# التكيفات التنفسية للتدريب الرياضي (الجهد البدني)
# Adaptation respiratoires à l’entraînement sportives (l’effort physique)

يعمل كل من الجهاز التنفسي والجهاز القلبي الوعائي على توفير فعال للأكسجين نحو كافة أعضاء الجسم في نفس الوقت ، وهذا ما يسمح بإزالة أكسيد الكربون، تتمثل عملية النقل هذه في مجموعة من الآليات هي :

- التهوئة الرئوية والمتمثلة في حركة الهواء داخل وخارج الرئتين
- الانتشار الحويصلي- الشعيري عن طريق تبادل الغازات بين الرئتين والدم
- نقل الأكسجين وأكسيد الكربون عن طريق الدم
- انتقال الغازات من الشعيرات الدموية إلى الأنسجة

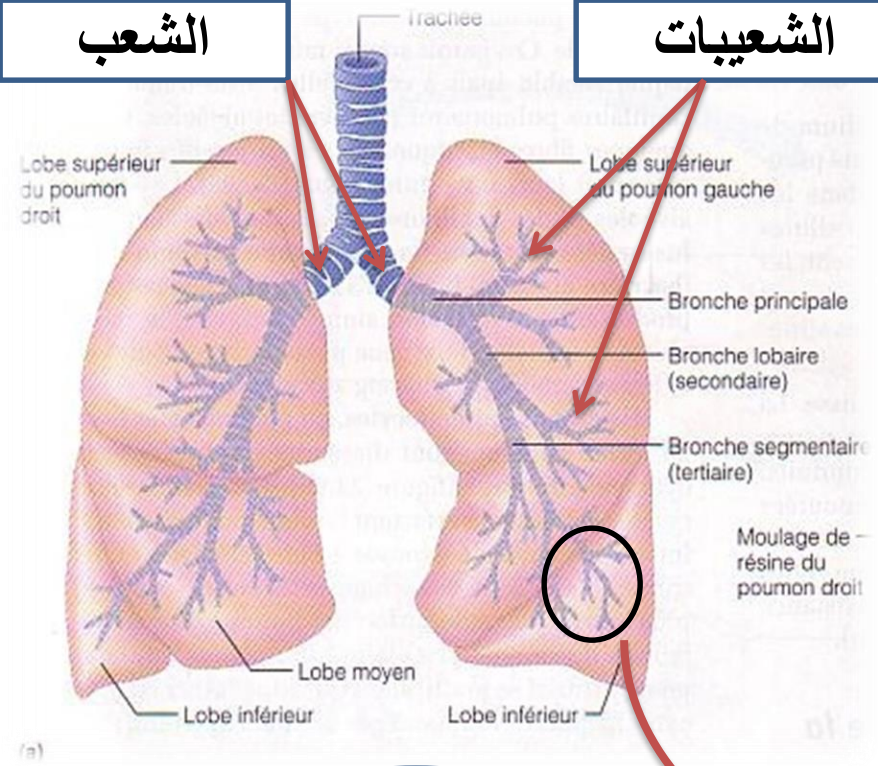
# 1- التهوية الرئوية
# La ventilation pulmonaire

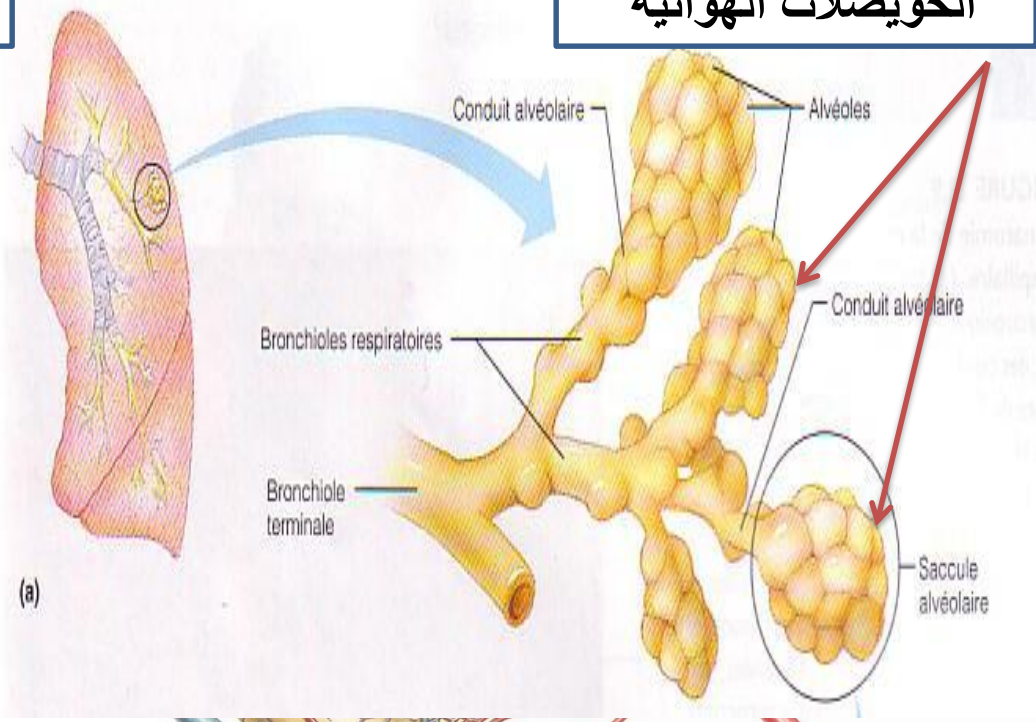
تعتبر التهوية الرئوية عملية آلية التي يتم عن طريقها دخول وخروج الهواء من الرئتين ، يستنشق الهواء عن طريق الفم أو الأنف نحو الرئتين ، يسخن ويرطب الهواء أثناء دورانه في حفرة الأنف و هذا يؤدي إلى فقدان الهواء للغبار في المادة اللزجة الموجودة في حفرة الأنف حيث يحبس الهواء مرة واحدة بعد ذلك يدفع بسرعة وهذا ما يخفض من خطر التسمم والالتهاب، يقطع الهواء البلعوم والحنجرة ، الشعب والشعيبات بعد ذلك إلى الوحدات الأساسية للجهاز التنفسي (الحويصلات) أين تتم المبادلات الغازية .

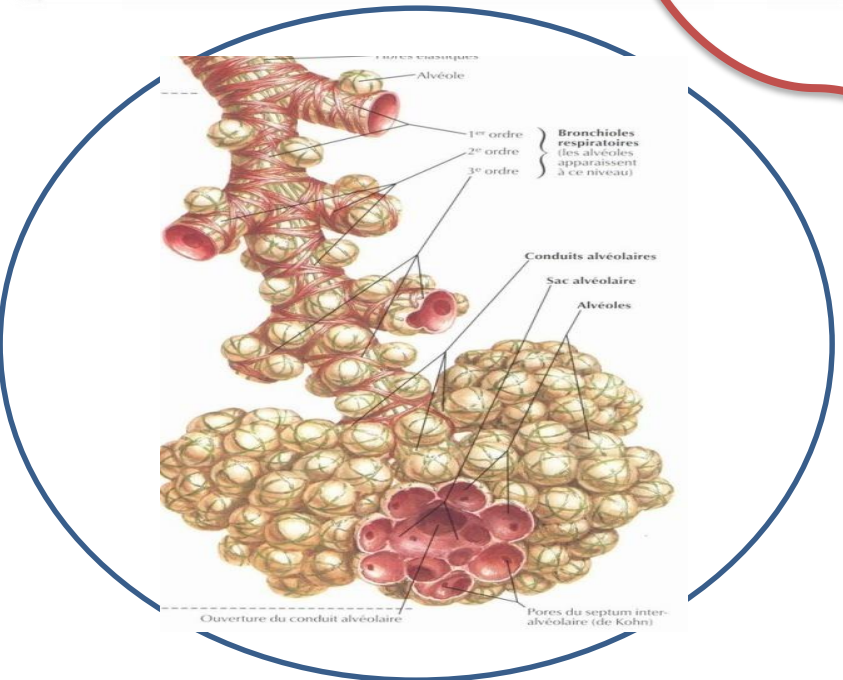
الشعب

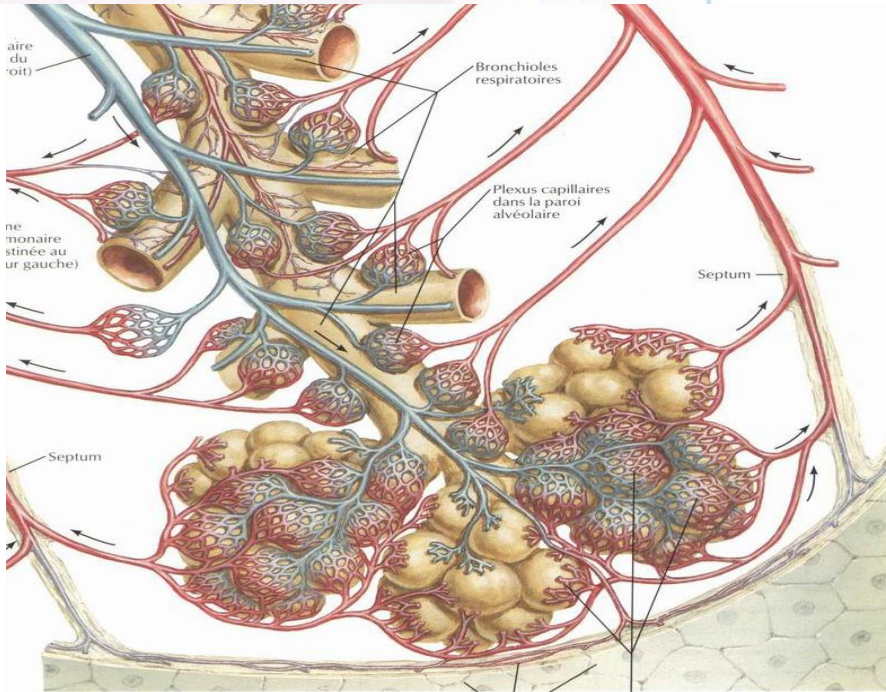
الشعيبات

الحويصلات الهوائية



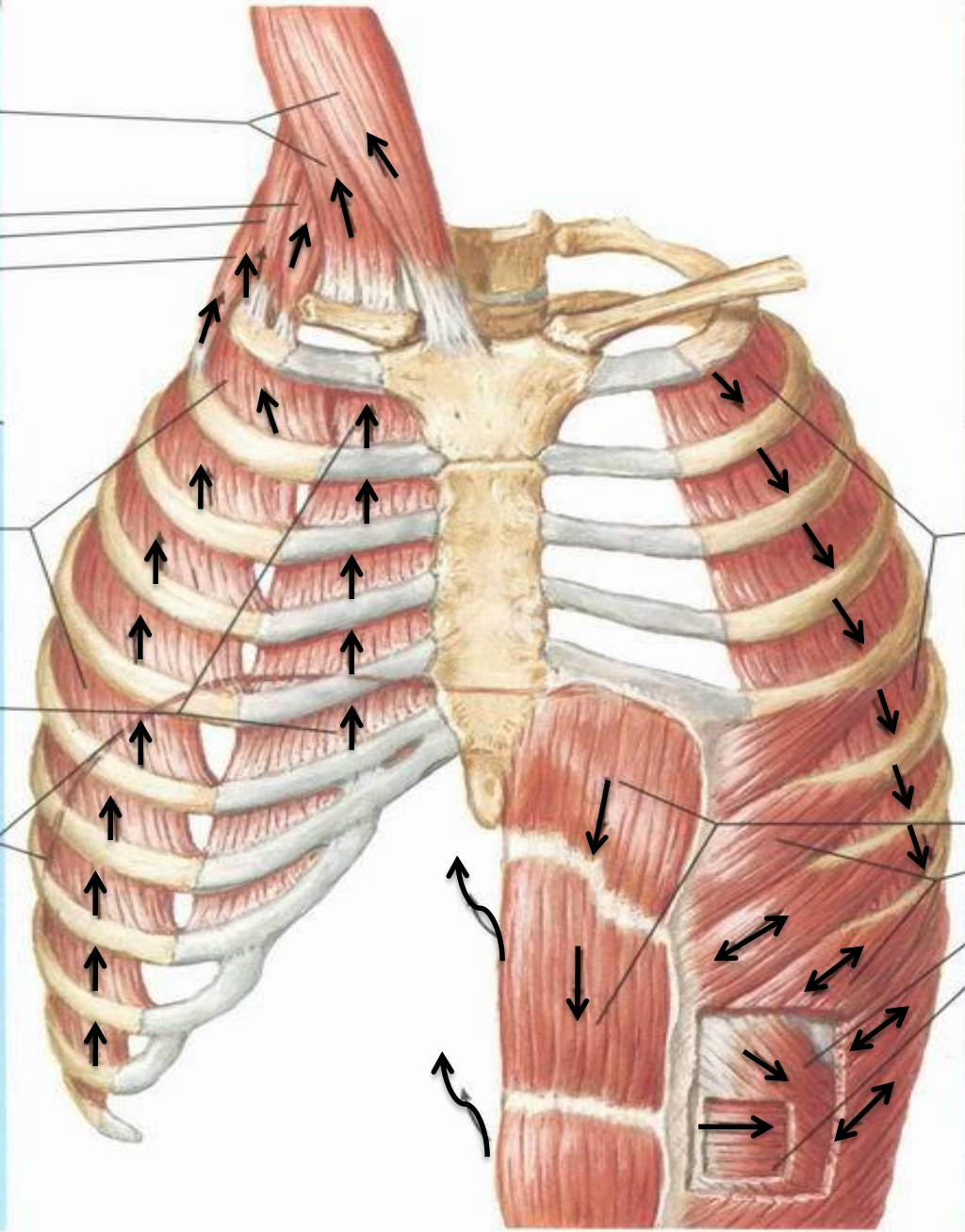



## 1-1 الشهيق
## L’inspiration

يعتبر الشهيق ظاهرة إيجابية حيث تتدخل كل من عضلة الحجاب الحاجز و العضلات البين الضلعية الخارجية ، ينتقل كل من عظم القص و الأضلاع عند محور العضلات البين الضلعية الخارجية ، ترفع الأضلاع نحو الخارج و عظم القص نحو الأمام و في نفس الوقت تتقلص عضلة الحجاب الحاجز و تنخفض نحو الأسفل دافعة محتوى التجويف البطني في نفس الاتجاه.

هذه الحركات ترفع من حجم القفص الصدري في كل الاتجاهات كل هذا من أجل زيادة الحجم الرئوي مما يؤدي إلى انخفاض ضغط الهواء داخل الرئتين ، عند أداء التمرينات البدنية بشدة عالية ، تتم عملية التنفس بتدخل مجموعة من العضلات (muscle scalène, inférieur , moyen, et postérieur) ، (les sternocléidomastoïdiens) على مستوى الرقبة ، (muscle pectoraux) على مستوى الصدر، هذه التقلصات تسمح برفع مهم للأضلاع عند عملية التنفس

# Les muscles respiratoires



## Muscles de l'inspiration

### Accessoires

Sterno-cléido-mastoïdien (élève le sternum)

Scalènes
- Antérieur
- Moyen
- Postérieur

(élèvent et fixent les côtes supérieures)

### Principaux

Intercostaux externes (élèvent les côtes accroissant ainsi la largeur de la cage thoracique)

Partie interchondrale des intercostaux internes (élève aussi les côtes)

Diaphragme (les coupoles s'abaissent, augmentant ainsi la dimension verticale de la cavité thoracique ; élevant aussi les côtes inférieures)

## Muscles de l'expiration

### Respiration normale

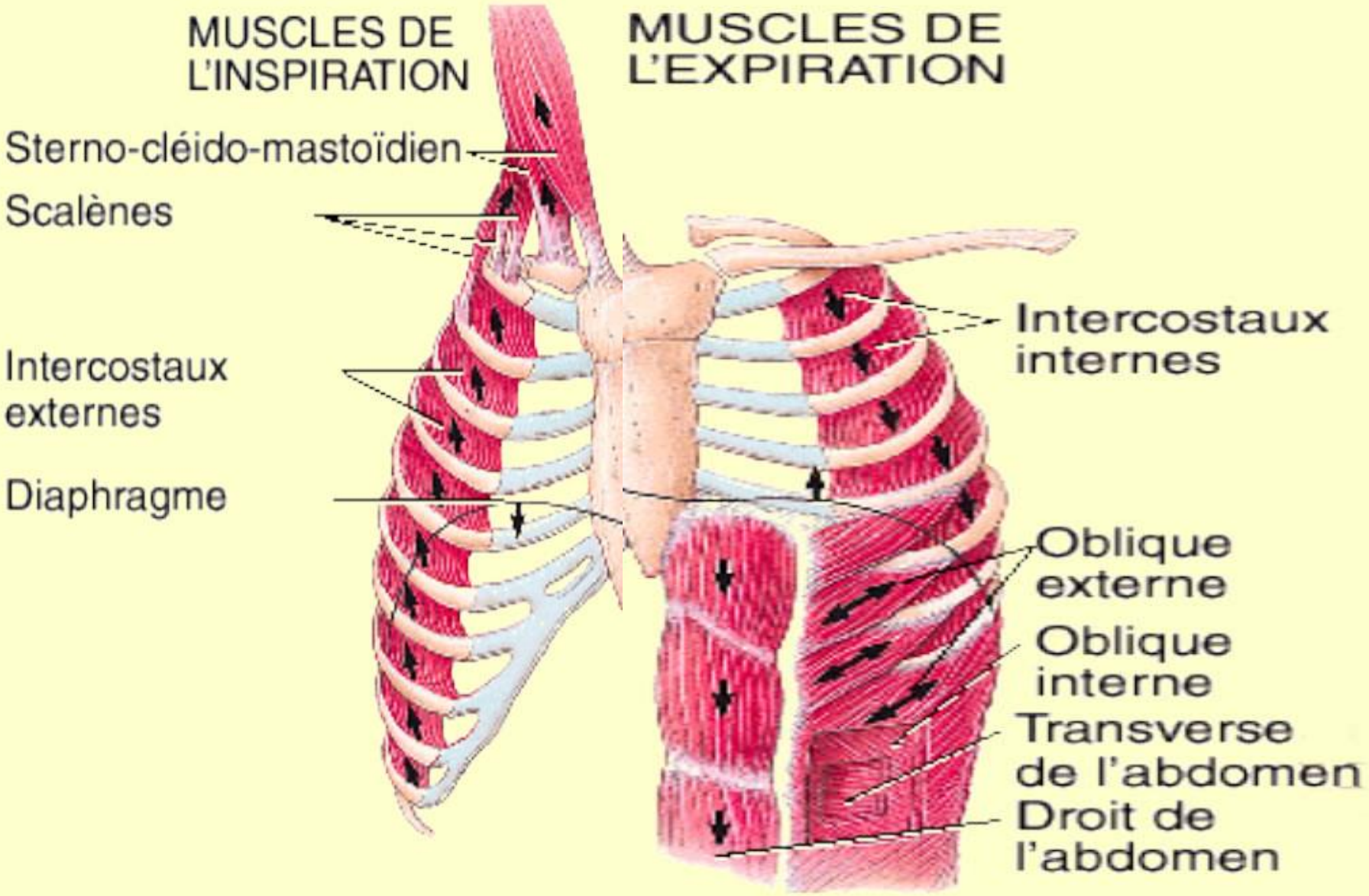
L'expiration résulte d'une rétraction passive des poumons et de la cage thoracique

### Respiration rapide

Intercostaux internes, sauf la partie interchondrale

De l'abdomen (abaissent les côtes inférieures, compriment les viscères abdominaux, faisant ainsi remonter le diaphragme)
- Droit de l'abdomen
- Oblique externe
- Oblique interne
- Transverse de l'abdomen

