

🕒 Nouveaux modes ventilatoires en anesthésie

Bourgain JL, Service d'anesthésie, Institut Gustave Roussy, 94800 Villejuif,
bourgain@igr.fr

Objectifs pédagogiques

- Définir les conditions de sécurité d'utilisation des machines d'anesthésie
- Introduire la notion du monitoring de la mécanique respiratoire (en terme de ventilation et de profondeur d'anesthésie)
- Enumérer l'intérêt et les limites de la ventilation en pression contrôlée.
- Faire une approche méthodologique de l'aide inspiratoire en anesthésie

Pendant plusieurs années, le débat concernant les machines d'anesthésie a été centré sur le circuit et la délivrance des gaz anesthésiques. Récemment, l'accent a été porté sur les nouveaux modes ventilatoires comme la ventilation en pression contrôlée et l'aide inspiratoire. Parallèlement, la place de la pression positive de fin d'expiration (PEP) et des manœuvres de recrutement a été mieux définie. L'utilisation de ces nouvelles techniques suppose une surveillance de la mécanique respiratoire (courbe pression volume et débit volume) pour juger de l'efficacité et des éventuels effets secondaires de ces traitements.

1. L'acquis

1.1. Circuit principal et circuit accessoire

L'utilisation d'un circuit accessoire est intéressante quand le circuit principal est défaillant. Le monitoring prévient le clinicien de l'anomalie de fonctionnement du circuit principal et lui permet de prendre la décision de passer sur le circuit accessoire. L'intérêt du circuit accessoire à l'induction et au réveil se résume à l'aspect ergonomique et à la puissance des habitudes acquises précocement... Il n'apporte aucun avantage du point de vue mécanique (résistance du circuit, fiabilité) ni cinétique puisque la rapidité de l'induction et du réveil n'est pas meilleure avec ces circuits comparés au circuit filtre à haut débit de gaz frais. Il présente l'inconvénient majeur de ne pas être complètement monitoré, en particulier au niveau des pressions des voies aériennes ; ce point est critique tant au plan réglementaire que sécuritaire quand on sait que le risque d'insufflation gastrique est proportionnel à la valeur de la pression d'insufflation chez un sujet non-intubé. La vérification avant utilisation pose souvent des problèmes du fait de l'absence de procédures validées et de la difficulté des mesures objectives sur des appareils rudimentaires. Le circuit filtre s'oppose point par point : il est facile de le contrôler avant utilisation par des procédures validées, il dispose de l'ensemble du monitoring, il est plus économique et moins polluant, sa maintenance peut être parfaitement standardisée.

Fait important et récent : la ventilation dans le circuit principal après l'induction permet de contrôler réellement la ventilation en mettant en route le respirateur [1]. Ceci permet de réduire considérablement les pressions d'insufflation surtout en mode pression. Il est ainsi possible de ventiler de façon satisfaisante pour des pressions d'insufflation de l'ordre de 10 cm H₂O [1]. Ceci a conduit les experts de la conférence sur l'intubation difficile à recommander pendant l'induction anesthésique la ventilation au masque par le respirateur (texte court à paraître).

1.2. Ventilation mécanique et circuit filtre

Le principe de fonctionnement des ventilateurs d'anesthésie est bien particulier puisqu'ils propulsent dans le patient les gaz anesthésiques. La majorité de ces ventilateurs sont couplés à des circuits filtres qui sont composés d'un soufflet, d'un bac à chaux sodée et de valves inspiratoires et expiratoires.

Les problèmes techniques en relation avec la ventilation mécanique à travers un circuit filtre ont été résolus par les fabricants. Le volume mort des circuits filtre est élevé et une élévation de la pression comprime le gaz et réduit le volume réellement insufflé dans le patient de façon proportionnelle. Les appareils modernes mesurent la compliance interne pendant la check-list et applique automatiquement un facteur correctif [2]. Ce système a ses limites lors de la ventilation des poumons rigides et lors de la ventilation sur des sondes d'intubation de faible calibre. Dans ce contexte restreint, les ventilateurs à faible compliance interne garde des indications. La ventilation des prématurés et des nouveau-nés justifie l'utilisation d'un matériel spécifique

La check-list est automatique et doit être effectuée de façon quotidienne. Il est nécessaire de tenir compte des éventuels messages d'erreur affichés lors de ces contrôles. La négligence de ces informations gêne l'utilisation de ces machines dans toutes leurs fonctionnalités et altère la sécurité. La présence de matériel de rechange immédiatement disponible permet de maintenir l'activité et de ne pas perdre de temps à résoudre des problèmes techniques sur site [3].

