

THÈME : PRODUIRE LE MOUVEMENT ; CONTRACTION MUSCULAIRE ET APPORT D'ÉNERGIE

Chapitre : La contraction musculaire

3

L'ATP, molécule clé du métabolisme énergétique des cellules

Term spé

➤ **Objectifs**

- Extraire et organiser des informations pour identifier les différentes voies métaboliques.
- Localiser les réactions métaboliques nécessaires à la contraction musculaire dans une cellule.

➤ **Compétences et capacités travaillées**

PRATIQUER DES DÉMARCHES SCIENTIFIQUES

3. Raisonner, argumenter conclure en exerçant des démarches scientifiques et un sens critique



Fragile

1 critère sur 3



Intermédiaire

2 critères sur 3



Avancé

3 critères sur 3 (avec aide)



Expert

3 critères sur 3 (sans aide)

- Des faits sont identifiés mais n'ont pas été transformés en arguments.

- Réponse explicative absente ou incohérente

- Quelques arguments sont construits à partir des faits (informations et/ou connaissances).

- Absence de réponse ou réponse non cohérente avec le problème posé.

- Des arguments sont construits à partir des faits (informations et/ou connaissances).

- Réponse explicative cohérente avec le problème posé.

- Suffisamment d'arguments sont construits à partir des faits, pour répondre à la question posée.

- Réponse explicative cohérente avec le problème scientifique et complète.

PARTIE 1 : LA PRÉSENCE ET LA RÉGÉNÉRATION DE L'ATP

	Valeurs
Quantité totale d'ATP intracellulaire (au repos)	120 à 180.10 ⁻³ mol
Quantité d'énergie correspondante disponible	5,1 à 7,5 kJ
Énergie dépensée :	
- lors d'une marche à pied sur 30 m en 60 secondes (vitesse moyenne : 2 km/h environ)	9,3 kJ
- lors d'une course à pied sur 40 m en 10 secondes (vitesse moyenne : 15 km/h environ)	12 kJ
- lors d'un sprint sur 100 m en 10 secondes (vitesse moyenne : 36 km/h environ)	132 kJ

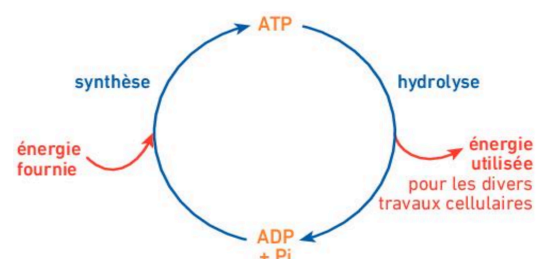
Les mesures sont réalisées chez un individu de 70kg et ayant une masse musculaire totale de 30 kg environ.

Document 1 : Concentration en ATP.

1. Discuter de la quantité d'ATP présente dans le muscle et montrer la nécessité de sa régénération afin de pouvoir réaliser des activités physiques.

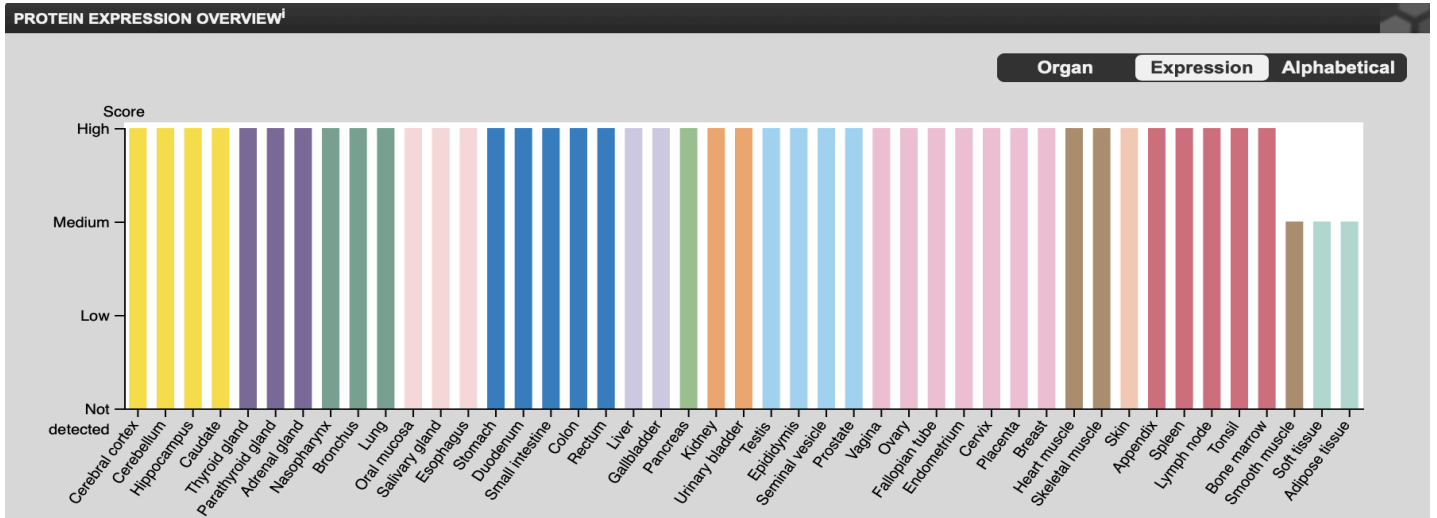
En moyenne, l'énergie produite par l'ATP stockée est de 6,2 kJ alors que pour un effort faible, l'énergie nécessaire est de 9,3 kJ. Ainsi donc, l'ATP n'est pas une molécule stockée mais une molécule produite qui comble les besoins énergétiques lors d'un effort physique.

