

Énergie et cellule vivante

Le métabolisme des cellules cardiaques.

Le muscle cardiaque doit se contracter régulièrement. Il a un besoin constant d'énergie et ne dispose que d'un stock réduit d'ATP ne permettant que quelques contractions.

À partir de l'étude des documents et de l'utilisation des connaissances, déterminer quel est le principal type de métabolisme utilisé par les cellules cardiaques pour produire de l'énergie en grande quantité.

DOCUMENT 1 - Des réserves énergétiques dans les cellules

Document 1a - Les réserves de glycogène.

Le glucose alimentaire est rapidement stocké sous forme de glycogène essentiellement dans les cellules hépatiques mais également dans les cellules musculaires.

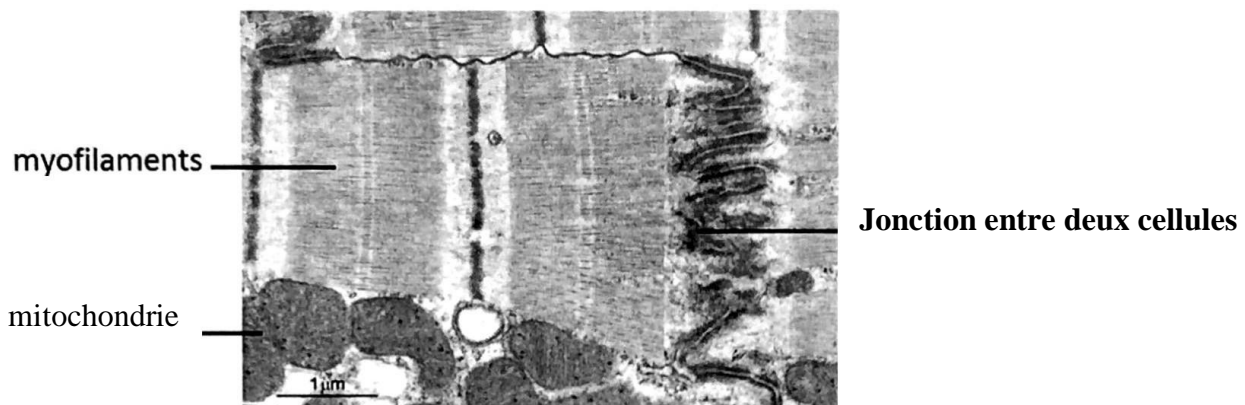
	Muscle squelettique	Muscle cardiaque
Glycogène (polymère glucidique)	150 mol/g	30 mol/g
ATP	5 mol/g	5 mol/g

D'après Stanley et coll., Physiol. Rev. 2005, vo/85

Document 1b - Les réserves de lipides.

Les lipides sont stockés dans le cytoplasme des cellules du tissu adipeux sous forme de triglycérides. Les triglycérides sont constitués d'acides gras qui peuvent être libérés dans la circulation sanguine et utilisés par les autres cellules de l'organisme, dont les cellules musculaires. Dans les cellules musculaires, cardiaques et squelettiques, les réserves lipidiques sont généralement peu importantes.

DOCUMENT 2 - Les caractéristiques des cellules musculaires cardiaques ou cardiomyocytes.



Cellules musculaires cardiaques observées au microscope électronique X 15000

D'après http://www.reannecy.org/PAGES/espace%20paramedical/cardio/physio_cardiaque.html

Les cellules musculaires cardiaques sont de forme cylindrique et plus courtes que les cellules des muscles squelettiques. Dans leur cytoplasme, on observe les myofilaments d'actine et de myosine ainsi que de très nombreuses mitochondries qui peuvent représenter jusqu'à 30% du volume cellulaire.

DOCUMENT 3 - Production d'énergie et molécules.

Document 3a - Des rendements différents suivant la molécule utilisée.

Les cellules peuvent utiliser différents nutriments pour produire l'énergie dont elles ont besoin. Les principaux nutriments utilisés sont le glucose et les acides gras. Dans le cytoplasme, le glucose subit la glycolyse pour former du pyruvate dont la dégradation totale au niveau des mitochondries permet la synthèse d'ATP. Les acides gras subissent eux, une β -oxydation pour former de l'Acétyl-CoA, molécule qui, comme le pyruvate, est dégradée dans les mitochondries pour former de l'ATP.

On compare le rendement énergétique de ces deux types de substrat, les résultats sont présentés ci-dessous.

Nature du substrat (molécule organique)	Moles d'ATP formées par mole de substrat dégradée	Molécules d'O ₂ consommées par molécule de substrat dégradée
Glucose C ₆ H ₁₂ O ₆	36 moles	6 moles
Acide palmitique* C ₁₆ H ₃₂ O ₂	129 moles	23 moles

* L'acide palmitique est un acide gras qui intervient dans la constitution des triglycérides. Ce sont des lipides.

D'après <http://b2pcr-esi.bcpp.master.univ-paris-diderot.fr>

Document 3b - Molécules énergétiques utilisées par les cellules musculaires du cœur.

Les cellules musculaires du cœur peuvent utiliser une grande variété de nutriments. Le tableau ci-dessous indique dans quelles proportions sont utilisées les différentes molécules énergétiques.

	Molécules énergétiques dégradées par les cardiomyocytes (en pourcentage)
Acides gras	60
Glucose	30
Autres	10

D'après http://b2pcr-esi.bepp.master.univ-paris-diderot.fr/IM11UE8/cours/2012/UE8a/Grynberg-MastercardioP7M1_2013.pdf

Corrigé :

Introduction : (cerne le sujet => de quoi s'agit-il ? et reformule la question)

Le muscle cardiaque a un besoin constant d'énergie pour assurer sa contraction. Il consomme de grande quantité d'ATP mais ne dispose que d'un stock limité de cette molécule ; il faut donc une régénération constante de ce stock.

