



Disponible en ligne sur  
**SciVerse ScienceDirect**  
[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

Elsevier Masson France  
**EM|consulte**  
[www.em-consulte.com](http://www.em-consulte.com)



REVUE GÉNÉRALE

# Modes ventilatoires et réglages en ventilation non invasive : retentissement sur les événements respiratoires et implications dans leur identification ☆,☆☆,☆☆☆

Ventilator modes and settings during non-invasive ventilation: Effects on respiratory events and implications for their identification

C. Rabec<sup>a,\*</sup>, D. Rodenstein<sup>b</sup>, P. Leger<sup>c</sup>,  
S. Rouault<sup>d</sup>, C. Perrin<sup>e</sup>, J. Gonzalez-Bermejo<sup>f</sup>,  
pour le groupe SomnoVNI

<sup>a</sup> Service de pneumologie et réanimation respiratoire, CHU de Dijon, 2, boulevard du Maréchal-de-Lattre-de-Tassigny, 21079 Dijon, France

<sup>b</sup> Service de pneumologie, cliniques universitaires Saint-Luc, université de Louvain, avenue Hippocrate 10, 1200 Bruxelles, Belgique

<sup>c</sup> Service de pneumologie, centre hospitalier Lyon Sud, chemin du Grand-Revoyet, 69495 Pierre-Bénite, Lyon, France

<sup>d</sup> ADEP Assistance, 2, rue Benoît-Malon, 92150 Suresnes, France

☆ Ce texte est la traduction française de l'article « Rabec C, Rodenstein D, Leger P, Rouault S, Perrin C, Gonzalez-Bermejo J; SomnoNIV group. Ventilator modes and settings during non-invasive ventilation: effects on respiratory events and implications for their identification. Thorax 2011;66:170–8 ». Il est publié avec l'autorisation du BMJ Publishing Group Ltd le 22 février 2013 avec également autorisation pour sa mise en ligne. Le BMJ Publishing Group Ltd conserve l'intégralité des droits d'auteurs. Traduction du document original : Rouault S. Relecture et édition: Rabec C. Traduction réalisée sans soutien financier.

☆☆ Toute référence au présent document doit être libellée de la façon suivante : « Rabec C, Rodenstein D, Leger P, Rouault S, Perrin C, Gonzalez-Bermejo J pour le groupe SomnoVNI. Modes ventilatoires et réglages en ventilation non invasive : retentissement sur les événements respiratoires et implications dans leur identification. Rev Mal Respir 2013, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmr.2013.08.001> ». Il est obligatoire de co-citer la version originale dans le texte, sous la forme suivante : « Rabec C, Rodenstein D, Leger P, Rouault S, Perrin C, Gonzalez-Bermejo J; SomnoNIV group. Ventilator modes and settings during non-invasive ventilation: effects on respiratory events and implications for their identification. Thorax 2011;66:170–8 ».

☆☆☆ Reproduced from "Rabec C, Rodenstein D, Leger P, Rouault S, Perrin C, Gonzalez-Bermejo J; SomnoNIV group. Ventilator modes and settings during non-invasive ventilation: effects on respiratory events and implications for their identification. Thorax 2011;66:170–8 [PMID: 20947891]" with permission from BMJ Publishing Group Ltd.

\* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : [claudio.rabec@chu-dijon.fr](mailto:claudio.rabec@chu-dijon.fr) (C. Rabec).

0761-8425/\$ – see front matter © 2013 SPLF. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.rmr.2013.08.001>

Pour citer cet article : Rabec C, et al. Modes ventilatoires et réglages en ventilation non invasive : retentissement sur les événements respiratoires et implications dans leur identification. Revue des Maladies Respiratoires (2013), <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmr.2013.08.001>

<sup>e</sup> Service de pneumologie, centre hospitalier de Cannes, 15, avenue des Broussailles, 06400 Cannes, France

<sup>f</sup> Service de pneumologie et réanimation respiratoire, hôpital de la Pitié-Salpêtrière, 47-83, boulevard de l'Hôpital, 75013 Paris, France

Reçu le 8 mars 2013 ; accepté le 22 mai 2013

## MOTS CLÉS

Ventilation non invasive ;  
Modes ventilatoires ;  
Ventilation nasale à double niveau de pression ;  
Insuffisance respiratoire ;  
Monitoring

## KEYWORDS

Non-invasive ventilation;  
Ventilatory modes;  
Bi-level ventilation;  
Respiratory failure;  
Monitoring

**Résumé** Comparé au mode invasif, la ventilation non invasive (VNI) a deux caractéristiques : sa nature non hermétique et le fait que le couple poumon–ventilateur ne peut pas être considéré comme un modèle à un seul compartiment de par l'interposition de la voie aérienne supérieure (VAS). À l'initiation de la VNI, les réglages du ventilateur sont déterminés sur la clinique et les variations de la gazométrie diurne. Cependant la VNI s'applique principalement pendant le sommeil, et une évaluation nocturne est nécessaire pour estimer la « bonne entente » patient–ventilateur. Le monitoring le plus avéré est apporté par les courbes de débit et pression au masque. Cependant, la VNI permet une large gamme de réglages. Il est nécessaire de les connaître pour comprendre l'interaction patient–ventilateur. Le mode ventilatoire, le type de déclenchement, la pente, l'utilisation d'une pression positive expiratoire et le type d'exhalation mais aussi les performances du ventilateur peuvent avoir des retentissements. Des fuites et des variations de résistance des VAS peuvent aussi modifier ces courbes. Cet article discute du matériel disponible pour la VNI, analyse l'effet des modes ventilatoires, réglages et systèmes d'exhalation sur les tracés. Son but : donner les bases nécessaires pour comprendre leur impact sur le monitoring de la VNI.

© 2013 SPLF. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

**Summary** Compared with invasive ventilation, non-invasive ventilation (NIV) has two unique characteristics: its non-hermetic nature and the fact that the ventilator–lung assembly cannot be considered as a single-compartment model because of the presence of variable resistance represented by the upper airways. When NIV is initiated, the ventilator settings are determined empirically based on clinical evaluation and blood gas variations. However, NIV is predominantly applied during sleep. Consequently, to assess overnight patient–machine “agreement” and efficacy of ventilation, more specific and sophisticated monitoring is needed. The effectiveness of NIV might therefore be more correctly assessed by sleep studies than by daytime assessment. The simplest monitoring can be done from flow and pressure curves from the mask or the ventilator circuit. Examination of these tracings can give useful information to evaluate if the settings chosen by the operator were the right ones for that patient. However, as NIV allows a large range of ventilatory parameters and settings, it is mandatory to have information about this to better understand patient–ventilator interaction. Ventilatory modality, mode of triggering, pressurization slope, use or not of positive end expiratory pressure and type of exhalation as well as ventilator performances may all have physiological consequences. Leaks and upper airway resistance variations may, in turn, modify these patterns. This article discusses the equipment available for NIV, analyses the effect of different ventilator modes and settings and of exhalation and connecting circuits on ventilatory traces and gives the background necessary to understand their impact on nocturnal monitoring of NIV.

© 2013 SPLF. Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Depuis les premières études au début des années 1980 montrant l'utilité de la ventilation non invasive (VNI) dans la prise en charge de certains types d'insuffisance respiratoire [1–4], le nombre de patients traités par cette méthode n'a cessé d'augmenter aussi bien en aigu qu'à domicile. Ceci s'explique par le nombre croissant d'indications pour lesquelles l'efficacité de la VNI a été démontrée, mais aussi par des grandes avancées technologiques conduisant à la mise à disposition de ventilateurs portables très performants ainsi qu'au développement d'une infrastructure d'assistance technique [5].

Lors de la mise en route de la VNI, il paraît souhaitable de vérifier l'efficacité de ce traitement et l'absence d'effets indésirables. Puisque la VNI est appliquée principalement la nuit, le monitoring nocturne semble le meilleur moyen d'évaluer son efficacité. Or, alors que le monitoring nocturne de la pression positive continue (PPC) pour les patients porteurs d'un syndrome d'apnées du sommeil est bien codifié [6], ceci n'est pas le cas pour la VNI [7,8]. Ceci peut être probablement expliqué par le fait que le monitoring de la VNI reste un enjeu pour plusieurs raisons :

- le sommeil peut induire de profonds changements ventilatoires, en particulier chez les insuffisants respiratoires ;
- ces changements ventilatoires sont également exacerbés par les interactions avec les réglages de la machine, le ventilateur lui-même pouvant perturber le sommeil ;
- les outils pour évaluer l'efficacité de la VNI varient grandement suivant les équipes ayant en charge ces patients, allant de la simple gazométrie à l'enregistrement polysomnographique complet.

La difficulté est accrue par le fait que les ventilateurs à régulation de volume et de pression vont répondre différemment dans certaines situations. De même, le type de masque utilisé aura des effets différents sur les paramètres de monitoring [9]. La sémiologie des événements respiratoires anormaux durant le sommeil peut donc complètement varier selon la technologie utilisée. La cinétique de la pression et du débit diffère également de manière sensible selon les différents types de ventilateurs disponibles à domicile.

Cet article traitera des différents équipements disponibles pour la VNI, en particulier les types de ventilateurs, les modes et les réglages. Son but est de donner les bases nécessaires pour comprendre leur impact sur le monitoring nocturne de la VNI.

