



UNIVERSITÉ  
DE GENÈVE

FACULTÉ DE MÉDECINE



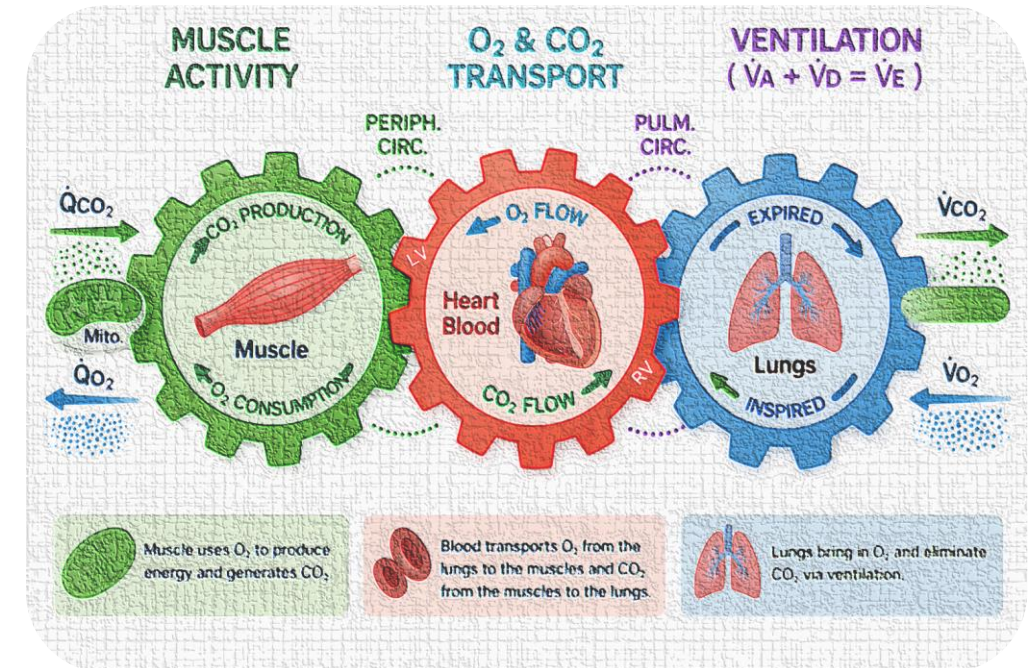
Hôpitaux  
Universitaires  
Genève

# Réponse cardio-vasculaire et respiratoire à l'exercice

Locomotion, activité physique – 1BA

Bachelor 1<sup>ère</sup> année - SCIENCES MEDICALES DE BASE  
Centre médical universitaire (CMU) – Université de Genève (UNIGE)

14.04.2026



<https://moodle.unige.ch/course/view.php?id=4229>

Ivo NETO SILVA, PT, MSc, PhDc

Service de soins intensifs adultes – Département de médecine aiguë (DMA) | HUG

Chargé de recherche et implémentation (Responsable clinique et scientifique) – domaine de la physiothérapie | Direction des soins | HUG

Groupe de recherche en hémodynamique (GRH) et Centre de recherche sur le muscle squelettique et le mouvement (CR2M) | Faculté de médecine | UNIGE

\*Cours développé avec le Dr Bernardo Bollen Pinto

# Plan d'enseignement

## HORAIRE 1<sup>ère</sup> année 2025-2026

## SEMAINE 24

	Lundi		Mardi		Mercredi		Jeudi		Vendredi	
	13.04.2026		14.04.2026		15.04.2026		16.04.2026		17.04.2026	
08h15-09h00					Chimie organique 13 S. Matile / S. Hoogendoorn <i>CMU/Champendal</i>					
09h15-10h00			Réponse cardio-vasculaire et respiratoire à l'exercice I. Neto Silva <i>CMU/Champendal</i>				Entraînement physique I. Neto Silva <i>CMU/Champendal</i>			
10h15-11h00	Energie du mouvement I. Neto Silva <i>CMU/Champendal</i>		Pharmacologie 1 M. Besson <i>CMU/Champendal</i>		Activité Physique et Capacité fonctionnelle (recommandations et mesures) I. Neto Silva <i>CMU/Champendal</i>		Cas de liaison Mucoviscidose 7 G. Berra <i>CMU/Champendal</i>			
11h15-12h00							MFE 6 : La MFE illustrée M. Bideau / D. Haller-Hester / C. Gillibert <i>CMU/Champendal</i>			
12h15-13h00										

# Objectifs d'apprentissage

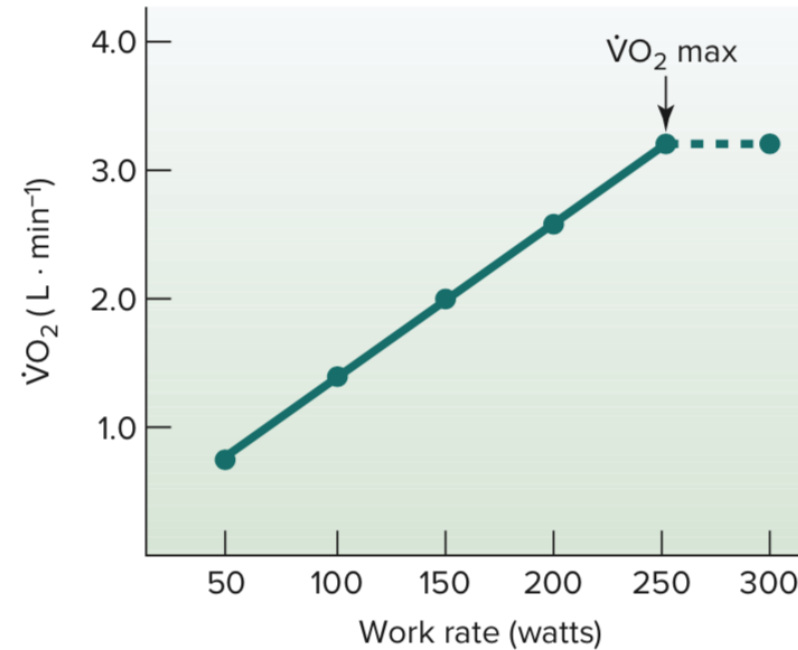
---

A la fin de ce cours, vous devriez être capable de :

- Décrire les principaux éléments d'adaptation cardiovasculaire et respiratoire à l'effort

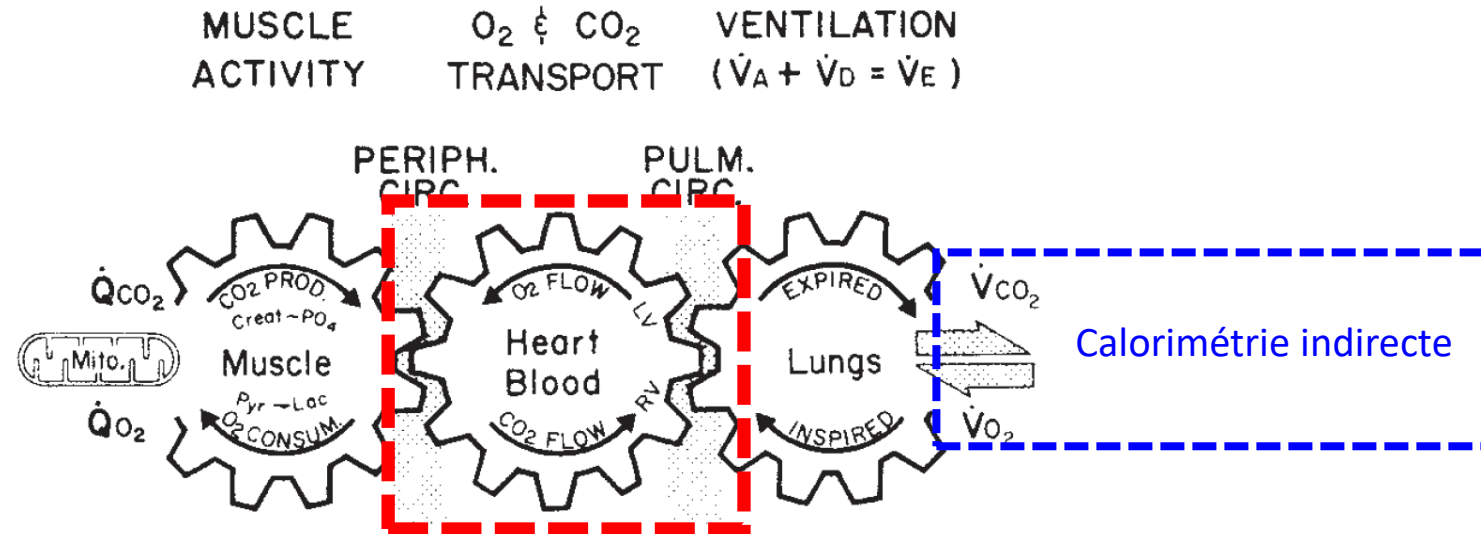


# Adaptation cardio-vasculaire et respiratoire à l'exercice



**Objectif:** assurer que assez d'O<sub>2</sub> arrive aux muscles squelettiques (DO<sub>2</sub>) pour répondre à une demande métabolique augmenté (VO<sub>2</sub>)

# Couplage de la respiration cellulaire avec des systèmes cardiovasculaire et respiratoire



# Consommation d'O<sub>2</sub> par le muscle

---

Consommation  
en O<sub>2</sub>

$$VO_2 = DO_2 \times ER$$

Apport en O<sub>2</sub>  
(L/min)  
(*Delivery O<sub>2</sub>*)

Taux d'extraction d'O<sub>2</sub>  
(%)  
(*Extraction Ration*)