1.3. Les réglages classiques du ventilateur.

Les réglages utiles se limitent à ceux du volume courant, de la fréquence respiratoire et de la PEP. Le soupir automatique (augmentation du temps d'insufflation de 100% tous les 50 ou 100 cycles) est inefficace [4]. Pour recruter des zones pulmonaires atelectasiées, il faut maintenir la pression pulmonaire largement au-dessus de 20 cm H₂O pendant 10 à 15 secondes [5]. Les effets hémodynamiques d'une telle manœuvre ne sont pas négligeables.

Les modifications du rapport I:E (de 1:5 à 1:1) n'améliorent ni la ventilation ni l'hématose des patients sans antécédents cardio-respiratoires [6].

Les modifications pulmonaires induites par des variations de I:E chez le patient porteur d'une BPCO sont complexes (tableau 1) [7,8]. En pratique, les modifications de volume pulmonaire induites par le I:E dépendent de plusieurs facteurs potentiels : diamètre de la sonde d'intubation, augmentation de l'élasticité pulmonaire, fréquence respiratoire ... Un raccourcissement du temps d'insufflation améliore la vidange pulmonaire par augmentation du temps expiratoire mais augmente la pression d'insufflation par l'augmentation du débit d'insufflation qu'il impose. Il importe donc de surveiller la fonction pulmonaire avec précaution : forme du capnigramme, limitation de la pression d'insufflation, détection de l'hyperinflation dynamique par la visualisation des courbes débit volume. Des aspects typiques peuvent ainsi être observés chez les patients porteurs de BPCO et lorsque l'intubation avec une sonde de faible diamètre a été nécessaire.

L'utilisation d'un temps de pause inspiratoire revient à augmenter le débit d'insufflation et donc à augmenter la pression d'insufflation. Le bénéfice du temps de pause inspiratoire sur la distribution de la ventilation n'a jamais été démontré. Récemment, un nouveau mode de ventilation a été testé où le volume courant et la fréquence respiratoire sont modifiés automatiquement autour d'une valeur moyenne (-50% à + 100%) [9]. Cette technique améliorerait la l'hématose (PaO₂ et PaCO₂), réduirait l'espace mort physiologique et augmenterait la compliance.

2. La ventilation en pression contrôlée

La ventilation en pression contrôlée s'oppose à la ventilation en mode volume contrôlé. Les différences sont résumées sur le tableau 2.

Pour que ce mode ventilatoire soit efficace, le ventilateur doit assurer des débits inspiratoires élevés [10]. Ce paramètre est un critère de choix de la machine et les machines récentes sont de plus en plus performantes à cet égard. La ventilation en pression contrôlée permet de délivrer un volume courant satisfaisant en présence de fuite (sur la sonde d'intubation sans ballonnet ou le masque laryngé).

Tout chose égale par ailleurs, la ventilation en pression contrôlée permet une ventilation mécanique à une pression d'insufflation plus faible qu'en mode volume contrôlé, à volume courant égal. L'intérêt de ce mode a été démontré lors de la ventilation à travers un masque laryngé [11] et lors de ventilation à poumons séparés dans la chirurgie pulmonaire [12]. Des avantages ont également été décrits lors de la ventilation en pédiatrie (sonde d'intubation de faible diamètre) [13]. Par analogie, la ventilation en pression

contrôlée peut être proposée lors de l'utilisation des sondes de micro-chirurgie laryngée. Le bénéfice thérapeutique réel de la réduction de la pression d'insufflation n'a pas encore été prouvé [14]. Associée à une PEP, le mode pression contrôlée améliore discrètement l'hématose des enfants ventilés à travers un masque laryngé Proseal® sans majoration des fuites [15].

L'utilisation de ce mode ventilatoire nécessite une formation. Tout changement d'impédance thoracique va modifier le niveau de ventilation dans un sens ou dans l'autre. La ventilation n'étant pas stable, la surveillance du volume minute (ou mieux du Vt) est impérative. Le monitoring des courbes pression volume est d'un grand intérêt parce qu'il détecte précocement les modifications de mécanique respiratoire, particulièrement lorsqu'elles sont liées à des variations de profondeur d'anesthésie. Il convient de mémoriser une boucle sous anesthésie profonde et de la comparer aux boucles affichées en permanence.

Pour pallier les variations de ventilation en rapport avec les modifications d'impédance thoraco-pulmonaire, le mode dit « auto-flow » a été conçu. L'anesthésiste règle une consigne de volume courant et la machine ajuste la pression d'insufflation pour garantir l'administration du volume désiré en mode pression contrôlée.

3. Les modes auto-déclenchés

L'avantage majeur des circuits filtre est qu'ils permettent le passage ventilation spontanée – ventilation contrôlée en activant un simple commutateur, en gardant les mêmes fonctionnalités. Ceci n'est pas un simple gadget puisque cette fonction est utilisée au moins deux fois pour chaque anesthésie générale : lors de l'induction (passage de la ventilation spontanée lors de la pré-oxygénation à la ventilation manuelle puis mécanique) et lors du réveil (sevrage de la ventilation mécanique).