## Aspects de particulière importance en VNI : fuites, résistance des voies aériennes supérieures, type de circuit utilisé et caractéristiques des ventilateurs

Par rapport à la ventilation invasive, la VNI a deux caractéristiques particulières : la nature non hermétique du système qui pose le risque potentiel des fuites non intentionnelles et le fait que le système poumon-ventilateur ne puisse pas être considéré comme un modèle à un simple compartiment en raison de la présence d'une résistance variable représentée par les voies aériennes supérieures (VAS). Ces deux situations peuvent compromettre la délivrance par le ventilateur d'un volume courant efficace. En conséquence, augmenter le volume ou la pression inspiratoire pendant la VNI ne résulte pas forcément en une augmentation efficace de la ventilation atteignant les poumons [10]. Quand on monitoré la VNI à l'aide des courbes de débit ou de pression, ces deux particularités ont une influence majeure sur l'aspect des tracés.

### Influence des fuites non intentionnelles

Les fuites non intentionnelles sont très fréquentes en VNI [11,12]. Si elles peuvent être absentes ou minimales quand le patient est éveillé, elles risquent de s'aggraver pendant le sommeil comme conséquence d'une perte du contrôle volontaire et une diminution du tonus musculaire. Les fuites peuvent avoir lieu par la bouche ou dans l'interface entre la peau et le masque, mais de l'air peut aussi être contenu dans le réservoir oropharyngé et même passer dans le tractus digestif (« fuites internes ») [13].

Les fuites peuvent altérer à la fois la qualité de la ventilation et du sommeil. Elles peuvent affecter le déclenchement

du ventilateur, le niveau de pression atteint, le volume délivré, la vitesse de montée en pression et le cyclage, mais aussi induire une fragmentation du sommeil.

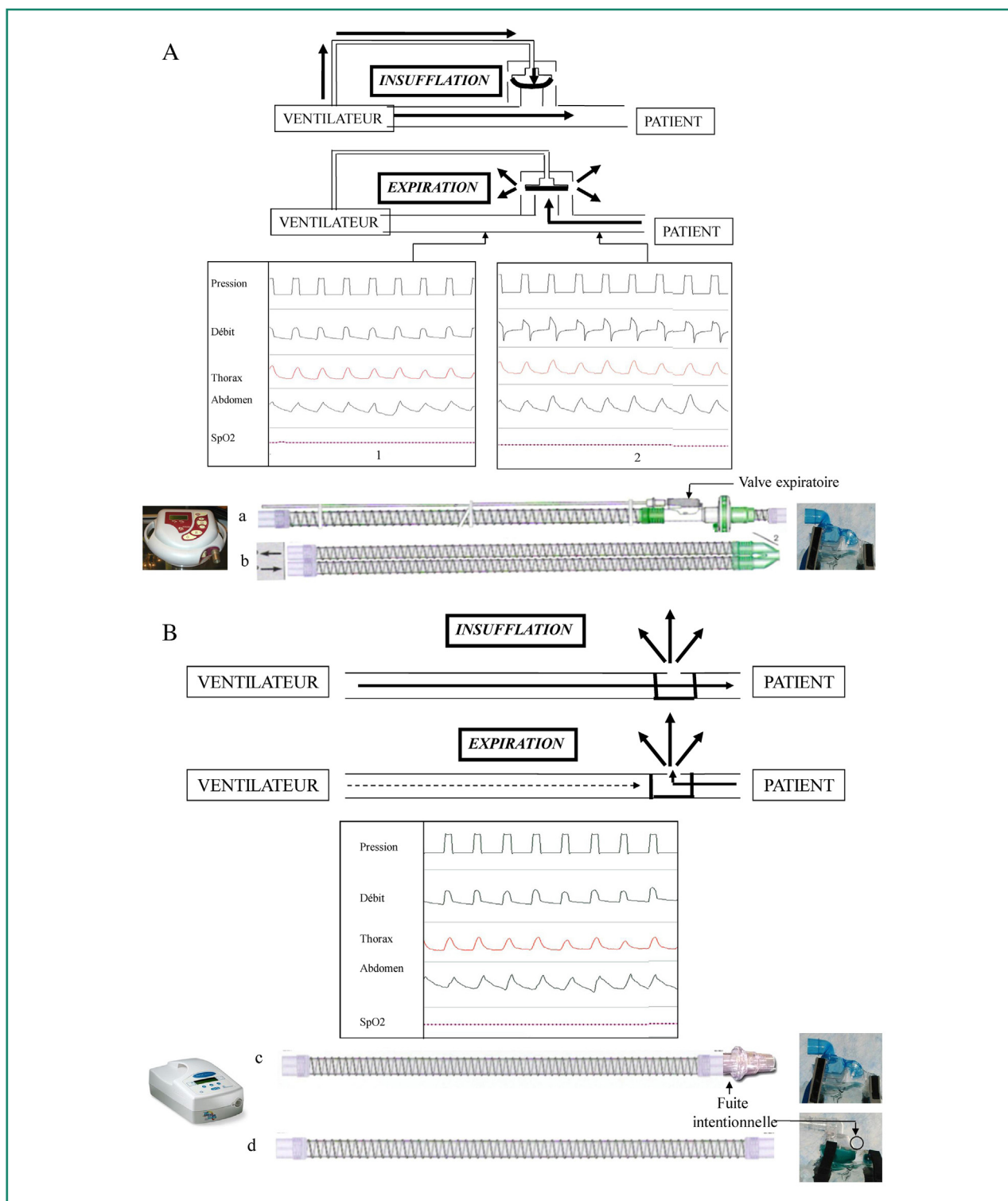
### Influence des voies aériennes supérieures

À la différence de la ventilation invasive, lorsqu'on applique une VNI, une résistance variable constituée par les voies aériennes supérieures (VAS) s'interpose entre le ventilateur et les poumons. De la sorte, les VAS peuvent changer leur résistance au flux aérien, compromettant la délivrance d'un volume courant efficace aux poumons. Les épisodes d'obstruction dynamique des VAS sont un fait fréquent en VNI. Ils peuvent répondre à deux mécanismes différents. Le premier correspond aux événements obstructifs au niveau oropharyngé en raison d'un collapsus résultant d'une pression expiratoire réglée en dessous de la pression critique de fermeture de la VAS. Ce mécanisme peut être présent chez les patients avec des VAS instables [14]. Un autre mécanisme correspond à des épisodes d'obstruction intermittente à l'étage glottique, reflétant une fermeture glottique cyclique induite par l'hyperventilation, une sorte de réaction de « résistance réflexe à la ventilation » [15–18].

### Influence du type d'évacuation des gaz expirés et du circuit

Alors que les ventilateurs de réanimation utilisent un double circuit avec valve expiratoire intégrée, deux différents types de circuit peuvent être utilisés en VNI. Le premier utilise un montage identique à celui utilisé sur les machines de réanimation avec soit un circuit simple, soit un circuit double, mais dans les deux cas l'inspiration et l'expiration sont séparées, utilisant une vraie valve expiratoire. Avec ce type de montage, la réinhalation du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) n'est pas un problème significatif (Fig. 1A). Un deuxième type de montage n'a pas de vraie valve expiratoire mais utilise un circuit simple avec un risque de réinhalation. Pour éviter la réinhalation, ce système inclut une fuite calibrée (appelée fuite intentionnelle) soit au niveau du masque, soit sur le circuit (Fig. 1B). Les ventilateurs à régulation de pression avec circuit simple incluant une fuite calibrée (appelé ventilateurs à deux niveaux de pression) sont actuellement le plus souvent utilisés pour la VNI. Dans ces appareils, on règle indépendamment une pression inspiratoire positive (PIP) et une pression expiratoire positive (PEP). Avec ces machines, un niveau minimum de 4 cm H<sub>2</sub>O de PEP est nécessaire pour assurer le rinçage efficace du CO<sub>2</sub> [20]. De façon intéressante, une étude récente a montré que la position de la fuite intentionnelle influençait la réinhalation du CO<sub>2</sub> avec une plus grande efficacité du rinçage quand la fuite est située au niveau du masque [21].

Quand on monitoré la VNI par polygraphie, le type de évacuation des gaz utilisé et la position du capteur de débit (en rapport avec le système expiratoire) ont tous les deux une grande influence sur les tracés ventilatoires. Les tracés typiques de ces différents montages peuvent être vus dans les Fig. 1A et B.



**Figure 1.** Types de circuits utilisés en ventilation non invasive (VNI) avec (A) une valve expiratoire et (B) une fuite intentionnelle, et tracés typiques obtenus avec ces différents montages. Noter que quand un circuit avec valve expiratoire est utilisé, la valve expiratoire peut être interposée dans le circuit (circuit simple) (a) ou incluse dans le ventilateur (double circuit) (b) ; alors que quand un circuit simple avec fuite intentionnelle est utilisé, la fuite peut être interposée dans le circuit (c) ou incorporée au masque (d). Les courbes de débit peuvent être influencées par le type de circuit utilisé, mais aussi par la position du pneumotachographe par rapport au système expiratoire. Dans le cas d'un double circuit avec valve expiratoire, la partie expiratoire de la courbe reflète le volume expiré seulement quand le capteur de débit est interposé entre le masque et le système d'évacuation des gaz expirés (tracé 2a), mais pas quand il est placé à distance de la valve expiratoire (tracé 1a). D'un autre côté, quand on utilise un circuit simple avec une fuite intentionnelle, la partie expiratoire de la courbe ne reflète pas le volume courant expiré et peut être absente (b). Dans ce cas, la position du pneumotachographe par rapport au dispositif de fuite ne change pas significativement la partie expiratoire de la courbe. Modifié de Perrin et al. [19] avec accord de l'auteur.

## Influence du ventilateur : appareils de réanimation versus appareils de domicile

Les ventilateurs de réanimation aussi bien que ceux de domicile peuvent être utilisés pour la VNI. La caractéristique principale qui les différencie est que pour les premiers la pression est générée par un gaz comprimé alors que pour les deuxièmes, les appareils contiennent leur propre générateur de pression. Néanmoins, comme le type de support ventilatoire qu'ils produisent est identique, cette différence a peu d'influence sur les tracés polygraphiques. Ainsi, pour le monitoring de la VNI, les tracés ventilatoires auront le même aspect quel que soit le type d'appareil de pression positive utilisé.

