

Respirateurs de réanimation

J. Liotier

Les respirateurs de réanimation font partie intégrante des services de réanimation. Ils permettent de délivrer une ventilation artificielle à partir d'un volume ou d'une pression contrôlés. Les effets indésirables corolaires de la ventilation artificielle sont respectivement le barotraumatisme en cas de volume contrôlé et le volotraumatisme en cas de pression contrôlée. La ventilation en réanimation peut s'effectuer selon un mode invasif ou non invasif pour traiter les patients en situation critique, le plus souvent défaillance respiratoire, hémodynamique ou neurologique aiguë. L'évolution des respirateurs a permis des meilleures performances en termes d'ergonomie, de monitoring et d'apparition de nouvelles fonctions, comme la mesure de la capacité résiduelle fonctionnelle, la mesure du travail respiratoire et la réalisation de courbes pression-volume. Ainsi, les progrès technologiques récents ont permis une adaptation au plus près de la physiopathologie du malade avec des résultats convaincants en termes de morbidité et de confort.

© 2012 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots-clés : Ventilation artificielle ; Volume contrôlé ; Pression contrôlée ; Volotraumatisme ; Barotraumatisme ; Ventilation non invasive

Plan

■ Introduction	1
■ Principes de fonctionnement	1
Principe de base de la ventilation artificielle	1
Deux catégories de ventilation artificielle	2
Deux types de respirateurs	2
Deux catégories de ventilation	2
Paramètres ventilatoires contrôlables	2
Humidification	3
Équipements annexes d'un respirateur	3
■ Indications médicales des respirateurs	4
Défaillance respiratoire aiguë	4
Défaillance hémodynamique aiguë	4
Défaillance neurologique aiguë	4
Anesthésie générale et/ou sédation-analgésie importante	4
■ Respirateurs classiques de réanimation	4
Ventilation mécanique invasive	4
Ventilation mécanique non invasive	6
Évolution des respirateurs de réanimation	7
Respirateurs de transport	10
■ Conclusion	10

■ Introduction

Les respirateurs de réanimation sont indispensables à tout service de réanimation pour différentes indications. Ils sont nombreux et ont bénéficié d'améliorations et innovations technologiques impressionnantes au cours des dernières années. Bien que le retentissement clinique soit difficile à évaluer

individuellement, l'amélioration des performances des respirateurs permet globalement une meilleure prise en charge des patients ventilés en réanimation. Le champ d'utilisation des respirateurs de réanimation est large : ils sont utilisés selon des modes contrôlés (volume ou pression contrôlée), des modes assistés, des modes moins classiques (ventilation à deux niveaux de pression par exemple) et des nouveaux modes plus élaborés adaptés au patient. La ventilation peut s'effectuer au sein de la réanimation selon un mode invasif ou non, en dehors de la réanimation pour les transports effectués pour les examens complémentaires et/ou les rapatriements.

■ Principes de fonctionnement

Principe de base de la ventilation artificielle

Le ventilateur (appellation américaine), ou respirateur (appellation française), de réanimation est l'appareil qui contrôle mécaniquement la respiration du malade, même s'il est électriquement fabriqué et commandé. Les malades concernés mis sous respirateur en réanimation sont ceux qui présentent une défaillance respiratoire aiguë intrinsèque (c'est-à-dire liée au patient, comme par exemple une pneumonie aiguë) ou extrinsèque (induite par la sédation par exemple). C'est le principe de la ventilation artificielle, appelée également « ventilation mécanique ». La terminologie française « respirateurs » est utilisée dans cet article.

Le respirateur délivre au malade un mélange gazeux composé d'oxygène et d'air. La concentration et le débit du mélange gazeux sont contrôlés par un mélangeur de gaz (*débitmètre*, ou rotamètre sur les anciens respirateurs). Le mélange gazeux oxygène-air ne peut être administré directement au patient car il est trop sec.

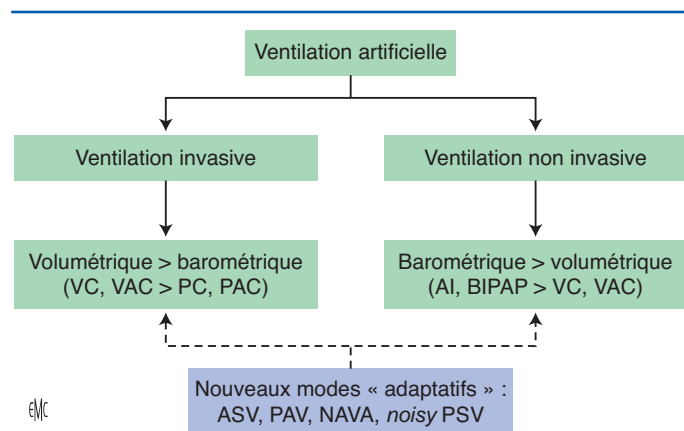


Figure 1. Différents types de ventilation artificielle. La ventilation invasive est le plus souvent utilisée en mode volumétrique, avec différentes déclinaisons, ou en mode barométrique. La ventilation non invasive (VNI) est préférentiellement utilisée en mode barométrique, mais peut être utilisée en mode volumétrique. Les nouveaux modes sont des déclinaisons essentiellement des modes barométriques et peuvent s'intégrer dans la ventilation invasive ou non invasive. Il s'agit de modes « adaptatifs » car ils s'adaptent au mieux à la physiologie du malade. VC : volume contrôlé ; VAC : volume assisté contrôlé ; PC : pression contrôlée ; PAC : ventilation assistée contrôlée ; AI : aide inspiratoire ; BIPAP : *bilevel positive airway pressure* ; ASV : *adaptative support ventilation* ; PAV : *ventilation assistée proportionnelle* ; NAVA : *neuroasservissement de la ventilation assistée* ; PSV : *pressure support ventilation noisy* ; noisy PSV : ventilation barométrique bruyante.

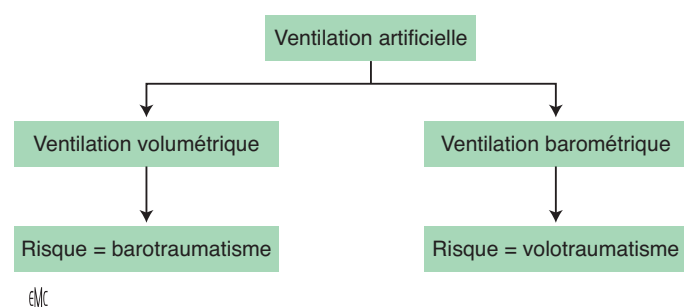


Figure 2. Différents modes de ventilation artificielle et risques associés.

Il nécessite une humidification externe, soit par un humidificateur chauffant (HC) ou un échangeur de chaleur et d'humidité (ECH) (cf. infra). Ces paramètres de la ventilation sont eux-mêmes réglés par l'utilisateur de l'appareil (le plus souvent le médecin-réanimateur).

Deux catégories de ventilation artificielle

La ventilation artificielle assurée par les respirateurs de réanimation peut être de deux types (Fig. 1) :

- la ventilation invasive (VI), qui prend en charge le travail respiratoire du malade par le biais d'une sonde d'intubation ou d'une canule de trachéotomie placée dans la trachée du patient ;
- la ventilation non invasive (VNI), qui prend en charge le travail respiratoire du patient en l'absence de sonde d'intubation ou de canule de trachéotomie, mais qui nécessite l'utilisation d'interfaces : masques, casques.

Deux types de respirateurs

On différencie les respirateurs volumétriques des respirateurs barométriques (Fig. 2) :

- les respirateurs volumétriques assurent la délivrance d'un volume fixé de mélange gazeux à chaque inspiration. Ils adaptent pour cela la pression exercée à la résistance pulmonaire du patient ;

- les respirateurs barométriques assurent une pression fixée suffisante pour permettre la délivrance du volume d'air et surmonter un syndrome *obstructif* (qui se traduit par un rétrécissement du calibre des bronches et une baisse du volume expiré maximal seconde [VEMS]) ou *restrictif* du malade (qui se traduit par une diminution de la capacité pulmonaire totale [CPT]).

Utilisés en mode assisté, ces appareils sont plus confortables car le malade déclenche lui-même le début et la fin de l'inspiration.

