

# QU'APPORTENT LES NOUVEAUX RESPIRATEURS D'ANESTHÉSIE ?

S. Jaber, M. Sebbane, D. Verzilli, J-J. Eledjam

Département d'Anesthésie-Réanimation B, Hôpital Saint Eloi - CHU de Montpellier, 34295 Montpellier.

## INTRODUCTION

Les ventilateurs d'anesthésie de dernière génération ont largement gagné en performance pneumatique et technologique [1-4]. Cette progression technologique a été rendue possible par la part croissante prise non seulement par l'électronique, incluant plus particulièrement les capteurs de spirométrie, les manomètres et les valves électromagnétiques mais encore par l'informatique, permettant une correction en temps réel des variables mesurées et des commandes générées.

Ces principales améliorations ont été réalisées par l'investissement des industriels et leur collaboration avec les médecins utilisateurs parfois jugée insuffisante par certaines équipes. En effet, les évaluations cliniques des respirateurs d'anesthésie restent rares alors que des évaluations sur banc d'essai sont disponibles [1, 3]. Il faut rappeler qu'il n'existe aucune obligation réglementaire pour des évaluations cliniques ou standardisées.

Les améliorations apportées ces dernières années aux ventilateurs de réanimation et d'anesthésie par les industriels sont de véritables avancées.

Jusqu'à ces dernières années, les ventilateurs d'anesthésie se limitaient le plus souvent à une machine représentée principalement par un générateur de débit voire de pression pour les plus récentes. Alors que les modes partiels permettant une ventilation spontanée du patient «assistée partiellement» par la machine se sont développés en réanimation du fait des pathologies respiratoires des patients et afin d'améliorer le sevrage ventilatoire, l'intérêt de ces modes partiels en anesthésie reste à déterminer.

L'apport des respirateurs d'anesthésie de dernière génération est principalement représenté par 4 éléments :

- 1-L'amélioration des performances pneumatiques qui a été bien démontrée avec une ergonomie de qualité («plug and play»), une bonne fiabilité, des auto-tests et pour la plupart des machines une grande évolutivité.
- 2-Le concept de «station d'anesthésie multifonction à la carte» (ventilation, monitoring, alarmes, mélangeur, évaporateur, exploration fonctionnelle, feuille d'anesthésie informatisée...) qui présente certains avantages mais également certaines restrictions.

- 3-Le développement de «l'anesthésie quantitative» employée en circuit fermé strict autorégulé. Sa conception existe depuis quelques années (PhysioFlex), mais son utilisation clinique ne s'est pas diffusée. Une version simplifiée et moins coûteuse est actuellement en fin de développement et sera mise sur le marché Français très prochainement. Les avantages de cette innovation sont écologiques (diminution de la pollution), financiers (économie de la quantité d'halogéné) et clinique (meilleur réchauffement et humidification des gaz anesthésiques et propriétés de ventilation manuelle améliorées). Ces améliorations ont été facilitées par un monitoring des gaz halogénés plus performant.
- 4-L'introduction de nouveaux modes ventilatoires partiels, principalement l'aide inspiratoire. L'intérêt clinique de l'utilisation de ces modes assistés est en cours d'évaluation. Cet aspect sera détaillé dans ce texte.

## **1. RAPPEL DU FONCTIONNEMENT DE L'AIDE INSPIRATOIRE : UN MODE SIMPLE ET COMPLIQUÉ À LA FOIS**

L'aide inspiratoire est un mode de ventilation dit «assisté» qui ne peut s'appliquer que chez des malades qui présentent une activité respiratoire spontanée. L'aide inspiratoire est souvent considérée comme un mode d'assistance partiel plus physiologique que la ventilation où le débit est contrôlé (Volume Assistée Contrôlé : VAC).

L'aide inspiratoire est un mode de ventilation assisté où le paramètre qui est réglé par le médecin est la pression (pression de consigne ou niveau d'aide inspiratoire). Le ventilateur doit donc atteindre cette pression inspiratoire plus ou moins rapidement (notion de pente de montée en pression) et la maintenir pendant toute la phase inspiratoire. Lors de l'expiration, la pression retombe jusqu'au niveau de pression expiratoire positive (PEP) ou au niveau de la pression atmosphérique si la PEP est réglée à 0.

