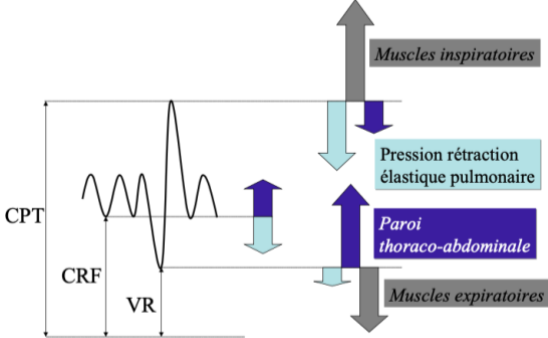
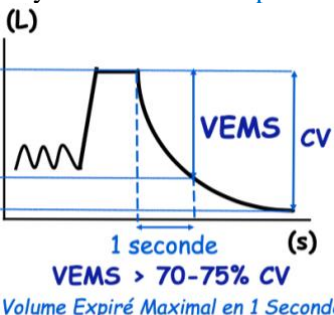
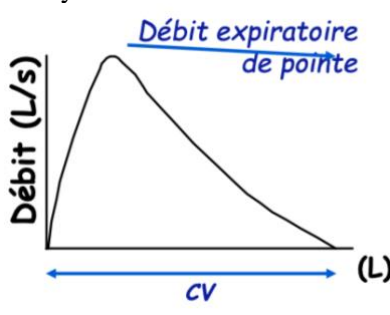


I. Introduction : les atteintes respiratoires	
En physiologie, on modélise le système respiratoire par un tuyau rigide (VA) et un sac (poumons). → Il existe différentes atteintes respiratoires du système mécanique :	
1. Obstruction des bronches (par réduction du calibre des VA)	<ul style="list-style-type: none"> • Transitoire : liée à la contraction du muscle lisse bronchique Ex : Asthme
	<ul style="list-style-type: none"> • Permanente : liée au remodelage (épaississement de la paroi) Ex : BPCO (<i>Broncho-Pneumopathie Chronique Obstructive, secondaire au tabagisme dans 80% des cas</i>)
	→ A l'EER : on étudie les débits en expiration forcée et la résistance des VA en respiration calme
2. Atteinte du parenchyme pulmonaire	<ul style="list-style-type: none"> • Fibroses : dépôts de MEC (collagène fibrillaire) → √ Volume pulmonaire
	<ul style="list-style-type: none"> • Emphysème pulmonaire : destruction des fibres élastiques → modification de la compliance pulmonaire (↗ du volume mais √ de la surface d'échange)
	→ A l'EER : on mesure les volumes statiques et la compliance du poumon (+ rare)
3. Atteinte du système mécanique actif (= muscles)	<ul style="list-style-type: none"> • Myopathies : aboutissent à des atteintes diaphragmatiques (<i>muscle moteur de la respiration</i>)

II. L'EFR (Explorations Fonctionnelles Respiratoires)													
A. Indications des EFR	<ul style="list-style-type: none"> • Dépistage d'une affection respiratoire débutante (symptômes : dyspnée, toux, expectorations) • Diagnostic positif (BPCO ++) • Diagnostic de gravité et évaluation de la sévérité des maladies pulmonaires • Suivi évolutif de la maladie et des effets des thérapeutiques • Évaluation préopératoire dans le cadre de la chirurgie pulmonaire 												
B. Constantes respiratoires (1, 2 et 3 sont statiques) (4 et 5 sont mobilisables)	<ol style="list-style-type: none"> 1. CPT (Capacité pulmonaire totale) : volume d'air maximal dans les poumons après inspiration forcée (≈ 6L) 2. CRF (Capacité résiduelle fonctionnelle) : volume d'air dans les VA après une expiration spontanée/non forcée (≈ 3L) → reflet de la compliance 3. VR (Volume résiduel) : volume restant dans les poumons après une expiration forcée (≈ 1,5L) 												
 <p>Le système respiratoire est à l'équilibre ⇔ les vecteurs forces qui font bouger le système s'opposent et s'annulent (rétraction = extension)</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Vers le bas (Forces de rétraction)</th> <th>Vers le haut (Forces d'extension)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CPT</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Pression de rétraction élastique pulmonaire • Paroi thoraco-abdominale </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Muscles inspiratoires </td> </tr> <tr> <td>CRF</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Pression de rétraction élastique pulmonaire </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Paroi thoraco-abdominale </td> </tr> <tr> <td>VR</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Pression de rétraction élastique pulmonaire • Muscles expiratoires </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Paroi thoraco-abdominale </td> </tr> </tbody> </table>		Vers le bas (Forces de rétraction)	Vers le haut (Forces d'extension)	CPT	<ul style="list-style-type: none"> • Pression de rétraction élastique pulmonaire • Paroi thoraco-abdominale 	<ul style="list-style-type: none"> • Muscles inspiratoires 	CRF	<ul style="list-style-type: none"> • Pression de rétraction élastique pulmonaire 	<ul style="list-style-type: none"> • Paroi thoraco-abdominale 	VR	<ul style="list-style-type: none"> • Pression de rétraction élastique pulmonaire • Muscles expiratoires 	<ul style="list-style-type: none"> • Paroi thoraco-abdominale
	Vers le bas (Forces de rétraction)	Vers le haut (Forces d'extension)											
CPT	<ul style="list-style-type: none"> • Pression de rétraction élastique pulmonaire • Paroi thoraco-abdominale 	<ul style="list-style-type: none"> • Muscles inspiratoires 											
CRF	<ul style="list-style-type: none"> • Pression de rétraction élastique pulmonaire 	<ul style="list-style-type: none"> • Paroi thoraco-abdominale 											
VR	<ul style="list-style-type: none"> • Pression de rétraction élastique pulmonaire • Muscles expiratoires 	<ul style="list-style-type: none"> • Paroi thoraco-abdominale 											