# Consommation d'O<sub>2</sub> par le muscle

Consommation en O<sub>2</sub> ———  $VO_2 = DO_2 \times ER$

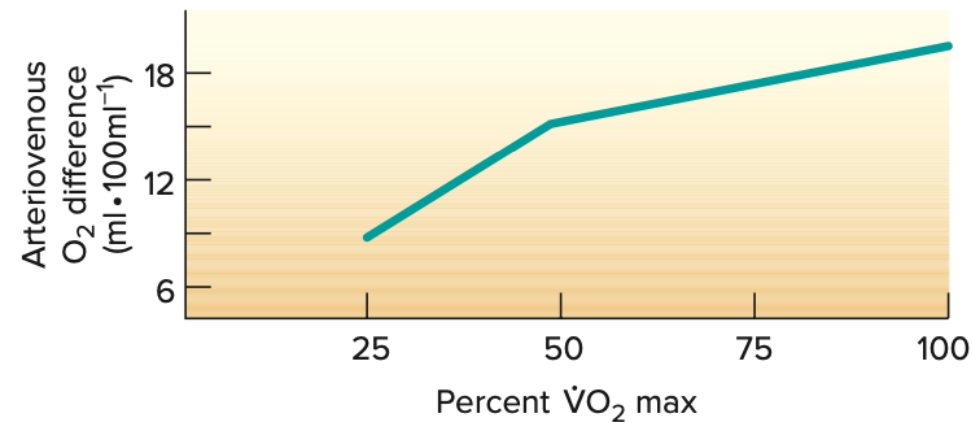
Apport en O<sub>2</sub>  
(L/min)  
(*Delivery O<sub>2</sub>*)

Taux d'extraction d'O<sub>2</sub>  
(%)  
(*Extraction Ration*)

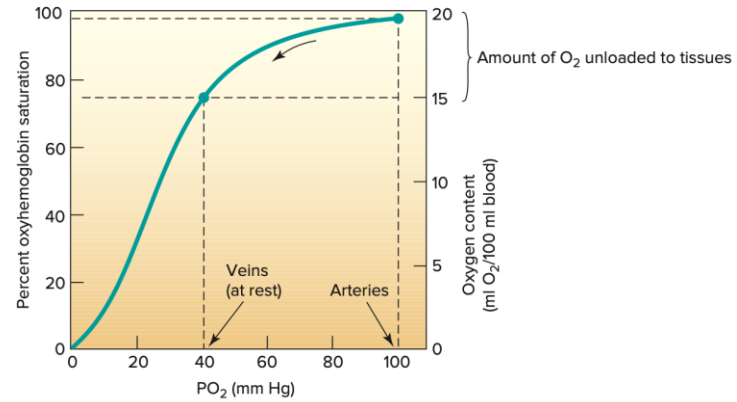
# Extraction O<sub>2</sub> par le muscle ↑ pendant l'exercice

Extraction O<sub>2</sub> par le muscle squelettique:

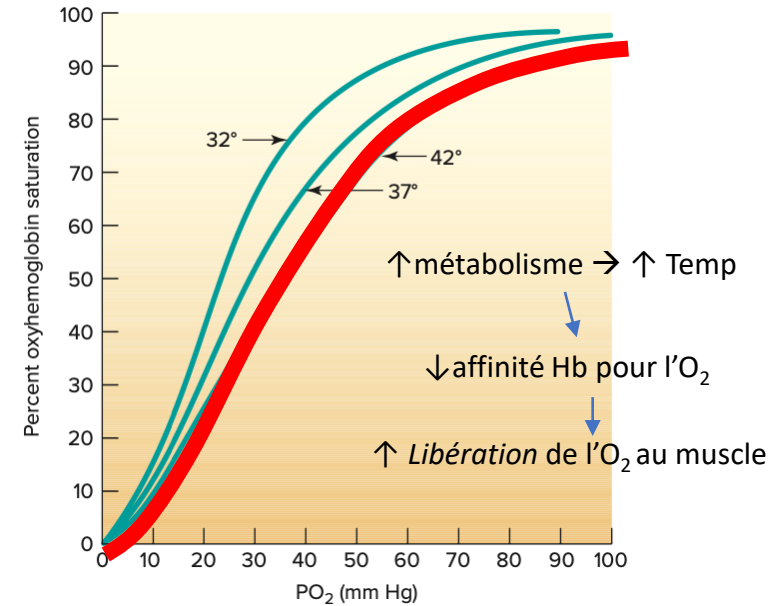
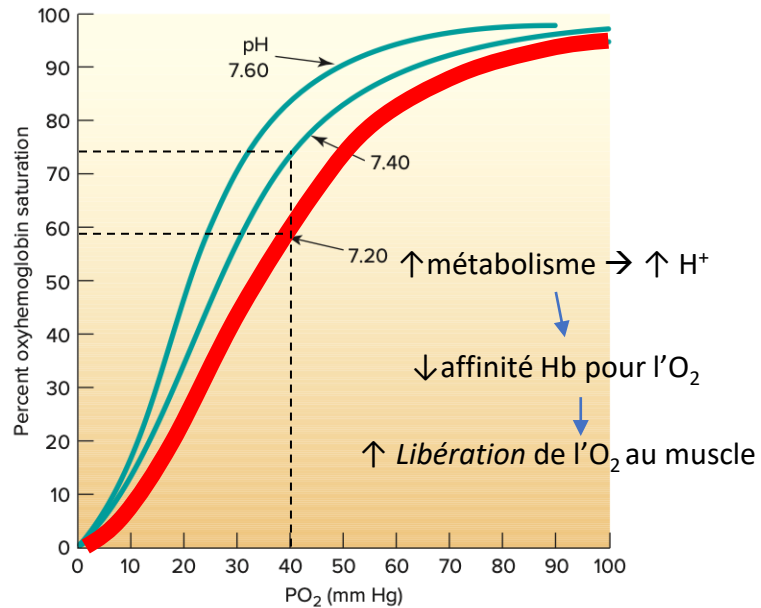
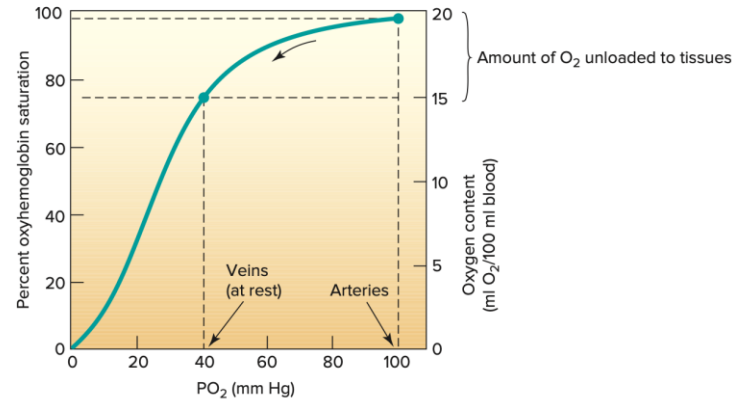
- 20-40% (repos) → 70-80% (exercice intense)
- Principales facteurs:
  - O<sub>2</sub> flux/gradient: utilisation O<sub>2</sub> mitochondrie → ↓ cellulaire PO<sub>2</sub> → ↓ périvasculaire PO<sub>2</sub>
  - *Libération* de l'O<sub>2</sub> de l'hémoglobine: ↑ métabolisme → ↑ H<sup>+</sup> + ↑ Température → Facilite la dissociation
  - Vasodilatation artérioles: ↓ de la distance entre circulation et cellules



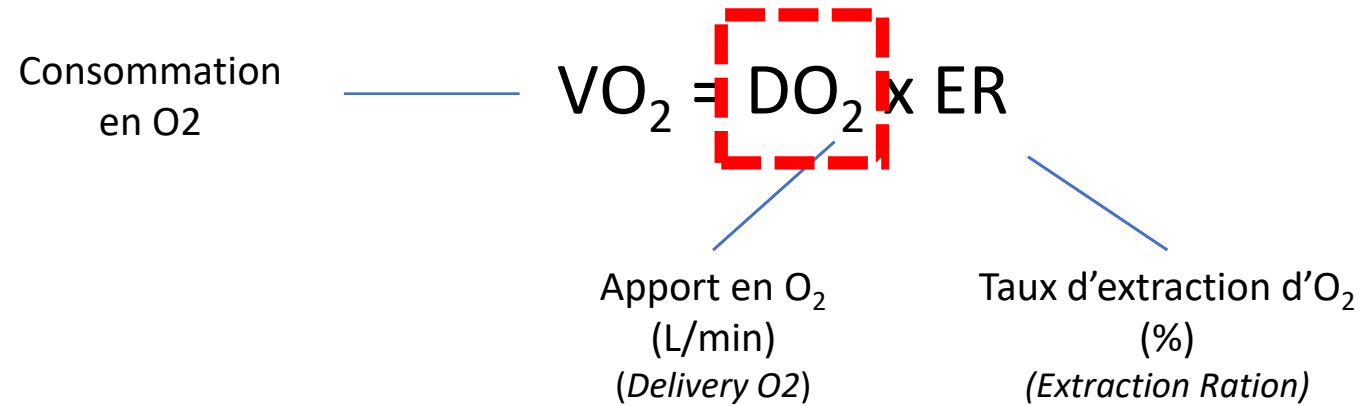
# Courbe dissociation O<sub>2</sub>-Hb



# Courbe dissociation O<sub>2</sub>-Hb



# Consommation d'O<sub>2</sub> par le muscle



# Capacité de apporter de l'O<sub>2</sub> au muscle squelettique

---

$$DO_2 = DC \times CaO_2$$

Débit cardiaque  
(L/min)

Contenu d'oxygène  
sang (ml/L)

# Capacité de apporter de l'O<sub>2</sub> au muscle squelettique

---

$$DO_2 = DC \times CaO_2$$

Débit cardiaque (L/min)      Contenu d'oxygène sang (ml/L)

# Contenu d'oxygène dans le sang artériel

*O<sub>2</sub> liée à l'hémoglobine*

$$\text{CaO}_2 = (1.39 \times [\text{Hb}] \times \text{SaO}_2)$$

Capacité maximal de transport d'O<sub>2</sub> (ml/g)

Concentration d'hémoglobine dans le sang (g/L)

Pourcentage de saturation de l'hémoglobine (%)

