



## **Socle de connaissances sur les respirateurs (réanimation et urgences) et les machines d'anesthésie**

A Eghiaian (IGR), JE Bazin, JL Bourgain, X Combes, S Jaber, P Michelet, M Panczer, F Servin, K Nouette Gaulain,

Coordination : JL Bourgain

Relecteurs :

Médecins anesthésistes réanimateurs : C de Vaumas & G de Saint Maurice

Infirmiers anesthésistes : P Baguenard, T Saint Marc, F. Carduner

## Index

<b>1</b>	<b>PHYSIOLOGIE DE LA VENTILATION MECANIQUE .....</b>	<b>5</b>
1.1	Le cycle respiratoire en ventilation contrôlée .....	5
1.2	Eléments de physiologie respiratoire en ventilation mécanique .....	6
1.2.1	La courbe de pression en ventilation mécanique .....	6
1.2.2	Les propriétés mécaniques du système thoraco-pulmonaire .....	7
1.3	PaCO <sub>2</sub> et demande métabolique .....	8
1.4	La distribution du VA/Q en ventilation mécanique .....	9
1.5	Le réglage de la FiO <sub>2</sub> .....	9
1.6	Le retentissement hémodynamique de la ventilation en pression positive .....	9
1.7	Le réglage de la PEP .....	9
<b>2</b>	<b>LES MODES VENTILATOIRES .....</b>	<b>10</b>
2.1	Les modes classiques et leur terminologie : .....	10
2.2	Les modes contrôlés .....	10
2.2.1	Ventilation à volume contrôlée (VC) .....	10
2.2.2	Ventilation en pression contrôlée (PC) .....	12
2.2.3	Ventilation en pression à réglage de Vt (PCRvt) .....	13
2.3	Les modes assistés .....	14
2.3.1	Ventilation auto-déclenchée en mode volume (VACI) .....	14
2.3.2	Aide inspiratoire .....	14
<b>3</b>	<b>LA SURVEILLANCE DE LA VENTILATION MECANIQUE .....</b>	<b>17</b>
3.1	Réglage et choix des alarmes. ....	17
3.2	Notion d'acquiescement et d'inhibition des alarmes .....	18
3.3	Les courbes de base et les boucles pression volume et débit volume .....	18
3.4	La capnographie (notions essentielles) .....	19
<b>4</b>	<b>L'ANALYSE DE RISQUE DES RESPIRATEURS .....</b>	<b>20</b>
4.1	Notion de base .....	20
4.1.1	Notions de physique .....	20
4.1.2	Performances des respirateurs .....	21
4.1.3	Principes de fonctionnement des respirateurs .....	21
4.1.4	Compression des gaz dans le respirateur .....	22
4.1.5	La sécurité sur la FiO <sub>2</sub> .....	22

<b>4.2</b>	<b>Le contrôle avant utilisation .....</b>	<b>23</b>
4.2.1	Contrôles après réception et après opérations de maintenance .....	23
4.2.2	Check-list d'ouverture de la salle d'opération et autotests des respirateurs .....	24
4.2.3	Contrôle entre deux patients.....	24
4.2.4	La maintenance des machines .....	24
4.2.5	La typologie des incidents.....	27
4.2.6	L'analyse de risque .....	28
<b>5</b>	<b>PARTICULARITES DU RESPIRATEUR EN ANESTHESIE.....</b>	<b>29</b>
<b>5.1</b>	<b>Le circuit d'anesthésie et le couplage respirateur – circuit d'anesthésie .....</b>	<b>29</b>
5.1.1	Les valves : .....	30
5.1.2	L'absorbant de CO <sub>2</sub> , ou « canister » .....	30
5.1.3	L'arrivée de gaz frais .....	30
5.1.4	L'analyseur de gaz .....	31
5.1.5	Le ballon réservoir et le soufflet du respirateur : .....	31
5.1.6	Le respirateur .....	31
5.1.7	Le volume interne des machines d'anesthésie varie beaucoup d'un modèle à l'autre. Un haut volume interne : 32	
<b>6</b>	<b>SITUATIONS PARTICULIERES EN ANESTHESIE .....</b>	<b>32</b>
<b>6.1</b>	<b>Ventilation mécanique pendant la cœlioscopie.....</b>	<b>32</b>
<b>6.2</b>	<b>La ventilation au masque facial et masque laryngé.....</b>	<b>33</b>
<b>6.3</b>	<b>Recrutement alvéolaire .....</b>	<b>33</b>
6.3.1	Les méthodes de recrutement alvéolaire .....	33
6.3.2	Les indications et contre indications .....	35
<b>6.4</b>	<b>La ventilation de l'obèse.....</b>	<b>35</b>
6.4.1	Atélectasies peropératoires.....	35
6.4.2	Utilisation de la PEP .....	35
6.4.3	Manœuvres de recrutement et soupirs.....	36
6.4.4	Mode ventilatoire : volume ou pression ? .....	36
<b>7</b>	<b>LA VENTILATION MECANIQUE PEROPERATOIRE EN PEDIATRIE .....</b>	<b>36</b>
<b>7.1</b>	<b>La ventilation chez l'enfant et l'intérêt de l'aide inspiratoire à l'induction .....</b>	<b>37</b>
<b>7.2</b>	<b>Les paramètres de ventilation peropératoire .....</b>	<b>38</b>
<b>7.3</b>	<b>Les paramètres de la ventilation postopératoire.....</b>	<b>39</b>
<b>8</b>	<b>PARTICULARITES EN REANIMATION .....</b>	<b>39</b>
<b>8.1</b>	<b>La ventilation mécanique du BPCO.....</b>	<b>39</b>
<b>8.2</b>	<b>La ventilation du SDRA .....</b>	<b>39</b>
8.2.1	Impact de la physiopathologie pulmonaire au cours du SDRA sur la ventilation mécanique : la courbe pression-volume et l'inflammation .....	40
8.2.2	Quels volumes et quelles pressions ? .....	40
8.2.3	Quel niveau de PEP ? .....	41
8.2.4	Quelle manœuvre de recrutement ? .....	41

8.2.5	Hypercapnie permissive .....	41
<b>8.3</b>	<b>La VNI.....</b>	<b>42</b>
8.3.1	Réglages, modalités ventilatoires et pièges à connaître .....	42
8.3.2	Les respirateurs de VNI .....	44
8.3.3	Masques faciaux.....	44
<b>8.4</b>	<b>Les principes de sevrage de la ventilation mécanique en réanimation.....</b>	<b>44</b>
8.4.1	Des nouveaux modes ventilatoires “ intelligents ” pour le sevrage ?.....	45
8.4.2	Extubation en réanimation .....	46
<b>8.5</b>	<b>Humidification et nébulisation .....</b>	<b>47</b>
<b>9</b>	<b>PARTICULARITES EN MEDECINE D'URGENCE (PREHOSPITALIERE - INTRAHOSPITALIERE).....</b>	<b>47</b>
9.1	Philosophie actuelle de la ventilation en médecine pré-hospitalière .....	47
9.2	Attentes des praticiens dans le cadre de l'urgence .....	48
<b>9.3</b>	<b>Les réglages du ventilateur en ventilation contrôlée sur intubation : .....</b>	<b>48</b>
9.3.1	Réglages Standard et Monitoring .....	48
9.3.2	BPCO en décompensation, Etat de mal asthmatique .....	50
9.3.3	SDRA.....	50
9.3.4	Œdème pulmonaire .....	51
<b>9.4</b>	<b>La ventilation non invasive (VNI) .....</b>	<b>51</b>
9.4.1	Techniques de VNI .....	51
9.4.2	Indications BPCO et OAP.....	54
9.4.3	Autres Indications en Structures d'Urgence.....	55
<b>10</b>	<b>LEGENDES DES FIGURES ET TABLEAUX.....</b>	<b>56</b>

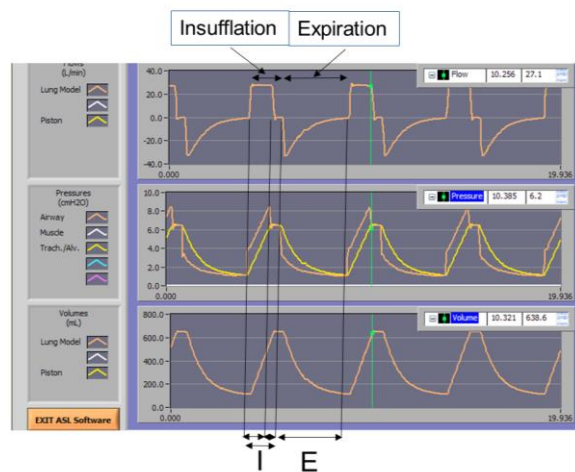
# 1 Physiologie de la ventilation mécanique

## 1.1 Le cycle respiratoire en ventilation contrôlée

Le cycle respiratoire est divisé en deux parties : l'insufflation (symbole I) et l'expiration (symbole E). Habituellement, il n'est pas recommandé d'utiliser des fréquences respiratoires supérieures à 30 cycles par minute.

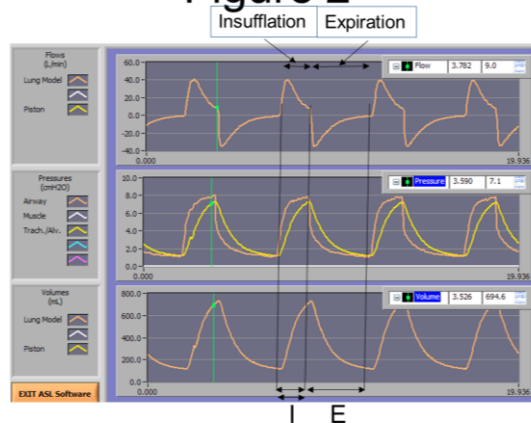
La forme du débit inspiratoire dépend du mode de ventilation choisi : constant en ventilation à volume contrôlé, il est décélérant en pression contrôlée (figures 1 et 2).

Figure 1



Tps insufflation, tps de pause et tps expiratoire

Figure 2



Tps insufflation tps expiratoire

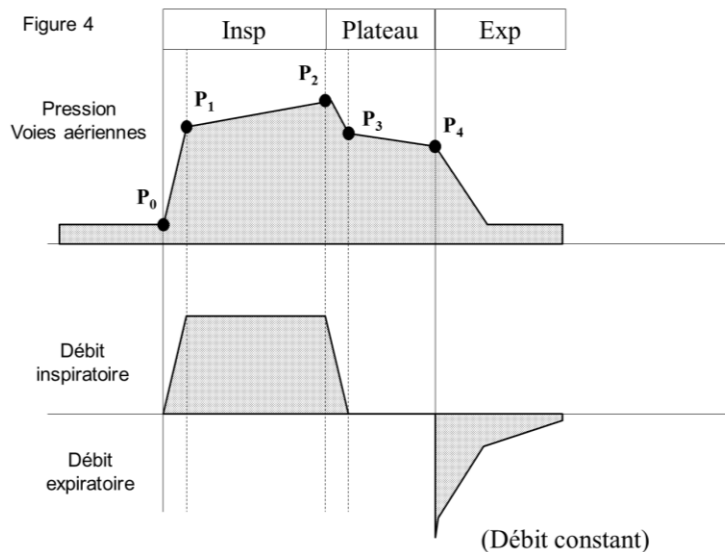
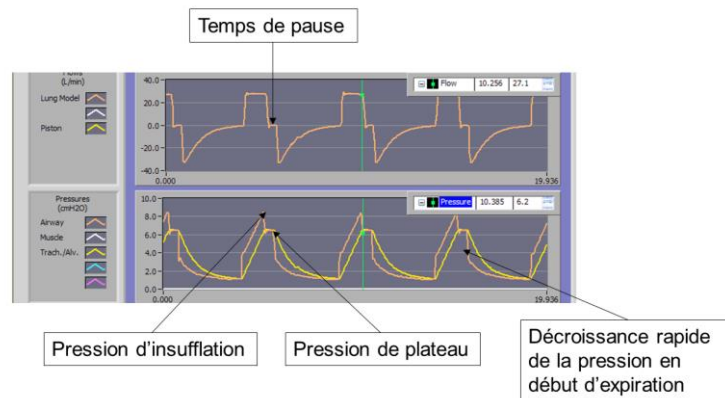
L'expiration est passive et se fait à un gradient de pression alvéolo-trachéale proche des valeurs physiologique en ventilation spontanée.

## 1.2 **Eléments de physiologie respiratoire en ventilation mécanique**

### 1.2.1 **La courbe de pression en ventilation mécanique**

Lors de l'insufflation, la pression dans les voies aériennes augmente selon les réglages de la machine et les propriétés mécaniques du système respiratoire. Schématiquement, on distingue les propriétés statiques où l'augmentation de pression des voies aériennes est directement en relation avec le volume insufflé et les propriétés dynamiques où elle est liée au débit. La relation pression-volume est appelée compliance et s'exprime en L/cm H<sub>2</sub>O ( $C = \Delta V / \Delta P$  soit approximativement = Volume courant / (Pression plateau-PEP); la relation pression-débit est appelée résistance et s'exprime en cmH<sub>2</sub>O/l/min ( $R = (\text{Pression d'insufflation} - \text{pression de plateau})/\text{débit inspiratoire}$  Figure 3 et 4).

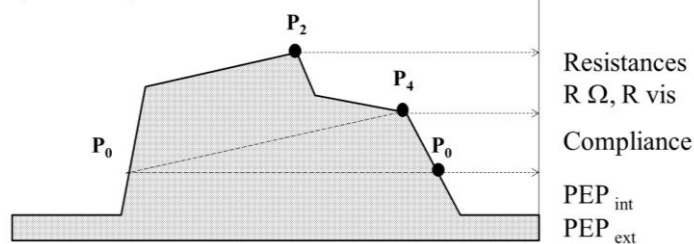
Figure 3 Courbe de pression des voies aériennes en ventilation mécanique (mode volume)



Lors du temps de pause inspiratoire, la pression diminue pour atteindre un plateau ; cette pression dite de plateau est en relation directe avec les forces de rétraction du système

respiratoire. La différence de pression entre cette pression de plateau et la pression d'insufflation est en relation avec la résistance des voies aériennes (figure 5).

Figure 5 Calcul de la compliance statique et des résistances d'après la courbe de pression des voies aériennes. La PEP extrinsèque (celle réglée sur le respirateur) est distinguée de la PEP intrinsèque liée à une limitation du débit expiratoire du patient.



$$R = \frac{P. \text{ Pic} - P. \text{ Plateau}}{\text{Débit}}$$

$$C = \frac{\text{Volume télé-insp}}{P. \text{ Plateau} - PEEP_{\text{tot}}}$$

En pratique, à tout moment de l'insufflation, la pression dans les voies aériennes obéit à la relation (figure 6) :

Figure 6 La pression des voies aériennes dépend :

- De la pression de fin d'expiration (P0)
- D'un facteur statique
  - Compliance (C)
  - Volume (V)
- D'un facteur dynamique
  - Débit
  - Résistance

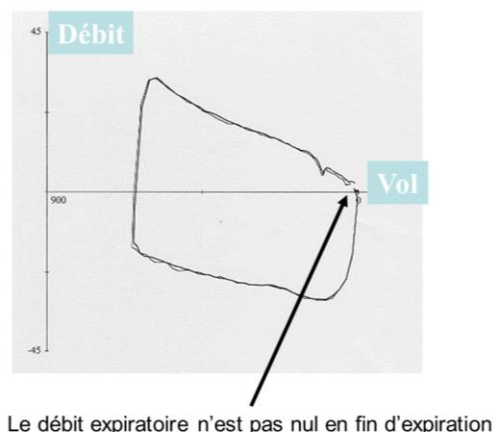
$$P = P_0 + \frac{1}{C} V + \frac{R}{\Delta V / \Delta T}$$

L'analogie avec les systèmes mécaniques du premier ordre (masse + vitesse) et les systèmes électriques (capacitance + résistance) est classique

## 1.2.2 Les propriétés mécaniques du système thoraco-pulmonaire

**La constante de temps du système respiratoire** est le produit de la résistance et de la compliance. Plus cette constante est élevée (élévation de la compliance ou des résistances), plus l'expiration sera longue et plus le risque d'hyperinflation dynamique à l'expiration sera élevé. L'hyperinflation dynamique est définie lorsque l'insufflation commence alors que le poumon ne s'est pas encore complètement vidé du gaz insufflé au cycle précédent. Ces cas sont identifiés par le non-retour au zéro du débit expiratoire avant le début de l'insufflation, pas très visible sur la courbe en fonction du temps mais identifiable sur la courbe débit/volume (figure 7).

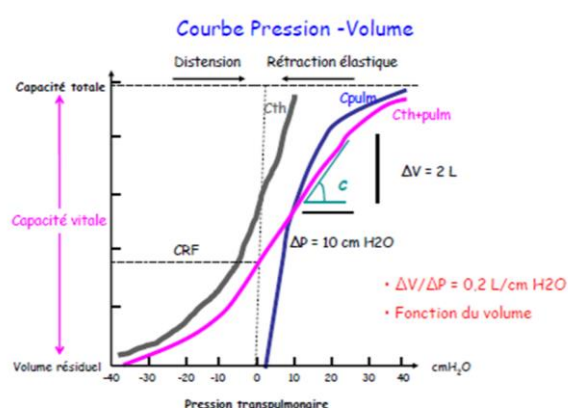
Figure 7 Hyperinflation dynamique



**La CRF** est le volume pulmonaire auquel la force de rétraction élastique du poumon s'équilibre avec la force d'expansion de la cage thoracique. Elle est égale au volume télé-expiratoire si l'expiration est passive et complète en fin d'expiration.

**La forme de la relation pression volume** n'est pas linéaire sur l'ensemble du volume pulmonaire. La pente est plus faible aux deux extrêmes : bas et haut volume pulmonaire (figure 8).

Figure 8



### 1.3 PaCO<sub>2</sub> et demande métabolique

Le niveau de ventilation doit être adapté aux besoins métaboliques, eux-mêmes dépendants de la température centrale et de l'activité musculaire, y compris respiratoire. Une inadéquation entre ventilation alvéolaire et production de CO<sub>2</sub> est à l'origine d'une hypocapnie ou d'une



hypercapnie. Les risques de l'hypocapnie sont : une baisse de l'inotropisme cardiaque et une abolition des phénomènes d'auto-régulation du débit sanguin cérébral. Donc une PaCO<sub>2</sub> inférieure à 30 mm Hg est considérée comme dangereuse. La limite supérieure de la PaCO<sub>2</sub> est mal définie sous anesthésie et il semble que des niveaux élevés d'hypercapnie puissent être tolérés chez le patient sain en dehors de toute défaillance cardio-vasculaire. Le concept d'hypercapnie permissive a été défini en réanimation mais peut être appliqué dans le contexte de l'urgence et de l'anesthésie (oxygénation apnéique).

#### **1.4 La distribution du VA/Q en ventilation mécanique**

L'hématose est optimisée lorsque la distribution de la ventilation alvéolaire (VA) et de la perfusion pulmonaire (Q) sont harmonieusement réparties. La ventilation mécanique homogénéise la ventilation sans modifier la distribution de la perfusion. La résultante est une répartition plus hétérogène des rapports VA/Q.

On distingue l'effet shunt du shunt vrai. Le shunt vrai correspond à des zones correctement perfusées et non ventilées, l'augmentation de la FiO<sub>2</sub> ne corrigeant pas ce trouble de l'oxygénation. L'effet shunt correspond à des zones bien perfusées et moins bien ventilées mais dont l'oxygénation est partiellement corrigée par l'augmentation de la FiO<sub>2</sub>.

L'hétérogénéité des VA/Q est majorée en décubitus latéral et surtout en décubitus ventral. La PEEP ne corrige que très partiellement ces altérations. La qualité de l'installation est déterminante et des conseils sont disponibles sur le site de la « prévention médicale » du sou médical.

#### **1.5 Le réglage de la FiO<sub>2</sub>**

Le réglage de la FiO<sub>2</sub> a pour but d'assurer le maintien d'un bon transport en O<sub>2</sub>. Si la toxicité pulmonaire de l'O<sub>2</sub> chez l'animal ne fait pas de doute, elle paraît moins évidente chez l'homme. Actuellement, il est recommandé de ventiler les patients en O<sub>2</sub> pur avant l'intubation et l'extubation. Ceci permet d'augmenter la durée d'apnée avant désaturation en cas de problèmes de maintien de la perméabilité des voies aériennes supérieures.

