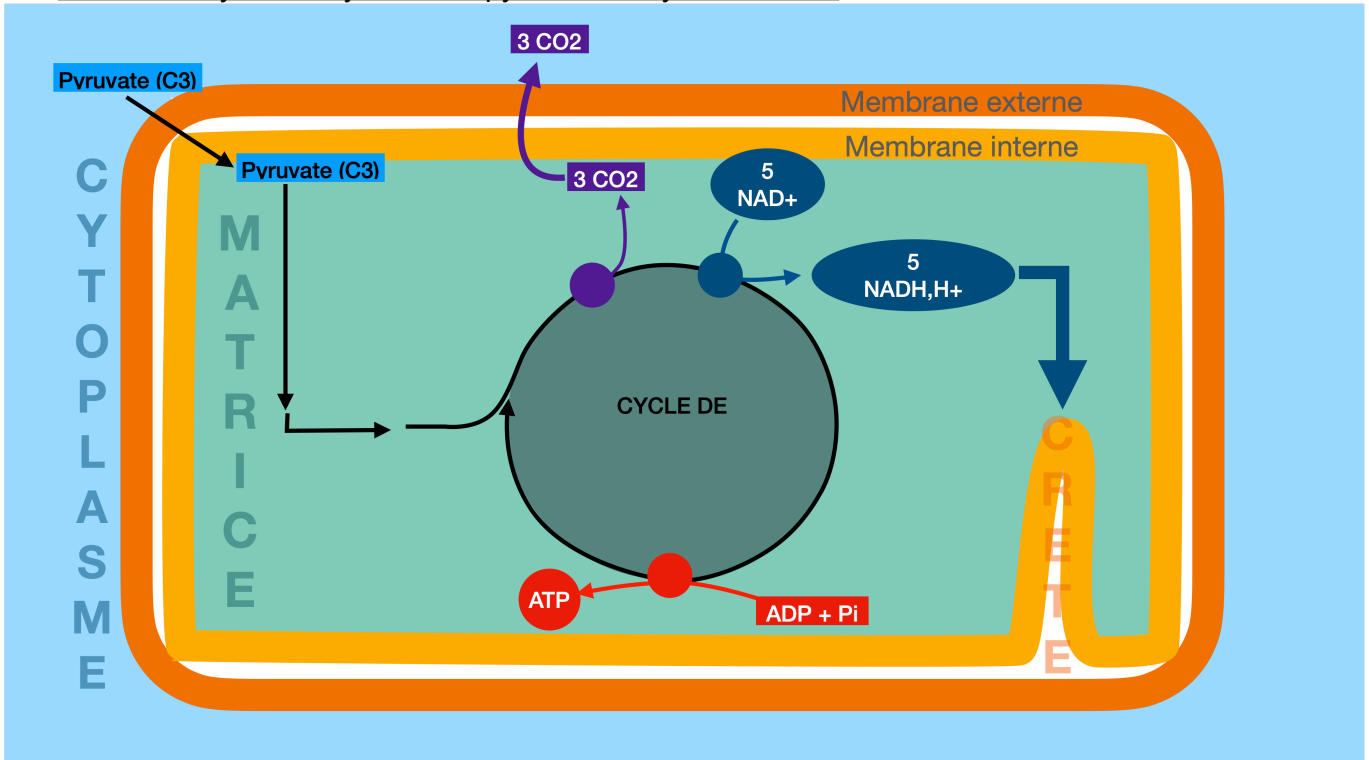
D'après JBoscq

Le pyruvate peut rentrer dans la matrice. Le **cycle de Krebs**, consiste en des **décarboxylations** et en **oxydations successives (Production de CO₂ et formation de 5 composés réduits RH₂ , soit exactement 4NADH,H⁺ + 1 FADH₂)** et en **une synthèse d'ATP** par molécule de pyruvate.

Donc 1 molécule de pyruvate produit au cours du **cycle de Krebs** :

- ▶ 3 molécules de CO₂
- ▶ 5 transporteurs d'Hydrogène ou pouvoirs réducteurs
- ▶ 1 molécule d'ATP

