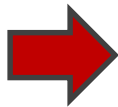


Cours Biochimie I

Leçon 8: Fonction des protéines: hémoglobine et anticorps

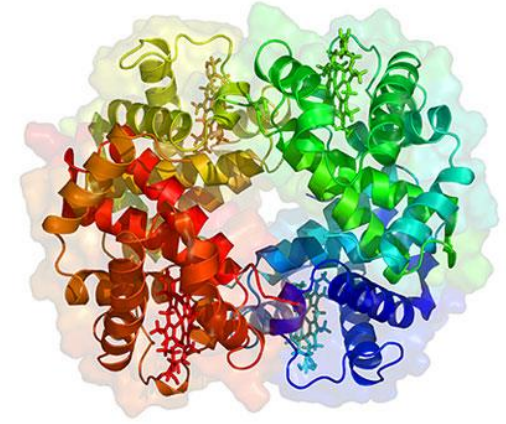


7	Exploration de l'Évolution	164-180 (6.1-6.5)
8	Portrait de haemoglobin / des anticorps	183-198 (7.1-7.4), 949-956 (33.1-33.3)
9	Enzymes: concepts de base et cinétique	205-227 (8.1-8.4, 8.5 premières 3 pages)
10	Enzymes: stratégies catalytiques	241-270 (9.1-9.4)
11	Lipides et membranes cellulaires / Les glucides	326-345 (12.1- 12.5), 303-315 (11.1, 11.2)
12	Modèle de DNA de Watson et Crick	vidéo
13	Métabolisme	409-429 (15.1- 15.4)

Christian Heinis

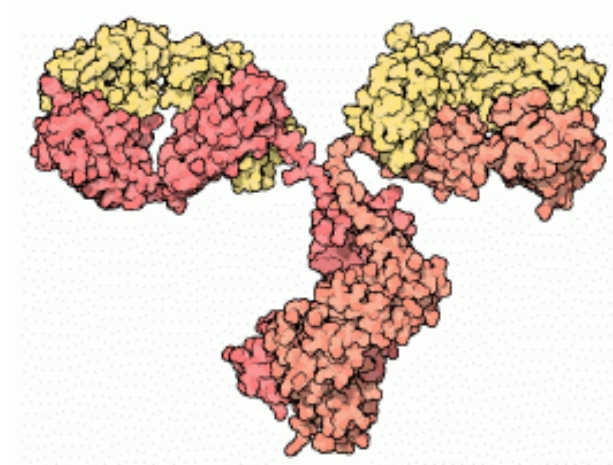
christian.heinis@epfl.ch, BCH 5305

Leçon 8



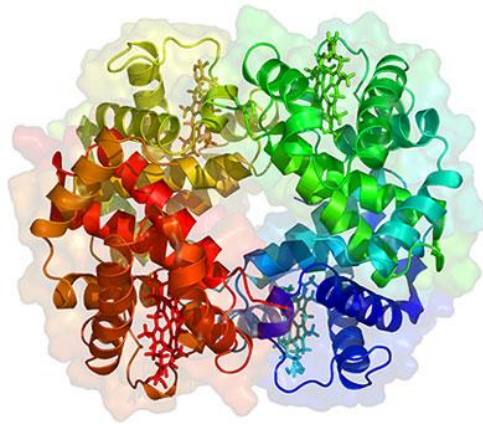
- Hémoglobine (et myoglobine)
 - Structure
 - Fixation d'oxygène et interactions coopératives
 - Mécanismes moléculaires pour la régulation de hémoglobine
 - Mutations dans l'hémoglobine

- Anticorps
 - Fixation d'antigène
 - Structure
 - Régions variables

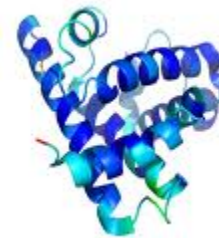


Hémoglobine et myoglobine

- L'hémoglobine et la myoglobine sont des protéines qui fixent l'oxygène
- L'oxygène est nécessaire pour la production d'énergie (la dégradation du glucose produit 15-fois plus d'énergie en présence d'oxygène)



Hémoglobine (transport de O_2)



Myoglobine (stockage de O_2)

Structure de l'hémoglobine et de la myoglobine

- L'hémoglobine (beta subunit) et la myoglobine ont la même structure
- Une seule chaîne polypeptidique, formant des hélices alpha
- La myoglobine est la première protéine où la structure tridimensionnelle a été déterminée (John Kendrew, 1950)

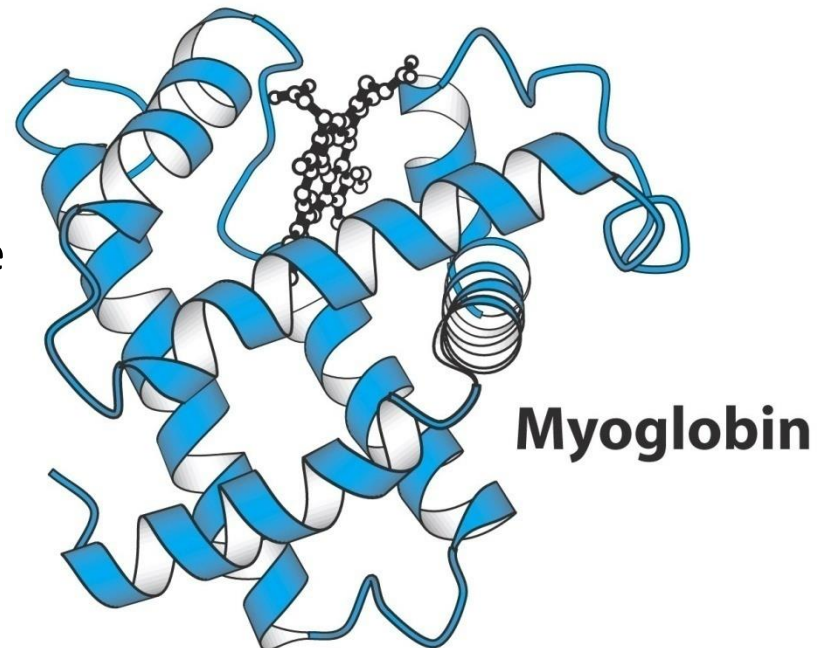
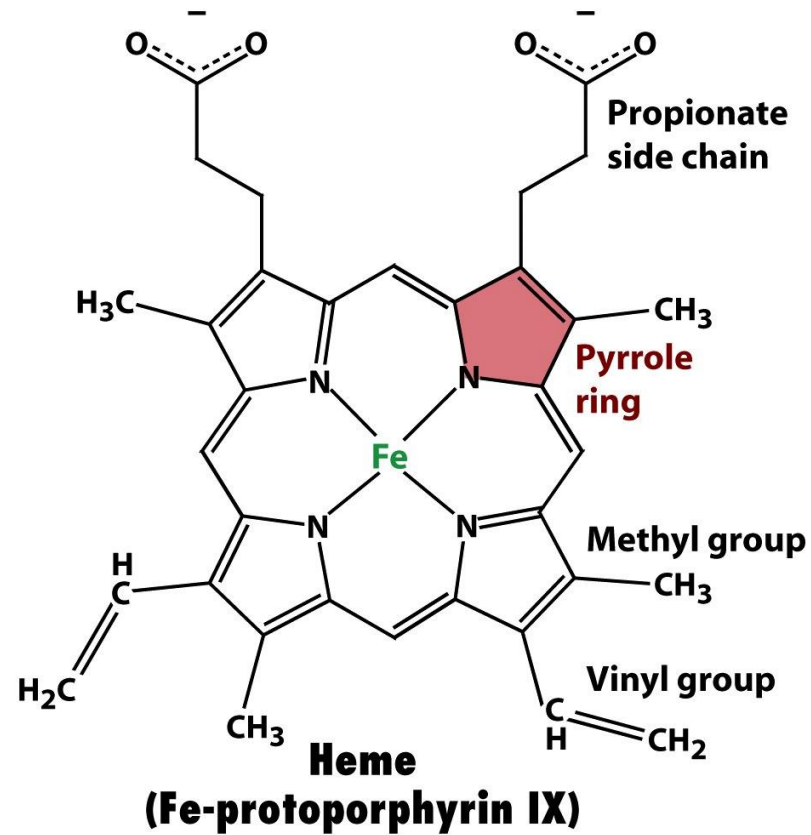


Figure 7-1
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W.H. Freeman and Company

Le hème (groupement prosthétique)

- Composant organique:
protoporphyrine
(4 cycles pyrroliques formant
un noyau tétrapyrrolique)
- Atome de fer au centre lié
aux quatre atomes d'azote
(l'état d'oxydation du fer: 2^+)



L'hémoglobine est trouvée dans les globules rouges



L'hème donne au sang
(globule rouge) sa couleur
rouge.

*Pourquoi est-ce que le
groupe hème est
nécessaire?*

L'atome de fer peut former deux liaisons supplémentaires

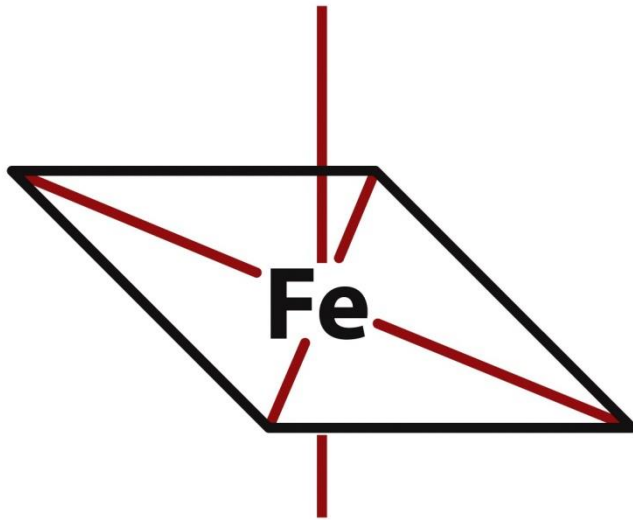


Figure 5-1d
Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

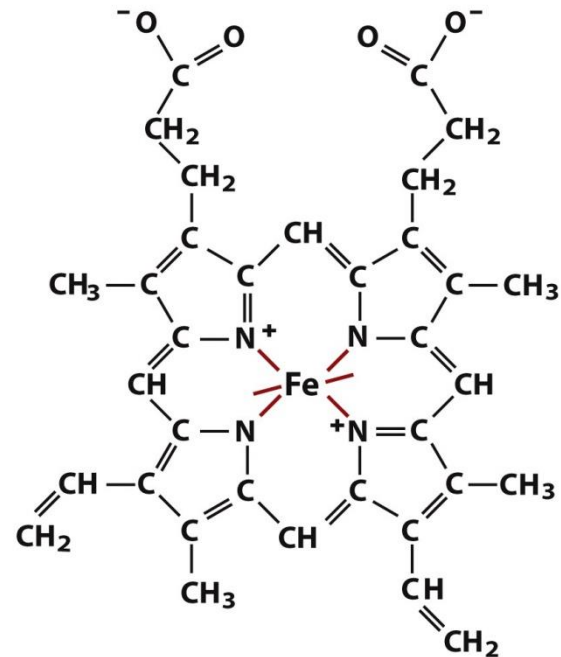


Figure 5-1b
Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

L'atome de fer peut former deux liaisons supplémentaires

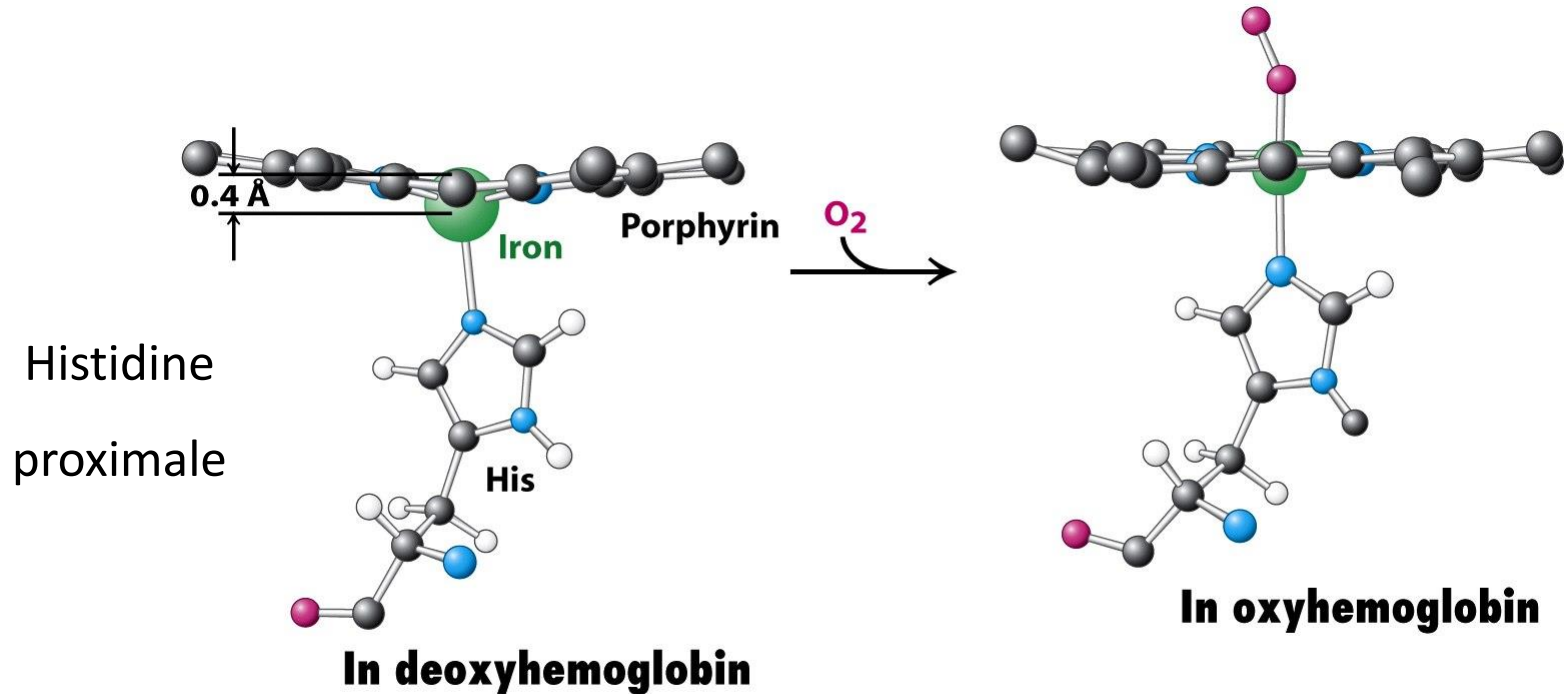
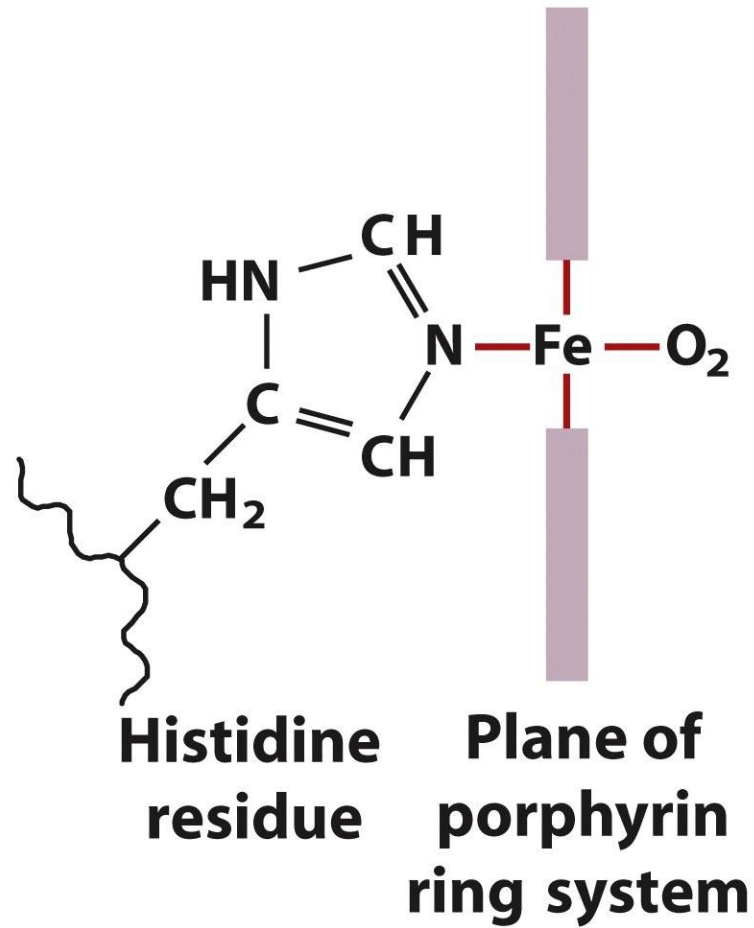


Figure 7-2
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W. H. Freeman and Company

La sixième position est disponible pour la fixation de l'oxygène

Vue latérale



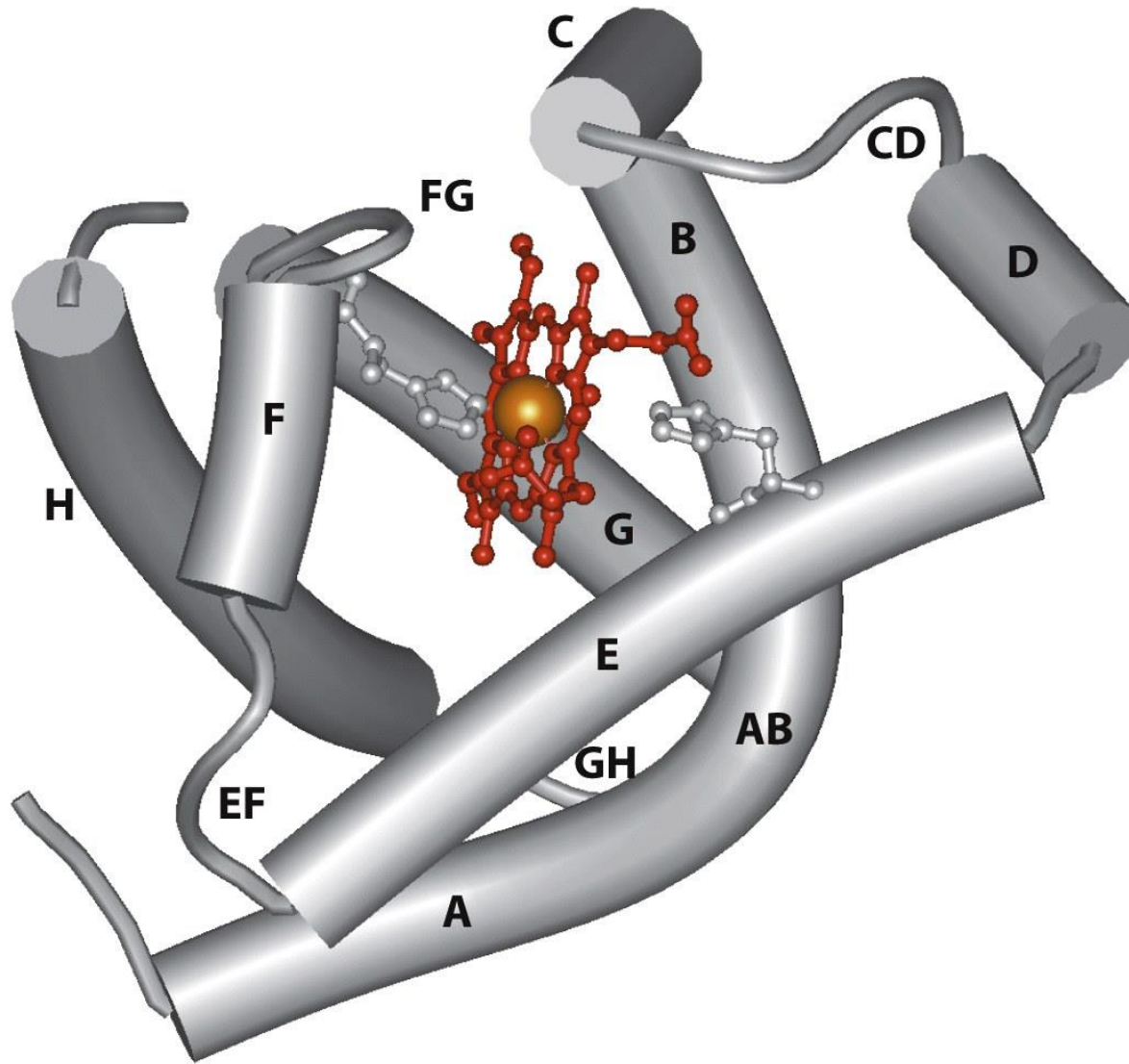
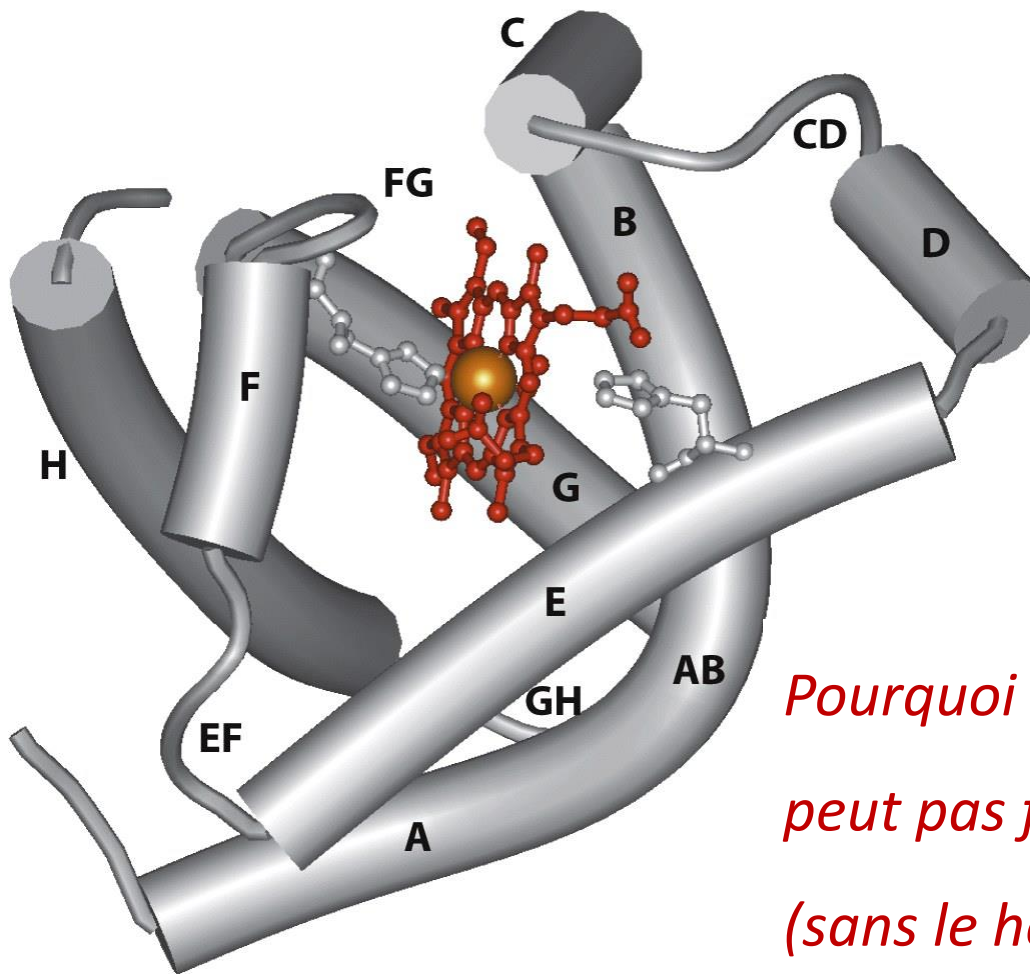


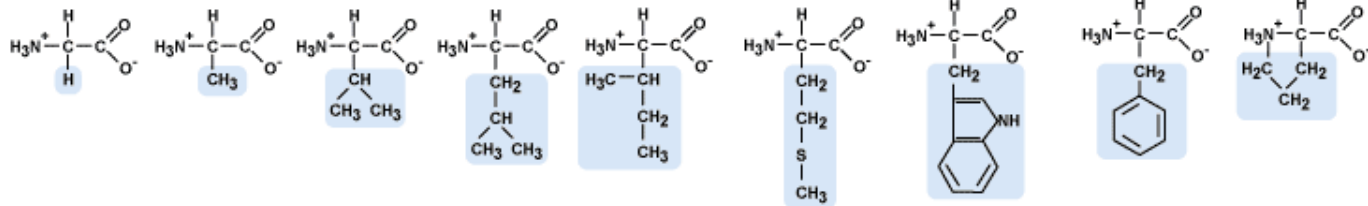
Figure 5-3
Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company



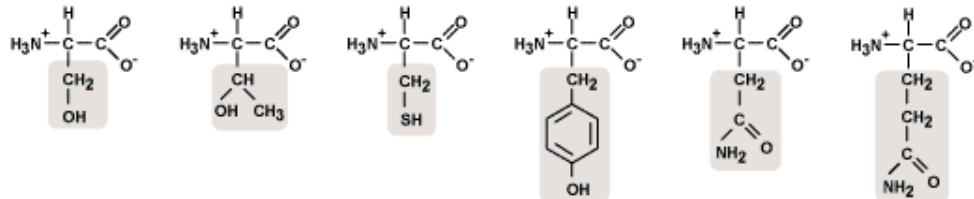
Pourquoi est-ce que l'hémoglobine ne peut pas fixer directement l'oxygène (sans le hème)?

Figure 5-3
Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

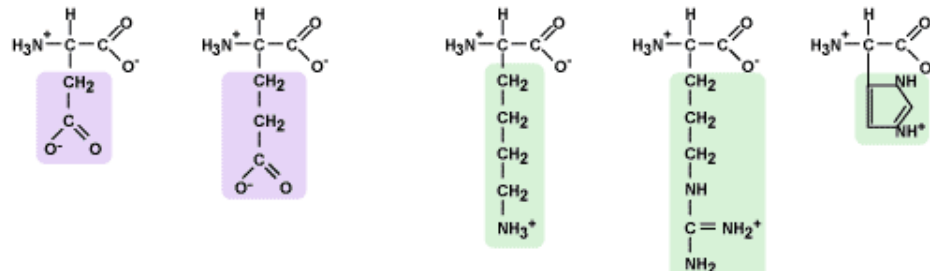
Fixation d'oxygène



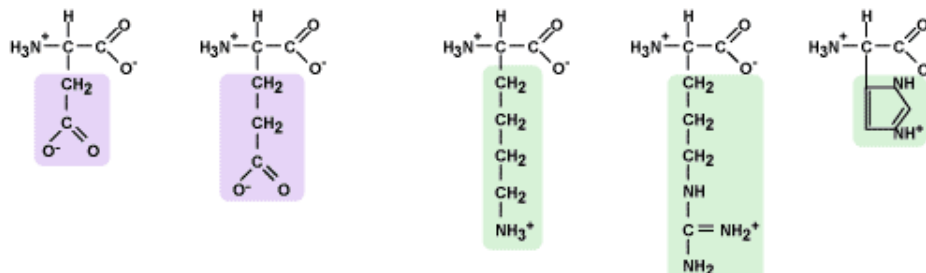
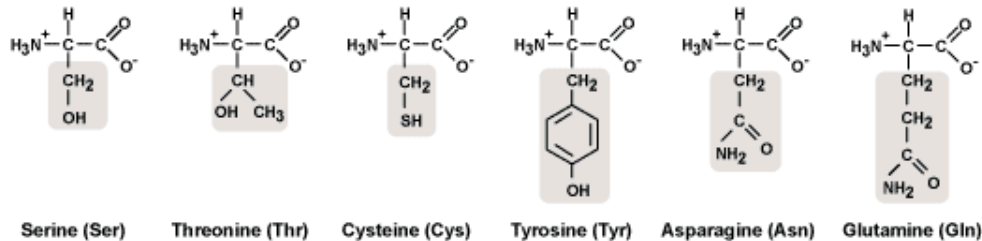
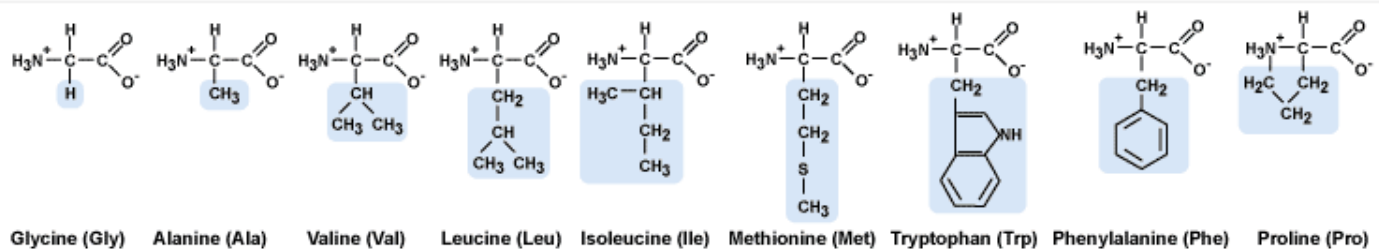
Glycine (Gly) Alanine (Ala) Valine (Val) Leucine (Leu) Isoleucine (Ile) Methionine (Met) Tryptophan (Trp) Phenylalanine (Phe) Proline (Pro)



Serine (Ser) Threonine (Thr) Cysteine (Cys) Tyrosine (Tyr) Asparagine (Asn) Glutamine (Gln)



Fixation d'oxygène

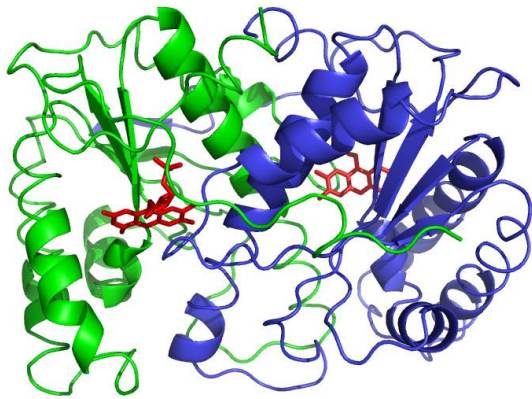


Aucun des 20
aminoacides ne peut lier
des molécules d'oxygène

→ La protéine a besoin d'un groupement prosthétique

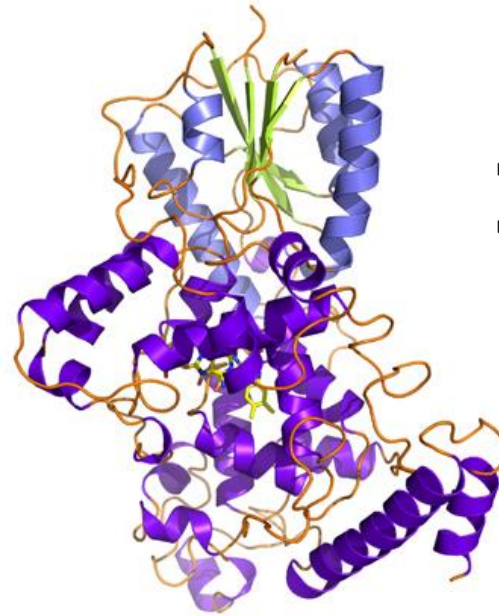
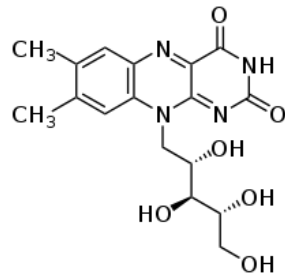
Groupements prosthétiques

= molécule non-peptidique qui est liée au protéine et est nécessaire pour la fonction de la protéine

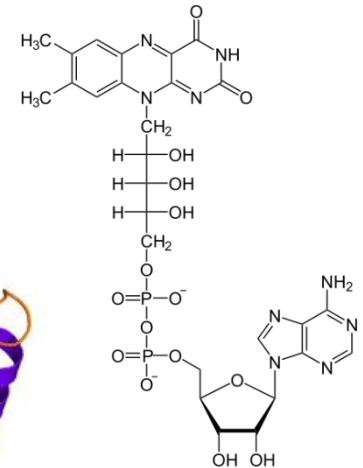


Nitroreductase

avec le groupe
prosthétique
'riboflavin'



Photolyase avec le groupe
prosthétique 'flavin-adenin-
dinucleotide'



La liaison fer-oxygène peut être vue comme une structure de résonance

(Fe^{2+} - dioxygène et Fe^{3+} - superoxyde)

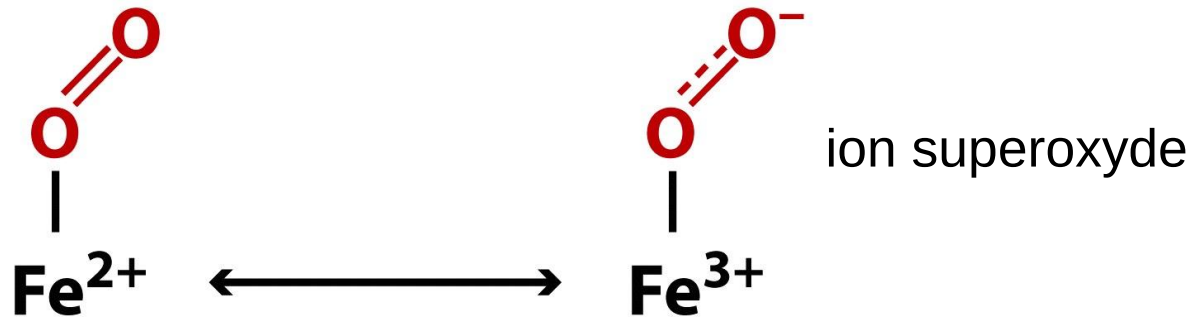


Figure 7-3
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W. H. Freeman and Company

Le ion superoxyde est une espèce réactive qui peut endommager beaucoup de matériaux biologiques



La liaison fer-oxygène peut être vue comme une structure de résonance

(Fe^{2+} - dioxygène et Fe^{3+} - superoxyde)

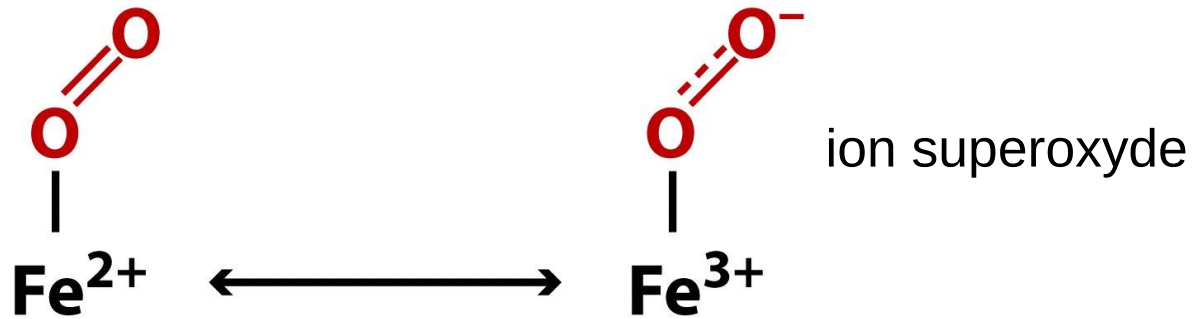


Figure 7-3
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W. H. Freeman and Company

Le ion superoxyde est une espèce réactive qui peut endommager beaucoup de matériaux biologiques



Comment est-ce que l'hémoglobine peut empêcher la libération des ions superoxydes?