Le déclenchement d'un cycle en aide inspiratoire ne peut se faire que lorsque la machine a détecté un effort inspiratoire du malade. Cette phase, pendant laquelle l'assistance de la machine n'a pas encore débuté, est commune à tous les cycles assistés, qu'ils soient contrôlés en débit ou en pression. Le système pneumatique qui permet la reconnaissance du cycle (trigger ou système de déclenchement) peut fonctionner différemment d'un ventilateur à l'autre. Deux systèmes sont classiquement utilisés sur les ventilateurs. Le premier («trigger en pression») est le système classique fondé sur le principe d'une valve fermée dite «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, ouverts, et reposant sur le signal de débit. Ces «triggers en débit» (flow-by) 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.

La plupart des études comparant les deux systèmes de déclenchement ont pratiquement tous rapportés un avantage des systèmes en débit, qui se traduisait par un effort lié au système de déclenchement plus faible avec les triggers en débit qu'avec les triggers en pression, et ce d'autant plus que le patient présentait une hyperinflation dynamique et une pression expiratoire positive intrinsèque (PEPi).

En aide inspiratoire, le cyclage inspiration-expiration est fondamentale. Il est habituellement réglé sur une chute du débit inspiratoire à une valeur seuil. Classiquement sur les premières machines disposant de l'aide inspiratoire en réanimation telle que le Servo 900C (Siemens), l'expiration était possible lorsque le débit chutait à 25 % de la valeur du débit de pointe. Aujourd'hui, certaines machines de réanimation permettent de régler ces seuils car peuvent être influencés par la présence de fuites telles qu'au cours

de la ventilation non invasive ou de l'utilisation d'un masque laryngé. Les machines d'anesthésie disposant de l'aide inspiratoire utilisent comme critère d'arrêt de l'insufflation la chute du débit inspiratoire à 25% de la valeur du débit de pointe pour le Fabius GS (Drager) et le Primus (Drager), la chute du débit inspiratoire à 5 % de la valeur du débit de pointe pour le Kion (Siemens).

Il est donc important de s'assurer qu'il n'existe pas de fuites dans le circuit pouvant perturber le cyclage inspiratoire-expiratoire. Dans ce cas, le risque est la poursuite de l'insufflation de la part de la machine ne détectant pas de chute de débit et empêchant ainsi le passage à l'expiration entraînant un inconfort majeur. La solution est bien évidemment de limiter les fuites mais également de passer en Pression Assistée Contrôlée, qui est également un mode en pression offrant un débit décélérant qui permet de contrôler le temps inspiratoire (réglage du  $T_i$  ou du rapport I/E ou  $T_i/T_{tot}$ ).

Un autre piège de l'aide inspiratoire est l'utilisation d'un niveau trop important d'AI qui peut entraîner des efforts inspiratoires inefficaces. Ces efforts traduisent des demandes inspiratoires qui ne sont pas «récompensées» par un cycle ventilateur et témoignent donc d'une désadaptation patient-ventilateur. En général, cela survient lors de pressions d'insufflations trop élevées supérieures à 20 cmH<sub>2</sub>O, à l'origine de volumes insufflés excessifs. La vidange de ces «trop grands volumes» va nécessiter des temps expiratoires plus prolongés que ceux dictés par la fréquence respiratoire propre du patient, entraînant le déclenchement de l'effort suivant bien avant le retour à la position d'équilibre du système respiratoire.

Enfin, toute altération brutale de la mécanique respiratoire (augmentation des résistances ou baisse de la compliance) peut entraîner une baisse parfois très importante du volume délivré. Les alarmes de volume courant, de ventilation minute et de fréquence respiratoire doivent être réglées attentivement.