# Contenu d'oxygène dans le sang artériel

$$CaO_2 = (1.39 \times [Hb] \times SaO_2) + (PaO_2 \times 0.03)$$

*O<sub>2</sub> liée à l'hémoglobine*

*O<sub>2</sub> en solution*

Capacité maximal de transport d'O<sub>2</sub> (ml/g)

Concentration d'hémoglobine dans le sang (g/L)

Pourcentage de saturation de l'hémoglobine (%)

Pression partielle d'O<sub>2</sub> dans le sang

Constante de solubilité de l'O<sub>2</sub> dans le sang (@37C) (ml/L/mmHg)

*Pas beaucoup de gains possibles pendant l'exercice (court terme)*

# Capacité de apporter de l'O<sub>2</sub> au muscle squelettique

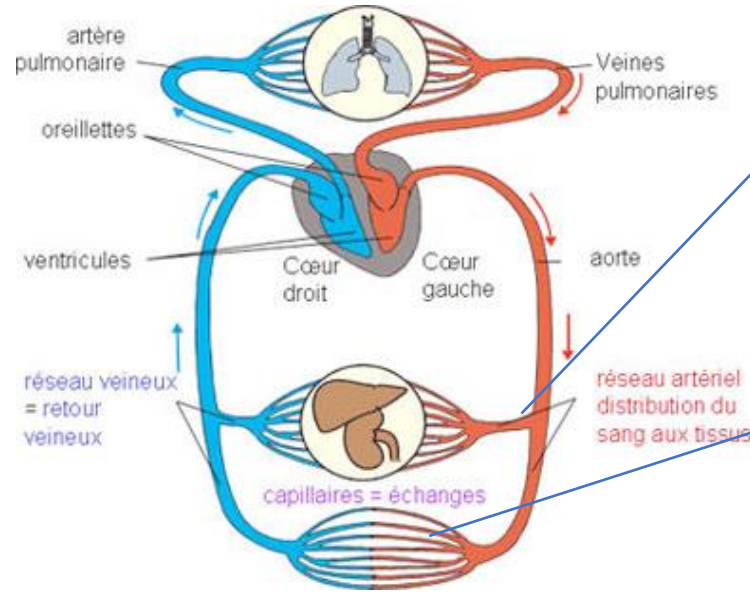
---

$$DO_2 = DC \times CaO_2$$

Débit cardiaque  
(L/min)

Contenu d'oxygène  
sang (ml/L)

# Débit cardiaque



Mesure habituelle de la pression

Pression perfusion Des organes

$$\begin{array}{c}
 \boxed{\text{Débit cardiaque}} = \boxed{\text{Volume d'éjection}} \times \boxed{\text{Fréquence cardiaque}} \\
 \begin{array}{ccc}
 \boxed{\text{Pre-charge}} & \boxed{\text{Contractilité}} & \boxed{\text{Post-charge}}
 \end{array}
 \end{array}$$

## Rappel cours

– [lien moodle](#)  
 Physiologie cardiovasculaire (P. Bijlenga)

Distribution du débit cardiaque au repos et lors de l'exercice

Maintenir un débit de perfusion cérébrale constant

Débit cardiaque = (volume d'éjection ventr.) x (fréquence card.)

## Fonction cardiaque (C. Montessuit)

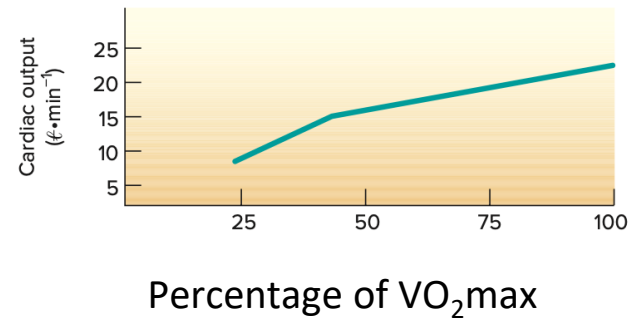
Redistribution du sang dans l'arbre vasculaire

Trois principes de base:

- Variation du débit cardiaque limité ajuste une pression de perfusion moyenne ou systémique  
 $\text{Débit cardiaque} = (\text{volume d'éjection ventr.}) \times (\text{fréquence card.})$
- La pression et les résistances locales ajustent le débit aux besoins locaux  
 $\text{Débit} = \text{Pression de perfusion} / \text{résistance de l'organe}$
- Les échanges dépendent de la densité capillaire où la vitesse de transit du sang doit rester fixe  
 $\text{Débit} = (\text{surface de section}) \times (\text{vitesse})$

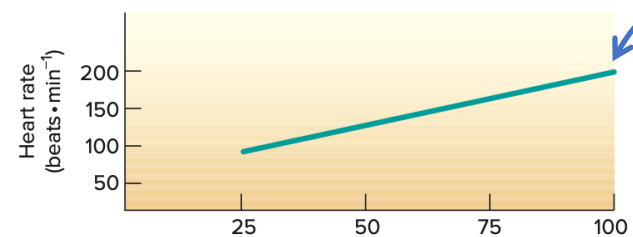
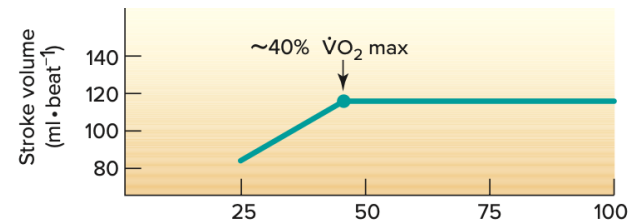
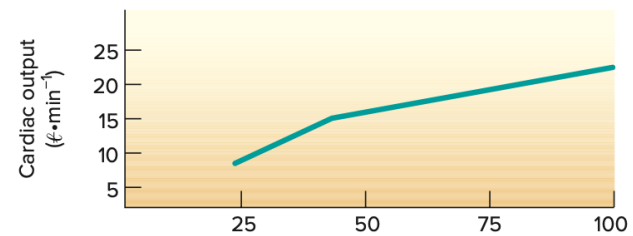
Rappel cours Philippe Bijlenga - Vue d'ensemble du système cardiovasculaire

# Débit cardiaque pendant l'exercice chez un sujet sain *non-entraîné*



Comment change le volume d'éjection avec l'augmentation de la VO<sub>2</sub>?

# Débit cardiaque pendant l'exercice chez un sujet sain *non-entraîné*



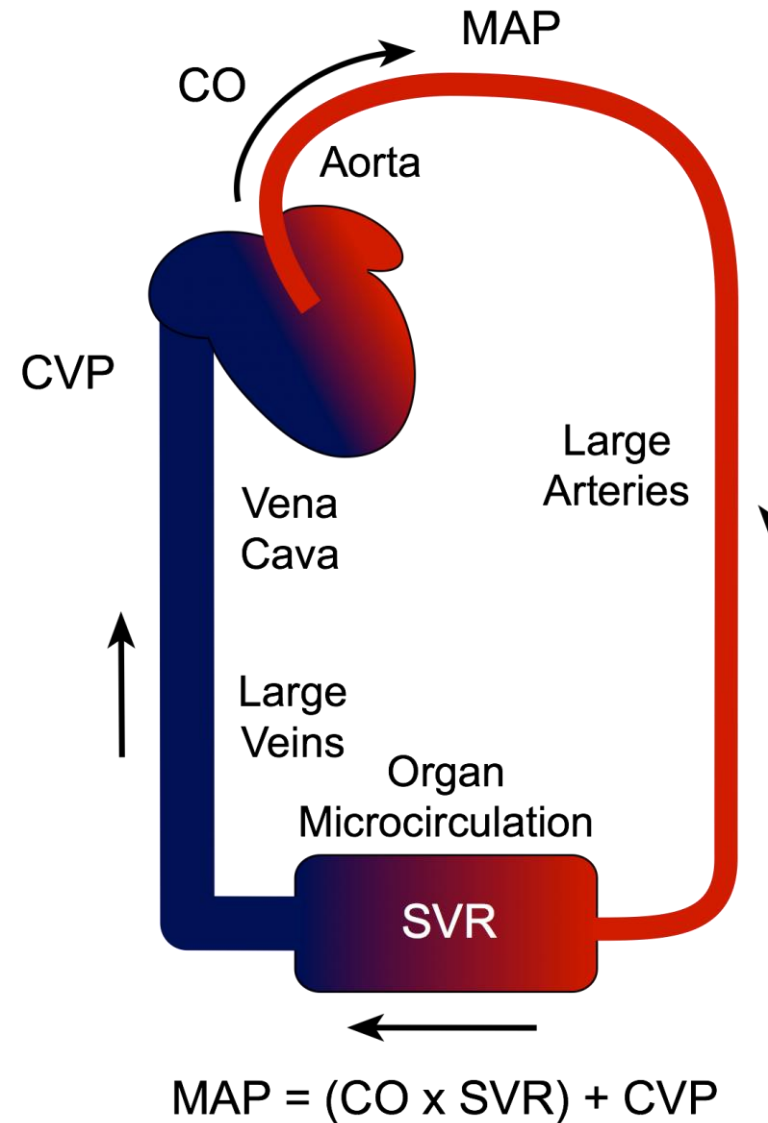
**HR max: ↓ age**

Max HR =  $220 - \text{age (years)}$

Max HR =  $208 - 0.7 \times \text{age (years)}$

Percentage of  $\text{VO}_2\text{max}$

# Pression artérielle

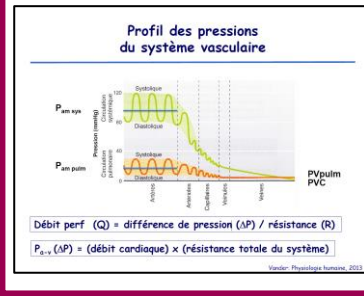


MAP - Pression artérielle moyenne  
 CO - Débit cardiaque  
 SVR - Résistance vasculaire systémique  
 CVP - Pression veineuse centrale