## Modes ventilatoires et réglages : quels noms leur donner ?

Dans les débuts de la VNI, il y avait un nombre très limité de modalités et de types de ventilateurs avec très peu de possibilités de réglages. Or, à ce jour, nous comptons plus de 30 modèles offrant de nombreuses options de réglages [22]. De plus, les ventilateurs ne sont pas soumis à une régulation médicale rigoureuse. Cela laisse les constructeurs libres de donner différents noms à des modalités ventilatoires et des réglages parfois identiques, et même à « créer » de nouvelles modalités qui souvent ne correspondent qu'à de petites modifications d'une catégorie connue. Cela explique la large variété de l'actuelle terminologie pour décrire les modalités utilisées pour la VNI.

## Influence du mode ventilatoire

En théorie, la VNI pourrait être délivrée en utilisant toutes les modalités disponibles en ventilation invasive mais, dans la vraie vie, la plupart des ventilateurs utilisés en VNI délivrent une ventilation soit à régulation de volume, soit à régulation de pression. Parce que la place d'autres modalités anecdotiques proposées par certains appareils de VNI, telles que la ventilation assistée contrôlée intermittente ou d'autres modalités « hybrides » n'est pas encore bien définie, ce texte se concentrera principalement sur les deux modalités citées précédemment.

### Ventilation à régulation de volume (VRV)

Dans cette modalité le ventilateur délivre un volume fixe durant un temps donné et générera la pression nécessaire pour l'obtenir, ceci sans tenir compte de la participation du patient à la ventilation. La pression dans les voies aériennes (Pva) n'est pas constante et résulte de l'interaction entre les réglages du ventilateur, la compliance (C) et la résistance (R) du système respiratoire et l'effort inspiratoire du patient (Fig. 2). Il faut insister sur le fait que tout effort inspiratoire supplémentaire du patient ne conduira pas à une augmentation des volumes ou débits délivrés mais seulement à une diminution de la Pva. Comme chaque respiration est délivrée avec le même profil débit-temps prédéterminé et comme l'aire sous la courbe débit-temps définit le volume, l'avantage de cette modalité est la délivrance stricte, en l'absence de fuites, du volume pré-réglé quelles que soient les valeurs de C et de R. Un inconvénient majeur

de la ventilation à régulation de volume est que, du fait de la délivrance d'un volume fixe, ce type d'assistance ventilatoire ne permet pas de répondre aux variations de besoin des patients. Un autre inconvénient est que, en présence d'une fuite, le système ne sera pas capable d'augmenter le débit délivré pour la compenser et donc la pression générée va baisser, entraînant une baisse proportionnelle du volume délivré au patient.

### Ventilation à régulation de pression (VRP)

Dans cette modalité, le ventilateur est réglé pour délivrer un débit d'air grâce à une pression positive prédéfinie dans les voies aériennes en un temps donné. Le débit est donc ajusté afin de pouvoir maintenir une Pva constante. L'analyse permanente du débit et de la Pva va permettre de déterminer les variations de débit nécessaires pour maintenir une forme carrée de la courbe de pression. Le débit augmente rapidement au début de l'inspiration au moment où le gradient entre la pression dans le circuit et la pression-cible est maximale, alors qu'au fur et à mesure que le gradient diminue, le débit ralentit jusqu'au moment où la pression cible est atteinte et le débit s'arrête (Fig. 2).

Par conséquent, pour un patient donné, le volume délivré n'est pas fixe et dépendra de l'interaction entre la pression pré-réglée, l'effort inspiratoire du patient, les caractéristiques physiques du système respiratoire (C et R) et le temps inspiratoire. Un avantage important de VRP est sa capacité à compenser des fuites minimales ou modérées.

Une analyse comparative des deux modalités et les aspects des débits et pressions correspondants est résumé dans le Tableau 1.

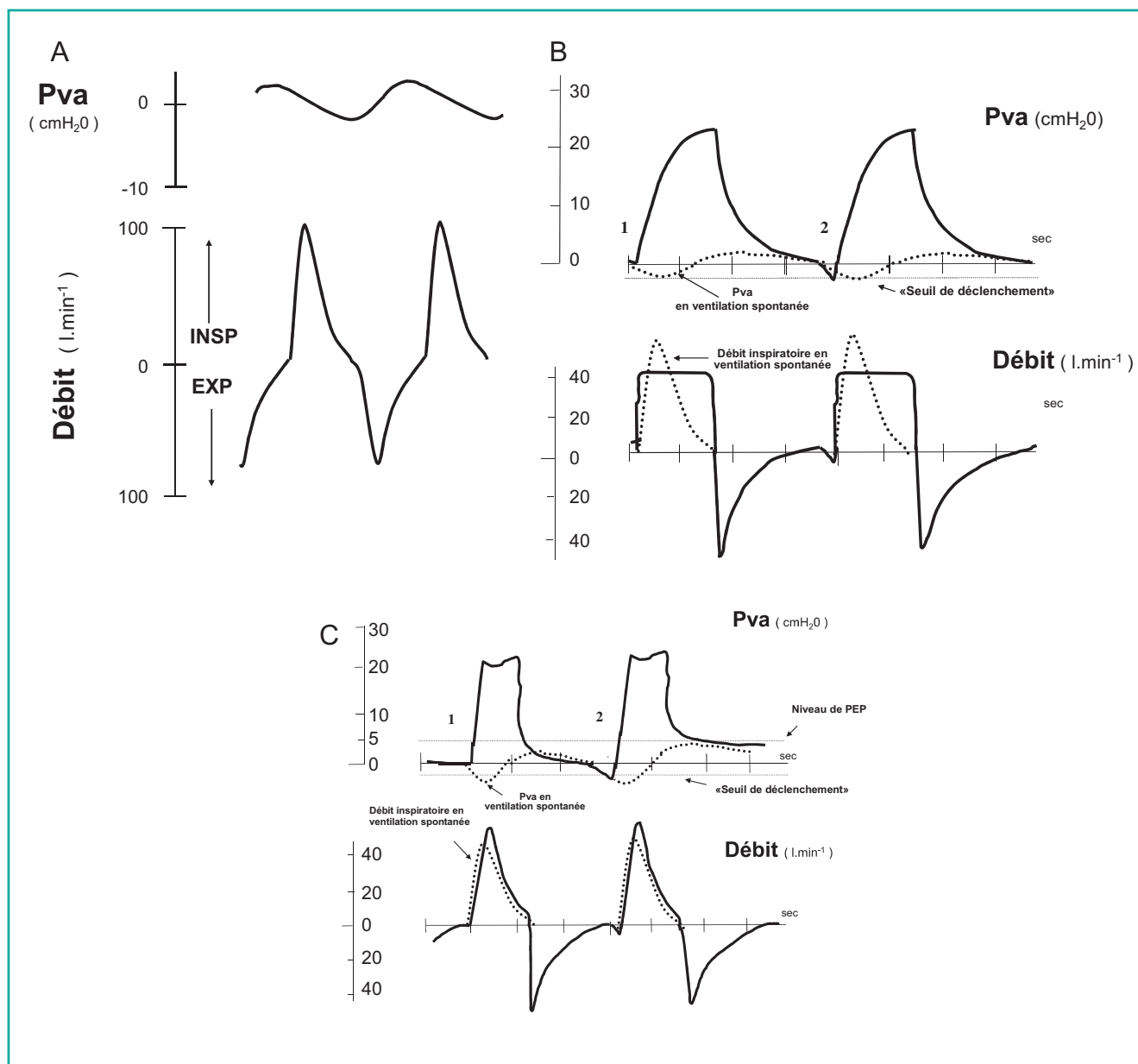
### Ventilation à régulation de pression avec volume cible

Une des limites de la ventilation à régulation de pression est qu'elle n'est pas en mesure de garantir un volume courant fixe. Le mode à régulation de pression avec volume cible, disponible sur certains nouveaux ventilateurs, pourrait permettre de surmonter cette limitation. Ce mode hybride combine des caractéristiques des ventilations à régulation de volume et de pression. Le ventilateur est capable d'estimer le volume courant délivré et d'ajuster ses paramètres pour assurer un volume courant cible prédéterminé. Certains ventilateurs ajustent le volume cible à l'intérieur de chaque cycle (chaque respiration démarre comme une respiration à pression limitée et si le volume courant fixé n'est pas atteint, le cycle est converti en un mode cyclé par débit en prolongeant le temps inspiratoire), mais la plupart d'entre eux ajustent progressivement le niveau de pression au cours de quelques cycles pour produire un volume courant aussi proche que possible du volume cible réglé par le médecin.

Il n'est pas encore établi avec certitude que cette caractéristique améliore l'efficacité de la ventilation [23,24]. Différents algorithmes utilisés pour fournir un volume-cible sont exposés dans la Fig. 3.

### Nouveaux modes ventilatoires : coupler physiologie et pratique ?

Les modes conventionnels délivrent des niveaux de pression ou des volumes fixes. Certains modes récents font appel



**Figure 2.** Débit et pression au masque pendant (A) une respiration spontanée, (B) une ventilation à régulation de volume, (C) une ventilation à régulation de pression (1 cycle contrôlé, 2 cycle assisté). En (B) et (C), les lignes pointillées représentent les tracés de la respiration spontanée représentée en (A). Pva, pression dans les voies aériennes, PEP, pression positive de fin d'expiration.





à la physiologie en délivrant une assistance ventilatoire proportionnelle au signal inspiratoire spontané provenant du patient. Cela est supposé améliorer le synchronisme patient-ventilateur.

