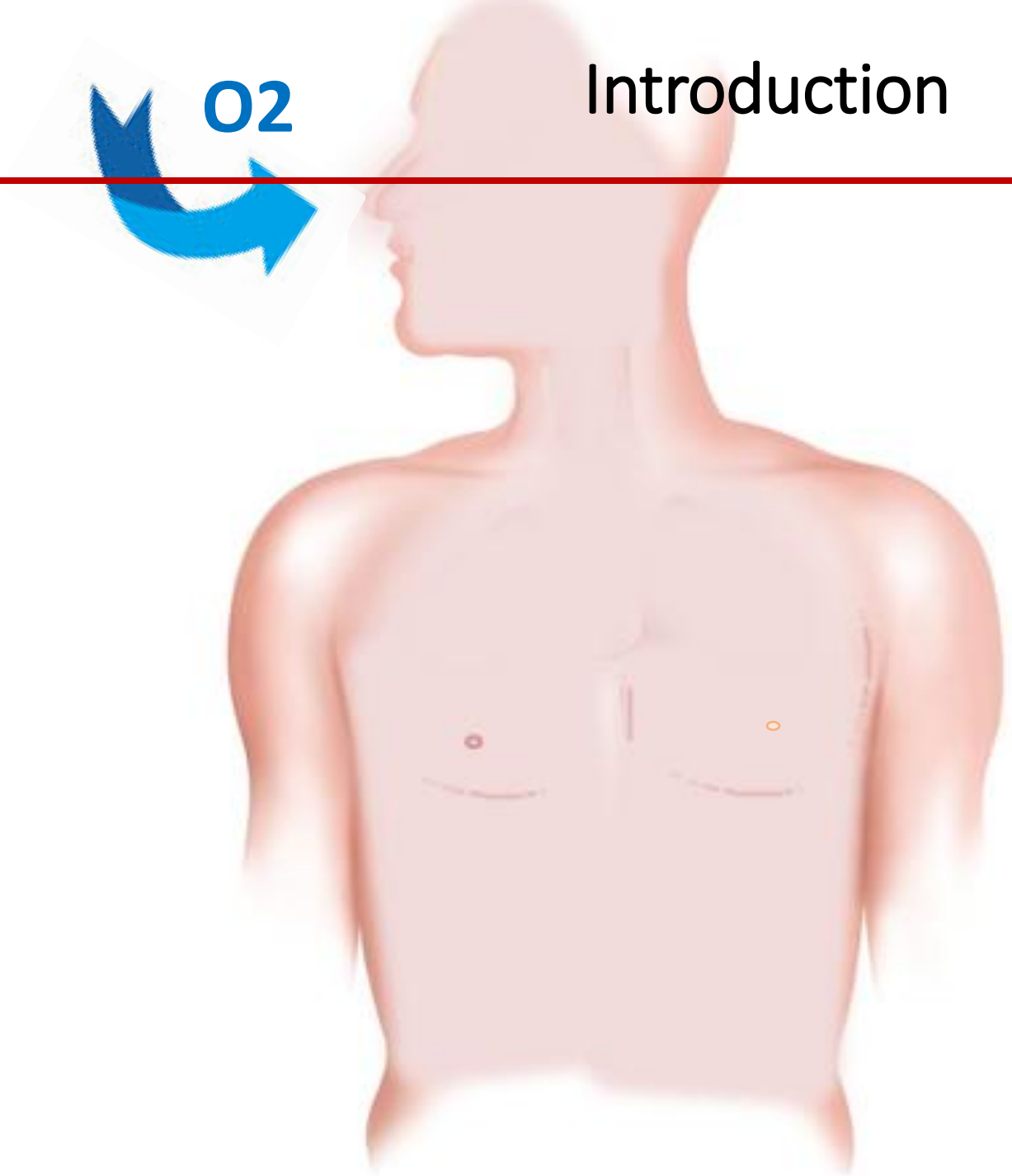
LES EXPLORATIONS FONCTIONNELLES RESPIRATOIRES