En anesthésie, plusieurs études (mais pas toutes) ont montré une diminution des complications postopératoires de cicatrisation et d'infection postopératoire lors de l'utilisation de niveau élevé de FiO<sub>2</sub> (0,80 le plus souvent) [1]. Il est difficile de faire la part de ce qui revient à la FIO<sub>2</sub> élevée ou à l'apport de N<sub>2</sub>O dans quelques unes de ces études. A un niveau de FiO<sub>2</sub> de 0,80, le pourcentage de zone de micro-atélectasie progresse dans le temps ; ceci justifie la pratique du recrutement alvéolaire [2].

#### **1.6 Le retentissement hémodynamique de la ventilation en pression positive**

Une élévation de la pression moyenne intrathoracique gêne le retour veineux et tend à diminuer le débit cardiaque de façon grossièrement proportionnelle par transmission directe de la pression pleurale. L'augmentation des pressions intrathoraciques lors de l'insufflation augmente le volume d'éjection systolique. Ceci génère des variations cycliques du débit cardiaque, particulièrement en cas d'hypovolémie.

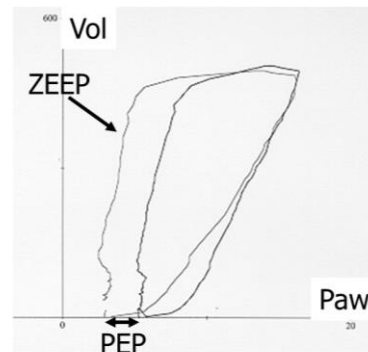
#### **1.7 Le réglage de la PEP**

La PEP a pour objectif d'augmenter le volume pulmonaire en fin d'expiration. Elle s'oppose en cela à la baisse de CRF observée dans de nombreuses situations en anesthésie et

en réanimation. La baisse de la CRF n'est pas toujours homogène et l'application d'une PEP ne permet pas toujours d'obtenir l'augmentation de volume dans les zones atelectasiées.

En augmentant de volume pulmonaire, la PEP peut améliorer la compliance et baisser les résistances (figure 9).

**Figure 9 Amélioration de la compliance par la PEP**



Le réglage d'une PEP a permis une augmentation de la pente de la relation pression volume? Courbe sans PEP (ZEEP) en gris, courbe avec PEP en noir.

Le niveau de PEP a fait l'objet de nombreuses publications en réanimation. En anesthésie, la PEP est appliquée fréquemment au décours des manœuvres de recrutement et/ou chez les patients à risque de dé-recrutement : obèse, position chirurgicale comme le décubitus latéral, utilisation de l'O<sub>2</sub> pur par exemple [3].

## 2 Les modes ventilatoires

### 2.1 Les modes classiques et leur terminologie :

Ventilation à volume contrôlé :	VC
Ventilation assistée contrôlée intermittente :	VACI
Ventilation en pression contrôlée :	PC
Ventilation en pression contrôlée à réglage de V <sub>t</sub> :	PCRV <sub>t</sub>
Ventilation en aide inspiratoire :	VS-AI
Pression positive télé-expiratoire :	PEP

### 2.2 Les modes contrôlés

#### 2.2.1 Ventilation à volume contrôlée (VC)

Le clinicien ajuste la valeur de fréquence respiratoire, de I/E (ou le temps inspiratoire) et de V<sub>t</sub> souhaités ; le débit inspiratoire est *constant* pendant la durée du temps inspiratoire (figure 1). Le débit d'insufflation est donné par le rapport entre le volume courant et le temps d'insufflation ; il est constant pendant l'insufflation (figure 1).

### 2.2.1.1 Réglages recommandés

Le volume courant est réglé sur la base de 6 à 8 ml/kg de poids idéal théorique. La fréquence respiratoire est adaptée pour obtenir une capnie entre 35 et 40 mm Hg. Habituellement, le rapport I/E est de 1/2. Il peut être raccourci chez le BPCO pour augmenter le temps expiratoire si l'augmentation de la pression d'insufflation n'est pas déraisonnable. Il peut être rallongé jusque 1/1 sous masque laryngé pour diminuer la pression d'insufflation. La variation de I/E ne modifie pas le  $V_t$  et ne change que la valeur du débit inspiratoire. L'utilisation de rapport I/E élevé améliore l'élimination du  $CO_2$  mais peut induire une PEP intrinsèque par diminution du temps expiratoire. Le temps de pause est utile pour surveiller la compliance statique. Le temps de pause (ou plateau inspiratoire) est inclus dans le temps inspiratoire et son adjonction augmente le débit inspiratoire. Sensé homogénéiser la distribution de la ventilation, son impact clinique sur l'oxygénation ou l'élimination du  $CO_2$  n'a jamais été démontré.

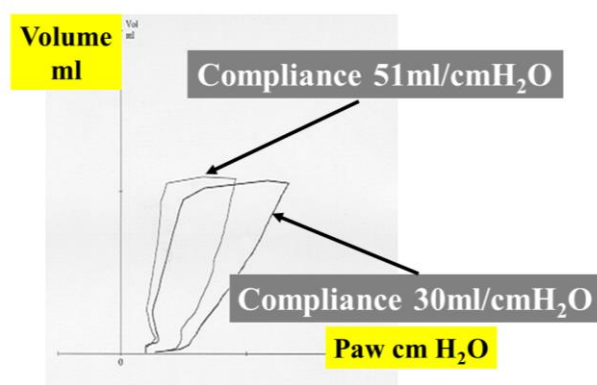
La fonction soupir est inutile.

A noter que dans ce mode, une demande inspiratoire par le patient, entraîne la délivrance d'un cycle respiratoire supplémentaire. C'est pour cette raison qu'il s'agit d'un mode *assisté* contrôlé.

### 2.2.1.2 Variations des paramètres selon l'état physiologique

Sous ventilation en mode volume contrôlé, le niveau de ventilation alvéolaire est indépendant des conditions mécaniques d'aval. Une baisse de compliance ou une augmentation de résistance va augmenter la pression des voies aériennes ; une augmentation de compliance ou une baisse des résistances aura l'effet inverse (figure 10).

Figure 10 Une variation de compliance modifie la pression d'insufflation en mode volume contrôlé



### 2.2.1.3 Variations des paramètres physiologiques selon les réglages

Tendent à induire une augmentation des pressions moyennes des voies aériennes

- Une augmentation du  $V_t$
- Une augmentation du I/E

- Une augmentation de la fréquence respiratoire si elle s'accompagne d'une hyperinflation dynamique
- Une PEP si elle n'améliore pas la compliance pulmonaire

Tendent à créer une hyperinflation dynamique ou auto PEP (figure 7)

- Une augmentation de la fréquence respiratoire
- Une augmentation du I/E (diminution du temps expiratoire)
- La ventilation à travers une sonde d'intubation de faible calibre

#### 2.2.1.4 Que régler en cas d'hypocapnie ou d'hypercapnie ?

La fréquence respiratoire est le premier paramètre d'ajustement si le volume courant est réglé dans la fourchette des 6 à 8 ml.kg<sup>-1</sup>. En cas d'hypocapnie, on diminue la fréquence respiratoire, en cas d'hypercapnie on augmente la fréquence respiratoire.

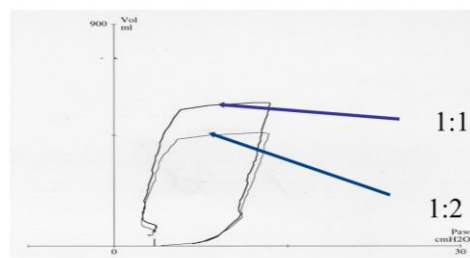
### 2.2.2 Ventilation en pression contrôlée (PC)

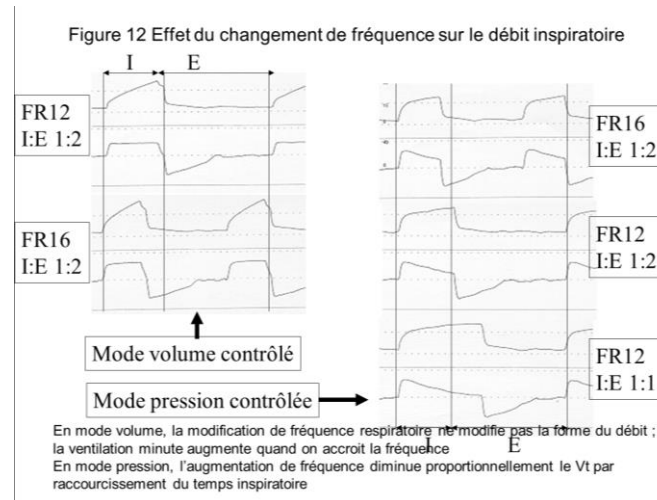
En mode pression (PC), le débit d'insufflation est la résultante du réglage de la pression consigne et de la compliance-résistance du système respiratoire ; maximum en début d'inspiration, il va décroître au cours de l'insufflation pour garder constante la pression dans les voies aériennes (Figure 2). On parle de débit *décélérant*. Certains respirateurs mettent quelques cycles avant de trouver la valeur de débit qui maintient la pression réglée.

#### 2.2.2.1 Réglages recommandés

Le but est d'obtenir comme pour la ventilation en volume contrôlé, une ventilation alvéolaire stable. A priori, les réglages de fréquence respiratoire, de PEEP et de rapport I/E seront comparables à ceux utilisés en mode volume. La pression consigne est ajustée pour obtenir le Vt désiré (6 à 8 ml.kg<sup>-1</sup>). Une valeur maximale de 30 cmH<sub>2</sub>O ne doit pas être dépassée. Pour une pression donnée et jusqu'à un certain point, l'augmentation du I/E augmente le Vt (figure 11) et l'augmentation de la fréquence respiratoire diminue le Vt (figure 12).

Figure 11 Augmentation du Vt par l'allongement du rapport I/E en mode pression contrôlée



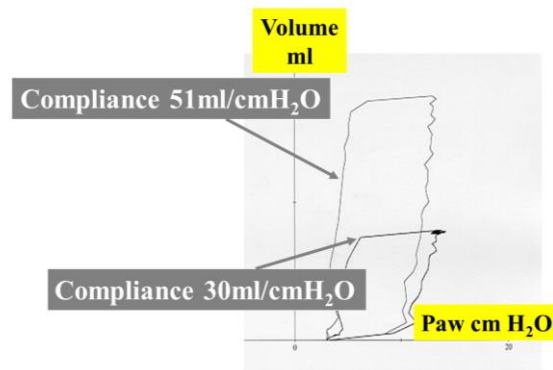


Si la pression consigne apparaît trop élevée par rapport au risque d'insufflation œsophagienne ou aux fuites (par exemple) sous masque laryngé, l'augmentation du I/E permet la diminution de la pression réglée pour obtenir le même  $V_t$ .

### 2.2.2.2 Variations des paramètres selon l'état physiologique

Sous ventilation en mode pression contrôlée, le niveau de ventilation alvéolaire dépend des conditions mécaniques d'aval. Une baisse de compliance ou une augmentation de résistance va diminuer le  $V_t$  ; une augmentation de compliance ou une baisse des résistances aura l'effet inverse (Figure 13).

Figure 13



### 2.2.2.3 Que régler en cas d'hypocapnie ou d'hypercapnie ?

Le niveau de pression inspiratoire est le premier paramètre d'ajustement qui permet d'ajuster le  $V_t$  au niveau de ventilation souhaitée.

## 2.2.3 Ventilation en pression à réglage de $V_t$ (PCR $V_t$ )

Comme pour la ventilation en volume contrôlé, le clinicien règle la valeur de  $V_t$  souhaitée. Le respirateur délivre le  $V_t$  en utilisant un débit décélérant comme pour le mode pression contrôlée, mais variable en fonction des modifications de compliance et de résistance. Une

augmentation de résistance ou une baisse de compliance aura pour effet d'élever la pression d'insufflation comme pour le mode volume contrôlé.

Les dénominations de ce mode sont variées : AutoFlow, PCVG (pression contrôlée à volume garanti), VRCP (Volume Contrôlé à Régulation de Pression). Il n'existe pas de publication ayant porté sur l'intérêt clinique de ce mode. Il apporte une meilleure sécurité que le mode pression contrôlée puisque la ventilation est maintenue constante quelque soit les conditions mécaniques d'aval, Cependant, pour des pressions trop élevées, le volume peut ne pas être délivré ce qui incite à analyser les volumes délivrés et les variations de pressions des voies aériennes.

### **2.3 Les modes assistés**

Par définition, l'utilisation de ces modes suppose que le patient a une ventilation spontanée et exclu les patients apnéiques.

#### **2.3.1 Ventilation auto-déclenchée en mode volume (VACI)**

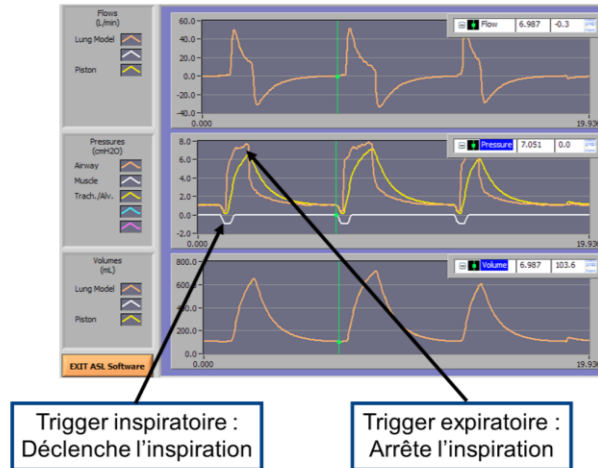
Le cycle contrôlé est déclenché par un signal d'appel inspiratoire : le plus souvent une variation de débit, plus rarement une variation de pression. Pour ce mode, le cycle est de type volume contrôlé avec un débit constant pendant l'insufflation. Le respirateur termine son insufflation lorsque le  $V_t$  a été délivré ; le rapport I/E est donc réglable. Certains respirateurs délivrent les cycles en mode pression ; les cycles sont imposés mais le respirateur délivre à la demande des cycles de ventilation en mode pression.

#### **2.3.2 Aide inspiratoire**

Le cycle contrôlé est déclenché par une variation du débit inspiratoire induite par le patient (trigger inspiratoire). Le trigger en pression est fondé sur le principe d'une valve «à la demande», contre laquelle le patient doit développer un effort pour atteindre une dépression mesurée dans le circuit du respirateur. Ces systèmes ont été remplacés par des mécanismes plus sensibles reposant sur le signal de débit. Ces «triggers en débit» (flow-by sur certaines machines) fonctionnent en détectant le début de l'effort inspiratoire du patient, comme étant la différence entre le débit de base (débit d'entrée) délivré en continu dans le circuit du respirateur et le débit de retour (débit de sortie) mesuré dans le bloc expiratoire. Les performances du trigger concernent la sensibilité et le délai de réponse : plus le trigger est sensible, plus l'effort pour déclencher un cycle sera faible. Le cycle déclenché est de type pression contrôlée (figure 14).



Figure 14 Aide inspiratoire



La consigne de réglage est donc le niveau de pression inspiratoire. Le débit inspiratoire est arrêté soit lorsque le respirateur enregistre une variation de flux (trigger expiratoire en valeur absolue ou en pourcentage, 25% habituellement) soit après un temps donné. Cette dernière fonctionnalité est utile en cas de fuite pour éviter que l'inspiration ne se prolonge outre mesure. Le réglage du trigger expiratoire permet d'améliorer le confort du patient.

Pour des raisons de sécurité évidente, ce mode protège les patients en cas d'apnée. Deux conceptions s'opposent :

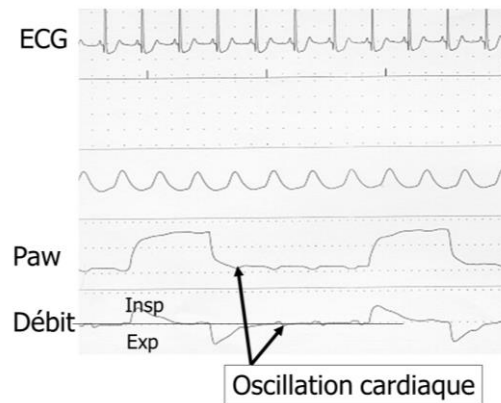
- Les modes où les cycles contrôlés non déclenchés sont effectués si le temps expiratoire est supérieur à une valeur réglable. En pratique, le clinicien règle une fréquence du respirateur minimale qui ne sera effective qu'en cas d'apnée.
- Les modes où les cycles contrôlés non déclenchés sont effectués automatiquement. Ceci apporte le même niveau de sécurité en cas d'apnée mais peut apporter un certain inconfort lorsque ces cycles arrivent en phase expiratoire spontanée du patient.

### 2.3.2.1 Réglages recommandés et variations des paramètres physiologiques selon les réglages

Il est difficile de recommander un réglage commun pour les situations d'anesthésie et de réanimation car les objectifs sont différents.

En anesthésie, il est potentiellement dangereux de régler le trigger au minimum quoique certains fabricants aient volontairement « bridé » leur appareil. Le risque est en effet de voir apparaître un phénomène d'auto-trigger : déclenchement automatique d'un cycle soit du fait du volume d'éjection systolique qui crée un appel de gaz dans la trachée lorsque le sang quitte le thorax (figure 15) soit du fait d'une fuite expiratoire importante qui induit une variation importante de débit [4].

Figure 15



L'identification d'un auto-trigger n'est pas toujours évidente ; il invite à élever la valeur du trigger ou à corriger la fuite. Dans certains cas, il pousse à changer de mode de ventilation.

Le niveau de pression est réglé pour obtenir un  $V_t$  et un capnographe satisfaisant. Il n'est pas rare de voir apparaître une hypocapnie, particulièrement en phase de réveil ; ceci conduit à reconsidérer l'indication ou à modifier l'administration des agents anesthésiques.

Certains patients passent en phase expiratoire au début de l'insufflation ; il convient alors de réduire le niveau de pression consigne.

Lors de la ventilation spontanée chez un sujet conscient, de faibles niveaux de pression sont nécessaires pour assurer un bon  $V_t$  avec une bonne tolérance clinique [5]. Une obstruction des voies aériennes nécessitera l'utilisation de pressions plus élevées. Le niveau de  $V_t$  et l'impression subjective de bien être sont les deux facteurs à prendre en compte.

### 2.3.2.2 Les indications reconnues utiles

En réanimation, ce mode est utile pour

- Préserver l'activité des muscles inspiratoires
- Limiter la sédation en autorisant une ventilation spontanée
- Limiter les pressions dans les voies aériennes
- Aider au sevrage de la ventilation mécanique.

En anesthésie, ce mode sert à

- Améliorer la pré-oxygénation [5]
- Augmenter le volume courant [6]
- Accélérer l'induction sous halogénés [7]
- Diminuer la pression des voies aériennes sous masque laryngé
- Faciliter le sevrage ventilatoire après chirurgie cardiaque
- Améliorer l'oxygénation postopératoire après chirurgie cardiaque et chirurgie abdominale majeure.

### 2.3.2.3 Les risques de la méthode

- Auto-trigger



- Inefficacité des cycles déclenchés lorsque l'insufflation s'effectue pendant l'activation des muscles expiratoires
- Pression consigne trop basse créant des Vt trop faibles
- Apnée avec un seuil inadapté
- Absence de déclenchement car l'appel inspiratoire du patient est trop faible

#### 2.3.2.4 La surveillance se fait sur :

- La fréquence respiratoire : fréquence des cycles déclenchés par le patient et fréquence des cycles imposés.
- La ventilation minute totale : ventilation minute liée aux cycles déclenchés et ventilation minute liée aux cycles imposés
- Le rapport I/E mesuré. Un rapport I/E court annonce fréquemment un échec de ce mode.
- La détection de l'auto-trigger est aisée lorsqu'il est lié aux oscillations cardiogéniques : la fréquence respiratoire est très élevée et les cycles sont synchrones des complexes QRS. Une élévation de la sensibilité du trigger arrête l'auto-déclenchement. Plus difficile est l'identification d'un auto-trigger lorsqu'il est lié à une fuite expiratoire. Cette situation est identifiée en arrêtant le respirateur et en constatant l'absence d'appel inspiratoire du patient.

## 3 La surveillance de la ventilation mécanique

### 3.1 *Réglage et choix des alarmes.*

Plusieurs alarmes sont réglementaires et ne doivent donc pas être inhibées. Elles visent à prévenir les risques d'apnée (alarme de débranchement ou dépression respiratoire) et de barotraumatisme (alarme de surpression).

