

UE3-2 - Physiologie – Physiologie Respiratoire

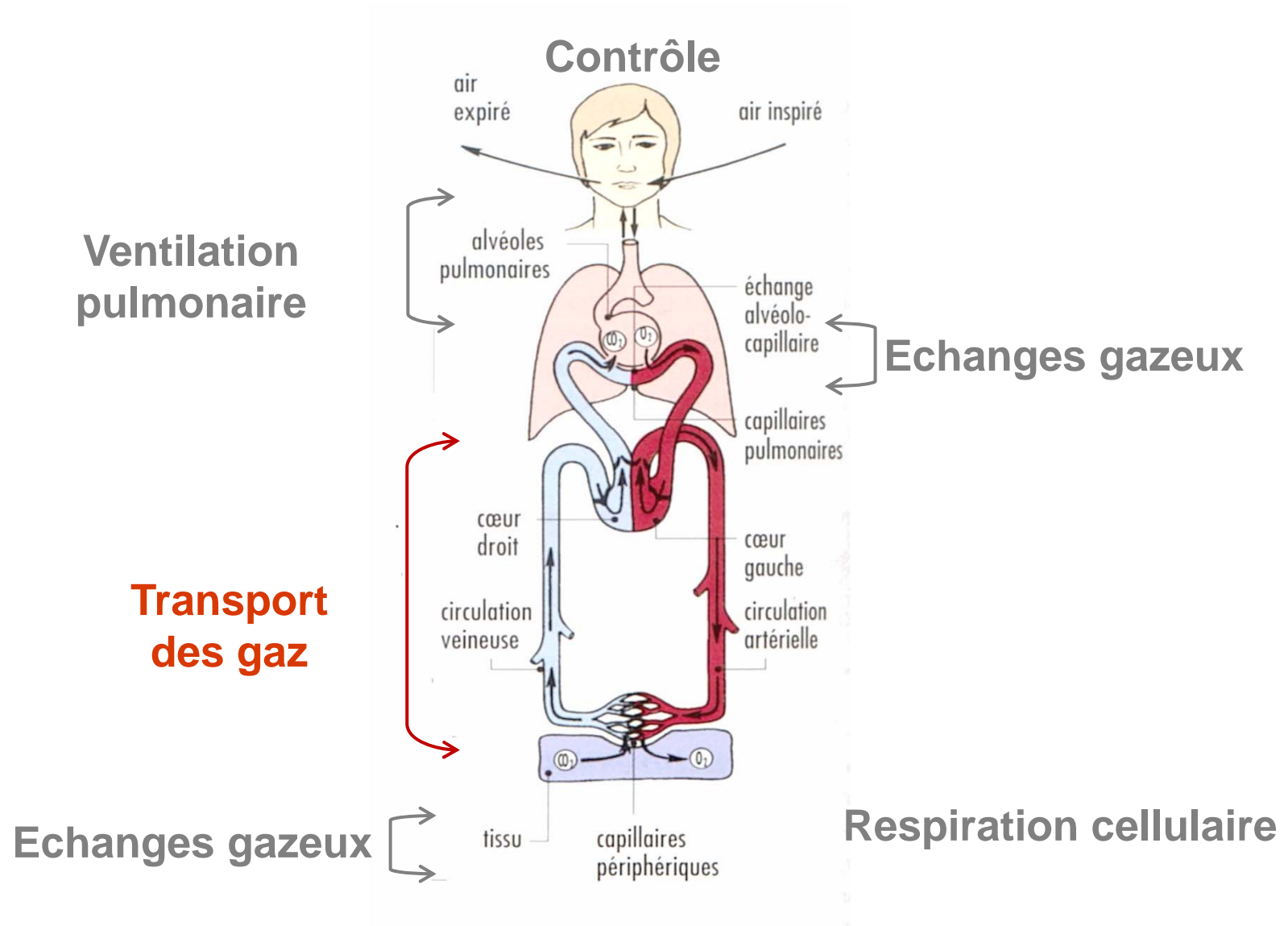
Chapitre 9 : Transport des gaz dans le sang

Docteur Sandrine LAUNOIS-ROLLINAT

Année universitaire 2011/2012

Université Joseph Fourier de Grenoble - Tous droits réservés.

Transport des gaz dans le sang



Transport des gaz dans le sang

- Généralités
- Structure et propriétés de l'hémoglobine
- Transport de l'oxygène
- Transport du CO₂
- Interactions

Transport des gaz dans le sang

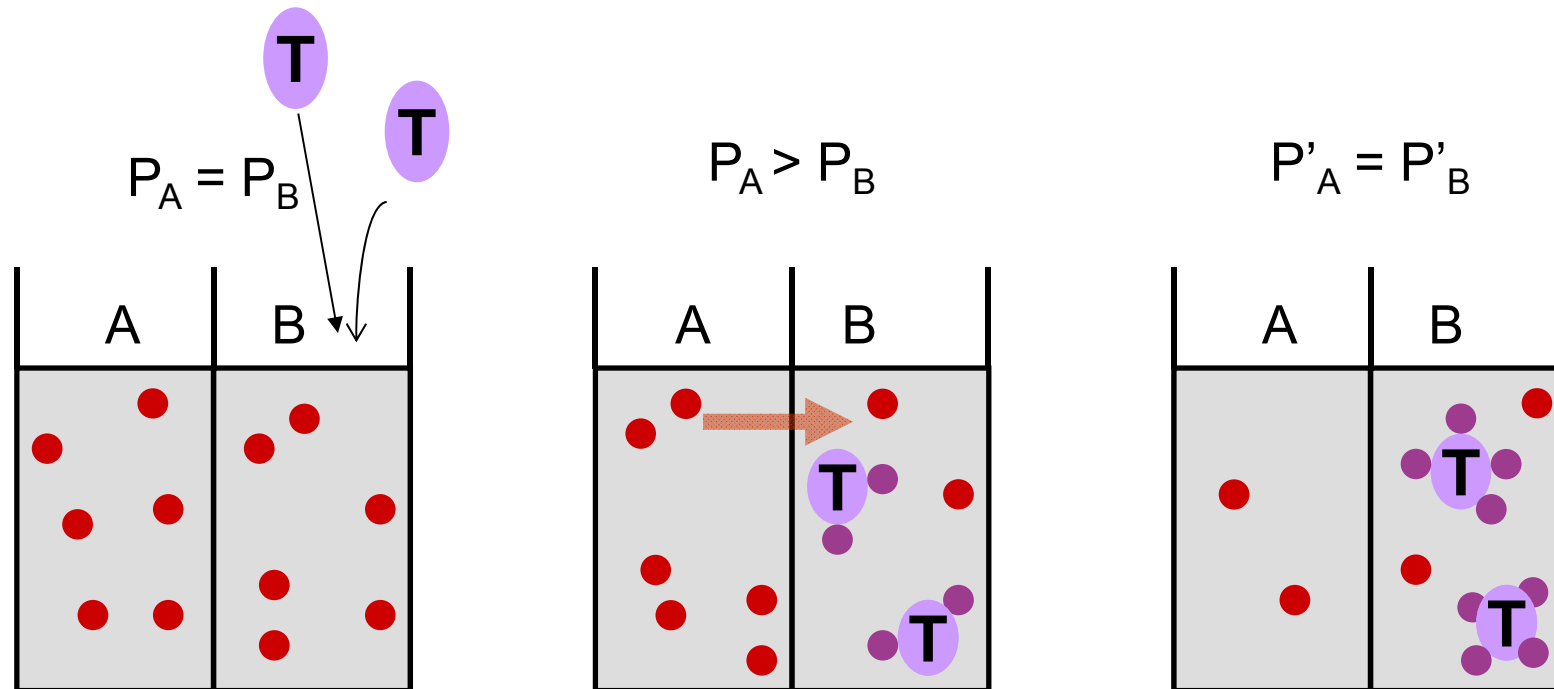
- L'O₂ et le CO₂ sont transportés par la circulation sanguine
 - des poumons vers les tissus
 - des tissus vers les poumons
- Le sang fixe l'O₂ et le CO₂
 - de manière **réversible**
 - sous l'influence d'un **gradient de pression partielle**