Dans ces deux cas, le mélange gazeux circule à travers des circuits patients. Le circuit patient « inspiratoire » conduit l'air de la machine au malade. Le circuit patient « expiratoire » conduit l'air expiré à la machine. Ces circuits sont réunis près de l'interface du malade par une pièce en Y.

Deux catégories de ventilation

Parmi les différents modes de ventilation, l'utilisateur choisit celui qui est le plus adapté à la pathologie du malade. Ces différents modes sont répartis suivant deux catégories de ventilation (Fig. 1) :

- la ventilation contrôlée (VC) : elle est destinée aux patients n'ayant aucune fonction respiratoire ou dont les efforts ventilatoires ont été supprimés. Dans cette catégorie de ventilation, on peut utiliser indifféremment les respirateurs volumétriques ou barométriques, c'est-à-dire respectivement le volume contrôlé (VC) ou la pression contrôlée (PC) ;
- la ventilation assistée (VA) : elle permet au patient de déclencher l'insufflation d'un volume courant au préalable réglé en volume ou en pression, à son propre rythme, et assure une fréquence minimale. Elle est donc adaptée à des patients qui retrouvent peu à peu une fonction respiratoire autonome. On distingue différents modes assistés :
 - la ventilation assistée contrôlée (VAC),
 - la ventilation assistée contrôlée intermittente (VACI),
 - la pression assistée contrôlée (PAC),
 - la pression assistée contrôlée intermittente (PACI),
 - l'aide inspiratoire (AI),
 - l'aide inspiratoire à deux niveaux de pression ou la *bi-level positive airway pressure* (BIPAP) des Anglo-Saxons.

Récemment, des modes plus spécifiques, plus adaptés à la physiologie respiratoire du patient ont été développés (cf. infra). Ainsi, la ventilation peut s'adapter :

- à la capacité résiduelle fonctionnelle (CRF) ;
- à l'activité électrique du diaphragme (système de ventilation neuroasservi ou *neurally adjusted ventilatory assist* [NAVA]) ;
- à la pression inspiratoire (système de ventilation adaptative ou *adaptative support ventilation* [ASV], système de ventilation assistée proportionnelle ou *proportional assist ventilation* [PAV]).

Paramètres ventilatoires contrôlables

Il convient de bien distinguer ce que l'on règle (paramètres ventilatoires contrôlables) sur le respirateur de ce que l'on mesure (paramètres ventilatoires contrôlables et non contrôlables).

Sur un respirateur de réanimation, l'utilisateur peut régler les paramètres indiqués ci-dessous.

Volume courant (« tidal volume » ou VT)

Utilisé en cas de mode volumétrique, il correspond au volume d'air qui entre dans les poumons à chaque respiration. En général, il est de l'ordre de 8 à 10 ml/kg^[1,2] sauf en cas de syndrome de détresse respiratoire aigu (SDRA) de l'adulte, de pathologie pulmonaire restrictive et d'asthme sévère (résistances aériennes très élevées), où il est préconisé de prescrire un volume courant plus petit de l'ordre de 6 ml/kg de poids idéal théorique^[3,4]. Le poids idéal théorique est donné par les formules suivantes, différentes selon le sexe :

- poids idéal théorique pour les hommes = $50 + 0,91 [\text{taille (cm)} - 152]$
- poids idéal théorique pour les femmes = $45,5 + 0,91 [\text{taille (cm)} - 152]$

Pression (P)

Utilisé en cas de mode barométrique, ce paramètre est surtout utilisé dans le sevrage de la ventilation mécanique ou au cours de la VNI^[1,2]. Il peut être également utilisé en ventilation invasive^[1].

Fréquence respiratoire (FR)

La physiologie respiratoire de l'adulte normal dicte sa prescription, qui est de l'ordre de 10 à 14 cycles par minute (c/min)^[1,2]. Le SDRA est une entité à part, dans laquelle la fréquence respiratoire prescrite est plus élevée compte tenu d'un volume courant plus faible afin d'assurer une ventilation minute suffisante^[3].

Pression expiratoire positive (PEP)

Elle correspond au niveau de pression maintenu pendant la phase finale de l'expiration. Elle permet d'éviter un « dérecrutement alvéolaire » après des manœuvres de recrutement alvéolaire et une amélioration des échanges gazeux au cours du SDRA^[3,4].

Temps inspiratoire et expiratoire (I/E)

On règle en général un temps inspiratoire pour deux temps expiratoires ($I/E = 1/2 = 33\%$)^[1,2]. Ceci correspond, pour un cycle de 3 secondes, à un temps inspiratoire de 1 seconde et un temps expiratoire de 2 secondes. En général, il convient de régler le rapport I/E plus bas ($I/E = 1/3 = 25\%$) dans les pathologies obstructives (du type bronchopneumopathie chronique obstructive [BPCO] ou sujets asthmatiques) afin de favoriser la vidange alvéolaire^[1]. En revanche, le rapport I/E est plus élevé chez les malades somnolents ou calmes ou en cas de pathologie pulmonaire restrictive.

« Trigger » (ou déclenchement)

Il correspond au niveau d'effort inspiratoire que le patient doit développer pour déclencher un cycle. Il peut être en débit ou en pression, selon les respirateurs. Il faut faire attention car le *trigger* expiratoire n'est pas commandé par l'expiration, mais il correspond à l'ouverture de la valve expiratoire à un pourcentage donné du débit inspiratoire maximal afin de permettre l'expiration.

Soupir

Certains respirateurs permettent son réglage. Il s'agit de programmer un volume courant plus important de façon intermittente afin de prévenir les atelectasies. Son utilité est actuellement controversée.

Débit

Celui-ci est constant et fixé en ventilation volumétrique contrôlée, après réglage du rapport I/E, du VT et de la fréquence respiratoire. Pour certains respirateurs (type Evita® 4), le rapport I/E ne se règle pas, mais il faut régler le débit qui doit être suffisamment important, c'est-à-dire supérieur à 50 l/minute^[1].

Pression maximum autorisée (Pmax)

Celle-ci permet une protection vis-à-vis du barotraumatisme lorsque la pression de crête (ou Pmax) est atteinte, en limitant le volume courant sur le cycle suivant. Ceci pose un problème en cas d'obstruction avec pressions élevées où la limitation du volume courant entraîne une hypoxémie, source de d'augmentation de pression et constitution d'un cercle vicieux.

D'autres alarmes peuvent être également programmées (fréquence maximale, volume courant expiré minimal, etc.).

Humidification

Lors de la ventilation artificielle, le mélange gazeux, qui est fourni sec, doit être humidifié afin de respecter les conditions physiologiques. Deux techniques peuvent être utilisées, selon le type de respirateur.



Figure 3. Patient ventilé artificiellement à l'aide d'un respirateur. Illustration de l'interface (circuit, filtre, pièce en Y) patient-respirateur.

Échangeur de chaleur et d'humidité (ECH)

Il s'agit d'un dispositif qui capte transitoirement (à l'expiration) l'eau du mélange gazeux provenant des voies aériennes du patient et la restitue à l'inspiration. Il se place entre les voies aériennes du patient et le circuit du respirateur, au niveau de la pièce en Y (Fig. 3). La durée d'utilisation est d'au moins 48 heures, jusqu'à une semaine^[5]. Les indications sont larges, puisque tous les patients intubés ventilés peuvent en bénéficier, à l'exception du malade hypothermique ou très hypercapnique (SDRA, BPCO, asthmatique grave). Ses avantages sont sa simplicité d'utilisation, son moindre coût et son utilisation à usage unique. Il est le plus souvent utilisé au cours de la VNI. Ses inconvénients sont une moins bonne humidification que l'humidificateur chauffant et l'instillation de sérum physiologique^[5].

Humidificateur chauffant

Il s'agit d'un appareil branché sur le circuit inspiratoire entre le respirateur et les voies aériennes du patient, que l'on doit remplir avec de l'eau stérile. L'air qui arrive de l'extérieur s'humidifie et se réchauffe en passant dans ce dispositif, ce qui permet d'éviter que les voies aériennes du sujet ne se refroidissent et ne se déshydratent. Avec ce type d'humidificateur, la surveillance du piège à eau est particulièrement importante. On utilise cette technique si le respirateur est muni d'un réchauffeur. Les indications sont les patients en SDRA, les asthmes aigus graves, les BPCO très hypercapniques et l'hypothermie. La durée est celle de la résolution de l'hypothermie ou de l'hypercapnie avec un relais ECH possible au décours. Les avantages sont une humidification et un réchauffement des voies aériennes du patient supérieures à l'ECH et il n'y a pas d'instillation de sérum physiologique. Les inconvénients sont représentés par une incidence accrue de la contamination bactérienne des circuits car il n'y a pas de filtre bactérien, mais sans conséquence sur la survenue des pneumonies nosocomiales^[6]. Par ailleurs, il y a un risque d'obstruction de la sonde d'intubation si la température ambiante est élevée ou si la température de sortie des gaz du respirateur est élevée en raison de l'absence de rétrocontrôle^[7]. Il y a enfin un risque potentiel d'intoxication à l'eau.