NB 1 : Le poumons tend toujours à se rétracter.

NB 2 : Les muscles de la respiration n'interviennent pas dans la CRF qui est la position d'équilibre du système.

<p>Analyse du schéma temps/volume</p> 	<p>Analyse du schéma volume/débit</p> 
<p>→ Inspiration calme puis profonde et soufflement le + fort et le + longtemps possible</p>	<p>→ On rappelle que $V = \Delta P/R$ (où $V = \text{débit}$)</p>
<p>4. CV (Capacité vitale): quantité maximale d'air pouvant être expirée après une inspiration profonde ($CV = CPT - VR$)</p> <p>5. VEMS (Volume expiré maximal en 1 seconde) en L : volume d'air expiré lors de la 1^{ère} seconde après l'inspiration forcée ($Nle > 3/4$ ou 75% de la CV)</p>	<p>Lorsque l'on souffle, le débit V augmente très rapidement jusqu'à atteindre un maximum :</p> <p>6. Débit expiratoire de pointe (= maximal) en L/s</p> <p>Puis, le débit chute lorsque l'on se rapproche de bas volumes pulmonaires jusqu'au VR où il atteint 0 L/s.</p>

<h3 style="text-align: center;">III. Analyse des résultats de l'EFR</h3>	
<p>A. Définition du sujet sain (selon le pneumologue)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sujet n'ayant jamais fumé et sans ATCD respiratoires • Les grandeurs d'intérêts de l'EFR (débits, volumes et leur rapport) sont majoritairement influencées par des facteurs : le sexe, la taille, l'âge et l'ethnie • Prendre en compte l'existence d'une dispersion des valeurs chez ces sujets pour chacune des grandeurs d'intérêts <p>→ Recueil des grandeurs et des facteurs : calcul de valeurs prédites/théoriques (<i>dont l'écart-type est réduit</i>) que l'on fait figurer sur le compte rendu de l'EFR</p> <p>Méthodologie pour les normes, les prérequis :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Il faut tenir compte des normes par rapport au sexe, la taille, l'âge et l'ethnie <p>→ Le + simple est d'avoir une seule norme pour tous les âges (<i>incluant une description de la croissance et de la sénescence, développée à partir d'un grand nombre de sujets sains</i>)</p>
<p>B. Interprétation des résultats de l'EFR ++</p>	<p>→ Il existe des règles d'interprétations qui sont établies par des recommandations internationales : la définition statistique de la normalité est un choix arbitraire</p> <p>Définition actuelle ++ :</p> <p>→ On utilise une courbe de Gauss avec la notion de centiles :</p> <ul style="list-style-type: none"> • < au 5^{ème} percentile → Valeur trop basse • > au 95^{ème} percentile → Valeur trop haute <p>⚠ être > ou < à ces percentiles ne signifie pas forcément être anormal, être au-delà ou en deçà des valeurs dites « normales » signifie être soit atypiques soit potentiellement anormal → l'interprétation dépend du contexte.</p> <p>(<i>Ex : un patient qui possède une valeur trop basse mais qui ne se plaint d'aucun symptôme respiratoire n'est pas malade mais seulement atypique</i>)</p> <p>→ On utilise aussi le Z-score :</p> $z = \frac{x - \mu}{\sigma}$ <p>Correspond nombre d'écart-types séparant un résultat de la moyenne : $\mu = \text{Mean}$, $\sigma = \text{Standard Deviation}$</p> <ul style="list-style-type: none"> • Valeur normale (= à la moyenne) → Z-score = 0 • Au 5^{ème} percentile → Z-score = -1,64 → Limite inférieure à la Normale LIN • Au 95^{ème} percentile → Z-score = +1,64 → Limite supérieure à la Normale LSN <p>L'expression des résultats d'EFR d'après les recommandations internationales de 2005 dépend de :</p> <ul style="list-style-type: none"> • La normalité donnée par l'intervalle de confiance à 90% (<i>c'est-à-dire entre le 5^e et le 95^e percentile</i>) • Les limites de la normalité entre la LIN et la LSN

