

SESSION DE 2004

**concours externe  
de recrutement de professeurs certifiés  
et concours d'accès à des listes d'aptitude (CAFEP)****section :  
sciences de la vie et de la Terre**

composition sur un sujet de biologie

**Durée : 6 heures**

*Calculatrice de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique - à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.*

*L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.*

**Remarques importantes**

- 1 - Le sujet est organisé en cinq parties et comprend 8 figures et 2 tableaux.
- 2 - Seront prises en compte dans la notation : la clarté de la présentation, la précision et la rigueur de l'analyse des documents, les illustrations personnelles et la rigueur des raisonnements.
- 3 - Certaines des figures pourront être jointes à la copie si le candidat considère que des annotations en surcharge constituent des éléments appréciables de réponse aux questions. Il devra alors les coller sur la copie.
- 4 - Si au cours de l'épreuve le candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant les initiatives qu'il est amené à prendre de ce fait.
- 5 - Une introduction et une conclusion sont attendues.

**Tournez la page S.V.P.**

## SUJET

### QUELQUES ASPECTS DE LA RESPIRATION DES VERTÉBRÉS

On entend par respiration l'ensemble des processus assurant l'apport d'O<sub>2</sub> aux cellules, l'élimination du CO<sub>2</sub> vers le milieu extérieur ainsi que les mécanismes intracellulaires de l'utilisation de l'O<sub>2</sub> et de la production du CO<sub>2</sub> à des fins énergétiques.

#### 1) La respiration au niveau cellulaire

En exploitant les figures 1, 2 et 3 et vos connaissances, présentez les principales étapes de la respiration cellulaire. L'analyse détaillée de la figure 1 n'est pas demandée, mais celle-ci contient des informations utiles à l'analyse des figures 2 et 3. Vous préciserez notamment l'origine de l'acétyl-CoA, le mécanisme mitochondrial de production d'ATP et son contrôle.

#### 2) Les paramètres physiques des milieux respiratoires

À partir des données contenues dans le tableau 1, dégagez les contraintes liées à chaque milieu pour la fonction respiratoire. À partir de vos connaissances, montrez en quoi les appareils respiratoires des poissons téléostéens et des mammifères sont adaptés à ces contraintes.

#### 3) La ventilation et son contrôle

En exploitant la figure 4 (A, B et C), présentez le rôle du surfactant alvéolaire. Précisez son origine et sa composition.

Après avoir précisé l'utilité de la ventilation des appareils respiratoires, analysez l'influence respective de l'O<sub>2</sub> et du CO<sub>2</sub> sur le débit ventilatoire de l'Homme en exploitant la figure 5. Précisez les mécanismes par lesquels agissent l'O<sub>2</sub> et le CO<sub>2</sub>.

Les poissons présentent-ils la même sensibilité à l'O<sub>2</sub> et au CO<sub>2</sub> que les mammifères ?

Conclure en établissant la relation entre les modalités de contrôle du débit ventilatoire et le milieu de vie chez les vertébrés.

#### 4) Le transport et les échanges des gaz respiratoires

À partir de vos connaissances et de l'exploitation du tableau 2 et de la figure 6, présentez les modalités du transport sanguin de l'O<sub>2</sub> et du CO<sub>2</sub>, ainsi que les mécanismes permettant les échanges gazeux au niveau de la zone d'hématose et au niveau des tissus. Montrez en quoi certaines modalités du transport des gaz respiratoires sont de nature à faciliter les échanges aux niveaux tissulaire et pulmonaire.

#### 5) L'ajustement des échanges gazeux aux besoins de l'organisme : exemple de l'exercice physique

En exploitant les figures 7 et 8 présentez les mécanismes permettant d'ajuster les échanges gazeux aux besoins créés par l'exercice.