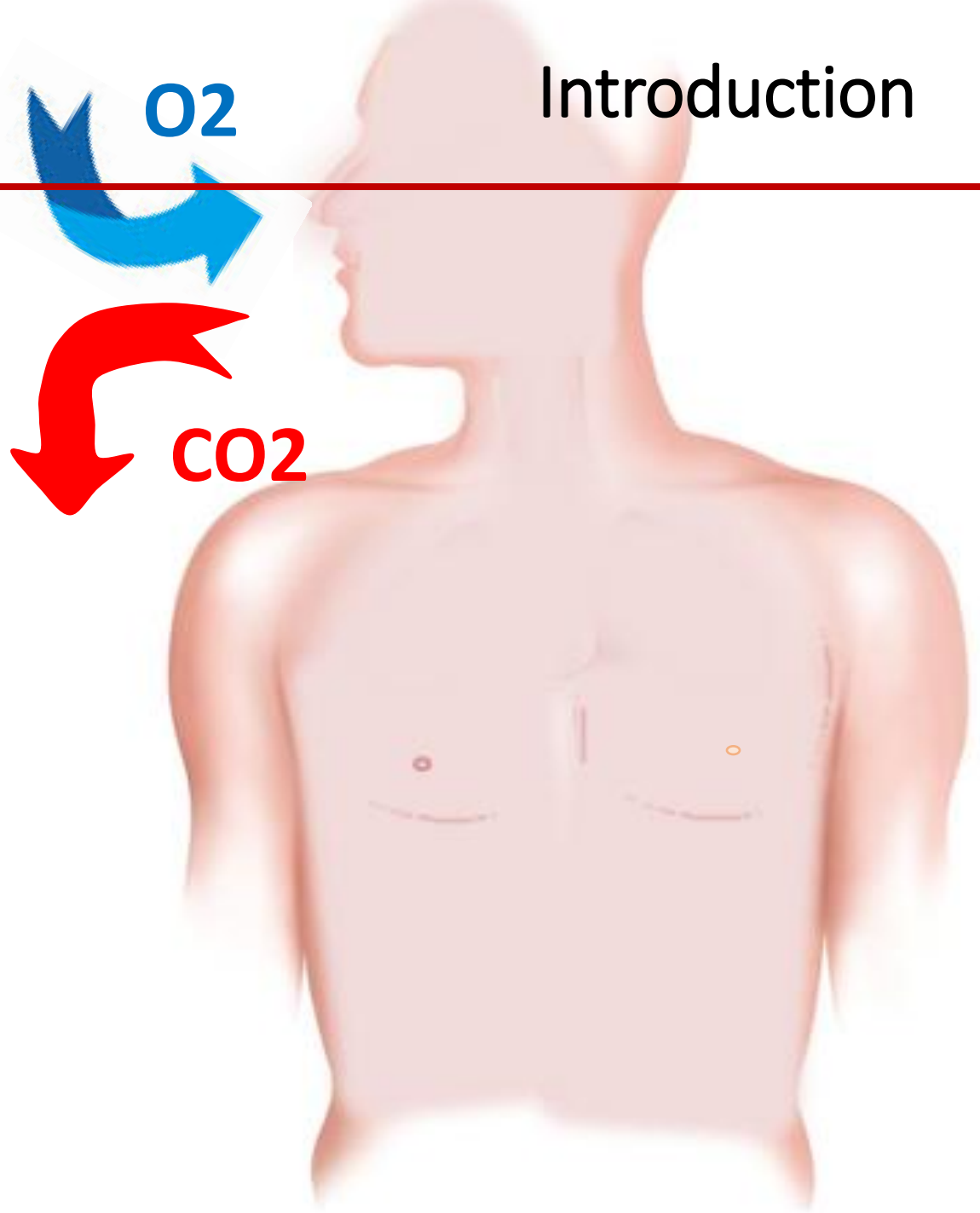
Pr. R. YAKOUBI

2019/2020

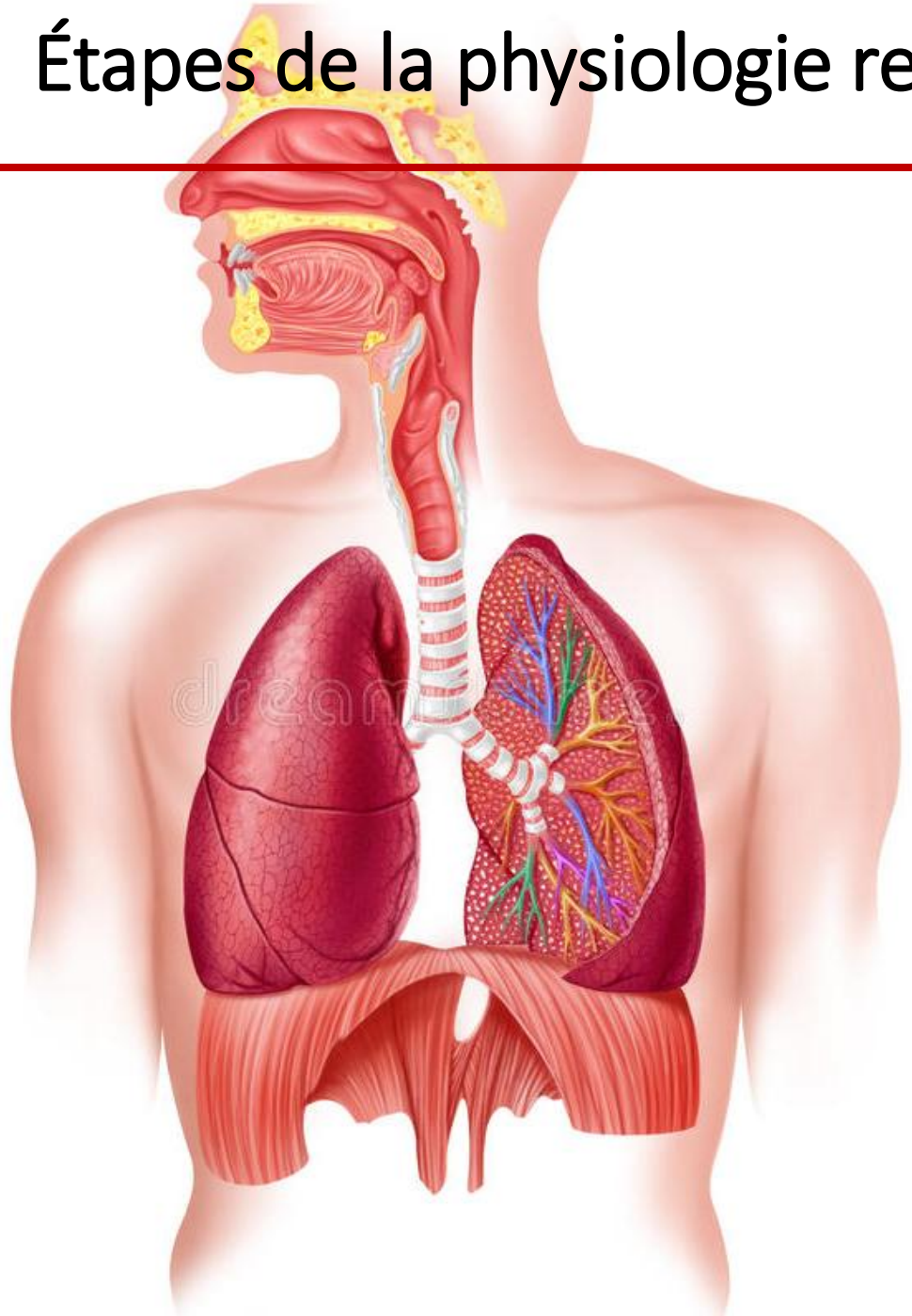
Introduction



Introduction

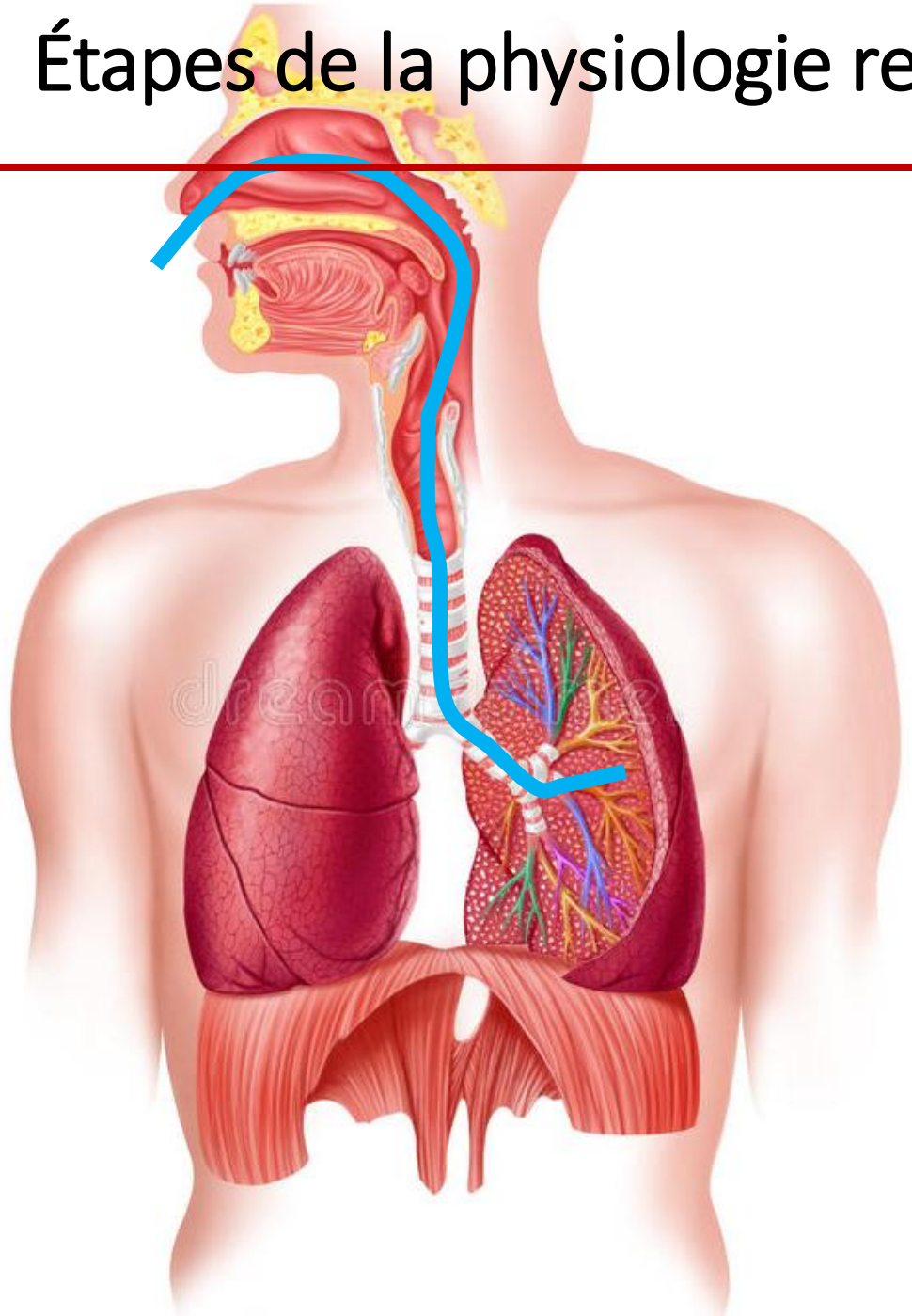


Étapes de la physiologie respiratoire



1- Mécanique ventilatoire

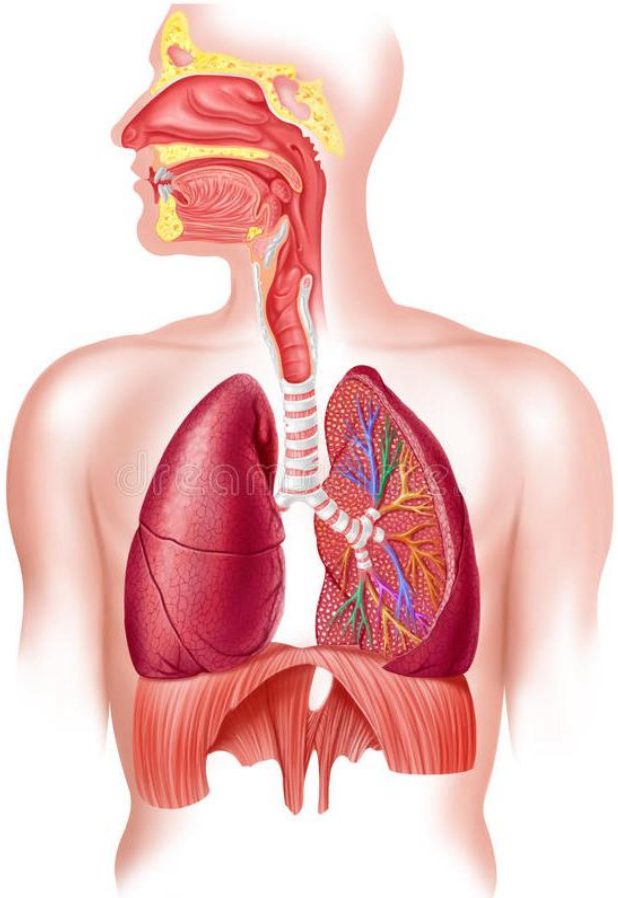
Étapes de la physiologie respiratoire



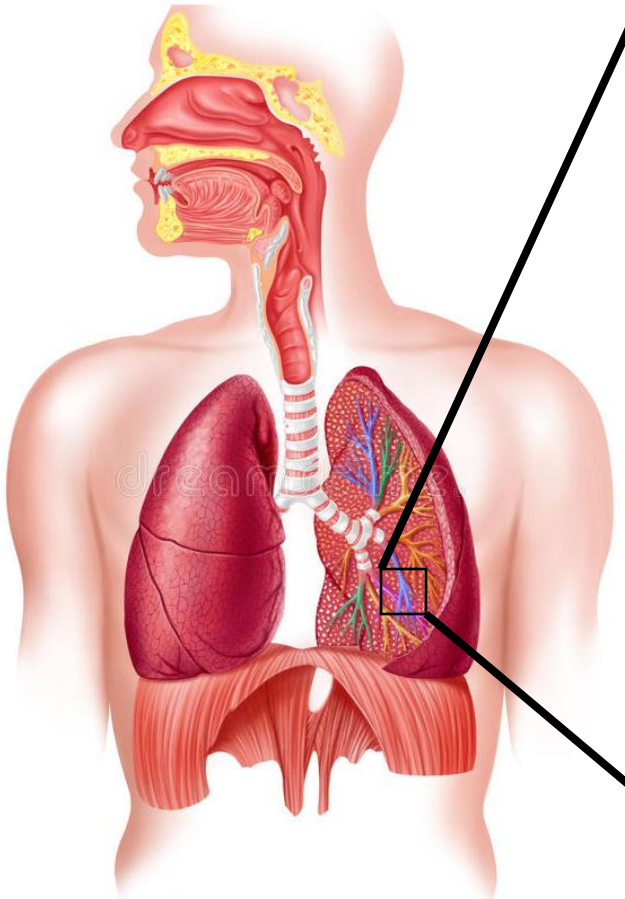
1- Mécanique ventilatoire

Étapes de la physiologie respiratoire

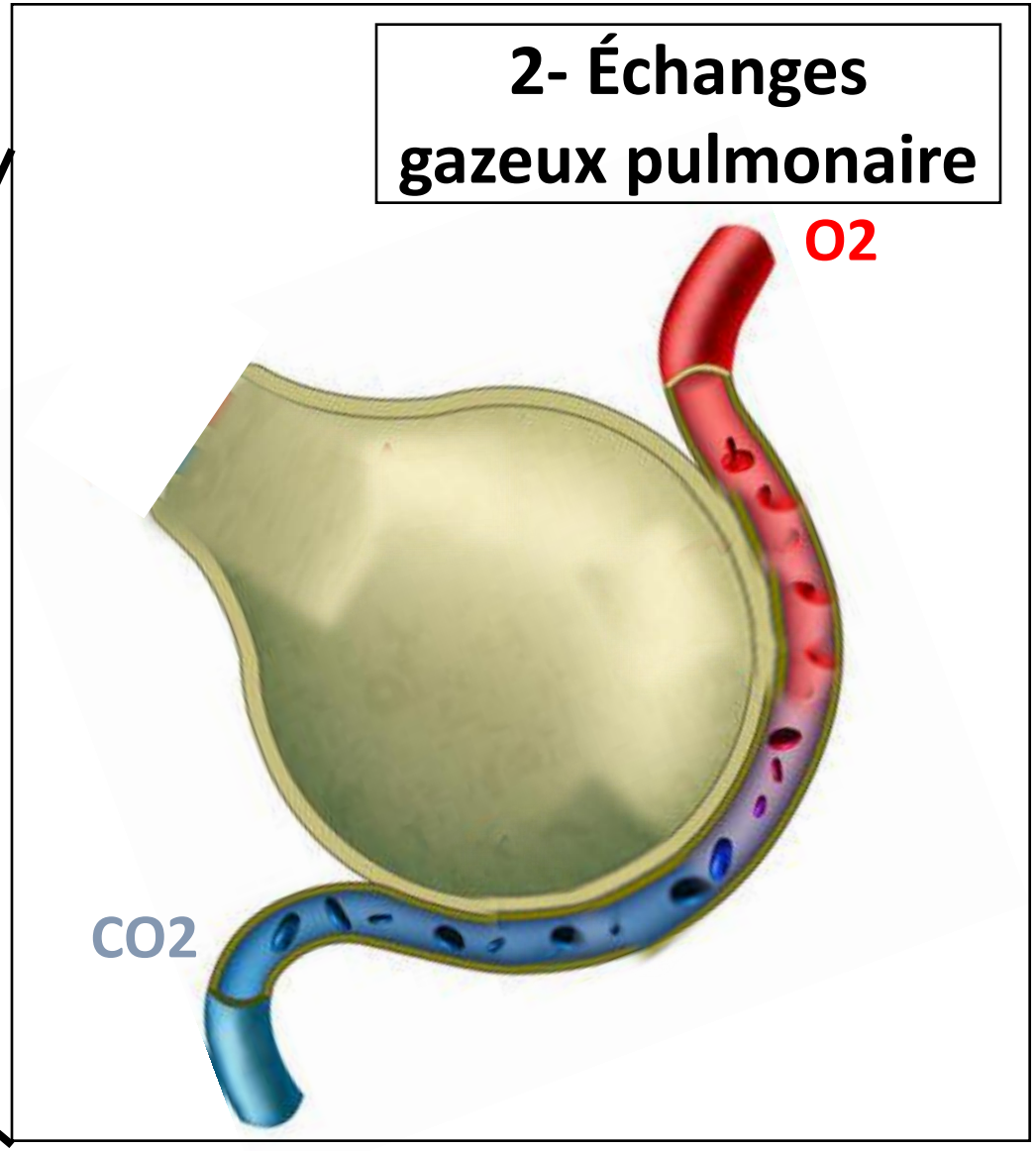
2- Échanges gazeux pulmonaire



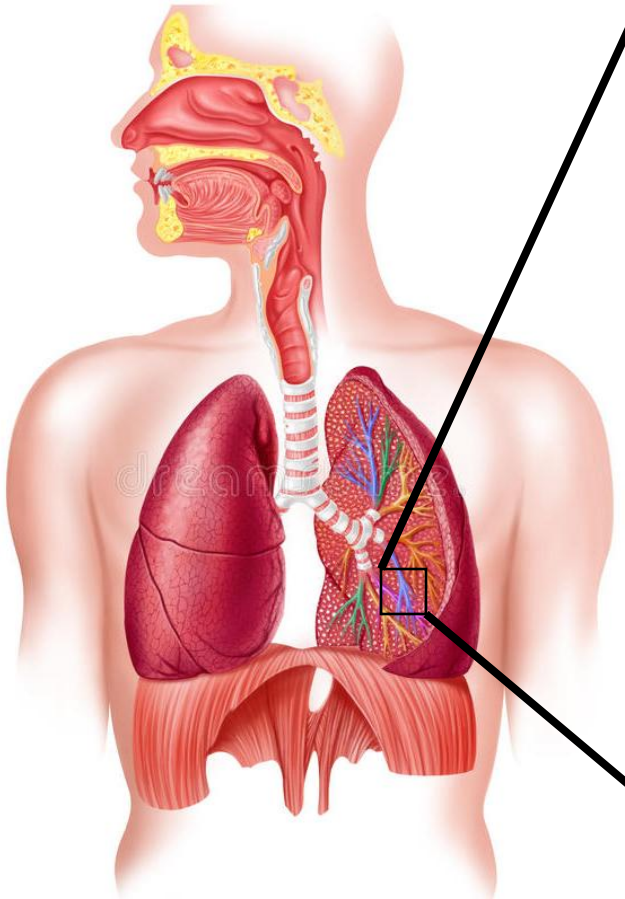
Étapes de la physiologie respiratoire

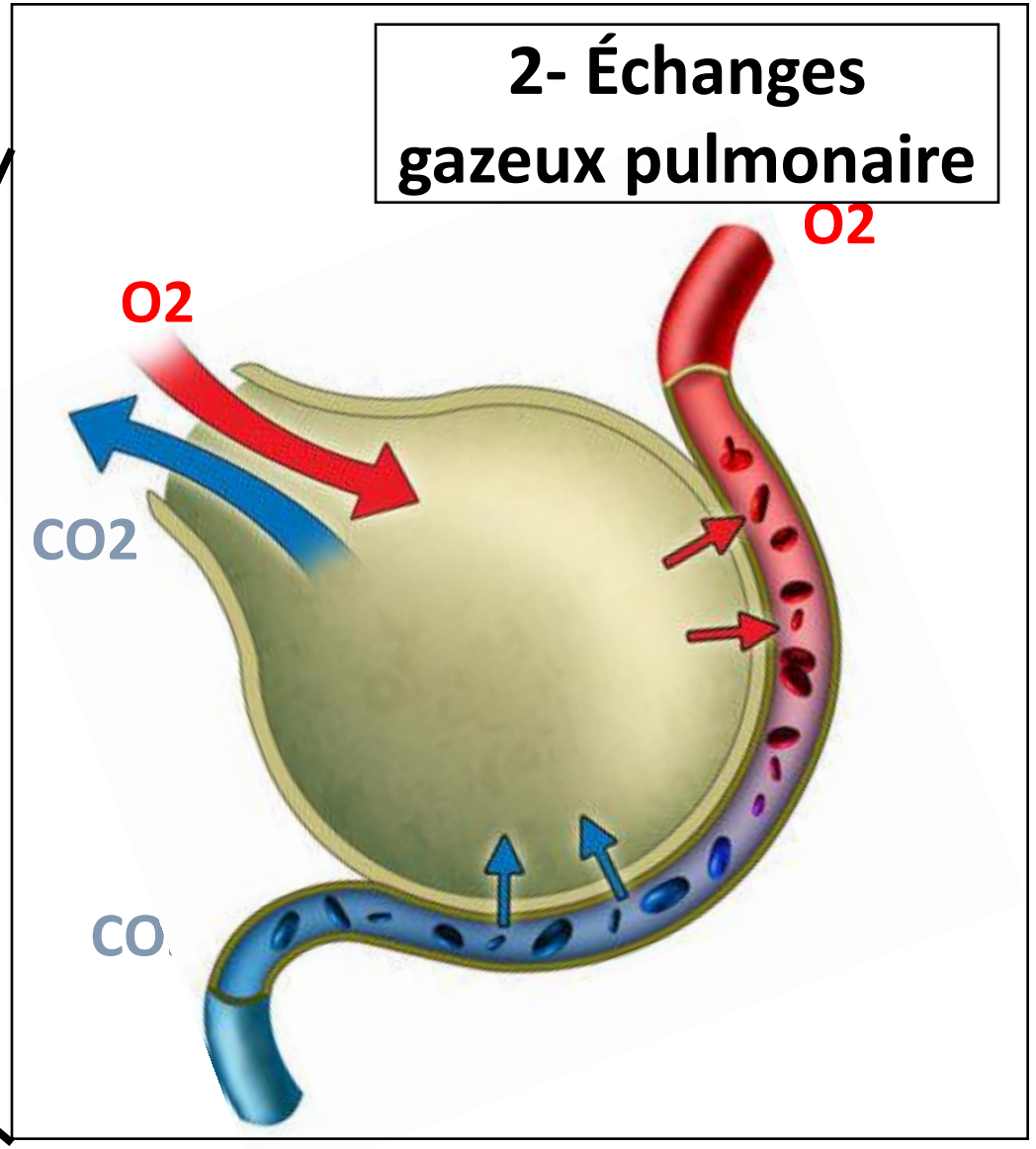


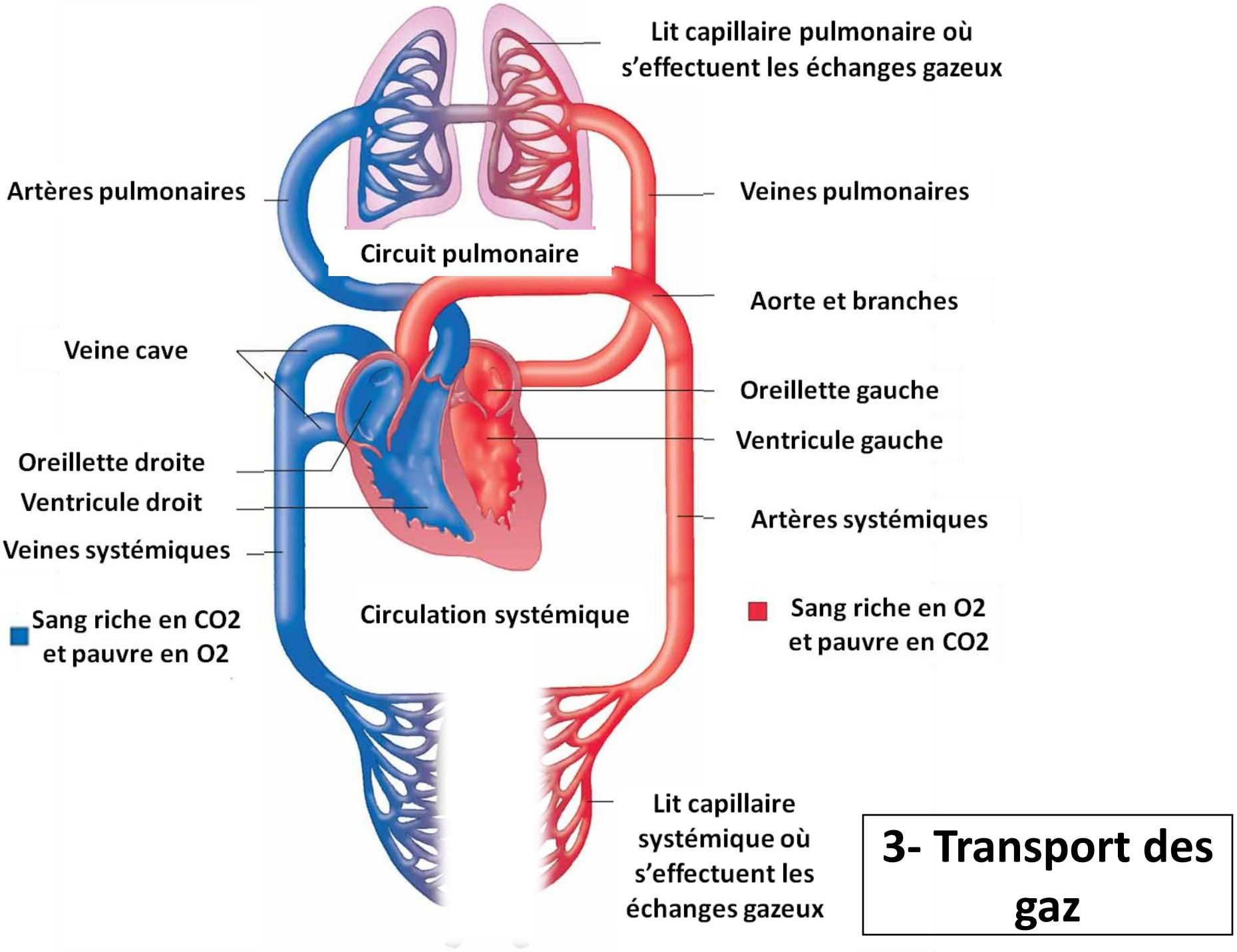
2- Échanges gazeux pulmonaire



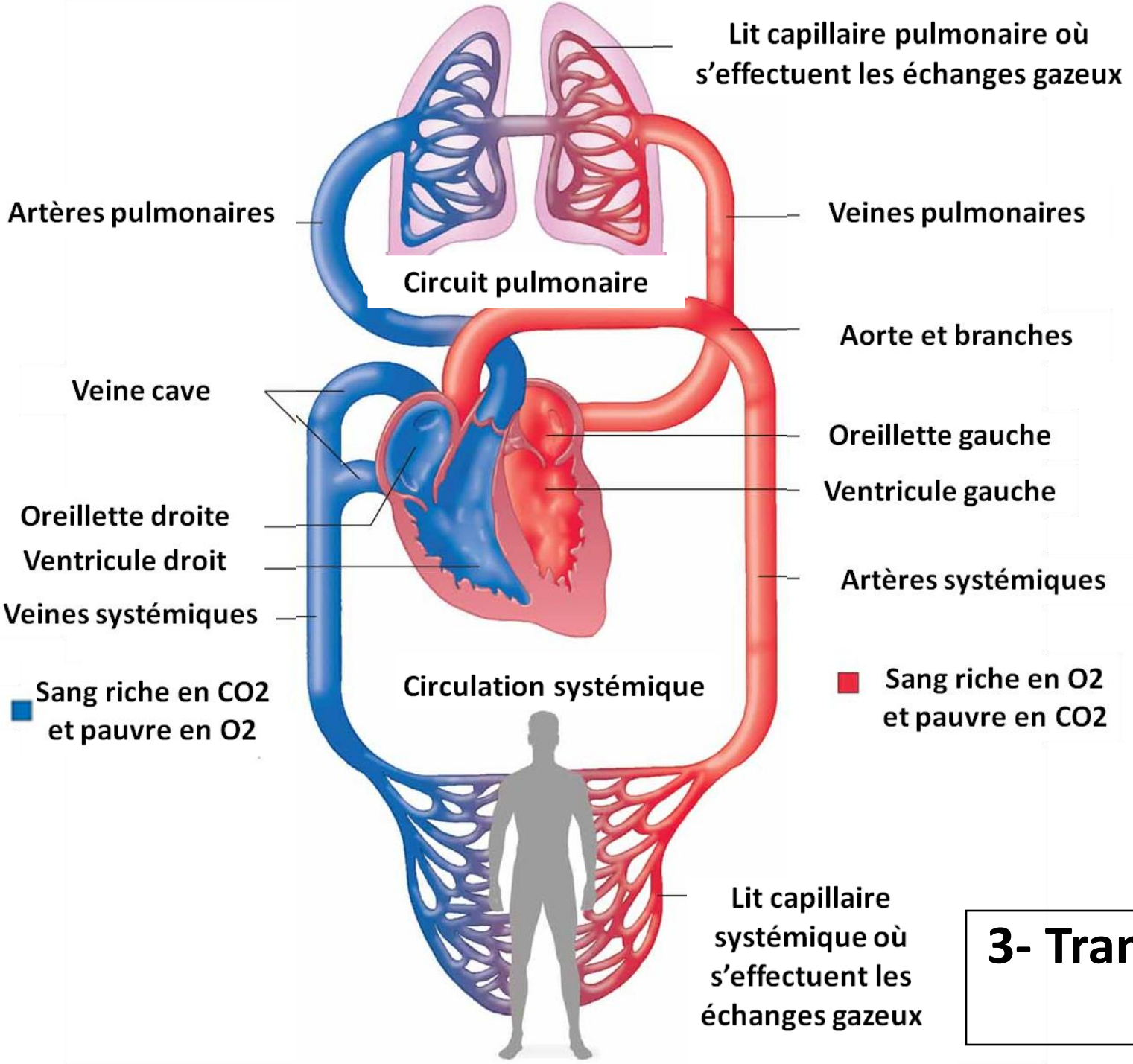
Étapes de la physiologie respiratoire



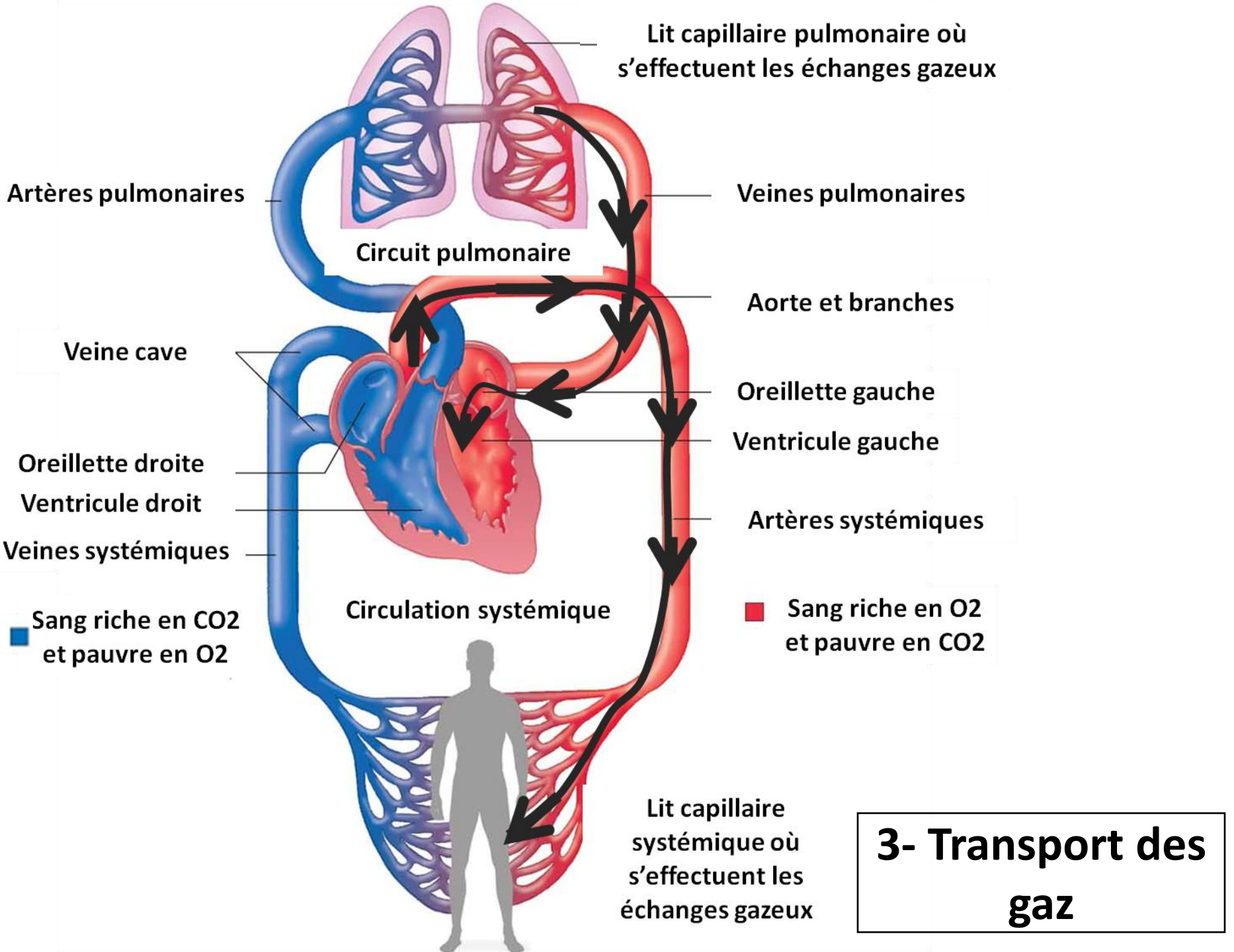




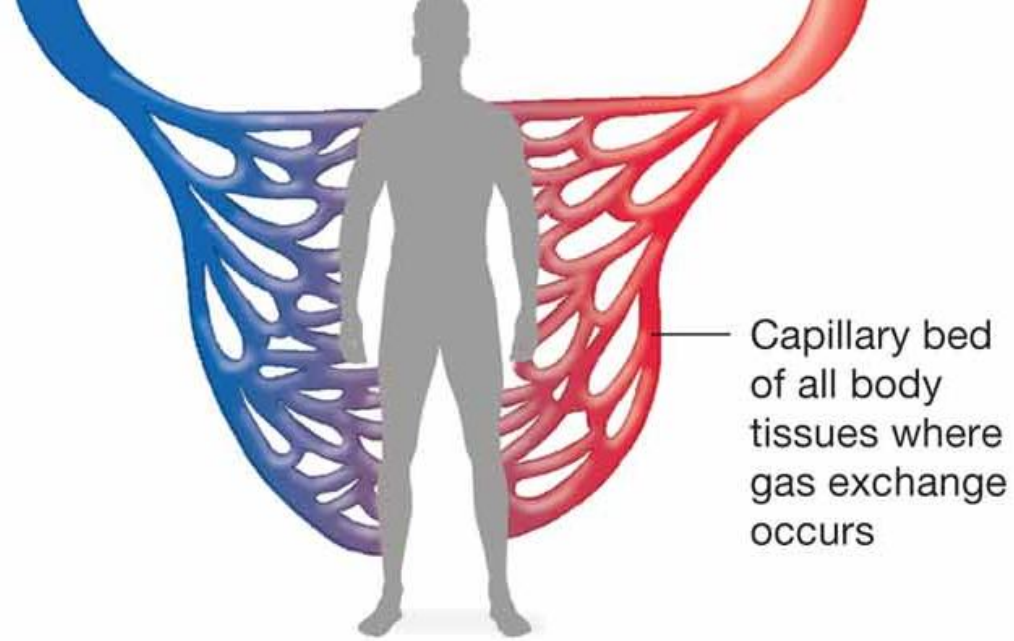
3- Transport des gaz



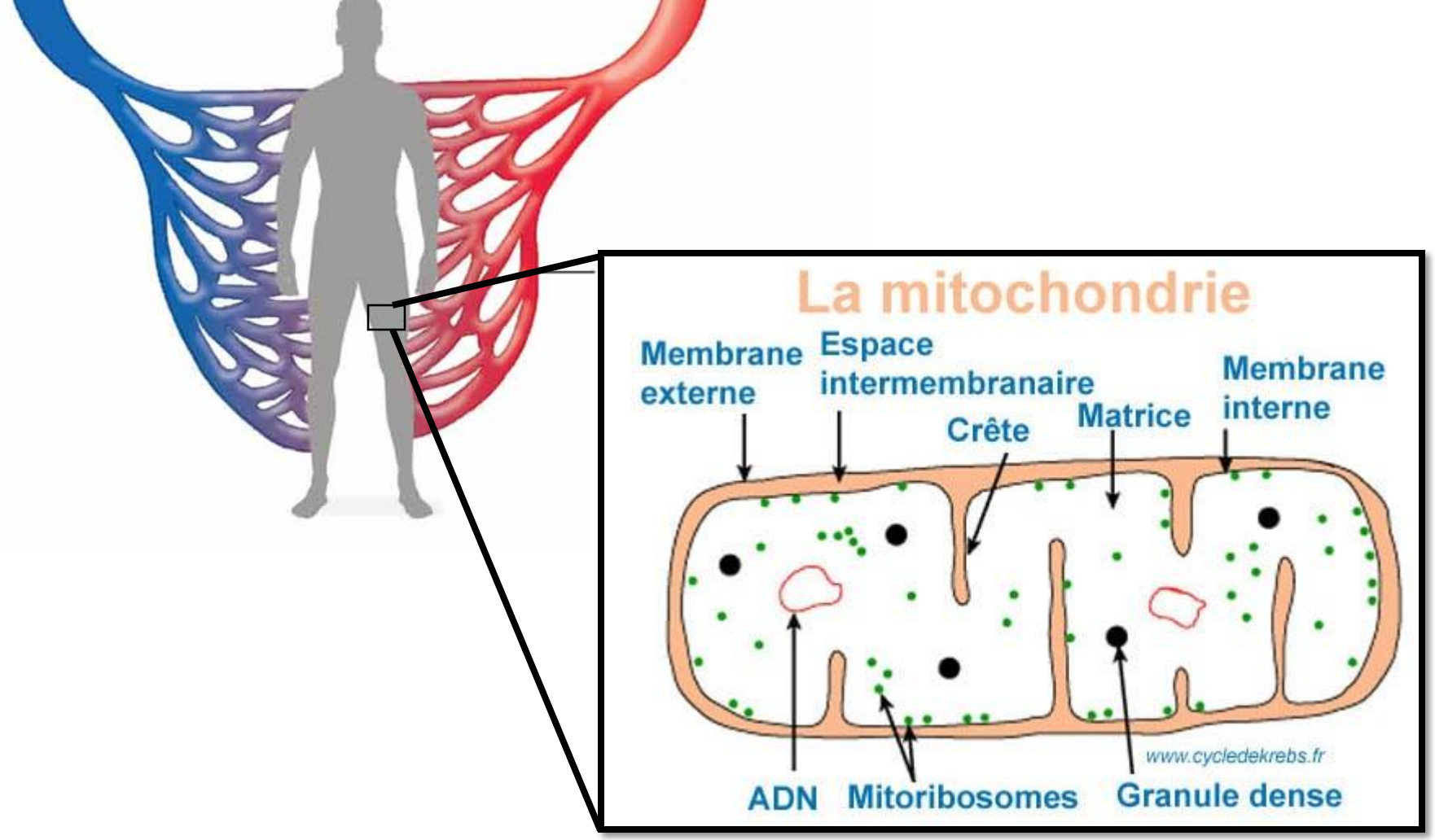
3- Transport des gaz



3- Transport des gaz



4- Échange gazeux tissulaire

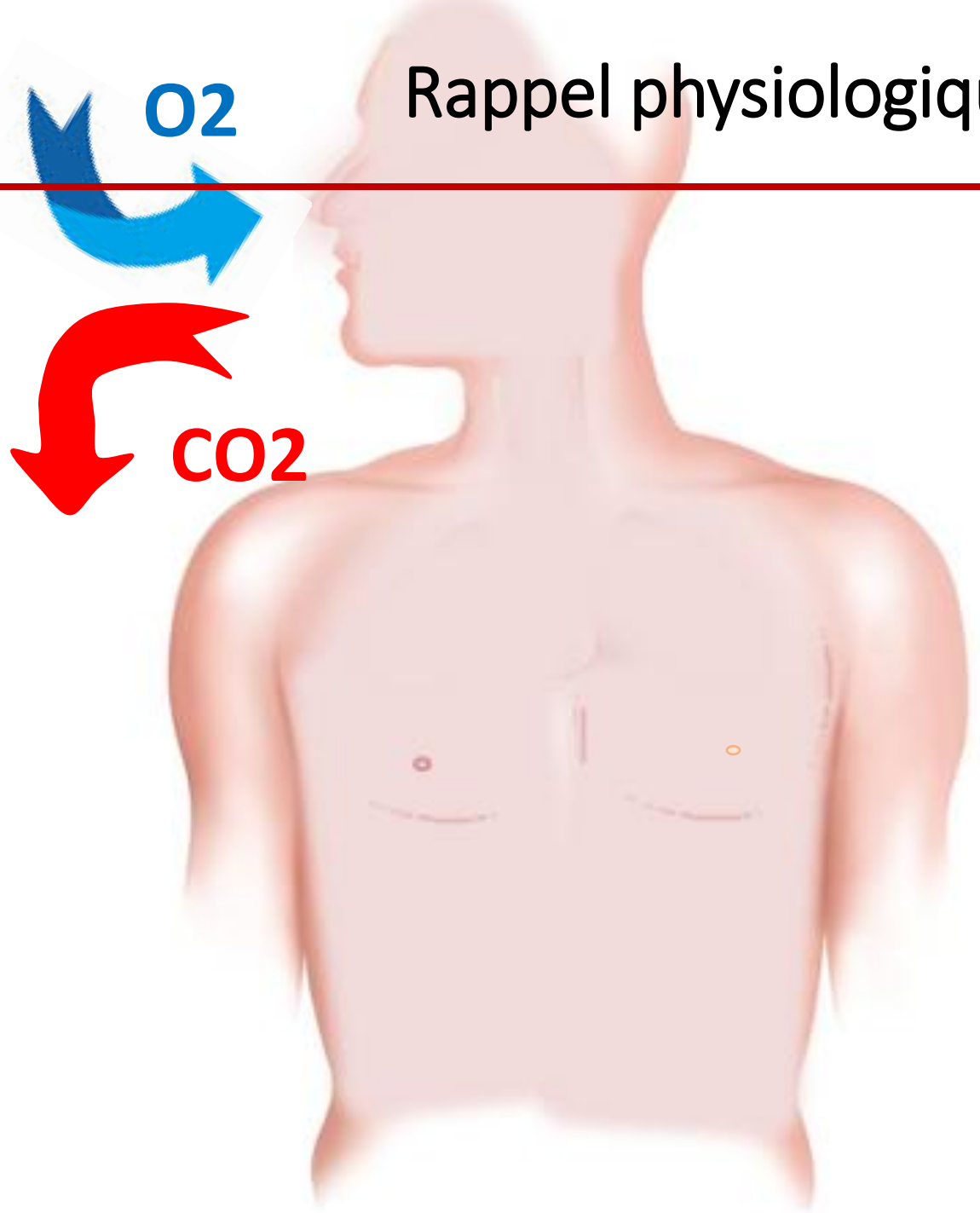


4- Échange gazeux tissulaire

=

Respiration mitochondriale

Rappel physiologique



1- Mécanique ventilatoire

2- Échanges gazeux pulmonaire

3- Transport des gaz

4- Échanges gazeux tissulaire

Définition

C’est l’ensemble des explorations qui permettent d’évaluer le fonctionnement normal et pathologique de l’appareil respiratoire. Le terme général « EFR » comprend :

- la mesure des volumes pulmonaires et des débits ventilatoires forcés (incluant tests de réversibilité et tests de provocation) ;
- la mesure des résistances des voies aériennes ;
- l’étude des échanges gazeux au repos: la mesure de la capacité de transfert du monoxyde de carbone (CO), la mesure des gaz du sang ;
- l’étude des échanges gazeux à l’effort: l’oxymétrie à l’effort (test de marche de six minutes), les épreuves fonctionnelles d’exercice
- l’étude de la mécanique respiratoire, de la fonction des muscles respiratoires et du diaphragme
- l’évaluation de la commande ventilatoire;
- la Polygraphie ventilatoire et polysomnographie
- le cathétérisme cardiaque droit.

Indications

- **Diagnostic** du **type** d'anomalie au cours d'une maladie respiratoire ou pouvant retentir sur l'appareil respiratoire

- **Quantification** de la **sévérité** des anomalies fonctionnelles afin d'évaluer le pronostic et de guider le traitement

- **Evaluation préopératoire** pour apprécier le risque de complications lors d'interventions affectant la fonction respiratoire

- **Surveillance** du **retentissement** respiratoire de diverses **maladies**, conditions **environnementales** ou de **traitements** potentiellement toxiques pour l'appareil respiratoire

Contre-indications

Les contre-indications diffèrent en fonction de l'exploration programmée:

- Pneumothorax récent
- Hémoptysie récente
- Tuberculose bacillifère

Les explorations ventilatoires n'ont pas d'intérêt :

- Infarctus du myocarde (douleur thoracique ou abdominale)

- en cas de pneumopathies aigues. Elles ne sont réalisées qu'une fois le patient est stabilisé.

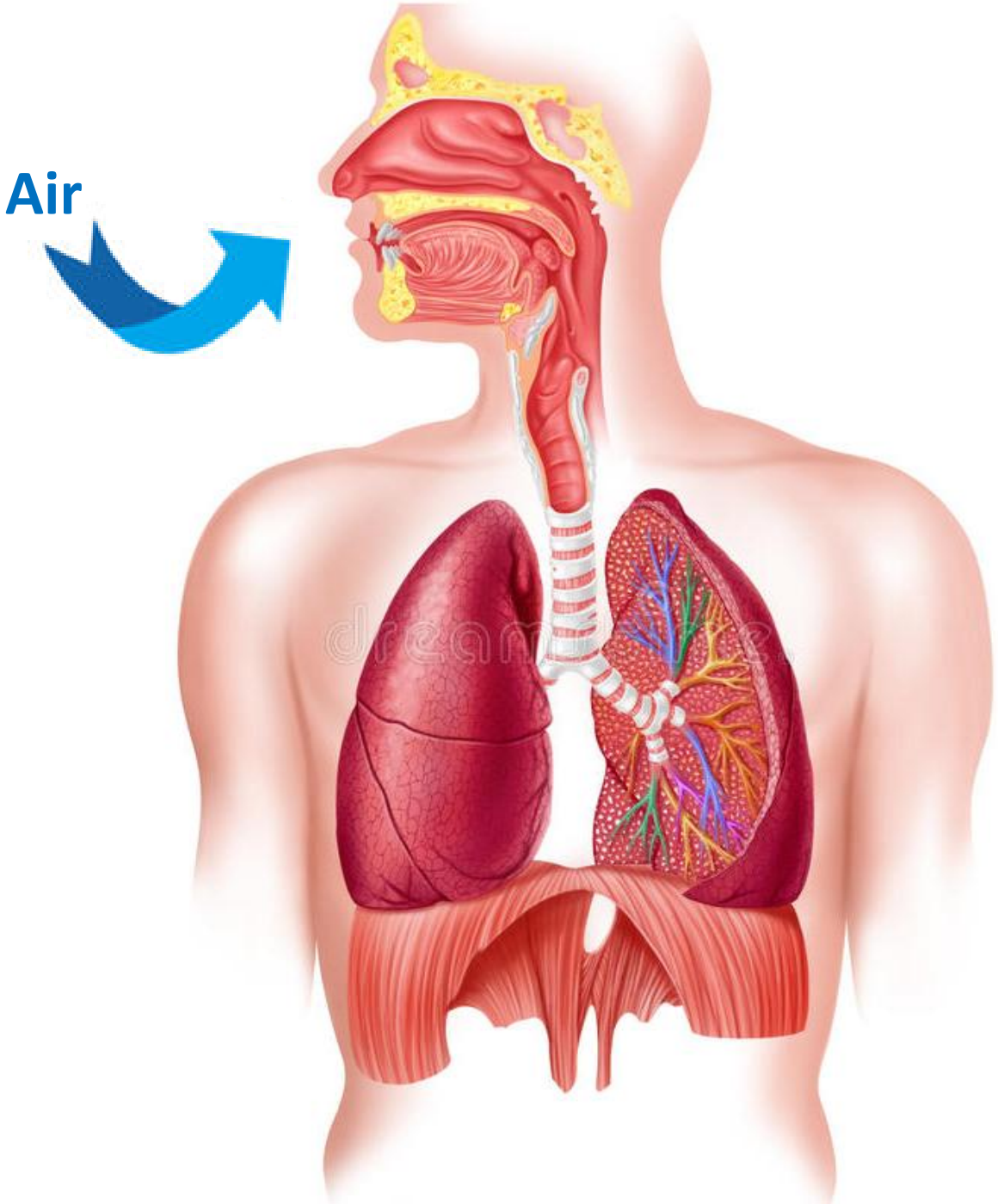
- Confusion mentale ou démence

- Incontinence urinaire d'effort

Conditions de réalisation

- la majorité des tests réalisés en EFR nécessitent la coopération des sujets
- Ne pas fumer au moins une heure avant l'examen.
- Ne pas prendre un repas important dans les deux heures précédant l'examen.
- Ne pas boire d'alcool dans les quatre heures précédant l'examen.
- Ne pas faire un effort important durant les 30 minutes précédant l'examen.
- Eviter les habits qui serrent la poitrine ou le ventre.
- Respecter les consignes que vous recevrez sur les médicaments à interrompre pour certains tests.

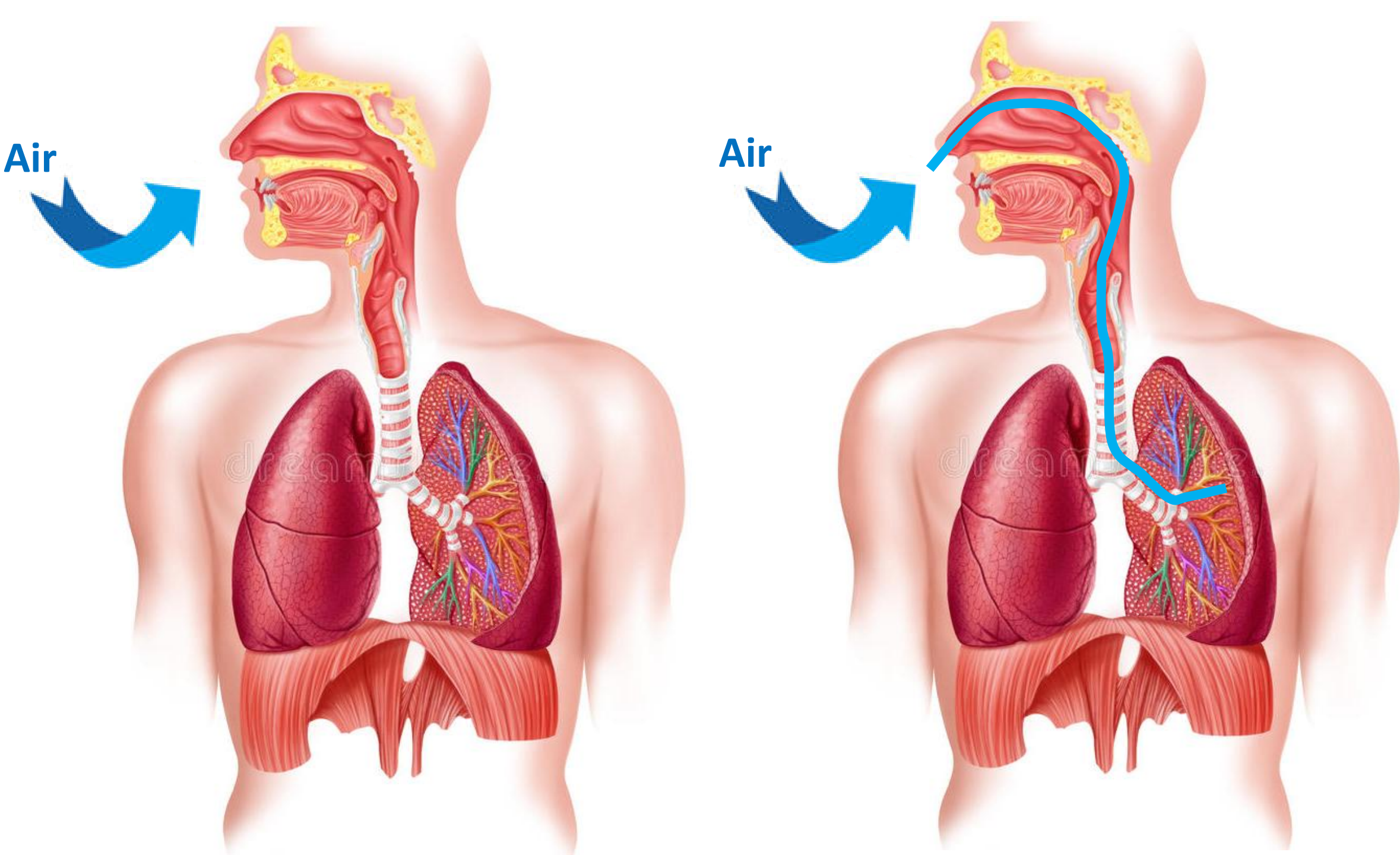
Quelles explorations?

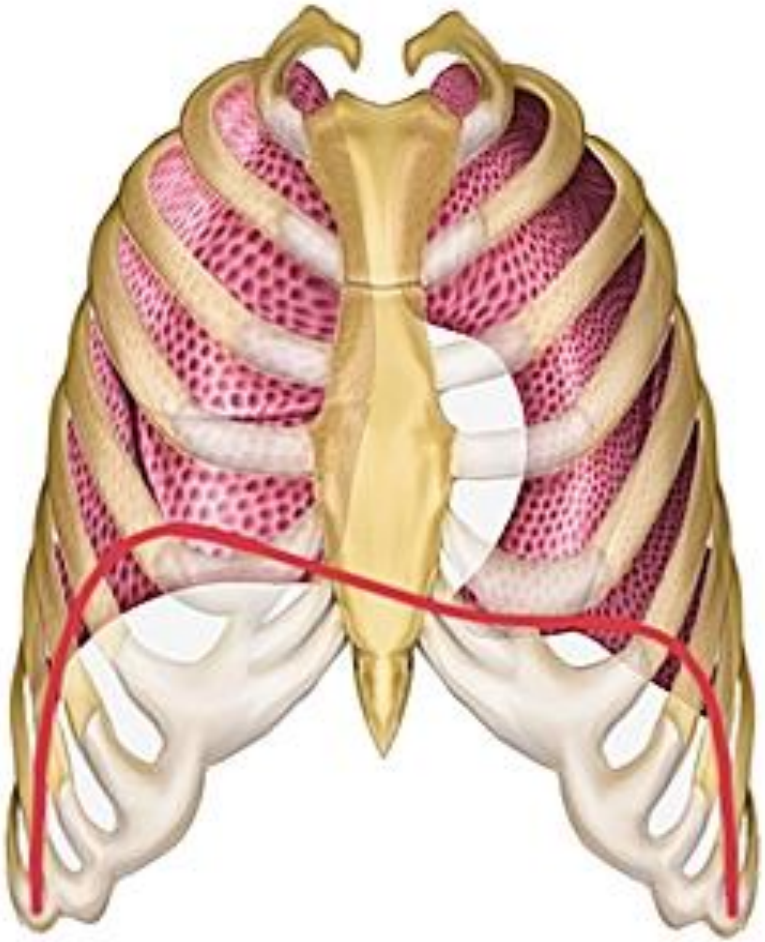


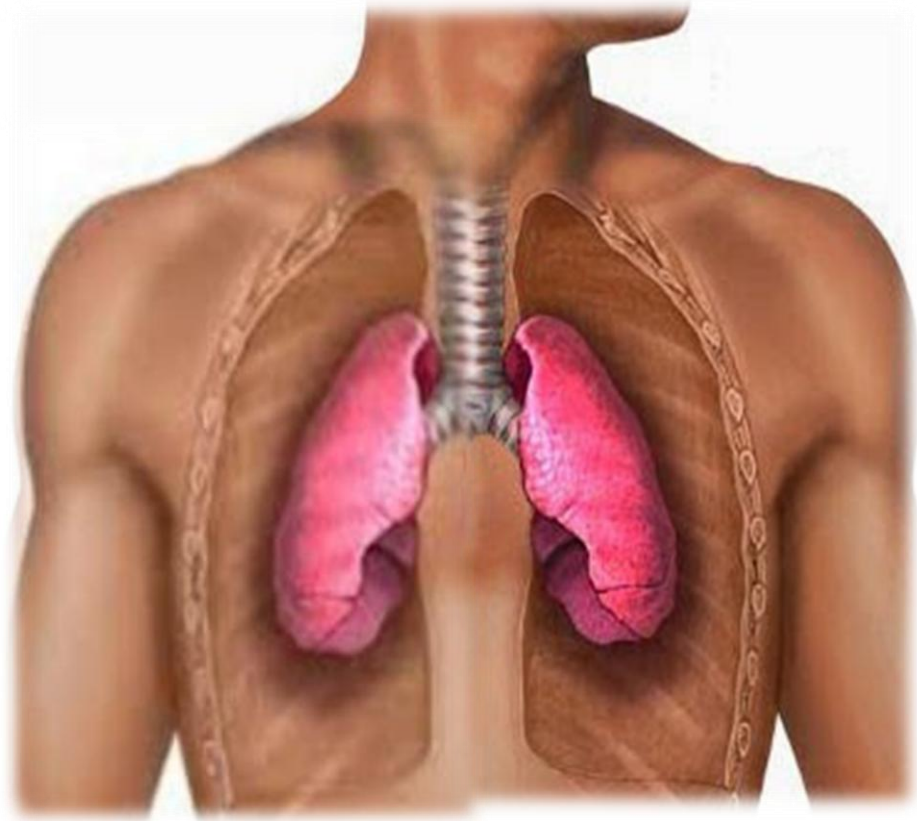
- **Système mécanique permettant la mobilisation des gaz:**

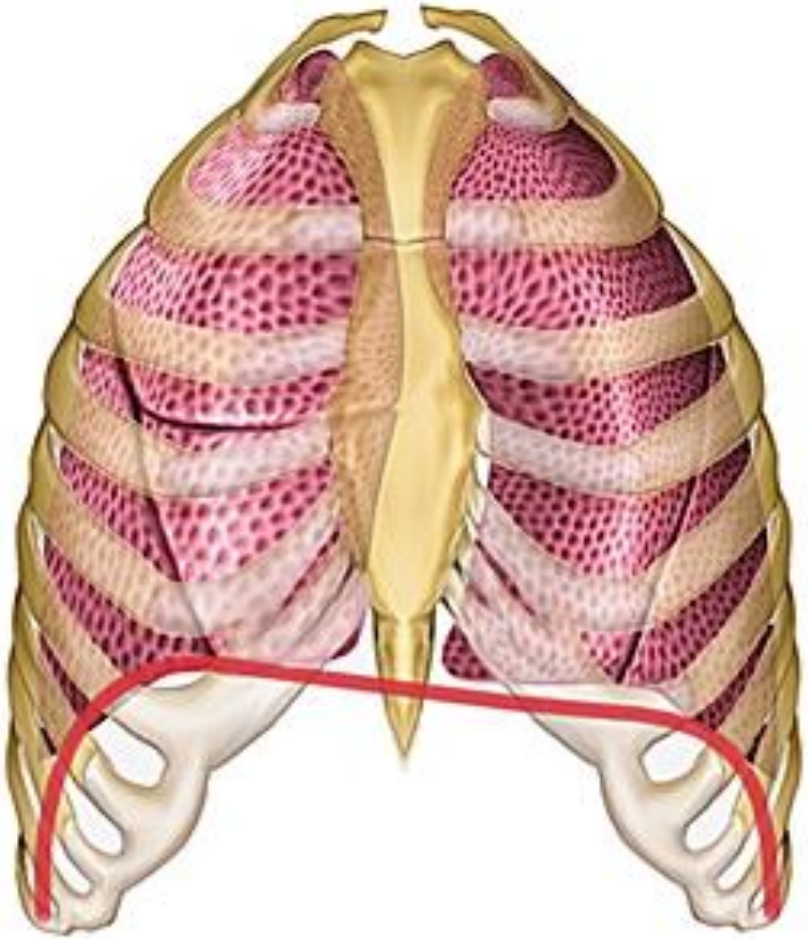
– Volumes pulmonaires : des propriétés passives des bronches, du parenchyme pulmonaire et de la paroi thoracique, et des propriétés actives des muscles et de leur commande

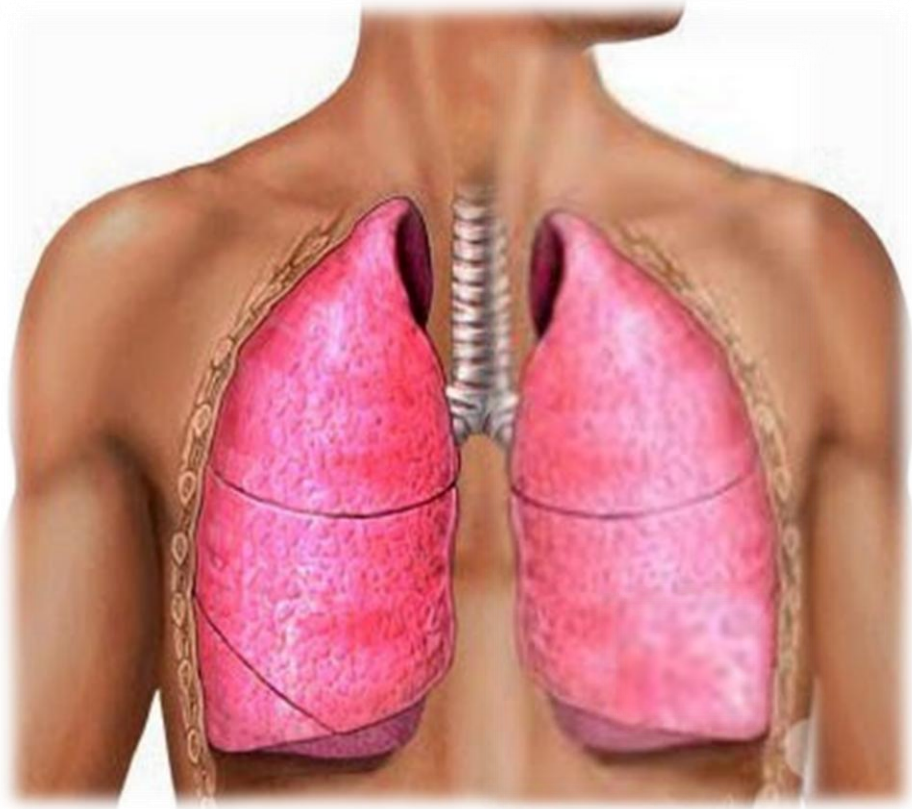
–Débits pulmonaires


Air
Air









Mesure du souffle

Débitmètre

Débitmètre
mécanique

Débitmètre

Débitmètre mécanique

Débitmètre électronique

Débitmètre

Tube cylindrique

Débitmètre

Débitmètre

Débitmètre

Extrémité libre
Échelle graduée
Tube cylindrique
Curseur
Extrémité libre

Débitmètre

Extrémité libre
Échelle graduée
Tube cylindrique
Curseur
Embout buccal
Extrémité libre

Avantages du débitmètre

- Taille réduite et il n’est pas encombrant.

- Peu coûteux et d’utilisation simple

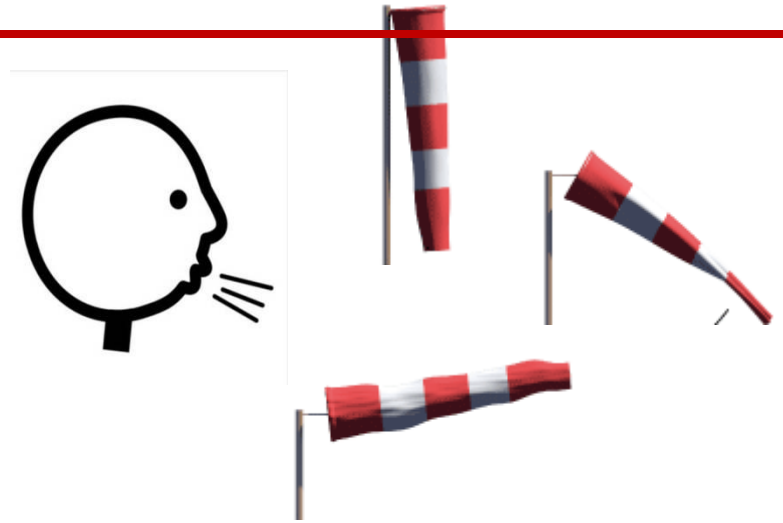
- Il peut être utilisé pour l’auto-mesure

Personnels médical et paramédical

Patient

Inconvénients du débitmètre

- Il dépend de l'effort musculaire
- Il dépend de la technique d'utilisation



- Il n'est pas spécifique

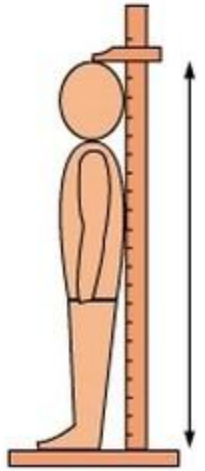
- Et un DEP normal n'est pas garant de l'absence de pathologie pulmonaire sous-jacente.