Un de ces modes, la ventilation assistée proportionnelle (VAP), fournit une assistance inspiratoire proportionnelle au débit inspiratoire du patient. Si le débit du patient augmente, l'assistance augmente proportionnellement. Le degré « d'amplification » de cette assistance est déterminé par le praticien en se basant sur des estimations de la résistance et de la C du patient [25]. Même si, en théorie, la VAP semble une modalité attractive sur le plan physiologique, des études cliniques aussi bien en ventilation invasive qu'en VNI n'ont pas réussi à démontrer clairement un quelconque

avantage de ce mode par rapport aux modes conventionnels [26–29].

L'autre mode appelé neuroasservissement de la ventilation assistée (*neurally-adjusted ventilatory assist* [NAVA]), repose sur l'EMG du diaphragme enregistré à partir d'électrodes œsophagiennes. Par conséquent, l'assistance ventilatoire n'est pas influencée par des facteurs tels que la résistance des voies aériennes, l'élastance, la pression positive intrinsèque de fin d'expiration (PEPi) ou des fuites [30]. Cette modalité, disponible uniquement sur les ventilateurs de réanimation, n'a été testée que sur des patients en ventilation invasive. Comme il y a très peu de données sur l'application de la NAVA, son impact clinique ne peut être actuellement évalué.

**Tableau 1** Comparaison entre les ventilateurs à régulation de pression et à régulation de volume.

	Régulation de volume	Régulation de pression
Aspect de la courbe de pression		
Aspect de la courbe de débit		
Type d'assistance ventilatoire délivrée	Volume fixe quels que soient les changements de résistance (R) ou de compliance (C)	Pression fixe. Le volume courant peut varier avec les changements de C ou R
Variable contrôlée	Maintient un débit inspiratoire constant	Maintient une pression inspiratoire constante
Ajustement cycle à cycle	Impossible : le ventilateur délivre une assistance ventilatoire fixe	Possible : le débit et le volume peuvent varier sur la base du cycle à cycle
Possibilité de garantir un volume courant délivré fixe	Oui (en l'absence de fuites)	Non
Pic de pression dans les voies aériennes	Non limité <sup>a</sup>	Limité (utile chez les patients à risque de barotraumatisme ou de distension gastrique)
Compensation de fuite	Pauvre, des fuites peuvent réduire significativement le volume délivré et induire une hypoventilation	Bonne pour des fuites légères ou modérées

<sup>a</sup> Sauf si la pression atteint la limite de sécurité prédéterminée de haute pression

## Influence du cyclage du ventilateur : qui contrôle le ventilateur et qui contrôle la ventilation ?

Un paramétrage approprié est décisif pour obtenir une synchronisation optimale patient-ventilateur [8]. Lors d'une assistance ventilatoire mécanique deux pompes sont censées fournir le travail ventilatoire en même temps : d'un côté le ventilateur, de l'autre les muscles respiratoires du patient. Ces deux pompes doivent fonctionner en harmonie mais, dans la réalité, elles peuvent interagir de plusieurs façons dont certaines créeront des problèmes plutôt qu'elles ne les résoudront. De ce fait, une asynchronie patient-ventilateur est un constat fréquent chez les patients sous VNI [31,32]. Des asynchronies peuvent survenir à deux niveaux : pendant le déclenchement inspiratoire comme conséquence d'un désaccord entre l'effort inspiratoire du patient et le déclenchement du ventilateur (par exemple, effort inspiratoire inefficace, double déclenchement ou autodéclenchement), ou pendant le passage de l'inspiration à l'expiration, quand le cyclage du ventilateur ne coïncide pas avec la fin de l'effort du patient (par exemple, cyclage prématuré ou retardé) [32].

Une approche la plus logique pour expliquer comment un ventilateur agit et interagit avec les patients est d'analyser les différentes phases d'un cycle ventilatoire en ventilation à régulation de pression (Fig. 4).

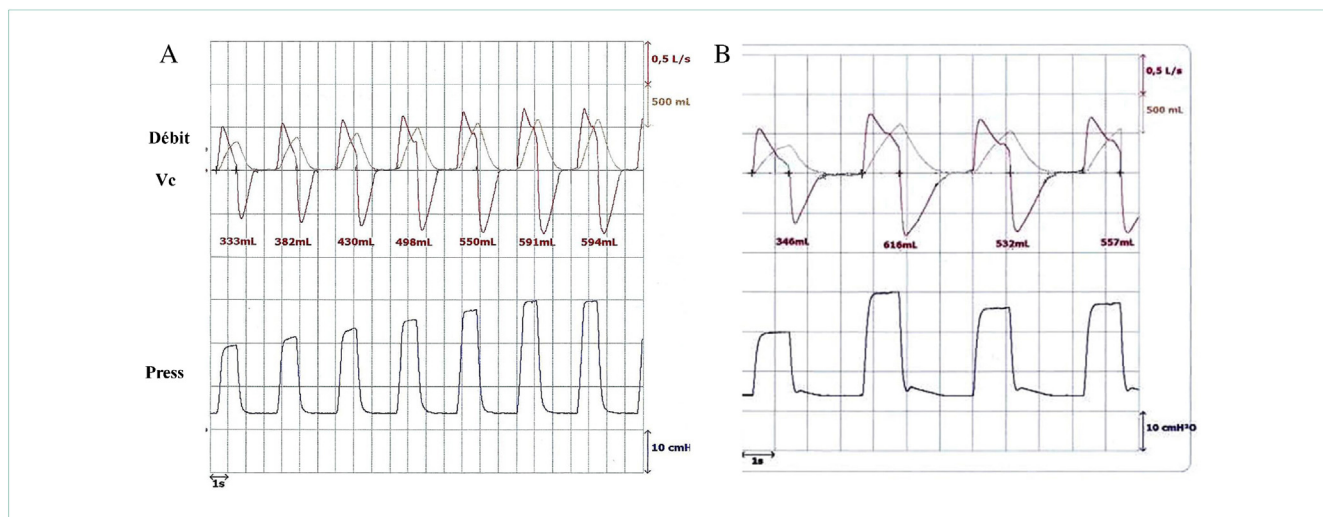
Nous commencerons cette partie en reprenant les modes de déclenchement et de cyclage qui correspondent, respectivement, à comment l'inspiration et l'expiration débutent et s'arrêtent.

### Comment est déterminé le début de l'inspiration du ventilateur ?

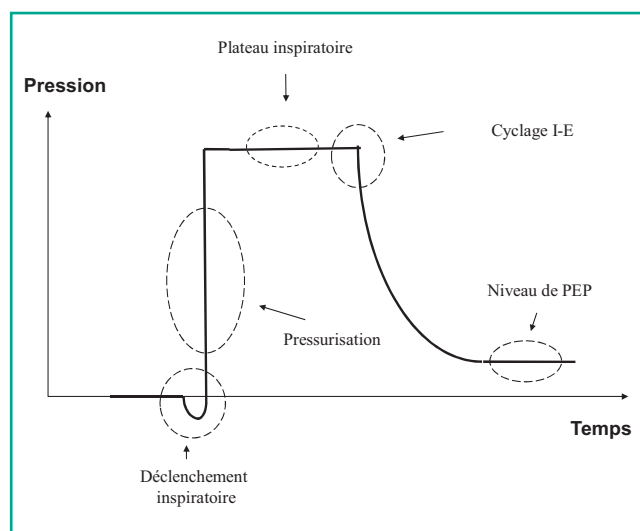
Le patient peut contrôler le début (par exemple, en déclenchant) et la fin de l'inspiration (par exemple en cyclant vers l'expiration) ou au contraire, ni l'un ni l'autre, et le ventilateur contrôle le début et la fin de l'inspiration.

#### Mode spontané (S)

Dans ce mode, seulement disponible en ventilation à régulation de pression, le patient contrôle le début et la fin de l'inspiration. L'inspiration débute quand le ventilateur est déclenché par le patient. La pression est maintenue aussi longtemps qu'un débit minimal inspiratoire prééglé est présent. La fin de l'assistance inspiratoire (le cyclage de l'inspiration à l'expiration) survient quand le débit



**Figure 3.** Différents algorithmes de régulation de pression avec volume cible. Enregistrement de tracés de pression, volume et débit utilisant (A) un algorithme qui adapte progressivement le niveau de pression sur quelques cycles dans une fourchette de pressions pré réglée pour obtenir un volume courant cible (Vc) et (B) un algorithme qui ajuste un volume cible à l'intérieur du cycle. Il est à noter que dans ce dernier cas, chaque cycle débute en mode à régulation de pression et si le Vc réglé n'est pas atteint, la respiration est transformée en mode cyclé par débit par prolongation du temps inspiratoire. Dans les deux cas le ventilateur estime cycle à cycle le Vc effectivement délivré au patient et ajusté le cycle ventilatoire pour assurer un volume cible. Press : pression inspiratoire. Reproduit avec la permission d'A. Cuvelier.



**Figure 4.** Le cycle ventilatoire vu sur un tracé pression au masque par rapport au temps. I-E : passage de l'inspiration à l'expiration ; PEP : pression positive de fin d'expiration.

inspiratoire atteint un pourcentage pré réglé du débit inspiratoire de pointe. Dans ce mode, on règle une pression inspiratoire cible, la sensibilité du *trigger* inspiratoire et le seuil du pourcentage du débit inspiratoire de pointe où surviendra la fin de l'assistance inspiratoire et le cyclage à l'expiration (voir plus loin). Pour certains ventilateurs ce pourcentage peut être réglé par le clinicien alors que pour d'autres il est fixé par le constructeur et seule la pression inspiratoire peut être réglée. Parce que chaque cycle est terminé par un critère de débit plutôt que par le volume ou le temps, le patient garde le contrôle de la durée du cycle ainsi que de son amplitude de même que de la forme de la courbe de débit. Ce mode est aussi appelé ventilation en aide inspiratoire (AI) (Fig. 5A).

