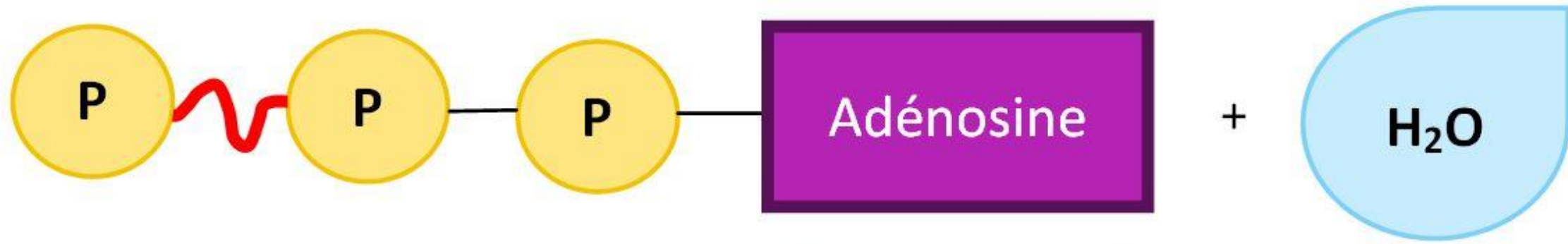


A woman with long dark hair, wearing a colorful tie-dye t-shirt, black leggings, and pink sneakers, is captured in mid-air, jumping joyfully with her arms and one leg raised. The background is a clear, bright blue sky. A semi-transparent purple rectangular box is overlaid on the lower half of the image, containing white text.

Chapitre 2 : Origine de l'ATP
nécessaire à la contraction de la
cellule musculaire

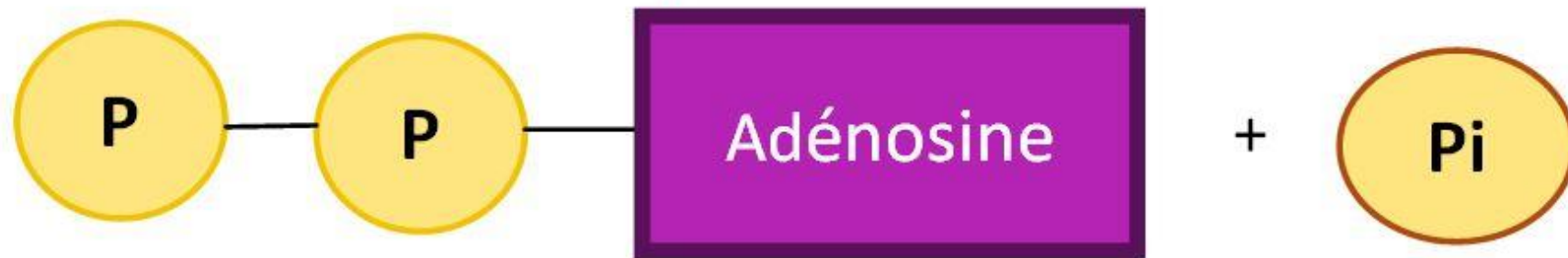


Hydrolyse de l'ATP :
réaction exergonique

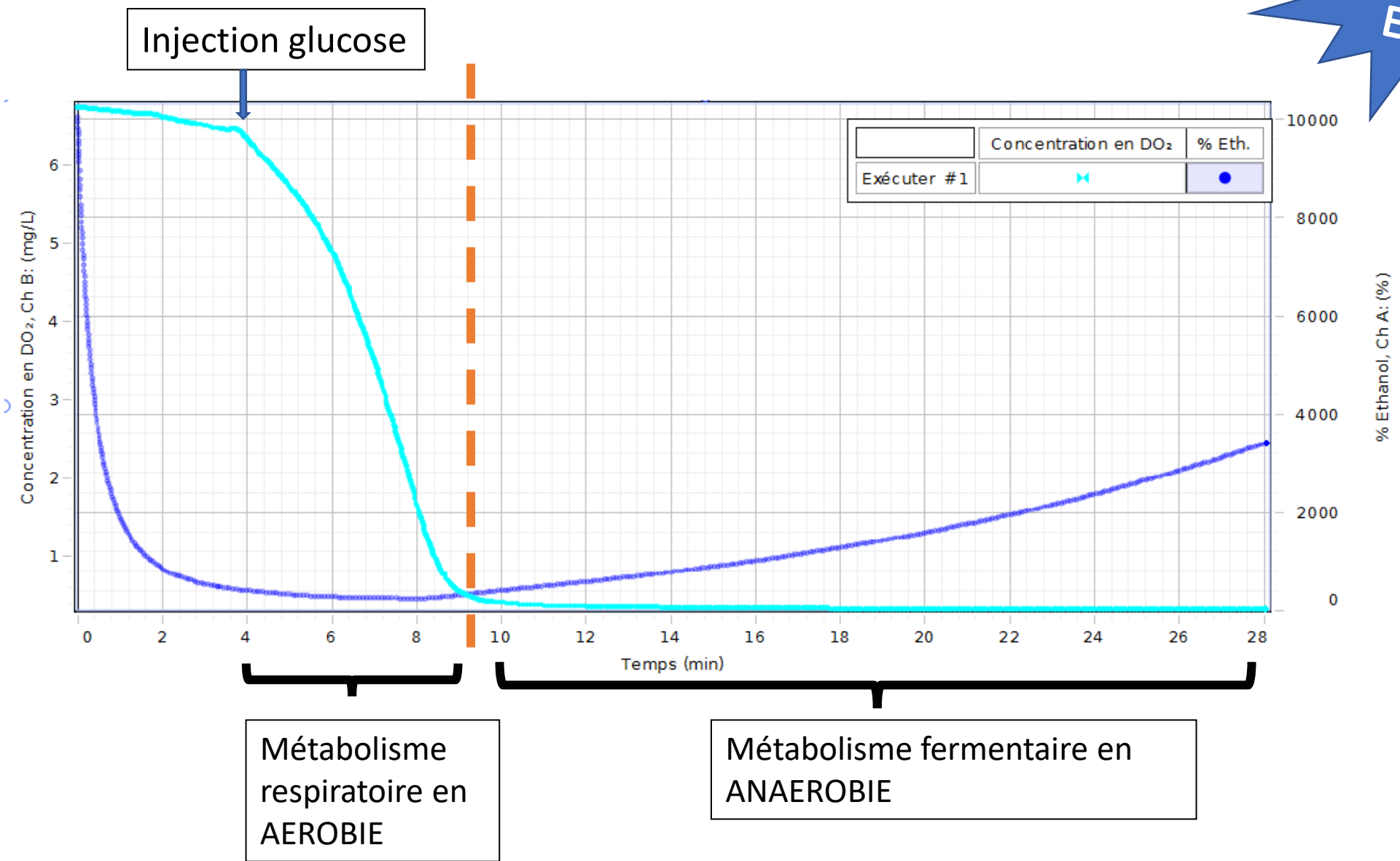
ÉNERGIE

Formation de l'ATP :
réaction endergonique

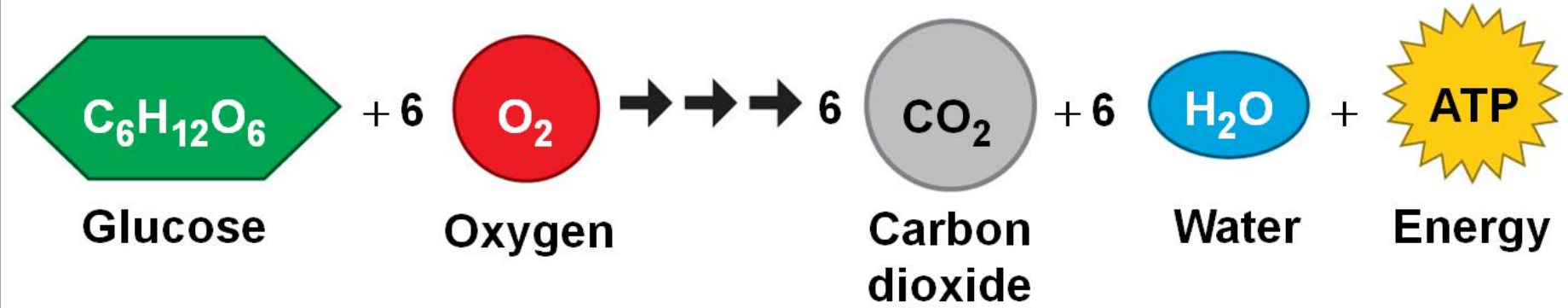
ÉNERGIE



TP7
Exao



Équation bilan de la respiration cellulaire



Problématique : Quelle est le type de transformation subie par le glucose dans la cellule ?

Matériel disponible :

Matériel courant de laboratoire : béchers, éprouvettes graduées, pipettes, lame, lamelle, mortier et pilon, entonnoir, papier filtre, seringue, microscope, lampe, bain-marie...


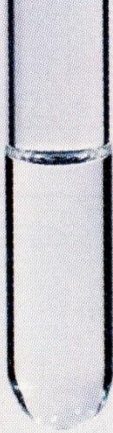

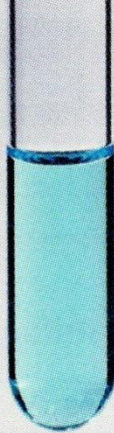
Matériel chimique : glucose $C_6H_{12}O_6$, bleu de méthylène

Matériel vivant : navet

Indications supplémentaires :

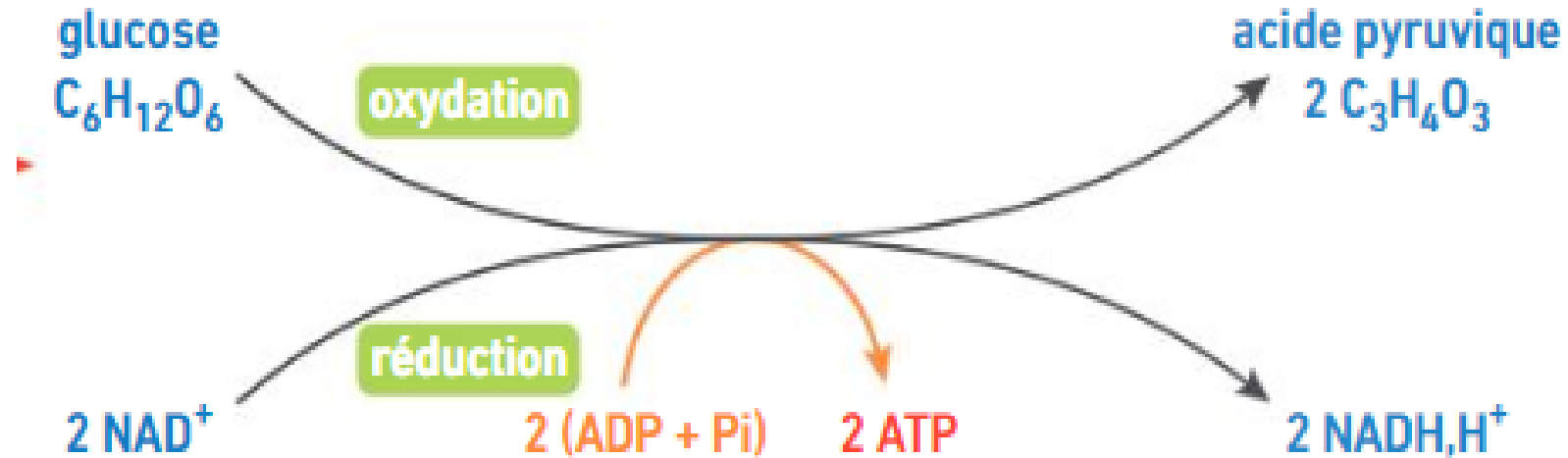
*Le **bleu de méthylène** présente un double intérêt : d'une part, à faible concentration il n'est pas toxique pour les cellules vivantes et, d'autre part, c'est un indicateur d'oxydoréduction. A l'état oxydé il est bleu tandis qu'à l'état réduit il est incolore.*

Les enzymes sont dénaturées à 100°C.