Il convient de distinguer deux modes principaux : la VACI (ventilation assistée contrôlée intermittente) et l'aide inspiratoire (AI). Ces modes sont réellement différents et leurs caractéristiques principales sont résumées sur le tableau 3. La littérature concernant l'intérêt de la VACI en anesthésie est particulièrement pauvre. Ceci est probablement lié à la difficulté d'adapter le patient à ce mode ventilatoire. En effet, le patient tolère l'insufflation mécanique qu'il a déclenchée si l'augmentation inspiratoire du volume pulmonaire est rapidement satisfaite. En VACI, l'existence d'un trigger inspiratoire en pression et d'un débit d'insufflation constant retarde l'augmentation du volume pulmonaire.

Il est bien plus facile d'adapter un patient en aide inspiratoire du fait d'un trigger inspiratoire en débit (donc plus sensible) et d'un débit inspiratoire décélérant. De plus, l'existence d'un trigger expiratoire permet d'arrêter l'insufflation dès que le débit expiratoire chute, signalant à la machine la fin de l'inspiration. Il est nécessaire d'y adjoindre un temps inspiratoire maximum autorisé pour arrêter l'insufflation en présence de fuites.

A priori, il paraît logique de régler le niveau de trigger au minimum, à condition d'éviter l'auto-déclenchement. La sensibilité du trigger variant d'un constructeur à l'autre selon la technologie choisie, une valeur de sécurité ne peut être proposée pour toutes les machines. Ces phénomènes d'auto-déclenchement ne sont pas rares et doivent être identifiés. Dans certains cas, ceci est simple quand le trigger est déclenché par les oscillations cardiaques et que les cycles ventilatoires sont synchrones de l'ECG [16]. Parfois, ceci est moins évident et le diagnostic d'auto-déclenchement repose sur la constatation de l'absence de mouvements respiratoires après commutation du circuit en mode manuel [16]. Les opiacés majorant le tonus des muscles abdominaux pendant l'expiration favoriseraient la transmission des modifications de volume cardiaque aux voies aériennes [17]. Une fuite pendant l'expiration serait un éventuel mécanisme de déclenchement spontané du trigger par l'augmentation de la chute du débit expiratoire qui simulerait un appel inspiratoire [18].

Le niveau d'aide dépend des conditions mécaniques du système respiratoire et doit être adapté en fonction du patient (obésité, BPCO) et en fonction du niveau d'assistance respiratoire que le clinicien choisit. Des logiciels permettent la gestion automatique des paramètres soit pour ajuster le niveau de ventilation sur l'hématose [19] soit pour raccourcir la période de sevrage du ventilateur [20].

Ce mode ventilatoire prédispose à l'instabilité et il convient d'accepter une certaine irrégularité des cycles ventilatoires [21]. Fait très important, l'ensemble de ces nouveaux modes ventilatoires semblent intéressants et utiles mais requiert une attention soutenue pour adapter les réglages du respirateur et/ou la profondeur d'anesthésie aux modifications induites par le patient.

Des travaux récents ont rapporté des résultats encourageants pour

- le masque laryngé [22],
- l'induction au sévoflurane chez l'adulte [23],
- la cœlioscopie comparée avec la ventilation contrôlée,

- l'assistance ventilatoire au cours de l'intubation sous fibroscopie en réanimation [24] et au bloc opératoire [25].
- L'assistance ventilatoire au cours des dyspnées laryngées [26].

Une diminution du travail respiratoire sans modification de l'hématose a également été rapportée sous enflurane en comparaison avec la ventilation spontanée [27]. Au maximum, une augmentation du niveau d'aide inspiratoire à 17 cm H₂O rend négligeable le travail respiratoire et rend comparable le mode en pression contrôlée et l'aide inspiratoire [28]. Ceci explique pourquoi l'aide inspiratoire est utile pour ventiler des patients grands insuffisants respiratoires (restrictif [29] ou obstructif [30]) pendant des actes chirurgicaux, en association avec une anesthésie loco-régionale.

Les publications concernant la BiPAP en anesthésie sont anecdotiques, probablement parce que ce mode n'est pas inclus dans les machines d'anesthésies. Le premier travail réalisé sous anesthésie intraveineuse a montré une discrète amélioration de la distribution des rapports VA/Q et une meilleure oxygénation [31].