En cas d'augmentation des pressions d'insufflation,

- Une alarme sonne si la pression de pic est supérieure à la limite supérieure de l'alarme
- Traditionnellement, une partie du Vt s'échappe à l'extérieur pour ne pas dépasser une valeur pré réglée. Sur les respirateurs les plus récents, la sécurité contre les surpressions se fait par limitation du débit d'insufflation, empêchant la pression de dépasser une valeur maximale pré réglée.

Ces deux réglages sont indépendants.

En anesthésie, il est habituel d'identifier l'apnée sur la courbe de capnographie car cette méthode est opérante quelque soit le mode de ventilation, spontanée ou contrôlée. Cette mesure se fait au plus proche du patient, en général sur la pièce en Y ou au niveau du filtre antibactérien.

L'alarme de pression haute des voies aériennes utilise fréquemment la pression mesurée dans le respirateur lui-même, valeur identique à celle mesurée au plus prêt du patient. Elle doit être distinguée de la valeur de la pression d'échappement qui empêche le respirateur d'insuffler au-delà de ce niveau.

L'alarme de pression basse identifie les difficultés à l'expiration. Elle doit être activée en ventilation spontanée et contrôlée. Mesurée dans le respirateur, elle ignore les freins expiratoires liés au patient et sur la branche expiratoire du circuit.

La visualisation des courbes de pression et de CO<sub>2</sub> est importante : elle identifie les désadaptations, la présence d'eau dans les tuyaux par exemple.

### **3.2 Notion d'acquiescement et d'inhibition des alarmes**

Inhiber une alarme, c'est la désactiver pendant un certain temps (habituellement deux minutes). L'alarme sonore est éteinte mais le paramètre continue de clignoter le temps que la valeur n'est pas dans la fourchette du normal. Une fois le temps de temporisation écoulé, l'alarme sonore se réactive automatiquement.

Acquiescer une alarme, c'est inhiber le son et le signal visuel de façon définitive. L'alarme sera à nouveau opérante si le seuil est à nouveau dépassé après un passage dans la zone normale.

### **3.3 Les courbes de base et les boucles pression volume et débit volume**

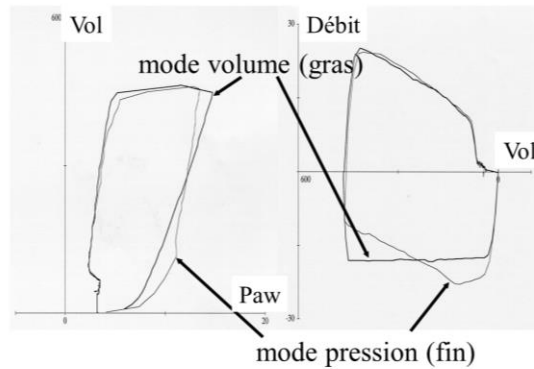
La courbe de pression des voies aériennes est un élément de base du monitoring. L'identification de la pression d'insufflation et de la pression télé-expiratoire est simple. Le réglage d'un temps de pause inspiratoire permet le calcul de la compliance quasi statique. Ce paramètre est affiché sur les appareils de réanimation, il ne l'est pas sur les appareils d'anesthésie où seul un chiffre de compliance totale est affiché.

La lecture de la courbe du débit expiratoire est utile pour identifier une hyperinflation dynamique quand celui-ci n'est pas nul au moment où l'insufflation suivante va débiter. Selon l'endroit où les débits sont mesurés (dans le respirateur ou près du patient), le débit inspiratoire est positif ou négatif.

L'affichage des courbes débit-volume et pression-volume est utile. Il convient de bien repérer les modifications des courbes en relation avec le cycle de ventilation (figure 9). Une boucle sous anesthésie profonde est mémorisée systématiquement afin de la comparer aux boucles affichées en permanence. Ceci permet de détecter précocement des modifications de la mécanique respiratoire (compliance, résistance, fuite, toux, désadaptation).

Le monitoring de la courbe pression-volume détecte précocement les modifications de mécanique respiratoire, particulièrement lorsqu'elles sont liées à des variations de profondeur d'anesthésie. Pendant l'insufflation, la pression monte de façon curvilinéaire en mode volume contrôlé et de façon raide en mode pression contrôlée (figure 1, 2, 16).

Figure 16 Mode pression / mode volume



Pendant l'expiration, la chute initiale de la pression se fait sans variation de volume et correspond à la décompression du gaz. La diminution du volume pulmonaire pendant l'expiration se fait à un gradient de pression faible, proche de celui obtenu en ventilation spontanée.

L'augmentation des résistances expiratoires limite le débit expiratoire ; en fin d'expiration, l'insufflation débute alors que le débit expiratoire n'est pas nul. Il s'en suit une augmentation du volume pulmonaire de fin d'expiration avec un risque potentiel de surdistension. Lorsque la ventilation mécanique est assurée par un respirateur de réanimation, l'hyperinflation dynamique est identifiée par l'existence d'une pression positive de fin d'expiration. Ceci n'est pas possible avec une machine d'anesthésie sur certaines machines d'anesthésie : la présence d'une pression positive permanente en relation avec la valve d'échappement des gaz pour les machines à soufflet ascendant. Cette pression est de l'ordre de 2 cm H<sub>2</sub>O et est indépendante du débit de gaz frais sur les machines modernes.

L'identification d'une hyperinflation dynamique en anesthésie passe par l'analyse de la courbe de débit expiratoire ou mieux de la boucle débit-volume (figure 7). La présence d'un débit expiratoire non nul en fin d'expiration signe cette anomalie et invite à modifier les réglages de la machine : raccourcissement du temps inspiratoire (I/E), diminution de la fréquence respiratoire.

### 3.4 La capnographie (notions essentielles)

C'est un élément de sécurité majeur. Elle permet d'identifier des situations à grand risque.

- Intubation œsophagienne
- Grand hypocapnie et grande hypercapnie
- Ré-inhalation de CO<sub>2</sub>

Il ne faut pas trop faire aveuglément confiance à la valeur de la PetCO<sub>2</sub> comme reflet fidèle de la PaCO<sub>2</sub> car le gradient varie dans le temps de façon non négligeable.

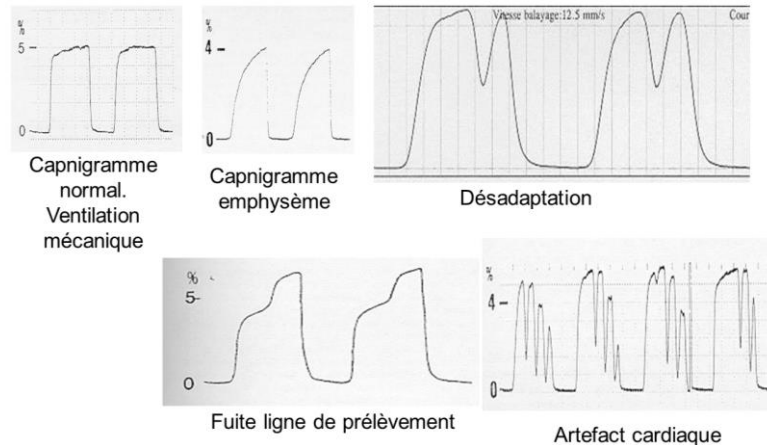
La surveillance du CO<sub>2</sub> expiré est utile dans le cadre des défaillances hémodynamiques car il existe une bonne corrélation entre débit cardiaque et élimination du CO<sub>2</sub>.

La courbe du CO<sub>2</sub> en fonction du temps identifie des situations particulières (figure 17) :

- Désadaptation
- Inhomogénéité des rapports VA/Q

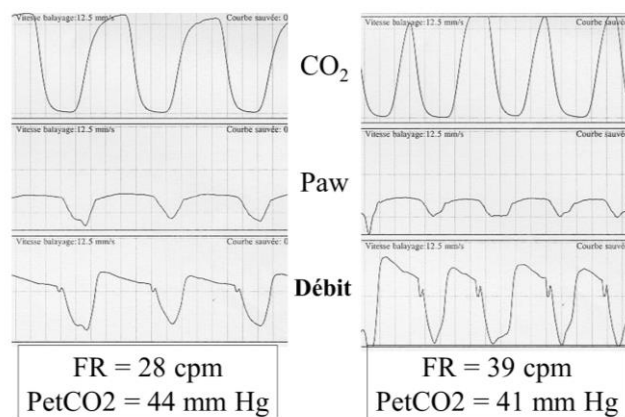
- Début de décurarisation.

Figure 17 Courbes de capnographie



En ventilation spontanée, le capnogramme est rarement rectangulaire sans que ceci témoigne d'un problème de ventilation (figure 18). La visualisation des courbes de tendance permet de juger de la stabilité globale du patient par rapport à son état respiratoire, circulatoire et métabolique

Figure 18 Capnographie en ventilation spontanée : effet de la fréquence respiratoire



## 4 L'analyse de risque des respirateurs

### 4.1 Notion de base

#### 4.1.1 Notions de physique

La pression est une force appliquée à une unité de surface. En principe, l'unité Pascal devrait être utilisée (système international) ; de fait, il est d'usage d'utiliser les cm H<sub>2</sub>O (1 KPa = 10 cmH<sub>2</sub>O = 10 mBar). La pression dans une enceinte est le résultat des chocs des molécules ;

elle est régit par l'équation des gaz parfaits  $PV = \text{constante}$ . Pour une masse de gaz donnée, une diminution de volume engendre une augmentation proportionnelle de la pression. La pression se mesure perpendiculairement au bord de la paroi.

#### **4.1.2 Performances des respirateurs**

Les performances techniques des respirateurs d'anesthésie, de transport ou de réanimation sont excellentes ; des tests comparatifs indépendants des constructeurs ont montré de petites différences, probablement sans conséquences cliniques.

En effet, pour être mis sur le marché, les ventilateurs comme tous les Dispositifs Médicaux doivent obligatoirement être marqués CE médical (loi 94-43 du 18/01/1994) :

« Les dispositifs médicaux ne peuvent être mis sur le marché, mis en service ni utilisés dans le cadre d'investigations cliniques s'ils n'ont reçu, au préalable, un certificat attestant leurs performances ainsi que leur conformité à des exigences essentielles concernant la sécurité et la santé des patients, des utilisateurs et des tiers. »

Les dispositifs médicaux sont regroupés en 4 classes en fonction de leur degré de risque pour la santé humaine : classe I, IIa, IIB et III (généralement DM implantables ou invasifs). Les ventilateurs appartiennent à la classe IIB.

L'arrêté du 15 mars 2010 introduit deux nouvelles notions :

- les dispositifs médicaux doivent être conçus et fabriqués
  - pour atteindre leurs performances en minimisant les risques pour le patient
  - pour éviter les risques liés à l'utilisateur.
- La vérification des caractéristiques et des performances ainsi que l'évaluation des effets secondaires doivent être fondées sur des données cliniques.

De nombreuses normes internationales existent dans le domaine de la ventilation dont la norme NF EN ISO 80601-2-12 de juin 2011 fixant les exigences particulières relatives à la sécurité de base et aux performances essentielles des ventilateurs pulmonaires pour utilisation en soins intensifs, et les normes NF-EN-ISO 8835-2, NF-EN-ISO 8835-3, NF-EN-ISO 8835-4, NF-EN-ISO 8835-5, s'appliquant à des domaines particuliers (ventilation à domicile, ventilation en situation d'urgence et de transport, ventilation par inhalation de gaz anesthésiques). Toutes ces normes sont internationales et régulièrement révisées ; elles ne sont toutefois pas rétroactives au parc d'équipements installés avant leur parution, ni obligatoires réglementairement. Certaines normes décrivent précisément les tests à effectuer pour vérifier les performances des ventilateurs.

#### **4.1.3 Principes de fonctionnement des respirateurs**

Le principe de fonctionnement de tout respirateur est la pressurisation du gaz. Elle est obtenue soit par la pression des gaz muraux qui est au préalable détendue soit par une turbine soit par le mouvement d'un piston coulissant dans une enceinte. Il est important de connaître le mode de fonctionnement du respirateur qui conditionne beaucoup son utilisation :

- Les turbines sont utilisées pour les respirateurs de transport qui délivrent de l'air ambiant enrichi en oxygène. Elles sont également utilisées dans le Zeus®.
- Les pistons sont activés par un moteur électrique. Les gaz insufflés sont fournis par le mélangeur en réanimation ou partiellement par les gaz expirés en anesthésie.

- Le système de « the bag in the box » est fréquemment utilisé en anesthésie, (figure 14). Les gaz insufflés sont contenus dans un soufflet placé dans une enceinte. La pressurisation du gaz moteur situé dans l'enceinte à l'extérieur du soufflet va pousser le gaz dans le soufflet vers le patient. Lors de l'expiration, le soufflet se remplit en partie avec les gaz expirés, en partie avec les gaz frais puisque tous les appareils d'anesthésie fonctionnent sur le principe du circuit avec ré-inhalation des gaz expirés.

Les respirateurs sont munis de valves (en général inspiratoire et expiratoire) qui vont s'ouvrir pour générer des débits intermittents. Leur ouverture proportionnelle conditionne le niveau de débit alors que leur chronologie d'activation va permettre de réaliser l'inspiration et l'expiration selon les réglages souhaités par les cliniciens. Désormais, elles sont précises et répondent rapidement à la sollicitation de telle sorte que les appareils les plus récents ne sont pas limités en termes de fréquence (jusque 35 cycles par minute) et de niveau de débit d'inspiration. (> 100 L/min).

#### 4.1.4 Compression des gaz dans le respirateur

En ventilation contrôlée, une partie du volume courant est comprimé dans le circuit du fait de la pressurisation du gaz. Ce volume n'est pas insufflé ; il est d'autant plus important que la pression est élevée et que l'espace mort instrumental est élevé. Cet espace mort est mesuré pendant l'autotest des machines et s'affiche comme la compliance du circuit (ml/cmH<sub>2</sub>O). Pour une compliance du circuit de 3 ml/cmH<sub>2</sub>O et une pression d'insufflation de 30 cm H<sub>2</sub>O, le volume comprimé dans le circuit est de 90 ml, ce qui est loin d'être négligeable. La plupart des respirateurs modernes disposent d'un système qui permet de corriger ce phénomène en insufflant un volume supplémentaire tenant compte de ce volume compressible. Attention ! Ce facteur correctif n'est donné que pour un circuit patient ; un changement de type de circuit (par exemple adulte et pédiatrie comme on l'observe dans certains blocs multidisciplinaires) impose de refaire l'autotest pour que l'appareil tienne compte de ce changement de circuit.

#### 4.1.5 La sécurité sur la FiO<sub>2</sub>

Elle est strictement indispensable et couvre des risques devenus certes extrêmement rares mais dont l'impact sur le patient peut être majeur. Schématiquement, il convient de prévenir :

- **L'administration d'un mélange hypoxique.** Des sécurités sur les mélangeurs évitent le mélange des trois gaz (oxygène, air et protoxyde d'azote) et le monitoring de la FiO<sub>2</sub> est obligatoire. Le niveau d'alarme bas tient compte des capacités du patient à supporter une désaturation. De plus, les machines d'anesthésie utilisant un circuit filtre peuvent engendrer l'administration d'un mélange hypoxique si le débit d'O<sub>2</sub> délivré est inférieur à la consommation d'O<sub>2</sub>.
- **La rétro-pollution** [8] est l'admission d'air ou de N<sub>2</sub>O dans le réseau de distribution central d'O<sub>2</sub>. C'est un risque majeur qui peut être à l'origine de décès en série. Il survient sous deux conditions : une panne de mélangeur laissant une communication libre entre deux réseaux de gaz et une pression plus élevée dans le réseau d'air ou de N<sub>2</sub>O que dans celui du réseau d'O<sub>2</sub>. Il y a alors contamination du circuit d'administration en oxygène par un autre gaz entraînant une baisse de la fraction d'oxygène dans les gaz frais.



## **4.2 Le contrôle avant utilisation**

Ils sont effectués à plusieurs niveaux mais le clinicien reste le responsable de la bonne marche de son matériel. Responsable ne veut pas dire qu'il doit effectuer toutes les tâches de contrôle mais il doit veiller à ce que ces contrôles soient effectués selon la procédure qui aura été retenue lors des mises à jour du parc (décret 2001-1154 du 5/12/01)

Une stratégie de service permet d'obtenir une très bonne adhésion des utilisateurs [9].

### **4.2.1 Contrôles après réception et après opérations de maintenance**

Ces contrôles sont effectués généralement sous la responsabilité du service biomédical par des techniciens biomédicaux formés ou par le constructeur [10].

A la première mise en service de l'appareil, il est nécessaire d'effectuer un contrôle de bon fonctionnement pour s'assurer que l'appareil n'a pas subi de dégradations dans le transport, bien qu'ayant été contrôlé en usine. Le contrôle est effectué avec un Equipement de Contrôle, de Mesure et d'Essais (ECME) spécifique, appelé couramment testeur de ventilateur. Cet appareil permet de vérifier l'adéquation des paramètres de consigne et des grandeurs mesurées :

- volume courant
- fréquence des cycles
- rapport I/E
- la pression de crête
- le débit inspiratoire
- la FiO<sub>2</sub> (pas toujours mesurée par le testeur).

Il est indispensable de vérifier le déclenchement des alarmes hautes et basses sur les paramètres suivants : volume courant, fréquence respiratoire, pressions délivrées. Ces contrôles sont généralement effectués le ventilateur fonctionnant en mode contrôlé, s'agissant de grandeurs fondamentales non altérées par un autre mode de fonctionnement.

Ces contrôles sont complétés par un test de sécurité électrique pour détecter d'éventuels courants de fuite bien qu'aucune partie métallique ne soit en contact avec le patient.

Pour finir, le technicien fait fonctionner l'appareil en autotest.

Les contrôles après intervention de maintenance curative consistent généralement à vérifier le bon fonctionnement de l'appareil par un ECME tel qu'indiqué ci-dessus en ciblant les tests en fonction de l'élément remplacé. Si l'intervention concerne l'alimentation électrique de l'appareil, un test de sécurité électrique sera nécessaire. En fin de contrôle, l'autotest du ventilateur est effectué.

L'organisation précise des modalités pratiques de ces contrôles doit être consignée dans un document soumis pour avis aux instances de l'hôpital.

Cet arrêté a été en quelque sorte un texte précurseur au décret d'obligation de maintenance (cf. chapitre maintenance) tout en étant plus restreint quant au nombre de dispositifs médicaux concernés et plus large car il touche également les contrôles effectués par les utilisateurs.

## 4.2.2 Check-list d'ouverture de la salle d'opération et autotests des respirateurs

Elle a été rendue obligatoire par un décret en 1995.

Le ministre de la santé publique et de l'assurance maladie,

Vu le Code de la santé publique, et notamment les articles D.712-40, D.712-43, D.712-47 et D.712-51,

**Art. 1er** - Les matériels et dispositif médicaux assurant les fonctions et actes cités aux articles D. 712-43 et D. 712-47 du code la santé publique :

1. Sont contrôlés lors de leur première mise en service dans l'établissement de santé et lors de toute remise en service, notamment après toute intervention de dépannage importante ou toute interruption prolongée de fonctionnement, afin de s'assurer que leur installation est faite selon les spécifications prévues par le fabricant et par l'établissement de santé ;
2. Font l'objet d'une vérification de leur bon état et de leur bon fonctionnement avant utilisation sur les patients ;
3. Font l'objet d'une maintenance organisée, adaptée à leurs conditions d'utilisation.

La plupart des respirateurs sont capables de faire leur autotest avec peu ou pas d'intervention humaine. A l'issue de ces tests, un ou des messages apparaissent sur un écran en cas de dysfonctionnement. Il convient de tenir compte de ces messages et de ne pas débiter la ventilation avec un appareil défaillant. Les respirateurs gardent en mémoire ces messages qui peuvent être identifiés a posteriori en cas de problème. Si le problème ne peut être résolu, il faut disposer d'un matériel de remplacement, sinon la réalisation du programme ou la sécurité du patient sera compromise.

La procédure de contrôle est définie par les équipes soignantes et biomédicales sur la base des documents fournis par le fabricant et après formation. Cette procédure est écrite et doit pouvoir être présentée aux tutelles sur demande.

La vérification à l'ouverture de la salle ne se limite pas à l'autotest. Elle s'étend aux accessoires (tuyaux, systèmes de secours entre autres) et implique de vérifier que le respirateur réalise bien des insufflations dans un ballon test.