Inconvénients du débitmètre

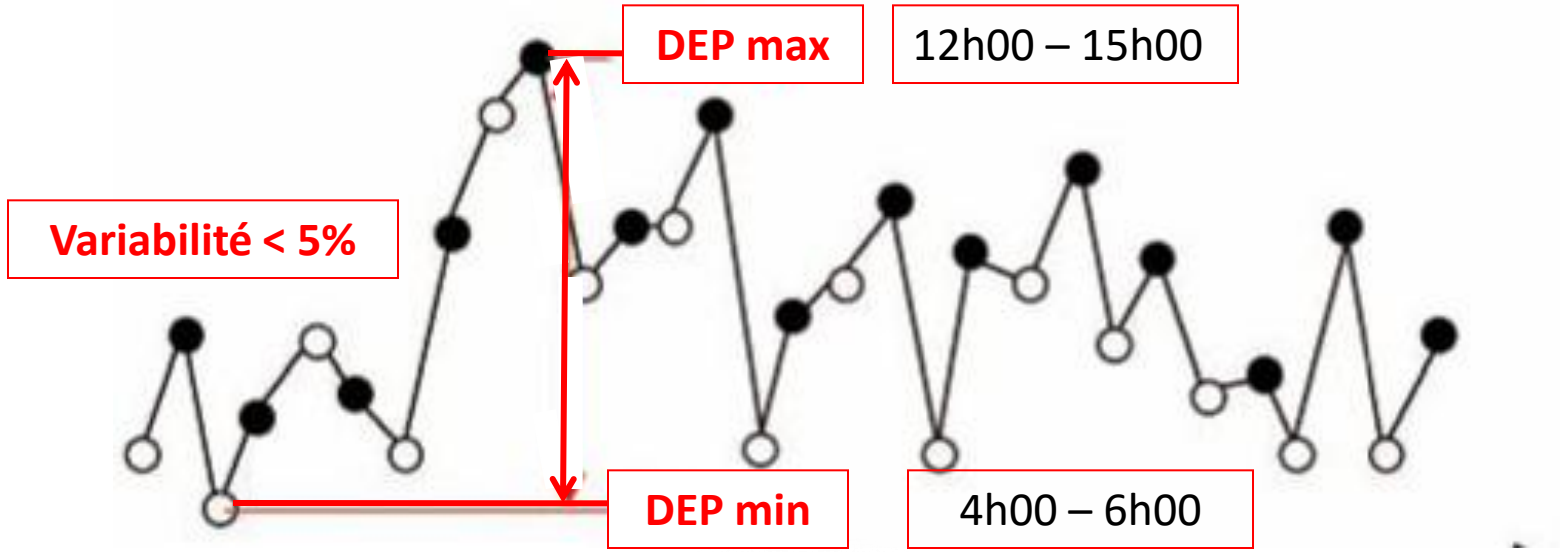
Il dépend de trois paramètres:

Âge

Sexe



Taille


DEP max
12h00 – 15h00
Variabilité < 5%
DEP min
4h00 – 6h00

DEP : Débit Expiratoire de Pointe en L/MM

MINI WRIGHT et norme NF EN 13 826

HOMMES de 20 à 80 ANS

→ de 100 à 80% du DEP THEORIQUE :
fonctions respiratoires normales ou bien corrigées

→ de 80 à 60% du DEP THEORIQUE:
consulter un médecin, car instauration ou ajustement thérapeutique nécessaire

→ Moins de 60% du DEP THEORIQUE: appel immédiat d'un médecin pour mise en place d'un traitement de la crise

1. Age : 20 ans

Taille	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200
de	528	547	565	584	602	621	639	657	676	694
à	422	438	452	467	482	497	511	526	541	555
de	422	438	452	467	482	497	511	526	541	555
à	317	328	339	350	361	373	383	394	406	416
Inf à	317	328	339	350	361	373	383	394	406	416

2. Age : 25 ans

Taille	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200
de	516	534	552	571	589	608	626	644	663	681
à	413	427	442	457	471	486	501	515	530	545
de	413	427	442	457	471	486	501	515	530	545
à	310	320	331	343	353	365	376	386	398	409
Inf à	310	320	331	343	353	365	376	386	398	409

3. Age : 30 ans

Taille	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200
de	503	521	539	558	576	595	613	632	650	668
à	402	417	431	446	461	476	490	506	520	534
de	402	417	431	446	461	476	490	506	520	534
à	302	313	323	335	346	357	368	379	390	401
Inf à	302	313	323	335	346	357	368	379	390	401

4. Age : 35 ans

Taille	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200
de	490	508	527	545	563	582	600	619	637	656
à	392	406	422	436	450	466	480	495	510	525
de	392	406	422	436	450	466	480	495	510	525
à	294	305	316	327	338	349	360	371	382	394
Inf à	294	305	316	327	338	349	360	371	382	394

5. Age : 40 ans

Taille	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200
de	477	495	514	532	551	569	587	606	624	643
à	382	396	411	426	441	455	470	485	499	514
de	382	396	411	426	441	455	470	485	499	514
à	286	297	308	319	331	341	352	364	374	386
Inf à	286	297	308	319	331	341	352	364	374	386

6. Age : 45 ans

Taille	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200
de	464	482	501	519	538	556	574	593	611	630
à	371	386	401	415	430	445	459	474	489	504
de	371	386	401	415	430	445	459	474	489	504
à	278	289	301	311	323	334	344	356	367	378
Inf à	278	289	301	311	323	334	344	356	367	378

7. Age : 50 ans

Taille	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200
de	451	469	488	506	525	543	562	580	598	617
à	361	375	390	405	420	434	450	464	478	494
de	361	375	390	405	420	434	450	464	478	494
à	271	281	293	304	315	326	337	348	359	370
Inf à	271	281	293	304	315	326	337	348	359	370

8. Age : 55 ans

Taille	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200
de	438	457	475	493	512	530	549	567	585	604
à	350	366	380	394	410	424	439	454	468	483
de	350	366	380	394	410	424	439	454	468	483
à	263	274	285	296	307	318	329	340	351	362
Inf à	263	274	285	296	307	318	329	340	351	362

9. Age : 60 ans

Taille	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200
de	425	444	462	480	499	517	536	554	573	591
à	340	355	370	384	399	414	429	443	458	473
de	340	355	370	384	399	414	429	443	458	473
à	255	266	277	288	299	310	322	332	344	355
Inf à	255	266	277	288	299	310	322	332	344	355

10. Age : 65 ans

Taille	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200
de	412	431	449	468	486	504	523	541	560	578
à	330	345	359	374	389	403	418	433	448	462
de	330	345	359	374	389	403	418	433	448	462
à	247	259	269	281	292	302	314	325	336	347
Inf à	247	259	269	281	292	302	314	325	336	347

11. Age : 70 ans

Taille	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200
de	399	418	436	455	473	492	510	528	547	565
à	319	334	349	364	378	394	408	422	438	452
de	319	334	349	364	378	394	408	422	438	452
à	239	251	262	273	284	295	306	317	328	339
Inf à	239	251	262	273	284	295	306	317	328	339

12. Age : 75 ans

Taille	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200
de	387	405	423	442	460	479	497	515	534	552
à	310	324	338	354	368	383	398	412	427	442
de	310	324	338	354	368	383	398	412	427	442
à	232	243	254	265	276	287	298	309	320	331
Inf à	232	243	254	265	276	287	298	309	320	331

13. Age : 80 ans

Taille	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200
de	374	392	410	429	447	466	484	503	521	539
à	299	314	328	343	358	373	387	402	417	431
de	299	314	328	343	358	373	387	402	417	431
à	224	235	246	257	268	280	290	302	313	323
Inf à	224	235	246	257	268	280	290	302	313	323

Le spiromètre

- Mesure un débit par un pneumotachographe
- Les volumes sont obtenus par intégration du débit
- Boucle débit volume (richesse des informations)

La spirométrie

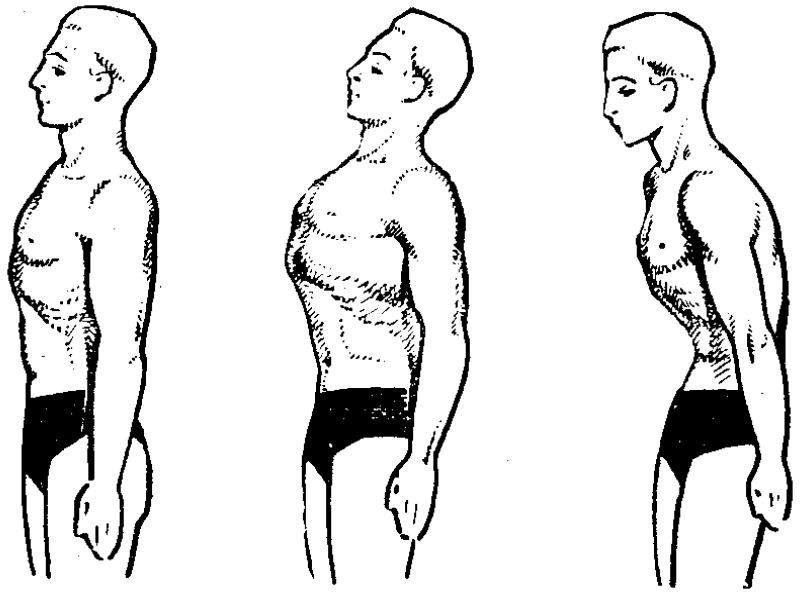
Volumes et capacités pulmonaires

Manœuvre statique

=

Respiration profonde

Débits aériens

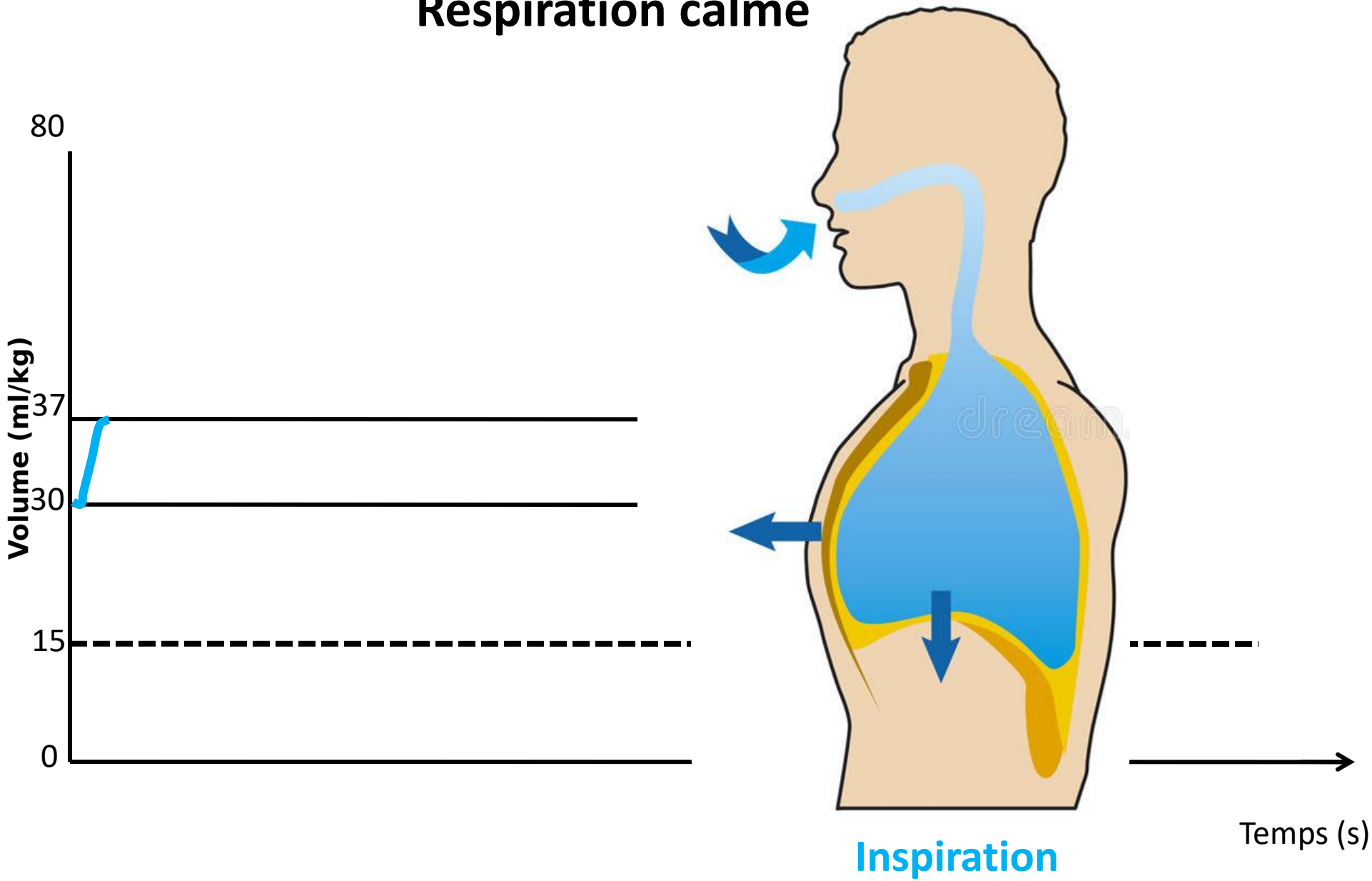


Manœuvre dynamique

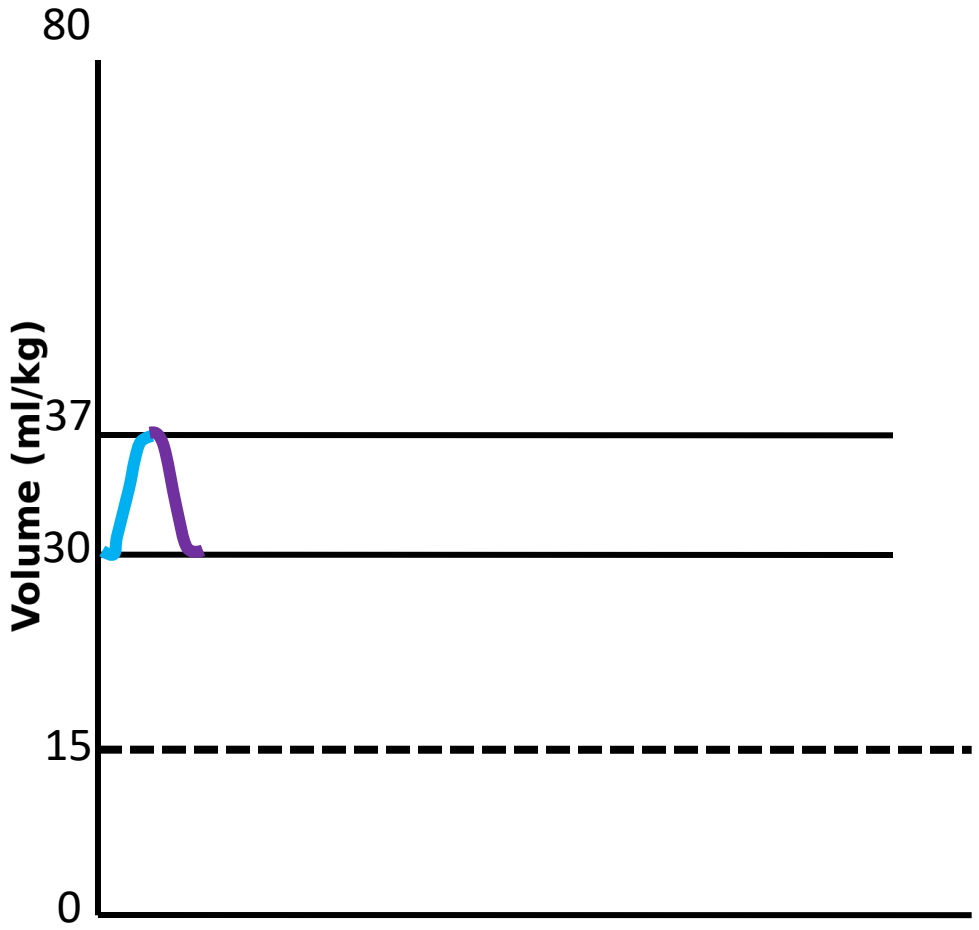
=

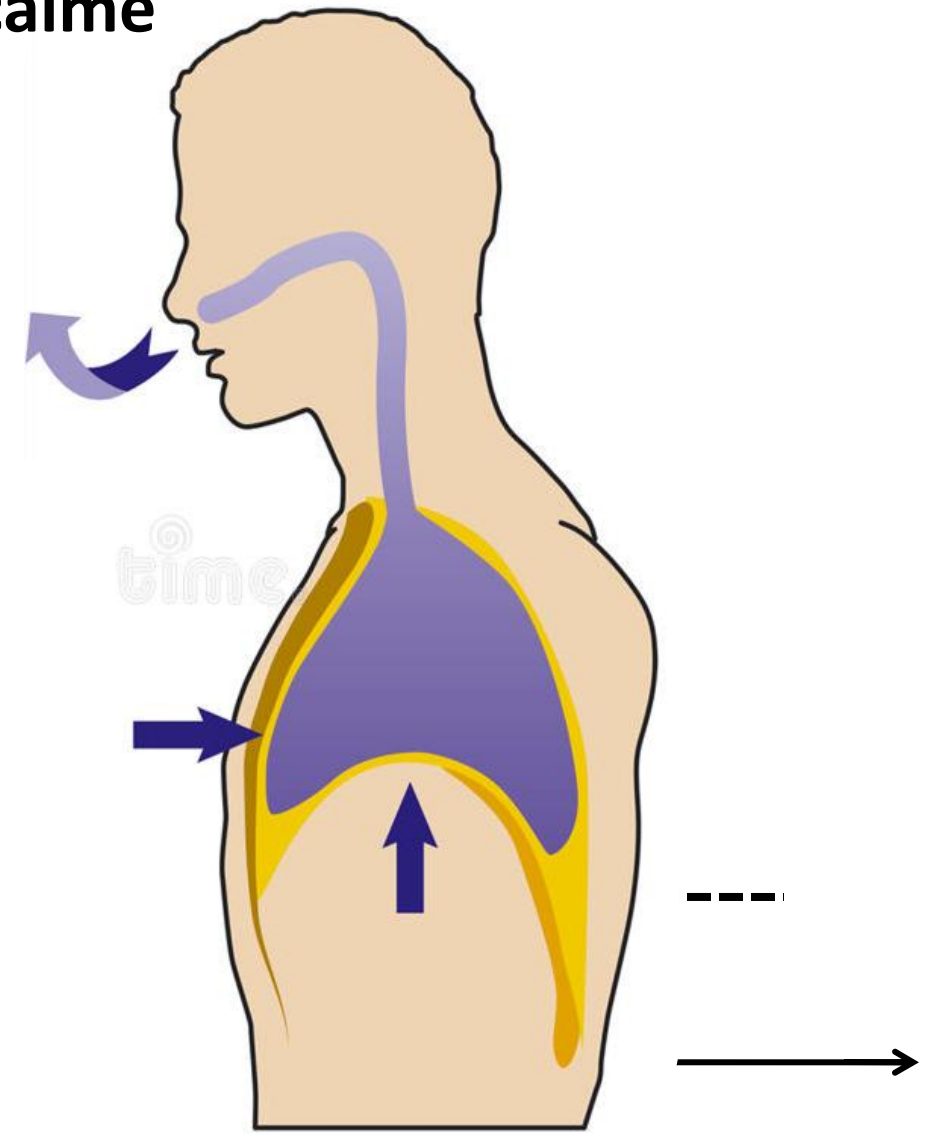
Respiration forcée

Respiration calme



Respiration calme

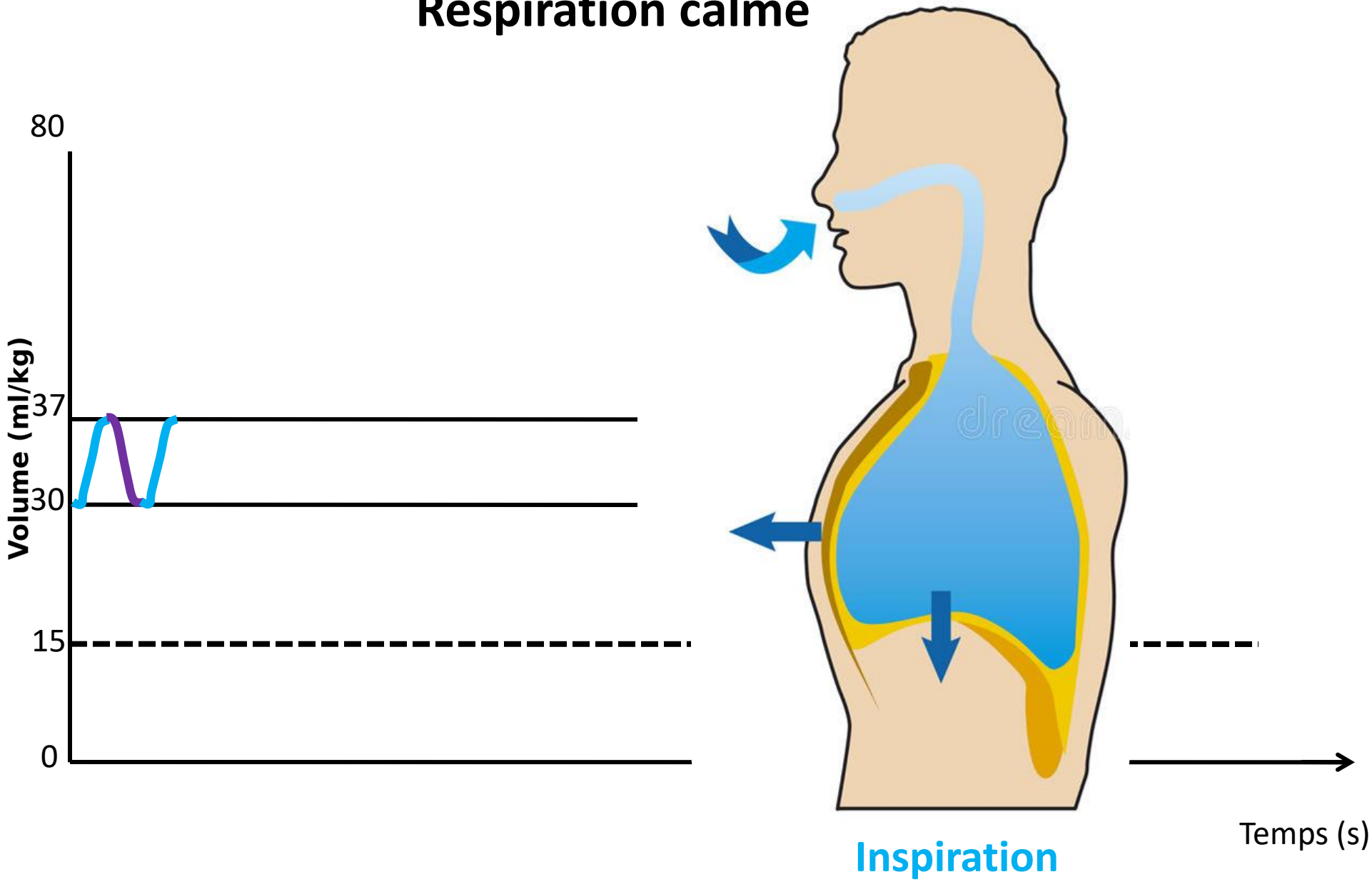




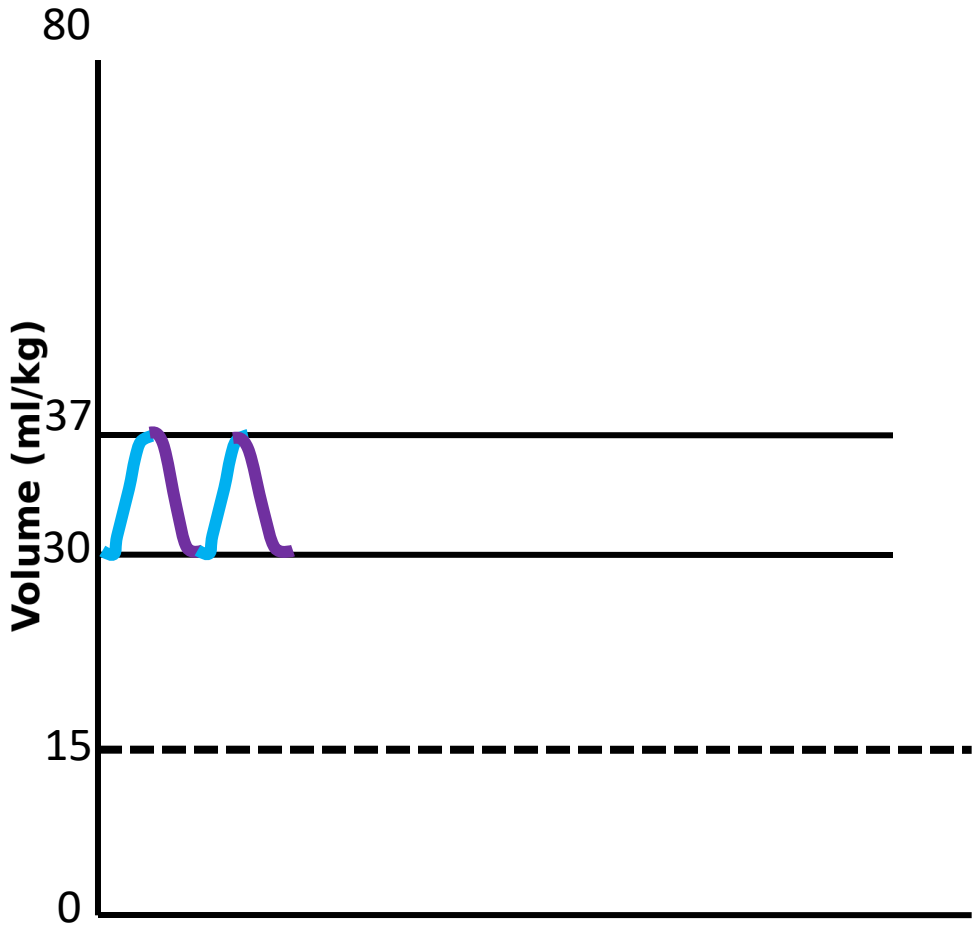
Temps (s)

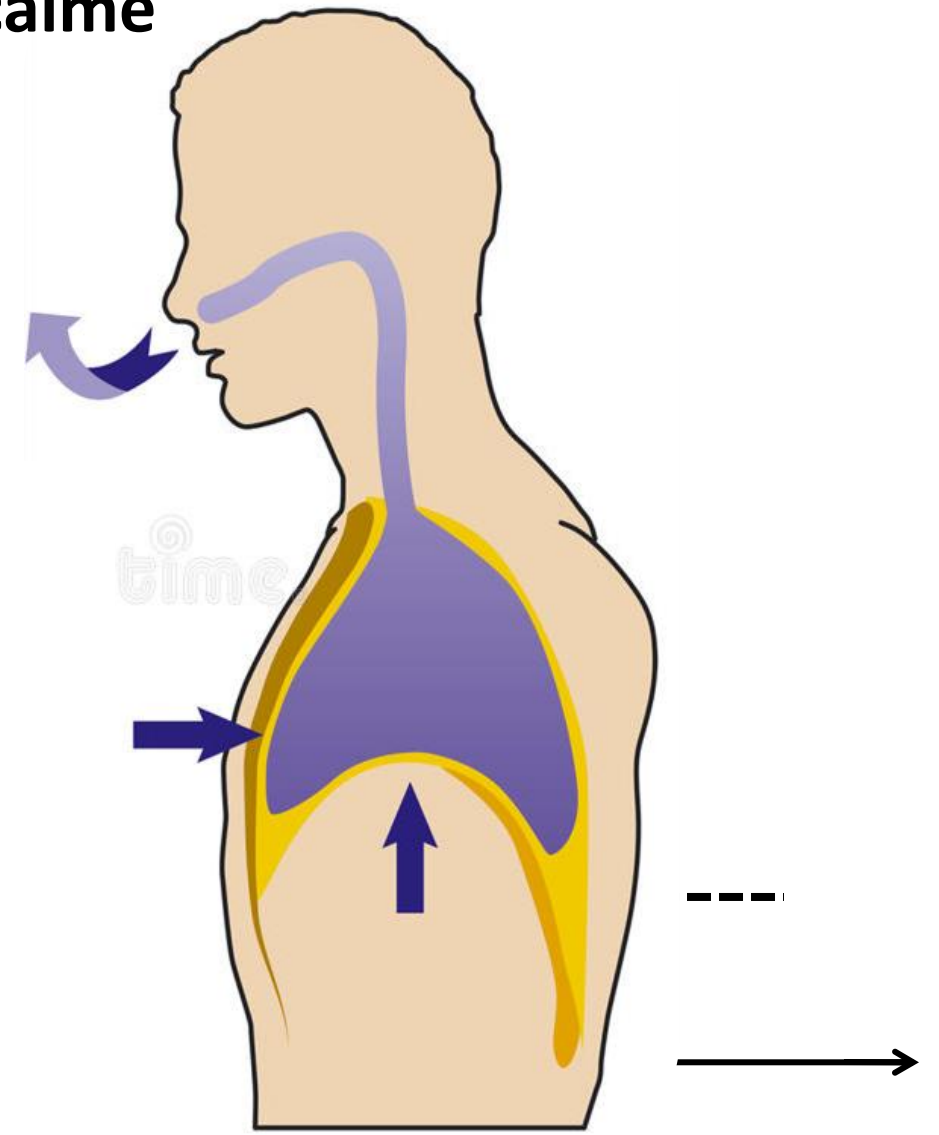
Expiration

Respiration calme



Respiration calme

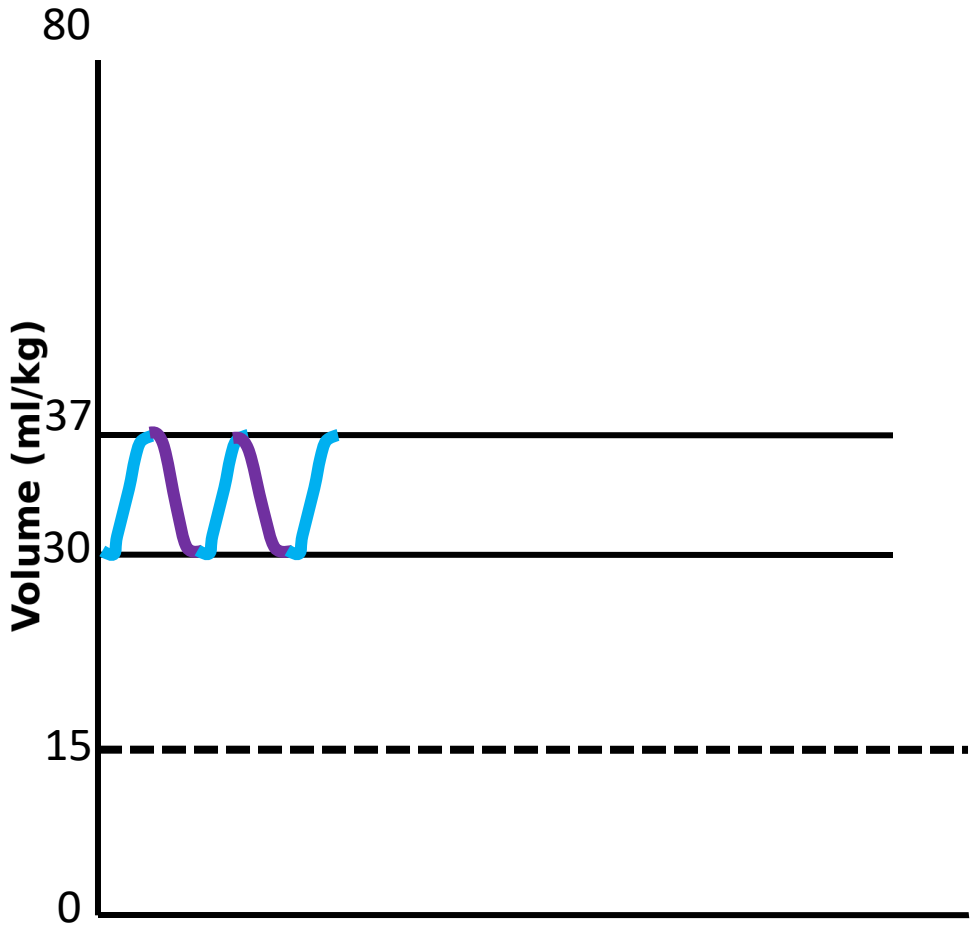


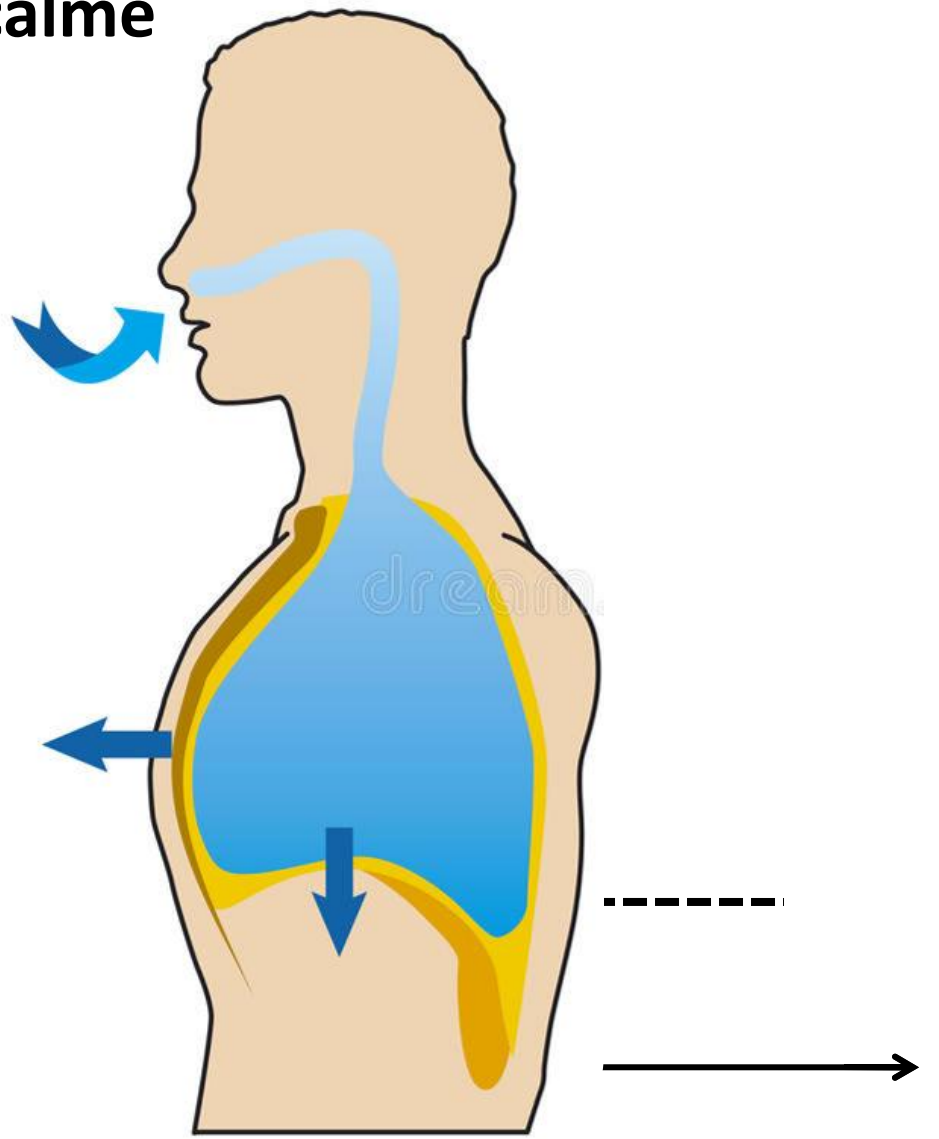


Temps (s)