Transport des gaz dans le sang

- **Gaz** transportés en milieu **liquide** (plasma, cytoplasme du GR)
- Dans un liquide, un gaz peut être présent sous 2 formes:
 - **dissoute**
 - **combinée** à un transporteur ou après réaction chimique
- Seule la **fraction dissoute** du gaz participe à la pression partielle

Transport des gaz dans le sang

Seule la **fraction dissoute** du gaz participe à la pression partielle



- Molécule de gaz f. dissoute
- Molécule de gaz f. combinée
- Molécule du transporteur

Transport des gaz dans le sang

- Le volume de gaz dissous dans un liquide est déterminé par
 - la **pression partielle** du gaz
 - son coefficient de **solubilité**
 - la température du liquide
- Loi de dissolution ou loi de Henry

$$V_{\text{gaz}} = S_{\text{gaz}} \cdot \frac{P_{\text{gaz}}}{P_{\text{atm}}}$$

Transport des gaz dans le sang

- Transport de l'**oxygène**
 - essentiellement forme combinée, lié à l'hémoglobine dans les GR (97%)
 - faible quantité dissoute dans le plasma et le cytoplasme des GR (3%)
- Transport du **gaz carbonique**
 - sous forme dissoute dans le plasma et le cytoplasme des GR (5-10%)
 - sous forme combinée:
 - après réaction chimique: bicarbonates dans le plasma (60-65%)
 - lié à l'hémoglobine dans les GR (30%)

Transport des gaz dans le sang

- Généralités
- **Structure et propriétés de l'hémoglobine**
- Transport de l'oxygène
- Transport du CO₂
- Interactions

L'hémoglobine

- L'hémoglobine (Hb) est un pigment respiratoire présent exclusivement dans les GR
- Protéine transporteuse
 - **fixation** réversible et instable d'un ligand (ex. O_2) sur une site de fixation
 - **affinité** protéine-ligand plus grande au départ qu'à l'arrivée

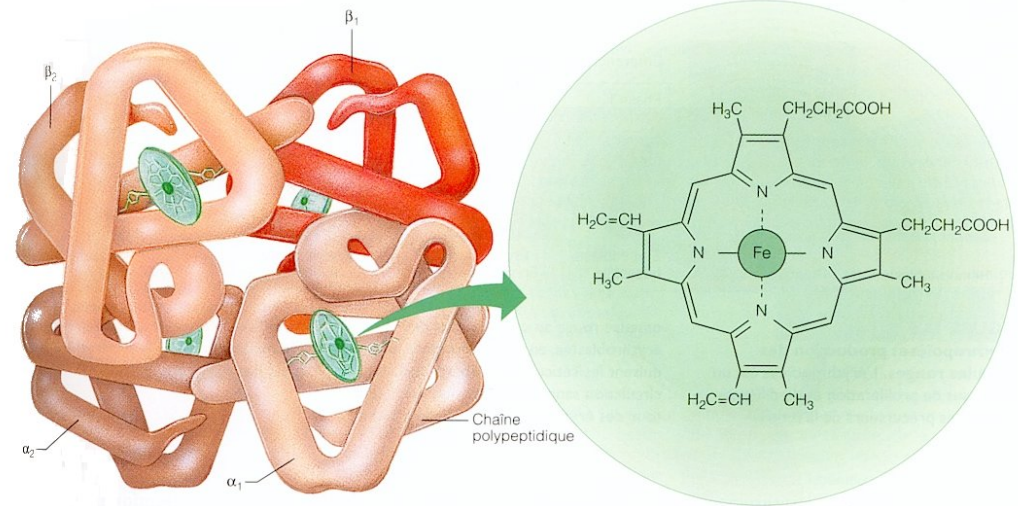


Ligands de l'Hb

O_2
 CO_2
 H^+
CO
2,3 DPG

L'hémoglobine

- 1 molécules = 4 chaînes polypeptidiques avec un groupement hème au centre qui comprend
 - 1 noyau porphyrine
 - 1 atome de fer qui peut fixer 1 molécule d'O₂



Hémoglobine

Groupement hème avec
1 atome de Fe
au centre

L'hémoglobine

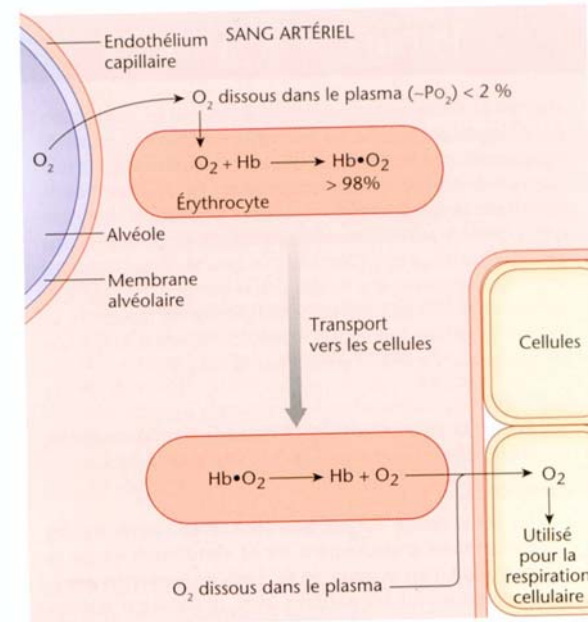
- Chaque chaîne est codée par 9 gènes différents
 - formes différentes de Hb (ex HbA₁ = $\alpha_2\beta_2$; HbF = $\alpha_2\gamma_2$)
 - mutation d'un acide aminé sur une chaîne (120 Hb anormales répertoriées chez l'adulte)
- Fer
 - Peut fixer O₂ s'il est sous **forme divalente (Fe⁺⁺)**
 - Ne peut pas fixer O₂ s'il est sous forme trivalente (HbFe⁺⁺⁺ = méthémoglobine)
- L'Hb peut fixer différents gaz
 - affinité + pour le CO₂
 - affinité +++ pour l'O₂
 - affinité +++++ pour le monoxyde de carbone (CO)

Plan

- Généralités
- Structure et propriétés de l'hémoglobine
- **Transport de l'oxygène**
- Transport du CO₂
- Interactions

Transport de l'oxygène

- L'oxygène est transporté
 - dans le **plasma**
 - sous forme **dissoute**
 - aspect qualitatif ++
 - dans les **hématies**
 - sous forme **dissoute**
 - sous forme **combinée** à l'Hb
 - aspect quantitatif ++