Interprétation des volumes	Interprétation des débits
<ul style="list-style-type: none"> Le trouble restrictif : \searrow de la CPT $<$ à la LIN : <p>→ 3 types de maladies entraînant ce trouble :</p> <ul style="list-style-type: none"> Fibroses pulmonaires par \nearrow p° rétraction élastique Maladies de la paroi par \searrow de la distensibilité pariétale (obésité majeure ++) Maladies diaphragmatiques par \searrow de la force musculaire inspiratoire <ul style="list-style-type: none"> Distension thoracique : \nearrow des volumes statiques et \nearrow de la CRF $>$ à la LSN : <p>→ 2 mécanismes avec \nearrow du volume (<i>pas la même !</i>) :</p> <ul style="list-style-type: none"> Emphysème panlobulaire par \searrow p° rétraction élastique Emphysème centrolobulaire par \nearrow du volume piégé à cause de l'obstruction bronchique → distension dynamique où la CRF n'est plus un volume statique 	<ul style="list-style-type: none"> Le trouble obstructif : Rapport $VEMS/CV < LIN$: <ul style="list-style-type: none"> $VEMS < 75\% \Leftrightarrow$ souffle lent à cause d'une obstruction + ou - importante <p>→ Le degré de diminution du VEMS chiffre l'importance de l'obstruction (+ le VEMS est bas, + l'obstruction est importante)</p> <p>→ L'analyse des débits reflète le calibre des voies aériennes en expiration forcée</p> <p>NB : l'inspiration n'est pas étudiée car celle-ci dépend de l'effort musculaire et n'est pas limitée par le calibre \neq expiration</p>

IV. Adaptations ventilatoires à l'exercice	
A. Rappels	<ul style="list-style-type: none"> Les animaux hétérotrophes utilisent de l'énergie chimique et la transforme en énergie mécanique (20%) ou thermique (80%) O_2 + glucides (G), lipides (L) et protéines (P) → Énergie (W) + déchets (azote, CO_2 etc.) Apports de ces éléments par la respiration (O_2) et l'alimentation (G + L + P) Rejets des déchets par la respiration (CO_2) et le rein (azote) W est transférée sur de petites molécules phosphorées et utilisée de \neq manières : <ul style="list-style-type: none"> par la cellule (Na/K ATPase) par l'organe (muscles) <p><u>3 voies de l'ATP</u> : Phospho-créatine (1ère à intervenir), glycolyse anaérobie (2ème) et glycolyse aérobie (3ème, Cycle de Krebs et chaîne respiratoire)</p>
B. Adaptation ventilatoire	<p>Adaptation cardio-respiratoire</p> <p>P_aCO_2 (40mmHg) constante grâce au contrôle ventilatoire (<i>élimine CO_2 et apporte O_2</i>)</p> <p>Ventilation = Volume courant (VT) x Fréquence respi (FR)</p> <p>→ En fonction de l'intensité de l'effort : \nearrow du VT jusqu'à ce qu'il atteigne un plateau (50-60% de la CV) puis \nearrow FR</p> <p>→ Le VT \nearrow aux dépens des réserves inspiratoires et expiratoires \Leftrightarrow CRF \searrow à la fin de l'exercice</p>
	<p>Réponse ventilatoire et boucle débit – Volume à l'exercice</p> <p>CPT = CRF + Capacité inspiratoire (CI)</p> <p>CI: Volume que l'on peut inspirer à partir de la CRF</p> <p>→ A l'exercice : \nearrow de la CI chez le sujet sain car la CRF \searrow</p> <p>⚠ Une non-augmentation de la CI est pathologique</p> <p>→ Le VT et la CI \nearrow, la CRF \searrow</p>
	<p>Échanges alvéolo-capillaires</p> $\dot{V}O_2 = D_L O_2 \times (P_A O_2 - P_{cap} O_2)$ <p>$\dot{V}O_2$: débit d'O_2 à travers la barrière alvéolo-capillaire</p> <p>$D_L O_2$: Conductance en O_2</p> <p>$P_A O_2 - P_{cap} O_2$: \neq de p° de part et d'autre de la barrière AC</p> <p>→ Au repos: Temps de contact important par rapport au temps d'équilibration</p> <p>→ A l'exercice: L' \nearrow du débit cardiaque \searrow le temps de contact alors que le temps d'équilibration \nearrow (sang veineux + désaturé)</p> <p>NB: Les échanges alvéolo-capillaires sont un mécanisme passif, nécessitant un temps de contact suffisant</p>