L'ATP est une petite molécule dont l'hydrolyse en ADP s'accompagne d'une libération d'énergie: la réaction est exo-énergétique. L'hydrolyse de l'ATP est couplée à des processus endo-énergétiques de la cellule comme la synthèse ou la transformation de molécules, ou encore la réalisation de mouvements.

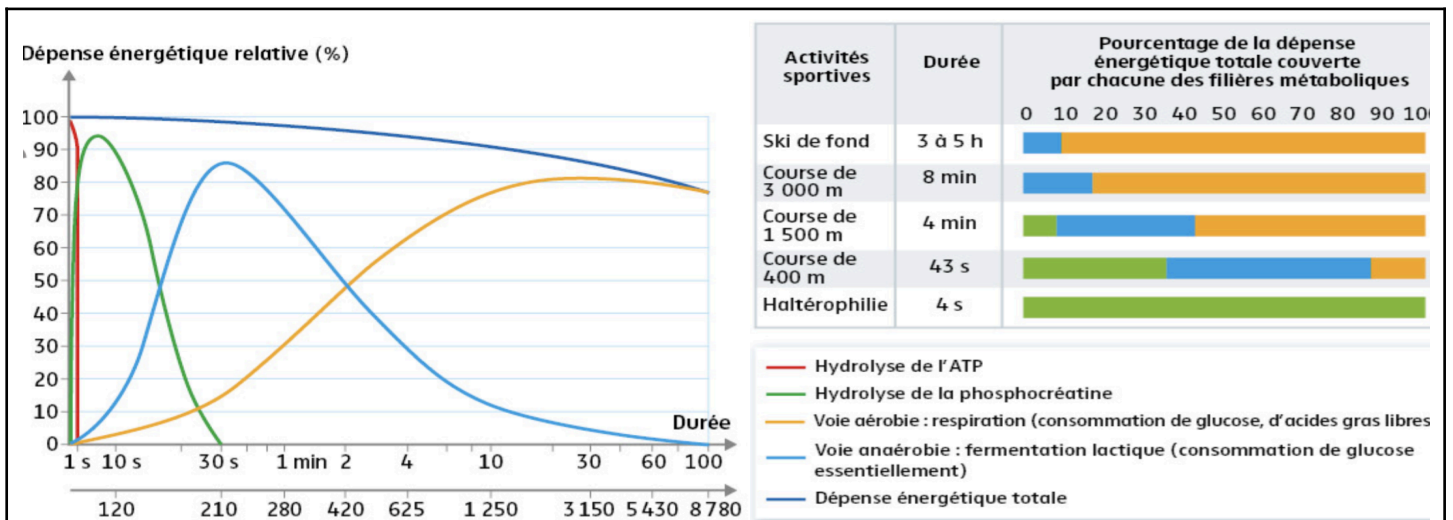


Document 2 : L'ATP, une molécule universellement répandue.