## **2. QUELS SONT LES RATIONNELS PHYSIOLOGIQUES À L'UTILISATION DE L'AIDE INSPIRATOIRE EN ANESTHÉSIE ?**

L'anesthésie générale induit des modifications de la mécanique et du contrôle ventilatoire [5]. Ces modifications sont principalement représentées par une diminution des volumes pulmonaires avec une diminution du volume courant et de la ventilation minute. Les conséquences peuvent être l'apparition et/ou la majoration des atélectasies entraînant une hypoxémie d'intensité variable selon les patients (plus marquée chez les sujets obèses) [6, 7]. Dans un travail réalisé chez 12 patients indemnes de toute pathologie pulmonaire et anesthésiés à l'halothane, Hedenstierna et coll. [8] ont montré que la contraction diaphragmatique réalisée par une électrode de stimulation phrénique externe permettait de réduire la surface des atélectasies. Ces auteurs suggéraient que la ventilation spontanée permettrait de réduire les atélectasies des bases pulmonaires. Par ailleurs, dans le même esprit, l'équipe de Putensen [9, 10] a montré chez des patients de réanimation qu'en restaurant un certain degré de ventilation spontanée et donc d'activité diaphragmatique, l'aide inspiratoire pourrait permettre une meilleure redistribution du volume courant dans les zones dépendantes vertébro-diaphragmatiques. Cet effet physiologique peut être considéré comme une forme de recrutement alvéolaire. Il est néanmoins difficile de savoir dans ces travaux si c'est le mode de ventilation en soi qui est bénéfique ou la réduction de la sédation qui lui est associée.

D'autre part, l'adaptation du ventilateur au patient peut nécessiter d'augmenter les doses des agents anesthésiques afin d'obtenir une bonne adaptation du patient lors des modes ventilatoires totalement contrôlés n'autorisant pas la ventilation spontanée. Certaines données présentées sous forme d'abstract suggéreraient que l'utilisation de l'aide inspiratoire au cours de l'anesthésie générale diminuerait la consommation des

produits anesthésiques et améliorerait le confort des patients. En d'autres termes, l'utilisation de l'aide inspiratoire pourrait permettre de réaliser des économies sur le prix global de l'anesthésie, mais également une diminution de la pollution liée à l'utilisation des halogénés dans certains cas. Ces résultats préliminaires et encourageants doivent être confirmés dans le futur.

Par ailleurs, l'utilisation d'un faible niveau d'aide inspiratoire (5-10 cmH<sub>2</sub>O) permet de compenser le surcroît de travail respiratoire principalement lié à la sonde d'intubation et à la valve inspiratoire [11]. Cependant, ces données doivent être relativisées chez des sujets ayant une fonction respiratoire normale contrairement aux patients de réanimation en cours de sevrage ventilatoire ayant une fonction respiratoire plus ou moins altérée.

En fait, il existe aujourd'hui peu de données montrant l'intérêt de l'aide inspiratoire au cours de l'anesthésie générale. Ceci s'explique par le fait que ce mode ventilatoire n'est pas encore répandu dans les blocs opératoires. D'autre part, en anesthésie les sujets sont le plus souvent des patients indemnes de pathologies respiratoires et ne présentant pas de problème ventilatoire. Or, ces dernières années l'évolution des techniques anesthésiques telles que l'utilisation du masque laryngé ou le développement de l'anesthésie loco-régionale a relancé l'intérêt de l'utilisation de l'aide inspiratoire au bloc opératoire [12, 13].

### **3. QUELLES SONT LES PERFORMANCES DE L'AIDE INSPIRATOIRE DES NOUVELLES MACHINES D'ANESTHÉSIE ?**

Les performances pneumatiques des respirateurs d'anesthésie ont été bien évaluées ces dernières années et ont été largement améliorées [1-4, 14]. Cette progression technologique a été rendue possible par la part croissante prise par l'électronique incluant plus particulièrement les capteurs de spirométrie, les manomètres, et les valves électromagnétiques. Cependant, la qualité de l'aide inspiratoire aujourd'hui disponible sur certaines machines d'anesthésie de dernière génération n'a jamais été rapportée. Nous avons testé sur banc d'essai les performances de l'aide inspiratoire disponible sur 5 respirateurs d'anesthésie commercialisés sur le marché français : Félix (Taema), Kion (Siemens), Fabius GS (Dräger), Primus (Dräger) et Advence (Datex-Ohmeda). Nous avons également comparé les performances de l'aide inspiratoire de ces respirateurs d'anesthésie à celles des respirateurs de réanimation de dernière génération.