4. Méthodes visant à améliorer l'oxygénation

L'hypoxémie peropératoire est largement dépendante de la présence de micro-atélectasies. Les anesthésies sous ventilation contrôlée font baisser la CRF avec collapsus alvéolaire et altération de l'oxygénation. La PEP permet de réouvrir des alvéoles. Cette pratique est peu utilisée au cours des anesthésies car les problèmes d'oxygénation sont, au premier abord, facilement corrigés par une augmentation de la FiO₂. Néanmoins, l'utilisation de FiO₂ élevée favorise l'extension des micro-atélectasies et doit être utilisée avec prudence. Les manœuvres de pré-oxygénation ont été incriminées dans la genèse des atélectasies.

Deux méthodes, éventuellement associées, ont été proposées pour restaurer l'oxygénation : la PEP et les manœuvres de recrutement alvéolaire.

4.1 Manœuvre de recrutement

La manœuvre de recrutement la plus simple consiste à passer la machine d'anesthésie en mode manuel et à régler la pression par ajustement de la valve APL. L'autre manœuvre consiste à ventiler pendant une minute à haut niveau de PEP (20 cm H₂O) et grand volume courant pour obtenir une pression d'insufflation proche de 40 cm H₂O.

Une manœuvre de recrutement (40 cm H₂O pendant 15 secondes) permet de lever les micro-atélectasies post-induction si elle est suivie par l'application d'une PEP à 10 cm H₂O [32]. Pendant les cholécystectomies laparoscopiques, les manœuvres de recrutement n'améliorent l'oxygénation que pendant la chirurgie [33]. L'instauration d'une PEP peut être indiquée chez les obèses pour améliorer l'oxygénation [34]. Elle n'est pas toujours bien tolérée d'un point de vue hémodynamique. Elle est inutile pour prévenir les embolies gazeuses. L'amélioration de l'oxygénation par la méthode de recrutement a également été démontrée en pédiatrie [35].

4.2 Pression positive télé-expiratoire

L'application d'une PEP pendant l'anesthésie améliore habituellement l'oxygénation bien que le mécanisme ne soit pas univoque : diminution du shunt par recrutement alvéolaire ou baisse du débit cardiaque ? Cet effet est particulièrement net chez l'obèse. L'adjonction d'une PEEP pendant la pré-oxygénation améliore la PaO₂ après intubation par rapport à un groupe contrôle sans PEEP (PaO₂ 457±130 mm Hg vs 315±100 mm Hg respectivement) [36]. Une PEEP à 12 cm H₂O associée à des manœuvres de recrutement alvéolaire jusque 50 cm H₂O permet d'améliorer la PaO₂ et la compliance dynamique au cours de la chirurgie bariatrique au prix d'une augmentation de la quantité de vasopresseurs administrés ; cet effet bénéfique ne se prolonge pas après l'extubation [37]. Une autre équipe travaillant sur le même type de chirurgie a proposé de titrer la PEEP en mesurant le gain de CRF par l'impédance thoracique : un chiffre moyen de 15 cm H₂O permet d'optimiser la CRF et l'oxygénation, un remplissage modéré (de 500 à 1500 ml) permettant le maintien du débit cardiaque [38]. Dans cette étude, des effets bénéfiques sur l'espace mort étaient notés après chirurgie.

5. Monitoring de la machine d'anesthésie

Les années 1980 ont vu la généralisation de la surveillance non invasive de l'hématose (oxymétrie pulsée et capnigraphie), mettant au second plan la surveillance des paramètres mécaniques. Récemment, l'intérêt de ventiler les patients à des pressions les plus basses possibles a été démontré : risque barotraumatique (pneumothorax, altération du surfactant) et ventilation à travers le masque laryngé. Cette surveillance est améliorée par la visualisation des courbes de tendance en fonction du temps et par l'affichage des courbes pression - volume et débit - volume.

Sur la courbe débit volume, il est aisé d'identifier l'auto PEP, l'expiration dans le soufflet et dans la valve APL, la pression résiduelle dans le circuit en relation avec la valve APL. Il est également possible de mémoriser les courbes pour les comparer d'un instant à l'autre.

L'avenir est dans l'intégration à un réseau informatique de la machine d'anesthésie. Même si le milieu de l'anesthésie est encore réticent à l'informatisation des blocs, les contraintes réglementaires, médico-légales et l'exigence de sécurité vont nous y pousser. La mise en réseau des machines d'anesthésie permet de gérer efficacement :

1. La check-list d'ouverture de salle d'opération qui peut ainsi être enregistrée et imprimée de façon centralisée
2. La traçabilité des dispositifs médicaux, des transfusions etc
3. La transmission d'un clinicien à l'autre
4. Le suivi chronologique des différents événements en relation avec le monitoring
5. Le processus d'assurance qualité qui doit aboutir à l'accréditation.