2. Sur Protéin Atlas, mettre en évidence la production d'ATP grâce à présence de l'ATP-synthase alpha (enzyme qui catalyse la production de l'ATP) dans différents types cellulaires.



PARTIE 2 : LES DIFFÉRENTES VOIES DE RÉGÉNÉRATION DE L'ATP



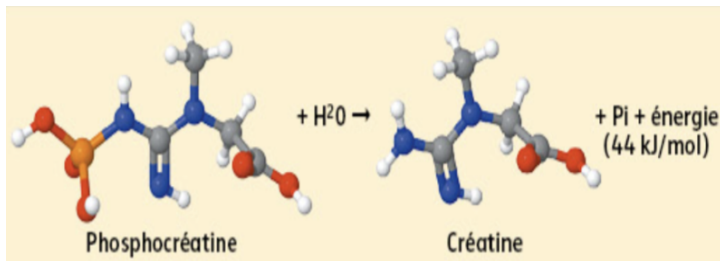
Différentes voies métaboliques fournissent l'énergie nécessaire à la contraction musculaire à partir de métabolites variés et avec des délais d'intervention différents (à gauche). La contribution de ces voies, ou filières, varie selon le type d'activités sportives réalisé (à droite).

Document 3 : Voies métaboliques prédominantes permettant la régénération de l'ATP au sein des cellules d'un muscle selon l'effort.

3. Associer les différentes voies de régénérations de l'ATP avec les différentes activités physiques réalisées.

VOIE MÉTABOLIQUE PRODUISANT DE L'ÉNERGIE	DURÉE DE L'EFFORT
Hydrolyse de l'ATP	Seconde
Hydrolyse de la phosphocréatine	
Voie aérobie	Heure
Voie anaérobie	Minute

Titre : Tableau comparatif des différentes voies métaboliques associées à la durée de l'effort.



La créatine présente dans l'organisme provient, d'une part, d'une synthèse par le foie, le pancréas et le rein. On retrouve la créatine essentiellement dans les cellules musculaires, où une fraction est liée à la phosphocréatine. Cette dernière peut donner très rapidement de la créatine par hydrolyse.

Document 5 : Réaction d'hydrolyse de la phosphocréatine au sein des cellules musculaires.

4. Expliquer comment la phosphocréatine régénère l'ATP dans la cellule musculaire.

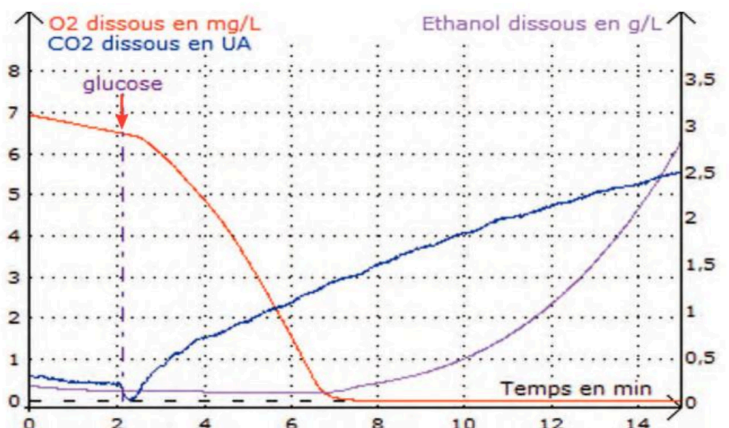
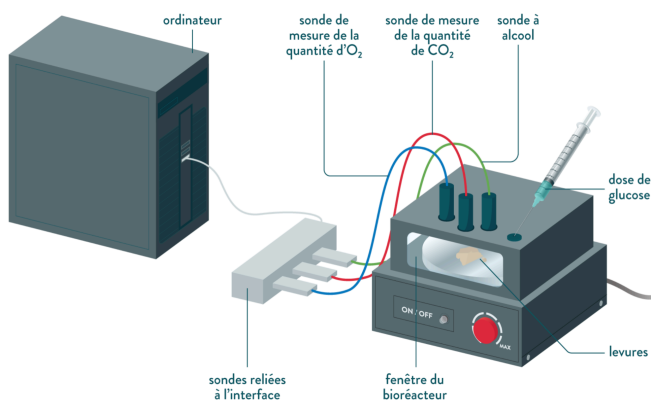
La phosphocréatine est hydrolysée en créatine, ce qui libère 44 kJ. Cette réaction libère un phosphate, nécessaire à la synthèse d'ATP à partir de l'ADP.

