



Les modes de ventilation contrôlée

Martin Lessard m.d.

Service de soins intensifs
Hôpital de l'Enfant-Jésus

8 mars 2012

PLAN

- Classification des modes de ventilation
- Paramètres de la ventilation contrôlée
- Ventilation en volume contrôlé
- Ventilation en pression contrôlée
- Adaptation patient - respirateur
- Ventilation contrôlée à régulation de pression
- Ventilation à ratio inversé

Phases de la ventilation

- Initiation de l'inspiration
- Inspiration
- Pause inspiratoire
- Fin de l'inspiration
- Expiration

Initiation de l'inspiration

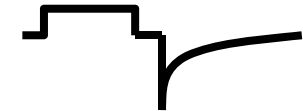
- Temps (time triggered)
 - Fréquence déterminée par le médecin
 - VC
- Effort du patient (patient triggered)
 - Fréquence déterminée par le médecin ET le patient
 - VAC
 - SIMV
 - Pressure triggered
 - Flow triggered (Flow-by[®])

Paramètre inspiratoire contrôlé

- Volume contrôlé

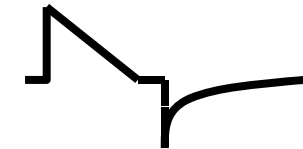
- Débit ou volume

Débit constant



- Pression de ventilation variable

Débit décélérant



- Pression contrôlée

- Pression de ventilation
- Volume courant variable

Fin d'inspiration

- Temps (time cycled)
 - Volume contrôlé
 - Pression contrôlée
 - $T_i = 1$ seconde en général
- Flow cycled (AI)
- Pressure cycled

Expiration

- Toujours passive
 - Ne peut être assistée
 - Au moins 2 secondes
- Peut être retardée
 - Temps expiratoire trop court
 - T_i trop long
 - Ratio I:E
 - Fréquence respiratoire
- Hyperinflation, auto-PEEP

Paramètres de la ventilation

- Fréquence : F
- Volume courant (Vc) ou Pression de ventilation
- Volume (ventilation) minute : $VE = F \times Vc$
 - c'est ce qui détermine la $PaCO_2$ du patient
- Type de débit inspiratoire
- Temps inspiratoire : Ti
- Temps expiratoire : Te

- PEEP
- Concentration d 'oxygène : FiO_2

Ventilation mécanique

Contrôlée Spontanée

VC

← VAC →

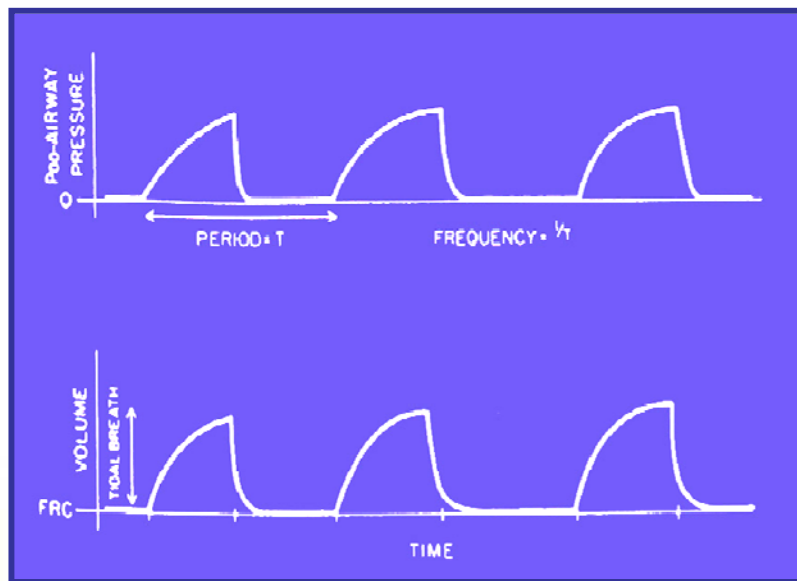
← SIMV →

← AI (PSV) →

CPAP →

Tube en T

Ventilation contrôlée (VC)



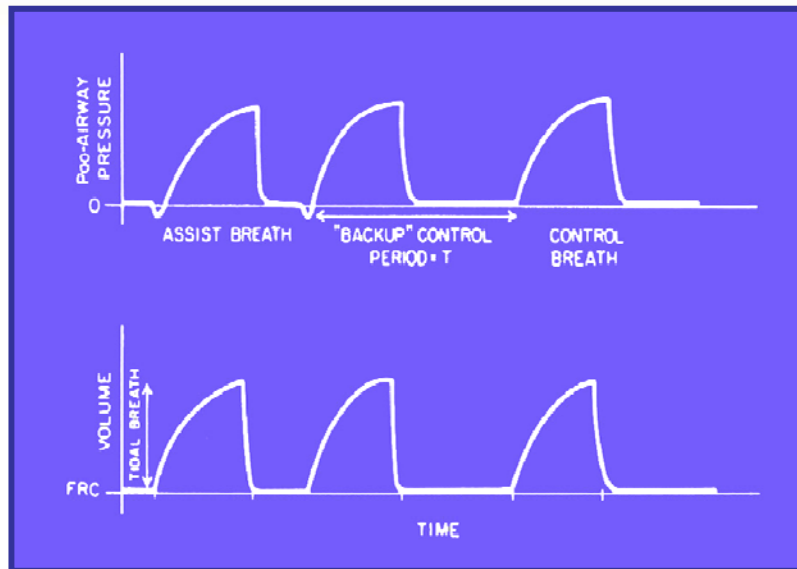
- Avantage :
 - Toute la ventilation est contrôlée par le médecin
- Désavantages :
 - Très inconfortable
 - Sédation essentielle
- Utilité :
 - Salle d'opération

Ventilation contrôlée (VC)

	<u>Médecin</u>	<u>Patient</u>
F	X	
Vol/P	X	
V _E	X	
Ti	X	
Te	X	
PATTERN	X	
PEEP	X	
FIO ₂	X	

Le patient est totalement soumis aux décisions du médecin.

Ventilation assistée-contrôlée (VAC)



Les respirations que prend le patient sont déterminées par le médecin

Si $F_{\text{patient}} = 0$: ça devient de la V_c

- Avantages :
 - VE minimale assurée
 - V_c assuré
- Désavantages :
 - Se fait « souffler » dans les poumons
 - Inconfort du patient
 - Sédation nécessaire, mais pas trop
 - « Personnalisation » des paramètres

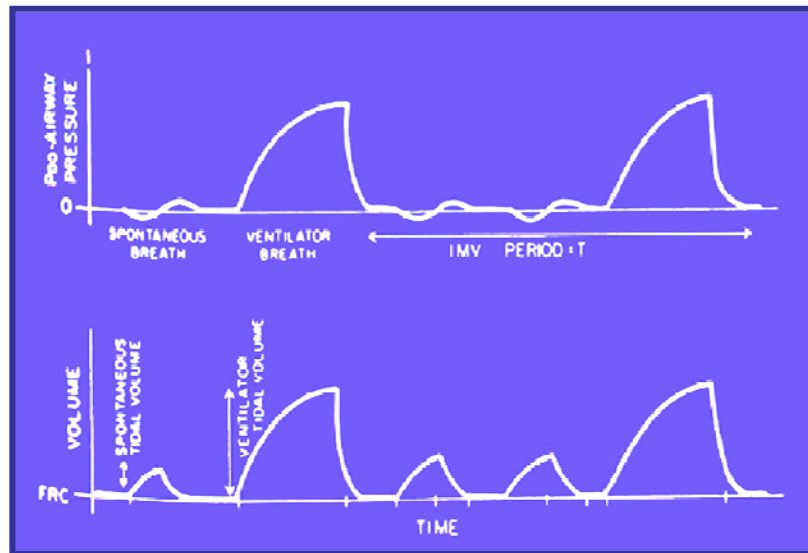
Ventilation assistée-contrôlée (VAC)

	<u>Médecin</u>	<u>Patient</u>	
F	X	X	
Vol/P	X		
VE	X	X	= (Fmd + Fpat) x Vc
Ti	X		
Te	X	X	
PATTERN	débit insp.	régularité	
PEEP	X		
FiO ₂	X		

Si Fpat = 0. ça devient de la Vc

Les respirations que prend le patient sont déterminées par le médecin (Vc, débit, Ti)

Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation (SIMV, IMV, VACI)



Si $F_{\text{patient}} = 0$: ventilation contrôlée
(Patients sédationnés)

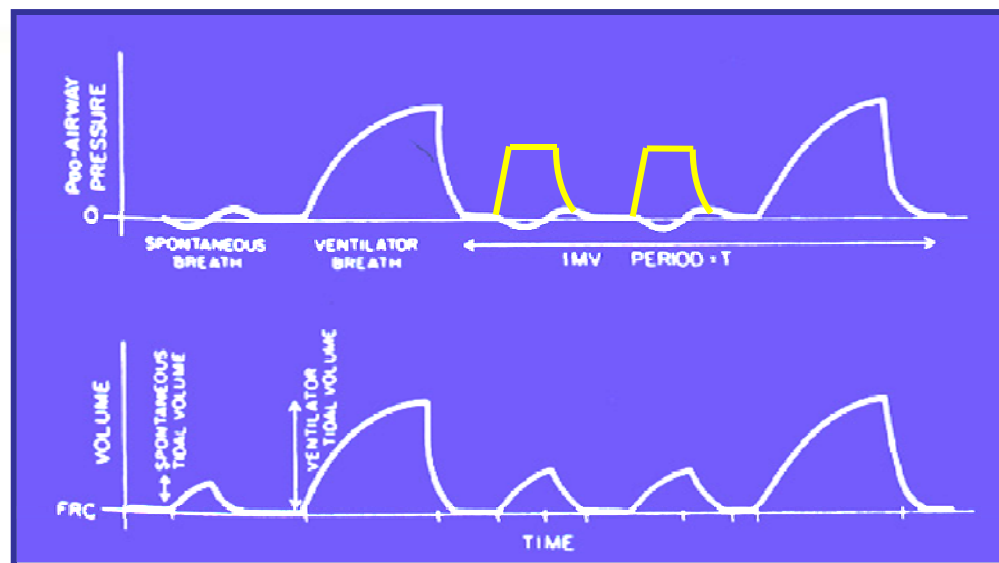
- Avantages :
 - Assure une V_E minimale
 - Meilleur confort du patient
- Désavantages :
 - Mode intermédiaire:
 - ni vraiment contrôlée ni vraiment spontanée
 - Le patient ne sait pas si c'est lui ou le respirateur qui va contrôler la prochaine respiration

Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation (SIMV, IMV, VACI)

	<u>Médecin</u>	<u>Patient</u>	
F	X	X	
Vol/P	X	X	
V _E	X	X	= (F _{md} X V _{cmd}) + (F _{pat} X V _{cpat})
Ti	X	X	
Te	X	X	
PATTERN	X	X	
PEEP	X		
FiO ₂	X		

- Si F_{pat} = 0 : ventilation contrôlée (Patients sédationnés)

SIMV + Aide Inspiratoire (PSV)



- Les respirations spontanées prises par le patient (entre les cycles IMV) sont assistées par l'AI
- L'AI ne joue aucun rôle pendant les cycles contrôlés (IMV)
- si $F_{\text{patient}} = 0$: l'AI n'est pas active (même si prescrite...)

Temps inspiratoire vs rapport I:E

- Débit inspiratoire maximal (Peak flow)

- $T_i = \frac{\text{Vol cour (L)}}{\text{Débit inspir (L/min)}} \times 60$

- T_i : fixe, indépendant de la fréquence ajustée
- T_e : variable, dépendant de la fréquence respiratoire
- Nellcor PB 7200a, 840

Temps inspiratoire vs rapport I:E

- **Rapport I/E, Ratio I:E, %inspir**

- Rapport entre la durée de l'inspiration et de l'expiration

- Rapport 1/3 = Ratio 1:2 = 33% inspiration

- $T_i = \frac{60}{\text{Fréq.}} \times \% \text{inspir}$

- T_i : variable, dépendant de la fréquence et du rapport I/E

- T_e : variable, dépendant de T_i et de la fréquence

- Maquet Servo 900C, 300, Servo i

Temps expiratoire

- Variable dépendante

- Fréquence respiratoire

- Temps inspiratoire

- $T_e = \frac{60}{\text{Fréq.}} - T_i$

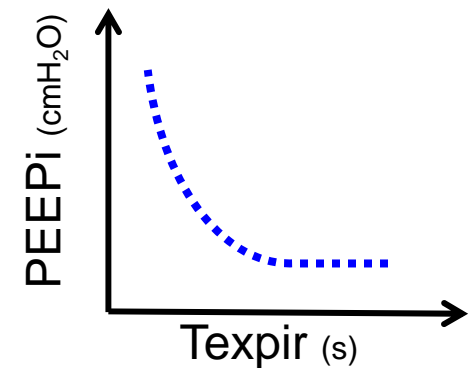
- $T_e = \frac{60}{\text{Fréq.}} - (1 - \%insp)$

Fréq.	I:E	Ti (sec)	Te (sec)
10	2:1	4	2
20	2:1	2	1
20	3:1	2.25	0.75
20	4:1	2.4	0.6
30	2:1	1.33	0.67

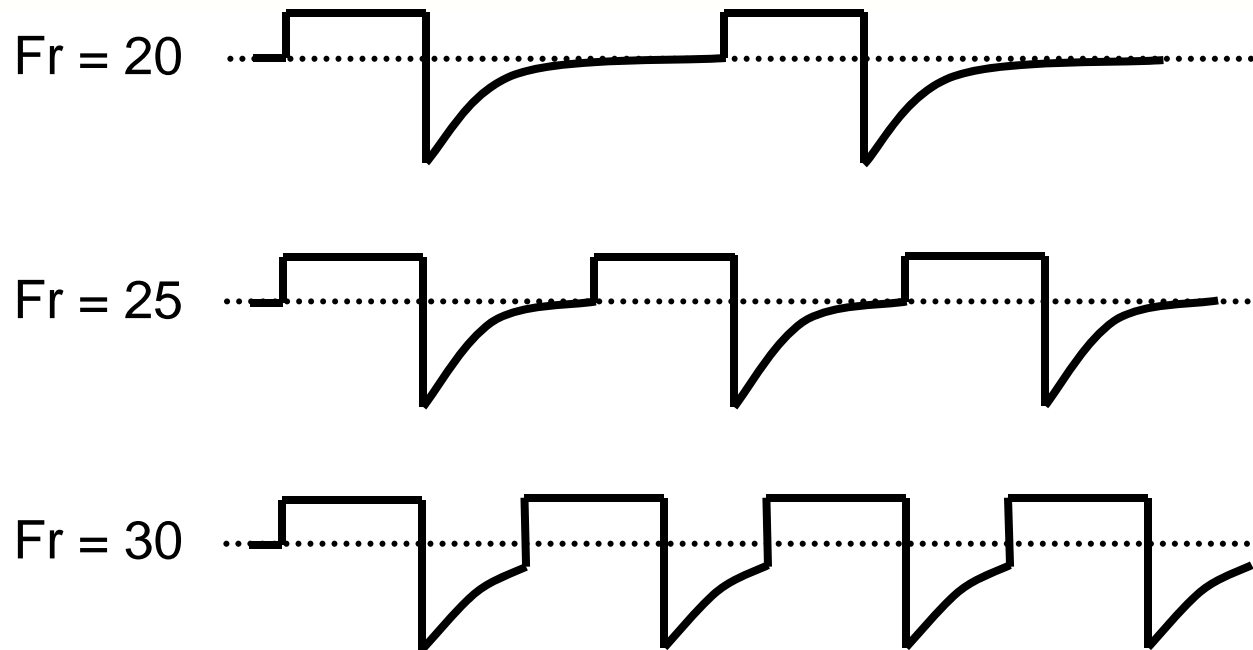
- Temps expiratoire: habituellement ≥ 2 sec

- Si < 2 sec: attention à l'hyperinflation

- Significatif lorsque $T_{\text{expir}} < 1$ sec



Fréquence respiratoire et hyperinflation



- Attention à l'hyperinflation et auto-PEEP !
- Surveillance sur les graphiques de ventilation

Équation du mouvement de l'air (Equation of motion)



Résistance
Pression résistive



Compliance
Pression élastique

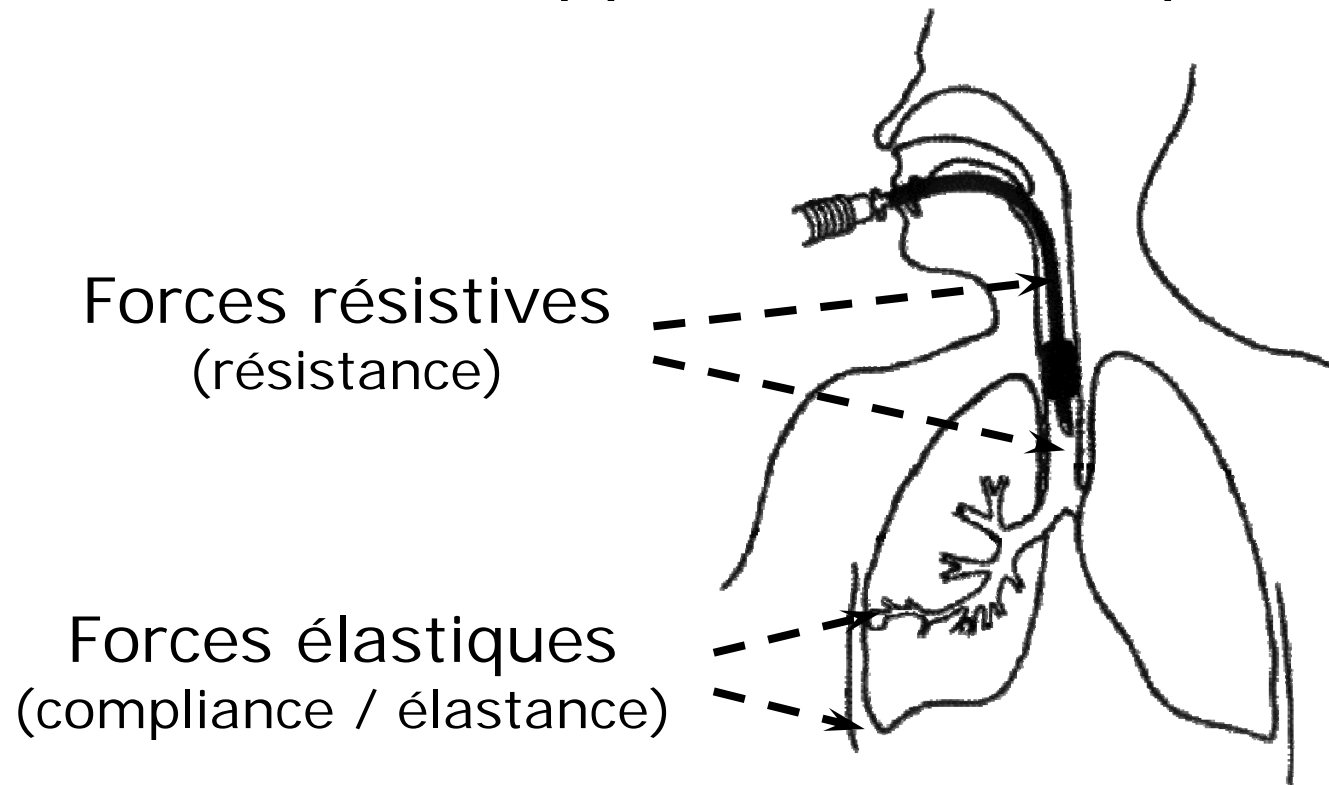


Pression de ventilation = Résistive + Pélastique

Pression de ventilation = (Débit x R) + (Vol / Cstat) + PEEP

Mécanique de la respiration (contrôlée ou spontanée)