#### Mode assisté (A)

Dans ce mode le patient contrôle le début de l'inspiration mais la durée de l'inspiration est réglée par l'opérateur. Le clinicien doit sélectionner un volume ou une pression cible, un rapport inspiration/expiration (I/E) ou un temps inspiratoire et une sensibilité de *trigger* inspiratoire (Fig. 5B).

#### Mode assisté-contrôlé (A/C)

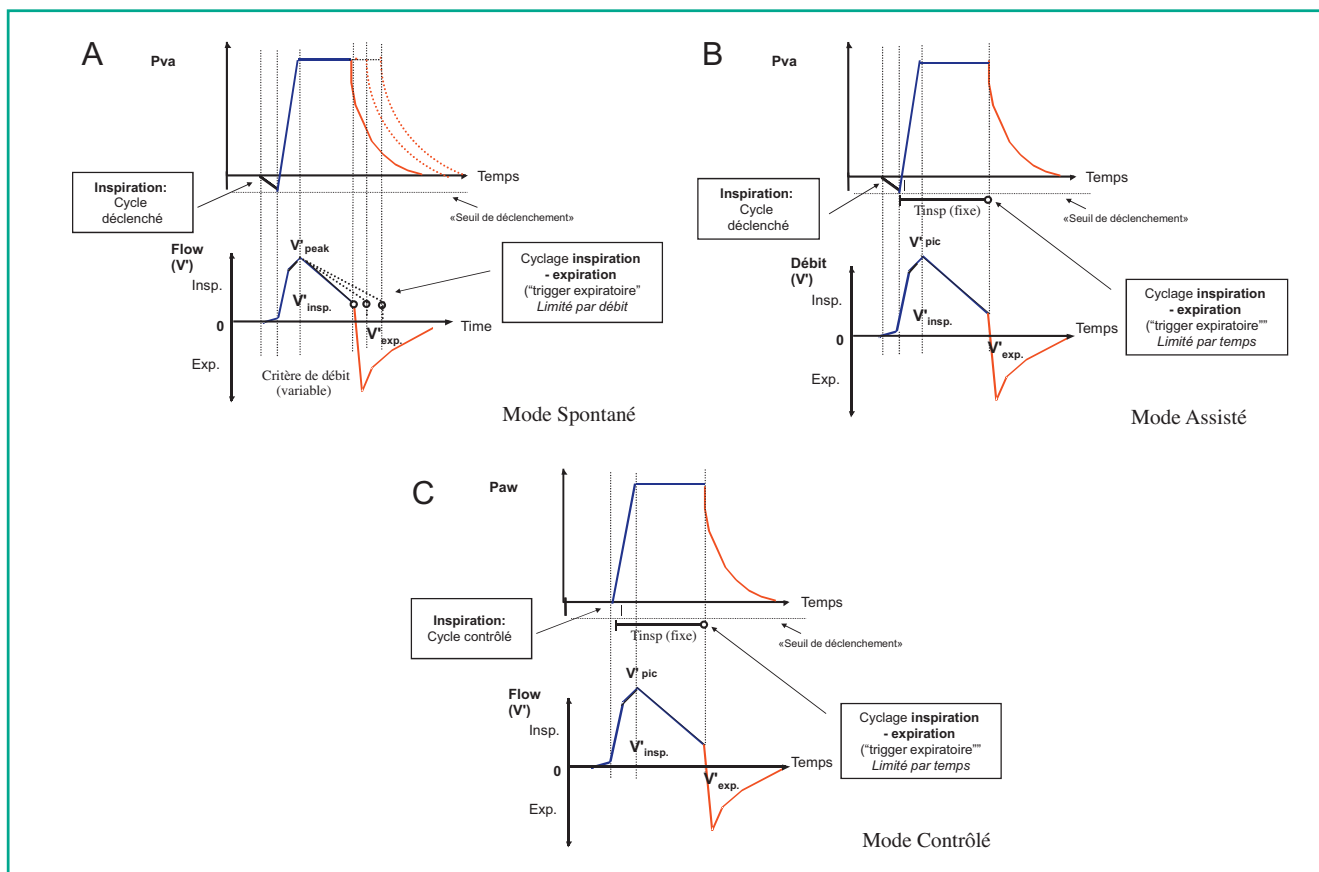
Ce mode fonctionne comme un mode assisté mais autorise aussi la sélection d'une fréquence respiratoire (FR) de rattrapage. Si la fréquence spontanée du patient est inférieure à la FR de rattrapage réglée sur le ventilateur, le système passe en mode contrôlé. En conséquence, ce mode permet au patient de déclencher le ventilateur mais garantit une fréquence minimale de rattrapage. Dans ce mode le clinicien doit sélectionner les mêmes réglages que dans le mode assisté avec en plus la fréquence de rattrapage.

#### Mode contrôlé (C)

Dans le mode contrôlé il y a un cycle automatique programmé, basé sur le temps. Le ventilateur contrôle le début et la fin de l'inspiration et donc la FR. On attend donc du ventilateur qu'il capture et inhibe le centre respiratoire du patient et que le patient suive les réglages imposés par le ventilateur. Dans ce mode le clinicien doit sélectionner un volume ou une pression cible, une FR fixe et un rapport I/E ou des durées inspiratoire et expiratoire. Avec ce mode, tout le travail respiratoire est censé être fourni par le ventilateur. Pour certains ventilateurs ce mode est aussi appelé « mode "timed" » et est rarement utilisé (Fig. 5C).

Une combinaison particulière de ces modes est disponible dans certains ventilateurs de VNI. Ce mode appelé S/T, est essentiellement une ventilation en AI avec une fréquence de rattrapage. Dans ce mode particulier, le cyclage de l'inspiration à l'expiration va dépendre de la chute du débit pour les cycles déclenchés par le patient alors que le respirateur cyclera par temps quand la FR spontanée du





**Figure 5.** Différents modes de déclenchement inspiratoire et expiratoires. (A) Mode spontané : le patient contrôle le début et la fin de l'inspiration. L'inspiration débute quand le ventilateur est déclenché par le patient et le cyclage de l'inspiration à l'expiration survient quand le débit inspiratoire atteint un pourcentage prédéterminé du débit inspiratoire de pointe. Ce mode est aussi appelé « aide inspiratoire » et, pour certains ventilateurs, « mode spontané (S) ». (B) Mode assisté : le patient contrôle le début de l'inspiration mais le passage de l'inspiration à l'expiration survient à un temps donné réglé par l'opérateur. Quand une fréquence respiratoire (FR) de rattrapage est programmée, ce mode est appelé assisté/contrôlé. Dans ce dernier mode, si la FR du patient est plus basse que la FR de rattrapage du ventilateur, le système passe en mode contrôlé. (C) Mode contrôlé : il y a un cycle automatique programmé basé sur le temps. Le ventilateur contrôle le début et la fin de l'inspiration et donc la FR. Pour certains ventilateurs, ce mode est aussi appelé « mode "timed" ». Pva : pression dans les voies aériennes.

patient descend en dessous de la fréquence de rattrapage, mais aussi quand, lors d'un cycle spontané, le temps inspiratoire dépasse une limite de temps inspiratoire maximal que l'on programme (voir plus bas). Un cycle déclenché par le patient peut être reconnu sur les courbes de pression et de débit, par une déflexion négative inspiratoire (Fig. 2B et 2C).