Le respirateur peut être équipé d'un *nébuliseur* qui permet l'administration de médicaments au cours du traitement respiratoire.

Équipements annexes d'un respirateur

Le respirateur peut être équipé des éléments suivants :

- un humidificateur chauffant (cf. supra) ;
- un nébuliseur, qui permet l'administration de médicaments au cours du traitement respiratoire ;

- une calorimètre, qui estime la production calorique de façon indirecte ;
- une pléthysmographie, qui permet une mesure des volumes pulmonaires non mobilisables (volume résiduel, CRE, etc.) ;
- un capnographe pour le monitoring du CO₂ en continu.

■ Indications médicales des respirateurs

Une ventilation artificielle est instaurée dans les indications ci-après.

Défaillance respiratoire aiguë

Il s'agit de l'indication de ventilation artificielle la plus fréquente. On recherchera les signes de mauvaise tolérance clinique : signes de lutte respiratoire (polypnée supérieure à 35 c/min, respiration abdominale paradoxale, mise en jeu des muscles respiratoires accessoires avec tirage sus-sternal), signes d'épuisement respiratoire (bradypnée, voire apnée) qui indiquent l'intubation endotrachéale et la mise sous ventilation artificielle en urgence. Une oxygénothérapie ou une VNI insuffisantes (ou mal tolérées) avec hypoxémie sévère sont aussi des indications.

Plusieurs étiologies sont à rechercher au cours d'une détresse respiratoire aiguë : elles sont exposées dans le [Tableau 1](#).

Défaillance hémodynamique aiguë

Il s'agit de l'état de choc.

Tableau 1. Étiologies à rechercher en cas de détresse respiratoire aiguë (SDRA) nécessitant la mise sous ventilation artificielle.

Causes pulmonaires	Pneumonies aiguës SDRA Asthme aigu grave Épanchements gazeux (pneumothorax) ou liquidiens (pleurésie) Décompensation d'une IRC ou d'une BPCO ou d'une maladie neuromusculaire (hypercapnie importante et acidémie respiratoire)
Causes vasculaires pulmonaires	Embolie pulmonaire grave Hypertension artérielle pulmonaire
Causes traumatiques	Traumatismes thoraciques (volet costal, etc.) Lésions de blast

BPCO : bronchopneumopathie chronique obstructive ; IRC : insuffisance respiratoire chronique.

Défaillance neurologique aiguë

Il peut s'agir de troubles de conscience et/ou d'un coma liés à une lésion cérébrale aiguë : accident vasculaire cérébral (AVC), traumatismes crâniens graves (TCG) ou à une infection méningo-encéphalitique ou à une intoxication médicamenteuse.

Ce peut être le cas de la lutte contre l'œdème cérébral en contrôlant l'hyperventilation.

Anesthésie générale et/ou sédation-analgésie importante

C'est la dernière indication de la ventilation artificielle.

■ Respirateurs classiques de réanimation

Ventilation mécanique invasive

Ventilation volumétrique

La ventilation volumétrique consiste à appliquer un volume courant (VT) déterminé, en général de l'ordre de 8 à 10 ml/kg ^[1,2]. Ce VT doit être plus petit (6 ml/kg) en cas de SDRA ^[3,4], de pathologie pulmonaire restrictive ou de résistances aériennes élevées (asthme aigu grave par exemple). La ventilation volumétrique se reconnaît facilement sur un respirateur car elle génère une courbe de débit carrée (Fig. 4, 5).

“ Point fort

En cas de SDRA, il faut ventiler le malade avec des petits volumes courants de l'ordre de 6 ml/kg de poids idéal théorique avec des fréquences respiratoires élevées tout en tolérant l'hypercapnie (hypercapnie permissive) afin d'éviter un barotraumatisme.

Avantages

En mode contrôlé, ce type de ventilation permet au patient d'être sûr de recevoir un volume par minute adéquat. Il convient particulièrement aux malades au début de la mise en place de la ventilation, alors qu'ils sont sous sédation-analgésie ou bien aux malades n'ayant pas de capacité respiratoire suffisamment autonome pour déclencher le respirateur. Cependant, on l'utilise essentiellement en mode « assisté-contrôlé » où le patient reçoit un VT déterminé à chaque fois qu'il fait un effort inspiratoire. En revanche, s'il ne fait pas ces efforts, le respirateur assure une ventilation minimale à fréquence déterminée.

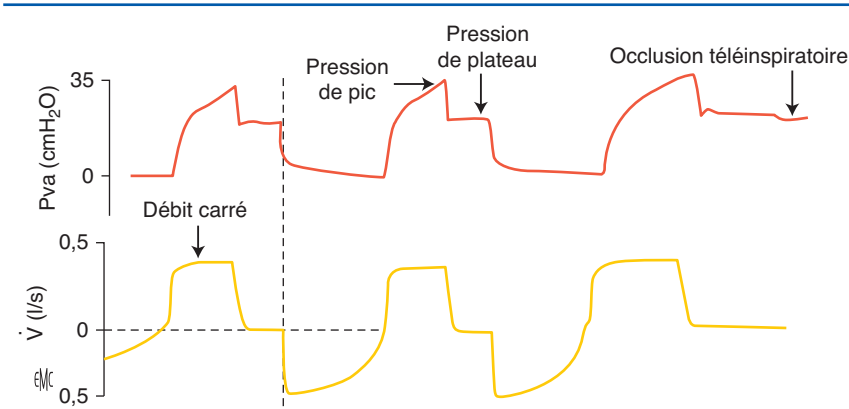


Figure 4. Aspect des courbes de pression et de débit en ventilation volumétrique (d'après ^[44]). Il s'agit de courbes de pression des voies aériennes (Pva) et de débit (V) enregistrées au cours d'une ventilation en volume contrôlé. On remarque que le débit est constant au cours de l'inspiration (débit carré) car le volume et la fréquence respiratoire sont déterminés et constants, alors que la pression est variable au cours du temps.

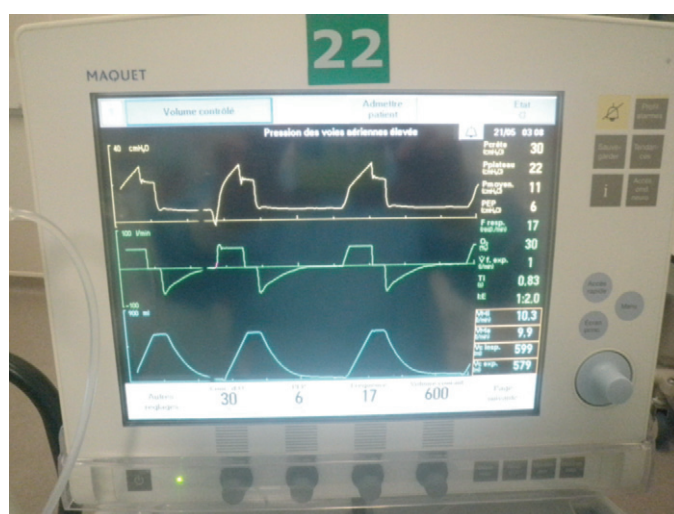


Figure 5. Respirateur type Servo-i®. Le large écran permet un diagnostic visuel du type de ventilation : il s'agit d'une ventilation volumétrique, comme en témoignent les débits carrés (courbe verte). La courbe jaune est celle des pressions et sert au monitoring barométrique (pression de plateau).