Doc.7 : La décarboxylation oxydative du pyruvate ou cycle de Krebs

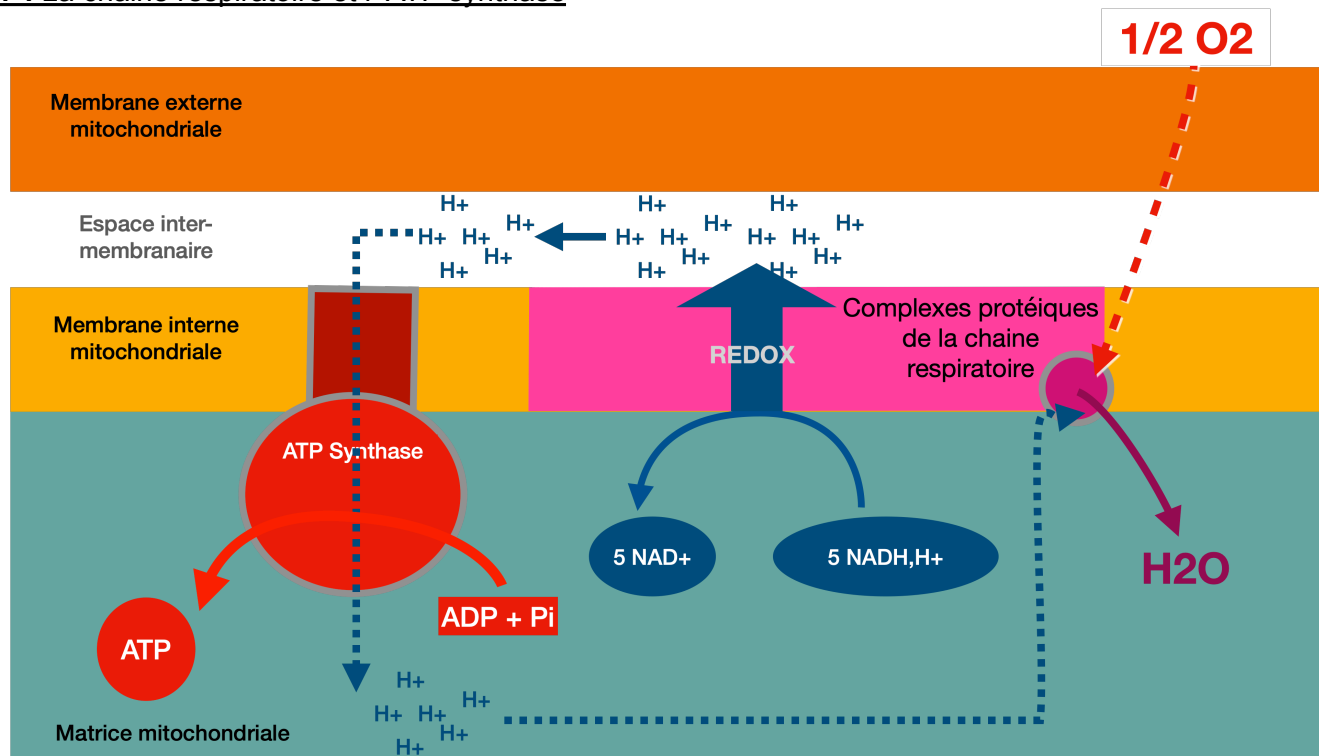


Origine de l'ATP

Puis le **pouvoir réducteur stocké** dans les transporteurs est **transféré vers les crêtes** de la **membrane interne des mitochondries**. Le **dioxygène est l'accepteur final de la chaîne d'oxydoréduction** aboutissant à la **fabrication d'ATP**. Ainsi c'est l'oxydation par le dioxygène, des composés réduits produits dans les étapes précédentes qui est l'aboutissement de la chaîne réactionnelle. Cette oxydation se réalise grâce à des **complexes protéiques** localisés dans la membrane interne de la mitochondrie, et dont l'ensemble est appelé **chaîne respiratoire**. Elle est couplée à la **production d'une importante quantité d'ATP** grâce à des **ATP synthases (sphères pédonculées)**.

Cette synthèse ne peut se dérouler que parce que les protons libérés par les **transporteurs réoxydés (NADH, $H^+ \rightarrow NAD^+$)** forment un **gradient d' H^+** dans l'**espace intermembranaire**. Ce gradient de protons se dissipe grâce aux sphères pédonculées (ATP synthétases) en produisant de l'ATP.

Doc.7 : La chaîne respiratoire et l'ATP synthase



Le Dioxygène est donc bien l'accepteur terminal des protons et électrons puisqu'il se couple avec les protons pour former de l'eau ($1/2 O_2 + 2H^+ \Rightarrow H_2O$) grâce à la chaîne respiratoire.

Bilan : On considère qu'au cours de cette respiration 12 composés ont été réduits, ce qui nous permet d'aboutir à **32 ATP** auquel il faut rajouter **4 ATP** formés (cycle de krebs + glycolyse) ; soit un total de 36 ATP formés.

2- En anaérobie : nécessité de fermentation dans le cytoplasme

Lorsque la **cellule musculaire** vient à manquer de dioxygène, c'est à dire en **anaérobie**, la voie de la mitochondrie n'est plus possible. Il est alors nécessaire **de renouveler les transporteurs** qui ont été réduits pour pouvoir renouveler la glycolyse, seule voie fournissant de l'ATP dans ce cas.

