

Ventilation mécanique: modes ventilatoires

Dr Samia Ayed Della

Service de réanimation médicale ARIANA

Atelier de ventilation mécanique

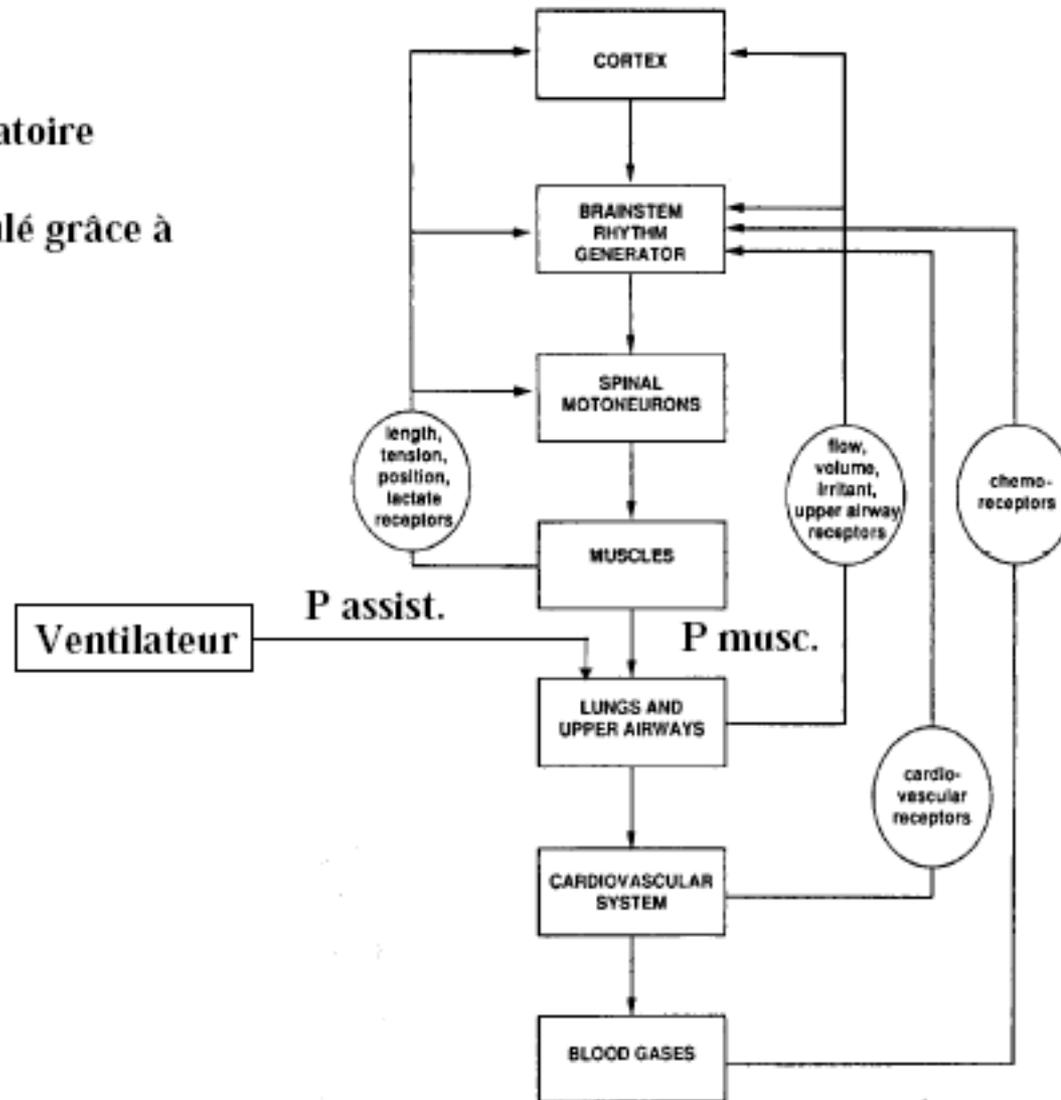
Congrès annuel de l'ATR, le 30 Décembre 2017

Introduction

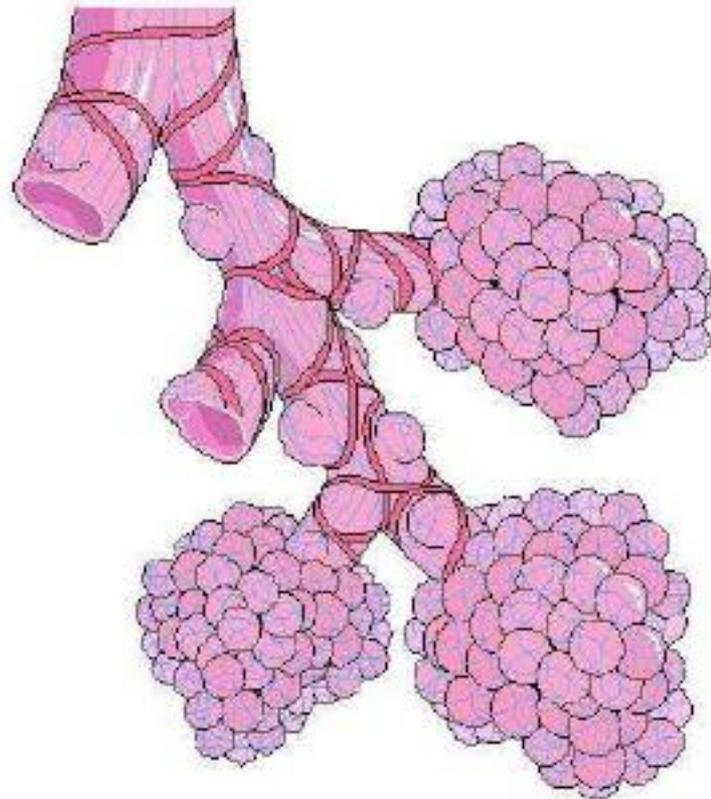
- L'insuffisance respiratoire aiguë est une des raisons principales de recours à la ventilation artificielle.
- Les autres raisons peuvent être l'anesthésie générale, les troubles neurologiques, ou l'insuffisance respiratoire chronique.

- la ventilation artificielle est phénomène mécanique, appliqué à un système complexe:
 - système fonctionnellement complexe car régulé grâce à plusieurs boucles
 - système structurellement complexe car non homogène
 - système en parallèle sur la circulation pulmonaire au sein de la cage thoracique

Le système respiratoire
fonctionnellement
complexe car régulé grâce à
plusieurs boucles

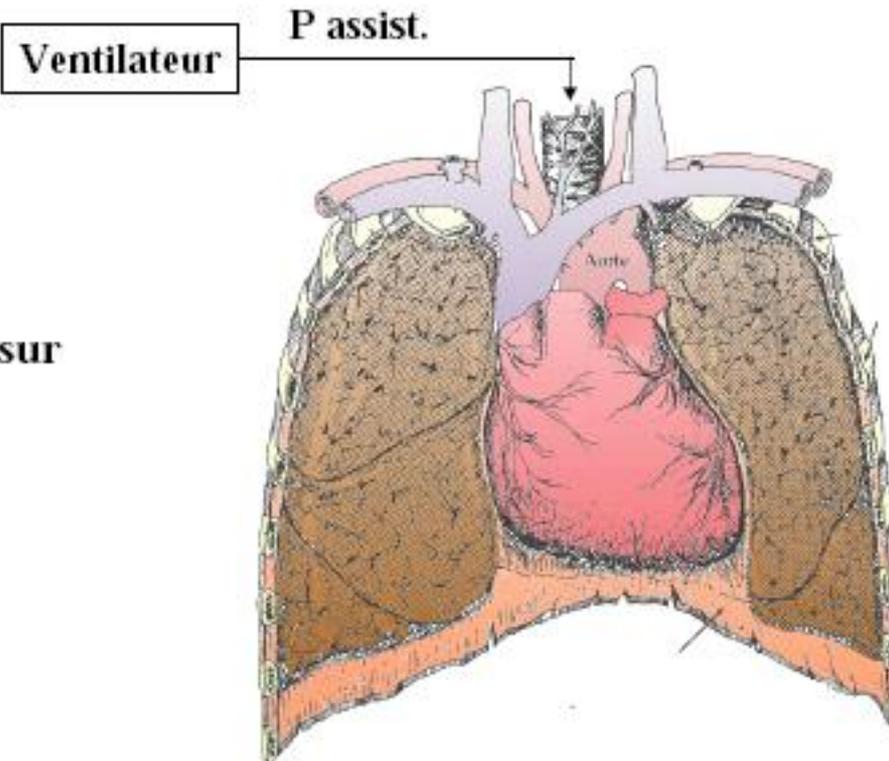


Ventilateur P assist.



Le système respiratoire est structurellement complexe car non homogène

**système en parallèle sur
la circulation
pulmonaire
au sein de la cage
thoracique**



- Inter action coeur poumon:
 - Modification de la pré- et post charge ventriculaire droite
 - Modification de la pré- et post charge ventriculaire gauche
 - La dysfonction cardiaque peut être à l'origine des échecs de sevrage
- Ventilation mécanique et fonction diaphragmatique:
 - Elle survient précocement
 - Elle peut être partiellement prévenue par le maintien d'une ventilation partielle

Historique

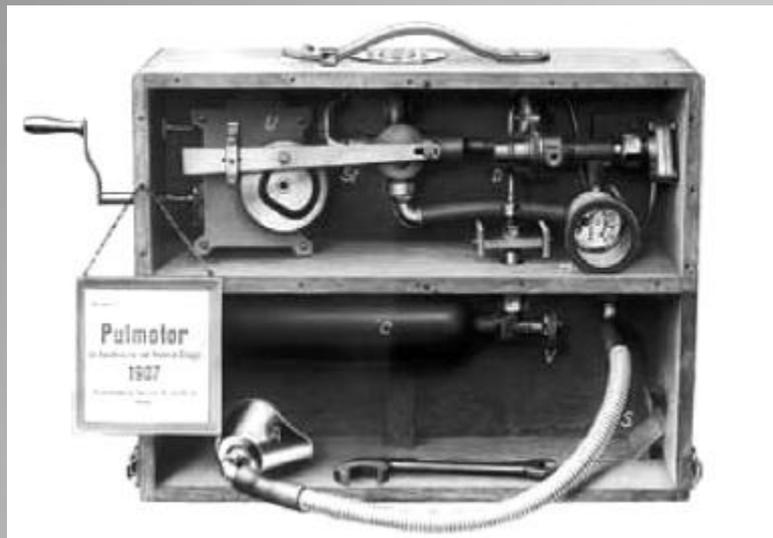
- la naissance de la réanimation médicale marquant le début des temps modernes de la ventilation mécanique date de 1954, quand "*Engström Carl Gunnar*" décrivit l'Engström universal ventilator et son utilisation dans le traitement des malades atteints d'une paralysie respiratoire.

- lors des grandes épidémies de poliomyélite qui sévirent aux États-Unis (1948) et en Europe (1952), Lord Nuffield (1877–1963), constructeur d'automobile et généreux donateur, avait consacré sa fortune milliardaire à équiper en « iron lung » la quasi-totalité des hôpitaux américains, où des milliers de malades furent pris en charge par ces poumons d'acier.