La structure de la myoglobine empêche la libération d'espèces réactives avec l'oxygène

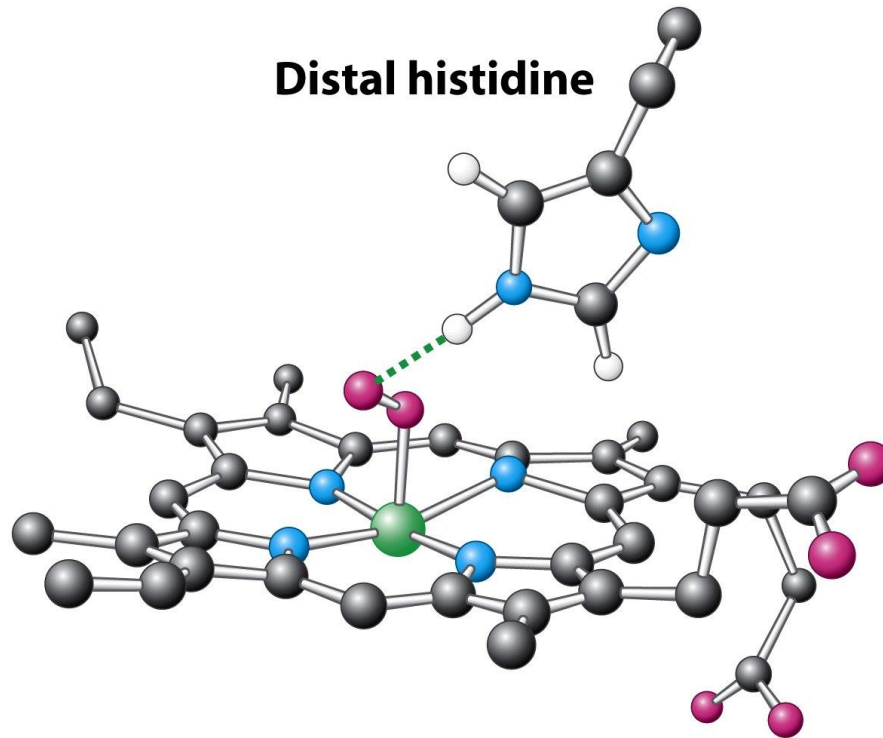
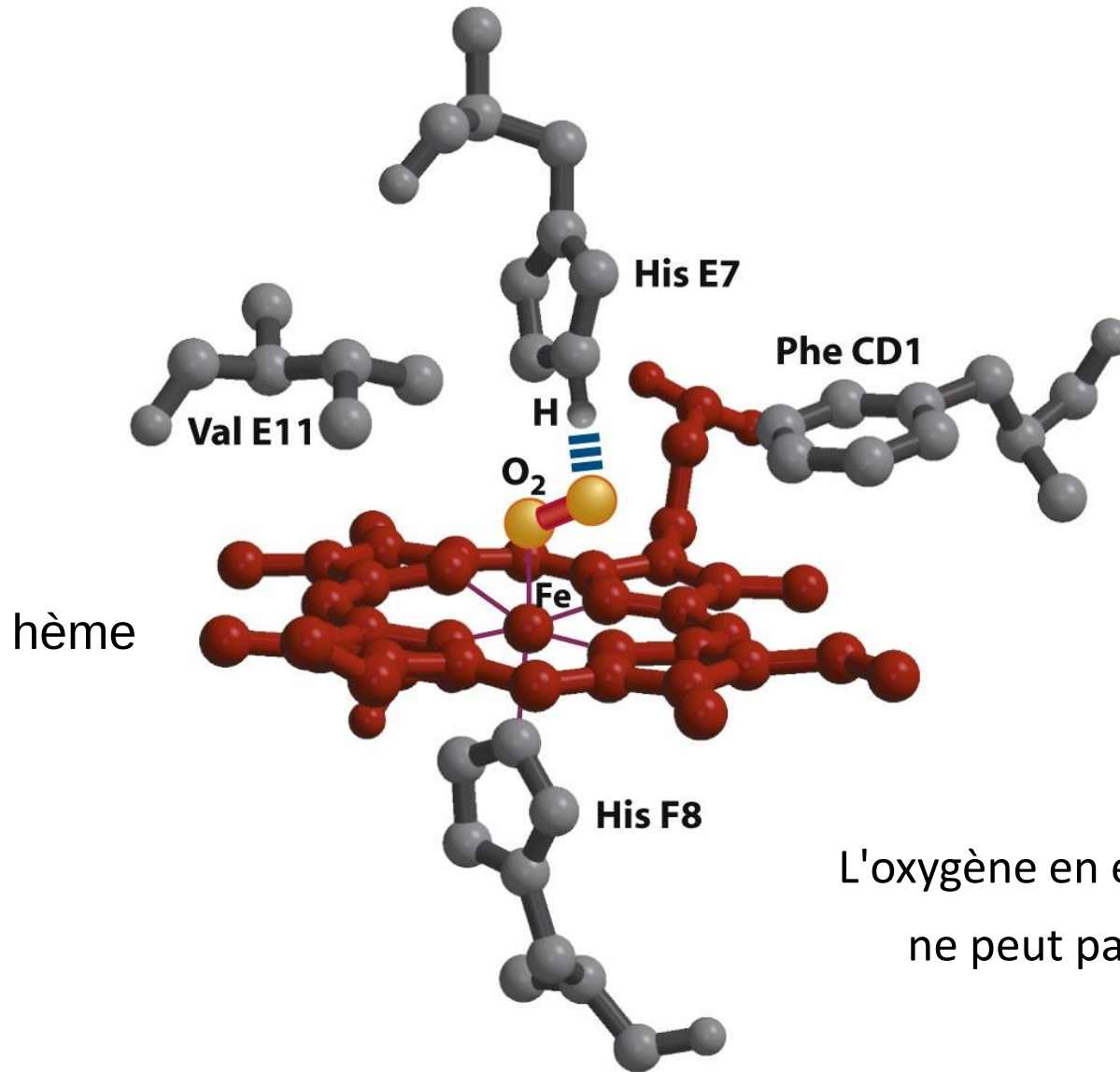
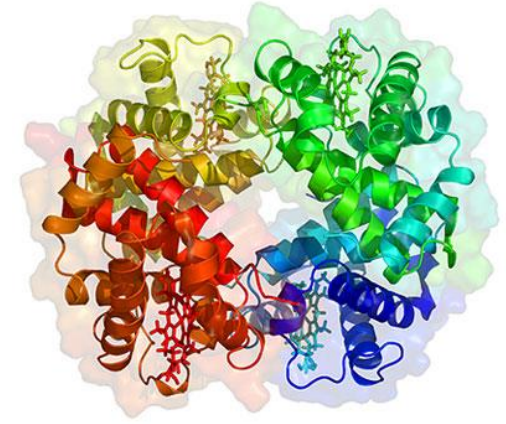


Figure 7-4
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W.H. Freeman and Company

Une histidine supplémentaire aide à stabiliser l'oxyhémoglobine (par une H-liaison)



Leçon 8



- Hémoglobine (et myoglobine)

- Structure et fixation d'oxygène



- Transport d'oxygène

- Mécanismes moléculaires pour la régulation de hémoglobine

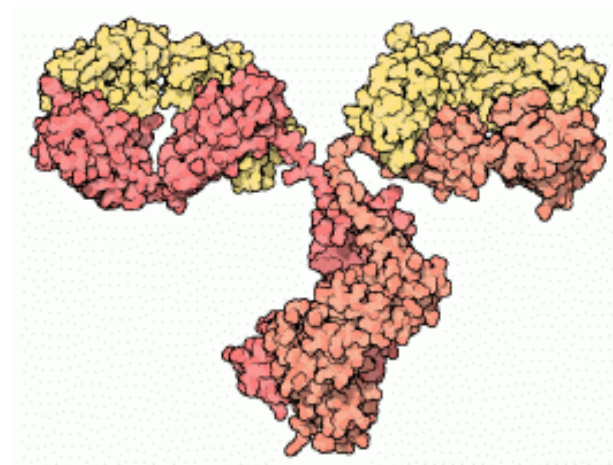
- Mutations dans l'hémoglobine

- Anticorps

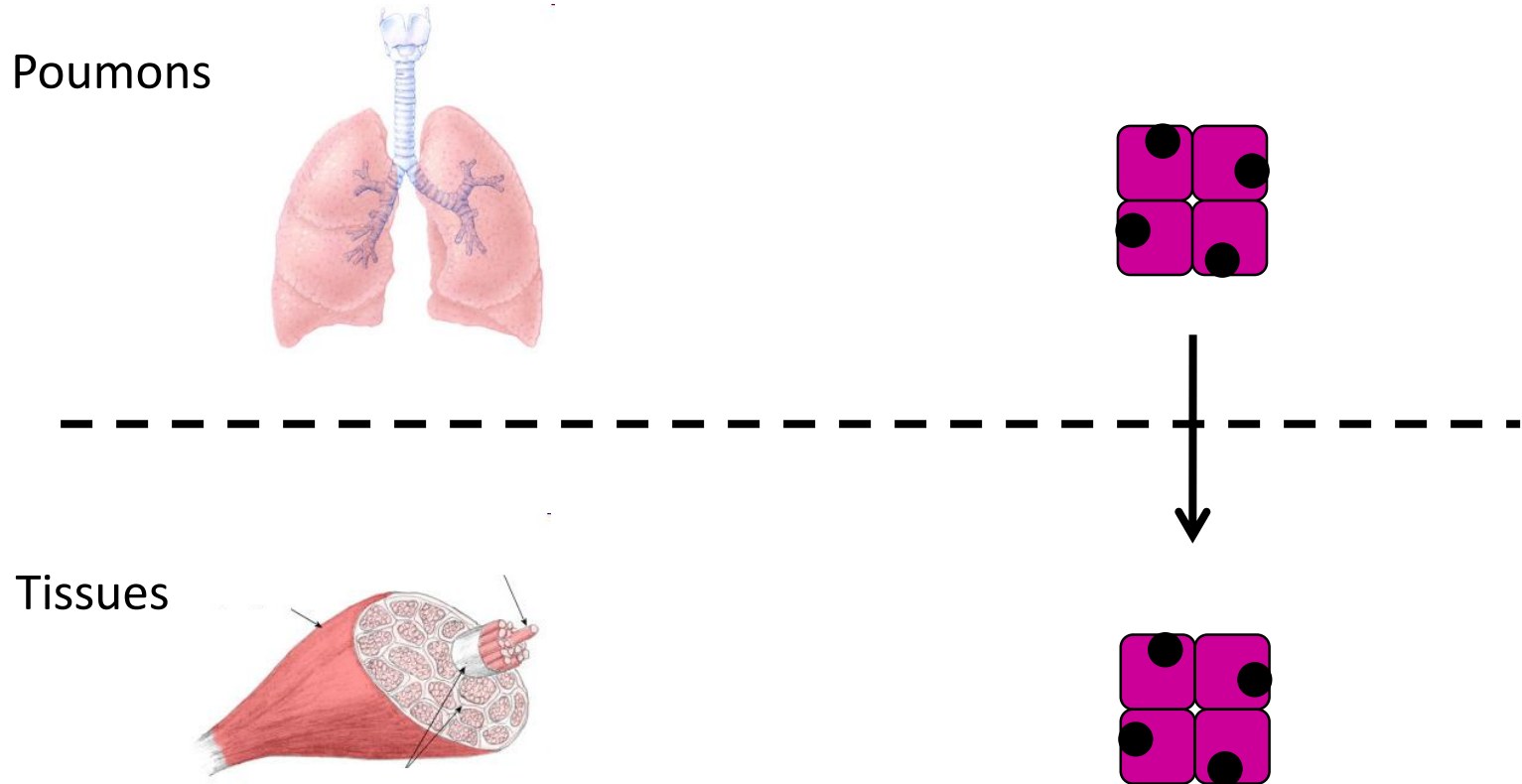
- Fixation d'antigène

- Structure

- Régions variables

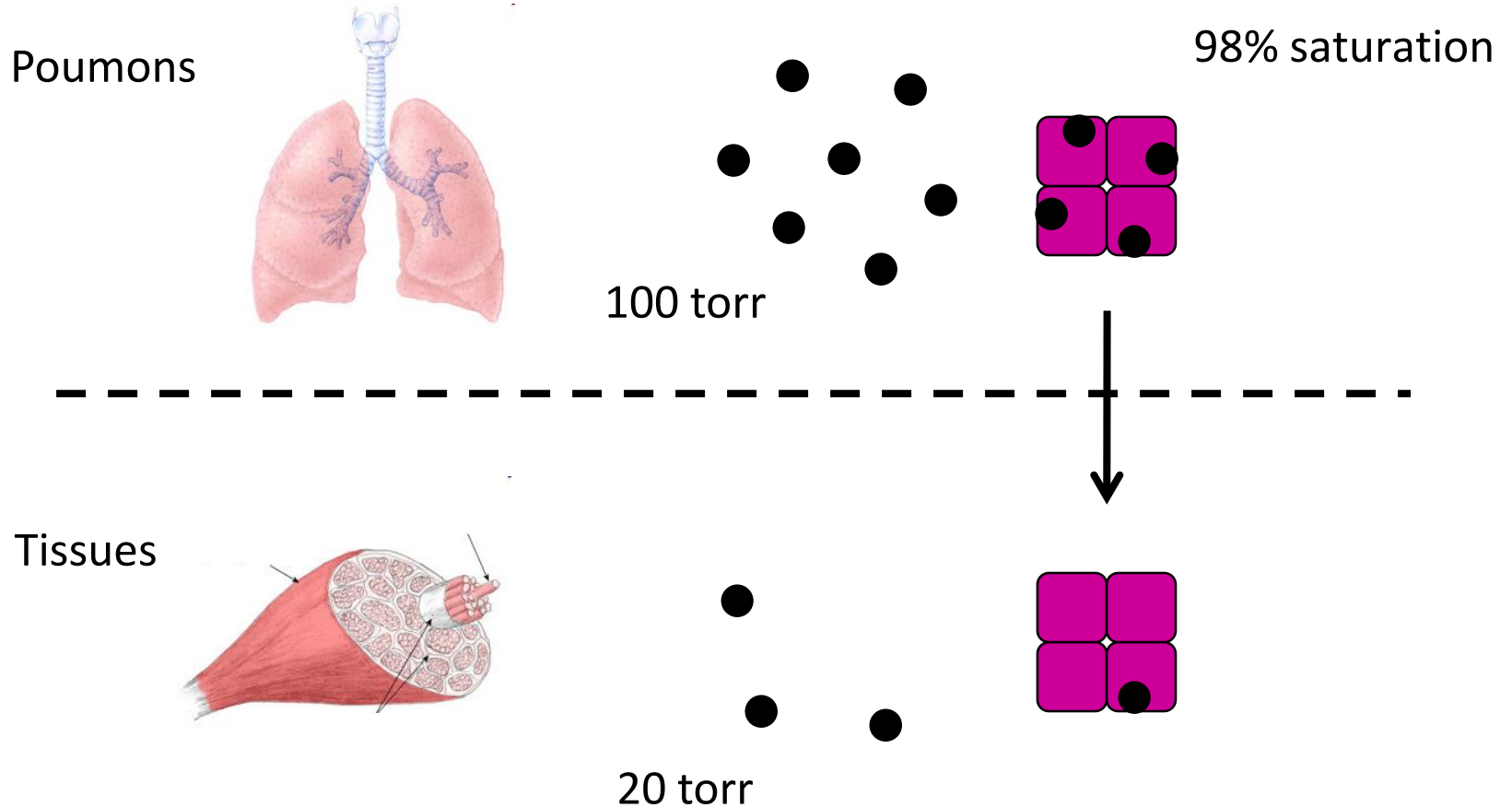


Transport de l'oxygène des poumons aux tissus



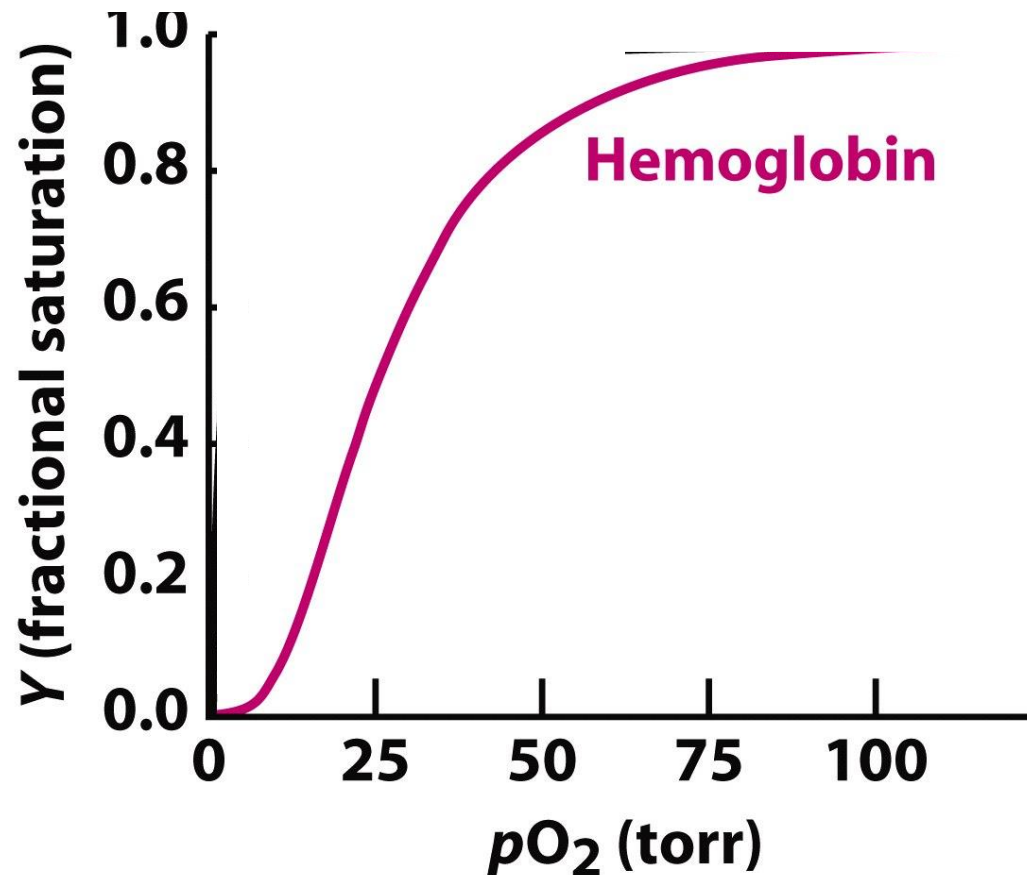
*Comment est-ce que l'hémoglobine peut **i)** fixer l'oxygène dans les poumons et **ii)** libérer dans les tissus?*

Transport de l'oxygène des poumons aux tissus



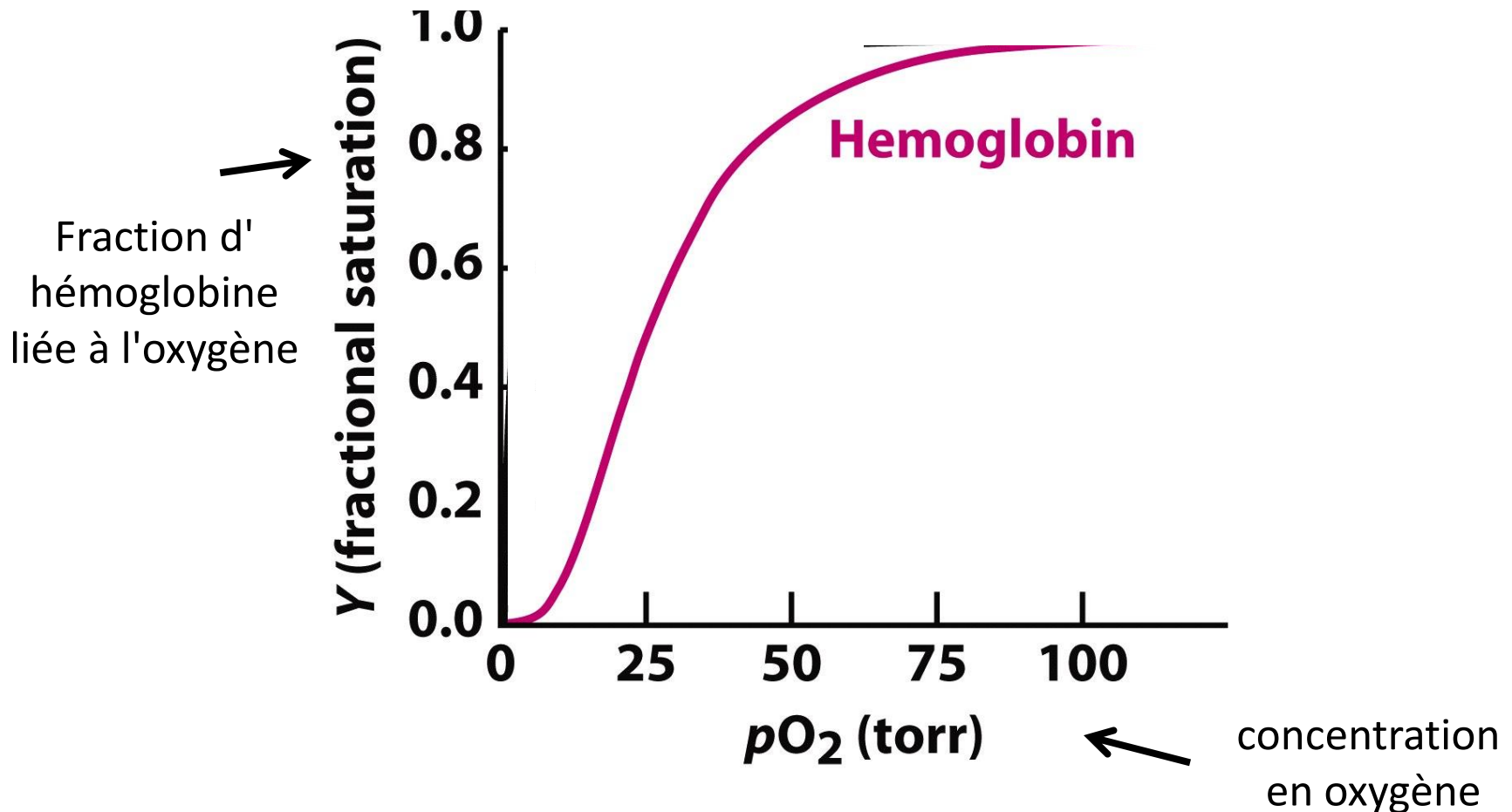
Courbe de fixation de l'oxygène

Fonction de la saturation par rapport à la concentration d'oxygène



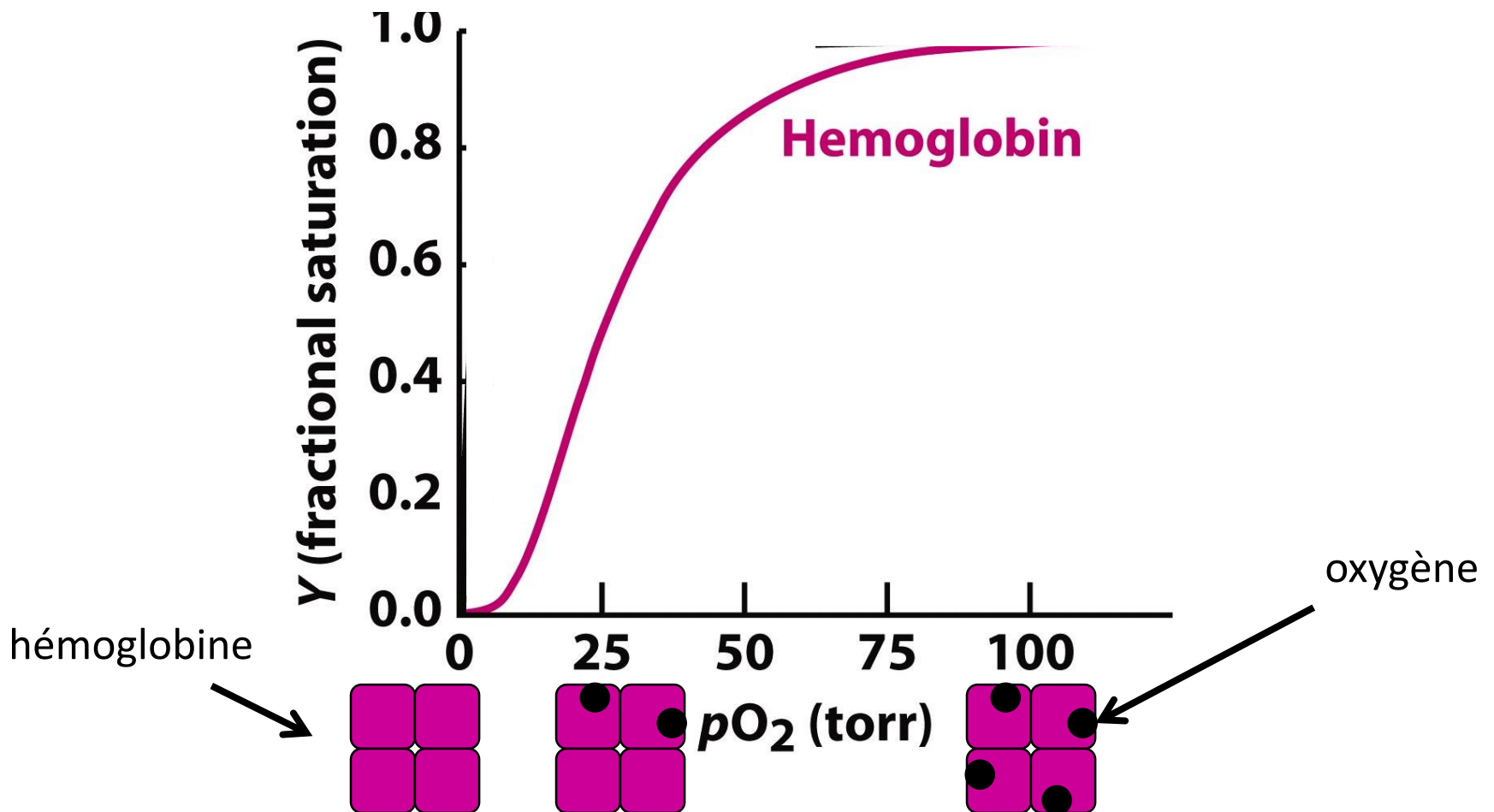
Courbe de fixation de l'oxygène

Fonction de la saturation par rapport à la concentration d'oxygène



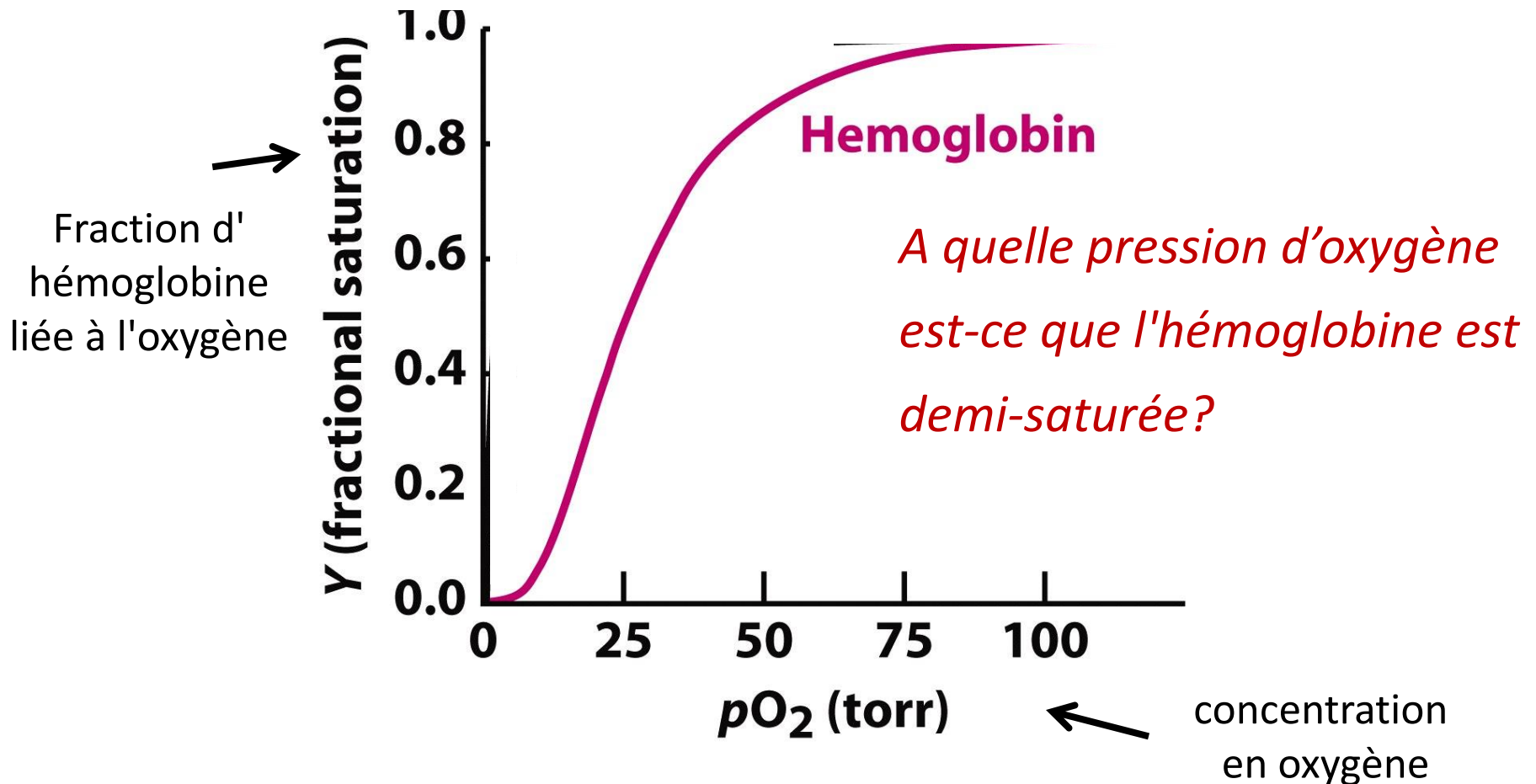
Courbe de fixation de l'oxygène

Fonction de la saturation par rapport à la concentration d'oxygène



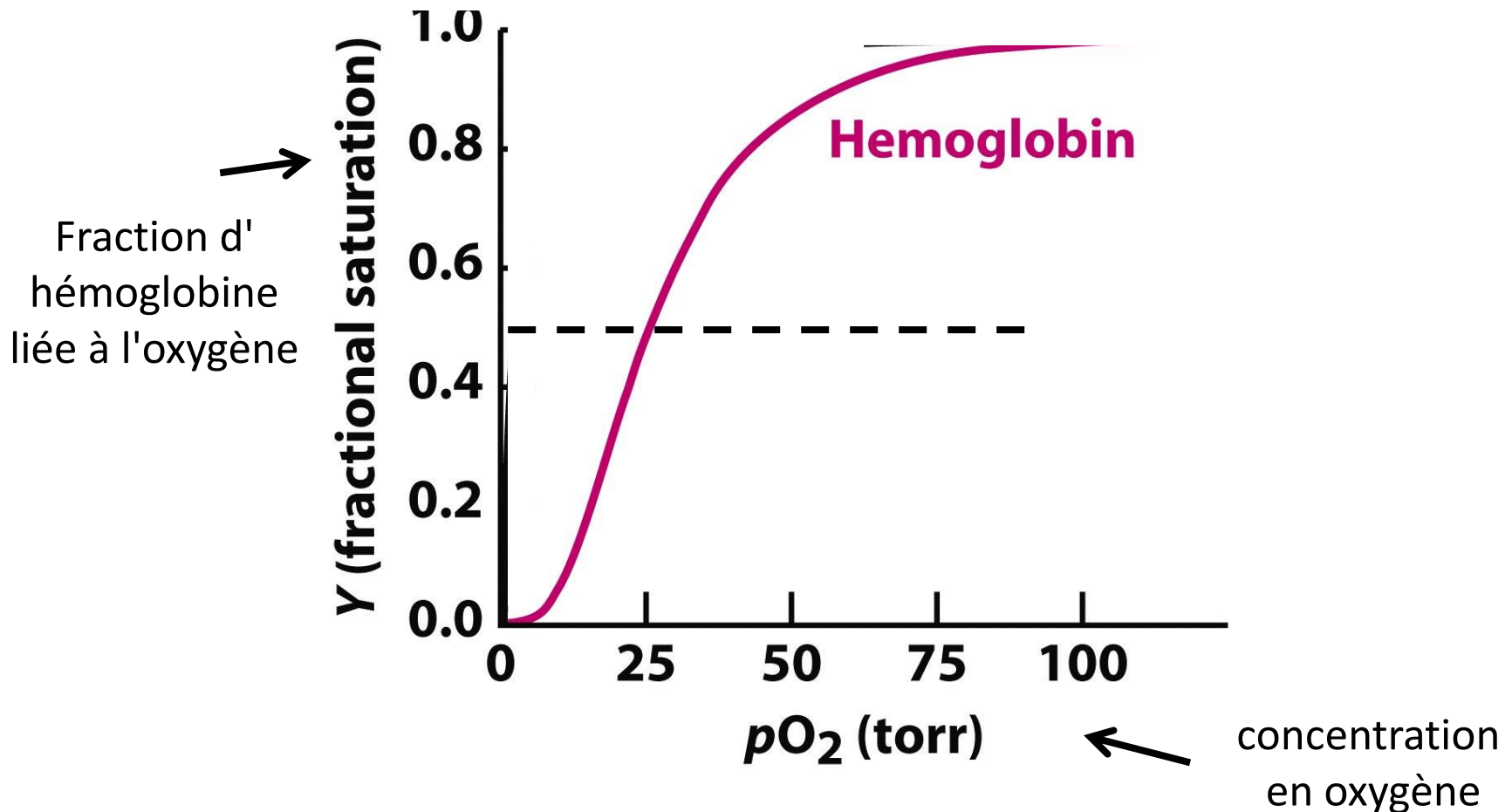
Courbe de fixation de l'oxygène

Fonction de la saturation par rapport à la concentration d'oxygène



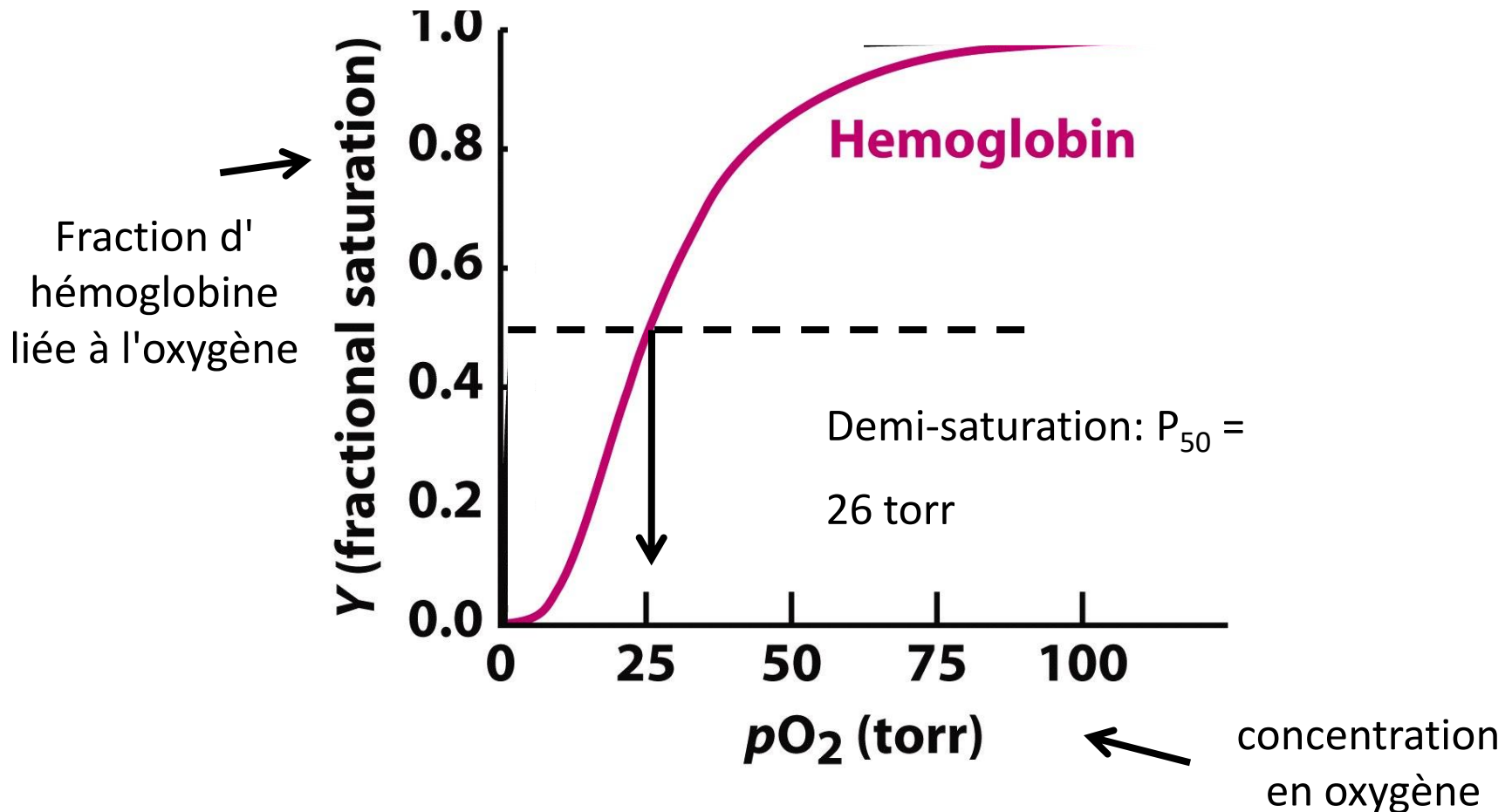
Pression de demi-saturation (P_{50})

Fonction de la saturation par rapport à la concentration d'oxygène



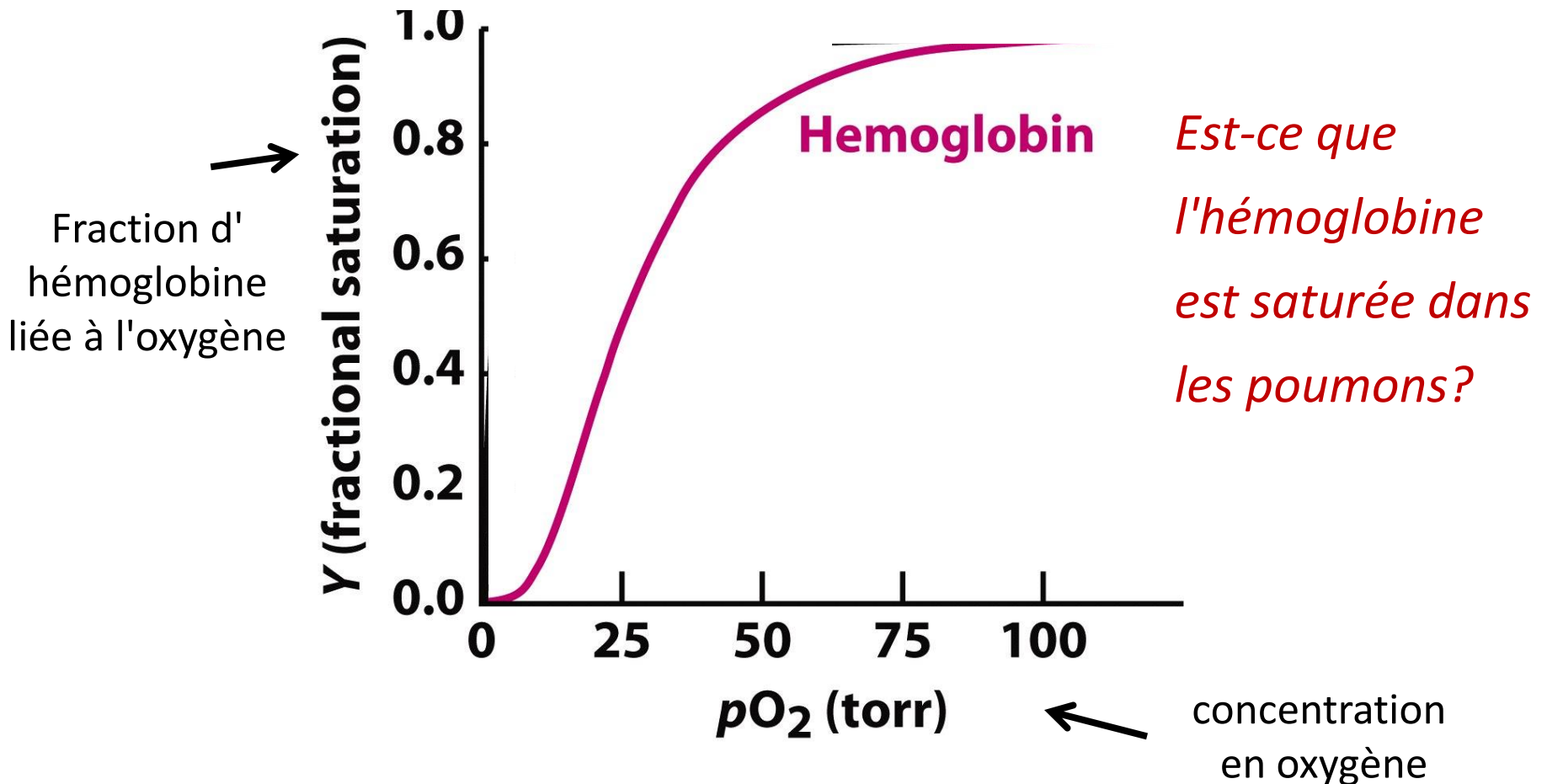
Pression de demi-saturation (P_{50})