Expiration

Respiration calme

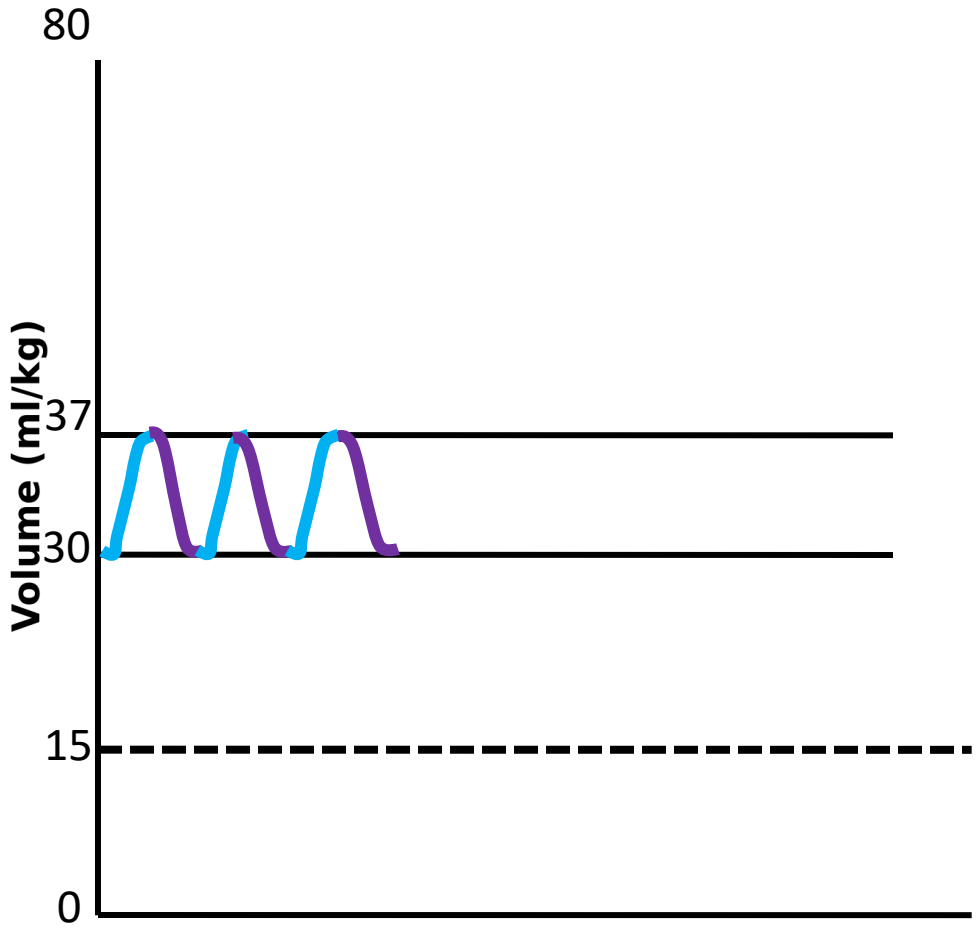


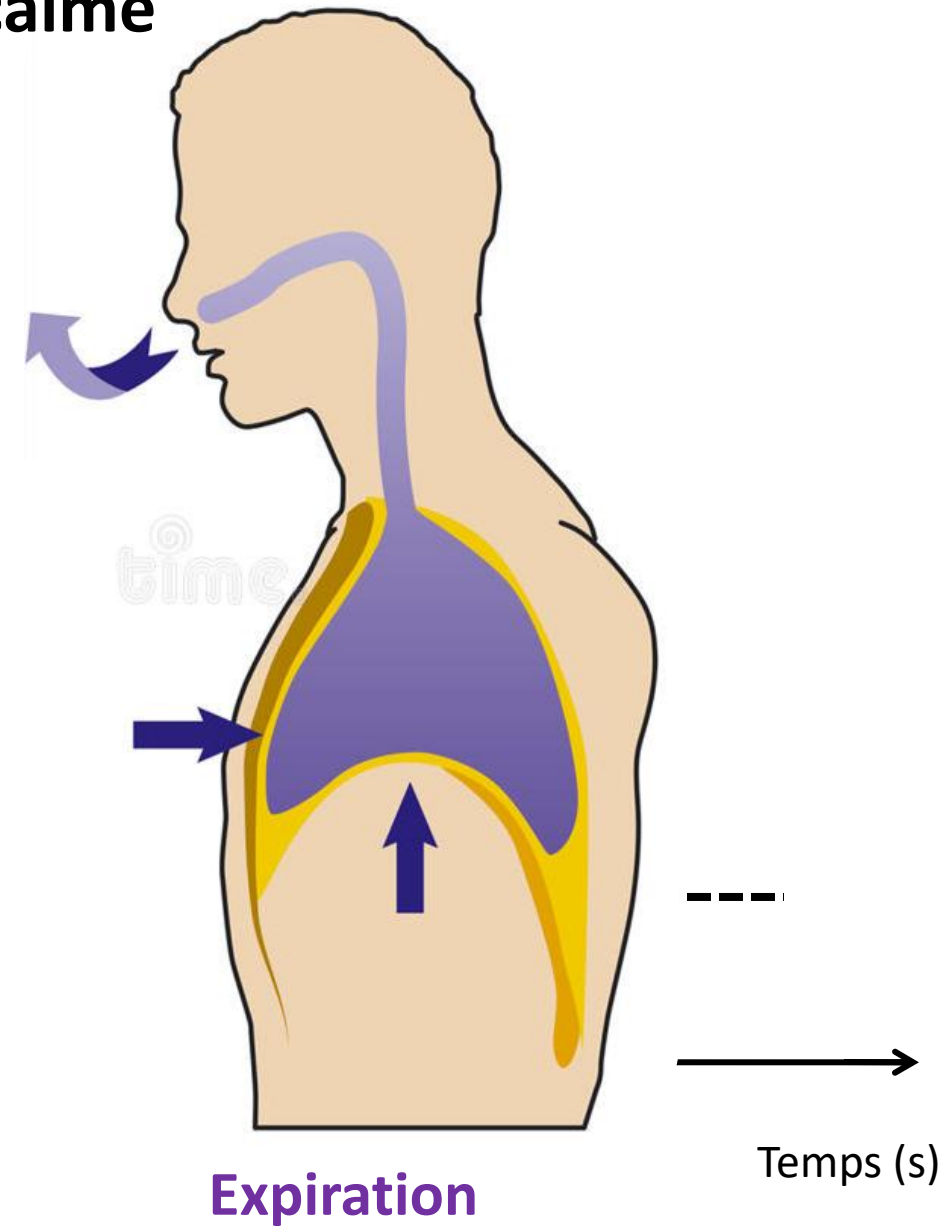


Inspiration

Temps (s)

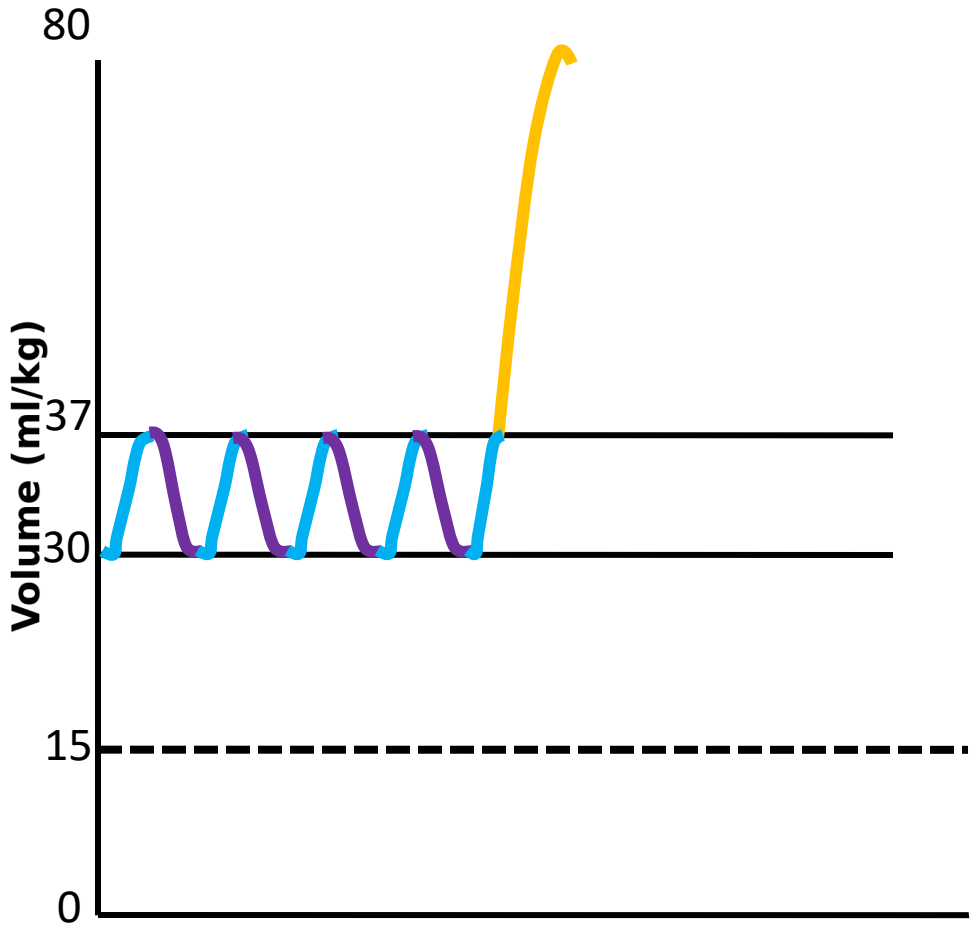
Respiration calme

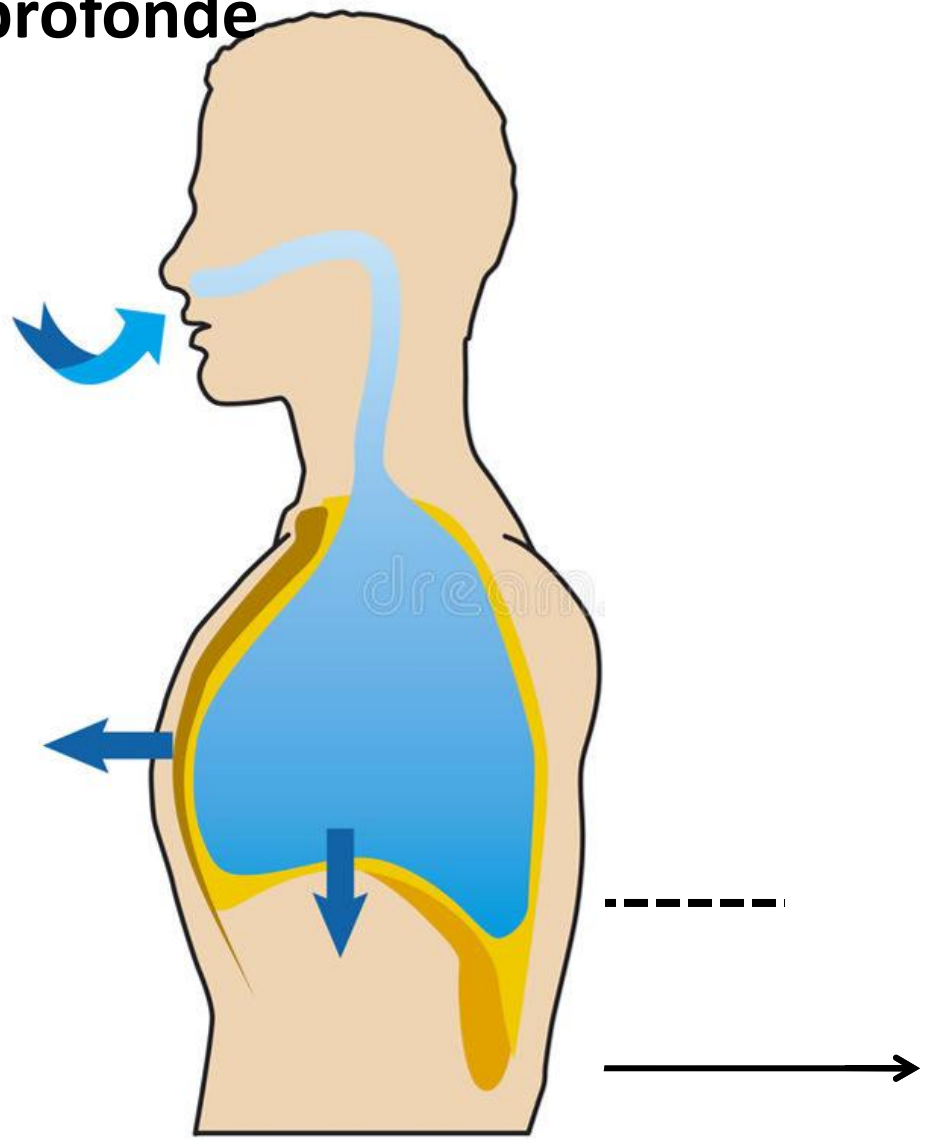




Expiration

Respiration profonde

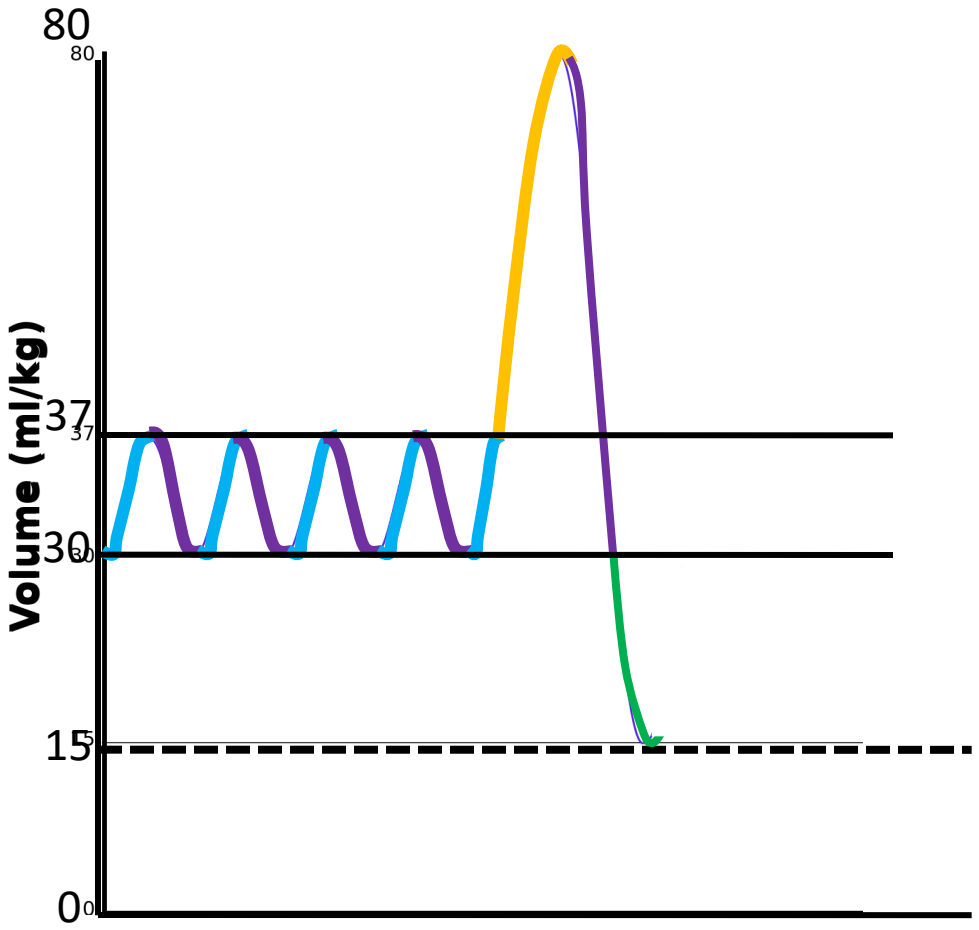


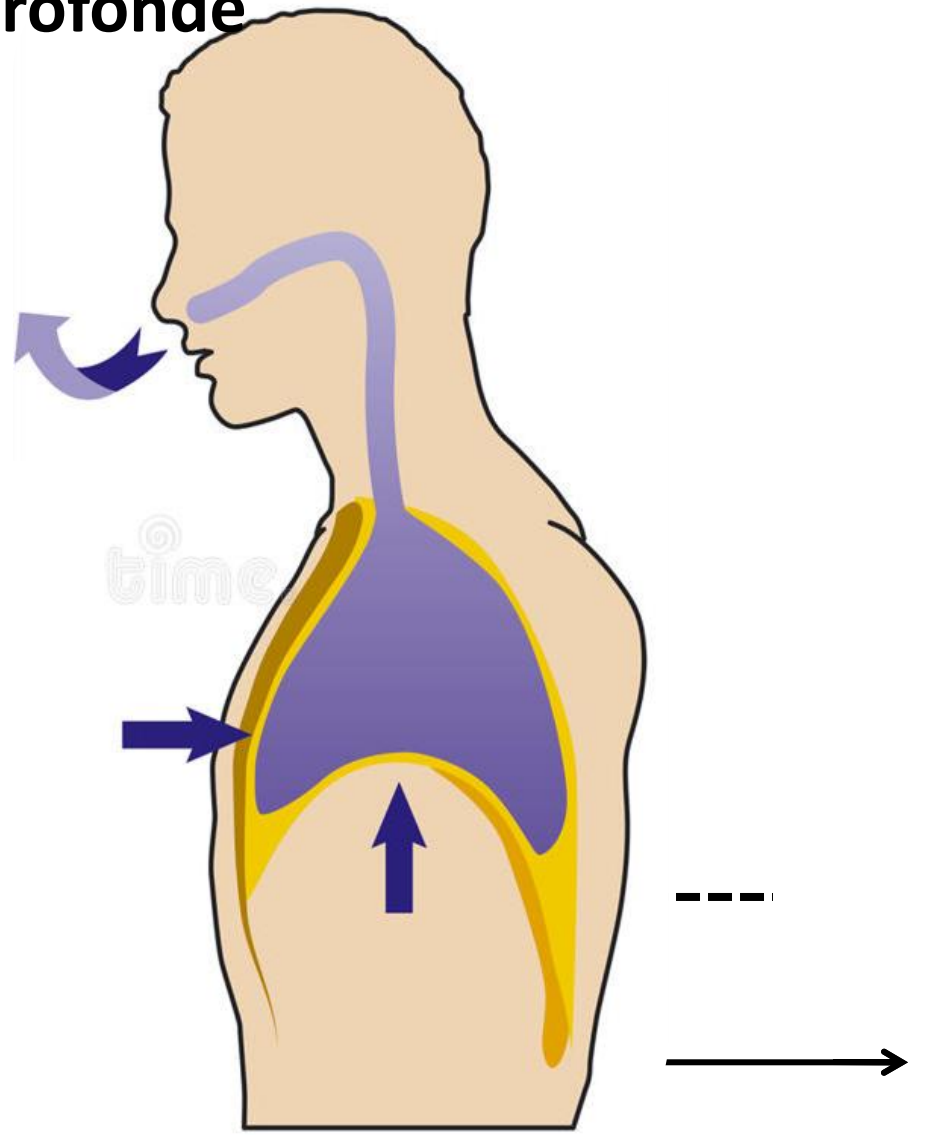


Inspiration profonde

Temps (s)

Respiration profonde

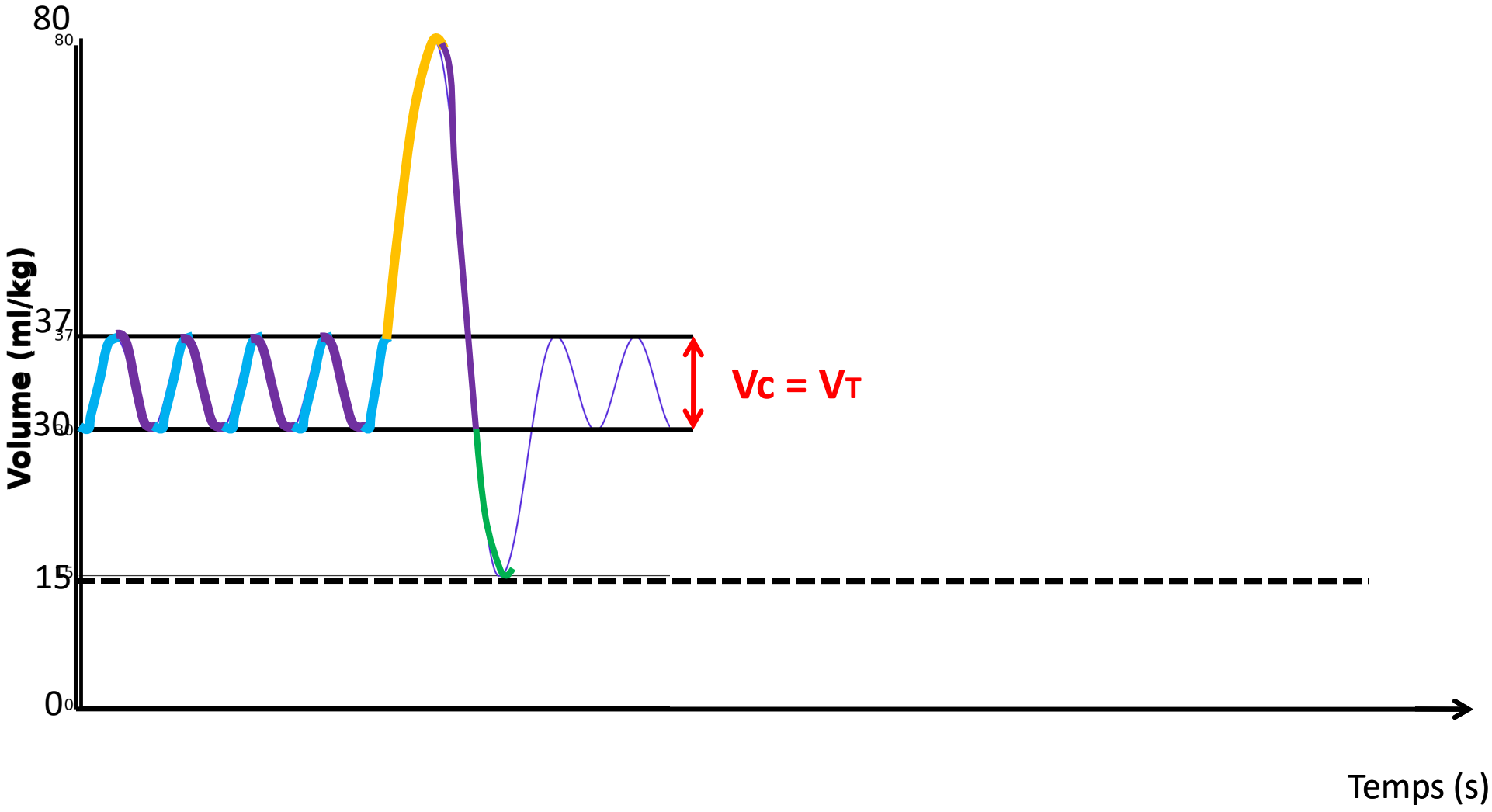




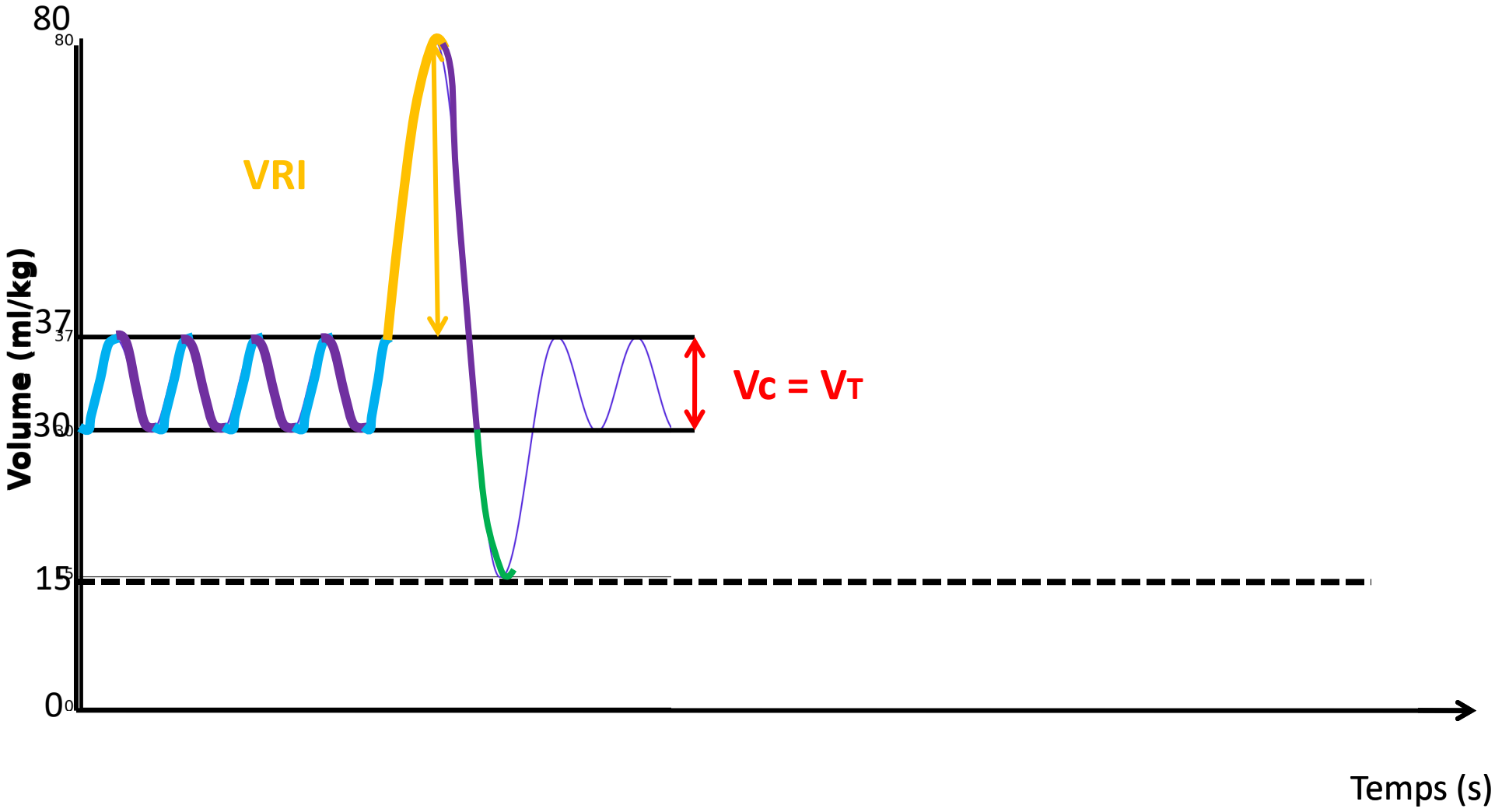
Temps (s)

Expiration profonde

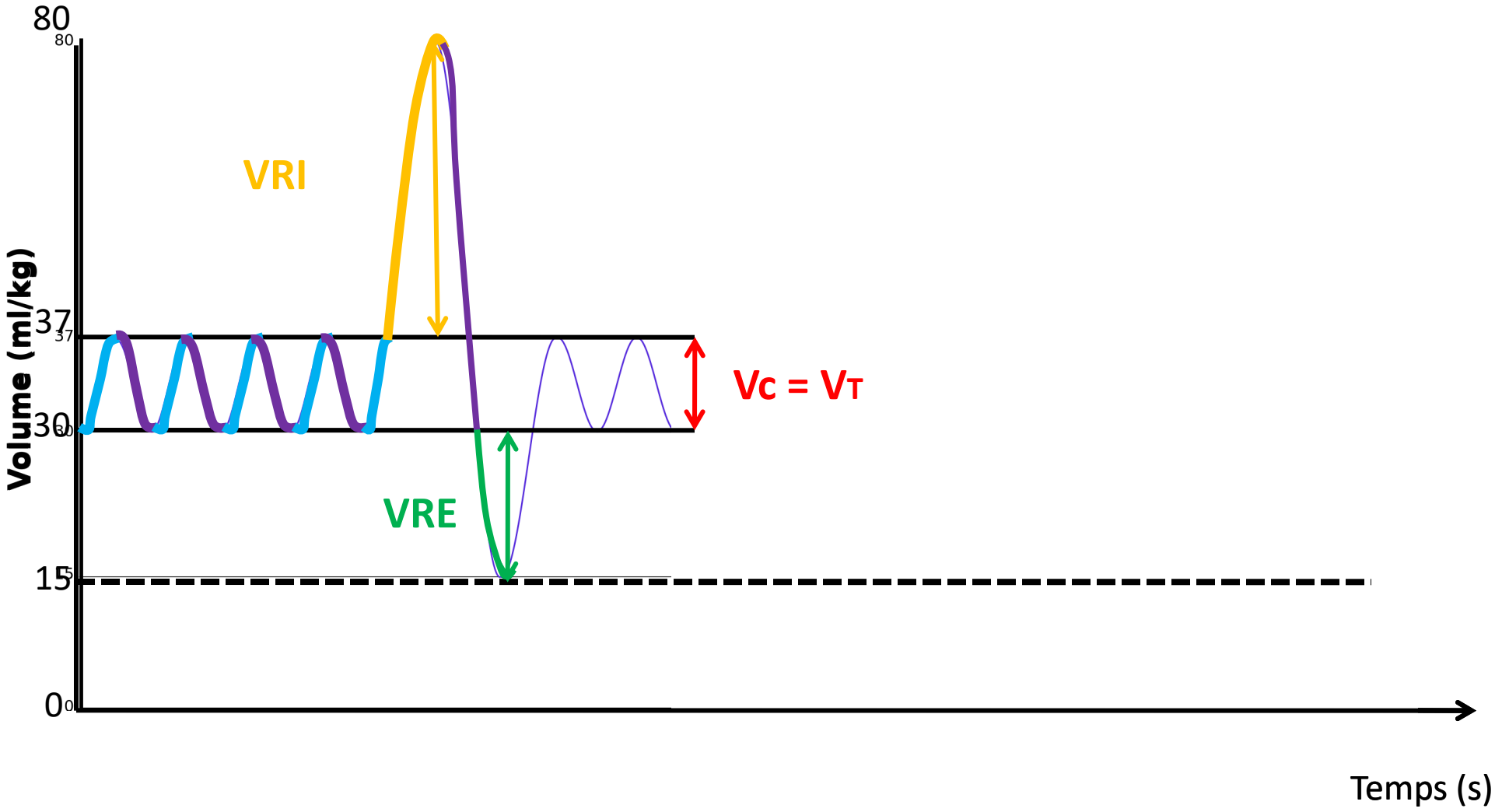
- Volume courant **(Vc) ou** Volume Tidal **(V_T): 500ml**



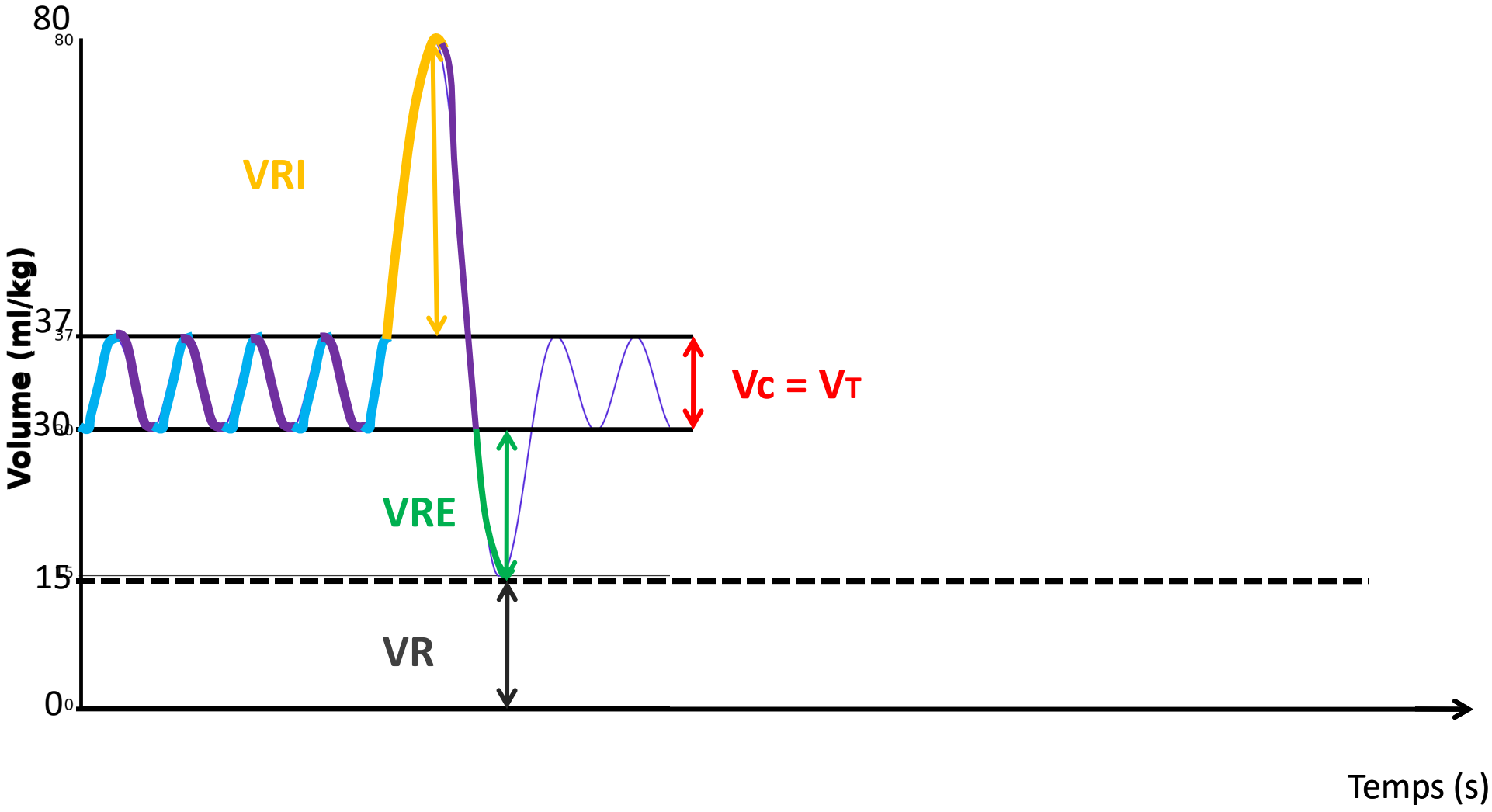
- Volume courant **(Vc) ou** Volume Tidal **(V_T): 500ml**
-Volume de réserve inspiratoire **(VRI) : 2500 – 3000 ml**
-



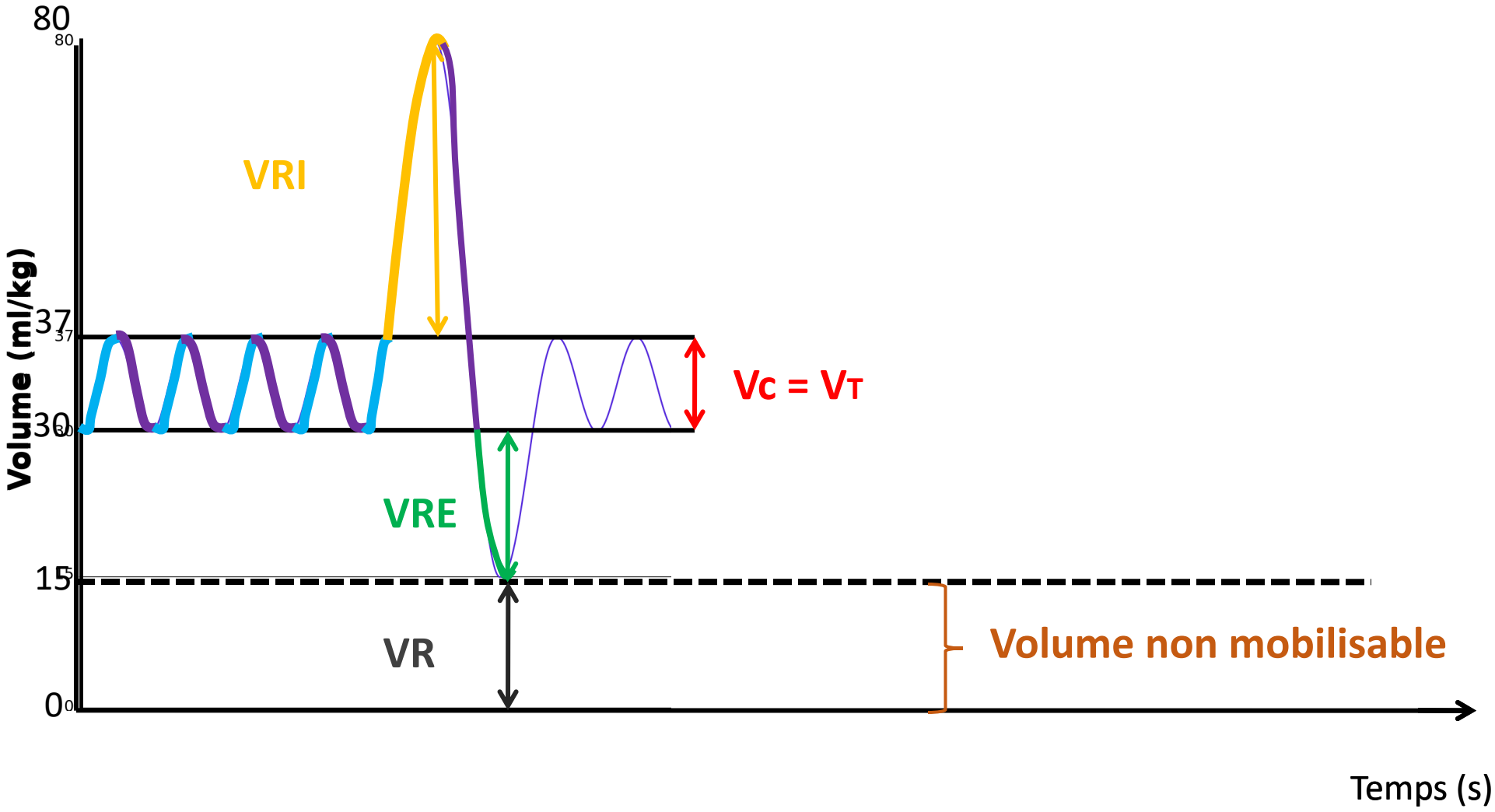
- Volume courant **(Vc) ou** Volume Tidal **(V_T): 500ml**
- Volume de réserve inspiratoire **(VRI) : 2500 – 3000 ml**
- Volume de réserve expiratoire **(VRE) : 1000 ml**