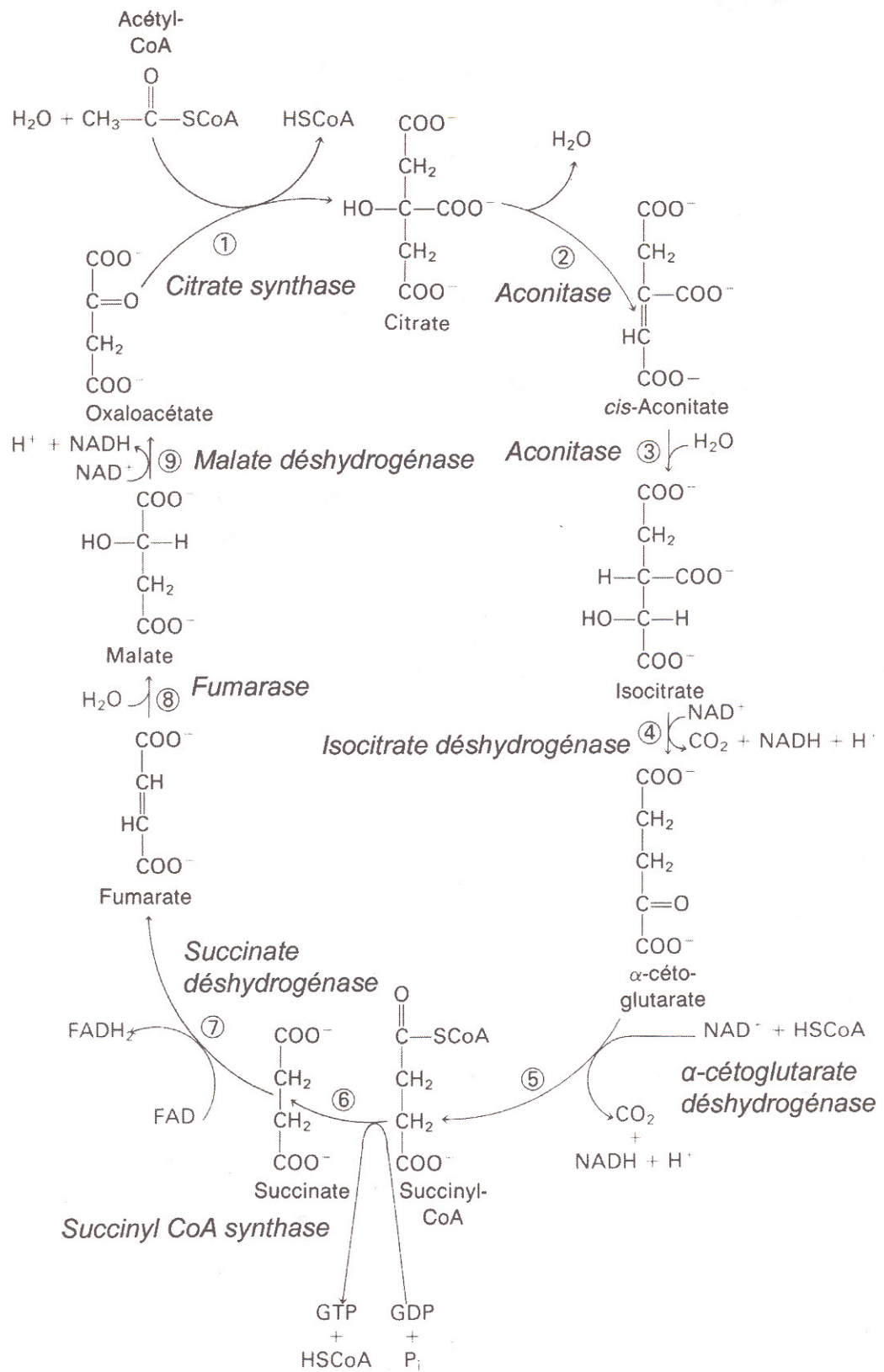
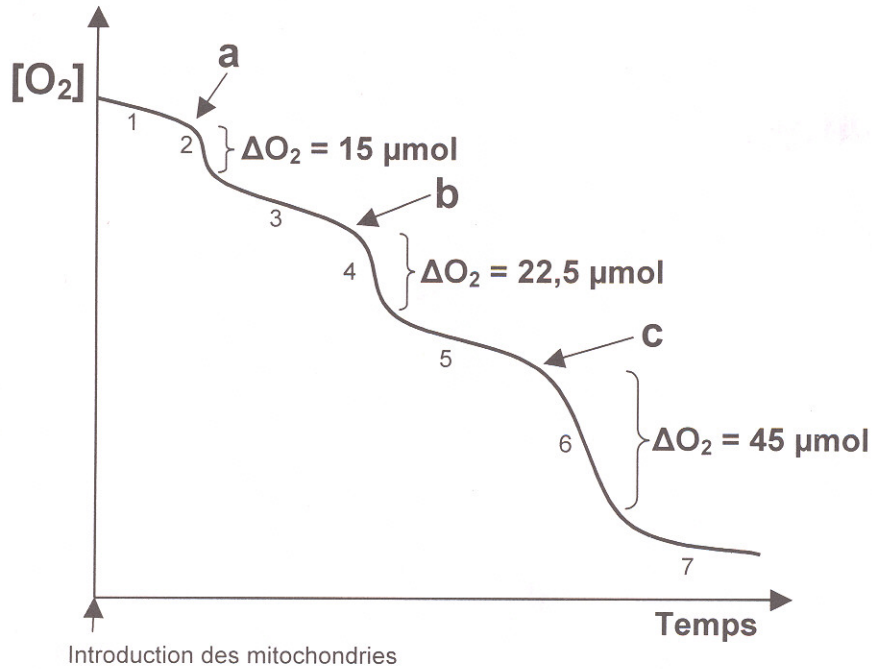