# Les muscles respiratoires

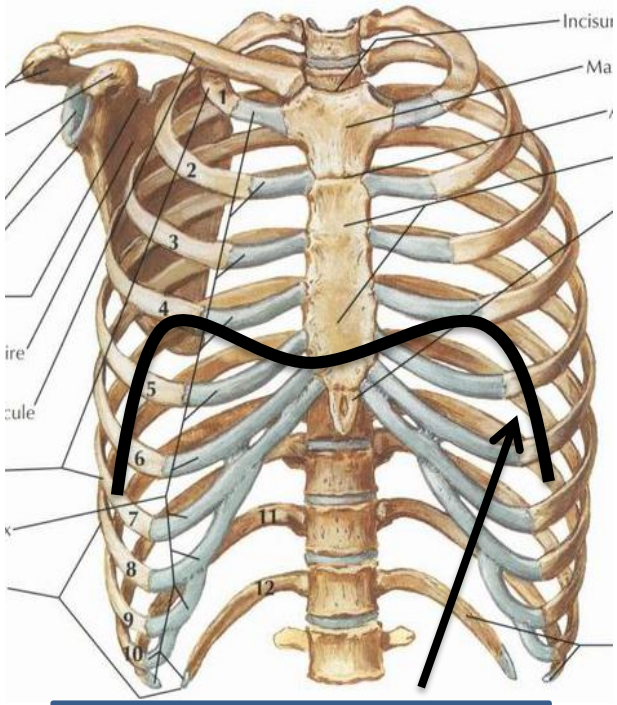


## 2-1 الزفير
## L’expiration

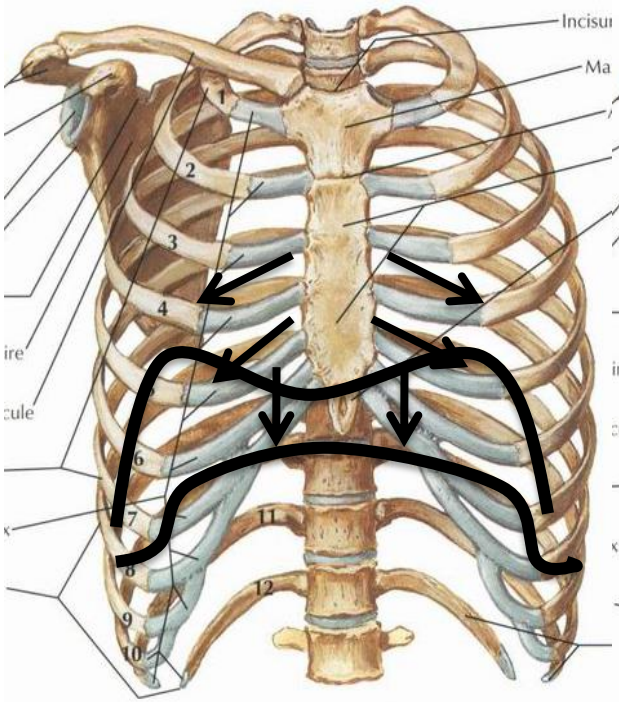
تنتج عملية الزفير من استرخاء عضلات الشهيق والرجوع المرن للنسيج الرئوي باسترخاء عضلة الحجاب الحاجز رجوعا إلى الوضعية العادية، كما تسترخي العضلات ما بين الأضلاع الخارجية جامعة كل من الأضلاع وعظم القص إلى الوضعية الأولية و بفضل الخاصية المرنة يرجع النسيج الرئوي إلى الوضعية الأولية مما يرفع من نسبة الضغط داخل الرئتين وفرض عملية الزفير

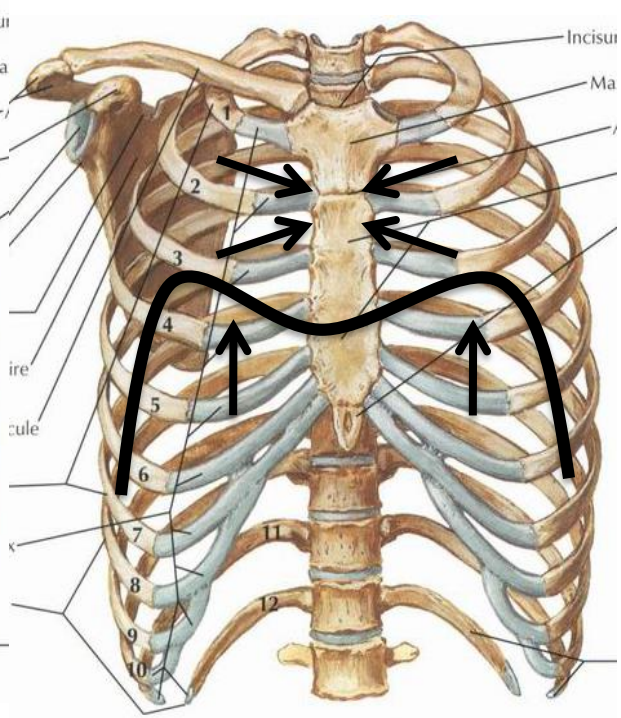
تفرض وتنشط عملية الزفير من خلال العضلات ما بين الأضلاع الداخلية التي تتقلص من أجل إفراغ هواء الرئتين، مؤدية إلى انخفاض الاظلاع كما يمكن أن تتدخل كل من عضلات الظهر (les muscles grands dorsaux, et les carrées des lombes,) ، خاصة تقلص عضلات البطن التي ترفع من نسبة الضغط داخل البطن مما يؤدي إلى دفع أحشاء البطن ضد عضلة الحجاب الحاجز لتسريع عملية صعوده.
التغيرات في في الضغط داخل منطقة البطن و القفص الصدري مع عملية التنفس تسرع عملية الرجوع الوريدي نحو القلب.

# Processus d'inspiration et de l'expiration (mouvement du diaphragme )



diaphragme



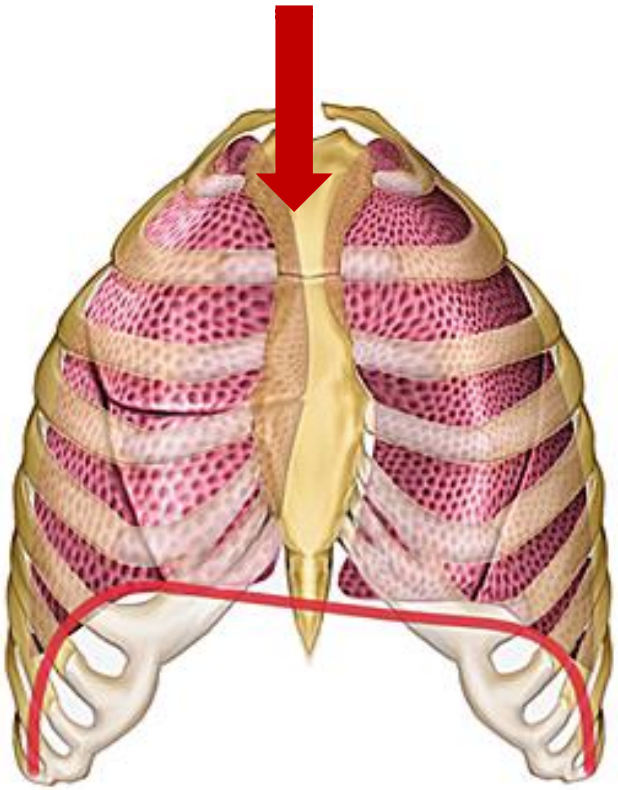


A- début de l'inspiration

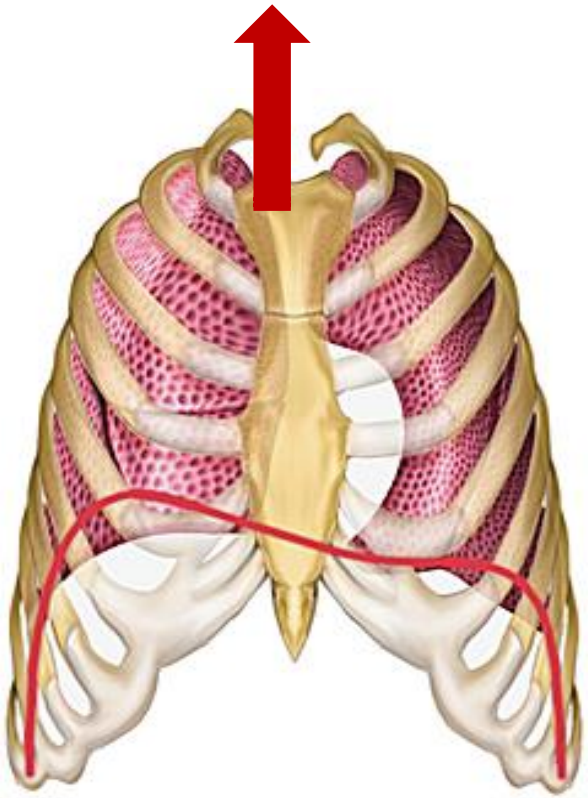
B- l'inspiration

C- l'expiration

# Cycle respiratoire = inspiration + expiration

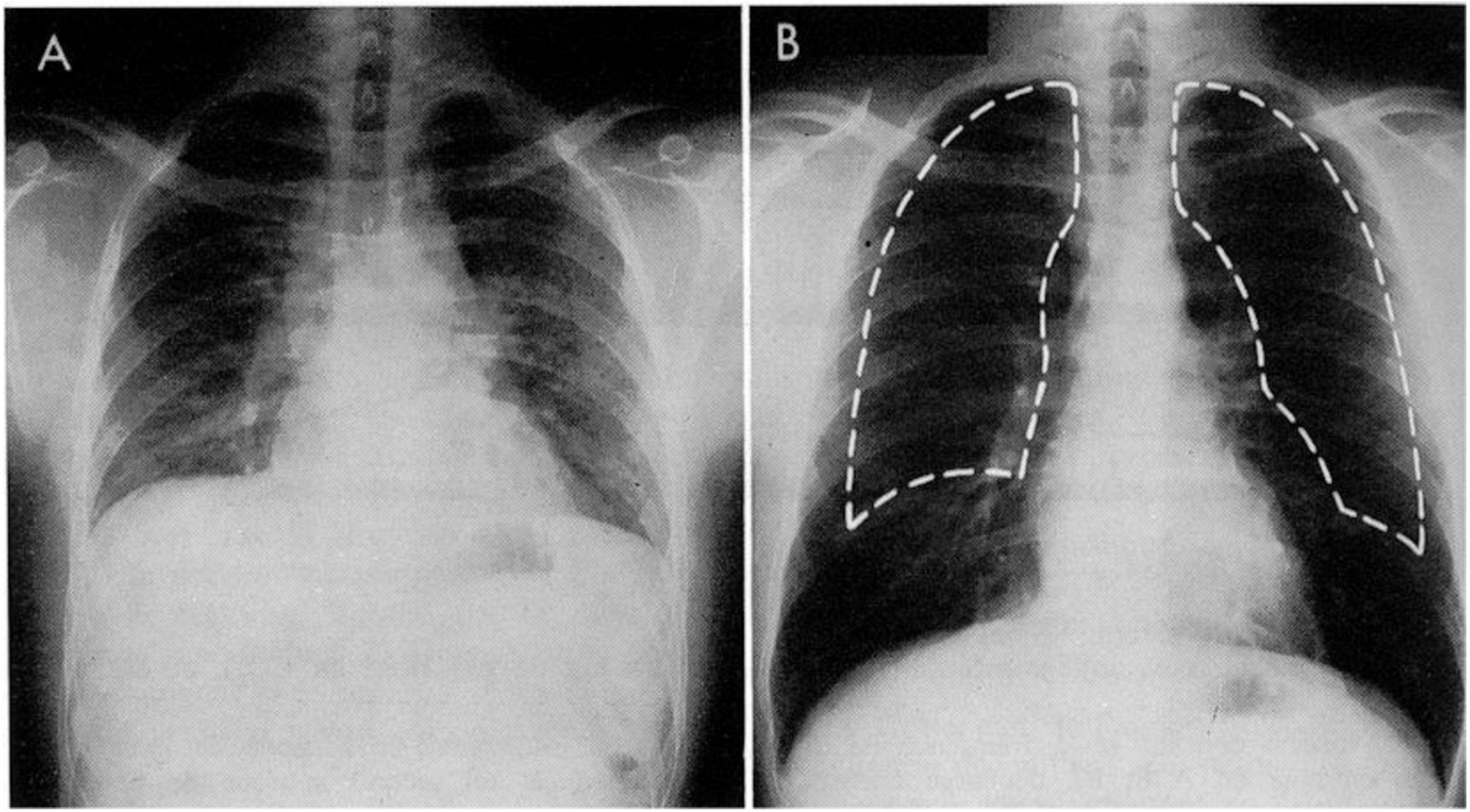


Inspiration



Expiration

# Mouvements respiratoires




Expiration forcée

Inspiration forcée

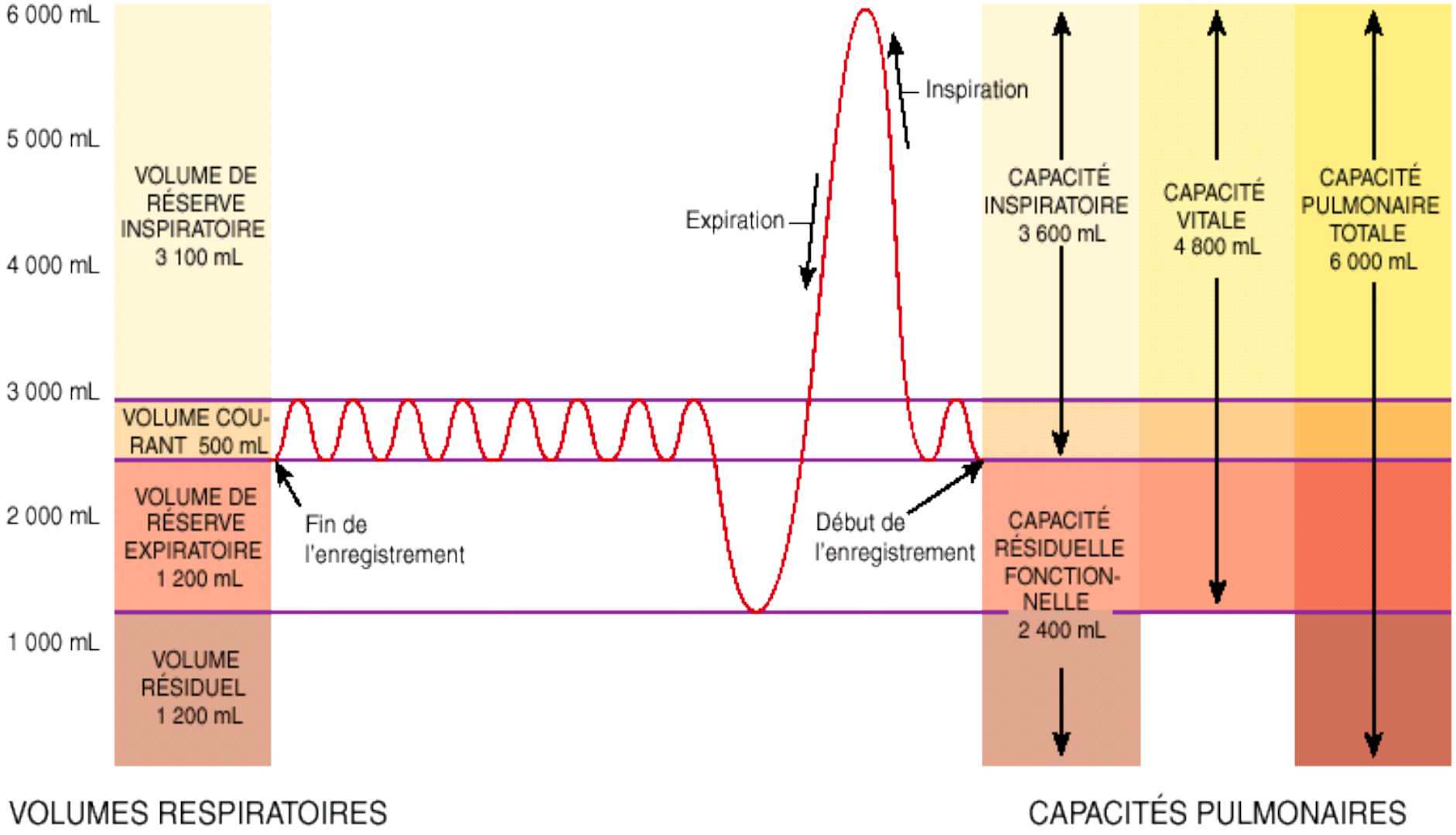
حجم هواء الشهيق و هواء الزفير عند كل دورة تنفسية يسمى الحجم الدوري (volume courant, VC)، في الراحة الحجم الدوري يتفاوت بين 0,4 إلى 1 ل في كل دورة تنفسية. بعد تسجيل مجموعة من الدورات التنفسية العادية نطلب من شخص أن يقوم بعملية شهيق قصوى للهواء، هذه الزيادة في الهواء تصل إلى 2,5 إلى 3,5 لتر و هذا ما يسمى بالحجم الاحتياطي للشهيق ( Volume de réserve inspiratoire, VRI)،

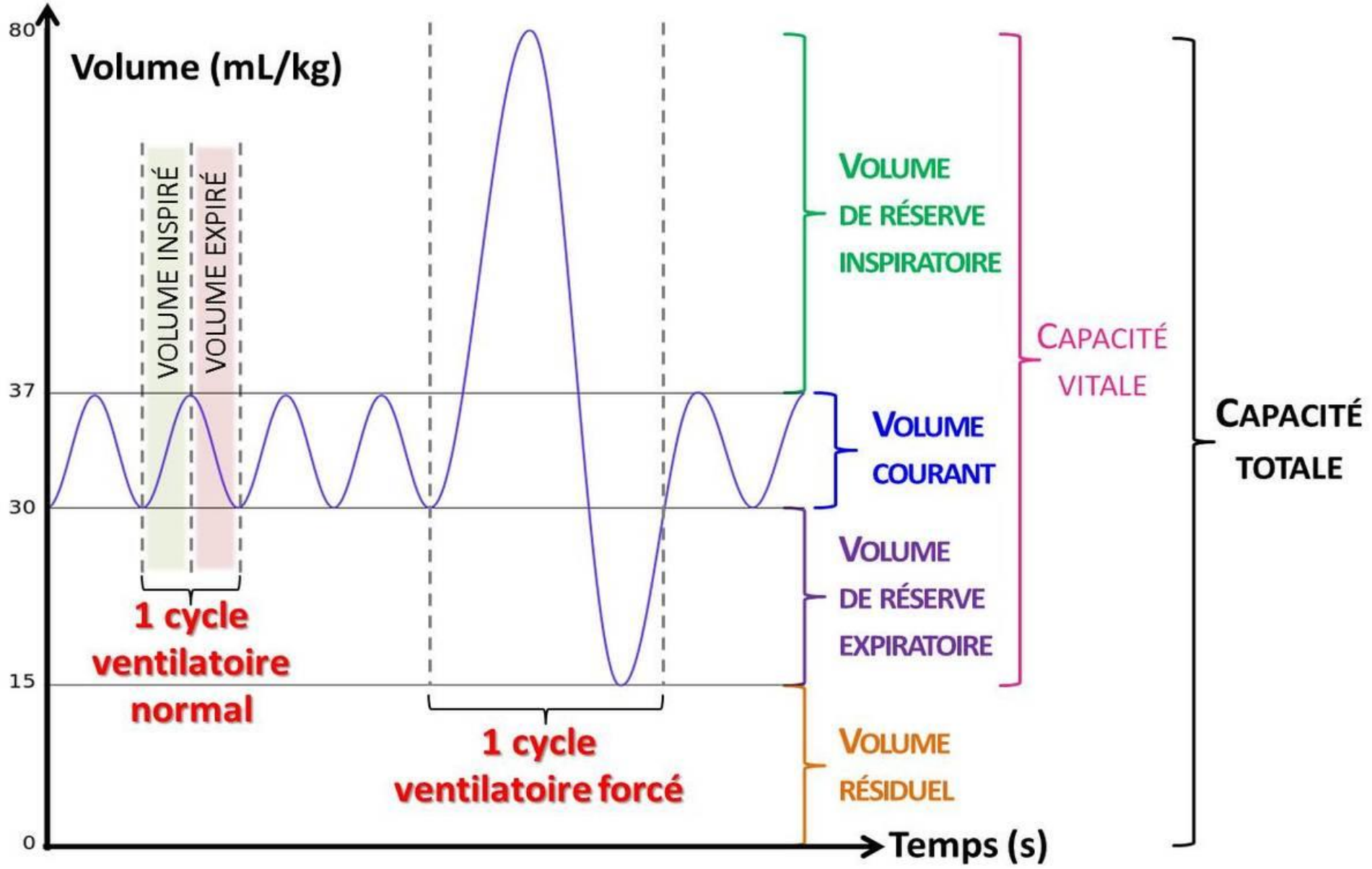
بعد هذا القياس نطلب من الشخص بالعودة إلى الريتم الطبيعي للتنفس، وبعد زفير عادي نطلب من الشخص أن يقوم بأقصى زفير من الرئتين و هذا ما يسمى بالحجم الإحتياطي للزفير (Volume de réserve expiratoire, VRE). الذي يتفاوت بين 1 إلى 1,5 لتر لدى شخص يتمتع بطول عادي.

