

Ventilation artificielle : les fondamentaux

Y Coisel, M Conseil, N Clavieras, B Jung, G Chanques, D Verzilli, S Jaber*

Département d'Anesthésie-Réanimation B (DAR B), Hôpital Saint Eloi - CHRU Montpellier, 80, avenue Augustin Fliche, 34295 montpellier cedex 5, france

*Auteur correspondant : Pr Samir JABER (s-jaber@chu-montpellier.fr)

POINTS ESSENTIELS :

- Le ventilateur d'anesthésie ou de réanimation délivre une assistance soit en pression (mode barométrique), soit en volume (mode volumétrique). Donc ; 2 principales modalités de ventilation existent.
- Il n'existe aucune supériorité d'un mode ventilatoire par rapport à l'autre quand ils sont délivrés avec un niveau d'assistance équivalent.
- Le volume contrôlé est le mode le plus recommandé pour sa simplicité chez le patient sédaté-curarisé.
- Si l'on utilise un mode en volume ; il faut surveiller les pressions des voies aériennes (pic, moyenne, plateau) ; et si l'on utilise un mode en pression, il faut surveiller la spirométrie (volume et ventilation minute) et la capnographie.
- L'aide inspiratoire est le mode en pression le plus utilisé au cours du sevrage, car le plus physiologique. Il est singulier, car c'est le seul mode conventionnel dans lequel le patient choisit la durée de son temps inspiratoire, en plus de sa fréquence respiratoire et son débit inspiratoire.
- Deux nouveaux modes ventilatoires complexes et évolués sont encore plus physiologique car sont ils se distinguent par le fait qu'ils délivrent une assistance variable régulée sur l'effort du patient et non fixe comme tous les autres modes.
- Des modes ventilatoires dits automatisés sont disponibles et en cours d'évaluation (ASV, IntelliVent, Smartcare, Noisy PSV).
- La Ventilation Non Invasive est un type de ventilation qui regroupe l'ensemble des techniques non invasives, n'utilisant pas de sonde d'intubation ou de trachéotomie comme interface patient-machine. L'interface utilisée est souvent un masque facial. La particularité de la VNI est qu'il s'agit d'une ventilation à fuites dont il faudra tenir compte dans les réglages.

1. INTRODUCTION

Au bloc opératoire, la gestion des voies aériennes est indispensable pour toute intervention réalisée sous anesthésie générale. Le patient est relié via une interface (sonde d'intubation, masque laryngé, canule de trachéotomie) à la station d'anesthésie. En réanimation, la défaillance respiratoire est la première des défaillances supplées. Le patient est également relié via une interface (sonde d'intubation ou trachéotomie) au ventilateur de réanimation. Lorsque le patient est transféré entre 2 endroits distincts, il est connecté à un ventilateur de transport. La ventilation mécanique a donc une place prépondérante au bloc opératoire, en réanimation, et entre les deux.

Cette ventilation mécanique est assurée par un ventilateur, qui apporte de l'oxygène (=oxygénation), retire le dioxyde de carbone (= ventilation) et selon les cas apporte également des gaz halogénés. Le ventilateur peut permettre ces échanges gazeux grâce à un générateur de flux ou débit (turbine, piston, soufflet ascendant ou descendant selon les machines d'anesthésie ¹). Ce flux va être délivré au patient via le circuit interne du ventilateur qui comporte des valves inspiratoire et expiratoire.

La totalité des ventilateurs d'anesthésie et de réanimation disponibles sur le marché propose au clinicien de choisir si ce flux sera délivré dans un mode en Volume (mode dit « volumétrique » : Ventilation Contrôlée, Ventilation Assistée Contrôlée dans lequel le débit délivré est fixe, constant ; il est dit « carré » ou « rectangulaire », voir **tableau 1, figures 1 et 2**) ou dans un mode en Pression (mode dit « barométrique » : Pression Contrôlée, Pression Assistée Contrôlée, Aide Inspiratoire ¹⁻³ dans lequel le débit délivré est d'emblée maximal puis diminue ; il est dit « décélérant », voir tableau 1 et figure 3). Cependant ces modes ventilatoires traditionnels pré-réglés en pression ou en volume présentent certaines limites. Ces principales limites sont représentées par la complexité des interactions patient-ventilateur et le risque barotraumatique. Le risque barotraumatique est estimé par la pression de plateau des voies aériennes : cette pression est relevée lors de la phase de plateau inspiratoire (moment entre la fin de l'insufflation et le début de l'expiration où il n'y a pas de débit). Il est recommandé que la pression de plateau monitorée, reflet du risque barotraumatique, doive rester en dessous de 30 cmH₂O.

Les progrès de ces vingt dernières années dans le domaine de la ventilation artificielle associés à l'amélioration croissante de la technologie ont permis aux industriels le plus souvent en collaboration avec les cliniciens de développer de nouveaux modes ventilatoires plus sophistiqués, décrits comme « complexes », « évolués », « exotiques », voire

« intelligents ». Il s'agit de modes ventilatoires basés sur une boucle d'asservissement simple ou complexe (Adaptative Support Ventilation, Intellivent), sur l'intelligence artificielle (Noisy Pressure Support Ventilation) ou sur la variabilité spontanée du patient (Neurally Adjusted Ventilatory Assist, Proportionnal Adaptative Ventilation)

Il est inutile de décrire tous les modes ventilatoires disponibles sur le marché, car un même mode se décline sous des noms différents en fonction de l'industriel commercialisant le mode. Dans cette conférence d'essentiel, nous rappellerons brièvement le fonctionnement des modes ventilatoires traditionnels, nous présenterons les principaux modes ventilatoires conventionnels disponibles sur le marché, les principaux modes complexes ou évolués et nous consacrerons un chapitre à la ventilation non invasive.

Tableau 1.- Différences fondamentales entre un mode volumétrique et un mode barométrique

Paramètres ventilatoires	<i>Mode volumétrique (VC, VAC...)</i>	<i>Mode barométrique (PC, PAC, VS-AI...)</i>
Volume courant (VT)	FIXE (assuré)	Variable
Pression des voies aériennes	Variable	FIXE (assurée)
Débit	Carré (constant) 	Décélérant 
Alarmes à surveiller	Pression maximale Pression moyenne Pression de plateau	Volume courant Ventilation minute EtCO2