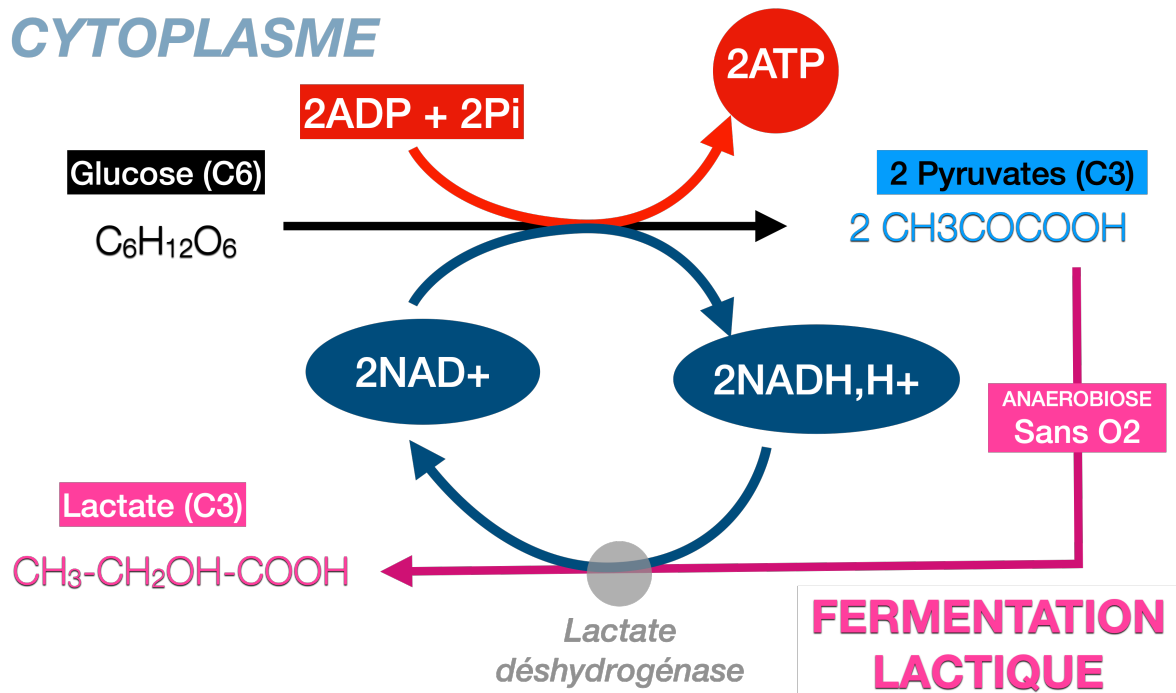
La fermentation se réalisant au niveau du muscle est la **fermentation lactique**. Mais d'autres voies fermentaires sont possibles dans la nature, comme celle vue avec la levure et la fermentation alcoolique. Contrairement d'ailleurs à cette dernière, il n'y a pas de dégagement de CO_2 lors de la fermentation lactique, et **seul de l'acide lactique est produit et accumulé**.

En absence d' O_2 , le **pyruvate** issu de la glycolyse ne peut pas être intégré à la mitochondrie. Pour pouvoir obtenir de nouveau de l'ATP, **il faut réactiver la glycolyse**. Mais pour ce faire, les transporteurs réduits doivent de nouveau être oxydés. C'est justement la fermentation qui permet une réoxydation des transporteurs réduits formés lors de la glycolyse, grâce à la **lactate déshydrogénase**, transformant le **pyruvate** en **lactate**..

Origine de l'ATP

Comment se déroule la fermentation ?