Nous avons utilisé les tests validés sur les respirateurs de réanimation et de transport [15-17]. Ces tests étudient principalement la qualité des systèmes de déclenchement et la capacité de la machine à pressuriser dans le circuit le niveau d'aide inspiratoire préréglé.

L'évaluation des systèmes de déclenchement (Trigger) nécessite l'utilisation du poumon test à double compartiment (Michigan Dual Adult TTL) afin de simuler l'appel inspiratoire du malade (Figure 1).

Le soufflet pressurisé connecté au ventilateur moteur entraîne le soufflet «patient» grâce à une pièce métallique dès le début de l'inspiration. La dépression ainsi générée dans le soufflet «patient» est transmise et perçue par le ventilateur testé comme un effort inspiratoire. Cet appel inspiratoire standardisé est caractérisé par le niveau de dépression généré au niveau de la pièce en Y après 100 ms d'occlusion (pression d'occlusion à 100 ms : P<sub>0.1</sub>). Lors de l'évaluation dynamique en aide inspiratoire, l'activité inspiratoire est simulée par le poumon à double compartiment. Le ventilateur moteur est réglé de façon à générer une dépression inspiratoire dans le soufflet expérimental correspondant à différents niveaux de demande respiratoire. L'évaluation du ventilateur testé se fait selon sa capacité à générer la pression de consigne dans des conditions dynamiques. Les

principales mesures nécessaires à ces différentes évaluations sont pratiquées au niveau de la pièce en Y du ventilateur testé. Pour évaluer le trigger inspiratoire, on mesure le temps de déclenchement  $\Delta T$  (en ms), ainsi que la dépression  $\Delta P$  (en  $\text{cmH}_2\text{O}$ ) engendrés par l'appel patient (Figure 2).