Figure 1.- Classification des modes ventilatoires

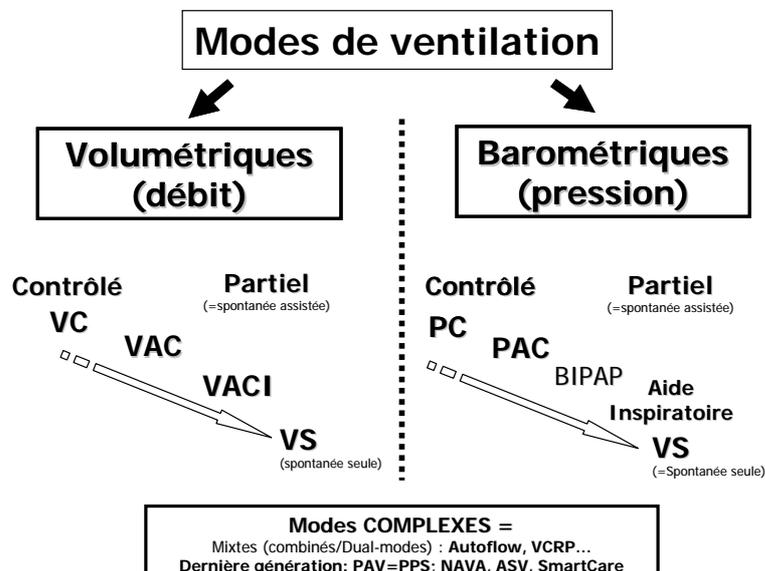
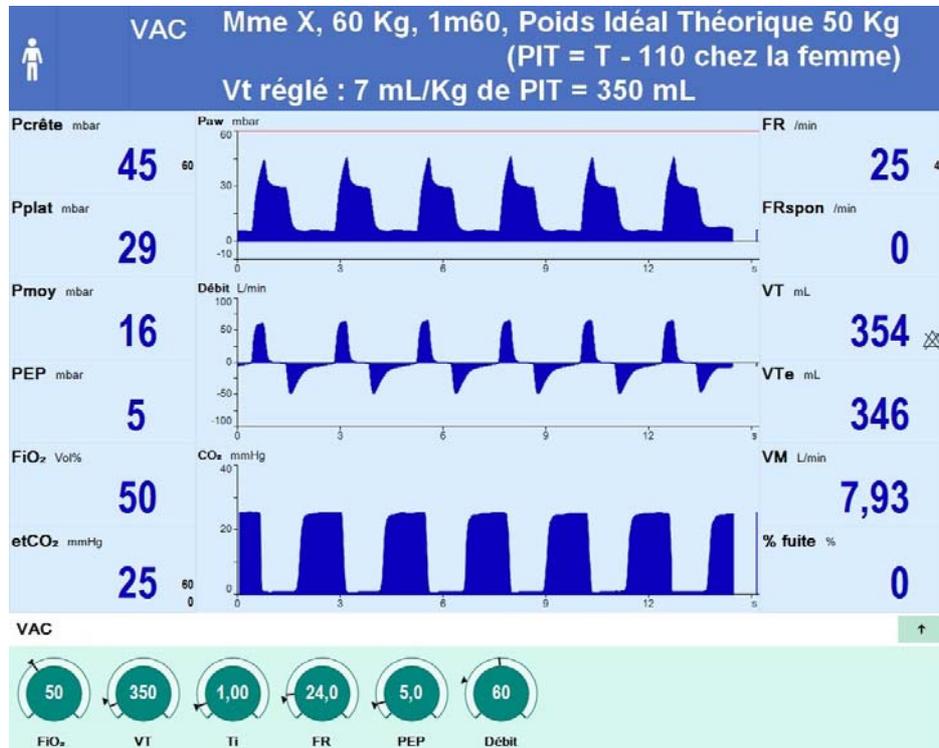


Figure 2.- Capture d'écran d'un ventilateur en mode volumétrique. De haut en bas les courbes de pression des voies aériennes (Paw), de débit et de capnie expiratoire en fonction du temps. Le débit est fixe (carré) alors que la pression est variable (pression de crête et pression de plateau). En bas de l'écran, il y a les « paramètres réglés de la ventilation » par l'utilisateur et de chaque côté des courbes il y a « les paramètres monitorés », du côté gauche les paramètres de pressions (crête, moyenne, plateau) et de gaz (FiO₂, EtCO₂) et du côté droit les paramètres du régime ventilatoire et de spirométrie.



2. MODES VENTILATOIRES CONVENTIONNELS

Ces modes ventilatoires les plus simples permettent de ventiler les patients dans la plus grande partie des situations cliniques.

Modes volumétriques

Dans un mode volumétrique, le respirateur est réglé pour délivrer un volume courant (VT) pendant une durée définie (Ti: temps inspiratoire) ce qui définit le débit inspiratoire, à une fréquence respiratoire (FR) donnée selon le débit fixe défini (apparaissant carré ou rectangulaire sur les courbes de débit en fonction du temps, figure 2). Les modes volumétriques ont été les premiers à être utilisés et sont les plus employés, car ils ont été pendant très longtemps les seuls modes disponibles sur les respirateurs⁴. L'avantage majeur d'un mode en volume est de garantir la ventilation minute et/ou le volume courant souhaités

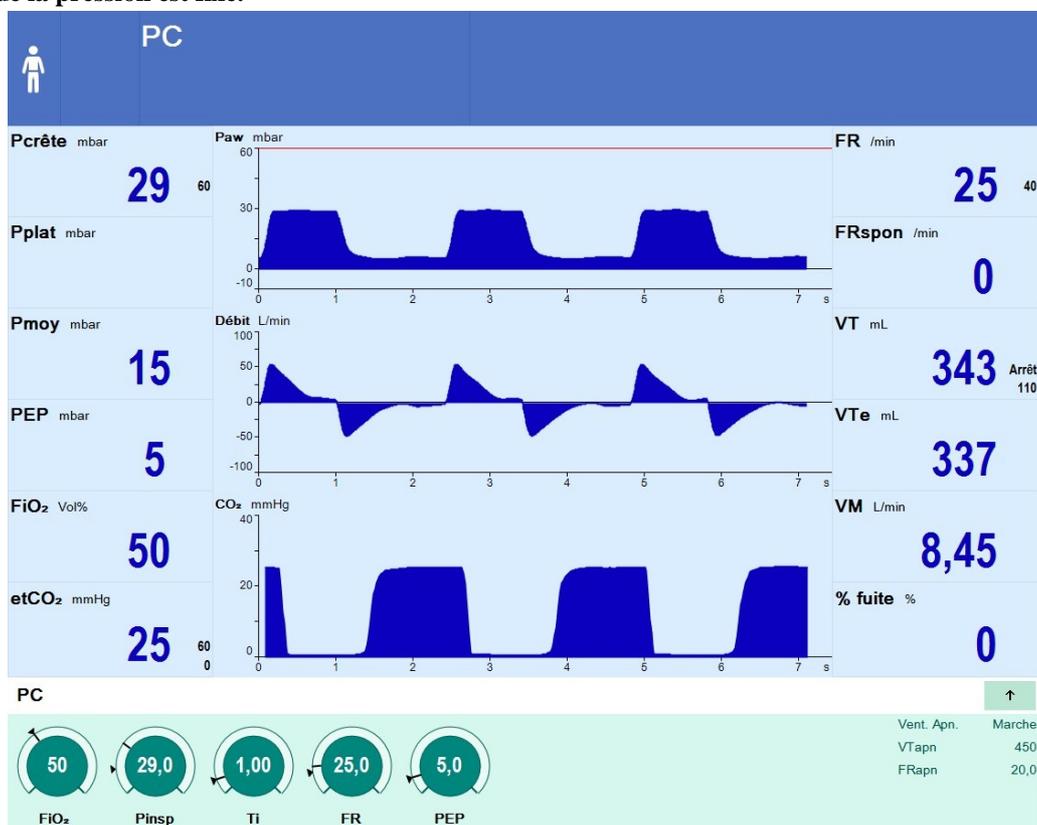
mais l'inconvénient principal est l'absence de contrôle de la pression dans les voies aériennes, exposant au risque de barotraumatisme. Chez un patient ayant une ventilation spontanée, dans un mode volumétrique, le réglage d'un débit suffisant (en général > 60 L/min) est crucial pour obtenir une diminution de la dyspnée et de l'effort respiratoire.