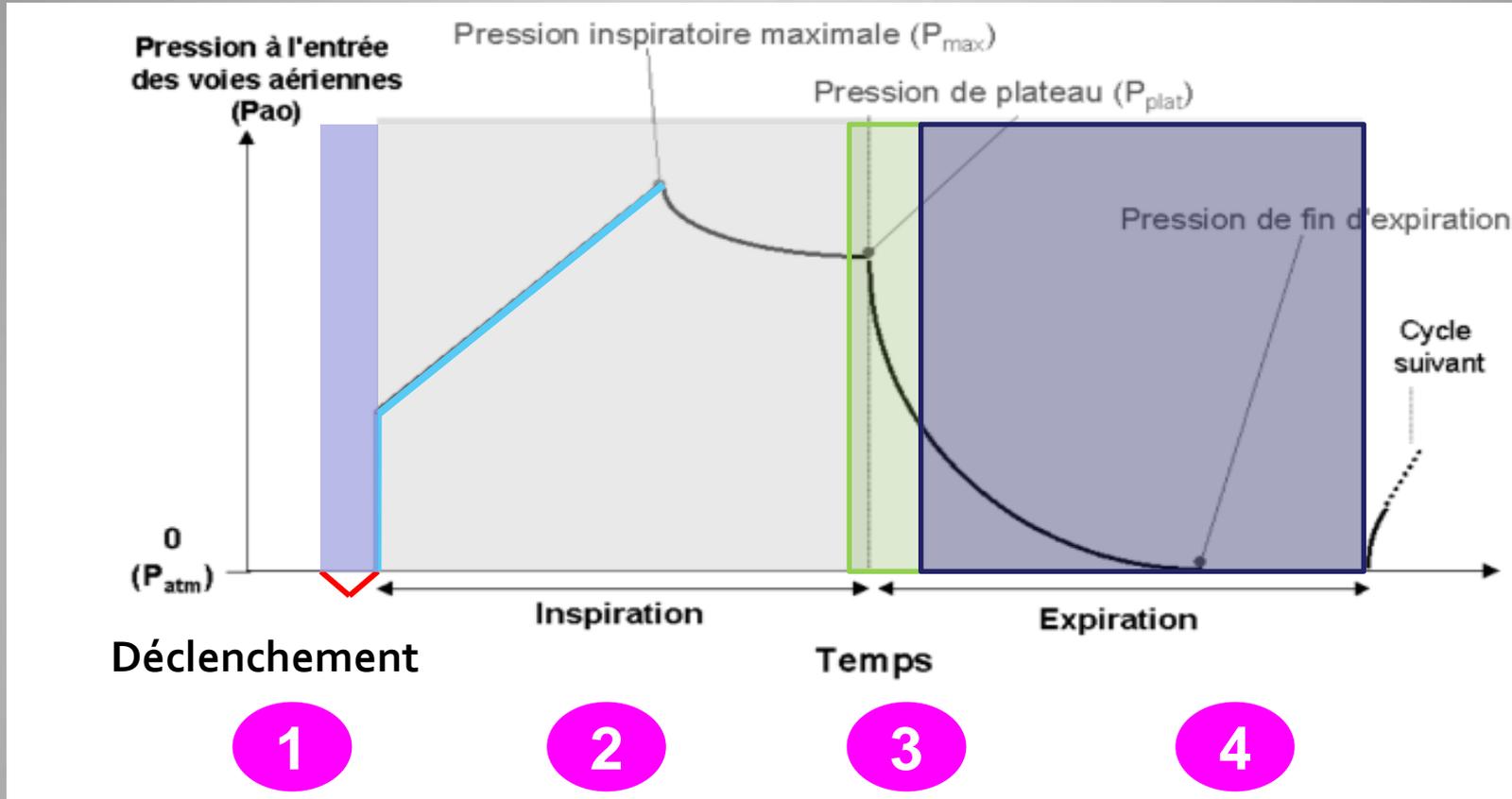
- Le début effectif de la ventilation mécanique remonte à l'année 1954, avec l'utilisation l'**Engstrom Universal Ventilator**
- Cet appareil permettait une ventilation à débit préréglé, cyclé sur le temps avec une fréquence prédéterminée de 10 à 30 cycles/min.



- 1970': La pression expiratoire positive
- 1980': l'aide inspiratoire
- 1990': La ventilation non invasive
- 2000': La ventilation protectrice
- 2010': Nouveaux modes???

Le cycle respiratoire

Le cycle respiratoire

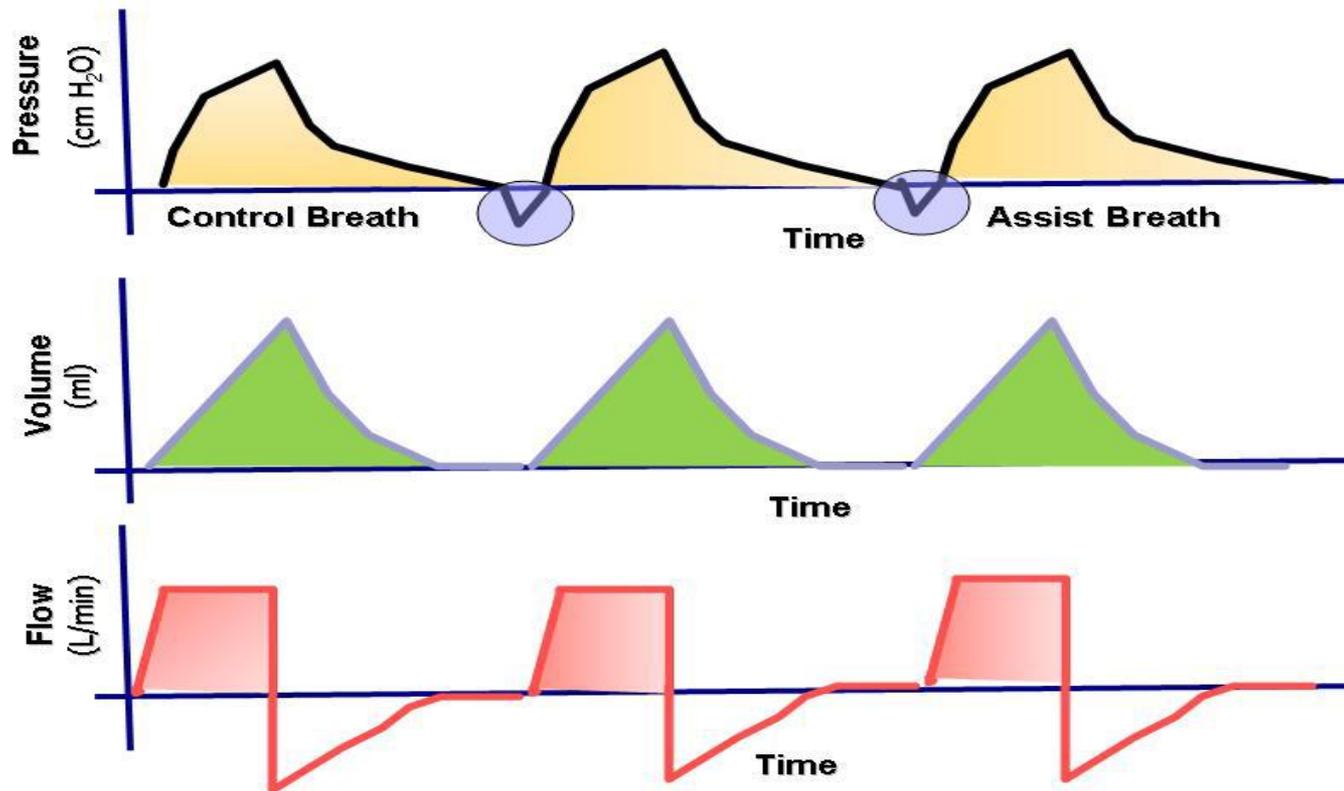


Le cycle respiratoire généré par le ventilateur comprend quatre phases élémentaires.:

1. Le début de l'inspiration ou déclenchement de l'inspiration
2. La délivrance du volume courant inspiratoire
3. La fin de l'inspiration ou le début de l'expiration
4. La phase expiratoire

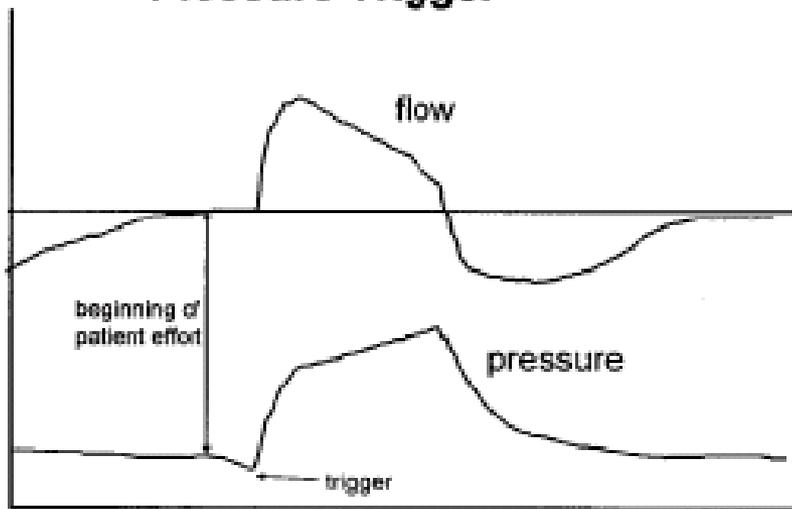
Phase 1 : déclenchement

Assisted Mode (Volume-Targeted Ventilation)

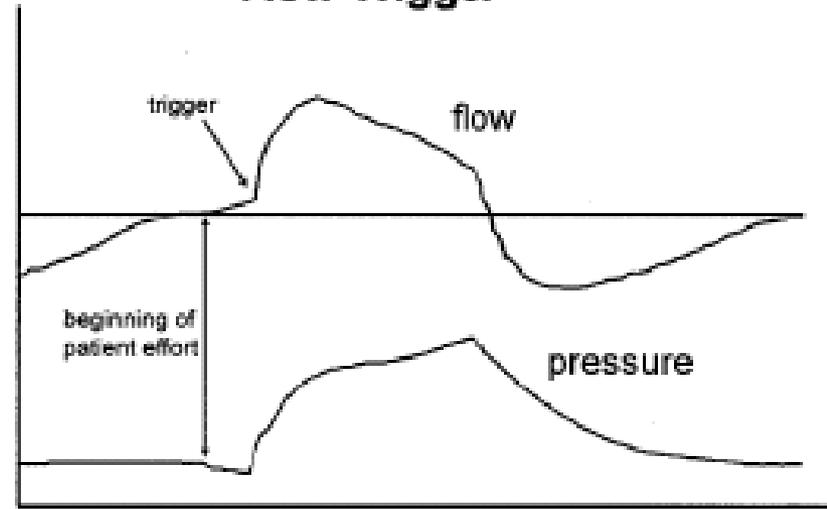


Déclenchement en pression ou en débit

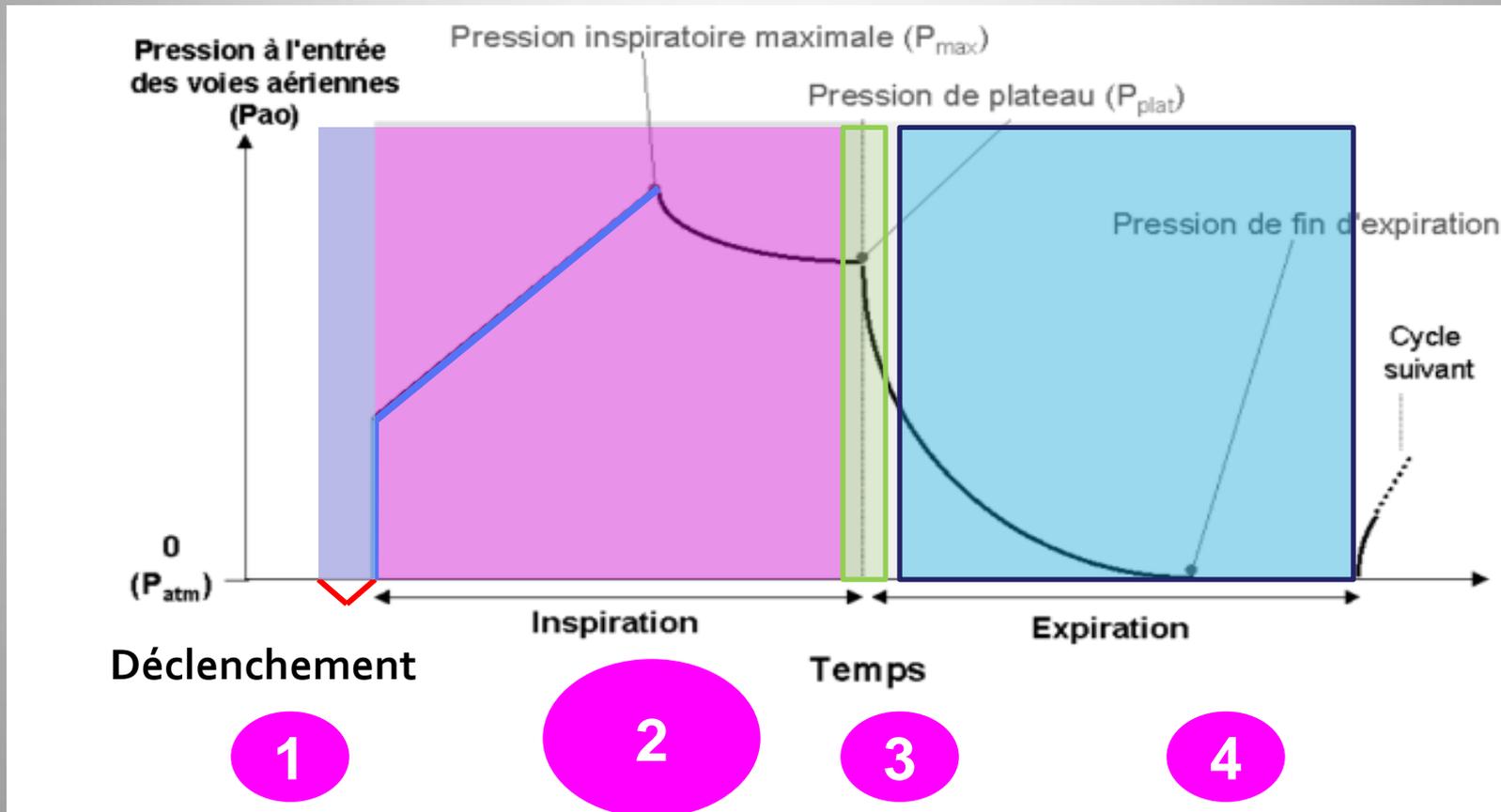
Pressure Trigger



Flow Trigger



Phase 2 : phase inspiratoire



- **Varie en fonction:**

- Type de débit en ventilation contrôlé
- Mode ventilatoires

MODES DE VENTILATION

Essai de Classification

Volumétrique
(débit)

Barométrique
(Pression)

Contrôlé
VC

VAC

Partielle
VACI

Contrôlé
PC

PAC

Partielle
BIPAP PA ou AI

Mixtes ou combinés
PAV, PPS, ASV, VSV, APV ...