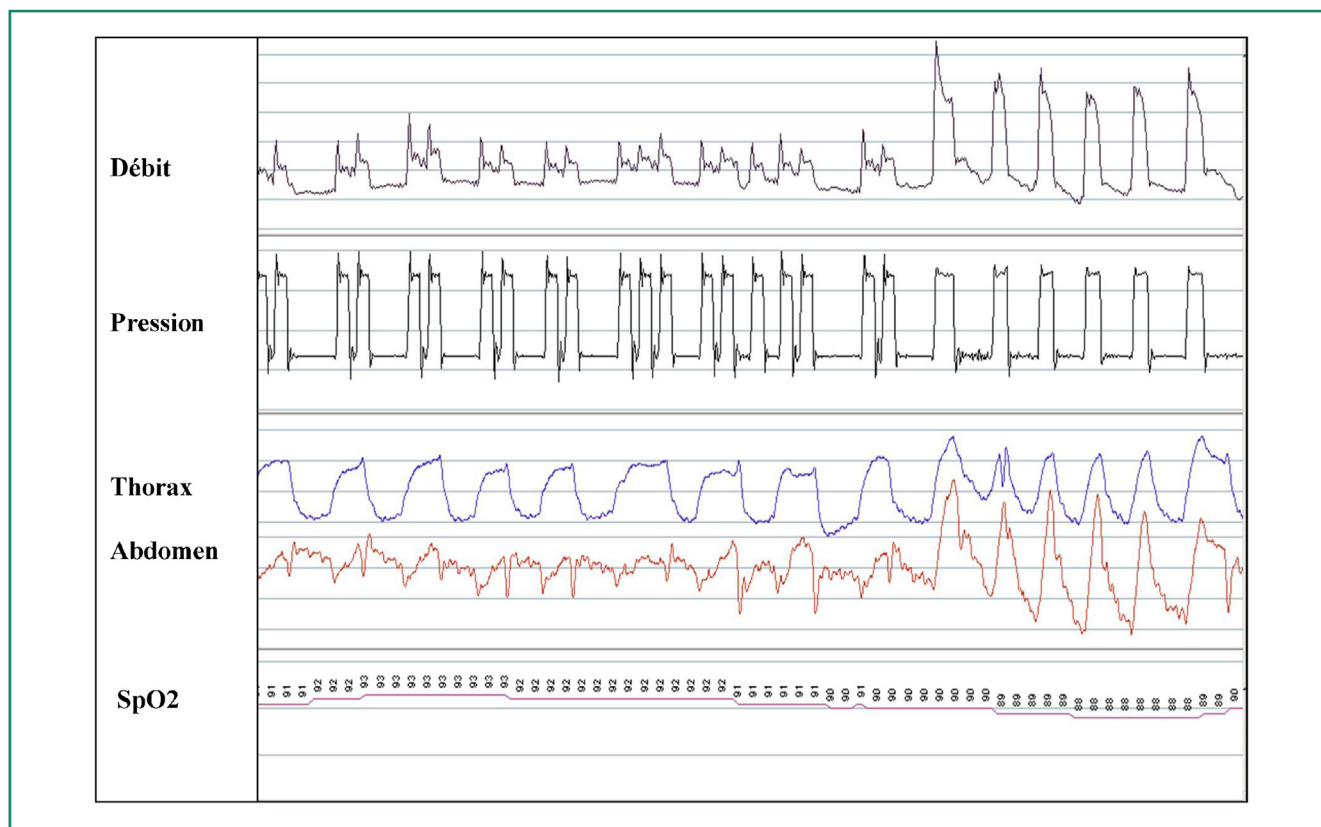
### Type de trigger

Comme décrit plus haut, dans les modes spontanés, assistés et assisté-contrôlés le ventilateur doit reconnaître l'appel du patient. Cela s'appelle la fonction de déclenchement. Les appareils de VNI peuvent avoir deux types de triggers inspiratoires. Le premier, appelé trigger « en pression », présent sur la plupart des vieux ventilateurs, est basé sur une chute de pression dans la voie aérienne proximales et nécessite un circuit fermé. Le deuxième, appelé trigger « en débit », présent sur la plupart des nouveaux ventilateurs, est basé sur la détection d'un débit inspiratoire en présence d'un débit continu de rinçage du circuit durant l'expiration. Les asynchronismes en phase de déclenchement

inspiratoire constituent un fait habituel pendant le sommeil des patients sous VNI et peuvent compromettre l'efficacité de la ventilation et la qualité du sommeil. La survenue de ces asynchronismes est principalement influencée par le délai de réponse du ventilateur à l'effort du patient (qui peut varier suivant les différents ventilateurs [33]), par la sensibilité du trigger et par le niveau d'effort inspiratoire du patient (qui dépend lui-même de la commande respiratoire et de la force musculaire) [31].

Les ventilateurs qui utilisent un trigger par débit ont généralement des délais de déclenchement plus courts [34,35]. Des fuites peuvent grandement affecter le déclenchement, soit en empêchant la détection de l'effort inspiratoire du patient (conduisant à un effort inspiratoire inefficace) soit, au contraire, en simulant un débit inspiratoire (quand on utilise un trigger en débit) ou en abaissant le niveau de la PEP en dessous du seuil de déclenchement (quand on utilise un trigger en pression), ces deux situations pouvant conduire à un autodéclenchement (Fig. 6).

Les technologies les plus récentes (microprocesseurs, servo-valves et turbines de faible inertie) ont considérablement amélioré la réponse des triggers. En outre la possibilité



**Figure 6.** Exemple d'autodéclenchement. L'autodéclenchement est défini comme la survenue d'au moins trois pressurisations consécutives à une fréquence supérieure à 40/min non synchronisées avec la respiration du patient [35]. SpO2 : saturation pulsée en oxygène.

d'ajuster la sensibilité des *triggers* inspiratoires est une option actuellement disponible sur la plupart des ventilateurs de domicile. Certains d'entre eux proposent aussi des algorithmes de *triggers* automatisés complexes dans lesquels on utilise un mode de déclenchement basé sur la forme de la courbe de débit. Les avantages respectifs de ces systèmes de déclenchement sophistiqués n'ont pas été évalués par des études rigoureuses. Il faut souligner que certains systèmes de *triggers* ajustables sont gradués avec des unités arbitraires ce qui les rend difficiles à utiliser.

### Vitesse de pressurisation

Une vitesse de pressurisation appropriée est essentielle pour diminuer l'effort inspiratoire du patient et améliorer la synchronisation. Le débit fourni par le ventilateur pendant la phase inspiratoire doit, de ce fait, être suffisant pour satisfaire la demande inspiratoire du patient [36]. Différents facteurs vont influencer la vitesse de pressurisation à savoir : le niveau d'AI, le délai nécessaire pour atteindre la pression cible (pente de pressurisation aussi appelée « temps de montée » en pression), la C et la R du système respiratoire et l'effort inspiratoire du patient. Des études comparant différents ventilateurs confirment l'influence du type de machine sur la qualité de la pressurisation, en particulier dans des situations de forte demande inspiratoire [33].

Des études ont démontré qu'une montée en pression plus rapide réduisait de manière plus efficace la charge des muscles respiratoires [37]. Au fur et à mesure que la pente devient plus plate, la machine délivre des débits plus bas

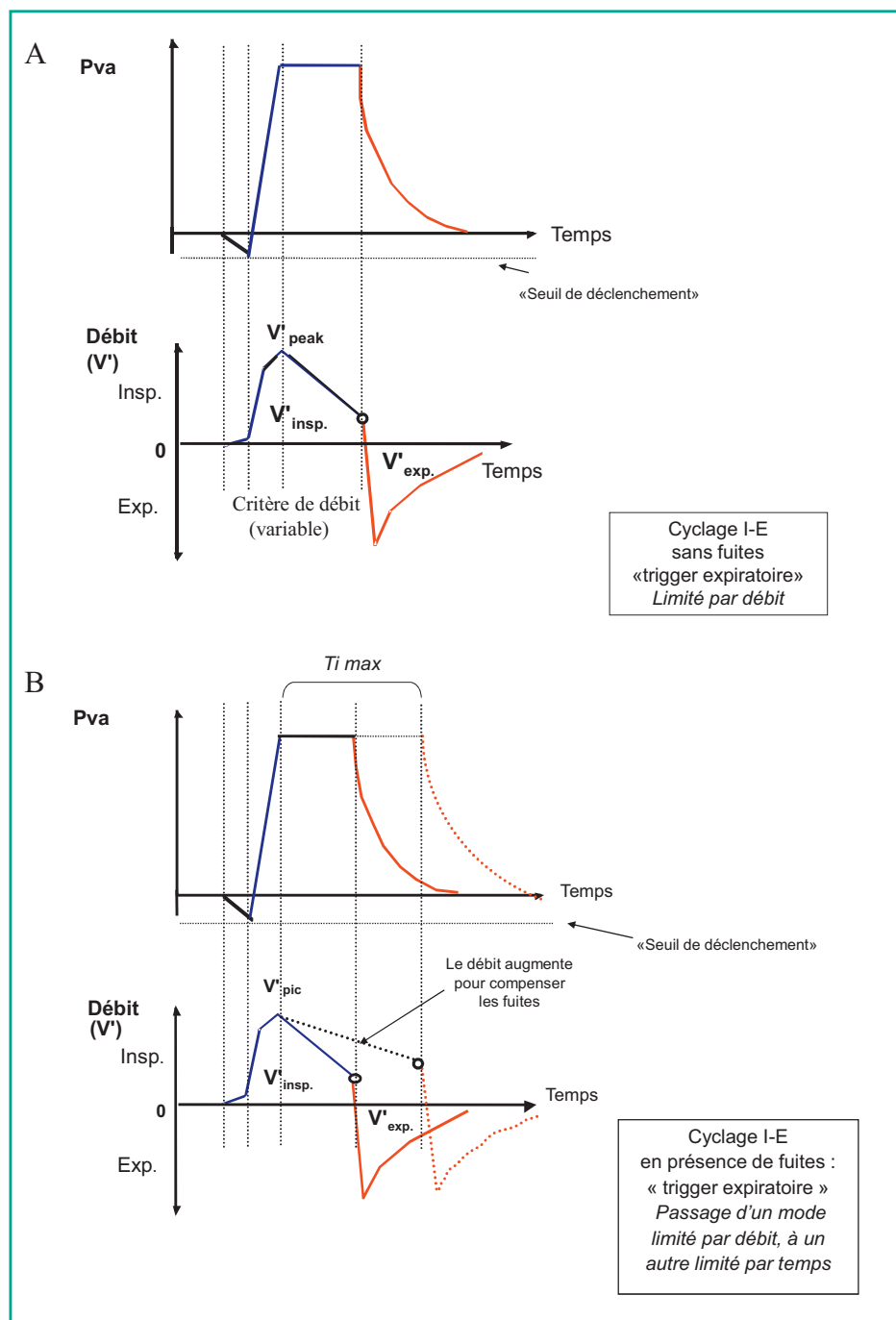
et le travail respiratoire du patient augmente [37]. D'un autre côté, il faut souligner que si une pressurisation lente peut augmenter le travail inspiratoire, un débit de pointe excessif peut aussi avoir des effets péjoratifs en augmentant la sensation de dyspnée [38], en provoquant un double déclenchement [32] ou en conduisant à un pic de pression au masque favorisant les fuites.

### Capacité à maintenir le plateau inspiratoire

Le niveau de pression inspiratoire fourni par le respirateur est un des principaux déterminants de l'efficacité de la VNI. La détermination du niveau optimal de pression inspiratoire doit viser à chercher un équilibre entre deux enjeux : d'une part le désir de fournir une ventilation minute efficace et d'autre part, le besoin de minimiser les fuites et l'inconfort causés par une pression inspiratoire excessive. Il faut souligner que, même si les ventilateurs récents ont une grande capacité à compenser des fuites minimales ou modérées, de plus grandes fuites peuvent compromettre la capacité du dispositif à atteindre le niveau requis de pression inspiratoire.