Fonction de la saturation par rapport à la concentration d'oxygène



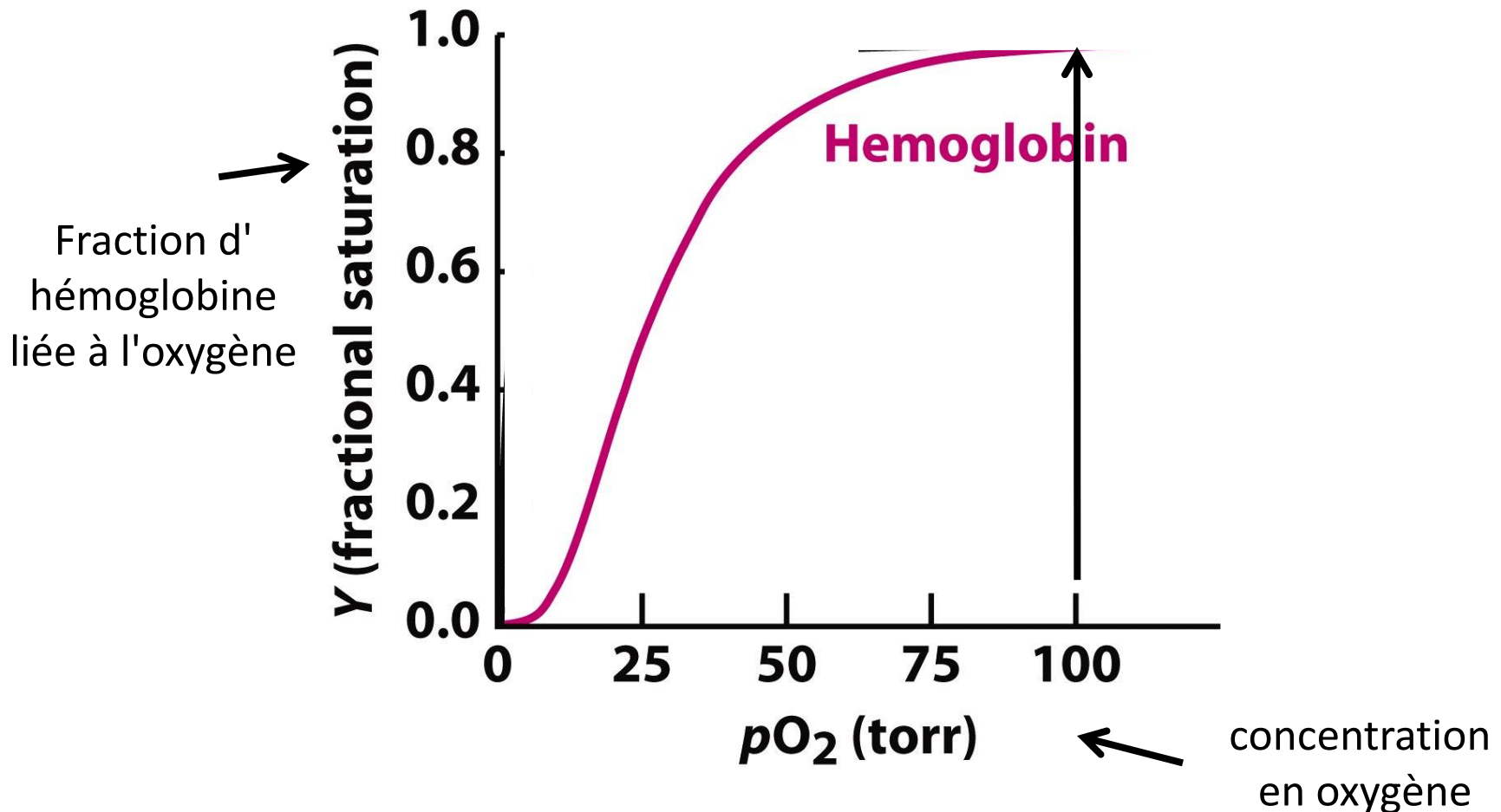
Pression de demi-saturation (P_{50})

Fonction de la saturation par rapport à la concentration d'oxygène



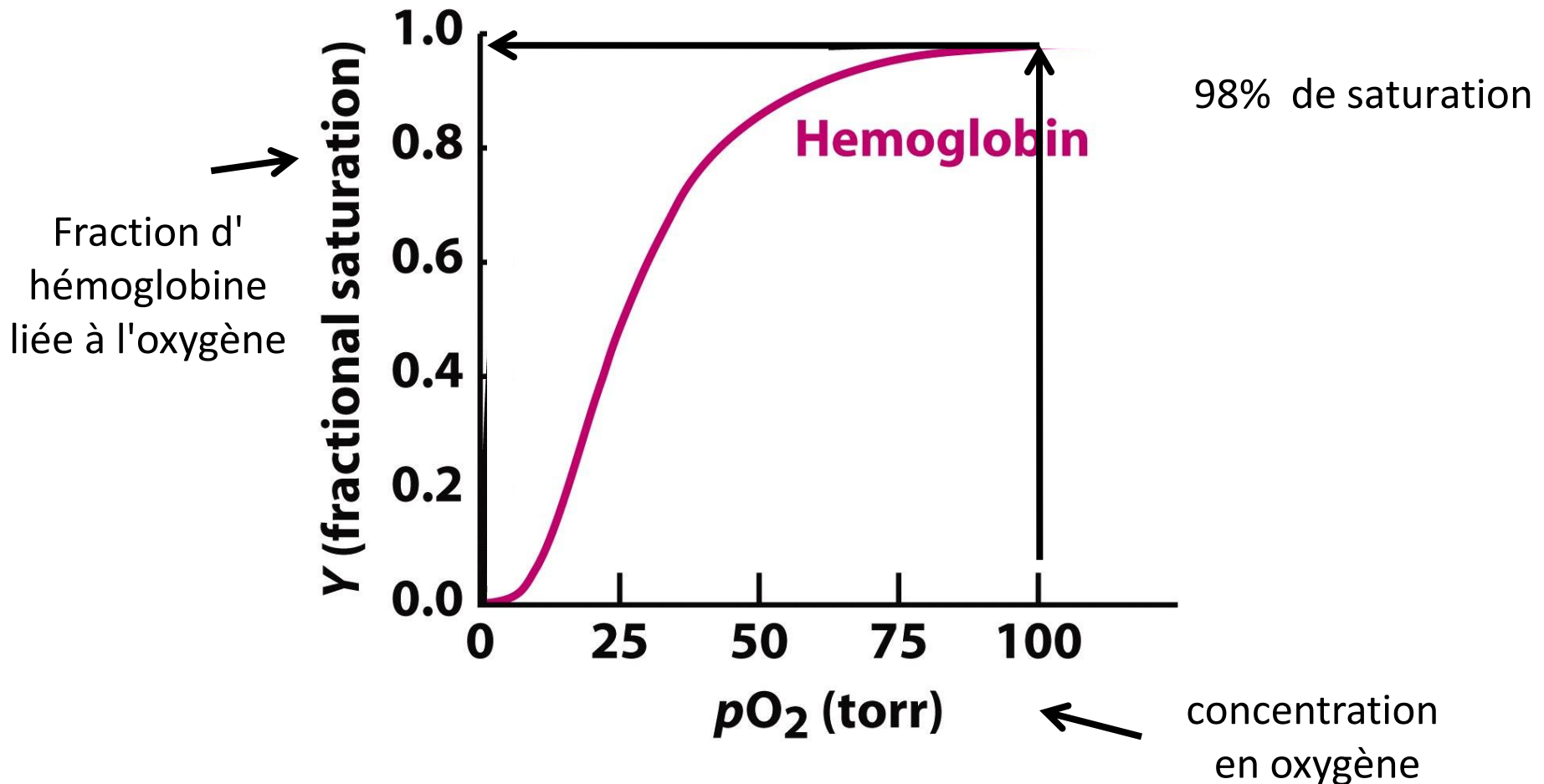
Saturation de l'hémoglobine dans les poumons

Concentration (ou pression) d'oxygène dans les poumons = **100 torr**



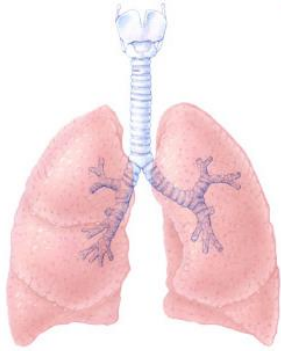
Saturation de l'hémoglobine dans les poumons

Concentration (ou pression) d'oxygène dans les poumons = **100 torr**

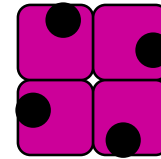
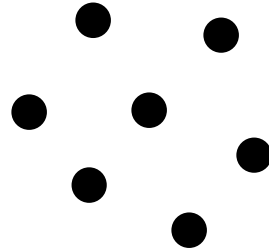


Transport d'oxygène des poumons au tissu

Poumons

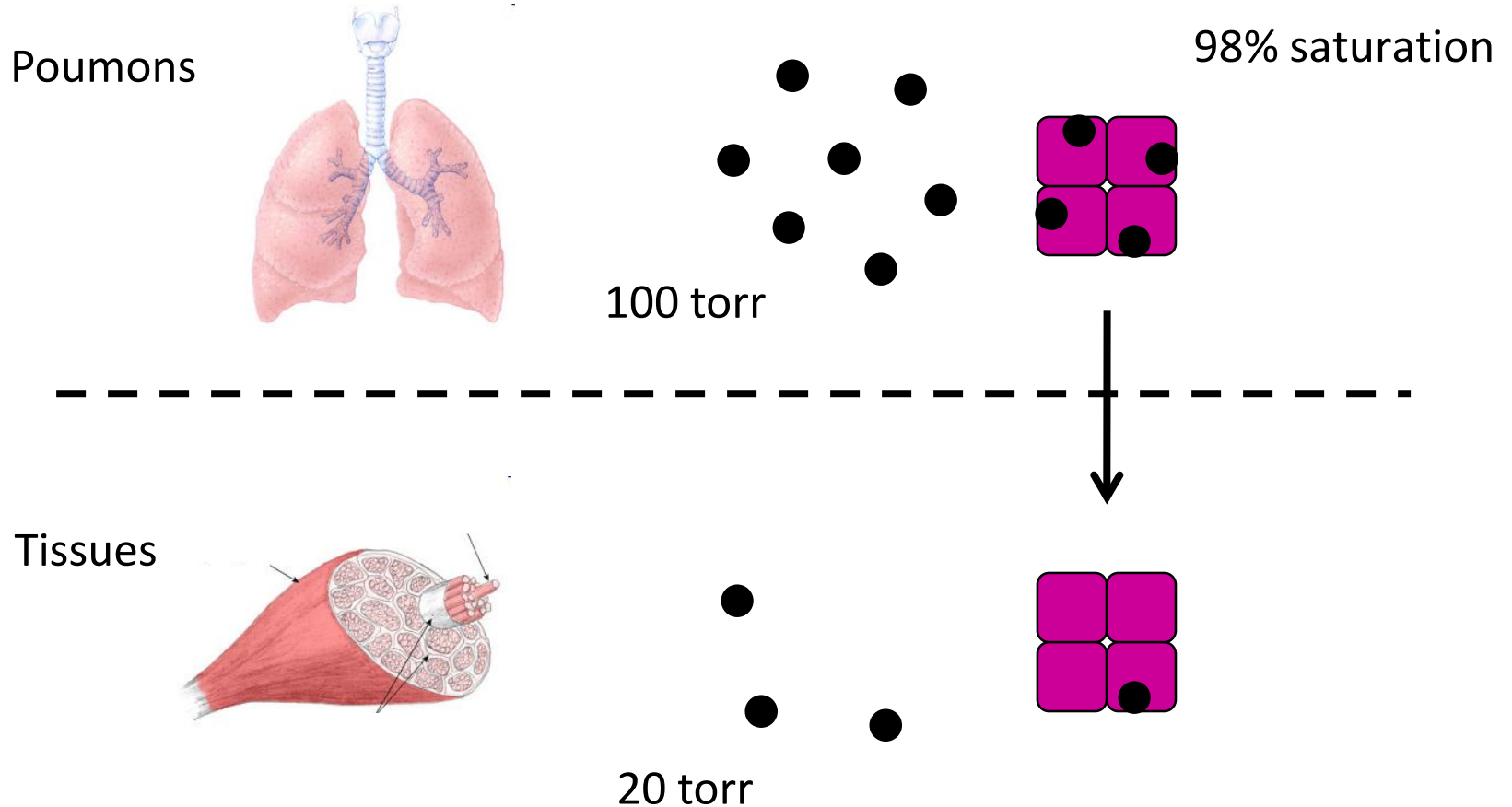


100 torr



98% saturation

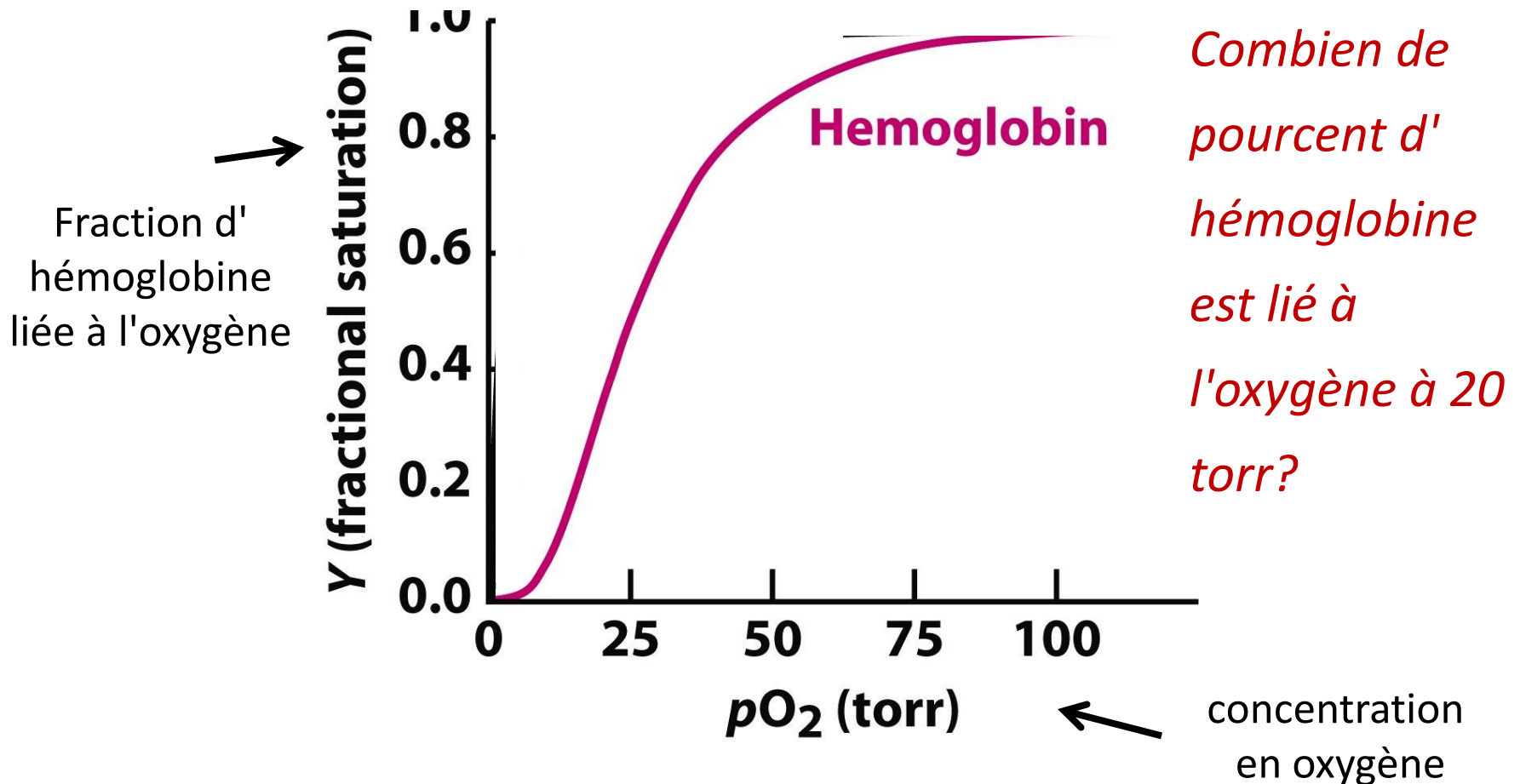
Transport de l'oxygène des poumons aux tissus



Est-ce que l'hémoglobine peut dissocier son oxygène dans les tissus?

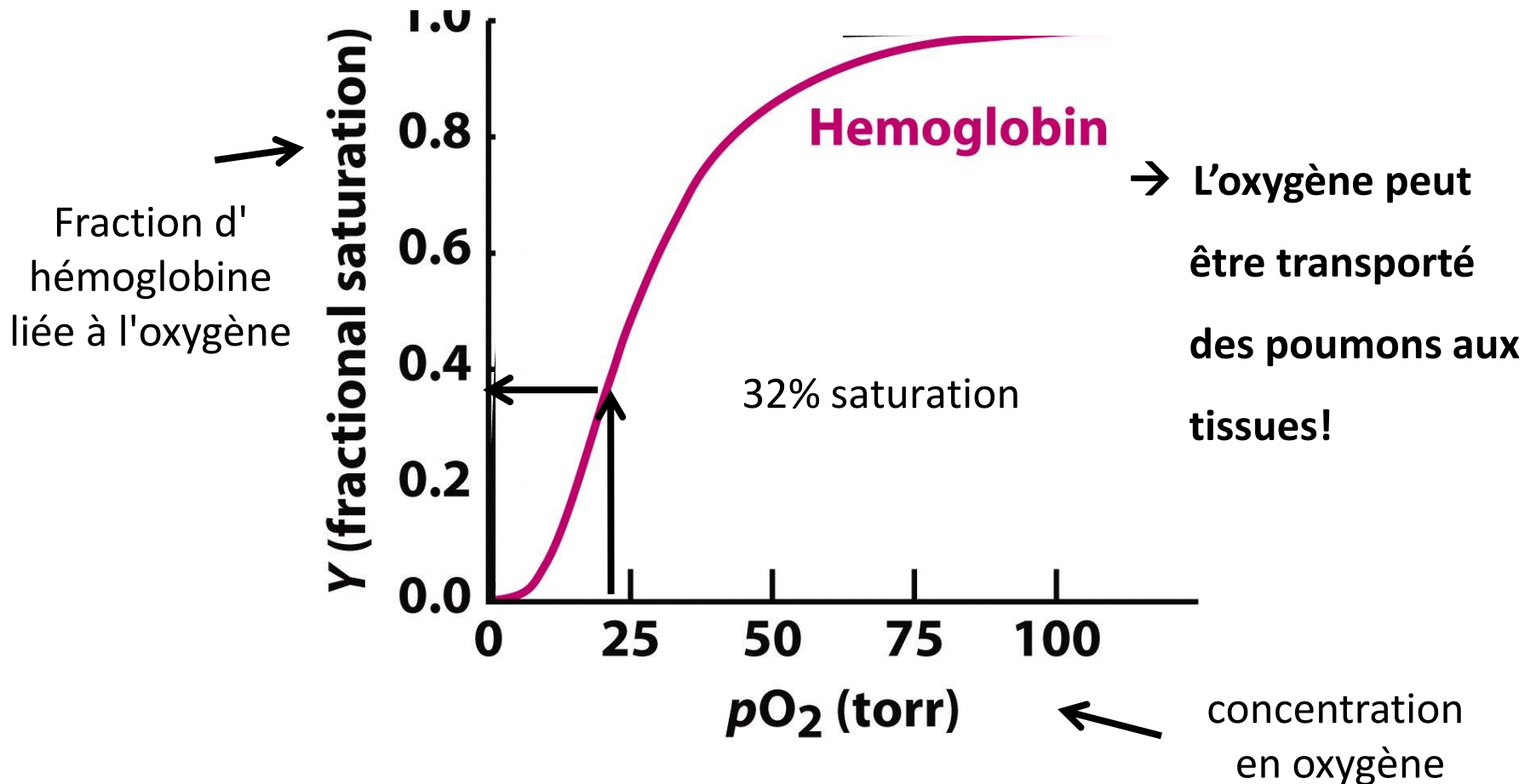
Saturation de l'hémoglobine dans les poumons

Concentration (ou pression) d'oxygène dans les tissus = **20 torr**

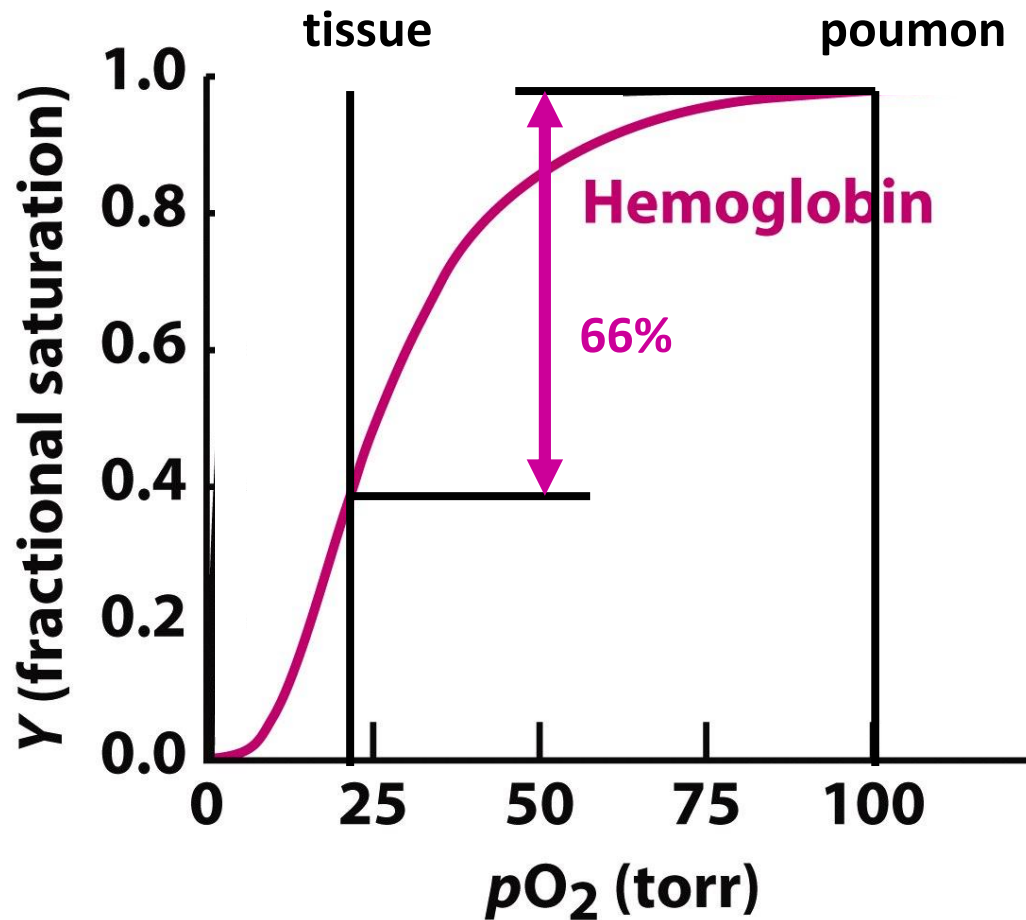


Saturation de l'hémoglobine dans les poumons

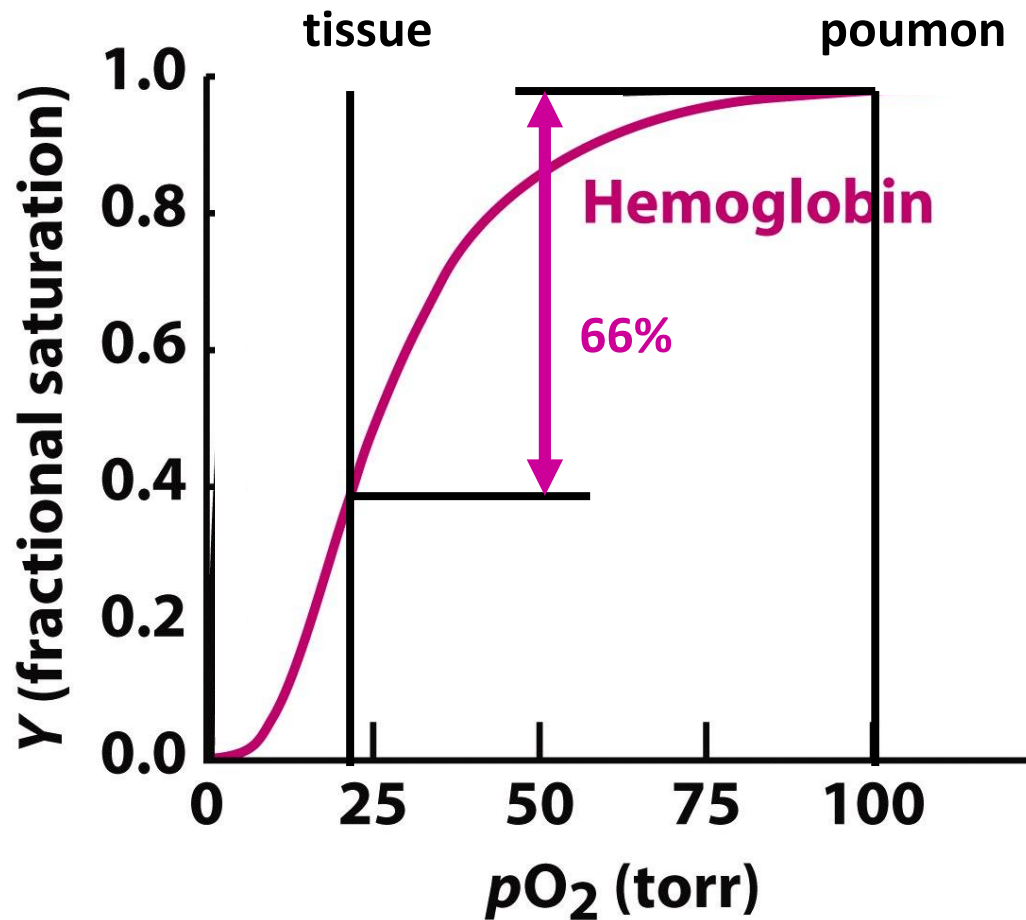
Concentration (ou pression) d'oxygène dans les tissus = **20 torr**



Saturation de l'hémoglobine dans les poumons

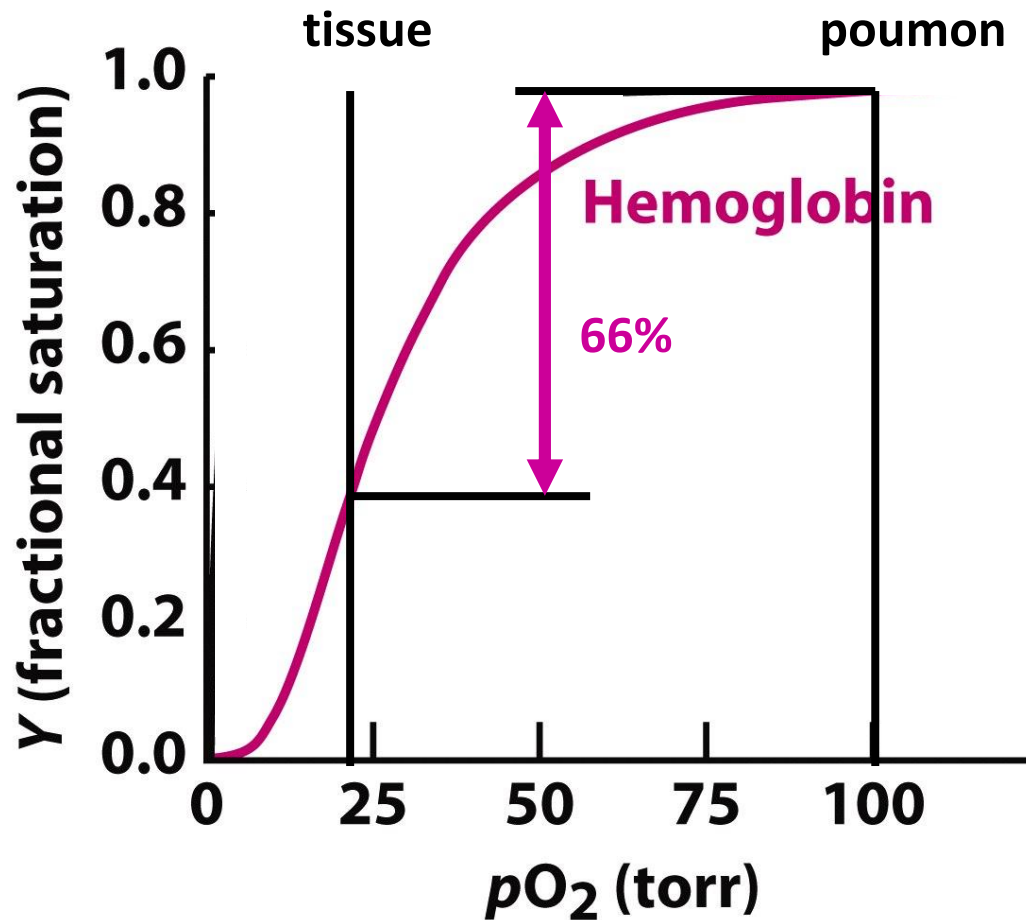


Saturation de l'hémoglobine dans les poumons



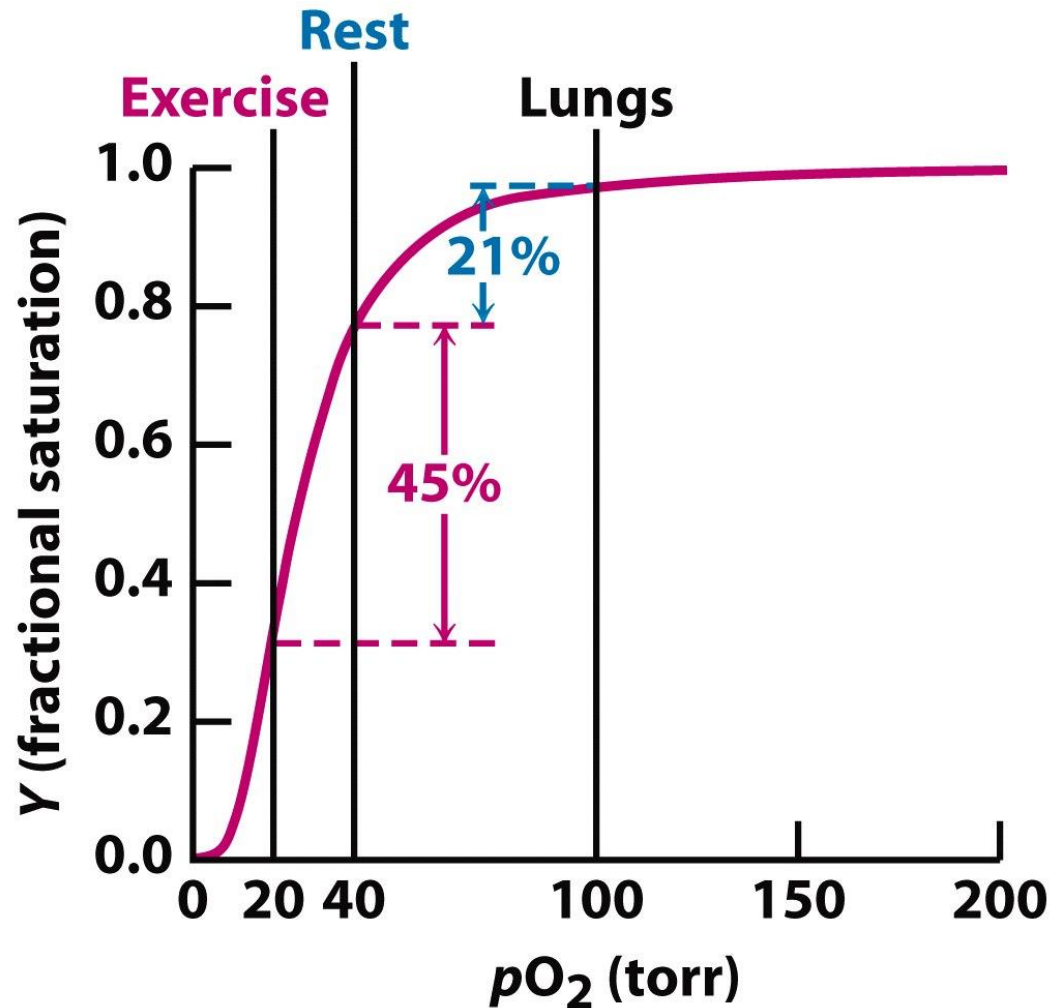
Combien de molécule d'oxygène peut être transporté par l'hémoglobine si la protéine circule une fois des poumons aux tissues?