Inconvénients

Le principal risque est le *barotraumatisme*. Pour l'éviter, on mesure par une occlusion téléinspiratoire prolongée (supérieure à 5 secondes) la pression de plateau qui doit être *inférieure à 30 cmH₂O* [3]. On préfère la mesure de la pression de plateau plutôt que la pression de crête car elle reflète plus la distension alvéolaire et son corollaire, le barotraumatisme [3]. Cependant, la pression de crête est quand même un reflet d'une augmentation de pression dans les voies aériennes, que l'on rencontre dans les situations suivantes :

- des sécrétions abondantes ou un bouchon de mucus (traité par des aspirations trachéales) ;
- un pneumothorax (diagnostic auscultatoire et radiologique, traitement : exsufflation par drainage thoracique) ;
- un bronchospasme (diagnostic auscultatoire et traitement par β_2 -mimétiques) ;
- un œdème aigu du poumon (diagnostic auscultatoire et radiologique, traitement : diurétique et application d'une PEP).

“ Point fort

Pour éviter le risque barotraumatique en volume contrôlé, la pression de plateau mesurée à l'aide d'une occlusion téléinspiratoire prolongée doit être inférieure à 30 cmH₂O.

Ventilation barométrique

La ventilation barométrique utilise un niveau de pression déterminé au préalable par l'utilisateur et constant au cours de l'inspiration, si bien que le VT est variable en fonction de la compliance thoracopulmonaire et des résistances des voies aériennes. La courbe de débit est rapidement en *débit décélérant* puisque le respirateur ajuste le débit afin de maintenir le niveau de pression inspiratoire tout au long de la phase inspiratoire. Ceci est facilement reconnaissable sur l'écran du respirateur (Fig. 6). La ventilation barométrique est principalement la ventilation du sevrage de la ventilation artificielle, utilisée quand le malade récupère une autonomie respiratoire en vue de l'extubation [1]. Elle peut être utilisée dans un mode totalement contrôlé, tout comme la ventilation volumétrique. La pression contrôlée est souvent utilisée en réanimation pédiatrique en raison de la bonne compliance thoracopulmonaire de l'enfant.

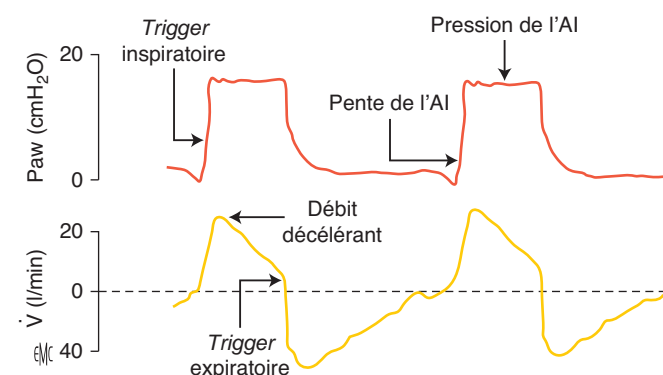


Figure 6. Aspect des courbes de pression et de débit en ventilation barométrique. Il s'agit d'une courbe de pression à la bouche (Paw) et de débit (V) enregistrées au cours d'une ventilation en aide inspiratoire. On remarque que la pression déterminée est constante au cours de l'inspiration, alors que le débit est variable et décélérant. L'expiration débute lorsque le débit atteint 25 % de sa valeur maximale et correspond au *trigger* expiratoire. AI : aide inspiratoire.

Avantages

Le principal avantage de la ventilation barométrique est une *synchronisation patient-respirateur*, ce qui permet un meilleur confort du malade [8]. En effet, le malade garde un meilleur contrôle de la ventilation car tout effort inspiratoire se traduit par une augmentation de débit sans répercussion sur la pression, qui est déterminée. A contrario, en ventilation volumétrique, tout effort du malade ne peut que modifier les pressions puisque le volume et le débit sont déterminés. Dans ce cas, toute désadaptation se traduit par une augmentation de pression avec un risque d'arrêt de la ventilation si celles-ci atteignent la Pmax.

Une meilleure adaptation du malade au respirateur améliore son confort, la tolérance hémodynamique et réduit les besoins en médicaments sédatifs et les risques barotraumatiques.

En ce qui concerne le sevrage, celui-ci est facilité par une diminution progressive du niveau de pression quand la capacité respiratoire du malade augmente.

Inconvénients

Le risque principal est le *volotraumatisme* car on ne contrôle pas le volume courant [1]. Cependant, les nouveaux respirateurs permettent d'assurer un volume courant suffisant par différents systèmes : volume support (VT minimal garanti), *autoflow* (où le respirateur calcule la pression nécessaire pour délivrer un VT souhaité).

“ Point fort

Pour éviter le risque volotraumatisme en pression contrôlée, le volume courant mesuré sur le respirateur doit être inférieur à 10 ml/kg de poids idéal théorique.

Ventilation à haute fréquence

Le principe consiste à administrer des faibles VT à haute fréquence respiratoire (100 à 2000 c/min). Il s'agit principalement de la *jet ventilation* et de la ventilation par oscillations à haute fréquence (OHF) utilisée en anesthésie adulte et en réanimation pédiatrique. Les indications de la *jet ventilation* sont aujourd'hui les suivantes :

- en cas de ventilation impossible dans l'algorithme d'intubation difficile [9] ;
- en cas de barotraumatisme sévère ;
- en cas de fistule bronchopleurale ou fistule trachéo-oesophagienne importante.

La ventilation par oscillations à haute fréquence (OHF) a les indications suivantes :

- en réanimation néonatale, en cas de maladie des membranes hyalines du prématuré afin de diminuer la dysplasie bronchopulmonaire^[10] ;
- en première intention pour les hernies diaphragmatiques congénitales^[10] ;
- pour prendre le relais de la ventilation conventionnelle, en cas d'échec de celle-ci^[10]. La ventilation par OHF a contribué à la diminution importante des indications d'oxygénation extracorporelle chez le nouveau-né^[10].

Avantages

Le principal avantage est représenté par la réduction de la pression des voies aériennes et du baro-volotraumatisme^[10].

Inconvénients

Trois inconvénients majeurs ont fait que la ventilation à haute fréquence n'est pratiquée qu'exceptionnellement en réanimation. Il s'agit de :

- l'augmentation de la PaCO₂ ;
- le *trapping* des gaz, d'autant plus qu'il s'agit d'un patient BPCO ;
- l'humidification qui n'est pas adéquate, avec risque de lésions trachéobronchiques.

Ventilation mécanique non invasive

La ventilation mécanique non invasive (VNI) est une ventilation sans intubation endotrachéale, le plus souvent à l'aide d'un masque facial et d'un support ventilatoire délivré par un respirateur (il existe une part prise en charge par le respirateur dans le travail respiratoire total du patient). La ventilation à pression positive (CPAP) n'ayant pas forcément besoin d'un respirateur pour être administrée ne rentre pas dans le cadre de la VNI (exemple de la CPAP Boussignac). Du fait de son côté non invasif et sa pratique plus encadrée, l'utilisation de la VNI a progressé de 16 % en 1997 à 24 % en 2002 chez tous les patients de réanimation nécessitant une assistance respiratoire^[11]. Par ailleurs, elle a progressé de 35 % à 52 % chez les patients sans intubation endotrachéale avant ou à l'admission en réanimation^[11].

Avantages

Ventiler sans prothèse trachéale présente des avantages certains (d'après^[12]) :

- absence de sédation ;
- diminution du risque de pneumopathie nosocomiale ;
- conservation d'une élocution en cas de cures séquentielles.

Inconvénients

Les inconvénients sont représentés par les complications de la VNI (d'après^[12]) :

- intolérance et asynchronisme patient-respirateur ;
- fuites aériques ;
- distension gastrique ;
- sécheresse des yeux et conjonctivites ;
- nécroses cutanées (nez, oreilles, etc.) par surutilisation ou mauvaise utilisation ou prévention (pansements).

Indications

Les indications de la VNI sont plus larges actuellement : elle est recommandée pour les pathologies ci-après (d'après^[13]).

BPCO

En traitement préventif, l'efficacité n'est pas démontrée. Lors des épisodes de décompensation aiguë, l'efficacité est démontrée par rapport au traitement médical seul (diminution du risque de mortalité, du taux d'intubation et de la durée d'hospitalisation^[12]) seulement chez les patients avec acidose respiratoire modérée ($7,25 < \text{pH} < 7,35$).

Œdème aigu pulmonaire (OAP) cardiogénique

Il n'y a pas d'efficacité de la VNI démontrée supérieure à l'utilisation de CPAP seule dans la majorité des études. Un gain

par rapport à la CPAP pourrait exister chez les patients hypercapniques^[12]. En pratique, la VNI est cependant très utilisée dans cette indication.