Une expérience a permis de doser les quantités d'ATP et de glucides dans un muscle d'amphibien lors de sa contraction. La même expérience a été répétée en présence d'oligomycine, un inhibiteur de la synthèse d'ATP.

Document 6 : Glucides et régénérations de l'ATP.

	Constituants chimiques	Avant contraction	Après contraction
Expérience 1 sans inhibiteur de l'ATP	Réserves de glucides	10,8 g · kg ⁻¹	8 g · kg ⁻¹
	ATP	4 à 6 mmol · kg ⁻¹	4 à 6 mmol · kg ⁻¹
	État du muscle	Muscle contracté	
Expérience 2 avec inhibiteur de l'ATP	Réserves de glucides	10,8 g · kg ⁻¹	10,8 g · kg ⁻¹
	ATP	4 à 6 mmol · kg ⁻¹	0 mmol · kg ⁻¹
	État du muscle	Arrêt immédiat de la contraction	

La consommation continue de l'ATP, alors que sa concentration intracellulaire est faible, nécessite une régénération permanente. L'expérimentation étant difficile sur des fibres musculaires humaines, on peut, dans une première approche, utiliser des levures comme modèle pour une étude du métabolisme énergétique à l'échelle cellulaire. Il est possible d'étudier les voies de régénération de l'ATP grâce à un dispositif EXAO couplé avec une culture de levures, une solution de glucose, et de capteurs permettant de suivre les concentrations en dioxygène, dioxyde de carbone et éthanol

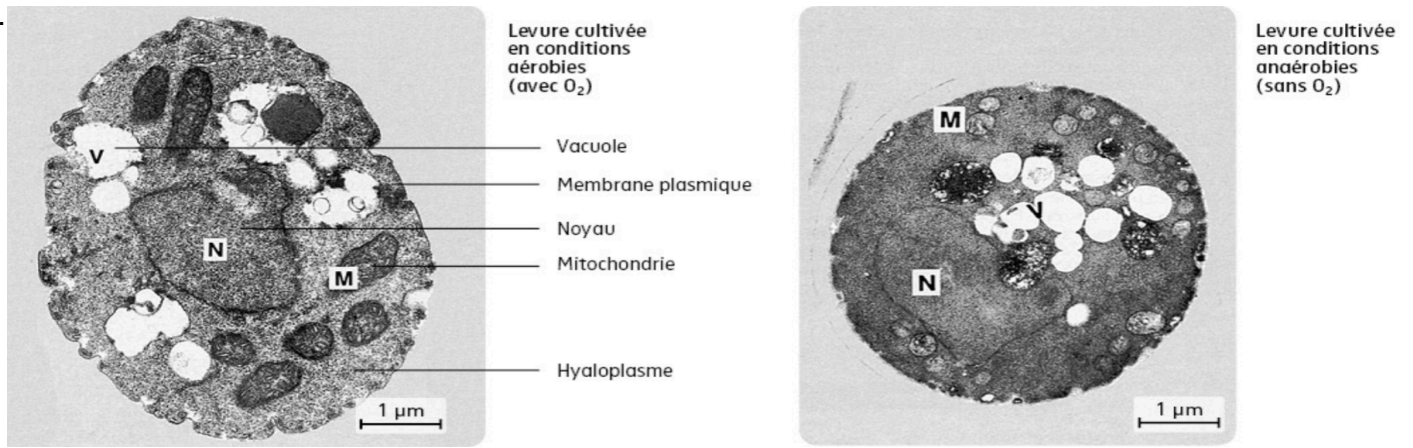


Document 7 : Métabolisme des levures par EXAO.

5. Expliquer comment le glucose régénère l'ATP dans la cellule musculaire grâce aux 2 voies métaboliques présentes chez la levure.

Le glucose est dégradé en molécule organique et va engendrer la production de CO₂. Il s'agit de la voie de la respiration cellulaire (voie aérobie)

Le glucose peut être aussi dégradé en CO₂ et éthanol. Il s'agit de la fermentation, voie anaérobie.



Document 8 : Observation de 2 levures sauvages dans 2 conditions de culture.