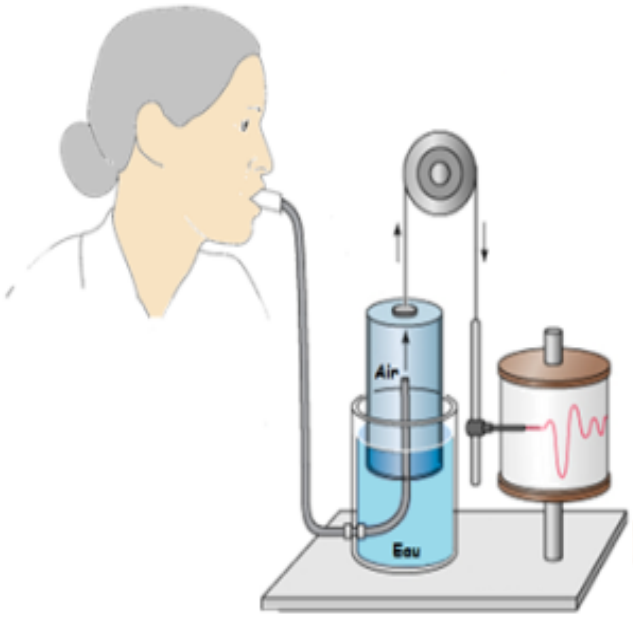
الكمية الكبيرة لهواء الزفير الإرادي بعد شهيق أقصى يطلق عليه **القدرة الحيوية القسرية أو المفروضة** (Capacité Vitale Forcé, CVF)، و هي مجموع الحجم الدوري و الحجم الإحتياطي عند الشهيق و الزفير. قيم القدرة الحيوية تختلف كثيرا حسب السمنة ووضعية الجسم أثناء القياس حيث أن القيم المتوسطة تتراوح بين 4 إلى 5 لتر لدى شباب الذكور و من 3 إلى 4 لدى الفتيات، كذلك تم تسجيل قيم عليا لدى أشخاص يتمتعون ببنية جسمية ضخمة وطويلة تصل من 6 إلى 7 لتر.تم قياس القدرة الحيوية لدى رياضي لكرة القدم الأمريكية و آخر في رياضة التزحلق بطل أولمبي بقيم وصلت من 7,6 إلى 8,1 لتر.

من المحتمل أن القدرة التنفسية (Capacité respiratoire) ترجع إلى عوامل وراثية ، نظرا لأن التدريب لا يمكن أن يغير بحد كبير في الحجم التنفسي. **الحجم المتبقي** (Volume résiduel, VR) يتمثل في حجم الهواء المتبقي بعد الزفير المفروض، أو الهواء الذي لا يمكن أخراجه بعد الزفير، يصل متوسطه من 0,8 إلى 1,2 لتر لدى الفتيات و من 0,9 إلى 1,4 لتر لدى الذكور ، كما تم تسجيل لدى لاعبين لكرة القدم الامريكية قيم تصل من 0,96 إلى 2,46 لتر يتمتعون بصحة جيدة.

# Mesure de volume pulmonaire




80
Volume (mL/kg)
37
30
15
0
VOLUME INSPIRÉ
VOLUME EXPIRÉ
1 cycle ventilatoire normal
1 cycle ventilatoire forcé
VOLUME DE RÉSERVE INSPIRATOIRE
VOLUME COURANT
VOLUME DE RÉSERVE EXPIRATOIRE
VOLUME RÉSIDUEL
CAPACITÉ VITALE
CAPACITÉ TOTALE
Temps (s)




capacité vitale

Volume de réserve inspiratoire

capacité pulmonaire totale

volume tidal

capacité résiduelle fonctionnelle

Volume de réserve expiratoire

Volume résiduel

**Valeurs moyennes normales chez un adulte :**

VT= 500ml
VRI = 2500ml
VRE = 2000ml
VR = 1200ml
Capacité vital = 5000ml
Capacité totale pulmonaire = 6200ml

يرتفع الحجم المتبقي مع التقدم في العمر بينما الحجم الإحتياطي عند الشهيق و الزفير ينخفض تدريجيا، فقدان الحجم الإحتياطي مع الزيادة الواضحة في الحجم المتبقي يرجع إلى انخفاض المرونة الرئوية مع التقدم في العمر. يلعب الحجم المتبقي دورا بيولوجيا مهما حيث أنه لا يتم إفراغ كلي لمحتوى الرئتين نظرا لأن المبادلات الغازية بين الدم و الحويصلات تستمر وهذا يحمي من التدبدب في غاز الدم أثناء الدورة التنفسية حتى عند التنفس العميق.

الحجم المتبقي (VR) إضافة إلى القدرة الحيوية (CVF) يشكل القدرة الرئوية (Capacité pulmonaire, CP)، حيث أنه لا نستطيع قياس الحجم المتبقي مباشرة عن طريق مقياس التنفس و لكن يتم ذلك بطرق غير مباشرة. حجم الهواء المتبقي في الرئتين بعد زفير عادي يشكل الحجم المتبقي الوظيفي ( Capacité résiduel fonctionnelle, CRF)، و هو مجموع الحجم الإحتياطي للزفير + الحجم المتبقي

**CRF= VR+VRE**

الحجم الرئوي الكلي (Capacité pulmonaire totale , CPT) و هو مجموع جميع الأحجام الرئوية

**CPT= VR+VRE+VC+ VRI = (capacité vitale CV) + (Volume résiduel VR)**

## 2–الانتشار الحويصلي الشعيري
## La diffusion alvéolo-capillaire

نطلق على عملية الانتشار المبادلات الغازية بين الرئتين والدم مما يسمح بـ:

1- تجديد محتوى الأكسجين في الدم الشرياني

2- إزالة غاز الكربون من الدم الوريدي

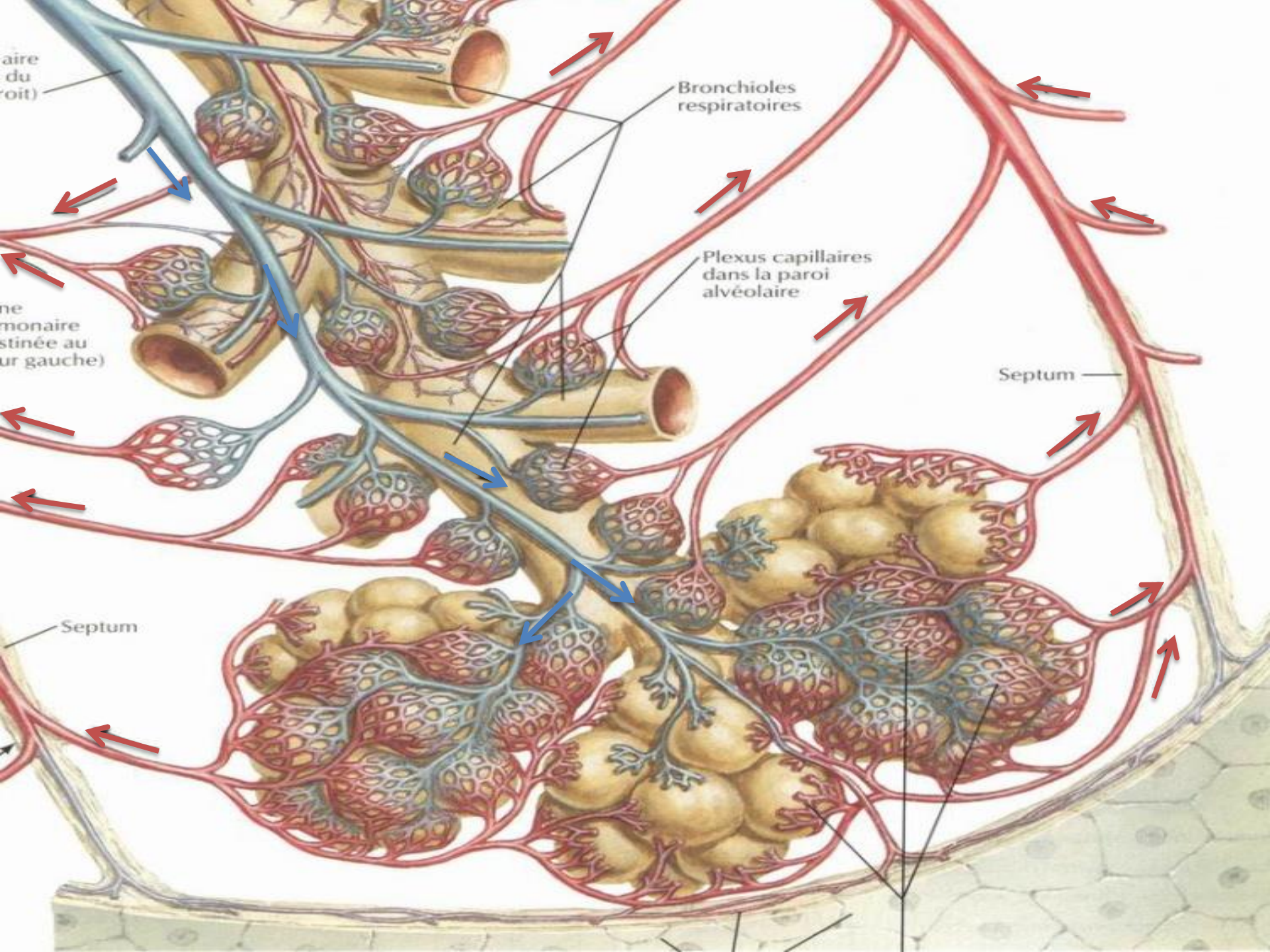
تهدف عملية الانتشار بين الحويصلات والشعيرات الدموية الرئوية إلى أخذ الأكسجين من الحويصلات نحو الشعيرات والعكس من أجل أكسيد الكربون .

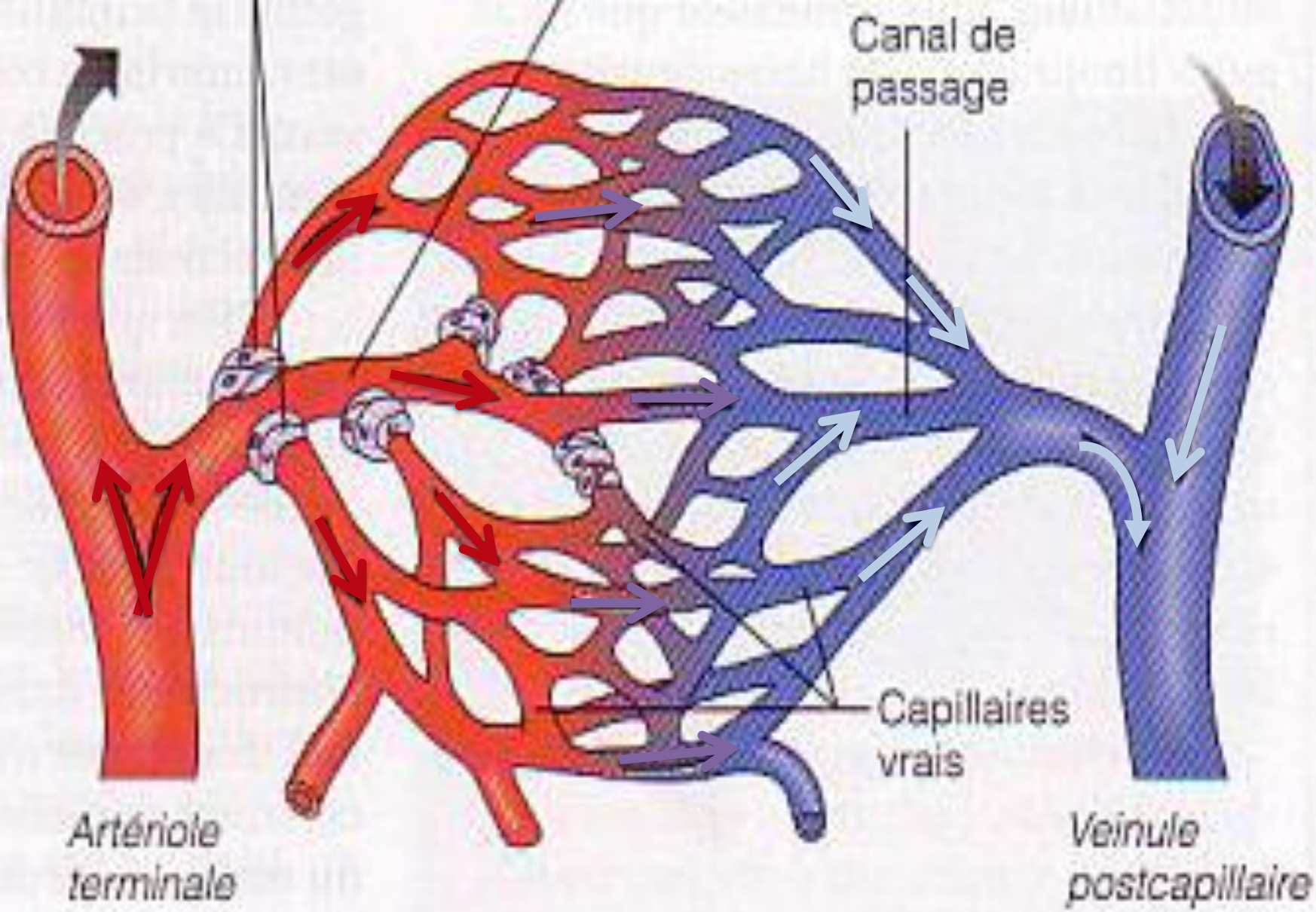
## 1-2 الحاجز أو الغشاء الحويصلي الشعيري
## La barrière ou membrane alvéolo-capillaire

المبادلات الغازية بين هواء الحويصلات الرئوية و الدم يتم عن طريق الغشاء الحويصلي الشعيري الذي يتكون من :

- الجدار الحويصلي
  La paroi alvéolaire
- الأغشية القاعدية
  Des membrane basales
- الجدار الشعيري
  La paroi capillaire

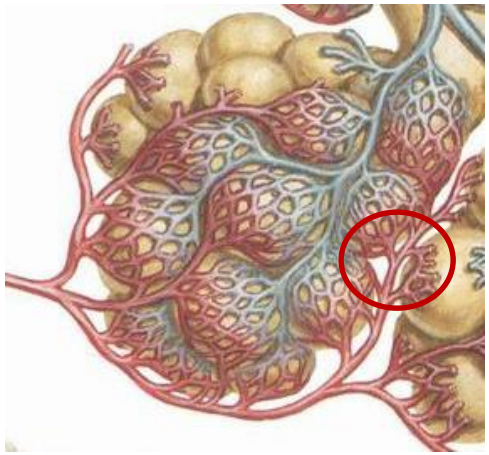
الغشاء الحويصلي الشعيري رقيق جدا ، يصل قياسه من 0,5 إلى 4 ميكرو متر ويغلف حوالي 300 مليون حويصلة

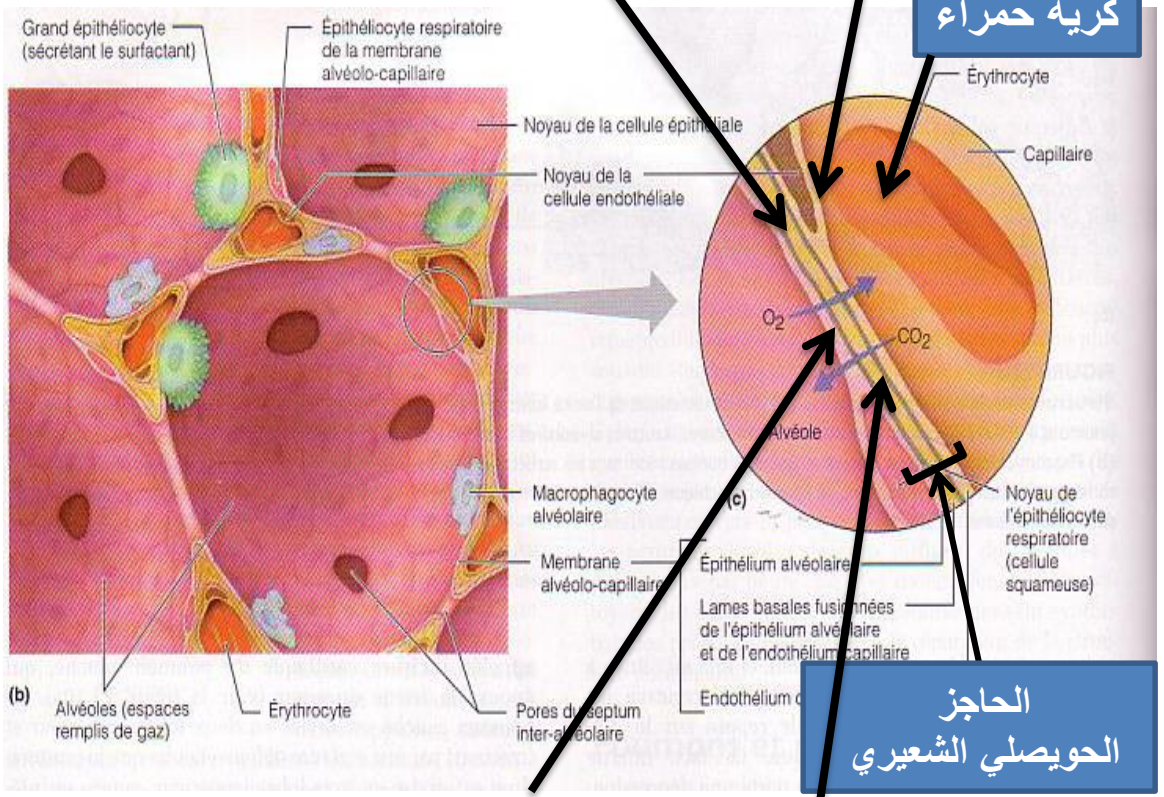

Bronchioles
respiratoires
Plexus capillaires
dans la paroi
alvéolaire
Septum
Septum