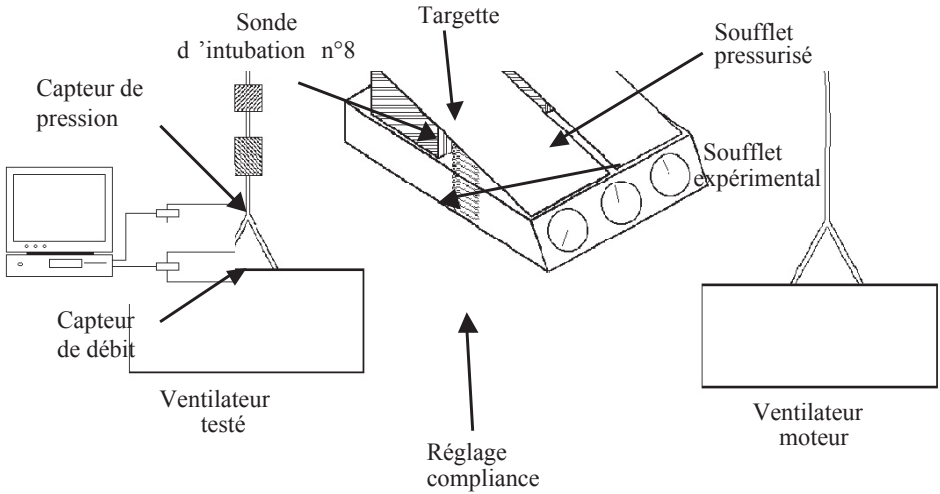


Figure 1 : schéma du banc d'essai

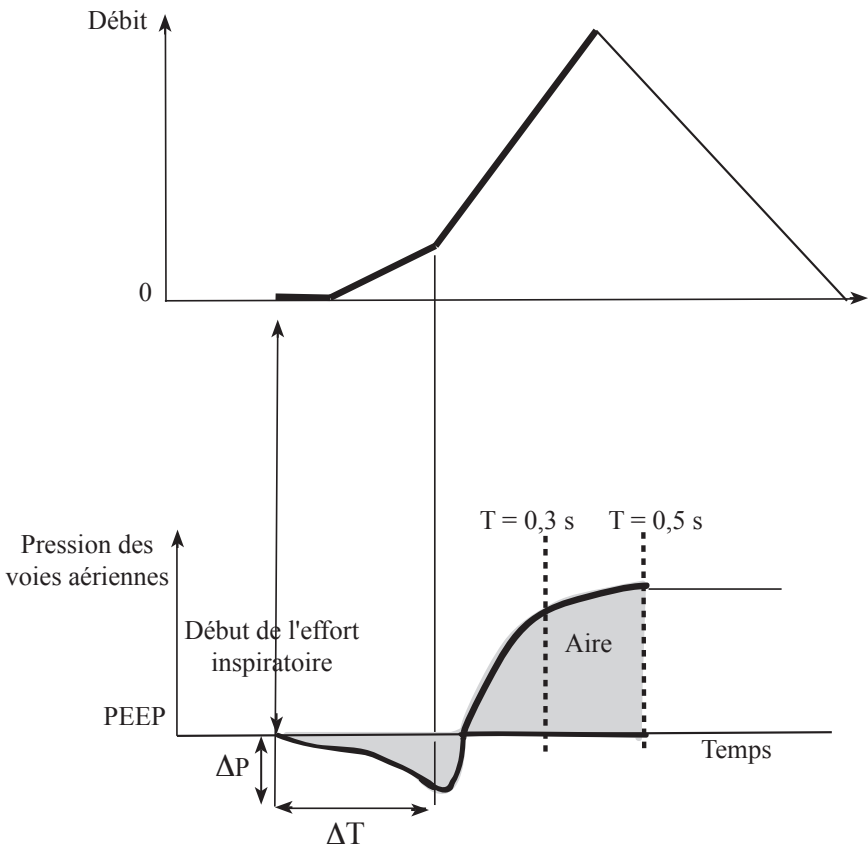


Figure 2 : Paramètres évalués obtenus à partir des courbes de pression et débit

Le début de l'inspiration est caractérisé par l'apparition d'un débit positif (dans un système ouvert avec trigger en débit) et par la cassure (dépression) observée sur le signal de pression (dans un système fermé avec trigger en pression).

Pour évaluer la délivrance de l'aide inspiratoire, on calcule l'intégrale de la pression en fonction du temps à 0,3 et 0,5 s. On calcule aussi la pression maximum négative engendrée par l'effort patient ( $\Delta P$ ) (Figure 2).

Deux niveaux d'effort inspiratoire ont été utilisés : un faible niveau correspondant à une valeur de pression d'occlusion à 100ms (P0.1) de 2 cmH<sub>2</sub>O et un niveau plus élevé correspondant à une P0.1 de 4 cmH<sub>2</sub>O. 3 niveaux d'aide inspiratoire ont été évalués (10-15 et 20 cmH<sub>2</sub>O) à 2 niveaux de pression expiratoire positive (PEP = 0 et 5 cmH<sub>2</sub>O). Pour les respirateurs d'anesthésie, nous avons voulu étudier l'éventuelle influence du débit de gaz frais (DGF) sur les performances de l'aide inspiratoire. Pour cela, nous avons testé pour chaque condition d'étude 2 valeurs de DGF : 1 et 10 L/min. Toutes ces conditions dynamiques ont pour objectif de reproduire des conditions proches à celles observées en situation clinique au bloc opératoire chez un sujet sain.

Les principaux résultats sont représentés sur les figures. Les tests ont montré que l'aide inspiratoire fonctionnaient pour les 5 machines d'anesthésie testées. Cependant, l'utilisation d'une PEP diminuait significativement le temps de réponse du trigger et la qualité à pressuriser l'aide pour le Kion (Siemens) et le Fabius GS (Drager), contrairement au Félix (Taema) qui avait une meilleure performance en présence d'une PEP. Les résultats obtenus pour les machines d'anesthésie peuvent être considérés comme satisfaisants, car ils ont été obtenus sur des premières générations d'aide inspiratoire sur ce type de machine partiellement évolutives. Deux machines (Primus et Advance) ont une aide inspiratoire de qualité comparable à celles des respirateurs lourds de réanimation. Les résultats obtenus pour les 3 respirateurs de réanimation sont comparables à ceux précédemment rapportés et montrent une homogénéité des 3 machines avec de meilleurs résultats que ceux obtenus pour les respirateurs d'anesthésie. Par ailleurs, les performances de l'aide inspiratoire ne sont pas influencées par l'augmentation du débit de DGF (Figure 3).