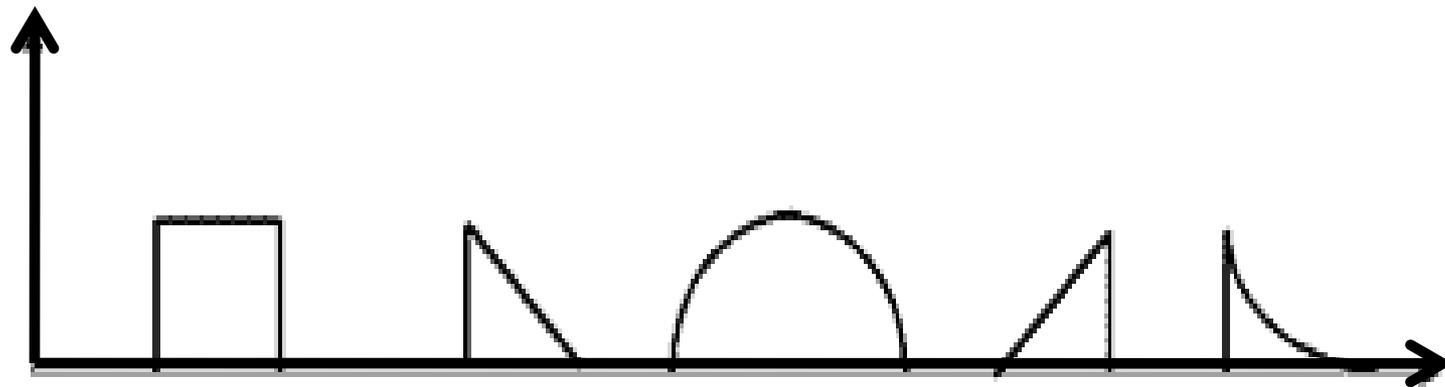
Quelles sont les différences entre un mode en volume et un mode en pression ?

PARAMETRES REGLES ET PARAMATRES MONITORES

Paramètres ventilatoires	VOLUME CONTROLE	PRESSION CONTROLEE
VOLUME courant	FIXE (assuré)	variable
Pression voies aériennes	variable	FIXE (contrôlée = sécurité)
DEBIT	Carré (constant) 	décélérant 
Alarmes à surveiller	Pressions (Ppic, Pplat, Pmoy)	Volume (VT mini) Ventilation minute (VE) E+CO2

Types de débit inspiratoire en volume contrôlé

Débit



temps

constant

décélérant

sinusoidal

accélérant

décélérant
exponentiel



VAC
Adulte

Patient Options Mode

40
5
14 P pointe
cmH2O

8 P moyenne
cmH2O

10
4
7.5 VolMinExp
l/min

750
250
460 VTE
ml

23
8
17 F tot
c/min

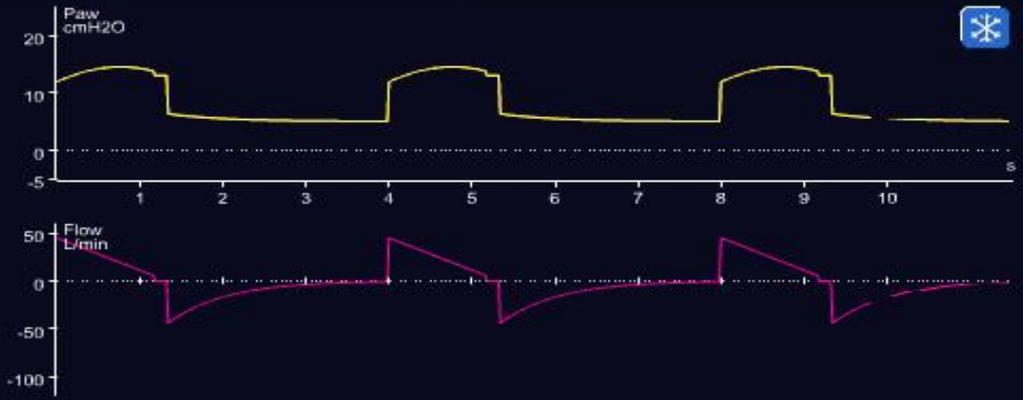
14 P pointe
cmH2O

--- P plateau
cmH2O

8 P moyenne
cmH2O

5 PEP
cmH2O

5.0 P mini
cmH2O



15
c/min
Fréq.

500
ml
Vt

5
cmH2O
PEP

50
%
Oxygène

R insp 9 cmH2O/l/s
C Stat 64 ml/cmH2O

170 cm, Masculin

Oxygénation		Élimination CO2		Spont/Acivité	
40	8	9.9	8	100	75
21	0	3.3	0	10	100
00:03		00:03			
Oxygène	PEP	VolMinExp	Pinsp	RBB	%Pspont
50 %	5 cmH2O	7.5 l/min	9 cmH2O	---	9 %
				1(l/min)	

Contrôles

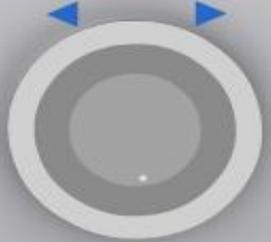
Alarmes

Monitoring Graphiques Outils Événements Système

INT AC



HAMILTON
MEDICAL



Patient

Options

Mode

40
5
11 P pointe
cmH2O

6 P moyenne
cmH2O

10
4
8.0 VolMinExp
l/min

750
250
536 VTE
ml

23
8
15 F tot
c/min

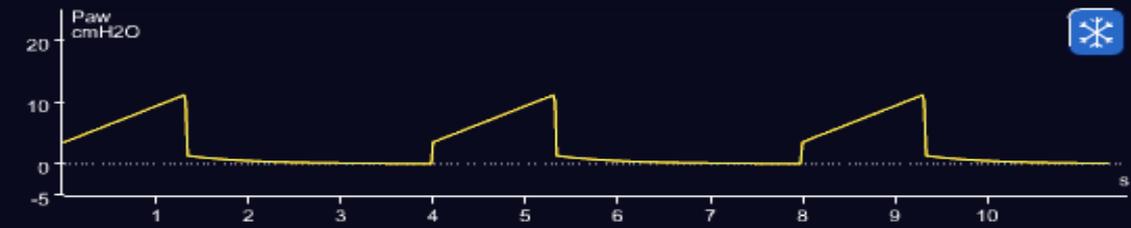
11 P pointe
cmH2O

--- P plateau
cmH2O

6 P moyenne
cmH2O

0 PEP
cmH2O

0.0 P mini
cmH2O



R insp 9 cmH2O/s
C Stat 64 ml/cmH2O

170 cm, Masculin

Oxygénation	Élimination CO2	Spont/Activité
40	9.9	100
21	3.3	75
00:01	00:01	10
Oxygène 50%	PEP 0 cmH2O	VolMinExp 8.0 l/min
		P insp 11 cmH2O
		RSB 1(l/min)
		%Fspont 0%

15
c/min
Fréa.

500
ml
Vt

0
cmH2O
PEP

50
%
Oxygène

Contrôles

Alarmes

Montorage

Graphiques

Outils

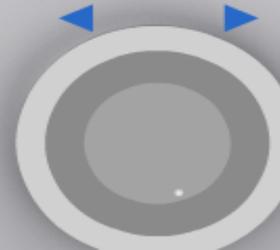
Événements

Système

INT AC



HAMILTON
MEDICAL



40
5
16 P pointe
cmH₂O

10
4
10 P moyenne
cmH₂O

10
4
7.5 VolMinExp
l/min

750
250
500 VTE
ml

23
8
15 F tot
c/min

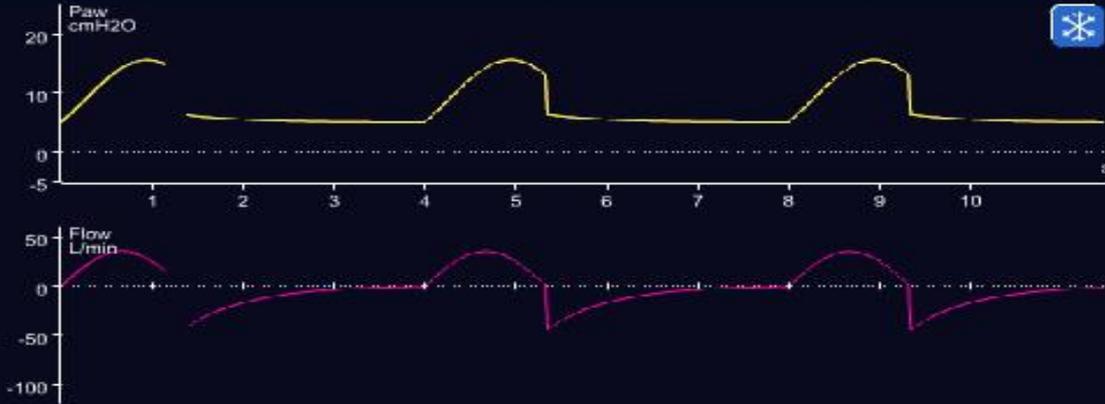
16 P pointe
cmH₂O

--- P plateau
cmH₂O

10 P moyenne
cmH₂O

5 PEP
cmH₂O

5.0 P mini
cmH₂O



15
c/min
Fréq.

500
ml
Vt

5
cmH₂O
PEP

50
%
Oxygène

R insp 9 cmH₂O/l/s

C Stat 64 ml/cmH₂O

170 cm, Masculin

Oxygénation		Élimination CO ₂		Spont/Activité	
40	8	9.9	8	100	76
21	0	3.3	0	10	100
00:06		00:06			
Oxygène	PEP	VolMinExp	Pinsp	RSB	%Fspont
50 %	5 cmH ₂ O	7.5 l/min	11 cmH ₂ O	---	0 %
				1(l*/min)	

Contrôles

Alarmes

Monitoring Graphiques Outils Événements Système

INT AC

HAMILTON MEDICAL

Modes volumétriques (en débit):

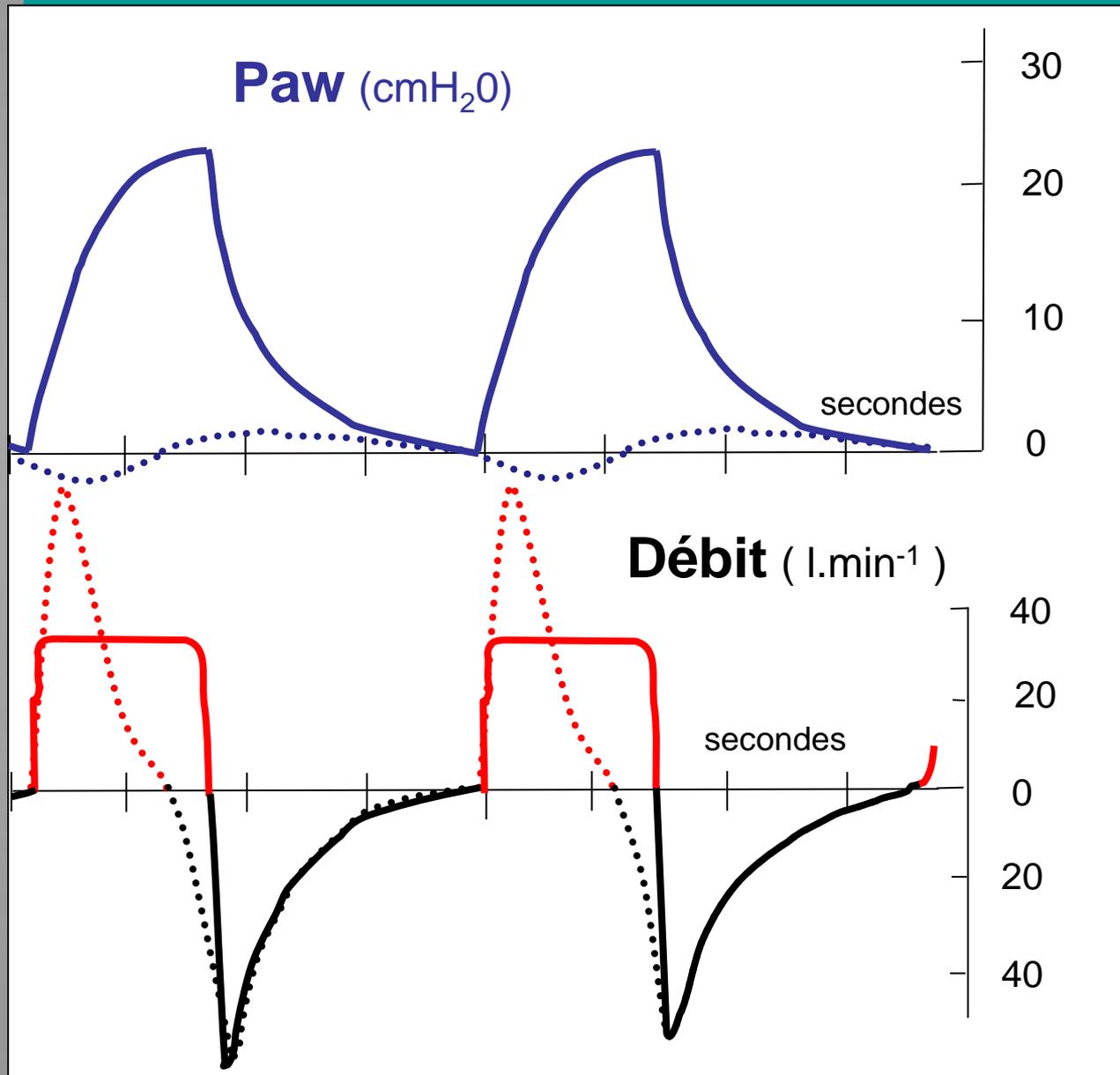
- Mode de régulation en débit qui délivre un **volume fixe** (volume pré réglé).
- C'est le degré d'ouverture de la valve inspiratoire qui contrôle le débit d'insufflation et qui délivre un débit constant pendant toute la durée de l'insufflation

- **VC**: La respiration est totalement conditionnée par les réglages effectués sur le ventilateur: V_t , FR, I/E, F_{iO_2} , PEP.
- **VAC**: le plus fréquent, proche de la VC, cycles spontanés possibles
- **VACi**: Associe cycles spontanés avec aide inspiratoire et cycles contrôlés déclenchés par le patient (avec volumes pré-réglés).