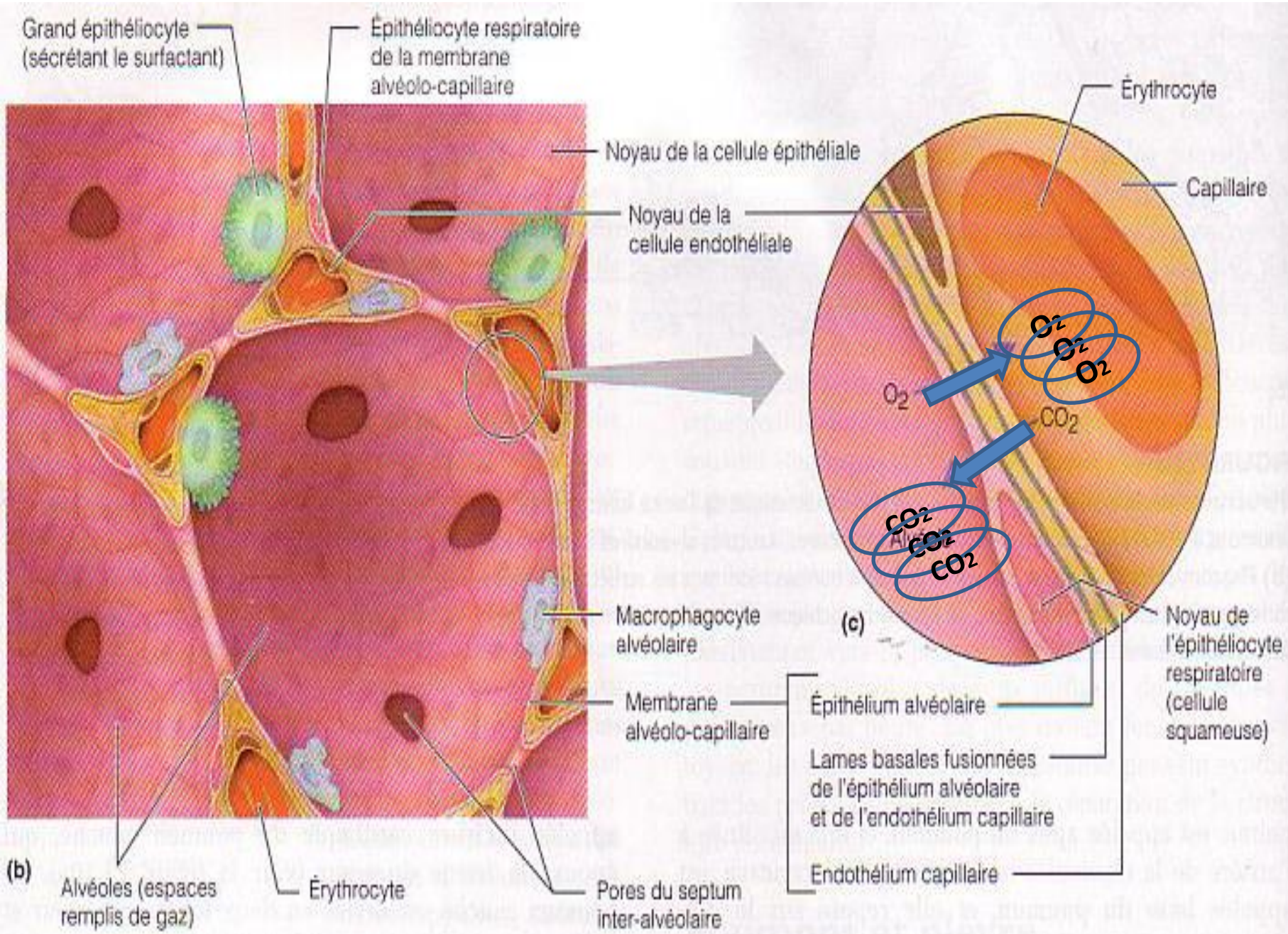


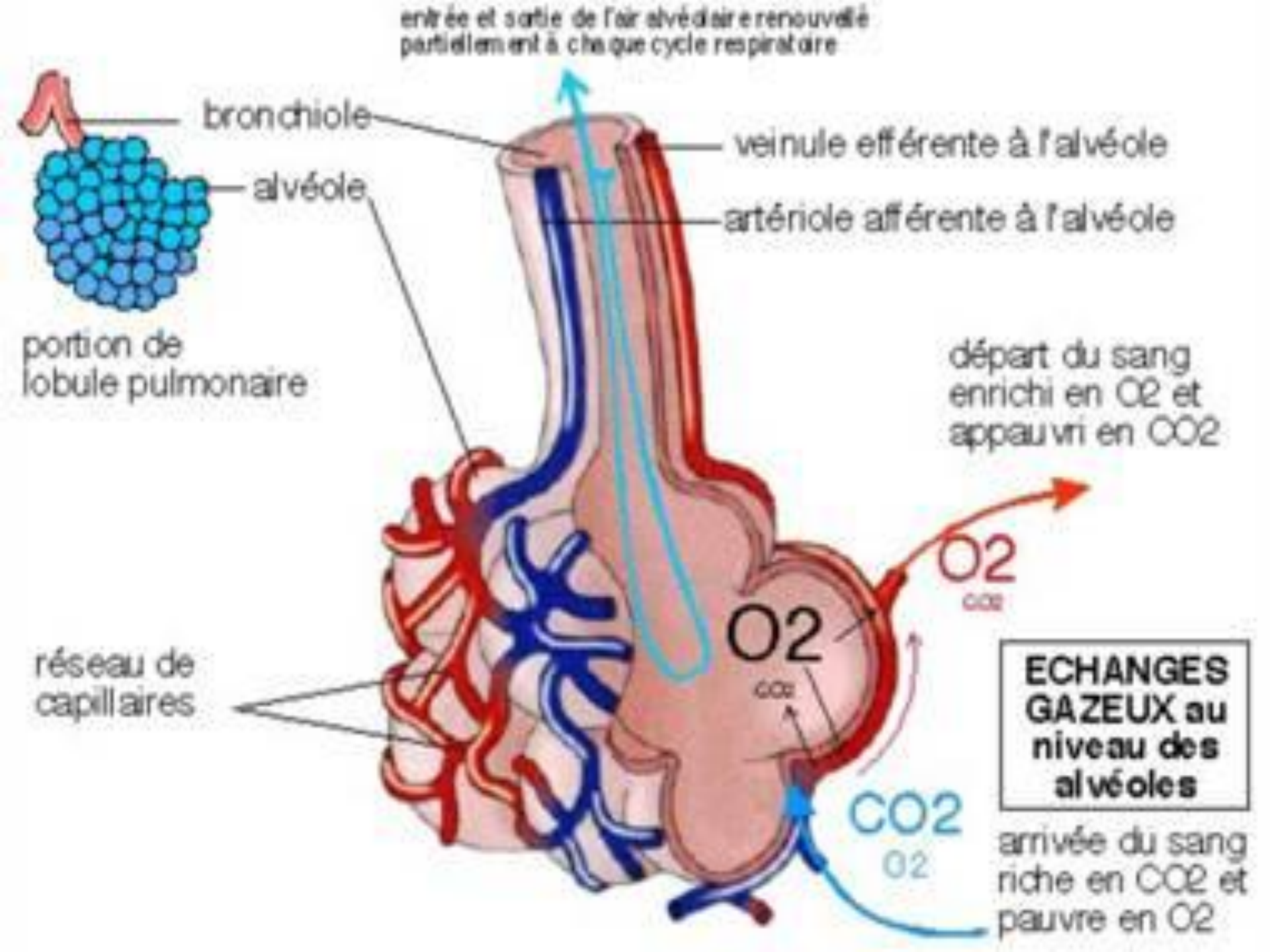

(a) Sphincters ouverts

# Schéma de la barrière ou membrane alvéolo-capillaire ou s'effectuent les échange gazeux en oxygène et dioxyde de carbone






Grand épithéliocyte (sécrétant le surfactant)
Épithéliocyte respiratoire de la membrane alvéolo-capillaire
Noyau de la cellule épithéliale
Noyau de la cellule endothéliale
Macrophagocyte alvéolaire
Membrane alvéolo-capillaire
(b)
Alvéoles (espaces remplis de gaz)
Érythrocyte
Pores du septum inter-alvéolaire
Érythrocyte
Capillaire
O2
O2
O2
O2
CO2
CO2
CO2
CO2
(c)
Noyau de l'épithéliocyte respiratoire (cellule squameuse)
Épithélium alvéolaire
Lames basales fusionnées de l'épithélium alvéolaire et de l'endothélium capillaire
Endothélium capillaire


entrée et sortie de l'air alvéolaire renouvelé partiellement à chaque cycle respiratoire
bronchiole
alvéole
portion de lobule pulmonaire
veinule efférente à l'alvéole
artériole afférente à l'alvéole
départ du sang enrichi en O2 et appauvri en CO2
O2
CO2
réseau de capillaires
ECHANGES GAZEUX au niveau des alvéoles
CO2
O2
arrivée du sang riche en CO2 et pauvre en O2

# الضغوط الجزئية للغازات
# Les pression partielles de gaz

يتكون الهواء الذي نتنفسه من ثلاث غازات، التي بدورها تطبق ضغط ، هذا التركيز في الهواء للغازات يسمى الضغط ، حسب قانون (dalton) فإن الضغط الكلي المختلط يساوي مجموع الضغوط الجزئية المطبقة من طرف كل الغازات التي تدخل في تركيبه.

إن الهواء المتنفس يتكون من 79,04% أزوت( $N_2$)، 20,93 % أكسجين ($O_2$)، 0,03 % أكسيد الكربون ($CO_2$). على مستوى سطح البحر الضغط الجوي هو 760 مم زئبقي و الضغط المرجعي أو الضغط الثابت (المعياري)، نأخذ بعين الاعتبار أن هذا الضغط هو الضغط الكلي للهواء (100%)، و بالتالي فإن الضغط الجزئي للآزوت ($PN_2$) هو 600,7 مم زئبقي (760 x %79,04 مم زئبقي)، و بالنسبة للأكسجين ($PO_2$) هو 159 مم زئبقي (760 x%20,03 مم زئبقي) و بالنسبة لغاز أكسيد الكربون($PCO_2$) 0,3 مم زئبقي (760 x %0,03 مم زئبقي).

# المبادلات الغازية للأكسجين و أكسيد الكربون بين الحويصلات و الشعيرات الدموية
# Les échanges alvéolo-capillaire en oxygène et en dioxyde de carbone

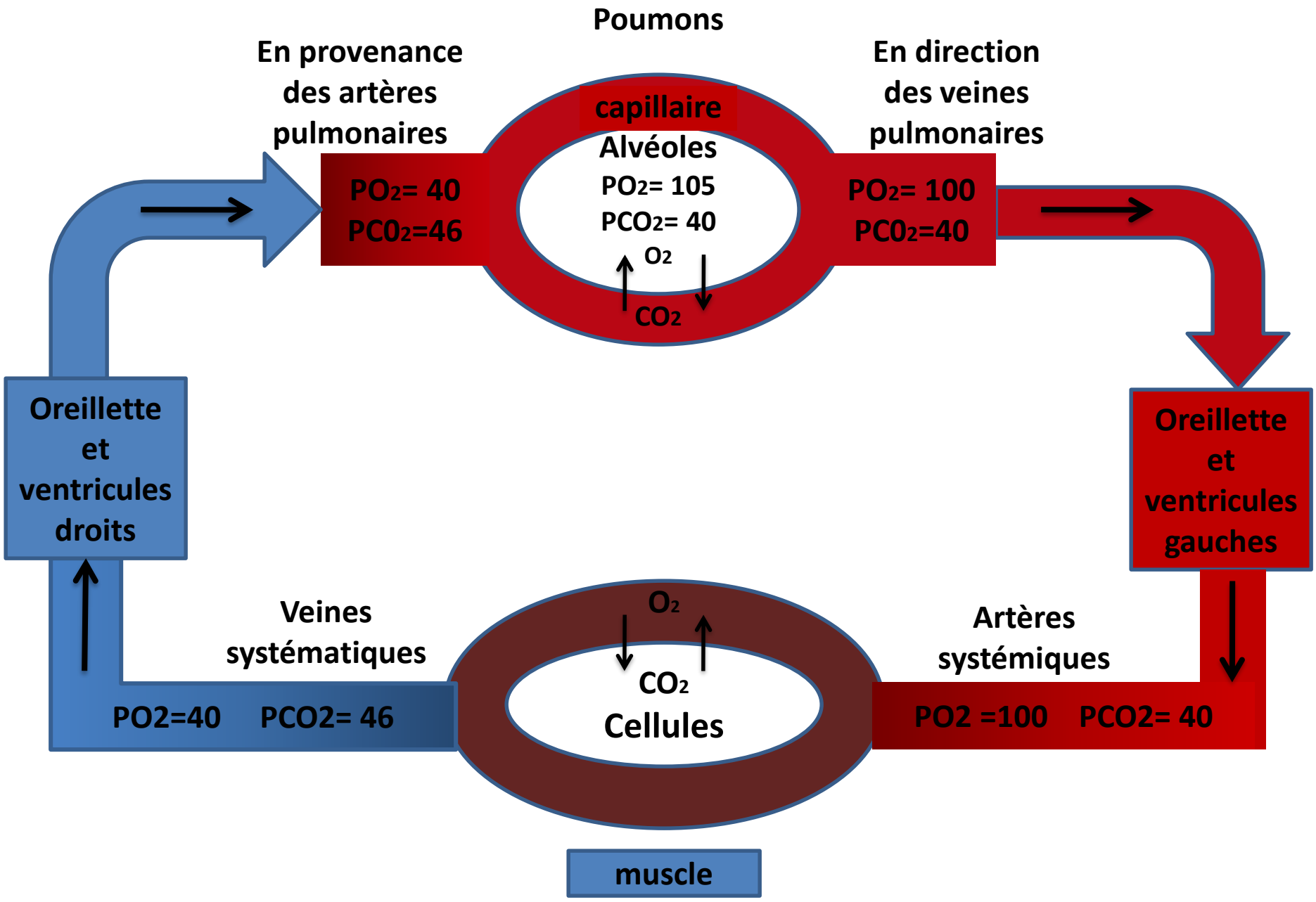
بالنسبة لكل غاز الفرق في الضغط الجزئي بين الحويصلات و الشعيرات يبدأ من التدرج في الضغط عن طريق الحاجز الحويصلي الشعيري، أي من الوسط الأكبر إلى الأقل، و عند تماثل الضغط الجزئي في الوسطين يحدث التوازن.

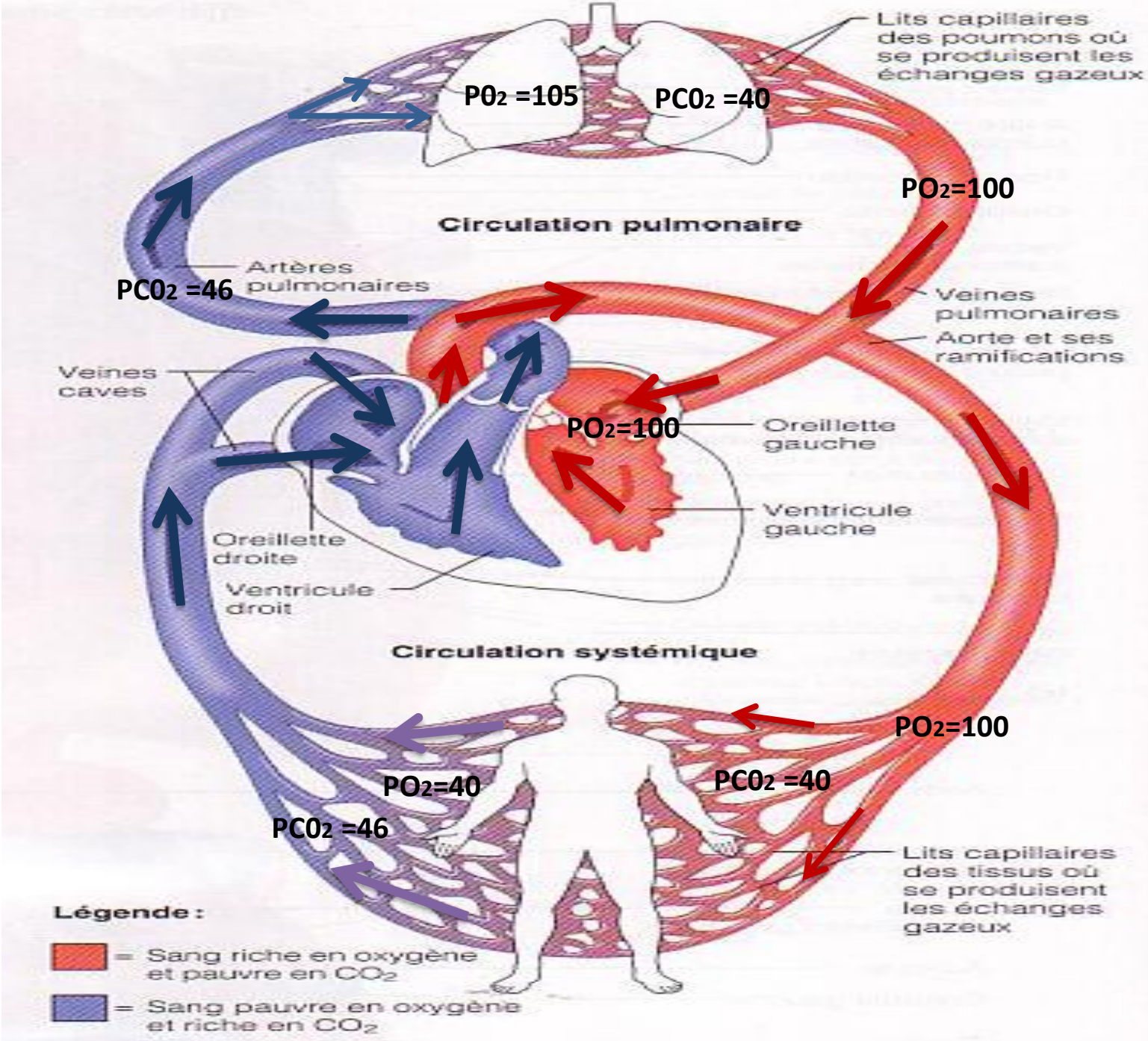
## 1- مبادلات الأكسجين
## Les échanges d'oxygéne

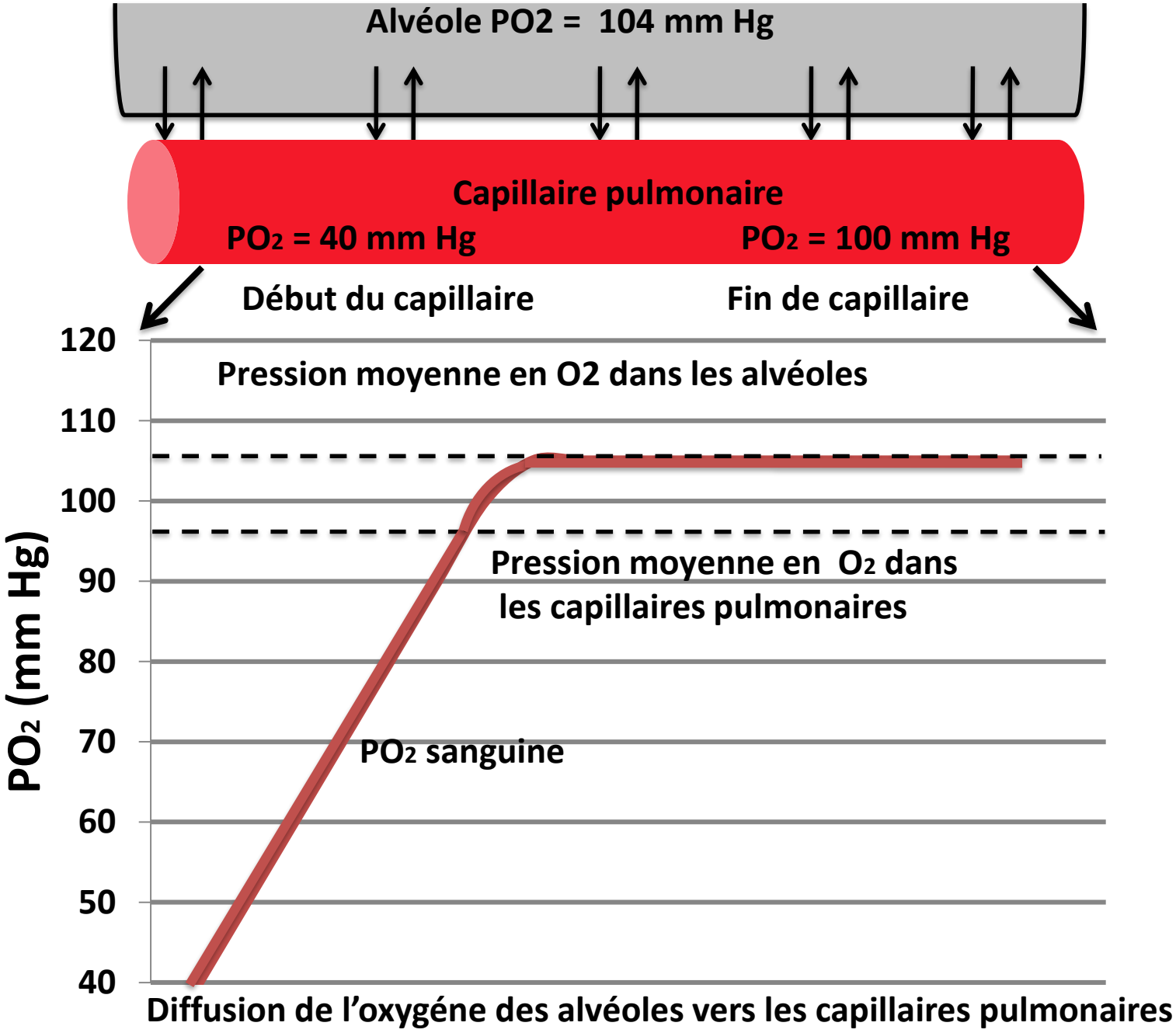
يساوي ضغط الأكسجين في الهواء 159 مم زئبقي و ينخفض من 105 إلى 100 مم زئبقي في الحويصلات أين يختلط الهواء المستنشق مع هواء الحويصلات الذي يحتوي على البخار وأكسيد الكربون ، وبالتالي فإن التجديد المستمر للهواء في الحويصلات يضمن الاستقرار في تركيز الغازات في الحويصلات .