Saturation de l'hémoglobine dans les poumons

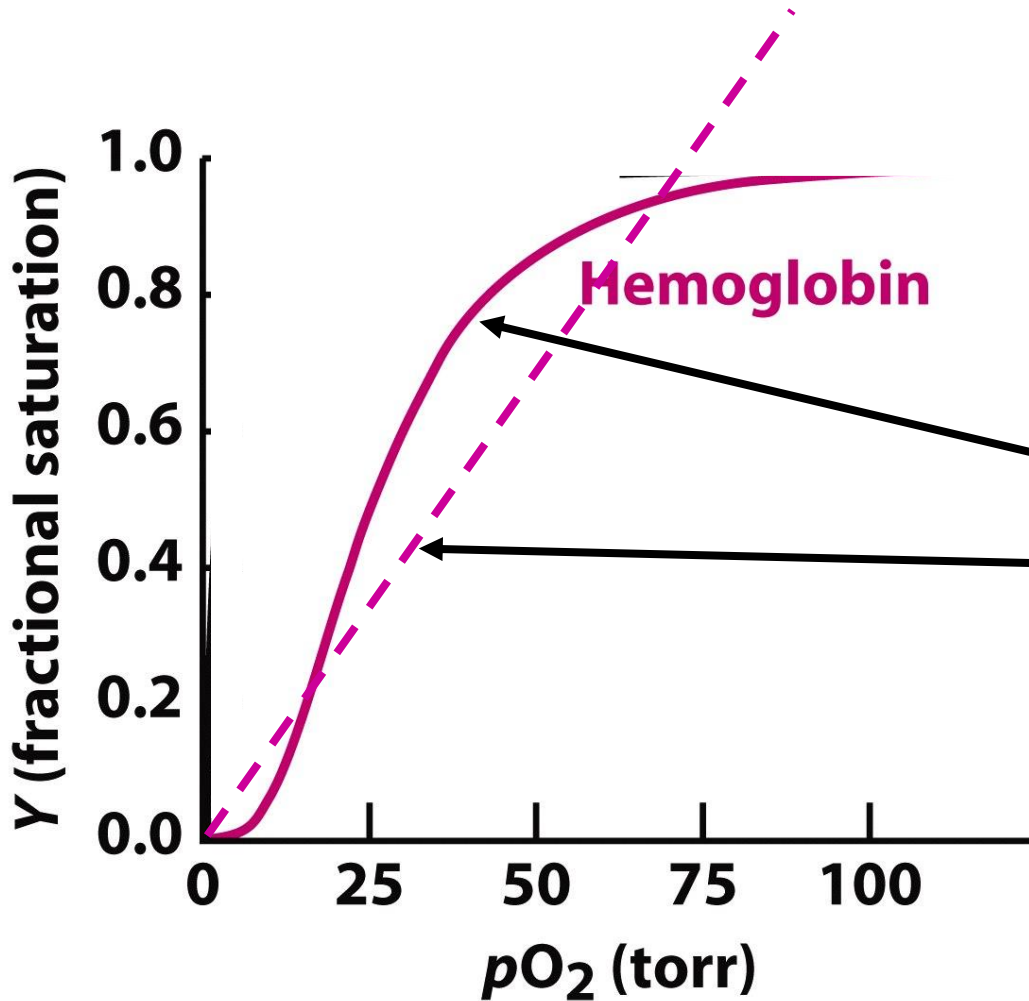


$$0.66 \times 4 = 2.66$$

Plus d'oxygène est transporté pendant un exercice

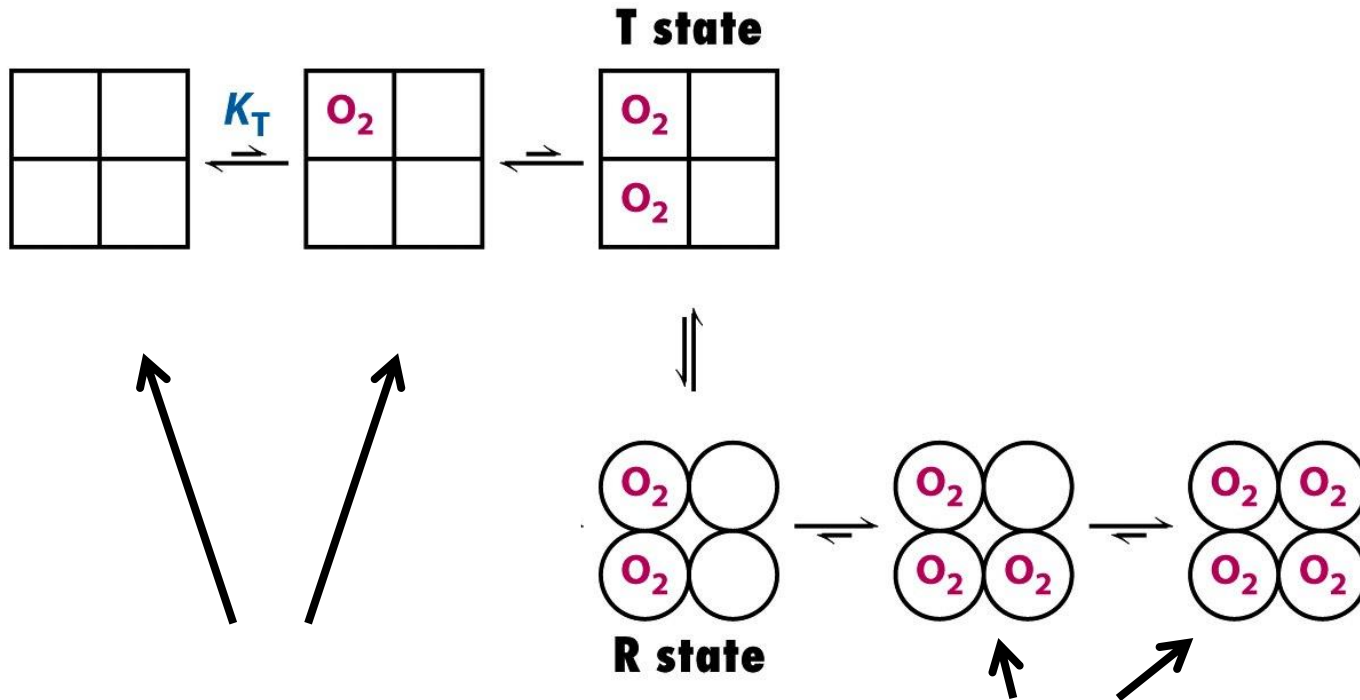


Courbe sigmoïdale



*Pourquoi est-ce que
la courbe est
sigmoïdale et pas
linéaire?*

Le modèle concerté



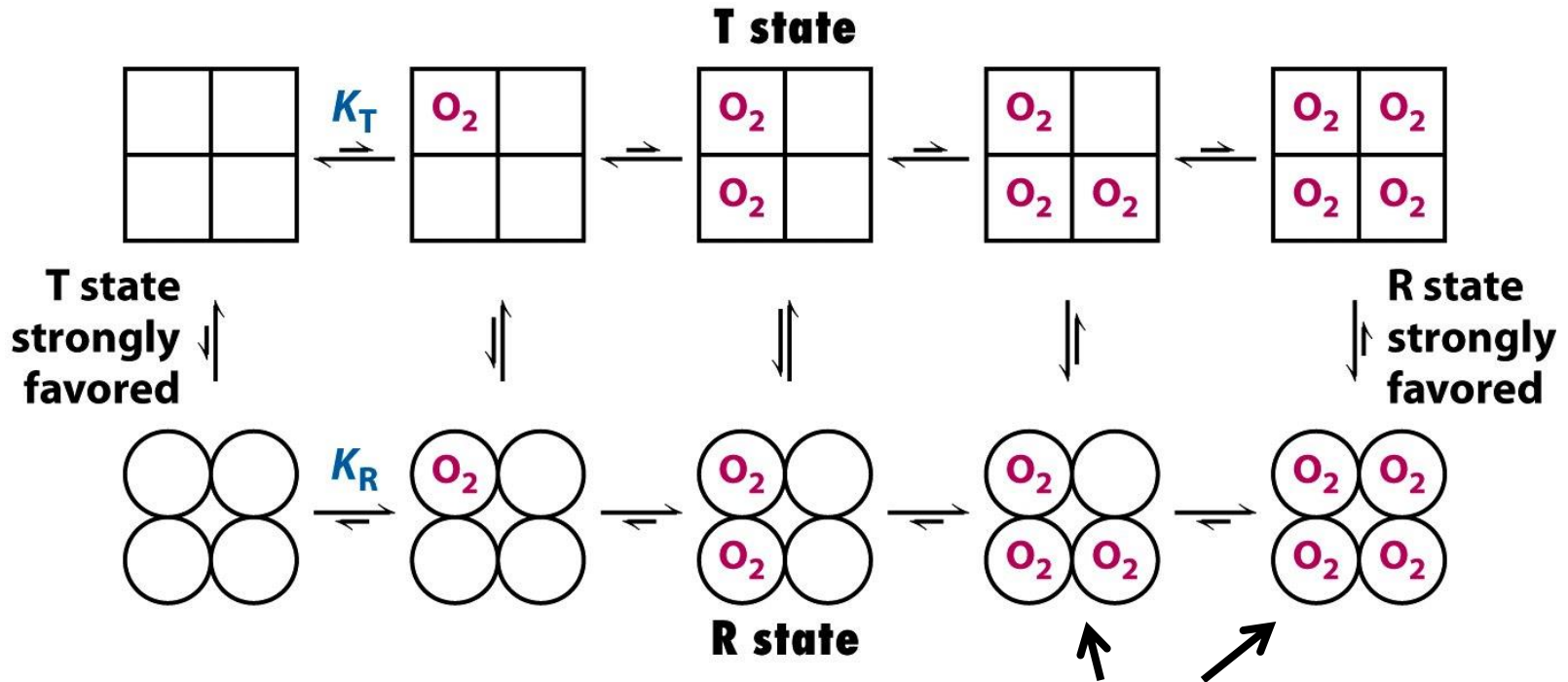
Absence d'oxygène

- La conformation T est favorisée
- Affinité basse pour l'oxygène

Présence d'oxygène

- La conformation R est favorisée
- Affinité forte pour l'oxygène

Le modèle concerté



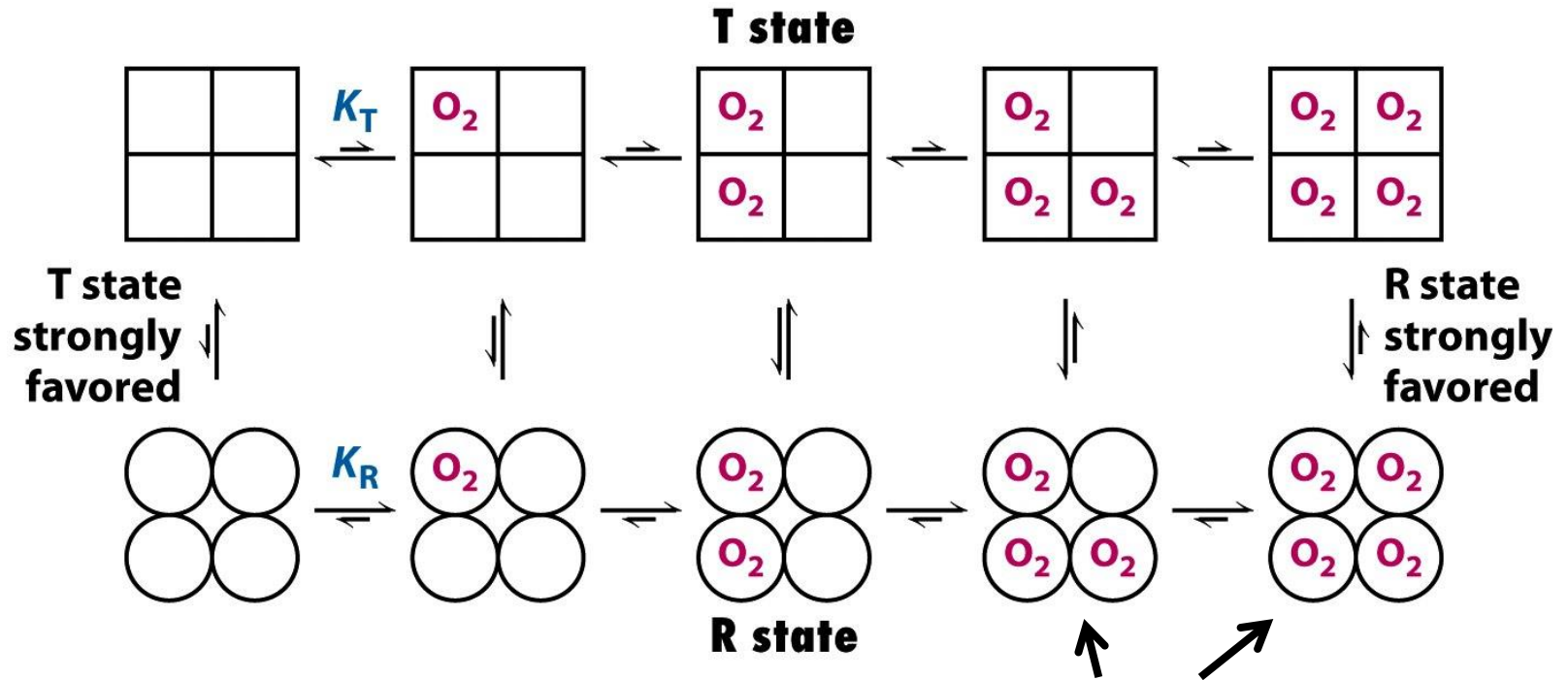
Absence d'oxygène

- La conformation T est favorisée
- Affinité basse pour l'oxygène

Présence d'oxygène

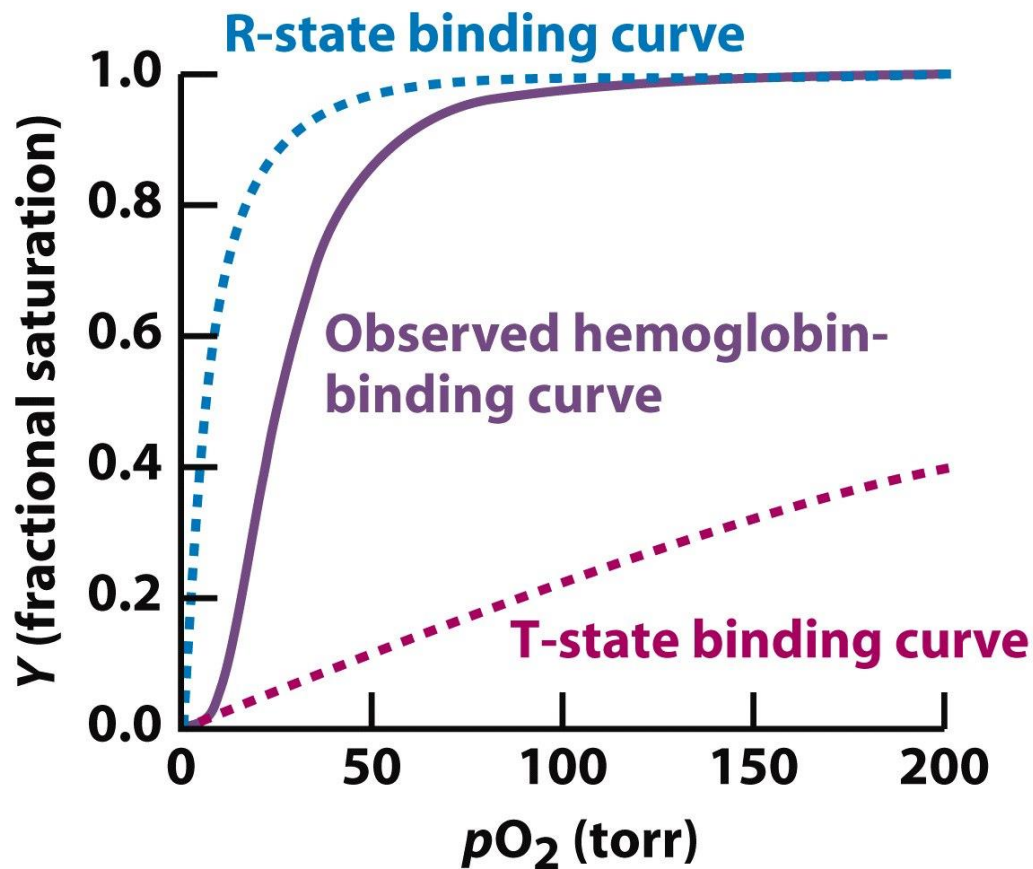
- La conformation R est favorisée
- Affinité forte pour l'oxygène

Le modèle concerté

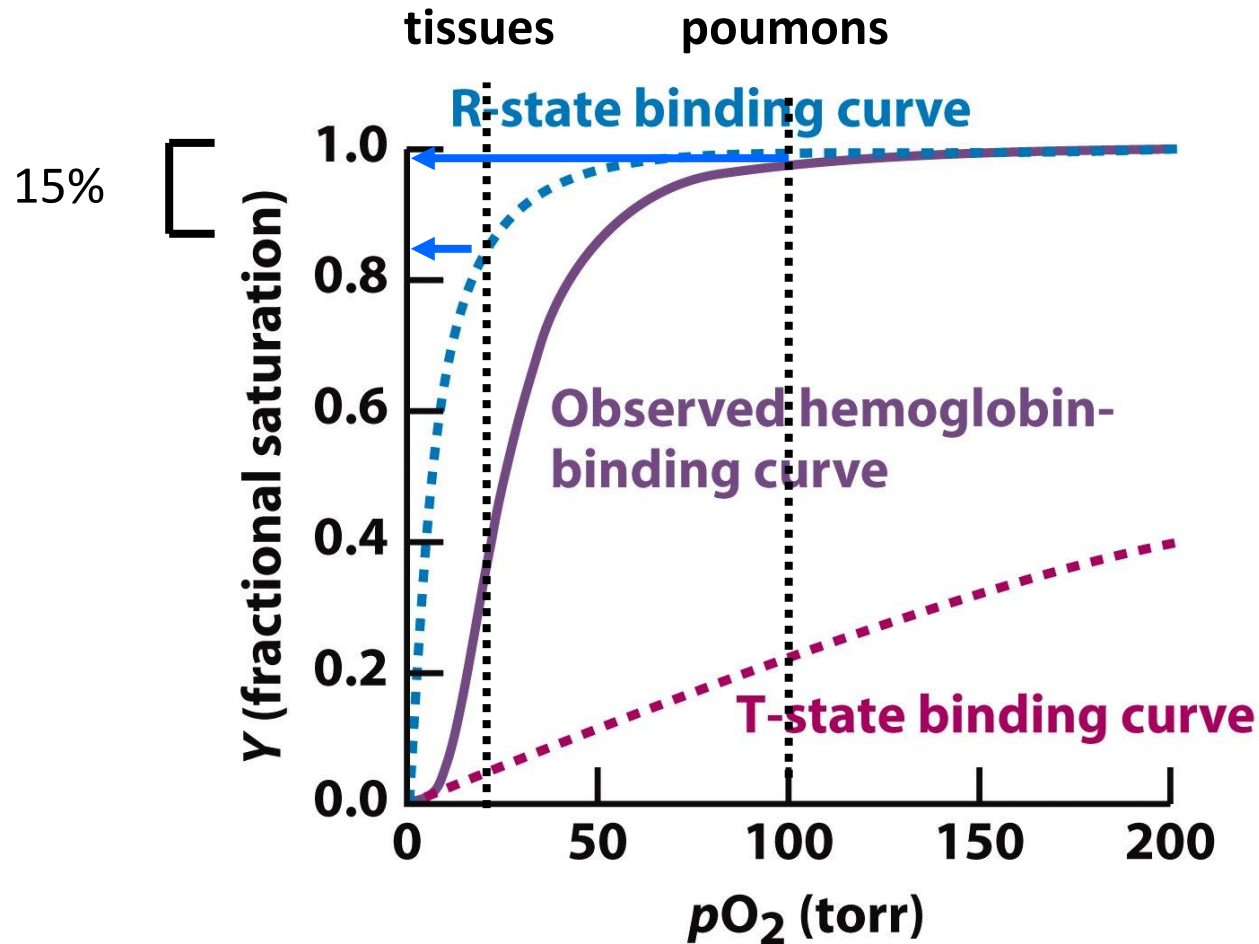


Pourquoi doit l'hémoglobine changer l'affinité pour O_2 ?

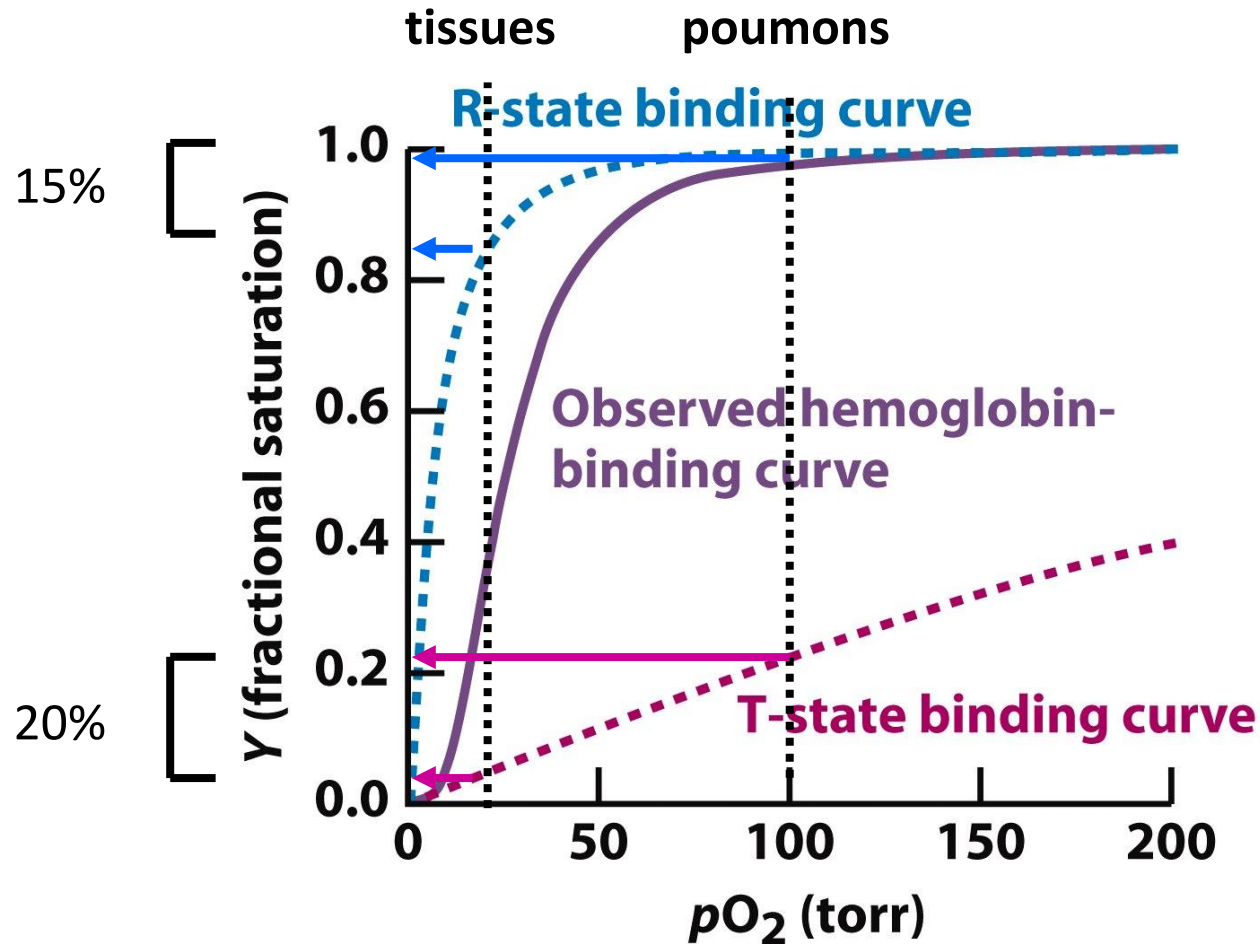
L'avantage de la fixation coopérative d'oxygène



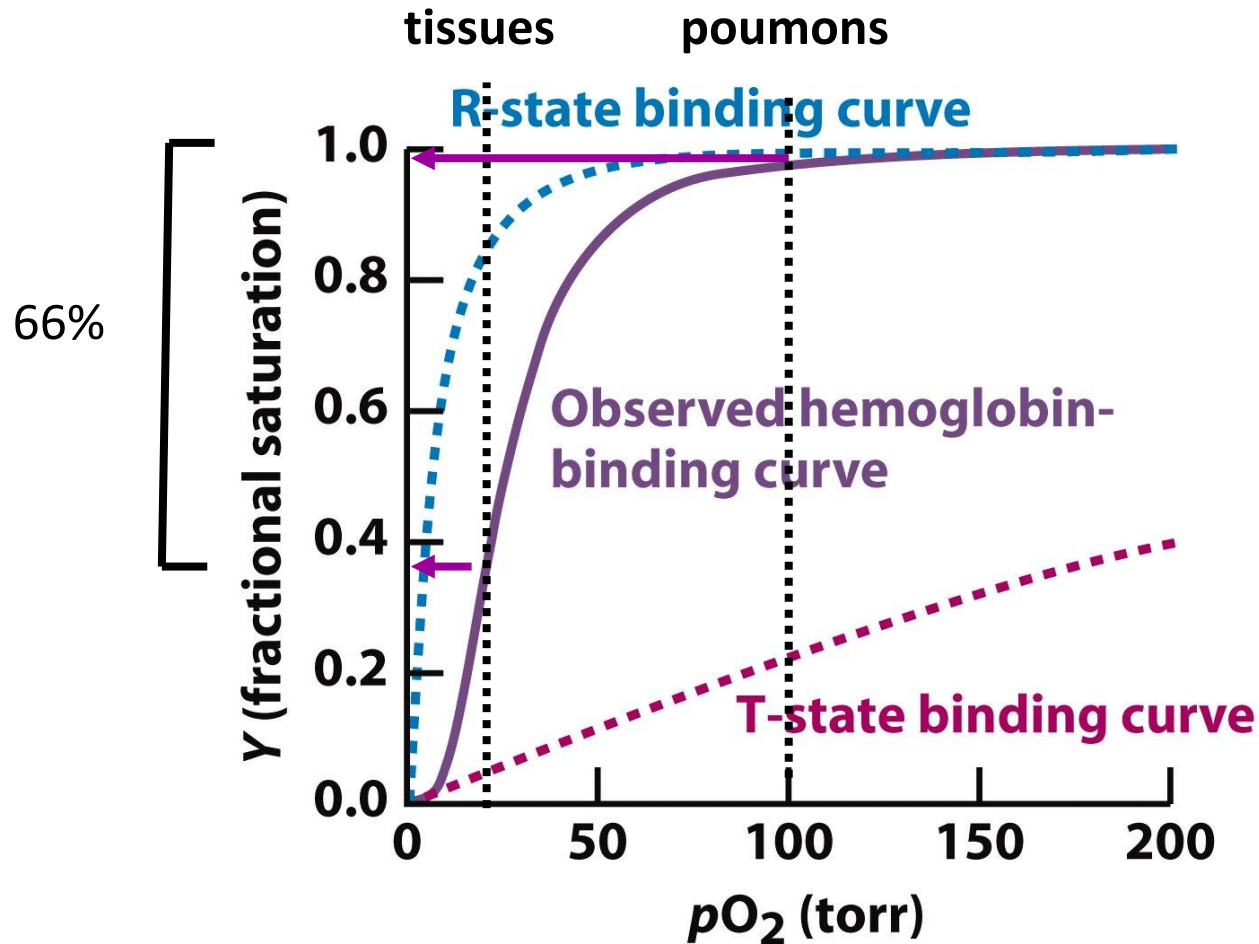
L'avantage de la fixation coopérative d'oxygène



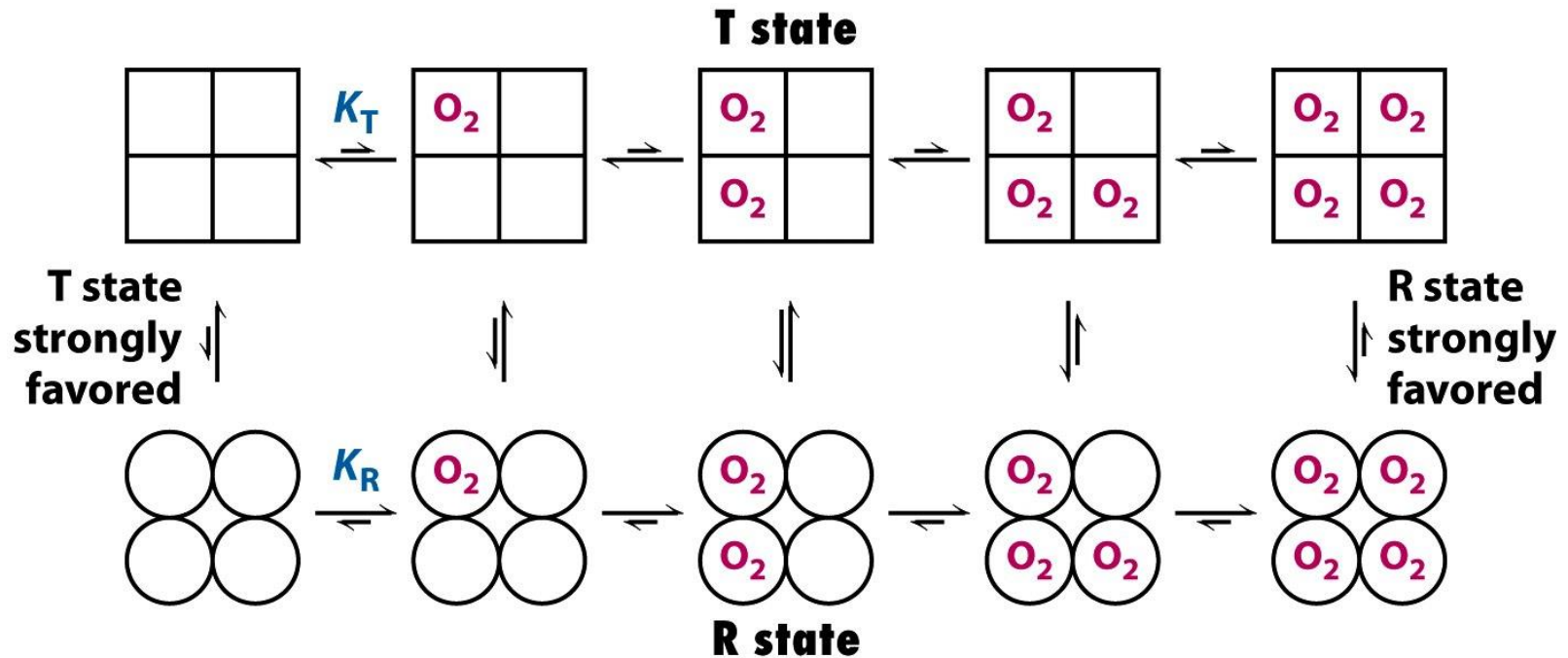
L'avantage de la fixation coopérative d'oxygène



L'avantage de la fixation coopérative d'oxygène



Changement de conformation $T \rightarrow R$



Comment est-ce que l'hémoglobine peut changer sa conformation ($T \rightarrow R$)?

Les mécanismes moléculaires

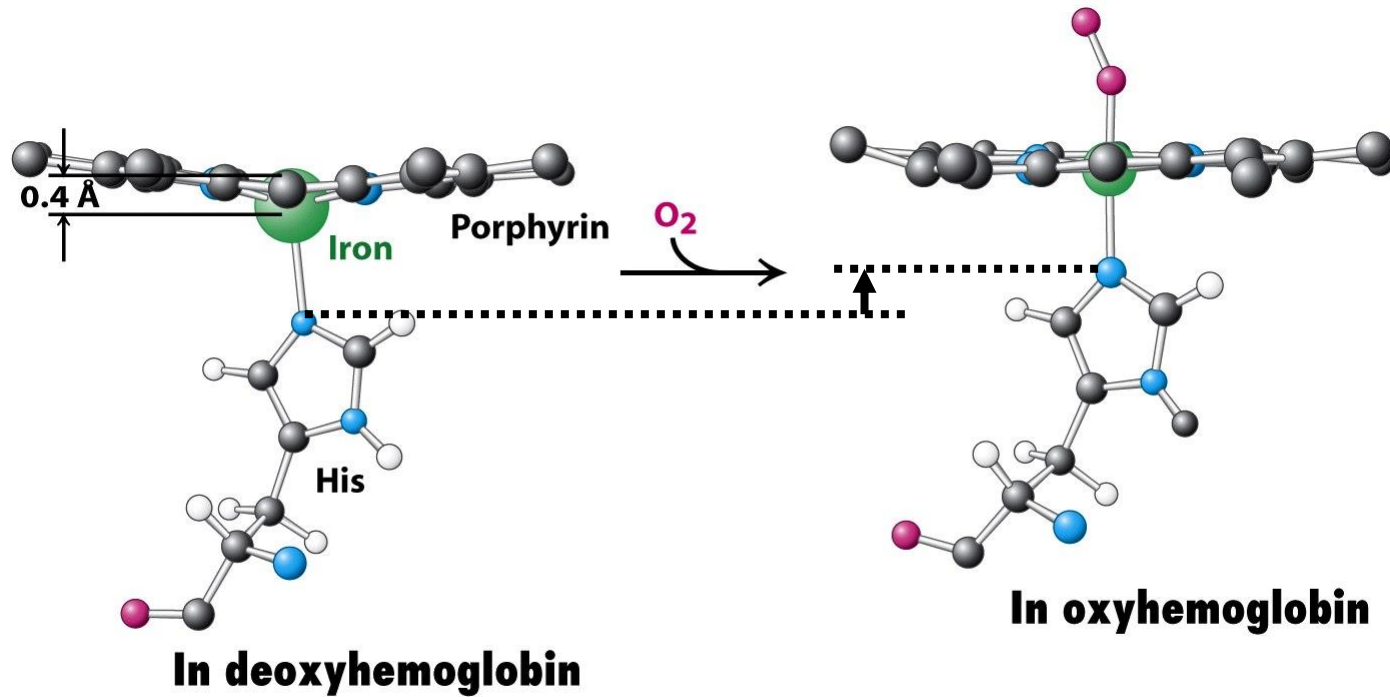
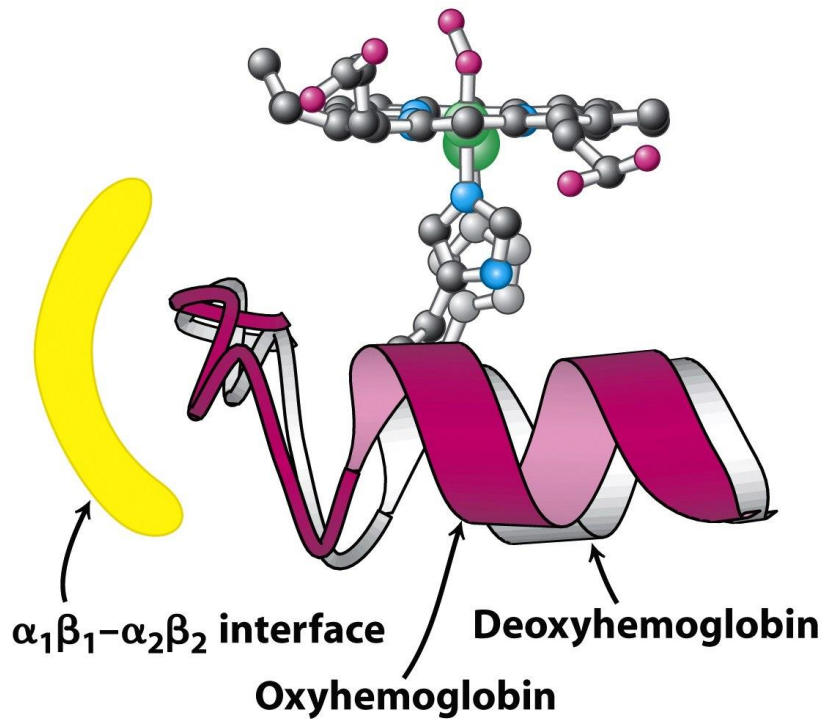


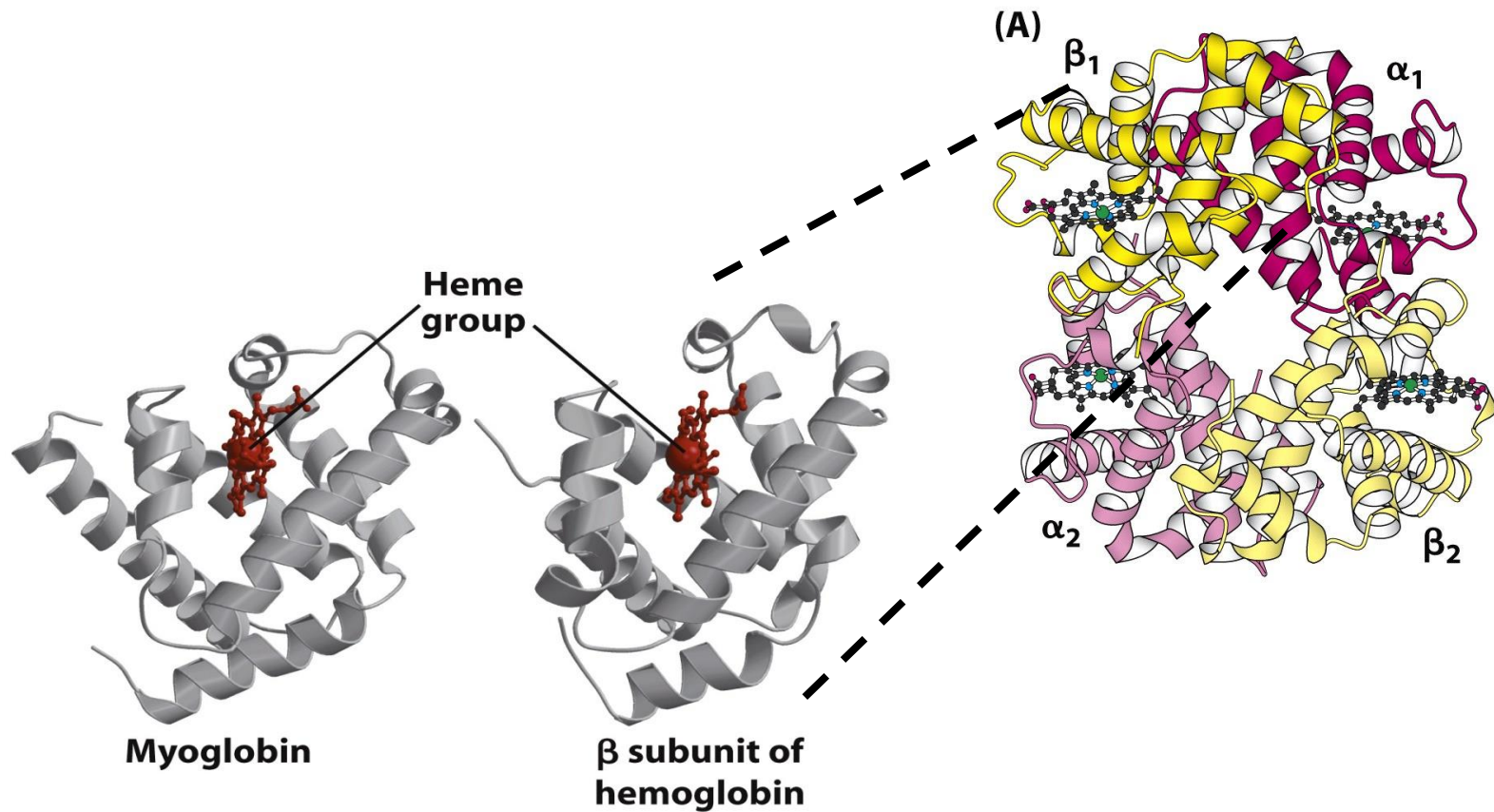
Figure 7-2
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W. H. Freeman and Company

Les mécanismes moléculaires

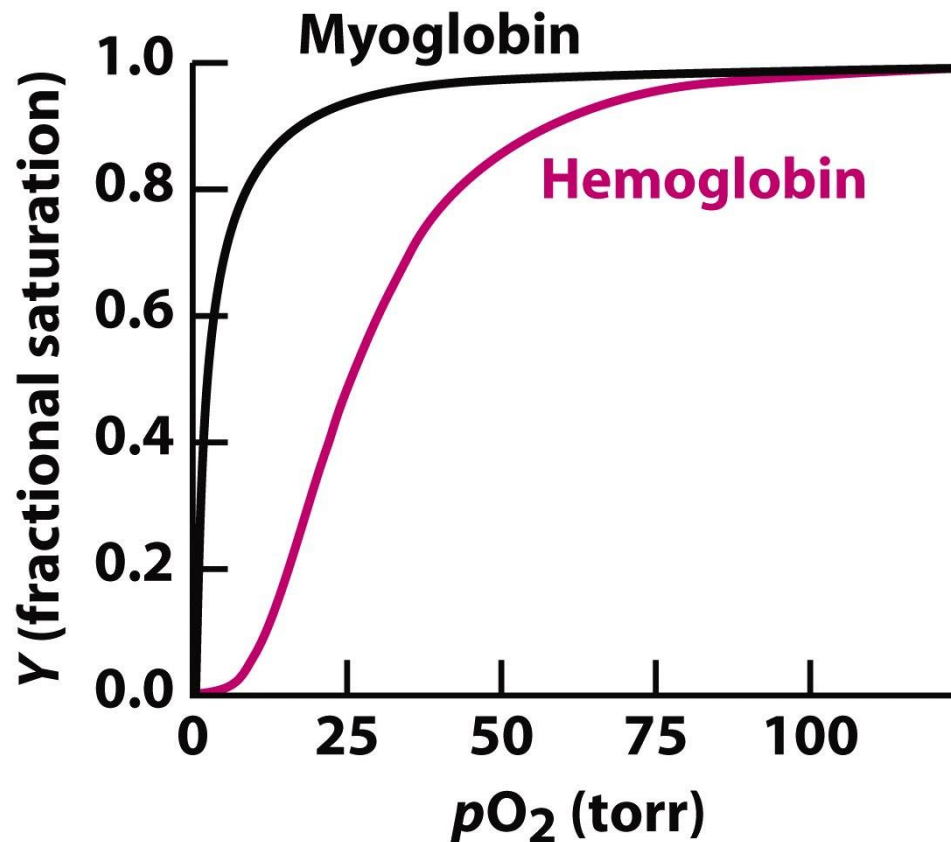


1. L'atome de fer tire l'histidine
2. Le groupe carboxyle terminal de l'hélice α est positionné à l'interface entre les sous-unités d'hémoglobine
3. Les changements de conformations sont transformés d'une sous-unité à l'autre

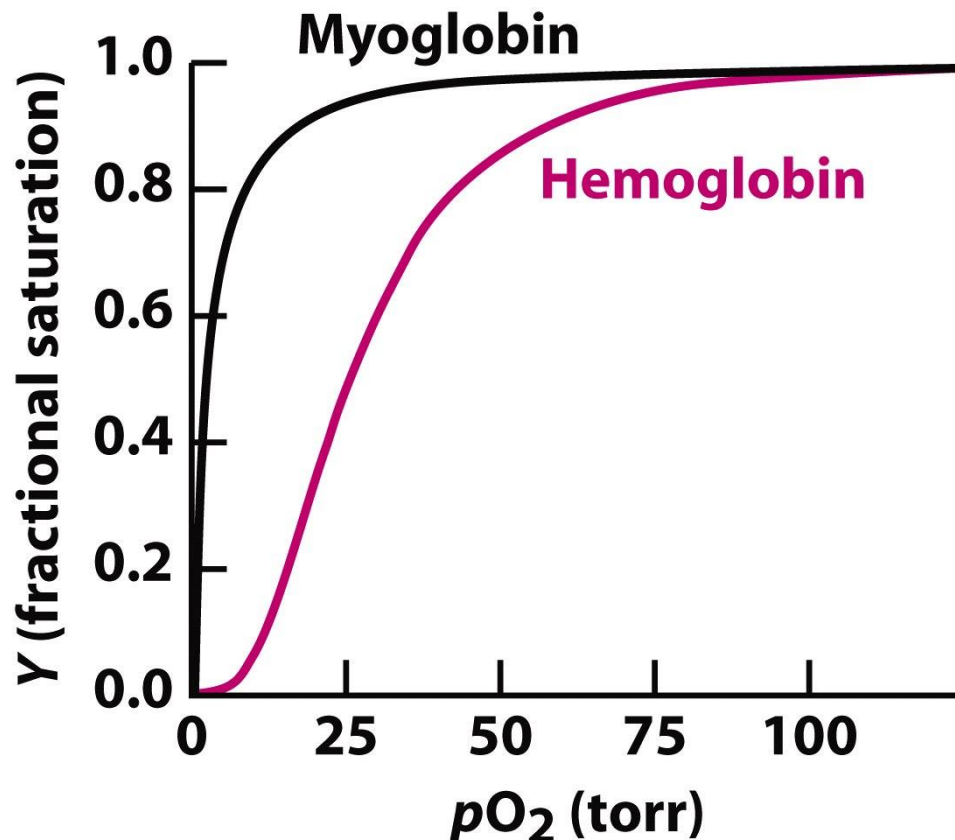
L'hémoglobine est un assemblage de 4 sous-unités de type myoglobine