### Cyclage de l'inspiration à l'expiration

Le passage de l'inspiration à l'expiration peut être déclenché par le temps ou par le débit. Dans les modes cyclés par temps, les ventilateurs utilisent le critère de durée choisi par le clinicien (Fig. 4B). Dans les modes cyclés par le débit, le cyclage survient quand le débit inspiratoire atteint un



**Figure 7.** Impact des fuites sur le cyclage de l'inspiration à l'expiration (I à E) en ventilation en aide inspiratoire (S pour les ventilateurs à deux niveaux de pression) (A) sans fuites et (B) avec fuites. Noter que durant les fuites le débit augmente pour les compenser, prolongeant le temps inspiratoire (traits pointillés) et passant à un cycle limité par le temps si un temps inspiratoire maximal ( $T_{i\max}$ ) est proposé par le respirateur. Il est intéressant de noter que le  $T_{i\max}$  peut être ajustable sur les appareils de VNI les plus récents. Pva : pression dans les voies aériennes.

pourcentage prédéterminé du débit inspiratoire de pointe qui est supposé indiquer la fin de l'effort inspiratoire du patient (Fig. 4A).

Le critère utilisé pour la fin de l'inspiration peut avoir un effet important sur la qualité de la ventilation. Idéalement, le cyclage doit concorder avec la fin de l'effort inspiratoire du patient. Cependant, la synchronisation entre la fin de l'inspiration neurale et le cyclage du ventilateur

est principalement déterminée par la mécanique ventilatoire du patient, pouvant aller d'un cyclage prématuré dans les pathologies restrictives à un cyclage tardif dans les obstructives [33,39]. En outre, quand le cyclage par débit est utilisé, des fuites peuvent aussi retarder le passage à l'expiration parce que, dans le but de maintenir la pression, le débit est maintenu au dessus du niveau auquel le passage à l'expiration survient (Fig. 7). Ces deux

conditions peuvent conduire à un asynchronisme expiratoire patient–ventilateur [39].

Dans les ventilateurs plus anciens, le cyclage vers l’expiration est fixé à 25 % du débit de pointe, mais pour les ventilateurs plus récents des valeurs réglables sont proposées. Cela peut permettre d’adapter les paramètres à la condition clinique du patient. En étudiant une cohorte de patients porteurs d’une pathologie pulmonaire obstructive traités par ventilation invasive, Tassaux et al. ont démontré que retarder le cyclage de l’inspiration à l’expiration de 10 % à 70 % du débit de pointe (ce qui signifie de diminuer la durée de l’inspiration pour augmenter le temps expiratoire) était associé à une réduction significative de cyclage tardif et de la PEPi [40].

Enfin, d’autres mécanismes de sécurisation sont proposés par certains ventilateurs pour éviter une prolongation indésirable du temps inspiratoire. Dans la plupart des appareils, un cyclage précoce vers l’expiration se produit face à des brusques augmentations de pression (qui peuvent être attribuées à un effort expiratoire actif). Un autre mécanisme

consiste à limiter le temps maximal inspiratoire. Ce temps maximal inspiratoire sert comme système de sécurité afin d’éviter un allongement inapproprié du temps inspiratoire et varie considérablement selon les différents ventilateurs. De plus, il peut être réglable pour certains appareils (Fig. 7).

### Pression de fin d’expiration

Chez les patients porteurs d’une pathologie obstructive, la présence d’une pression positive intrinsèque en fin d’expiration (PEPi) peut réduire le seuil efficace de déclenchement conduisant à un délai entre le début de l’effort inspiratoire du patient et le déclenchement du ventilateur ou même à des efforts inefficaces. Dans ces cas, fournir une PEP externe peut contrebalancer la PEPi, améliorant la synchronisation patient–ventilateur. La PEP est une pression au dessus de la pression atmosphérique appliquée pendant l’expiration. Elle est aussi appelée EPAP dans certains ventilateurs. Si une PEP est utilisée, la pression ne redescendra jamais à zéro. Lorsqu’on règle une pression expiratoire

**Tableau 2** Résumé des caractéristiques techniques des ventilateurs de VNI et leur influence sur la sémiologie des tracés.

	Aspect sémiologique normal
<i>Mode ventilatoire</i>	
Régulation de volume	Débit carré
Régulation de pression	Pression croissante
Hybrides	Pression carrée Débit décroissant
<i>Déclenchement inspiratoire</i>	
Spontané	Déflexion négative des courbes de pression et de débit
Assisté	Déflexion négative des courbes de pression et de débit
Contrôlé	–
Assisté/contrôlé	Déflexion négative des courbes de pression et de débit (seulement pour les cycles déclenchés par le patient)
<i>Temps de montée en pression</i>	
Fixe	Pente inspiratoire jusqu’à atteindre la pression cible
Ajustable	la pression cible
<i>Capacité à maintenir le plateau inspiratoire</i>	
	Maintien du niveau de pression et/ou de débit constant
<i>Cyclage I à E</i>	
Cyclé par le temps	Temps inspiratoire fixe
Cyclé par le débit	Temps inspiratoire variable
Fixe	
Ajustable (% du débit de pointe)	
Algorithmes « intelligents »	
<i>Niveau de la PEP</i>	
	Niveau de la pression expiratoire
<i>Type d’évacuation des gaz expirés</i>	
Circuit simple ou double avec valve expiratoire	Le versant expiratoire de la courbe reflète le Vt expiré <sup>a</sup>
Circuit simple avec fuite calibrée	Le versant expiratoire ne reflète pas le Vt expiré et peut être absent Un niveau de pression positive expiratoire est reconnu <sup>b</sup>

VNI : ventilation non invasive ; PEP : pression positive de fin d’expiration ; Vt : volume courant.

<sup>a</sup> La visualisation de la partie expiratoire de la courbe dépendra de la position du pneumotachographe par rapport au dispositif expiratoire. Ainsi le versant expiratoire reflétera le volume expiré seulement quand le capteur de débit est intercalé entre le masque et le système d’évacuation des gaz expirés.

<sup>b</sup> Car un niveau de PEP obligatoire est nécessaire pour empêcher la réinhalation.

positive, la PIP est la résultante de l'addition de l'AI à cette PEP. C'est pourquoi, en tenant compte de la catégorie de ventilateurs (réanimation ou domicile), le réglage de la PEP peut interférer soit avec le niveau d'AI soit avec celui de la pression inspiratoire. En fait, les ventilateurs de réanimation proposent des réglages de PEP et d'AI, alors que ceux de domicile permettent en générale de régler la PEP et la PIP, l'AI étant la différence entre les deux. Donc, l'addition d'une PEP va augmenter le niveau dans la même proportion de la PIP sur les ventilateurs de réanimation alors qu'elle va diminuer le niveau d'AI sur les ventilateurs de domicile. L'addition d'une PEP externe en VNI a d'autres avantages théoriques : elle rince le CO<sub>2</sub> de l'espace mort, en évitant la réinhalation à l'intérieur du masque, préserve l'ouverture des voies aériennes chez les patients avec une instabilité des voies aériennes supérieures pendant le sommeil et enfin peut aider, dans certains cas, à recruter des alvéoles. Des niveaux de PEP au delà de ceux nécessaires sont à éviter car il faut garder à l'esprit que la pression inspiratoire devra être augmentée parallèlement si on veut maintenir le même niveau d'AI, et cela peut conduire à une intolérance et favoriser les fuites. Les fuites, si elles sont importantes et dépassent la capacité de compensation de la turbine, peuvent à leur tour, rendre le ventilateur inapte à maintenir le niveau d'EPAP réglé.

## Modes et réglages de la VNI : est-ce le moment de définir une nomenclature standardisée ?

Comme souligné précédemment, il existe une grande variété de terminologies décrivant les modes de VNI, sans une nomenclature commune et avec des termes très confus. Il arrive même que des acronymes identiques correspondent à des modes différents et que des modes semblables soient appelés différemment.

Comme les ventilateurs peuvent être catégorisés par la façon dont ils délivrent le débit d'air ou par la méthode utilisée pour initier l'assistance inspiratoire et passer de l'inspiration à l'expiration, la réponse à trois questions de base peut être utilisée comme guide pour simplifier la terminologie :

- quelle est la variable contrôlée (pression ou volume?) ;
- qu'est-ce qui provoque le début de « l'inspiration du ventilateur » ? Ça peut être soit le patient (déclenchement) soit la machine ;
- qu'est-ce qui détermine la fin de l'inspiration ? Ça peut être soit basé sur le temps (cyclé par le temps) ou déterminé par le débit (cyclé par le débit) [41].

Le [Tableau 2](#) résume les caractéristiques techniques des ventilateurs de VNI et leur influence sur les tracés de monitoring.

## Impact du mode ventilatoire, des réglages et rôle sur le monitoring en VNI

En VNI, être connecté à un ventilateur n'est pas synonyme d'être ventilé. Il est donc essentiel d'évaluer l'efficacité de la VNI. Une première étape est d'effectuer une évaluation clinique avec le patient sous ventilation pendant

l'éveil. Cependant, la VNI est généralement appliquée pendant plusieurs heures durant le sommeil. De telle sorte, un monitoring plus spécifique et sophistiqué est nécessaire pour évaluer l'« accord » patient-machine et l'efficacité de la ventilation pendant la nuit.

Le monitoring le plus disponible et le plus simple est fourni par les courbes de débit et de volume. L'examen de ces tracés peut donner des informations utiles pour évaluer si les réglages choisis par l'opérateur sont les plus appropriés pour ce patient. Cependant, comme la VNI autorise une grande gamme de paramètres ventilatoires et de réglages, il est obligatoire d'avoir une information précise sur ces données pour mieux comprendre l'interaction entre le patient et le ventilateur. Le mode ventilatoire, le mode de déclenchement, la pente de pressurisation, l'utilisation ou non d'une PEP et le type d'évacuation des gaz expirés autant que les performances du ventilateur peuvent tous avoir des conséquences sémiologiques sur les tracés ventilatoires. Les fuites et des variations de résistance des voies aériennes supérieures peuvent, à leur tour, modifier cet aspect.