6. Aspects budgétaires

Les coûts induits par ces nouveaux modes ventilatoires n'apparaissent pas déraisonnables lorsqu'on les compare aux charges salariales. Dans notre expérience, l'équipement anesthésique complet d'une salle d'opération revient à 61 000 € et à 20 000 € par lit de réveil. Compte tenu de l'activité de l'IGR et d'une utilisation pendant 10 ans, le retour sur investissement est de 10 € par anesthésie. Ces chiffres n'incluent pas les coûts de maintenance et d'usage unique qui sont loin d'être négligeables. Dans notre expérience, les frais de maintenance annuelle correspondent à environ 10% du prix d'achat [39]. Ceci revient à dire qu'au bout de 10 ans, l'hôpital aura dépensé autant d'argent en maintenance qu'en investissement. Ces chiffres restent néanmoins modestes s'ils sont comparés au frais de personnel ou au budget des produits pharmaceutiques.

En conclusion,

Les nouveaux modes de ventilation en pression positive ont été récemment mis au point. Les avantages de la ventilation en pression contrôlée sur la mécanique respiratoire semblent démontrés ; elles se traduisent par une meilleure ventilation pour une pression d'insufflation donnée et par une meilleure gestion des fuites. L'aide inspiratoire semble utile pendant les phases de l'anesthésie où la ventilation spontanée est insuffisante (induction et maintenance de l'anesthésie en ventilation spontanée). Les problèmes d'oxygénation peuvent être traités par des manœuvres de recrutement plus ou moins associées à l'application d'une PEEP, plutôt que par l'augmentation simple de la FiO₂.

La surveillance de la mécanique respiratoire donne des éléments rationnels, permettant de prescrire et de contrôler l'efficacité de ces manœuvres.

QCM concernant cet exposé

Quels sont les paramètres qui augmentent le volume courant en mode pression contrôlée ?

Le débit de gaz frais = F

L'augmentation de la compliance thoraco-pulmonaire = V

L'augmentation de la résistance bronchique = F

L'augmentation du rapport I : E = V

L'augmentation de la pression consigne réglable = V

Quelles sont les opérations recommandées pour adapter une machine d'anesthésie à l'enfant ?

Diminuer le volume des tuyaux = V

Changer le filtre antibactérien = V

Changer le soufflet du ventilateur = F

Changer le ballon du circuit principal = V

Modifier les paramètres du monitoring = V

Donner votre appréciation sur la part budgétaire de l'investissement matériel sur le coût de l'anesthésie

0 à 5 % = V

5 à 10%

10 à 20%

20 à 30%

30 à 40%

Quelles sont les différentes séquences de l'expiration identifiable sur la courbe débit volume.

Expiration dans le soufflet = V

Ouverture de la valve APL = V

Expiration à travers la valve APL = V

Fermeture de la valve APL = F

Début de l'insufflation avant la fin de l'expiration = V

Tableau 1 : effet des modifications du temps expiratoire lors de la ventilation mécanique de sujets porteurs d'une BPCO. L'augmentation du temps expiratoire (diminution de I :E) ou le raccourcissement du temps expiratoire (pause expiratoire) ont des effets comparables [7,8]

	PaO ₂	Admission veineuse	Vd/Vt
I :E de 1 :2 à 1 :5	+ 18 %	- 23 %	- 24 %
Pause expi = 0.5 sec	+ 7 %	- 18 %	- 14 %

Tableau 2 : Différences entre ventilation en mode pression contrôlée et en mode volume contrôlé.

	Volume contrôlé	Pression contrôlée
Consigne de réglage	Réglage du Vt : la pression d'insufflation dépend de l'impédance thoraco-pulmonaire	Réglage de la pression d'insufflation : le volume insufflé dépend de l'impédance thoraco-pulmonaire
Débit d'insufflation	Débit constant	Débit décélérant
Ventilation à fuites	Diminution du Vt expiré	Meilleur maintien du Vt
Monitoring	Pression d'insufflation	Volume courant

Tableau 3 Comparaison des caractéristiques principales de la ventilation assistée contrôlée intermittente (VACI) et de l'aide inspiratoire (AI).

	VACI	AI
Déclenchement d'un cycle (trigger inspiratoire)	Diminution de la pression dans le circuit	Inversion des débits en fin d'expiration
Fin de l'inspiration	Déterminée par le temps expiratoire (FR x I/E)	Trigger expiratoire ou temps expiratoire maximum
Mode ventilatoire	Cycle en volume contrôlé	Cycle en pression contrôlée

Figure 1 Visualisation des différences entre le mode pression contrôlée (en fin) et volume contrôlé (en gras) sur les courbes débit volume (à droite) et pression volume (à gauche).