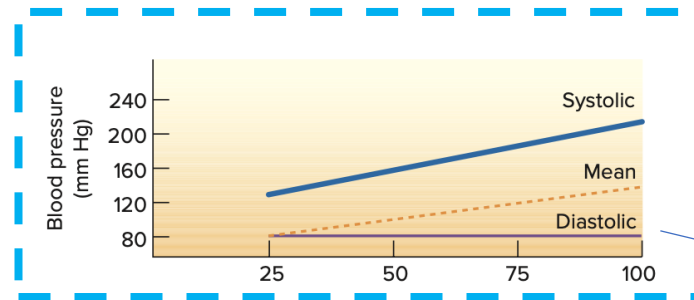
## Rappel cours

– [lien moodle](#)

Physiologie cardiovasculaire  
 (P. Bijlenga)

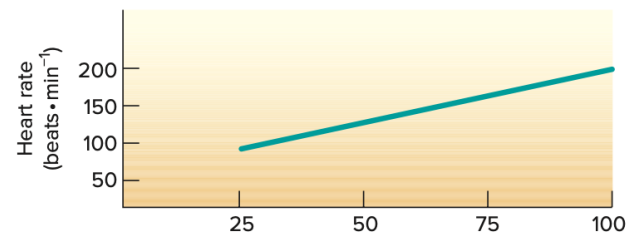
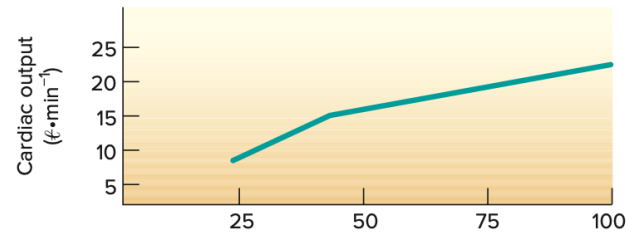
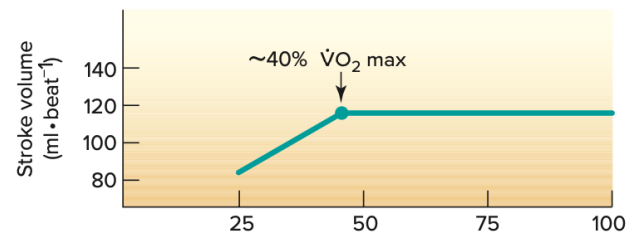


# Pression artérielle pendant l'exercice chez un sujet sain non-entraîné



Pression artérielle  $\uparrow$  :  
 $\uparrow\uparrow$  Débit cardiaque  
 $\downarrow$  Resistances vasculaires périphériques

La pression diastolique peut même se réduire légèrement



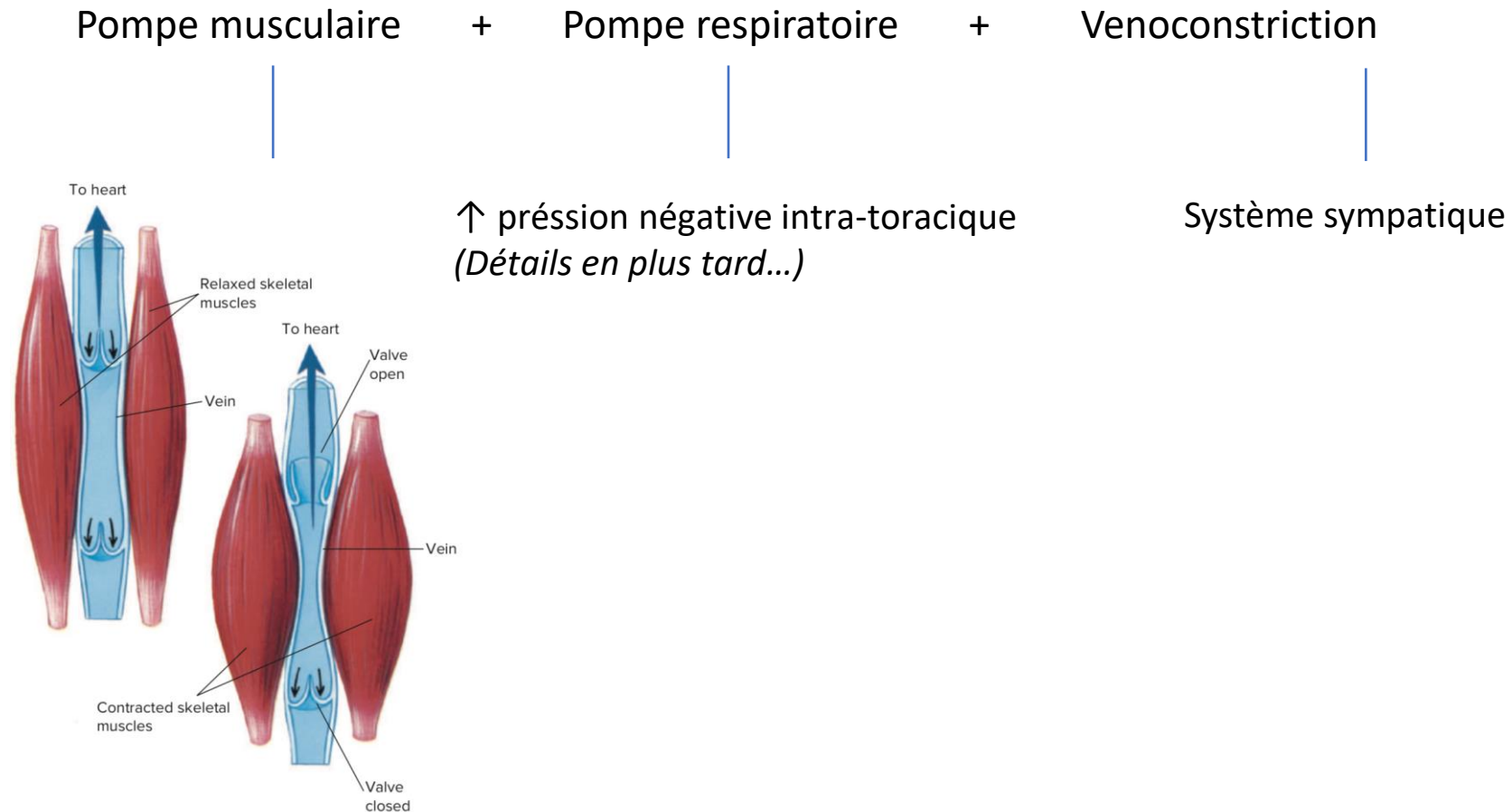
Percentage of  $\dot{V}O_2$  max

# Réponse cardiovasculaire

---

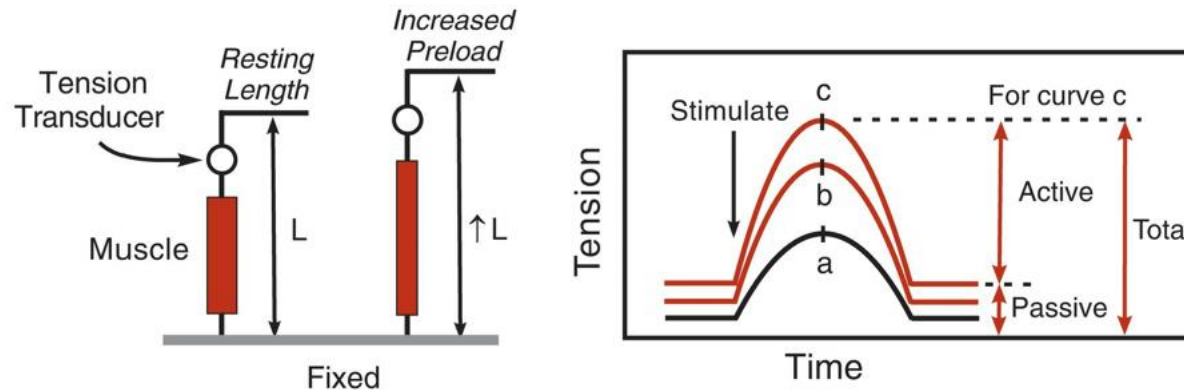


# Augmentation de la pré-charge



# Augmentation de la pré-charge

**Déf : Tension ou étirement des myocytes cardiaques avant la contraction.**



Longueur du sarcomère à la fin de la diastole.

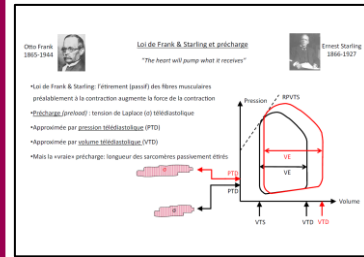
Pression de fin de diastole du ventricule gauche  
(*LVEDP: Left Ventricular End-Diastolic Pressure*)

