

THERMODYNAMIQUE ET ENERGETIQUE

CALCUL DE LA CONSOMMATION DE DIOXYGENE

NOTIONS D'ENERGIE ET DE TRAVAIL

CYCLE DE KREBS

THERMODYNAMIQUE ET ENERGETIQUE

Les transformations biologiques de l'énergie suivent les principes de la thermodynamiques dont les deux principes fondamentaux énoncés au XIX siècle sont :

Premier principe : le premier principe repose sur la conservation de l'énergie.

Lors de toute modification physique ou chimique, la quantité totale d'énergie dans l'univers demeure constante, même si la forme de l'énergie peut être modifiée !

Second principe : dit que l'univers tend toujours vers le plus en plus de désordre. Lors de tous les phénomènes naturels, l'entropie de l'univers augmente.

Les cellules et les organismes dépendent d'un apport constant d'énergie qui s'oppose à la tendance inexorable de la nature à aller vers l'état énergétique le plus faible (entropie du système)

Quelques définitions...

Enthalpie « H » : Energie totale contenue dans un composé. Elle reflète le nombre et la quantité de liaisons chimiques dans les réactifs et les produits.

Energie libre « G » : Quantité maximale d'énergie utilisable pour le travail. L'énergie libre est bien sûr plus faible que l'enthalpie d'un composé.

Entropie « S » : Processus continu de transformation de l'énergie. L'entropie d'un système isolé est d'autant plus élevée que le système est désordonné.

ETAT INITIAL

ETAT INTERMEDIAIRE

ETAT FINAL

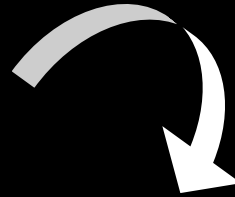
Glucose,
Glycogène,
Triglycérides
A. Aminés



CATABOLISME



CO₂ + H₂O



**RESERVES
ENERGETIQUES**
Enthalpie "H"



ENERGIE UTILISABLE
Energie libre "G"



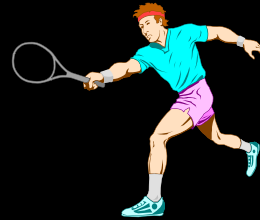
**ENERGIE FAIBLE
ou NULLE : Entropie "S"**

Muscles, foie
tissus adipeux

TRAVAIL CHALEUR

= désordre maximum

**ENERGIE POTENTIELLE
ORDONNEE**



ENERGIE INUTILISABLE

La différence entre l'enthalpie (H) ou énergie totale et l'énergie libre « G » varie avec la température « T » et est également fonction de l'entropie « S ».

La variation d'énergie libre qui se produit au cours d'une réaction : $A \rightarrow B$ est donnée par la relation : $\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S$

ΔG : Variation d'énergie libre (Kcal);

ΔH : Variation d'enthalpie, (énergie totale) (Kcal);

T : température absolue;

ΔS : variation d'entropie (Kcal . degré⁻¹)

Si ΔG est négatif, l'énergie de B est plus faible que celle de A :
la réaction est **EXERGONIQUE**,

Si ΔG est positif l'énergie de B est plus élevée que celle de A :
La réaction est **ENDERGONIQUE**

ΔG° : variation d'énergie libre standard : [] : 1 mole.l⁻¹ à une température de 25°
et à pH 7

MESURE DE L'ENERGIE

La calorie : est la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1°C (C = celsius) un gramme d'eau (ou 1 ml) de 14.5 à 15.5° C.

Systeme international de mesure : le Joule (J)

$$1 \text{ J} = 0.239 \text{ cal}$$

$$1 \text{ cal} = 4.185 \text{ J}$$

OPERATIONS MATHÉMATIQUES POUR CALCULER LA CONSOMMATION D'OXYGÈNE MESURÉE EN CIRCUIT OUVERT

Standardisation des volumes des gaz ATPS, BTPS, STPD

Les volumes des gaz en physiologie sont habituellement exprimés en valeur ATPS, BTPS ou STPD

ATPS : « Ambient temperature pressure saturated » en vapeur d'eau : correspond au volume d'air inspiré V_i