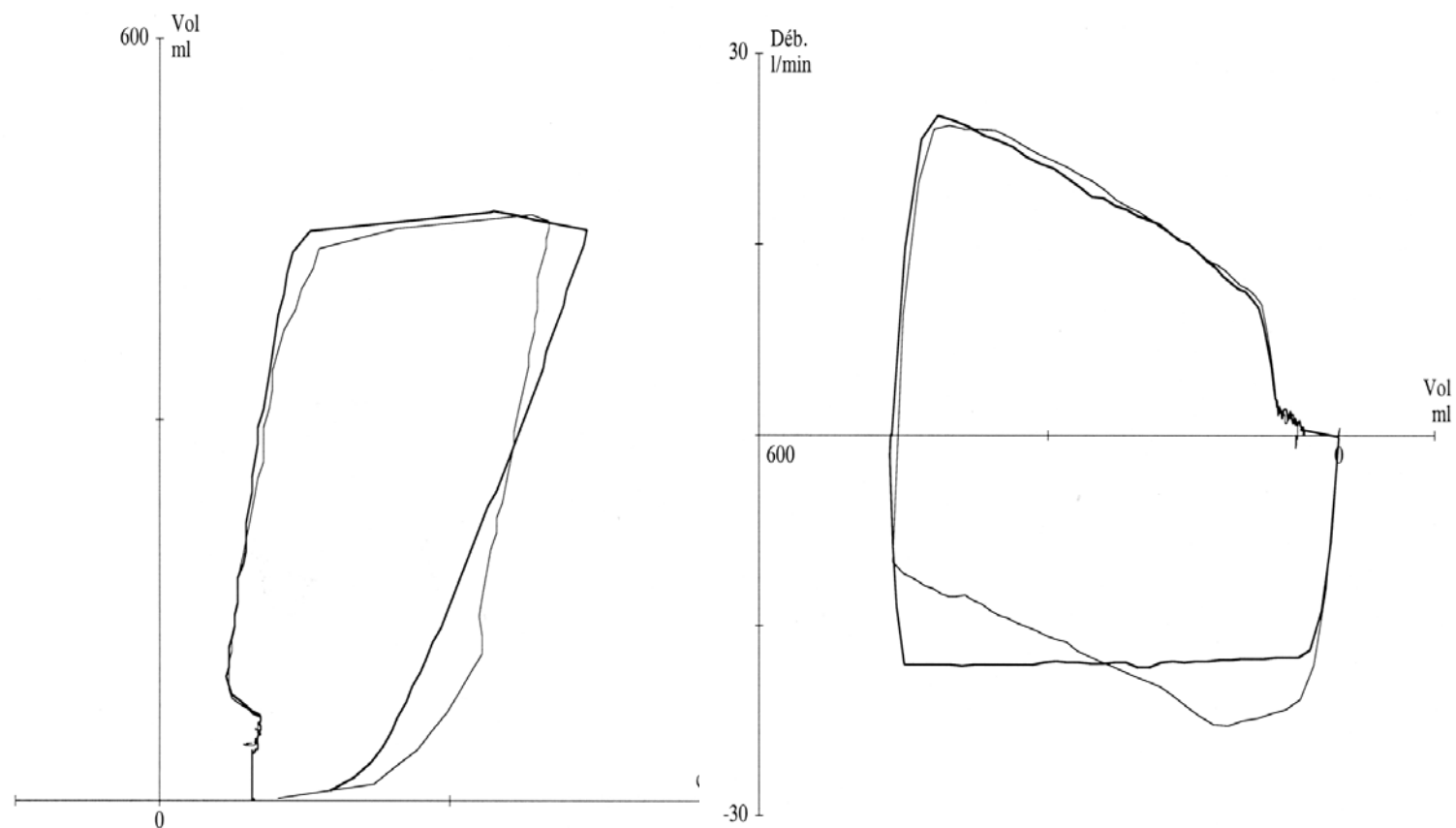
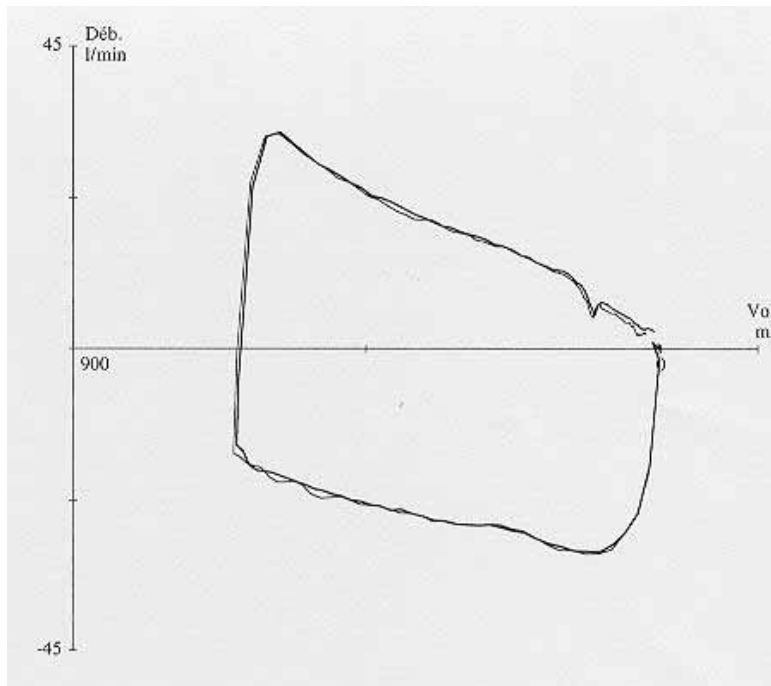