Le volume courant est **fixe**, donc la pression résultante dans les voies aériennes dépend des caractéristiques respiratoires du patient (compliance et résistance)

Ventilation en volume contrôlé à *débit inspiratoire constant*



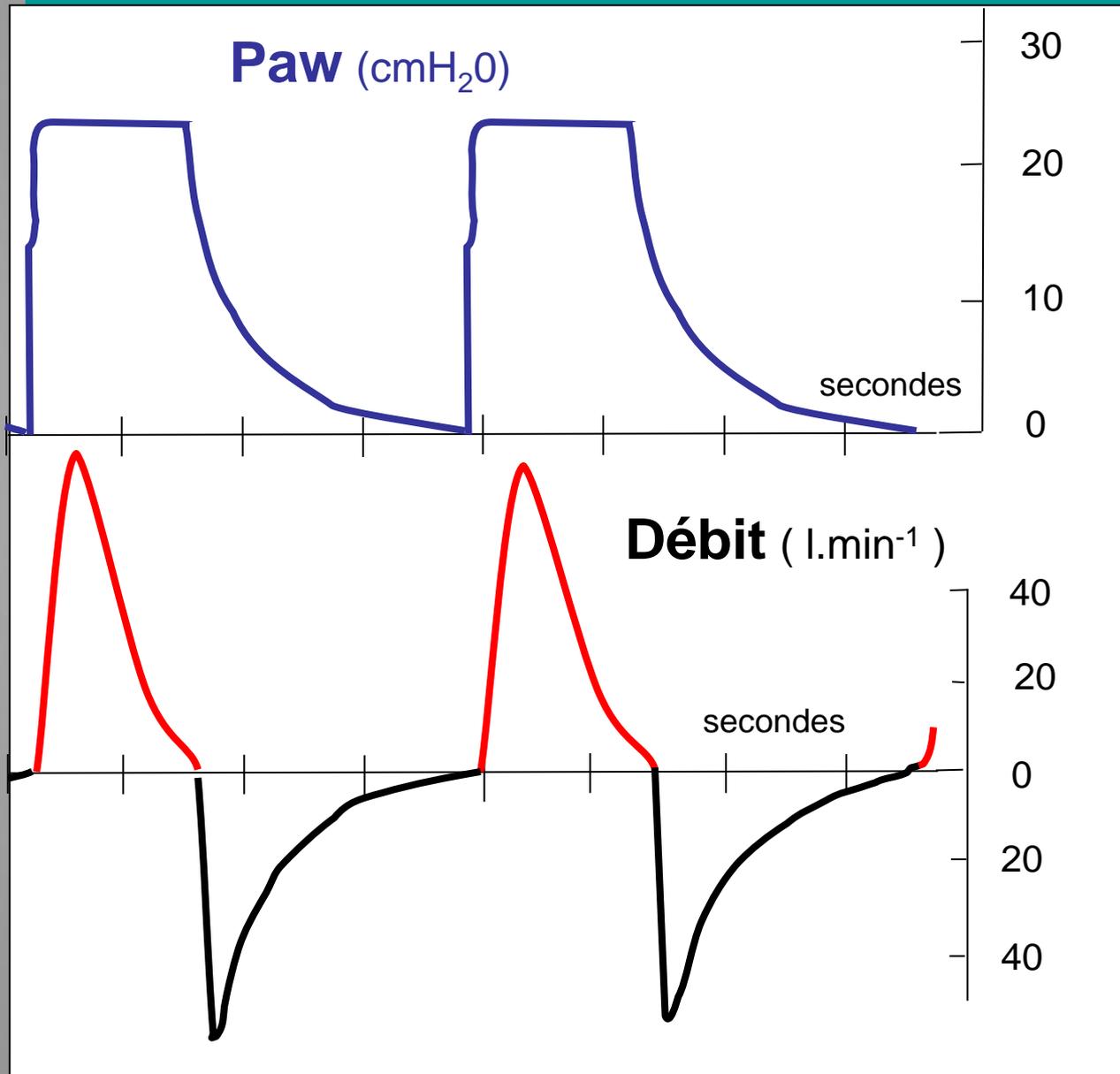
Le **débit inspiratoire** généré par le ventilateur est constant

A l'inspiration, la **pression** dans les **voies aériennes supérieures** est **positive** et constitue la **pression motrice**

On doit régler :

- le $V_T = 7-8 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}$
- la **FR** = 15-20 $\text{c}\cdot\text{min}^{-1}$
- **I/E** = 1/2-1/3
- **FIO₂** = 30-60 %

Ventilation en volume contrôlé à débit inspiratoire décélérant



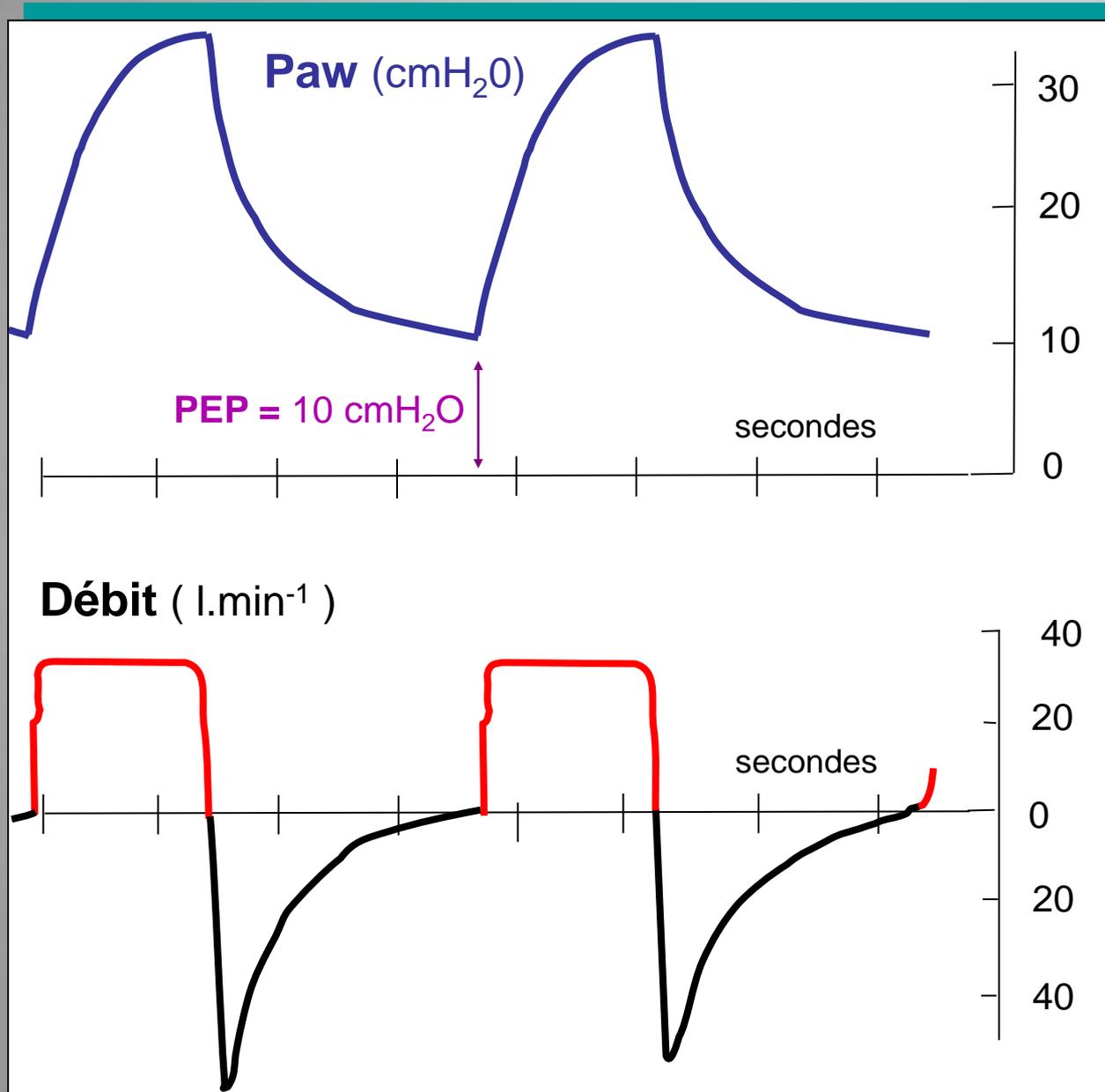
Le débit inspiratoire généré par le ventilateur est décélérant

A l'inspiration, la pression dans les voies aériennes supérieures est positive et constitue la pression motrice

On doit régler :

- le $V_T = 7-8 \text{ ml.kg}^{-1}$
- la FR = 15-20 c.min⁻¹
- $I/E = 1/2-1/3$
- $FIO_2 = 30-60 \%$

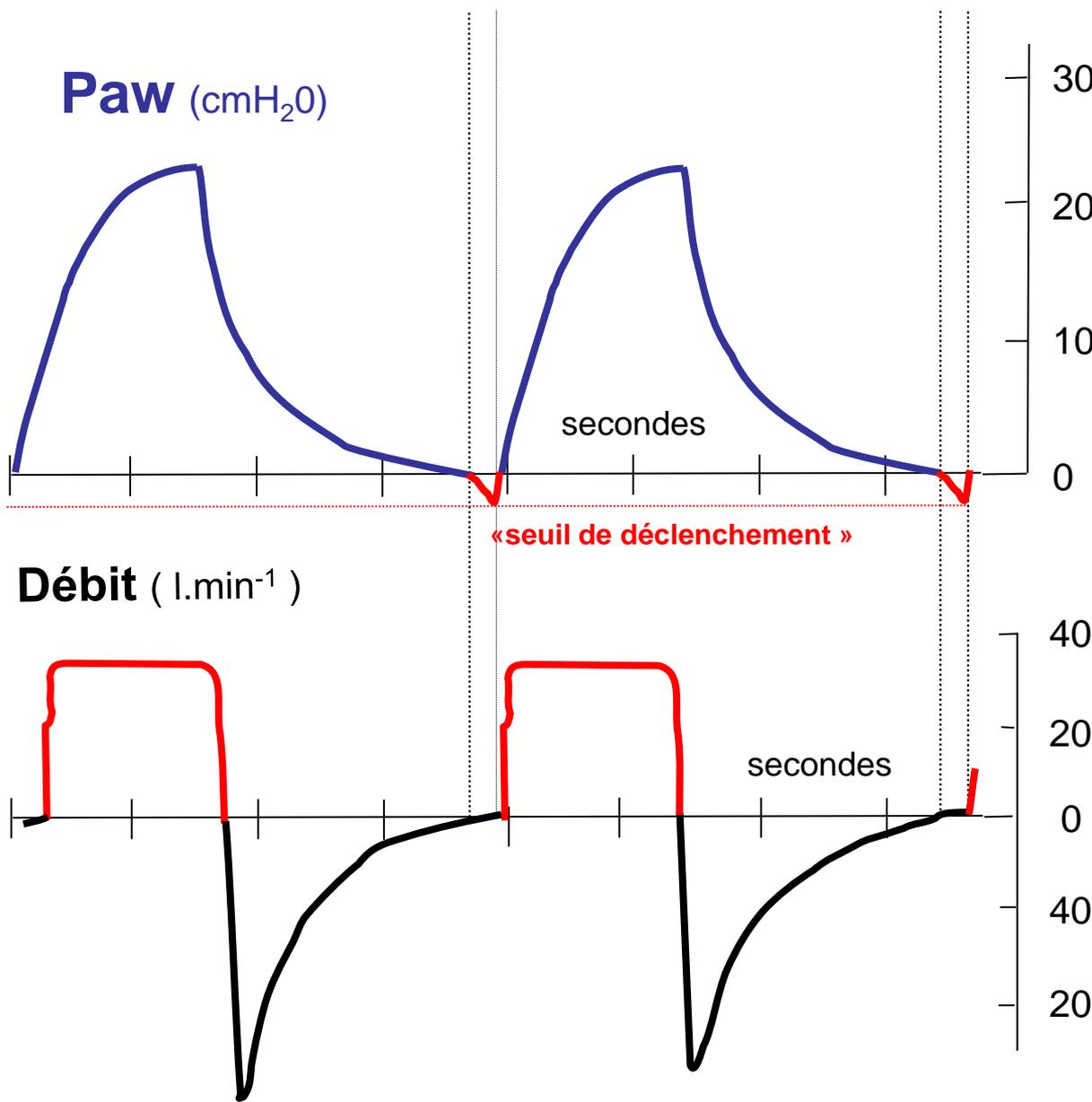
Ventilation en volume contrôlé avec **PEP**