Expérience	Tube 1	Tube 2	Tube 3	Tube 4
Cubes de navets	Navet non ébouillanté	Navet non ébouillanté	Navet ébouillanté	Navet ébouillanté
Glucose (2,5 g)	Pas de glucose	Glucose	Pas de glucose	Glucose
Résultats				
Couleur du bleu de méthylène	Décoloration	Décoloration plus rapide	Pas de décoloration	Pas de décoloration

3 Mise en évidence d'une voie d'oxydation cytoplasmique du glucose.

LA GLYCOLYSE

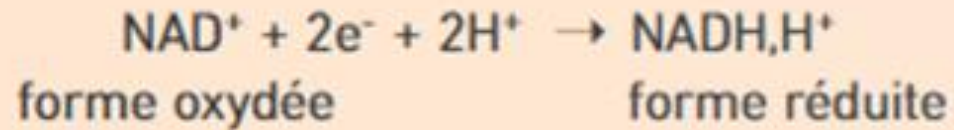


Dans le hyaloplasme* (ou cytosol), la molécule de glucose est progressivement convertie en deux molécules d'acide pyruvique : cette succession de réactions chimiques s'appelle la **glycolyse***.

Globalement, deux événements importants se produisent :

- Le glucose est oxydé en acide pyruvique. Cette réaction est couplée à la réduction d'un composé, le NAD^+ .
- L'énergie libérée lors de cette oxydoréduction permet la synthèse de deux molécules d'ATP.

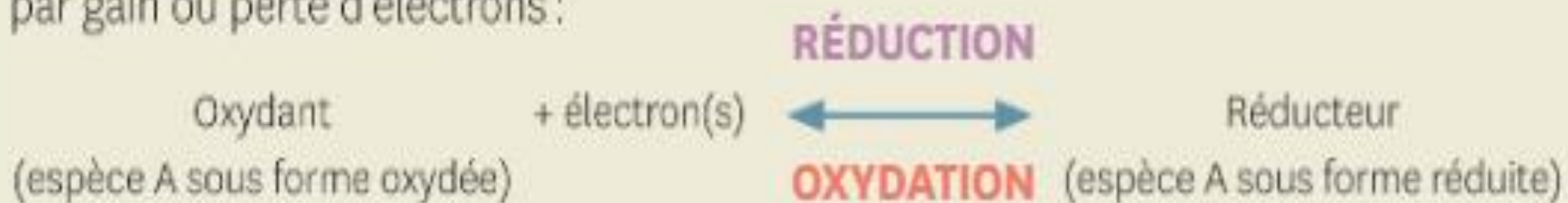
Souvent qualifié de transporteur d'hydrogène, le NAD⁺ (Nicotinamide adénine dinucléotide) est une molécule présente dans le cytoplasme des cellules de tous les êtres vivants. Cette molécule peut être sous une forme oxydée ou réduite :




oxydation

Notions-clé

- Un **oxydant** est une espèce chimique capable de gagner un ou des électrons.
- Un **réducteur** est une espèce chimique capable de céder un ou des électrons.
- Un oxydant et un réducteur forment un **couple** si l'on peut passer de l'un à l'autre par gain ou perte d'électrons :



- Une **oxydation** correspond à une perte d'électrons.
- Une **réduction** correspond à un gain d'électrons.

A woman with long dark hair, wearing a vibrant rainbow-colored t-shirt, black leggings, and pink sneakers, is captured in mid-air, jumping joyfully with her arms and one leg raised. The background is a clear, bright blue sky. A semi-transparent purple rectangular box is overlaid on the lower half of the image, containing the text 'TD les étapes de la respiration cellulaire' in a bold, purple font.

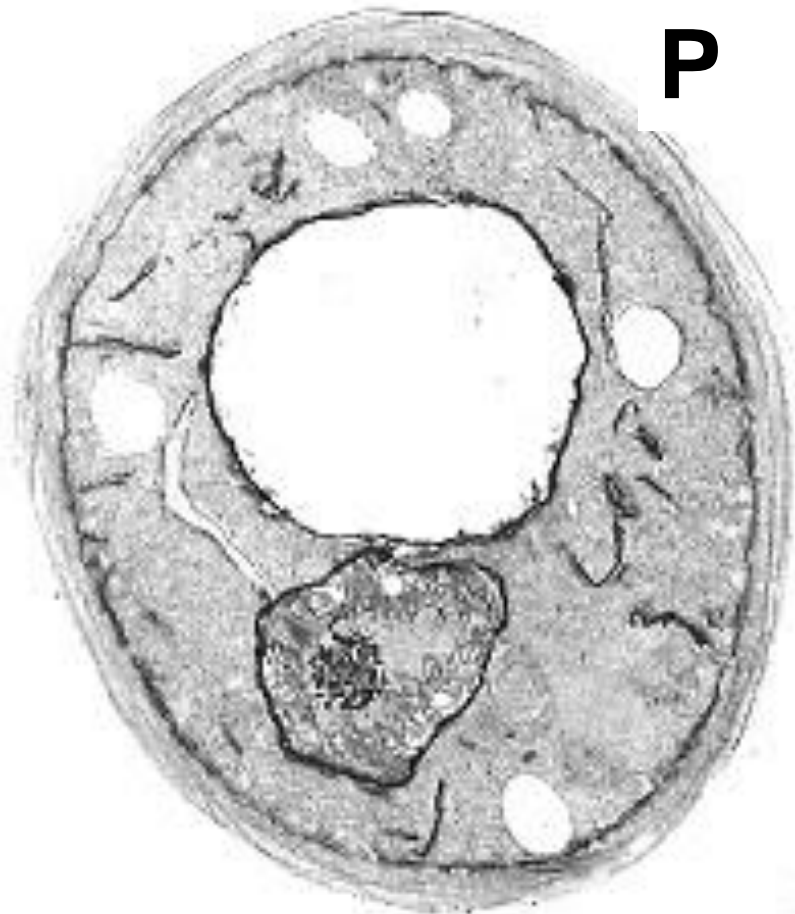
TD les étapes de la respiration
cellulaire

G



1 μ m

P

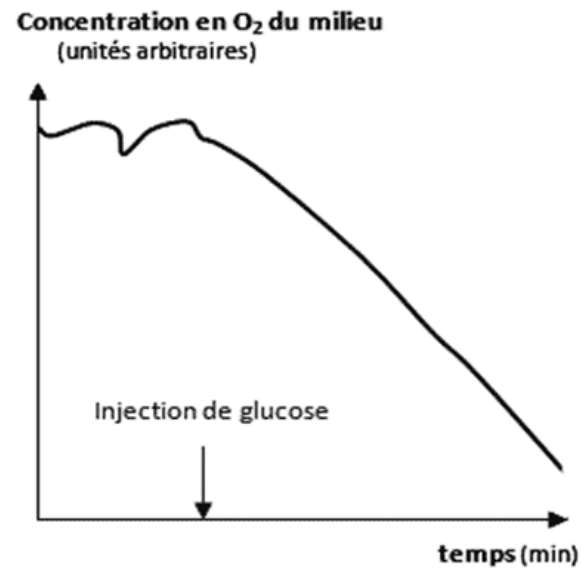


DOCUMENT 1 : Deux souches de levures, êtres vivants eucaryotes et unicellulaires, cultivées sur un milieu gélosé contenant du glucose, donnent pour l'une, des grandes colonies (levures G), pour l'autre des petites colonies (levures mutantes P).

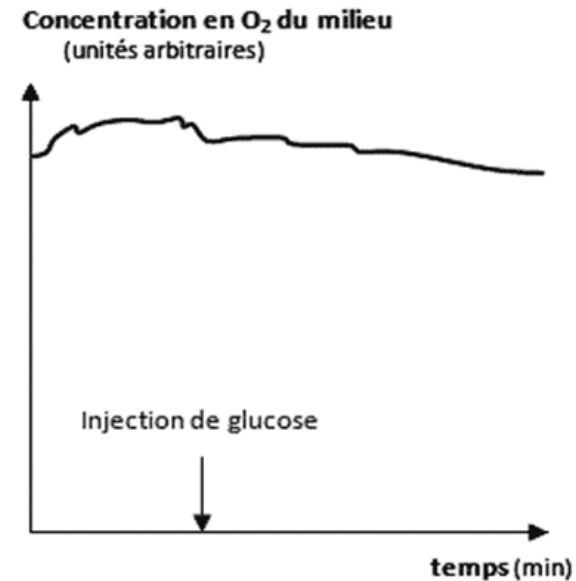
Document 1a :

Les levures sont transférées dans un nouveau milieu de culture. On mesure alors l'évolution de la quantité de dioxygène avant et après injection de glucose dans le milieu.