La réalisation de la check-list et des autotests ne met pas à l'abri de la survenue d'une panne pendant la ventilation.

## 4.2.3 Contrôle entre deux patients

Il est nécessaire de faire certains contrôles (fuite, connexion ligne de prélèvements ...) avant utilisation sur un autre patient :

- Changement de circuit
- Changement de cuves d'halogénés ou d'injecteur (se référer au mode d'emploi)
- Vérification des paramètres de réglage du respirateur (pédiatrie, obèse).

Ces contrôles sont obligatoires et leur traçabilité doit être assurée.

## 4.2.4 La maintenance des machines

Les ventilateurs étant des dispositifs médicaux de classe IIB au sens du marquage CE, ils sont soumis à une obligation de maintenance telle que précisée au Décret du 5 décembre 2001 et l'arrêté du 3 mars 2003. L'exploitant, c'est-à-dire « toute personne physique ou morale assurant la responsabilité juridique de l'activité requérant l'utilisation de ce dispositif » est tenu d'organiser la maintenance, qui peut être réalisée soit par le fabricant ou sous sa responsabilité, soit par un fournisseur de tierce maintenance, soit par l'exploitant lui-même, c'est-à-dire les personnes auxquelles cette mission a été déléguée par le Directeur de l'Etablissement de Soins, généralement le service biomédical.



Une mise au point récente de l'ANSM précise que « les préconisations du fabricant constituent la base documentaire à partir de laquelle l'exploitant construit sa politique de maintenance. D'autres éléments, telles que les recommandations émises par l'ANSM ou d'autres institutions, et les guides de bonnes pratiques professionnels, sont également à prendre en considération. L'exploitant peut, sous sa propre responsabilité, adapter les préconisations du fabricant après évaluation de l'impact à travers sa gestion des risques liés à l'exploitation des dispositifs médicaux dans son établissement ». Concrètement, il est difficile de déroger aux préconisations des Constructeurs. Toutefois, en analysant en détail le contenu de certains protocoles de maintenance préventive, avec le recul et l'expérience du service biomédical, il est possible de déroger à certaines maintenances préventives semestrielles. Si la maintenance n'est pas confiée au Constructeur, l'« exploitant » doit s'assurer par son personnel ou par une société de tierce maintenance de la qualité des opérations.

La formation des techniciens intervenant sur l'équipement est un point particulièrement sensible. Ils acquièrent, auprès du Constructeur, les connaissances spécifiques à l'appareil qu'ils souhaitent maintenir. Les techniciens doivent disposer de la documentation technique complète de l'appareil (schémas techniques, et références des pièces), des outils spécifiques de dépannage requis (clefs spécifiques, logiciels etc..). Pour pouvoir contrôler le bon fonctionnement des ventilateurs, ils doivent disposer d'un ECME pour ventilateurs.

L'origine des pièces détachées utilisées constitue un point critique : la pièce de rechange doit permettre à l'appareil de conserver les mêmes performances.

La norme FX60-010 définit la maintenance pour tout type de matériel, médical ou autre, par « l'ensemble des activités destinées à maintenir (maintenance préventive) ou à rétablir (maintenance corrective) un Dispositif Médical dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement pour accomplir une fonction requise. ».

« La maintenance préventive est une maintenance exécutée à intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien. ». Les opérations de maintenance préventive comportent des pièces ou éléments à remplacer selon une fréquence fixe ou selon le nombre d'heures d'utilisation de l'appareil (de plus en plus rare), des contrôles de fonctionnement voire des contrôles de performances. Les contrôles de performances sont plus généralement appelés « contrôle qualité ». Toutefois, le contrôle qualité au sens du décret relatif à l'obligation de maintenance n'est obligatoire que pour les dispositifs émettant des rayonnements ionisants.

L'exploitant est tenu de consigner toutes les opérations de maintenance (curative et préventive) et de les conserver pendant 5 ans après la mise au rebut de l'équipement. La plupart des services biomédicaux sont équipés de logiciel de gestion de maintenance assistée par ordinateur (GMAO) permettant de gérer l'inventaire des équipements et les opérations de maintenance.

Le coût de la maintenance et des consommables nécessaires à l'exploitation de l'appareil doivent être pris en compte au moment du choix d'un nouvel appareil car ils peuvent largement dépasser le prix de l'appareil lui-même.

La norme FX60-010 définit 5 niveaux de maintenance :

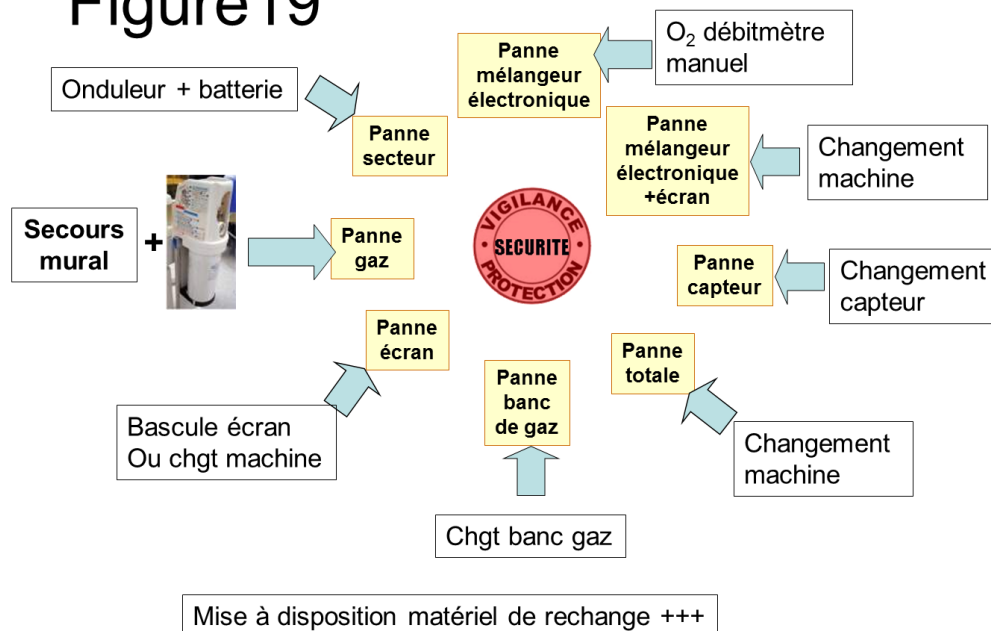
- Niveau 1 : Actions simples nécessaires à l'exploitation et réalisées sur des éléments facilement accessibles en toute sécurité avec des équipements de soutien intégrés au bien.
- Niveau 2 : Actions qui nécessitent des procédures simples et/ou des équipements de soutien d'utilisation ou de mise en œuvre simple.
- Niveau 3 : Opérations qui nécessitent des procédures complexes et/ou des équipements de soutien portatifs, d'utilisation ou de mise en œuvre complexe
- Niveau 4 : Opérations dont les procédures impliquent la maîtrise technique ou technologie particulière et/ou la mise en œuvre d'équipements de soutien spécialisés.
- Niveau 5 : Opérations dont les procédures impliquent un savoir faire faisant appel à des techniques ou technologies particulières et des processus et/ou équipements de soutien industriels.

La limite de prestation technique entre le service utilisateur et le service biomédical doit être précisée et consignée dans une procédure. Les opérations de maintenance de niveau 1 ne nécessitent pas d'outillage et peuvent être confiées à l'utilisateur. En revanche, on peut considérer que, dès lors que l'intervention nécessite un outillage externe, elle relève de la compétence d'un technicien.

Les manuels d'utilisation indiquent les opérations de nettoyage et d'entretien à effectuer par l'utilisateur. Le respect de ces consignes conditionne le bon fonctionnement du ventilateur. Les procédures de désinfection sont à adapter en fonction du type de circuit utilisé et des indications du constructeur.

Chaque service fait l'analyse des risques de panne et met à disposition du matériel pour pallier à ces pannes en cours d'utilisation (figure 19). Cette analyse est partagée entre le fabricant, le biomédical et le référent matériel. Les utilisateurs doivent avoir une vision très simple de cette analyse : conduite à tenir, emplacement du matériel, modalité de changement des capteurs entre autres.

## Figure 19



### Sans oublier le commutateur ventilation manuel / mécanique

Il est souhaitable que l'utilisateur soit apte à remplacer les membranes et les capteurs de spirométrie, même si ces opérations nécessitent une clef, car les techniciens biomédicaux ne peuvent pas toujours intervenir de nuit ou les week-ends.

Le remplacement des cellules O<sub>2</sub> chimiques peut également être confié aux utilisateurs. Cette opération devient de plus en plus rare car les cellules électrochimiques sont progressivement remplacées par des cellules paramagnétiques plus fiables et présentant une durée de vie beaucoup plus longue.

Pour les ventilateurs équipés de batterie de secours au plomb, il est recommandé de faire fonctionner le ventilateur sur batterie 10 minutes par jour au moins afin d'éviter que la batterie soit en permanence chargée complètement.

La calibration des cellules d'O<sub>2</sub> et des capteurs de débit est de plus en plus effectuée automatiquement par le ventilateur.

Les ventilateurs émettent tous des codes erreurs et/ou des messages plus ou moins compréhensibles qui guident l'utilisateur pour remédier au problème. La liste des codes erreurs avec les causes et les remèdes se trouve dans les manuels utilisateurs.

Il est utile que le service utilisateur avec l'aide des techniciens biomédicaux crée une fiche allégée des principales causes de problème qui soit disponible au bloc opératoire.

Pour tout problème technique ne relevant pas de l'utilisateur, il est indispensable de contacter le service biomédical.

### 4.2.5 La typologie des incidents

Les « vraies » pannes sont souvent spécifiques à la conception, fabrication des appareils. Comme dans d'autre domaine technique, la nature des pannes est de plus en plus électronique et informatique, les éléments mécaniques et pneumatiques étant de plus en plus fiables [11]. Elles relèvent des cartes électroniques surtout des mémoires, de la pression

d'alimentation en gaz et de l'analyseur de gaz, ce dernier élément étant probablement le plus sensible et fragile.

Les principaux incidents des ventilateurs d'anesthésie pouvant être résolus par l'utilisateur, concernent :

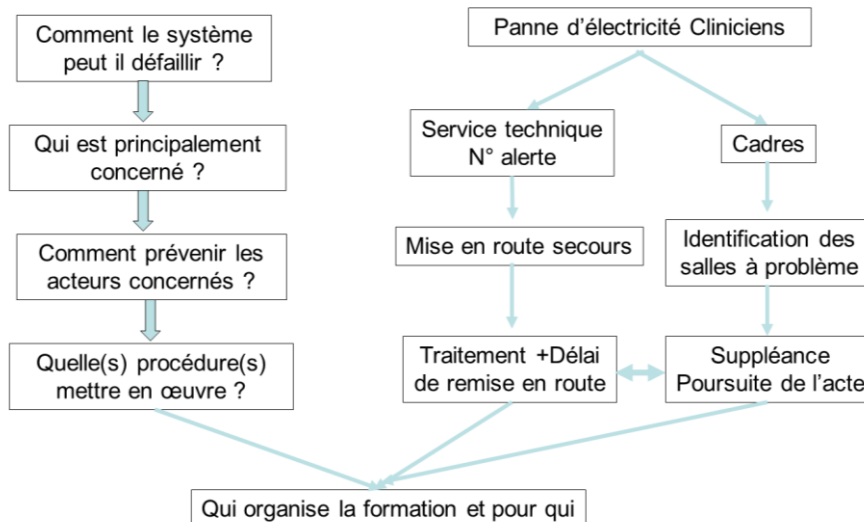
- la présence d'humidité. La vidange du réservoir du piège à eau est un point critique car l'humidité perturbe les mesures des capteurs. Ces pièges à eau se situent à différents endroits : circuit lui même, canister de chaux sodée, module de capnographie.
- les problèmes liés au bac à chaux sodée
- les fuites

Les causes de pannes des ventilateurs de réanimation sont plus diversifiées. Les pannes concernent majoritairement l'alimentation électrique, les valves expiratoires, les capteurs, les électrovannes. Chaque modèle d'appareil présente un ou des points faibles généralement identifiés par un technicien biomédical expérimenté.

#### 4.2.6 L'analyse de risque

Quelque soit la fonction (alimentation en gaz médicaux, en électricité, panne de respirateur ou de moniteur, des solutions de secours sont envisagées puis mises en œuvre en fonction du contexte médical et architectural. L'analyse de risque est une méthode simple et adaptée pour résoudre ce type de problème (figure 20).

Figure 20 Exemple d'analyse de risque



Un questionnaire est rempli pour chaque fonction et un exemple est donné pour les fluides au tableau 1. C'est ce que l'on appelle une analyse de risque. Un exemple en est donné figure 20. Il est essentiel que ces procédures soient connues par tous les utilisateurs et soient partagées par les services techniques et la pharmacie.

**Tableau 1**

Les risques	Les actions
1. Comment le système peut-il défaillir ?	1. Définition du type de panne
2. Quel personnel est principalement concerné ?	2. Définition du personnel cible
3. Comment prévenir les acteurs concernés ?	3. Définition des moyens d'alerte
4. Quelle(s) procédure(s) mettre en œuvre ?	4.1 Définition des mesures correctives 4.2 Définition des mesures palliatives
5. Qui organise la formation et pour qui ?	5. Définition des objectifs de formation

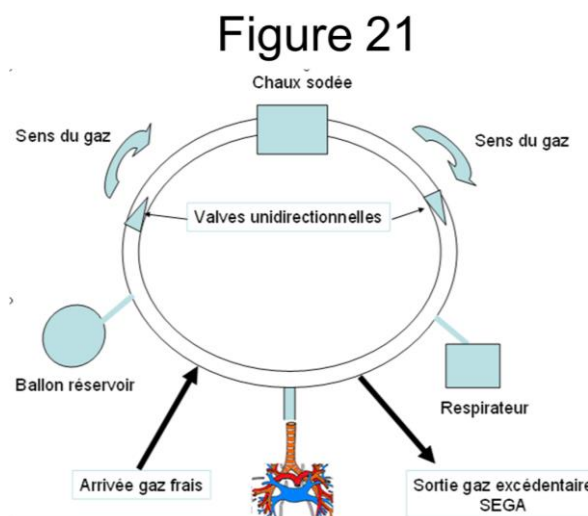
## 5 Particularités du respirateur en anesthésie

La spécificité des respirateurs utilisés en anesthésie est le couplage entre le ventilateur et le système de délivrance des gaz anesthésiques avec dans la grande majorité des cas une ré-inhalation des gaz expirés.

### 5.1 Le circuit d'anesthésie et le couplage respirateur – circuit d'anesthésie

Un circuit anesthésique est l'ensemble des éléments permettant d'acheminer au patient les gaz et vapeurs nécessaires à son oxygénation et à son anesthésie, et d'acheminer les gaz expirés vers le système d'évacuation.

Le circuit actuellement le plus utilisé est le circuit filtre, dans lequel les gaz expirés sont réintroduits dans la branche inspiratoire après avoir traversé un absorbeur de CO<sub>2</sub>. Le mélange entre les gaz expirés par le patient et les gaz frais se fait dans un ballon dont la capacité est adaptée à l'âge du patient. Les principaux éléments du circuit filtre (Figure 21) sont :



### **5.1.1 Les valves :**

#### **5.1.1.1 Les valves uni-directionnelles inspiratoire et expiratoire**

#### **5.1.1.2 La valve d'échappement des gaz.**

Elle est dite APL (adjusted pressure limit) pour le circuit de ventilation spontanée ou manuelle. Fréquemment, elle est tarée à 2 cm H<sub>2</sub>O, raison pour la quelle la pression est positive dans le circuit ; elle peut néanmoins être réglée à 0 dans certaines machines. Son réglage est modifié pour ventiler manuellement au ballon. Une autre valve d'échappement est située dans le circuit de ventilation mécanique ; elle n'est pas réglable. Elle doit être raccordée à un système d'évacuation des gaz anesthésiques (SEGA). Ce système fonctionne sur le principe de l'effet Venturi et rejette les gaz excédentaires à l'extérieur de la salle.

### **5.1.2 L'absorbeur de CO<sub>2</sub>, ou « canister ».**

La ré-inhalation des gaz expirés impose l'absorption du CO<sub>2</sub> par de la chaux sodée. Un indicateur coloré indique le niveau de saturation de la chaux de façon grossière. Il est préférable de décider le changement de la chaux sur la valeur de la FiCO<sub>2</sub> et il est habituel de régler une alarme sur la valeur de FiCO<sub>2</sub>. L'assèchement de la chaux sodée altère la captation du CO<sub>2</sub>, favorise la métabolisation des gaz halogénés et particulièrement du sévoflurane, et la formation de CO à partir du desflurane. Il est donc indispensable de garder la chaux humide en respectant certaines règles simples :

- Couper l'alimentation en gaz frais entre deux patients
- Débrancher les tuyaux en fin de programme surtout s'il n'est pas prévu d'utiliser la machine le lendemain.
- Utiliser des débits de gaz inférieurs à 3 l.min<sup>-1</sup> pendant l'entretien de l'anesthésie
- Ne pas stocker la chaux sodée à l'air libre et maintenir le canister et les bidons fermés.

### **5.1.3 L'arrivée de gaz frais.**

Dans la plupart des respirateurs, le dispositif d'apport des halogénés (évaporateur ou injecteur électronique) est couplé à l'arrivée de gaz frais ; par conséquent la quantité de vapeur délivrée dépend du réglage de la fraction délivrée et du débit de gaz frais.

- La fraction d'O<sub>2</sub>, air, N<sub>2</sub>O est réglée par des débitmètres, électroniques dans les respirateurs modernes. Ces débitmètres sont conçus de façon à interdire l'administration d'un mélange hypoxique.
- L'administration des halogénés sous forme de vapeurs passe par des évaporateurs à léchage (cuves traditionnelles ou cassettes), des évaporateurs à gicleur ou l'injection directe de vapeur concentrée dans le circuit (dans ce cas, l'administration des halogénés est indépendante du débit de gaz frais).

### 5.1.4 L'analyseur de gaz.

L'usage de bas débits de gaz frais impose une surveillance instrumentale des fractions inspirée et expirée des gaz ( $O_2$ , air,  $N_2O$ ) et des vapeurs. Les gaz expirés sont prélevés sur le filtre ou au niveau de la pièce en Y.

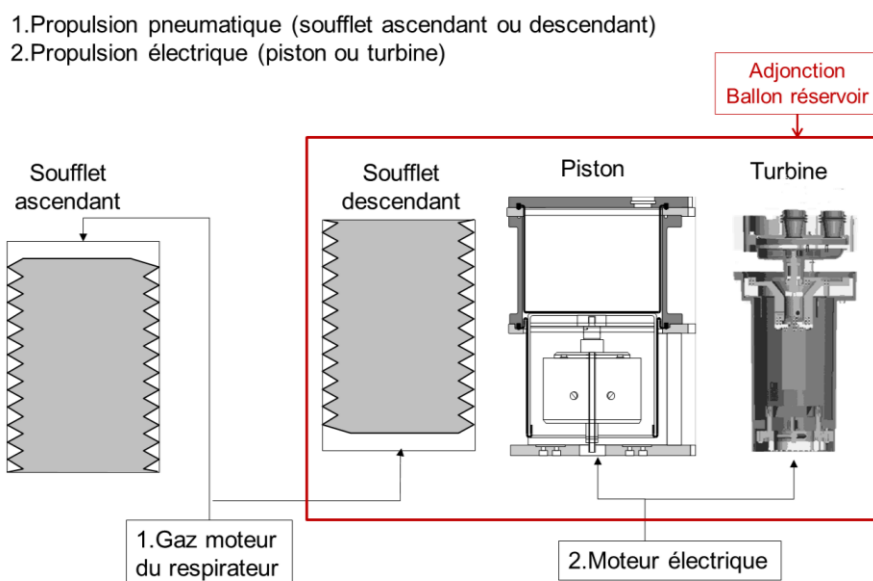
### 5.1.5 Le ballon réservoir et le soufflet du respirateur :

Réservoir entre des cycles ventilatoires intermittents et un débit de gaz frais continu, il permet au patient de toujours recevoir les gaz dont il a besoin, en particulier lorsque le débit inspiratoire instantané est supérieur au débit de gaz frais. C'est sur ce ballon ou ce soufflet que va s'exercer la force motrice à l'origine de la ventilation mécanique.