La pression expiratoire positive (**PEP**) permet, en fin d'expiration, de maintenir le poumon ouvert en cas d'atélectasie ou d'œdème pulmonaire

La **PEP** se règle entre **5** et **20** cmH_2O

Ventilation assistée contrôlée



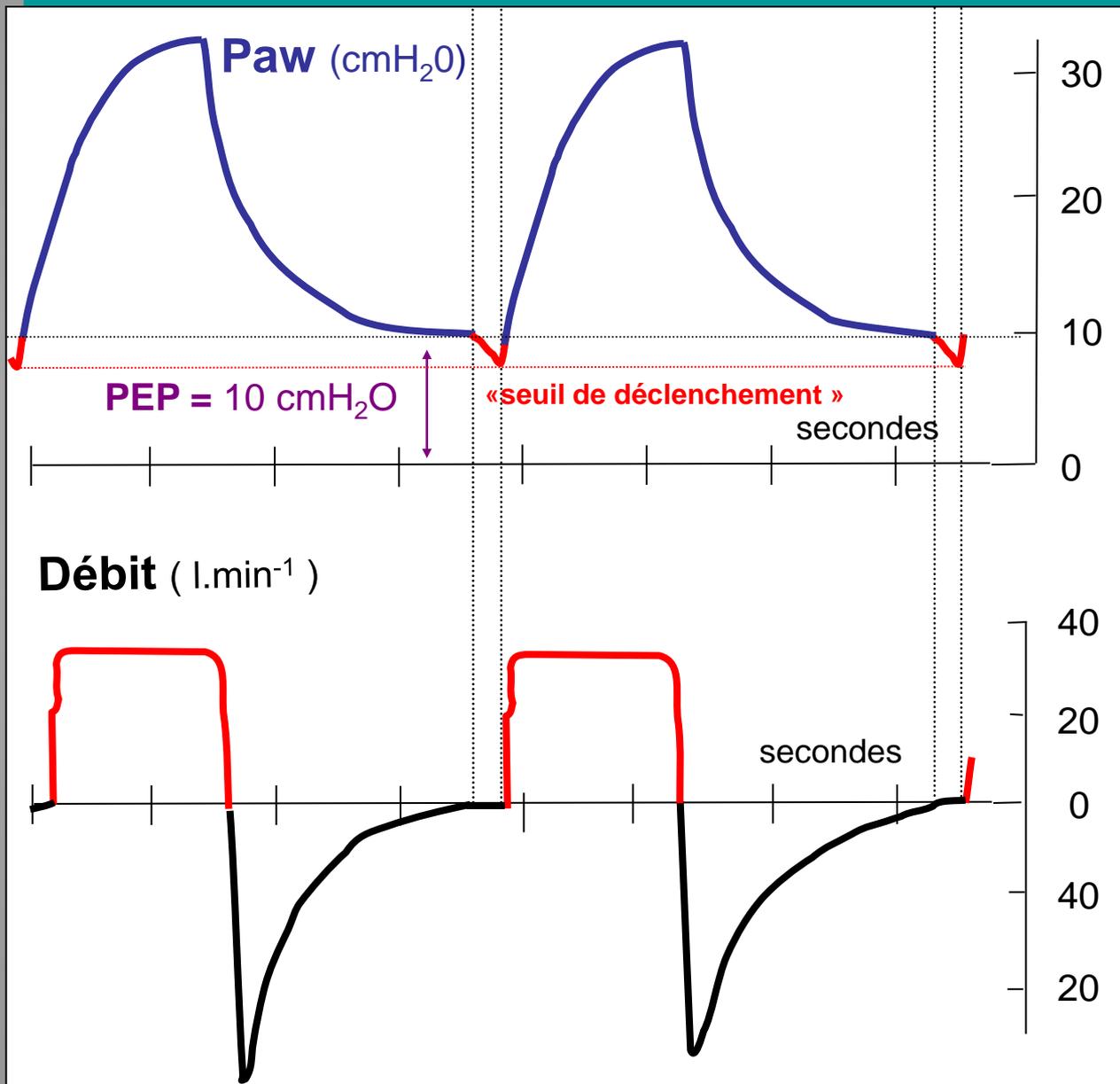
En fin d'expiration, les valves inspiratoires et expiratoires restent fermées pour détecter l'effort inspiratoire

Quand le **seuil de déclenchement (SD)** est atteint, la valve inspiratoire s'ouvre pour délivrer le V_T pré-réglé

On doit régler :

- le $V_T = 7-8 \text{ ml.kg}^{-1}$
- $I / E = 1/2-1/3$
- **SD = -0.5 à -1.5 cmH₂O**
- **FIO₂ = 30-60 %**

Ventilation assistée contrôlée avec PEP



Quand le **seuil de déclenchement (SD)** est atteint en-dessous du niveau de **PEP**, la valve inspiratoire s'ouvre pour délivrer le V_T pré-régulé

On doit régler :

- le $V_T = 7-8 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}$
- $I / E = 1/2-1/3$
- **SD = -0.5 à -1.5 cmH_2O**
- **PEP = 5 à 20 cmH_2O**
- **$\text{FIO}_2 = 30-60 \%$**

Modes en Pression:

- Les modes de régulation en pression (pression pré-réglée) sont principalement représentés par l'**AI** et **la ventilation en pression contrôlée**.
- L'ouverture des valves n'est pas constante
- le ventilateur mesure à chaque instant la pression dans les voies aériennes et la pression de consigne. Plus la différence est importante plus la valve proportionnelle est ouverte et le débit d'insufflation est élevé

VPC
Adulte

Patient

Options

Mode

40
5
20 P pointe
cmH2O

12 P moyenne
cmH2O

13
4
12.3 VolMinExp
l/min

820
250
819 VTE
ml

23
8
15 F tot
c/min

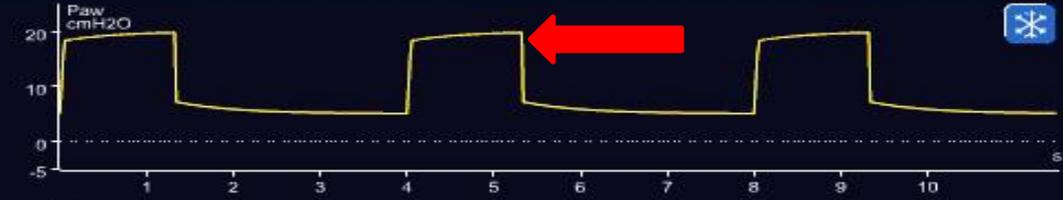
20 P pointe
cmH2O

20 P plateau
cmH2O

12 P moyenne
cmH2O

5 PEP
cmH2O

5.0 P mini
cmH2O



R insp 9 cmH2O/l/s
C Stat 64 ml/cmH2O

170 cm, Masculin

Oxygénation	Élimination CO2	Spont/Activité
40	8	8
21	0	10
00:13	33	0
Oxygène 50 %	PEP 5 cmH2O	VolMinExp 12.3 l/min
		Pinsp 15 cmH2O
		RSB --- 1(l*/min)
		%Fspont 0 %

15 c/min
Fréa.

15 cmH2O
Pcontrol

5 cmH2O
PEP

50 %
Oxygène

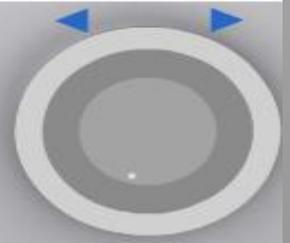
Contrôles

Alarmes

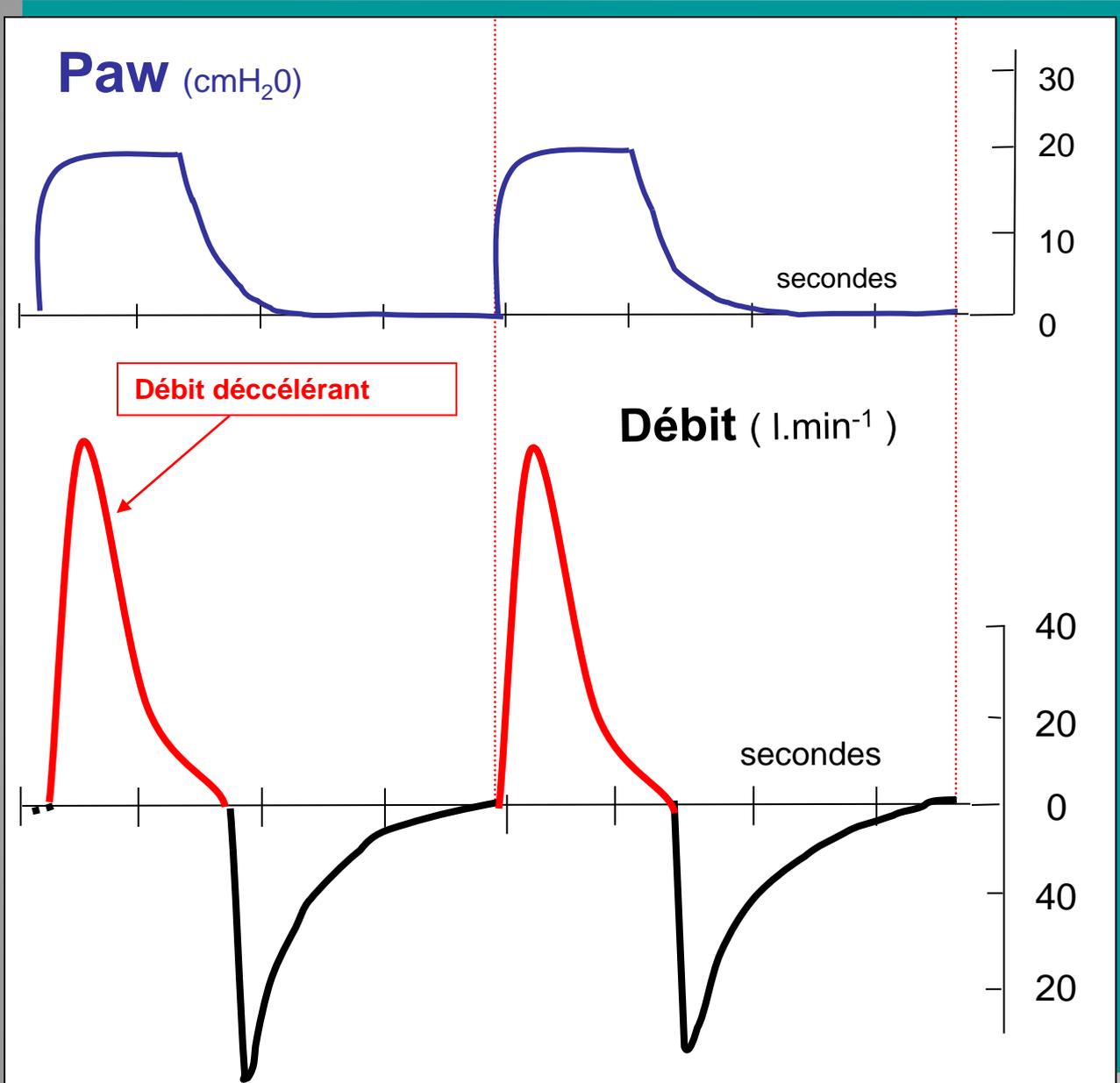
Monitoring Graphiques Outils Événements Système