Clinically available parameters

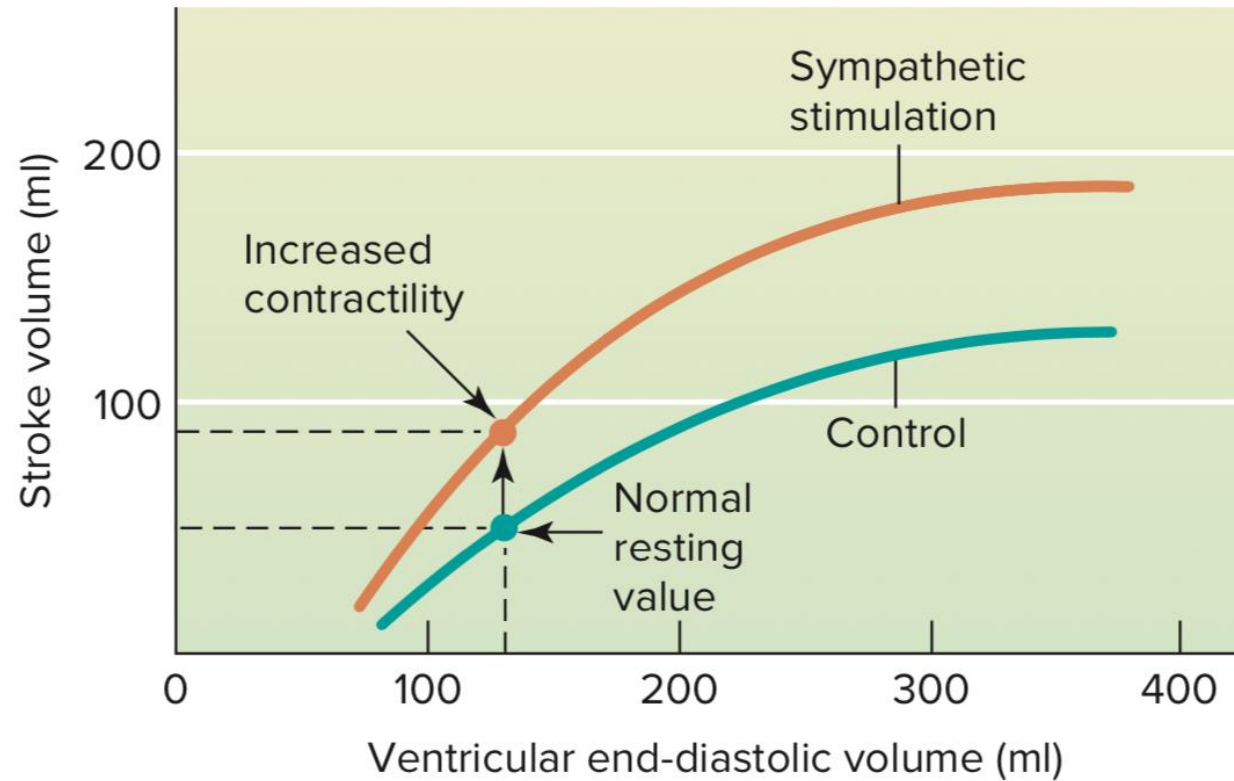
Rappel cours

– [lien moodle](#)

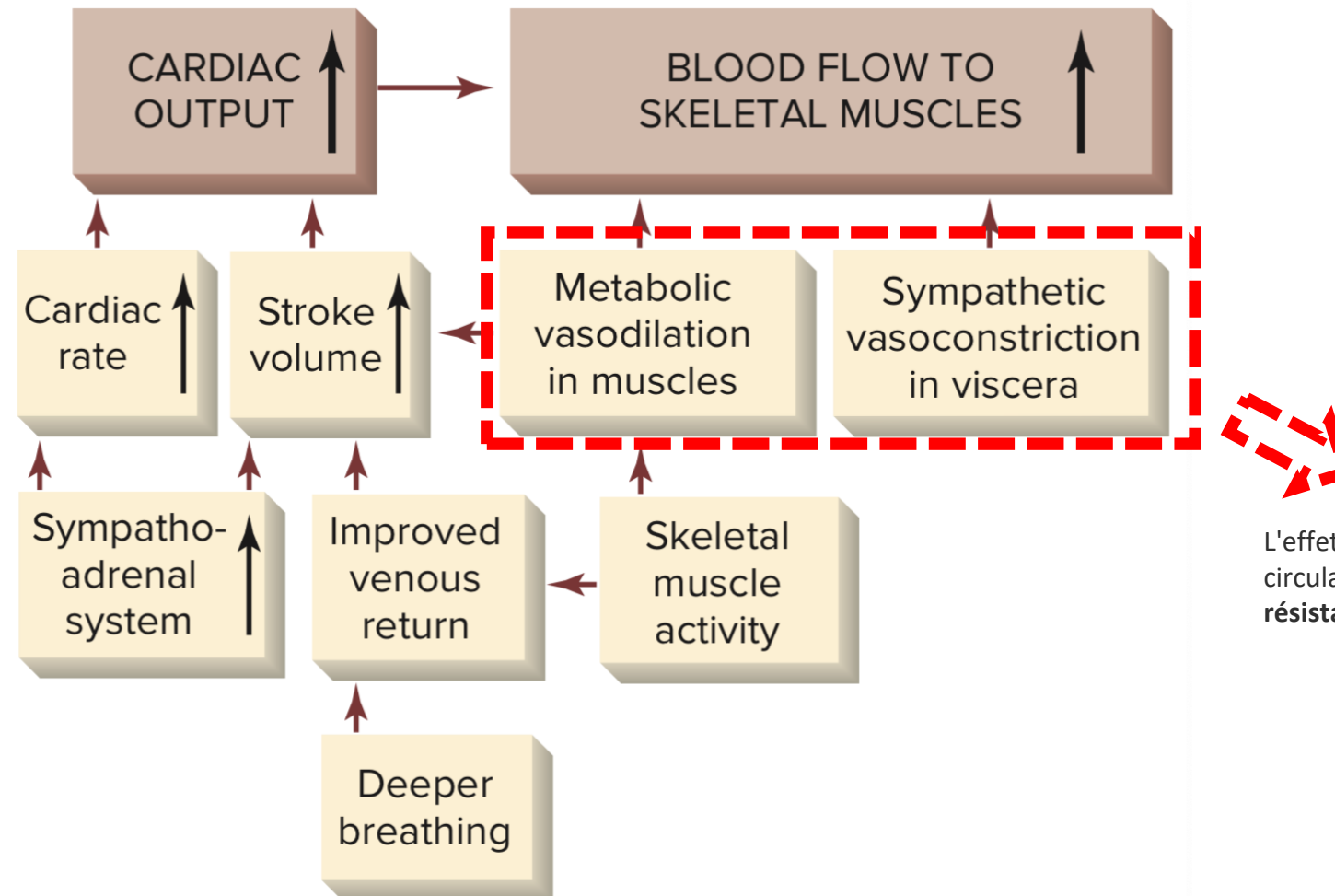
Fonction cardiaque  
(C. Montessuit)



# Augmentation de la pré-charge & volume d'éjection



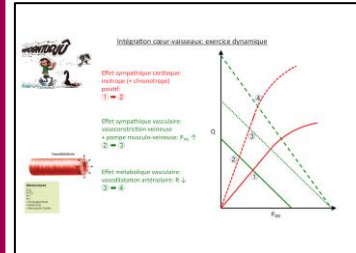
# Réponse cardiovasculaire



## Rappel cours

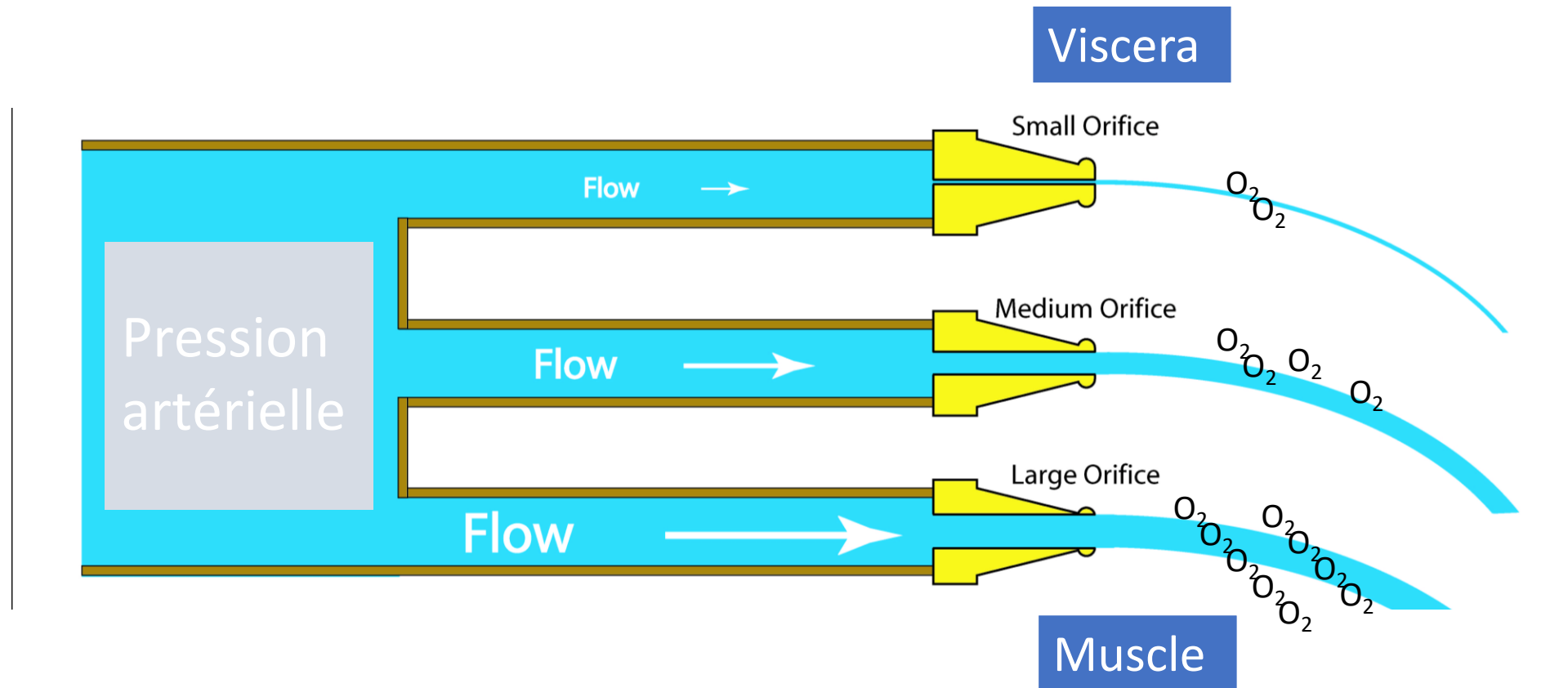
– [lien moodle](#)

Couplage coeur-vaisseaux (C. Montessuit)