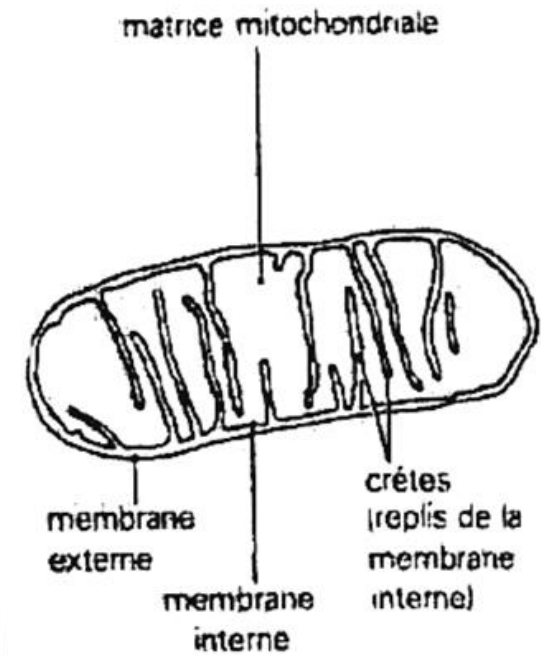
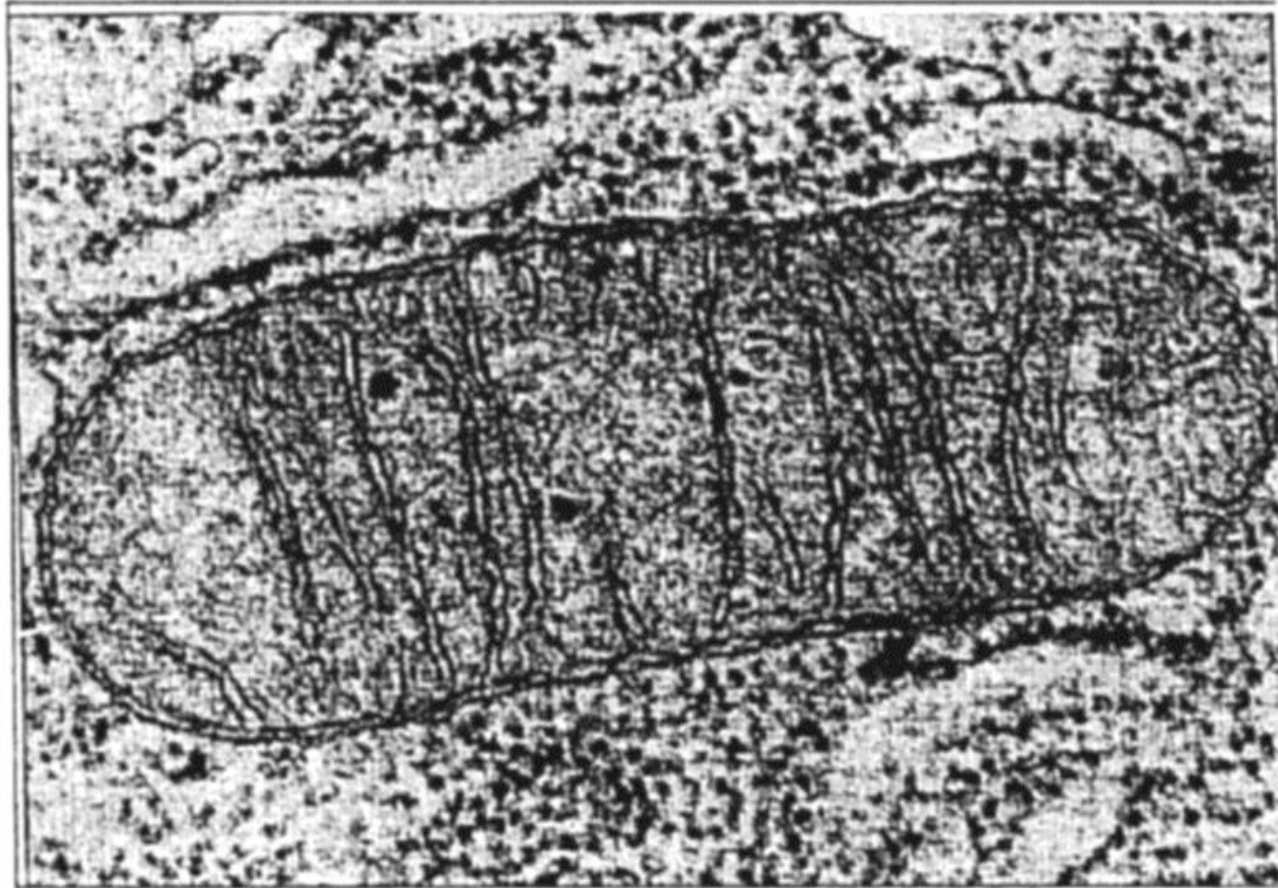
Levures G



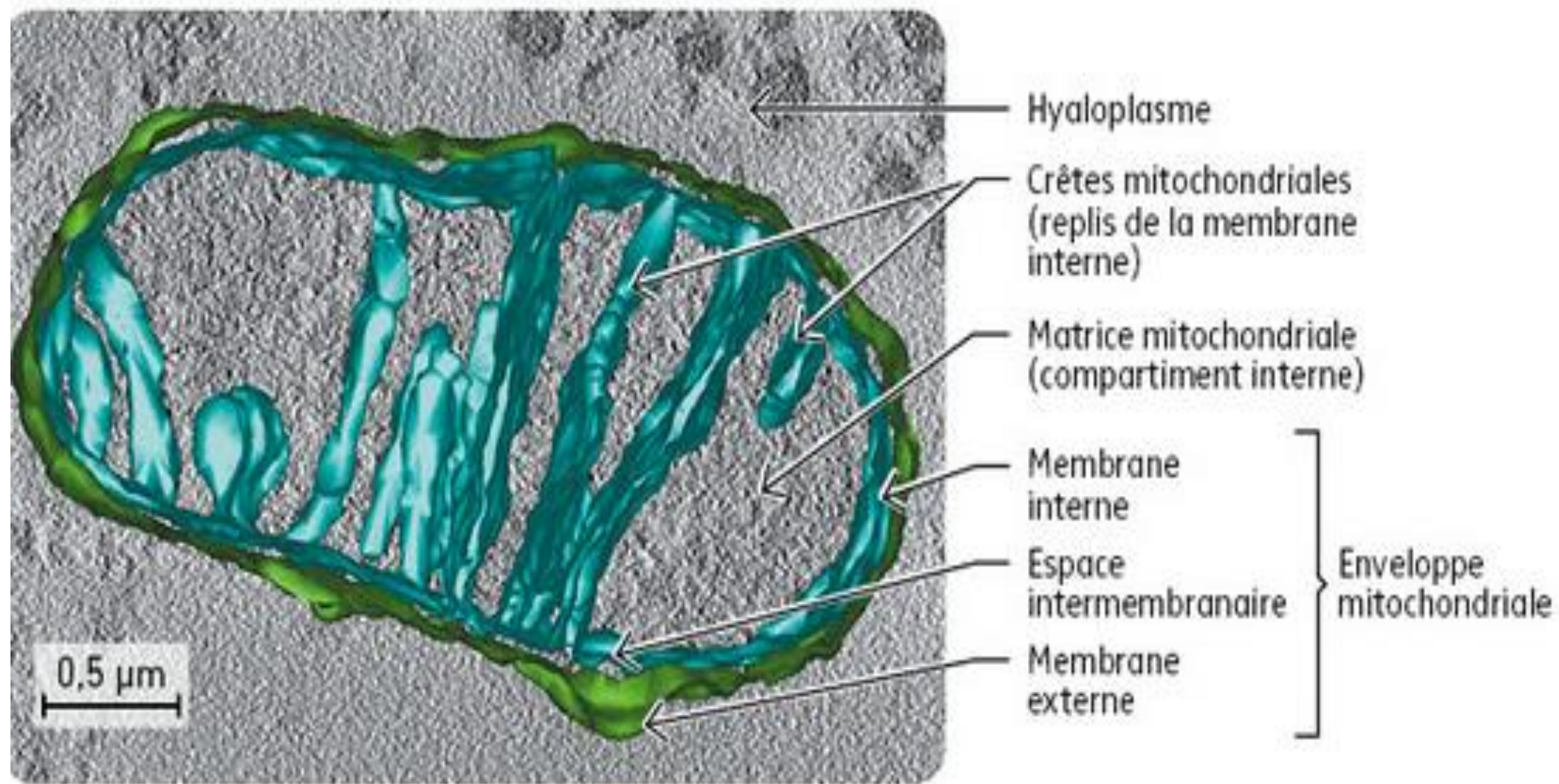
Levures P



Document 1b : ultrastructure cellulaire (MET x40 000) et schéma d'interprétation



Levures G : mitochondries abondantes ; Levures P : mitochondries rares



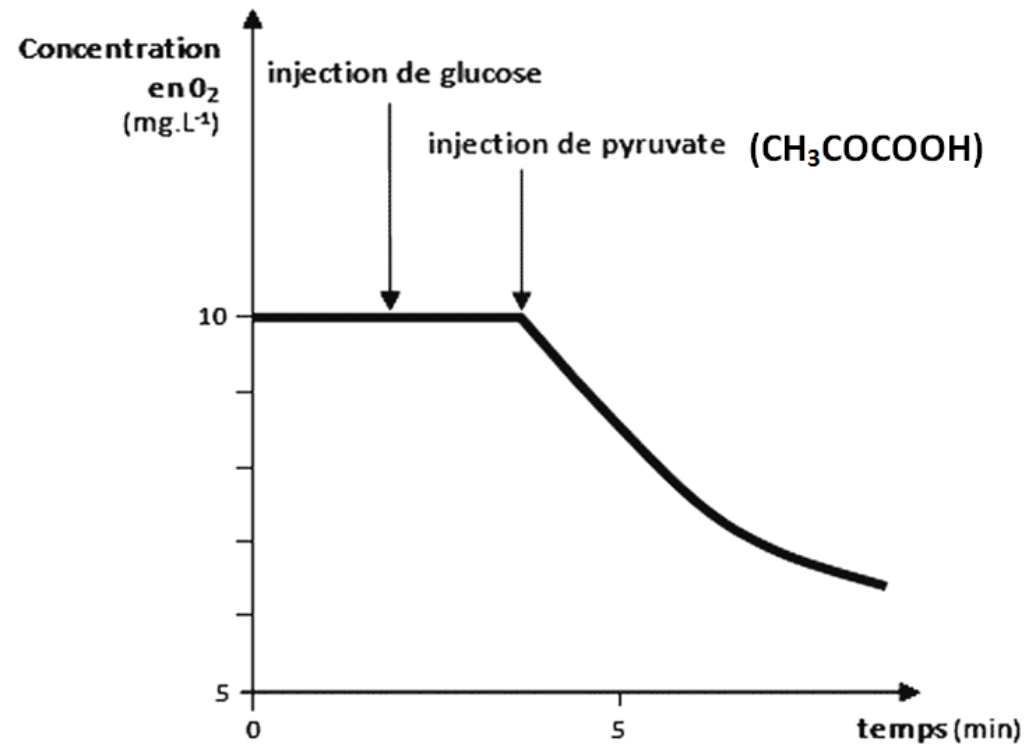
Les **mitochondries** sont les **organites clé** de la respiration cellulaire :

sans, aucune cellule n'est capable de respirer et des mitochondries isolées consomment du O₂ et oxydent certaines molécules organiques.

DOCUMENT 2 :

A partir d'un broyat de cellules, on a isolé un culot de mitochondries. Ces dernières sont placées dans un milieu bien oxygéné et contenant de l'ADP + Pi.

On suit au cours du temps la concentration en O_2 du milieu dans différentes conditions expérimentales.



DOCUMENT 3 : expérience sur des fractions mitochondriales

Les mitochondries sont fragmentées par l'action d'ultrasons. On obtient différentes fractions.