Doc.8 : La fermentation lactique

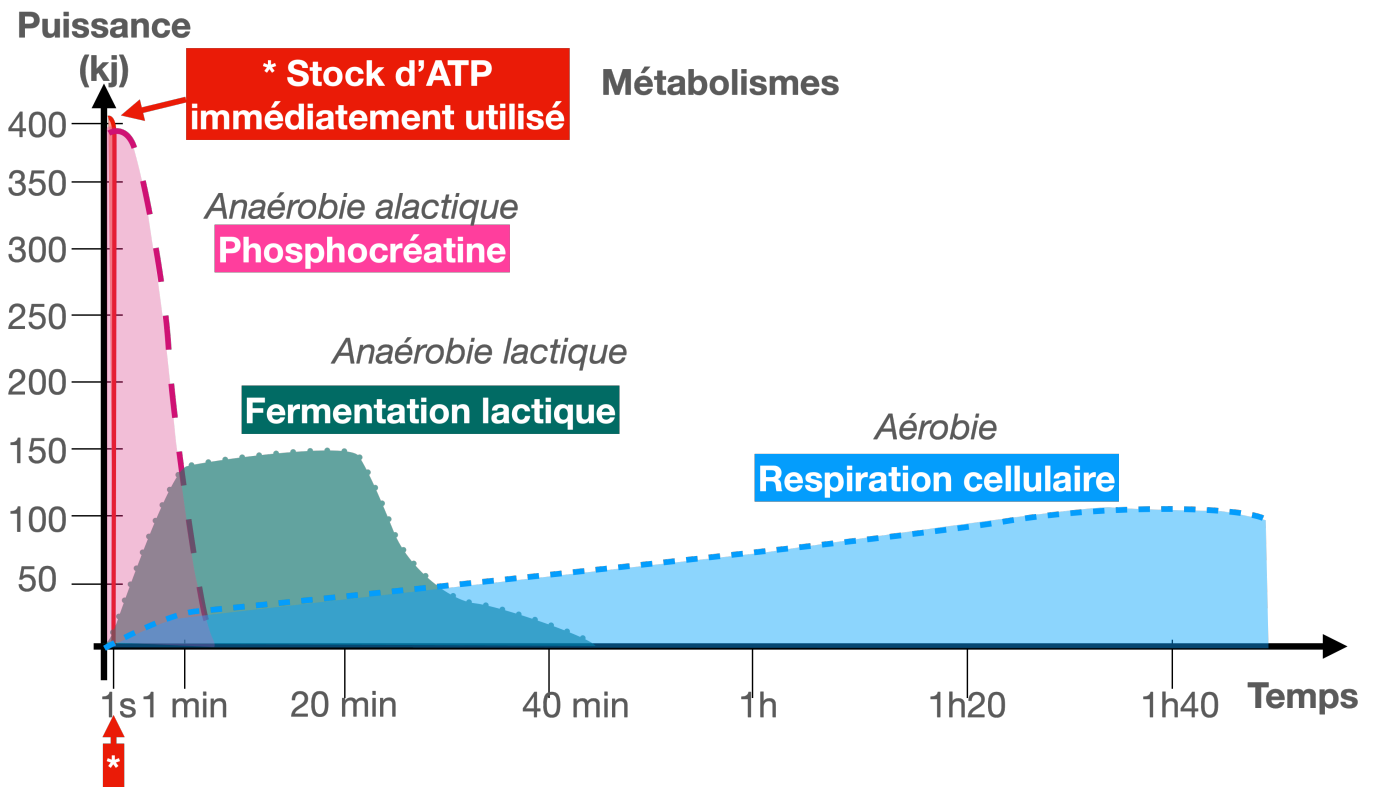


Bilan : On considère qu'au cours de cette fermentation lactique, seuls 2 ATP sont formés, les 2 de la glycolyse.

II- Du type d'effort dépend le mode de fourniture d'ATP des muscles

Le bilan de **production d'ATP** n'est pas le même **selon le type de métabolisme**. Or si le stock d'ATP dans les cellules musculaires est faible, cela signifie que l'ATP doit être **régénéré au fur et à mesure de sa consommation** et des besoins du muscle. Seulement, c'est le **type d'efforts** qui va conditionner le type de métabolisme utilisé par les muscles.

Doc.9 : Les voies métaboliques des cellules musculaires



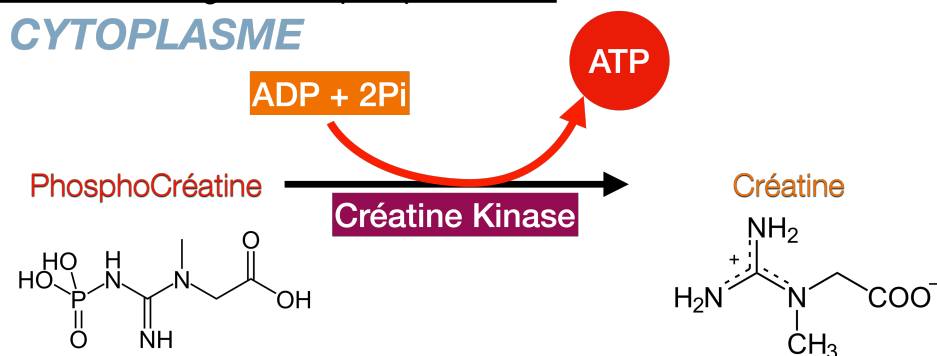
Origine de l'ATP

A- Les voies anaérobiques

1- La voie alactique = voie de la phosphocréatine

Dès les premières secondes d'un effort physique l'ATP est immédiatement épuisé. Son renouvellement commence d'abord par l'hydrolyse d'une protéine : la phosphocréatine. Cette protéine est naturellement présente dans les fibres musculaires. C'est la voie la plus rapide du renouvellement de l'ATP. En effet, la phosphocréatine se débarrasse de son phosphate, pour le coupler à l'ADP et ainsi renouveler l'ATP. Une enzyme est essentiel à cette réaction : la **Créatine kinase**.

Doc.10 : Renouvellement de l'ATP grâce à la phosphocréatine



C'est la voie qui permet de développer une **puissance maximale en un très court moment**. C'est donc la voie privilégiée pour l'haltérophilie par exemple, ou d'autres sports développant beaucoup de puissance en peu de temps (le démarrage du 100m par exemple, le lancé de poids...).

2- La voie lactique = voie de la fermentation

Lorsque l'effort dure un peu plus longtemps, et que le stock de **phosphocréatine** est épuisée (assez vite), la voie de la **fermentation lactique** prend le relais, afin de **renouveler l'ATP**.

Le taux d'**acide lactique** commence alors à augmenter dans le muscle d'abord, puis dans le sang au fur et à mesure où il est évacué. Cependant, le **renouvellement de l'ATP** par cette voie **consomme un glucose pour seulement deux ATP renouvelés**. Autant dire que le **rendement énergétique est faible**.

Une mauvaise hydratation, ou une circulation sanguine peu rapide ne permet pas d'évacuer suffisamment l'acide lactique, qui s'accumule dans le muscle. L'acide lactique s'accumulant, et le métabolisme aérobie n'étant pas suffisamment actif, le manque de renouvellement d'ATP **provoque la tétanie du muscle, c'est à dire la crampe**.