D'après référence 8

- Contenu du sang en O₂ = [O₂dissous] + [O₂combiné]
- Proportionnel à PO₂

Transport de l'oxygène

- **O₂ dissous**
 - forme de passage obligatoire qui permet la diffusion pour les échanges gazeux
 - S_{O₂} = 0,023 ml d'O₂ / ml de sang à 37°C

$$V_{O_2} = S_{O_2} \cdot \frac{P_{O_2}}{P_{atm}}$$

→ relation **linéaire** avec la PO₂

Transport de l'oxygène

- O₂ dissous
 - pour PaO₂ = 13 kPa (100 mmHg)
 - Volume d'O₂ dissous
 - = 0,003 ml/ml de sang artériel
 - = 0,3 ml/100 ml sang artériel
- Consommation d'O₂ ≈ 300 ml/min
 - Insuffisant pour oxygéner les tissus correctement

Transport de l'oxygène

- O₂ sous forme combinée
 - forme principale de transport
 - $4\text{O}_2 + \text{Hb}_4 \rightleftharpoons \text{Hb}(\text{O}_2)_4 \dots\dots\dots \text{O}_2 + \text{Hb} \rightleftharpoons \text{HbO}_2$
 - Pouvoir oxyphorique:
 - 1g d'Hb fixe 1,39 ml d'O₂ en théorie
 - 1g d'Hb fixe $\approx 1,34$ ml d'O₂ en conditions réelles (hémoglobines anormales)
 - [Hb] normale = 15 g/100 ml de sang

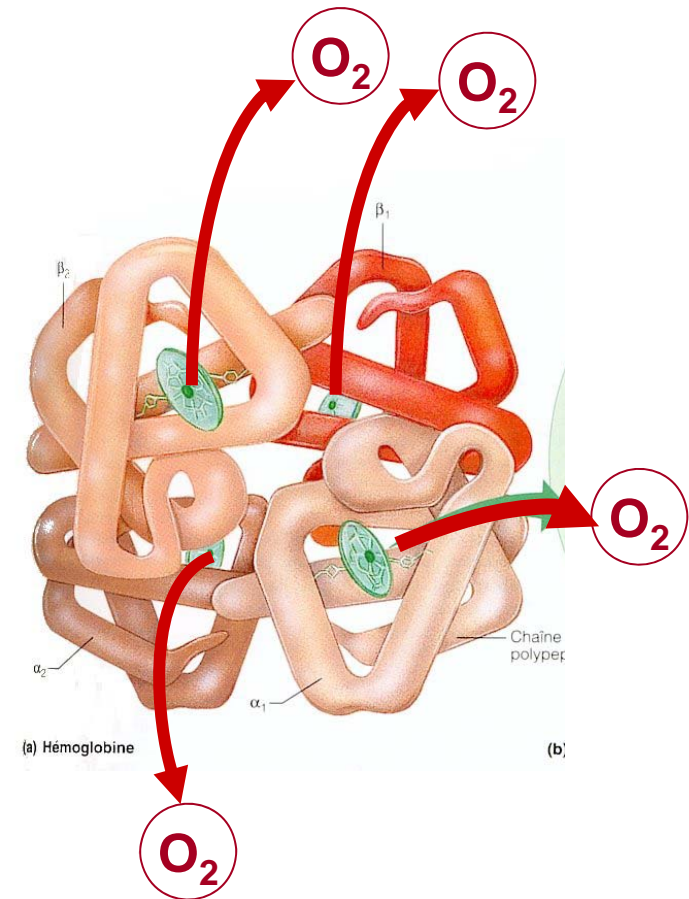
Transport de l'oxygène

- Contenu **maximal** du sang en O_2
= $[Hb] * 1,39 + [O_2 \text{ dissous}]$

= **20,85** + 0,3 = 21,15 ml O_2 /100 ml de sang artériel
(pour $P_{aO_2} = 13 \text{ kPa}$)
- Le contenu total du sang en O_2 dépend principalement de la forme **combinée** de l' O_2

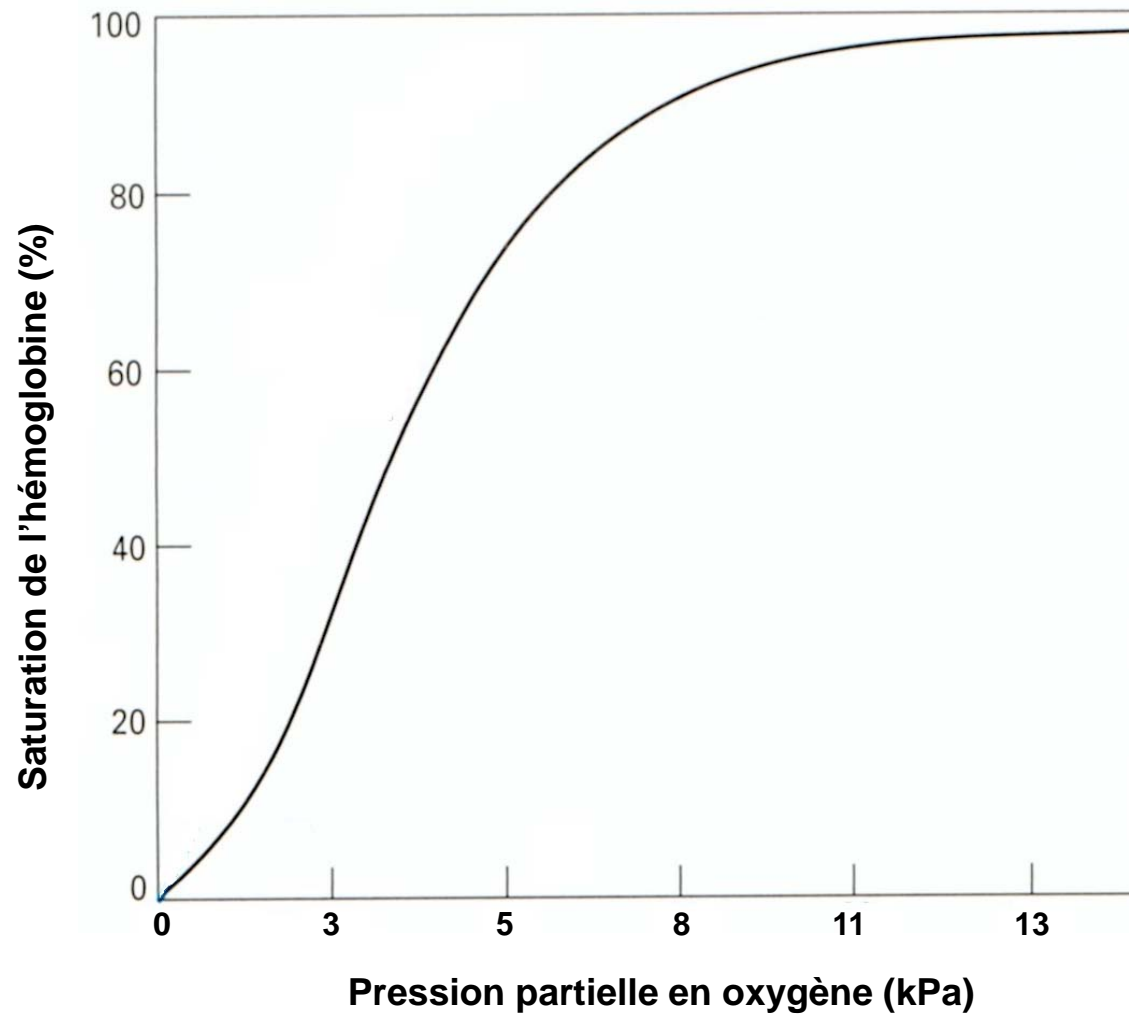
Transport des gaz dans le sang

- 1 molécule d'Hb = 4 chaînes comprenant un atome de fer qui fixe l'O₂
- 1 molécule d'Hb peut fixer de 0 à 4 molécules d'O₂
- La capacité *maximale* n'est pas atteinte systématiquement
- Saturation de l'Hb en O₂ = SaO₂
SaO₂ = (quantité d'O₂ lié à l'Hb/quantité maximale) x 100