Modes barométriques

Dans un mode barométrique, le paramètre réglé est la pression d'insufflation dans les voies aériennes (P_{insp}) pendant une durée définie (T_i). L'avantage majeur d'un mode en pression est de garantir une limite de pression évitant ainsi le risque de barotraumatisme, mais l'inconvénient principal est l'absence de contrôle du volume courant et de la ventilation minute en cas de changement des propriétés mécaniques du système respiratoire (atélectasie, encombrement bronchique, encrassement de la sonde...).

Contrairement à un mode réglé en volume, le débit sera d'emblée maximal puis décélérant en mode réglé en pression. Cet aspect présente un avantage potentiel des modes barométriques (**figure 3**)

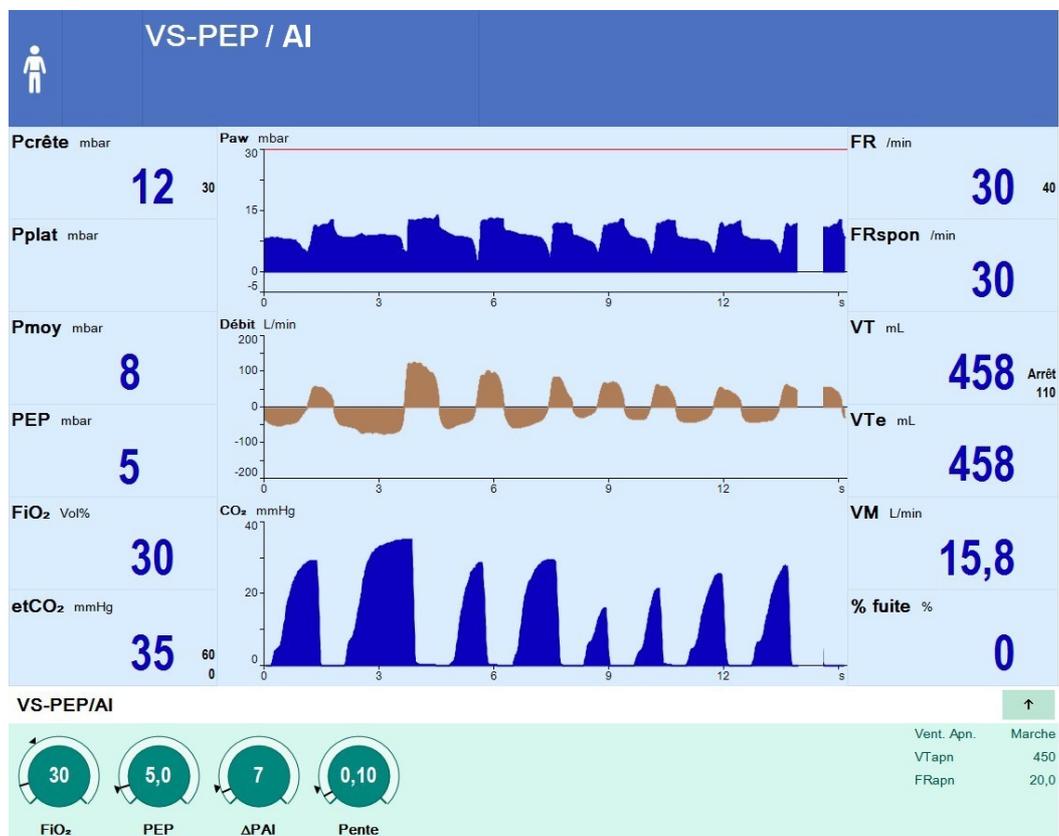
Figure 3.- Capture d'écran d'un ventilateur en mode barométrique. De haut en bas les courbes de pression des voies aériennes (Paw), de débit et de capnie expiratoire en fonction du temps. Le débit est décélérant alors que la pression est fixe.



Aide Inspiratoire (AI)= le mode qui a révolutionné la ventilation

L'AI (ou pressure support ventilation PSV des anglo-saxons) est un mode barométrique présentant un intérêt qui fait de lui le mode le plus utilisé dans le sevrage de la ventilation mécanique en réanimation⁵ : c'est le seul mode conventionnel dans lequel le patient impose son temps inspiratoire (via un trigger expiratoire). Lorsque le débit (décélérant dans un mode barométrique) passe sous un seuil prédéfini (le seuil de trigger expiratoire), l'insufflation de gaz est stoppée, et l'expiration peut débuter (**figure 4**). Dans ce mode, le patient peut ainsi « déterminer » son VT en fonction des propriétés mécaniques du système respiratoire (poumon+paroi) et de son effort. En cas d'apnée, le ventilateur passe automatiquement dans un mode sécurisé (Pression contrôlée ou volume contrôlé en fonction du pré-réglage) assurant une ventilation minimale au patient.

Figure 4.- Capture d'écran d'un ventilateur en mode VS-AI. De haut en bas les courbes de pression des voies aériennes (Paw), de débit et de capnie expiratoire en fonction du temps. La durée du cycle inspiratoire est directement liée au débit inspiratoire : quand il atteint le seuil de 25 % du débit inspiratoire maximal, l'insufflation est stoppée.



3. MODES VENTILATOIRES COMPLEXES OU ÉVOLUÉS

On retrouve parmi ces modes ventilatoires des modes basés sur l'intelligence artificielle, basés sur la variabilité spontanée de la ventilation du patient ou des modes permettant d'associer (en théorie) les avantages des modes en volume et des modes en pression (ce sont les « dual-modes » encore appelés modes mixtes ou hybrides). Ces derniers ont pour la plupart un objectif de volume dit « garanti » en utilisant une pression variable en fonction des caractéristiques mécaniques du système respiratoire et de l'effort fourni par le patient (régulation de pression). L'inconvénient majeur des dual-modes est parfois d'obtenir le résultat inverse de l'objectif fixé, comme démontré précédemment^{6,7} : devant une augmentation de l'effort du patient pour obtenir un VT plus élevé, le mode en question va diminuer l'assistance ventilatoire en diminuant la pression délivrée pour rester dans l'objectif de VT fixé.