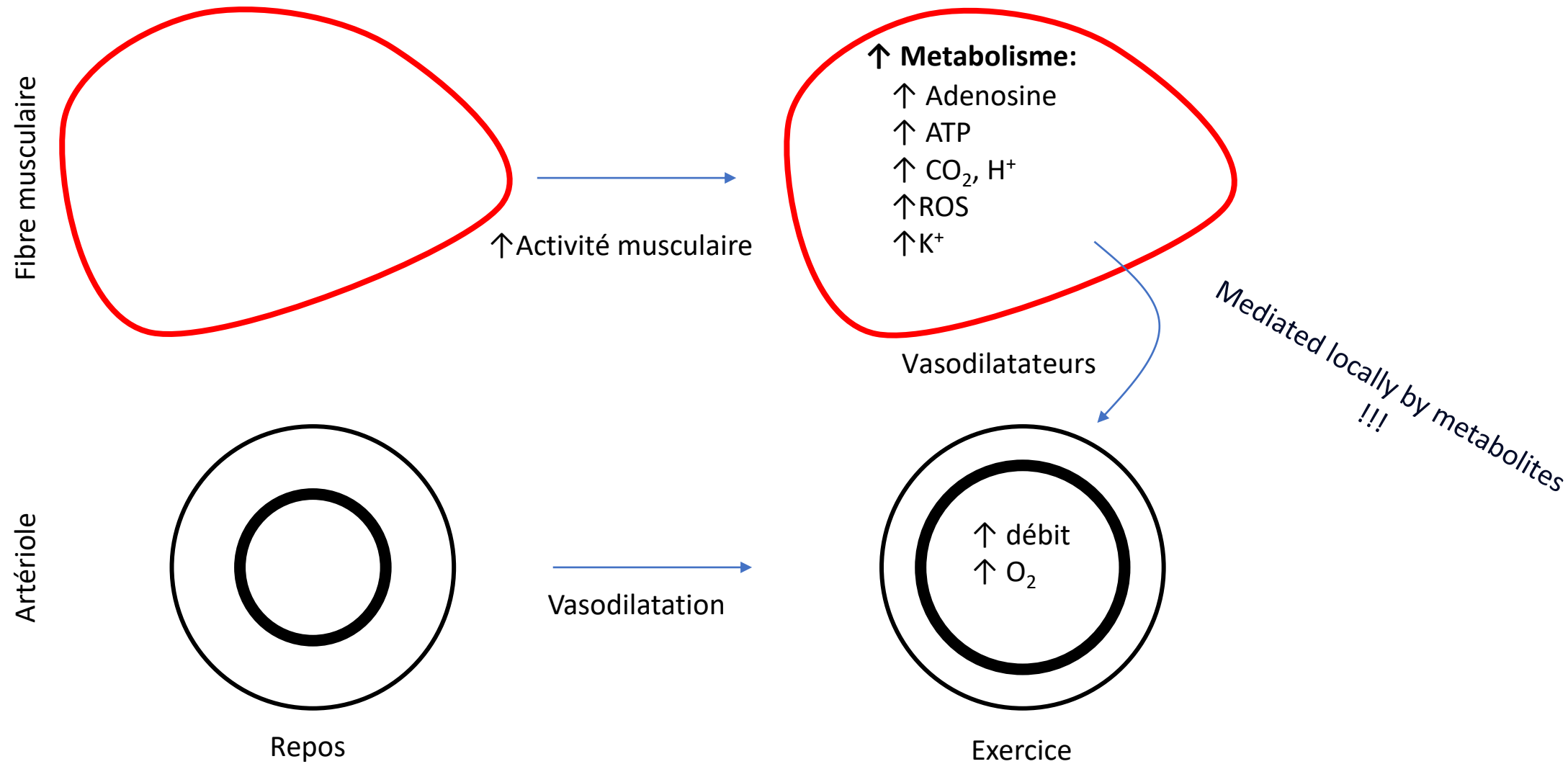


L'effet net sur l'ensemble du système circulatoire est une **diminution de la résistance périphérique totale**

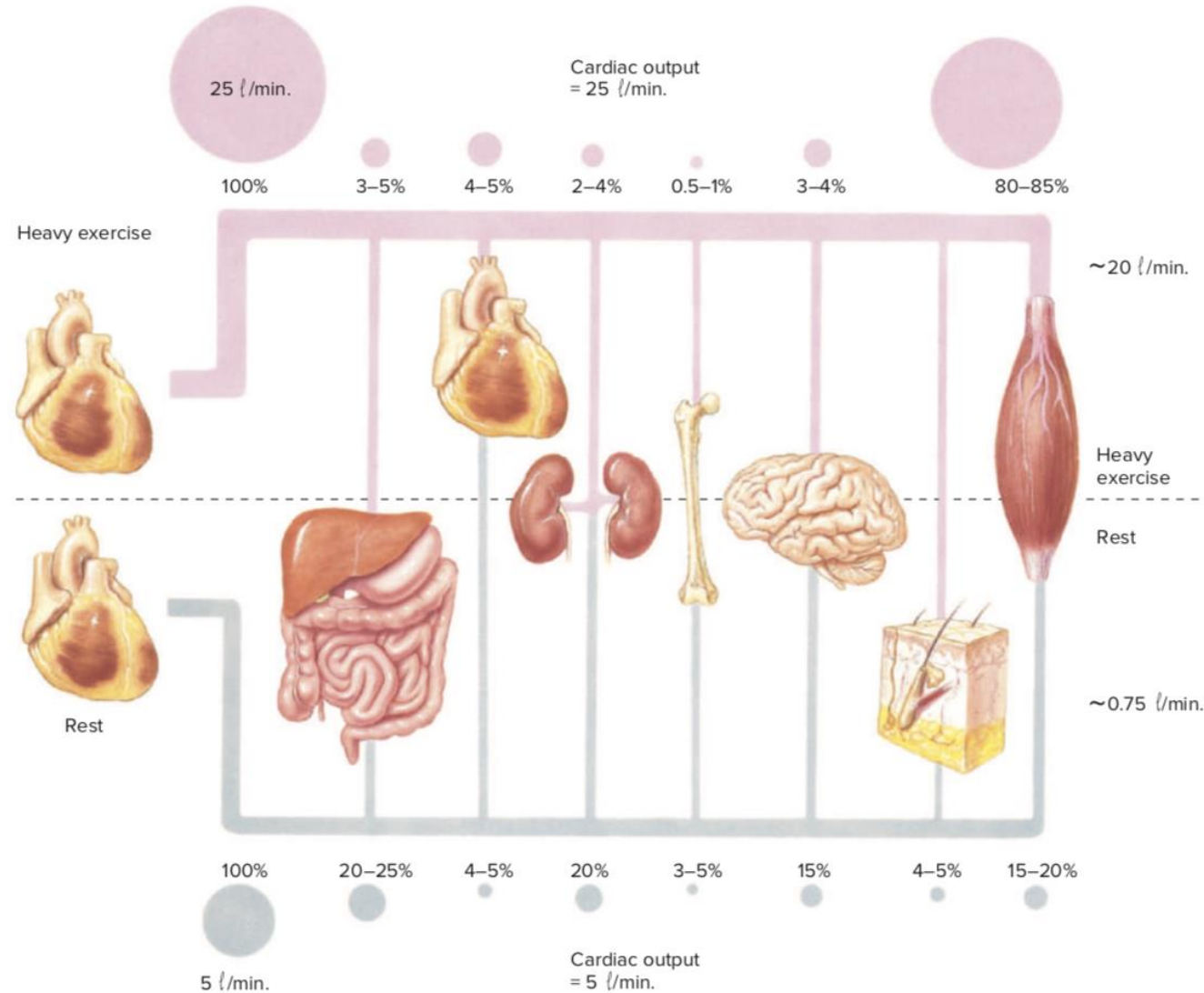
# Flow versus pressure



# Vasodilatation métabolique des artérioles musculaires pendant l'exercice



# Distribution débit cardiaque



# Ventilation pulmonaire

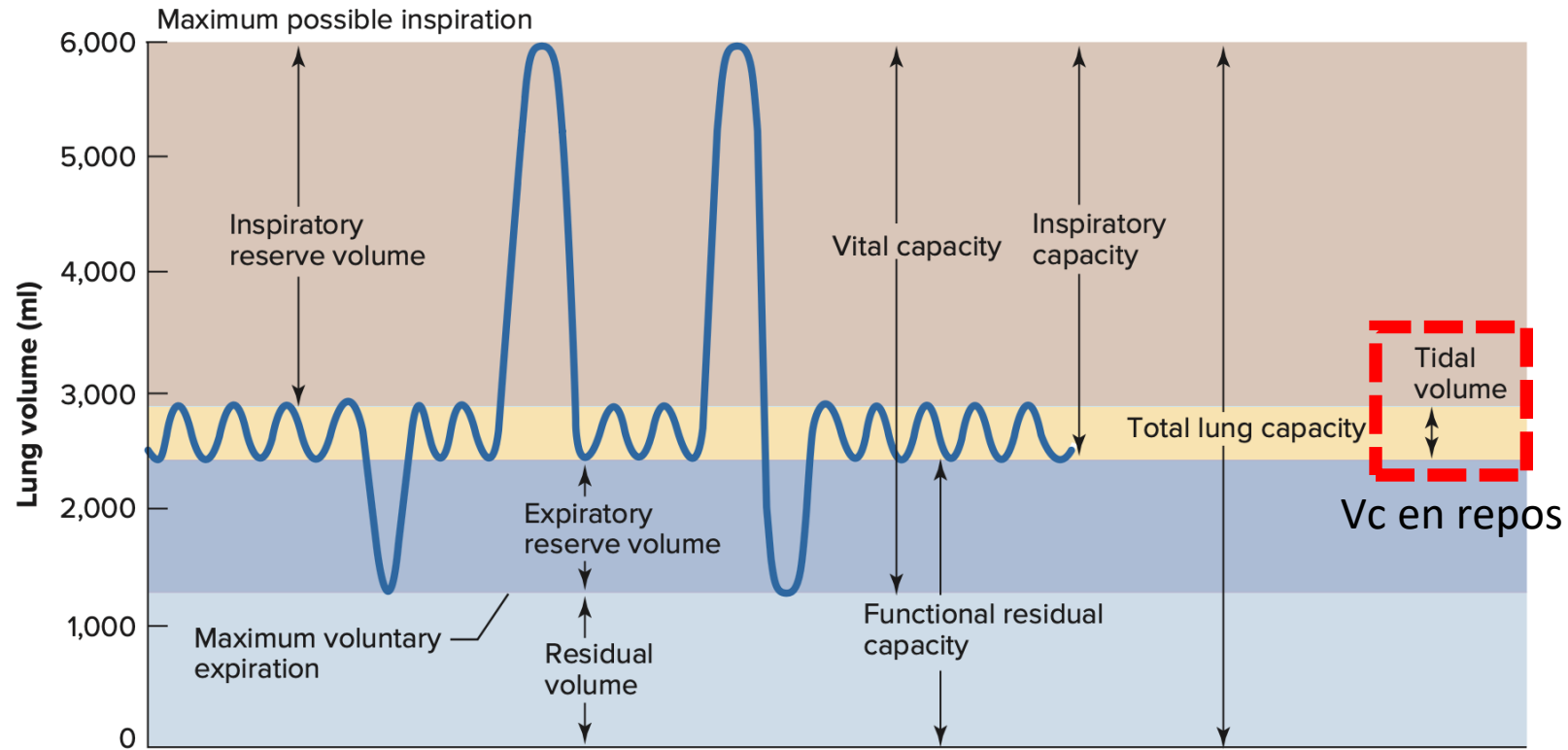
$$\dot{V} = V_C \times FR$$

Ventilation minute (L/min)