6. Identifier l'organe spécialisé dans la respiration cellulaire.

Une levure cultivée en condition aérobie possède de nombreuses mitochondries, contrairement à une levure cultivée en condition anaérobie, qui en possède peu. Ainsi, il semble que l'organe spécialisé dans la respiration cellulaire soit la mitochondrie.

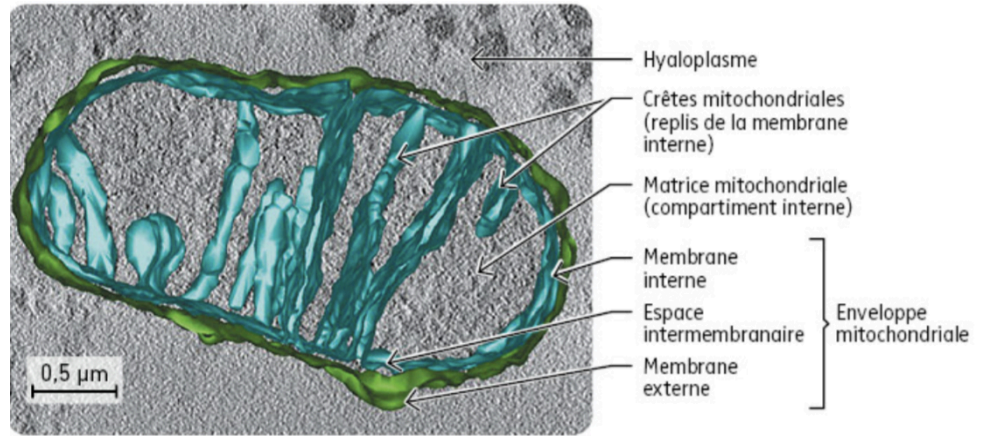
Dans le hyaloplasme (ou cytosol), la molécule de glucose est progressivement convertie en deux molécules d'acide pyruvique : cette succession de réactions chimiques s'appelle la glycolyse.

Document 9 : La première étape de la respiration cellulaire, la glycolyse.

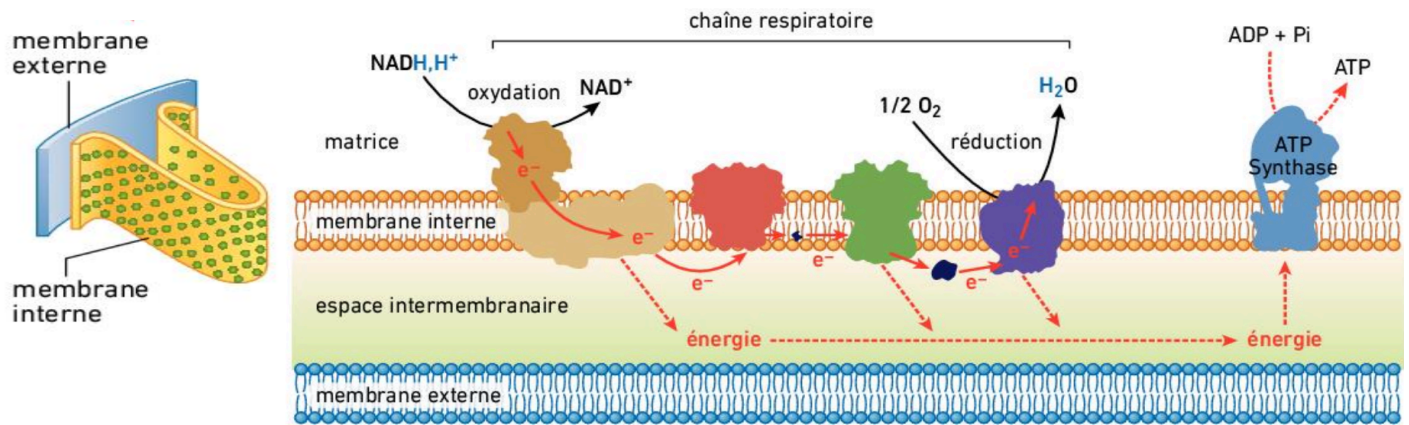
Dans le compartiment interne des mitochondries (la matrice), l'acide pyruvique est totalement oxydé au cours d'une série de réactions chimiques appelée cycle de Krebs. Ce cycle rejette du dioxyde de carbone et génère des NADH, H ainsi que des molécules d'ATP.