Deux "forces" s'opposent à la respiration

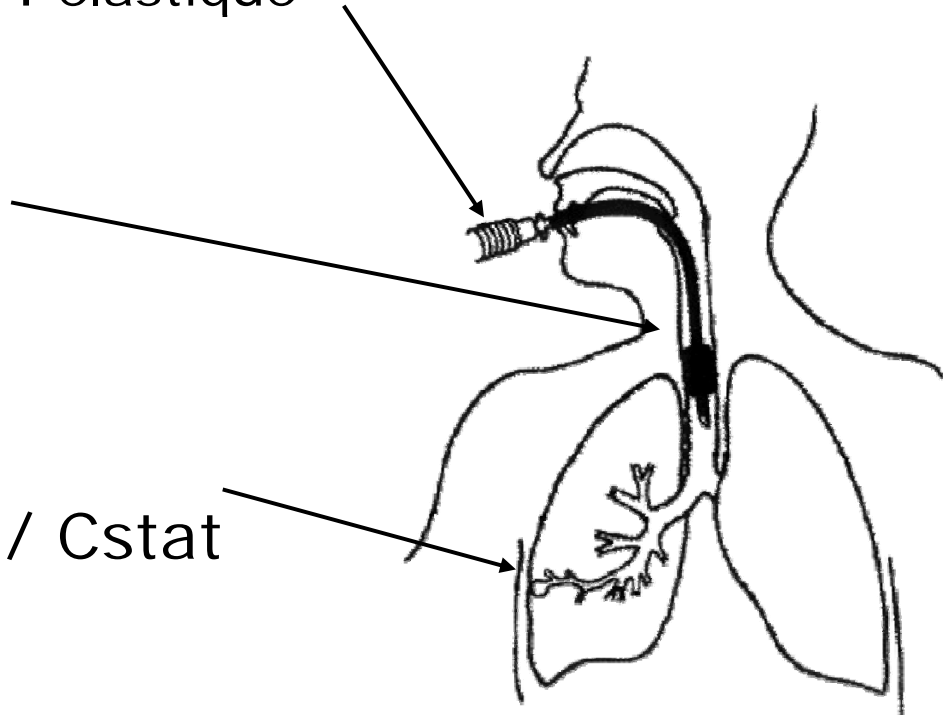


Mécanique de la respiration

- Pression de ventilation (max, pointe, crête, peak)
 - PIP = Présistive + Pélastique

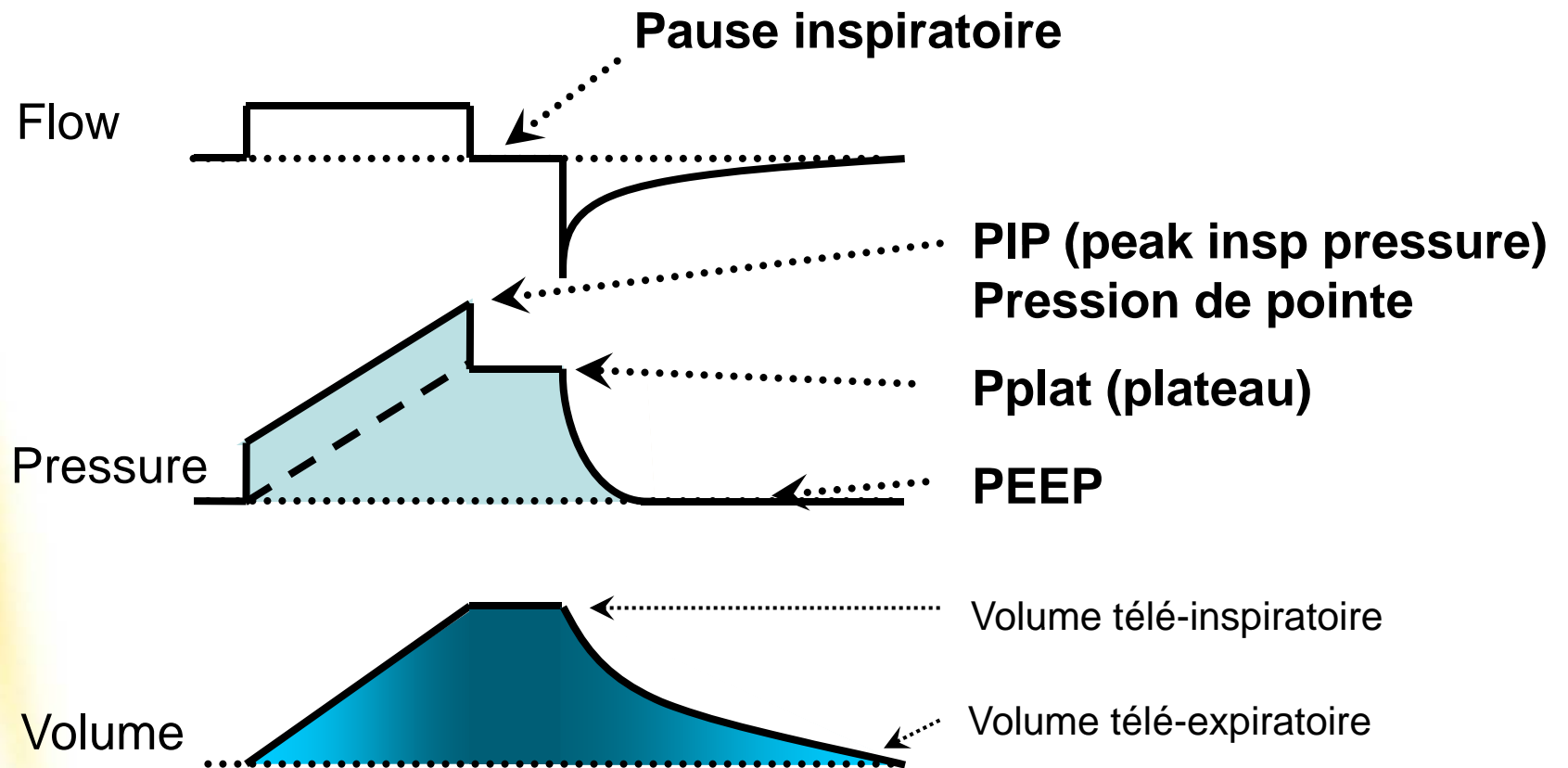
- Pression résistive
 - Prés = Débit x R

- Pression élastique
 - Pélastique = Vol / Cstat

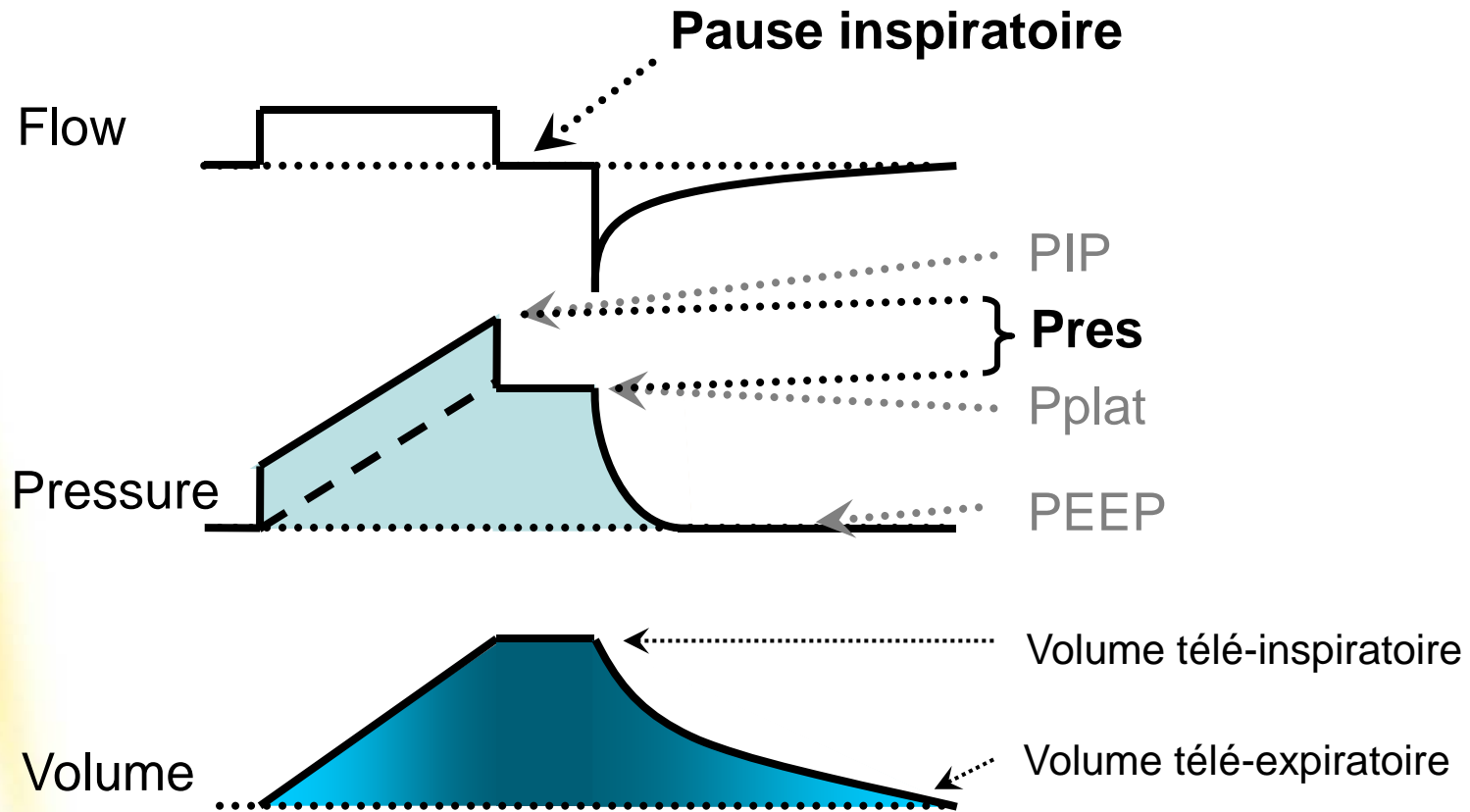


$$\text{Pression de ventilation} = (\text{Débit} \times R) + (\text{Vol} / C\text{stat}) + \text{PEEP}$$