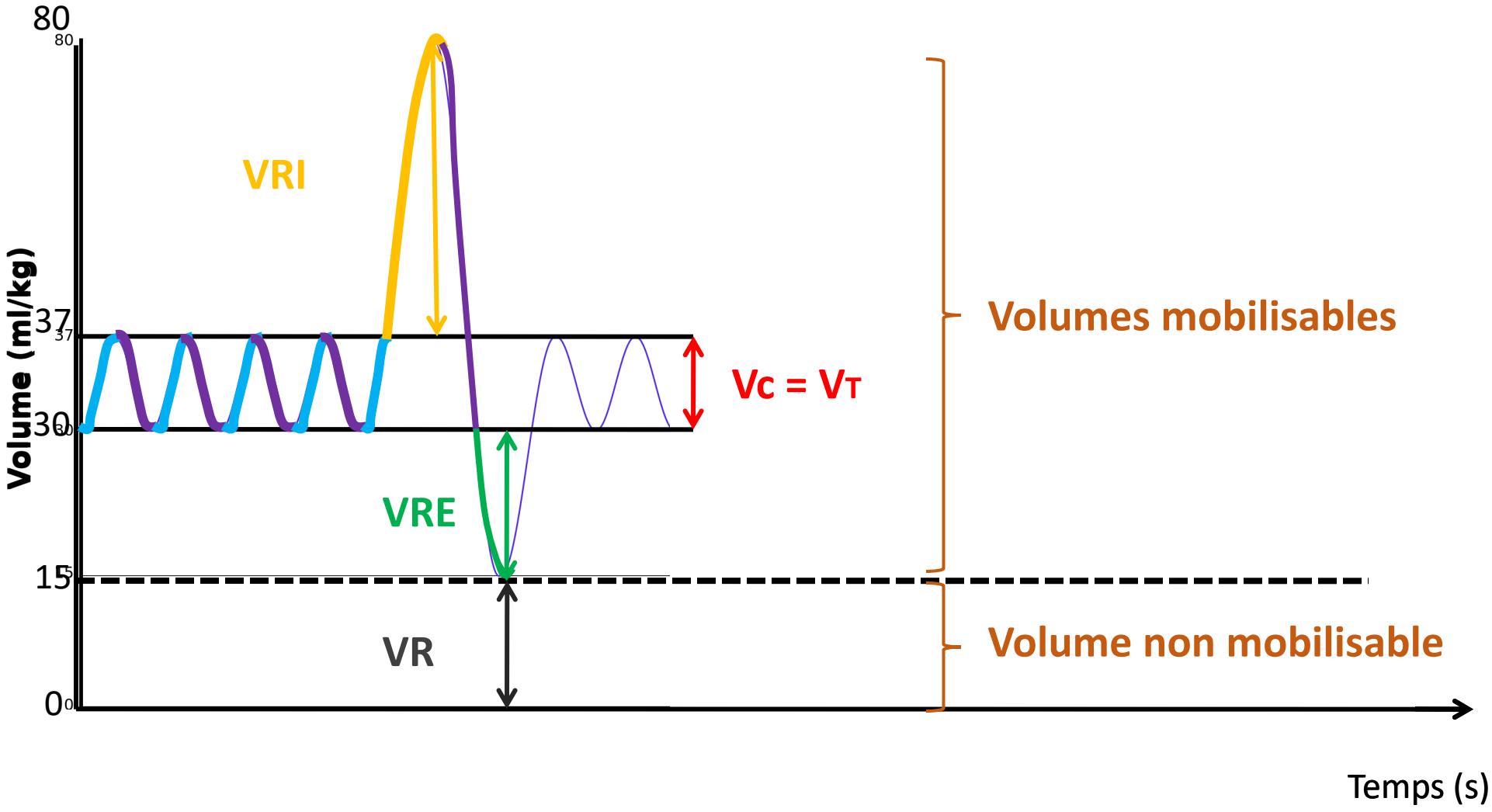
- Volume courant **(Vc) ou** Volume Tidal **(V_T): 500ml**
- Volume de réserve inspiratoire **(VRI) : 2500 – 3000 ml**
- Volume de réserve expiratoire **(VRE) : 1000 ml**
- Volume résiduel **(VR): 1000 ml**



- Volume courant **(Vc) ou** Volume Tidal **(V_T): 500ml**
- Volume de réserve inspiratoire **(VRI) : 2500 – 3000 ml**
- Volume de réserve expiratoire **(VRE) : 1000 ml**
- Volume résiduel **(VR): 1000 ml**



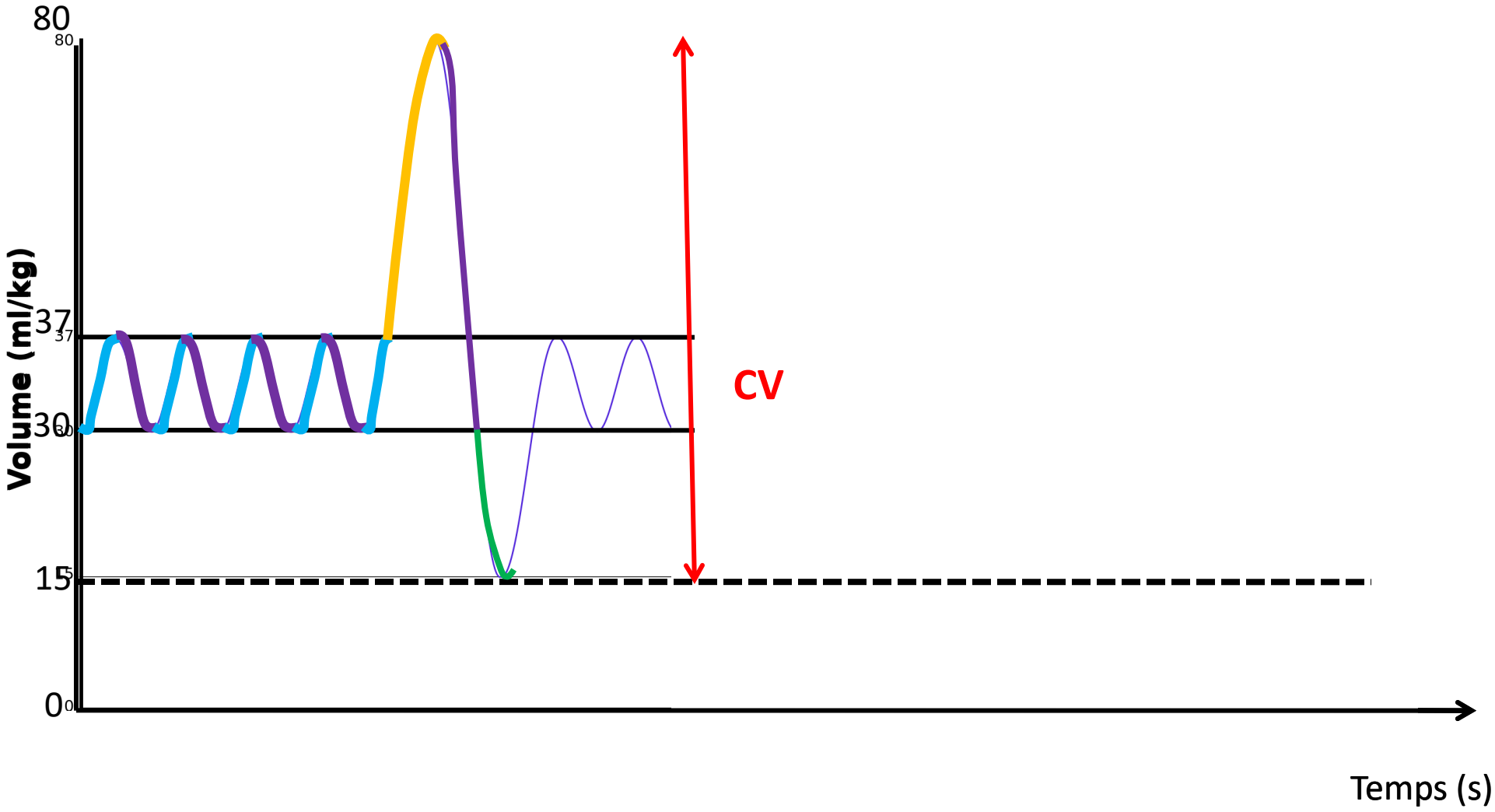
- Volume courant **(Vc) ou** Volume Tidal **(V_T): 500ml**
- Volume de réserve inspiratoire **(VRI) : 2500 – 3000 ml**
- Volume de réserve expiratoire **(VRE) : 1000 ml**
- Volume résiduel **(VR): 1000 ml**



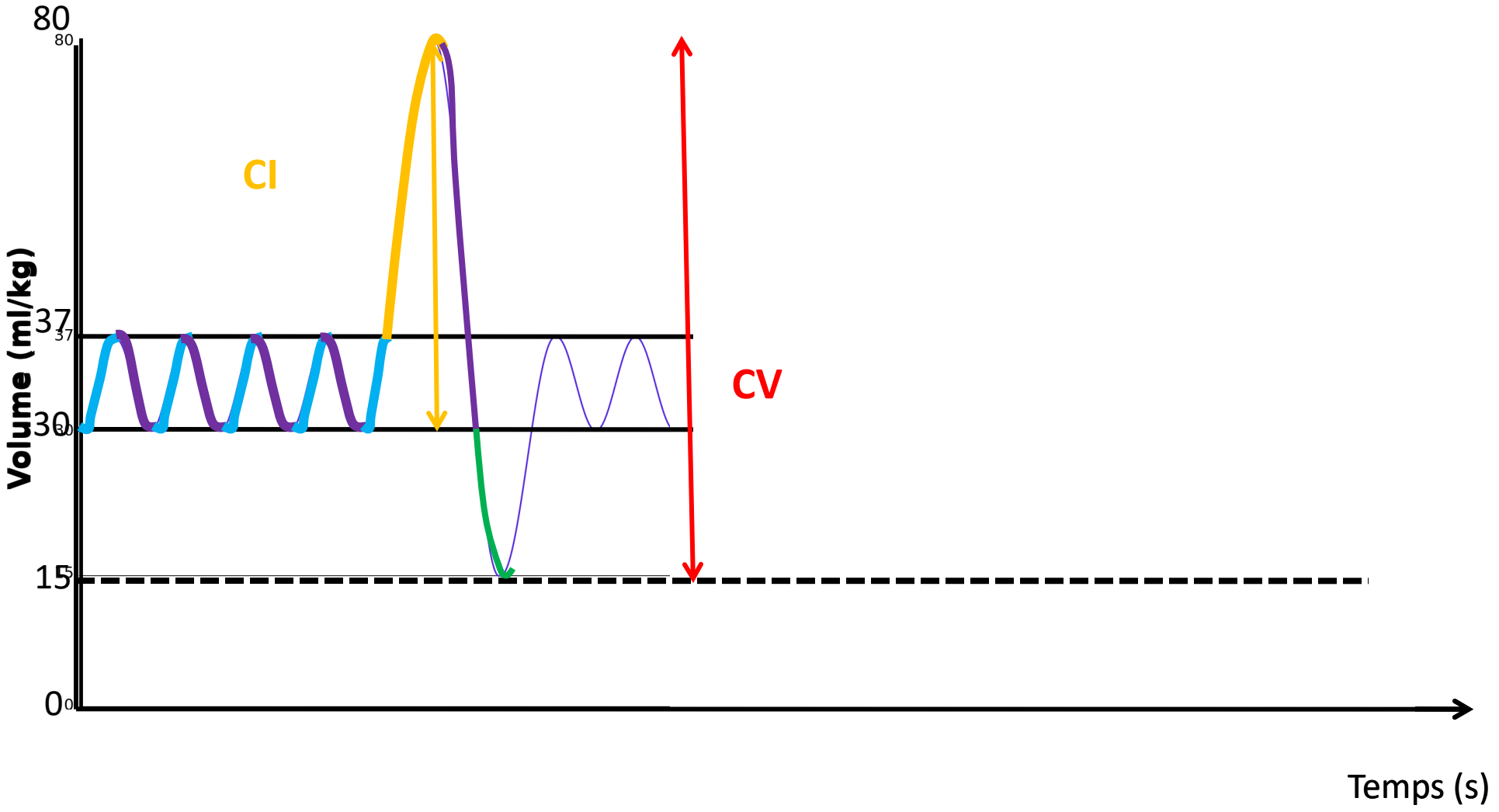
Capacités pulmonaires :

la somme des volumes pulmonaires

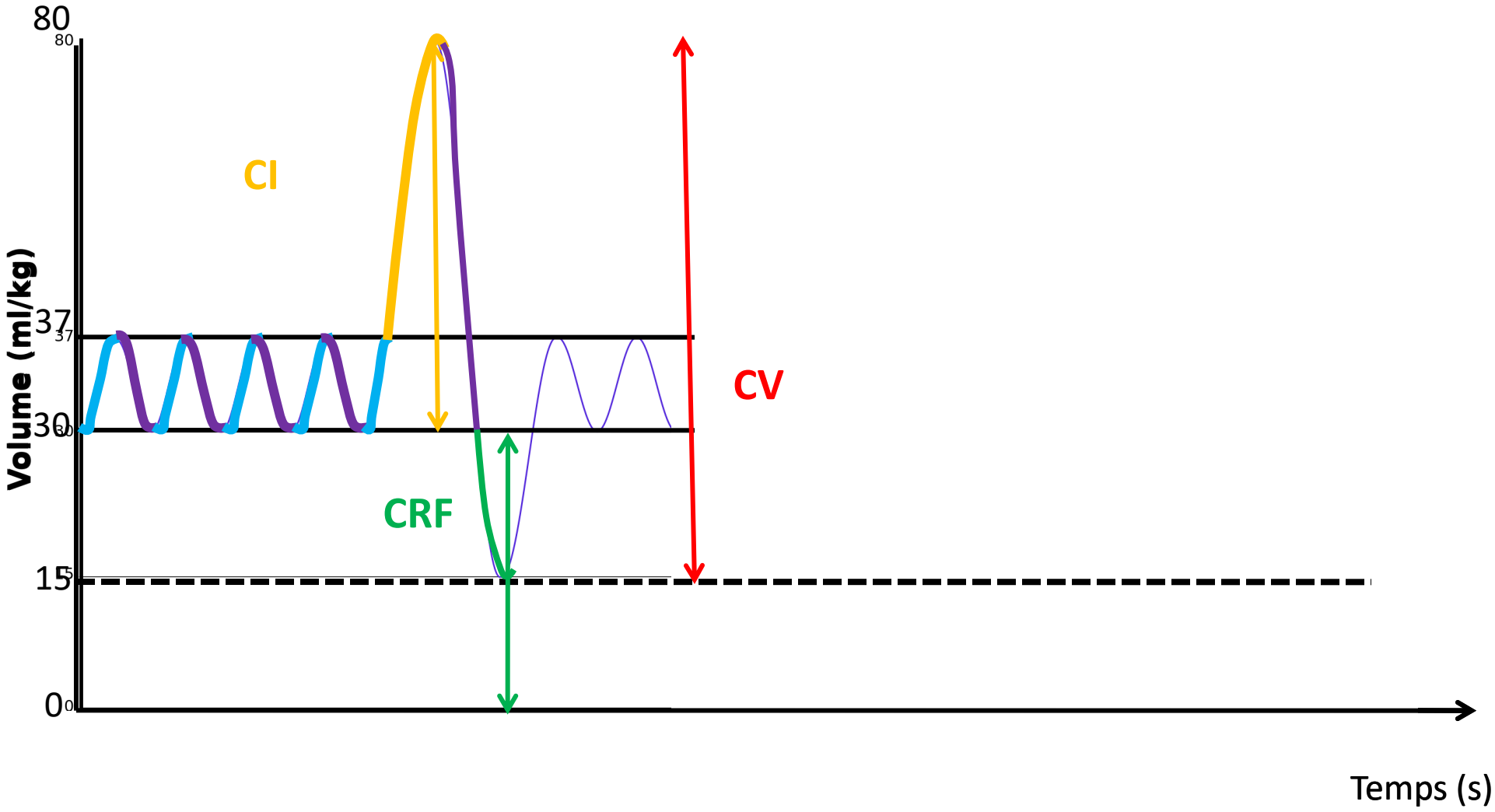
- **Capacité vitale (CV)** = VRI + VT + VRE



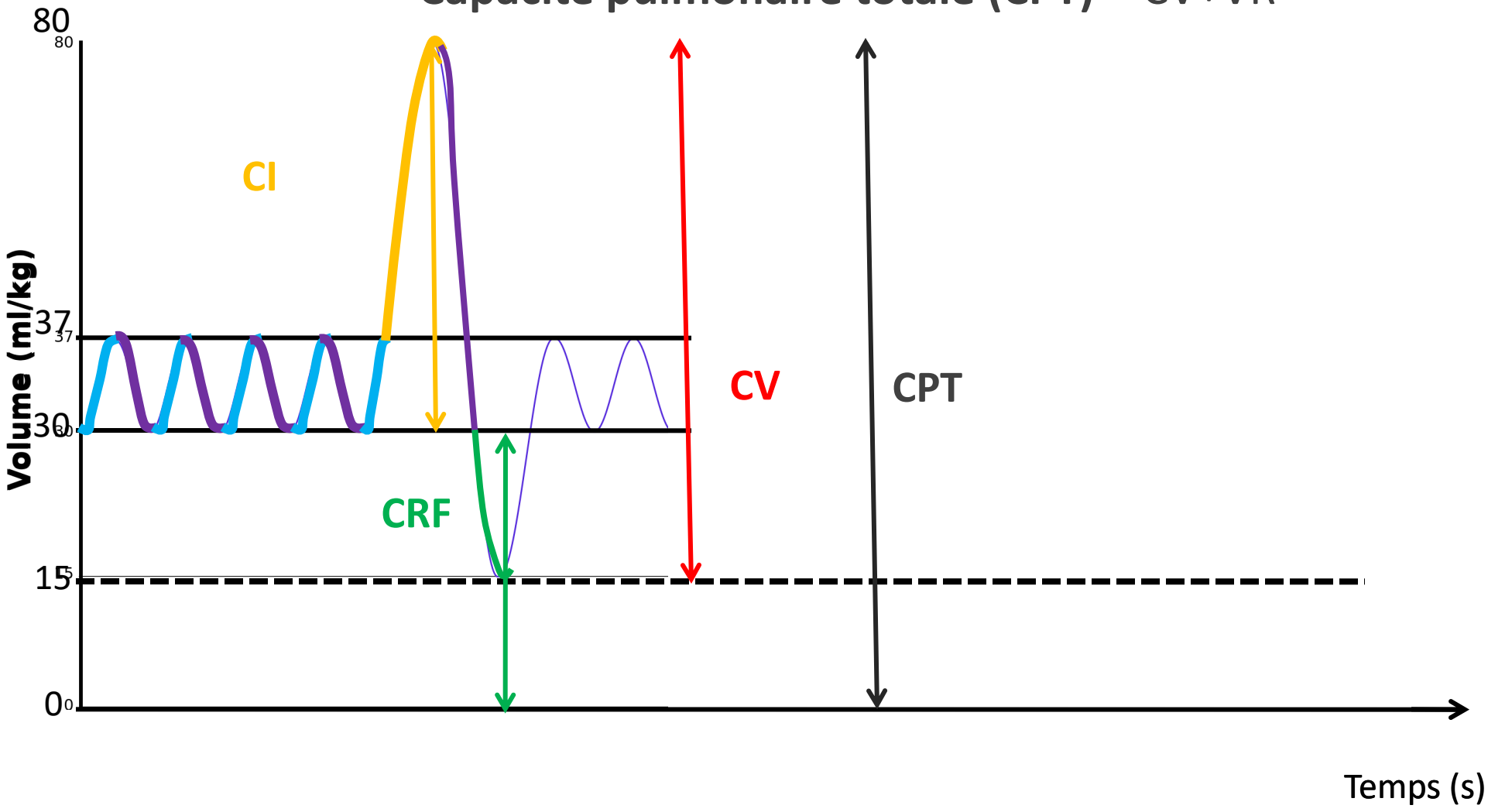
- **Capacité vitale (CV)** = VRI + VT + VRE
- **Capacité inspiratoire (CI)** = VT + VRI



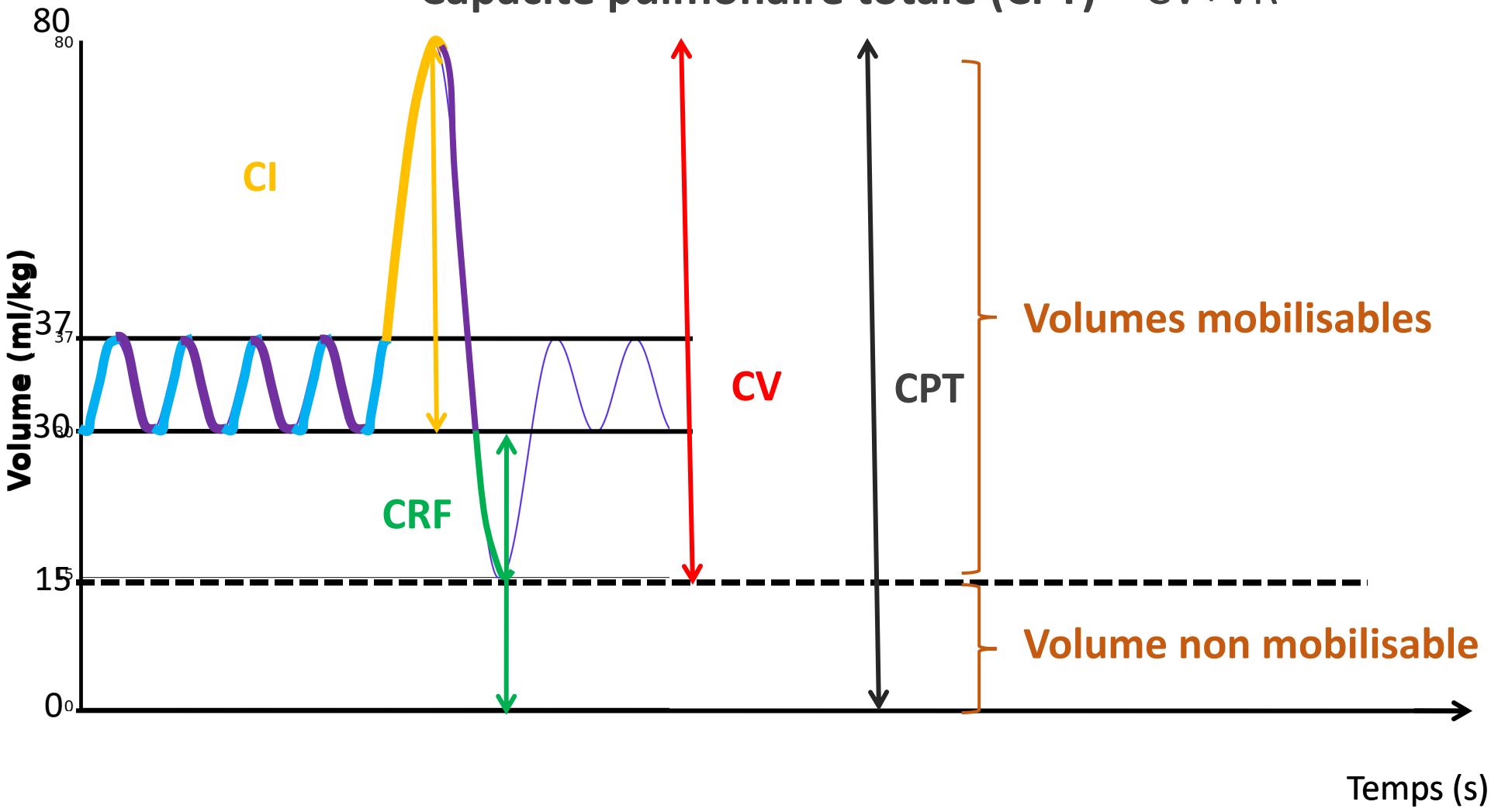
- **Capacité vitale (CV)** = VRI + VT + VRE
- **Capacité inspiratoire (CI)** = VT + VRI
- **Capacité résiduelle fonctionnelle (CRF)** = VRE + VR



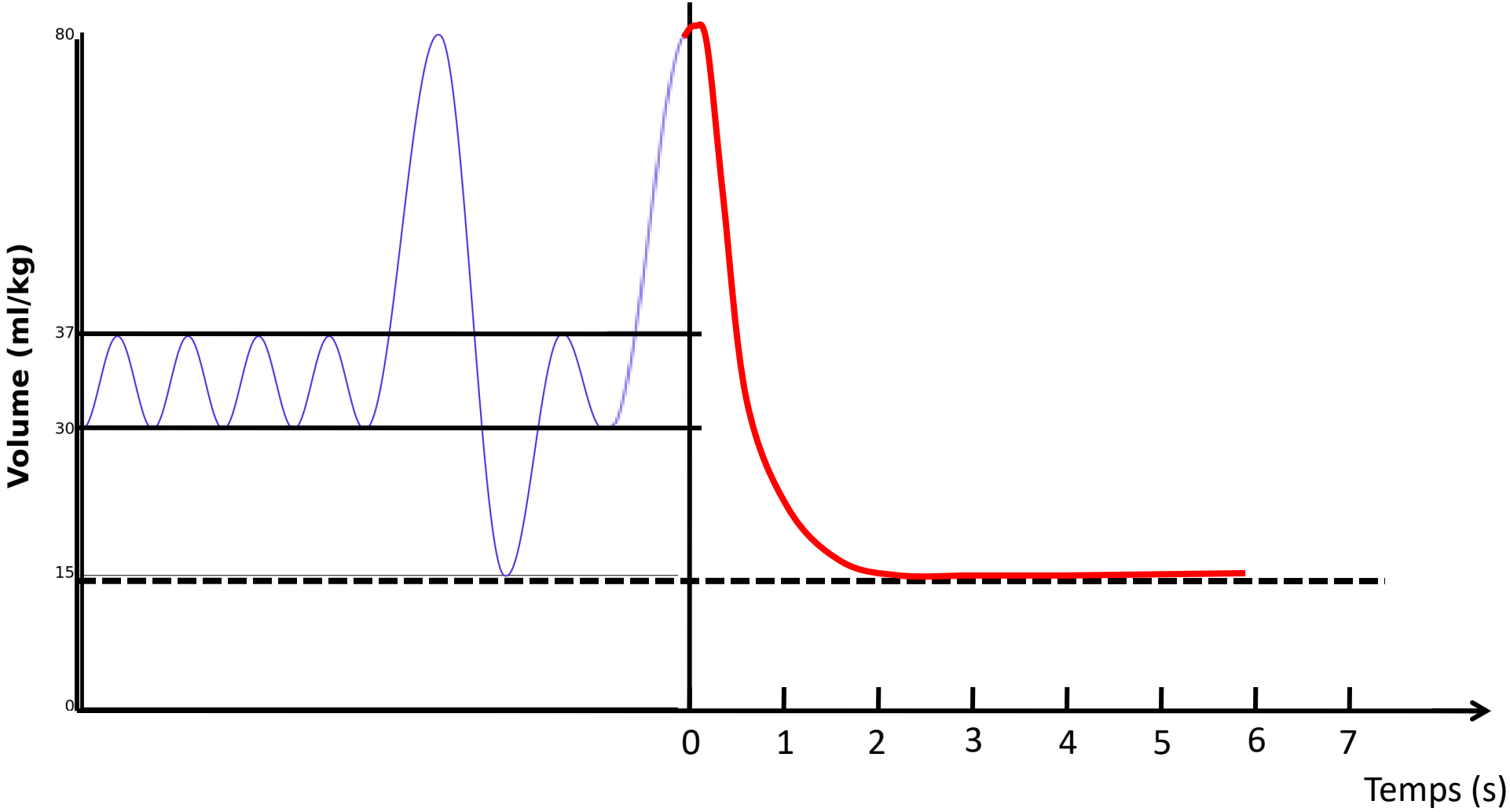
- **Capacité vitale (CV)** = VRI + VT + VRE
- **Capacité inspiratoire (CI)** = VT + VRI
- **Capacité résiduelle fonctionnelle (CRF)** = VRE + VR
- **Capacité pulmonaire totale (CPT)** = CV+VR



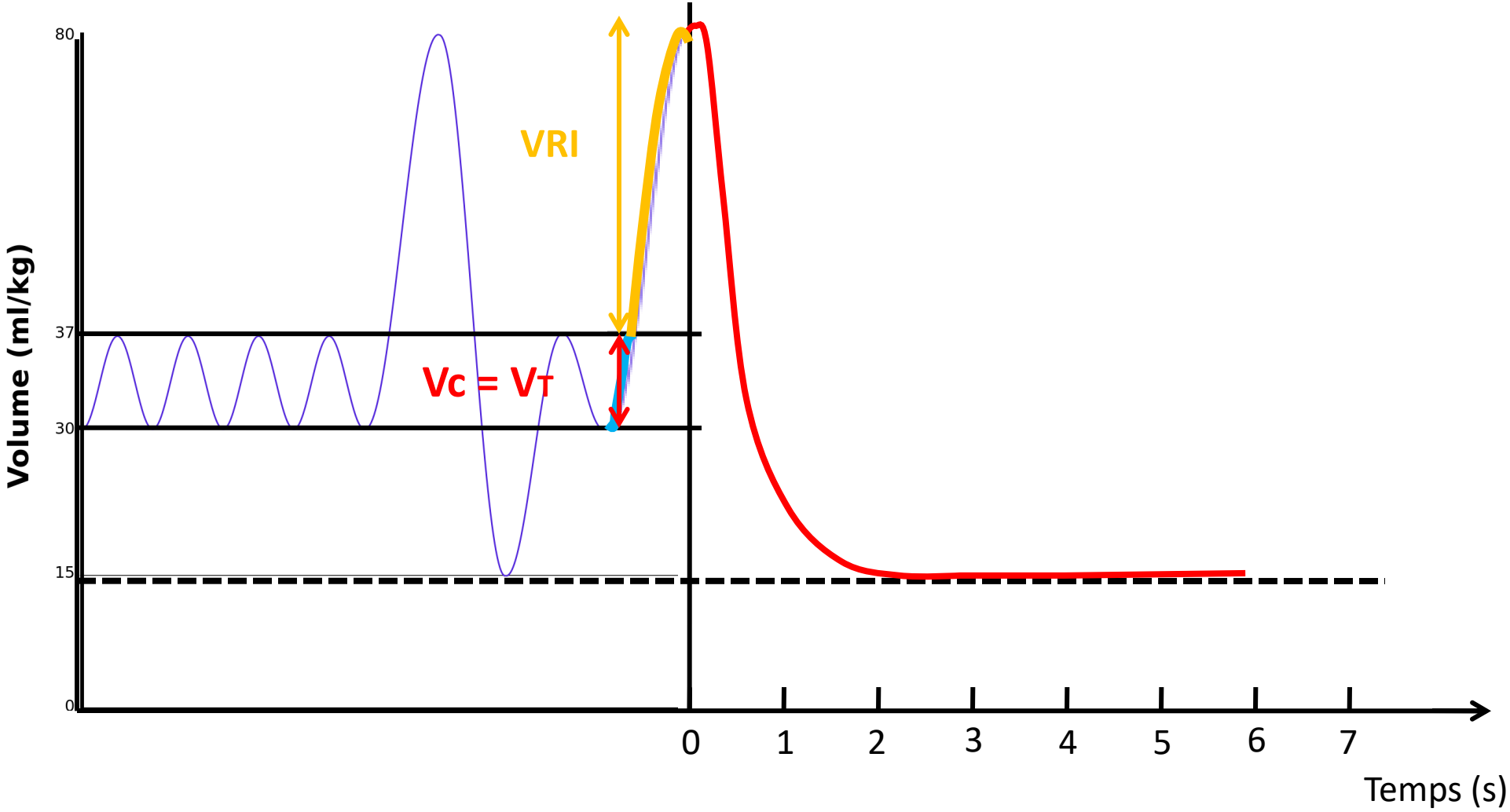
- **Capacité vitale (CV)** = VRI + VT + VRE
- **Capacité inspiratoire (CI)** = VT + VRI
- **Capacité résiduelle fonctionnelle (CRF)** = VRE + VR
- **Capacité pulmonaire totale (CPT)** = CV+VR