Basés sur une boucle d'asservissement CYCLE à CYCLE

Ventilation contrôlée à Régulation de Pression (VCRP, Maquet), Autoflow (Dräger), Volume Contrôlé Plus (Puritan Bennet-Covidien) et Pression contrôlée à volume garanti (General Electrics).

Le principe de la modalité ventilatoire (contrôlée) a pour objectif de délivrer un volume courant (garanti) en pression contrôlée en insufflant la pression la plus basse. Le médecin détermine le volume courant consigne (VTc) et la pression à ne pas dépasser, la fréquence minimale et la durée d'insufflation (Ti). Le respirateur commence par délivrer 4 cycles d'essai, le premier avec un niveau de pression de 5 à 10 cmH₂O au-dessus du niveau de la pression expiratoire positive (PEP) en fonction du logiciel choisi par l'industriel. Lors de chaque cycle, le respirateur mesure le VT, le compare à la valeur consigne pour déterminer la pression à imposer au cycle suivant. Si le VT délivré est inférieur au VTc, le respirateur insuffle une pression plus élevée de 3 cmH₂O au cycle suivant. Si le VT délivré est supérieur au VTc, le respirateur insuffle une pression plus basse de 3 cmH₂O au cycle suivant. Quand le VT délivré est égal au VTc le niveau de pression reste constant. Le principe est le même avec quelques variantes entre les industriels.

L'algorithme fonctionne bien en l'absence de mouvements respiratoires spontanés du patient. Les expériences cliniques de cette modalité sont faibles et peu convaincantes à ce jour^{6,7}.

Volume Support Ventilation (VSV = Volume Assisté) et Adaptive Pressure Ventilation (APV = Ventilation à pression adaptive)

Ces modes sont des modes partiels (c'est-à-dire déclenchés par le patient), dans lesquels le paramètre régulé est la pression inspiratoire, qui est asservie à 2 paramètres contrôlés : une fréquence respiratoire consigne (FRc) et un volume courant minimal (ou consigne, VTc), aboutissant à une ventilation minute minimale (VEmin). L'objectif essentiel est d'atteindre le VTc. Le premier cycle après branchement du malade est réalisé avec une pression inspiratoire de 5 ou 10 cmH₂O selon les ventilateurs. Le VT résultant est comparé au VTc réglé par l'utilisateur avant le raccordement du respirateur au patient. Si VT résultant > VTc, la pression inspiratoire diminue et inversement, et ceci par paliers de 3 cmH₂O maximum jusqu'à atteindre le volume pré-réglé. Si FR mesurée < FRc l'appareil calcule un nouveau VTc sur la base de la ventilation minute minimale (VEmin) et de la FR mesurée ; il augmente alors la pression inspiratoire en conséquence. Ce nouveau VTc ne peut dépasser de plus de 1,5 fois le VTc initialement pré-réglé. Le respirateur adapte par la suite en permanence, cycle après cycle, la pression inspiratoire aux changements dans le rapport volume/pression selon le schéma précédemment décrit. Le niveau maximal de pression inspiratoire est de 5 cmH₂O en dessous de la limite supérieure de pression. Si le volume ne peut être délivré à cette pression, une alarme de "pression limitée" est déclenchée. En cas d'apnée, le passage en mode volume contrôlé (VCRP) est automatique après un délai pré-réglé. La FR, le VT et la durée d'insufflation sont alors les mêmes que dans le mode VSV.

Basés sur une boucle d'asservissement à l'intérieur du CYCLE

Volume-Assured Pressure Support Ventilation (VAPS = Volume assuré en aide inspiratoire), VS AI avec volume courant minimum (VS AI Vt mini, Taema Air Liquide), AI avec volume assuré (AI.Vt, Resmed).

Contrairement au principe des modalités précédentes (cf. supra) dans la VAPS (ou équivalent) la régulation se fait à l'intérieur du cycle. Le *Volume-Assured Pressure Support Ventilation* (volume assuré en pression support) (VAPS), développé par exemple sur le respirateur T Bird (Sebac, France), sur l'Horus sous le nom de VS AI Vt mini (Air Liquide Medical, France), sur l'Élisée sous le nom d'Aide Inspiratoire avec volume assuré (AI.Vt) (ResMed, France) est un mode hybride qui combine dans un même cycle un mode en pression et éventuellement suivi d'un mode en volume.

Dès l'instant où le cycle est initié par le patient, le respirateur délivre un cycle en aide inspiratoire dont le niveau est préréglé. Le niveau de pression programmée atteint, le respirateur compare le VT délivré au volume courant minimal garanti préréglé. Deux cas sont alors possibles :

- le VT délivré est rapidement supérieur ou égal au VT minimal garanti, le mode reste uniquement régulé en pression.

- le VT délivré est inférieur au VT minimal garanti, alors que le débit décroissant a atteint une valeur seuil prédéfinie. Dans ces conditions en AI « standard », le VT minimal garanti ne sera pas atteint, ce qui conduit le respirateur à poursuivre l'insufflation tout en changeant de mode, le mode en pression devient un mode en débit. Le débit décroissant devient constant, égal au débit seuil prédéfini, la pression des voies aériennes augmentant et le temps d'insufflation s'allongeant (ce qui peut induire ou majorer la PEP intrinsèque)

La compréhension de cette modalité en cas d'asynchronie patient-machine peut être très difficile, car plusieurs paramètres vont intervenir.

Basés sur un signal physiologique

Neurally Adjusted Ventilatory Assist (NAVA[®] = Ventilation neurale asservie, Maquet)

La NAVA est un mode ventilatoire développé de façon récente et dont le principe fondamental est d'adapter l'assistance délivrée par le ventilateur à l'activité électromyographique (EMG) du diaphragme du patient ventilé⁸, reflet direct de la commande respiratoire centrale. Ainsi en mode NAVA, le ventilateur est asservi à un signal relativement proche de la commande respiratoire centrale. Ce mode a pour objectif principal d'améliorer la synchronisation patient-machine en remplaçant le trigger inspiratoire classique qui utilise soit un signal de pression ou de débit des voies par un signal de l'activité électrique diaphragmatique obtenu à l'aide d'une sonde œsophagienne. L'assistance du ventilateur est ainsi proportionnelle à l'activité diaphragmatique (**figure 5**).

L'utilisation de la NAVA implique en premier lieu le recueil de l'activité EMG du diaphragme par une sonde gastrique d'alimentation équipée d'électrodes EMG. Une fois la sonde en place, ces électrodes (situées en regard du diaphragme) vont pouvoir recueillir l'activité EMG de ce muscle. Cette activité EMG est ensuite transmise au ventilateur et permettant le pilotage de ce dernier. Le niveau de mise en pression des voies aériennes est adapté à l'activité EMG du diaphragme. La NAVA bénéficie ainsi d'un marquage CE depuis

2007 et a été commercialisée en France en 2008 sur le respirateur Servo-i de Maquet. Des résultats cliniques préliminaires récents suggèrent une amélioration de l'asynchronie patient-machine, de l'oxygénation et de la variabilité^{9,10}. Des études complémentaires sont en cours.