- Température : le volume d'un gaz varie proportionnellement à la température (loi de Charles). L'augmentation de la température accélère le mouvement des molécules et le volume augmente et vice versa lorsque la température diminue.
- Pression : Le volume d'un gaz est inversement proportionnel à la pression (loi de Boyle). L'augmentation de la pression rapproche les molécules et le volume diminue et vice versa lorsque la pression diminue.
- Vapeur d'eau : Le volume d'un gaz dépend également de son contenu en vapeur d'eau. Le gaz occupe un volume de plus en plus important à mesure qu'il est plus saturé en vapeur d'eau

BTPS : Body Temperature Pression Saturated (saturé en vapeur d'eau) = volume d'air expiré : V_E

En français BTPS signifie : température corporelle ($273^\circ \text{ K} + 37^\circ \text{ C} = 310^\circ \text{ K}$) et Pression ambiante d'un volume de gaz saturé en vapeur d'eau dont la pression partielle est de 6.28 kPa (47mmHg)

$$V (\text{BTPS}) = V (\text{ATPS}) \left(\frac{P_b - P_{\text{H}_2\text{O}}}{P_b - 6.28 \text{ kPa}} \right) \left(\frac{310}{273 + t^\circ (\text{c})} \right) \quad (1)$$

P_b = Pression barométrique (kPa : kilopascal)

$P_{\text{H}_2\text{O}}$ = Pression de la vapeur d'eau (Tableau de conversion)

6.28 kPa = Pression de la vapeur d'eau à la température corporelle : 37° c)

310 = $273^\circ \text{ Kelvin} + 37^\circ \text{ Celsius (c)}$

273 = $273^\circ \text{ K} = 0^\circ \text{ c}$;

$t^\circ (\text{c})$ = température ambiante

STPD signifie : Standard Temperature (273° K ou 0°C) Pression (101.3 kPa ou 760 mmHg) Dry (volume de gaz déshumidifié)

Quand le volume d'un gaz est exprimé en valeur STPD on peut comparer les volumes d'air expiré quelles que soient l'humidité, la température et la pression du lieu où les mesures ont été réalisées.

Pour toutes les mesures métaboliques, il faut exprimer les volumes de gaz en valeur STPD

$$V_{STPD} = V_{ATPS} \left(\frac{273}{273 + t^{\circ} C} \right) \left(\frac{P_b - P_{H_2O}}{101.3} \right) \quad (2)$$

P_b = Pression barométrique (kPa : kilopascal)

$t^{\circ} (C)$ = température ambiante

COMPOSITION DES GAZ AMBIANTS ET EXPIRES

Air ambient

$\text{CO}_2 = 0.03 \%$

$\text{O}_2 = 20.93 \%$

$\text{N}_2 = 79.04 \%$

Air expiré :

$\text{CO}_2 = 2.5 \text{ à } 5 \%$

$\text{O}_2 = 18.5 \text{ à } 15 \%$

$\text{N}_2 = 79.04 \text{ à } 79.6 \%$

d'où V_E STPD \neq V_I STPD

Quand on détermine la consommation d'oxygène par spirométrie *en circuit ouvert*, on évalue la quantité d'oxygène puisée dans l'air inspiré. Comme la composition de l'air inspiré demeure relativement constante ($\text{CO}_2 = 0.03\%$, $\text{O}_2 = 20.93\%$ et $\text{N}_2 = 79.04\%$), il est possible de savoir combien l'organisme a retenu d'oxygène de l'air inspiré en analysant l'air expiré.

L'air expiré contient relativement plus de CO_2 (2.5 à 5%), moins d' O_2 (15 à 18.5%) et plus de N_2 (79.04 à 79.6%) que l'air inspiré.

Notons cependant que l'azote n'exerce aucune activité métabolique; la modification de sa concentration dans l'air expiré signifie que les molécules d' O_2 extraites de l'air inspiré n'ont pas été remplacées par un nombre équivalent de molécules de CO_2 , produit du métabolisme.

Le volume d'air expiré (V_E STPD) n'est donc pas égal au volume d'air inspiré (V_I STPD). Ainsi, si le quotient respiratoire est < 1 , il y aura moins de 3 L d'air expiré s'il y a eu 3 L d'air inspiré.

C'est pourquoi la concentration d'azote est plus importante dans l'air expiré.