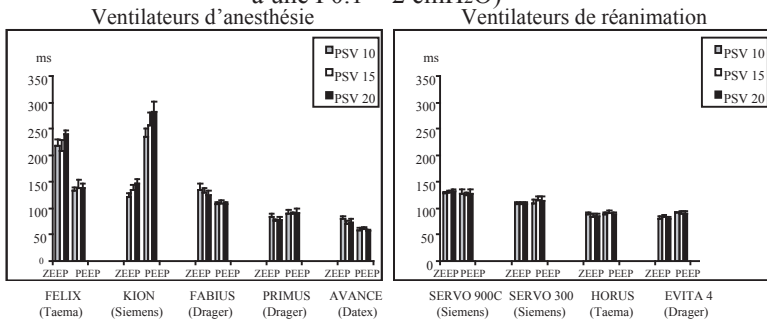
## CONCLUSION

Les améliorations apportées ces dernières années aux machines d'anesthésie par les industriels sont de véritables avancées. Cependant, il faut rester très vigilant quant à l'envahissement par l'électronique des respirateurs et la «sur-sophistication» de l'interface utilisateur-machine. Aujourd'hui, les nouveaux respirateurs d'anesthésie proposent pour la plupart une aide inspiratoire de bonne qualité. Les pièges de l'aide inspiratoire doivent être connus par les utilisateurs avant son application. L'intérêt de l'aide inspiratoire au bloc opératoire au cours de l'anesthésie générale reste à déterminer.

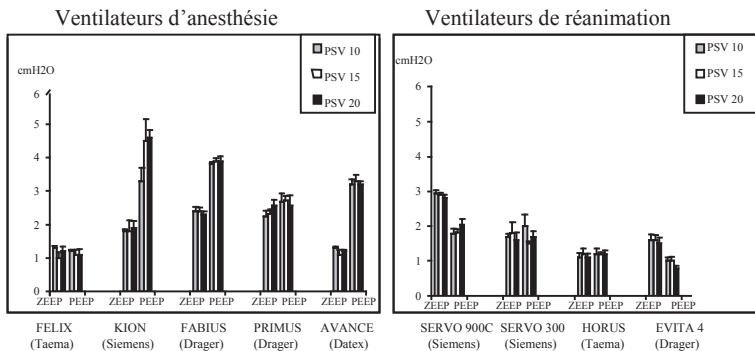
La meilleure sécurité pour le patient restera l'utilisateur avant tout. Il est donc impératif que la formation initiale à l'utilisation de la machine soit répétée régulièrement dans le temps.

Enfin, il faut rester très prudent face aux améliorations cosmétiques et privilégier l'interface machine-utilisateur (convivialité), ses performances pneumatiques et prendre en compte les besoins locaux en essayant d'homogénéiser au maximum le parc des ventilateurs d'un établissement. Enfin, les coûts d'investissement et d'exploitation devront également être pris en compte en étroite collaboration avec les services du biomédical.

**Temps de réponse du trigger ( $\Delta T$ ) avec et sans PEEP**  
 obtenu avec le faible effort inspiratoire correspondant  
 à une  $P_{0.1} = 2 \text{ cmH}_2\text{O}$



**Dépression maximale négative ( $\Delta P$ ) avec et sans PEEP**  
 obtenue avec le faible effort inspiratoire correspondant  
 à une  $P_{0.1} = 2 \text{ cmH}_2\text{O}$



**Intégrale de la pression en fonction du temps à 0,3s (Aire 0,3)**  
 avec et sans PEEP  
 obtenue avec le faible effort inspiratoire correspondant  
 à une  $P_{0.1} = 2 \text{ cmH}_2\text{O}$