Figure 5.- Capture d'écran d'un ventilateur en mode NAVA. De haut en bas, les courbes de pression des voies aériennes (Paw), de débit, de capnie expiratoire (EtCO₂) et d'activité électrique du diaphragme (Eadi). Notez la variabilité de la Paw dans le temps, directement proportionnelle à l'Eadi.

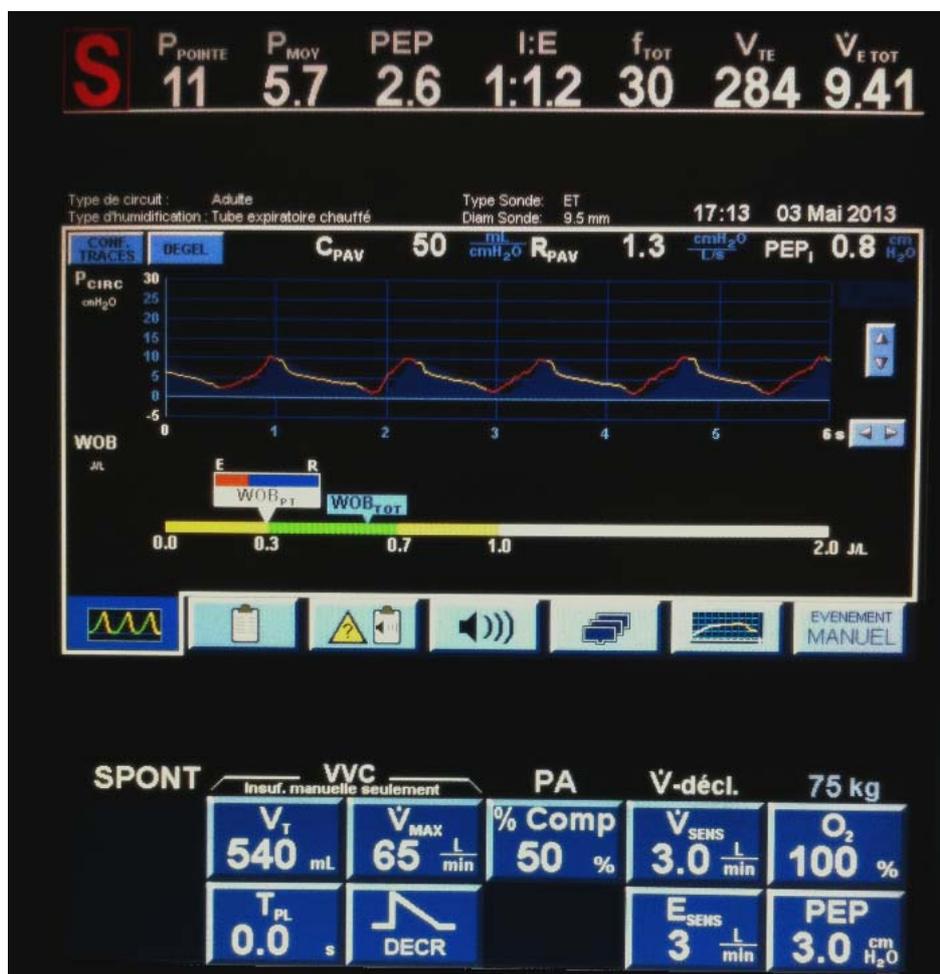


Proportional Assist Ventilation (PAV[®] = ventilation assistée proportionnelle, Covidien) et PAV plus[®]

La ventilation assistée proportionnelle (PAV) est un support ventilatoire partiel dans lequel le respirateur délivre une pression proportionnelle à l'effort du patient. Ce mode ventilatoire est un mode sophistiqué dans lequel aucun des réglages traditionnels (volume, débit, pression, fréquence) n'est disponible, en dehors du système de déclenchement, de la PEP et de la FiO₂¹¹. Le seul réglage à effectuer est le degré d'assistance souhaité (de 0 à 100 %), qui va dépendre de la mécanique respiratoire du patient que doit intégrer le respirateur. Celui-ci analyse les signaux de débit et de volume venant du patient, ce qui lui permet de calculer l'effort effectué par le patient s'il connaît la résistance (R) et l'élastance (E) (inverse de la compliance) du système respiratoire. Des versions évoluées de la PAV (la PAV+) permettent de mesurer de façon semi-continue la résistance et l'élastance du système respiratoire, ce qui simplifie encore plus le réglage du ventilateur (**figure 6**). Ainsi, le respirateur s'adapte en permanence au cours du cycle pour délivrer une assistance directement proportionnelle au

besoin du patient. La PAV est donc un mode ventilatoire très prometteur sur le plan théorique, mais son utilisation en pratique courante reste délicate. Des études complémentaires sont en cours.

Figure 6.- Capture d'écran d'un ventilateur en mode PAV +. De haut en bas, la courbe de pression en fonction du temps et la participation du travail ventilatoire du patient (WOB PT) au travail ventilatoire total (WOB TOT). Les réglages à effectuer sont le pourcentage d'assistance délivrée par le ventilateur (ici 50 %), la FiO₂ et le niveau de PEP. Notez la répartition du travail ventilatoire de 50 % entre le patient et le ventilateur qui est le pourcentage d'assistance prescrit.



Basés sur l'Intelligence Artificielle

Ces modes ventilatoires sont basés sur des protocoles informatiques explicites (ECP = Explicit Computerized Protocol)¹²

Adaptive Support Ventilation (ASV, Hamilton)