B. Adaptation ventilatoire	Gradient de diffusion de l'exercice à	<p>→ A l'exercice : ↗ DL_{O2} liée à :</p> <ul style="list-style-type: none"> • une ↗ du volume capillaire • un recrutement • une distension vasculaire pulmonaire <p style="text-align: right;">} ↘ des résistances vasculaires ⇒ ↗ des échanges gazeux</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <th style="color: green; text-align: center;">Repos</th> <th style="color: green; text-align: center;">Exercice max</th> </tr> <tr> <td>• P_AO₂ 100 mmHg</td> <td>• P_AO₂ 120 mmHg</td> </tr> <tr> <td>• P_VO₂ 40 mmHg</td> <td>• P_VO₂ 20 mmHg</td> </tr> <tr> <td>• S_VO₂ 75 %</td> <td>• S_VO₂ 20 à 25 %</td> </tr> <tr> <td>• Temps d'équilibration d'environ 25 msec</td> <td>• Temps d'équilibration augmenté</td> </tr> </table> <p style="font-size: small; color: blue; text-align: center;">ΔP varie peu : nécessité d'une augmentation importante de D_LO₂</p>	Repos	Exercice max	• P _A O ₂ 100 mmHg	• P _A O ₂ 120 mmHg	• P _V O ₂ 40 mmHg	• P _V O ₂ 20 mmHg	• S _V O ₂ 75 %	• S _V O ₂ 20 à 25 %	• Temps d'équilibration d'environ 25 msec	• Temps d'équilibration augmenté
	Repos	Exercice max										
	• P _A O ₂ 100 mmHg	• P _A O ₂ 120 mmHg										
• P _V O ₂ 40 mmHg	• P _V O ₂ 20 mmHg											
• S _V O ₂ 75 %	• S _V O ₂ 20 à 25 %											
• Temps d'équilibration d'environ 25 msec	• Temps d'équilibration augmenté											
Transfert de l'exercice à	$\frac{1}{D_{L,O_2}} = \frac{1}{D_{mO_2}} + \frac{1}{\theta_{O_2} \cdot V_c}$ <p>→ A l'exercice, chez le sujet sain :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pas d'hypoxémie • Pas de ↘ du transport de l'O₂ → C_aO₂ reste maximale 											
Échanges gazeux à l'exercice maximal	<p>→ A l'exercice maximal :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hyperventilation <p>La VE (ventilation minute) ↗ alors que la VO₂max (débit en O₂ Max) plafonne</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pas de désaturation artérielle : C_aO₂ reste maximale • Débits et pressions sont nettement infra-maximaux <p>Les courbes Débit – Volume sont loin de l'enveloppe maximale Il existe des réserves ventilatoires de l'ordre de 50 à 60 % des capacités théoriques</p> <p>Les pressions inspiratoires sont environ égales à 15 - 30 % des pressions inspiratoires maximales</p> <p>Les pressions expiratoires au maximum sont de l'ordre de 3 % des pressions expiratoires maximales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pas de signe de fatigue des muscles respiratoires à l'électromyogramme <p>→ Pas de limitation respiratoire chez le sujet sain</p>											