Les fractions sont placées dans un milieu expérimental contenant du dioxygène, des composés réduits NADH+H⁺, de l'ADP et du Pi :

Fraction mitochondriale utilisée	Résultats
Fragments de membrane externe	Pas de production d'ATP Pas d'oxydation des composés NADH ₂ en NAD (en présence d'oxygène) Composition voisine de la membrane plasmique (40% lipides, 60% protéines)
Fragments de matrice	Absence de glucose, présence de pyruvate, ATP, ADP et Pi, de NAD ⁺ et de NADH Présence de nombreuses enzymes (décarboxylases, complexes d'oxydoréduction)
Fragments de membrane interne	Production d'ATP Oxydation des composés NADH ₂ en NAD (en présence d'oxygène uniquement) Composition très différente de la membrane plasmique avec 80% de protéines (des enzymes ATP synthases) qui permettent la régénération d'ATP

1e étape : **GLYCOLYSE**

Oxydation du glucose en acide pyruvique



Localisation :

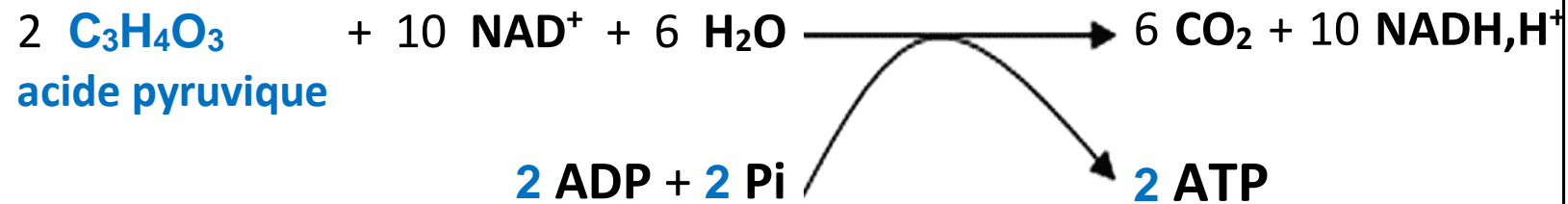
HYALOPLASME

Le **NAD** est une petite molécule qui intervient dans le métabolisme comme **transporteur d'électrons dans les réactions d'oxydoréduction**, le **NAD+** comme **oxydant** (= qui capte les électrons) et le **NADH** comme **réducteur** (= qui cède les électrons).

2e étape : **CYCLE DE KREBS**

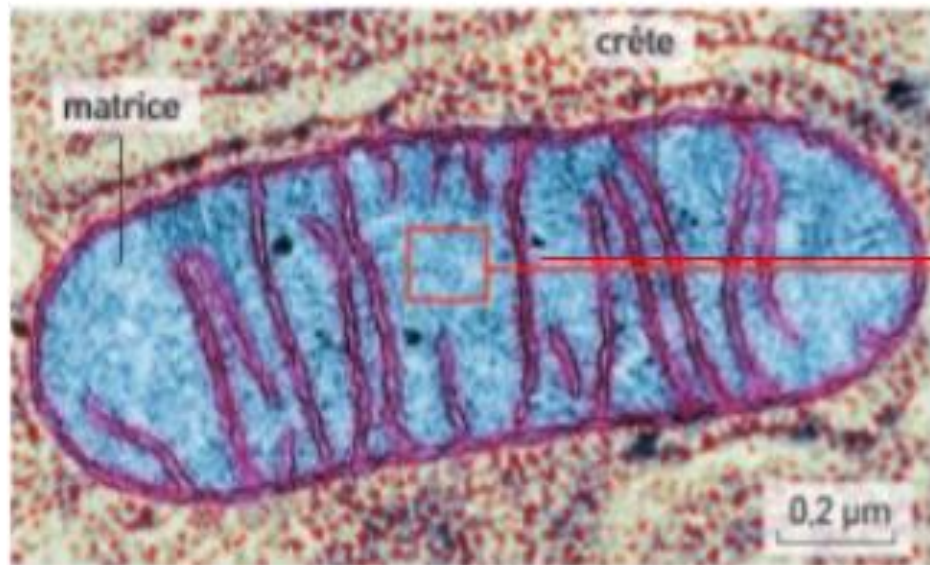
Série de décarboxylations oxydatives avec production de composés réduits et d'ATP

Décarboxylation totale : production d'un déchet, le CO_2 et formation de composés réduits (NADH, H^+).



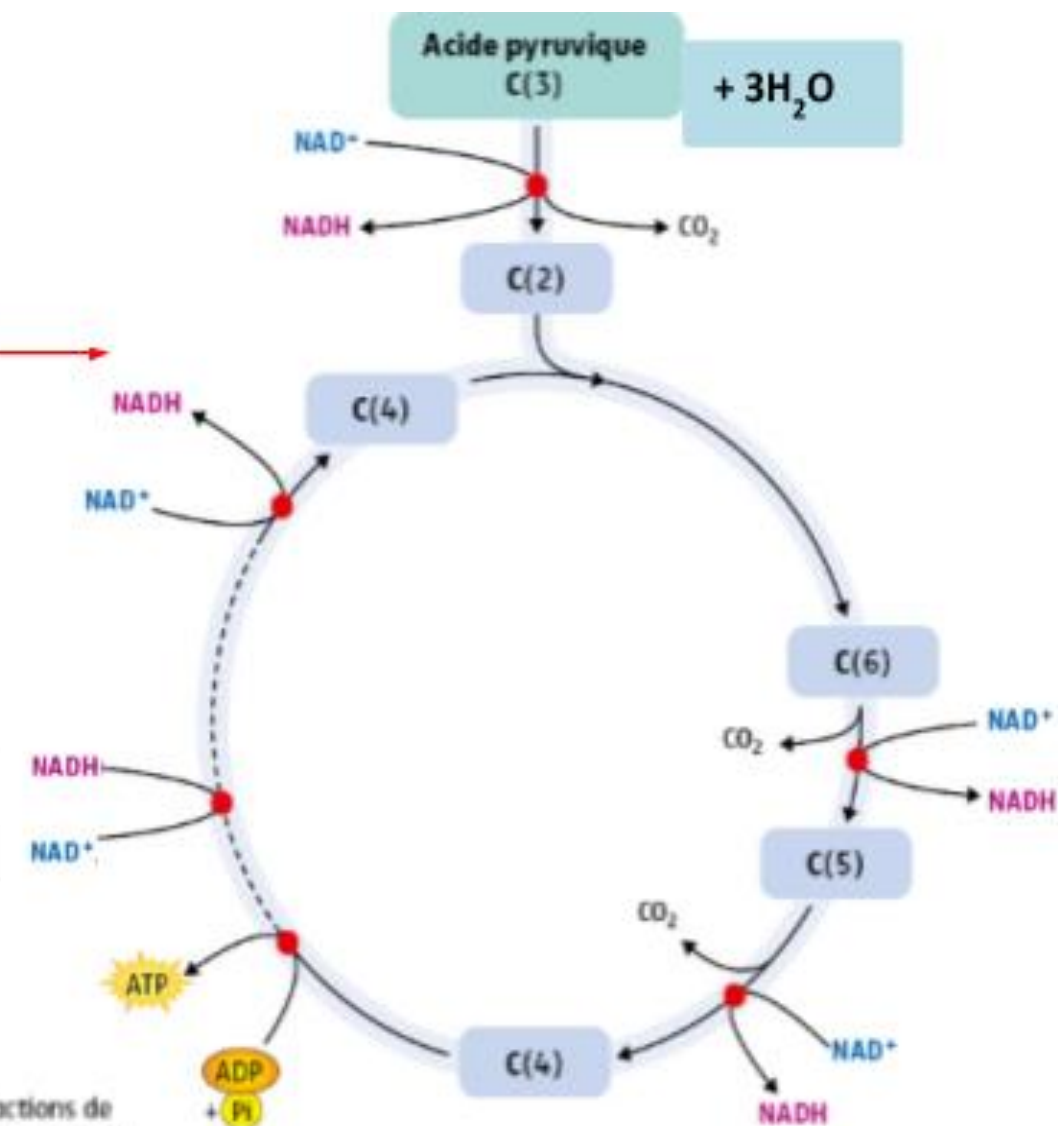
Localisation :

**MATRICE DE LA
MITOCHONDRIE**



Dans le compartiment interne des mitochondries (la matrice), l'acide pyruvique est totalement oxydé au cours d'une série de réactions chimiques appelée cycle de Krebs^{*}.

Ce cycle rejette du dioxyde de carbone et génère des NADH,H⁺ ainsi que des molécules d'ATP.



C(-)

Molécules organiques issues directement ou indirectement de réactions de transformation du pyruvate