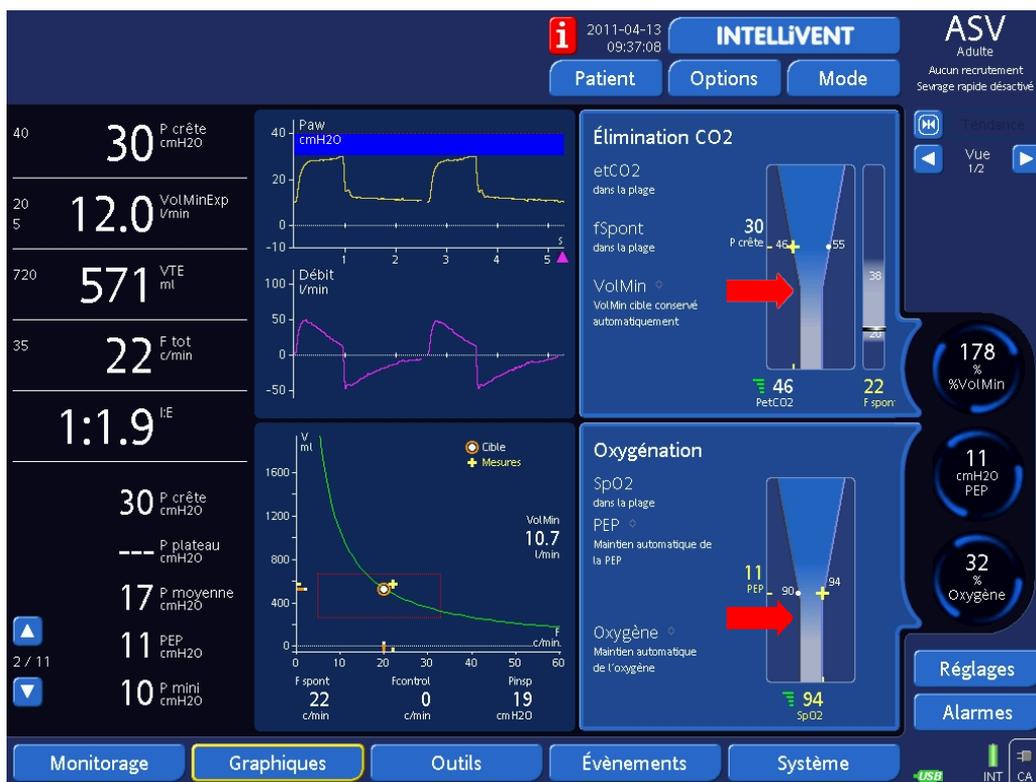
L'ASV est un mode ventilatoire qui utilise l'Aide Inspiratoire et une boucle d'asservissement élaborée sur les travaux d'Otis^{13,14}, selon lesquels pour chaque valeur de ventilation minute, il existe une combinaison optimale VT x FR nécessitant le moins de travail ventilatoire (il est moins « fatiguant » de respirer à 500 mL x 15 c/min qu'à 250 mL x 30 c/min). L'ASV a donc plusieurs objectifs : obtenir les paramètres ventilatoires qui permettent en théorie le travail respiratoire le plus faible, limiter l'hyperinflation dynamique et la PEP intrinsèque¹⁵ et rester dans des limites de sécurité en termes de pression ou de volume. Les réglages du respirateur nécessitent trois données déterminées par le clinicien: le poids idéal du patient (déterminé à partir d'une formule intégrant la taille et le sexe), le pourcentage de ventilation minute minimale souhaité liée au poids (une ventilation normale est de 100 mL/kg de poids/min : par exemple la ventilation à 100 % d'un adulte dont le poids idéal est de 70 kg sera de 7 L/min), et la limite de pression à ne pas dépasser (pression de sécurité). Le respirateur délivre ensuite cinq cycles tests à des fréquences de 10 à 15 c/min et une pression de 15 cmH₂O au-dessus du niveau de PEP réglé. Il mesure ensuite la compliance dynamique, la fréquence respiratoire, le volume courant, et la constante de temps expiratoire. Dès lors, le programme du respirateur génère un niveau de pression pour induire le volume courant cible, sans distension, ni respiration superficielle. Le respirateur détermine un « cadre de sécurité » dans lequel le point formé par la combinaison fréquence-volume courant peut se déplacer¹⁶. Les adaptations se font cycle à cycle. Simultanément, le niveau de pression est adapté par palier de 2 cmH₂O, pour progressivement générer le VT cible. Quand le malade n'a pas d'activité respiratoire, les cycles sont délivrés en pression contrôlée. Dès que le respirateur détecte un effort inspiratoire, le cycle est délivré en AI¹⁷. Des travaux récents ont montré que l'ASV était utilisable en pratique clinique et permettait un sevrage plus rapide en postopératoire de chirurgie récemment montré⁷ que l'ASV se comportait comme l'aide inspiratoire face à une augmentation de la demande ventilatoire.

IntelliVent® (Hamilton)

Anciennement appelé « ASV + », le mode Intellivent¹⁸ est une évolution du mode ASV sur lequel est ajoutée une autre boucle faisant varier la FiO₂ et la PEP en fonction d'un algorithme inspiré de l'ARDS Network¹⁹. L'IntelliVent est un mode récemment commercialisé qui collecte les données ventilatoires, l'EtCO₂ et la saturation en O₂ (SpO₂) pour ajuster automatiquement la ventilation minute, la FiO₂ et le niveau de PEP pour maintenir l'EtCO₂ et la SpO₂ autour de valeurs acceptables (**figure 7**). Évalué sur des patients par notre équipe, ce

mode ventilatoire permet d'améliorer le rapport PaO_2/FiO_2 et d'augmenter la variabilité respiratoire du patient^{20,21}.

Figure 7.- Capture d'écran d'un ventilateur en mode IntelliVent. De haut en bas au milieu, les courbes de pression des voies aériennes (Paw), de débit en fonction du temps, la courbe de VT en fonction de la fréquence respiratoire avec le cadre rouge représentant la zone de confort ventilatoire dans laquelle évoluent le VT et la FR du patient. De haut en bas à droite, l'affichage de la Paw en fonction de l'EtCO2 et de la PEP en fonction de la saturation. Notez les zones de travail (flèches rouges) dans lesquelles se déplacent les paramètres ventilatoires régulés par le ventilateur.



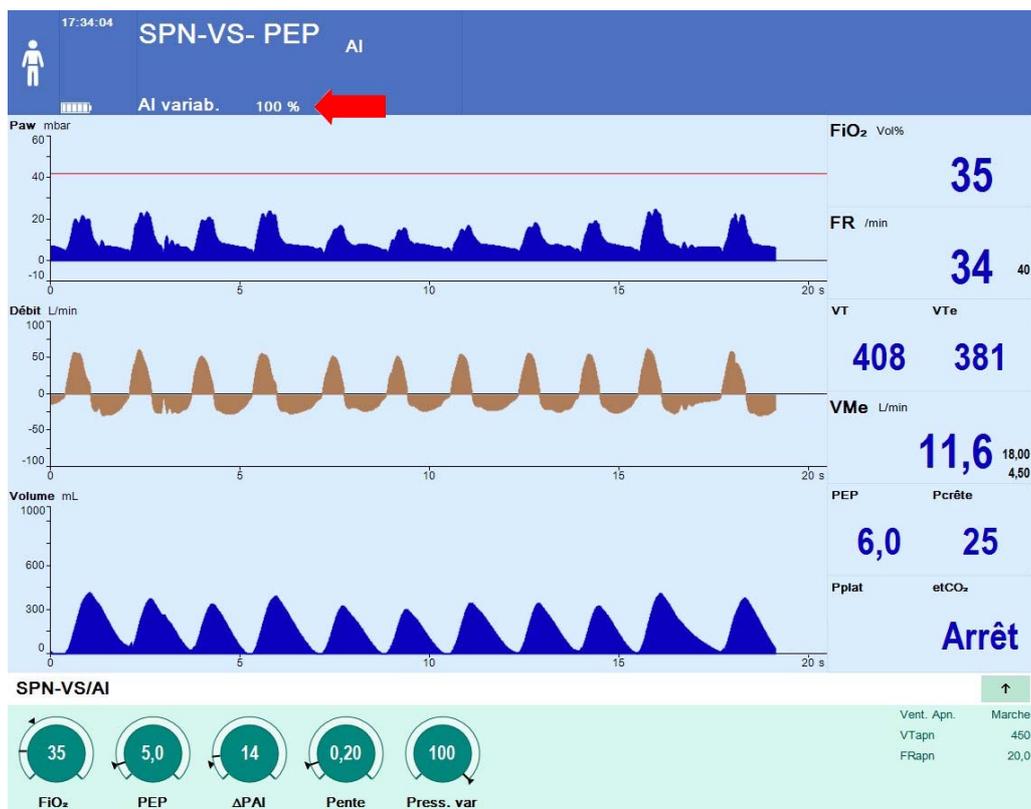
SmartCarePS® (Dräger)