يفتقر الدم الراجع إلى الشعيرات الرئوية إلى الأكسجين ، في هذا المستوى الضغط الجزئي للأكسجين هو من 40 إلى 45 مم زئبقي . و في الحويصلات PO2 يبقى ثابت حوالي 105 مم زئبقي وبالتالي فإن الفرق الشرياني بين الحويصلات والشعيرات يصل من 55 إلى 65 مم زئبقي هذا الفرق يسمح بعملية الانتشار من الحويصلات نحو الشعيرات ، وتستمر عملية الانتشار وصولا إلى حالة التوازن في الضغط الجزئي بين الوسطين، هذا التوازن يؤدي إلى خروج الدم المشبع بالأكسجين نحو الدورة الدموية مع العلم أن الضغط الجزئي للأكسجين في الأوردة الرئوية هو 100 مم زئبقي ولا يكون 105 مم ز مثل ما هو في الحويصلات والشعيرات الرئوية.

سرعة انتشار الأكسجين من الحويصلات نحو الشعيرات تدعى بـقدرة انتشار الأكسجين و هي كمية أو حجم الأكسجين المنتشر (مل) عن طريق الحاجز الحويصلي الشعيري في الدقيقة ، في الراحة كل 1 مم زئبقي ينتشر 21 مل من الأكسجين نحو الدورة الدموية خلال 1 دقيقة . وعند أداء التمرينات البدنية قدرة انتشار الأكسجين يمكن أن تزداد حتى 50 مل\د\مم زئبقي ، 2 حتى 3 مرات بقيمة الراحة


Poumons
En provenance des artères pulmonaires
En direction des veines pulmonaires
capillaire
Alvéoles
PO2= 40
PC02=46
PO2= 105
PCO2= 40
O2
CO2
PO2= 100
PC02=40
Oreillette et ventricules droits
Oreillette et ventricules gauches
Veines systématiques
Artères systémiques
O2
CO2
PO2=40 PCO2= 46
Cellules
PO2 =100 PCO2= 40
muscle


Lits capillaires des poumons où se produisent les échanges gazeux
PO2 =105
PCO2 =40
PO2=100
Circulation pulmonaire
Artères pulmonaires
PCO2 =46
Veines pulmonaires
Aorte et ses ramifications
Veines caves
PO2=100
Oreillette gauche
Ventricule gauche
Oreillette droite
Ventricule droit
Circulation systémique
PO2=100
PO2=40
PCO2 =40
PCO2 =46
Lits capillaires des tissus où se produisent les échanges gazeux
Légende :
= Sang riche en oxygène et pauvre en CO2
= Sang pauvre en oxygène et riche en CO2


Alvéole PO2 = 104 mm Hg
Capillaire pulmonaire
PO2 = 40 mm Hg
PO2 = 100 mm Hg
Début du capillaire
Fin de capillaire
120
110
100
90
80
70
60
50
40
PO2 (mm Hg)
Pression moyenne en O2 dans les alvéoles
Pression moyenne en O2 dans les capillaires pulmonaires
PO2 sanguine
Diffusion de l'oxygéne des alvéoles vers les capillaires pulmonaires

# مبادلات أكسيد الكربون
# Les échanges en dioxyde de carbone

مثل الأكسجين المبادلات الخاصة بأكسيد الكربون تكون عن طريق تدرج في الضغط ، الدم المتبادل في الحويصلات يتمتع بضغط جزئي $PCO_2$ أولي 46 مم زئبقي ، و في الحويصلات يساوي الضغط الجزئي لأكسيد الكربون 40 مم زئبقي ، هذا التدرج في الضغط بين الشعيرات و الحويصلات يعتبر صغير لكنه كافي من أجل إحداث عملية الانتشار و بـ20 مرة أكثر أهمية من الأكسجين، بحيث يتمتع أكسيد الكربون بسرعة انتشار عن طريق الحاجز الحويصلي الشعيري .

# Pressions partielle des gaz respiratoires au niveau de la mer

| Pression partielle (mm Hg) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| gaz | % dans l'air sec | Air sec | Air alvéolaire | sang veineux | Gradient de diffusion |
| Total | 100 | 760,0 | 760 | 760 | 0 |
| $H_2O$ | 0,00 | 0,0 | 47 | 47 | 0 |
| $O_2$ | 20,93 | 159,1 | 104 | 40 | 64 |
| $CO_2$ | 0,03 | 0,2 | 40 | 45 | 5 |
| $N_2$ | 79,04 | 600,7 | 569 | 573 | 0 |

# نقل الأكسجين و أكسيد الكربون
# Le transport de l’oxygène et du dioxyde de carbone

سوف نتحدث في هذا العنصر عن التهوئة الرئوية وكيفية المبادلات الغازية أثناء عملية الانتشار الحويصلي الشعيري رابطين ذلك بنقل الغازات من طرف الدم والمبادلات مع الأنسجة

## نقل الأكسجين

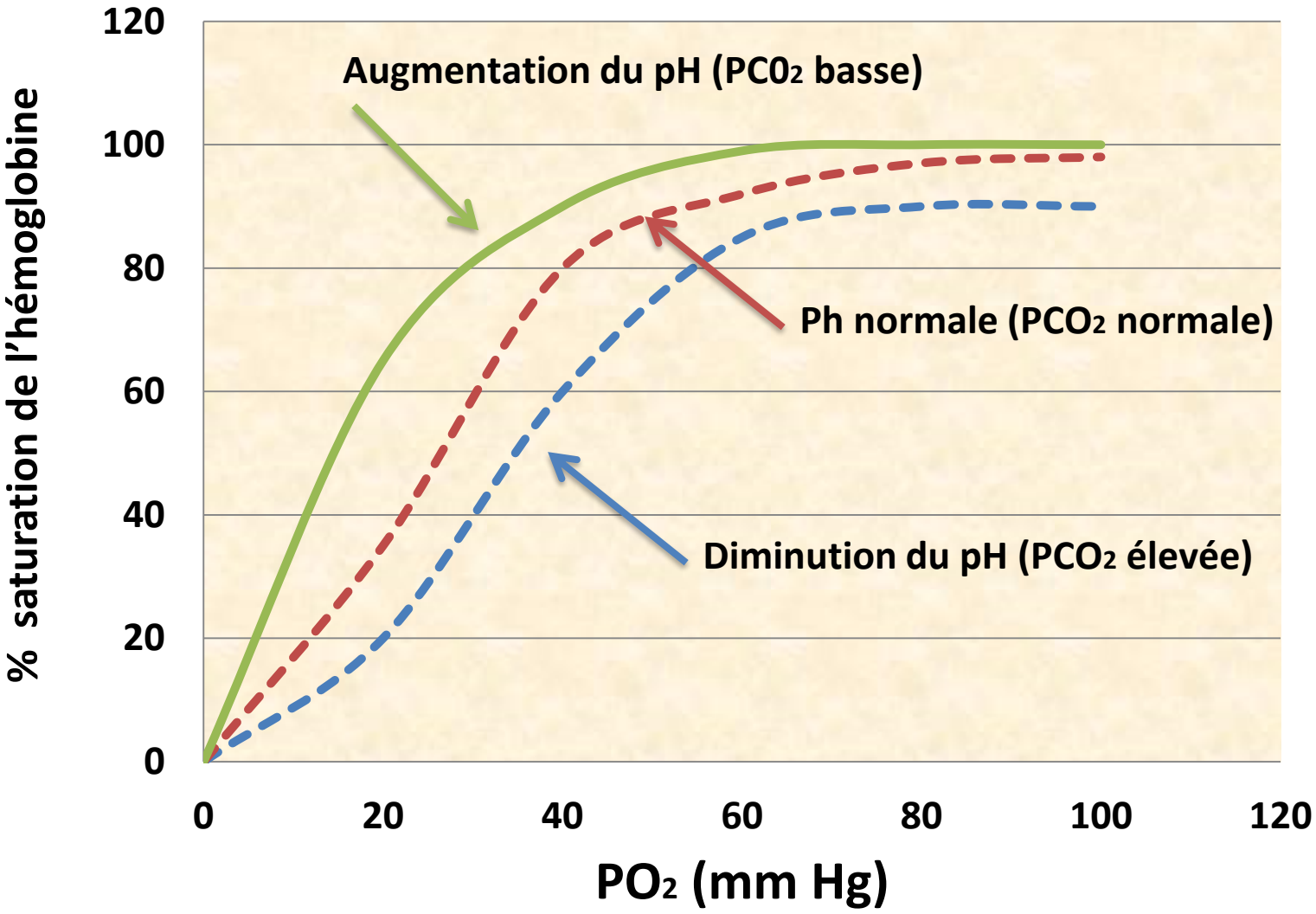
ينقل الأكسجين في الدم بطريقتين : أولا بطريقة مرتبطة أي مركب مع هيموغلوبين (Hb) الكريات الحمراء 98% أو منحل في بلازما الدم 2%> ، حيث أن كل 1 ل من البلازما يحتوي على 3 مل من الأكسجين وبالتالي فإن الحجم الكلي للدم (5ل) يحتوي من 9 إلى 15 مل من الأكسجين في شكل منحل ، هذه الكمية لا تكفي للجسم في حالة الراحة 250 مل من الأكسجين المتطلبة في الدقيقة ، و هذه القيمة تعكس أن أكثر من 70 مرة ينقل الأكسجين عن طريق الهيموغلوبين

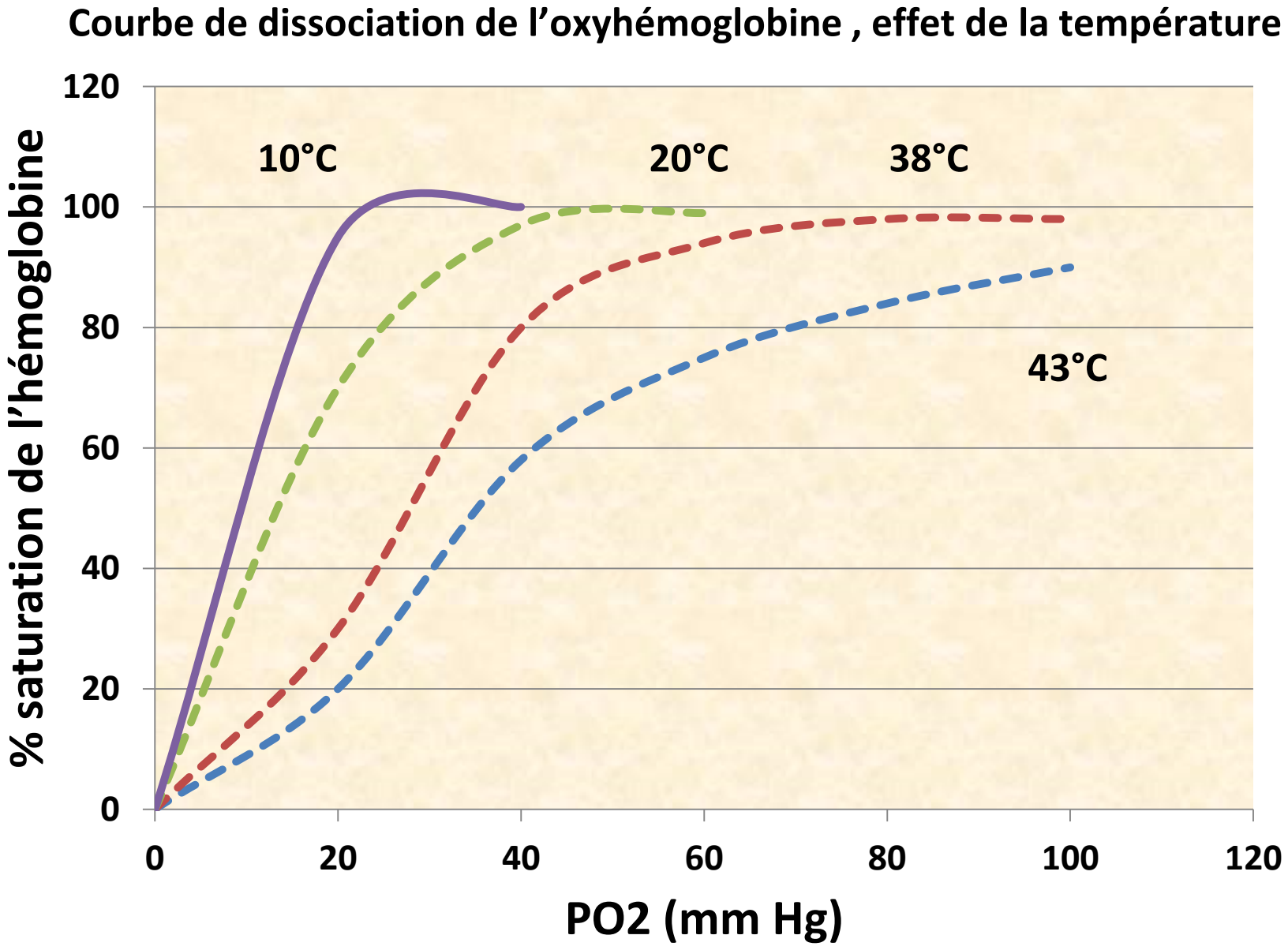
# تشبع الهيموغلوبين
# La saturation de l’hémoglobine

كل جزيئه من الهيموغلوبين يمكن أن تنقل 4 جزيئات من الأكسجين هذا الاتحاد بين المركبين يشكل لنا معقد يسمى أوكسي هيموغلوبين أما الأكسجين المحرر يسمى دي أوكسي هيموغلوبين، ترتبط نسبة تثبيت الأكسجين بنسبة الضغط الجزئي للأكسجين في الدم وتلاؤم وتجانس الأكسجين مع الهيموغلوبين، وهناك عوامل أخرى يمكن أن تؤثر على تشبع الهيموغلوبين حيث أن ارتفاع نسبة pH في الرئتين يحفز على تثبيت الأكسجين في الهيموغلوبين والعكس على مستوى الأنسجة نسبة PH تكون منخفضة مما يسهل تفكك الاكسي هيموغلوبين، ويحدث هذا عند أداء التمرينات البدنية، قدرة توفير الأكسجين في العضلات ترتفع بانخفاض في الـ PH .

كما يؤدي ارتفاع درجة حرارة الدم إلى زيادة تفكيك الاوكسي هيموغلوبين على مستوى الأنسجة وهذا ما يحدث عند أداء التمرينات البدنية في العضلات النشطة ، والعكس على مستوى الرئتين عملية استنشاق الهواء تعمل على تبريد دم الرئتين هذا ما يرفع من نسبة تثبيت الأكسجين في الهيموغلوبين.

## Courbe de dissociation de l'oxyhémoglobine a effet de pH




Courbe de dissociation de l'oxyhémoglobine , effet de la température
% saturation de l'hémoglobine
120
100
80
60
40
20
0
10°C
20°C
38°C
43°C
0
20
40
60
80
100
120
PO2 (mm Hg)

# نقل أكسيد الكربون
# Le transport du dioxyde de carbone

ينقل أكسيد الكربون في الدم وهذا بالطرق التالية :

**1- انحلال أكسيد الكربون**

7 إلى 10 % من أكسيد الكربون المحرر من طرف الأنسجة ينحل في بلازما الدم ، و على مستوى الرئتين ينتشر أكسيد الكربون من الشعيرات نحو الرئتين .

## 2- ايونات البيكربونات

في الدم أكبر نسبة من أكسيد الكربون (60 إلى 70%) تحول في شكل أيونات البيكربونات ، في هذا الوسط فإن أكسيد الكربون والماء يتحدان من أجل تشكيل حمض الكربونيك ($H_2CO_3$) هذا الحمض لا يستقر وينحل بسرعة محررا أيونات الهيدروجين $H^+$ و أيونات البيكربونات ( $HCO_3^-$)

$$CO_{2+}H_2O \rightarrow H_2CO_3 \rightarrow H^+ + HCO_3$$

أثناء وصول الدم إلى الرئتين فإن الضغط الجزئي لأكسيد الكربون ينخفض وبالتالي فإن أيونات $H^+$ و أيونات البيكربونات ترتبط من جديد مشكلة حمض الكربونيك الذي بدوره ينحل إلى أكسيد الكربون والماء .

$$H^+ + HCO_3^- \rightarrow H_2CO_3 \rightarrow CO_2 + H_20$$

**3-**
**كربامينوهيموغلوبين**

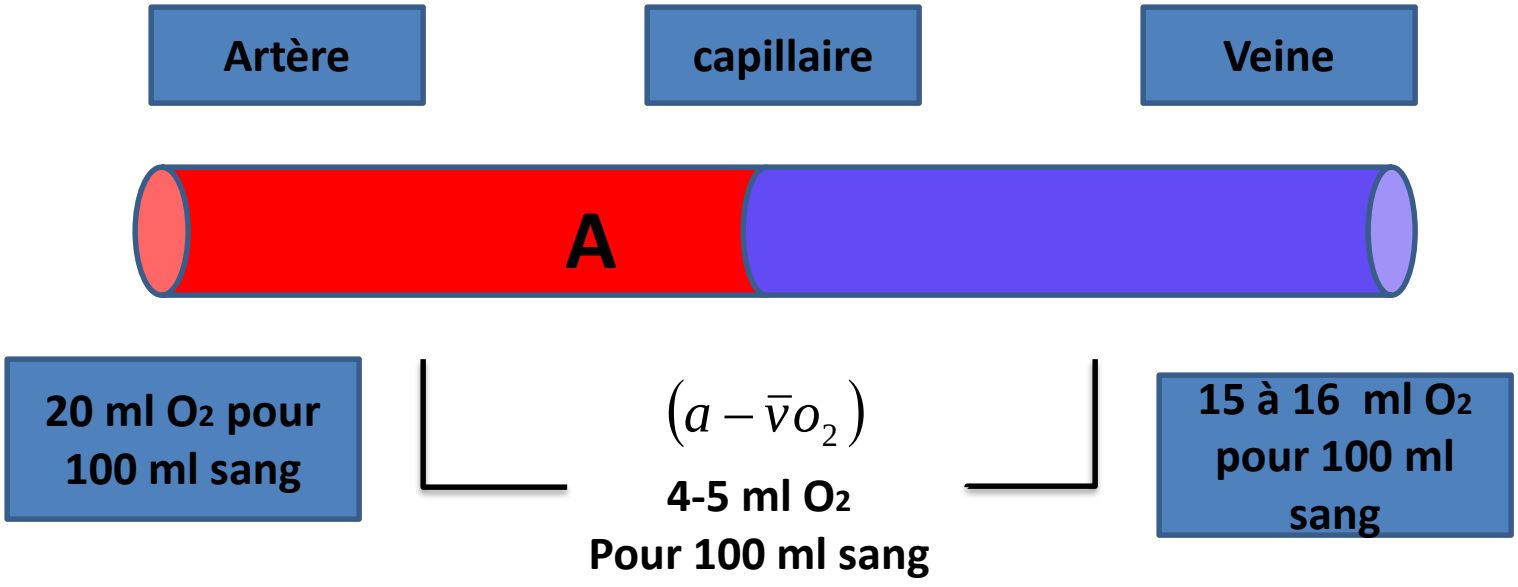
إن نقل أكسيد الكربون يكون أيضا عن طريق ارتباط الغاز مع الهيموغلوبين هذا المعقد المتشكل يسمى كربامينوهيموغلوبين(carbaminohémoglobine )
حيث لا توجد منافسة بين بين $O_2$ و $CO_2$ من أجل التثبيت في الهيموغلوبين و بالتالي فإن تثبيت أكسيد الكربون يرتبط بنسبة الأكسجين الموجود في الهيموغلوبين .