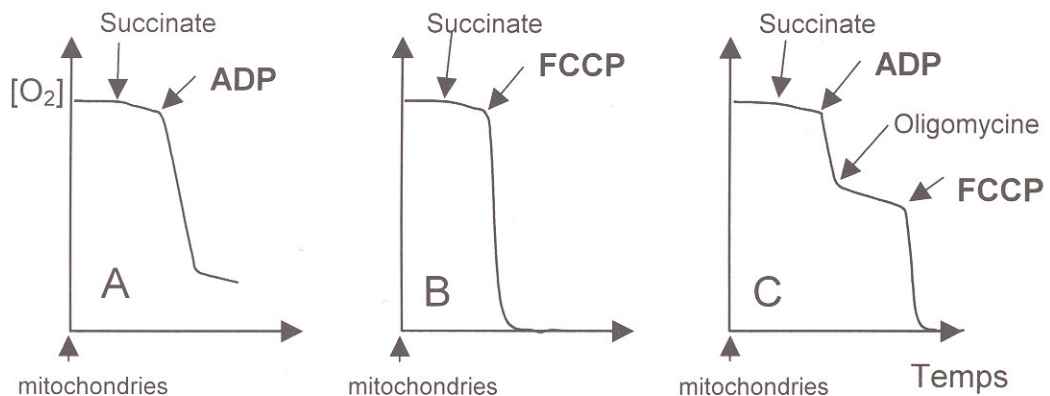
Fig 1 : Cycle de l'acide citrique (cycle de Krebs)



**Fig 2 :** Mesure de la concentration de l' $O_2$  au cours du temps, à l'aide d'une électrode de Clark, dans un milieu adéquat contenant une suspension de mitochondries. Les mitochondries sont ajoutées au temps 0 (d'après VOET & VOET, Biochimie, DeBoeck – Université)