Pneumonies, poumon aigu lésionnel (ou « acute lung injury » [ALI])

Les résultats sont controversés parmi les nombreuses études incluant des patients de gravité variable. Une efficacité serait possible uniquement chez les patients hypercapniques.

Dans le cas particulier des patients immunodéprimés, il existe une efficacité démontrée de l'adjonction de VNI par rapport au traitement médical seul (efficacité sur la mortalité, le taux d'intubation et la durée de séjour)^[14,15]. Cela est tout à fait expliqué par le haut risque de pneumopathie nosocomiale et de décès chez ces patients lorsqu'ils sont intubés.

Prévention de la réintubation

Malgré des études initiales encourageantes, les derniers travaux randomisés et multicentriques ne montrent aucun bénéfice à l'utilisation de la VNI par rapport au traitement standard.

En cas d'encéphalopathie hypercapnique

L'encéphalopathie hypercapnique, qui représente une contre-indication classique de la VNI, a été récemment remise en cause par Scala et al.^[16]. Cette étude cas-contrôles a comparé la VNI à la ventilation mécanique invasive conventionnelle (VMI) chez 20 patients BPCO en encéphalopathie hypercapnique modérée à sévère. Le pourcentage de complications (notamment infectieuses) était significativement plus bas dans le groupe VNI que dans le groupe VMI (30 % versus 65 %) et avec une durée de ventilation mécanique moins importante (5,5 jours dans le groupe VNI versus 21,5 jours dans le groupe VMI) sans différence de mortalité à 1 an entre les deux groupes.

En cas de limitation thérapeutique

Les données de la littérature synthétisées dans une revue récente^[17] sur 438 patients inclus dans dix études entre 1992 et 2006 décrivent l'utilisation de VNI palliative (VNIP) pour donner une chance de survie ou pour diminuer les symptômes d'insuffisance respiratoire des patients mourants. La VNIP peut être aussi administrée le temps de compléter un dossier avant de décider d'une orientation thérapeutique. Une étude en cours (étude OVNI d'Azoulay et al.) doit préciser la place de la VNIP chez des patients pour lesquels une décision de ne pas intuber a été prise.

En postopératoire

La VNI (VS-PEP ou VS-AI-PEP) est indiquée en postopératoire d'une chirurgie de résection pulmonaire^[18] ou abdominale sus-mésocolique^[19,20] ou chez les patients transplantés^[21] en cas d'insuffisance respiratoire aiguë. Une VNI prophylactique (VS-PEP) doit être probablement proposée après une chirurgie d'anévrisme aortique thoracique ou abdominal^[22].

Contre-indications

Les contre-indications de la VNI suivantes sont à connaître, afin de prévenir tout accident (d'après^[12]) :

- altération de la conscience ou coma avec score de Glasgow < 9 (sauf coma hypercapnique de l'insuffisant respiratoire chronique) ;
- traumatisme craniofacial grave ;
- tétraplégie traumatique à la phase initiale ;
- instabilité hémodynamique (état de choc) ;
- sepsis sévère ;
- pneumothorax non drainé, plaie thoracique soufflante ;
- refus et/ou manque de coopération et/ou agitation du patient ;
- risque d'inhalation du contenu gastrique (syndrome de Mendelson) en cas de vomissements incoercibles ou d'hémorragie digestive haute ;
- épistaxis majeur incontrôlable ;
- sécrétions abondantes, difficultés à l'expectoration ;
- environnement inadapté, expertise insuffisante de l'équipe ;
- intubation imminente (sauf VNI en pré-oxygénation).

Tableau 2.
Caractéristiques des respirateurs de réanimation (d’après [26]).

Constructeur et site Internet	Nom des respirateurs	Système de pressurisation	Débit maximum (l/min)	Compensation compliance circuit	Taille de l’écran (pouces)
Dräger Medical, Lübeck, Allemagne www.draeger.com	Evita® 4	Gaz muraux	180	Oui	10/tactile
	Evita® XL	Gaz muraux	180	Oui	15/tactile
	Savina®	Turbine	180	Non	6
Maquet, Solna, Suède www.maquet.com	Servo-i®, Servo-s®	Gaz muraux	200	Option	12/tactile
Puritan Bennett, Carlsbad, CA, États-Unis www.puritanbennett.com	PB 840™	Gaz muraux	150	Oui	15/tactile
Viasys, Conshohocken, PA, États-Unis www.viasyshealth.com	Avea®	Gaz muraux	200	Option	12/tactile
	Vela®	Turbine	140	Non	10/tactile
Resmed-Saime, North Ryde, Australie www.resmed.com	Elisée™ 350	Turbine	180	Oui	15/tactile
	Elisée™ 250	Turbine	180	Oui	5/tactile
Taema, Antony, France www.airliquide.com/taema	Extend™	Gaz muraux	200	Oui	15/tactile
Hamilton Medical, Rhäzuns, Suisse www.hamilton-medical.com	Galiléo®	Gaz muraux	180	Non (mesure proximale du débit)	11
General Electric, Fairfield, Co, États-Unis www.gehealthcare.com	Engström®	Gaz muraux	200	Oui	12
	Centiva®	Gaz muraux	180	Oui	12
Respironics, Murryville, PA, États-Unis www.respironics.com	Esprit®	Turbine	200	Oui	10
	Vision®	Turbine	200	Non	9
Newport medical instruments, Costa Mesa, CA, États-Uni www.newportnmi.com	e500®	Gaz muraux	180	Non	10

Critères d’efficacité

La majorité des études évaluent l’efficacité dans les premières heures suivant l’instauration de la VNI. Les deux critères d’efficacité semblant les plus prédictifs sont l’amélioration de l’hématose explorée par les gaz du sang artériels et la diminution de la fréquence respiratoire.

Évolution des respirateurs de réanimation

Les respirateurs de réanimation ont bénéficié d’améliorations technologiques importantes au cours de la dernière décennie qui ont contribué à une meilleure prise en charge individuelle des patients sans que l’impact collectif soit formellement démontré [23]. Il s’agit d’une précision, d’une synchronisation, d’une ergonomie et d’un confort plus importants qu’auparavant, tant en ventilation volumétrique que barométrique [23]. Par ailleurs, de nouvelles fonctions (mesure de la capacité résiduelle fonctionnelle, du travail respiratoire, des courbes pression-volume), ainsi que de nouveaux modes ventilatoires (ASV, PAV, NAVA, etc.) ont été développés afin de favoriser le sevrage et la synchronisation patient-machine du patient.

Différents respirateurs de nouvelle génération

Un nouveau respirateur de réanimation peut être commercialisé en obtenant le marquage de Conformité européen (CE) sans pour autant que les performances techniques ne soit évaluées sur le plan clinique. Il convient donc d’être prudent dans l’évaluation d’un nouveau respirateur et d’évaluer de façon indépendante ses performances techniques et ses faiblesses avant son acquisition [23].

Les différents respirateurs de réanimation fonctionnent avec deux systèmes de pressurisation différents permettant de générer un débit de gaz : il s’agit des gaz muraux et des turbines.

Les nouveaux respirateurs qui fonctionnent avec les gaz muraux ont une valve électromagnétique située en aval de la source de pression, permettant un contrôle continu et précis de son ouverture et donc du débit d’insufflation. Les respirateurs à turbine sont plus adaptés aux modes ventilatoires barométriques et au transport puisqu’elle ne dépend pas des gaz muraux. Parmi ceux-ci, il existe les respirateurs australiens (Elisée™ 250, 350), les respirateurs allemands (Savina®) et les respirateurs américains (T-Bird®, Vela®).

Ergonomie et monitoring

La plupart des nouveaux respirateurs permettent une surveillance visuelle continue des débits et des pressions sur des grands écrans à commande tactile. Ceci permet la détection d’une asynchronie patient-machine, des fuites [24], d’une surdistension alvéolaire ou d’une PEP intrinsèque [25]. Pour y parvenir, les manœuvres d’occlusion téléinspiratoire (mesure de la pression de plateau) ou téléexpiratoire (mesure de la PEP intrinsèque) doivent être facilement accessibles. Par ailleurs, les fonctions tactiles permettent le passage d’un mode ventilatoire à un autre de façon intuitive, tout comme le réglage des paramètres vitaux.