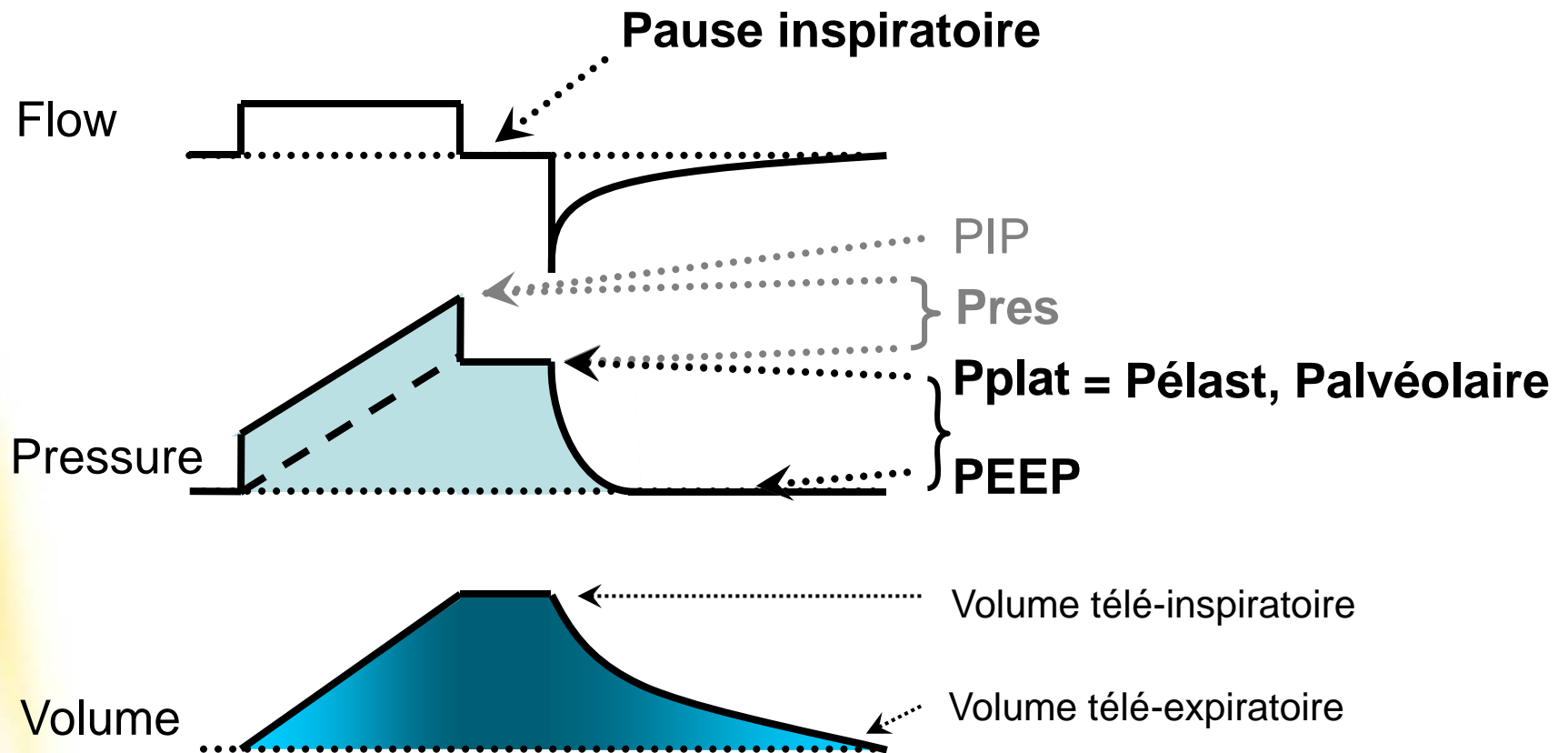
Débit – Pressions – Volume (mode volume/débit contrôlé)



Débit – Pressions – Volume (mode volume/débit contrôlé)



Débit – Pressions – Volume (mode volume/débit contrôlé)



Ventilation à volume contrôlé

- Paramètres déterminés:
 - Volume courant = Débit x T_i
 - Fréquence
 - Temps inspiratoire
- Paramètres dépendants ou variables:
 - Pression de ventilation
 - Limitée par l'alarme de haute pression
- Ventilation minute fixe
 - PaCO_2 stable

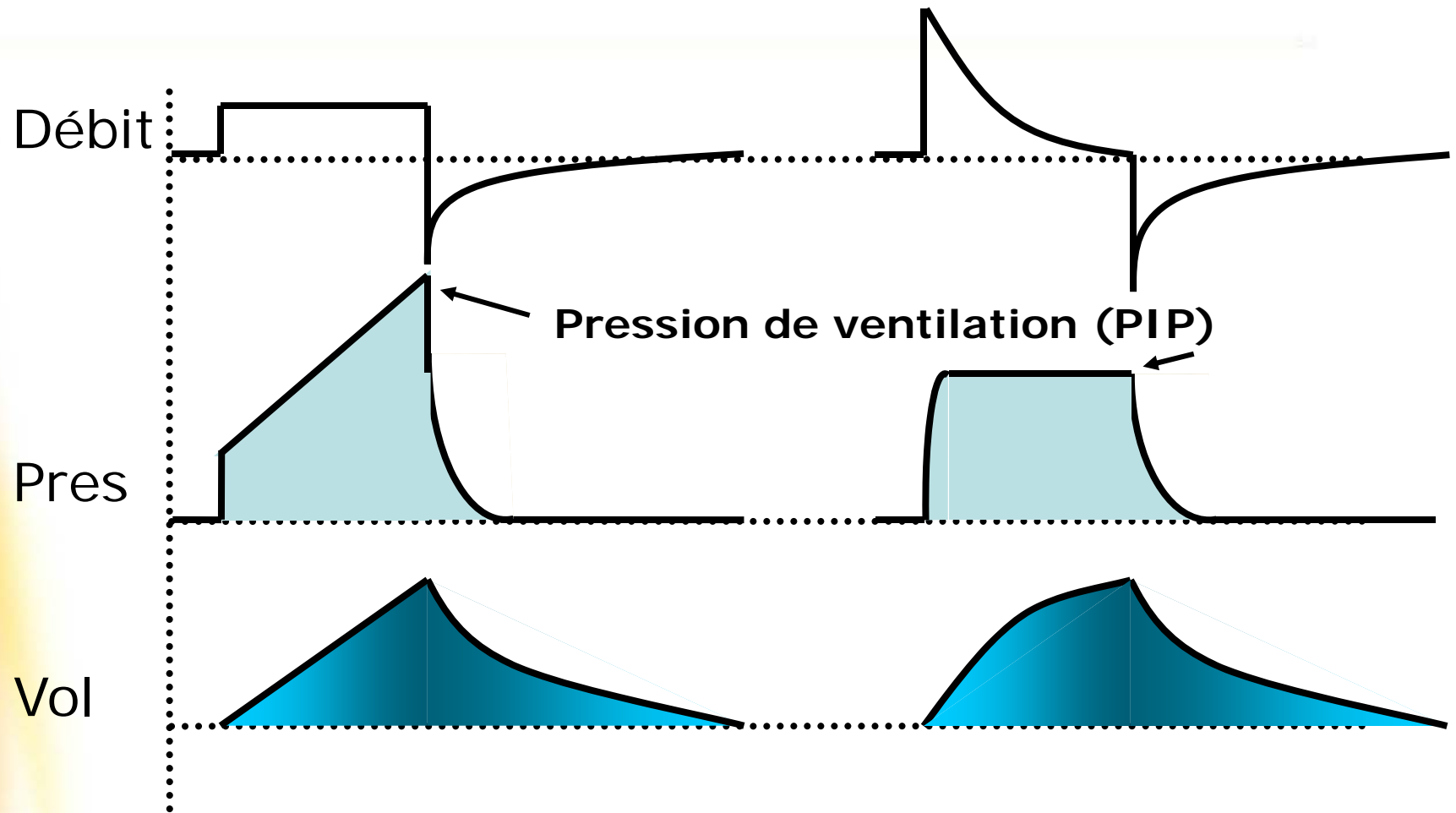
Ventilation à volume contrôlé

- Pression maximale de ventilation non limitée
 - $P_{vent} = P_{max} = (\text{Débit} \times R) + (\text{Vol} \times C_{STAT})$
 - $\uparrow P_{max}$:
 - \uparrow Débit inspiratoire
 - \uparrow Résistance inspiratoire
 - \uparrow Volume courant
 - \downarrow Compliance statique
- High pressure limit / alarm
- Débit inspiratoire constant vs décélérant