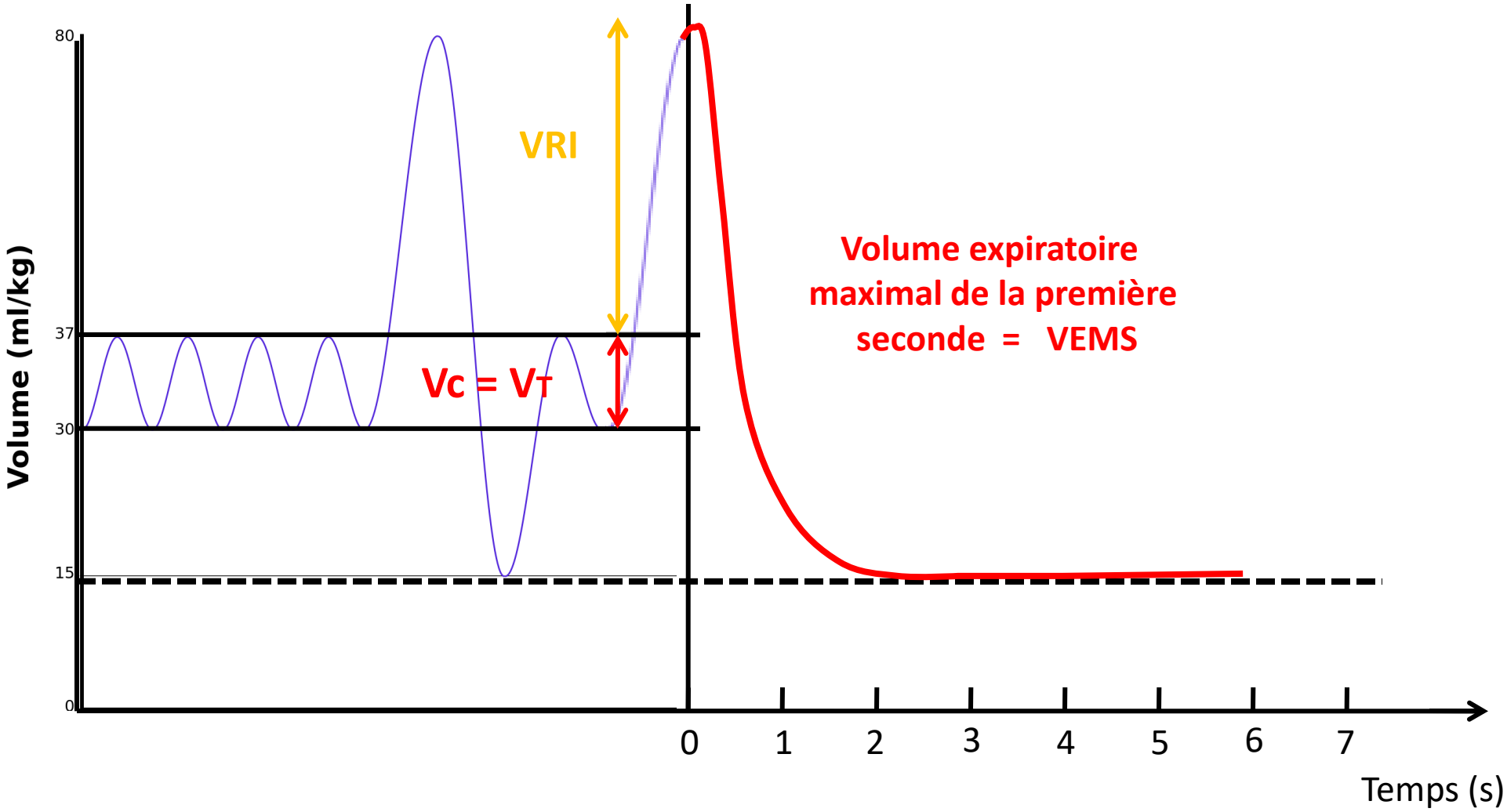
Expiration forcée



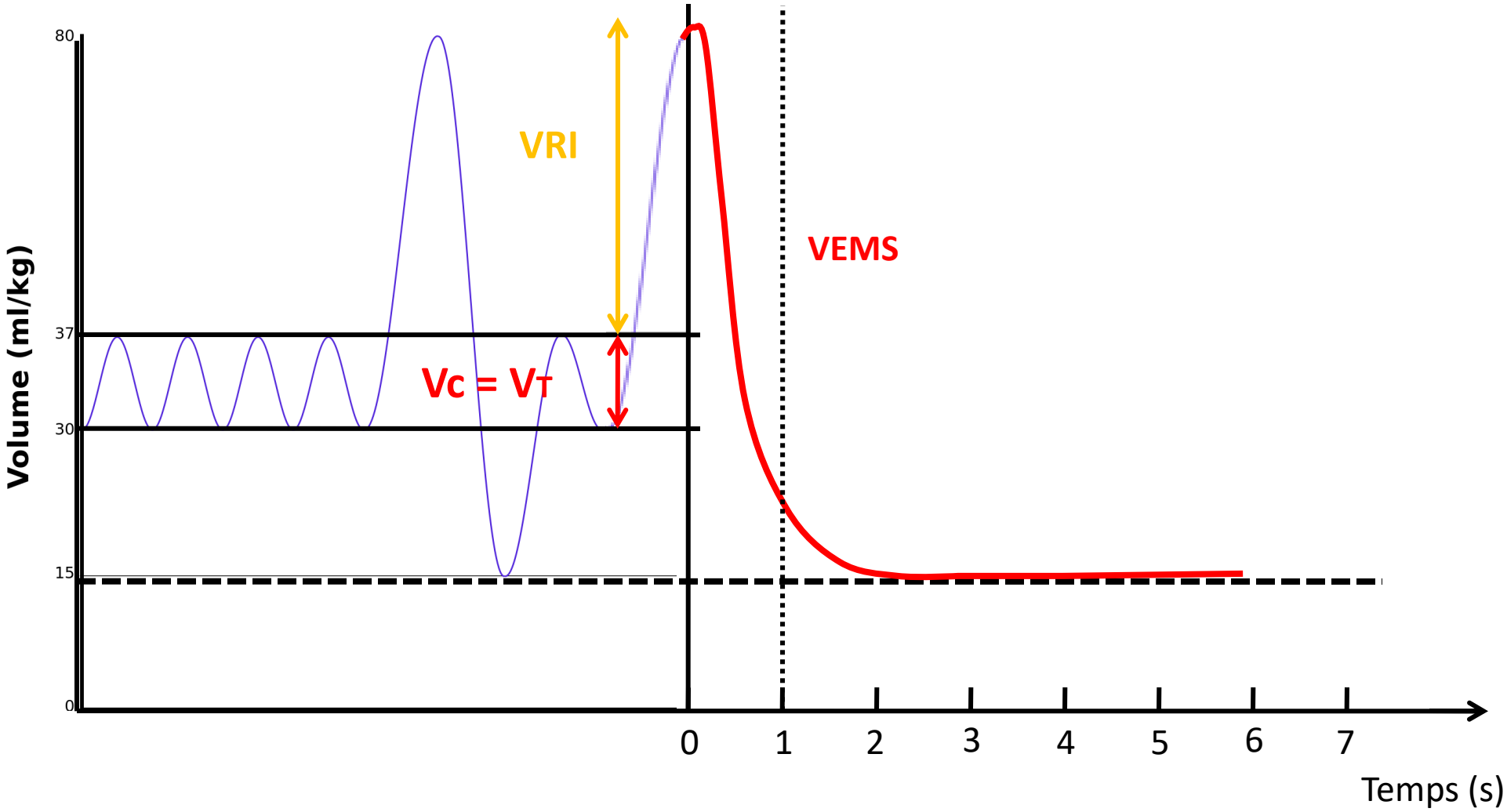
Expiration forcée



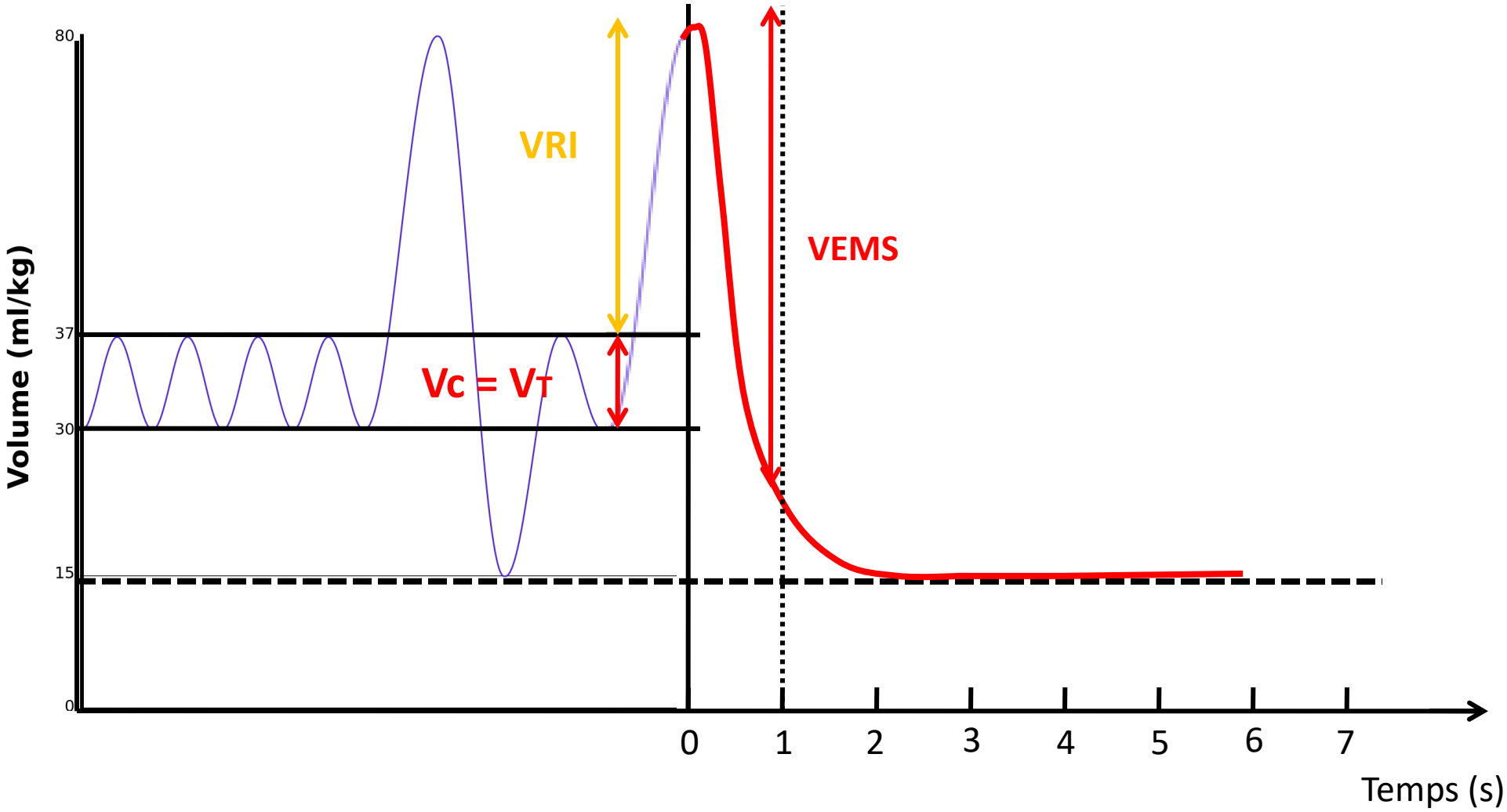
Expiration forcée



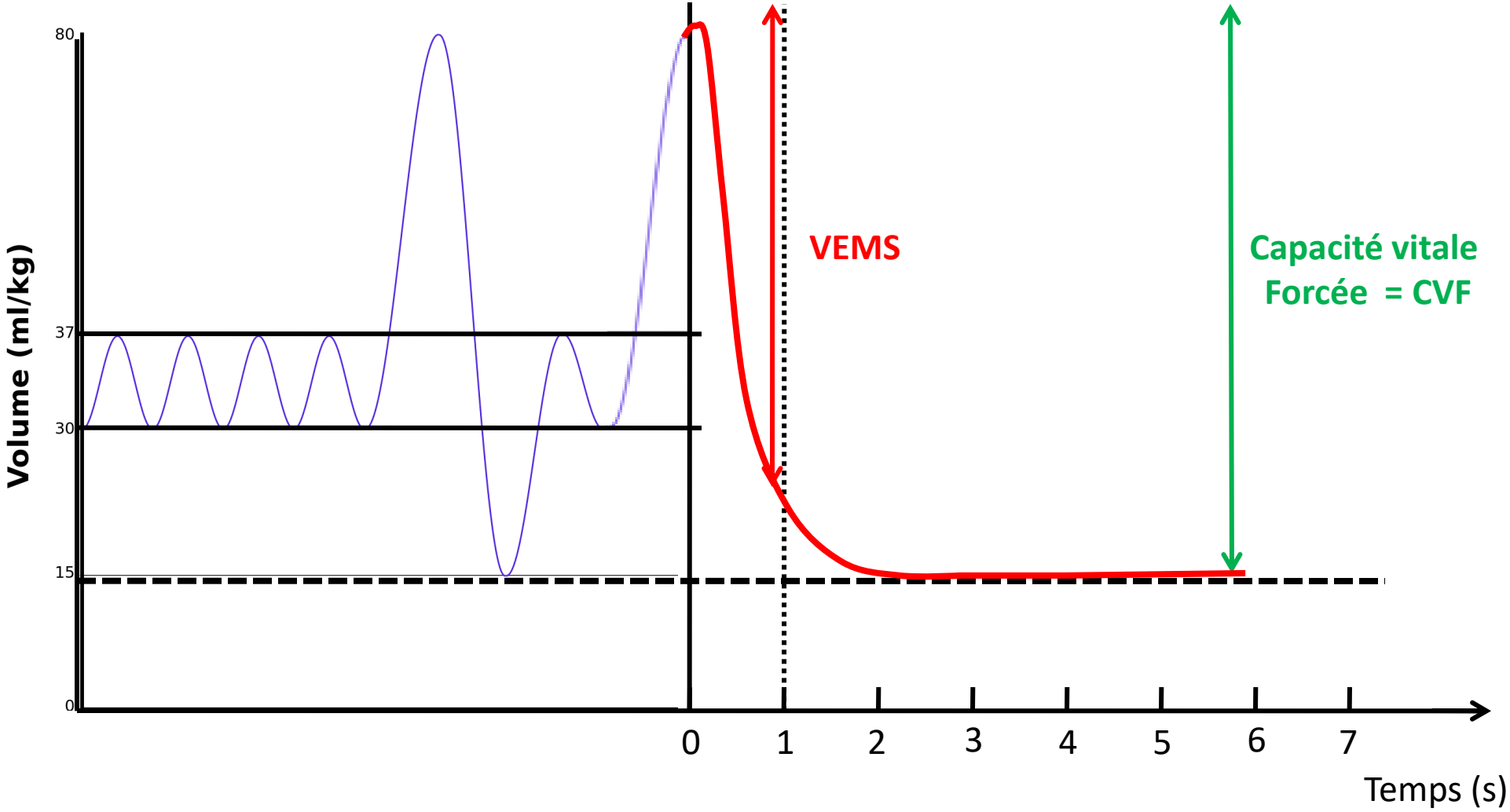
Expiration forcée



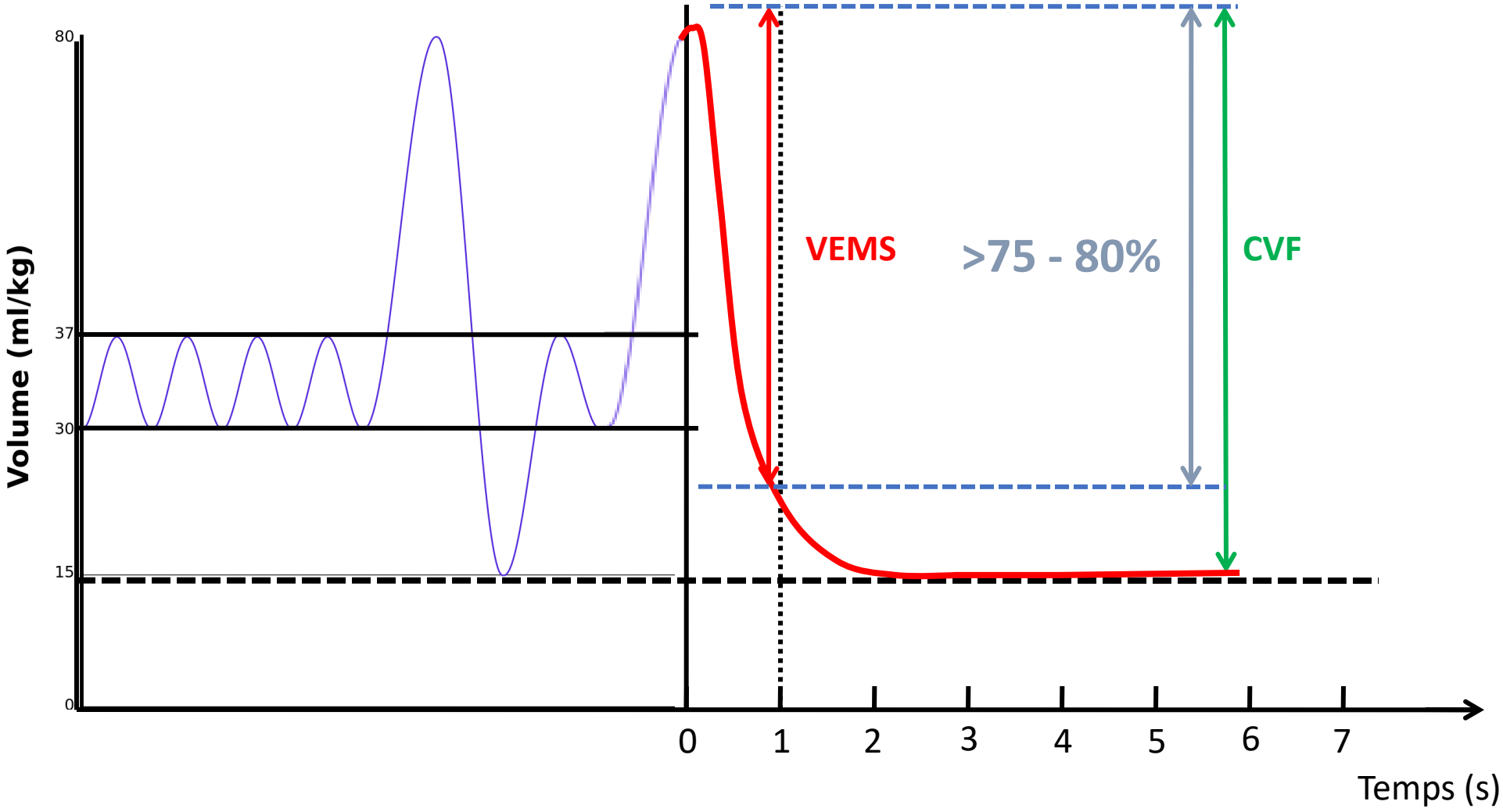
Expiration forcée



Expiration forcée

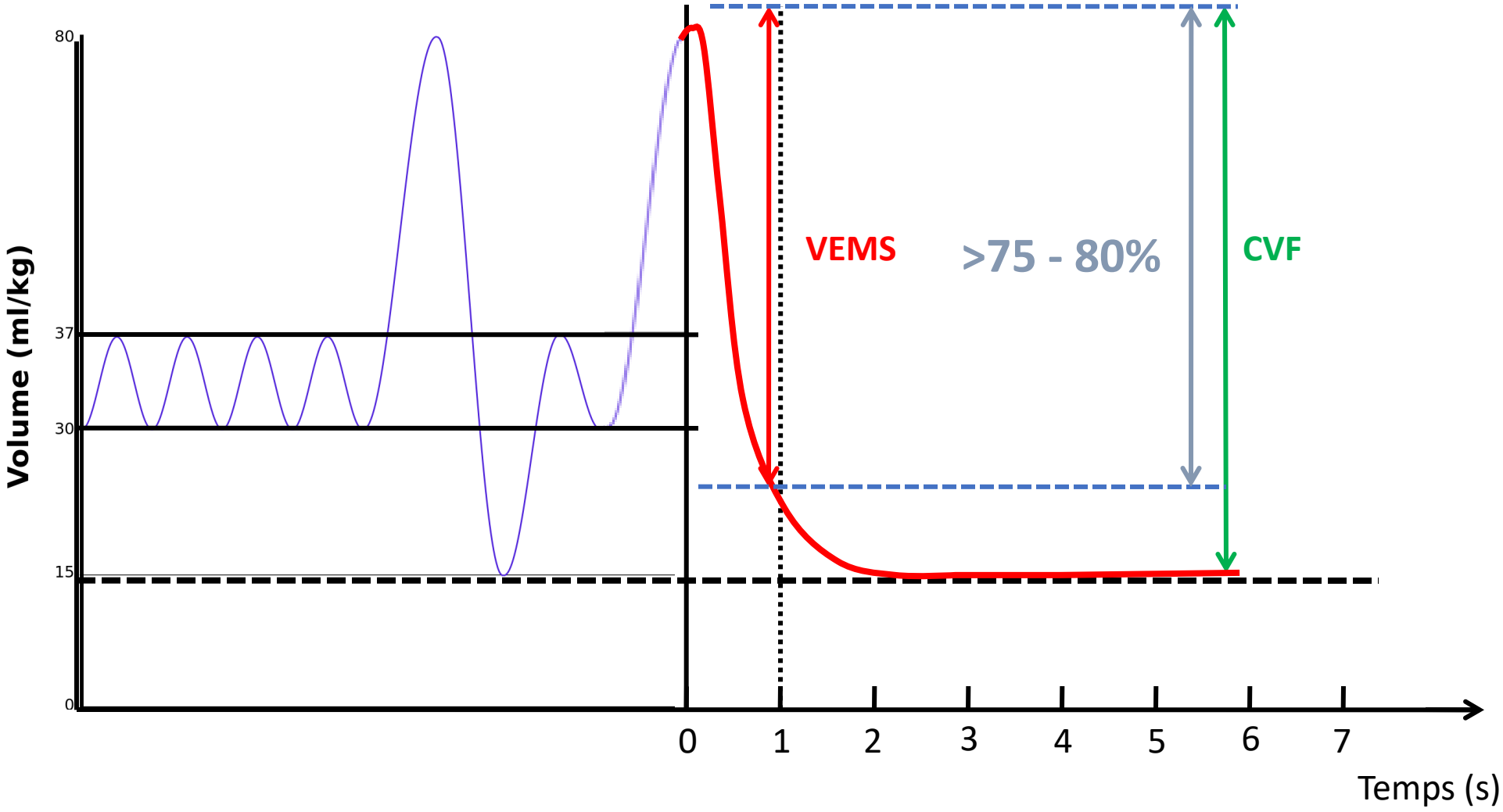


Expiration forcée

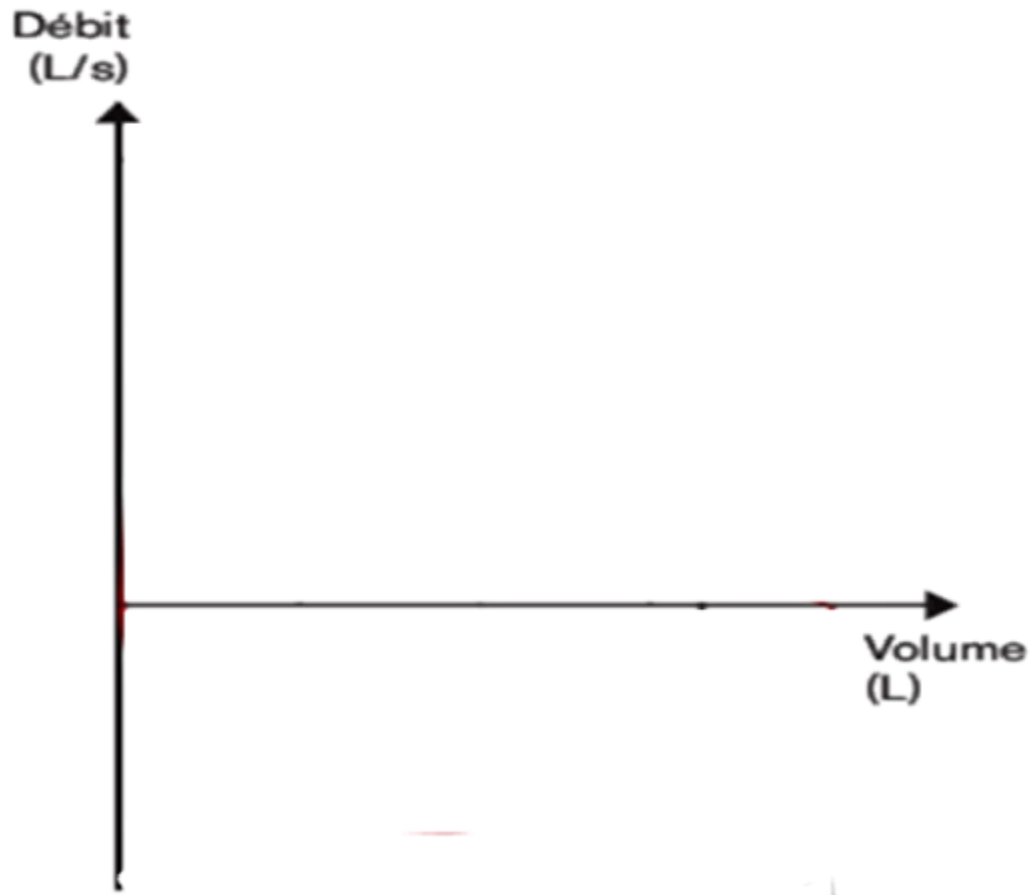


Expiration forcée

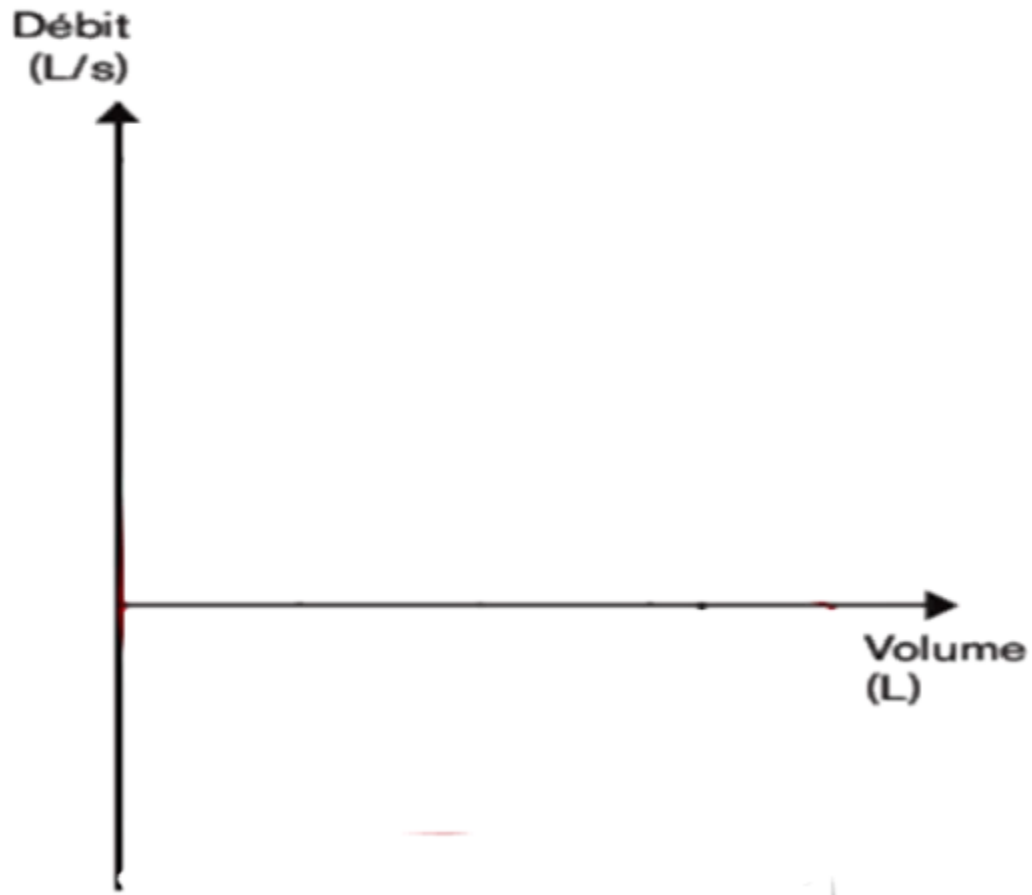
VEMS/CVF >70%



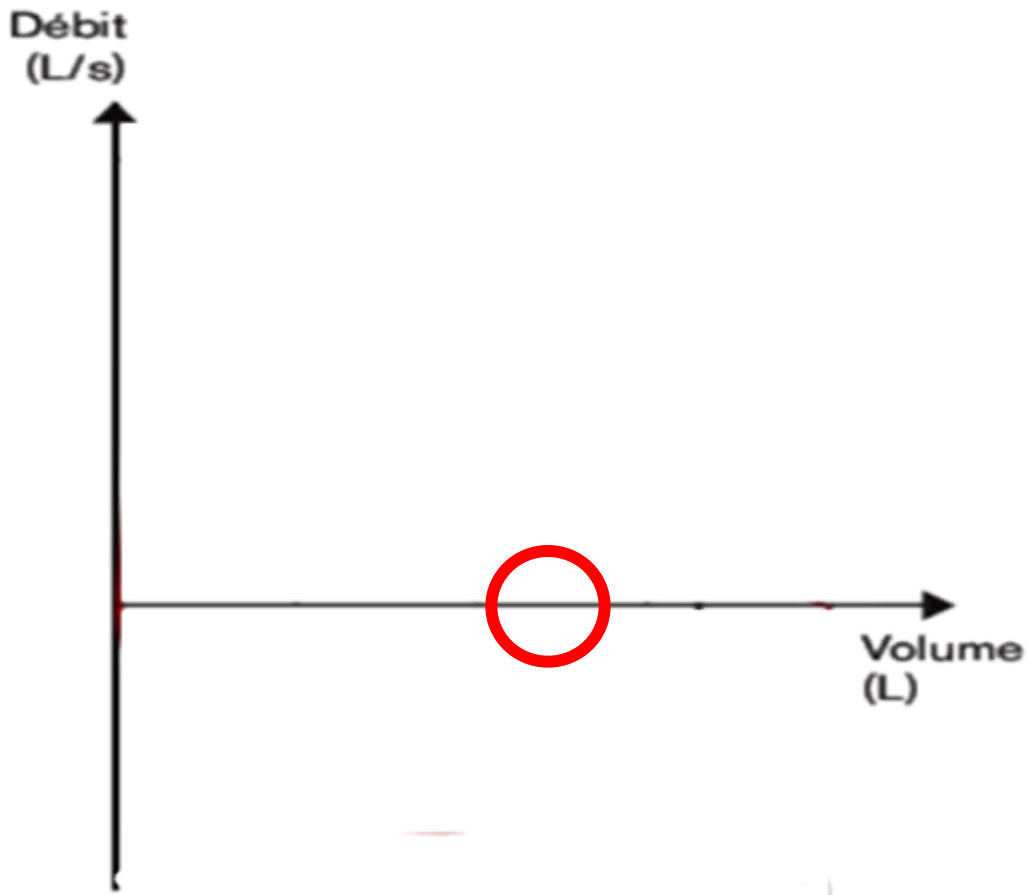
Courbe débit / volume



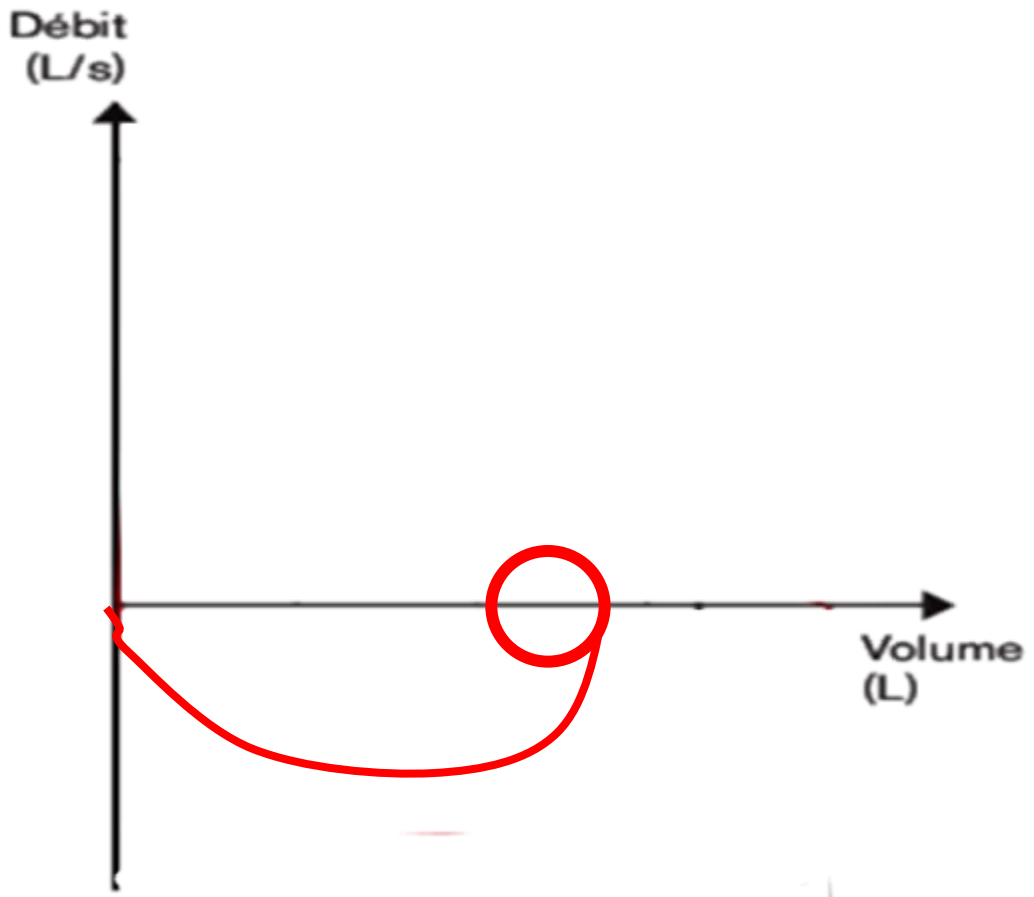
Courbe débit / volume



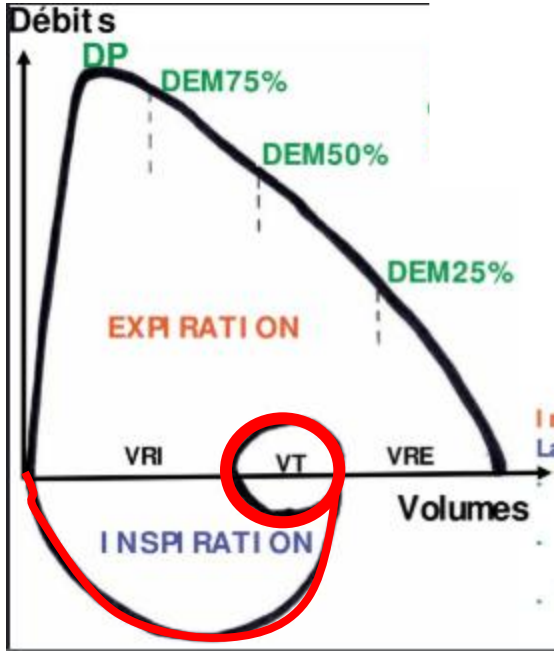
Courbe débit / volume



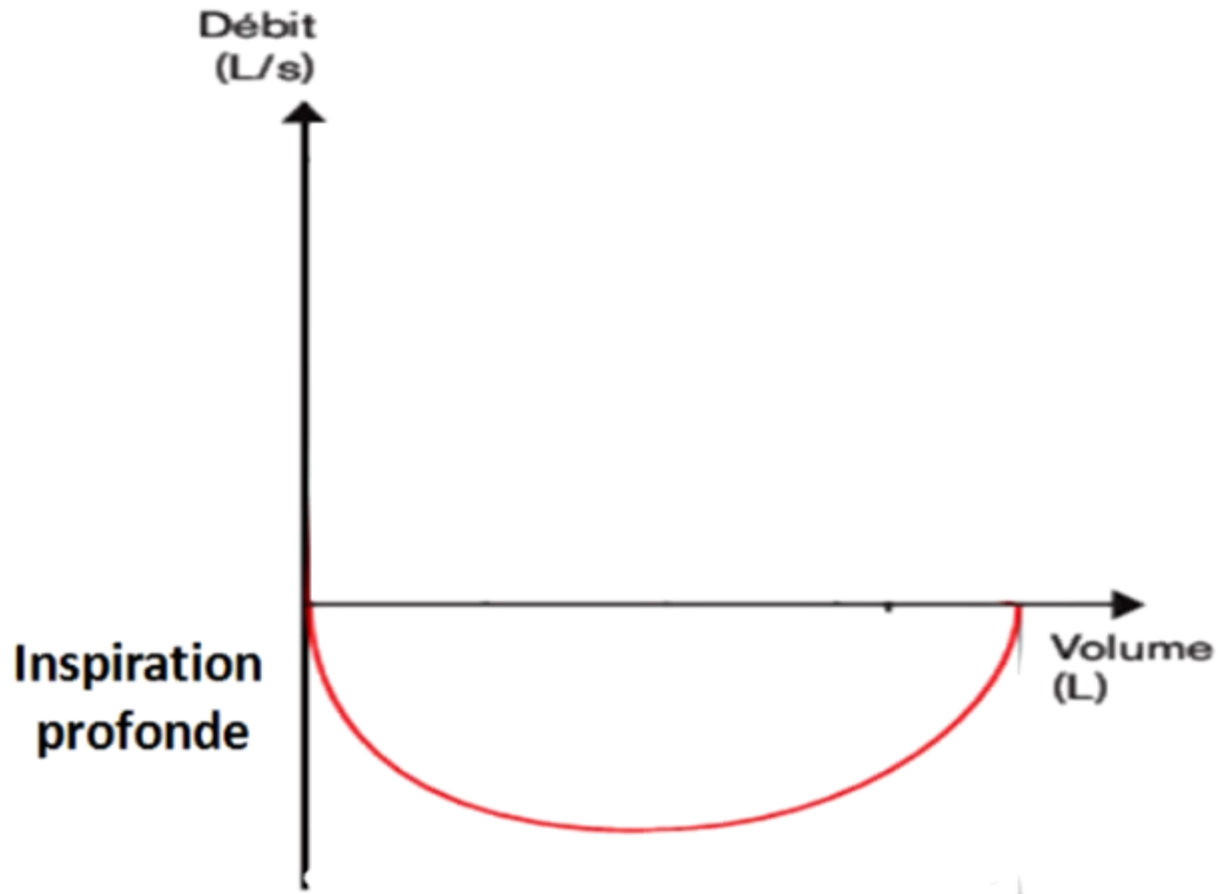
Courbe débit / volume



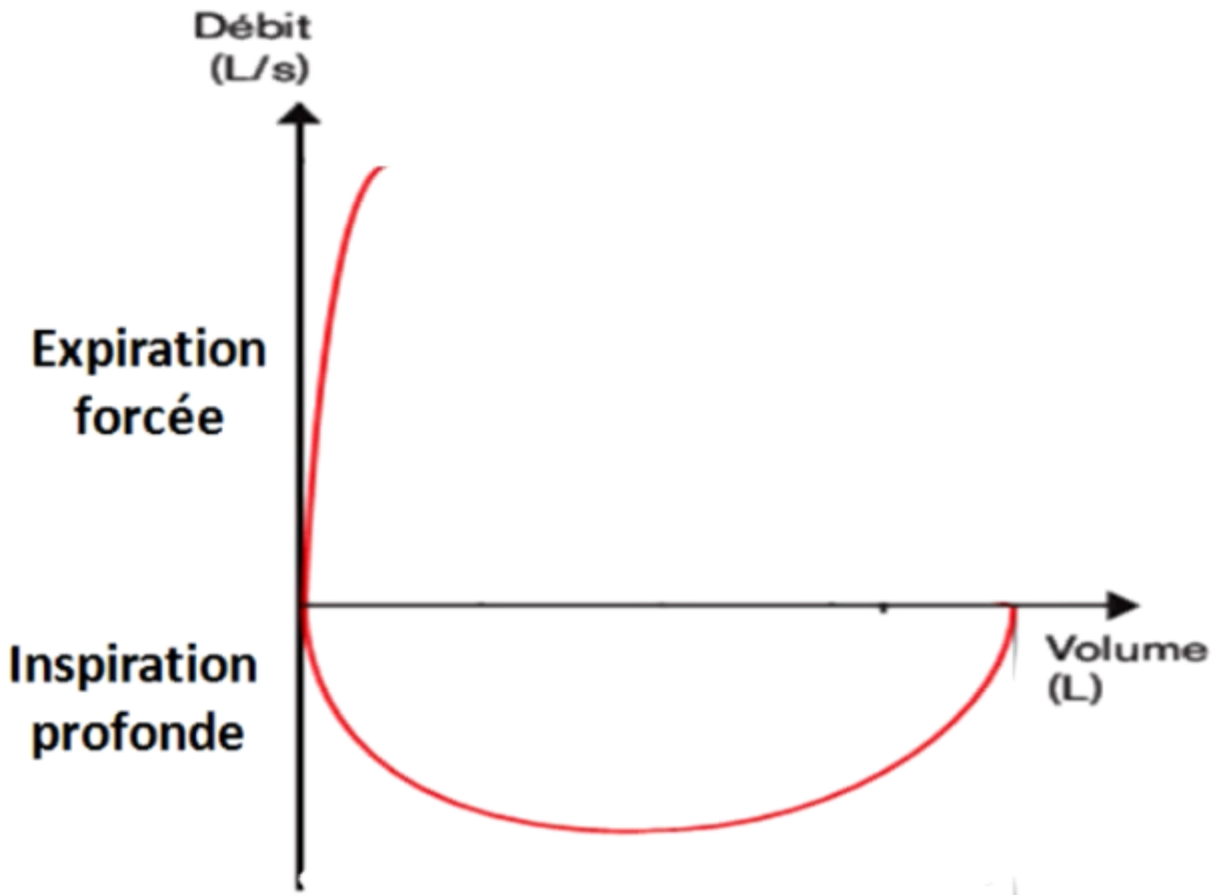
Inspiration profonde


Débits
DP
DEM75%
DEM50%
DEM25%
EXPIRATION
VRI
VT
VRE
Volumes
INSPIRATION

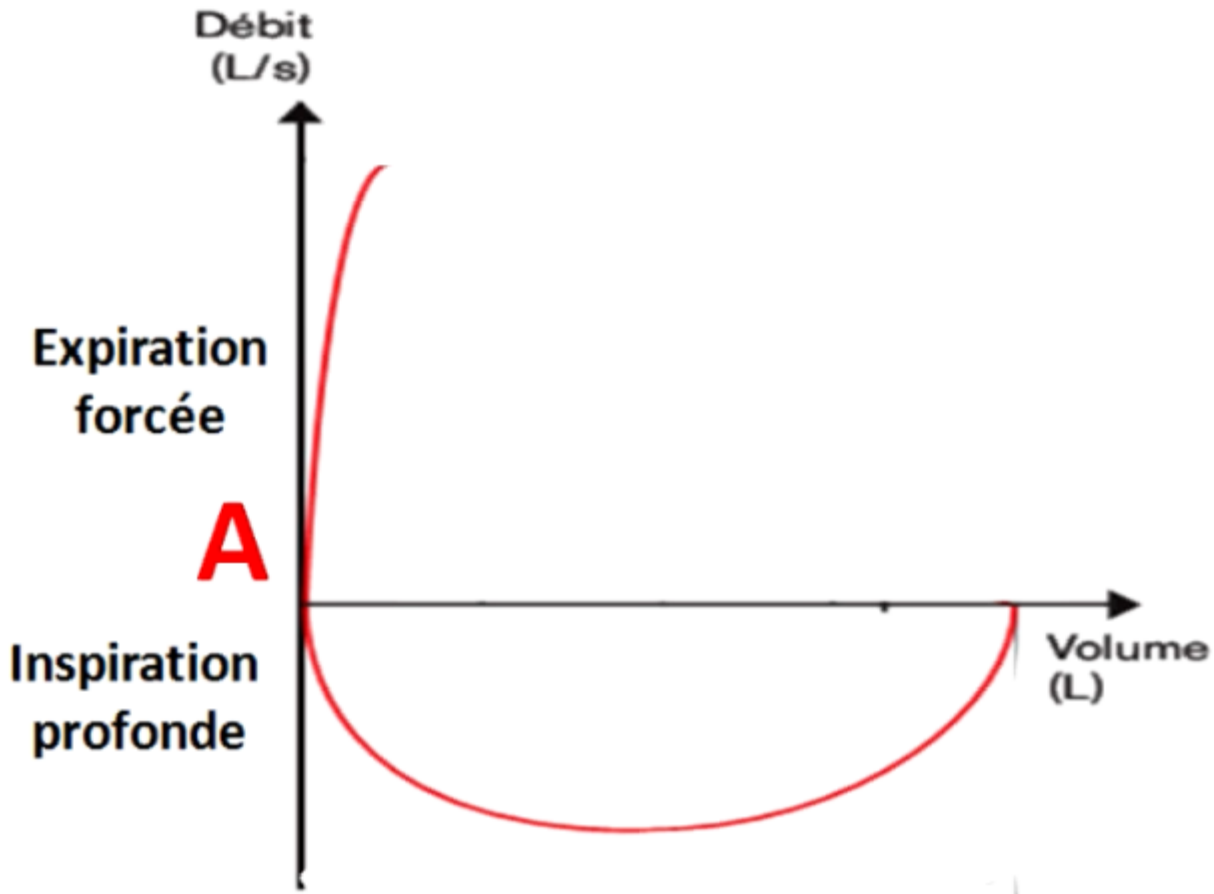
Courbe débit / volume



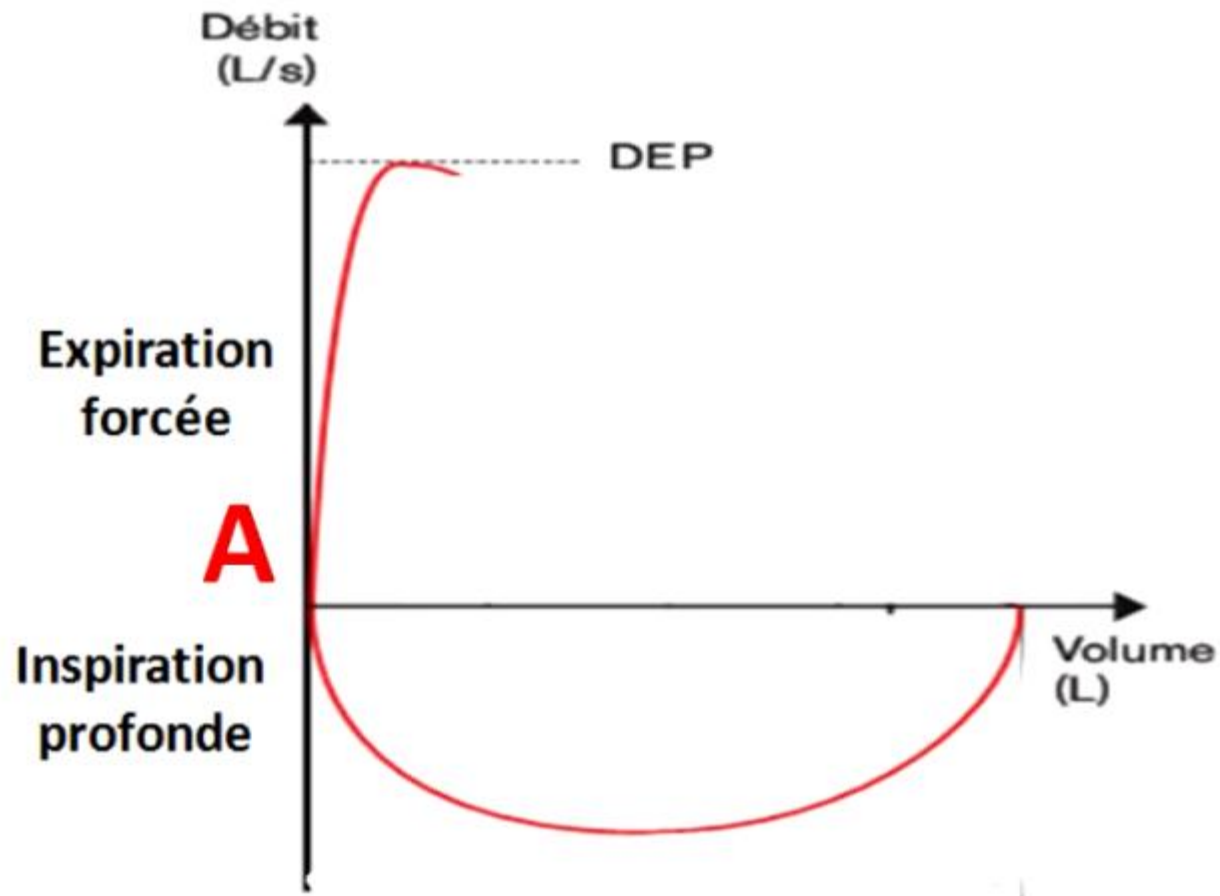
Courbe débit / volume



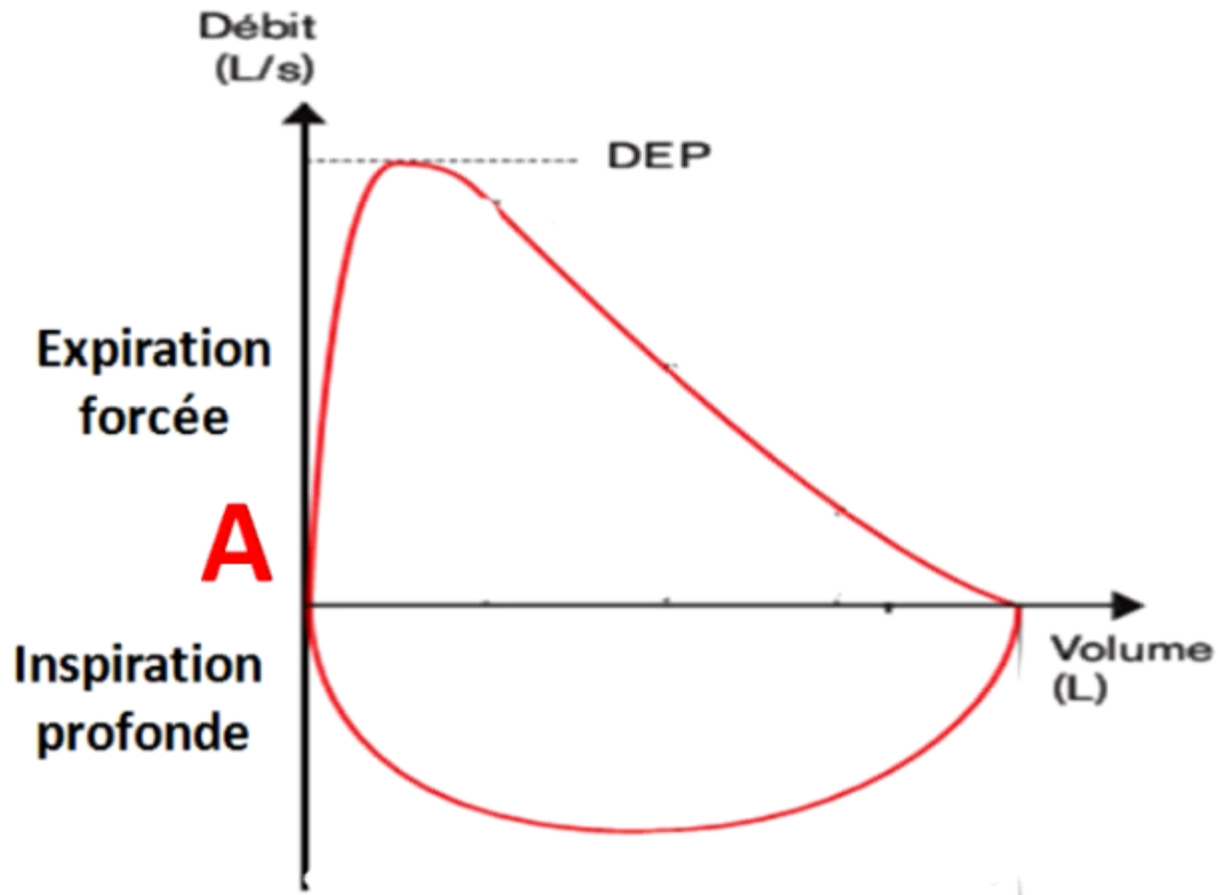
Courbe débit / volume



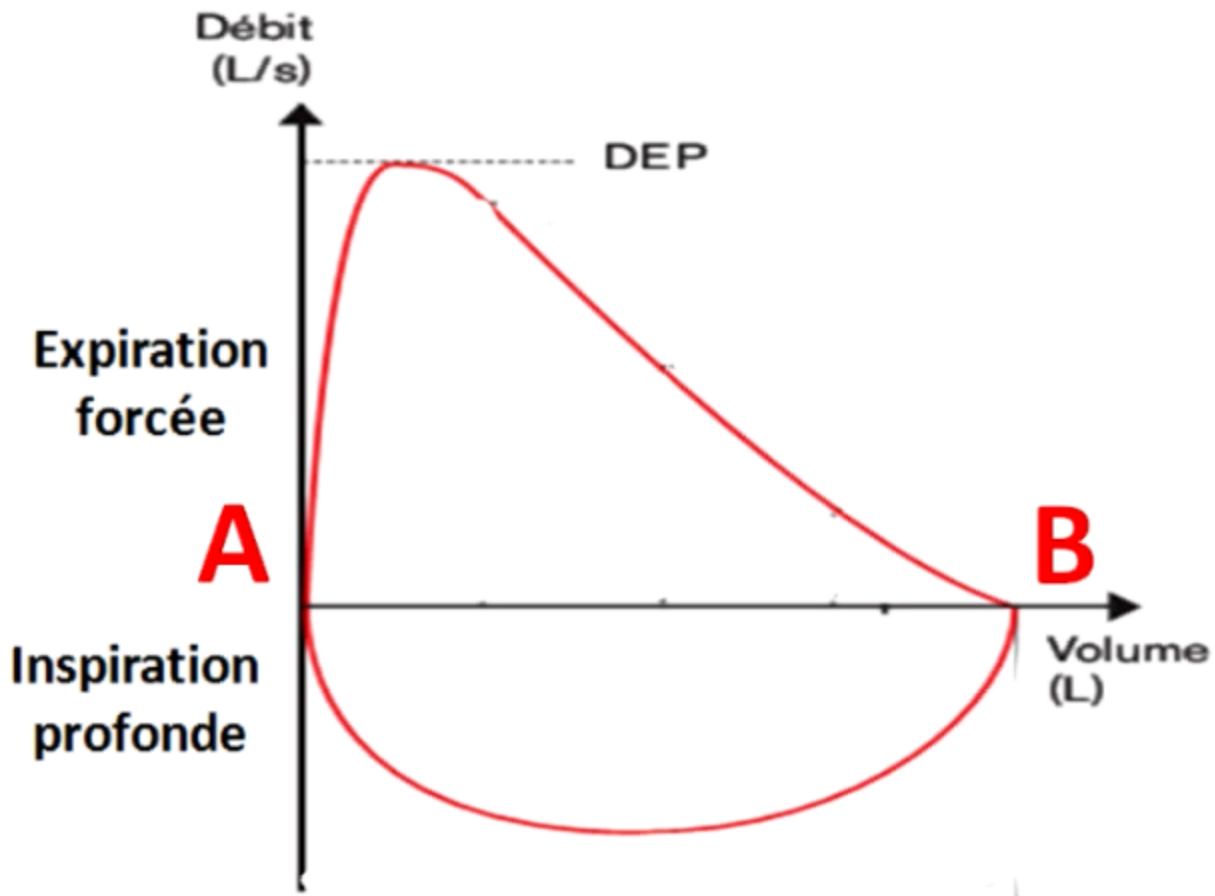
Courbe débit / volume



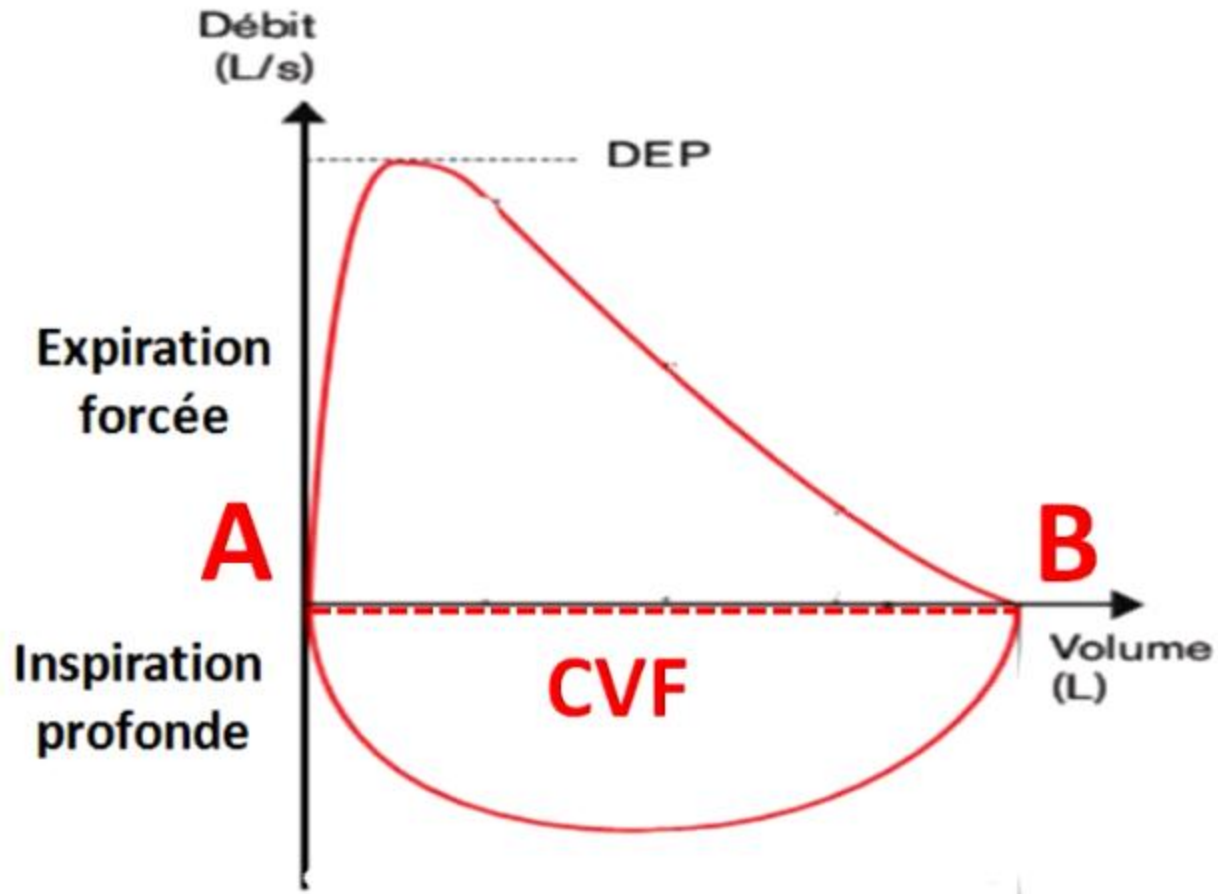
Courbe débit / volume



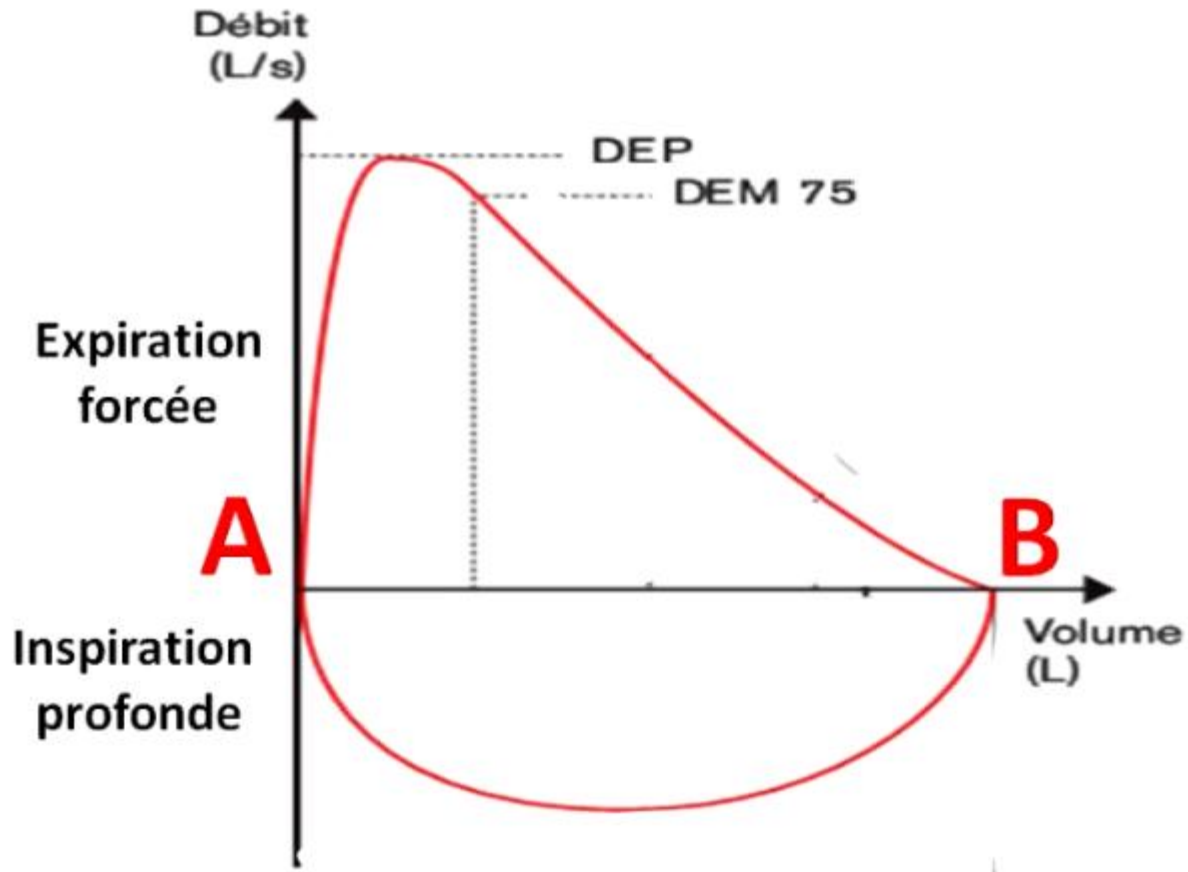
Courbe débit / volume



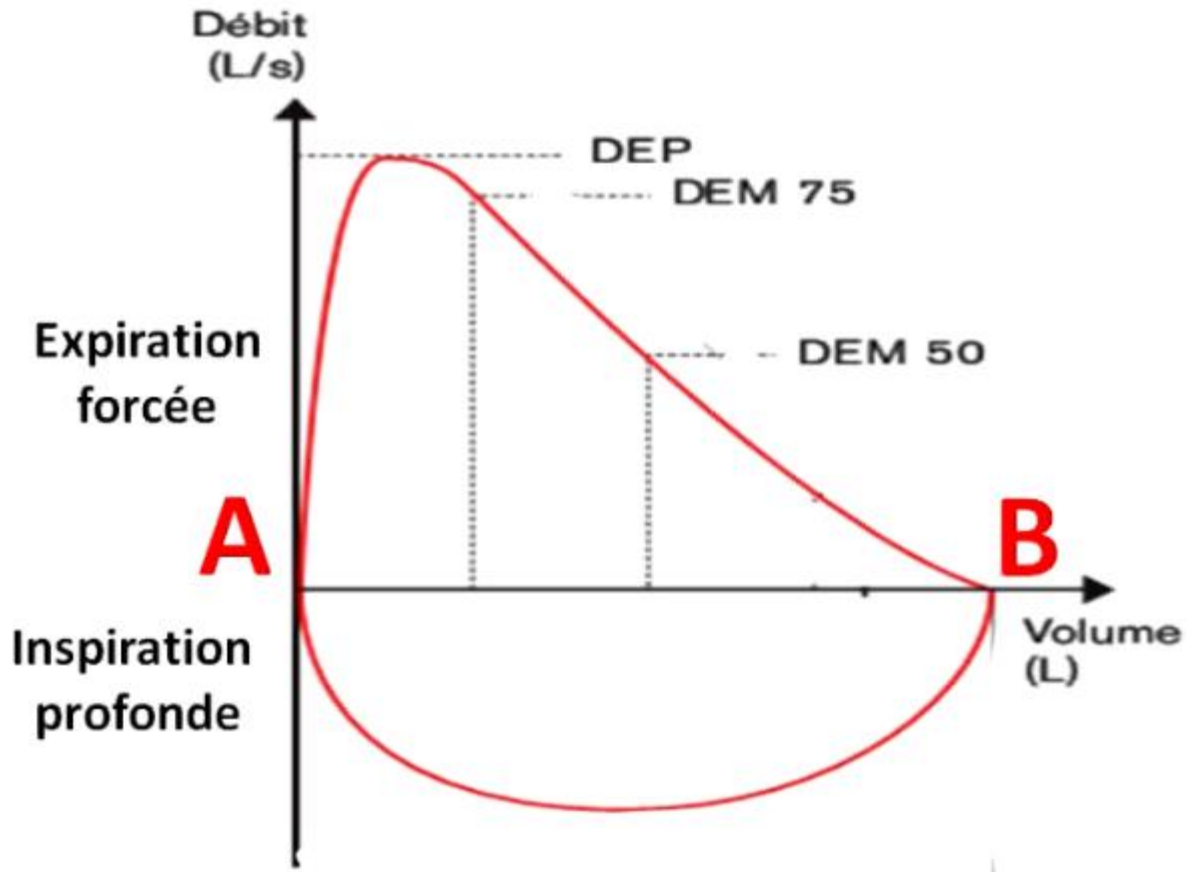
Courbe débit / volume



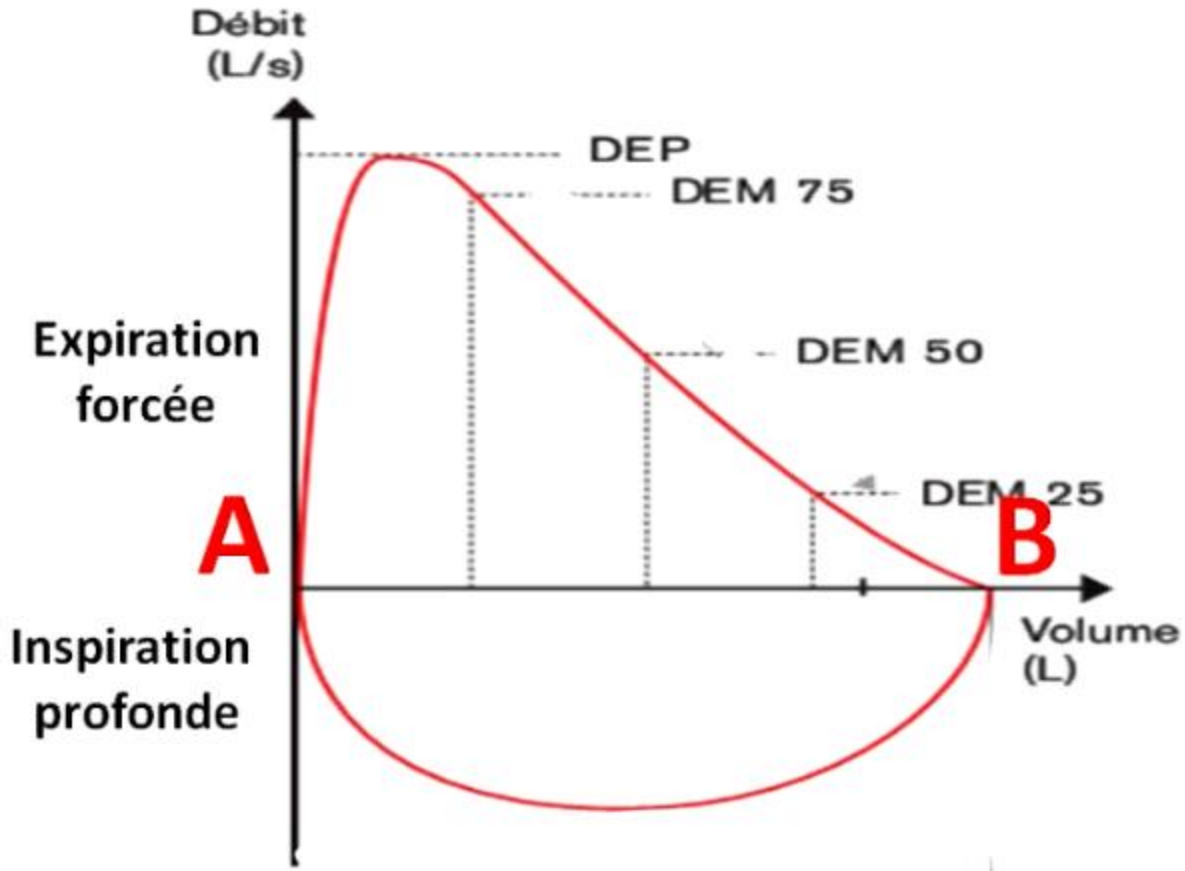
Courbe débit / volume



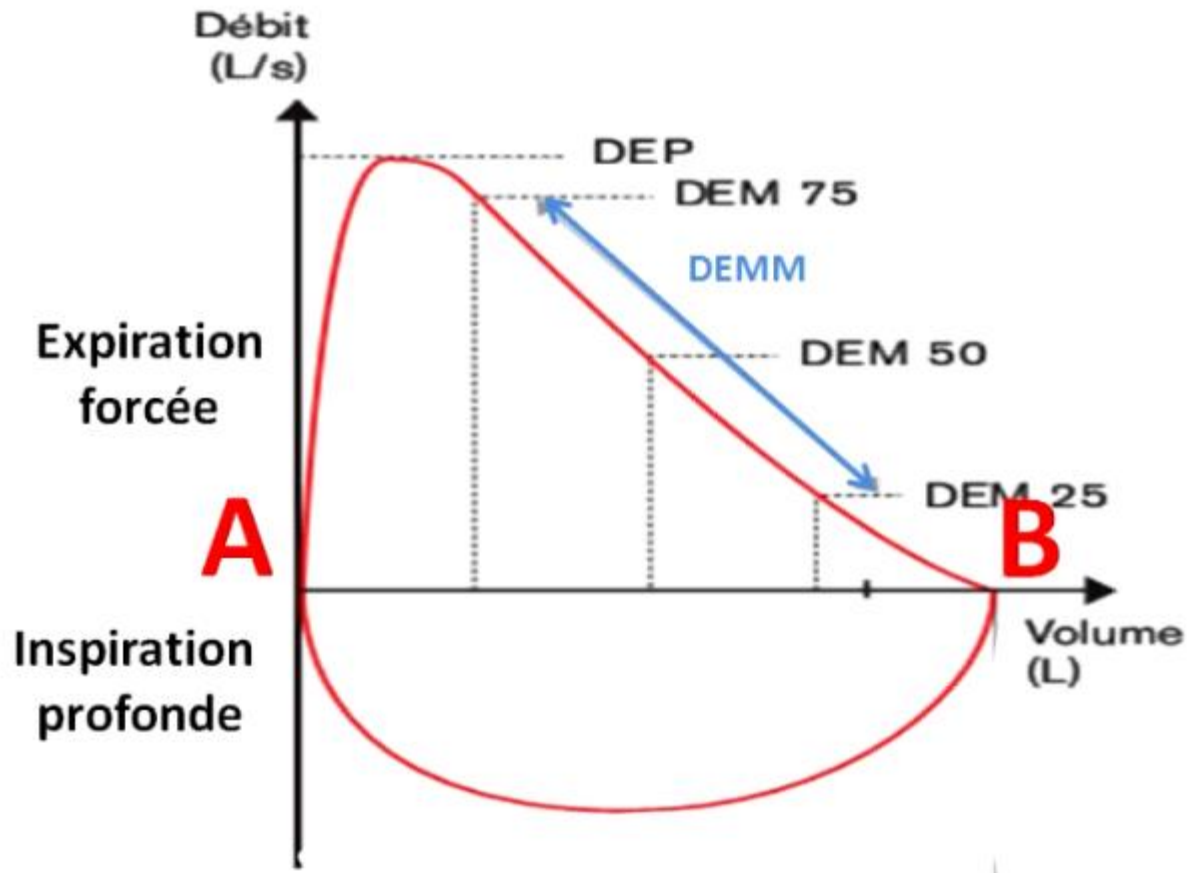
Courbe débit / volume



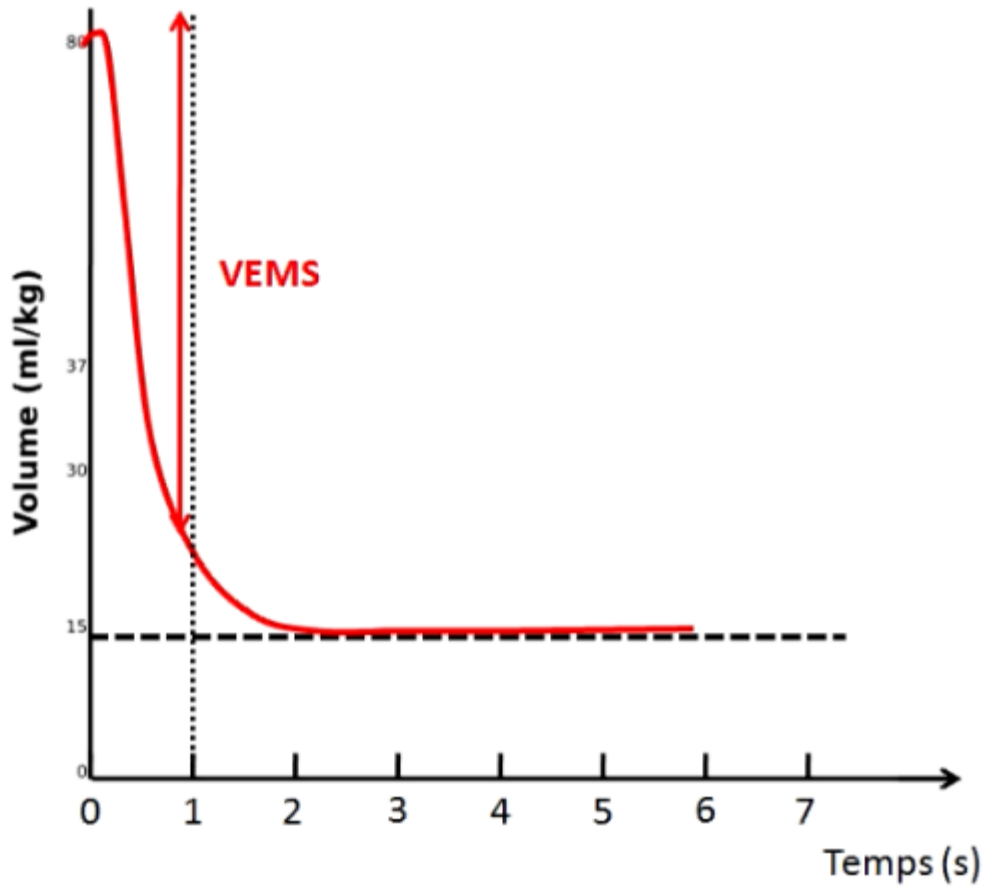
Courbe débit / volume



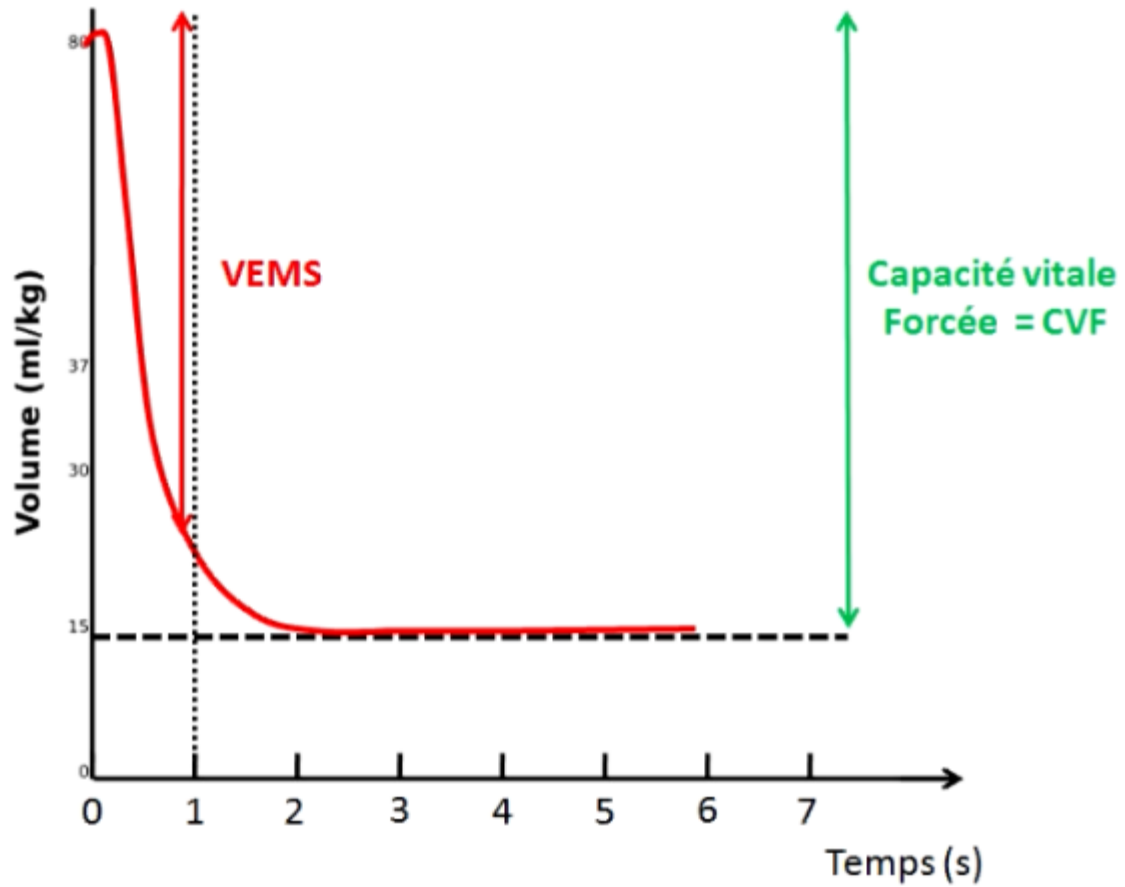
Courbe débit / volume



Expiration forcée

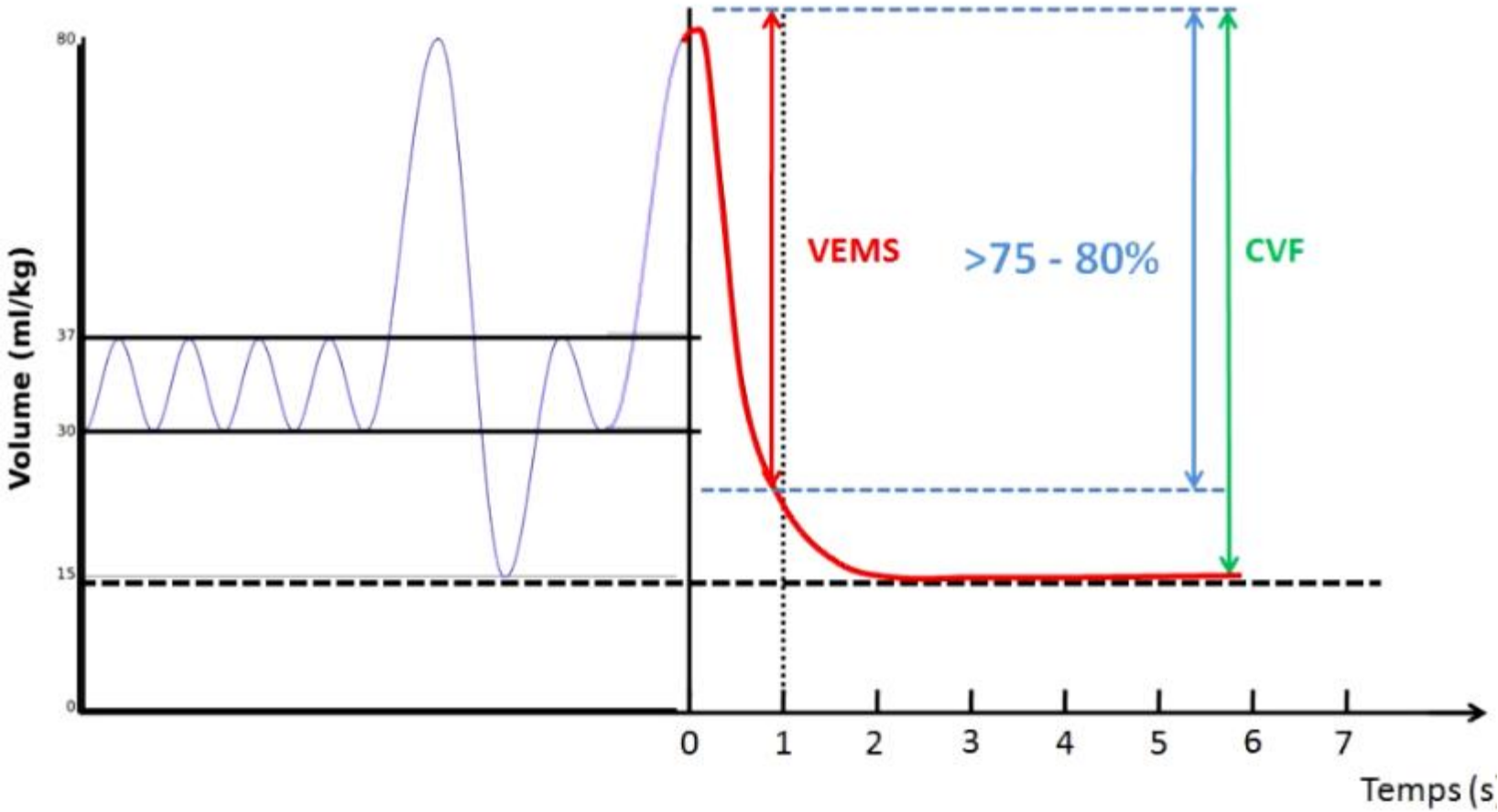


Expiration forcée



Expiration forcée

VEMS/CVF >70%



Interprétation des valeurs

- Valeurs normales, valeurs prédites, valeur théorique, valeur de référence.
- Les volumes et les débits sont exprimés en valeur absolue et en pourcentage de la valeur prédite
- sujets adultes caucasiens, sains, ayant les mêmes caractéristiques anthropométriques (âge, sexe, taille).
- Elles sont utilisables pour des personnes âgées de 18 à 70 ans, dont la taille est comprise entre 155 et 195 cm pour les hommes et 145 et 180 cm pour les femmes.
- Ils sont considérés comme anormaux lorsqu'ils sont inférieurs à 80 % de la valeur prédite ou supérieurs à 120 % de la valeur prédite.

Mesure de volumes non mobilisables

- ***Dilution de l'hélium*** :

la méthode la plus couramment utilisée pour mesurer la CRF est celle de la dilution de l'hélium.

L'hélium est un gaz qui ne franchit pas la barrière alvéolocapillaire et ne se répartit donc

que dans le compartiment ventilé du poumon.

Pour mesurer la CRF, le spiromètre est d'abord rempli avec un volume connu d'air contenant une quantité connue d'hélium.

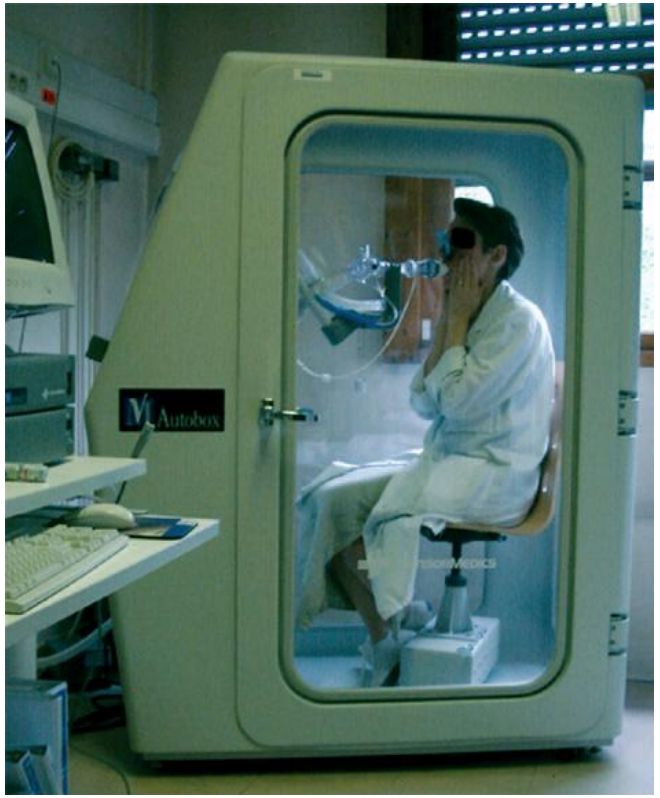
Le patient est ensuite connecté au spiromètre et ventile de manière calme à partir de sa CRF, jusqu'à l'équilibration complète du mélange gazeux entre le spiromètre et ses poumons. La concentration d'hélium est mesurée à l'intérieur du spiromètre et le volume pulmonaire dans lequel l'hélium a été dilué est calculé

Mesure de volumes non mobilisables

- ***Pléthysmographie:***

La technique pléthysmographique constitue la méthode de référence de mesure du volume gazeux thoracique, le plus souvent à la CRF

Elle permet aussi le mesure des résistances bronchiques



Test de bronchodilatation

Les tests de réversibilité de l'obstruction bronchique se présentent symétriquement aux tests de bronchoconstriction.

Test pharmacologique rapide : aux bronchodilatateurs

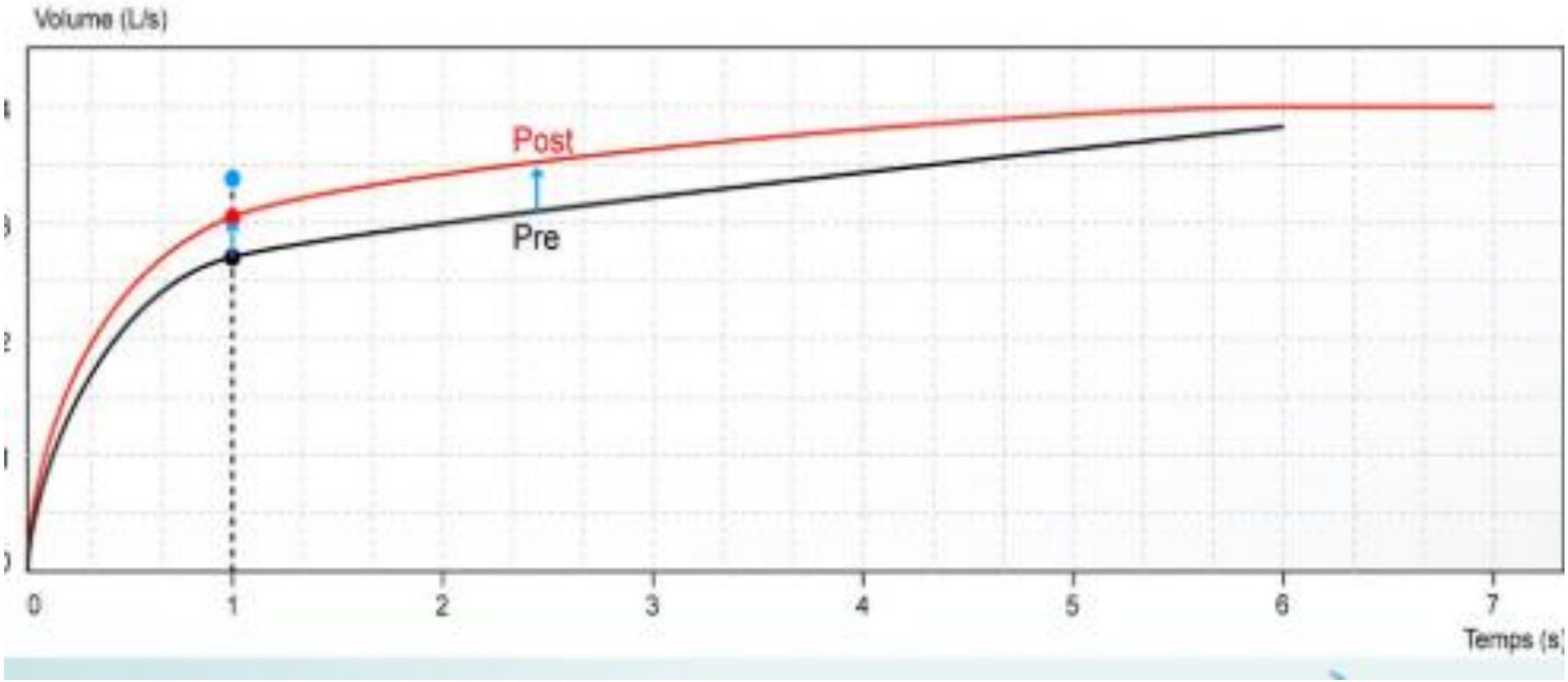
L'agent bronchodilatateur le plus fréquemment utilisé est un b2-agoniste. Il est néanmoins possible de tester aussi des anticholinergiques ou des stéroïdes.

La réversibilité de l'obstruction bronchique est définie par une amélioration du VEMS d'au moins 12 % en comparaison à sa valeur prédite et d'au moins 200 ml.