Figure 2

Identification d'une auto PEP sur une courbe débit volume réalisée chez un patient atteint d'une BPCO sévère. En fin d'expiration, le débit expiratoire ne retourne pas à zéro.



Références

1. von Goedecke A, Voelckel WG, Wenzel V, Hormann C, Wagner-Berger HG, Dorges V et al . Mechanical versus manual ventilation via a face mask during the induction of anesthesia: a prospective, randomized, crossover study. *Anesth Analg.* 2004 ; 98 : 260-3, table
2. Jaber S, Langlais N, Fumagalli B, Cornec S, Beydon L, Harf A et al . Etudes des performances de 6 nouvelles machines d'anesthésie. *Ann.Fr.Anesth.Reanim.* 2000 ; 19 : 16-22
3. Bourgain JL, Baguenard P, Puizillout JM, Ankri JC, Damia E, Billard V. Enquête sur les pannes des appareils d'anesthésie. *Ann.Fr.Anesth.Reanim.* 1999 ; 18 : 303-8
4. Rothen HU, Sporre B, Engberg G, Wegenius G, Hedenstierna G. Re-expansion of atelectasis during general anaesthesia: a computed tomography study. *Br.J.Anaesth.* 1993 ; 71 : 788-95
5. Svantesson C, Sigurdsson S, Larsson A, Jonson B. Effects of recruitment of collapsed lung units on the elastic pressure-volume relationship in anaesthetised healthy adults. *Acta Anaesthesiol.Scand.* 1998 ; 42 : 1149-56
6. Sykes MK, Lumley J. The effect of varying inspiratory: expiratory ratios on gas exchange during anaesthesia for open-heart surgery. *Br.J.Anaesth.* 1969 ; 41 : 374-80
7. Battistella P, Delorme N, Sadoul P, Polu JM. Effet de la ventilation artificielle avec plateau de fin d'expiration sur les échanges gazeux et l'hémodynamique dans l'insuffisance respiratoire chronique. *Bull.Eur.Physiopathol.Respir.* 1985 ; 21 : 243-50
8. Connors AF, Jr., McCaffree DR, Gray BA. Effect of inspiratory flow rate on gas exchange during mechanical ventilation. *Am.Rev.Respir.Dis.* 1981 ; 124 : 537-43