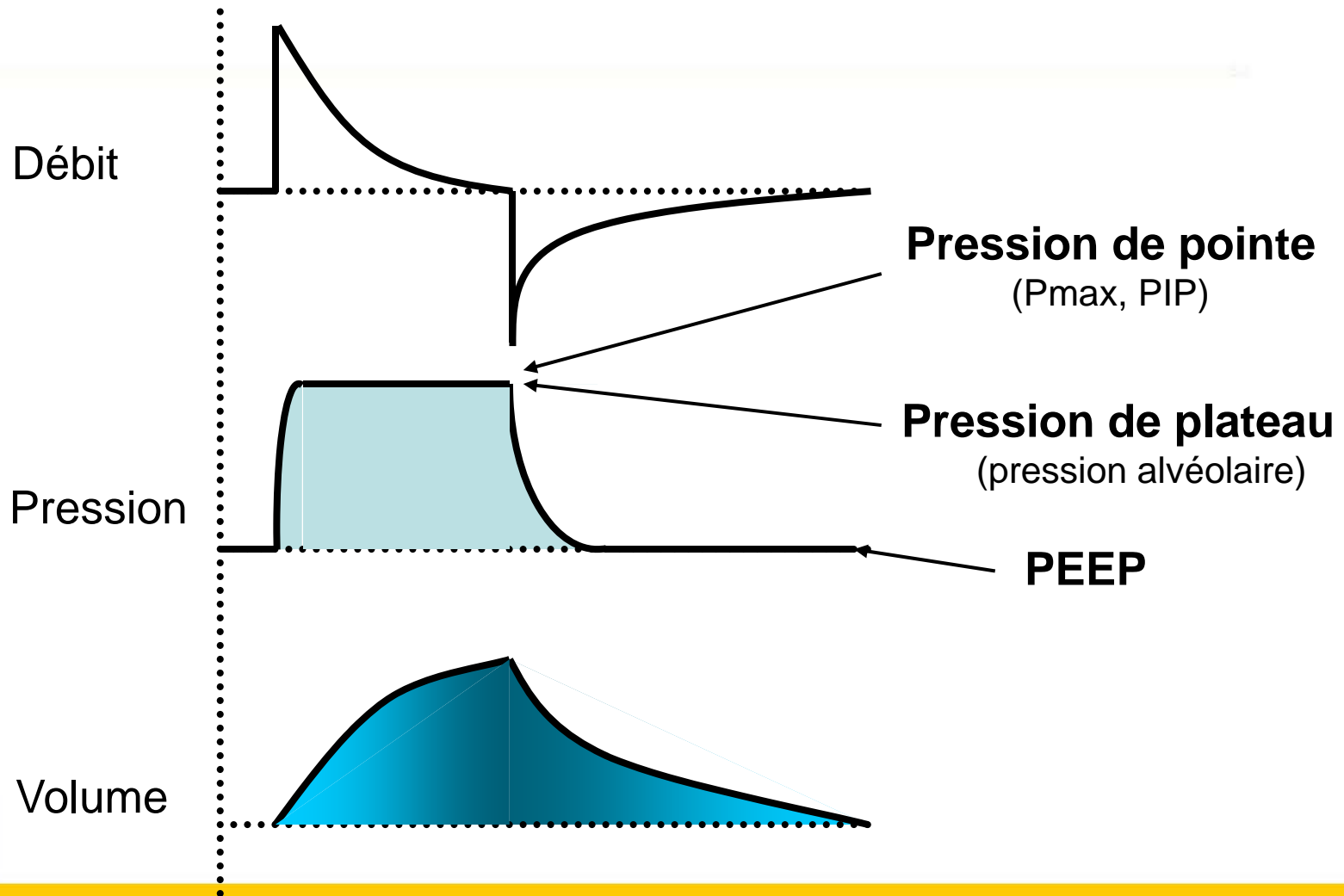
Ventilation à pression contrôlée



Volume contrôlé vs Pression contrôlée



Ventilation à pression contrôlée

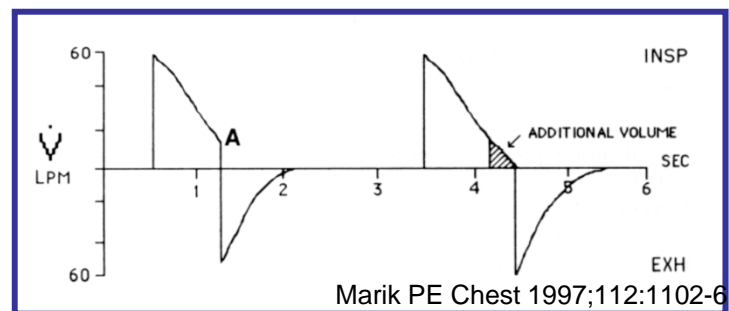


Ventilation à pression contrôlée

- **Volume courant déterminé par:**
 - Pression de ventilation
 - Compliance
 - Résistance
 - Temps inspiratoire
 - Auto-PEEP
- **Ventilation minute variable**
 - Volume courant variable
 - Non proportionnelle à la fréquence respiratoire
 - **PaCO₂ variable**

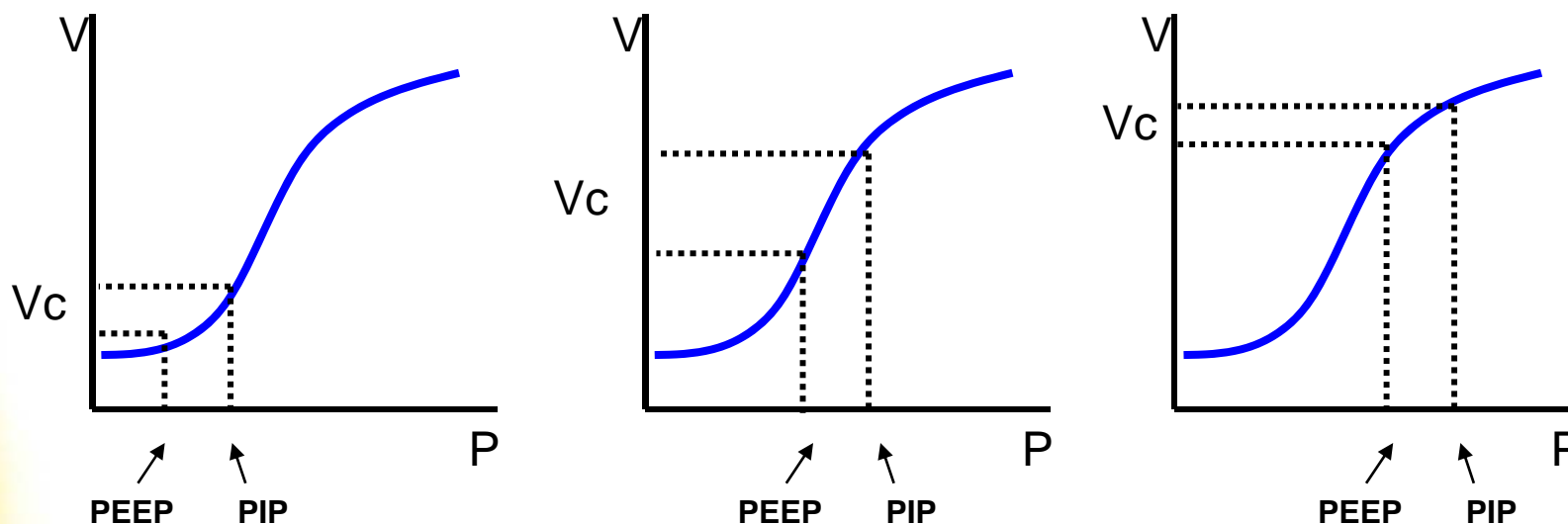
Ventilation à pression contrôlée

- Pour un patient donné, on assume que la compliance et la résistance sont fixes
- Pression de ventilation (driving pressure, inspiratory pressure)
 - Différence entre la pression maximale de ventilation et le PEEP total
 - $PIP - PEEP_{tot}$
- Si le Ti est assez long, la pression alvéolaire s'équilibre avec la PIP
 - Palvéolaire = PIP
- Si le Ti est insuffisant: Palvéolaire < PIP
 - ↓ Volume courant
 - Fréquence trop élevée
 - Résistance augmentée
- $V_c = (Palvéolaire - PEEP_{tot}) \times Compliance$



Ce qui détermine le volume courant

Modification du PEEP



- En mode pression contrôlée, le volume courant est toujours une variable
- Mesure du volume courant impérative après chaque modification du PEEP

Déterminants de la ventilation minute et de la PaCO₂

- Une augmentation de la fréquence respiratoire ne garantit pas une augmentation proportionnelle de la ventilation minute:
 - $V_c = (P_{\text{alvéolaire}} - P_{\text{EEPtot}}) \times \text{Compliance}$
 - Réduction du T_i
 - \uparrow Auto-PEEP
 - \downarrow « driving pressure »
 - \downarrow Volume courant

Ventilation en pression contrôlée

- Ventilation minute n'est pas assurée
 - Volume courant = $(P_{ALV_{insp}} - P_{ALV_{exp}}) \times C_{STAT}$
 - $\uparrow\downarrow$ Volume courant:
 - $\uparrow P_{EEPi}$
 - \downarrow Compliance statique
 - \uparrow Résistance inspiratoire ($P_{ALV_{insp}} < P_{IP}$)
 - \uparrow FR ne garantit pas une augmentation de la VE
 - Débit inspiratoire décélérant
 - La pression alvéolaire ne peut dépasser la pression déterminée
 - Alarme de bas volume courant / bas volume minute