B- La voie aérobie

Lorsque l'effort dure plus longtemps, et que **le système cardio-vasculaire et respiratoire s'est adapté**, en **augmentant leur rythme**, le sang afflue vers les muscles plus rapidement en étant **saturé de dioxygène**. Le métabolisme aérobie peut alors s'activer, le **pyruvate** rentre dans la mitochondrie, le **cycle de KREBS** tourne, et la **chaîne respiratoire et les ATP synthase permettent une grande production d'ATP (18 fois plus que la fermentation par molécule de glucose consommée)**.

C- Les voies métaboliques dépendent des fibres musculaires mobilisées

Les cellules musculaires sont en réalité de différentes natures :

1- Les fibres musculaires de type I

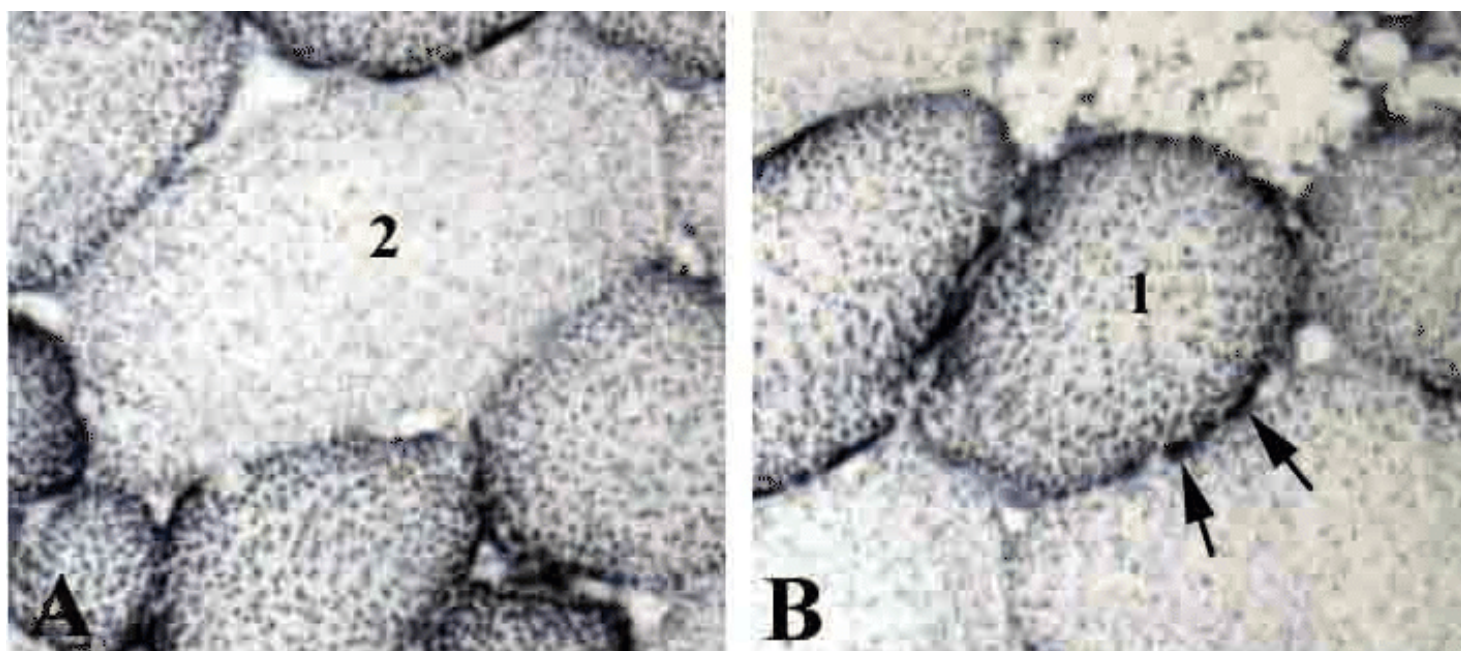
Il existe des cellules musculaires **de type I, riches en mitochondries**, qui se contractent certes lentement mais qui peuvent **durer longtemps**. La voie métabolique principale de ces fibres est donc aérobie, et utilise la respiration cellulaire pour renouveler l'ATP.

Origine de l'ATP

2- Les fibres musculaires de type II

Il existe des cellules musculaires **de type II, moins pourvues en mitochondries**, qui se contractent rapidement et fortement mais qui ne **durent pas longtemps**. La voie métabolique principale de ces fibres est anaérobie, et utilise la fermentation lactique principalement.

Doc.11 : Fibres musculaires de type 1 et de type 2



La coloration correspond à un marquage spécifique des mitochondries : En A : Fibre de type II légendée 2 au milieu dépourvue de mitochondrie. En B : fibre de type I, légendée 1 révélant une haute densité de mitochondrie
D'après [researchgate](#)

Ainsi, un marathonien aura plus de fibres de type un que de fibres de type deux.