Saturation de l'hémoglobine et de la myoglobine avec l'oxygène

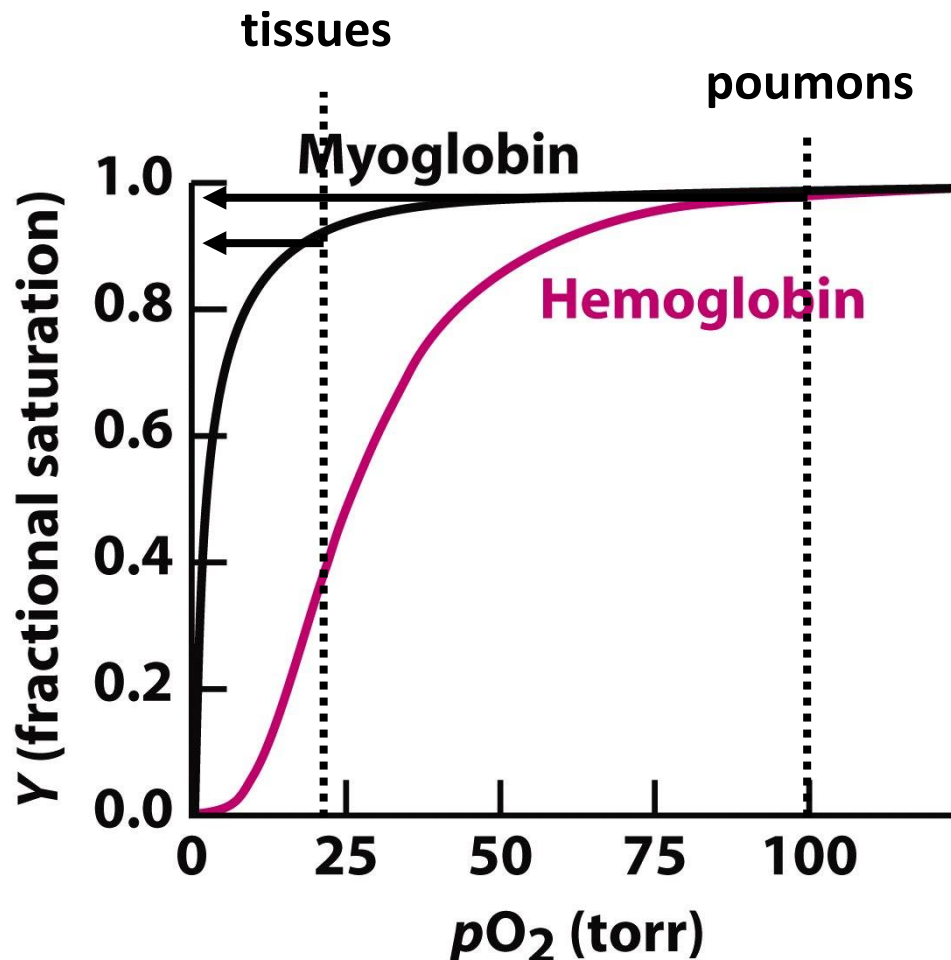


Saturation de l'hémoglobine et de la myoglobine avec l'oxygène



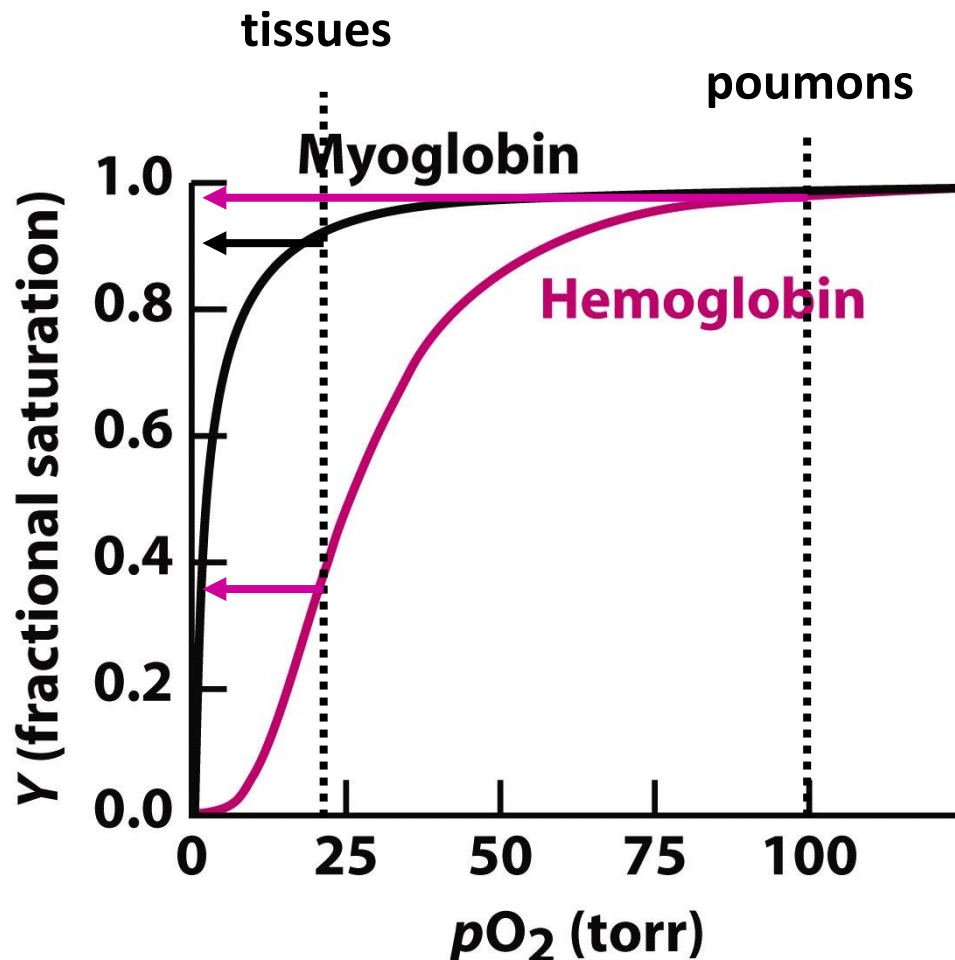
Est-ce que la myoglobine pourrait aussi transporter l'oxygène des poumons aux tissus?

Saturation de l'hémoglobine et de la myoglobine avec l'oxygène



myoglobine:
98% dans les poumons
91% dans les tissus

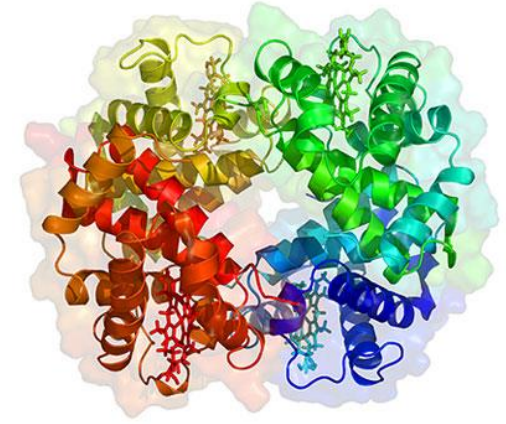
Saturation de l'hémoglobine et de la myoglobine avec l'oxygène



myoglobine:
98% dans les poumons
91% dans les tissus

hémoglobine:
98% dans les poumons
32% dans les tissus

Leçon 8



- Hémoglobine (et myoglobine)

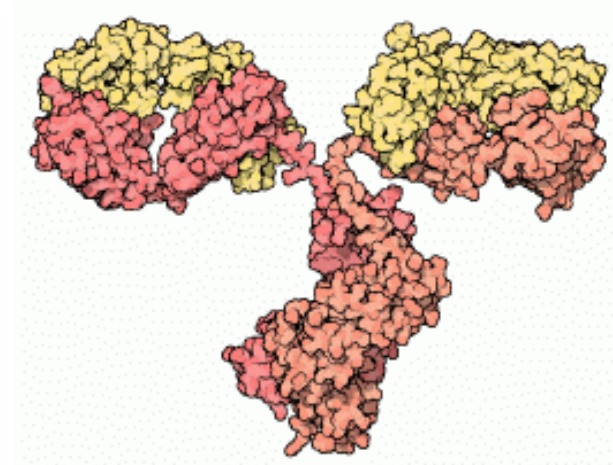
- Structure
- Fixation d'oxygène et interactions coopératives



- Mécanismes moléculaires pour la régulation de hémoglobine
- Mutations dans l'hémoglobine

- Anticorps

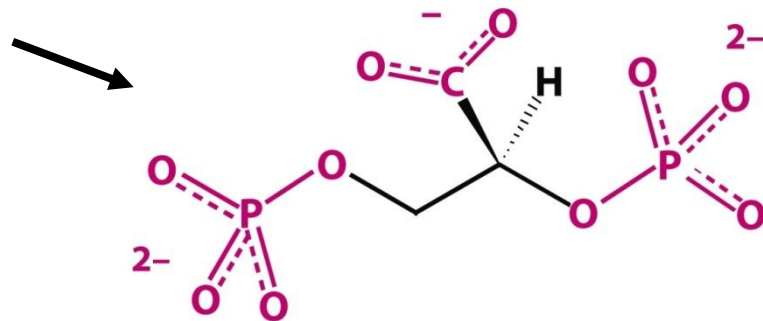
- Fixation d'antigène
- Structure
- Régions variables



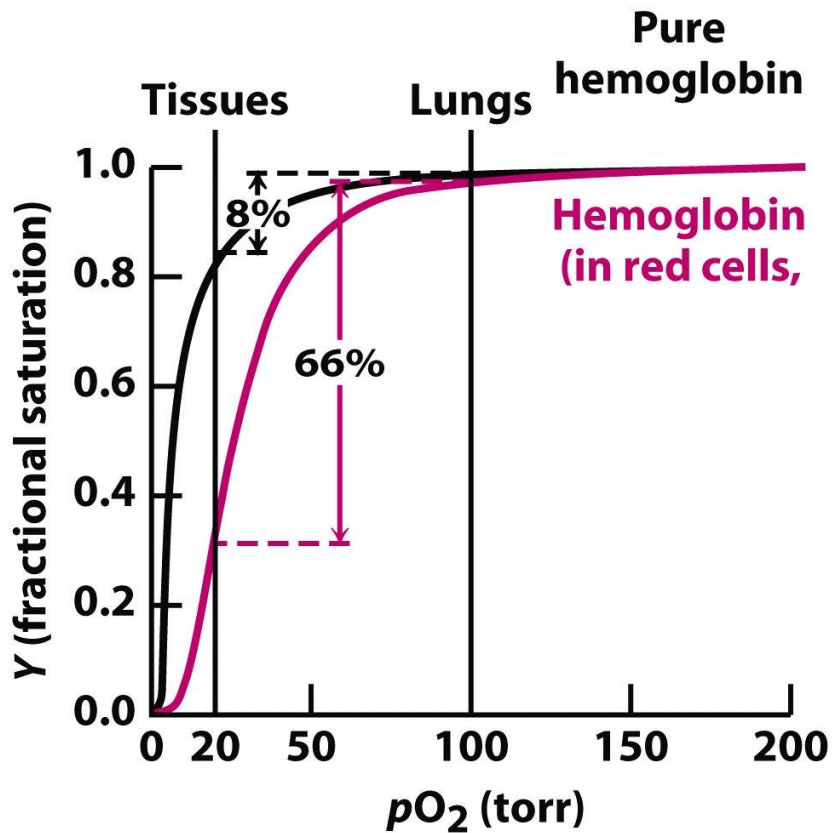
Mécanismes moléculaires pour la régulation de l'hémoglobine

4 mécanismes

- 2,3-bisphosphoglycerate
- pH (concentration de H^+)
- Hémoglobine foetale
- CO_2



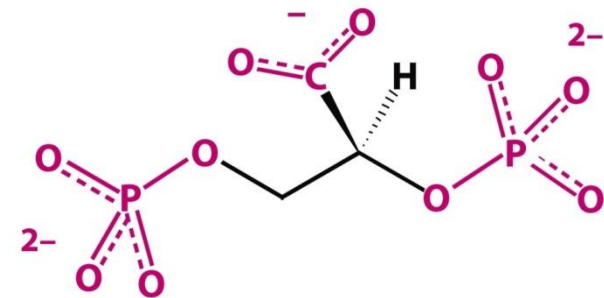
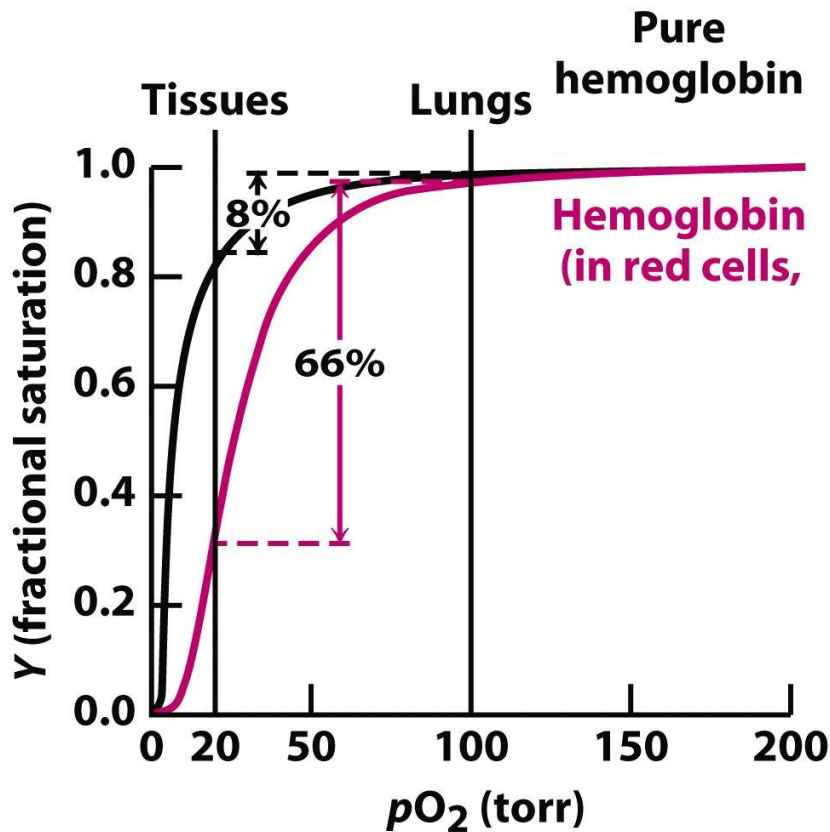
2,3-bisphosphoglycérate



Pourquoi est-ce qu'on trouve une grande différence?

2,3-bisphosphoglycérate

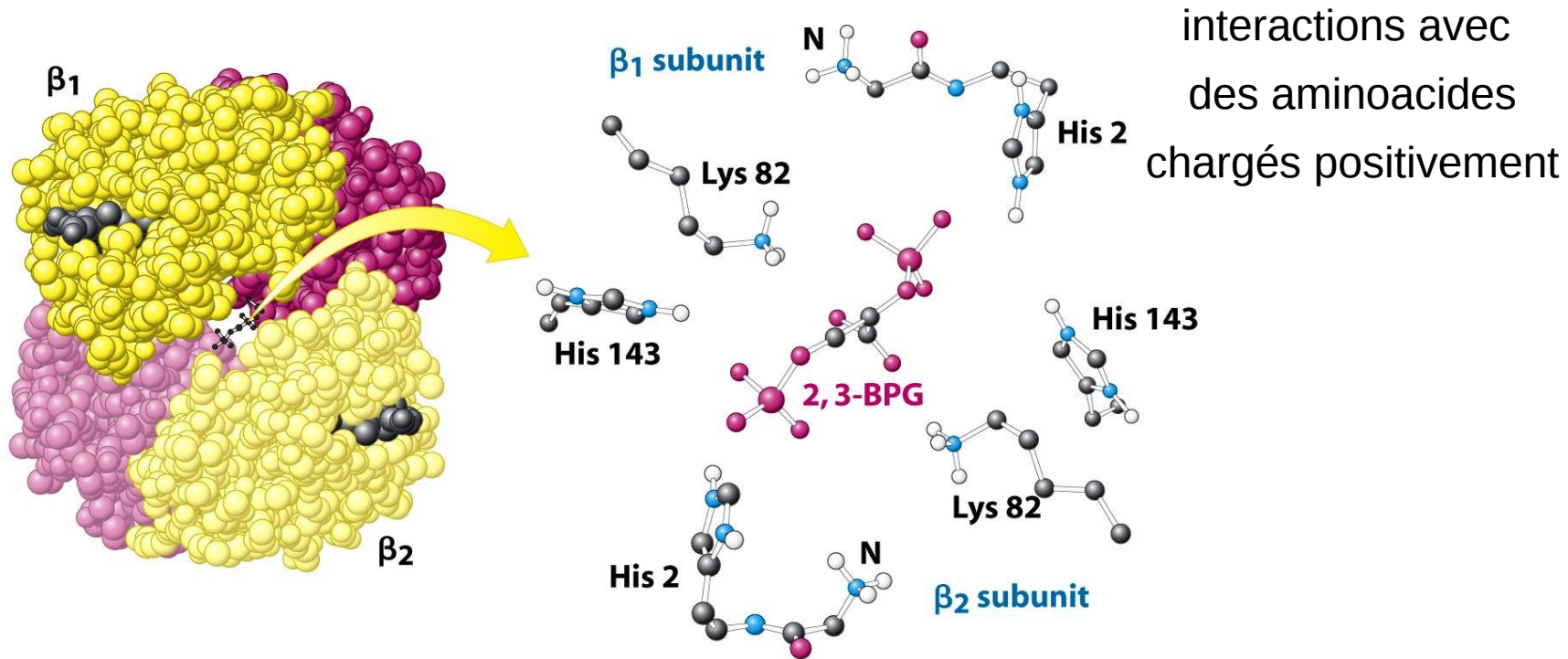
Il y a du 2,3-bisphosphoglycérate dans les globules rouges



**2,3-Bisphosphoglycerate
(2,3-BPG)**

Comment est-ce que le 2,3-BPG peut changer l'affinité avec l'oxygène?

Les mécanismes moléculaires



- 2,3-BPG se place dans une poche au milieu du tetramère de l'hémoglobine (en état T)
- Le 2,3-BPG stabilise l'état T (qui a une affinité basse pour l'oxygène)

Mécanismes moléculaires pour la régulation de l'hémoglobine

4 mécanismes

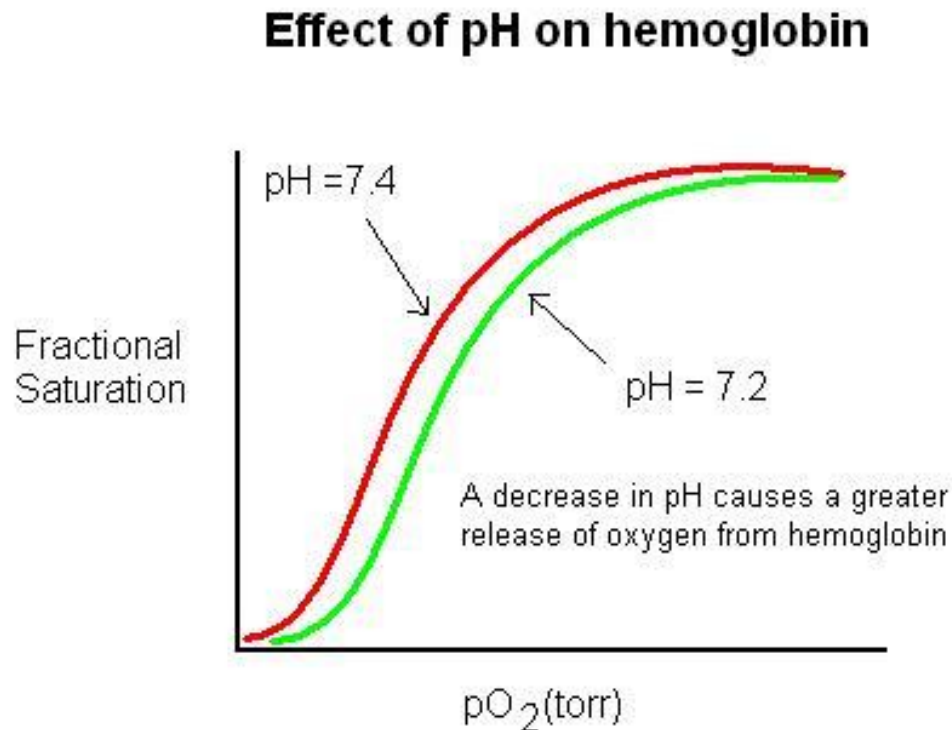
- 2,3-bisphosphoglycerate
- ➔ • pH (concentration de H^+)
- Hémoglobine foetale
- CO_2



pH

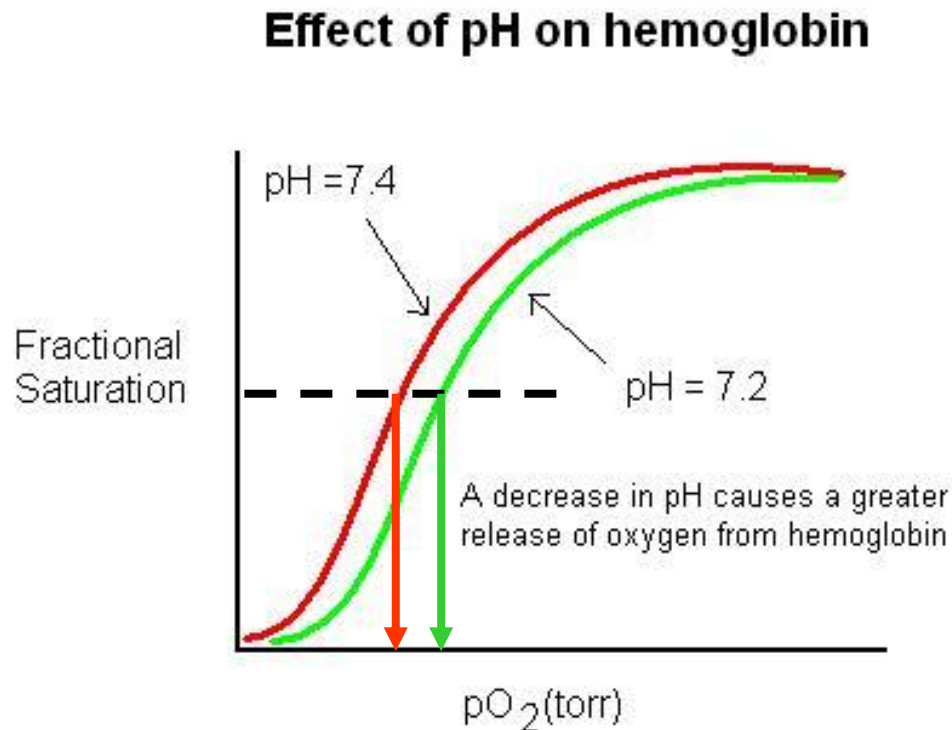
L'effet du pH sur l'affinité avec l'hémoglobine

L'affinité de l'hémoglobine pour l'oxygène est différente à différent pH



L'effet du pH sur l'affinité avec l'hémoglobine

L'affinité de l'hémoglobine pour l'oxygène est différente à différent pH

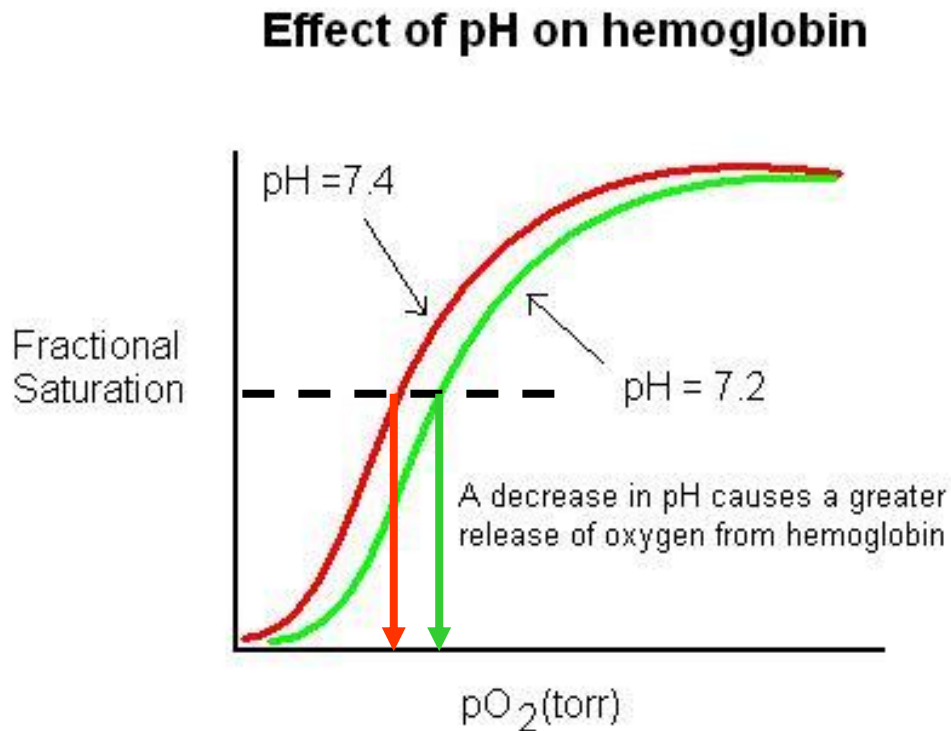


pH dans les **poumons**: 7.4

pH dans les **tissues**: 7.2

L'effet du pH sur l'affinité avec l'hémoglobine

L'affinité de l'hémoglobine pour l'oxygène est différente à différent pH



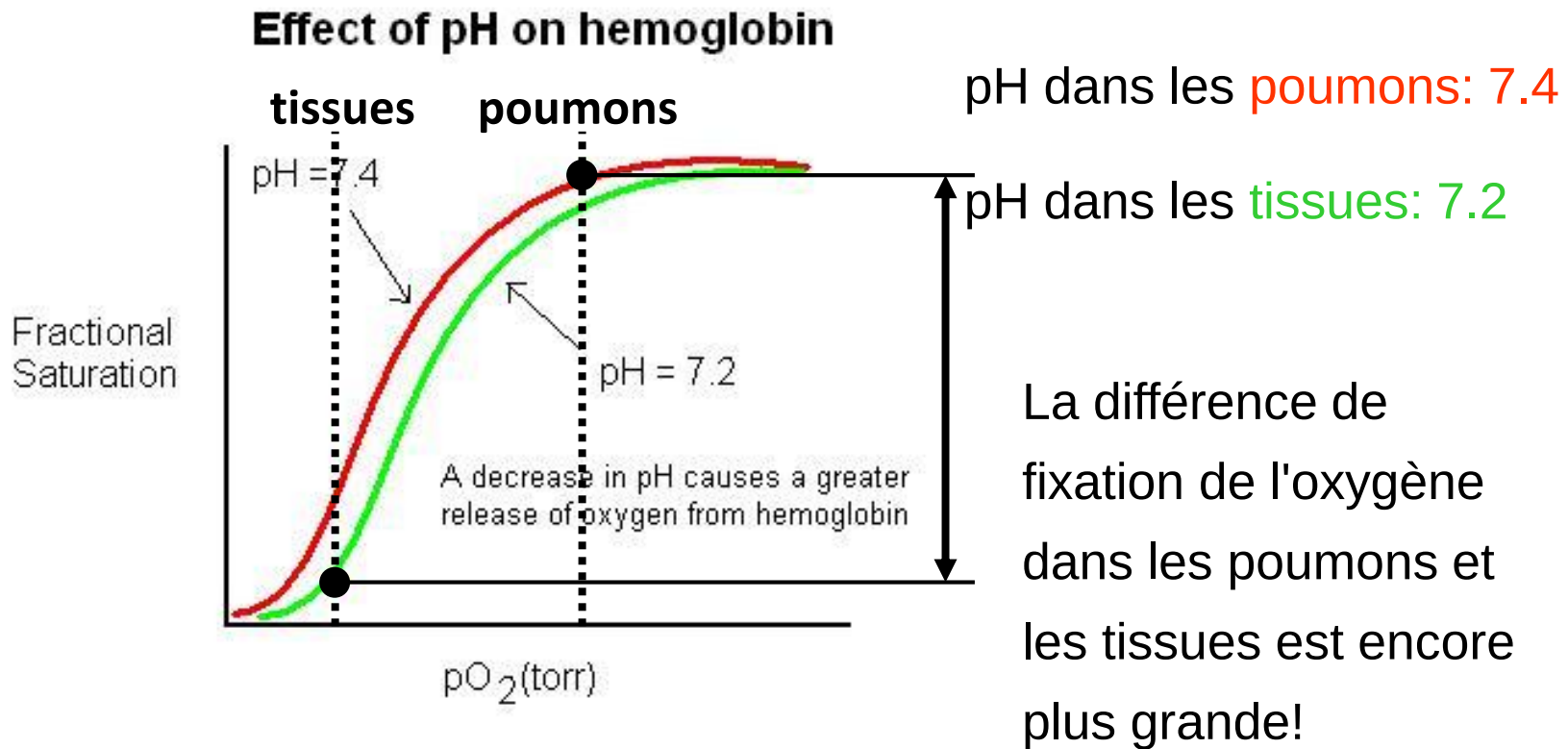
pH dans les **poumons**: 7.4

pH dans les **tissues**: 7.2

Est-ce que l'effet du pH est utile pour le transport d'oxygène?

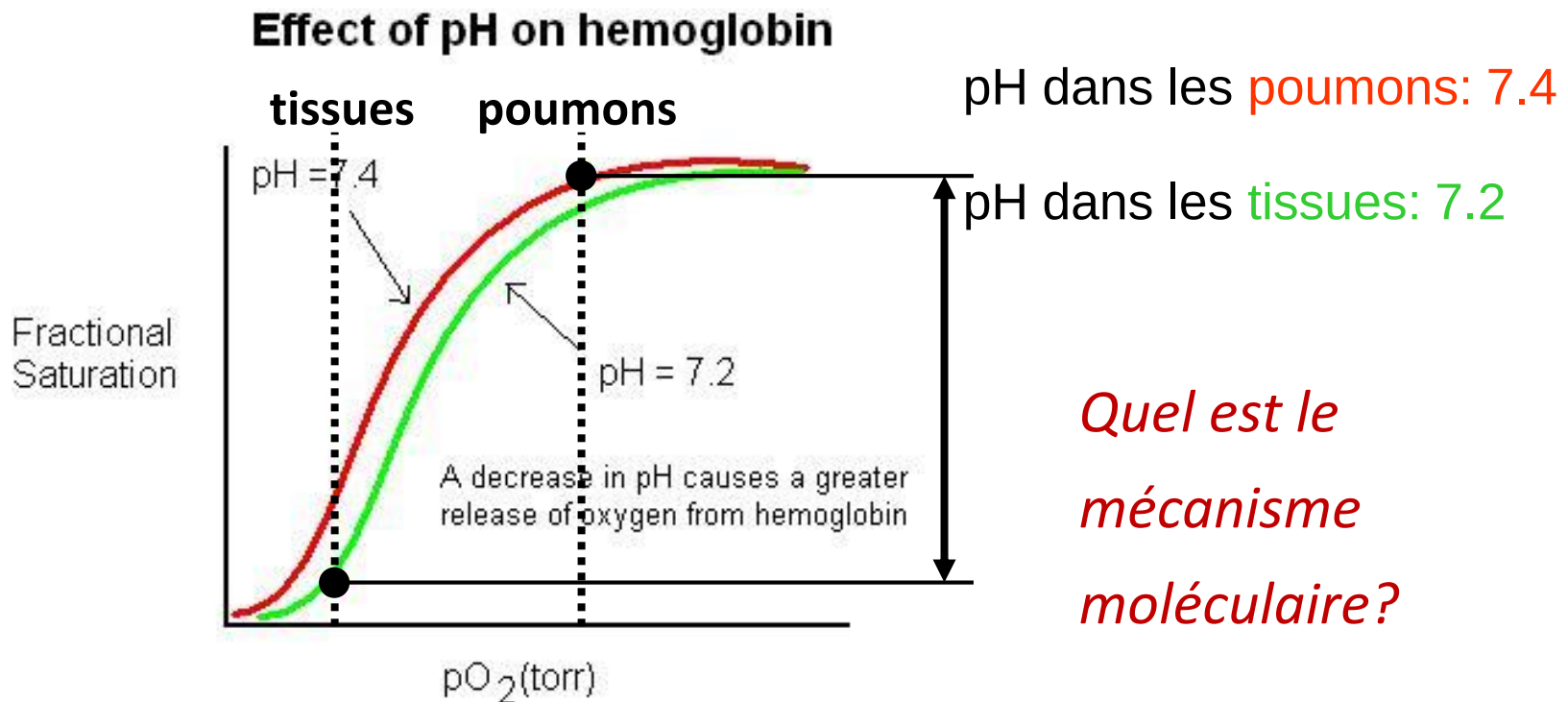
L'effet du pH sur l'affinité avec l'hémoglobine

L'affinité de l'hémoglobine pour l'oxygène est différente à différent pH

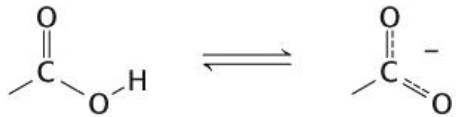
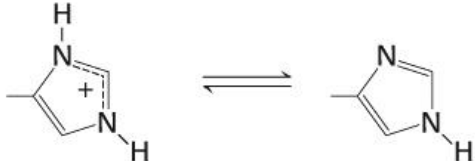
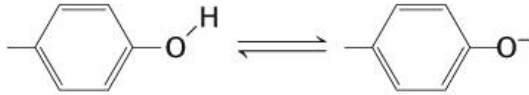
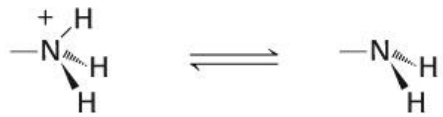
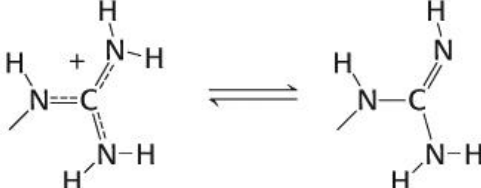


L'effet du pH sur l'affinité avec l'hémoglobine

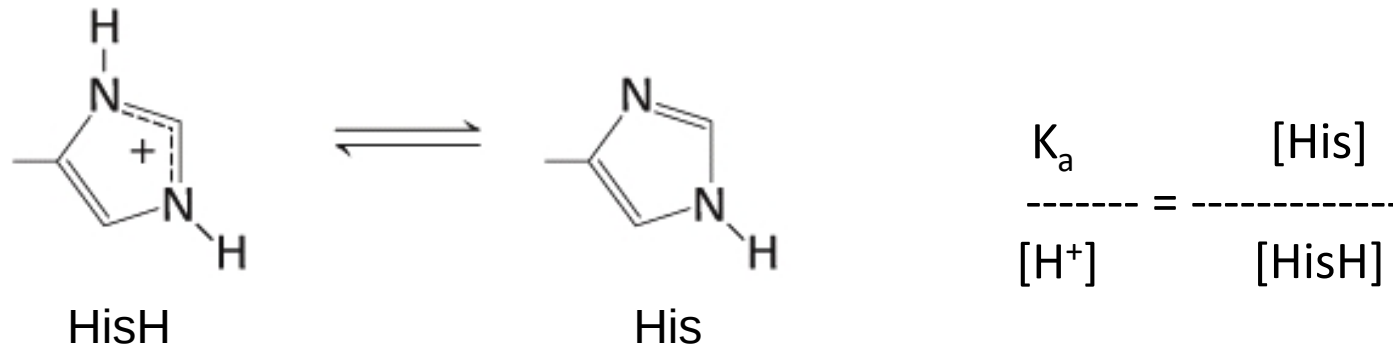
L'affinité de l'hémoglobine pour l'oxygène est différente à différent pH



Un pH différent peut changer l'état d'ionisation

		pKa
Aspartic acid Glutamic acid		4.1
Histidine		6.0
Cysteine		8.3
Tyrosine		10.9
Lysine		10.8
Arginine		12.5

Etat d'ionisation de l'histidine



$$pK_a = -\log_{10}(K_a) \rightarrow K_a = 10^{-6} = 0.000001$$

$$pH = -\log_{10} [H^+] \rightarrow [H^+] = 10^{-7.4} = 0.00000004$$

$$[H^+] = 10^{-7.2} = 0.000000063$$

$$\frac{[His]}{[HisH]} = 25 \text{ (au pH 7.4) ou } 16 \text{ (au pH 7.2)}$$

poumon tissue

Mécanisme moléculaire:

H^+ provoque la libération d'oxygène

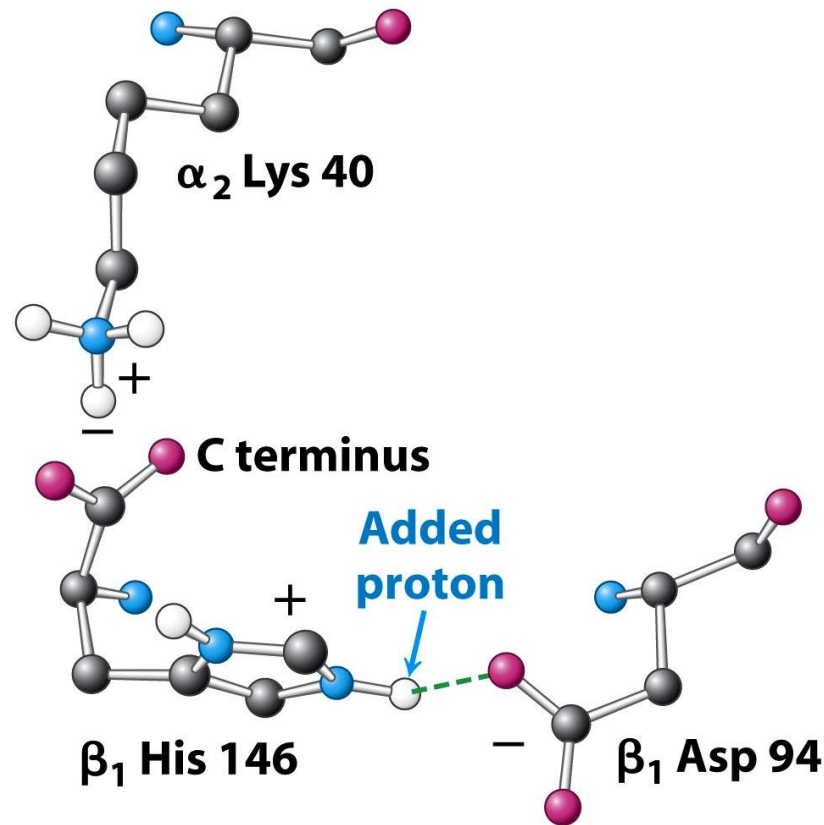


Figure 7-19
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W. H. Freeman and Company