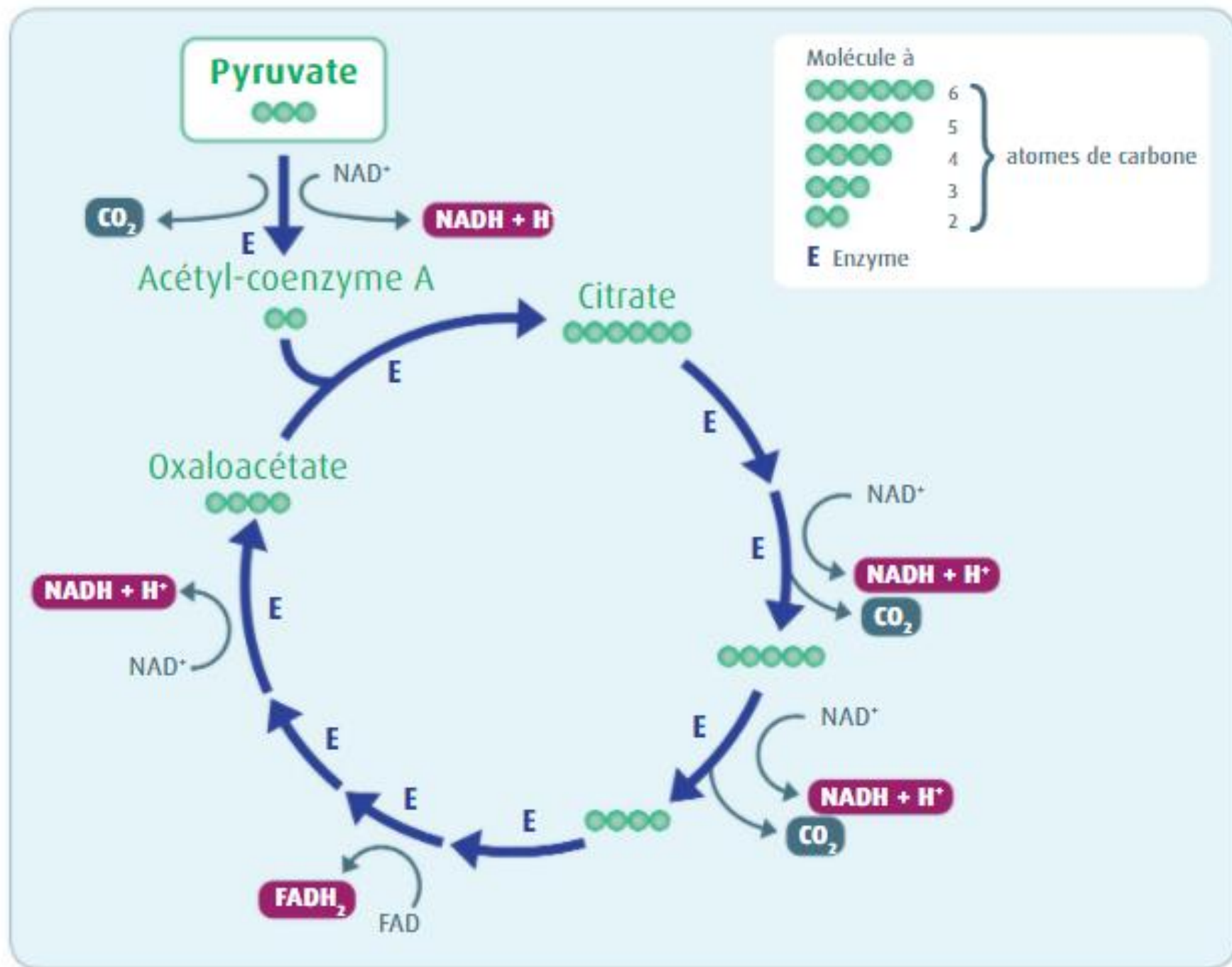


Couplage d'une réaction de transformation du cycle de Krebs avec une autre



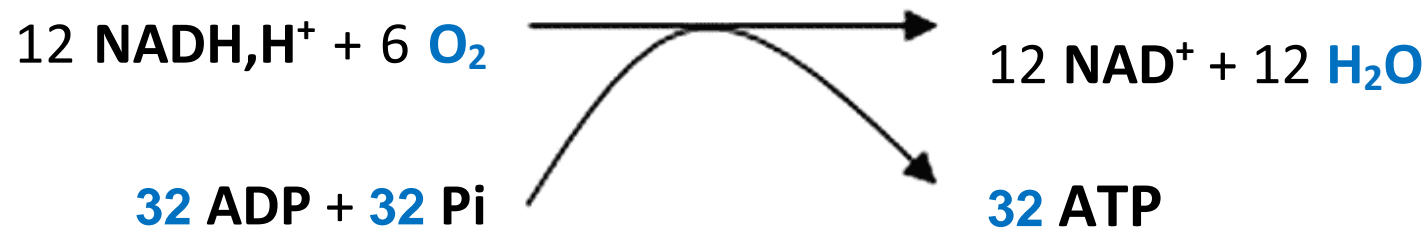
Suite de réactions de transformation (non détaillées)

B Deuxième étape : le cycle de Krebs, dans la matrice des mitochondries (observation au MET).



3e étape : OXYDATIONS AU NIVEAU DE LA CHAINE RESPIRATOIRE

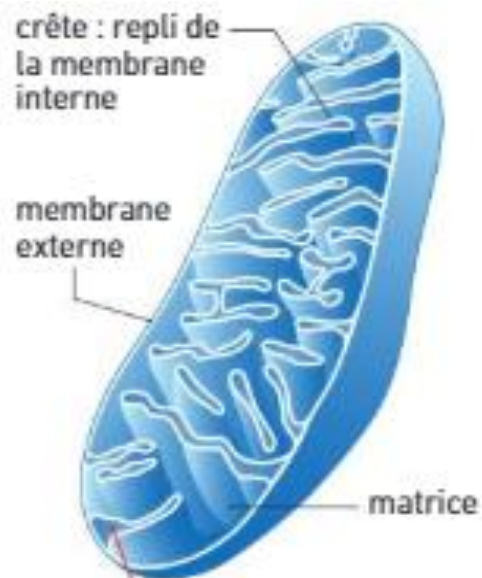
Oxydation par le dioxygène des composés réduits couplée à une importante production d'ATP



Toutes ces réactions chimiques sont catalysées par des enzymes.

Localisation :

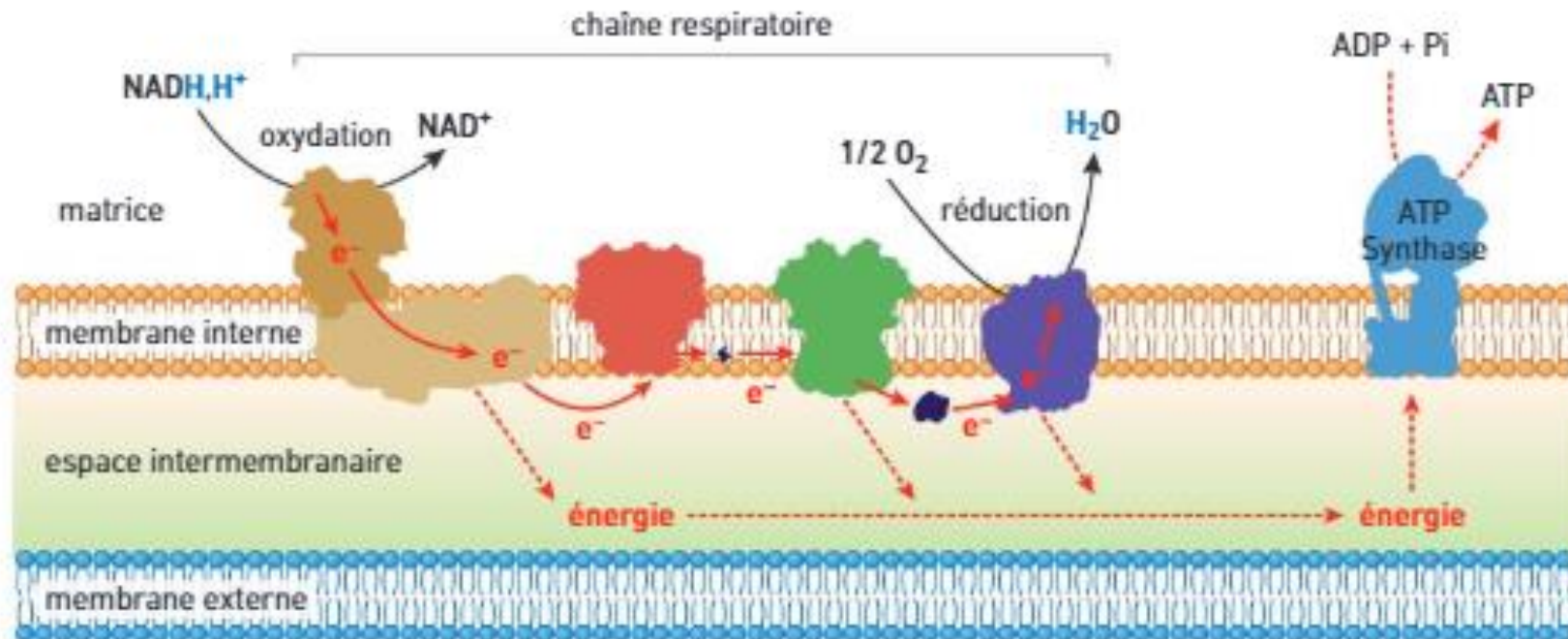
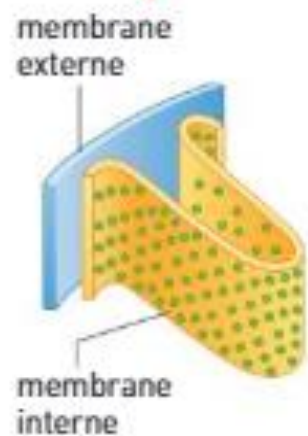
**CRETES
MITOCHONDRIALES
(MEMBRANE INTERNE
DE LA MITOCHONDRIE)**



L'observation au microscope électronique montre qu'une mitochondrie possède deux membranes (doc. 1B). Alors que la membrane externe est ordinaire, la membrane interne présente une structure complexe avec de très nombreux replis, appelés crêtes mitochondriales. En outre, la membrane interne est très riche en protéines (80 % de ses constituants, contre 50 % pour la membrane externe).

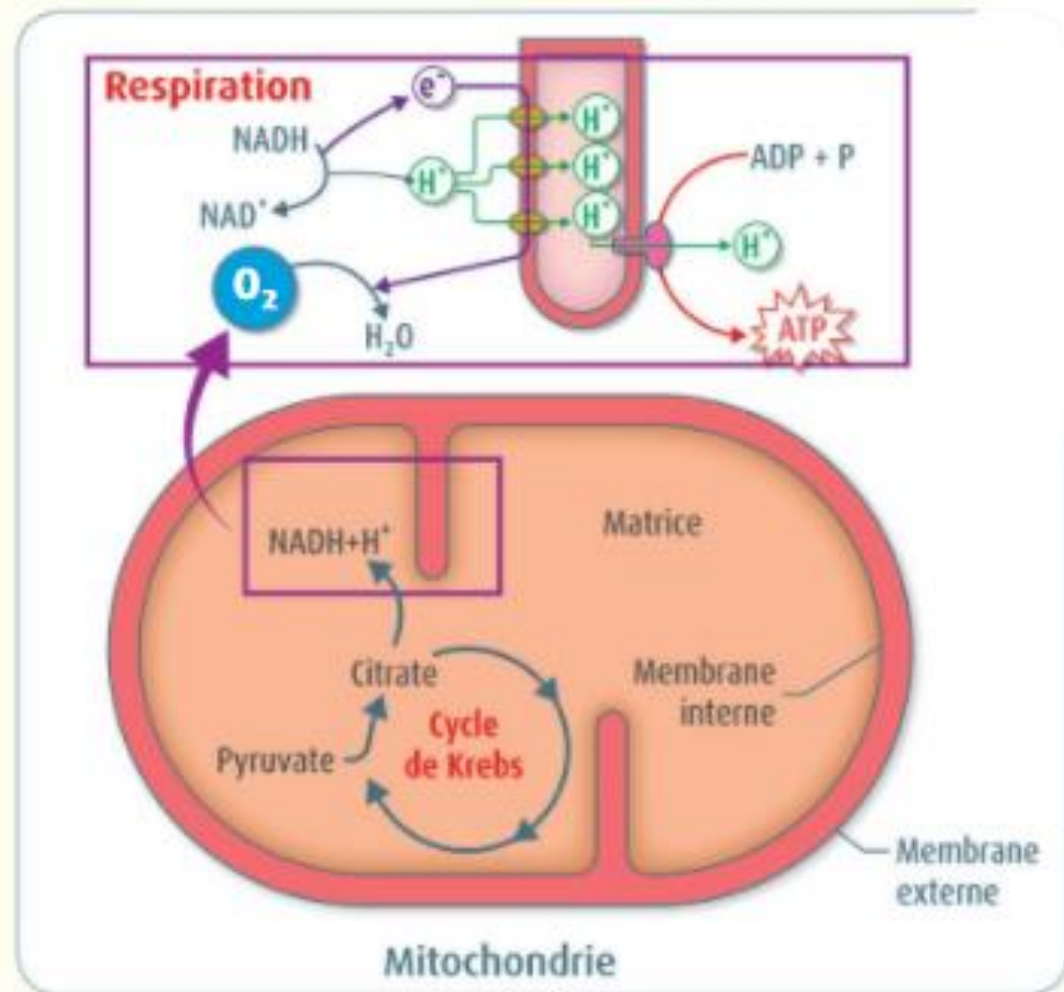
Un ensemble complexe de molécules enchâssées dans la membrane interne constitue la **chaîne respiratoire***. Ces molécules assurent une ré-oxydation des composés réduits NADH, H^+ produits par la glycolyse et le cycle de Krebs. Chaque transporteur de la chaîne accepte les électrons du transporteur précédent et les transmet au suivant.