### 5.1.6 Le respirateur

Il y a lieu de distinguer deux systèmes principaux (figure 22) :

Figure 22



#### 5.1.6.1 Ceux dont le remplissage se fait grâce à une petite pression positive :

**Soufflet ascendant ou « bag in the box ».** Les gaz expirés font monter le soufflet jusqu'à ce qu'il arrive en butée de la boîte contenant le soufflet. Dès que ce soufflet est arrivé en fin de course, les gaz (expirés et frais) sont évacués à l'extérieur à travers une valve d'échappement qui n'est pas la valve APL. L'ouverture de cette valve est visible sur la courbe de pression des voies aériennes pendant l'expiration. Si le débit de gaz frais n'est pas suffisant pour remplir le soufflet jusqu'à la butée, la composition des gaz frais ne sera pas affectée ; en revanche, le volume courant ne sera pas délivré en totalité si le volume du soufflet juste avant l'insufflation est inférieur au volume courant réglé.

#### 5.1.6.2 Ceux dont le remplissage se fait en pression négative :

**Soufflet descendant ou respirateur à piston.** Dans les deux cas, le gaz est aspiré dans un ballon très souple avant d'être insufflé dans le patient. Si le ballon ne contient pas



suffisamment de gaz, le soufflet aspire de l'air atmosphérique. La résultante d'un débit de gaz frais trop faible sera une diminution de la  $FiO_2$  ou l'apparition d'un mélange trois gaz ( $O_2$ , azote et  $N_2O$ ).

5.1.6.3 La force motrice peut être une turbine.

### **5.1.7 Le volume interne des machines d'anesthésie varie beaucoup d'un modèle à l'autre. Un haut volume interne :**

- Augmente la compliance interne de la machine ; les machines actuelles ont un système de compensation qui corrige le  $V_t$  délivré en fonction de cette compliance. Les plus récentes affichent des performances comparables à celles des respirateurs de réanimation.
- Majore la constante de temps du système vis-à-vis de la modification de la composition des gaz inspirés pour un débit de gaz frais donné. Seules les machines délivrant les gaz halogénés à objectif de concentration expirée contournent cette difficulté.

Le circuit accessoire est un circuit indépendant du respirateur mais relié à lui par une commande permettant d'orienter le débit de gaz frais. Autrefois largement utilisé en France, le circuit accessoire est très simple (un tuyau, un ballon réservoir, une valve bi-directionnelle, un filtre et une ligne de monitoring des gaz) ; il présente l'inconvénient majeur de ne pas permettre le monitoring des pressions d'insufflation et de la spirométrie. Son usage n'est plus actuellement recommandé, dans la mesure où ventiler à la main peut générer des surdistensions importantes qui passent inaperçues en l'absence de monitoring. La seule indication de ce circuit est la ventilation manuelle lorsqu'en cas de difficultés importantes et inattendues, on suspecte une défaillance de la machine. Si la panne de la machine (circuit, délivrance des gaz frais ou respirateur) est éliminée, le passage en circuit accessoire ne se justifie plus maintenant que les performances des respirateurs permettent d'assurer une ventilation efficace dans des conditions mécaniques très altérées.

Le passage entre le circuit machine et le circuit accessoire doit toujours être suivi d'un contrôle du bon fonctionnement de la machine : clinique et monitoring.

En anesthésie, il n'y a pas de ventilation sans monitoring.

## **6 Situations particulières en anesthésie**

### **6.1 Ventilation mécanique pendant la cœlioscopie**

La chirurgie sous cœlioscopie conduit à un apport supplémentaire en  $CO_2$ . L'augmentation de la ventilation alvéolaire permet de corriger l'hypercapnie qui surviendrait si on ne faisait rien. Lorsque la cœlioscopie concerne l'abdomen, l'augmentation de la pression abdominale par l'insufflation de  $CO_2$  est nécessaire au confort et à la qualité du geste du chirurgien. Elle génère une diminution de la compliance et de la CRF qui sont majorées par la position proclive. Le retentissement hémodynamique doit également être pris en considération (baisse du débit cardiaque et gêne au retour veineux).

Plusieurs méthodes sont utiles pour combattre les effets délétères du pneumopéritoine au  $CO_2$

- Le contrôle de la pression abdominale et de la position du patient par le chirurgien. Le dialogue chirurgien- anesthésiste aboutit à juger la balance bénéfice risque.
- La ventilation en mode pression
- La PEP



## **6.2 La ventilation au masque facial et masque laryngé**

Globalement, les problèmes posés lors de la ventilation en pression positive au masque facial et au masque laryngé (ou dispositif supraglottique) sont du même ordre :

- Risque d'insufflation œsophagienne d'autant plus élevée que la pression d'insufflation est élevée [12]
- Risque de ventilation à fuite pouvant compromettre la ventilation alvéolaire
- Risque d'inhalation du contenu gastrique
- Risque de difficultés majeures de ventilation en cas de fermeture glottique (laryngospasme)

De ces risques découlent des mesures préventives et compensatoires. Elles sont contrôlées par la mesure continue des paramètres respiratoires :

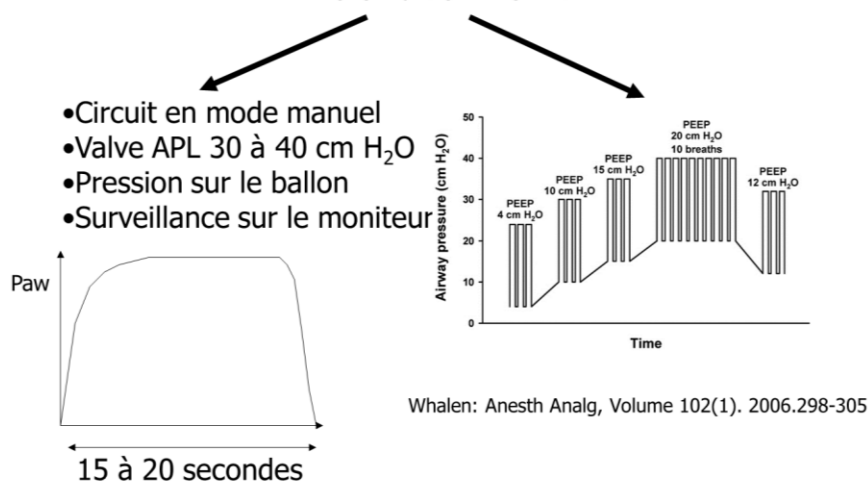
- La pression d'insufflation doit être la plus faible possible pour limiter le risque d'insufflation œsophagienne et la majoration des fuites. Chez l'adulte, le seuil de 20 cm H<sub>2</sub>O a été fixé comme limite ; il est d'autant plus bas que l'enfant est jeune. Plusieurs méthodes se sont montrées efficaces
  - Contrôle de la position du masque laryngé ou amélioration de la subluxation mandibulaire en ventilation au masque facial
  - Ventilation en pression contrôlée ou mieux en aide inspiratoire quand cela est possible
  - Utilisation d'un I/E allongé
  - Changement de stratégie anesthésique avec selon les cas : approfondissement de l'anesthésie, curarisation ou conversion en intubation.
- La mesure initiale de la pression de fuite après la pose du masque laryngé [13]. Une valeur trop basse impose de modifier la position du masque ou de changer de taille ou de passer à une technique d'anesthésie avec intubation.
- Les fuites sont limitées par le choix du masque (facial ou laryngé) et le contrôle de la position du masque laryngé et de sa pression du ballonnet [13].

## **6.3 Recrutement alvéolaire**

### **6.3.1 Les méthodes de recrutement alvéolaire**

La méthode en apnée est la plus simple à mettre en œuvre surtout en anesthésie. Elle consiste à pressuriser les voies aériennes pendant 15 secondes environ en contrôlant le niveau sur le moniteur du respirateur (figure 23).

## Figure 23 Manœuvres de recrutement



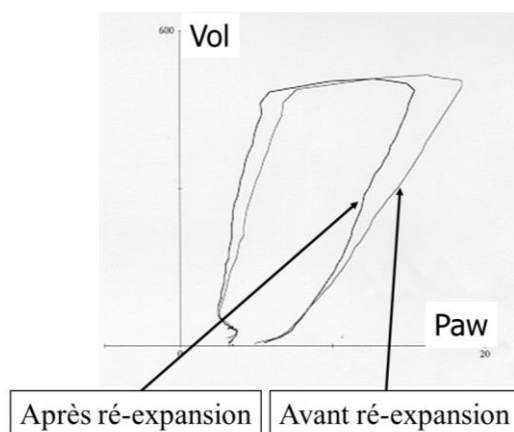
En anesthésie, il suffit de mettre l'appareil en mode manuel et d'ajuster la valve APL entre 40 et 50 cm H<sub>2</sub>O (ces valves ne sont pas exactes et des surpressions peuvent survenir en l'absence de surveillance de la pression sur le moniteur). Le niveau de pression ne fait pas le consensus ; il doit se situer autour de 40 à 45 cm H<sub>2</sub>O ; il sera diminué en cas de compliance élevée comme chez l'emphysémateux. La durée d'apnée est de 15 secondes, mesurées sur l'écran de surveillance du respirateur. Il n'est pas rare que le patient désature pendant ou au décours de la manœuvre.

Une méthode automatique augmente la PEP puis la diminue tous les quatre cycles jusque 20 cm H<sub>2</sub>O (figure 23).

Cette méthode a le mérite de maintenir le niveau de ventilation [3].

Dans tous les cas, il importe de vérifier l'efficacité de cette manœuvre sur l'oxygénation et sur la courbe pression volume (figure 24).

## Figure 24 Efficacité de la manœuvre de recrutement sur la compliance pulmonaire



Au décours de la manœuvre, la mesure de la  $PetCO_2$  donne une bonne idée de la valeur de la pression veineuse en  $CO_2$  car, en apnée, les concentrations alvéolaires et veineuses s'équilibrent.

### **6.3.2 Les indications et contre indications**

Les indications sont larges car l'existence de micro-atélectasies est très fréquente.

En anesthésie

- Après manœuvre de pré-oxygénation
- Chez l'obèse
- Au cours de la chirurgie abdominale ou thoracique selon les améliorations éventuelles de la mécanique respiratoire
- Chez l'enfant avec cependant des niveaux plus faibles

Les contre indications sont

L'hypovolémie et/ou le bas débit cardiaque

L'emphysème pulmonaire où le niveau de pression doit de toute façon être limité et/ou le pneumothorax

## **6.4 La ventilation de l'obèse**

Chez l'obèse morbide, la compliance pulmonaire et celle de la paroi thoracique sont diminuées, la résistance des voies aériennes augmentée, le volume de réserve expiratoire faible et la capacité fonctionnelle résiduelle réduite, toute altération majorée par le décubitus dorsal.

### **6.4.1 Atélectasies peropératoires**

La formation d'atélectasie en périopératoire est plus fréquente chez le patient obèse que chez le patient non obèse pendant la période anesthésique, mais le plus important est leur persistance en postopératoires chez l'obèse alors qu'elles disparaissent complètement chez le non obèse. Ceci est probablement multifactoriel :

- La capacité résiduelle fonctionnelle du patient obèse est réduite par rapport à celui dont l'IMC est inférieur à 30. Ceci est encore plus aggravé en décubitus dorsal.

- Indépendamment de la nature de la procédure chirurgicale, le patient obèse reste plus longtemps et plus immobilisé dans son lit que le patient non obèse. Une mobilisation rapide contribue certainement à une résorption plus rapide des atélectasies.

### **6.4.2 Utilisation de la PEP**

La réduction de l'atélectasie postopératoire passe dans un premier temps par l'éviction de sa formation dès l'induction et pendant la période anesthésique. Une préoxygénation avec une fraction inspirée en oxygène ( $FiO_2$ ) à 100% et une PEP à 10 cmH<sub>2</sub>O pendant cinq minutes avant l'induction de l'anesthésie générale suivies d'une PEP à 10 cmH<sub>2</sub>O au masque facial et après l'intubation trachéale, réduit les atélectasies post-intubation immédiate. L'aide inspiratoire associée à une PEP à  $FiO_2$  1 appliquées pendant 5 minutes augmenterait l'efficacité de la préoxygénation et permettrait d'obtenir des valeurs plus élevées et d'une façon plus rapide de pression télé-expiratoire en oxygène ( $ETO_2$ ) que la respiration spontanée au ballon. L'application d'une PEP améliore significativement la mécanique respiratoire et les échanges gazeux dans le groupe de patients obèses mais pas dans l'autre groupe. Il est donc recommandé d'appliquer une PEEP d'environ 10 cmH<sub>2</sub>O chez le patient obèse en péri-

opératoire associée à des volumes courants de 6 à 8 ml/kg de poids idéal théorique (PIT(kg) = Taille – 110 chez la femme ; et Taille – 100 chez l'homme).

Le recours à la VNI associant l'Aide Inspiratoire et la PEP ou la CPAP seule doit être large dans la période postopératoire, afin de réduire au maximum l'aggravation des atélectasies et la longue période de dépendance à l'oxygène réduisant ainsi le séjour du patient dans l'unité de soins post-chirurgicale et la durée totale d'hospitalisation. Ces résultats ont récemment été validés par Futier et coll [14].

### **6.4.3 Manœuvres de recrutement et soupirs**

Les niveaux de PEP utilisés en peropératoire permettent de s'opposer au dérecrutement bien plus qu'ils permettent « d'ouvrir » le poumon collabé. Ainsi, certains auteurs préconisent depuis plusieurs années l'utilisation de manœuvres de recrutement alvéolaire (MRA). En clinique, l'amélioration de l'oxygénation, la diminution de l'œdème pulmonaire, l'augmentation du volume recruté ont été validés. Au demeurant, de nombreuses interrogations persistent : quelle manœuvre de recrutement utiliser ? Contrairement à une manœuvre de recrutement classique réalisée par un réglage du ventilateur qui permet la surveillance des pressions des voies aériennes, les insufflations manuelles ne permettent pas le plus souvent de monitorer les pressions insufflées. Dans ce cas il existe un risque d'hyperpression en l'absence de monitoring des voies aériennes et donc il est recommandé la plus grande prudence et « douceur » en cas d'application d'insufflation manuel au ballon.

### **6.4.4 Mode ventilatoire : volume ou pression ?**

Les modes en pression contrôlée ou en aide inspiratoire ont l'avantage par définition de contrôler la pression insufflée de façon constante dans les voies aériennes. Ceci permet d'éviter le risque barotraumatique lorsque l'on utilise des pressions d'insufflation inférieure à 30 cmH<sub>2</sub>O. Le risque est en cas de diminution de la compliance du système respiratoire (atélectasie, intubation sélective...) ou augmentation des résistances des voies aériennes (sonde bouchée ou encrassé...) de ne plus assurer la ventilation alvéolaire faisant courir le risque d'une acidose hypercapnie sévère. En pratique, il est recommandé d'utiliser le mode ventilatoire dont on a l'habitude en pratique quotidienne, à savoir celui que l'équipe connaît le mieux et qu'elle estime être le plus sécurisant. Le mode ventilatoire le plus souvent utilisé est le mode en volume contrôlé. Le mode en pression contrôlé est préconisé par certaines équipes en particulier lors de la cœlioscopie car le débit décélérant améliorerait la distribution du flux aérien dans les alvéoles. Cependant les études ayant comparées les deux modes ventilatoires rapportent des données contradictoires quant à la supériorité d'un mode par rapport à l'autre. Les divergences s'expliquent en partie par des critères de jugements différents entre les études et certaines limites méthodologiques.

## **7 La ventilation mécanique peropératoire en pédiatrie**

La ventilation peropératoire en pédiatrie présente des spécificités directement liées à la physiologie respiratoire de l'enfant. Le système respiratoire de l'enfant n'est pas celui de l'adulte en miniature. De ce fait, le réglage du respirateur va être adapté aux contraintes de la physiologie respiratoire.

## **7.1 La ventilation chez l'enfant et l'intérêt de l'aide inspiratoire à l'induction**

L'induction de l'anesthésie en pédiatrie avec du Propofol ou du Sévoflurane induit une obstruction partielle inspiratoire [15,16]. Des études IRM chez les enfants révèlent une diminution du calibre des voies aériennes supérieures (palais, mou, base de langue, extrémité de l'épiglotte), notamment en ce qui concerne les diamètres antéro-postérieur et transverse. Cet effet est concentration-dépend et ressemble à l'obstruction observée en cas de syndrome d'apnée obstructive du sommeil [17]. De plus, les halogénés inhibent les activités des nerfs phréniques et hypoglosses [18]. Ainsi, le segment pharyngé se collabe entraînant un obstacle à l'inspiration durant l'anesthésie avec un masque facial et reproduit le modèle de Starling, le segment pharyngé étant dans ce cas compris entre 2 tubes rigides nasal et trachéal.

A cette obstruction vient s'ajouter les caractéristiques de la physiologie respiratoire de l'enfant. Chez le nourrisson, la cage thoracique est très compliant, très déformable, augmentée de 50% chez l'enfant de moins de 1 an [19]. Ceci explique la survenue d'un asynchronisme ventilatoire avec des mouvements paradoxaux en ventilation spontanée calme, observé en sommeil paradoxal en dehors de toute pathologie obstructive. L'anesthésie, par cette obstruction, favoriserait cet asynchronisme. La cage thoracique se rigidifie progressivement pendant les premières années de vie, améliorant ainsi le couplage thorax-poumon.

L'induction de l'anesthésie augmente le travail musculaire chez l'enfant. Les muscles sont constitués par deux types de fibres musculaires : des fibres lentes (type I) à métabolisme oxydatif, résistantes à la fatigue, des fibres rapides (type II) à métabolisme glycolytiques peu résistantes à la fatigue. A la naissance, la masse des muscles respiratoires est relativement faible, de plus leur répartition entre fibres types I et II varie avec l'âge : les fibres lentes de type oxydatif résistantes à la fatigue sont en proportion moins importantes chez le jeune enfant [20]. Le nouveau né a un capital pauvre en fibres musculaires oxydatives, c'est-à-dire lentes permettant le travail musculaire prolongé. Chez le nourrisson, du fait de l'horizontalité des côtes qui diminue la zone d'apposition costale, le diaphragme travaille dans une configuration défavorable avec un mauvais rendement, ce qui l'expose à la survenue rapide de fatigue. Ce travail musculaire est plus important lors de la ventilation au masque facial qu'au masque laryngé ou qu'à travers une sonde d'intubation [21].

L'aide inspiratoire est un mode essentiel lors de l'induction en pédiatrie avec pour objectif de respecter la respiration spontanée de l'enfant en évitant l'hypoventilation. L'application d'une CPAP **va restaurer le diamètre transversal** des voies aériennes et maintenir un volume courant [16]. Le niveau de trigger est fixé afin d'éviter tout auto-déclenchement induit par la contraction cardiaque dans le cas d'un niveau de trigger réglé trop bas. Le niveau de pression d'aide inspiratoire est fixé en fonction du volume courant voulu (entre 7 et 10 ml/kg) en surveillant l'insufflation gastrique [22]. Chez les enfants de moins d'un an, l'insufflation gastrique est très fréquente et justifie l'utilisation de niveaux de pression bas et en tous les cas < à 15 cm H<sub>2</sub>O. L'application d'une CPAP ou d'une aide inspiratoire diminue le travail respiratoire au cours de l'induction [21]. Ce travail respiratoire est dépendant de l'interface utilisé pour ventiler l'enfant [21]. Finalement, l'aide inspiratoire permet d'obtenir d'excellentes conditions de ventilation [23] et d'intubation [7] tout en diminuant le travail musculaire. **Le relai automatique du mode inspiratoire par une ventilation contrôlée en mode pression est un gage de sécurité en cas d'apnée.**



## 7.2 Les paramètres de ventilation peropératoire

Le mode **pression contrôlée** est classiquement employé chez l'enfant nourrisson avec intubation de la trachée afin d'éviter le barotraumatisme. Le niveau de pression est réglé en fonction du volume courant souhaité soit environ 7-8 ml/kg. La fréquence respiratoire dépend de l'âge de l'enfant et est adapté pour obtenir une normocapnie.