HAMILTON
MEDICAL



Ventilation en pression contrôlée

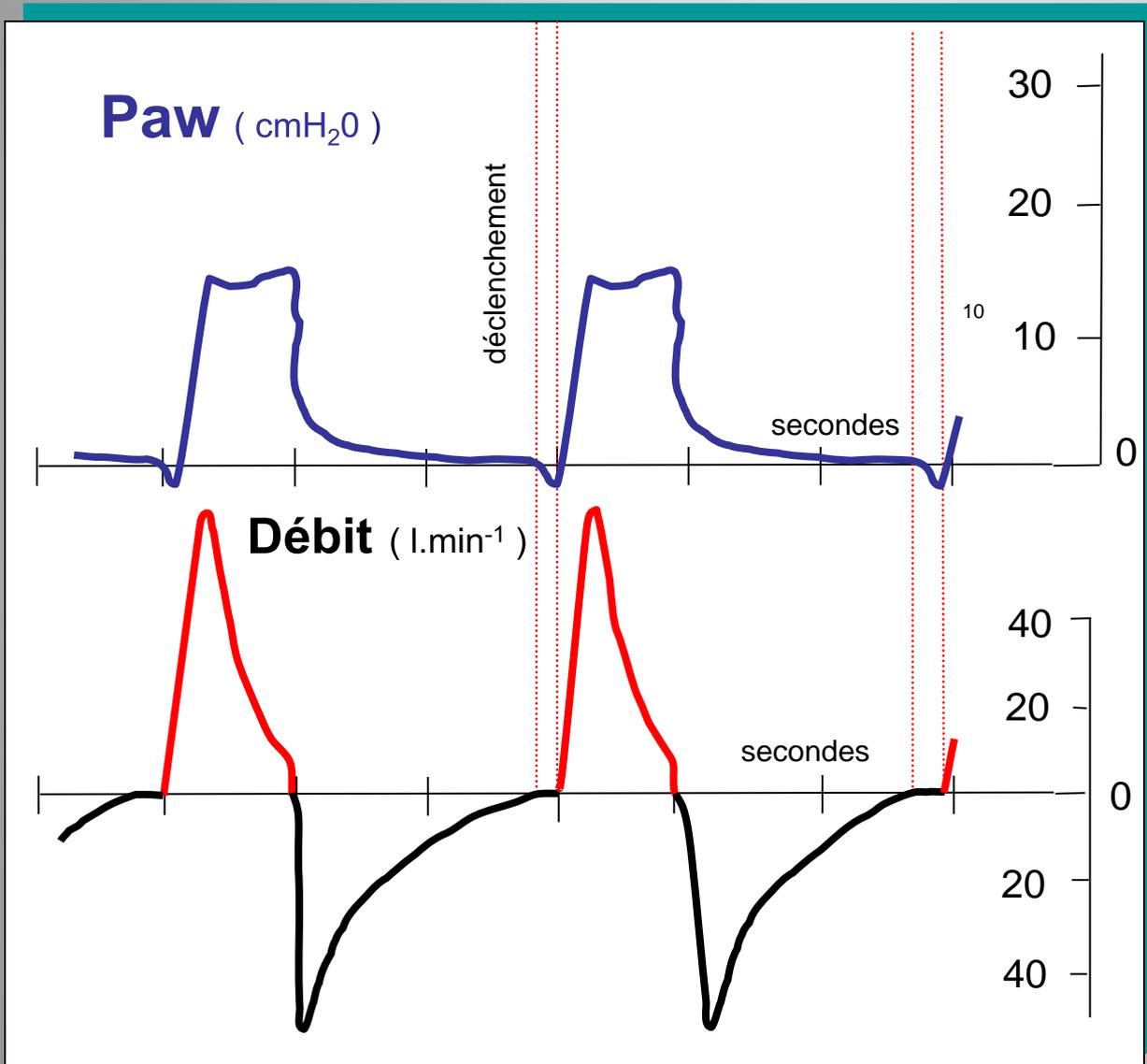


On génère une pression de plateau à l'aide d'un **débit inspiratoire déccélérant**

On doit régler :

- la **P_{plat}**
- la FR = 15-20 c.min⁻¹
- **I / E** = 1/2-1/3
- **FIO₂** = 30-60 %

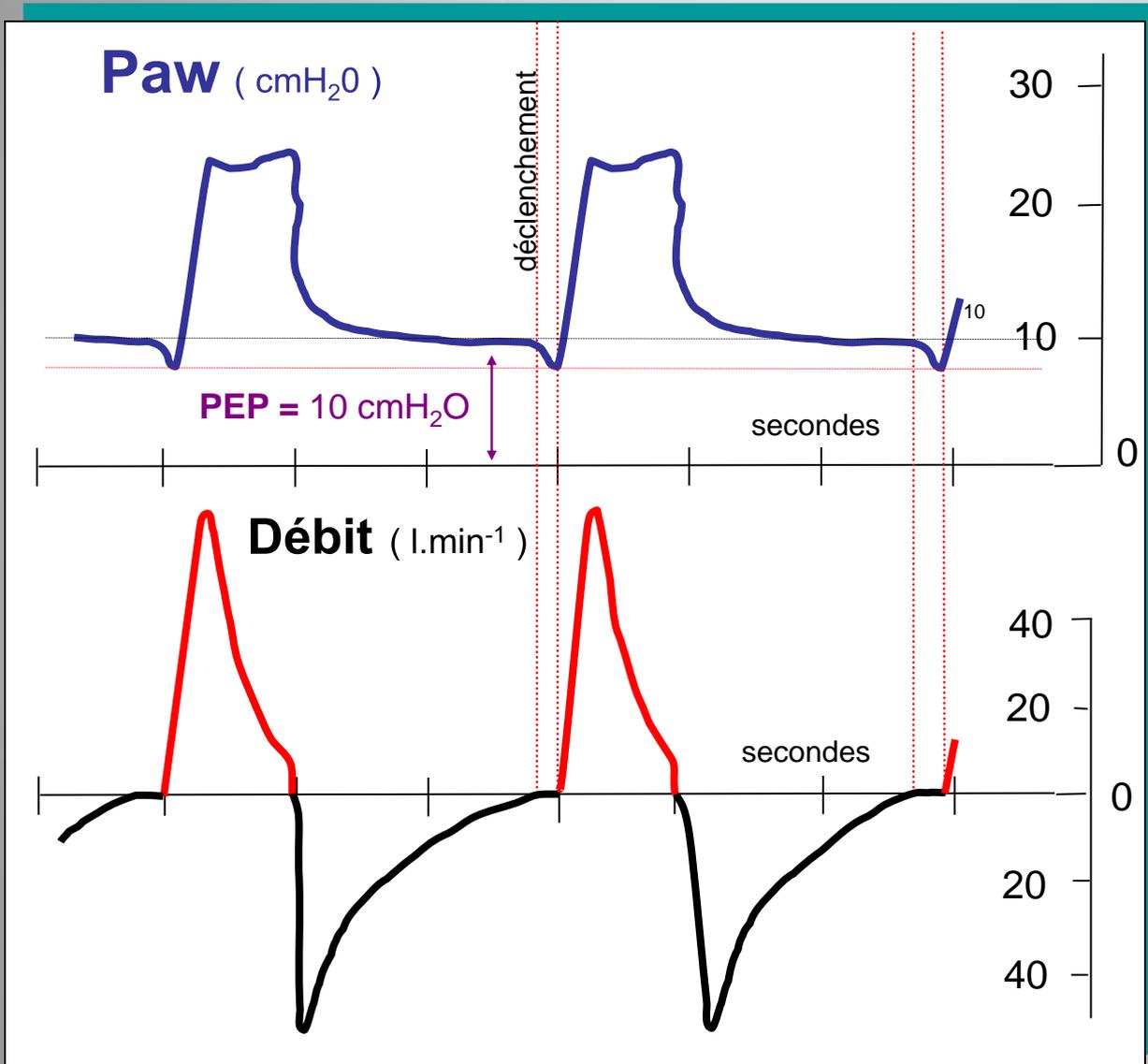
Aide Inspiratoire



Comme en ventilation spontanée, un **pic de débit proto-inspiratoire** est délivré au patient

La pression dans les voies aériennes supérieures est « pressurisée » : c'est le niveau d'aide inspiratoire

Aide Inspiratoire avec PEP



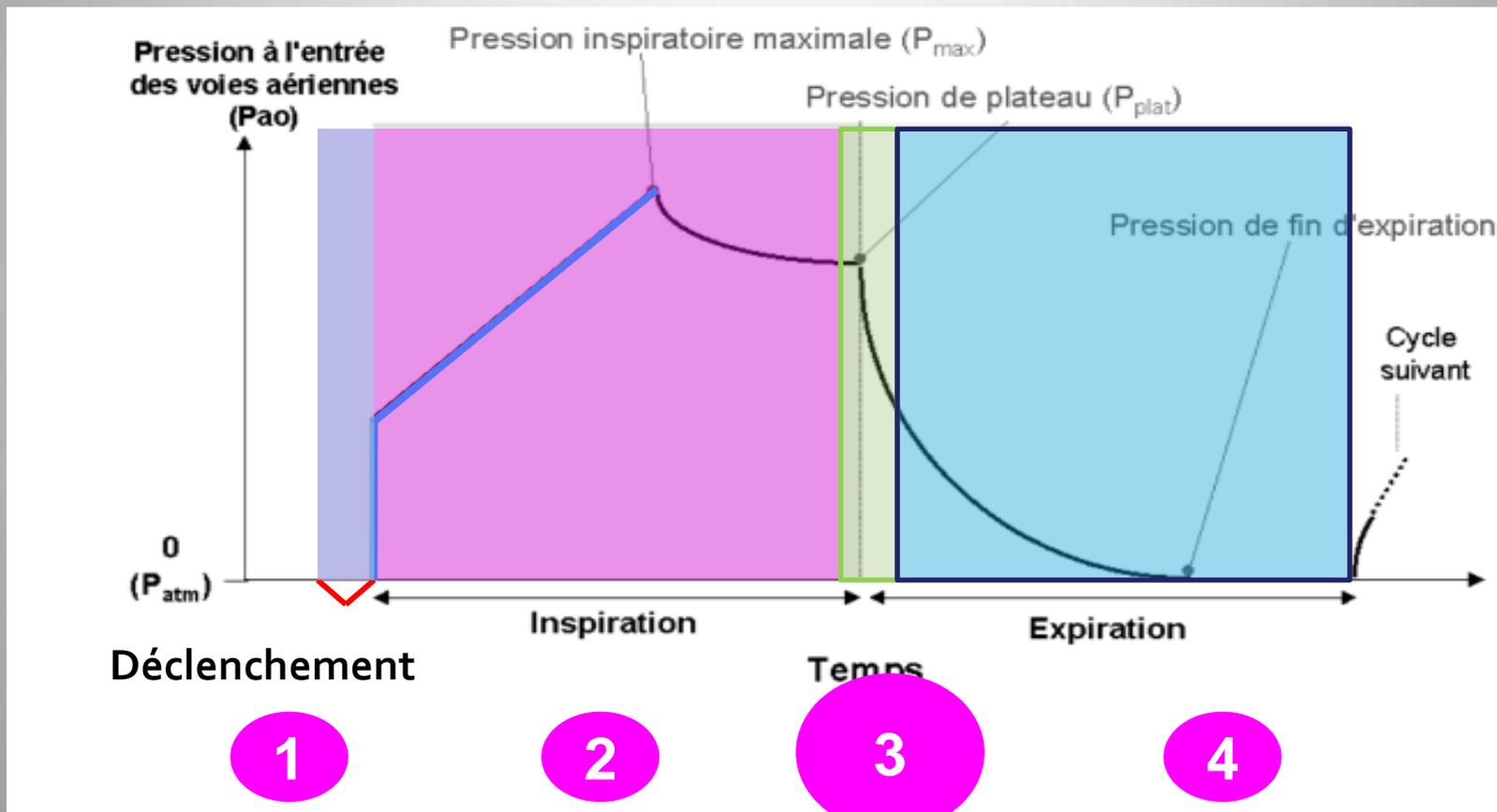
Comme en ventilation spontanée, un **pic de débit proto-inspiratoire** est délivré au patient

La pression dans les voies aériennes supérieures est « pressurisée » : c'est le niveau d'aide inspiratoire

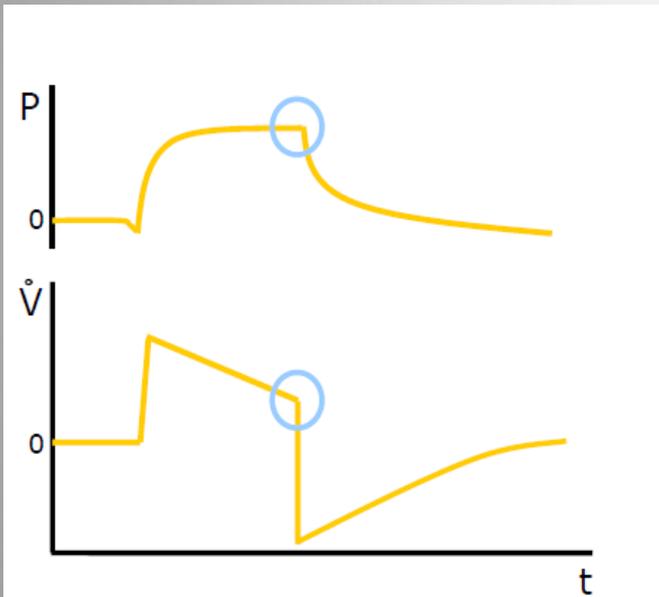
On doit régler :

- le **niveau d'aide** entre **8 et 25 cmH₂O**
- le SD entre **-0.5 et -1.5 cmH₂O**
- la **PEP** entre **5 et 20 cmH₂O**
- la **FIO₂** entre **30 et 60 %**