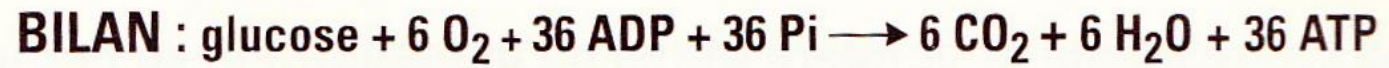
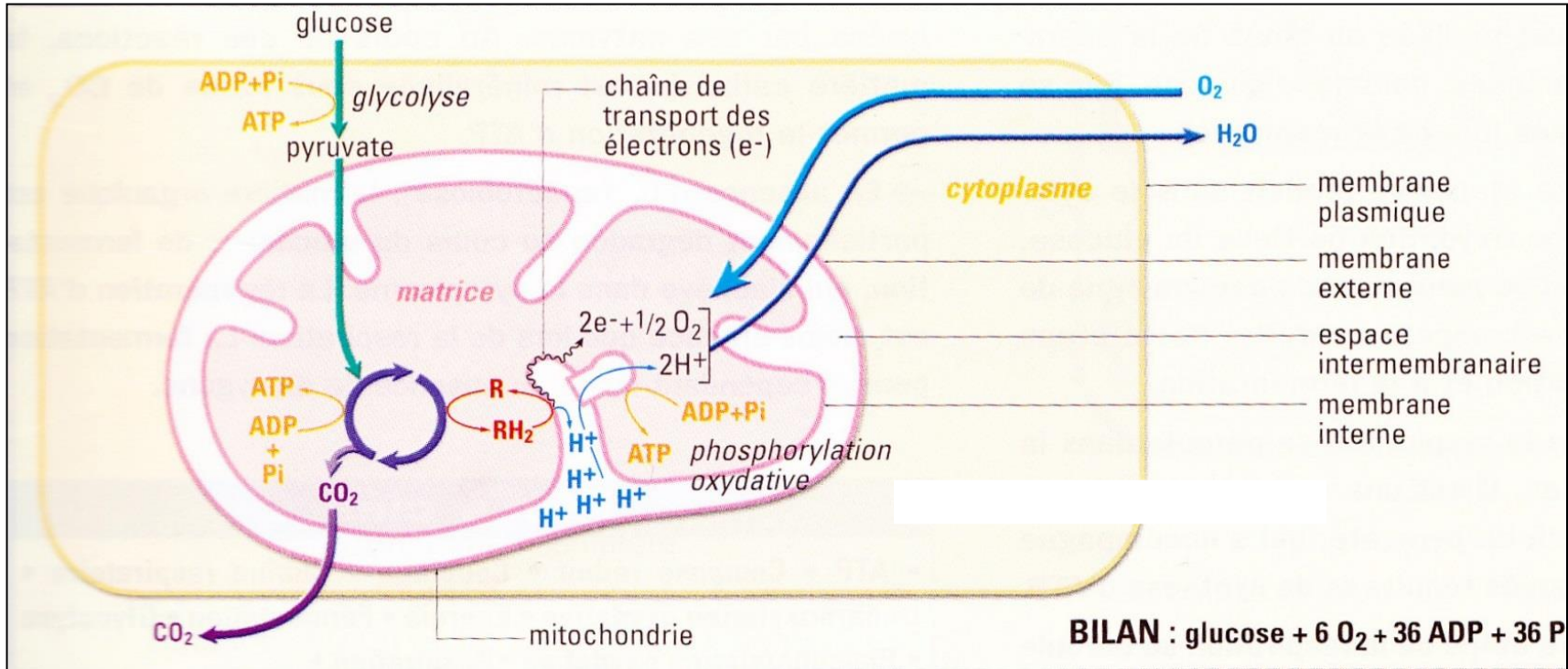
Finalement, en bout de chaîne, c'est le dioxygène qui accepte électrons et protons pour former de l'eau. Ces oxydations fournissent à l'ATP synthase l'énergie permettant de produire 32 molécules d'ATP à partir de 12 molécules de NADH, H^+ .



A Troisième étape : les réactions de la chaîne respiratoire dans les crêtes mitochondriales.

Les coenzymes réduits NADH et de FADH_2 cèdent leurs électrons à une série d'accepteurs localisés dans la membrane interne des mitochondries, formant la chaîne respiratoire. L'accepteur final d'électrons est le dioxygène O_2 , qui est réduit en eau H_2O . Lors du transfert des électrons, des protons H^+ sont transportés dans l'espace intermembranaire. Ces protons retraversent cette membrane et regagnent la matrice mitochondriale au niveau d'une protéine associée à la membrane interne, l'ATP synthase, qui couple ce transport de protons à la synthèse d'ATP. Une molécule de NADH permet ainsi la synthèse de 3 molécules d'ATP et une molécule de FADH_2 la synthèse de 2 molécules d'ATP.





A woman with long dark hair, wearing a colorful tie-dye t-shirt, black leggings, and pink sneakers, is captured in mid-air against a clear blue sky. She is in a dynamic pose, with her right leg extended upwards and her arms outstretched. The background is a bright, clear blue sky with some light clouds near the horizon.

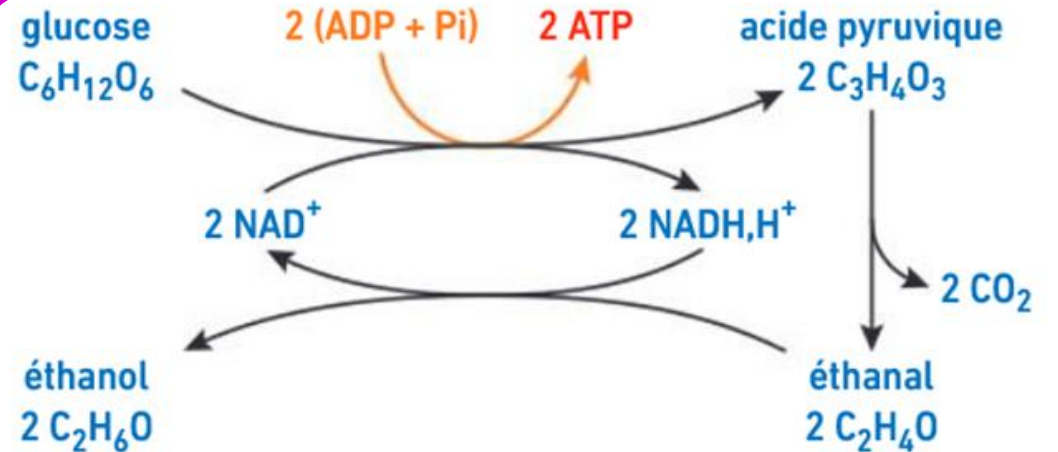
La fermentation lactique, voie
anaérobie

1

Une voie métabolique anaérobie

Pour régénérer en permanence le stock d'ATP nécessaire à la contraction, les cellules musculaires sont capables de respirer, ce qui nécessite un approvisionnement constant et suffisant en dioxygène. Mais, comme les levures, elles peuvent aussi réaliser une fermentation* (voir unité 1 p. 421). Dans les fermentations, l'ensemble des réactions se déroulent dans le cytoplasme et ne nécessitent donc pas

d'organites particuliers. Lors d'une fermentation, la dégradation du glucose est incomplète : il y a production d'un composé secondaire dont la nature dépend des enzymes spécifiques présentes dans les cellules. Les fibres musculaires sont capables d'effectuer la **fermentation lactique*** : celle-ci ne nécessite pas de dioxygène et s'effectue donc dans des conditions anaérobies*.



■ Comparaison de la fermentation lactique (à gauche) et de la fermentation alcoolique (à droite).



Adaptabilité des cellules musculaires
aux pratiques sportives



20 km de marche
en 1 h 15 : **5625 kj**



Course de 100 m
en 10 s : **130 kj**

3 Deux types de fibres musculaires Pratiquer une démarche scientifique

Exercice TYPE
BAC

Dans un muscle squelettique, il est souvent possible de différencier deux principaux types de fibres musculaires, dénommées « fibres de type I » et « fibres de type II ». Les fibres de type I sont qualifiées de « fibres lentes rouges » tandis que les fibres de type II sont qualifiées de « fibres rapides blanches ».

QUESTIONS :

En exploitant ces documents et à l'aide de vos connaissances :

- montrez que les deux types de fibres se caractérisent par un métabolisme prédominant différent et justifiez les qualificatifs donnés aux deux types de fibres ;
- établissez la relation entre la proportion des deux types de fibres et la spécialité des sportifs présentés par le document 2.



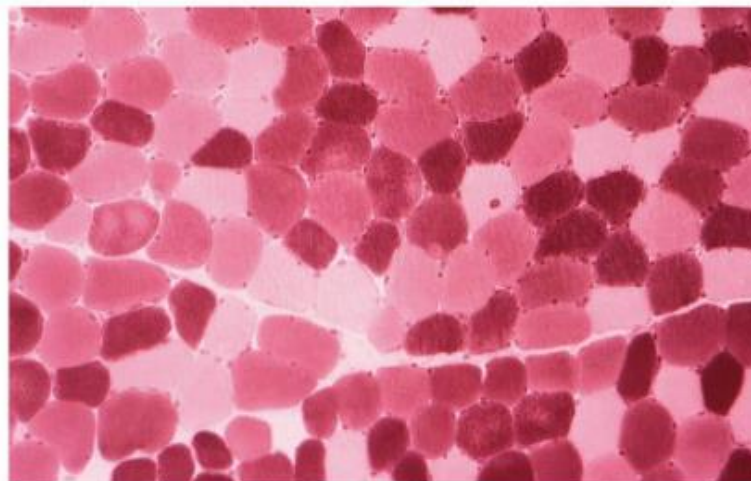
Les muscles des sprinters sont très riches en fibres de type II, d'où un volume musculaire souvent impressionnant !