Performances des respirateurs de nouvelle génération

Les caractéristiques des respirateurs de nouvelle génération ont été proposées à l’appel d’offre de l’Assistance publique-Hôpitaux de Paris en 2006 et sont résumées dans le Tableau 2 (d’après [26]).

En ventilation contrôlée

La plupart des respirateurs de nouvelle génération comportent un algorithme qui permet le calcul et la compensation de la compliance du circuit des anciens respirateurs. Cette compensation est indispensable en raison d’un risque de perte de

Tableau 3.
Modes spécifiques pour la ventilation non invasive (VNI) (d’après [23]).

Nom des respirateurs	Mode VNI	Trigger expiratoire	Temps d’insufflation (Ti) maximal (s)	Trigger inspiratoire
Savina®	Oui	Automatique	0,2-10	Débit (1-15 l/min)
Evita® 4,-Evita® XL	Oui	Automatique	0,1-10	Débit (0,3-15 l/min)
Servo-i®, Servo-s®	Oui	1-70 %	Non	Automatique
PB 840™	Non	1-80 %	Non	Débit (0,2-20 l/min) Pression (0,1-20 cmH ₂ O)
Vela®	Non (compensation fuites)	5-40 %	0,3-3	Débit (1-8 l/min)
Avea®	Non (compensation fuites)	5-45 %	0,2-5	Débit (0,1-20 l/min)
Elisée™ 350	Oui	Automatique 10-90 %	1-3	Automatique
Extend™	Oui	1-70 %	0,3-3,5	Pression (0,1-5 cmH ₂ O)
Galiléo®	Non (compensation fuites)	5-70 %	0,1-3	Débit (0,5-15 l/min) Pression (0,5-10 cmH ₂ O)
Engström®	Non (compensation fuites)	5-50 %	Non	Débit (1-9 l/min) Pression (0,25-10 cmH ₂ O)
Centiva®	Non	20-90 %	Non	Débit (0,5-20 l/min)
Vision®	Oui	Automatique	0,5-3	Automatique
Esprit®	Oui	Automatique 10-45 %	0,1-10	Débit (0,5-20 l/min) Pression (0,1-20 cmH ₂ O)
E 500®	Oui	Automatique 5-55 %	0,1-5	Débit (0,6-2 l/min) Pression (0-5 cmH ₂ O)

volume courant supérieure à 20 % [25]. Ceci évite la sous-assistance ventilatoire et améliore le travail respiratoire en raison d’efforts inspiratoires moins soutenus. Toutefois, malgré cette compensation, il persiste des pertes de volume courant de l’ordre de 5 % à 15 % [23,27].

En ventilation pressionnelle

En aide inspiratoire, on distingue les *triggers* en pression et les *triggers* en débits. Ces derniers sont à privilégier car ils sont plus sensibles et permettent une diminution de l’effort du patient [28]. Par ailleurs, le *trigger* est d’autant plus performant (sensible) que la différence de trigger ($\Delta trigger$) est courte. Les nouveaux respirateurs sont capables de générer un débit positif et une pression supérieure à la pression de fin d’expiration en moins de 100 ms [29].

En ventilation non invasive

L’inconvénient principal de la VNI est la gestion des fuites autour du masque facial, source d’inconfort et d’asynchronie du patient. En effet, les fuites provoquent deux types d’asynchronie : les inspirations prolongées (fuites inspiratoires) et les auto-déclenchements (fuites expiratoires). Les respirateurs modernes permettent une détection et une compensation de ces fuites, voire une adaptation automatique du *trigger* (Tableau 3) [23].

Nouvelles fonctions

Le Tableau 4 résume les différentes nouvelles fonctions et nouveaux modes ventilatoires.

Mesure de la capacité résiduelle fonctionnelle

Le respirateur Engström Carestation® permet la mesure de la CRF (volume pulmonaire de fin d’expiration normale). L’intérêt de mesurer la CRF est de mesurer un volume pulmonaire « aéré » qui détermine les échanges gazeux et permet l’administration d’un volume courant idéal, c’est-à-dire plus physiologique [30]. Pour le mesurer, la méthode de lavage de l’azote de l’oxygène *wash in/wash out* [31] est utilisée.

Mesure du travail respiratoire

Le respirateur Avea® effectue la mesure de la pression œsophagienne et du travail respiratoire, permettant d’avoir un aperçu de la dépense énergétique et des possibilités de sevrage du malade.

Réalisation de courbes pression-volume

Grace aux larges écrans tactiles du respirateur Evita® XL, les courbes pression-volume sont réalisables ainsi que le calcul des points d’inflexion inférieurs et supérieurs pour déterminer la compliance et l’élastance pulmonaire du malade.

Nouveaux modes ventilatoires

Système SMARTCARE

Il s’agit d’un système qui permet de réduire automatiquement le niveau d’assistance ventilatoire à un stade plus précoce afin d’accélérer la phase de sevrage respiratoire. Ce système a été développé par l’équipe de l’hôpital Henri-Mondor à Créteil en collaboration avec l’industrie via le respirateur Evita® XL [32].

« Adaptive support ventilation »

L’*adaptive support ventilation* (ASV), le respirateur Galiléo®, est un mode ventilatoire barométrique qui utilise l’aide inspiratoire et une boucle d’asservissement élaborée ; il repose sur les travaux d’Otis [33]. L’ASV permet le réglage des cycles en pression de façon que, pour un niveau donné de ventilation minute, il existe une combinaison optimale de fréquence respiratoire et de volume courant délivrés en termes de travail respiratoire. L’ASV permet donc de maintenir une ventilation minute minimale pré-définie en tenant compte des cycles respiratoires spontanés, tout en assurant une ventilation totale en apnée en cas d’inactivité respiratoire.

Les objectifs de l’ASV sont d’obtenir le mode ventilatoire qui permet le travail respiratoire le plus faible, de limiter l’hyperinflation dynamique et la PEP intrinsèque [34] et de rester dans des limites de sécurité en termes de barotraumatisme ou de volotraumatisme [35].

Ventilation assistée proportionnelle

La ventilation assistée proportionnelle (PAV) est un mode ventilatoire récent qui représente une alternative à l’aide inspiratoire. La PAV s’adapte directement à l’effort du malade en produisant une assistance proportionnelle à cet effort : l’assistance augmente si l’effort augmente, ce qui évite les sous-assistances et diminue quand l’effort diminue, ce qui évite les surassistances [36-38]. La détection de l’effort du malade s’effectue à partir du signal de

Tableau 4.
Exemples de nouvelles fonctions proposées sur quelques respirateurs de réanimation (d’après [23]).

Nom des respirateurs	Modes ventilatoires et fonctions spéciales pour l’exploration ou le monitoring
Evita® XL (Dräger)	Système automatisé Smartcare® pour le sevrage ventilatoire Ventilation assistée proportionnelle (PAV) Pression d’occlusion en continue Courbes pression-volume
Servo-i® (Maquet)	Neurally adjusted ventilatory assist (électromyogramme diaphragmatique) Courbes pression-volume
PB 840™ (Puritan Bennett)	Ventilation assistée proportionnelle avec mesure automatisée de la résistance et de la compliance (PAV +)
Avea® (Viasys)	Mesure de la pression œsophagienne et du travail respiratoire (système Bicare®) Mesure de la pression trachéale Courbes pression-volume
Engström Carestation® (General Electric)	Mesure de la capacité résiduelle fonctionnelle (CRF) Calorimétrie Courbes pression-volume Spirodynamique (relation pression alvéolaire-pression dynamique) Mesure de la pression trachéale
Extend™ (Taema)	Courbes pression-volume Mesure automatique de compliance et résistance
Galiléo® (Hamilton)	Adaptative support ventilation (ASV) Courbes pression-volume (inspiratoire/expiratoire) avec possibilité de mesurer le recrutement alvéolaire induit par la pression expiratoire positive (PEP)

Tableau 5.
Caractéristiques des principaux respirateurs de transport en 2010 (d’après [44]).