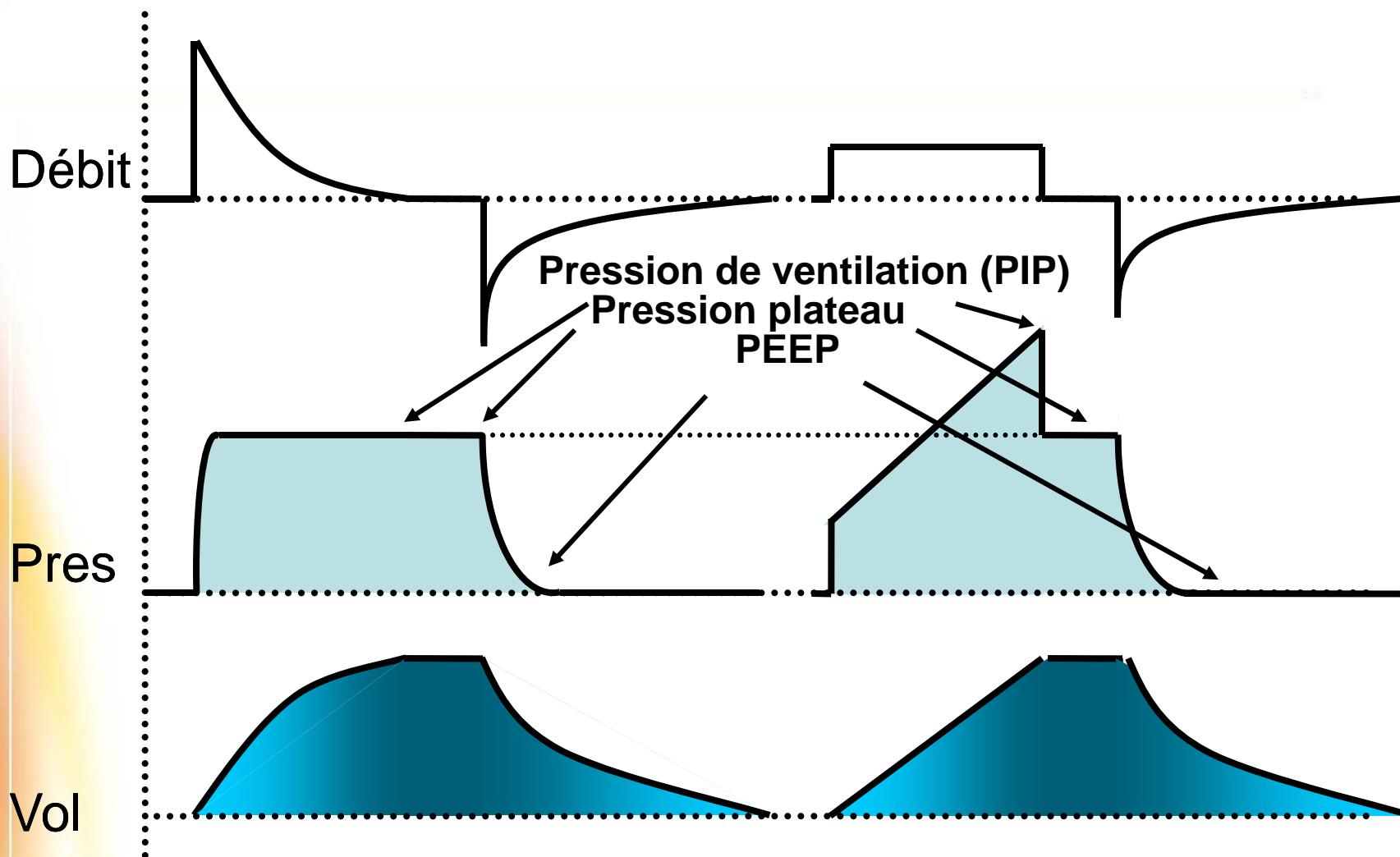
Pourquoi ventiler en pression contrôlée?

- Diminuer les pressions de ventilation?
- Diminuer le barotraumatisme?
- Améliorer l'efficacité de la ventilation?
- Améliorer l'adaptation du patient au respirateur?
 - Meilleur confort?
 - Moins de sédation?

Pourquoi ventiler en pression contrôlée?

- Diminuer les pressions de ventilation?
- Diminuer le barotraumatisme?
- Améliorer l'efficacité de la ventilation?
- Améliorer l'adaptation du patient au respirateur?
 - Meilleur confort?
 - Moins de sédation?

Pression contrôlée - Volume contrôlé



Ventilation à pression contrôlée

Pressions de ventilation

	Volume contrôlé	Pression contrôlée
Fréquence	20	20
Volume (ml)	614	612
PEEP tot	12	12
Pmaximale	51	45
Pplateau	36	36

(Lessard et al. Anesthesiology 1994;80:983-91)

Pourquoi ventiler en pression contrôlée?

- Diminuer les pressions de ventilation?
- Diminuer le barotraumatisme?
- Améliorer l'efficacité de la ventilation?
- Améliorer l'adaptation du patient au respirateur?
 - Meilleur confort?
 - Moins de sédation?

Barotrauma / Volotrauma

- Pas de relation directe avec:
 - Pression maximale, pression de ventilation
- Associé à une surdistention alvéolaire répétée
 - Volume alvéolaire maximal
 - Pression alvéolaire
 - Pression de plateau inspiratoire
- **À moins d'être secondaire à une modification de la $P_{plateau}$, toute modification de PIP sera sans effet sur le risque de barotrauma / volotrauma.**

Pourquoi ventiler en pression contrôlée?

- Diminuer les pressions de ventilation?
- Diminuer le barotraumatisme?
- Améliorer l'efficacité de la ventilation?
- Améliorer l'adaptation du patient au respirateur?
 - Meilleur confort?
 - Moins de sédation?

Ventilation à pression contrôlée

Échanges gazeux

	Volume contrôlé	Pression contrôlée
Fréquence	20	20
Volume (ml)	614	612
VE (L/min)	12.2	12.1
PEEP tot (cmH₂O)	12	12
PaO₂ (mmHg)	109	107
PaCO₂ (mmHg)	61	61

(Lessard et al. Anesthesiology 1994;80:983-91)

Ventilation à pression contrôlée

Effets hémodynamiques

	Volume contrôlé	Pression contrôlée
Fréquence	20	20
Volume (ml)	614	612
PEEP tot (cmH₂O)	12	12
TA systolique (mmHg)	106	107
IC (L/min/m²)	4.4	4.4
DO₂ (ml/min/m²)	588	578

(Lessard et al. Anesthesiology 1994;80:983-91)

Pourquoi ventiler en pression contrôlée?

- Diminuer les pressions de ventilation?
- Diminuer le barotraumatisme?
- Améliorer l'efficacité de la ventilation?
- Améliorer l'adaptation du patient au respirateur?
 - Meilleur confort?
 - Moins de sédation?

Ventilation à pression contrôlée

Mise en route




- Peep, FiO_2
- Pression de ventilation
 - Pression de plateau
 - Volume courant visé 6-8 mL/kg
 - \uparrow ou \downarrow P_{vent}
- Temps inspiratoire
 - Débit inspiratoire à zéro en fin d'inspiration
 - 1 seconde
- Fréquence
 - Selon la $PaCO_2$ désirée
 - 10 – 20 / min
 - Attention au Texpir
 - Éviter hyperinflation et auto-Peep
- Monitoring et alarmes

Ventilation à pression contrôlée

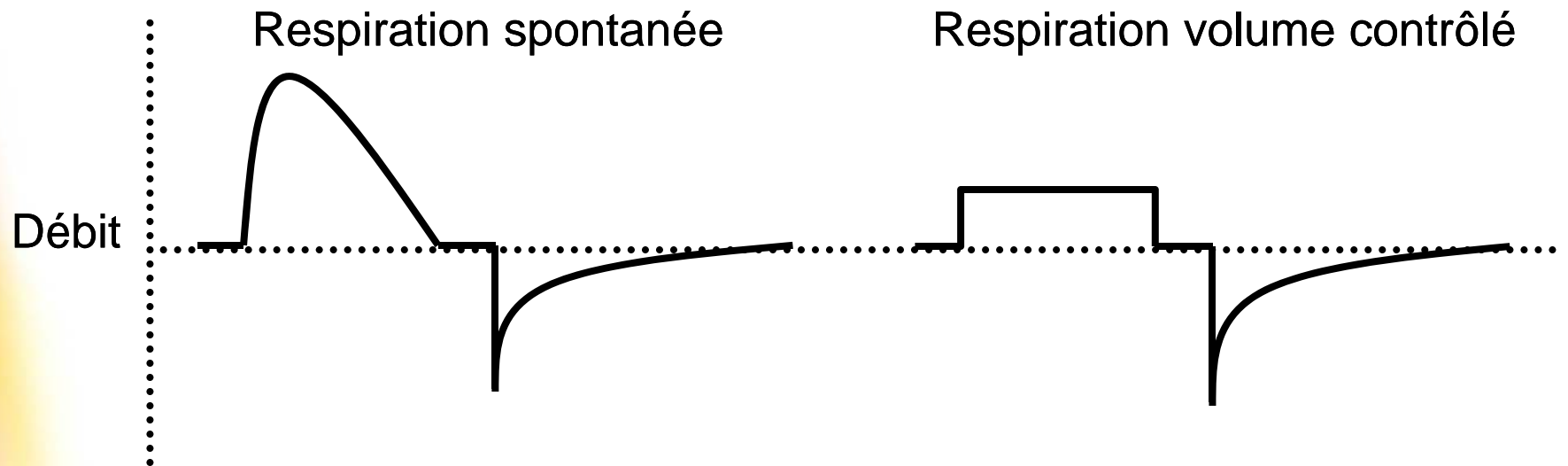
Monitoring et alarmes

- Le volume courant est toujours une **variable**, (et donc la PaCO₂)
- Monitoring du volume courant
 - à chaque vérification de la ventilation
 - après chaque changement d'un autre paramètre
 - PEEP, Fréquence, Temps inspiratoire
 - Alarme de bas volume courant « serrée »
- Monitoring de la ventilation minute
 - Alarmes de basse et de haute ventilation minute « serrées »
- Monitoring du PEEP total
 - Éviter l'auto-PEEP