يرتبط دي أوكسي هيموغلوبين بسهولة مع أكسيد الكربون على عكس ذلك مع الاكسي هيموغلوبين، كما ينفصل أكسيد الكربون من الهيموغلوبين إذا كان $PCO_2$ منخفض ، وكذلك على مستوى الرئتين إذا كان $PCO_2$ منخفض يحرر أكسيد الكربون بسرعة من الهيموغلوبين مما يسمح بمروره نحو الحويصلات لطرحه خارجا

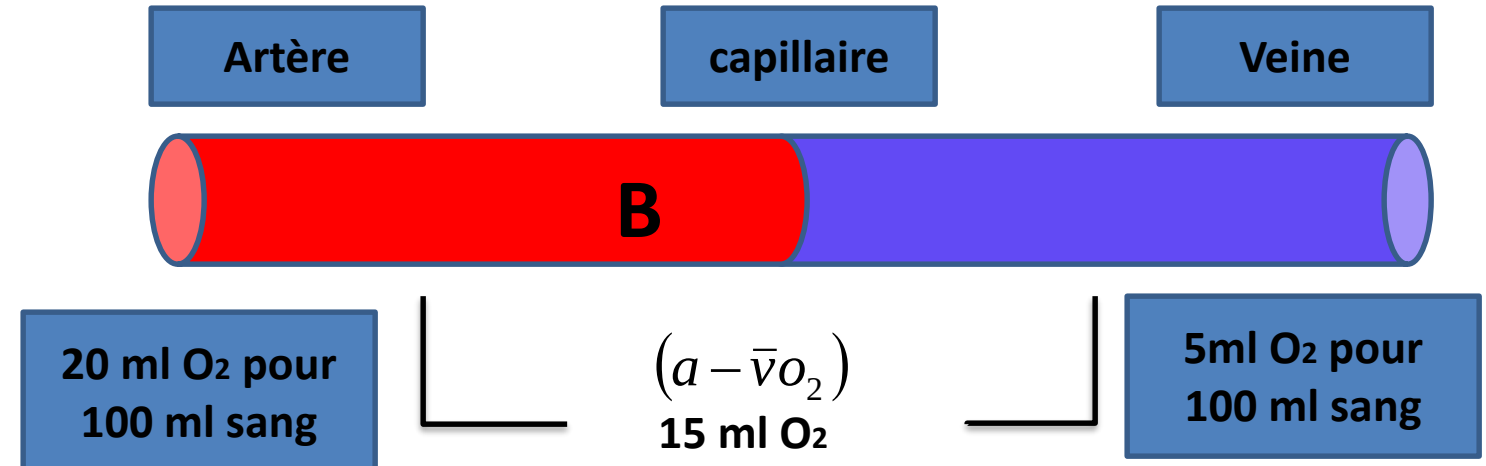
# 4-المبادلات الغازية العضلية
# Les échanges gazeux musculaires

## 4-1 الفرق الشرياني الوريدي للأكسجين
## La différence artério-veineuse en oxygène

في الراحة ، محتوى الأكسجين في الدم الشرياني حوالي 20 مل في كل 100 مل ، هذه القيمة تنخفض من 15 إلى 16 مل في كل 100 مل في جهة الشعيرات الوريدية هذا الفرق بين الجهتين يسمى الفرق الشرياني الوريدي للأكسجين $\left(a-\bar{v}o_2\right)$
و الذي يمثل من 4 إلى 5 مل نسبة الأكسجين المنزوع من طرف الأنسجة حيث تختلف هذه النسبة كلما زادت شدة الجهد البدني لتصل من 15 إلى 16 مل في كل 100 مل من الدم ، ومن جهة أخرى قد يصل الفرق الشرياني الوريدي في العضلات من 17 إلى 18 مل.




**Différence artério-veineuse en oxygène $(a-\bar{v}o_2)$ (A) au repos et (B) l'ors d'un exercice intense**



## 2-4العوامل المؤثرة على تزويد واستهلاك الأكسجين
## facteurs influençant la fourniture et la consommation d’oxygène

إن تزويد واستهلاك الأكسجين يتعلق أساسا بثلاث عوامل هي :

1- محتوى الدم من الأكسجين

2- تدفق الدم

3- عوامل وشروط محلية

في بداية التمرين كل هذه العوامل الثلاثة يجب أن تستجيب لزيادة متطلبات العضلات من الأكسجين ، في هذه الحالة نستطيع القول أن الهيموغلوبين في حالة تشبع تصل إلى 98 % من الأكسجين، كل نقص في قدرات النقل هذه تؤدي إلى اختلال في توزيع واستهلاك الأكسجين على مستوى الخلايا ، من جهة أخرى تعمل التمرينات على زيادة تدفق الدم العضلي أي أكثر نزع للأكسجين من طرف العضلات النشطة، و هناك عوامل أخرى عضلية يمكن أن تتدخل مثل التقلص العضلي ، زيادة درجة الحرارة وتركيز ثاني أكسيد الكربون، انخفاض درجة الحموضة. كل هذه العوامل تسهل انحلال الاوكسي هيموغلوبين .

# 3-4 نزع أكسيد الكربون
# L’élimination du dioxyde de carbone

إن تحفيز العمليات الايضية الهوائية العضلية ينتج عنها إنتاج وطرح أكسيد الكربون و هذا ما يرفع من نسبة الضغط الجزئي للأكسيد الكربون محليا، يؤدي التدرج في الضغط الجزئي بين الأنسجة و الشعيرات إلى انتشار أكسيد الكربون نحو الدم الذي ينقل هذا الغاز إلى غاية الرئتين.

# 5- تنظيم عملية التهوئة
# La régulation de la ventilation

## 1-5 آليات التنظيم
## Mécanisme de régulation

تنشط العضلات التنفسية من الأعصاب الحركية والتي بدورها خاضعة لمراقبة المركز التنفسي ( الشهيق والزفير) الموجود في البصلة السيسائية هذا المركز يعمل على تنظيم وتيرة وحجم عملية التنفس وهذا ببعث رسائل عصبية إلى العضلات التنفسية . و لا تراقب عملية التنفس عن طريق الجهاز العصبي فقط بل هي خاضعة أيضا للتغيرات الكيميائية داخل الجسم ، إن الاختلاف في تركيز أكسيد الكربون وأيونات الهيدروجين يكتشف عن طريق مستقبلات كيميائية مركزية التي تعلم مركز الشهيق كيف يحدث هذا ؟

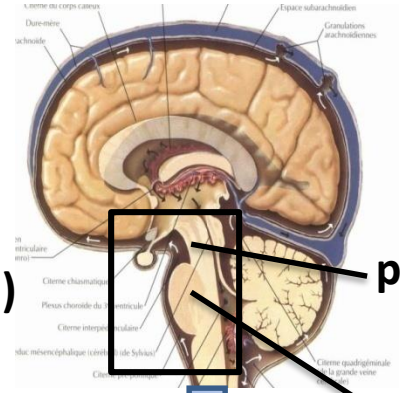
في الدم، يعمل أكسيد الكربون على تكوين حمض الكربونيك الذي بدوره ينحل إلى أيونات الهيدروجين ، تراكم أيونات الهيدروجين يؤدي إلى انخفاض في درجة pH في الدم وفي سائل الرأسية السيسائية (liquide céphalo-rachidien) ، كما تتصل المستقبلات الكيميائية المركزية بسائل الراسية السيسائية و بالتالي مركز الشهيق الذي بدوره يحفز من أجل عملية التنفس من أجل إزالة أكسيد الكربون وتعديل درجة الحموضة PH، في هذه الحالة يجب أن نأخذ بعين الاعتبار لحركة المستقبلات الكيميائية المحيطية الموجودة في القوس الأورطي الحساسة للضغط الجزئي للأكسجين وأكسيد الكربون ودرجة الحموضة ، في هذه المستقبلات يوجد ألياف حسية تنقل المعلومات إلى مركز الشهيق التي تحفز في حالة انخفاض$PO_2$ et pH، وزيادة $PCO_2$.

و هناك عوامل ميكانيكية يمكن أن تتدخل في المراقبة العصبية للتنفس، الغشاء الرئوي (plèvre)، الشعيبات (bronchioles)، الحويصلات الرئوية ، والتي تحتوي على مستقبلات حسية للتمدد، التي تتمدد بزيادة الحجم الرئوي بحيث تبعث برسال تثبيطية عن طريق العصب الحائر (المعدي الرئوي nerf vague) إلى مركز الشهيق الذي يثبط. حيث تحدث عملية الزفير لإفراغ محتوى الرئتين هذه الآلية تسمى بـ رد فعل (d’héring-breuer)

Cortex cérébrale
(contrôle volontaire)

2

Chémorécepteurs
Centraux ($PCO_2$,pH)



protubérance

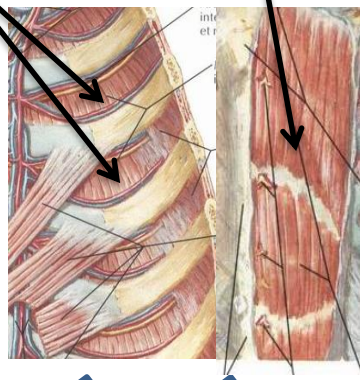
Bulbe
rachidien

Chémorécepteurs
Périphérique
($PCO_2$,pH, $P0_2$)

3

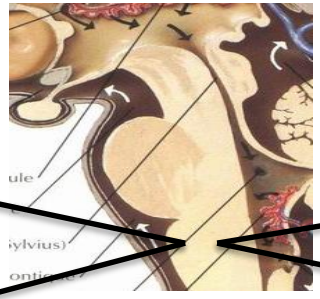
Muscles
intercostaux
interne

Muscles
abdominaux

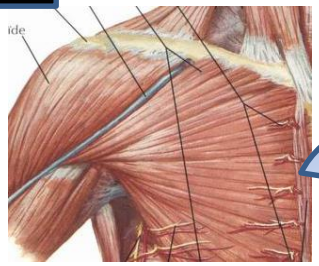


7

1



4



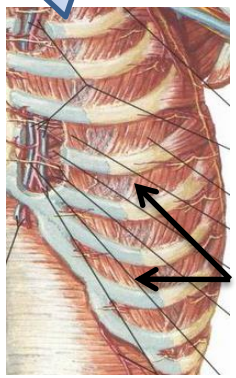
Muscles actifs

Centres
inspiratoire

Centres
expiratoires

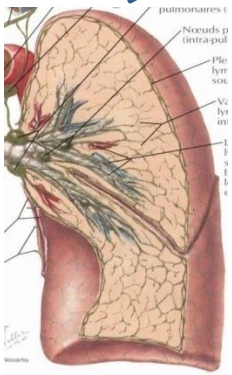
5

diaphragme



Muscles
intercostaux
externes

6

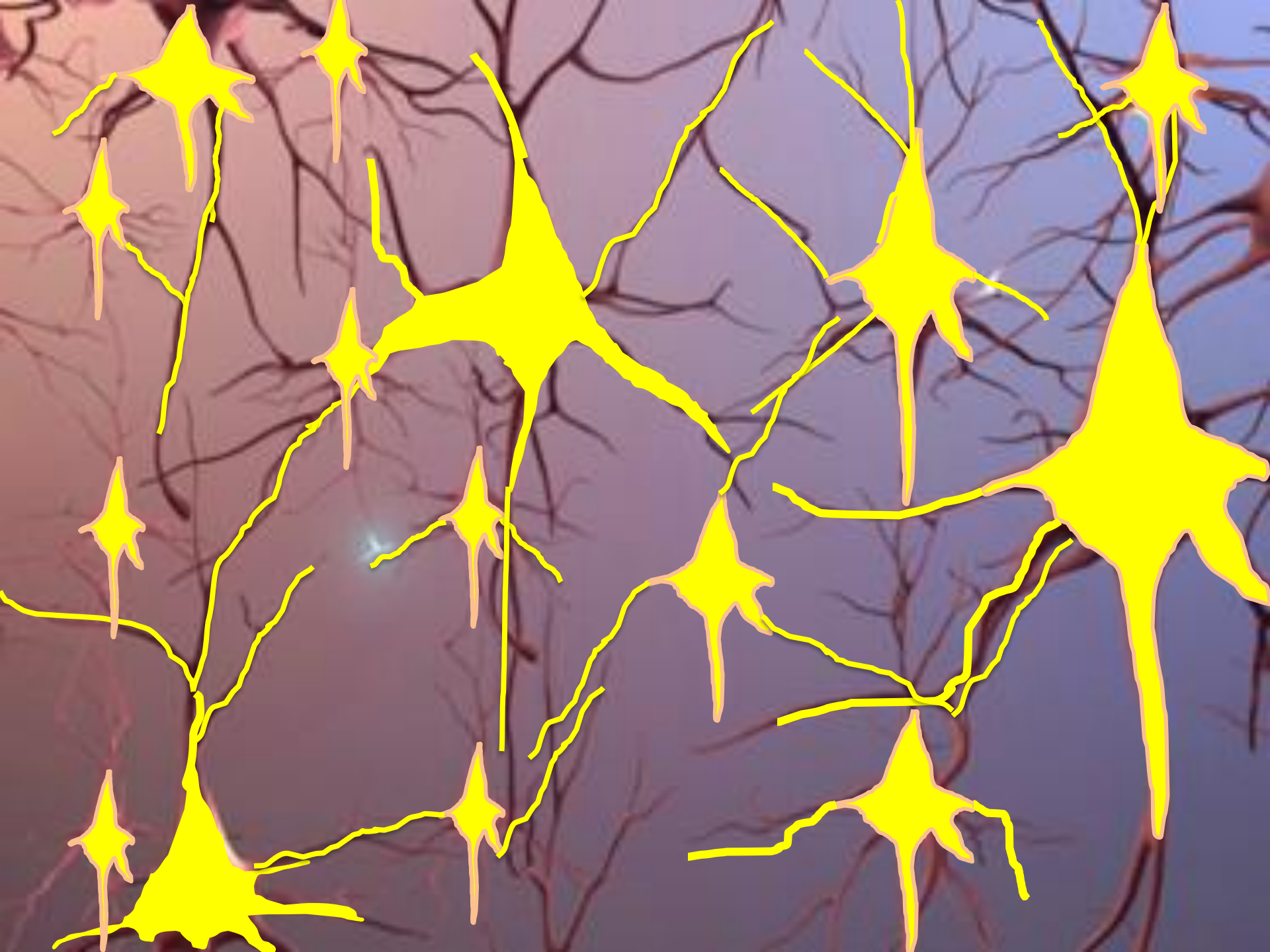


Récepteurs
pulmonaires
sensibles à
l'étirement

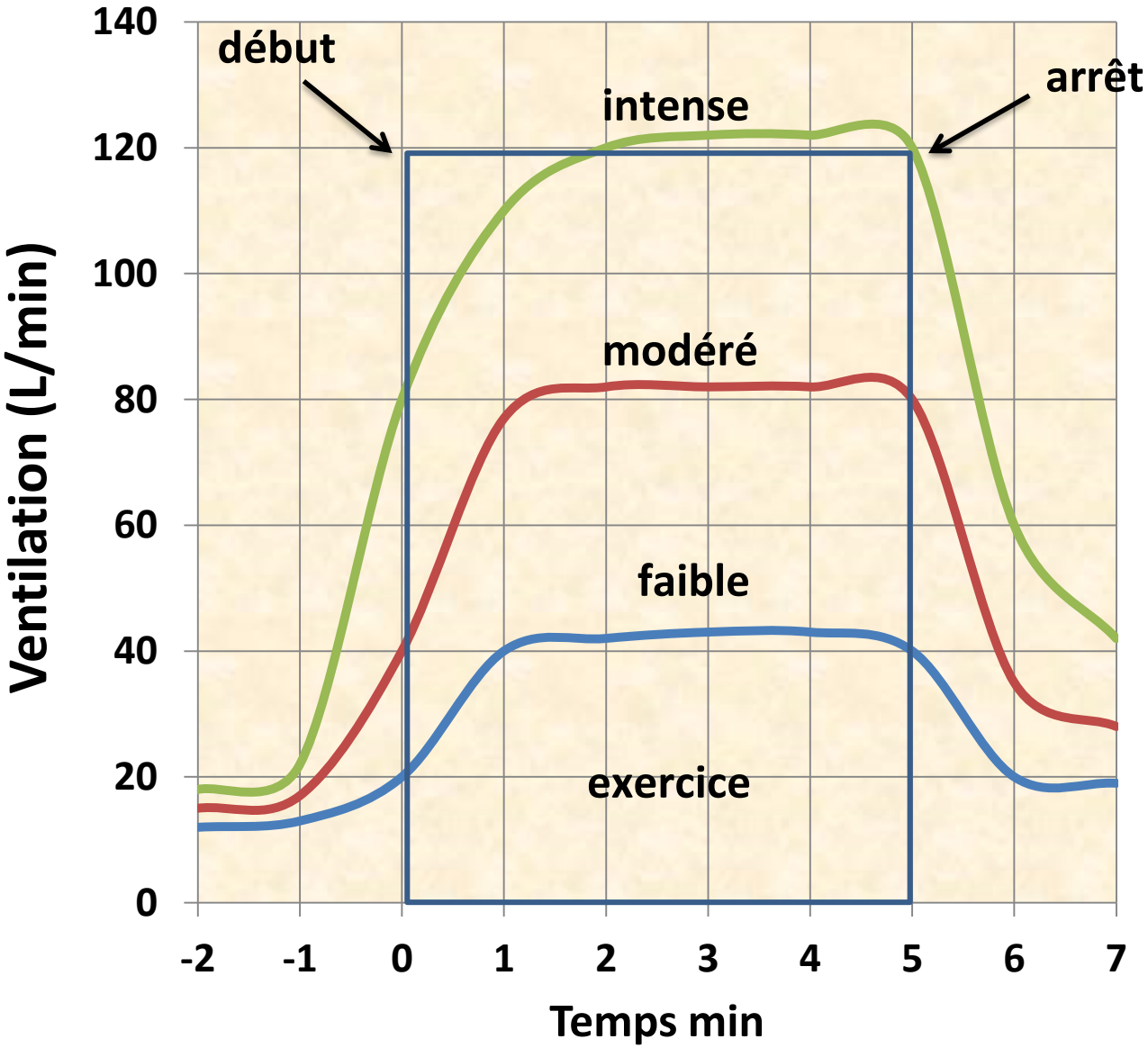
# 2-5 التهوية في التمرينات البدنية
# La ventilation à l'exercice

إن الزيادة في عملية التهوية الرئوية في بداية التمرين تتم بمرحلتين : أولا زيادة مباشرة تتبعها زيادة أكثر تصاعدا وتدرجا، هذا النوع من التكيف راجع إلى الزيادة الأولية للتهوية وإلى الحركات في نفس الوقت، عند بداية التمرين وقبل كل التغيرات الكيميائية ،نشاط القشرة المخية (الحركية) يرفع وينبه مركز التنفس بالاستجابة لزيادة عملية التهوية، بالإضافة إلى المعلومات الحسية التي تصل إلى العضلات والمفاصل لتنفيذ الاستجابة التنفسية .