Modèle	Elisée™ 250	Oxylog® 300	Osiris 2™	Médumat Standard ^a ™
FiO2 (%)	21-100	40-100	60 ou 100	55 ou 100
Modes ventialtoires	V(A)C VP(A)C VS-AI	V(A)C VACI-AI BIPAP-AI VSPEP-AI	VC VAC VS-AI/PS	V(A)C
PEP (cmH2O)	0-25	0-20	0-15	Sans objet
Aide (cmH2O)	5-60	0-35	5-40	Sans objet
Fréquence respiratoire	2-50	2-60	6-40	5-40
Volume minute (l/min)	10-120	2-100	Sans objet	3-20
Volume courant (VT en ml)	50-2 500	20-2 000	100-1 500	
Rapport I/E	1/0,4-1/9,9	1/4-3/1	1/1-1/3	Sans objet
Réglage Pmax (cmH2O)	10-99	20 à 60	10-80	20-60
Mode VNI/compensation des fuites	Oui	Oui	Non	Non
Spiromètre	Oui	Oui	Non	Non
Alarme batterie	Oui	Oui	Oui	Oui
Alarme alimentation pneumatique	Oui	Oui	Oui	Oui
Alarme fuites	Oui	Oui	Non	Non
Ventilation d’apnée	Oui	Oui	Non	Non

V(A)C : ventilation (assistée) contrôlée en volume ; VP(A)C : ventilation en pression (assistée) contrôlée ; VS-AI : ventilation spontanée à aide inspiratoire ; VACI-AI : volume assisté contrôlé intermittent à aide inspiratoire ; BIPAP-AI : ventilation en pression positive biphasique à aide inspiratoire ; VSPEP-AI : Ventilation spontanée à pression positive et aide inspiratoire ; VC : ventilation contrôlée en volume ; VAC : ventilation assistée en volume ; VS-AI/PS : ventilation spontanée, assistée en pression ; PEP : pression expiratoire positive ; I : temps inspiratoire ; E : temps expiratoire ; VNI : ventilation non invasive.

débit et nécessite aussi que le respirateur connaisse la compli-
ance et la résistance du malade pour délivrer une assistance
adéquate.

Ventilation barométrique « bruyante »

La ventilation barométrique bruyante, ou *noisy pressure support ventilation* (PSV), ou aide inspiratoire à volumes courants varia-
bles, est un mode expérimental de ventilation barométrique dont

le principe est de délivrer des volumes courants variables en aide
inspiratoire pour mimer la respiration physiologique qui n’est pas
identique d’un cycle respiratoire à l’autre [39]. Ce mode de venti-
lation, qui n’est pas homogène d’un cycle à l’autre, est qualifié
de « bruyant » comme s’il y avait des bruits différents d’un cycle
à l’autre. Ce type de ventilation améliorerait l’oxygénation par
une redistribution des zones de perfusion pour des régions pul-
monaires non ventilées [39, 40].

Ventilation assistée par neuroasservissement

Le neuroasservissement de la ventilation assistée (NAVA) a pour principe d'adapter l'assistance délivrée par le respirateur à l'activité électromyographique (EMG) du diaphragme (Edi) du patient ventilé^[41]. Il fonctionne ainsi à partir de l'enregistrement continu de l'activité électromyographique du diaphragme. L'assistance ventilatoire est proportionnelle à l'activité diaphragmatique et dépend de l'intensité du signal diaphragmatique. Ce mode ventilatoire présente deux avantages théoriques : d'une part, une meilleure synchronisation patient-respirateur et, d'autre part, une « dose de ventilation » plus adéquate. La ventilation chez le sujet sain n'est pas monotone, mais présente une variabilité cycle à cycle. Ainsi, le profil ventilatoire sous NAVA reflète la variabilité ventilatoire naturelle^[42]. Par ailleurs, on sait que les asynchronies patient-respirateur liées au *trigger* sont sources d'efforts inefficaces. Avec la NAVA, l'effort est directement détecté à partir du signal Edi, ce qui permet théoriquement d'éliminer ces efforts inefficaces. Une récente étude française randomisée en *crossover* sur 12 patients de réanimation chirurgicale en cours de sevrage a comparé la NAVA à l'aide inspiratoire : elle montre une amélioration de l'oxygénation et de la variabilité des paramètres respiratoires dans les 24 premières heures en faveur de la NAVA^[43].

Respirateurs de transport

Ces respirateurs utiles pour les transports extrahospitaliers (Service d'aide médicale urgente [SAMU], Service mobile d'urgence et de réanimation [SMUR]) ou intrahospitaliers (scanners, imagerie par résonance magnétique [IRM], etc.) sont très différents des respirateurs « classiques » de réanimation. Bien que la population concernée soit identique (adultes, enfants, nourrissons), les circonstances d'utilisation sont différentes (transports primaires ou secondaires), ainsi que leur contraintes. En effet, ceux-ci doivent être petits, ergonomiques, accessibles, fiables, lisibles, avec un monitoring et des alarmes particuliers. Il existe deux types de respirateurs de transport : les respirateurs *pneumatiques* (à gaz comprimés) et les respirateurs *à turbine* (avec un moteur électrique).

Les respirateurs de transport se répartissent entre ceux de la première génération, qui assurent essentiellement une ventilation contrôlée, dont la PEP est insuffisamment stable et qui n'offrent pas de ventilation en aide inspiratoire, et ceux de la deuxième génération, qui proposent des ventilations volumétriques, barométriques et une PEP de bonne qualité. Il est souhaitable de s'équiper uniquement avec cette deuxième catégorie car une PEP fiable est indispensable en cas de SDRA ou une aide inspiratoire en cas de BPCO décompensée. Deux respirateurs correspondent à ces caractéristiques : l'Elisée™ 350 et l'Oxylog® 3000. Le [Tableau 5](#) décrit les caractéristiques des principaux respirateurs de transport sur le marché en 2010, d'après^[44].

■ Conclusion

Les respirateurs de réanimation sont de plus en plus performants et adaptés au malade. Ceci a été permis grâce à une meilleure connaissance de la physiopathologie des affections nécessitant une ventilation artificielle (SDRA de l'adulte, BPCO décompensée, asthme aigu grave, etc.), des interactions entre le malade et le respirateur, de l'essor de la VNI et des avancées technologiques améliorant les caractéristiques intrinsèques des respirateurs. C'est pourquoi les respirateurs de réanimation restent la pierre angulaire du traitement des malades graves admis en service de réanimation.



■ Références

[1] Brochard L, Lemaire F, Richard JC. Modes de ventilation assistés courants. In: *Réanimation médicale*. Paris: Masson; 2000.

[2] Viale JP. Ventilation artificielle. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Anesthésie Réanimation, 36-945-A-10, 1997: 24p.

[3] The Acute Respiratory Distress Syndrome Network. Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 2000;**342**:1301–8.

[4] Richard JC, Girault C, Leteurtre S, Leclerc F, et le groupe d'Experts de la SRLF. Prise en charge ventilatoire du syndrome de détresse respiratoire aiguë de l'adulte et de l'enfant (nouveau-né exclu) - Recommandations d'Experts de la Société de Réanimation de Langue Française. <http://www.srlf.org>.

[5] Ricard JD, Le Mièrre E, Markowicz P, Lasry S, Saumon G, Djedaïni K, et al. Efficiency and safety of mechanical ventilation with a heat and moisture exchanger changed only once a week. *Am J Respir Crit Care Med* 2000;**161**:104–9.

[6] Dreyfuss D, Djedaïni K, Gros I, Mier L, Le Bourdellès G, Cohen Y, et al. Mechanical ventilation with heated humidifiers or heat and moisture exchangers: effects on patient colonization and incidence of nosocomial pneumonia. *Am J Respir Crit Care Med* 1995;**151**:986–92.

[7] Lellouche F, Taillé S, Maggiore SM, Qader S, L'her E, Deye N, et al. Influence of ambient and ventilator output temperatures on performance of heated-wire humidifiers. *Am J Respir Crit Care Med* 2004;**170**:1073–9.

[8] Thille AW, Rodriguez P, Cabello B. Patient-ventilator asynchrony during assisted mechanical ventilation. *Intensive Care Med* 2006;**32**:1515–22.

[9] Intubation difficile. Conférence d'experts. SFAR 2006 disponible sur le site internet: www.sfar.org/intubation-difficile-ce-2006.

[10] Moriette G, Jarreau PH. Ventilation à haute fréquence chez le nouveau-né. *Reanimation* 2002;**11**:16–27.

[11] Demoule A, Girou E, Richard JC, Taillé S, Brochard L. Increased use of noninvasive ventilation in French intensive care units. *Intensive Care Med* 2006;**32**:1747–55.