La CRF est un des principaux marqueurs de la croissance alvéolaire. Chez l'adulte, le grand enfant, la CRF (volume d'équilibre de l'ensemble thorax-poumon) correspond au volume de fin d'expiration calme. Ce n'est pas le cas chez le nourrisson qui respire à un volume supérieur à la CRF. Chez le nourrisson et le petit enfant, la compliance élevée de la cage thoracique est à l'origine d'une diminution de la pression de recul élastique du poumon comparée à celle de l'adulte. Ceci induit la fermeture des petites voies aériennes dépourvues de cartilage à un volume très proche de la CRF. Pour éviter cette tendance à la fermeture des petites voies aériennes en ventilation spontanée, le nourrisson en respiration spontanée adapte son débit expiratoire en combinant un frein laryngé résultant d'une activité expiratoire des muscles adducteurs du larynx et un frein diaphragmatique résultant d'une activité post inspiratoire soutenue du diaphragme : ceci aboutit à une CRF " active " supérieure à une CRF relaxée dite " passive ". Par ailleurs, la **fréquence respiratoire** élevée du **nourrisson** (30-40 cycles/min selon le degré de prématurité) s'associe à un temps expiratoire trop court par rapport au temps de vidange du poumon, contribuant ainsi au maintien de l'hyperinflation pulmonaire en ventilation spontanée. Le maintien de cette CRF « active » varie avec le niveau de vigilance, notamment l'état de sommeil : chez certains nourrissons pendant le sommeil, il est décrit une diminution majeure de la CRF pouvant s'accompagner d'une chute de PaO<sub>2</sub> avec désaturation. Ce phénomène est majoré en cas d'induction de l'anesthésie par propofol ou par sévoflurane. Ainsi, tout rétrécissement supplémentaire peut conduire rapidement à une obstruction sévère ce qui explique chez le jeune enfant la propension rapide à siffler (« wheezing ») lors d'une atteinte des petites voies aériennes distales. **L'application d'une PEP** permet de lutter contre ce phénomène. Ce phénomène disparaît progressivement à partir de la fin de la première année avec l'augmentation de la rigidité de la cage thoracique.

La période périnatale est une période critique pour ce qui est de l'alvéolisation du poumon. L'altération de la septation au cours de cette période altère la multiplication alvéolaire conduisant à une diminution majeure de la surface d'échanges. Ainsi, l'exposition prolongée à l'hyperoxie, la ventilation à basse fréquence avec des volumes courants élevés sont à l'origine d'une diminution du nombre d'alvéoles avec augmentation de leur taille. Ceci justifie la ventilation peropératoire des enfants avec des FiO<sub>2</sub> minimales.

Les échanges gazeux sont également perturbés sur cette période périnatale. La survenue d'atélectasies est fréquente dans les atteintes respiratoires du jeune enfant, augmentant les zones perfusées non ventilées. L'enregistrement initial d'un tracé de référence d'une courbe pression-volume ou débit-volume permet le monitoring de leur survenue au cours de l'intervention. Des recrutements alvéolaires réguliers pourraient être recommandés. De plus, si la courbe de saturation de l'hémoglobine du nouveau né est décalée vers la gauche par rapport à celle de l'adulte, celle du nourrisson est décalée vers la droite, expliquant la survenue rapide d'une désaturation pour une faible chute de PaO<sub>2</sub>. Pour ces raisons, le respirateur en **pédiatrie doit permettre d'obtenir très rapidement l'adaptation à une nouvelle commande**, comme la ventilation avec une FiO<sub>2</sub> à 1, tout en évitant les débits de gaz frais trop élevés. De même, la possibilité d'ajuster précisément et rapidement les objectifs

de concentration en agents halogénés améliore l'ergonomie, diminue les manipulations du respirateur et réalise une anesthésie de meilleure qualité [24]. Parmi les différentes possibilités offertes aujourd'hui, l'anesthésie à objectif de concentration permet une adaptation rapide et contrôlée de la  $FiO_2$  et de la fraction télé-expiratoire des agents halogénés.

Lors de la ventilation d'un enfant avec un masque laryngé, l'éventualité d'une fuite est fréquente et justifie d'utiliser le mode pression contrôlé. Dans tous les cas, le niveau de pression est étroitement lié au volume courant ; en cas de malposition du masque, un découplage entre les volumes courants et la pression inspiratoire fait rechercher systématiquement des fuites gastriques [22]. Certains respirateurs quantifient systématiquement le niveau des fuites observées.

### **7.3 Les paramètres de la ventilation postopératoire**

A l'issu de l'intervention, l'aide inspiratoire permet la reprise rapide de la respiration de l'enfant. Contrairement à l'induction, le trigger est réglé à un niveau plus bas afin de détecter très précocement les mouvements respiratoires de l'enfant.

La ventilation non invasive en postopératoire est à favoriser au détriment de la ventilation contrôlée. En revanche, elle est souvent mal supportée par l'enfant.

## **8 Particularités en réanimation**

### **8.1 La ventilation mécanique du BPCO**

La ventilation devra être effectuée à petit volume courant (6-8 ml/kg de poids idéal théorique), et surtout augmenter le temps expiratoire de façon à favoriser la vidange pulmonaire et éviter ainsi le "trapping gazeux".

Peu de données sont disponibles concernant l'utilisation d'une pression expiratoire positive en fin d'expiration (PEP)

### **8.2 La ventilation du SDRA**

Le SDRA associe :

- une insuffisance respiratoire aigue
- des opacités parenchymateuses bilatérales compatibles avec un œdème pulmonaire
- l'absence d'évidence clinique d'hypertension auriculaire gauche ou d'une PAPO > 18 mmHg qui reflète une défaillance cardiaque gauche
- un rapport  $PaO_2 / FiO_2 \leq 200$  quelque soit le niveau de PEEP.

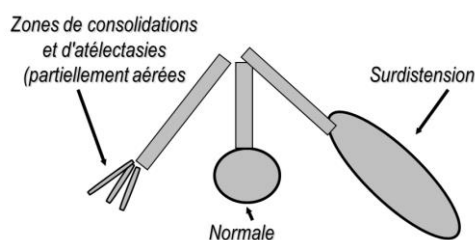
Dans la phase précoce du SDRA, on observe un œdème pulmonaire lésionnel par destruction de la membrane alvéolo-capillaire qui est consécutive à une agression pulmonaire soit directe (ex : pneumonie) soit indirecte (ex : péritonite). L'afflux de cellules et de protéines est à l'origine de la détresse respiratoire initiale. Il faut différencier l'œdème lésionnel qui caractérise le SDRA de l'œdème hydrostatique rencontré au cours d'un OAP cardiogénique. Le mécanisme n'est pas une destruction de la membrane alvéolo-capillaire mais l'augmentation de la pression hydrostatique par diminution des capacités de la pompe cardiaque. Dans un second temps on observe un afflux de fibroblastes qui caractérise la phase de fibroprolifération dont l'évolution naturelle se fait vers la fibrose pulmonaire.

### 8.2.1 Impact de la physiopathologie pulmonaire au cours du SDRA sur la ventilation mécanique : la courbe pression-volume et l'inflammation

Au cours du SDRA, le poumon perd une partie de ses propriétés élastiques du fait du comblement alvéolaire [25]. Cette diminution de compliance a un impact sur les pressions mesurées sur le ventilateur ( $P_{max}$  et  $P_{plateau}$ ) (Figure 6) ; pour un même volume courant ( $V_t$ ) insufflé, les pressions mesurées seront plus importantes. Les propriétés élastiques du système respiratoire et la réponse à la PEEP peuvent être approchées par la réalisation (automatisée sur certains ventilateurs) au lit du malade de courbes pression / volume.

Une des caractéristiques du SDRA est l'hétérogénéité du parenchyme pulmonaire. Il coexiste à un même moment des zones pulmonaires pathologiques, comblées d'œdème et de cellules (le plus souvent les zones postérieures, dorsales), des zones dont la ventilation est dépendante des pressions d'insufflation du ventilateur et des zones normalement aérées (figure 25).

Figure 25



L'hétérogénéité rend particulièrement difficile les réglages de la ventilation mécanique car si les zones collabées vont « s'ouvrir » avec l'augmentation du volume courant (ou de la pression inspiratoire) les zones saines vont être surdistendues. La surdistension des zones saines est pourtant à éviter car l'étirement des parois alvéolaires est à l'origine de lésions pulmonaires induites par la ventilation mécanique [26]. La ventilation actuelle du SDRA, dite « protectrice » vise à limiter les volumes et les pressions d'insufflation. Inversement, la diminution trop importante de la pression de plateau est à l'origine d'un dérecrutement et d'un risque accru d'atélectasie.

### 8.2.2 Quels volumes et quelles pressions ?

L'utilisation de  $V_t > 10 \text{ ml.kg}^{-1}$  est responsable d'une surmortalité importante. Il n'existe pas d'argument dans la littérature permettant de trancher entre 6 et  $10 \text{ ml.kg}^{-1}$ . Le choix du  $V_t$  dans cette « fourchette » doit être adapté à chaque patient en fonction de l'atteinte pulmonaire et de la pression de plateau.

La diminution de la compliance lors du SDRA entraîne une augmentation des pressions intrathoraciques visualisées par une augmentation de la pression de crête ( $P_{max}$ ) (figure 2). C'est la pression de plateau obtenue en réalisant une pause en fin d'inspiration sur le ventilateur qui reflète les pressions alvéolaires. Pour diminuer le risque de lésions induites par la ventilation mécanique, elle doit être strictement inférieure à  $32 \text{ cmH}_2\text{O}$  [27].



L'augmentation de la fréquence respiratoire pour augmenter la ventilation minute et donc permettre une épuration du CO<sub>2</sub> peut être à l'origine d'une PEP intrinsèque ou auto-PEP. La mesure de la PEP totale, obtenue par une pause en fin d'expiration est la somme de la PEP externe (réglée) et de la PEP interne (liée au patient). C'est la PEP totale et non la PEP externe qui est la PEP réellement appliquée au poumon.

### 8.2.3 Quel niveau de PEP ?

Le but de la PEP est de

- Lutter contre la diminution de CRF
- Limiter l'hypoxie
- Limiter les lésions « d'Ouverture-Fermeture » au niveau alvéolaire qui majorent le « biotrauma ».

En fonction du type d'atteinte pulmonaire, le niveau de PEP ad hoc n'est pas le même. Il a été proposé d'utiliser des PEP élevées chez les patients présentant une atteinte pulmonaire diffuse et des niveaux plus faibles lorsque la perte d'aération est principalement localisée au niveau des zones postérieures et basales avec de larges plages de parenchyme pulmonaire sain par ailleurs. S'appuyant sur des données physiologiques et scannographiques [28] plusieurs équipes recommandent :

- des niveaux de PEP plutôt élevés (12-20 cmH<sub>2</sub>O) à la phase initiale des SDRA de type diffus ou mixtes
- des niveaux plutôt bas pour les SDRA lobaires (<10 cmH<sub>2</sub>O) avec un V<sub>t</sub> de 6 ml.kg<sup>-1</sup> et une pression de plateau < 25 cm H<sub>2</sub>O.

Néanmoins, la limite entre recrutement et surdistension est difficile à délimiter.

### 8.2.4 Quelle manœuvre de recrutement ?

L'utilisation de manœuvres de recrutement alvéolaire améliore l'oxygénation, diminue de l'œdème pulmonaire et augmente le volume recruté. Une CPAP avec 40 à 50 cmH<sub>2</sub>O de pression pendant 40 secondes semblait la méthode de référence, mais de nouvelles études proposent des manœuvres plus prolongées avec des résultats très positifs. La réponse aux manœuvres de recrutement dépend également des modifications morphologiques du poumon [29]. Si le type de patient pouvant bénéficier de MRA commence à être bien précisé [30], trop d'incertitudes persistent et des études contrôlées devront prouver l'intérêt suscité par les études préliminaires et proposer des schémas d'utilisation.

La prévention du dérecrutement lors des aspirations trachéales contribue à une meilleure prise en charge de ces patients.

### 8.2.5 Hypercapnie permissive

Pour limiter les pressions pulmonaires et éviter la surdistension, l'hypercapnie dite « permissive » permet de réduire le V<sub>t</sub>. L'acidose hypercapnique entraîne une vasoconstriction rénale, une défaillance hémodynamique et augmente le risque de troubles du rythme. La limite respectée est une acidose avec un pH > 7,20 [27]. Pour limiter l'hypercapnie, la réduction de l'espace mort instrumental est recommandée : ablation des raccords annelés ou le remplacement des échangeurs de chaleur et d'humidité par des humidificateurs chauffants [27].

### 8.3 La VNI

L'efficacité de la VNI a été démontrée dans la prise en charge des décompensations aiguës d'insuffisances respiratoires chroniques, puis son utilisation s'est étendue à d'autres types d'insuffisances respiratoires aiguës [31] de causes variables, parmi lesquelles l'IRA des œdèmes aigus du poumon (OAP) cardiogéniques, après transplantation d'organe solide (poumons, foie, rein), et chez des patients immunodéprimés d'hématologie. Cet élargissement des indications de la VNI s'est accompagné d'une amélioration et d'un développement des techniques utilisées au cours de la ventilation apportés aussi bien par les cliniciens que par les industriels. Son utilisation pour prévenir la survenue d'une IRA dans le but d'éviter la réintubation (traitement préventif) ou traiter une IRA qui s'est développée en post-opératoire (traitement curatif) a été souvent rapportée.

#### 8.3.1 Réglages, modalités ventilatoires et pièges à connaître

En théorie, la VNI est délivrée selon les mêmes modalités que celles utilisées chez les patients intubés ou trachéotomisés. Une des caractéristiques principales de la VNI est qu'il s'agit d'une "ventilation à fuites". En situation aiguë, la VNI est habituellement utilisée dans des modes partiels (ou assistés), où chaque cycle respiratoire est initié par le patient et délivré par le ventilateur. Rarement, un mode de ventilation totalement contrôlé est utilisé. La VNI sera utilisée soit dans un mode volumétrique (en débit : Volume Assisté Contrôlé...), soit dans un mode en pression (barométrique : Aide Inspiratoire...)[14,32].

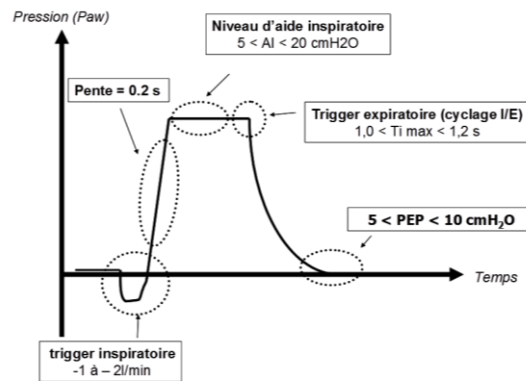
**Dans un mode volumétrique**, le volume courant est délivré en réglant le débit (constant) et le temps inspiratoire. Certaines machines d'ancienne génération, n'ont pas assez de puissance pour vaincre la charge d'aval et ne peuvent pas atteindre le débit. Sur les ventilateurs modernes, le réglage du débit de pointe est accessible et peut être maintenu quelque soit les conditions. En cas de fuites, le volume courant délivré est diminué.

**Pour le mode en pression**, le ventilateur maintient la pression prédéterminée constante après que le patient ait initié le cycle et s'arrête, soit lorsque le débit chute à un seuil donné (aide inspiratoire), supposé indiquer la fin de l'effort inspiratoire du patient, soit à la fin du temps inspiratoire préréglé (pression assistée contrôlée). Dans tous les cas, une augmentation brutale de pression arrête l'assistance. L'utilisation d'un mode en pression en VNI présente plusieurs avantages:

- 1) en cas de fuites, la pression consigne est maintenue et permet de délivrer un  $V_t$  approprié
- 2) la pression d'insufflation étant limitée, les fuites et leurs effets indésirables sont réduits
- 3) la synchronisation patient-machine est habituellement bonne,
- 4) l'association d'une PEP à l'aide inspiratoire a montré son efficacité pour réduire l'effort et le travail respiratoire,
- 5) le débit de pointe est le reflet de la puissance de la machine (qui peut atteindre plus de 150 l/min) ; il répond à des demandes inspiratoires élevées des patients en détresse les plus graves (contrairement à un mode en débit où le débit est limité).

**Les réglages** de l'aide inspiratoire (ou PSV des anglo-saxons : Pressure Support Ventilation) est de débiter à un faible niveau d'assistance (3-5 cmH<sub>2</sub>O) pour une meilleure tolérance du patient ; ce niveau est progressivement augmenté jusqu'à 10-15 cmH<sub>2</sub>O afin d'obtenir un volume courant expiré entre 7 et 10 ml/kg avec une fréquence respiratoire entre 20 et 30 c/min et le maintien du confort du patient (figure 26).

Figure 26 Réglages du ventilateur en VNI en mode aide inspiratoire (AI)



Pour limiter les risques d'insufflation gastrique, il ne faut jamais administrer l'aide à un niveau  $> 25 \text{ cm H}_2\text{O}$ .

En VNI, il y a intérêt à obtenir un système de déclenchement le plus sensible possible. La présence de fuites peut entraîner un auto-déclenchement, qu'il faut évoquer devant une augmentation inopinée de la fréquence respiratoire. La présence de fuites lors de l'utilisation d'un système en pression, entraîne l'impossibilité ou la difficulté pour la machine de maintenir le niveau de PEP externe souhaité, avec une chute de la pression dans le circuit qui est faussement interprétée comme un appel inspiratoire du patient, entraînant des cycles d'auto-déclenchements. Avec un système en débit, l'auto-déclenchement existe mais la PEP externe peut être maintenue. La baisse du seuil de sensibilité du système de déclenchement permet le maintien du niveau de PEP externe et élimine l'auto-déclenchement.

La difficulté à déclencher un cycle peut être liée à un niveau de PEPi important et/ou à un réglage inadéquat de la ventilation : pressions d'insufflations trop élevées, à l'origine de volumes insufflés excessifs ne permettant pas une expiration complète.

Une fuite peut également entraîner une absence de cyclage de fin d'inspiration et une désynchronisation majeure patient-machine. Il est donc très important d'essayer de minimiser ces fuites. Lorsque le seuil de déclenchement expiratoire ne peut être atteint, plusieurs solutions sont possibles :

- Augmenter le seuil de déclenchement expiratoire (trigger expiratoire à régler entre 40 et 50% au lieu de la valeur fixe souvent utilisée de 25% du débit de pointe),
- Fixer une limite de temps inspiratoire maximum ( $T_{i \text{ max}}$ ) courte de l'ordre de 1 à 1,5 seconde (réglages de plus en plus disponibles sur les machines modernes),
- voire passer dans un mode assisté en pression contrôlée, qui permet d'emblée de régler le temps inspiratoire.

Il est fondamental de bien expliquer la méthode au patient, de le rassurer en lui présentant l'ensemble du matériel nécessaire à la pratique de la VNI (masque, respirateur, monitoring...) et de lui annoncer qu'il peut y avoir initialement des alarmes désagréables qui disparaîtront dès que les réglages adaptés seront obtenus. Lors des premières minutes de VNI, le masque facial doit initialement être appliqué à la main et tenu. Le masque est ensuite fixé avec des sangles autour de la tête, dès l'obtention des bons réglages. Il est également important

d'informer le patient qu'il pourra à tout moment suspendre la séance si besoin. La durée de la séance dépend de la tolérance du patient et de l'amélioration de l'état respiratoire. Habituellement en situation préventive, on appliquera des séances courtes de 15 à 30 min rapprochées dans le temps (toutes les 2 à 4h) alors qu'en VNI curative, on appliquera des séances longues plus particulièrement à la phase initiale très aiguë (1 à 2 h en continu pour 6 à 12h par jour).

### **8.3.2 Les respirateurs de VNI**

A la phase aiguë, la plupart des équipes utilisent les respirateurs lourds de réanimation qui possèdent d'excellentes performances pneumatiques ainsi qu'une bonne qualité de l'aide inspiratoire et des triggers. Les respirateurs spécifiquement dédiés à la VNI en particulier pour les patients appareillés de façon chronique à domicile possèdent pour la plupart de bonnes performances. Les dernières générations de ventilateurs lourds de réanimation proposent de plus en plus un module « utilisation en VNI » qui permet de calculer et d'afficher les fuites au cours de la VNI et surtout de délivrer une compensation cycle à cycle des fuites. De plus, les gammes d'alarmes sont plus adaptées à la ventilation à fuite que représente la VNI. Enfin, il propose pour la plupart un réglage du trigger expiratoire.

### **8.3.3 Masques faciaux**

La qualité de l'interface entre le patient et le ventilateur est un élément clé du succès de la VNI. Il s'agit le plus souvent d'un masque nasal ou naso-buccal. Il existe de nombreux masques, de forme, de taille et de matière différente à usage unique ou réutilisables et certaines équipes réalisent des masques moulés sur mesure sur le patient.