III- Des substances permettant d'amplifier ses performances : le dopage.

Pour améliorer les performances, certains sportifs ont recours à des **substances exogènes** qui peuvent intervenir à différents niveaux. Les effets sur la santé peuvent parfois être graves à court ou moyen terme.

A- Développer la masse musculaire

Il est possible de prendre des **substances anabolisantes (anabolisme = synthèse ; donc ici accroissement de masse musculaire)**, qui sont des dérivés de la testostérone, hormone sexuelle masculine. L'accroissement de masse musculaire est liée uniquement à une hypertrophie des fibres et non à une multiplication de ces dernières.

B- Permettre à l'organisme d'aller au delà de ses limites

Grâce à des substances **anti-inflammatoire**, le sportif peut ne pas sentir de fatigue et aller au-delà de ses limites de douleur. Ainsi la prise de **corticoïdes** correspond à un dopage caractérisé dans le milieu du sport. L'un des problèmes les plus embêtant de cette prise de substances est que l'individu ira **au-delà de ses limites** sans ressentir de douleur, ce qui peut entraîner des **lésions graves** (déchirures, fractures...).

C- Améliorer l'endurance

Pour améliorer l'endurance d'un sport, l'individu peut décider de **se transfuser des globules rouges** en grande concentration. Le taux de globule rouge augmenté améliorera l'oxygénation de ses muscles et permettra d'améliorer sa **durée d'effort**. Mais dans ce cas, son sang est moins fluide.

Un produit dopant agit de la même façon : il s'agit de l'**EPO**.