Reposant sur un mode en VS-AI, le système diminue progressivement l'assistance délivrée tant que le VT, la FR et l'EtCO₂ restent dans une zone dite « de confort respiratoire »²². Après un certain temps, le système réalise automatiquement une épreuve de sevrage et en cas de réussite affiche un message suggérant que le patient peut être débranché du ventilateur. Dans une étude multicentrique randomisée, ce système expert a permis de diminuer la durée du sevrage et la durée de ventilation²³.

Variable (Noisy) PSV® (Dräger)

La Variable (ou Noisy) PSV est un mode ventilatoire récent basé sur l'AI dans lequel le niveau d'assistance délivré par le ventilateur fluctue cycle à cycle de façon aléatoire, en fonction d'un pourcentage de variabilité réglé par le médecin (entre 0 et 100 %, **figure 8**)²⁴. Une étude porcine a montré que cette variabilité imposée par le ventilateur améliorerait l'oxygénation²⁵. Des études chez l'homme sont en cours de réalisation.

Figure 8.- Capture d'écran d'un ventilateur en mode Noisy PSV avec AI variable à 100 % (flèche). De haut en bas les courbes de pression des voies aériennes (Paw), de débit et de volume en fonction du temps. Notez la variabilité cycle à cycle de la Paw et du VT résultant.



VENTILATION NON INVASIVE (VNI)

Plus qu'un mode ventilatoire, la VNI est un type de ventilation qui regroupe l'ensemble des techniques d'assistance respiratoire n'ayant pas accès aux voies aériennes inférieures par une sonde d'intubation endotrachéale ou une trachéotomie²⁶⁻²⁸. Par définition, ce type de ventilation n'est pas aussi « étanche » que la ventilation invasive, et induit des fuites au niveau de l'interface. Il faut tolérer ces fuites, et essayer de les atténuer pour que le patient puisse les supporter (gouttière en silicone entourant la sonde nasogastrique, pansement colloïdes sur l'arrête du nez...).

La VNI est classiquement divisée en 2 modalités :

- la CPAP (*Continous Positive Airway Pressure*) ou VS-PEP (Ventilation Spontanée en Pression Expiratoire Positive) encore souvent appelé par les pneumologues la PPC (Pression Positive Continue) qui est le maintien d'une pression positive tout au long du cycle respiratoire autorisant la superposition des variations habituelles de pression de la ventilation spontanée (VS).

- La VNI utilisant deux niveaux de pression qui associe une CPAP (appelé PEP dans ce cas) à une aide inspiratoire (AI) le plus souvent est appelé VS-AI+PEP ou BI-PAP pour certains ou encore IPAP + EPAP (*Inspiratory Positive Airway Pressure + Expiratory Positive Airway Pressure*).

La VNI peut utiliser les mêmes modes que la ventilation conventionnelle (mode en pression ou en débit), mais le mode ventilatoire le plus utilisé et recommandé est l'Aide Inspiratoire, car c'est le mode le plus physiologique utilisable simplement en pratique clinique à ce jour.

La VNI curative a fait la preuve de son efficacité dans différentes situations d'insuffisance respiratoire aiguë en diminuant le recours à l'intubation et en diminuant la mortalité²⁹⁻³². Ces dix dernières années, la VNI a vu ses indications s'élargir et plusieurs équipes ont rapporté des effets bénéfiques de la VNI aussi bien curative que prophylactique. La VNI fait donc aujourd'hui partie de l'arsenal thérapeutique dont dispose le clinicien pour la prise en charge des insuffisances respiratoires aiguës du préhospitalier, aux urgences en passant par les secteurs aigus de réanimation ainsi qu'en postopératoire.

La VNI ne doit être réalisée que si elle appliquée dans des secteurs disposant de l'ensemble du matériel et de l'infrastructure ainsi que des ressources humaines et de leurs compétences.

Le principal danger de la VNI est celui de la poursuite de son application chez un patient dont l'état ne s'améliore pas voire se dégrade faisant courir le risque d'un retard à l'intubation le plus souvent dans de mauvaises conditions en urgence.

CONCLUSION

La ventilation artificielle repose de nos jours sur des ventilateurs d'anesthésie et de réanimation de nouvelle génération aussi performants les uns que les autres, avec une multiplicité de modes ventilatoires à la disposition du clinicien. Si la maîtrise complète des modes de bases est indispensable (VAC, PC, VS-AI), le recours aux autres modes dits

« complexes » peut être utile dans certaines situations. Des études interventionnelles restent néanmoins nécessaires pour définir de quels avantages peuvent profiter les patients.

RÉFÉRENCES

1. Otteni JC, Beydon L, Cazalaa JB, Feiss P, Nivoche Y. Ventilateurs d'anesthésie. *Ann Fr Anesth Reanim* 1997; 16: 895-907
2. Jaber S, Tassaux D, Sebbane M, Pouzeratte Y, Battisti A, Capdevila X, Eledjam JJ, Jolliet P: Performance characteristics of five new anesthesia ventilators and four intensive care ventilators in pressure-support mode: a comparative bench study. *Anesthesiology* 2006; 105: 944-52
3. Jaber S, Langlais N, Fumagalli B, Cornec S, Beydon L, Harf A, Brochard L: Etude des performances de six nouveaux ventilateurs d'anesthésie: banc d'essai. *Ann Fr Anesth Reanim* 2000; 19: 16-22
4. Esteban A, Anzueto A, Frutos F, Alia I, Brochard L, Stewart TE, Benito S, Epstein SK, Apezteguia C, Nightingale P, Arroliga AC, Tobin MJ: Characteristics and outcomes in adult patients receiving mechanical ventilation: a 28-day international study. *JAMA* 2002; 287: 345-55
5. Esteban A, Anzueto A, Alia I, Gordo F, Apezteguia C, Palizas F, Cide D, Goldwasser R, Soto L, Bugeo G, Rodrigo C, Pimentel J, Raimondi G, Tobin MJ: How is mechanical ventilation employed in the intensive care unit? An international utilization review. *Am J Respir Crit Care Med* 2000; 161: 1450-8
6. Jaber S, Delay JM, Matecki S, Sebbane M, Eledjam JJ, Brochard L: Volume-guaranteed pressure-support ventilation facing acute changes in ventilatory demand. *Intensive Care Med* 2005; 31: 1181-8
7. Jaber S, Sebbane M, Verzilli D, Matecki S, Wysocki M, Eledjam JJ, Brochard L: Adaptive support and pressure support ventilation behavior in response to increased ventilatory demand. *Anesthesiology* 2009; 110: 620-7
8. Sinderby C, Navalesi P, Beck J, Skrobik Y, Comtois N, Friberg S, Gottfried SB, Lindstrom L: Neural control of mechanical ventilation in respiratory failure. *Nat Med* 1999; 5: 1433-6
9. Coisel Y, Chanques G, Jung B, Constantin JM, Capdevila X, Matecki S, Grasso S, Jaber S: Neurally adjusted ventilatory assist in critically ill postoperative patients: a crossover randomized study. *Anesthesiology* 2010; 113: 925-35