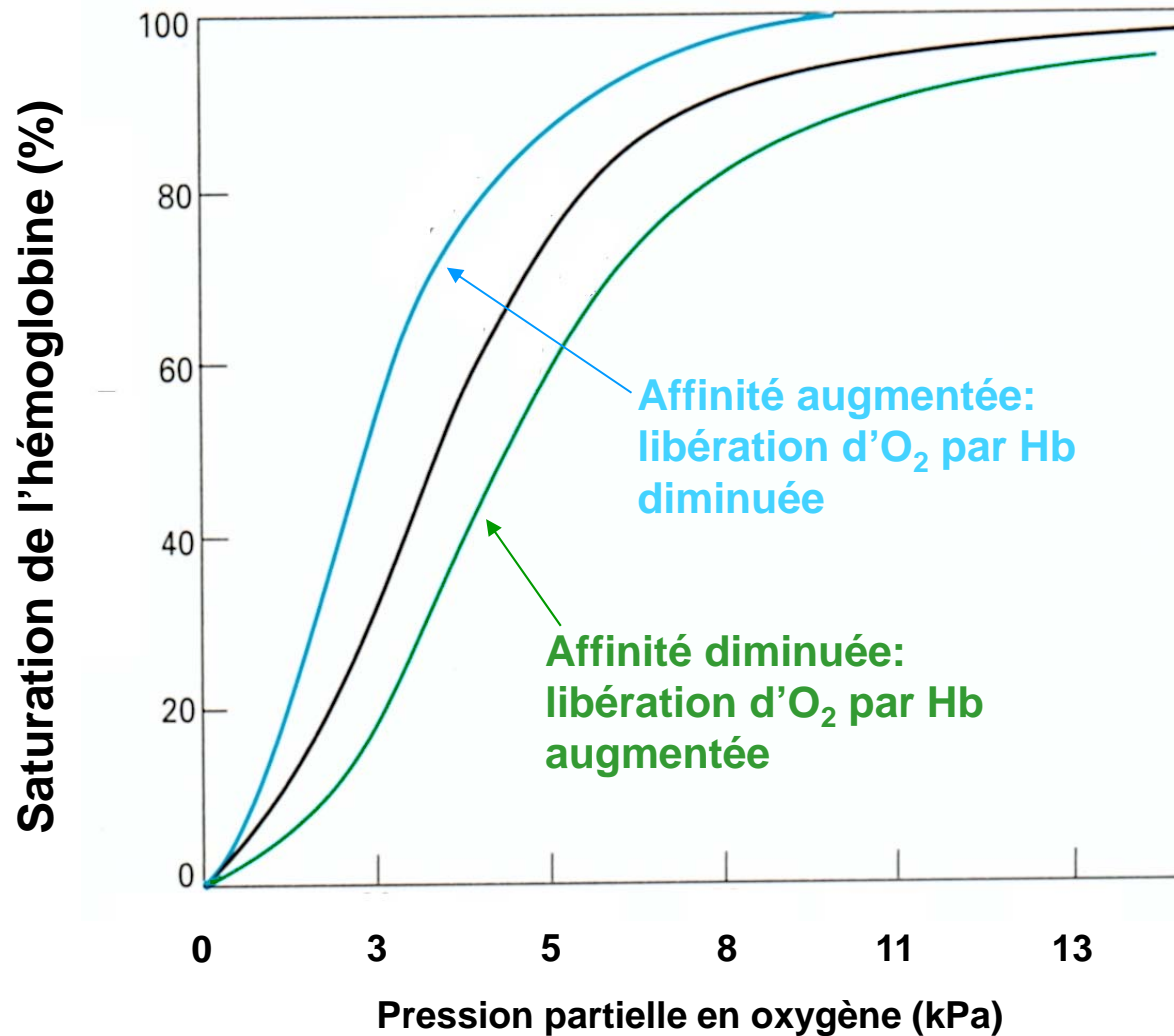
Transport de l'oxygène

Courbe de dissociation de l'oxyhémoglobine



Transport de l'oxygène

Modification de l'affinité de l'hémoglobine pour l'oxygène



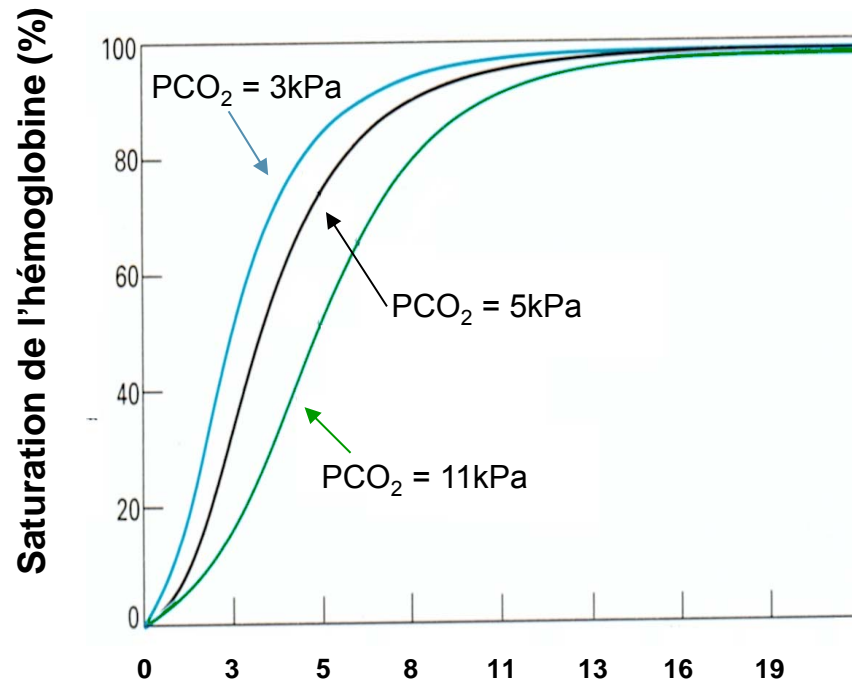
Transport de l'oxygène

- Facteurs physiologiques susceptibles de modifier l'affinité de l'Hb adulte normale pour l'O₂
 - pH, quelque soit l'origine de la variation
 - CO₂, par l'intermédiaire du pH et par sa présence propre
 - température tissulaire
 - concentration de 2,3 Diphosphoglycérates (DPG, métabolite de la glycolyse dans les GR)
- Interactions entre ces facteurs pour optimiser les échanges respiratoires
 - Favoriser la libération des molécules d'O₂ dans les capillaires tissulaires
 - Favoriser la fixation des molécules d'O₂ dans les capillaires pulmonaires