Phase 3 : La fin de l'inspiration ou le début de l'expiration



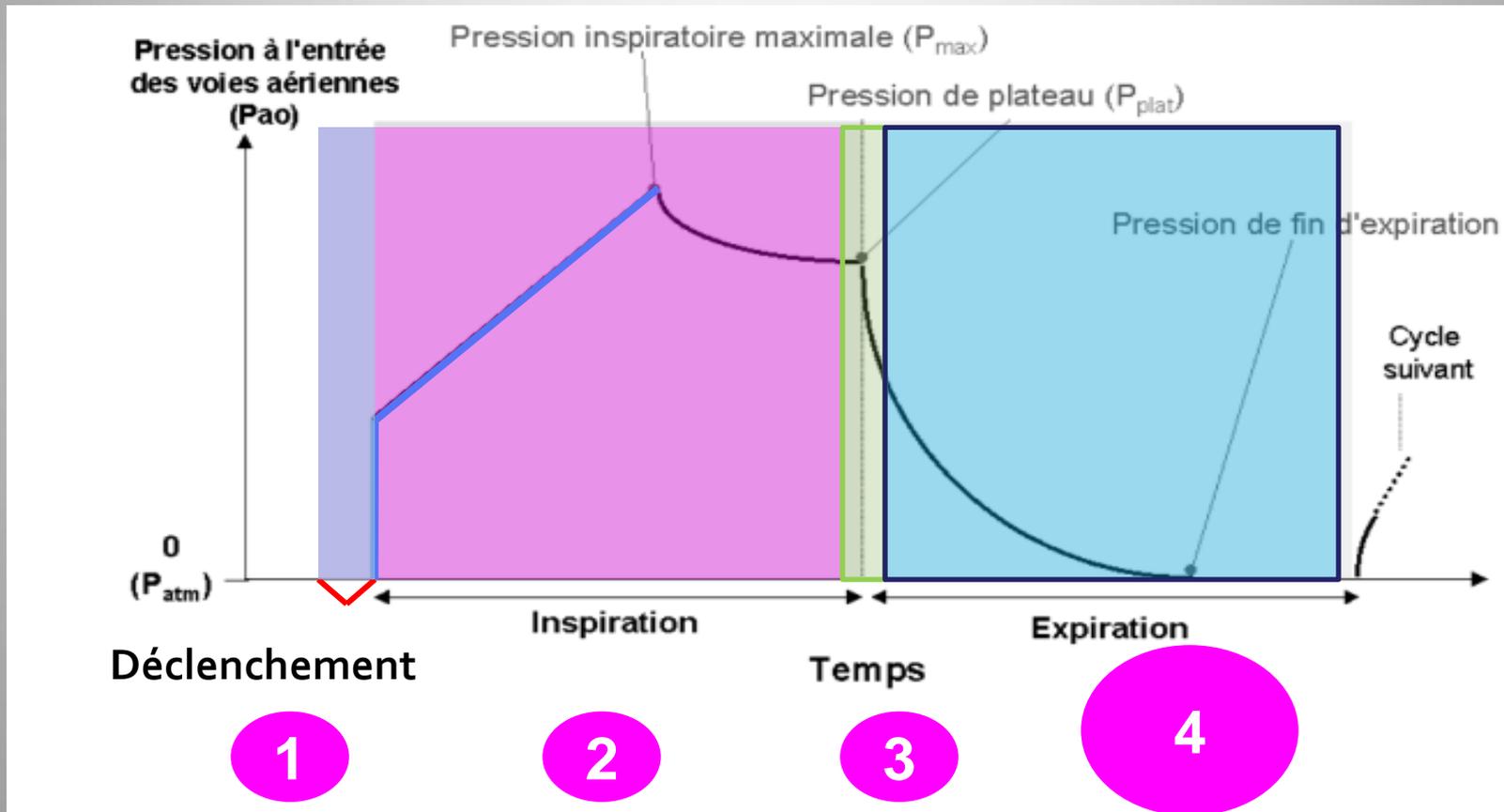
- La fin de la phase inspiratoire ou passage à la phase expiratoire est programmée et elle survient lorsque l'une des variables suivantes atteint une valeur prédéterminée



Cyclage : fin du cycle

- **Temps** : lorsque la durée fixée du temps inspiratoire est atteinte
- **Pression** : lorsqu'un niveau de pression est atteint
- **Débit** : lorsqu'une valeur programmée de débit inspiratoire est atteint
- **Volume** : lorsque le volume courant est atteint

Phase 4: phase expiratoire



- La phase expiratoire est passive, elle correspond à la vidange du système respiratoire grâce **aux forces élastiques** jusqu'à la capacité résiduelle fonctionnelle (CRF).
- L'application d'une pression positive en fin d'expiration (PEP ou PEEP) permet d'augmenter artificiellement la capacité résiduelle fonctionnelle.
- Cette PEEP est appliquée par la valve expiratoire.

Nouveaux modes ventilatoires

Modes De Ventilation Utilisant Une Boucle De Régulation « Simple » (Un Paramètre Régulé)

- En théorie, ces modes se proposent d'associer les avantages des modes en volume et des modes en pression.
- En pratique, ces modes combinent le plus souvent une modalité en débit ou une consigne de VT à délivrer et une modalité en pression d'où leur dénomination fréquente de « **dual-mode** »
- Ces modes ont pour la plupart un objectif de volume dit « garanti » en utilisant une pression variable en fonction des caractéristiques mécaniques du système respiratoire et de l'effort fourni par le patient (régulation de pression).

1. Mode En Ventilation Contrôlée À Régulation De Pression (VCRP) Et Autoflow

- Ce mode a pour objectif de délivrer un VT (garanti) en pression contrôlée en insufflant la pression la plus basse.
- Les paramètres suivants sont fixés au respirateur: **le volume courant consigné (VTc) et la pression à ne pas dépasser, la fréquence minimale et la durée d'insufflation (Ti).**
- Le respirateur commence par délivrer 4 cycles d'essai, le premier avec un niveau de pression de 10 cm H₂O au-dessus du niveau de la pression expiratoire positive (PEP).
- Lors de chaque cycle, le respirateur mesure le VT, le compare à la valeur consignée pour déterminer la pression à imposer au cycle suivant.

2. Volume Support Ventilation (VSV= Volume Assisté) Et Adaptive Pressure Ventilation (APV= Ventilation À Pression Adaptive)

- Le paramètre régulé est la pression d'aide, qui est asservie à 2 paramètres contrôlés : **une fréquence respiratoire consigné (FRc) et un volume courant minimal (ou consigné VTc)**
- Le cycle inspiratoire est initialisé lors d'un effort inspiratoire du malade. Le premier cycle après branchement du malade est réalisé avec un niveau d'aide inspiratoire de 5 cm H₂O.

- Le VT résultant est mesuré et comparé au VTc réglé par l'utilisateur avant le raccordement du respirateur au patient.
- Si VT mesuré $>$ VTc, la pression d'aide diminue et inversement, et ceci par incréments de 3 cm H₂O maximum jusqu'à la délivrance des volumes préréglés.
- Si FR mesurée est $<$ FRc, l'appareil calcule un nouveau VTc sur la base de la ventilation minute minimale (Vmin) et de la FR mesurée et augmente l'AI en conséquence.

3. Volume-Assured Pressure Support Ventilation (VAPS= Volume assuré en aide inspiratoire)

- C'est un mode hybride qui combine dans un même cycle successivement un mode en pression et éventuellement un mode en volume.
- Contrairement à la VCRP et au Volume Support où la régulation se fait cycle à cycle, dans la VAPS, la régulation se fait à l'intérieur du cycle.

- Dès l'instant où le cycle est initié, le respirateur délivre un cycle en aide inspiratoire. Le niveau de pression programmé atteint, le respirateur compare le VT délivré au volume courant minimal garanti préréglé.
- Si le VT délivré est rapidement supérieur ou égal au VT minimal garanti, le mode reste uniquement régulé en pression.
- Si le respirateur constate que le VT délivré est inférieur au VT minimal garanti, alors que le débit décroissant a atteint une valeur seuil prédéfinie, le VT minimal garanti ne sera pas atteint ; ce qui conduit le respirateur à poursuivre l'insufflation tout en changeant de mode, le mode en pression devient un mode en débit.

4. Aide Inspiratoire Asservie À La P0.1

- C'est un mode régulé sur l'effort du patient évalué de façon non invasive par la mesure automatisée de la pression d'occlusion à 100 msec (P0.1).
- La pression d'occlusion après le début d'une inspiration, alors que les voies aériennes sont occluses, est un bon reflet de l'activité des centres inspiratoires et du travail respiratoire réalisé par le patient.

- La P0.1 mesurée automatiquement à chaque cycle, est moyennée tous les cinq cycles. Le respirateur compare la valeur moyenne de P0.1 à une valeur cible fixée par le praticien.
- Si la valeur de P0.1 est inférieure à la valeur fixée, le niveau de pression est diminué, à l'inverse une valeur de P0.1 supérieure à la cible entraîne une augmentation de la pression d'aide.
- Pour éviter toute hypoventilation, une valeur minimale de ventilation alvéolaire est fixée par le médecin.

MODES DE VENTILATION UTILISANT UNE
BOUCLE DE RÉGULATION
« COMPLEXE » (PLUSIEURS PARAMÈTRES
RÉGULÉS)

1. Auto-Regulated Inspiratory Support (ARIS= aide inspiratoire autorégulé asservie)

- C'est un mode où le niveau et la forme de la pression d'aide inspiratoire sont ajustés automatiquement par des boucles de régulation complexes multiparamétriques utilisant les signaux de débit et de pression du respirateur.
- L'objectif de ce mode est de maintenir le patient autour d'une consigne de ventilation minute cible, tout en respectant quatre contraintes prioritaires : **une pression maximale des voies aériennes, un VT minimal, une FR minimale fixée à dix par minute et une fréquence respiratoire maximale.**

- Pour atteindre l'ensemble des consignes données, la régulation de l'ARIS modifie deux choses : **le niveau de la pression d'aide maximale et la valeur absolue de la pente de décroissance de l'aide.**
- Ce mode est en cours d'évaluation et pourrait être intéressant au cours de certains sevrages difficiles.

2. Adaptative Support Ventilation (ASV = ventilation à aide adaptative)

- Ce mode utilise l'aide inspiratoire et une boucle d'asservissement élaborée.
- L'ASV se propose donc de maintenir une VM minimale prédéfinie, en tenant compte des cycles respiratoires spontanés, tout en assurant une ventilation totale en apnée ou lors d'activité respiratoire faible avec passage du contrôle au patient si son activité respiratoire le permet.

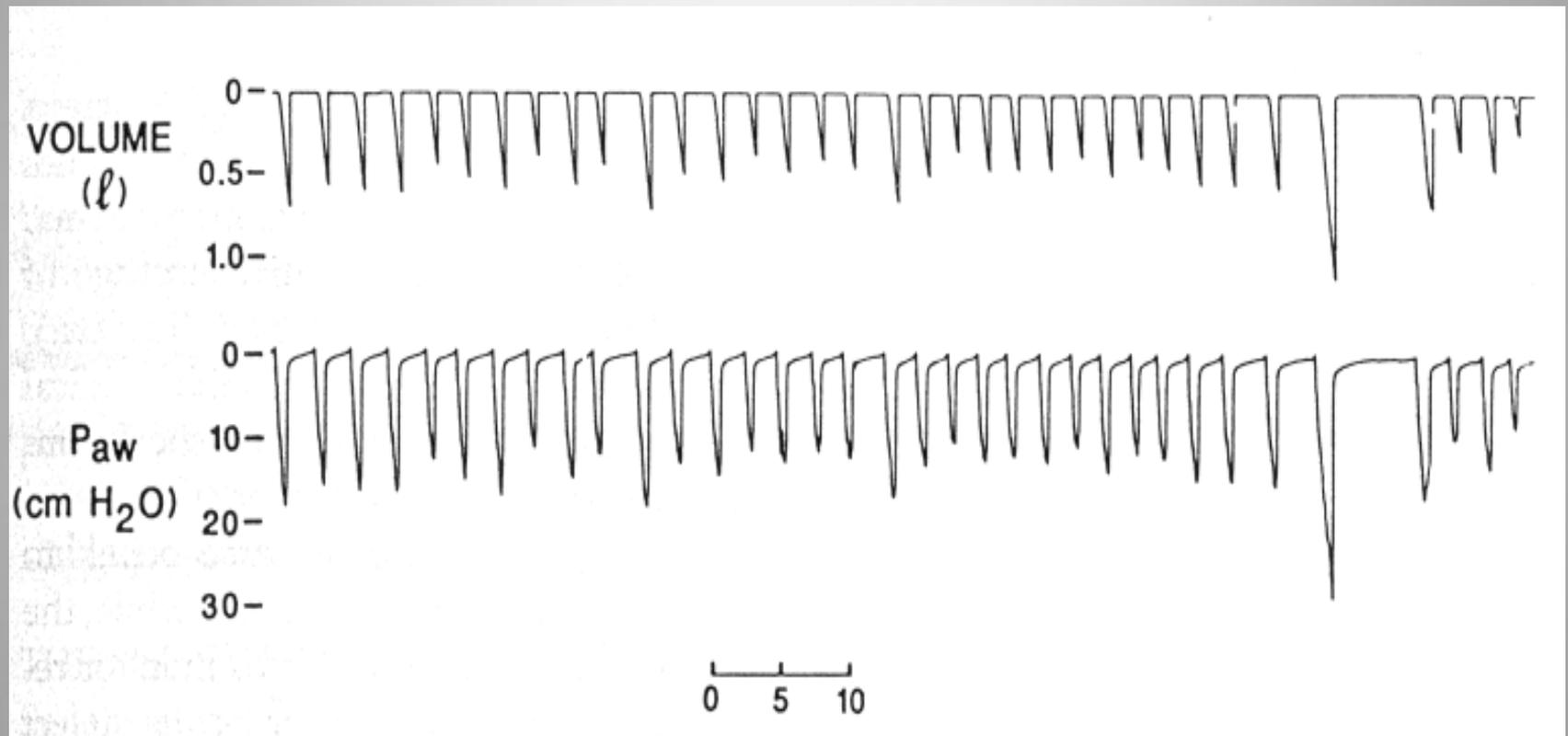
- L'ASV a plusieurs objectifs:
 - obtenir le mode ventilatoire qui permet en théorie le travail respiratoire le plus faible,
 - limiter l'hyperinflation dynamique et la PEPi et rester dans des limites de sécurité en termes de pression ou de volume.
- Les réglages du respirateur nécessitent trois données déterminées par le clinicien:
 - le poids idéal du patient (déterminé à partir d'une formule intégrant la taille et le sexe),
 - le pourcentage de VMmin souhaité liée au poids (une VM normale est de 100 ml/kg/min: par exemple la VM à 100 % d'un adulte dont le poids idéal est de 70 kg sera de 7 l/min)
 - la limite de pression à ne pas dépasser (pression de sécurité).