La 2ème spirométrie est réalisée 10-15 minutes après: la valeur du *"VEMS pré BD"* et celle du *"VEMS post BD"*

Test pharmacologique "lent" aux corticoïdes : corticothérapie systémique (prednisone = 0,5mg/k/j) de durée brève (10-15 jours)

2ème spirométrie réalisée après deux semaines d'intervalle


Volume (L/s)
Post
Pre
0
1
2
3
4
5
6
7
Temps (s)

Test de provocation

- Le test de bronchoprovocation recherche une réponse exagérée à un stimulus bronchoconstricteur. La plupart du temps, la réponse est évaluée en termes de modification induite du VEMS.
- Cette épreuve est particulièrement pertinente chez les patients rapportant des symptômes compatibles avec de l'asthme et dont les tests spirométriques sont normaux.
- Certaines contre indications doivent être respectées comme un VEMS inférieur à 1,2 l chez l'adulte, un infarctus du myocarde datant de moins de 3 mois, la présence d'un anévrisme artériel, et l'incapacité de comprendre les manœuvres nécessaires à la réalisation du test.
- Pour réaliser le test, le patient inhale des concentrations croissantes d'un agent bronchoconstricteur, non spécifique le plus souvent. la métacholine administrée en aérosol par un dosimètre. Entre chaque administration, on mesure le VEMS.
- L'hyperréactivité est définie par une diminution du VEMS de plus de 20 % pour une dose cumulative maximale inférieure à 1 600 µg.

Sémiologie ventilatoire fonctionnelle

Le syndrome restrictif:

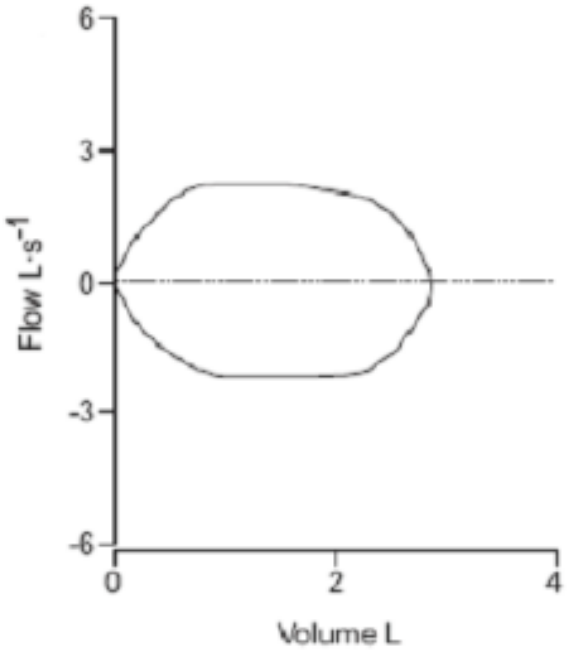
- Le syndrome restrictif ou trouble ventilatoire restrictif est défini par une diminution de la CPT. **CPT < 80%**
- Le diagnostic de syndrome restrictif nécessite donc une mesure des volumes non mobilisables (CRF ou VR) ;

Le syndrome obstructif

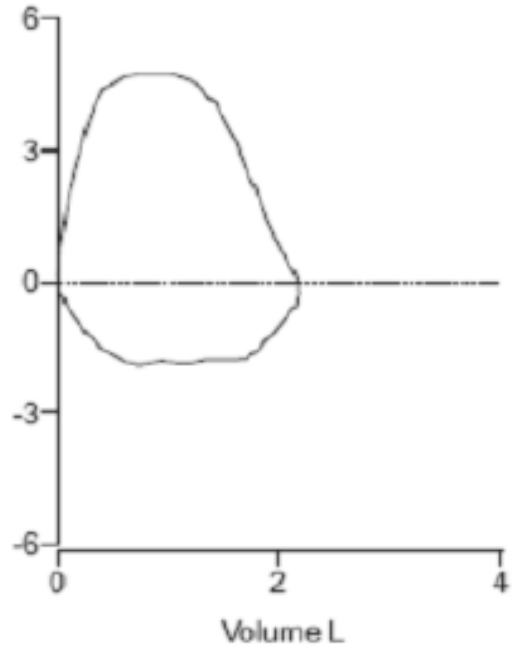
- Le syndrome obstructif ou trouble ventilatoire obstructif est défini par une diminution de la valeur du rapport VEMS/CV. VEMS/CVF < 70%
- Le rapport VEMS/CV sert donc à établir la réalité du trouble ventilatoire obstructif ;
- Lorsque le trouble ventilatoire obstructif est établi, la valeur du VEMS permet de quantifier la gravité du trouble.
- La réversibilité du troublez est appréciée par les tests pharmacologiques

Trouble ventilatoire mixte

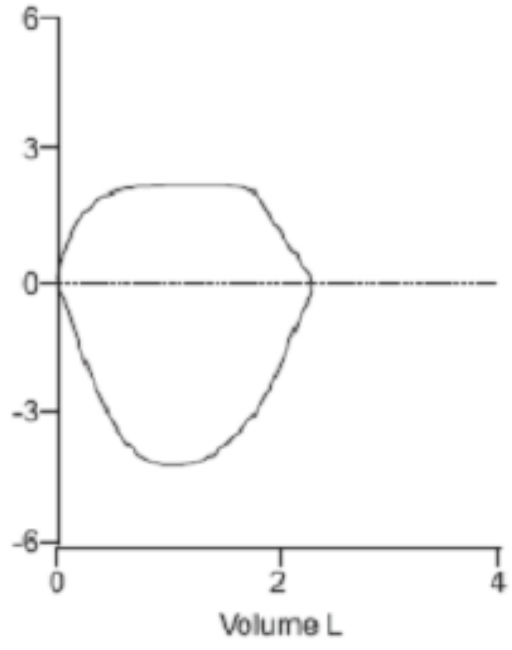
- Association d'un trouble ventilatoire restrictif et d'un trouble ventilatoire obstructif.



Obstruction fixe
Intra ou extrathoracique

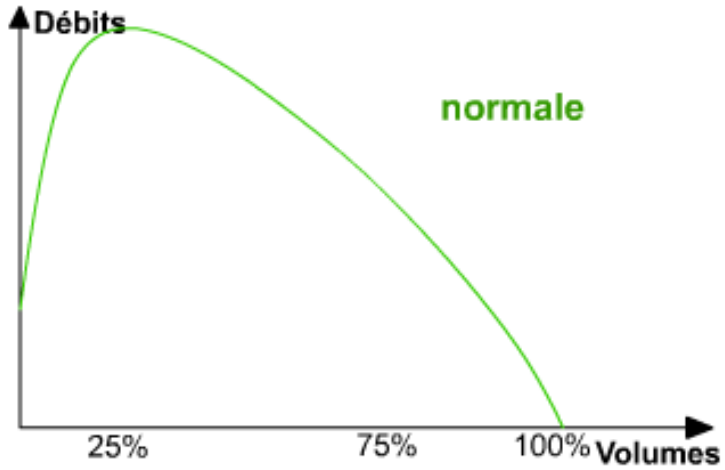


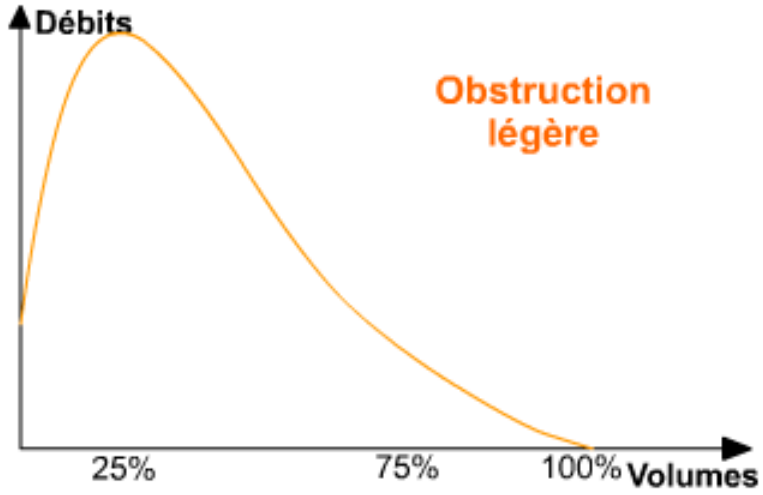
Obstruction variable extrathoracique

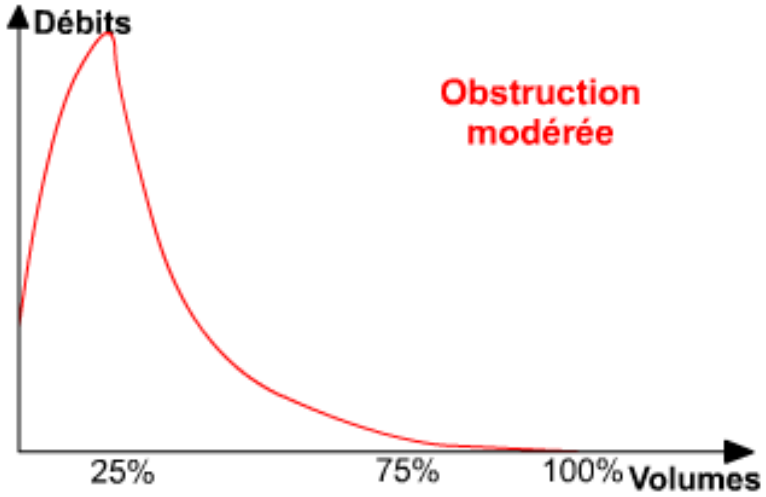


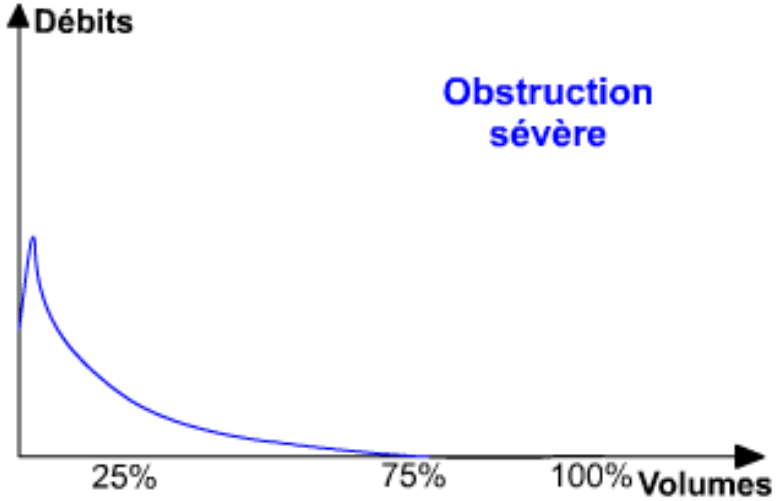
Obstruction variable intrathoracique

Eur Respir J 2005; 26: 948–968


Débits
normale
25%
75%
100%
Volumes


Débits
Obstruction
légère
25%
75%
100%
Volumes


Débits
Obstruction
modérée
25%
75%
100%
Volumes


Débits
Obstruction
sévère
25%
75%
100%
Volumes

Stade de sévérité	Définition
I léger	VEMS≥80%
II modéré	VEMS 50-80%
III sévère	VEMS 30-50%
IV très sévère	VEMS<30% OU <50% ET insuffisance respiratoire ou cardiaque droite

Mécanismes permettant les échanges gazeux:

- Diffusion de la membrane alvéolo-capillaire
- Sang artériel
- Rapport ventilation/perfusion

Les perturbations cellulaires et moléculaires bronchiques

– Indices utiles mesurés :

la fraction expirée du NO (FeNO) est la seule mesure réalisable en pratique courante,

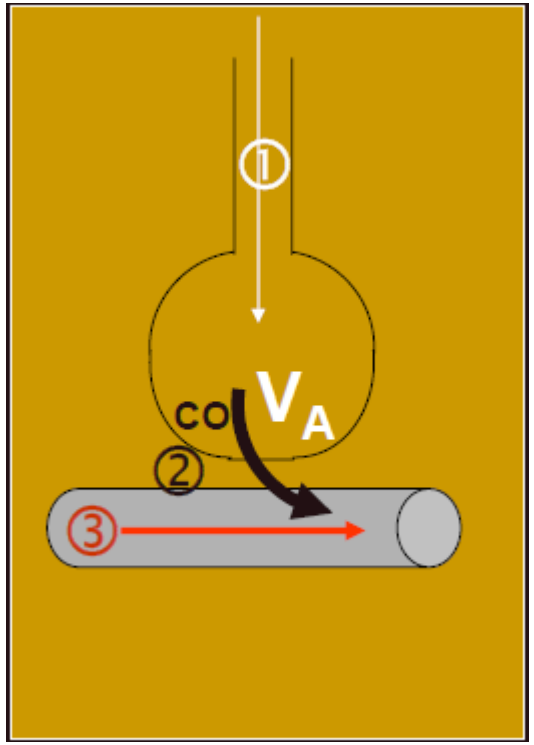
– Anomalies typiques dans l'asthme :

- **augmentation du NO expiré (bronchique) = inflammation respiratoire à éosinophiles (allergique).**

Capacité de diffusion du monoxyde de carbone

- TCO ou transfert du CO des alvéoles vers l'hémoglobine à travers la membrane alvéolocapillaire est fonction du facteur de transfert est appelé TL ou DL

- Le transfert du CO explore le système respiratoire dans sa globalité (ventilation, diffusion, circulation, hémoglobine).
- **DLCO est abaissée si** (ou TLCO) **< 70%** de la valeur **théoriq**ue
- le rapport DLCO/VA ou KCO ou coefficient de transfert du CO : le transfert du CO dépend du VA disponible pour sa diffusion