Mécanismes moléculaires pour la régulation de l'hémoglobine

4 mécanismes

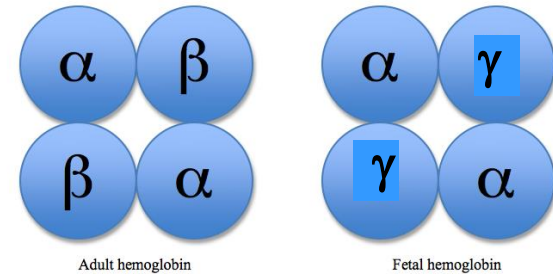
- 2,3-bisphosphoglycerate
- pH (concentration de H^+)
- • Hémoglobine foetale
- CO_2



foetus

Hémoglobine foétale et maternelle

**L'hémoglobine foetal
a 2 unités α et 2 unités γ**



hémoglobine	hémoglobine
adulte	foetal

Hémoglobine foétale et maternelle

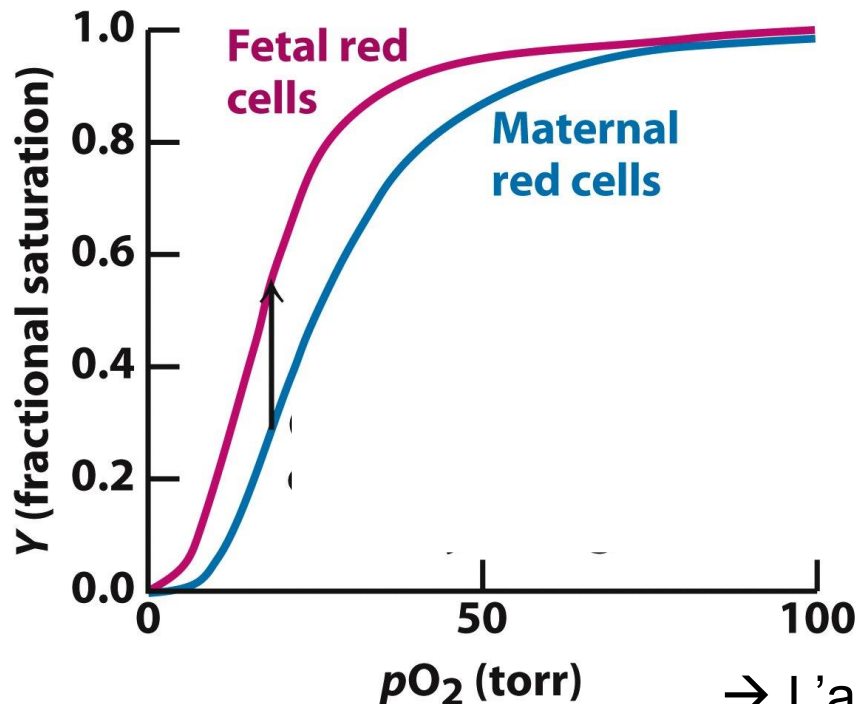
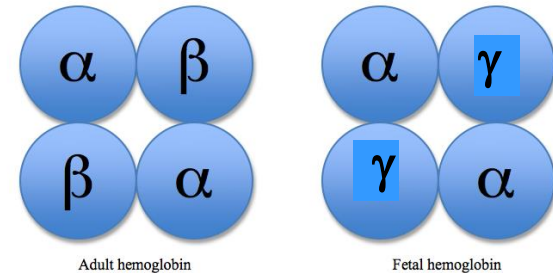


Figure 7-17
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W. H. Freeman and Company

L'hémoglobine foetal
a 2 unités α et 2 unités γ



hémoglobine adulte hémoglobine foetal

→ L'affinité de l'hémoglobine foetale pour l'oxygène est plus haute que celle de l'hémoglobine adulte

Hémoglobine foétale et maternelle

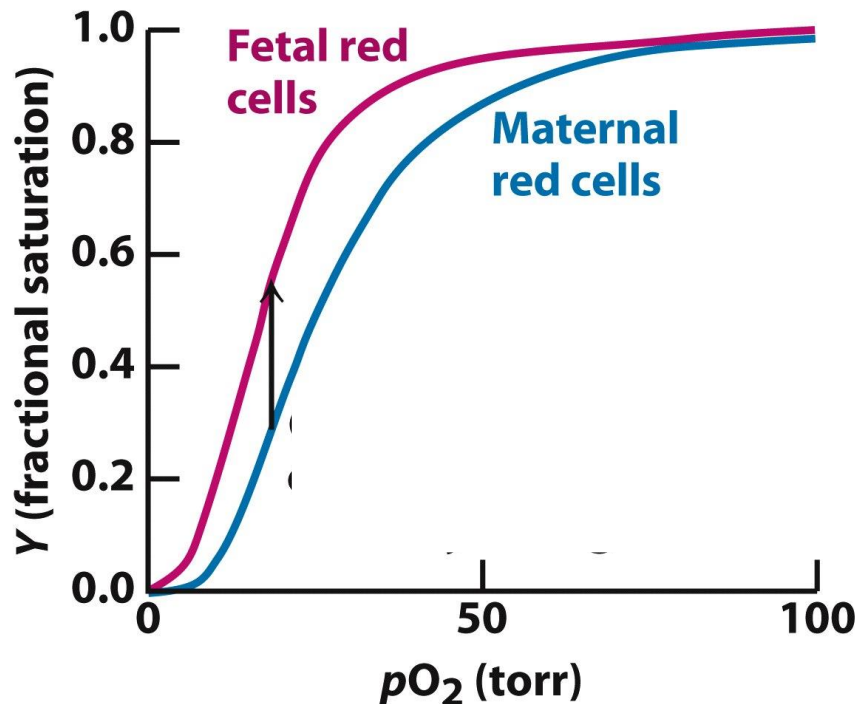
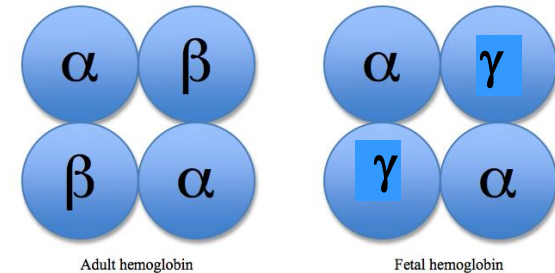


Figure 7-17
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W. H. Freeman and Company

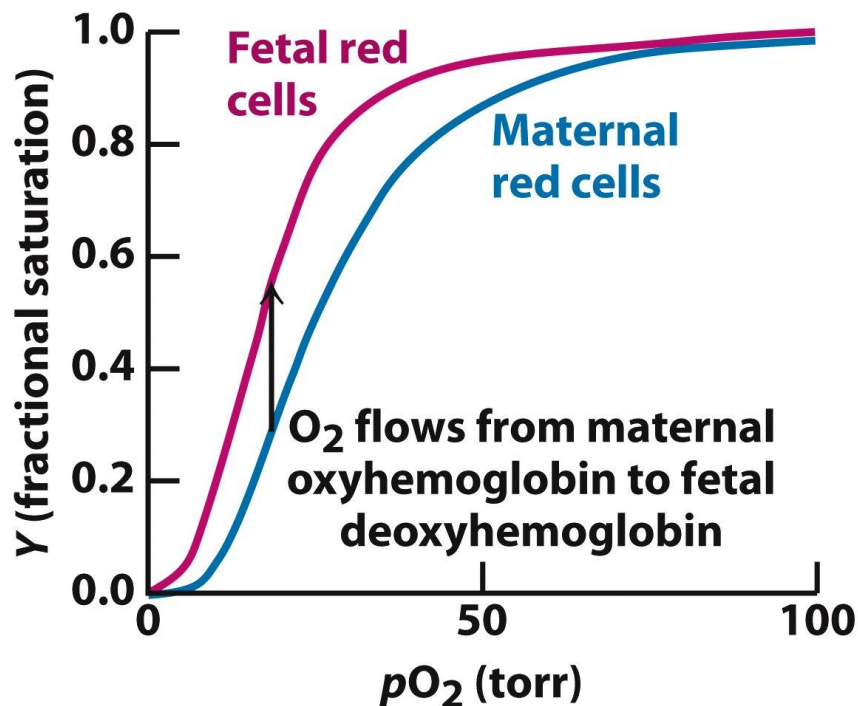
L'hémoglobine foetal
a 2 unités α et 2 unités γ



hémoglobine adulte hémoglobine foetal

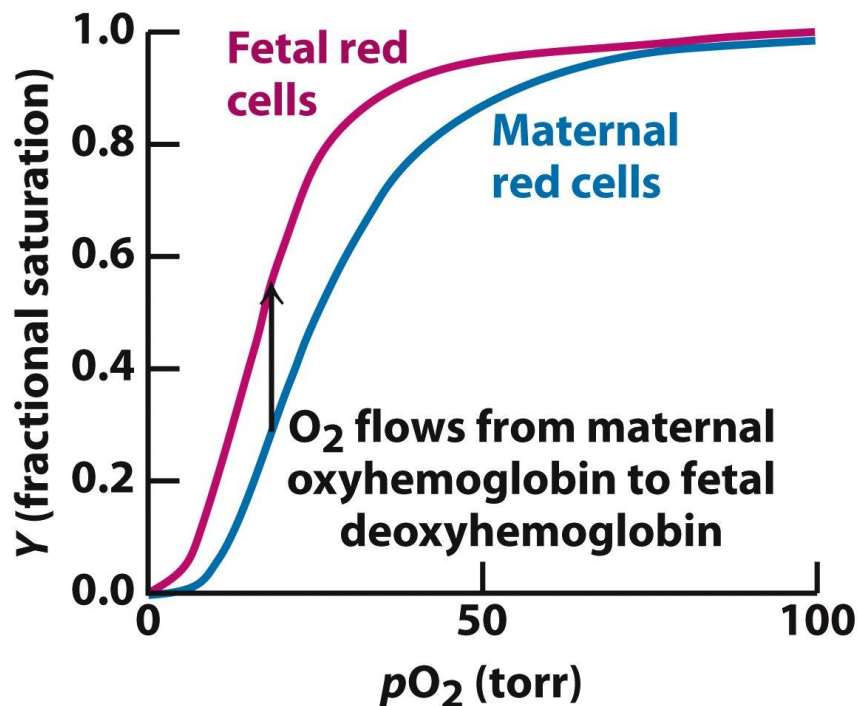
Pourquoi est-ce que c'est utile que l'hémoglobine foetal a une affinité d'oxygène élevé?

Hémoglobine foetale et maternelle



→ L'oxygène est transporté de l'hémoglobine maternelle à l'hémoglobine foetale

Hémoglobine foetale et maternelle



→ L'oxygène est transporté de l'hémoglobine maternelle à l'hémoglobine foetale

Quelles sont les différences entre les deux hémoglobines au niveau moléculaire?

Hémoglobine foetale et maternelle

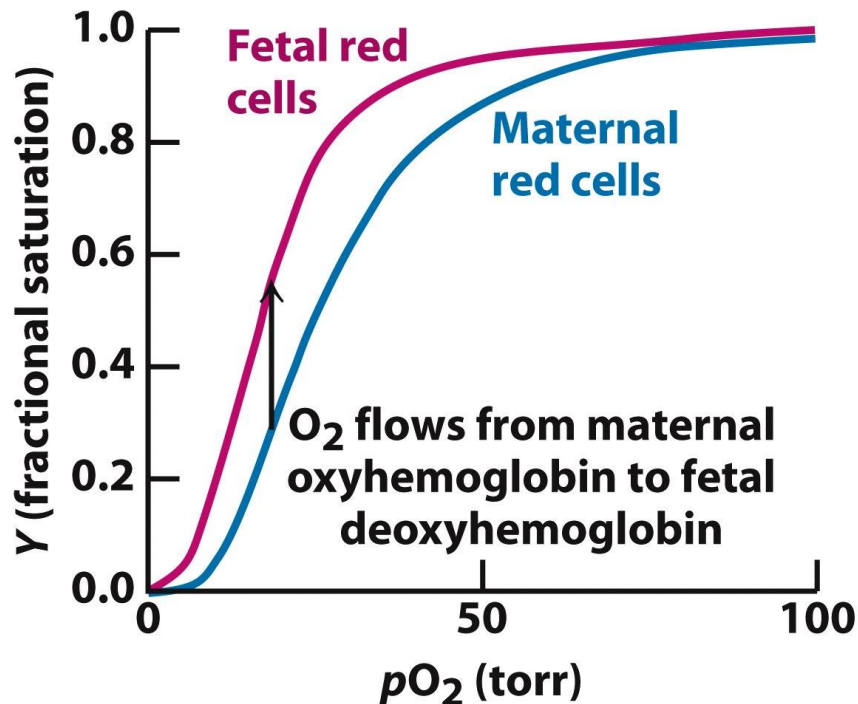


Figure 7-17
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W. H. Freeman and Company

- La sous-unité γ a 72% d'acides aminés identiques avec la sous-unités β
- His 143 (sous-unités β) $\rightarrow$ Ser 143 (sous-unités γ)
 - 2 charges positives sont enlevées du site qui fixe le 2,3-BPG
 - $\rightarrow$ L'affinité du HbF pour 2,3-BPG est diminuée
 - $\rightarrow$ L'affinité du HbF pour l'oxygène est augmentée

Mécanismes moléculaires pour la régulation de l'hémoglobine

4 mécanismes

- 2,3-bisphosphoglycerate
- pH (concentration de H^+)
- Hémoglobine foetaux
- CO_2

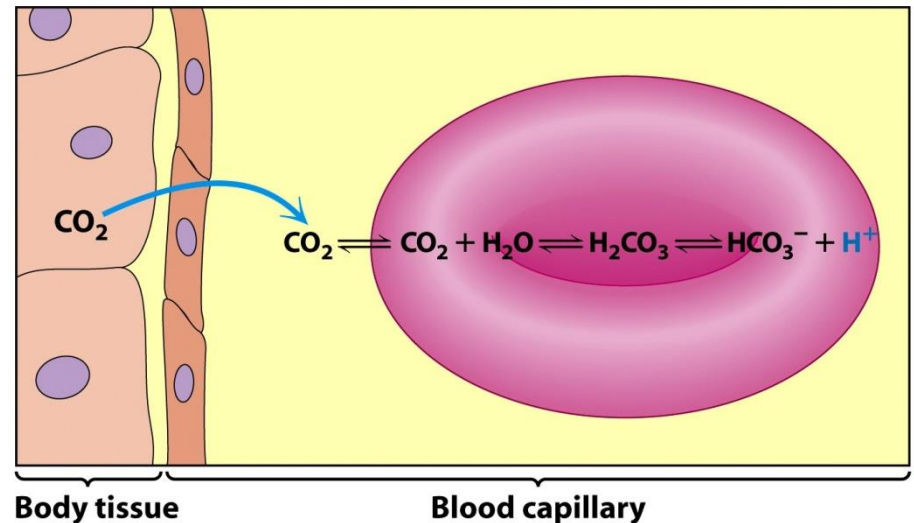
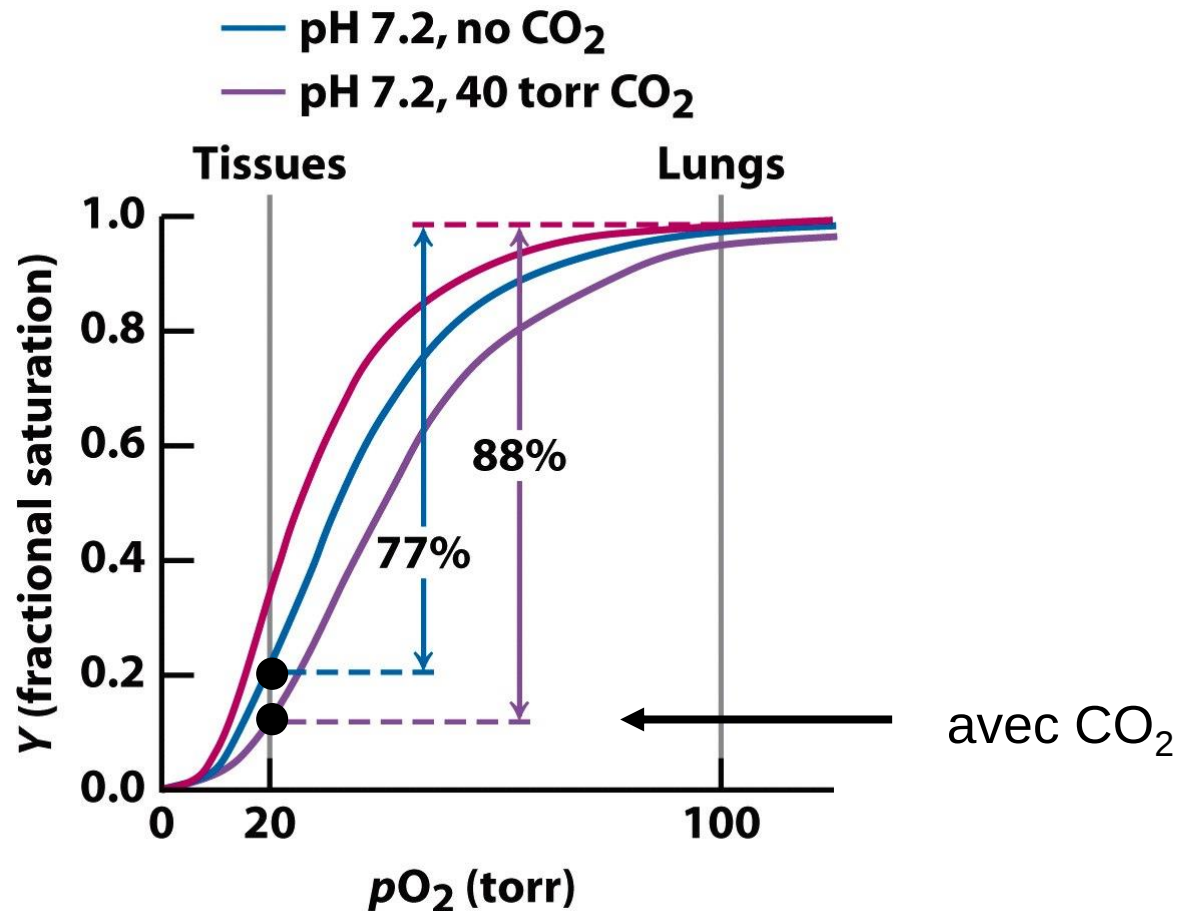
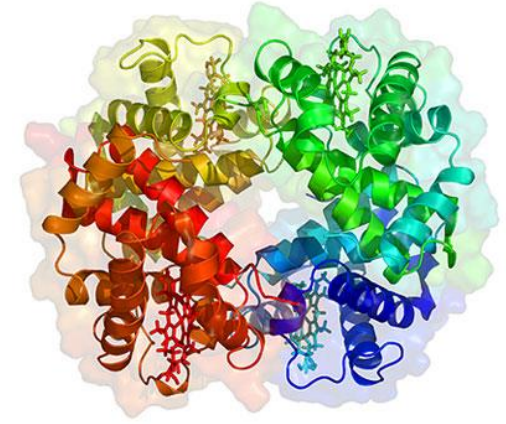


Figure 7-20
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W. H. Freeman and Company

L'effet du CO_2 sur l'affinité de l'hémoglobine



Leçon 8



- Hémoglobine (et myoglobine)

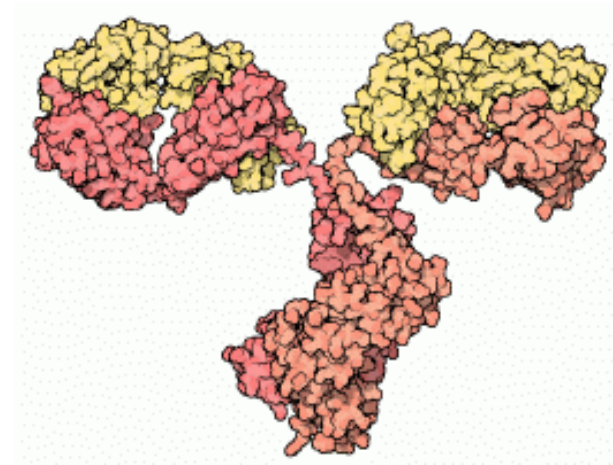
- Structure
- Fixation d'oxygène et interactions coopératives
- Mécanismes moléculaires pour la régulation de hémoglobine



- Mutations dans l'hémoglobine

- Anticorps

- Fixation d'antigène
- Structure
- Régions variables



Des mutations dans les gènes codant pour les sous-unités de l'hémoglobine peuvent être responsables de maladies

- L'anémie falciforme (sickle cell disease)



Figure 7-23
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W. H. Freeman and Company

- Thalassémie (β thalassemia)

L'anémie falciforme

Les protéines d'hémoglobine forment des fibres

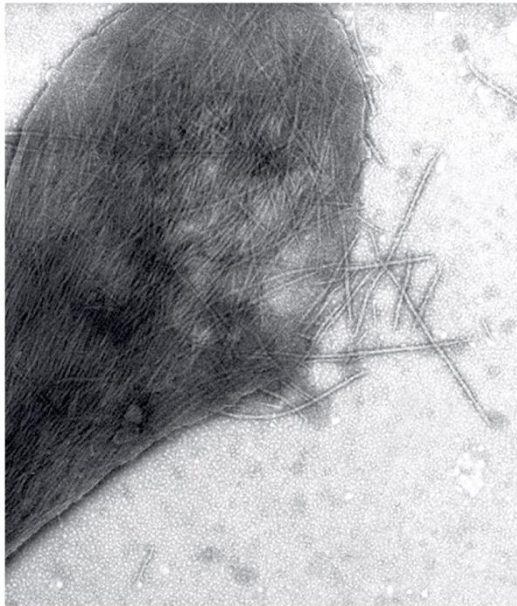
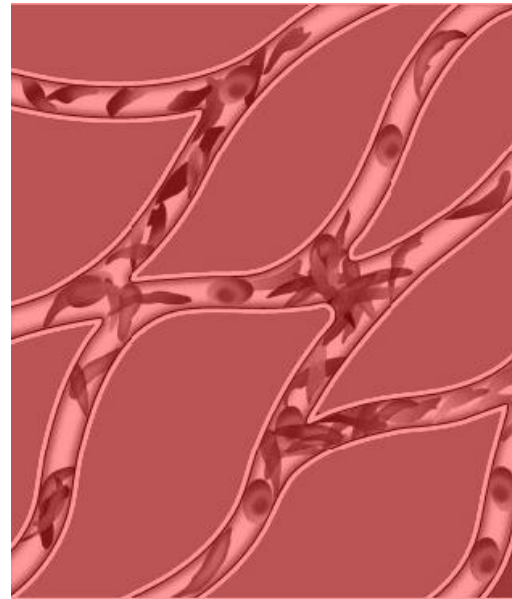


Figure 7-24
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W. H. Freeman and Company



Pourquoi?

L'anémie falciforme

Les protéines d'hémoglobine forment des fibres

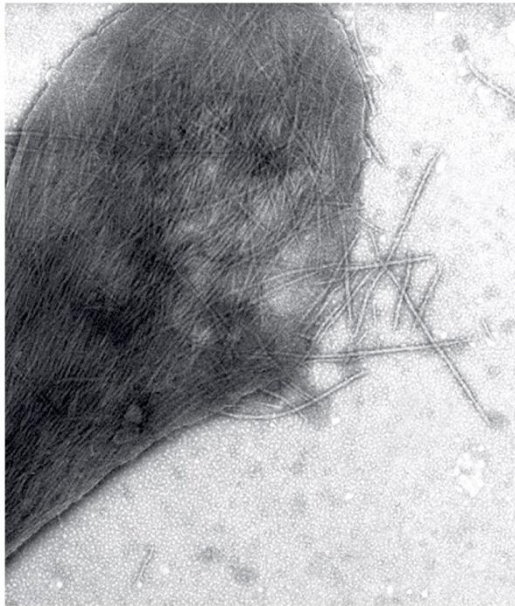
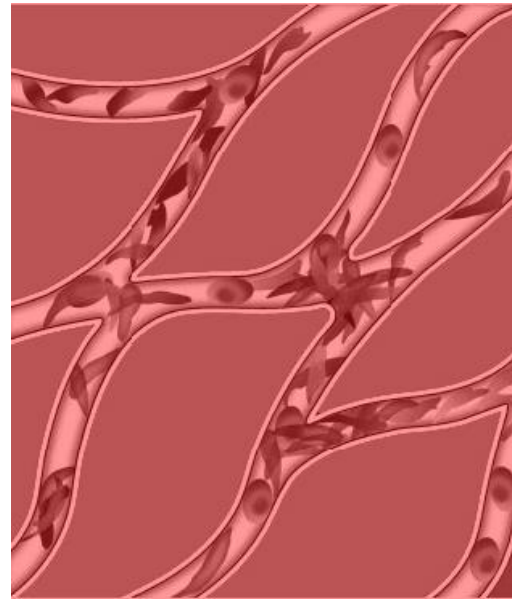


Figure 7-24
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W. H. Freeman and Company



Des mutations augmentent l'hydrophobicité de l'hémoglobine

L'anémie falciforme

- Maladie génétique
- Mutation des sous-unités β de hémoglobine: Glu 6 $\rightarrow$ Val 6
- HbS (sickled hemoglobin)

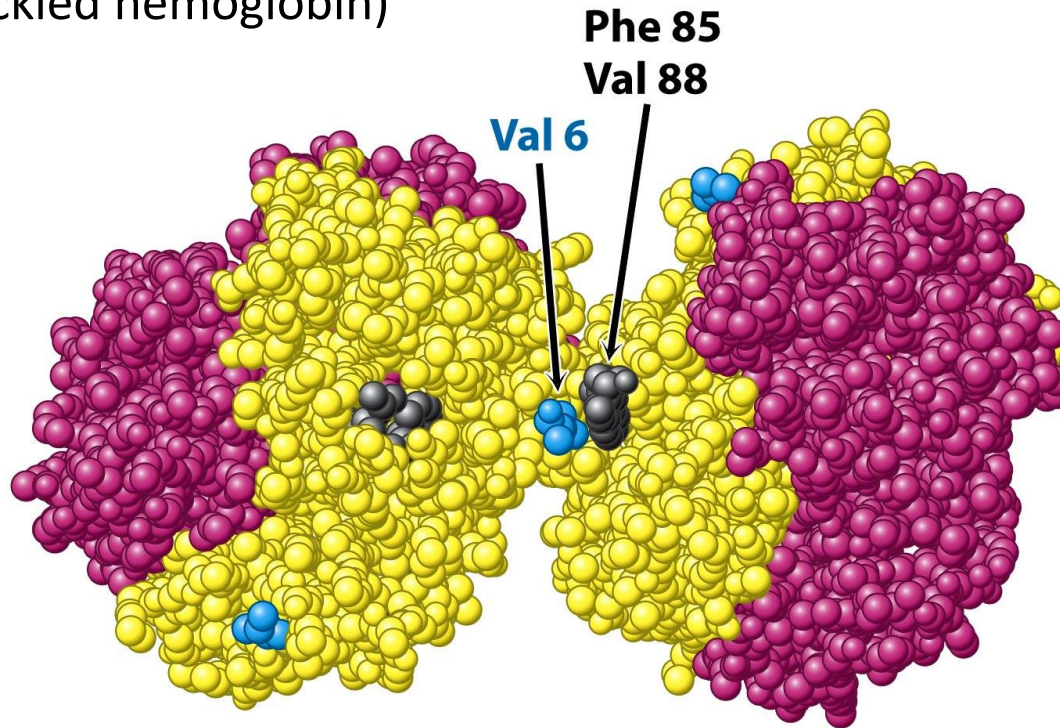


Figure 7-25
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W. H. Freeman and Company

Population avec la mutation dans un allèle

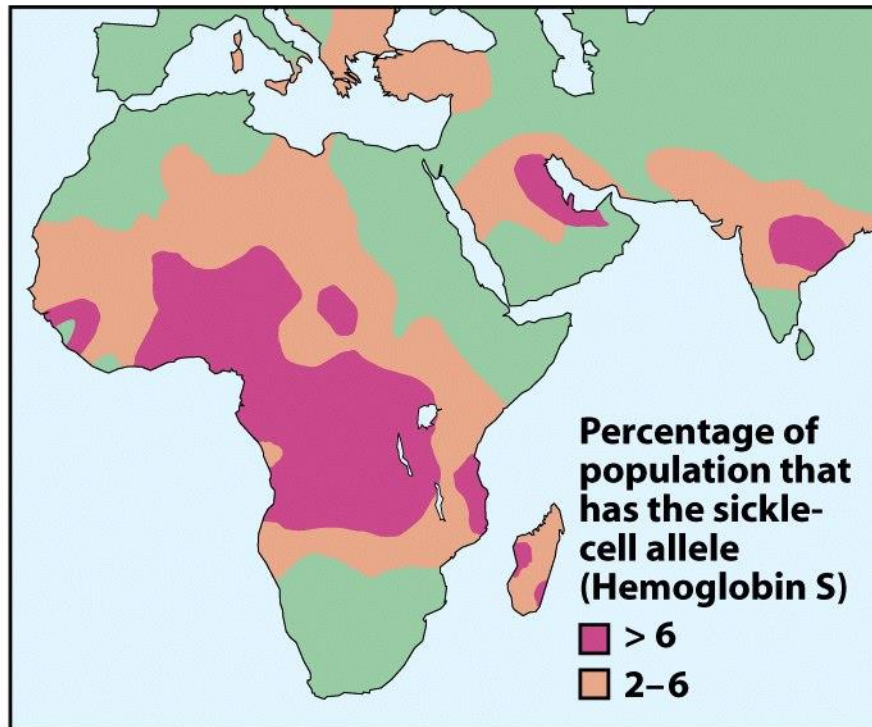
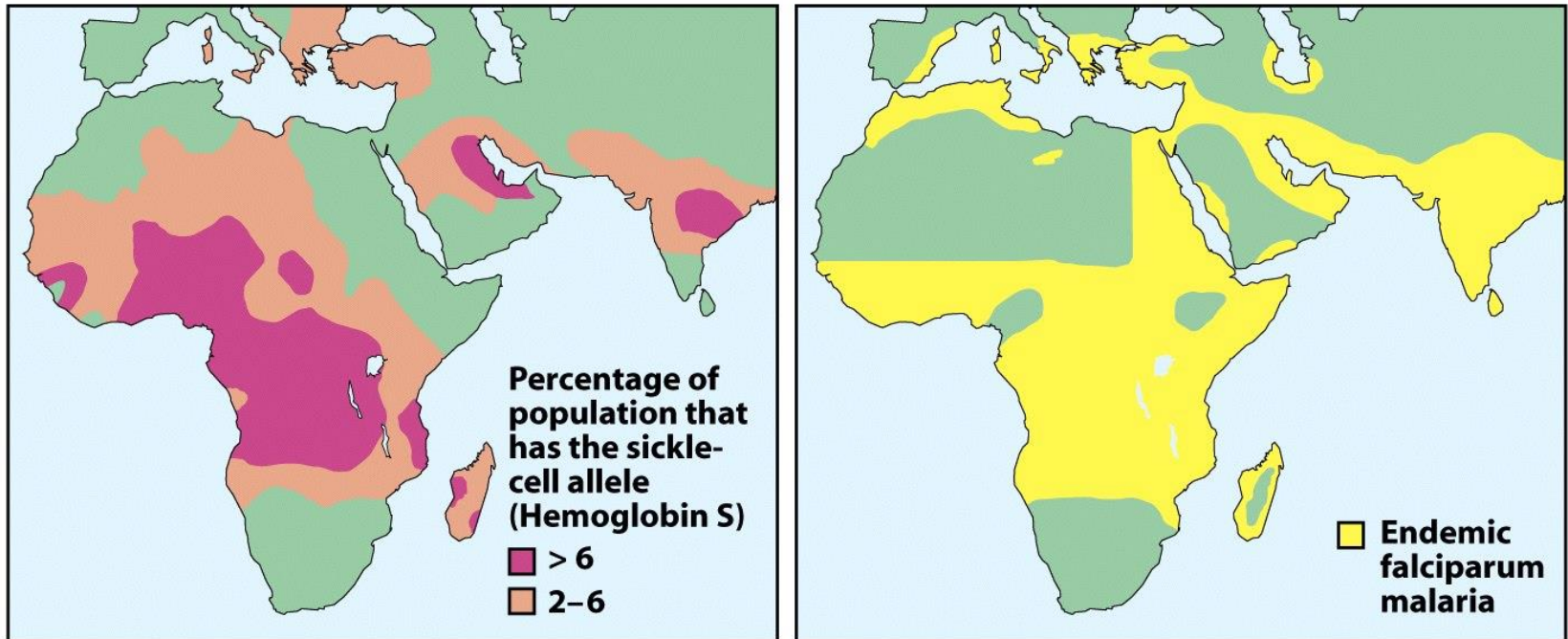


Figure 7-26

Biochemistry, Sixth Edition

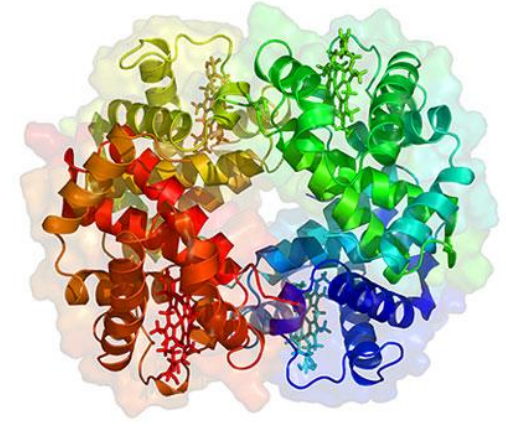
© 2007 W. H. Freeman and Company

Population avec la mutation dans un allèle



Les gens avec la mutation Glu 6 → Val 6 sont protégés patiellement d'une infection avec la malaria

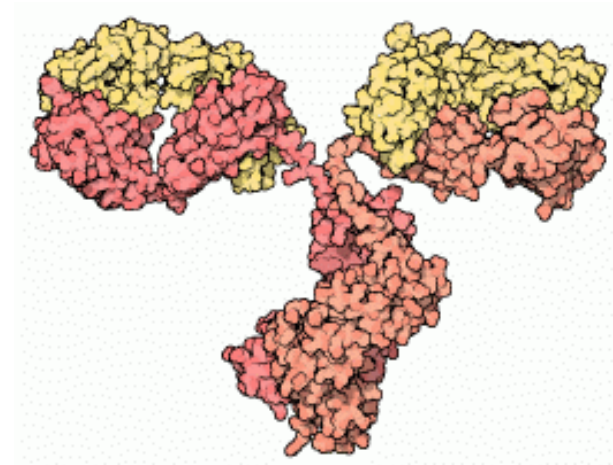
Leçon 8



- Hémoglobine (et myoglobine)
 - Structure
 - Fixation d'oxygène et interactions coopératives
 - Mécanismes moléculaires pour la régulation de hémoglobine
 - Mutations dans l'hémoglobine



- Anticorps
 - Fixation d'antigène
 - Structure
 - Régions variables

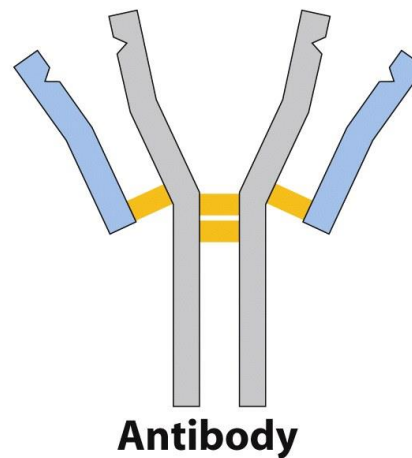


Structure et fonction des anticorps

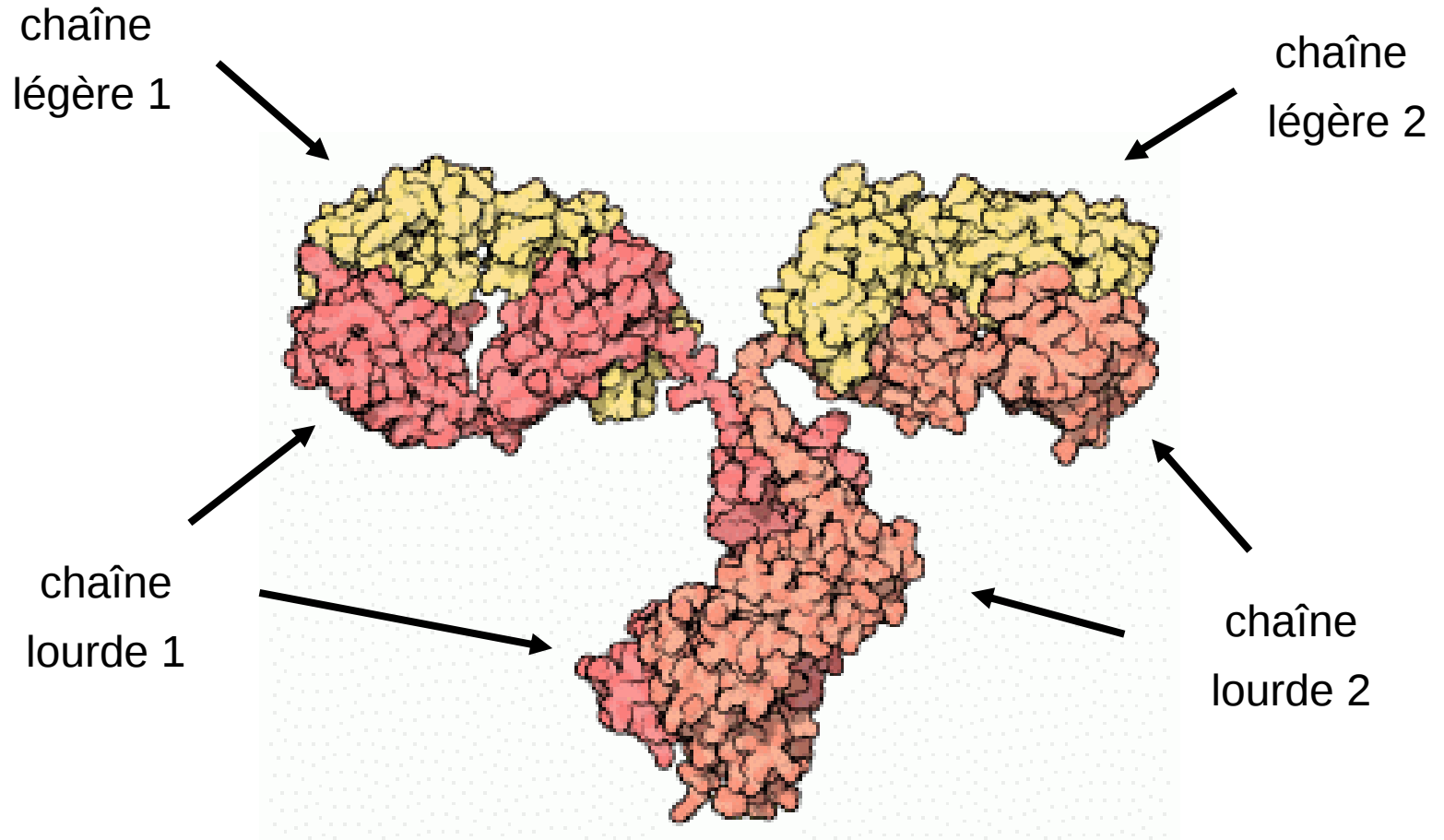
Quelle est la structure et la fonction des anticorps?