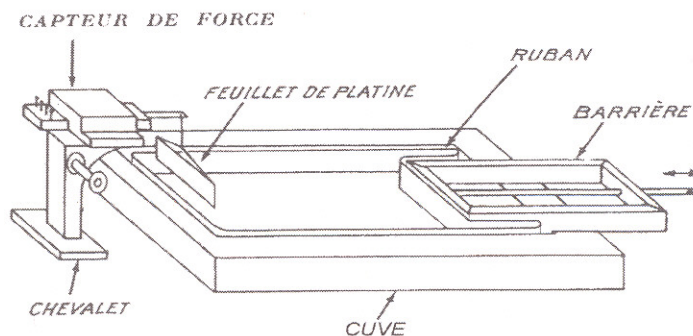
- a) Addition de 90  $\mu\text{mol}$  d'ADP et d'un excès de  $\beta$ -hydroxybutyrate ;  
consommation d' $O_2$  de la région 2 :  $\Delta O_2 = 15 \mu\text{mol}$ .  
*Le  $\beta$ -hydroxybutyrate est oxydé par une déshydrogénase à  $NAD^+$  dans les mitochondries ; l'addition de malate à la place du  $\beta$ -hydroxybutyrate aurait donné le même résultat.*
- b) Addition de 90  $\mu\text{mol}$  d'ADP, d'un excès de succinate et de roténone ;  
consommation d' $O_2$  de la région 4 :  $\Delta O_2 = 22,5 \mu\text{mol}$ .  
*La roténone inhibe le transfert d'électrons en provenance du  $NADH$ .*
- c) Addition de 90  $\mu\text{mol}$  d'ADP, d'antimycine, et d'un excès du mélange ascorbate + TMPD ;  
consommation d' $O_2$  de la région 6 :  $\Delta O_2 = 45 \mu\text{mol}$ .  
*Le TMPD (tétraméthyl-p-phénylènediamine) est un transporteur d'électrons réduit par l'ascorbate et qui transfère ses électrons directement au cytochrome c. L'antimycine inhibe le transfert d'électrons provenant du  $FADH_2$ .*

Remarque : les trois expériences sont réalisées successivement sur la même préparation mitochondriale.



**Fig 3 :** On réalise trois expériences indépendantes (A, B et C) avec trois suspensions mitochondriales identiques. La concentration de l' $O_2$  dans le milieu d'incubation des mitochondries est mesurée au cours du temps à l'aide d'une électrode de Clark. On ajoute successivement les substances indiquées sur les graphiques (d'après SHECHTER, Biochimie et biophysique des membranes, Dunod)

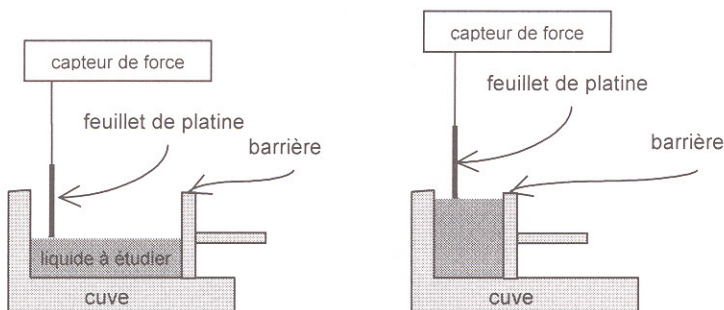
- ADP : adénosine diphosphate.
- FCCP : substance protonophore (le dinitrophénol aurait le même effet).
- Oligomycine : inhibiteur de l'ATP synthétase.



**Fig 4A : Balance de surface de Clements** (d'après COMROE, *Physiologie de la respiration*, Masson)

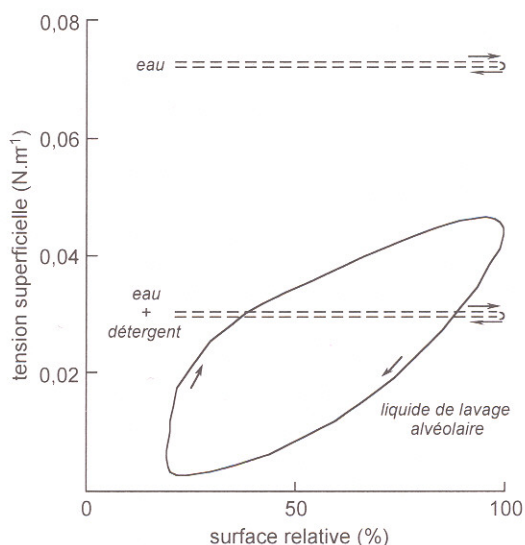
Ce dispositif, appelé balance de surface, permet de mesurer la tension superficielle à la surface d'un liquide tout en faisant varier la dimension de cette surface.

Le liquide à tester est placé dans une cuve délimitée par une barrière mobile mue par un moteur. Le déplacement de la barrière vers la gauche réduit la surface de la cuve jusqu'à 20 % de sa taille initiale, puis un déplacement vers la droite rétablit la surface initiale (100 %). La tension superficielle est mesurée en suspendant un feuillet de platine dans le liquide et en mesurant la traction de la surface liquidienne sur le feuillet à l'aide d'un capteur de force.