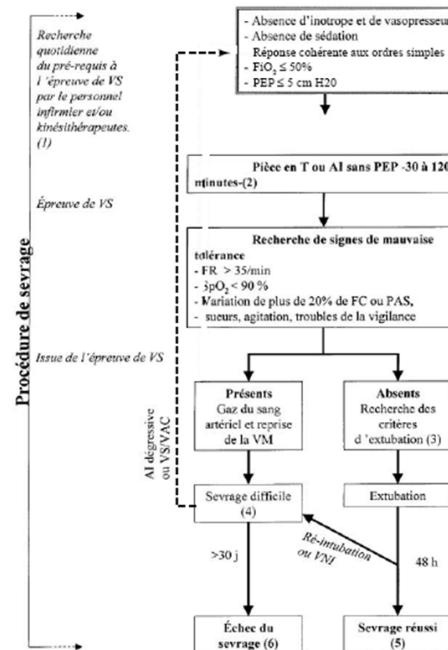
Bien que la VNI soit une "ventilation à fuite", il faut les minimiser le plus possible: en effet, la tolérance de la ventilation est inversement proportionnelle à l'intensité des fuites, qui représente un des principaux facteurs d'échec de la technique. Il est donc souhaitable, afin d'assurer une meilleure étanchéité de disposer de plusieurs types (facial et/ou nasal) et tailles de masque, au mieux de faible poids. Il faut minimiser les lésions aux points de pression en utilisant des pansements colloïdes pour des séances répétées et de durée prolongée. L'application discontinue de la VNI est la méthode la plus souvent utilisée.

## ***8.4 Les principes de sevrage de la ventilation mécanique en réanimation***

Le sevrage comporte trois étapes :

- 1) le pré-requis à l'épreuve de ventilation spontanée (VS),
- 2) l'épreuve de VS,
- 3) la période de 48 h au terme de laquelle le sevrage est considéré comme réussi ou non (figure 27).

## Figure 27 Algorithme de sevrage



Le sevrage de la ventilation s'achève habituellement avec l'extubation. Il faut distinguer l'extubation du sevrage, car un patient peut être extubé et nécessiter au décours de son extubation une assistance ventilatoire de plusieurs jours en utilisant VNI. Ces termes sont souvent équivalents car la définition de leur échec (échec de l'extubation et échec du sevrage) est la même à savoir le recours à la réintubation et la mise sous ventilation mécanique dans les 48h suivant l'extubation.

### 8.4.1 Des nouveaux modes ventilatoires " intelligents " pour le sevrage ?

L'aide inspiratoire reste aujourd'hui le mode ventilatoire le plus simple et le plus adapté au sevrage ventilatoire. Les industriels ont développé des nouvelles modalités dans le but d'améliorer les interactions patient-machine et de raccourcir la durée du sevrage ventilatoire. Le développement de modes ventilatoires, évolués, ou intelligents utilisent une boucle d'asservissement simple (un paramètre régulé) ou complexe (plusieurs paramètres régulés). Leurs objectifs principaux sont de bénéficier " de façon combinée " des avantages des modes en pression et des modes en volume en assurant le meilleur confort pour le patient. La finalité étant de se rapprocher le plus possible de la respiration physiologique.

Contrairement aux modes utilisant des boucles de régulation agissant soit à l'intérieur du cycle (premier degré de régulation), soit cycle après cycle (deuxième degré de régulation), les modes fondés sur l'intelligence artificielle utilisent des outils complexes permettent d'incorporer un raisonnement médical et une stratégie de ventilation faisant intervenir leur régulation sur plusieurs paramètres sur plusieurs cycles (troisième degré de régulation).

Des systèmes experts [32] pilotent l'aide inspiratoire sur la base de limites prédéterminées de fréquence respiratoire ( $12 < FR < 28$  c/min) et d'un volume courant minimal ( $VT > 300$  ml) et

d'une pression partielle télé expiratoire en CO<sub>2</sub> maximale (EtCO<sub>2</sub> < 55 mmHg ou EtCO<sub>2</sub> < 65 mmHg si patient BPCO). Le principe est de laisser le patient respirer librement dans une zone de confort et de n'intervenir que lorsque les paramètres sortent de cette zone dite de "confort". Une stratégie automatique de sevrage diminue automatiquement le niveau d'aide inspiratoire. Récemment, dans une étude multicentrique randomisée le système expert a permis de diminuer la durée du sevrage et la durée de ventilation.

#### 8.4.2 Extubation en réanimation

Les principales causes de l'échec de l'extubation sont présentées dans le tableau 2.

Tableau 2

##### PRINCIPALES CAUSES DES ECHECS DE L'EXTUBATION EN REANIMATION ADULTE

1. Obstruction des voies aériennes supérieures (œdème, inflammation, granulome...)
2. Sécrétions abondantes/ encombrement bronchique/ troubles de déglutition/ toux inefficace
3. Troubles de conscience/ encéphalopathie
4. Dysfonction cardiaque (ischémie, œdème pulmonaire) et/ou surcharge hydrique
5. Atélectasie
6. Hypoxémie
7. Paralysie ou dysfonction diaphragmatique
8. Autres : sepsis, reprise chirurgicale, hémorragie digestive...

L'incidence varie de 2 à 25% selon la pathologie sous jacente. Plusieurs facteurs sont associés à une augmentation du risque d'échec d'extubation (tableau 3).

Tableau 3

##### FACTEURS ASSOCIES A UN RISQUE D'ECHEC D'EXTUBATION EN REANIMATION

1. Age élevé (>70 ans)
2. Durée de la ventilation avant l'extubation
3. Anémie (hémoglobininémie < 10 g/dL, hémocrite < 30%)
4. Sévérité de la pathologie au moment de l'extubation
5. Utilisation d'une sédation continue intraveineuse
6. Nécessité d'un transport en dehors de la réanimation
7. Extubation non programmée (auto-extubation ou extubation accidentelle)
8. Nombre d'infirmières insuffisant
9. Bilan hydrique positif avec surcharge volémique

Avant d'envisager une extubation, il faut évaluer

- la capacité du patient à tousser et à évacuer ses sécrétions. La mesure de la pression expiratoire maximale (PE<sub>max</sub>) à l'aide d'une valve unidirectionnelle contre occlusion pendant 25-30 s, permet d'évaluer la fonction des muscles expiratoires et donc la capacité du patient à tousser efficacement



- Le risque d'obstruction des voies aériennes supérieures par œdème glottique. Il est évalué par la réalisation d'un test de fuite : Une première mesure du volume courant inspiré est réalisée ballonnet gonflé. Puis, le ballonnet est dégonflé et la mesure du volume expiré obtenue en moyennant 6 cycles consécutifs en régime ventilatoire calme et stable. La fuite est la différence entre le volume courant inspiré ballonnet gonflé et le volume courant expiré ballonnet dégonflé alors que les patients étaient ventilés en mode volume assisté contrôlé (VAC), avec une consigne de volume de 6-10 ml/kg. Le test de fuite est positif pour une valeur de fuites inférieure à 110 ml. Une autre manière de quantifier la fuite est de l'exprimer en valeur relative, ce qui permet de tenir compte de la valeur du volume courant. Le test de fuite doit être recommandé chez les patients à risque défini selon les critères résumés dans le tableau 2.
- L'extubation est réalisée en présence d'un chirurgien ORL dans les cas à très haut risque, chez qui la réalisation d'une mini-trachéotomie d'urgence peut être très difficile. Une extubation sur guide échangeur peut être envisagée bien qu'il existe encore peu de donnée dans la littérature chez des patients de réanimation.

### **8.5 Humidification et nébulisation**

Une humidification correcte et suffisante des gaz administrés au patient doit être recherchée cliniquement aussi bien pour la ventilation mécanique sur sonde endotrachéale (changement de résistance des voies aériennes, atélectasies) que pour la ventilation non invasive, et même pour l'oxygénothérapie à haut débit en dehors de la ventilation mécanique (sécheresse muqueuse, inconfort et douleur).

L'humidificateur chauffant ("cocotte") est le dispositif permettant la meilleure humidification des gaz inspirés quelque soit la situation clinique.

Il n'y a aucun risque démontré de pneumopathie nosocomiale associée à l'utilisation d'une cocotte avec les dispositifs les plus récents.

Les échangeurs de chaleur et d'humidité ("filtres") sont utilisés prioritairement pour leur fonction d'humidification et non pour leur fonction filtre anti-microbien. Contrairement aux "cocottes", la capacité d'humidification des "filtres" est variable selon les modèles et doit être mesurée de manière indépendante. S'il n'existe pas de preuve scientifique formelle sur laquelle s'appuyer pour recommander le choix de l'un ou l'autre des 2 dispositifs pour une utilisation routinière, les "filtres" sont plus simples à utiliser et moins coûteux pour une ventilation de courte durée, comparés aux "cocottes".

Les situations cliniques où les "filtres" peuvent être insuffisants doivent être bien identifiées et justifient la disponibilité d'une ou plusieurs "cocottes" dans les unités de réanimation.

## **9 Particularités en médecine d'urgence (préhospitalière - intrahospitalière)**

### **9.1 Philosophie actuelle de la ventilation en médecine pré-hospitalière**

La défaillance respiratoire et le recours à la ventilation artificielle en médecine d'urgence se fait dans deux grandes situations cliniques :

- Soit le patient présente une affection où le maintien d'une ventilation spontanée s'avère impossible par défaut de commande (Traumatisme crânien grave, Accident vasculaire cérébral), par défaut d'effecteur neuromusculaire (Traumatisme cervical, intoxication médicamenteuse) ou par la profondeur des anomalies de l'hématose (hypoxémie profonde). La ventilation artificielle (mode contrôlé ou assisté contrôlé) décharge complètement le patient de la fonction respiratoire ; la qualité des réglages et des modalités de surveillance de la ventilation artificielle sont les gages de qualité de la ventilation. Dans ce contexte, les progrès dans la visualisation des régimes de pression et de débit sont susceptibles d'améliorer la qualité du monitoring respiratoire. Une des grandes indications de la ventilation en situation d'urgence est la protection du parenchyme pulmonaire du risque d'inhalation (coma de quelque origine). Dans ce cas la fonction ventilatoire est préservée et la ventilation mécanique n'est instaurée que parce que le patient nécessite une intubation de « protection ».
- Soit le patient présente une pathologie dont la nature ou le retentissement sur l'hématose autorise la possibilité d'un maintien de la ventilation spontanée sous la condition d'un support mécanique suffisant. Cet aspect a beaucoup bénéficié des données concernant la Ventilation Non Invasive, ses indications, ses limites et ses modalités.

## **9.2 Attentes des praticiens dans le cadre de l'urgence**

La réalisation d'une ventilation en situation d'urgence requiert souvent la mise en place d'un support ventilatoire dans des conditions humaines et techniques complexes. La réflexion se nourrit de l'expérience des praticiens. Dans une enquête réalisée auprès d'une centaine de praticiens de SAU et de SAMU, l'amélioration du monitoring représente la principale voie d'amélioration lors de la ventilation mécanique (35% des interrogés) notamment par la meilleure visualisation des courbes de spirométrie qui reste le principal manque actuel (pour 55%) loin devant de plus nombreux modes de ventilation (14%). L'intégration du monitoring de la capnographie au sein du monitoring du ventilateur serait le premier élément à associer à la spirométrie pour 70 % des praticiens. La vision de la ventilation non invasive est plutôt positive pour 95% des praticiens avec un manque de formation sur l'utilisation de cette technique rapporté par 87% des interrogés. Enfin, les problèmes d'adaptation de la machine au patient sont les limitations les plus fréquemment rapportées dans l'exercice quotidien.

## **9.3 Les réglages du ventilateur en ventilation contrôlée sur intubation :**

### **9.3.1 Réglages Standard et Monitoring.**

L'adoption de la ventilation contrôlée (VC) permet une suppléance complète de la fonction respiratoire sans plus de participation du patient. La totalité des paramètres de la ventilation doivent être prescrits par le médecin : le volume courant (VT), la fréquence respiratoire (FR), le débit inspiratoire (D) ou rapport I/E (selon les appareils), la FIO<sub>2</sub> et la pression expiratoire positive (PEP). Le contexte particulier de l'urgence fait que les réglages

initiaux sont relativement standards puis adaptés en fonction de la pathologie et des données spirométriques recueillies.

#### 9.3.1.1 Les réglages standards proposés pourront être les suivants :

- Un VT initial de 8 ml/kg.
- Une fréquence respiratoire entre 12 et 20 en fonction de la pathologie respiratoire rencontrée (cf infra).
- Un rapport I/E de 1/2.
- Le réglage d'une PEP est très prudent en médecine d'urgence et à réserver à certaines pathologies (SDRA, OAP).
- Une FiO<sub>2</sub> réglée à 100% au départ puis rapidement ajustée afin de maintenir une SpO<sub>2</sub> > 95%.

#### 9.3.1.2 Mode de ventilation

Il n'existe pas à ce jour de données scientifiques suffisantes pour faire recommander un mode ventilatoire autre que la ventilation contrôlée ou assistée contrôlée. Parmi ces modes dits contrôlés, la ventilation en pression contrôlée n'a pas prouvé de supériorité par rapport au mode volume contrôlé. D'autres modes plus adaptatifs ou partiels sont ou vont être proposés sur des ventilateurs d'urgence. Outre le risque de complexification à outrance que cette multiplicité d'offre risque de créer, il n'existe pas de données permettant de les recommander en médecine d'urgence. Inversement, plusieurs des nouveaux ventilateurs d'urgence présentent (ou vont présenter) des modes d'accès rapide pour une prise en charge immédiate type « arrêt cardiaque » réduisant ainsi le temps de réglage de l'appareil souvent consommateur de temps. Quelques caractéristiques de ventilateurs d'urgence récents sont présentées au sein du **Tableau 4** (données non exhaustives).

**Tableau 4. Ventilateur de transport. Pour améliorer leur autonomie, ces machines sont construites autour d'une turbine permettant de générer un débit (sauf pour l'OXYLOG 3000 plus).**

Type de Ventilateur	Modes proposés	Touche ACR *	Ecran de monitoring	Capnographie intégrée
ELISEE 350	VAC, VPC, VNI, VSAI, CPAP	Non	Oui	Non
HAMILTON C1	VAC, VPC, VSAI, VNI, ASV	Non	Oui	Oui
IVENT 201	VAC, VPC, VSAI, BIPAP, CPAP	Oui	Oui	Non
MEDUMAT	VAC, VPC, VSAI, VNI, Bilevel,	Oui	Oui	Oui
OXYLOG 3000plus	VCRP	Non	Oui	Non
OSIRIS 3	VAC, VPC, VSAI, BIPAP, VNI, VACI VAC, VPC, VSAI	Non	Oui	Non

\* ACR : Arrêt Cardio Respiratoire ; VCRP : Ventilation contrôlée à Régulation de Pression ; ASV : Ventilation à adaptation de support.

### 9.3.1.3 Le monitoring lors de la ventilation mécanique.

Il est important de fournir au praticien un maximum d'éléments susceptibles d'optimiser sa prise en charge. En cela, la mise à disposition de différents éléments de spirométrie s'avère essentiel :

- La pression de crête ou pression maximale, générée par la VC, reflète le plus souvent la résistance des grosses bronches et du circuit (le tube trachéal et le ventilateur). Son monitoring permet d'orienter vers une obstruction ou une majoration des résistances (sécrétion, plicature, lutte du patient...) lorsque la pression plateau reste basse. Le monitoring d'une pression plateau (pression de plateau télé-inspiratoire) donne un reflet de la pression intra-alvéolaire qui traduit le mieux le risque traumatique induit par la ventilation. Cette pression plateau s'élève lors de l'effondrement de la compliance pulmonaire. Dans ce cas, la pression de crête s'élève également mais de façon contemporaine. Lors d'une défaillance respiratoire telles que le SDRA, il est recommandé de ne pas dépasser 30 cmH<sub>2</sub>O de pression plateau.
- La limitation des difficultés de ventilation artificielle en milieu extra hospitalier ou hospitalier précoce passe par
  - une bonne adaptation des paramètres ventilatoires (Vt, FR, FIO<sub>2</sub>, débit inspiratoire ou rapport I/E),
  - la détection clinique de complications (bronchospasme, pneumothorax)
  - une sédation adaptée à la pathologie et à l'état hémodynamique du patient.

La détection et la correction de toutes ces dysfonctions sont améliorées d'une part par la meilleure connaissance de la physiopathologie respiratoire, par les caractéristiques des nouveaux ventilateurs proposant des réglages plus fins et plus nombreux et enfin par une meilleure visualisation des paramètres surveillés (cf chapitre monitoring). La disponibilité prochaine de la capnigraphie directement par le respirateur de transport représentera un des progrès significatif dans la prise en charge des patients.

### **9.3.2 BPCO en décompensation, Etat de mal asthmatique**

L'instauration d'une ventilation mécanique chez un patient présentant une exacerbation d'une BPCO expose au risque d'hyperinflation dynamique. Si en situation standard, le rapport I/E est réglé à 1/2, l'augmentation du temps expiratoire (I/E 1/3 à 1/5) permet l'obtention d'une vidange pulmonaire plus complète. La fréquence respiratoire est souvent réduite avec une fréquence initiale proposée à 12/minute. Durant cette phase initiale où les caractéristiques mécaniques des poumons sont difficilement appréciables et le risque élevé de surdistention, il convient de ne pas régler de PEP. L'évaluation de la vidange pulmonaire pourra se faire grâce au monitoring de la courbe de débit expiratoire. La ventilation d'une décompensation asthmatique expose aux mêmes risques et répond donc aux mêmes propositions initiales.

### **9.3.3 SDRA**

Les caractéristiques mécaniques du poumon lors d'une atteinte parenchymateuse diffuse s'opposent presque point par point aux caractéristiques précédentes. Ainsi la faible compliance du parenchyme impose le recours à des volumes courant de 6 ml/kg de poids idéal

associés à une PEP permettant la préservation du recrutement alvéolaire (valeur initiale proposée de 5 cmH<sub>2</sub>O). Afin d'assurer une ventilation satisfaisante (bien que l'hypercapnie soit ici souvent tolérée), la fréquence respiratoire peut être augmentée, la vidange pulmonaire étant le plus souvent rapide (valeur proposée de 18 à 20/minute). Le SDRA étant caractérisé par la profondeur de l'hypoxémie, une FiO<sub>2</sub> initiale de 100% est recommandée. Le monitoring de la spirométrie avec le maintien d'une pression plateau en dessous de 30 cmH<sub>2</sub>O prend ici toute sa valeur.

### 9.3.4 Œdème pulmonaire

Lors d'un œdème pulmonaire cardiogénique, la nécessité d'une ventilation mécanique est liée à l'importance de l'inondation alvéolaire. La correction de l'hypoxémie passe prioritairement par le maintien du recrutement alvéolaire grâce à l'adjonction d'une PEP souvent élevée (proposée initialement à 6 cmH<sub>2</sub>O puis augmentée par pallier de 2 cmH<sub>2</sub>O). La FIO<sub>2</sub> est réglée de manière à obtenir une SpO<sub>2</sub> supérieure à 95%.

## 9.4 La ventilation non invasive (VNI)

Contrairement à la ventilation contrôlée, la ventilation non invasive (VNI) permet d'adapter le support ventilatoire au patient et non l'inverse. L'intérêt est de préserver la fonction respiratoire, de la supporter sans la remplacer.

### 9.4.1 Techniques de VNI

La définition de VNI regroupe deux modes :

- La CPAP pour continuous positive airway pressure (= VS-PEP) : maintien d'une pression positive tout au long du cycle respiratoire
- La BiPAP® pour bilevel positive airway pressure (= VS-AI-PEP) : association d'une pression expiratoire positive (PEP) et d'une aide inspiratoire (AI).

#### 9.4.1.1 Limitations actuelles de l'application de la VNI en conditions d'urgence

Une des principales limitations est l'indication d'une intubation orotrachéale en urgence

- Arrêt cardiorespiratoire,
- Epuisement respiratoire avec bradypnée,
- Dysfonction d'organe autre que respiratoire notamment une insuffisance cardiaque ou une détresse neurologique,
- Encombrement trachéobronchique majeur,
- Hypoxémie profonde. Une détresse respiratoire avec un rapport PaO<sub>2</sub> / FiO<sub>2</sub> < 200 représente une contre indication à priori de la VNI.