Structure et fonction des anticorps

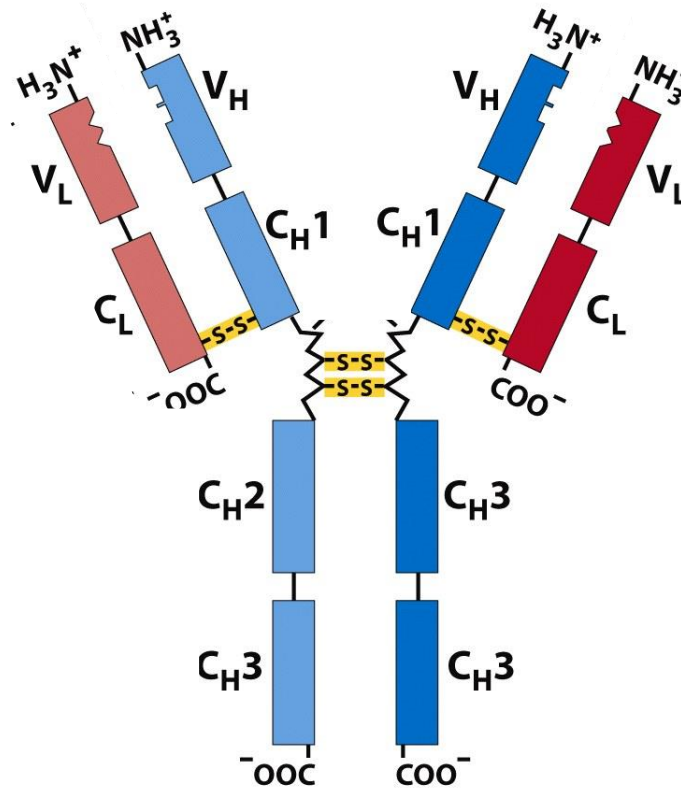
- Structure de la forme ,Y‘
- Se fixent sur la surface des agents infectieux
- Composant du système
immunitaire



Structure des anticorps

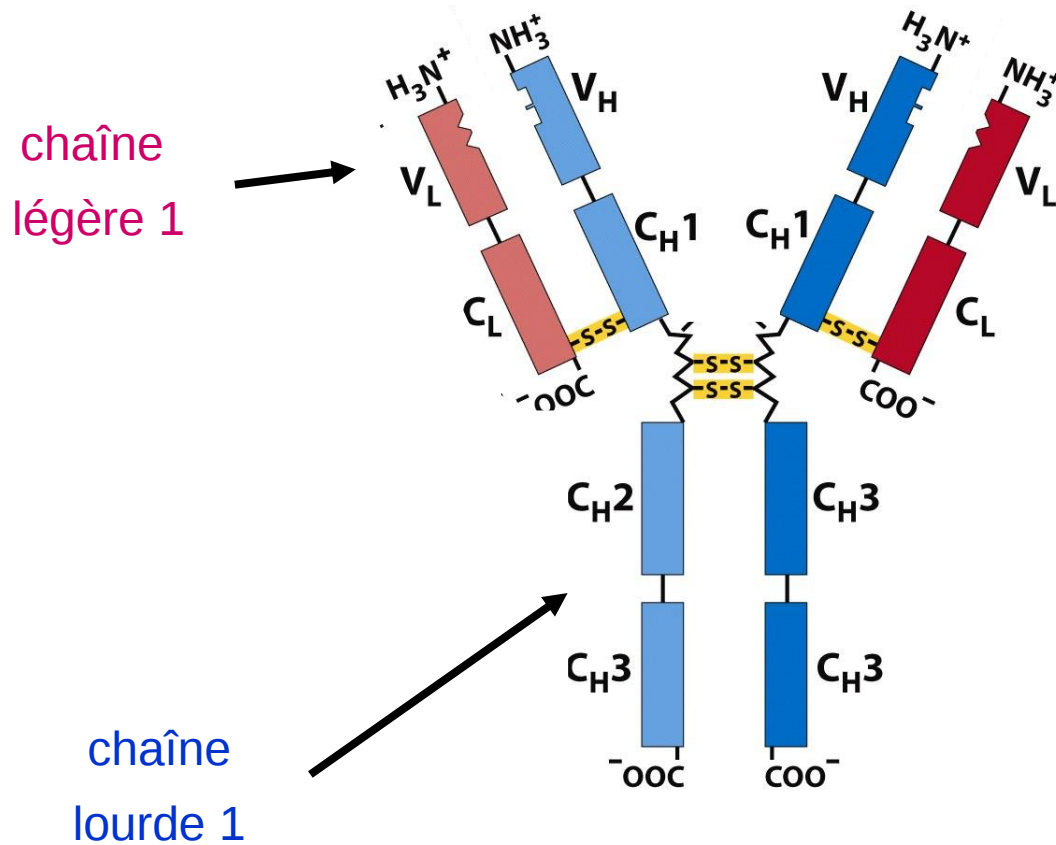


Structure des anticorps

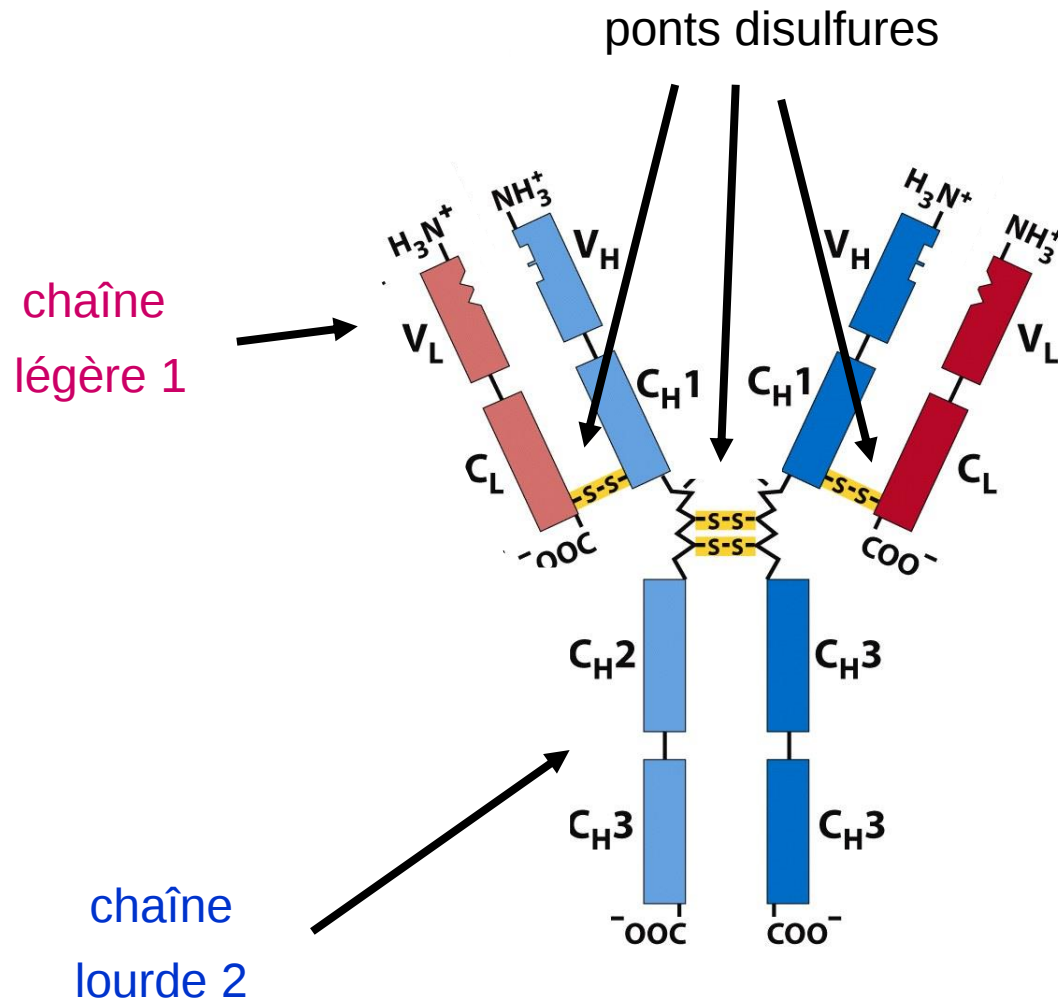


*Quelles sont les
chaînes lourdes et
légères?*

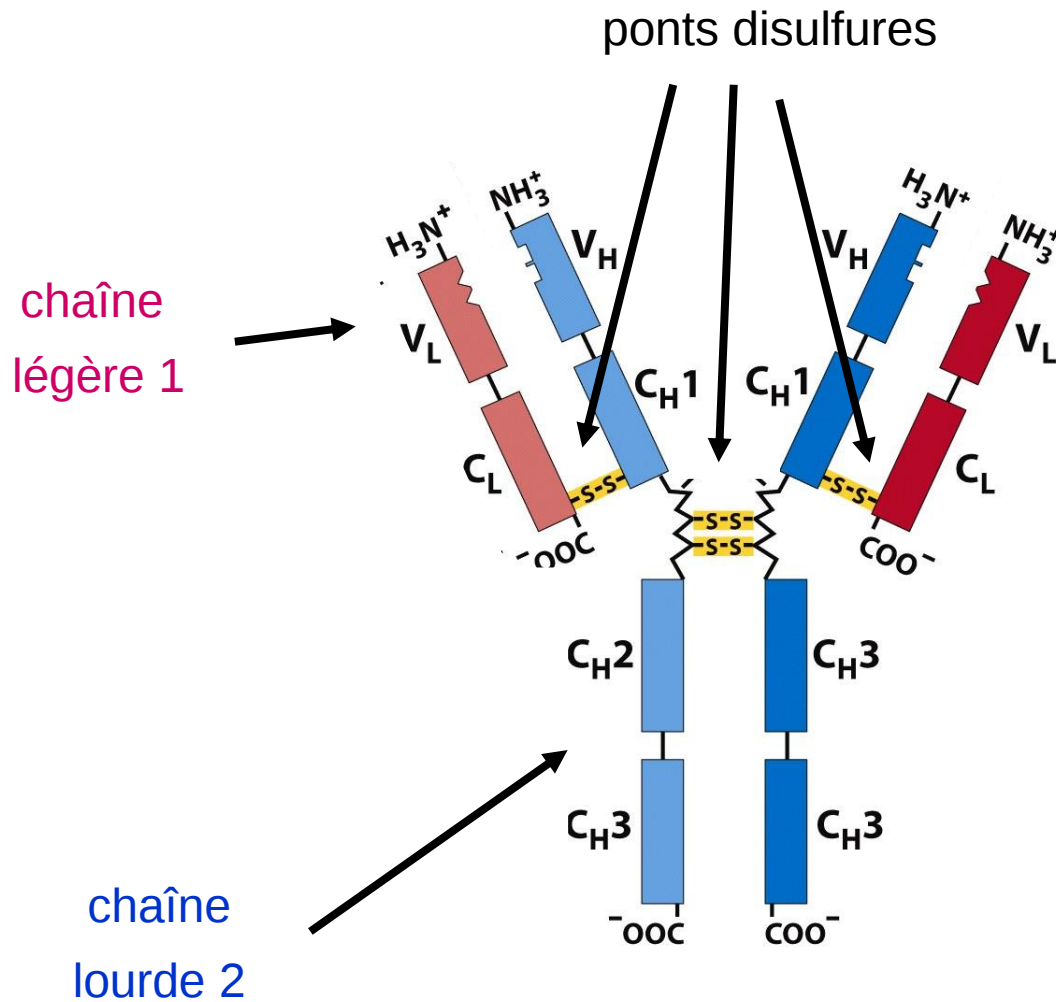
Structure des anticorps



Structure des anticorps

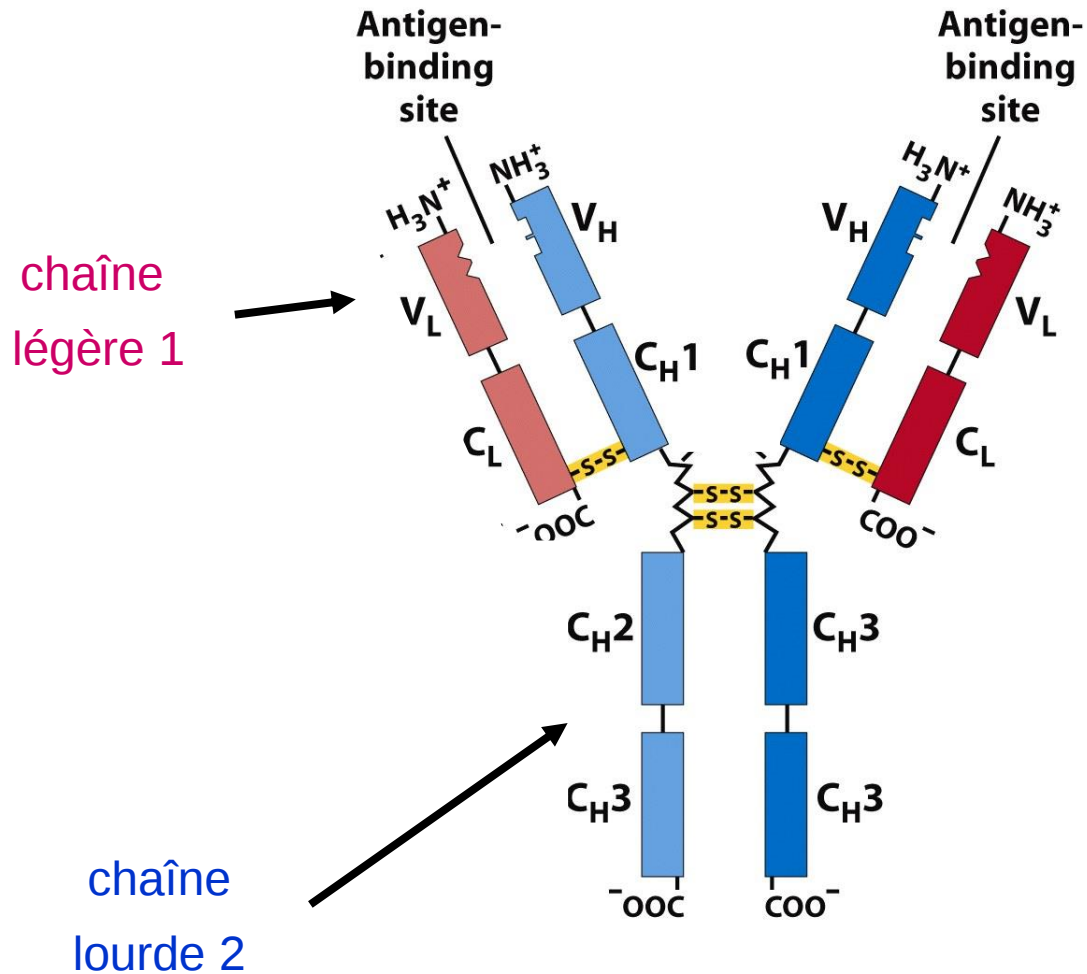


Structure des anticorps



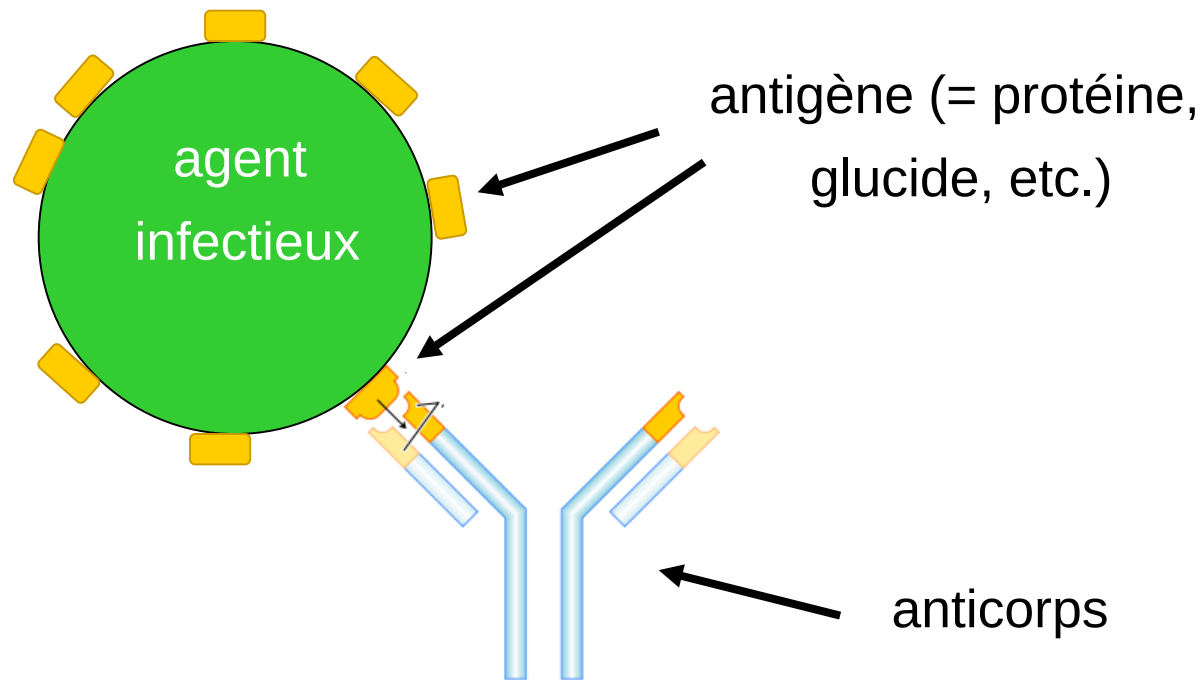
*Quelles régions
peuvent fixer les
agents infectieux?*

Structure des anticorps



*Quelles régions
peuvent fixer les
agents infectieux?*

Fonction des anticorps



Les anticorps peuvent se fixer sur des antigènes spécifiques présents sur les agents infectieux.

Fonction des anticorps

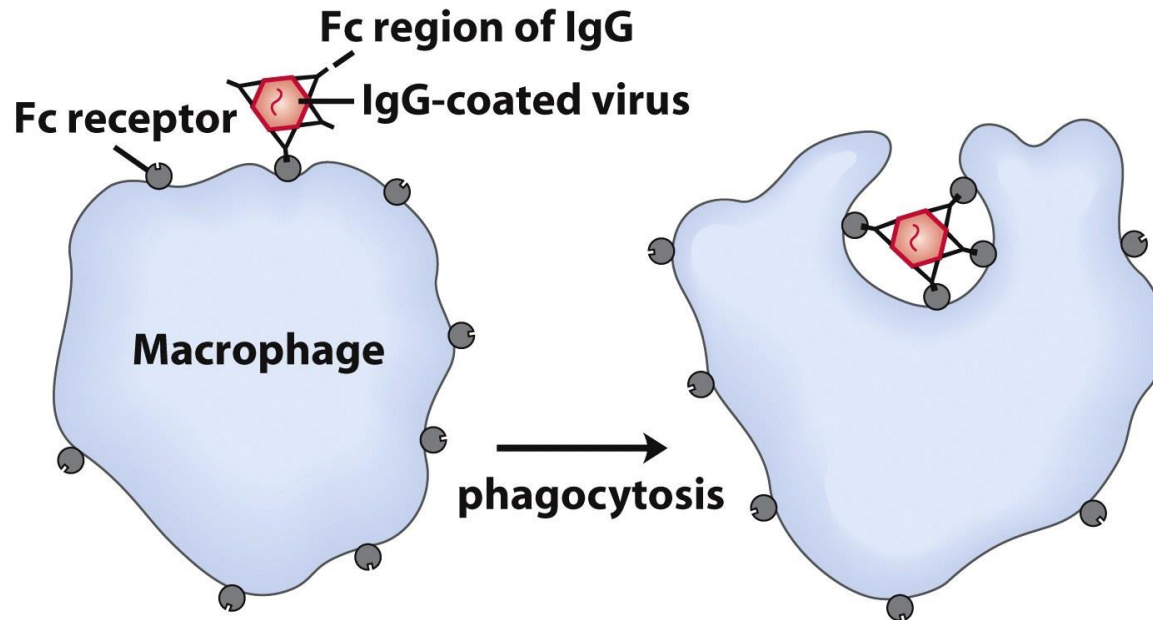
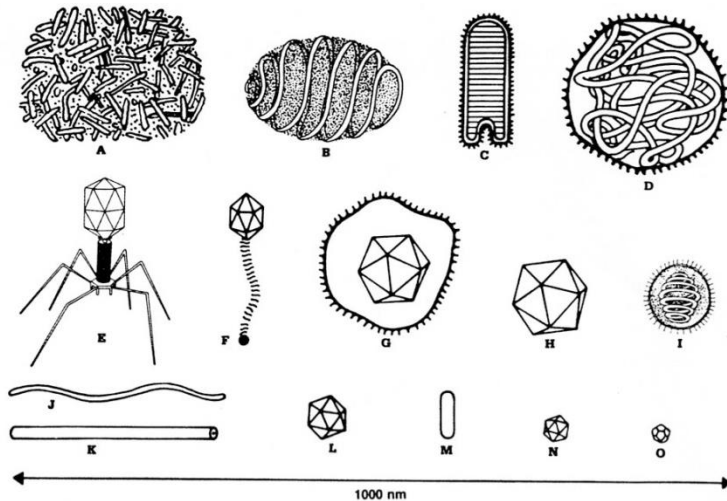


Figure 5-24
Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition
© 2008 W.H. Freeman and Company

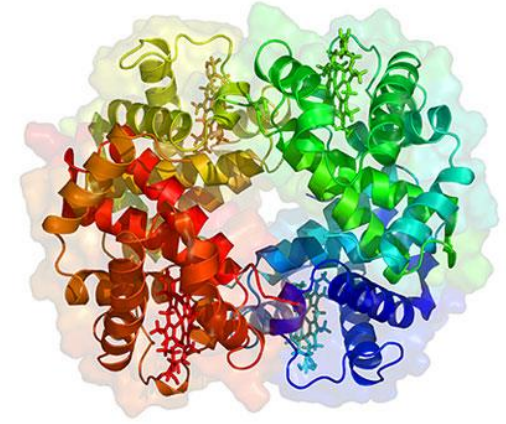
Les anticorps fixés sont reconnus par le système immunitaire qui élimine les agents infectieux.

Plusieurs agents infectieux



*Comment le système immunitaire peut générer des anticorps
contre tous les agents infectieux différents?*

Leçon 8

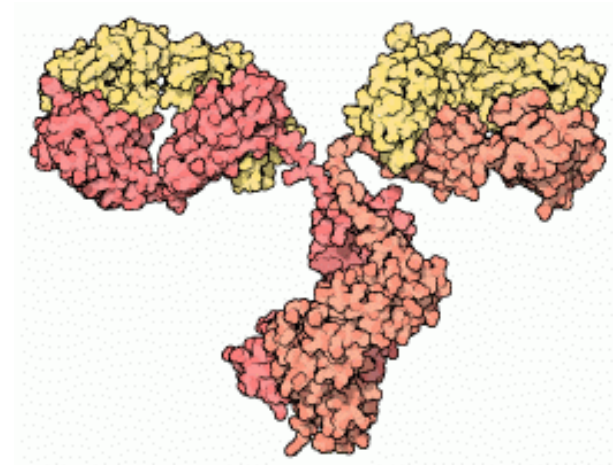


- Hémoglobine (et myoglobine)

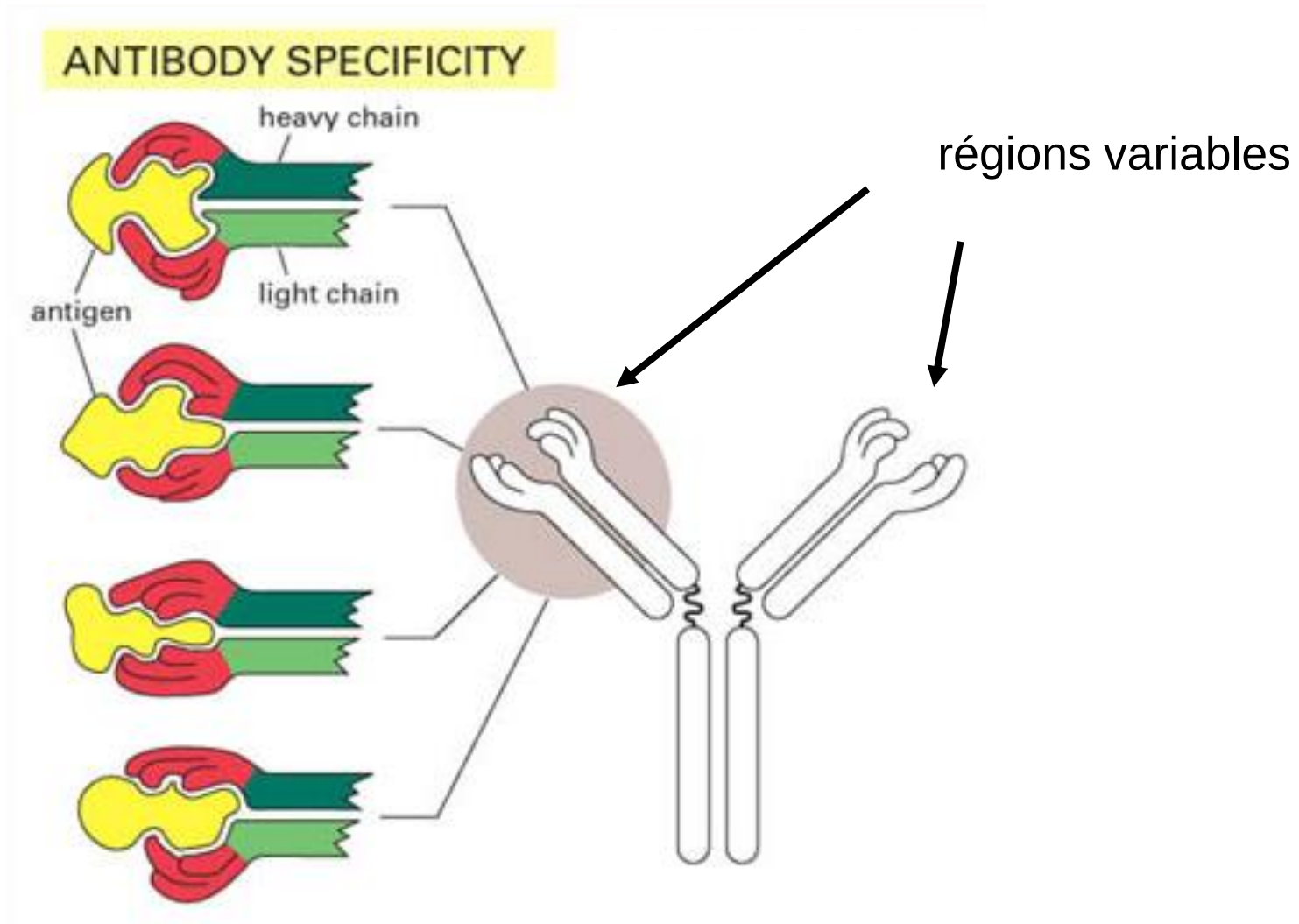
- Structure
- Fixation d'oxygène et interactions coopératives
- Mécanismes moléculaires pour la régulation de hémoglobine
- Mutations dans l'hémoglobine

- Anticorps

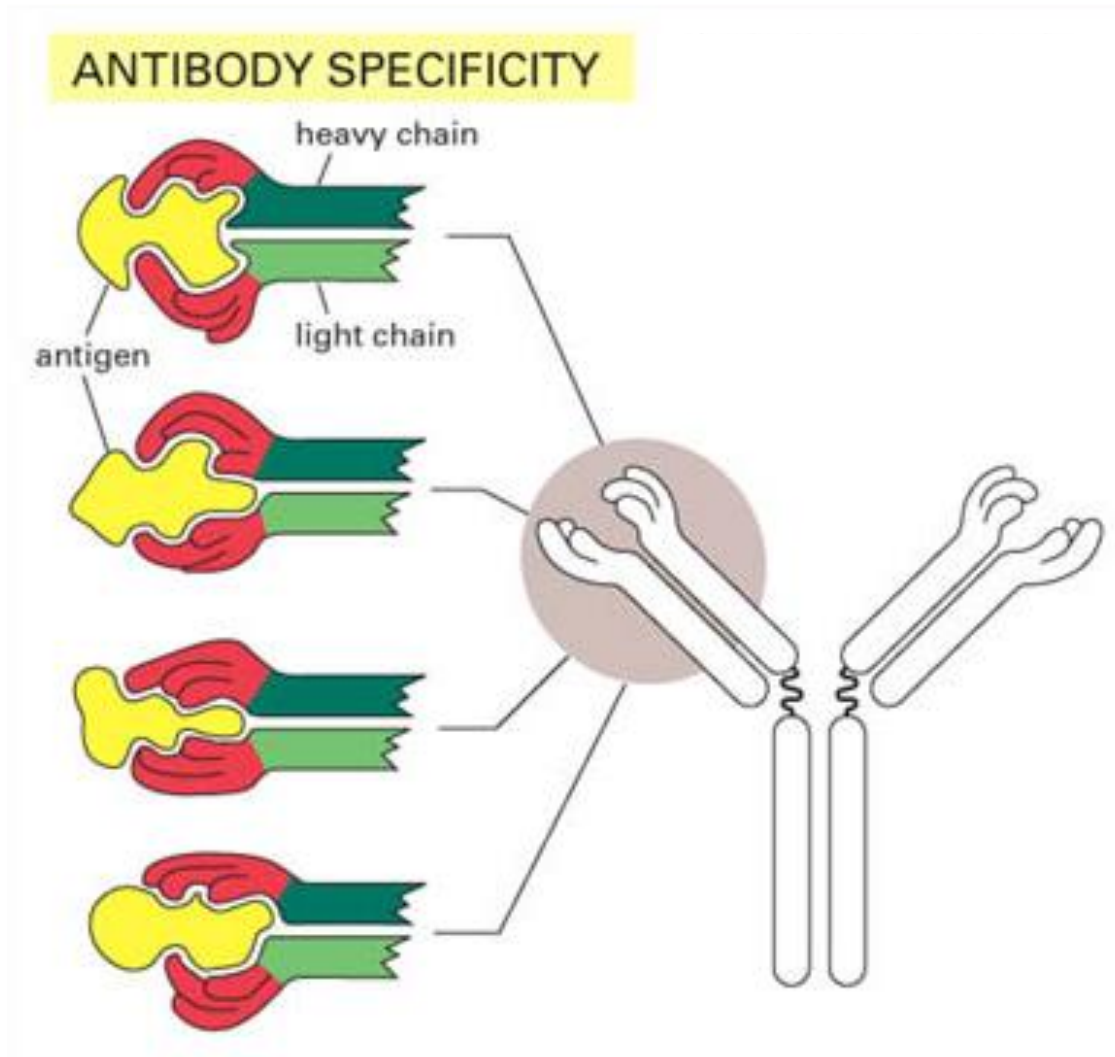
- Fixation d'antigène
- Structure
- ➡ - Régions variables



Anticorps avec plusieurs spécificités



Anticorps avec plusieurs spécificités

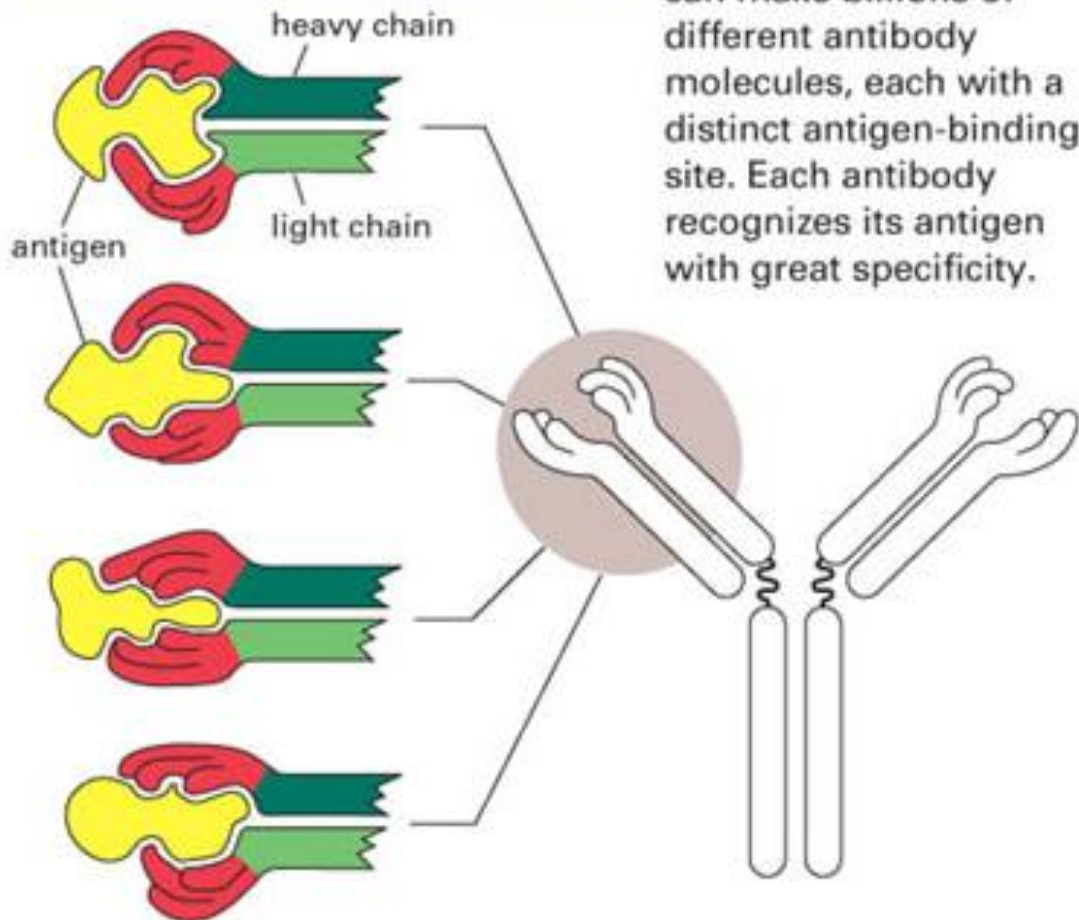


*Combien d'anticorps
différent est-ce qu'il y a
dans un humain?*

- < 1000 ?
- 1000-1'000'000 ?
- > 1'000'000 ?

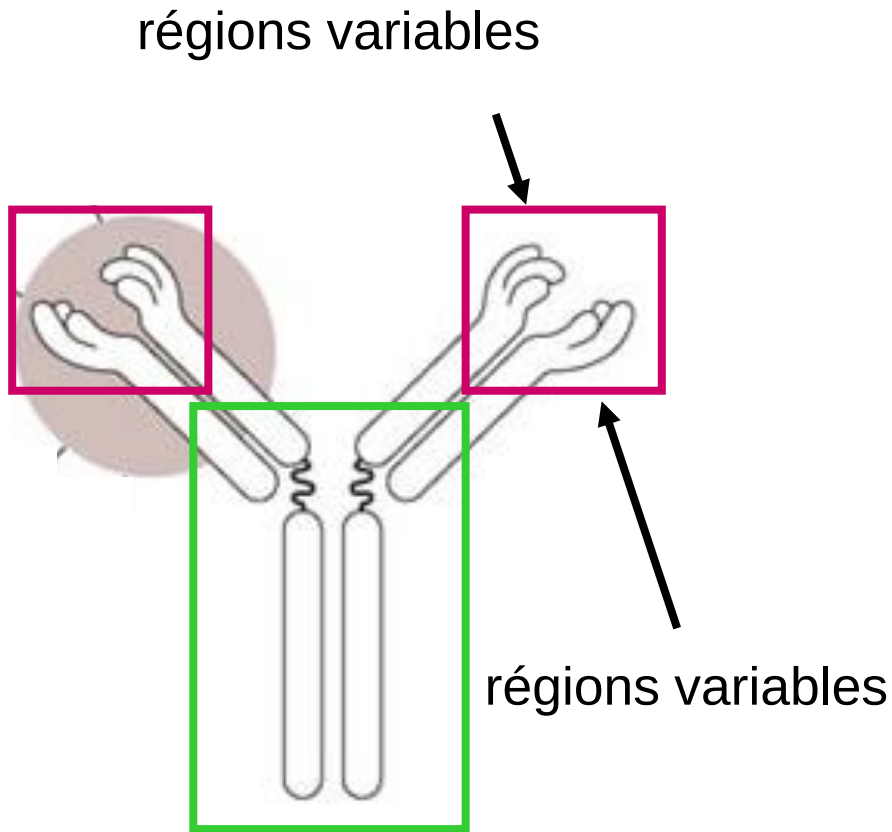
Anticorps avec plusieurs spécificités

ANTIBODY SPECIFICITY



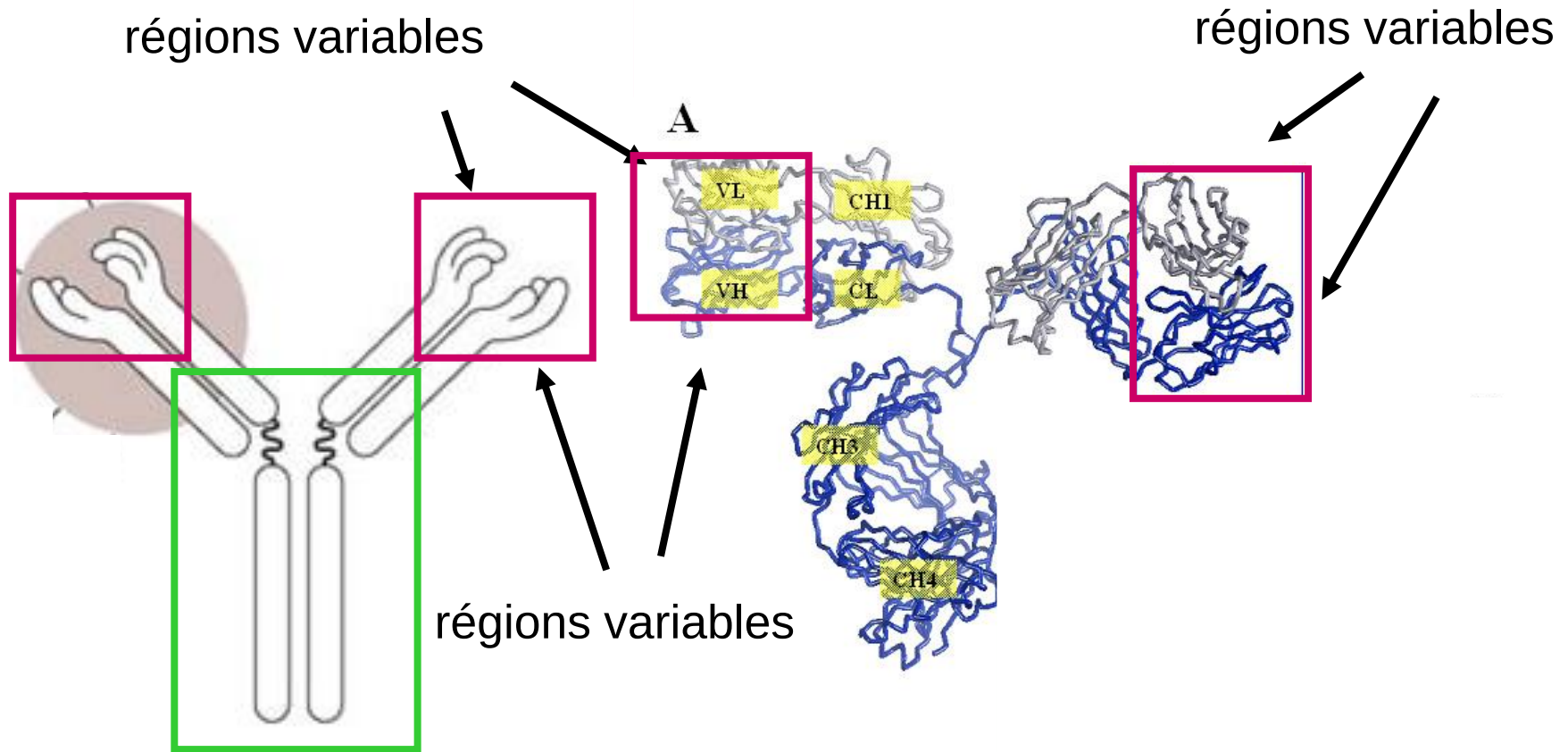
Environ 10 milliards (10^{10} !) d'anticorps différents sont générés dans un humain.