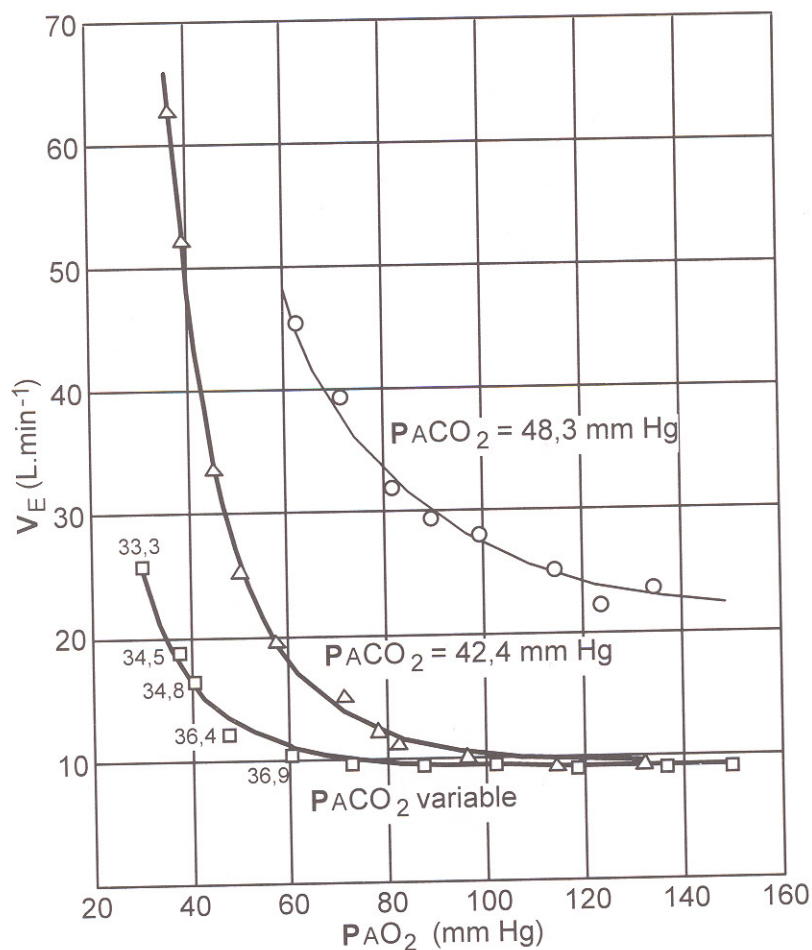
**Fig 4B : Coupes verticales schématisques de la balance de surface**

- À gauche : la barrière est en position initiale.
- À droite : la barrière est déplacée vers la gauche, réduisant ainsi la surface de la cuve.



**Fig 4C : Tension superficielle en fonction de la surface relative de la cuve de la balance de surface** (d'après COMROE, *Physiologie de la respiration*, Masson)

La tension superficielle est mesurée avec une balance de surface dont la cuve contient soit de l'eau, soit de l'eau additionnée de détergent, soit une solution aqueuse ayant préalablement servi à réaliser le lavage alvéolaire d'un poumon de mammifère.