On cherche à montrer quel est le type de métabolisme principal par les cellules du muscle cardiaque pour permettre un renouvellement de l'ATP.

Le document 1 montre que les cellules musculaires possèdent des réserves énergétiques.

* D'après le doc.1a, les cellules des muscles squelettiques **ainsi que** celles du muscle cardiaque contiennent la même concentration d'ATP de 5 mol/kg. **Par contre**, on observe que les réserves en glycogène (polymère du glucose) sont 5 fois plus importantes dans le muscle squelettique que dans le muscle cardiaque.

=> On peut en déduire que le muscle cardiaque puise moins d'énergie dans des réserves de glycogène que le muscle squelettique alors que les réserves d'ATP sont identiques dans les deux types de muscle.

=> **Or on sait que le glycogène libère du glucose (par hydrolyse), ce glucose peut être ensuite utilisé lors de la respiration cellulaire pour assurer le renouvellement de l'ATP.**

Mais si les réserves en glycogène sont faibles dans les cellules du muscle cardiaque, on peut se demander si ces réserves sont alors suffisantes.

* D'après le doc.1b, des réserves de lipides sont également présentes dans les cellules musculaires, squelettiques et cardiaque. Ces lipides sont des triglycérides produits à partir d'acides gras. **Cependant**, ces réserves sont aussi peu importantes.

=> On peut en déduire que, si le muscle cardiaque contient moins de glycogène que dans les muscles squelettiques et peu de triglycérides, le renouvellement de l'ATP risque d'être peu efficace alors que ce muscle se contracte de façon régulière et constante.

Comment est assuré alors le renouvellement permanent de l'ATP et de façon efficace ?

Le document 2 nous informe sur l'ultrastructure des cellules du muscle cardiaque (MET x 15 000).

* On observe que la cellule cardiaque (ou cardiomyocyte) contient des myofilaments composés d'actine et de myosine.

=> **On peut en déduire, comme pour les cellules des muscles squelettiques, que ces myofilaments par glissement relatif les uns par rapport aux autres, permettent la contraction musculaire.**

* **D'autre part**, de très nombreuses mitochondries sont situées à proximité des myofilaments. Ces mitochondries peuvent représenter jusqu'à 30% du volume cellulaire.

=> **Les mitochondries sont le siège de la respiration cellulaire.** Les glissements des deux types de myofilaments responsables de la contraction de la cellule trouvent l'énergie nécessaire grâce à un métabolisme aérobie. **La respiration cellulaire fournit l'énergie nécessaire pour la synthèse d'ATP qui est une réaction endoénergétique.**

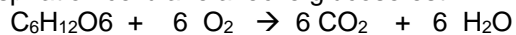
D'après le document 1, les molécules organiques qui peuvent être utilisées sont le glucose et les triglycérides, mais les réserves sont peu importantes. Comment la cellule produit-elle alors suffisamment d'énergie ?

Le document 3 montre la relation entre nature des molécules (glucides et lipides) et rendement énergétique.

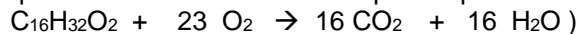
* D'après le doc.3a, le glucose, après transformation en acide pyruvique, est dégradé totalement dans les mitochondries. Les acides gras, issus des triglycérides, subissent aussi des transformations pour former de l'acétyl-CoA qui est aussi dégradé dans les mitochondries. Dans les deux cas, ces transformations permettent la formation d'ATP.

=> **Ces deux molécules sont donc des substrats de la respiration cellulaire. En présence de dioxygène, glucose et acides gras sont dégradés.**

L'équation bilan la respiration cellulaire avec le glucose est :



(L'équation bilan la respiration cellulaire avec l'acide palmitique est :



* Toutefois, les rendements énergétiques sont différents : la dégradation d'une mole de glucose permet la synthèse de 36 moles d'ATP alors que celle d'une molécule d'acide palmitique (acide gras) permet la synthèse de 129 moles d'ATP.

=> **On en déduit que le rendement énergétique est plus élevé avec des acides gras.**

* De plus, d'après le doc.3b, si les cellules du cœur peuvent utiliser une grande variété de nutriments, les acides gras représentent 60 % des molécules dégradées contre 30 % pour le glucose.

=> **Ainsi, en tenant compte du fort rendement énergétique lors de l'utilisation des acides gras, les cellules cardiaques sont assurées d'une production importante d'énergie permettant le renouvellement constant de l'ATP.**

Synthèse :

Les cellules cardiaques contiennent de très nombreuses mitochondries (doc.2) : la respiration cellulaire permet le renouvellement de l'ATP. L'hydrolyse de l'ATP permet la contraction de la cellule grâce au glissement relatif des myofilaments. La respiration cellulaire oxyde surtout des acides gras ; cette dégradation a un rendement énergétique plus élevé que lors de l'utilisation du glucose ce qui assure un renouvellement important d'ATP (doc.3). Ainsi, même si les réserves en glycogène (polymère du glucose) et en lipides sont peu importantes dans les cellules cardiaques (doc.1), l'efficacité de la respiration cellulaire lors de la dégradation des acides gras fournit une quantité d'énergie importante.

Le principal métabolisme énergétique des cellules cardiaques est donc la respiration cellulaire avec dégradation de molécules lipidiques (acides gras).