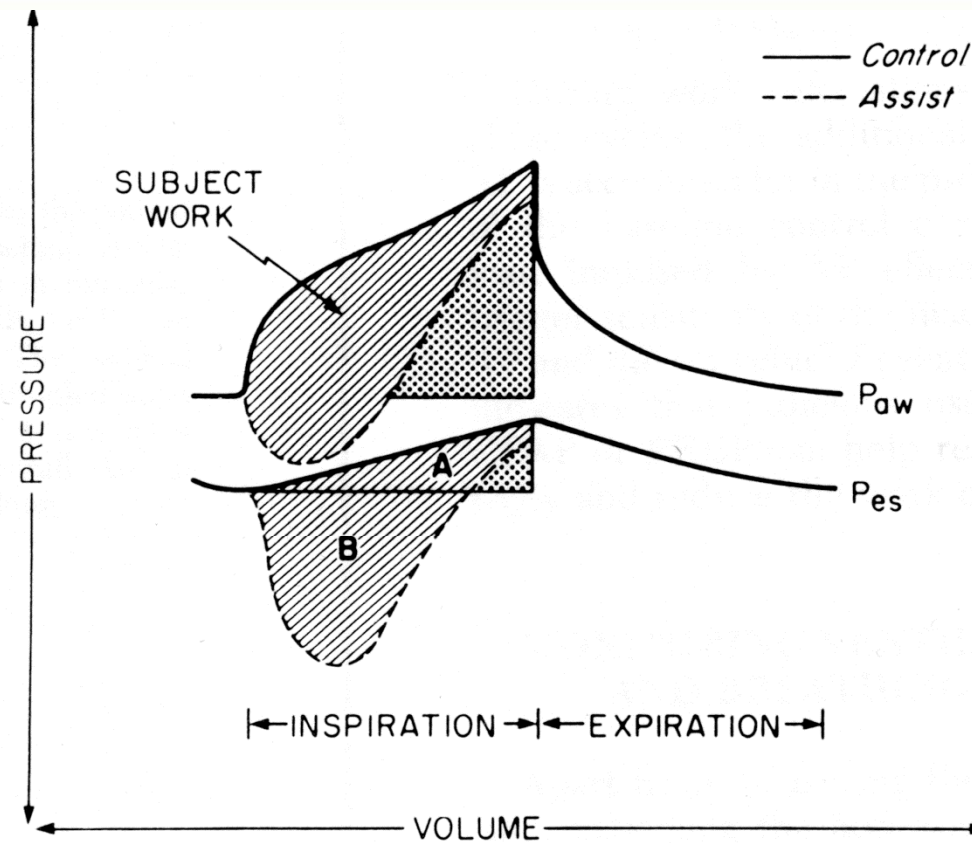
Ventilation à pression contrôlée

- On peut ventiler adéquatement un patient en mode pression contrôlée
- Meilleure adaptation du patient ? 
- Réduction des complications ? 
 - Baro / Volotrauma
- Amélioration des échanges gazeux ? 

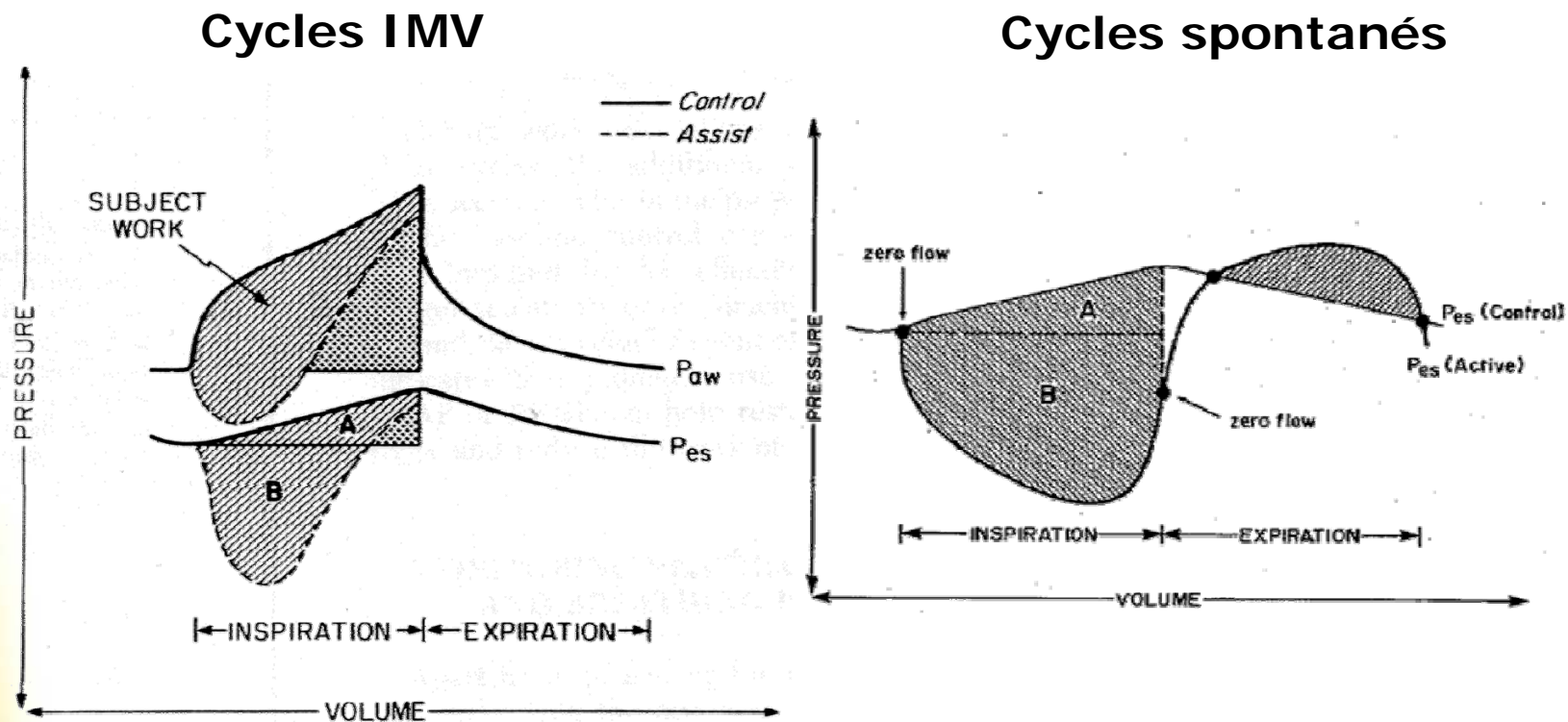
Adaptation patient-respirateur



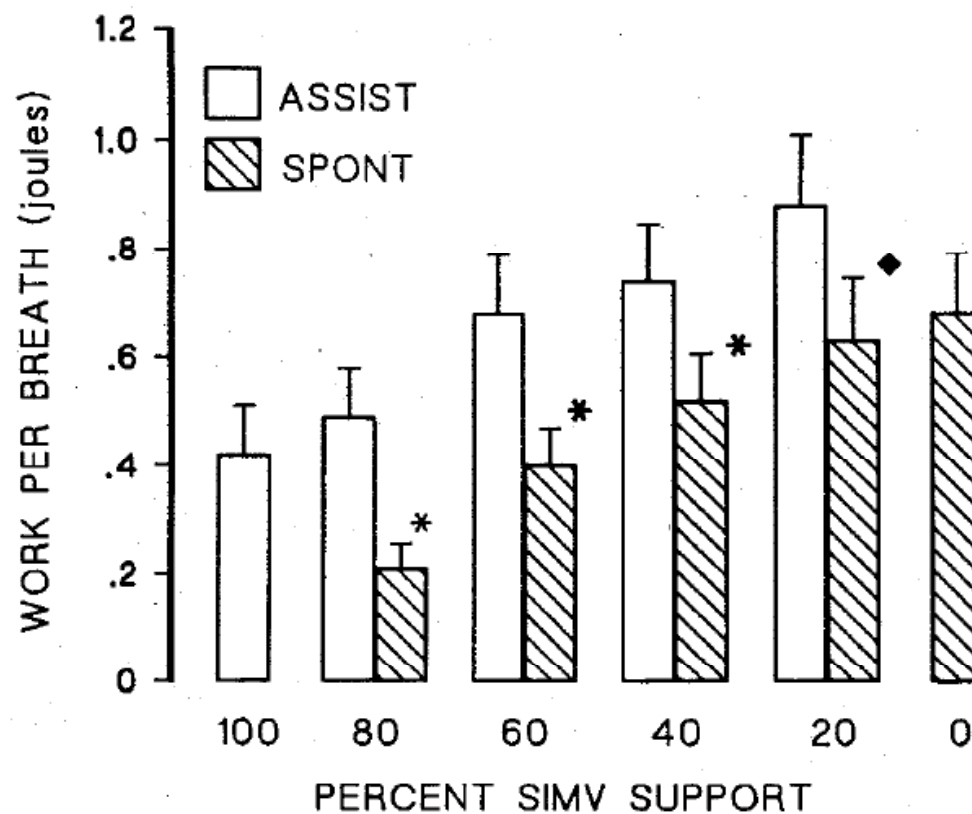
Volume assisté-contrôlé - WOB



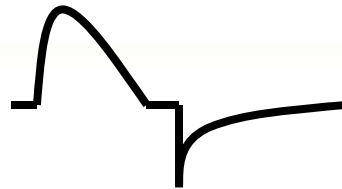
SIMV – travail respiratoire (WOB)