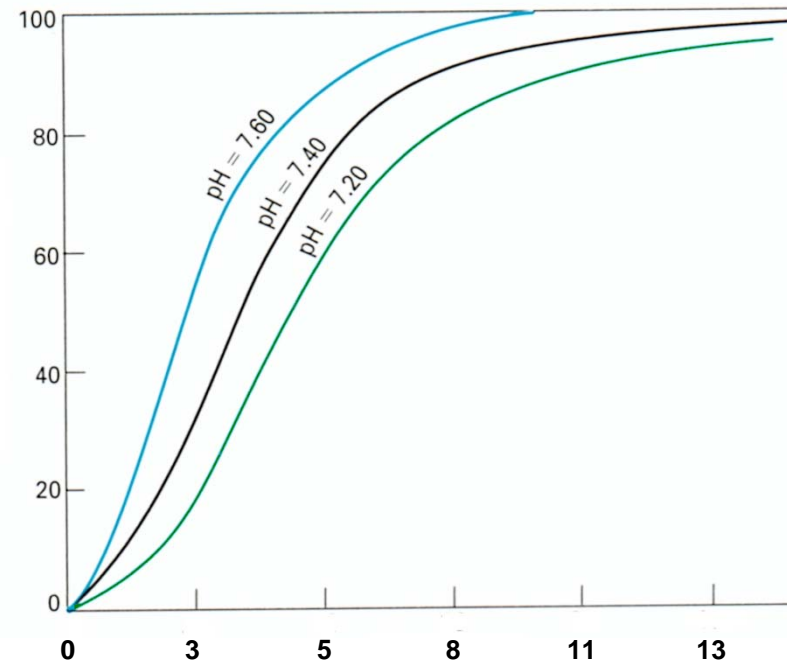
Transport de l'oxygène

Modification de l'affinité de l'hémoglobine pour l'oxygène

par le CO_2



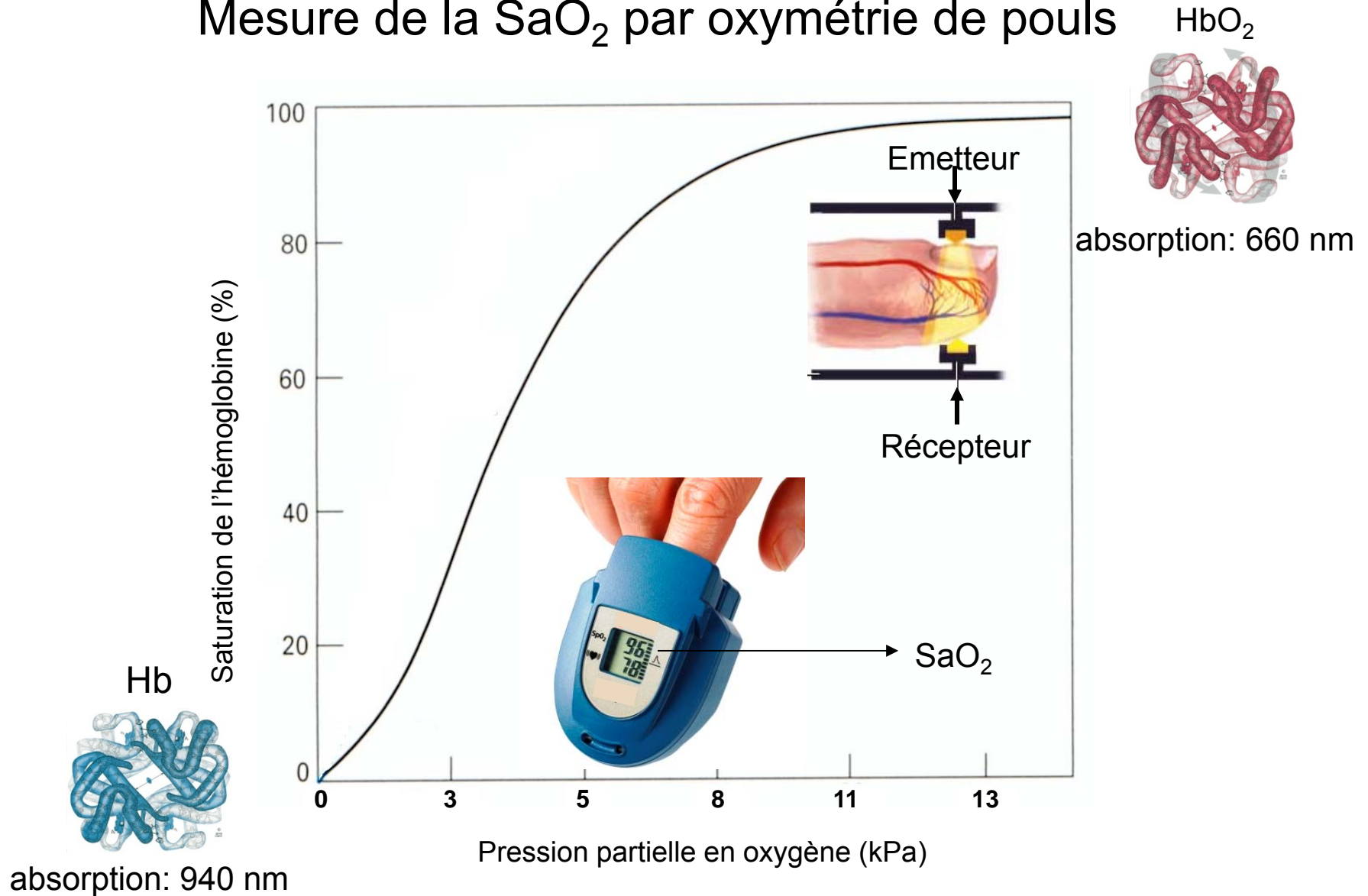
par le pH



Pression partielle en oxygène (kPa)