Comprendre l'influence des fonctions du ventilateur de VNI sur l'aspect des événements respiratoires anormaux mais aussi une maîtrise appropriée des différents outils disponibles pour le monitoring de la VNI pendant le sommeil sont des prérequis pour mieux comprendre comment le patient et le ventilateur interagissent. Ces problèmes sont analysés dans deux autres articles de la série de cette revue [42,43].

## Déclaration d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts en relation avec cet article.

## Remerciements

Les auteurs remercient ADEP Assistance (Paris, France) pour l'organisation des réunions de travail du groupe SomnoVNI.

## Références

- [1] Leger P, Bedicam J, Cornette A, et al. Nasal intermittent positive pressure ventilation. Long term follow up in patients with severe chronic respiratory failure. *Chest* 1994;105:100–5.
- [2] Leger P, Jennequin J, Gerard M, et al. Ventilation mécanique nocturne en pression positive intermittente à domicile par voie nasale chez l'insuffisant respiratoire chronique restrictif. Un substitut efficace de la trachéotomie. *Presse Med* 1988;17:874.
- [3] Rideau Y, Gatin G, Bach J, et al. Prolongation of life in Duchenne's muscular dystrophy. *Acta Neurol (Napoli)* 1983;5:118–24.
- [4] Sullivan CE, Issa FG, Berthon-Jones M, et al. Reversal of obstructive sleep apnoea by continuous positive airway pressure applied through the nares. *Lancet* 1981;1:862–5.
- [5] Farre R, Lloyd-Owen SJ, Ambrosino N, et al. Quality control of equipment in home mechanical ventilation: a European survey. *Eur Respir J* 2005;26:86–94.
- [6] Kushida CA, Littner MR, Hirshkowitz M, et al. Practice parameters for the use of continuous and bilevel positive airway pressure devices to treat adult patients with sleep-related breathing disorders. *Sleep* 2006;29:375–80.

- [7] Gonzalez MM, Parreira VF, Rodenstein DO. Non-invasive ventilation and sleep. *Sleep Med Rev* 2002;6:29–44.
- [8] Elliott M. Non-invasive ventilation during sleep: time to define new tools in the systematic evaluation of the technique. *Thorax* 2011;66:82–4.
- [9] Borel JC, Sabil A, Janssens JP, et al. Intentional leaks in industrial masks have a significant impact on efficacy of bilevel noninvasive ventilation: a bench test study. *Chest* 2009;135:669–77.
- [10] Parreira VF, Delguste P, Jounieaux V, et al. Glottic aperture and effective minute ventilation during nasal two-level positive pressure ventilation in spontaneous mode. *Am J Respir Crit Care Med* 1996;154:1857–63.
- [11] Bach J, Robert D, Leger P, et al. Sleep fragmentation in kiphoscoliotic individuals with alveolar hypoventilation treated by NIPPV. *Chest* 1995;107:1552–8.
- [12] Rabec C, Georges M, Kabeya NK, et al. Evaluating noninvasive ventilation using a monitoring system coupled to a ventilator: a bench-to-bedside study. *Eur Respir J* 2009;34:902–13.
- [13] Rabec CA, Reybet-Degat O, Bonniaud P, et al. Leak monitoring in noninvasive ventilation. *Arch Bronconeumol* 2004;40:508–17.
- [14] Pepin JL, Chouri-Pontarollo N, Orliaguet O, et al. Hypoventilation alvéolaire au cours du sommeil et ventilation assistée à domicile. *Rev Mal Respir* 2005;22:113–25.
- [15] Jounieaux V, Aubert G, Dury M, et al. Effects of nasal positive-pressure hyperventilation on the glottis in normal awake subjects. *J Appl Physiol* 1995;79:176–85.
- [16] Jounieaux V, Aubert G, Dury M, et al. Effects of nasal positive-pressure hyperventilation on the glottis in normal sleeping subjects. *J Appl Physiol* 1995;79:186–93.
- [17] Parreira VF, Jounieaux V, Aubert G, et al. Nasal two-level positive-pressure ventilation in normal subjects. Effects of the glottis and ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 1996;153:1616–23.
- [18] Delguste P, Aubert-Tulkens G, Rodenstein DO. Upper airway obstruction during nasal intermittent positive-pressure hyperventilation in sleep. *Lancet* 1991;338:1295–7.
- [19] Perrin C, Jullien V, Lemoigne F. Practical and technical aspects of noninvasive ventilation. *Rev Mal Respir* 2004;21:556–66.
- [20] Lofaso F, Brochard L, Touchard D, et al. Evaluation of carbon dioxide rebreathing during pressure support ventilation with airway management system (BiPAP) devices. *Chest* 1995;108:772–8.
- [21] Schettino GP, Chatmongkolchart S, Hess DR, et al. Position of exhalation port and mask design affect CO<sub>2</sub> rebreathing during non-invasive positive pressure ventilation. *Crit Care Med* 2003;31:2178–82.
- [22] Gonzalez-Bermejo J, Laplanche V, Hussein FE, et al. Evaluation of the user-friendliness of 11 home mechanical ventilators. *Eur Respir J* 2006;27:1236–43.
- [23] Janssens JP, Metzger M, Sforza E. Impact of volume targeting on efficacy of bi-level non-invasive ventilation and sleep in obesity-hypoventilation. *Respir Med* 2009;103:165–72.
- [24] Storre JH, Seuthe B, Fiechter R, et al. Average volume-assured pressure support in obesity hypoventilation: a randomized crossover trial. *Chest* 2006;130:815–21.
- [25] Ambrosino N, Rossi A. Proportional assist ventilation (PAV): a significant advance or a futile struggle between logic and practice? *Thorax* 2002;57:272–6.
- [26] Ranieri VM, Giuliani R, Mascia L, et al. Patient-ventilator interaction during acute hypercapnia: pressure-support vs. proportional-assist ventilation. *J Appl Physiol* 1996;81:426–36.
- [27] Giannouli E, Webster K, Roberts D, et al. Response of ventilator-dependent patients to different levels of pressure support and proportional assist. *Am J Respir Crit Care Med* 1999;159:1716–25.
- [28] Ambrosino N, Vitacca M, Polese G, et al. Short-term effects of nasal proportional assist ventilation in patients with chronic hypercapnic respiratory insufficiency. *Eur Respir J* 1997;10:2829–34.
- [29] Polese G, Vitacca M, Bianchi L, et al. Nasal proportional assist ventilation unloads the inspiratory muscles of stable patients with hypercapnia due to COPD. *Eur Respir J* 2000;16:491–8.
- [30] Sinderby C, Beck J. Proportional assist ventilation and neurally adjusted ventilatory assist – better approaches to patient ventilator synchrony? *Clin Chest Med* 2008;29:329–42 [VII].
- [31] Fanfulla F, Taurino AE, Lupo NDA, et al. Effect of sleep on patient/ventilator asynchrony in patients undergoing chronic non-invasive mechanical ventilation. *Respir Med* 2007;101:1702–7.
- [32] Thille AW, Rodriguez P, Cabello B, et al. Patient-ventilator asynchrony during assisted mechanical ventilation. *Intensive Care Med* 2006;32:1515–22.
- [33] Battisti A, Tassaux D, Janssens JP, et al. Performance characteristics of 10 home mechanical ventilators in pressure-support mode: a comparative bench study. *Chest* 2005;127:1784–92.
- [34] Aslanian P, El Atrous S, Isabey D, et al. Effects of flow triggering on breathing effort during partial ventilatory support. *Am J Respir Crit Care Med* 1998;157:135–43.
- [35] Guo YF, Sforza E, Janssens JP. Respiratory patterns during sleep in obesity-hypoventilation patients treated with nocturnal pressure support: a preliminary report. *Chest* 2007;131:1090–9.
- [36] Nava S, Ambrosino N, Bruschi C, et al. Physiological effects of flow and pressure triggering during non-invasive mechanical ventilation in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax* 1997;52:249–54.
- [37] Bonmarchand G, Chevron V, Menard JF, et al. Effects of pressure ramp slope values on the work of breathing during pressure support ventilation in restrictive patients. *Crit Care Med* 1999;27:715–22.
- [38] Manning HL, Molinary EJ, Leiter JC. Effect of inspiratory flow rate on respiratory sensation and pattern of breathing. *Am J Respir Crit Care Med* 1995;151:751–7.
- [39] Calderini E, Confalonieri M, Puccio PG, et al. Patient-ventilator asynchrony during noninvasive ventilation: the role of expiratory trigger. *Intensive Care Med* 1999;25:662–7.
- [40] Tassaux D, Gannier M, Battisti A, et al. Impact of expiratory trigger setting on delayed cycling and inspiratory muscle workload. *Am J Respir Crit Care Med* 2005;172:1283–9.
- [41] Chopin C, Chambrin M. An attempt to classify the current positive airway pressure modes of mechanical ventilation. *Réanimation Urgences* 1998;7:87–99.
- [42] Gonzalez-Bermejo J, Perrin C, Janssens JP, et al. Proposal for a systematic analysis of polygraphy or polysomnography for identifying and scoring abnormal events occurring during non invasive ventilation. *Thorax* 2012;67:546–52.
- [43] Janssens JP, Borel JC, Pepin JL. Nocturnal monitoring of home non-invasive ventilation: contribution of simple tools such as pulse-oximetry, capnography, built-in ventilator software and autonomic markers of sleep fragmentation. *Thorax* 2011;66:438–45.