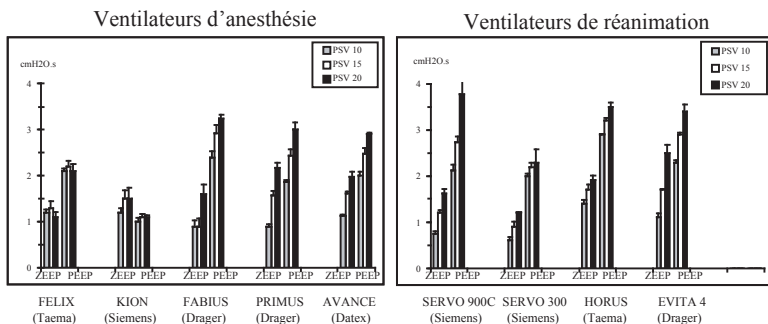


Figure 3 : Principaux résultats des performances de l'aide inspiratoire

**RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- [1] Jaber S, Langlais N, Fumagalli B, Cornec S, Beydon L, Harf A, Brochard L. Performance studies of 6 new anesthesia ventilators: bench tests. *Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation* 2000; 19(1):16-22
- [2] Otteni JC, Beydon L, Cazalaa JB, Feiss P, Nivoche Y. Anesthesia ventilators. *Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation* 1997; 16(7):895-907
- [3] Rawal R, Beydon L. A study of pneumatic performances of 2 new anesthesia ventilators: a trial. *Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation* 1996; 15(7):1107-10
- [4] Stayer SA, Bent ST, Skjonsby BS, Frolov A, Andropoulos DB. Pressure control ventilation: three anesthesia ventilators compared using an infant lung model. *Anesthesia and Analgesia* 2000; 91(5):1145-50
- [5] Warner M. Preventing postoperative pulmonary complications. The role of the anesthesiologist. *Anesthesiology* 2000; 92(5):1467-1472.
- [6] Hedenstierna G. Airway closure, atelectasis and gas exchange during anaesthesia. *Minerva Anestesiologica* 2002; 68(5):332-6
- [7] Pelosi P, Ravagnan I, Giuretta G, Panigada M, Bottino N, Tredici S, Eccher G, Gattinoni L. Positive end-expiratory pressure improves respiratory function in obese but not in normal subjects during anesthesia and paralysis. *Anesthesiology* 1999; 91:1221-1231
- [8] Hedenstierna G, Tokics L, Lundquist H, Andersson T, Strandberg A, Brismar B. Phrenic nerve stimulation during halothane anesthesia. Effects of atelectasis. *Anesthesiology* 1994; 80(4):751-60
- [9] Putensen C, Mutz NJ, Putensen X, Himmer G, Zinserling J. Spontaneous breathing during ventilatory support improves ventilation-perfusion distributions in patients with acute respiratory distress syndrome. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 1999; 159(4 Pt 1):1241-8
- [10] Putensen C, Zech S, Wrigge H, Zinserling J, Stuber F, Von\_Spiegel T, Mutz N. Long-term effects of spontaneous breathing during ventilatory support in patients with acute lung injury. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 2001; 164(1):43-9
- [11] Brochard L, Rua F, Lorino H, Lemaire F, Harf A. Inspiratory pressure support compensates for the additional work of breathing caused by the endotracheal tube. *Anesthesiology* 1991; 75(5):739-45
- [12] Christie JM, Smith RA. Pressure support ventilation decreases inspiratory work of breathing during general anesthesia and spontaneous ventilation. *Anesthesia and Analgesia* 1992; 75(2):167-71
- [13] Pearl RG, Rosenthal MH. Pressure support ventilation: technology transfer from the intensive care unit to the operating room. *Anesthesia and Analgesia* 1992; 75(2):161-3
- [14] Beydon L, Liu N. [A study of 3 new ventilators for anesthesia: a series of tests]. *Annales Françaises d'Anesthésie et Réanimation* 1994; 13(6):807-10
- [15] Richard JC, Carlucci A, Breton L, Langlais N, Jaber S, Maggiore S, Fougere S, Harf A, Brochard L. Bench testing of pressure support ventilation with three different generations of ventilators. *Intensive Care Medicine* 2002; 28(8):1049-57
- [16] Tassaux D, Strasser S, Fonseca S, Dalmas E, Jolliet P. Comparative bench study of triggering, pressurization, and cycling between the home ventilator VPAP II and three ICU ventilators. *Intensive Care Medicine* 2002; 28(9):1254-61.
- [17] Zanetta G, Robert D, Guerin C. Evaluation of ventilators used during transport of ICU patients - a bench study. *Intensive Care Medicine* 2002; 28(4):443-51