Régions variables et constantes des anticorps



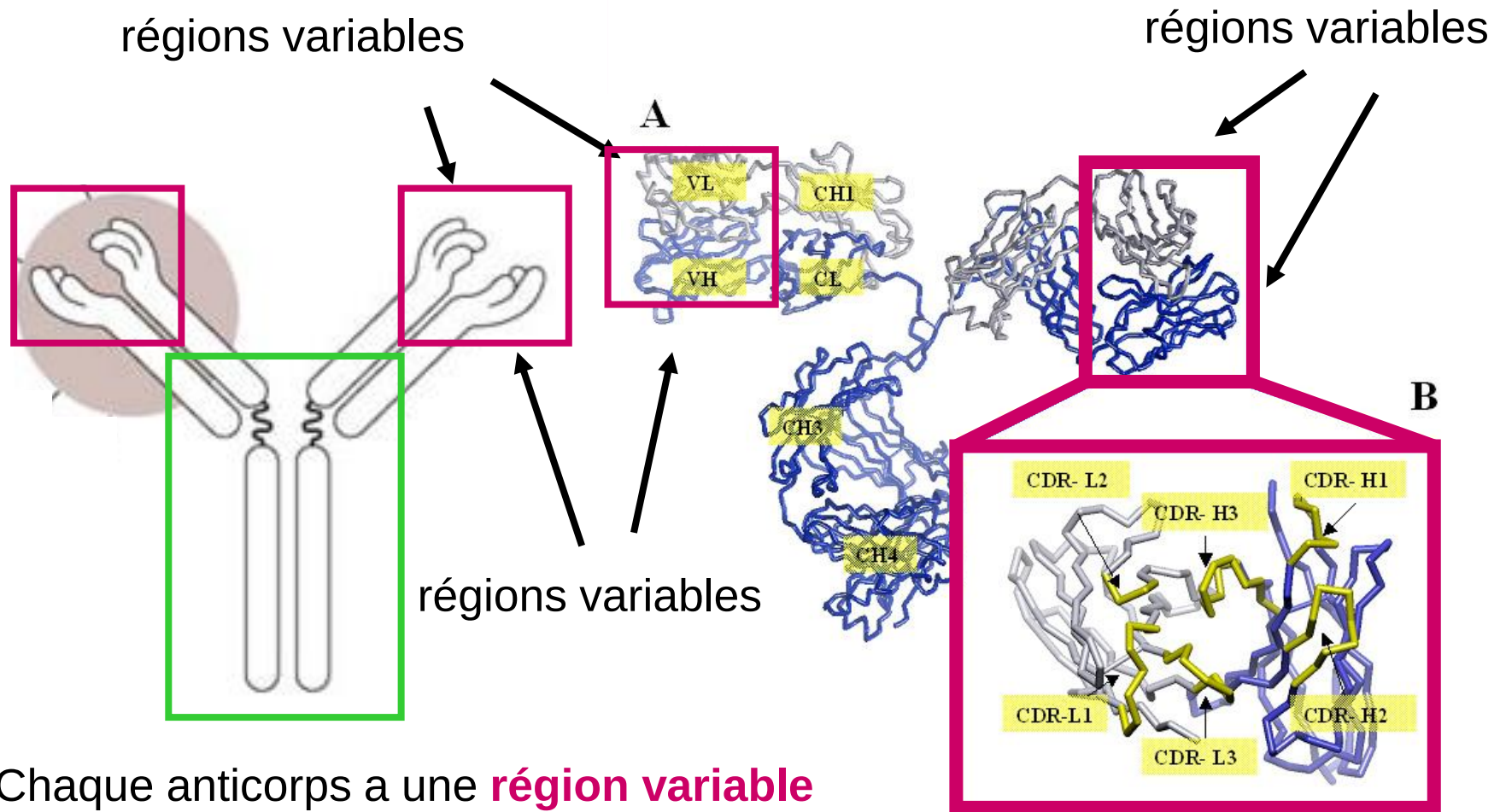
- Chaque anticorps a une **région variable** et une **région constante**

Régions variables et constantes des anticorps



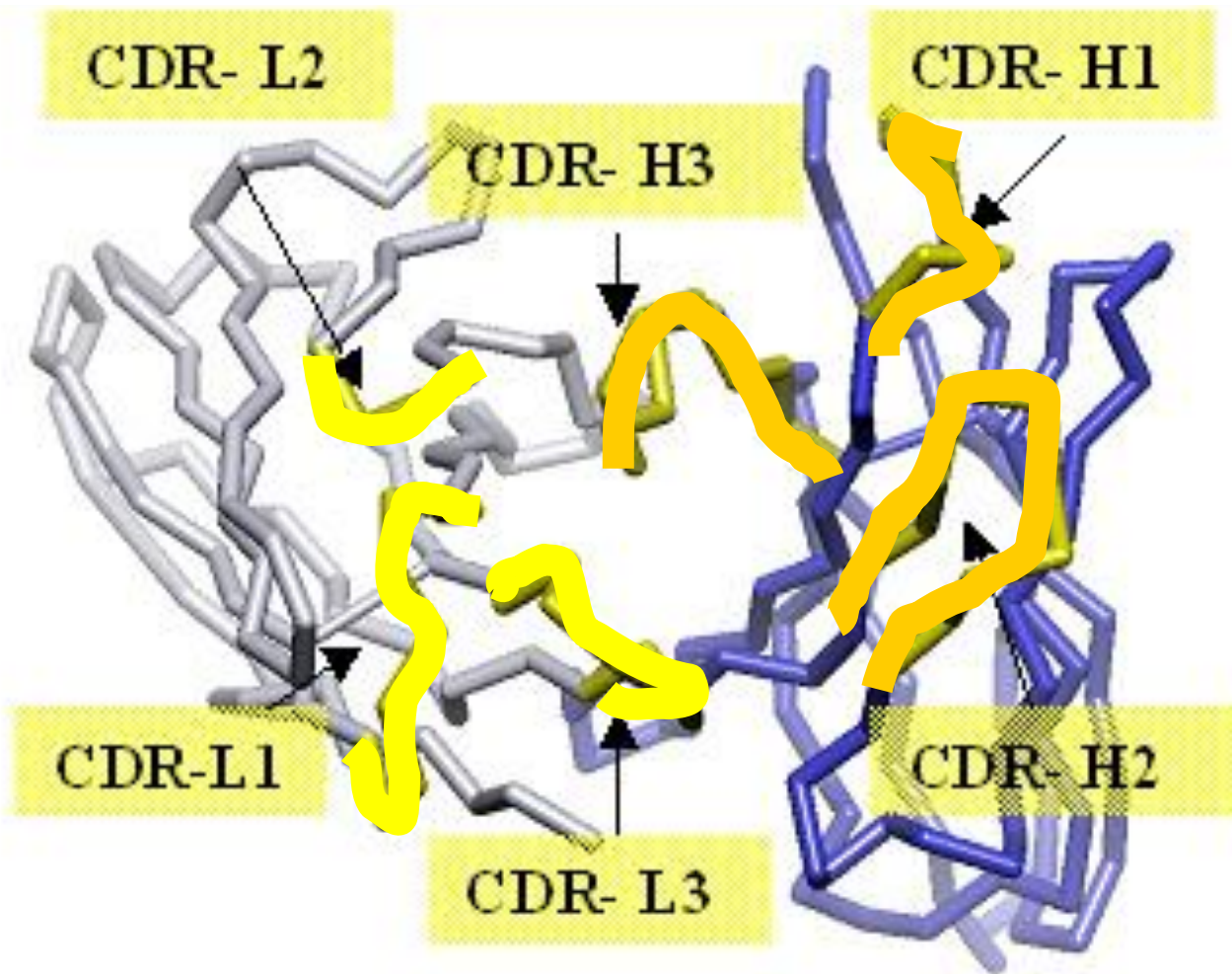
- Chaque anticorps a une **région variable** et une **région constante**

Régions variables et constantes des anticorps

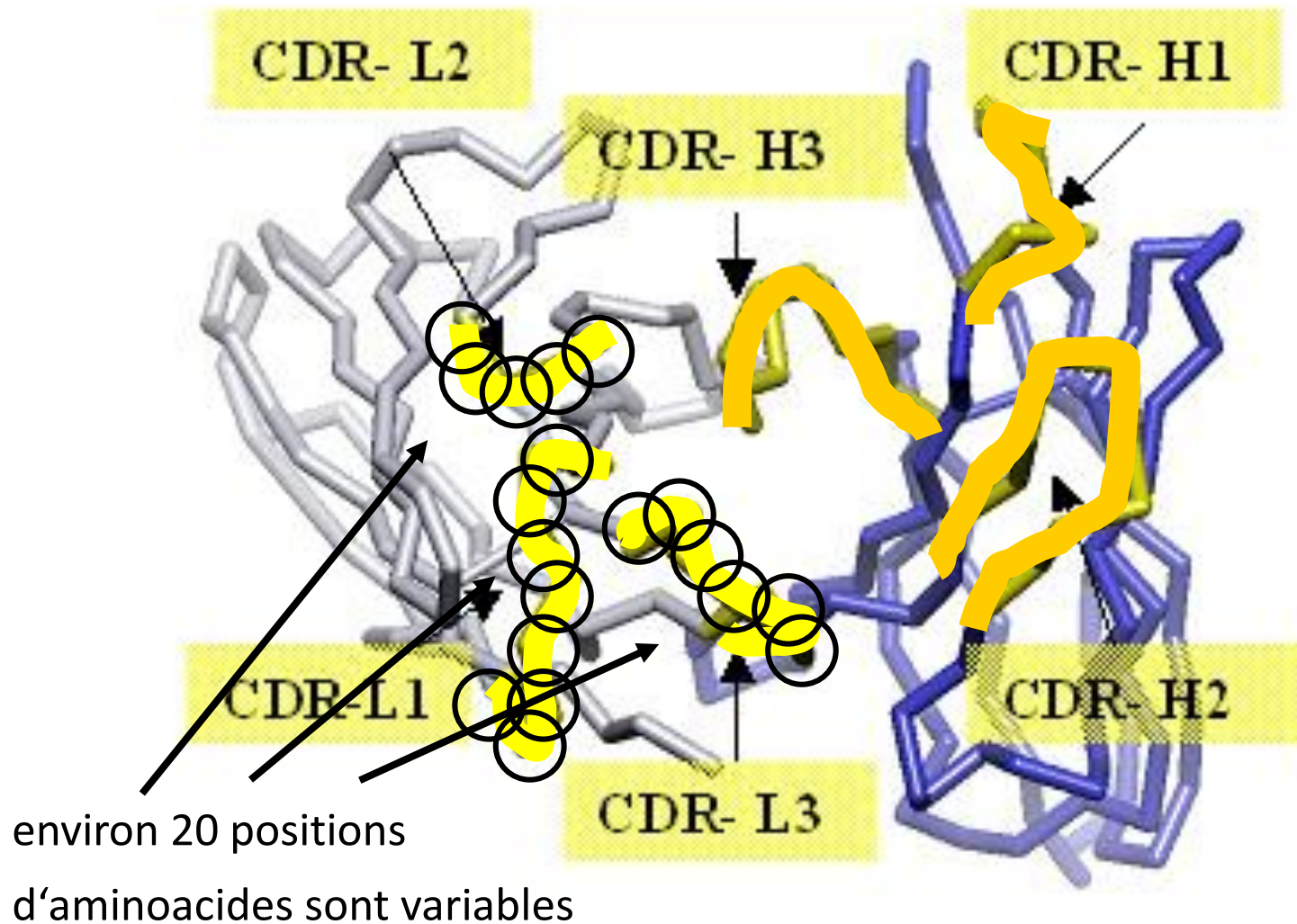


- Chaque anticorps a une **région variable** et une **région constante**
- Chaque région variable a **3 boucles de peptides variables**

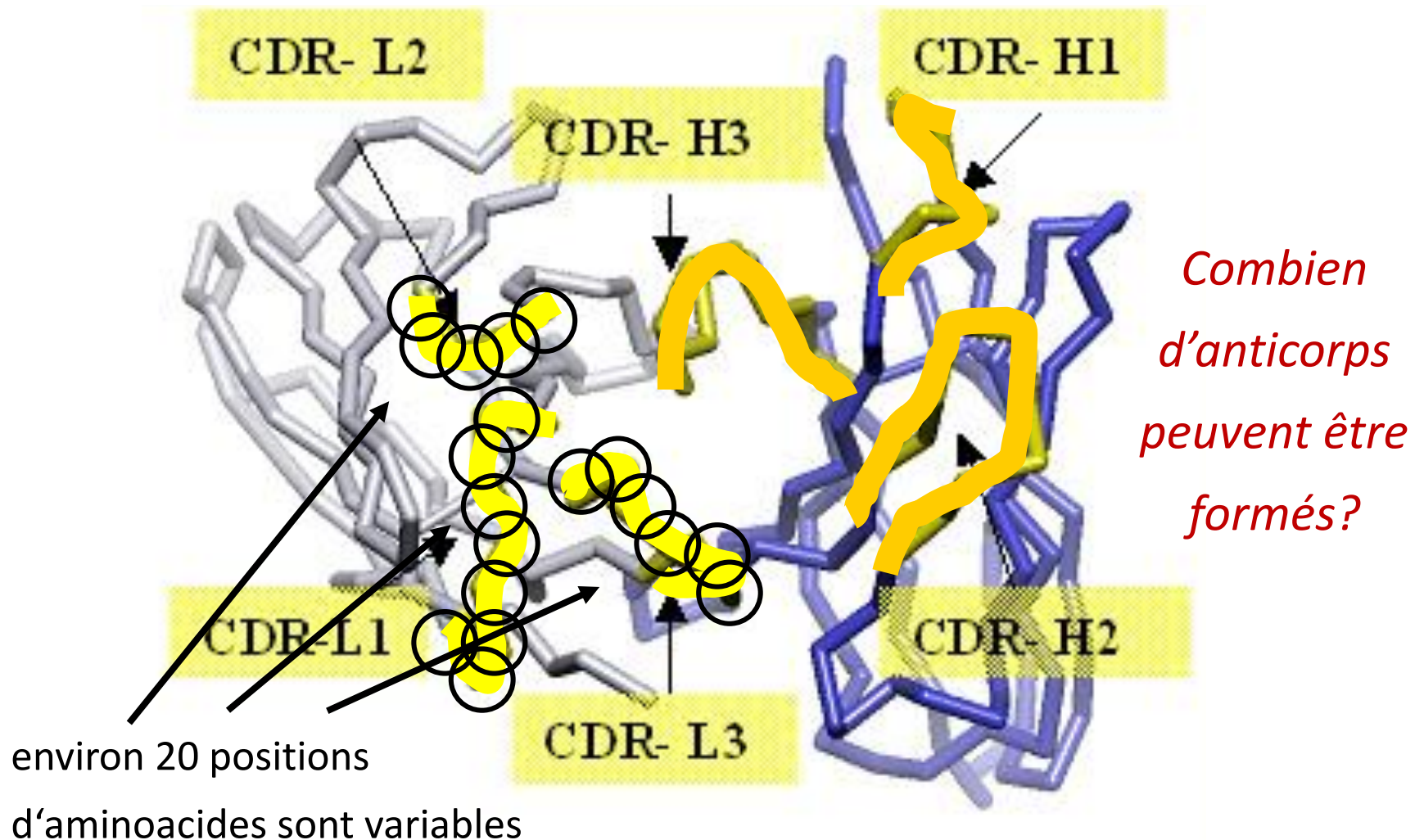
Régions variables des anticorps (vue d'en-haut)



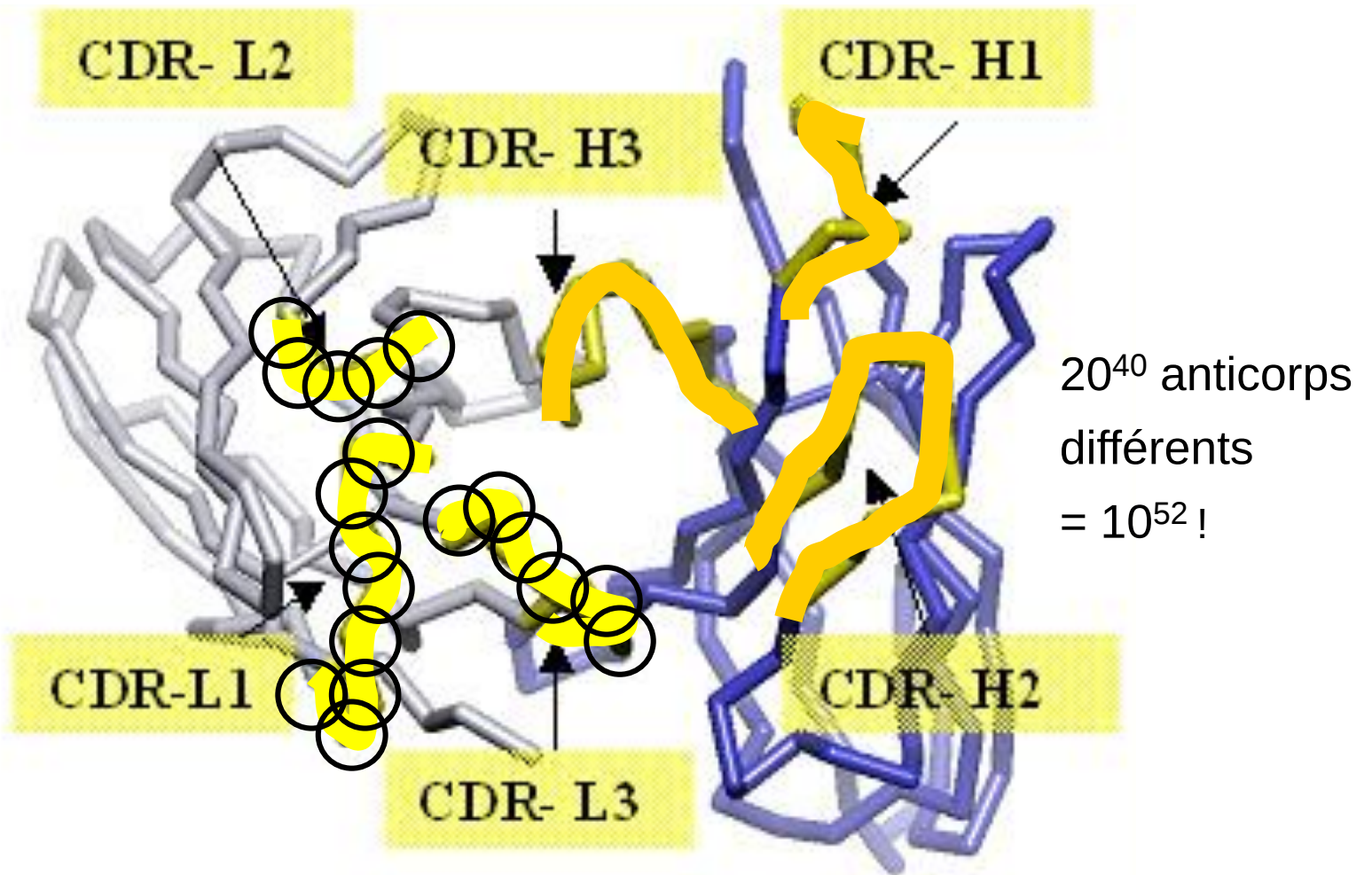
Régions variables des anticorps (vue d'en-haut)



Régions variables des anticorps (vue d'en-haut)

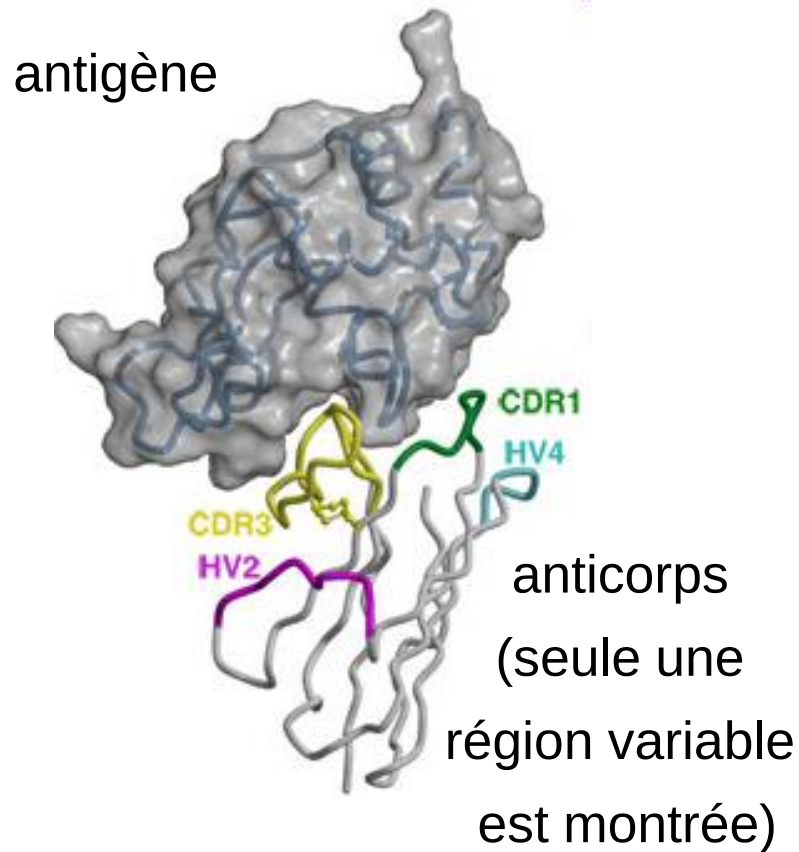


Régions variables des anticorps (vue d'en-haut)



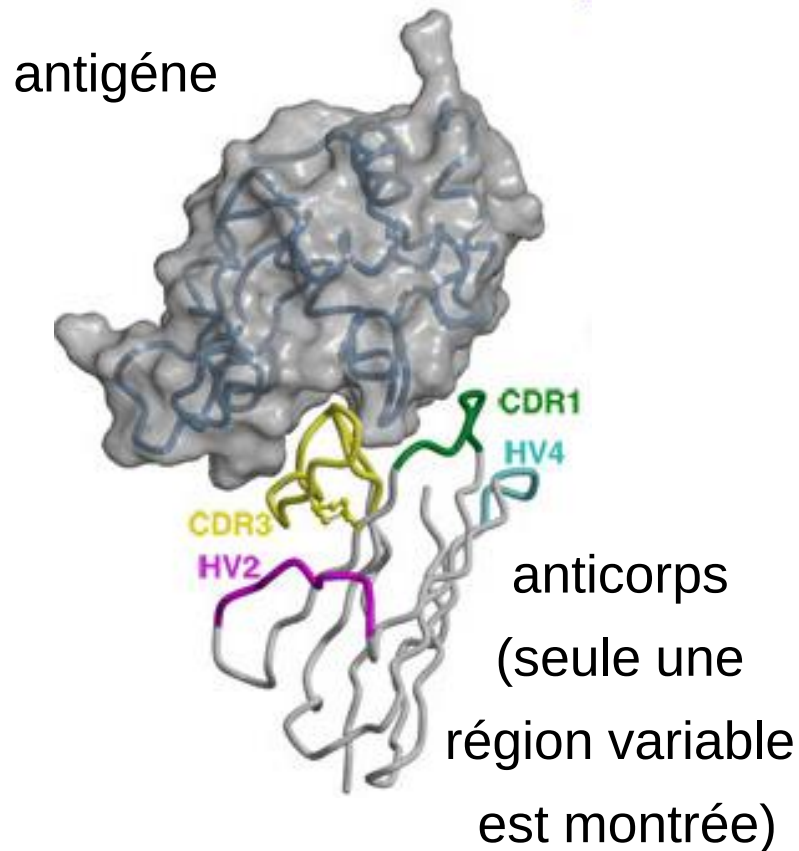
Interaction complémentaire

Exemple 1:

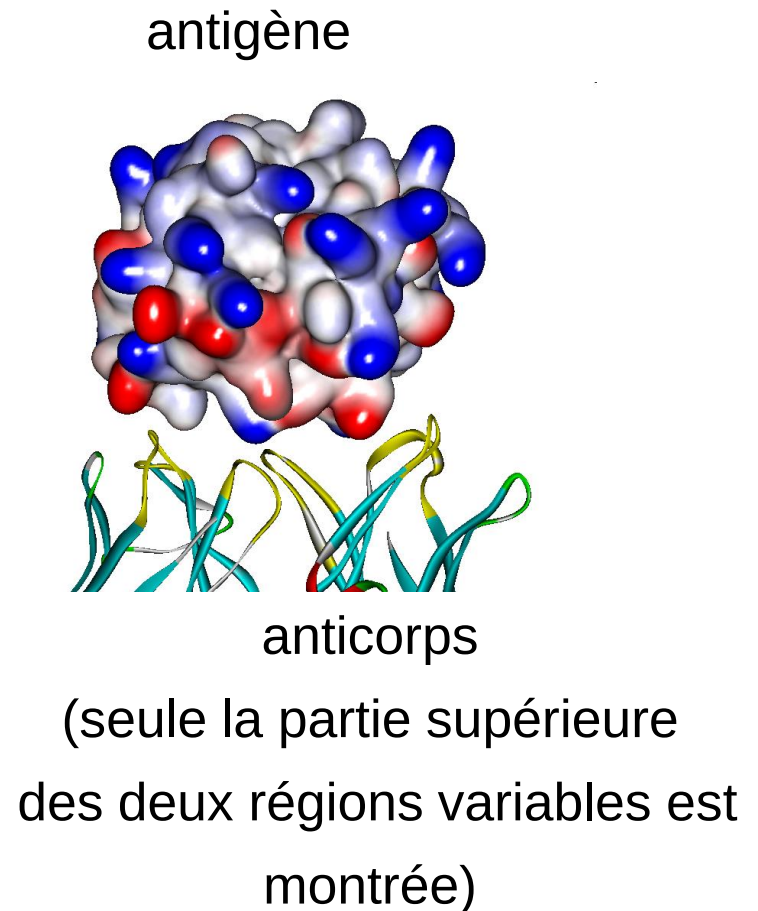


Interaction complémentaire

Exemple 1:



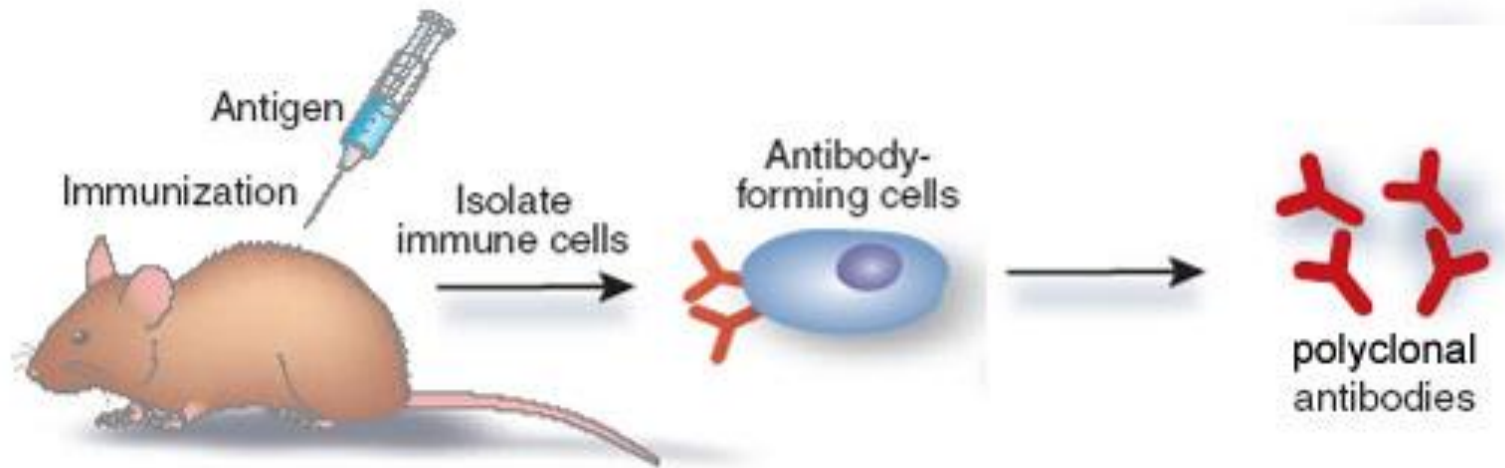
Exemple 2:



Production d'anticorps dans les animaux

Comment peut-on produire des anticorps?

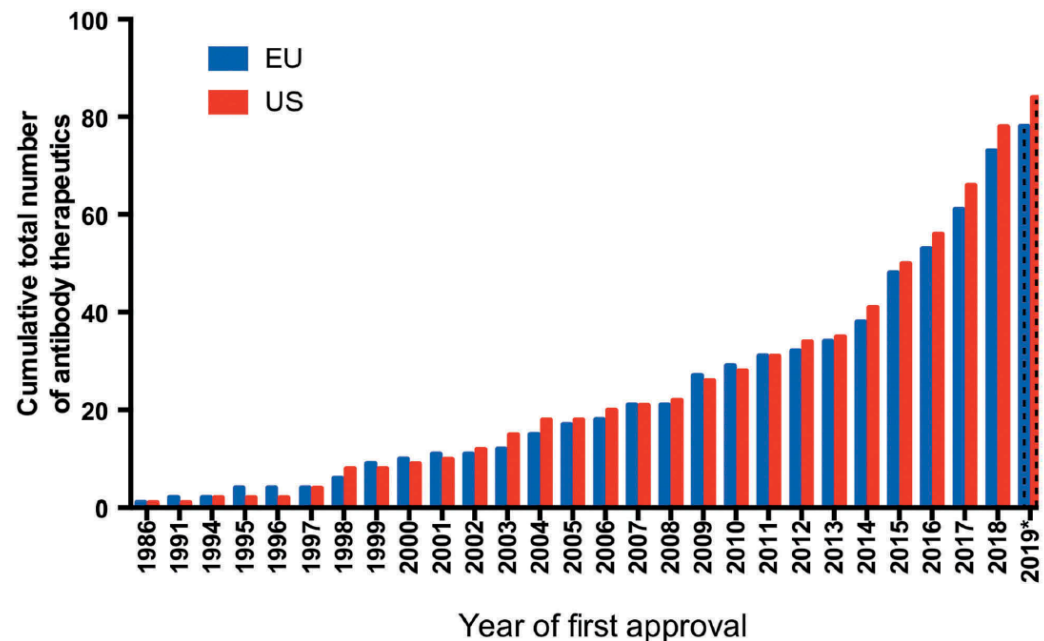
Production d'anticorps dans les animaux



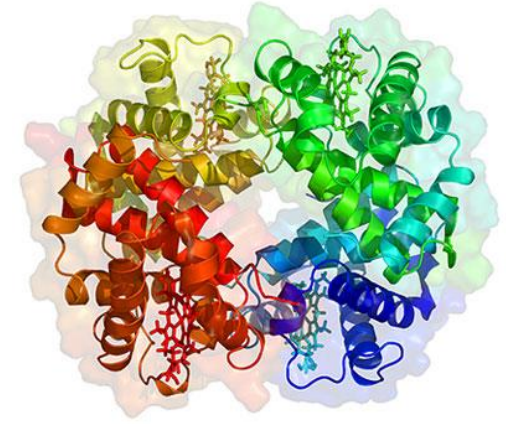
- Un antigène est injecté dans un animal (souris, lapin, etc.)
- Le système immunitaire développe des cellules B qui produisent des anticorps

Applications des anticorps

- Recherche: détection de protéines (discuté en leçon 3):
- Médicaments: ligands très spécifiques et puissants



Leçon 8

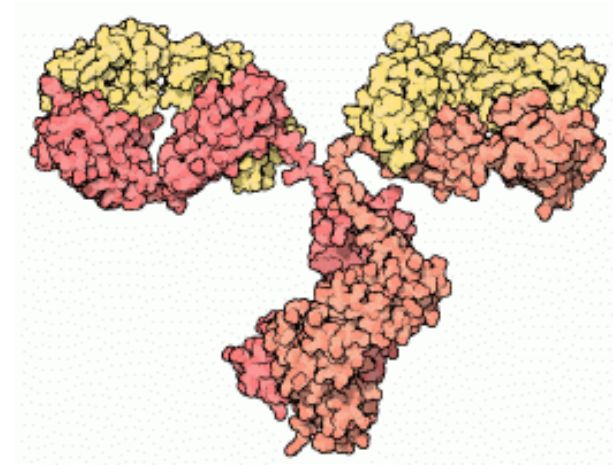


- Hémoglobine (et myoglobine)

- Structure
- Fixation d'oxygène et interactions coopératives
- Mécanismes moléculaires pour la régulation de hémoglobine
- Mutations dans l'hémoglobine

- Anticorps

- Fixation d'antigène
- Structure
- Régions variables



Série 7

Question 1

Quelques acides aminés ont plusieurs codons → La séquence de DNA peut changer sans changer la séquence de la protéine ('mutations silences').

Série 7

Question 2

Information de la séquence (130 acides aminés, 12% identité) → On ne peut pas dire si les deux protéines sont évolutivement apparentées.

Information de la structure (même structure tertiaire) → On peut dire que les deux protéines sont évolutivement apparentées avec une grande probabilité.

Série 7

Question 3

Nombre acide aminés: 255

Pourcentage d'identité dans l'alignement: 45%

GENE ID: 7167 TPI1 | triosephosphate isomerase 1 [Homo sapiens]
(Over 10 PubMed links)

Score = 193 bits (491), Expect = 4e-49, Method: Compositional matrix adjust.
Identities = 113/250 (45%), Positives = 148/250 (59%), Gaps = 6/250 (2%)

```
Query 2 RHPLVMGNWKLNGSRHMHVHLSNLRKELAGVAGCAVAIAPPEMYIDMAKREAGSHIML 61
      R V GNWK+NG + + EL+ L A V APP YID A+++ + I +
Sbjct 5 RKFFVGGNWKMNGRKQSLGELIGTLNAAKV-PADTEVVCAPPTAYIDFARQKLD-PKIAV 62

Query 62 GAQNVDLNLGSAFTGETSAAMLKDIGAQYIIIGHSEERRTYHKESEDELIAKKFAVLKEQGL 121
      AQN +GAFTGE S M+KD GA ++++GHSERR ESEDELI +K A +GL
Sbjct 63 AAQNCYKVINGAFTGEISPGMIKDCGATVWVLGHSERRHVFGESEDELIGQKVAHALAEGL 122

Query 122 TPVLCIGETEAEENEAGKTEEVCAEQIDAVLKTQGAAAFEGAVIAYEPVWAIGTGKSATPA 181
      + CIGE E EAG TE+V Q + A + V+AYEPVWAIGTGK+ATP
Sbjct 123 GVIACIGEKLDEREAGITEKVVFEQTKVI--ADNAKDWSKVVLAYEPVWAIGTGKTATPQ 180

Query 182 QAQAVHKFIRDHI-AKVDANIAEQVYIIQYGGSVNASNAELFAQPDIDGALVGGASLKAD 240
      QAQ VH+ +R + + V +A+ I YGGSV + EL +QPD+DG LVGGASLK +
Sbjct 181 QAQEVHEKLRGNLKSNSVDAVAQSTRIIYGGSVTGATCKELASQPDVDGFLVGGASLKPE 240

Query 241 AFAVIVKAAE 250
      F I+ A +
Sbjct 241 -FVDIINAKQ 249
```

Série 7

Question 4

20^8 peptides

Moyenne poids moléculaire d'une acide aminé: 110 Da

Moyenne poids moléculaire d'un peptide de 8 acide aminés: 880 Da

37.5 pg

Série 7

Question 5

	C	S	T	P	A	G	N	D	E	Q	H	R	K	M	I	L	V	F	Y	W	
C	9																				C
S	-1	4																			S
T	-1	1	5																		T
P	-3	-1	-1	7																	P
A	0	1	0	-1	4																A
G	-3	0	-2	-2	0	6															G
N	-3	1	0	-2	-2	0	6														N
D	-3	0	-1	-1	-2	-1	1	6													D
E	-4	0	-1	-1	-1	-2	0	2	5												E
Q	-3	0	-1	-1	-1	-2	0	0	2	5											Q
H	-3	-1	-2	-2	-2	-2	1	-1	0	0	8										H
R	-3	-1	-1	-2	-1	-2	0	-2	0	1	0	5									R
K	-3	0	-1	-1	-1	-2	0	-1	1	1	-1	2	5								K
M	-1	-1	-1	-2	-1	-3	-2	-3	-2	0	-2	-1	-1	5							M
I	-1	-2	-1	-3	-1	-4	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	1	4						I
L	-1	-2	-1	-3	-1	-4	-3	-4	-3	-2	-3	-2	-2	2	2	4					L
V	-1	-2	0	-2	0	-3	-3	-3	-2	-2	-3	-3	-2	1	3	1	4				V
F	-2	-2	-2	-4	-2	-3	-3	-3	-3	-3	-1	-3	-3	0	0	0	-1	6			F
Y	-2	-2	-2	-3	-2	-3	-2	-3	-2	-1	2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	3	7		Y
W	-2	-3	-2	-4	-3	-2	-4	-4	-3	-2	-2	-3	-3	-1	-3	-2	-3	1	2	11	W

Glutamate: aspartate, glutamine, lysine

Asparagine: serine, aspartate, histidine

Tyrosine: histidine, phenylalanine, tryptophane