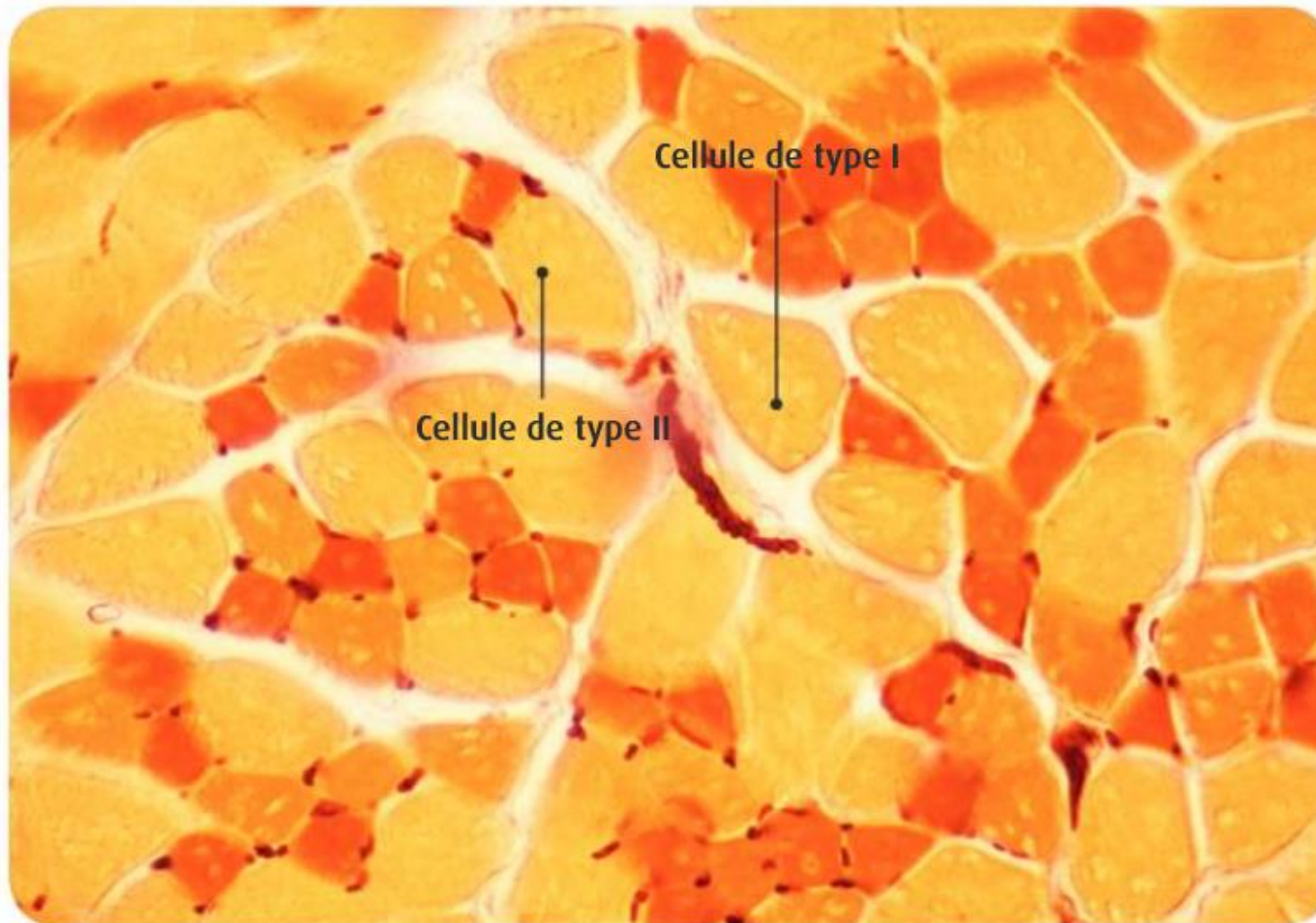
DOCUMENT 1 : Coupe transversale d'un muscle squelettique observée au microscope optique (x 40).

Cette observation des fibres musculaires d'un muscle a été réalisée après coloration particulière : l'intensité de la coloration traduit en effet l'activité d'une enzyme intervenant dans la production d'ATP par les mitochondries.

On y distingue deux types principaux de fibres musculaires :

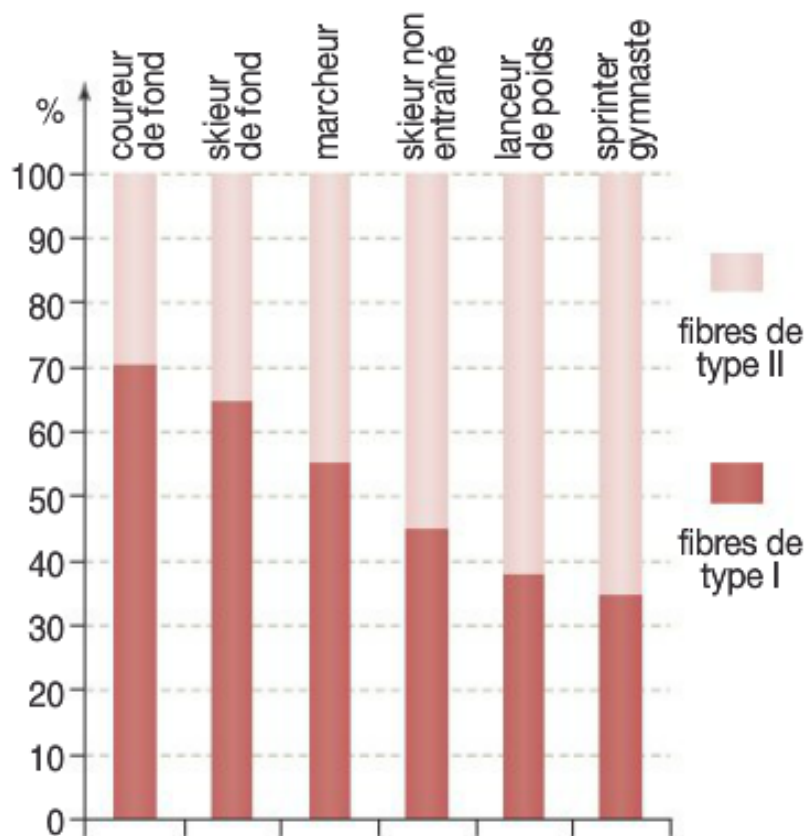
- les fibres de type I, de couleur foncée, à forte activité enzymatique ;
- les fibres de type II, de couleur claire, à faible activité enzymatique.





Coupe transversale d'un muscle de sprinteuse observé au microscope optique. Deux types de cellules musculaires coexistent : les cellules de type I, ou fibres rouges, et les cellules de type II, ou fibres blanches. Un entraînement spécifique en musculation se traduit par une augmentation de la proportion des cellules de type II. Un entraînement en endurance provoque une augmentation de la proportion des cellules de type I.

DOCUMENT 2 : Proportions des deux types de fibres dans les muscles de sportifs en fonction de leur spécialité.



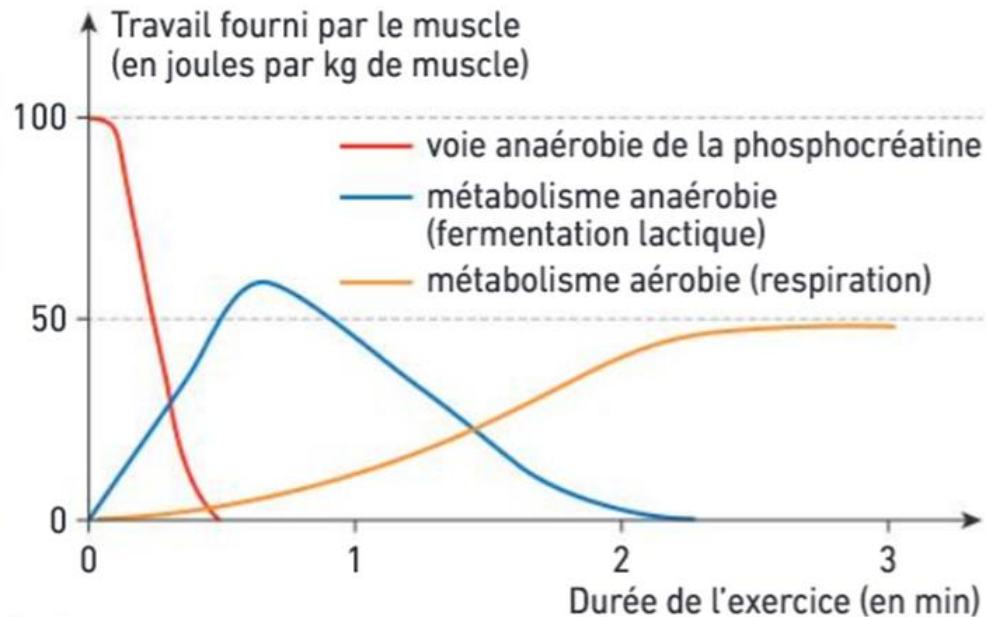
DOCUMENT 3 : Quelques caractéristiques des deux types de fibres musculaires (le nombre de croix indique l'importance relative de chaque caractéristique).

	Fibres de type I	Fibres de type II
Réserves de glycogène	++	+++
Densité en myofibrilles	++	+++
Mitochondries	+++	+
Densité en capillaires sanguins	+++	+
Myoglobine*	+++	+
Vitesse de contraction	+	+++
Force développée	+	+++
Fatigabilité	+	++
Volume	+	+++

* La myoglobine est une protéine de couleur rouge présente dans le cytoplasme des fibres musculaires, dont le rôle est de fixer et diffuser dans la fibre le dioxygène apporté par le sang.

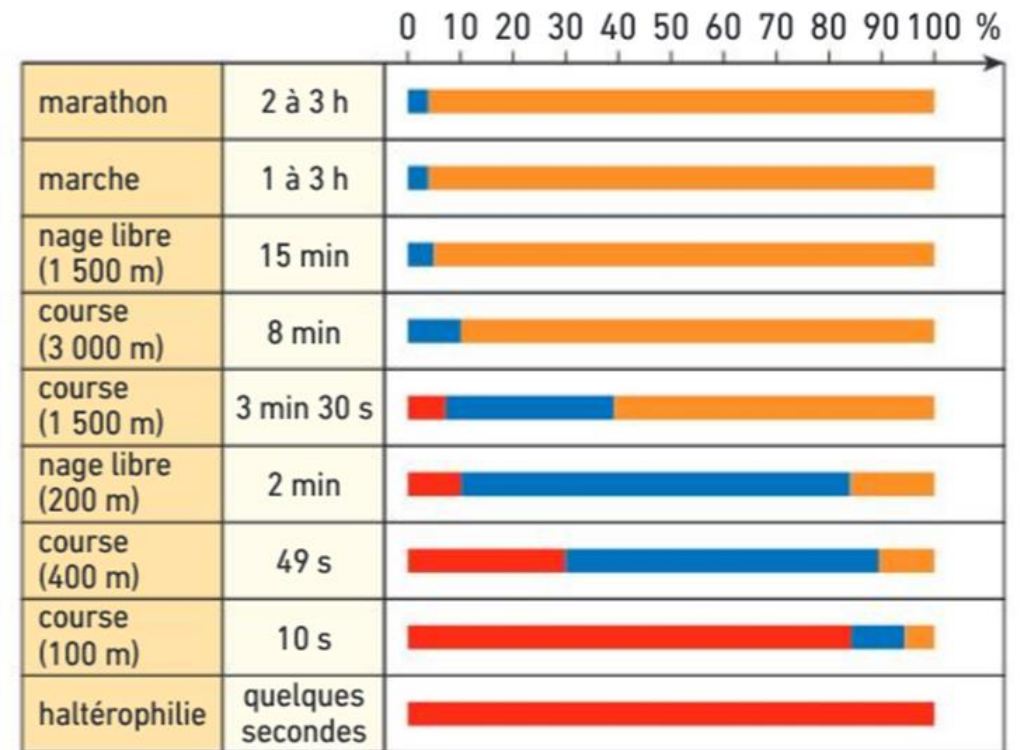
Expliquer comment les cellules musculaires régénèrent l'ATP nécessaires à leur contraction selon le type de effort.

- Le graphique ci-dessous (C) montre la succession dans le temps des différentes voies métaboliques utilisées par le muscle pour produire l'ATP nécessaire à la contraction au cours d'un exercice d'intensité moyenne. En fonction du type d'effort à fournir et de sa durée, les parts respectives de ces métabolismes varient (D).



C Intervention des voies métaboliques au cours d'un effort musculaire.

(polymère de glucose).