Ce n'est pas que l'organisme a produit de l'azote mais plutôt que les molécules d'azote représentent un plus fort pourcentage du V_E que du V_I .

La différence entre V_E et V_I est directement proportionnelle à la variation de concentration d'azote d'un volume à l'autre.

On peut donc déterminer le V_I d'après V_E en utilisant la variation relative de la [] de N_2 .

C'est l'équation de transformation d'Haldane

TRANSFORMATION DE HALDANE

$$\% N_{2I} = 79.04 \% ; \% N_{2E} = (100 - \% CO_{2E} - O_{2E})$$

$$V_I, \text{ STPD} = V_E, \text{ STPD} \times \frac{\% N_{2E}}{\% N_{2I}} \quad (3)$$

$$VO_2 = V_I \times \% O_{2I} = V_E \times \frac{\% N_{2E}}{79.04 \%} \times \% O_{2I} \quad (4)$$

$$VO_{2E} = V_E \times \% O_{2E} \quad (5)$$

$\% O_{2E}$: concentration en O_2 mesurée par analyseur de gaz

$$\text{Débit extrait en } O_2 : \dot{V}O_2 = (\dot{V}_I \times \% O_{2I}) - (\dot{V}_E \times \% O_{2E}) \quad (6)$$

$$\text{D'où } \dot{V}O_2 = \left[\left(\dot{V}_E \times \frac{\% N_{2E}}{79.04 \%} \right) \times 20.93 \% \right] - (\dot{V}_E \times \% O_{2E}) \quad (7)$$

L'équation (7) simplifiée devient :

$$\dot{V}O_2 = \dot{V}_E \left[\left(\frac{\% N_{2E}}{79.04 \%} \times 20.93 \% \right) - (\% O_{2E}) \right] \quad (8)$$

Et sa forme finale :

$$\dot{V}O_2 = \dot{V}_E \left[\left(\% N_{2E} \times 0.265 \right) - (\% O_{2E}) \right] \quad (9)$$

La valeur obtenue par les opérations entre crochets aux équations (8) et (9) représente ce que l'on appelle « l' O₂ vrai » qui est l'oxygène extrait ou plus précisément le pourcentage d'oxygène consommé dans tout volume d'air expiré

Possibilité de calcul avec V_I et V_E

$$\dot{V}O_2 = (\dot{V}_I \times 20.93 \%) - (\dot{V}_E \times \% O_{2E}) \quad (10)$$

Où :

$$V_E, \text{ STPD} =, V_I \text{ STPD} \times \frac{\% N_{2E}}{\% N_{2I}}$$

L'équation (10) devient alors :

$$\dot{V}O_2 = \dot{V}_I \left[\% O_{2I} - \left(\frac{\% N_{2I}}{\% N_{2E}} \times \% O_{2E} \right) \right] \quad (11)$$

**ÉNERGIE, TRAVAIL, PUISSANCE,
COÛT ÉNERGÉTIQUE
ET RENDEMENT MÉCANIQUE**

MESURE DE L'ENERGIE

- La calorie « cal »: est la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1° C (C : celsius) un gramme d'eau (ou 1 ml) de 14.5 à 15.5° C).
- Système international de mesure : le joule (J).
1 J : 0.239 cal; 1cal : 4.185 J.

Définitions

1- L'ENERGIE

L'énergie peut se manifester sous six formes :

**Mécanique,
Calorique
Lumineuse,
Chimique,
Electrique,
Nucléaire.**

L'énergie représente la capacité de fournir du travail.

Son unité de mesure est le joule (J) (anciennement la calorie, cal).

$$1 \text{ J} = 0.23892 \text{ cal}, 1 \text{ cal} = 4.1855 \text{ J}$$

2- Le travail

**Le travail (W) est l'application d'une force (F)
sur une distance (D)**

$$\mathbf{W \text{ (joules)} = F \text{ (newtons)} \times D \text{ (m)}}$$

Exemple d'une traction à la barre fixe d'un sujet dont la masse corporelle est 70 kg et qui soulève son centre de gravité de 0.75 m