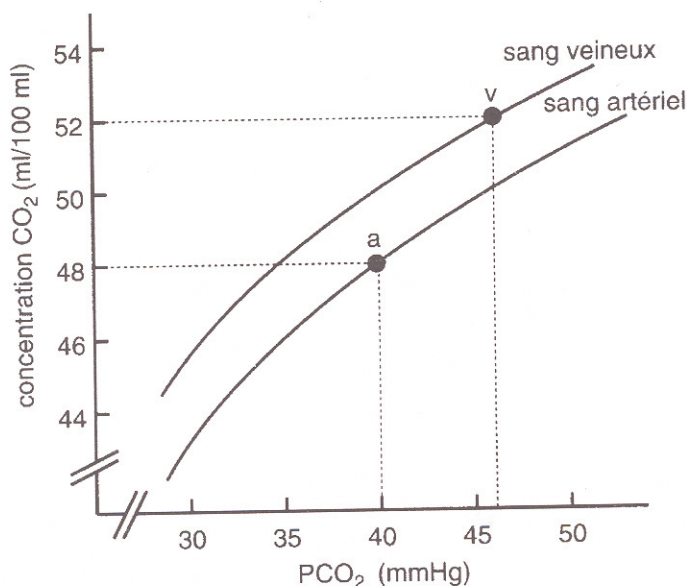


**Fig 5 : Contrôle de la ventilation par l'O<sub>2</sub> et le CO<sub>2</sub> chez l'Homme**  
(d'après GREGER & WINDHORST, *Comprehensive human physiology*, Springer)

Effet de la pression partielle alvéolaire de l'O<sub>2</sub> (PAO<sub>2</sub>) sur le débit ventilatoire  $V_E$  (L.min<sup>-1</sup>) pour différentes valeurs de pression partielle alvéolaire de CO<sub>2</sub> (PACO<sub>2</sub>) chez l'Homme. Les variations de PAO<sub>2</sub> sont obtenues en modifiant la teneur en O<sub>2</sub> de l'air inspiré.

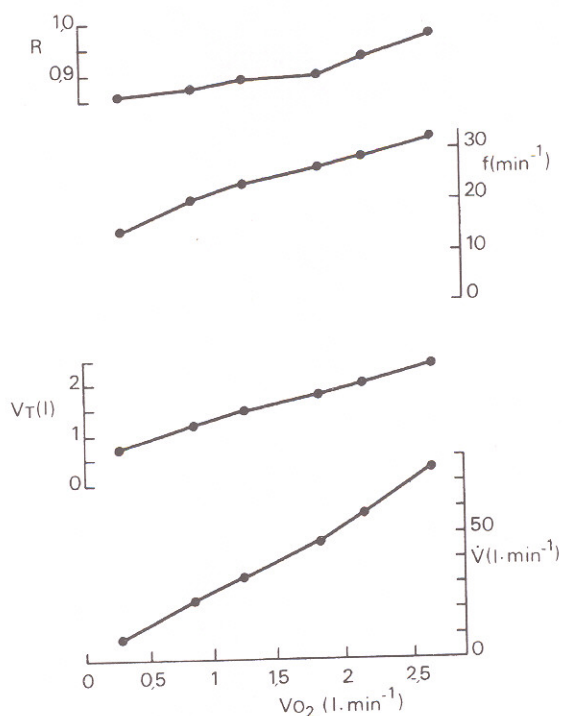
- (cercles blancs) : la PACO<sub>2</sub> est maintenue à 48,3 mm Hg en contrôlant également la teneur en CO<sub>2</sub> de l'air inspiré.
- △ (triangles) : la PACO<sub>2</sub> est maintenue à 42,4 mm Hg en contrôlant également la teneur en CO<sub>2</sub> de l'air inspiré.
- (carrés blancs) : la PACO<sub>2</sub> n'est pas maintenue constante et évolue spontanément du fait des variations de  $V_E$ . Les valeurs prises par la PACO<sub>2</sub> sont indiquées sur le graphique (en mm Hg).

Remarque : le mm Hg est une unité de pression couramment utilisée en physiologie ; 1 mm Hg = 133,3 Pa.



**Fig 6 : Transport sanguin du CO<sub>2</sub> chez l'Homme**  
(d'après GUENARD, *Physiologie humaine*, Pradel)

Concentration sanguine du CO<sub>2</sub> total en fonction de la pression partielle du CO<sub>2</sub> (PCO<sub>2</sub>). L'expérience est réalisée *in vitro* soit avec du sang dont la saturation en O<sub>2</sub> est de 75 % (indiqué « sang veineux » sur le graphique) soit avec du sang dont la saturation en O<sub>2</sub> est de 98 % (indiqué « sang artériel » sur le graphique).