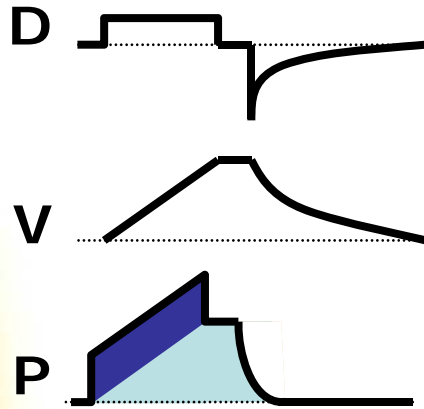
SIMV – travail respiratoire (WOB)



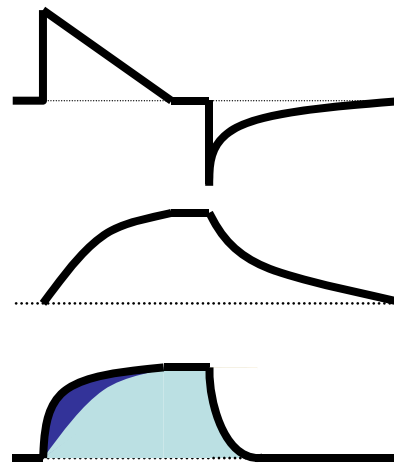
Adaptation patient-respirateur



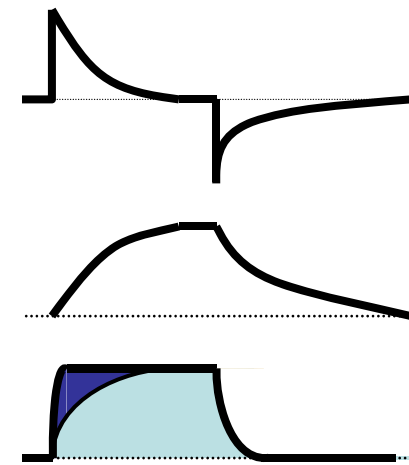
Respiration spontanée



Volume contrôlé
débit constant



Volume contrôlé
débit décélérant



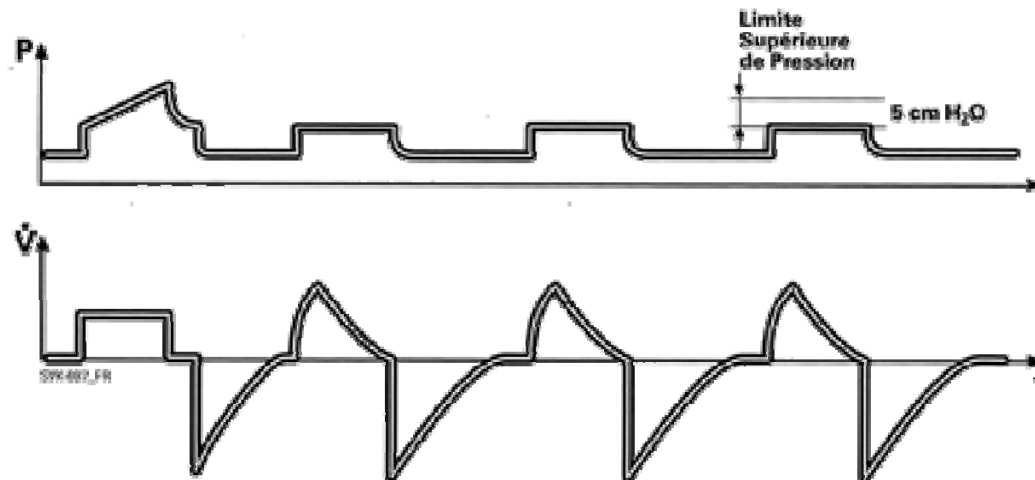
Pression contrôlée

Volume contrôlé à régulation de pression (VCRP)

- **VCRP (Pressure-regulated volume control, PRVC)**
 - Maquet Servo-i
 - Viasys AVEA
- **Autoflow**
 - Drager Evita XL
- **Volume Control Plus (VC+)**
 - Puritan Bennett 840
- **Pressure Controlled, Volume Guaranteed (PCV-VG)**
 - GE Engström Carestation

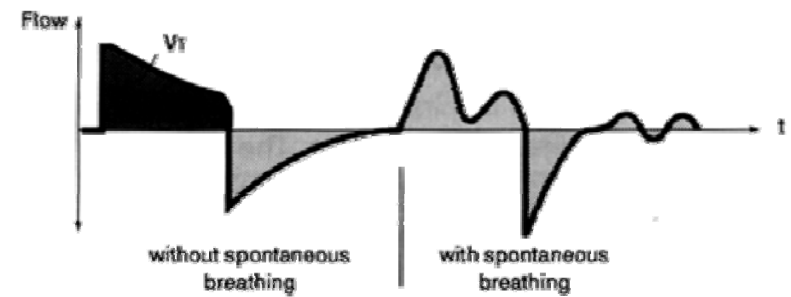
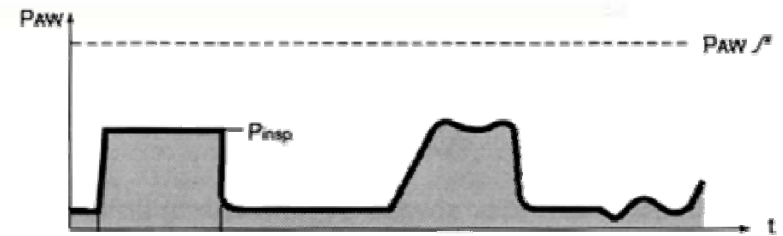
Volume contrôlé à régulation de pression (VCRP)

- 1^{ère} respiration-test avec pause inspiratoire et mesure de la Pplat
- Respirations subséquentes avec $P_{vent} = P_{plat}$
 - Si volume courant > déterminé: $\downarrow P_{vent}$ (-3 cmH₂O)
 - Si volume courant < déterminé: $\uparrow P_{vent}$ (+3 cmH₂O)



VCRP / AutoFlow

- Paramètres prescrits:
 - Volume courant
 - Fréquence
 - Temps inspiratoire
- Paramètre dépendant:
 - Débit inspiratoire (décélérant)
 - Pression de ventilation
- Ventilation spontanée permise
- C'est un mode **volume contrôlé**



VCRP / AutoFlow

- **Indications et usage:**

- "Le meilleur des deux mondes" ?
 - Volume contrôlé
 - Pression contrôlée
- Débit inspiratoire décélérant mieux adapté à la demande du patient

- **Contre-indications et limites:**

- Support du respirateur insuffisant si "drive" inspiratoire du patient élevée

VCRP / AutoFlow / VC+ / PCV-VG

- Réduction des complications ?



- Meilleure adaptation du patient ?



- Amélioration des échanges gazeux ?



- Réduction de la durée de ventilation ?

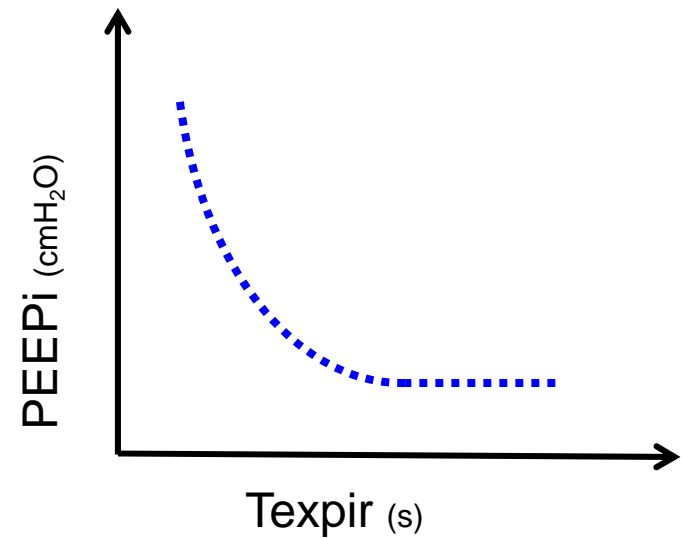


Ventilation à ratio inversé (IRV)

- Temps inspiratoire > Temps expiratoire
 - Réduction du temps expiratoire
 - Hyperinflation et PEEPi (auto-PEEP)
 - $PEEPi + PEEPe = PEEP \text{ total}$
- Augmentation de la pression moyenne (Paw)
 - Déterminant de la PaO_2 ???
- Modes
 - pression contrôlée: PC-IRV
 - volume contrôlé: VC-IRV

Ventilation à ratio inversé

Fréq.	I:E	Ti (sec)	Te (sec)
10	2:1	4	2
20	2:1	2	1
20	3:1	2.25	0.75
20	4:1	2.4	0.6
30	2:1	1.33	0.67



Ventilation à ratio inversé (IRV)

Études cliniques

- Cas anecdotiques d'amélioration marquée de l'oxygénation
- Etudes cliniques contrôlées:
 - Pas de magie
 - À un même niveau de PEEP total: effet comparable à PEEPe seul
 - Hyperinflation et auto-PEEP: toujours à éviter
 - ↑ barotraumatismes (pneumothorax)

Ventilation à ratio inversé

	Volume contrôlé	Pression contrôlée	Pression contrôlée	Pression contrôlée
Ratio I:E	1:2	1:2	2:1	3:1
Fréquence	20	20	20	20
Volume	614	612	620	617
PEEP tot	12	12	12	14
Pplateau	36	36	35	40
PaO₂	109	107	91	96
PaCO₂	61	61	58	55