Document 10 : La deuxième étape de la respiration cellulaire, le cycle de Krebs.

L'observation au microscope électronique montre qu'une mitochondrie possède deux membranes. Alors que la membrane externe est ordinaire, la membrane interne présente une structure avec de très nombreux replis, appelés crêtes mitochondriales. En outre, la membrane interne est très riche en protéines.



Document 11 : Tomographie électronique d'une mitochondrie.



Un ensemble complexe de molécules enchâssées dans la membrane interne constitue la chaîne respiratoire. Ces molécules assurent une ré-oxdation des composés réduits NADH,H produits par la glycolyse et le cycle de Krebs. Ces oxydations fournissent à l'ATP synthase l'énergie permettant de produire 32 molécules d'ATP à partir de 12 molécules de NADH,H. Ce cycle rejette du dioxyde de carbone et génère des NADH, H ainsi que des molécules d'ATP.

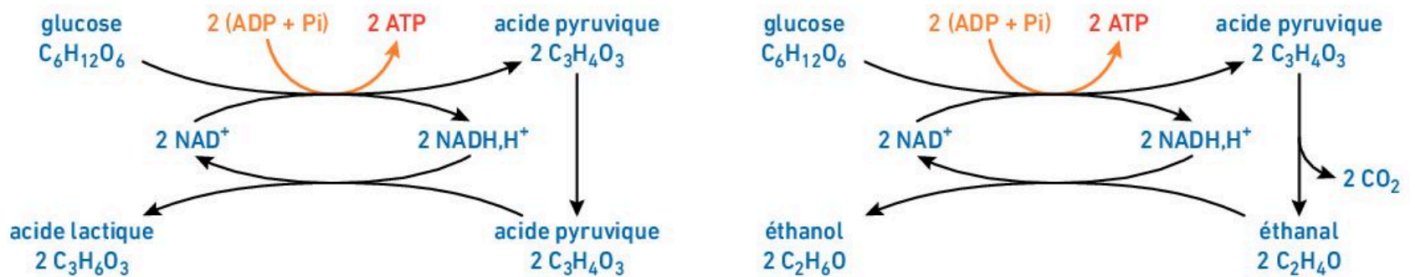
Document 12 : La troisième étape de la respiration cellulaire, les réactions de la chaîne respiratoire.

7. À partir des documents 9 à 12, faire le bilan en ATP des étapes de la respiration cellulaire.

ÉTAPES DE LA RESPIRATION CELLULAIRE	NOMBRE D'ATP PRODUIT
Glycolyse	2 ATP
Cycle de Krebs	2 ATP
Chaîne respiratoire	32 ATP

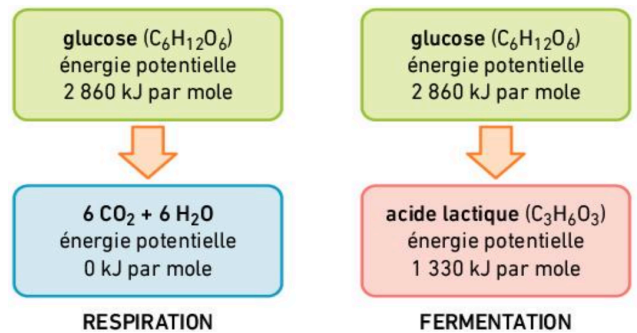
Tableau descriptif du nombre d'ATP produit durant les différentes étapes de la respiration cellulaire.

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. 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.



Document 13 : Les fermentations en condition anaérobie.

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. L'énergie potentielle fournie par la combustion complète d'un métabolite organique peut-être mesurée expérimentalement.



Document 14 : Des voies métaboliques avec un rendement énergétique différent.