Le travail réalisé est $W = 70 \text{ kg} \times 0.75 \text{ m} = 52.5 \text{ kg.m}$

$$1 \text{ kg.m} = 9.80665 \text{ joules}$$

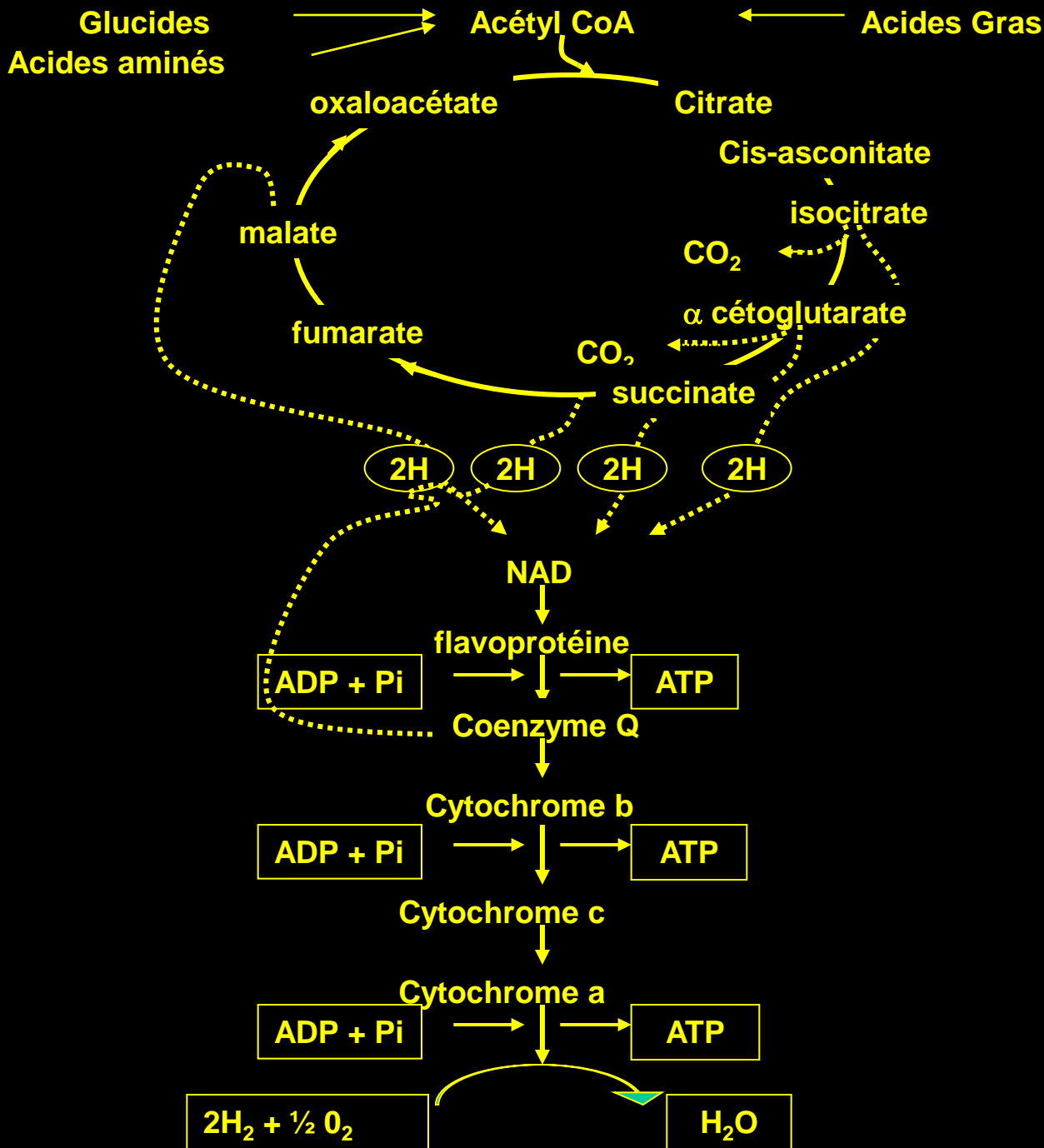
$$52.5 \text{ kg.m} \times 9.80665 = 514.85 \text{ J}$$