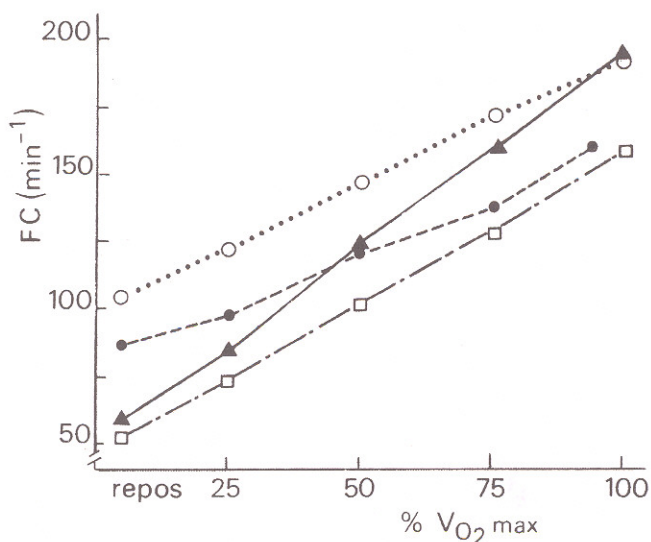


**Fig 7 : Evolution de différents paramètres respiratoires en fonction de l'intensité d'un exercice chez l'Homme** (d'après MONOD & FLANDROIS, *Physiologie du sport*, Masson)

L'intensité de l'exercice est quantifiée grâce à la consommation d'O<sub>2</sub> nécessaire à la réalisation de l'exercice (VO<sub>2</sub>).

R : quotient respiratoire (VCO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub>)  
f : fréquence ventilatoire

V : débit ventilatoire  
V<sub>T</sub> : volume courant



**Fig 8 : Fréquence cardiaque (FC) en fonction de l'intensité de l'exercice**  
(d'après MONOD & FLANDROIS, *Physiologie du sport*, Masson)

L'intensité de l'exercice est évaluée grâce à la consommation d'O<sub>2</sub> nécessaire à sa réalisation, exprimée en % de la consommation d'O<sub>2</sub> maximale du sujet dans les conditions expérimentales (V<sub>O2</sub> max).

- ▲ (triangles noirs) : sujets témoins.
- (cercles blancs) : sujets traités avec de l'atropine (antagoniste des récepteurs cholinergiques muscariniques)
- (carrés blancs) : sujets traités avec du propranolol (antagoniste des récepteurs β-adrénergiques).
- (cercles noirs) : sujets traités avec de l'atropine et du propranolol.

	Air	Eau
Densité	$1,2 \cdot 10^{-3}$	1
Viscosité dynamique (kg.m <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> )	$18,5 \cdot 10^{-6}$	$10^{-3}$
	Air	Eau
Coefficient de capacitance (mol.L <sup>-1</sup> .Pa <sup>-1</sup> )		
βO <sub>2</sub>	$4,105 \cdot 10^{-7}$	$1,365 \cdot 10^{-8}$
βCO <sub>2</sub>	$4,105 \cdot 10^{-7}$	$3,892 \cdot 10^{-7}$
	Air	Eau
Constante de diffusibilité (constante de Krogh, mol.s <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> .Pa <sup>-1</sup> )		
KO <sub>2</sub>	$7,83 \cdot 10^{-9}$	$3,38 \cdot 10^{-14}$
KCO <sub>2</sub>	$6,12 \cdot 10^{-9}$	$6,98 \cdot 10^{-13}$

**Tableau 1 : Comparaison des propriétés de l'air et de l'eau**  
(d'après BEAUMONT, TRUCHET & DU PASQUIER, *Respiration, circulation et système immunitaire*, Dunod)

	Forme transportée	Sang artériel	Sang veineux
600 mL de plasma	CO <sub>2</sub> dissous	0,7	0,8
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	15,2	16,2
400 mL d'hématies	CO <sub>2</sub> dissous	0,3	0,4
	CO <sub>2</sub> carbaminé	1,0	1,4
1 L de sang	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	4,3	4,4
	CO <sub>2</sub> total	21,5	23,2

**Tableau 2 : Contenu en CO<sub>2</sub> d'un litre de sang humain (valeurs exprimées en mmoles)**  
(d'après GUENARD, *Physiologie humaine*, Pradel)