10. Terzi N, Piquilloud L, Roze H, Mercat A, Lofaso F, Delisle S, Jolliet P, Sottiaux T, Tassaux D, Roesler J, Demoule A, Jaber S, Mancebo J, Brochard L, Richard JC: Clinical review: Update on neurally adjusted ventilatory assist - report of a round-table conference. *Crit Care* 2012; 16: 225
11. Younes M: Proportional assist ventilation, a new approach to ventilatory support. *Theory. Am Rev Respir Dis* 1992; 145: 114-120
12. Wysocki M, Jouviet P, Jaber S: Closed loop mechanical ventilation. *J Clin Monit Comput* 2013
13. Brunner J: Principles and history of closed-loop controlled ventilation. *Respir Care Clin N Am* 2001; 7: 341-362
14. Otis A: The work of breathing. In: Fenn WO and Rahn H, editors. *Handbook of Physiology. Section 3: Respiration*. Washington DC: American Physiological Society; 1964:463-476. Fenn WO and Rahn H, editors. *Handbook of Physiology. Section 3: Respiration*. Washington DC: American Physiological Society 1964: 463-476.
15. Jaber S, Sebbane M, Chanques G, Eledjam JJ: Pression expiratoire positive et pression expiratoire positive intrinsèque dans les modes ventilatoires assistés. *Réanimation* 2006; 15: 81-86
16. Tassaux D, Dalmas E, Gratadour P, Jolliet P: Patient-ventilator interactions during partial ventilatory support: a preliminary study comparing the effects of adaptive support ventilation with synchronized intermittent mandatory ventilation plus inspiratory pressure support. *Crit Care Med* 2002; 30: 801-7
17. Arnal JM, Wysocki M, Nafati C, Donati S, Granier I, Corno G, Durand-Gasselín J: Automatic selection of breathing pattern using adaptive support ventilation. *Intensive Care Med* 2008; 34: 75-81
18. Arnal JM, Wysocki M, Novotni D, Demory D, Lopez R, Donati S, Granier I, Corno G, Durand-Gasselín J: Safety and efficacy of a fully closed-loop control ventilation (IntelliVent-ASV®) in sedated ICU patients with acute respiratory failure: a prospective randomized crossover study. *Intensive Care Med* 2012;38:781-7.
19. Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome. The Acute Respiratory Distress Syndrome Network. *N Engl J Med* 2000; 342: 1301-8
20. Clavieras N, Wysocki M, Coisel Y, Galia F, Conseil M, Chanques G, Jung B, Arnal JM, Matecki S, Molinari N, Jaber S: Prospective Randomized Crossover Study of a New

Closed-loop Control System versus Pressure Support during Weaning from Mechanical Ventilation. *Anesthesiology* 2013;119:631-41.

21. Lellouche F, Bouchard PA, Simard S, L'Her E, Wysocki M: Evaluation of fully automated ventilation: a randomized controlled study in post-cardiac surgery patients. *Intensive Care Med* 2013; 39: 463-71
22. Dojat M, Harf A, Touchard D, Lemaire F, Brochard L: Clinical evaluation of a computer-controlled pressure support mode. *Am J Respir Crit Care Med* 2000; 161: 1161-6
23. Lellouche F, Mancebo J, Jolliet P, Roeseler J, Schortgen F, Dojat M, Cabello B, Bouadma L, Rodriguez P, Maggiore S, Reynaert M, Mersmann S, Brochard L: A multicenter randomized trial of computer-driven protocolized weaning from mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 2006; 174: 894-900
24. Gama de Abreu M, Spieth PM, Pelosi P, Carvalho AR, Walter C, Schreiber-Ferstl A, Aikele P, Neykova B, Hubler M, Koch T: Noisy pressure support ventilation: a pilot study on a new assisted ventilation mode in experimental lung injury. *Crit Care Med* 2008; 36: 818-27
25. Carvalho AR, Spieth PM, Guldner A, Cuevas M, Carvalho NC, Beda A, Spieth S, Stroczyński C, Wiedemann B, Koch T, Pelosi P, de Abreu MG: Distribution of regional lung aeration and perfusion during conventional and noisy pressure support ventilation in experimental lung injury. *J Appl Physiol* 2011; 110: 1083-92
26. International Consensus Conferences in Intensive Care Medicine: Noninvasive Positive Pressure Ventilation in Acute Respiratory Failure. *Am J Respir Crit Care Med* 2001; 163: 283-291
27. Jaber S: La ventilation non invasive post-opératoire. Conférence de Consensus Commune SFAR, SPLF, SRLF Réanimation 2006: 97-103
28. Robert R, Bengler C, Beuret P, Dureuil B, Géhan G, Joye F, et al: Ventilation non invasive au cours de l'insuffisance respiratoire aiguë (nouveau-né exclu). Conférence de Consensus Commune SFAR, SPLF, SRLF 2006 :13-20. *Réanimation* 2006: 13-20
29. Chanques G, Jaber S, Delay J, Lefrant J, Perrigault P, Eledjam J: Enquête téléphonique sur la pratique postopératoire de la ventilation non invasive et ses modalités d'application. *Ann F Anest Réa* 2003; 22: 879-885
30. Jaber S, Delay J, Sebbane M, Chanques G, Jacquet E, Souche B, Perrigault P, Eledjam J: Outcomes of patients with acute respiratory failure after abdominal surgery treated with noninvasive positive-pressure ventilation. *Chest* 2005; 128: 2688-2695

31. Jaber S, Chanques G, Sebbane M, Salhi F, Delay J, Perrigault P, Eledjam J: Noninvasive positive pressure ventilation in patients with respiratory failure due to severe acute pancreatitis. *Respiration* 2005; 73: 166-172
32. Chanques G, Jaber S, Delay JM, Perrigault PF, Lefrant JY, Eledjam JJ: [Phoning study about postoperative practice and application of non-invasive ventilation]. *Ann Fr Anesth Reanim* 2003; 22: 879-85