[12] Ventilation non invasive au cours de l'insuffisance respiratoire aiguë (nouveau né exclu). 3è conférence de consensus commune SFAR-SRLF-SPLF, 12 octobre 2006. Disponible sur le site internet: www.sfar.org/docs/articles/83-vni_ccons06.pdf.

[13] Nava S, Navalesi P, Conti G. Time of non-invasive ventilation. *Intensive Care Med* 2006;**32**:361–70.

[14] Hilbert G, Gruson D, Vargas F, Valentino R, Gbikpi-Benissan G, Dupon M, et al. Noninvasive ventilation in immunosuppressed patients with pulmonary infiltrates, fever, and acute respiratory failure. *N Engl J Med* 2001;**344**:481–7.

[15] Azoulay E, Thiéry G, Chevret S, Moreau D, Darmon M, Bergeron A, et al. The prognosis of acute respiratory failure in critically ill cancer patients. *Medicine* 2004;**83**:360–70.

[16] Scala R, Nava S, Conti G, Antonelli M, Naldi M, Archinucci I, et al. Noninvasive versus conventional ventilation to treat hypercapnic encephalopathy in chronic obstructive pulmonary disease. *Intensive Care Med* 2007;**33**:2101–8.

[17] Azoulay E, Demoule A, Jaber S, Kouatchet A, Meert AP, Papazian L, et al. Palliative noninvasive ventilation in patients with acute respiratory failure. *Intensive Care Med* 2011;**37**:1250–7.

[18] Auriant I, Jallot A, Hervé P, Cerrina J, Le Roy Ladurie F, Fournier JL, et al. Noninvasive ventilation reduces mortality in acute respiratory failure following lung resection. *Am J Respir Crit Care Med* 2001;**164**:1231–5.

[19] Squadrone V, Coia M, Cerutti E, Schellino MM, Biolino P, Occella P, et al. Piedmont Intensive Care Units Network (PICUN). Continuous positive airway pressure for treatment of postoperative hypoxemia: a randomized controlled trial. *JAMA* 2005;**293**:589–95.

[20] Jaber S, Delay JM, Chanques G, Sebbane M, Jacquet E, Souche B, et al. Outcomes of patients with acute respiratory failure after abdominal surgery treated with noninvasive positive pressure ventilation. *Chest* 2005;**128**:2688–95.

[21] Antonelli M, Conti G, Bui M, Costa MG, Lappa A, Rocco M, et al. Noninvasive ventilation for treatment of acute respiratory failure in patients undergoing solid organ transplantation: a randomized trial. *JAMA* 2000;**283**:235–41.

[22] Kindgen-Milles D, Müller E, Buhl R, Böhner H, Ritter D, Sandmann W, et al. Nasal-continuous positive airway pressure reduces pulmonary morbidity and length of hospital stay following thoracoabdominal aortic surgery. *Chest* 2005;**128**:821–8.

[23] Thille AW, Lyazidi A, Richard JC, Brochard L. Évolution des ventilateurs de réanimation. *Reanimation* 2008;**17**:12–20.

- [24] Georgopoulos D, Prinianakis G, Kondili E. Bedside waveforms interpretation as a tool to identify patient-ventilator asynchronies. *Intensive Care Med* 2006;**32**:34–47.
- [25] Grasso S, Terragni P, Mascia L, Fanelli V, Quintel M, Herrmann P, et al. Airway pressure-time curve profile (stress index) detects tidal recruitment/hyperinflation in experimental acute lung injury. *Crit Care Med* 2004;**32**:1018–27.
- [26] Lyazidi A, Galia F, Thille AW, Di Marco F, Rodriguez P, Brochard L. Performance of intensive care unit ventilators during pressure support ventilation mode: A bench study abstract. *Intensive Care Med* 2006;**32**:A0337.
- [27] Lyazidi A, Richard JC, Thille AW, Besson O, Brochard L. How ICU ventilators compensate for compressed gas volume: a bench test abstract. *Intensive Care Med* 2007;**33**:S233.
- [28] Aslanian P, El Atrous S, Isabey D, Valente E, Corsi D, Harf A, et al. Effects of flow triggering on breathing effort during partial ventilatory support. *Am J Respir Crit Care Med* 1998;**157**:135–43.
- [29] Tassaux D, Strasser S, Fonseca S, Dalmas E, Jolliet P. Comparative bench study of triggering, pressurization, and cycling between the home ventilator VPAP II and three ICU ventilators. *Intensive Care Med* 2002;**28**:1254–61.
- [30] Rouby JJ, Constantin JM, Roberto De A, Girardi C, Zhang M, et al. Mechanical ventilation in patients with acute respiratory distress syndrome. *Anesthesiology* 2004;**101**:228–34.
- [31] Patroniti N, Bellani G, Manfio A, Maggioni E, Giuffrida A, Foti G, et al. Lung volume in mechanically ventilated patients: measurement by simplified helium dilution compared to quantitative CT scan. *Intensive Care Med* 2004;**30**:282–9.
- [32] Lellouche F, Mancebo J, Jolliet P, Roeseler J, Schortgen F, Dojat M, et al. A multicenter randomized trial of computer-driven protocolized weaning from mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 2006;**174**:894–900.
- [33] Otis A. The work of breathing. In: Fenn WO, Rahn H, editors. *Handbook of Physiology. Section 3: Respiration*. Washington DC: American Physiological Society; 1964. p. 463–76.
- [34] 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.
- [35] Jaber S, Sebbane M, Chanques G, Eledjam JJ. Pression expiratoire positive et pression expiratoire positive intrinsèque dans les modes ventilatoires assistés. *Reanimation* 2006;**15**:81–6.
- [36] Giannouli E, Webster K, Roberts D, Younes M. Response of ventilator-dependent patients to different levels of pressure support and proportional assist. *Am J Respir Crit Care Med* 1999;**159**:1716–25.
- [37] Grasso S, Puntillo F, Mascia L, Ancona G, Fiore T, Bruno F, et al. Compensation for increase in respiratory workload during mechanical ventilation. Pressure-support versus proportional assist ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 2000;**161**:819–26.
- [38] Kondili E, Prinianakis G, Alexopoulou C, Vakouti E, Klimathanaki M, Georgopoulos D. Respiratory load compensation during mechanical ventilation—proportional assist ventilation with load-adjustable gain factors versus pressure support. *Intensive Care Med* 2006;**32**:692–9.
- [39] Gama de Abreu M, Spieth PM, Pelosi P, Carvalho AR, Walter C, Schreiber-Ferstl A, et al. Noisy pressure support ventilation: a pilot study on a new assisted ventilation mode in experimental lung injury. *Crit Care Med* 2008;**36**:818–27.
- [40] Carvalho AR, Spieth PM, Güldner A, Cuevas M, Carvalho NC, Beda A, et al. 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.
- [41] Sinderby C, Navalesi P, Beck J, Skrobik Y, Comtois N, Friberg S, et al. Neural control of mechanical ventilation in respiratory failure. *Nat Med* 1999;**5**:1433–6.
- [42] Schmidt M, Demoule A, Cracco C, Gharbi A, Fiamma MN, Straus C, et al. Neurally adjusted ventilatory assist increases respiratory variability and complexity in acute respiratory failure. *Anesthesiology* 2010;**112**:670–81.
- [43] Coisel Y, Chanques G, Jung B, Constantin JM, Capdevila X, Matecki S, et al. Neurally adjusted ventilatory assist in critically ill postoperative patients: a crossover randomized study. *Anesthesiology* 2010;**113**:925–35.
- [44] Liotier J. *Guide poche de ventilation artificielle*. Paris: Maloine; 2011.

Pour en savoir plus

Brochard L, Mercat A, Richard JC. Ventilation artificielle, de la physiologie à la pratique. Paris: Masson; 2008.

J. Liotier, Praticien hospitalier universitaire (jliotier@gmail.com).

Département d'anesthésie-réanimation, Centre hospitalier de Polynésie française, Quartier du Taaone, BP1640, 98716 Pirae, Tahiti, Polynésie française.

Toute référence à cet article doit porter la mention : Liotier J. Respirateurs de réanimation. EMC - Anesthésie-Réanimation 2012;9(3):1-11 [Article 36-942-A-10].

Disponibles sur www.em-consulte.com



Arbres
décisionnels



Iconographies
supplémentaires



Vidéos/
Animations



Documents
légaux



Information
au patient



Informations
supplémentaires



Auto-
évaluations



Cas
clinique