3. Proportionnal Assist Ventilation (PAV= ventilation assistée proportionnelle) et Proportionnal Pressure Ventilation (PPS)

- La ventilation assistée proportionnelle (PAV ou PPS) est un support ventilatoire partiel dans lequel le respirateur délivre une pression (P_{aw}) proportionnelle à l'effort du patient (P_{mus}).
- la PAV diffère radicalement des modes précédents, puisque aucun des réglages traditionnels (volume, débit, pression, fréquence) n'est disponible ni nécessaire, en dehors du système de déclenchement de la PEP et de la FIO_2 .

- Le seul réglage à effectuer est le degré d'assistance souhaité (de 0 à 100 %) qui va dépendre de la mécanique respiratoire du patient que doit intégrer le respirateur.
- Celui-ci analyse les signaux de débit et de volume venant du patient, ce qui lui permet de calculer l'effort effectué par le patient s'il connaît la résistance (R) et l'élastance (E) du système respiratoire.
- L'assistance ventilatoire va s'adapter en continue à des changements de demande ventilatoire (douleur, fièvre, sommeil...), ce qui constitue la singularité et l'avantage théorique de ce mode.

PAV



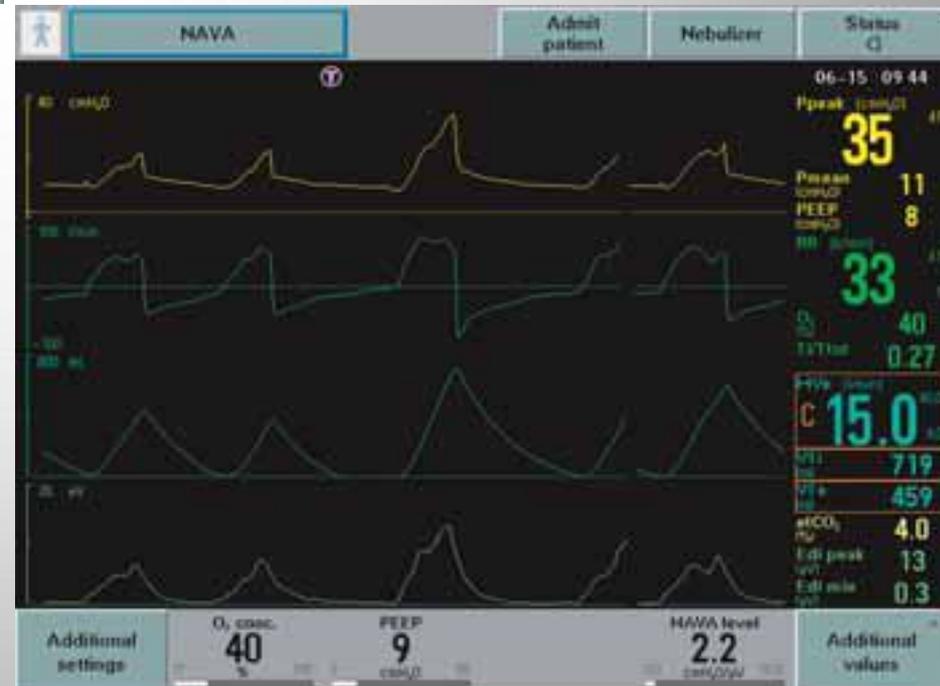
4. Neurally Adjusted Ventilatory Assist (NAVA) = mode asservi à l'électromyogramme diaphragmatique

- Ce mode a pour objectif principal d'améliorer la synchronisation patient machine en remplaçant le trigger inspiratoire classique qui utilise soit un signal de pression des voies aériennes soit un signal de débit par un signal de l'activité électrique diaphragmatique obtenu à l'aide d'une sonde œsophagienne.

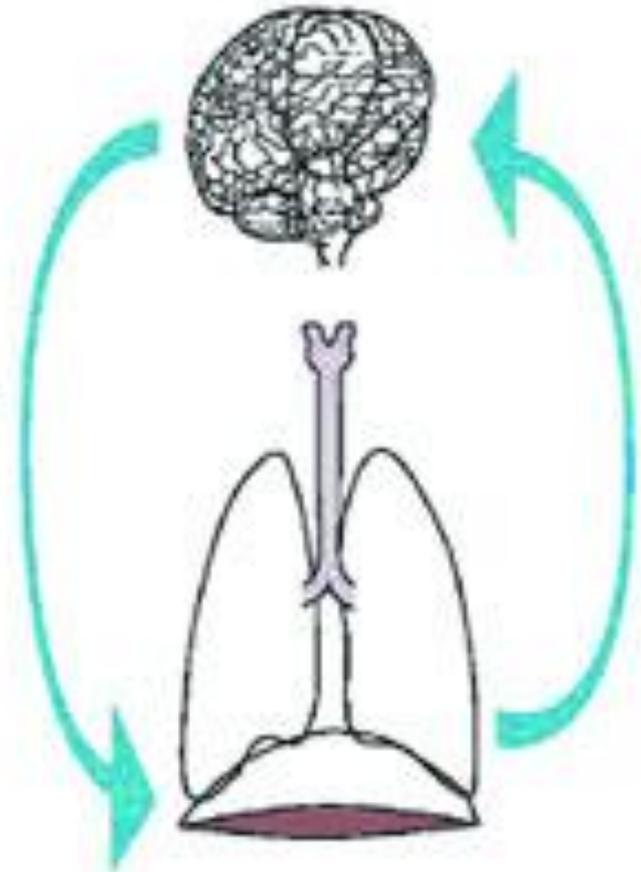
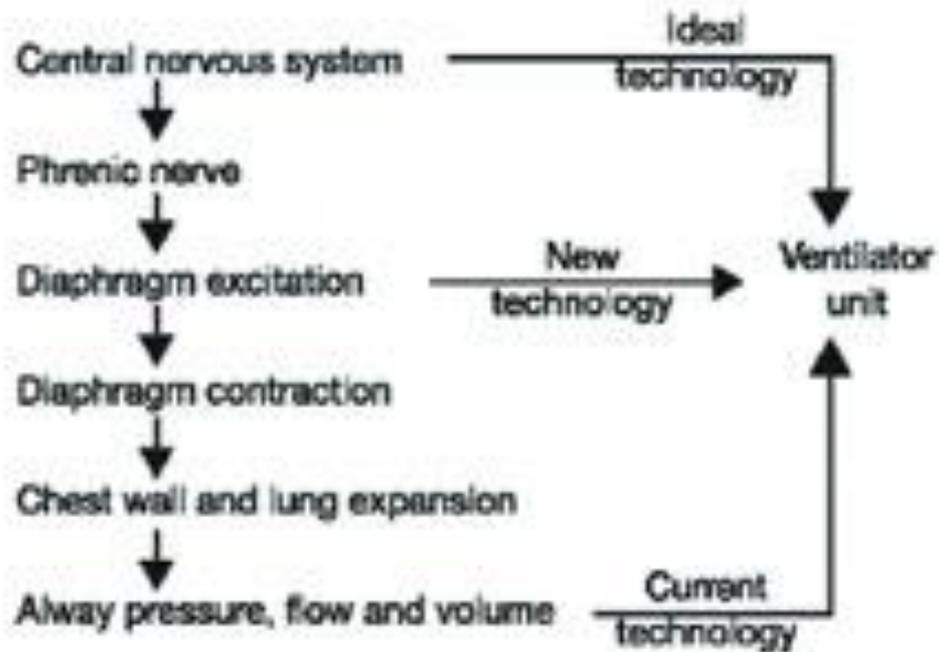


Signal électrique de l'activité oesophagienne (Edi) et de l'activité cardiaque (ECG)

Amélioration de la synchronie inspiratoire et expiratoire entre patient et ventilateur en détectant le signal Edi



Neuro-ventilatory coupling





- Le véritable défi de ce concept est:
 - la bonne détection du signal électrique du diaphragme qui dépend de la position de la sonde œsophagienne.
 - l'interprétation du signal qui doit être filtré pour éliminer par exemple des spasmes œsophagiens ou des efforts inspiratoires volontaires

Alarmes

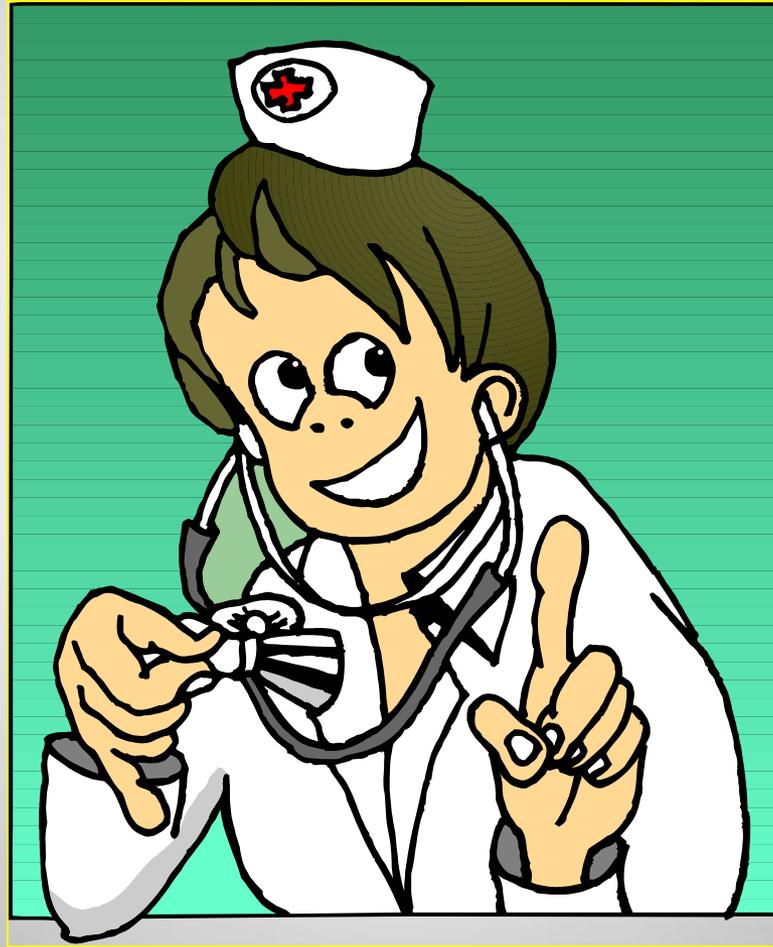


- **Alarmes prescrites:**

- Pression crête (pression des voies aréiennes)
- V_T inspiré
- Volume expiré
- Volume minute
- PEEP
- FR
- Temps d'apnée (5 à 60 secondes)

- Les alarmes sont utiles pour contrôler:
 - une éventuelle augmentation indésirable ou une baisse de **pression ou de volume**,
 - une **fuite d'air**,
 - un **arrêt de courant**,
 - une **baisse de la ventilation/min**
 - un **défait de cycle**.

SURVEILLANCE



Un patient sous ventilation assistée doit être sous surveillance médicale stricte:

- L'adaptation du patient à sa machine
- La symétrie de la ventilation,
- La conscience,
- L'oxymètre de pouls, les gaz du sang,
- L'état hémodynamique, le rythme cardiaque sous scope.
- Une radiographie thoracique tous les jours.
- En cas d'utilisation d'un **échangeur thermique (nez artificiel)** à usage unique, il faut le remplacer s'il est bouché par les sécrétions et toutes les 24 heures.

- Aspirations endotrachéales régulières
- Bouchons muqueux : instillation +++
- Mesure de la pression du ballonnet (< 30 cmH₂O)
- Glouglou = ballonnet dégonflé
- Le repère de fixation
- Position proclive à 30-45°
- Soins de bouche réguliers