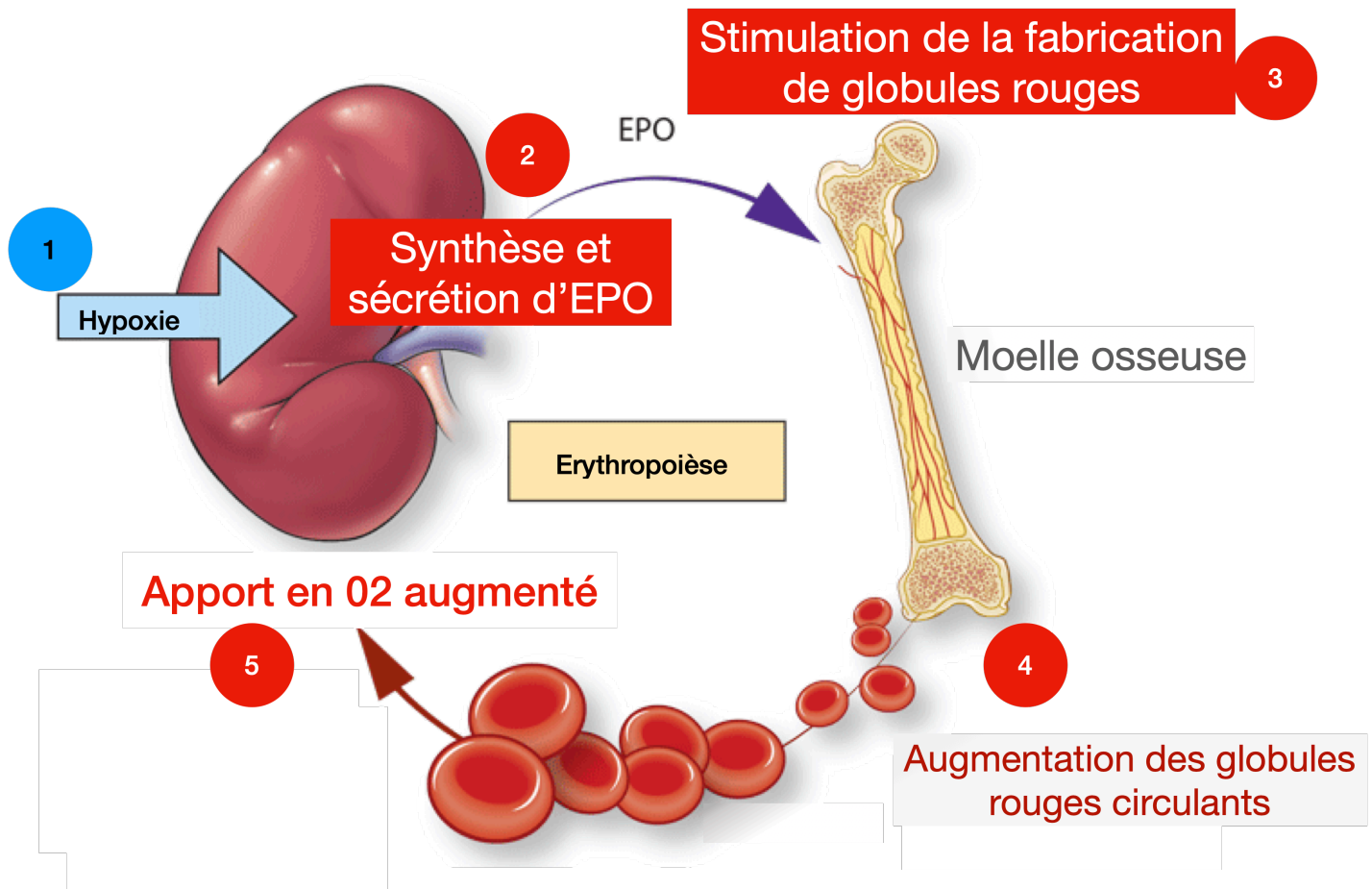
Origine de l'ATP

Initialement, il s'agit d'une hormone naturelle, appelée **érythropoïétine (=EPO)**. Elle est synthétisée par le **rein** et sa **cible est la moelle osseuse**. Cette hormone a pour effet **de stimuler la fabrication de globules rouges**. Cela se fait naturellement lorsque le sportif va en altitude. En effet, lorsque l'oxygène se fait plus rare, de l'**EPO** est sécrétée par le rein qui a détecté le **manque d'O2**. Cette hormone permet alors de **stimuler les mitoses des cellules souches des globules rouges**. Au bout d'une semaine, les globules rouges étant plus nombreux, les organes sont oxygénés plus efficacement, **le corps s'adapte à l'altitude**. Cela explique les entraînements en haute altitude des équipes de sportifs avant des événements importants. Le **seuil d'EPO** détecté à ce moment correspond à une **valeur maximale autorisée**.

Lorsque l'équipe de sportif retourne ensuite à une altitude basse, leur taux de globules rouges reste élevé, mais légal. Le fait d'avoir **plus de globules rouges permet à l'individu de délivrer plus de dioxygène**, et donc de faire durer le **métabolisme aérobie plus longtemps**. L'individu est donc **plus performant**.

Une prise illégale d'érythropoïétine peut améliorer les performances jusqu'à 10 %. Mais l'augmentation brutale des globules rouges aboutit à un **épaississement rapide du sang**. Ce qui peut engendrer des caillots pouvant conduire à des **infarctus, des embolies pulmonaires ou des AVC ischémiques**.

Doc.12 : Action de l'EPO



D'après [Cleaveland clinic](#)

De façon générale, l'ensemble des substances dopantes peut provoquer des lésions musculaires, des cancers, de la stérilité ou la masculinisation du corps de la femme...

Conclusion

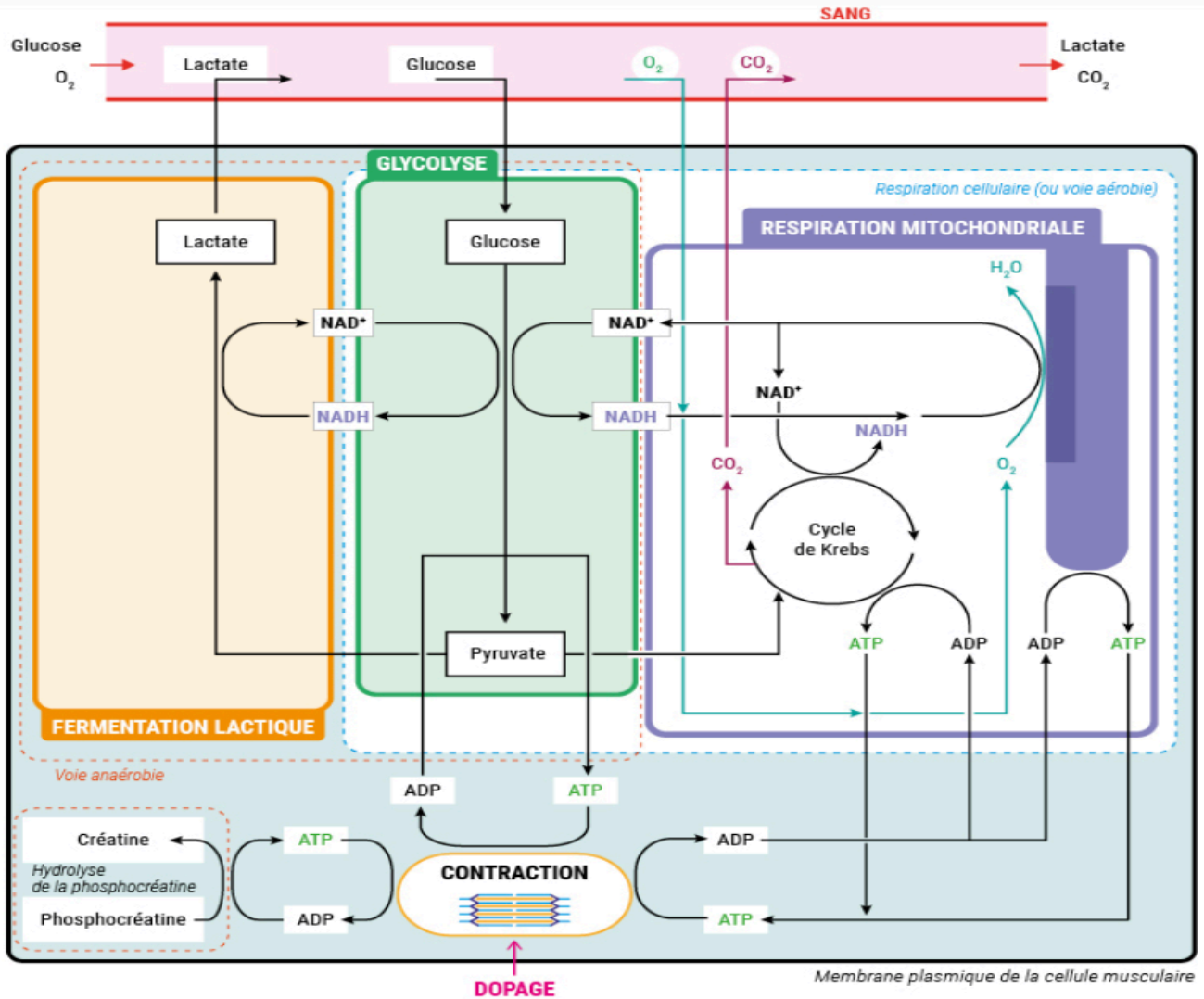
L'ATP est la molécule universelle du vivant responsable de la fourniture en énergie, mais ce n'est pas forcément la seule. Elle peut être élaborée soit par fermentation soit par le biais de la respiration. Une autre molécule peut également servir à fournir un peu d'énergie, comme dans le muscle, si le temps d'effort n'est pas grand : c'est la phosphocréatine.