Transport de l'oxygène

Mesure de la SaO_2 par oxymétrie de pouls

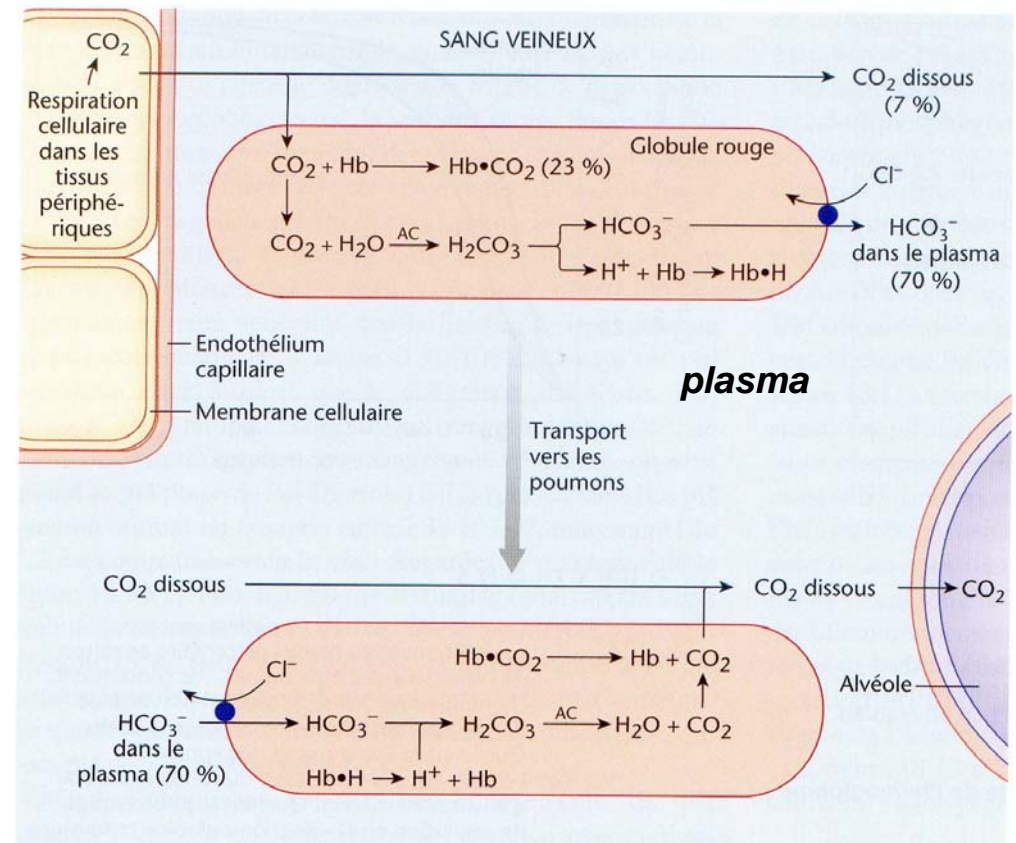


Plan

- Généralités
- Structure et propriétés de l'hémoglobine
- Transport de l'oxygène
- **Transport du CO₂**
- Interactions

Transport du CO₂

- Le gaz carbonique est transporté
 - dans le **plasma** (70%)
 - sous forme dissoute
 - sous forme combinée après réaction chimique
 - dans les **hématies** (30%)
 - sous forme dissoute
 - sous forme combinée à Hb
 - sous forme combinée après réaction chimique



Transport du CO₂

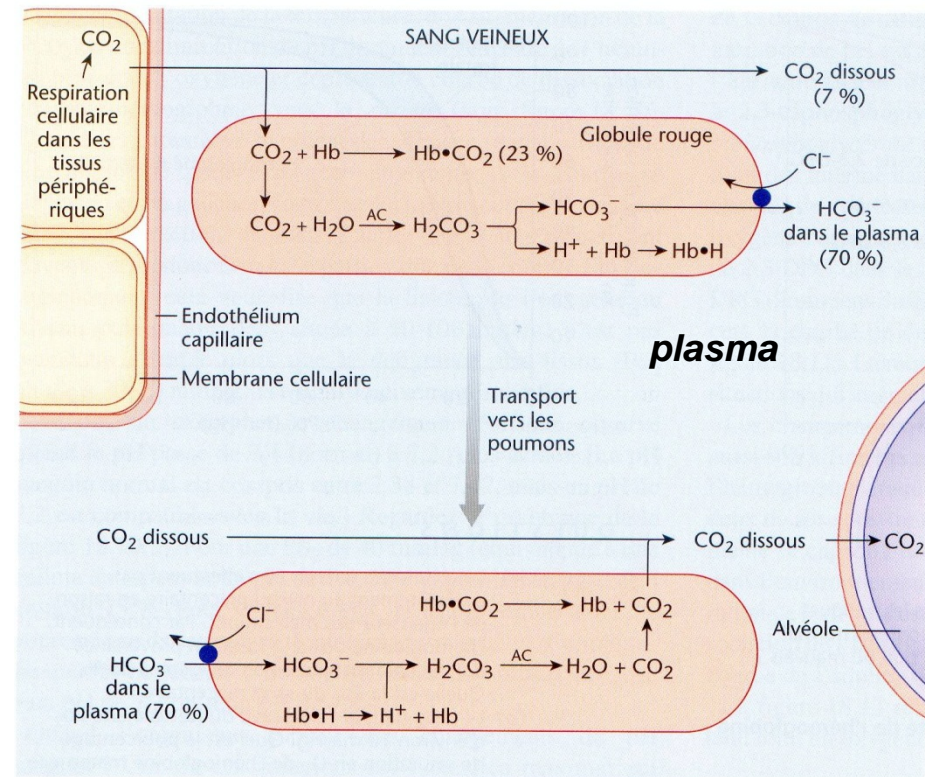
- CO₂ dissous
 - plasma, cytoplasme intra-érythrocytaire
 - quantitativement, faible fraction du CO₂ total
 - qualitativement importante, forme de passage obligée pour les échanges par diffusion
 - $S_{\text{CO}_2} = 0,58 \text{ ml de CO}_2 / \text{ml de sang à } 37^\circ\text{C}$

Transport du CO₂

- CO₂ combiné après réaction chimique:

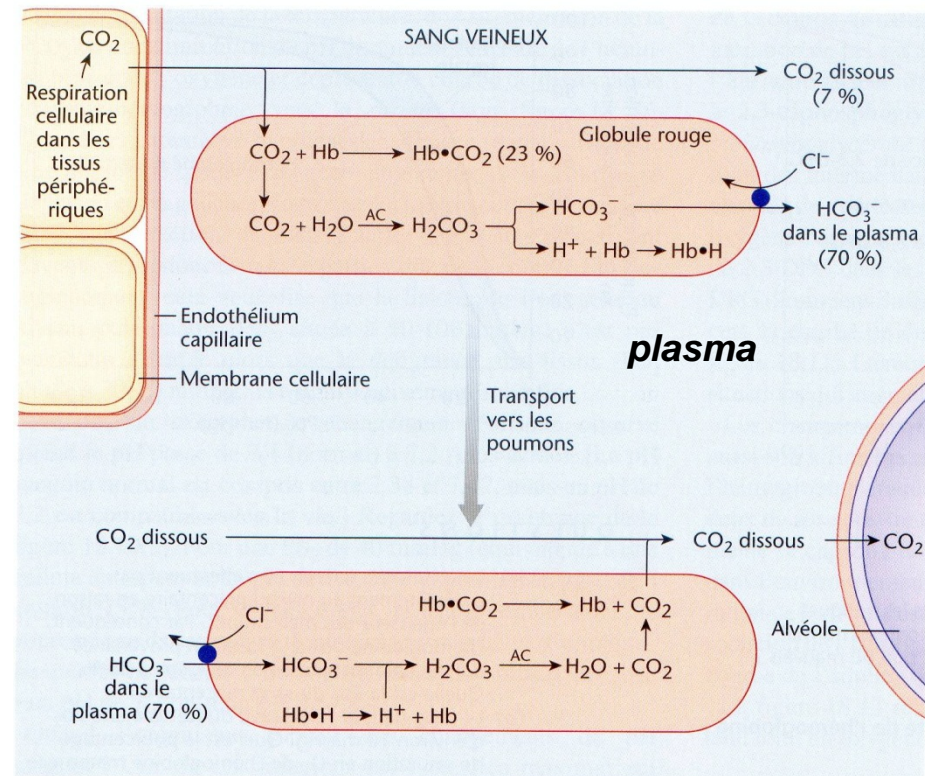


- Réaction lente en l'absence d'enzyme, très rapide en présence d'anhydrase carbonique
- Pas d'anhydrase carbonique dans le plasma, abondante dans les GR