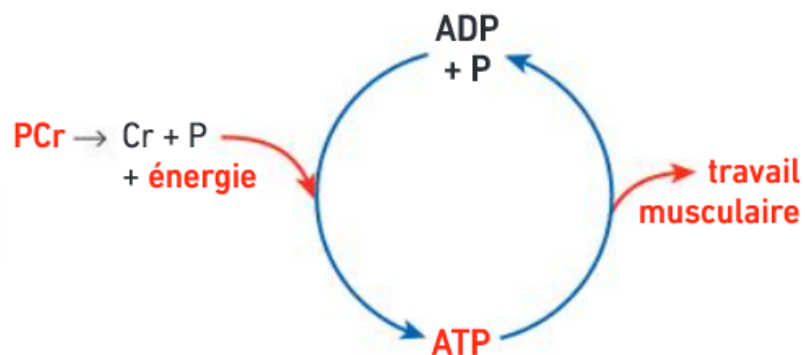


- voie anaérobie de la phosphocréatine
- métabolisme anaérobie (fermentation lactique)
- métabolisme aérobie (respiration)

D Parts respectives des voies métaboliques en fonction du type d'effort.

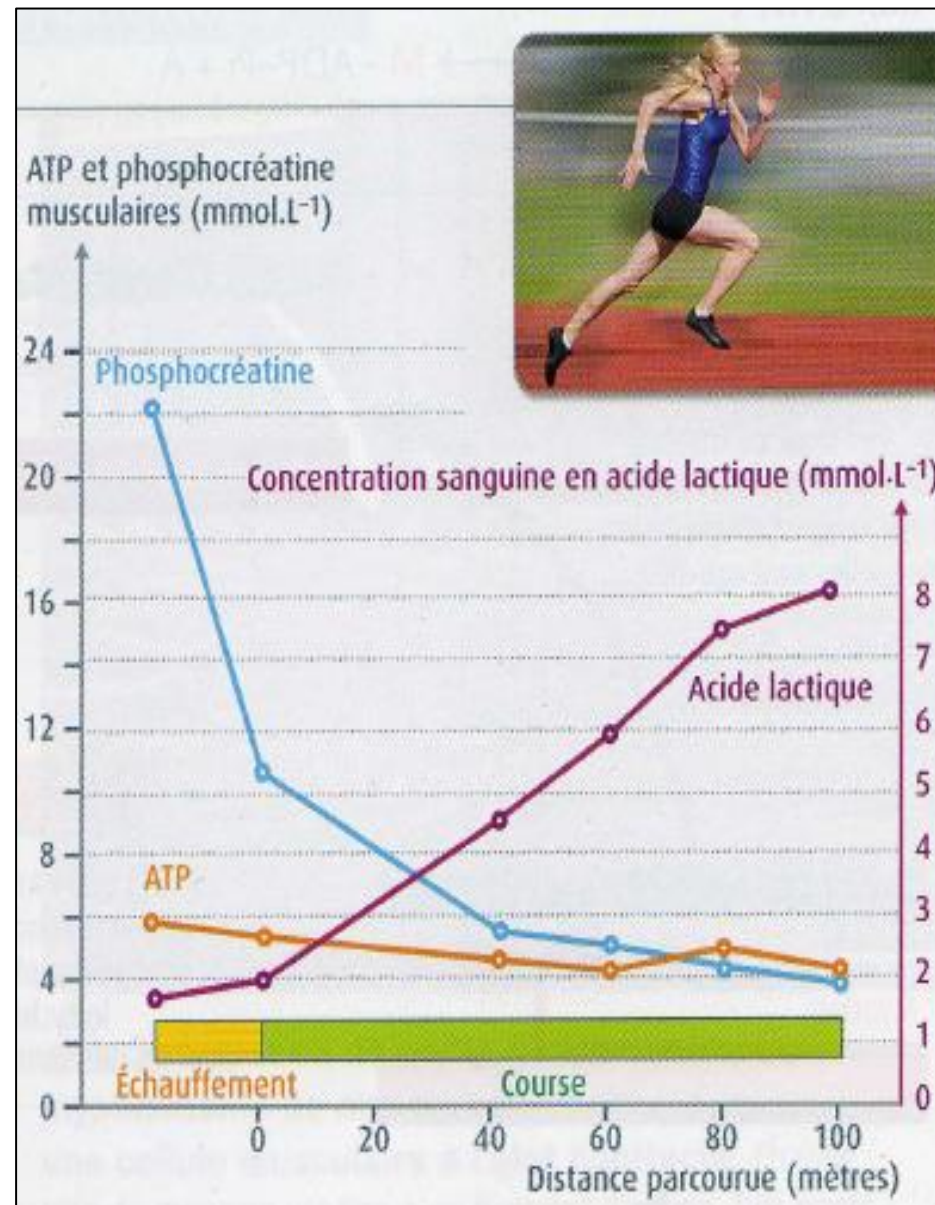
3 Un stock initial d'ATP très limité

Les réserves d'ATP dans une cellule sont infimes. Il existe cependant dans les fibres musculaires une autre molécule, la phosphocréatine* (PCr), possédant une liaison phosphate à haut potentiel énergétique. L'énergie libérée par l'hydrolyse de la phosphocréatine n'est pas directement utilisée par le muscle mais permet de reconstituer de l'ATP :



Ce système est instantané et ne nécessite aucune structure cellulaire particulière. Il permet de subvenir aux besoins immédiats, mais, en moins de 30 s, les stocks d'ATP et de phosphocréatine s'épuisent.

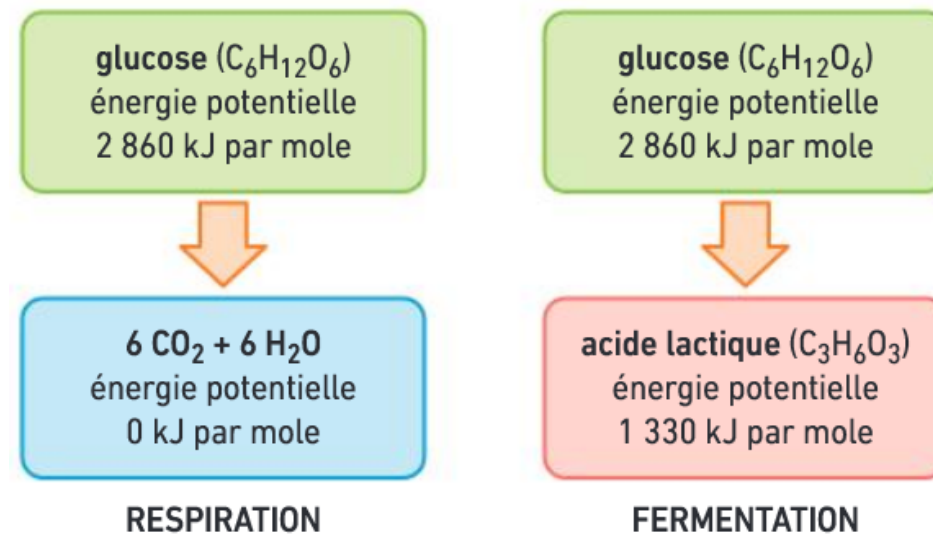
■ La voie anaérobie de la phosphocréatine.



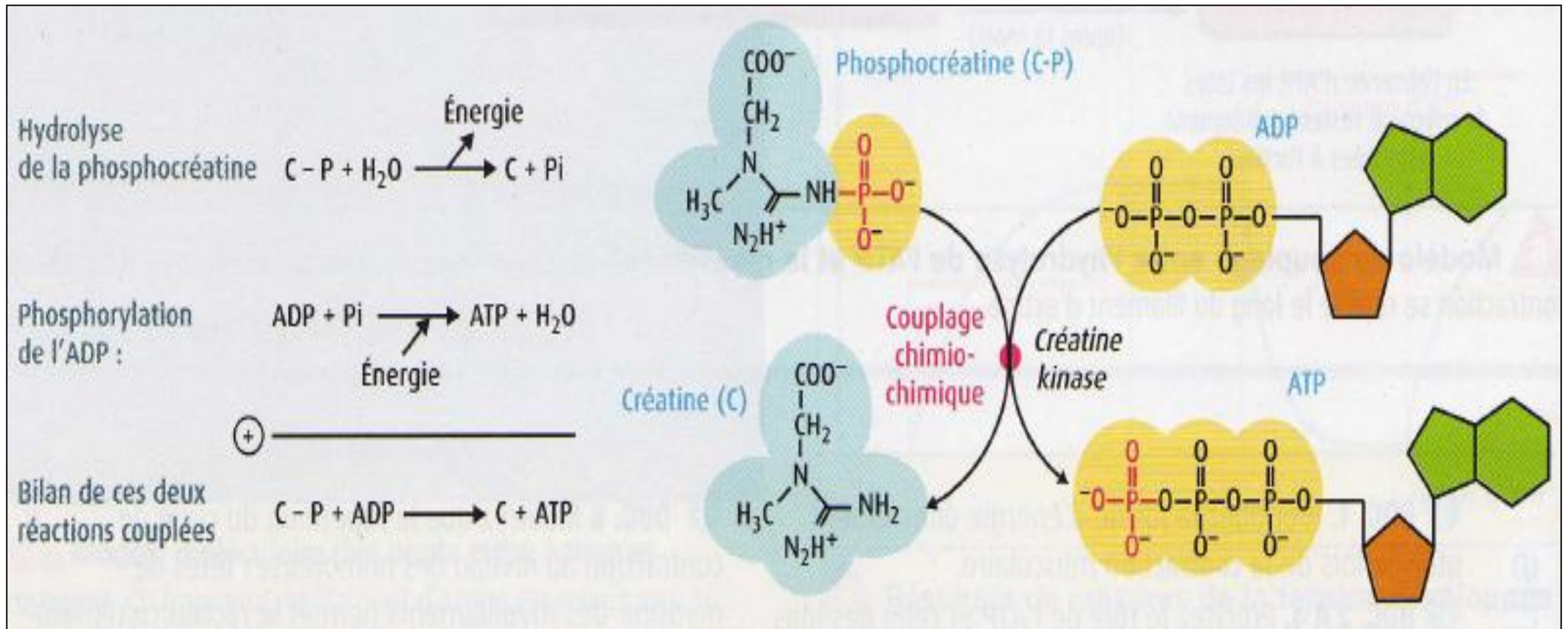
Des rendements différents

Respiration et fermentation sont deux façons différentes de produire de l'énergie (ATP) à partir d'un métabolite organique. Leur **rendement*** est cependant bien différent : alors que la respiration produit 36 ATP par mole de glucose consommé, la fermentation n'en produit que 2.

L'énergie potentielle* fournie par la combustion complète d'un métabolite organique peut-être mesurée expérimentalement. Par ailleurs, on connaît aussi l'énergie susceptible d'être libérée par l'hydrolyse d'une mole d'ATP : dans les cellules, elle est environ de 50 kJ par mole.



■ Une comparaison entre fermentation et respiration.



Document 2 : Hydrolyse de la phosphocréatine et phosphorylation de l'ADP. La phosphocréatine est une molécule phosphorylée présente principalement dans les cellules musculaires. Son hydrolyse libère de l'énergie. La phosphorylation de l'ADP en ATP en consomme. Ces deux réactions catalysées par la même enzyme sont couplées.