C'est la libération d'un phosphate inorganique qui sera responsable de la libération d'énergie. En étant couplé à une réaction ou à un mécanisme qui nécessite de l'énergie (enzymes, biosynthèses, locomotions,

Origine de l'ATP

communications nerveuses, mobilités d'organites ou de chromosomes...), la libération d'énergie est immédiatement réinvestie. **Le vivant optimise ainsi systématiquement ses rendements énergétiques.**

ATTENTION : Il est précisé qu'à ce stade, dans les programmes, vous êtes capable de faire un grand schéma bilan mêlant la cellule musculaire, ses besoins énergétiques et le métabolisme. Ce schéma est dans votre livre à la page 365. Il est conseillé de savoir le refaire.



Fiche de révision pour mieux réussir :

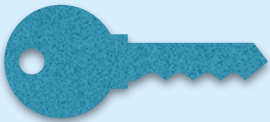
Problèmes du chapitre : Comment est produit l'ATP ? Comment la cellule régule-t-elle la présence ou le manque d'O₂ pour fabriquer de l'ATP ? Comment la cellule musculaire contrôle finement son métabolisme en fonction de l'effort musculaire ?

Les définitions à connaître :



- ★ Métabolisme, anabolisme, catabolisme, biocatalyseurs
- ★ Matabolite, ATP, ADP, hydrolyse, exergonique, endergonique
- ★ Anaérobie, aérobie, respiration cellulaire, fermentations
- ★ Glycolyse, glucose, pyruvate (ou acide pyruvique), transporteurs (NAD⁺, NADH, H⁺)
- ★ Mitochondrie, matrice, crête mitochondriale, espace intermembranaire, ATP synthase
- ★ Cycle de Krebs, décarboxylation oxydative, fradient de protons, chaine respiratoire
- ★ Fermentation lactique, Acide lactique
- ★ Voie anaérobie alactique = voie de la phosphocréatine, voie lactique et voie aérobie
- ★ Fibres de type I, fibres de type II
- ★ Dopage, anabolisants, Erythropiétine (EPO)

Les notions clés à maîtriser (à savoir expliquer) :



- ★ Glycolyse
- ★ Respiration et fermentation ;
- ★ Bilan respiration vs bilan fermentation
- ★ Métabolisme du sport et différentes voies des muscles ;
- ★ Voie de la phosphocréatine
- ★ Fibres de type I et de type II
- ★ Dopage et effet sur l'organisme



Les méthodes et compétences travaillées

- ★ ExAO Respiration / Fermentation ;
- ★ Expériences sur la glycolyse
- ★ Analyse d'expériences historiques
- ★ Analyse de photographies en MET de cellules musculaires, mitochondries...
- ★ Rastop : comparaison de l'ATP et ADP

Pour mieux mémoriser ou s'entraîner:



- ★ L'essentiel dans votre livre p362 à 365 + Exercices se tester p366
- ★ Carte de mémorisation Anki
- ★ S'entraîner à refaire les schémas ou à les légènder (ATP/ADP, Courbes ExAO, équations bilan, glycolyse, mitochondrie, respiration cellulaire, chaine respiratoire et ATP synthase, fermentation lactique, graphe des différents métabolisme, voie de la phosphocréatine simplifiée)
- ★ S'entraîner à expliquer les différents mécanismes liés aux structures cellulaires
- ★ Bien faire attention à la problématique du dopage et retenir le mécanisme de l'EPO
- ★ ECE :Expériences liées au métabolisme, ExAO, Anagène + Rastop.
- ★ QCM
- ★ Activités (TP + Respiration 1)

Exemple de sujet de synthèse :

Expliquer comment les cellules musculaires peuvent régénérer leur énergie pour pouvoir se contracter.