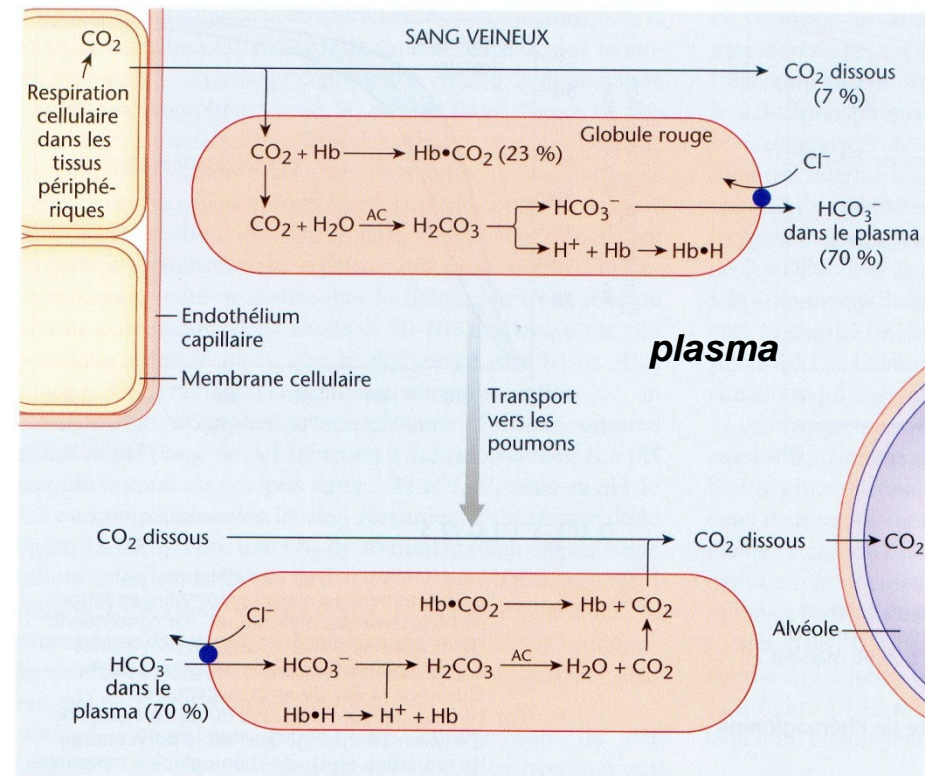
Transport du CO₂

- CO₂ combiné après réaction chimique:
 - Dans le cytoplasme des GR
 - Production ++ d'ions HCO₃⁻
 - qui sortent du GR, avec échange avec ions Cl⁻ (effet Hamburger)
 - Donc peu d' HCO₃⁻ dans les GR
 - Les ions H⁺ sont tamponnés par Hb
 - Dans le plasma
 - Les ions HCO₃⁻ sont abondants++



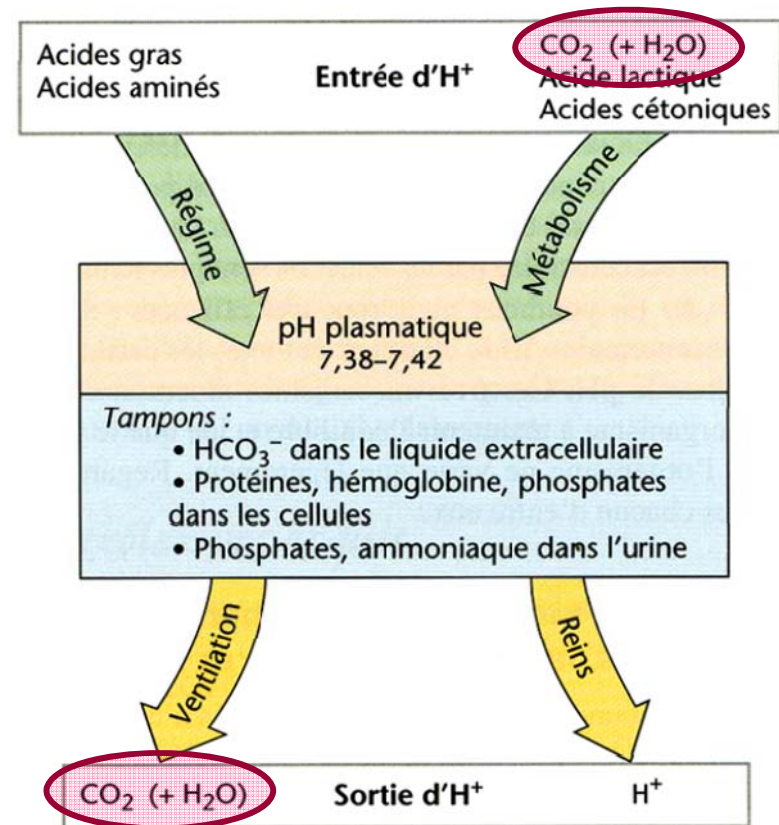
Transport du CO₂

- CO₂ combiné à l'hémoglobine
 - Dans le cytoplasme des GR, le CO₂ se fixe sur l'hémoglobine = hémoglobine carbaminée
 - Site de fixation différent du site de fixation de l'O₂
 - 30% du transport du CO₂



Transport du CO₂

- Le pH (« potentiel Hydrogène ») mesure la concentration d'ions H⁺
- Equilibre acido-basique essentiel au fonctionnement correct de l'organisme
- Adaptation de l'organisme aux variations de pH par
 - systèmes tampons (intra- et extra-cellulaires)
 - rein
 - appareil respiratoire (ventilation, PaCO₂):
$$\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{CO}_3\text{H}_2 \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$$