أما المرحلة الثانية الأكثر تدرجا وهي نتائج النشاط الاستقلابي الايضي الحاصل من أداء التمرينات البدنية، وذلك يظهر في زيادة درجة الحرارة والتحولات الكيميائية في الدم، ($PO_2$) ينخفض في العضلات مما يرفع الفرق الشرياني الوريدي للأكسجين وهذا ما ينبه المستقبلات الكيميائية لتحفيز مركز التنفس الذي يستجيب بزيادة مستوى وحدة التنفس، بعض الدراسات تشير إلى وجود مستقبلات كيميائية عضلية ، وهذا ما يجعلنا نفرض وجود مستقبلات في البطين الأيمن الذي بدوره يعلم مركز التنفس، زيادة حجم الضربة يعمل كذلك على زيادة عملية التهوية عند كل بداية للتمرينات.



**Réponse ventilatoire lors d'un exercice d'intensité faible, modérée et intense , chaque palier d'exercice dure 5 min, la ventilation atteint un plateau lorsque l'exercice est faible, modérée, intense**



# المشاكل التنفسية في التمرينات البدنية
# Problèmes respiratoires à l'exercice

## 1-عسر التنفس
## La dyspnée

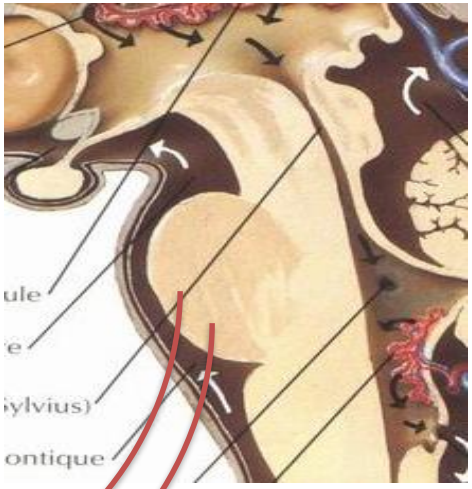
إن الإحساس بعسر التنفس (تنفس ضيق) في التمرين البدني يعتبر عادي بالنسبة للشخص الذي له إمكانيات بدنية صغيرة ، و بذلك فإن تركيز أكسيد الكربون و ايونات $H^+$ يرتفع بسرعة في الدم الشرياني عند أداء الجهد البدني، هذا الارتفاع يمثل إشارة هامة إلى مركز التنفس الذي بدوره يستجيب بزيادة حدة التهوئة،

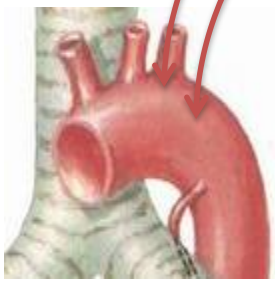
إن عسر التنفس الناتج من أداء الجهد البدني يمثل عدم القدرة على التنفس و هذا راجع إلى عدم القدرة على تنظيم درجة الحموضة pH، و $PCO_2$ حتى مع التنبيه الهام العصبي لعملية التهوية، كما يؤدي ذلك إلى تعب سريع للعضلات التنفسية للشهيق التي تصبح غير قادرة على المحافظة على الاتزان الداخلي.

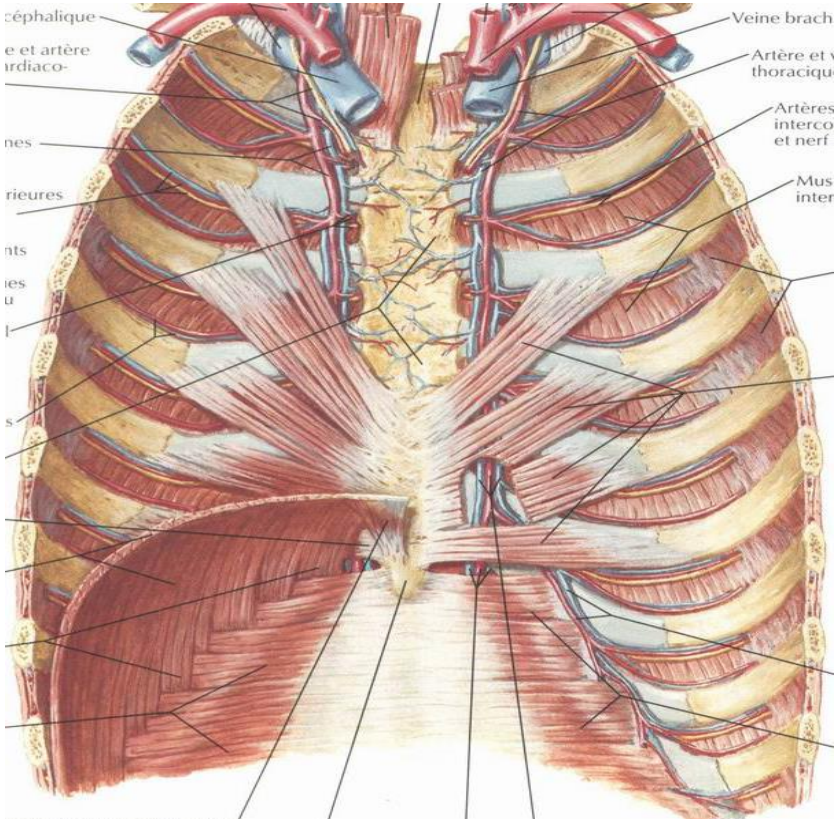
## إفراط التهوية
## L’hyperventilation

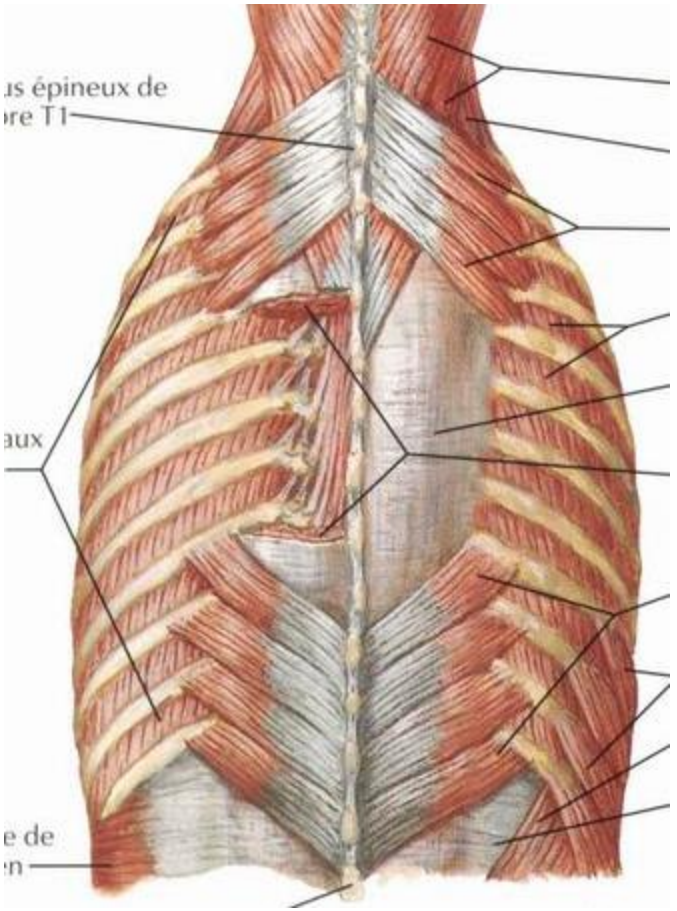
تمكن التهوية من توفير احتياجات الأكسجين، في حالة القلق التي ترتبط عادة بالتمرينات أو في بعض الحالات المرضية يمكن أن نتحدث عن إفراط التهوية

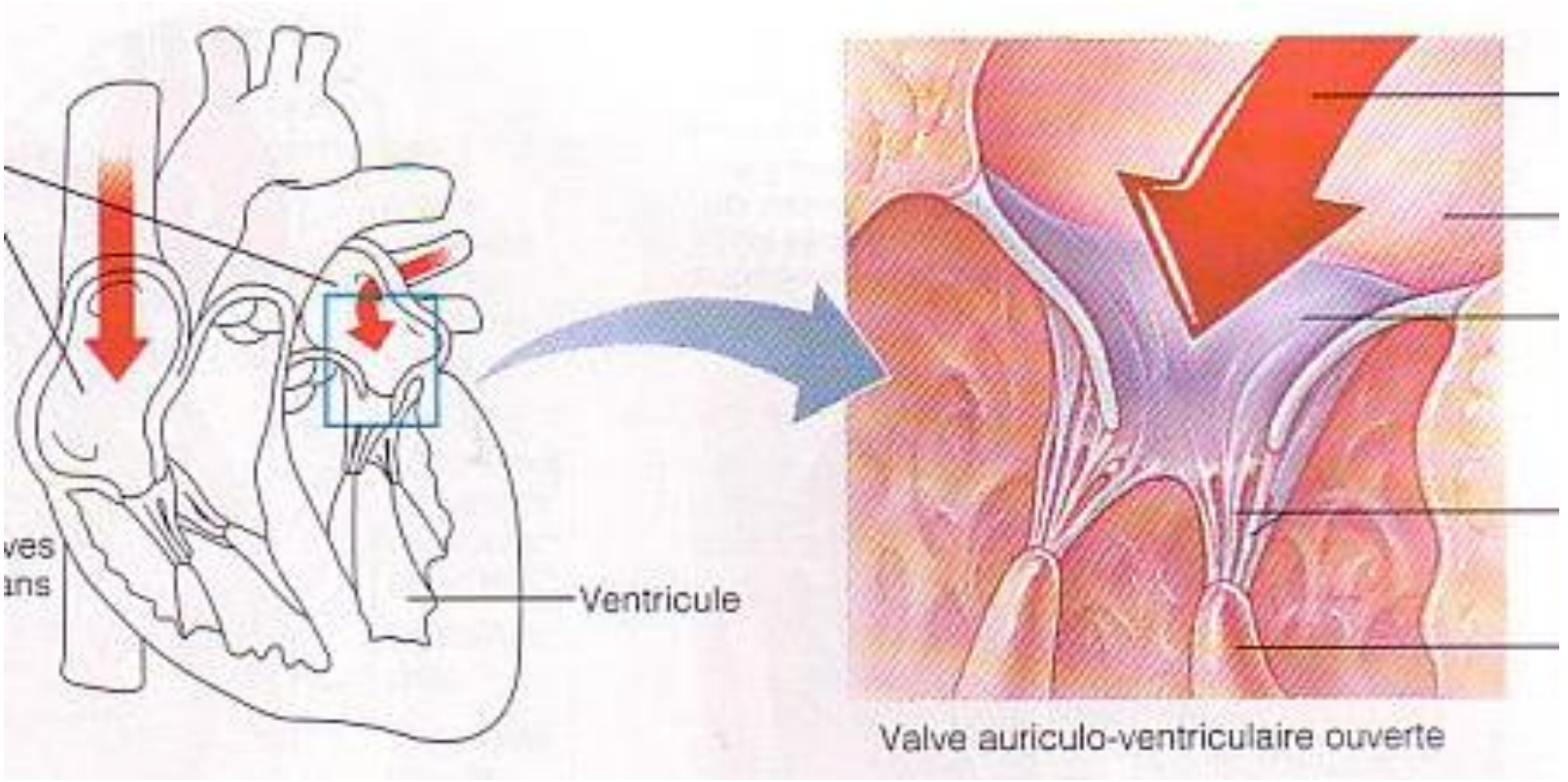
في الراحة يؤدي إفراط التهوية إلى نقص في $PCO_2$ الشرياني والحويصلي بحوالي 15 مم زئبقي أي نقصان في تركيز أكسيد الكربون وأيونات $H^+$، وبالتالي زيادة في حموضة الدم pH هذه التنبيهات تعتبر ضد توازن التهوية


ule
e
ylvius)
ontique

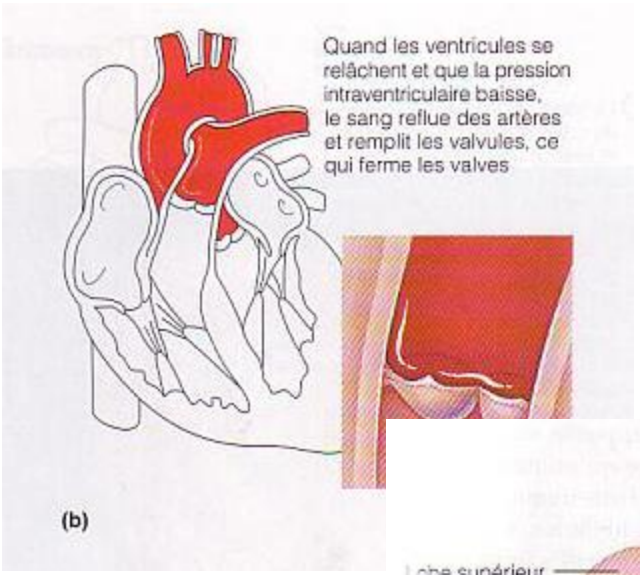


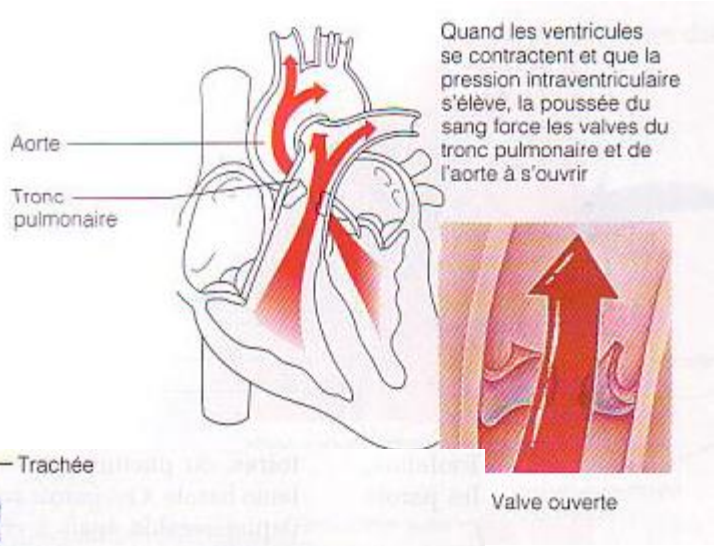

céphalique
e et artère
rdiaco-
nes
rieures
nts
Veine brach
Artère et
thoracique
Artères
interco
et nerf
Mus
inter