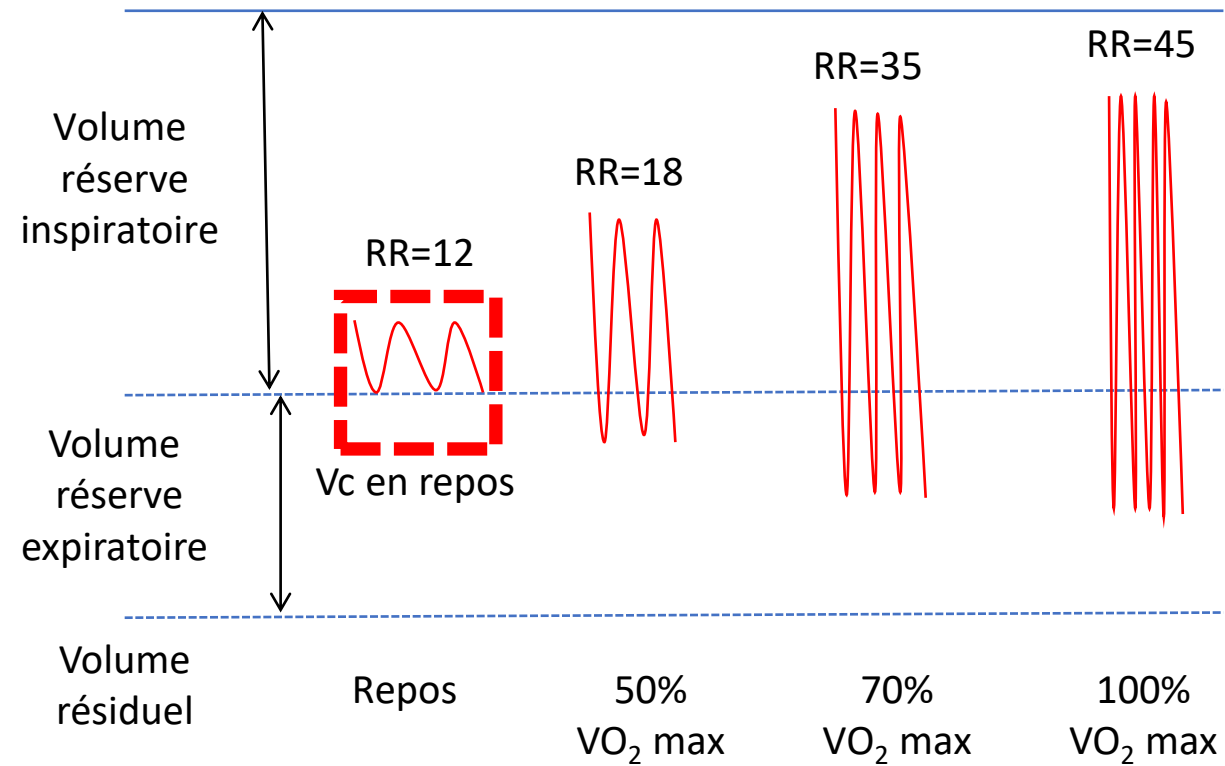
Volume courant (L)

Fréquence respiratoire (cpm)