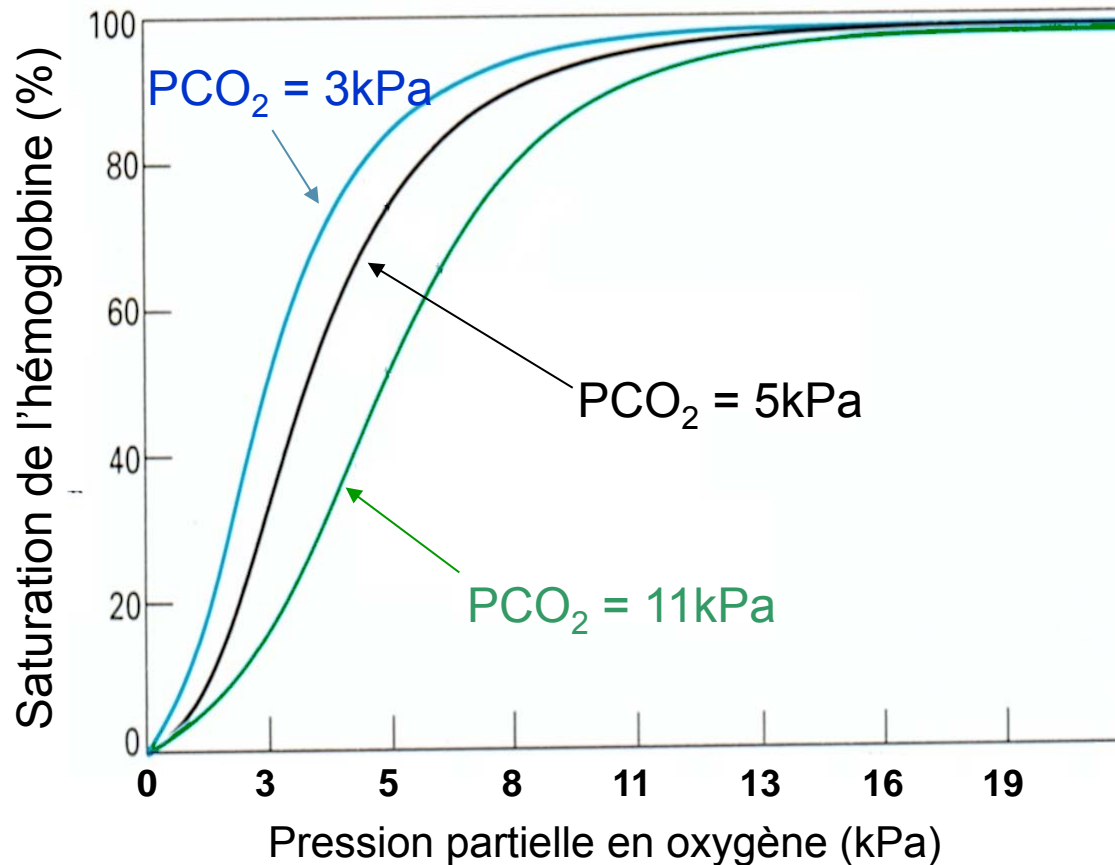
Plan

- Généralités
- Structure et propriétés de l'hémoglobine
- Transport de l'oxygène
- Transport du CO₂
- **Interactions**

Interactions

Effet Bohr: la PCO_2 influence la fixation de l' O_2 sur l'Hb

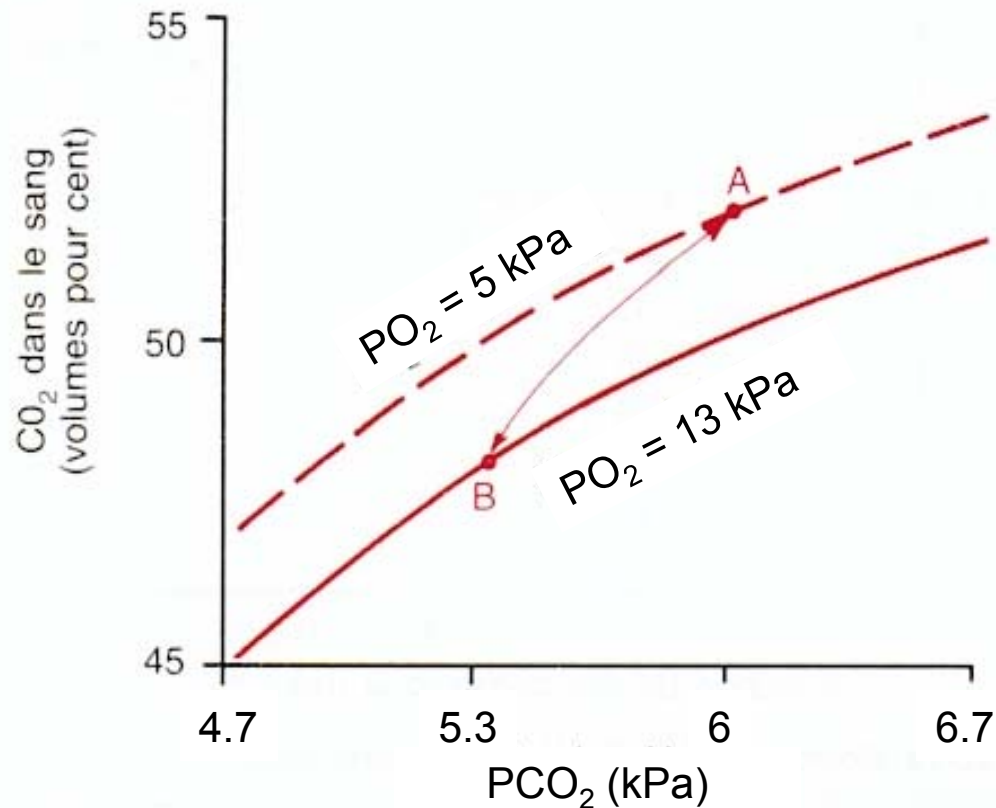
Pour une même PO_2 , l'hémoglobine fixe plus d' O_2 si PCO_2 basse
(situation dans les capillaires pulmonaires)



Interactions

Effet Haldane: la PO_2 influence la fixation du CO_2 sur l'Hb

Pour une même PCO_2 , l'hémoglobine fixe plus de CO_2 si PO_2 basse (situation dans les capillaires tissulaires)



Conclusions

- L'étape du transport des gaz dans le sang dépend de multiples facteurs
- **Interactions** permettant d'optimiser la capture et la libération de l'O₂ et du CO₂
- Importance du transport du CO₂ dans l'**équilibre acido-basique** (cf cours P. Lévy)

Références iconographiques

LIVRES				
n° référence	titre de l'ouvrage	auteur	éditeur	année
1	Manuel d'anatomie et de physiologie	SH N'Guyen	Lamarre	1999
2	Atlas d'anatomie humaine	FH Netter	Maloine	1997
3	L'essentiel en physiologie respiratoire	Ch Préfaut	Sauramps Médical	1986
4	Précis de physiologie médicale	AC Guyton	Piccin	1991
5	Pulmonary physiology	MG Lewitsky	McGrawHill	2003
6	Pulmonary physiology and pathophysiology	JB West	Lippincott Williams & Wilkins	2001
7	Physiologie de la respiration	JH Comroe	Masson	1978
8	Physiologie humaine	DU Silverthorn	Pearson Education France	2007
SITES WEB				
n° référence	url			dernière visite
web1	http://depts.washington.edu/envh/lung.html			10 2010
web2	http://www.meddean.luc.edu/lumen/MedEd/Histo/frames/h_fram15.html			10 2010
web3	https://casweb.ou.edu/pbell/histology/Outline/lung.html			10 2010
web4	http://w3.ouhsc.edu/histology/			10 2010

Mentions légales

L'ensemble de cette œuvre relève des législations française et internationale sur le droit d'auteur et la propriété intellectuelle, littéraire et artistique ou toute autre loi applicable.

Tous les droits de reproduction, adaptation, transformation, transcription ou traduction de tout ou partie sont réservés pour les textes ainsi que pour l'ensemble des documents iconographiques, photographiques, vidéos et sonores.

Cette œuvre est interdite à la vente ou à la location. Sa diffusion, duplication, mise à disposition du public (sous quelque forme ou support que ce soit), mise en réseau, partielles ou totales, sont strictement réservées à l'université Joseph Fourier (UJF) Grenoble 1 et ses affiliés.

L'utilisation de ce document est strictement réservée à l'usage privé des étudiants inscrits à l'Université Joseph Fourier (UJF) Grenoble 1, et non destinée à une utilisation collective, gratuite ou payante.