8. Calculer (en kJ/mol) l'énergie des différentes voies métaboliques impliquées lors de la contraction musculaire.

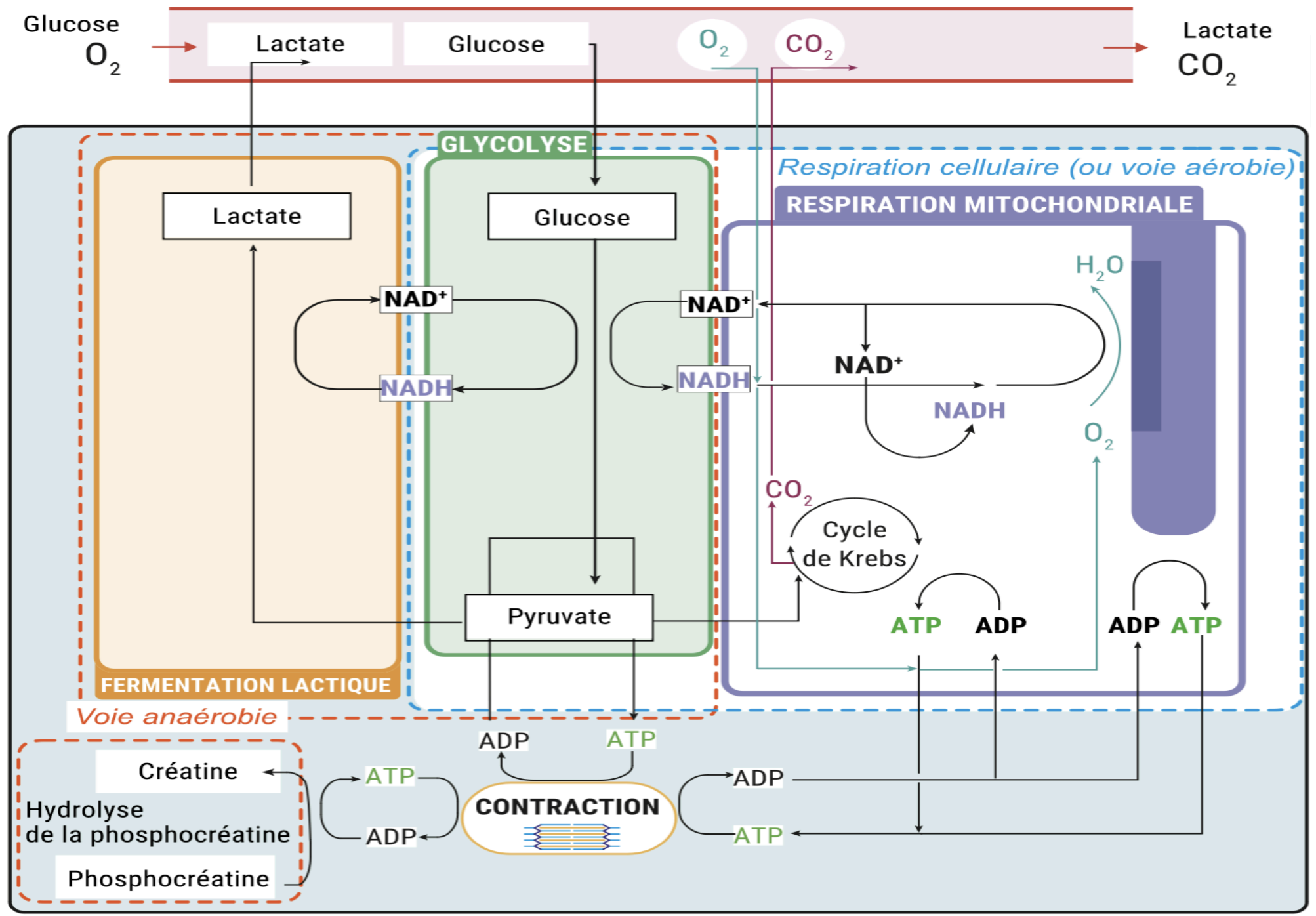
VOIE MÉTABOLIQUE	ÉNERGIE	ATP UTILISÉ
Hydrolyse de l'ATP	42 kJ	1
Hydrolyse de la phosphocréatine	44 kJ	0
Voie aérobie	1512 kJ	36
Voie anaérobie	84 kJ	2

Titre : Tableau comparatif des différentes voies métaboliques associées à l'énergie produite et l'ATP utilisé.

9. Calculer puis comparer le rendement énergétique de la respiration et de la fermentation lactique (en kJ/mol et en nombre d'ATP).

VOIE MÉTABOLIQUE	ÉNERGIE	Rendement
Voie aérobie	1512 kJ	53 %
Voie anaérobie	84 kJ	2,9 %

Titre : Tableau comparatif des différentes voies métaboliques et de leur rendement.



Titre : Schéma fonctionnel des différentes voies métaboliques de synthèse de l'ATP