

**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

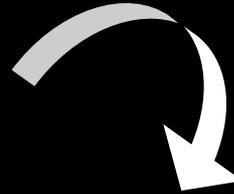
Glucose,  
Glycogène,  
Triglycérides  
A. Aminés



**CATABOLISME**



**CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O**



**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 :  $\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S$

$\Delta G$  : Variation d'énergie libre (Kcal);

$\Delta H$  : Variation d'enthalpie, (énergie totale) (Kcal);

T : température absolue;

$\Delta S$  : variation d'entropie (Kcal . degré<sup>-1</sup>)

Si  $\Delta G$  est négatif, l'énergie de B est plus faible que celle de A :  
la réaction est **EXERGONIQUE**,

Si  $\Delta G$  est positif l'énergie de B est plus élevée que celle de A :  
La réaction est **ENDERGONIQUE**

$\Delta G^\circ$  : variation d'énergie libre standard : [ ] : 1 mole.l<sup>-1</sup> 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.

**Système 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 :  $37^\circ \text{ c}$ )

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  $\text{CO}_2$  (2.5 à 5%), moins d' $\text{O}_2$  (15 à 18.5%) et plus de  $\text{N}_2$  (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' $\text{O}_2$  extraites de l'air inspiré n'ont pas été remplacées par un nombre équivalent de molécules de  $\text{CO}_2$ , 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  $\text{N}_2$ .

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' O<sub>2</sub> 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  $W = 70 \text{ kg} \times 0.75 \text{ m} = 52.5 \text{ kg.m}$

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

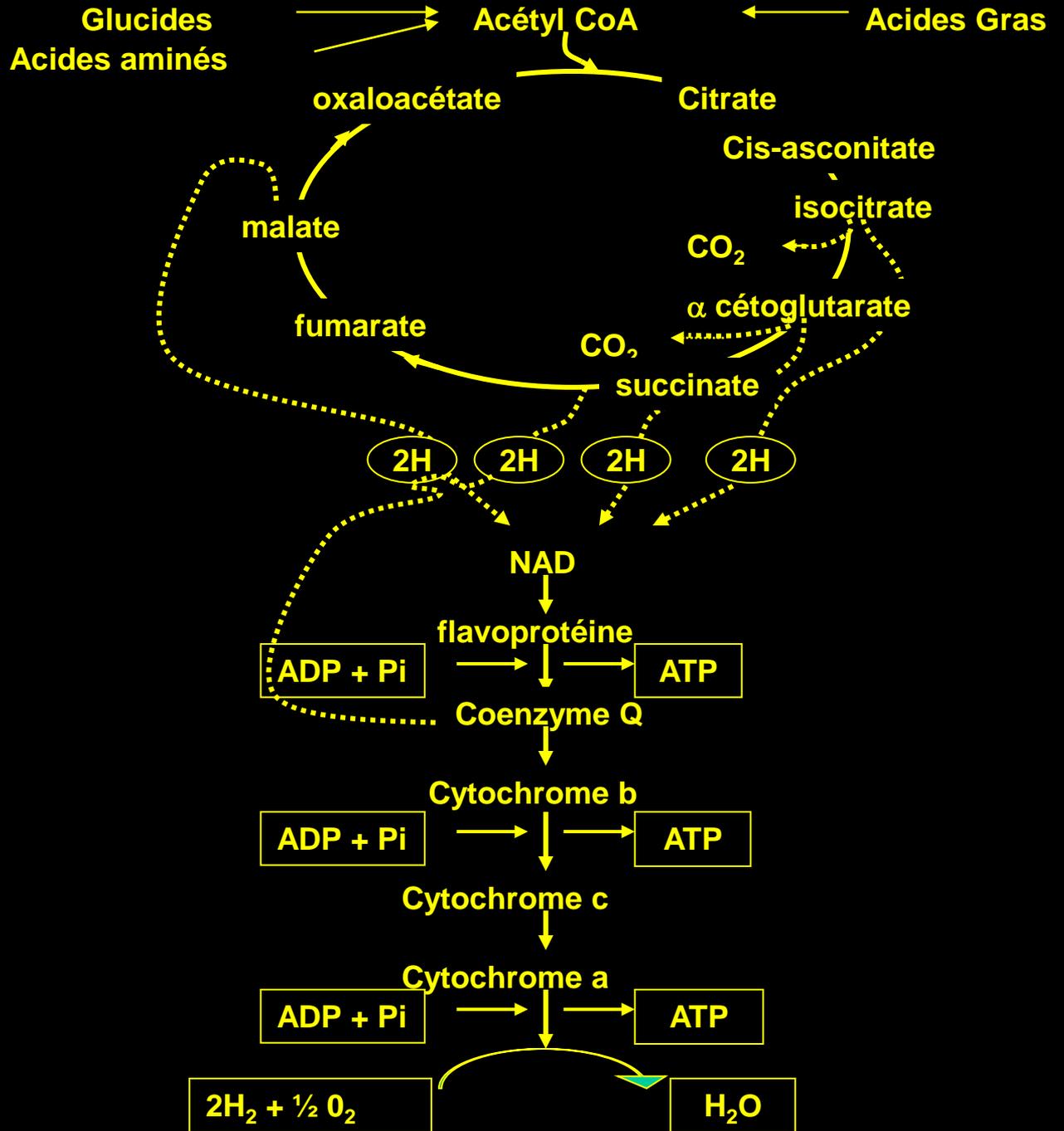
$$52.5 \text{ kg.m} \times 9.80665 = 514.85 \text{ J}$$