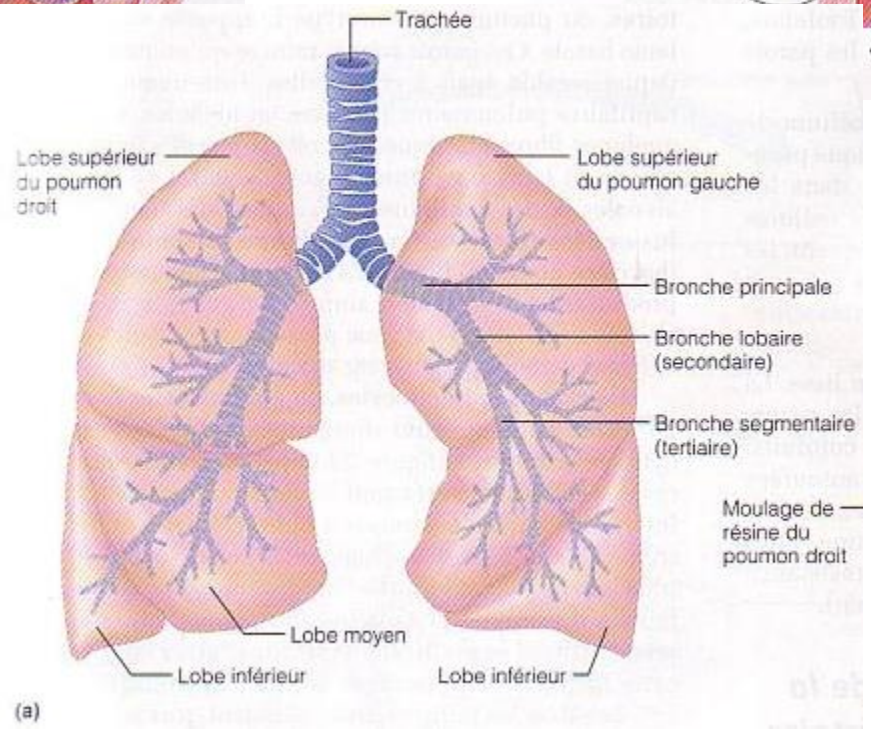

us épineux de
re T1
aux
e de
n

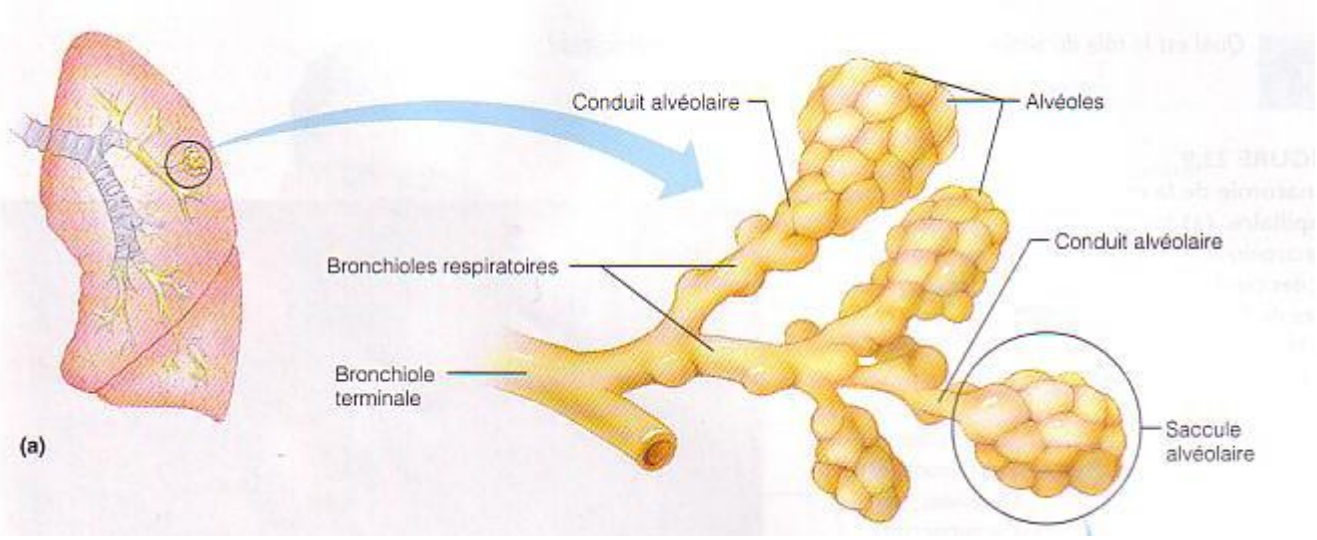


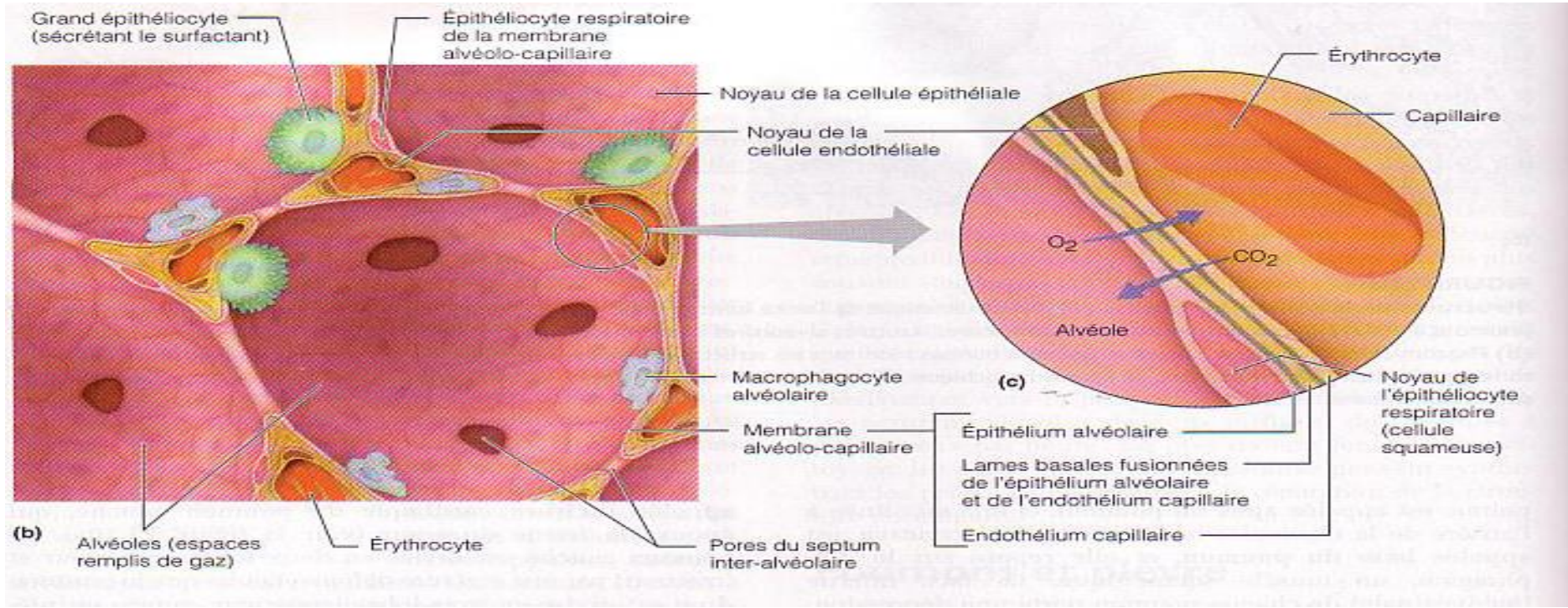

Valve auriculo-ventriculaire ouverte


Quand les ventricules se relâchent et que la pression intraventriculaire baisse, le sang reflue des artères et remplit les valvules, ce qui ferme les valves
(b)


Quand les ventricules se contractent et que la pression intraventriculaire s'élève, la poussée du sang force les valves du tronc pulmonaire et de l'aorte à s'ouvrir
Aorte
Tronc pulmonaire
Valve ouverte


Trachée
Lobe supérieur du poumon droit
Lobe supérieur du poumon gauche
Bronche principale
Bronche lobaire (secondaire)
Bronche segmentaire (tertiaire)
Moulage de résine du poumon droit
Lobe moyen
Lobe inférieur
Lobe inférieur
(a)


Conduit alvéolaire
Alvéoles
Conduit alvéolaire
Bronchioles respiratoires
Bronchiole terminale
Saccule alvéolaire
(a)


Grand épithéliocyte (sécrétant le surfactant)
Épithéliocyte respiratoire de la membrane alvéolo-capillaire
Noyau de la cellule épithéliale
Noyau de la cellule endothéliale
Érythrocyte
Capillaire
$O_2$
$CO_2$
Alvéole
(c)
Macrophagocyte alvéolaire
Membrane alvéolo-capillaire
Épithélium alvéolaire
Lames basales fusionnées de l'épithélium alvéolaire et de l'endothélium capillaire
Endothélium capillaire
Noyau de l'épithéliocyte respiratoire (cellule squameuse)
(b)
Alvéoles (espaces remplis de gaz)
Érythrocyte
Pores du septum inter-alvéolaire

## Muscles de l'inspiration

### Accessoires

Sterno-cléido-mastoïdien (élève le sternum)

Scalènes
- Antérieur
- Moyen
- Postérieur

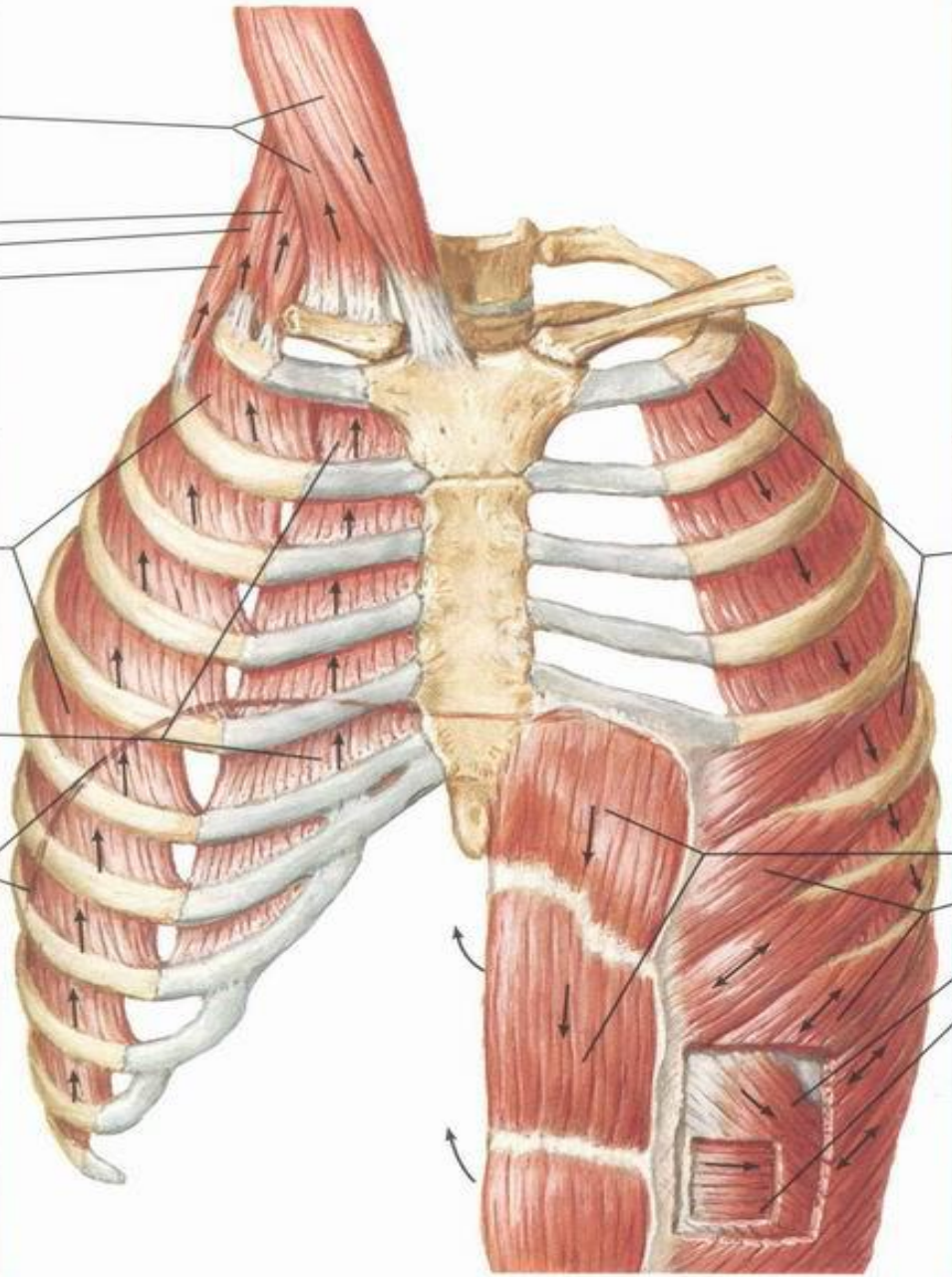
(élèvent et fixent les côtes supérieures)

### Principaux

Intercostaux externes (élèvent les côtes accroissant ainsi la largeur de la cage thoracique)

Partie interchondrale des intercostaux internes (élève aussi les côtes)

Diaphragme (les coupoles s'abaissent, augmentant ainsi la dimension verticale de la cavité thoracique ; élevant aussi les côtes inférieures)



## Muscles de l'expiration

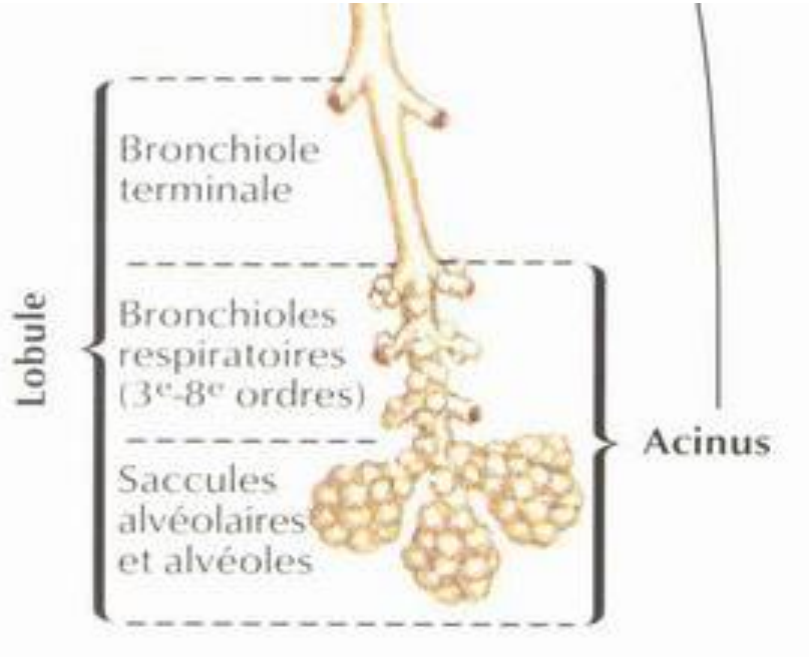
### Respiration normale

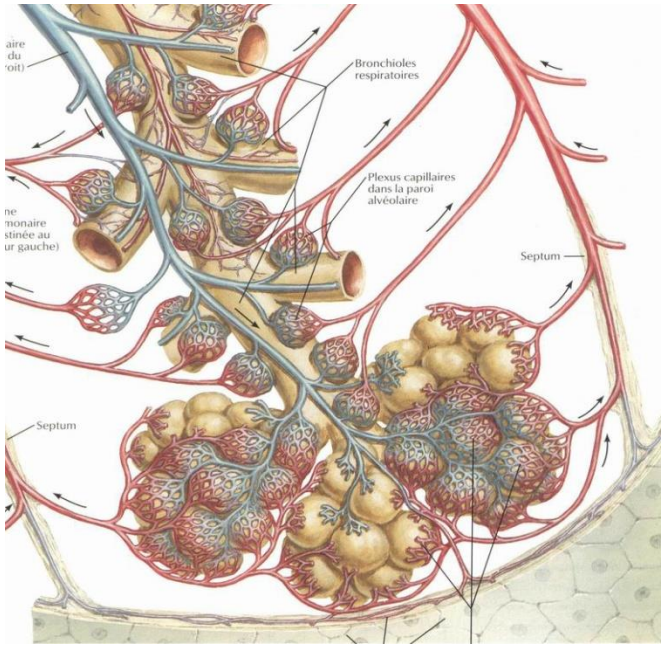
L'expiration résulte d'une rétraction passive des poumons et de la cage thoracique

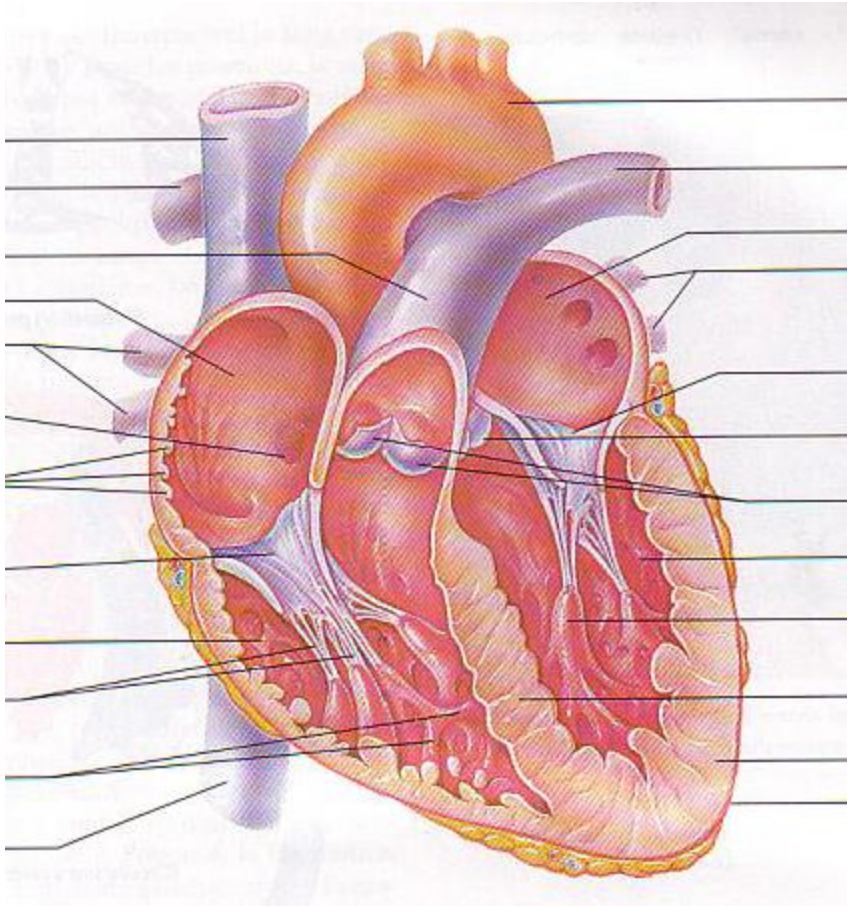
### Respiration rapide

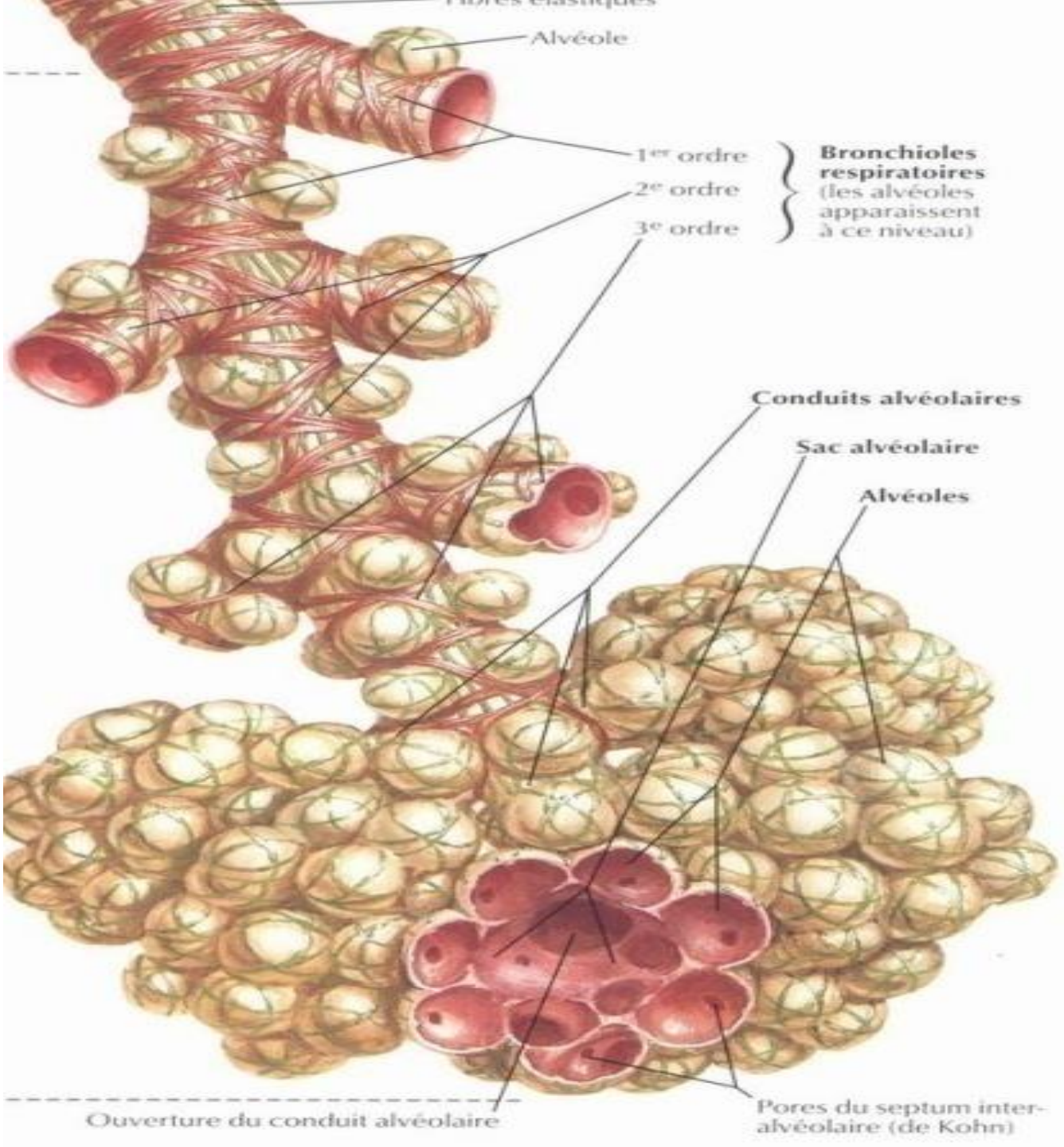
Intercostaux internes, sauf la partie interchondrale

De l'abdomen (abaissent les côtes inférieures, compriment les viscères abdominaux, faisant ainsi remonter le diaphragme)
- Droit de l'abdomen
- Oblique externe
- Oblique interne
- Transverse de l'abdomen


Bronchiole terminale
Bronchioles respiratoires (3e-8e ordres)
Saccules alvéolaires et alvéoles
Lobule
Acinus


Bronchioles respiratoires
Plexus capillaires dans la paroi alvéolaire
Septum
Septum




Alvéole
1er ordre
2e ordre
3e ordre
Bronchioles respiratoires (les alvéoles apparaissent à ce niveau)
Conduits alvéolaires
Sac alvéolaire
Alvéoles
Ouverture du conduit alvéolaire
Pores du septum inter-alvéolaire (de Kohn)

Référence

Docteur Sandrine LAUNOIS-ROLLINAT Chapitre 3 : Ventilation pulmonaire (2) Le cycle respiratoire, Université Joseph Fourier de Grenoble - Tous droits réservés. Année universitaire 2011/2012