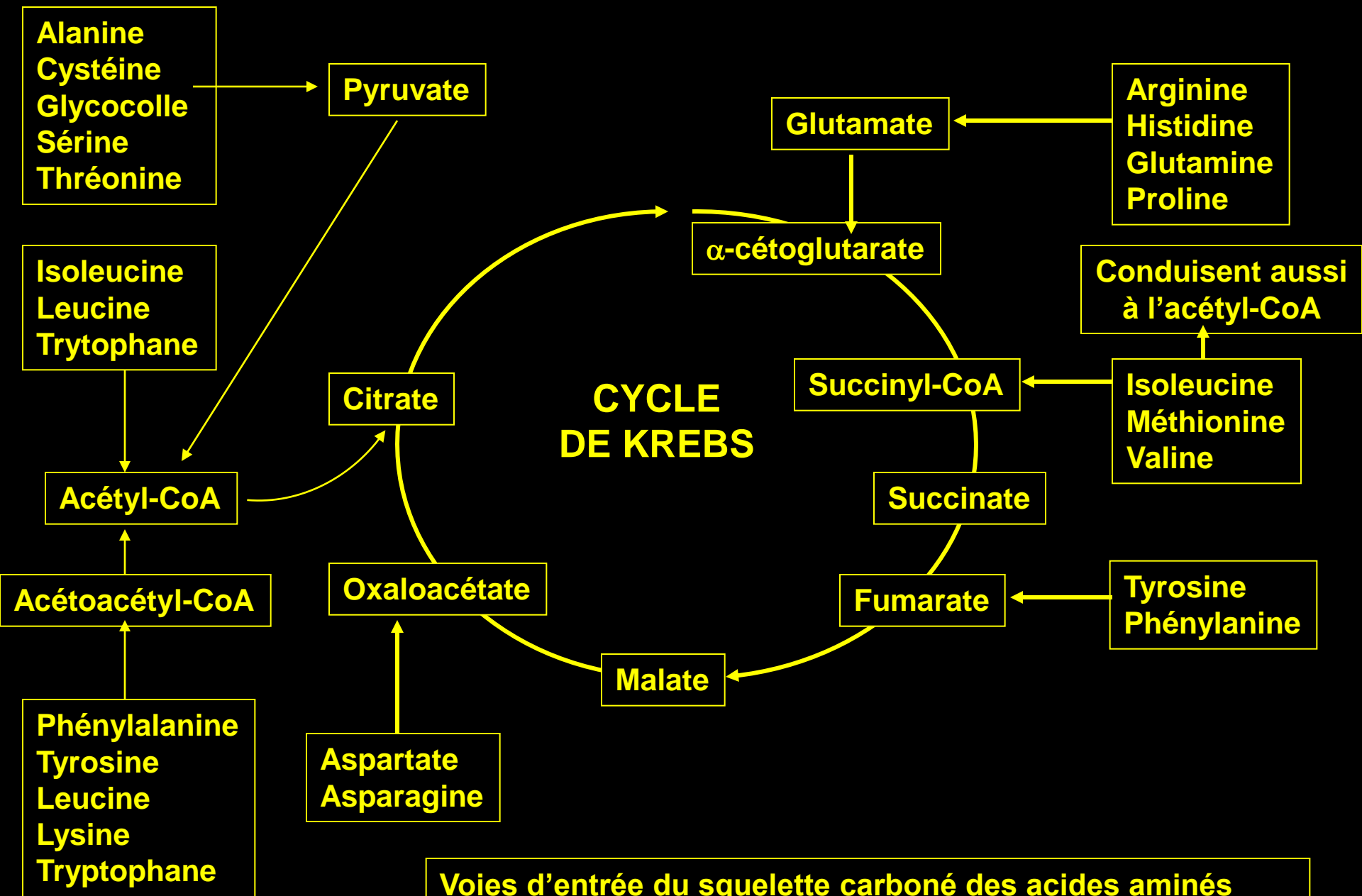
$$1 \text{ kg.m} = 2.3427 \cdot 10^{-3} \text{ kcal}; \quad 1 \text{ kcal} = 426.85 \text{ kg.m}; \quad 1 \text{ kcal} = 4.186 \text{ J}$$

Mobilisation
de
l'acétyl-CoA

Cycle des
acides
tricarboxyliques

Transport
d'électrons
et
phosphorylation
oxydative





Voies d'entrée du squelette carboné des acides aminés dans le cycle tricarboxylique de Krebs. Notions de produits amphiboliques et réaction anaplérotique.