1. Surface d'échange
2. Épaisseur de la membrane alvéolo-capillaire
3. taux d'hémoglobine

Capacité de diffusion du monoxyde de carbone

rapport TLCO/VA abaissé :

1. Emphysème ou embolie pulmonaire (↓ surface d'échange)

2. Pneumopathie infiltrative diffuse (↑ épaisseur de la membrane alvéolo-capillaire)

3. Maladies vasculaires pulmonaires (embolie pulmonaire ou hypertension pulmonaire)

Gazométrie

- Réalisée en général **au repos**, mais peut aussi se faire **à l'effort** (cf. infra), chez un patient **en air ambiant** ou **sous oxygène**
- La mesure des gaz du sang est effectuée sur un prélèvement Artériel
- Test modifié d'Allen: perméabilité de l'artère cubitale
- Elle permet de mesurer: la PO2, la PCO2 et le pH. À partir de ces données, ils calculent la bicarbonatémie (HCO3 -) et la saturation de l'hémoglobine artérielle en oxygène (SaO2).

Valeurs	normales	étendue	unité
pH	7,4	± 0,05	
$PaCO_2$	40	± 2	mmHg
	5,3	± 0,3	kPa
PaO_2	95	± 5	mmHg
	12,6	0,5	kPa
HCO_3-	24	± 2	mmol/l

Regarder la valeur du pH

pH < 7,40 = ACIDOSE

pH > 7,40 = ALCALOSE

pH parfaitement régulé durant toute la vie, traduit l'équilibre acido-basique: pH normal normal ou anomalie compensée

Déterminer la cause de l'anomalie du pH :

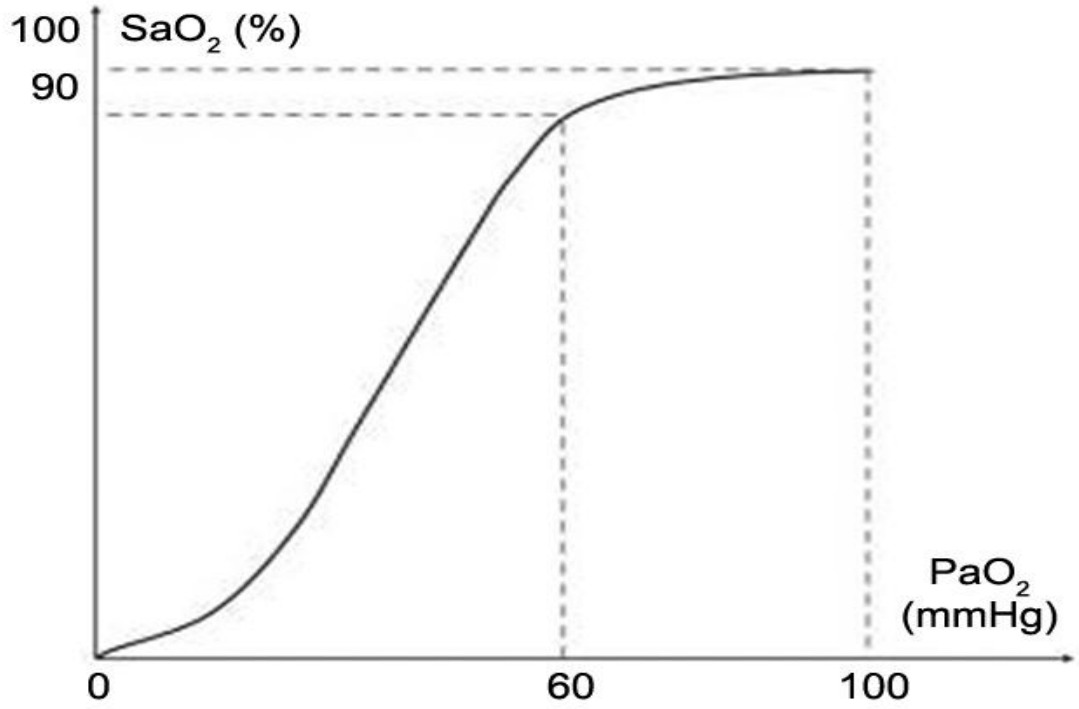
- METABOLIQUE (taux des bicarbonates sanguins : bases)
- RESPIRATOIRE (valeur de la PaCO2 : acide)

Gazométrie

- Limites de la mesure de la SaO2 :

En raison de la relation qui lie SaO2 et PaO2, la baisse de la SaO2 n'apparaît que tardivement au cours des pathologies hypoxémiantes

On retiendra qu'une SaO2 < 90 % témoigne déjà d'une hypoxémie profonde (PaO2 < 60 mmHg)



Oxymétrie transcutanée

- Mesure de la saturation de pouls en O2 de l'hémoglobine (**SpO2**) au repos : un capteur (lobe de l'oreille ou doigt) mesure la différence d'absorption de la lumière rouge et infrarouge en fonction de l'oxygénation de l'hémoglobine.
- Il s'agit d'un reflet indirect de la SaO2. Une désaturation est définie comme une chute de 4 % de la SpO2.

Intérêts :

- Surveillance continue de la SpO2 chez un patient en insuffisance respiratoire aiguë
- Détection des désaturations en O2 lors du sommeil ou à l'effort

Limites :

- Ne détecte pas l'hypoxémie modérée (cf supra et figure 4)
- Nécessite pour être valable une pression de perfusion capillaire suffisante (ne fonctionne
- pas en cas en cas de choc ou de vasoconstriction)
- N'est fiable en termes de représentation de la SaO2 que pour des valeurs comprises entre
- 70% et 100%
- Ne détecte pas une baisse de SaO2 liée à la présence d'HbCO ou de MetHb
- Ne tient pas compte du pH ni de la PaCO2

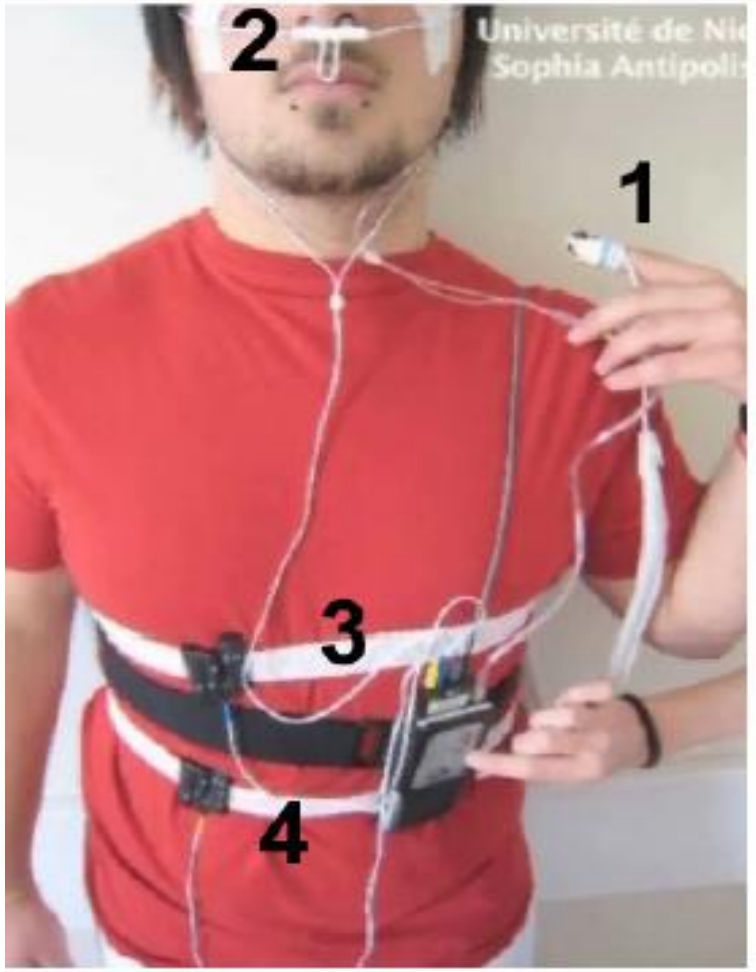
Épreuves d’effort

- **Exercice charge croissante sur bicyclette ergométrique**
  (VO2 max, W max)
- **Test de marche de 6 minutes +++**
  Corridor 30 mètres
  Consigne : marcher pour parcourir la plus grande distance possible en 6 min.
- Pas d'encouragement mais temps indiqué chaque min.
- Évaluation des résultats :
- Distance parcourue
- Dyspnée (échelle visuelle analogique)
- Saturation
- Cinétique fréquence cardiaque

Polygraphie et polysomnographie

Principe : mesure en continu :

- De la SpO_2 et de la fréquence cardiaque (1)
- Des débits aériens nasal (2) ± buccal
- Des mouvements thoraco-abdominaux par des sangles thoracique (3) et abdominale (4)
- De l'activité électro-encéphalographique♣ (permettant d'établir un hypnogramme)
- De l'activité électro-myographique (électro-oculogramme, EMG mentonnier et jambier antérieur)
- Au cours d'une nuit de sommeil♦



Indications :

- Troubles respiratoires au cours du sommeil :
  - syndrome d'apnées du sommeil (SAS) obstructives ou centrales
  - syndrome d'obésité hypoventilation
- Autres troubles du sommeil :
  - syndrome des jambes sans repos
  - narcolepsie-cataplexie
- Contrôle de l'efficacité des thérapeutiques :
  - Pression Positive Continue dans les SAS obstructives
  - dérivés dopaminergiques dans le syndrome des jambes sans repos, ….