De façon pragmatique, l'indication ne doit pas être retenue en cas de pathologie respiratoire trop avancée ou de plus d'une défaillance (**Tableau 5**).

**Tableau 5 : Contre-indications de la VNI (d'après conférence de consensus 2006)**

- Environnement inadapté, expertise insuffisante de l'équipe.
- Patient non coopérant, agité, opposant à la technique
- Trouble de la conscience à l'exception du coma hypercapnique du BPCO.
- Epuisement respiratoire, vomissements incoercibles, hémorragie digestive haute.
- Traumatisme crânio-facial grave, pneumothorax non drainé, plaie thoracique soufflante.
- Obstruction des voies aériennes hautes (sauf laryngo-trachéomalacie et apnée du sommeil)
- Arrêt cardiorespiratoire récupéré, sepsis sévère, état de choc quelque soit l'origine.

Lors de conditions de transport complexe comme les transferts hélicoptérés avec une potentielle dégradation respiratoire, le choix de la VNI ou de l'intubation doit être évalué au préalable en raison du passage difficile de la VNI vers l'intubation avec ce type de vecteur.

Si le recours à la VNI s'est développé en structures d'urgence, sa mise en place expose à la nécessité d'une formation, à l'expertise des équipes ainsi qu'à la charge de travail qu'elle induit. La nécessité d'une collaboration entre experts de la VNI et praticiens de l'urgence est ici fondamentale afin de dépasser ce type de limitation.

L'acceptation du patient est une limitation fréquente (**Tableau 6**).

**Tableau 6 : Propositions pour l'utilisation de la VNI en structure d'urgence**

- Mise en place d'un monitoring minimum de la SpO<sub>2</sub>, de la tension artérielle, de l'ECG.
- Disponibilité d'une voie veineuse périphérique pour éventuelle indication de ventilation mécanique et donc de sédation.
- Position proclive du patient à + 30°, possibilité de plusieurs interfaces
- Présence du médecin à côté du patient en permanence surtout durant la mobilisation et le transport
- Réglages initiaux : FiO<sub>2</sub> à 100 % afin de réduire les conséquences anxiogène de l'hypoxémie, AI de 6 à 8 cmH<sub>2</sub>O au départ (valeurs inférieure non efficace, supérieures génératrice de fuite et de non tolérance), PEP (si indiquée) de 4 à 6 cmH<sub>2</sub>O au départ, trigger inspiratoire bas.
- Poursuivre la VNI en continu durant le transport en encourageant le patient (les périodes d'arrêt et de reprise sont les plus problématiques).

Lors de l'institution de la VNI, le patient doit en effet accepter l'application d'une interface et d'un régime de pression alors même qu'il présente un état de détresse respiratoire générateur d'angoisse. L'importance de la formation du praticien, de sa présence permanente auprès du



patient durant la phase d'installation de la VNI, le bon choix de l'interface et l'information du patient sont des éléments fondamentaux dans la réussite de la VNI. L'augmentation des performances des respirateurs d'urgence va sans doute participer à l'amélioration de ces conditions. En effet, lors de l'application de l'interface, un des écueils rencontré est la présence de fuites qui expose à la non délivrance des pressions (donc de réduction d'efficacité thérapeutique), à l'inconfort du patient et à la perte de temps du clinicien. Le développement des modes « VNI » sur les nouveaux respirateurs d'urgence s'accompagne d'une compensation des fuites par augmentation du débit inspiratoire jusqu'au respect de la pressurisation consigne. De même, l'affinement des pas de réglage tant pour l'aide inspiratoire que pour la PEP, la plus grande sensibilité des triggers inspiratoires (en débit), la possibilité de réglage d'un trigger expiratoire désormais disponible sur certains ventilateurs dits de transport (ce réglage n'est possible que sur certains respirateurs de réanimation) sont autant de facteurs favorables à une meilleure adéquation patient – machine. L'amélioration des interfaces patient – machine est également susceptible d'améliorer cette acceptabilité de la VNI et ce même lors de pathologies où la VNI n'est pas recommandée de façon consensuelle. L'indication de la VNI est retenue après évaluation de la balance bénéfique / risque avant son instauration (**Tableau 7**). Un des intérêts du recours à la VNI en conditions d'urgences (et donc de son développement futur) est la précocité du support ventilatoire face à l'histoire naturelle de la pathologie.

**Tableau 7 : Eléments d'évaluation de l'indication et de la poursuite de la VNI en contexte d'urgence**

**Initiation de la VNI**

- Etiologie reconnue comme susceptible de bénéficier de la VNI
- Etiologie potentiellement réversible
- Mono défaillance respiratoire lors de l'institution
- Contexte extérieur favorable : connaissance du matériel, formation, expérience professionnel, capacité du patient à accepter le principe de la VNI

**Poursuite de la VNI**

- Possibilité de réévaluation clinique au sein du vecteur
- Evaluation de la tolérance, absence de seconde défaillance d'organe
- Surveillance répétée de la FR (< 35/min), de l'apparition de signes d'épuisement respiratoire (tirage, balancement thoraco-abdominal).
- Obtention d'un volume courant de 6 à 8 ml/kg
- Intérêt de l'évaluation gazométrique à 1 heure pour l'hypoxémie (rapport  $\text{PaO}_2 / \text{FiO}_2 > 200$  mmHg), à deux heures pour l'hypercapnie ( $\text{pH} > 7,25$ )

#### 9.4.1.2 Réglages initiaux.

Le premier facteur d'observance du patient dans des conditions de détresse est la facilité de déclenchement de l'aide (trigger inspiratoire). Les nouveaux ventilateurs offrant des « trigger » inspiratoires sensibles sont recommandés en veillant à ne pas favoriser l'auto-déclenchement par un réglage trop bas du seuil (seuil de déclenchement de 1 à 2 l/minute).

La limitation des fuites est assurée par l'adaptation de l'interface au visage du patient et l'usage de niveaux d'aide inspiratoire limités au départ (6 à 8 cmH<sub>2</sub>O) puis majorés progressivement avec un objectif de volume courant de 6 à 8 ml/kg sans jamais dépasser un niveau total de pressurisation (Aide Inspiratoire + PEP) de 20 cmH<sub>2</sub>O.

En phase expiratoire, les fuites peuvent entraîner une poursuite de la poussée de la machine et donc favoriser une asynchronie patient-machine. Le réglage du « trigger » expiratoire (seuil de vidange pulmonaire par arrêt de la pressurisation inspiratoire) peut être réglé sur certains respirateurs de transport, s'il n'est pas possible de réduire les fuites.

Le niveau de PEP dépend de la pathologie en appliquant le principe d'un réglage initial modéré puis plus ou moins rapidement augmenté :

- Niveau de 6 cmH<sub>2</sub>O pour un OAP rapidement majoré par pallier de 2 cmH<sub>2</sub>O jusqu'à 10-12 cmH<sub>2</sub>O.
- Niveau de 3 à 5 cmH<sub>2</sub>O pour un BPCO en décompensation le plus souvent non majoré en raison du risque d'hyperinflation dynamique.

La surveillance de la fréquence respiratoire et du Vt expiré sont des critères simples et facilement utilisables dans cette situation.

### **9.4.2 Indications BPCO et OAP**

En médecine d'urgence, la problématique de la VNI est la définition des indications. Le premier risque est l'échec présent dans 40 à 50% des cas, même pour des équipes spécialisées. Dans le contexte de l'urgence, les données scientifiques disponibles à ce jour permettent de proposer son utilisation lors de la survenue d'un œdème pulmonaire cardiogénique et d'une décompensation d'une bronchopathie chronique obstructive.

L'intérêt de la VNI lors de l'OAP est la possibilité d'une réversibilité rapide de l'insuffisance respiratoire et donc de la réduction de la durée de ventilation. Dans ce cadre, c'est « l'effet PEP » qui reste primordial renforçant l'intérêt du mode CPAP, VS-PEP souvent plus aisé à manier en médecine pré hospitalière.

Dans le cadre de la décompensation de BPCO, l'intérêt de la VNI est clairement démontré même lors de l'existence de troubles neurologiques associés. L'intérêt du mode VS-AI-PEP s'explique par l'aide inspiratoire nécessaire à la suppléance de la fatigue musculaire.

### 9.4.3 Autres Indications en Structures d'Urgence

D'autres pathologies sont susceptibles de bénéficier du recours à la VNI car les données de la dernière conférence de consensus nationale n'ont pas concerné le contexte pré hospitalier.

- L'intérêt de la VNI lors d'une décompensation asthmatique reste encore très débattu. Son utilisation pourrait néanmoins se concevoir pour des équipes entraînées en association à une aérosolothérapie.
- En traumatologie thoracique, l'utilisation de la VNI est associée à une amélioration de l'oxygénation et à une réduction du recours à l'intubation sans réduction de la mortalité. Ceci permet de confirmer l'innocuité de cette technique dans ce contexte et la possibilité de son utilisation de façon précoce. Cette avancée ne représente pas la preuve de son indication dans le contexte pré-hospitalier.
- Des données récentes suggèrent un intérêt de cette technique dans le cadre de la limitation de « l'escalade » thérapeutique chez des patients pour lesquels une limitation de l'investissement peut exister (l'équipe de Beaujon a rapporté son expérience en montrant l'intérêt de la VNI en médecine pré-hospitalière).

Certains travaux rapportent l'intérêt de cette technique dans l'optimisation de la pré-oxygénation des patients pour lesquels une intubation est d'ores et déjà requise et ce d'autant que leurs capacités respiratoires sont réduites. Ces données issues de la réanimation ne peuvent être directement transposables au milieu de l'urgence.

## 10 Légendes des figures et tableaux

Figure 1 Courbe des pressions, volume et des débits en mode volume contrôlé. Modification du I/E et introduction d'un temps de pause inspiratoire

Figure 2 Courbe des pressions et des débits en mode pression contrôlée.

Figure 3 Effet d'une modification de compliance et de résistance sur les pressions des voies aériennes et les débits en mode volume contrôlé.

Figure 4 Identification des différents repères sur la courbe de pression des voies aériennes

Figure 5 Calcul de la compliance statique et des résistances d'après la courbe de pression des voies aériennes

Figure 6 Mécanique respiratoire : analogie avec les systèmes physiques et électriques

Figure 7 Courbe de pression des voies aériennes et de débit montrant l'existence d'une hyperinflation dynamique

Figure 8 Courbe de compliance thoraco-pulmonaire. La pente de la courbe est plus basse à ses deux extrêmes.

Figure 9 Efficacité de la manœuvre de recrutement jugée sur la courbe de compliance

Figure 10 Variation de pression induite par une modification de compliance en ventilation à volume contrôlé.

Figure 11 Variations de  $V_t$  induites par des modifications de I/E en mode pression contrôlée.

Figure 12 Variations de  $V_t$  induites par des modifications de fréquence respiratoire en mode pression contrôlée.

Figure 13 Variations de  $V_t$  induites par une diminution de compliance et une augmentation de résistance en mode pression contrôlée. Des variations inverses du  $V_t$  sont observées en cas d'augmentation de compliance et de diminution de résistance.

Figure 14 Exemple d'un cycle déclenché en aide inspiratoire

Figure 15 Enregistrement des variations de pression et de débit des voies aériennes induites par l'éjection du volume systolique en dehors du thorax. Ceci peut simuler un appel inspiratoire du patient

Figure 16 Comparaison des boucles pression volume en mode volume contrôlé et pression contrôlée.

Figure 17 Enregistrement de quelques courbes caractéristiques du CO<sub>2</sub> expiré. Elles montrent une fuite sur la ligne de prélèvement, une désadaptation, l'absence de plateau signe d'une hétérogénéité de la distribution des VA/Q comme on l'observe chez le BPCO.

Figure 18 Enregistrement de courbes de capnographie en ventilation spontanée

Figure 19 Schéma d'une analyse de risque sur les pannes de respirateur en cours d'utilisation. Chaque élément justifie une démarche adaptée, rédigée et enseignée.

Figure 20 Exemple d'une analyse de risque concernant la panne de l'alimentation électrique d'un bloc opératoire

Figure 21 Schéma des constituants d'un circuit filtre

Figure 22 Schéma des respirateurs d'anesthésie selon leur principe de fonctionnement : soufflet ascendant et descendant.

Figure 23. Enregistrement de la courbe de pression dans les voies aériennes au cours d'une manœuvre de recrutement manuelle et automatique

Figure 24 Efficacité de la manœuvre de recrutement sur la compliance pulmonaire

Figure 25 Hétérogénéité pulmonaire au cours du SDRA. Au cours du SDRA coexistent des zones pulmonaires normalement ventilées, des zones condensées non ou peu ventilées et des zones surdistendues.

Figure 26 Réglages du ventilateur en VNI en mode aide inspiratoire (AI)

Figure 27 Déroulement de la procédure de sevrage. Elle comporte trois étapes : pré-requis à l'épreuve de ventilation spontanée (VS), l'épreuve de VS et l'issue de l'épreuve de VS (période de 48h au terme de laquelle le sevrage est considéré comme réussi ou non. *Selon la conférence de consensus Française sur le sevrage de la ventilation mécanique de 2001.*

## Références

1. Myles PS, Leslie K, Chan MT, Forbes A, Paech MJ, Peyton P et al . Avoidance of nitrous oxide for patients undergoing major surgery: a randomized controlled trial. *Anesthesiology* 2007 ; 107 : 221-31
2. Rothen HU, Neumann P, Berglund JE, Valtysson J, Magnusson A, Hedenstierna G. Dynamics of re-expansion of atelectasis during general anaesthesia. *Br.J.Anaesth.* 1999 ; 82 : 551-6
3. Whalen FX, Gajic O, Thompson GB, Kendrick ML, Que FL, Williams BA et al . The effects of the alveolar recruitment maneuver and positive end-expiratory pressure on arterial oxygenation during laparoscopic bariatric surgery. *Anesth.Analg.* 2006 ; 102 : 298-305
4. Drummond G. A response to 'autotriggering of pressure support ventilation during general anaesthesia'. *Anaesthesia* 2006 ; 61 : 310
5. Tanoubi I, Drolet P, Fortier LP, Donati F. [Inspiratory support versus spontaneous breathing during preoxygenation in healthy subjects. A randomized, double blind, cross-over trial]. *Ann Fr Anesth Reanim* 2010 ; 29 : 198-203
6. Bourgain JL, Billard V, Cros AM. Pressure support ventilation during fiberoptic intubation under propofol anaesthesia. *Br.J Anaesth.* 2007 ; 98 : 136-40
7. Banchereau F, Herve Y, Quinart A, Cros AM. Pressure support ventilation during inhalational induction with sevoflurane and remifentanil in adults. *Eur.J Anaesthesiol.* 2005 ; 22 : 826-30
8. Bourgain JL, Benayoun L, Baguenard P, Hare G, Puizillout JM, Billard V. [Pressure control in medical gas distribution systems]. *Ann.Fr.Anesth.Reanim.* 1997 ; 16 : 940-4
9. Suria S, Puizillout JM, Baguenard P, Bourgain JL. Défaut de réalisation de l'autotest de la machine d'anesthésie à l'ouverture de la salle. Etude de pratique. *Ann.Fr.Anesth.Reanim.* 2010 ; 29 : 874-7
10. Bourgain JL, Baguenard P, Puizillout JM, Damia E, Billard V. Contrôle qualité des appareils d'anesthésie après opération de maintenance. *Ann.Fr.Anesth.Reanim.* 1997 ; 16 : 14-8
11. Bourgain JL, Baguenard P, Puizillout JM, Ankri JC, Damia E, Billard V. Enquête sur les pannes des appareils d'anesthésie. *Ann.Fr.Anesth.Reanim.* 1999 ; 18 : 303-8
12. Devitt JH, Wenstone R, Noel AG, O'Donnell MP. The laryngeal mask airway and positive-pressure ventilation. *Anesthesiology* 1994 ; 80 : 550-5



13. Zhang L, Seet E, Mehta V, Subramanyam R, Ankichetty SP, Wong DT et al . Oropharyngeal leak pressure with the laryngeal mask airway Supreme at different intracuff pressures: a randomized controlled trial. *Can.J.Anaesth.* 2011 ; 58 : 624-9
14. Futier E, Constantin JM, Pelosi P, Chanques G, Massone A, Petit A et al . Noninvasive ventilation and alveolar recruitment maneuver improve respiratory function during and after intubation of morbidly obese patients: a randomized controlled study. *Anesthesiology* 2011 ; 114 : 1354-63
15. Crawford MW, Arrica M, Macgowan CK, Yoo SJ. Extent and localization of changes in upper airway caliber with varying concentrations of sevoflurane in children. *Anesthesiology* 2006 ; 105 : 1147-52
16. Crawford MW, Rohan D, Macgowan CK, Yoo SJ, Macpherson BA. Effect of propofol anesthesia and continuous positive airway pressure on upper airway size and configuration in infants. *Anesthesiology* 2006 ; 105 : 45-50
17. Eastwood PR, Szollosi I, Platt PR, Hillman DR. Comparison of upper airway collapse during general anaesthesia and sleep. *Lancet* 2002 ; 359 : 1207-9
18. Nishino T, Shirahata M, Yonezawa T, Honda Y. Comparison of changes in the hypoglossal and the phrenic nerve activity in response to increasing depth of anesthesia in cats. *Anesthesiology* 1984 ; 60 : 19-24
19. Papastamelos C, Panitch HB, England SE, Allen JL. Developmental changes in chest wall compliance in infancy and early childhood. *J.Appl.Physiol* 1995 ; 78 : 179-84
20. Keens TG, Bryan AC, Levison H, Ianuzzo CD. Developmental pattern of muscle fiber types in human ventilatory muscles. *J.Appl.Physiol* 1978 ; 44 : 909-13
21. Keidan I, Fine GF, Kagawa T, Schneck FX, Motoyama EK. Work of breathing during spontaneous ventilation in anesthetized children: a comparative study among the face mask, laryngeal mask airway and endotracheal tube. *Anesth.Analg.* 2000 ; 91 : 1381-8
22. Lagarde S, Semjen F, Nouette-Gaulain K, Masson F, Bordes M, Meymat Y et al . Facemask pressure-controlled ventilation in children: what is the pressure limit? *Anesth.Analg.* 2010 ; 110 : 1676-9
23. von GA, Brimacombe J, Hormann C, Jeske HC, Kleinsasser A, Keller C. Pressure support ventilation versus continuous positive airway pressure ventilation with the ProSeal laryngeal mask airway: a randomized crossover study of anesthetized pediatric patients. *Anesth.Analg.* 2005 ; 100 : 357-60
24. Fritsch N, Nouette-Gaulain K, Bordes M, Semjen F, Meymat Y, Cros AM. Target-controlled inhalation induction with sevoflurane in children: a prospective pilot study. *Paediatr.Anaesth.* 2009 ; 19 : 126-32
25. Mitchell P, Fink EA J-LVPK. **Textbook of Critical Care.** 2005

26. Ricard JD, Dreyfuss D, Saumon G. Ventilator-induced lung injury. *Eur.Respir.J.Suppl* 2003 ; 42 : 2s-9s
27. Richard J, Leteurtre S, Leclerc F. **Prise en charge ventilatoire du syndrome de détresse respiratoire aiguë de l'adulte et de l'enfant (nouveau-né exclu)**. In : SRLF ed. In: *Recommandations d'Experts de la Société de Réanimation de Langue Française*. 2005. p
28. Rouby JJ, Brochard L. Tidal recruitment and overinflation in acute respiratory distress syndrome: yin and yang. *Am.J.Respir.Crit Care Med*. 2007 ; 175 : 104-6
29. Constantin JM, Grasso S, Chanques G, Aufferet S, Futier E, Sebbane M et al . Lung morphology predicts response to recruitment maneuver in patients with acute respiratory distress syndrome. *Crit Care Med*. 2010 ; 38 : 1108-17
30. Rouby JJ. Recruitment in pulmonary and extrapulmonary acute respiratory distress syndrome: the end of a myth? *Anesthesiology* 2007 ; 106 : 203-4
31. Allary J, Weil G, Bourgain JL. [Impact of anaesthesia management on post-surgical ventilation in post-anaesthesia care unit.]. *Ann.Fr.Anesth.Reanim*. 2011 ;
32. Dojat M, Pachet F, Guessoum Z, Touchard D, Harf A, Brochard L. NeoGanesh: a working system for the automated control of assisted ventilation in ICUs. *Artif.Intell.Med*. 1997 ; 11 : 97-117