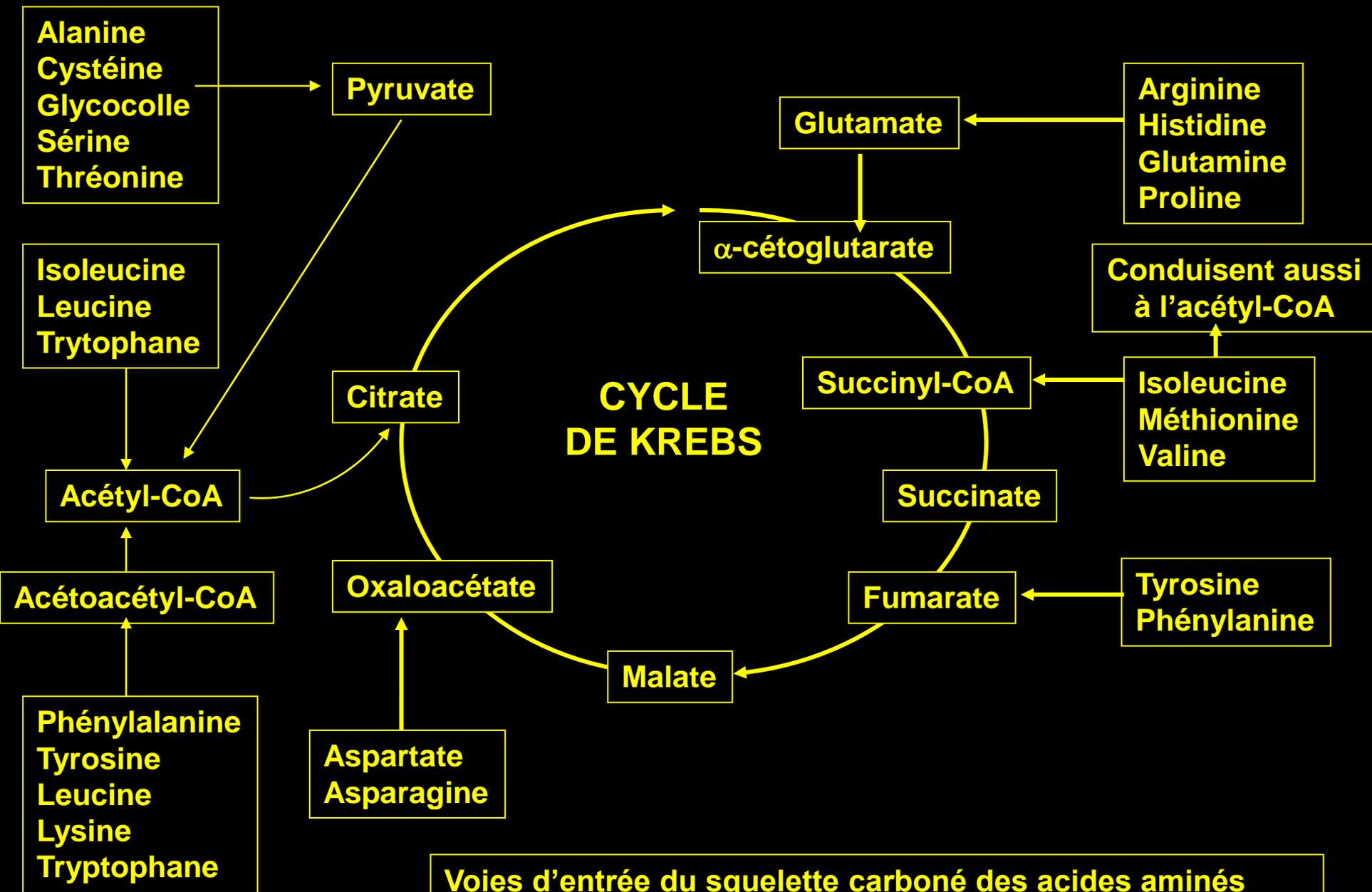
$$1 \text{ kg.m} = 2.3427 \cdot 10^{-3} \text{ kcal}; \quad 1 \text{ kcal} = 426.85 \text{ kg.m}; \quad 1 \text{ kcal} = 4.186 \text{ J}$$

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.**