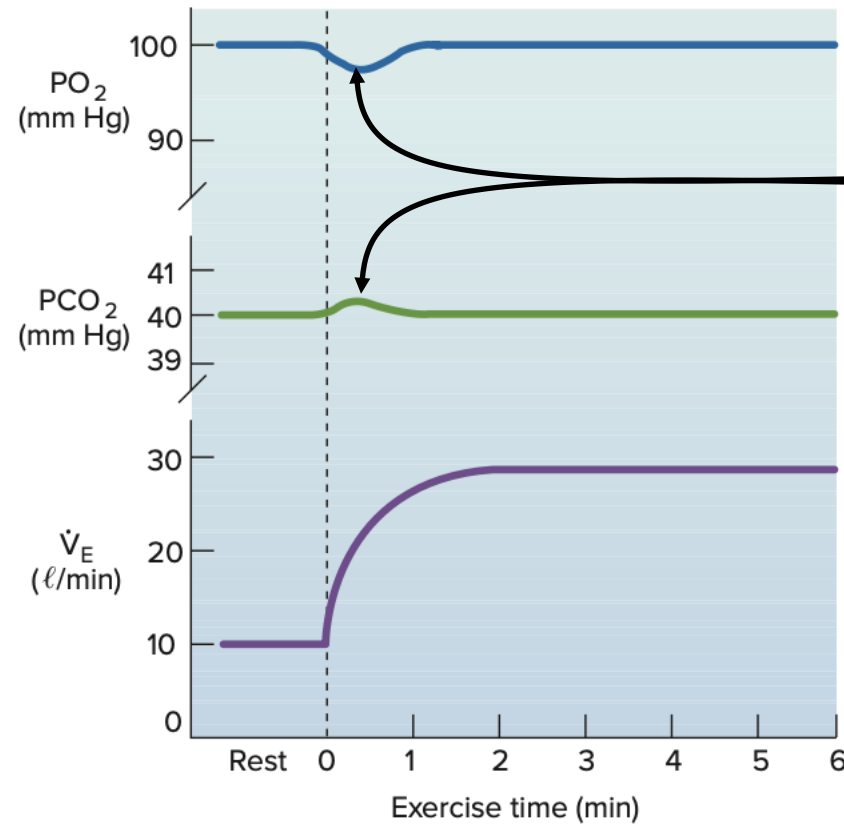
# Volumes pulmonaires



# Changements du *pattern* respiratoire avec l'exercice

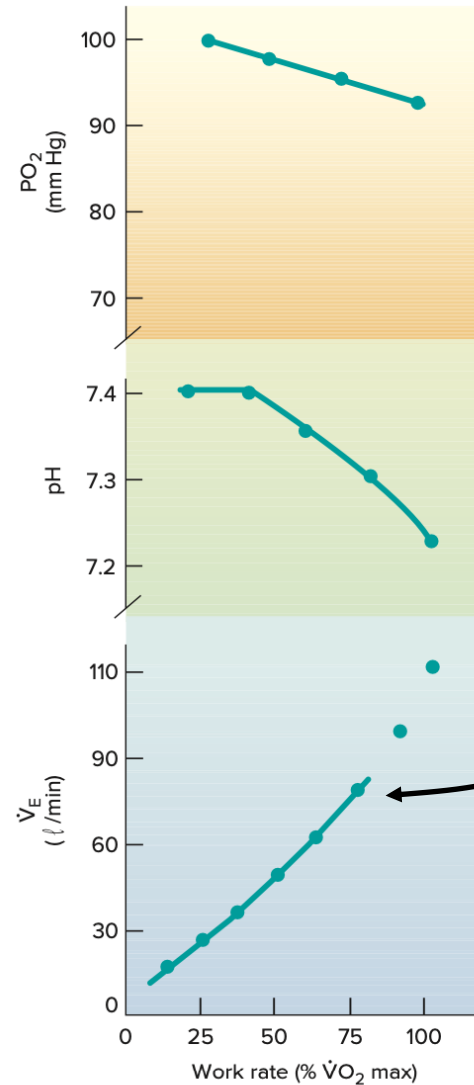


# Réponse ventilatoire à l'exercice sous-maximal



Ventilation plus lente  
que besoins métaboliques

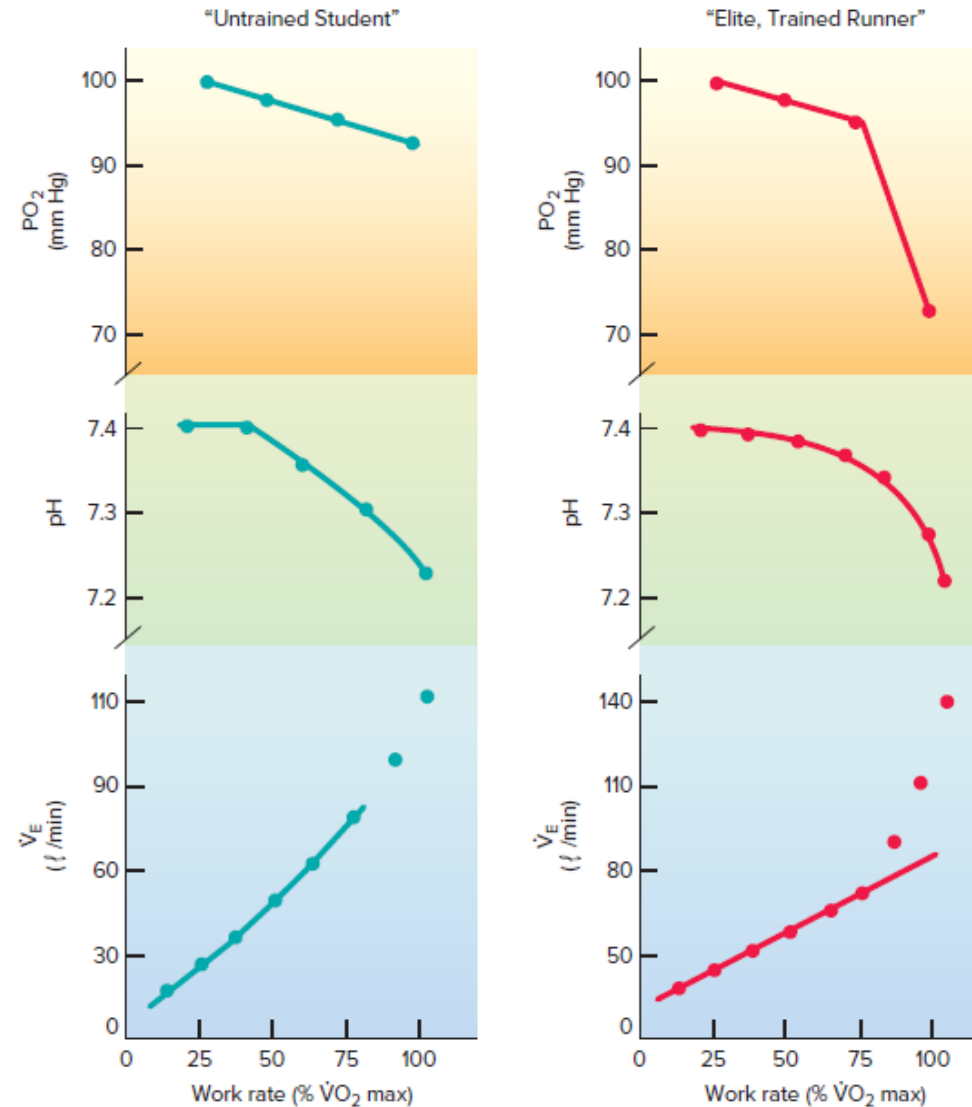
# Réponse ventilatoire avec intensité de l'exercice



*Ventilatory threshold:*

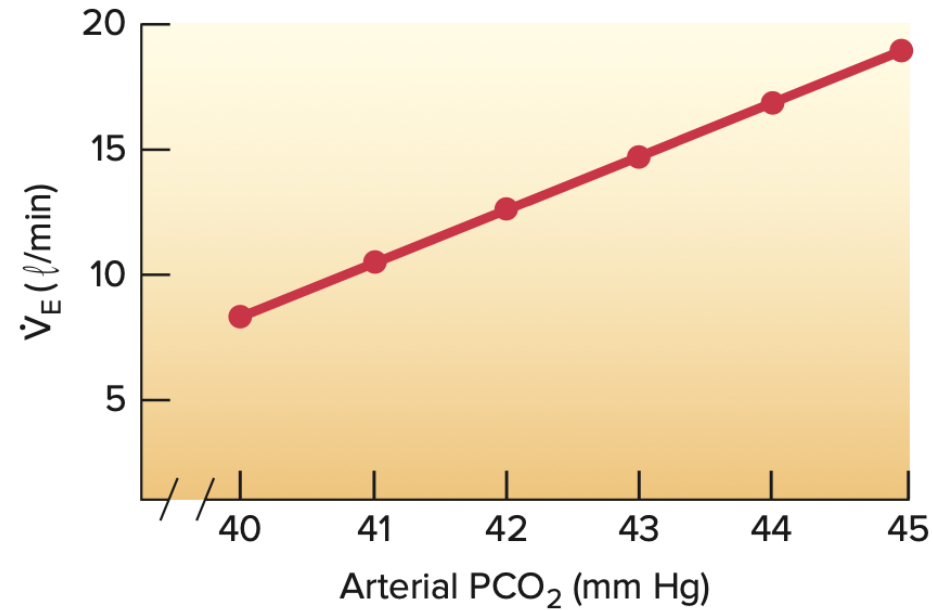
- Linear  $\rightarrow$  exponential ventilation
- Possible factors:
  - *pH*
  - *K<sup>+</sup>*
  - *Temperature*
  - *Catecholamines*
  - *Neural control*

# Réponse ventilatoire avec intensité de l'exercice



Possible chez certains athlètes d'élite

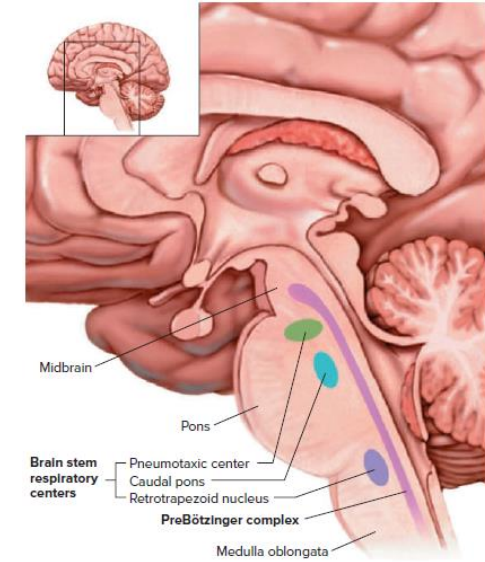
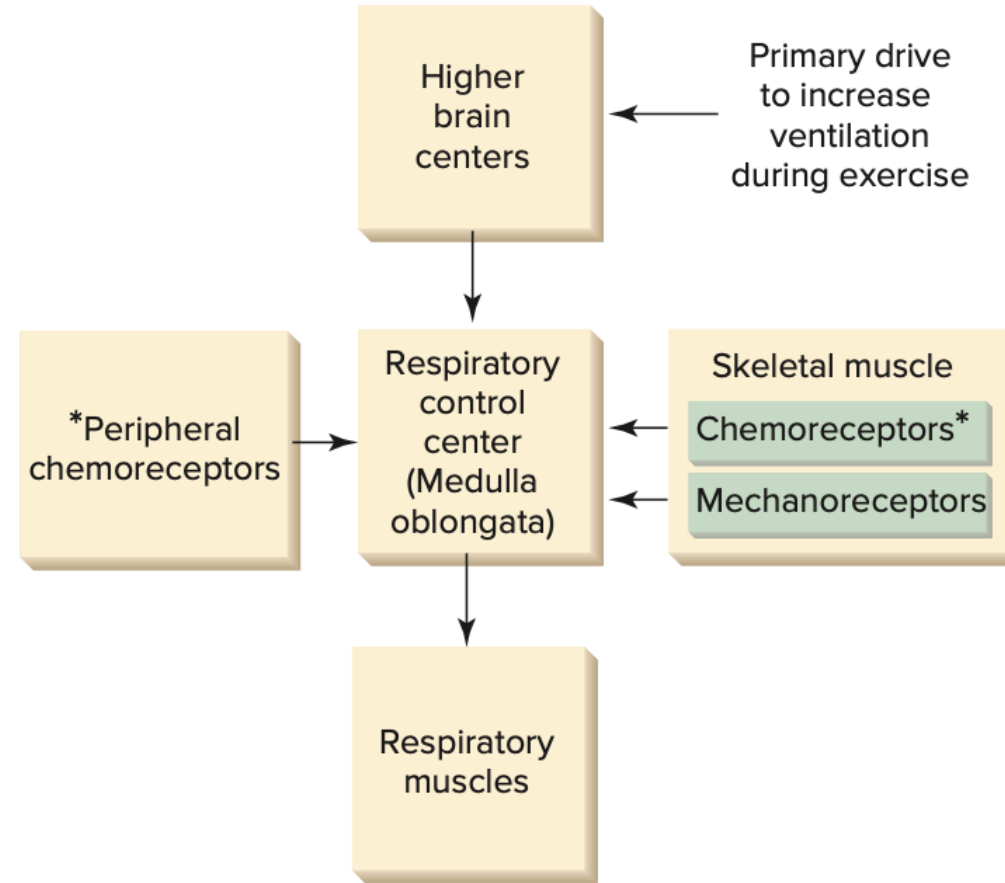
# Changement de la ventilation avec PaCO<sub>2</sub>



↑ **ventilation minute (VE)** est proportionnelle à la hausse de **PCO<sub>2</sub>** dans le sang artériel : **une augmentation de 1 mmHg de PCO<sub>2</sub> entraîne une augmentation de 2 L/min de VE.**

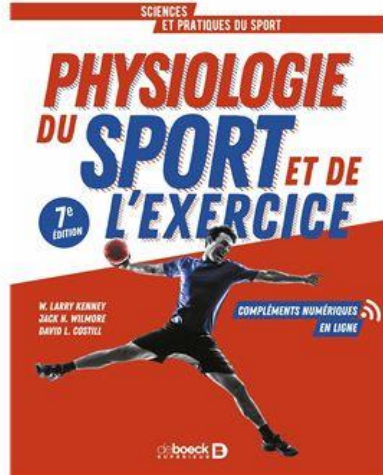
Cette réponse est due à la stimulation conjointe des **chémorécepteurs centraux et périphériques.**

# Contrôle de la ventilation avec l'exercice sous-maximal

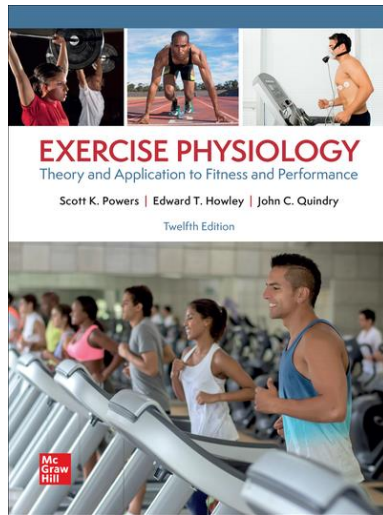


\* Act to fine-tune ventilation during exercise

# Principales références bibliographiques



- Wilmore, Costill, Groussard, Kenney, Zouhal, & Delamarche. (2021). *Physiologie du sport et de l'exercice*. De Boeck Supérieur.



- Powers, Scott K, and Edward T. Howley. (2024). *Exercise Physiology: Theory and Application to Fitness and Performance*. McGraw-Hill Education.

Merci de votre attention !

[ivo.neto@hug.ch](mailto:ivo.neto@hug.ch)

<https://orcid.org/0000-0002-7391-786X>