9. Boker A, Haberman CJ, Girling L, Guzman RP, Louridas G, Tanner JR et al . Variable ventilation improves perioperative lung function in patients undergoing abdominal aortic aneurysmectomy. *Anesthesiology* 2004 ; 100 : 608-16
10. Rappaport SH, Shpiner R, Yoshihara G, Wright J, Chang P, Abraham E. Randomized, prospective trial of pressure-limited versus volume-controlled ventilation in severe respiratory failure. *Crit Care Med.* 1994 ; 22 : 22-32
11. Natalini G, Facchetti P, Dicembrini MA, Lanza G, Rosano A, Bernardini A. Pressure controlled versus volume controlled ventilation with laryngeal mask airway. *J.Clin.Anesth.* 2001 ; 13 : 436-9
12. Tugrul M, Camci E, Karadeniz H, Senturk M, Pembeci K, Akpir K. Comparison of volume controlled with pressure controlled ventilation during one-lung anaesthesia. *Br.J.Anaesth.* 1997 ; 79 : 306-10
13. Keidan I, Berkenstadt H, Segal E, Perel A. Pressure versus volume-controlled ventilation with a laryngeal mask airway in paediatric patients. *Paediatr.Anaesth.* 2001 ; 11 : 691-4
14. Campbell RS, Davis BR. Pressure-controlled versus volume-controlled ventilation: does it matter? *Respir.Care* 2002 ; 47 : 416-24
15. Goldmann K, Roettger C, Wulf H. Use of the ProSeal laryngeal mask airway for pressure-controlled ventilation with and without positive end-expiratory pressure in paediatric patients: a randomized, controlled study. *Br.J Anaesth.* 2005 ; 95 : 831-4
16. Coxon M, Sindhakar S, Hodzovic I. Autotriggering of pressure support ventilation during general anaesthesia. *Anaesthesia* 2006 ; 61 : 72-3
17. Drummond G. A response to 'autotriggering of pressure support ventilation during general anaesthesia'. *Anaesthesia* 2006 ; 61 : 310
18. Al Khafaji A, Alousi M, Cho SM. A response to 'Autotriggering of pressure support ventilation during general anaesthesia'. *Anaesthesia* 2006 ; 61 : 619
19. Uttman L, Jonson B. Computer-aided ventilator resetting is feasible on the basis of a physiological profile. *Acta Anaesthesiol.Scand.* 2002 ; 46 : 289-96
20. Sulzer CF, Chioloro R, Chassot PG, Mueller XM, Revelly JP. Adaptive support ventilation for fast tracheal extubation after cardiac surgery: a randomized controlled study. *Anesthesiology* 2001 ; 95 : 1339-45
21. Bhatt SB, Chui PT, Gin T, Tam YH, Oh TE. Pressure support ventilation during isoflurane anaesthesia. *Anaesthesia* 1995 ; 50 : 1026-30
22. Brimacombe J, Keller C, Hormann C. Pressure support ventilation versus continuous positive airway pressure with the laryngeal mask airway: a randomized crossover study of anesthetized adult patients. *Anesthesiology* 2000 ; 92 : 1621-3
23. Banchereau F, Herve Y, Quinart A, Cros AM. Pressure support ventilation during inhalational induction with sevoflurane and remifentanyl in adults. *Eur.J Anaesthesiol.* 2005 ; 22 : 826-30
24. Da Conceicao M, Favier JC, Bidallier I, Armanet L, Steiner T, Genco G et al . [Fiber-optic intubation with non-invasive ventilation with an endoscopic facial mask]. *Ann.Fr.Anesth.Reanim.* 2002 ; 21 : 256-62
25. Bourgain JL, Billard V, Cros AM. Pressure support ventilation during fiberoptic intubation under propofol anaesthesia. *Br.J Anaesth.* 2007 ; 98 : 136-40
26. Bonnet L, Billard V, Bourgain JL. Pressure support ventilation for emergency tracheotomy. *Br.J.Anaesth.* 2006 ; 96 supplm :

27. Christie JM, Smith RA. Pressure support ventilation decreases inspiratory work of breathing during general anesthesia and spontaneous ventilation. *Anesth.Analg.* 1992 ; 75 : 167-71
28. Bosek V, Roy L, Smith RA. Pressure support improves efficiency of spontaneous breathing during inhalation anesthesia. *J.Clin.Anesth.* 1996 ; 8 : 9-12
29. Warren J, Sharma SK. Ventilatory support using bilevel positive airway pressure during neuraxial blockade in a patient with severe respiratory compromise. *Anesth.Analg.* 2006 ; 102 : 910-1
30. van Zundert AA, Stultiens G, Jakimowicz JJ, van den Borne BE, van der Ham WG, Wildsmith JA. Segmental spinal anaesthesia for cholecystectomy in a patient with severe lung disease. *Br.J Anaesth.* 2006 ; 96 : 464-6
31. Yu G, Yang K, Baker AB, Young I. The effect of bi-level positive airway pressure mechanical ventilation on gas exchange during general anaesthesia. *Br.J Anaesth.* 2006 ; 96 : 522-32
32. Neumann P, Rothen HU, Berglund JE, Valtysson J, Magnusson A, Hedenstierna G. Positive end-expiratory pressure prevents atelectasis during general anaesthesia even in the presence of a high inspired oxygen concentration. *Acta Anaesthesiol.Scand.* 1999 ; 43 : 295-301
33. Pang CK, Yap J, Chen PP. The effect of an alveolar recruitment strategy on oxygenation during laparoscopic cholecystectomy. *Anaesth.Intensive Care* 2003 ; 31 : 176-80
34. Pelosi P, Ravagnan I, Giurati G, Panigada M, Bottino N, Tredici S et al . Positive end-expiratory pressure improves respiratory function in obese but not in normal subjects during anesthesia and paralysis. *Anesthesiology* 1999 ; 91 : 1221-31
35. Tusman G, Bohm SH, Tempra A, Melkun F, Garcia E, Turchetto E et al . Effects of recruitment maneuver on atelectasis in anesthetized children. *Anesthesiology* 2003 ; 98 : 14-22
36. Coussa M, Proietti S, Schnyder P, Frascarolo P, Suter M, Spahn DR et al . Prevention of atelectasis formation during the induction of general anesthesia in morbidly obese patients. *Anesth.Analg.* 2004 ; 98 : 1491-5, table
37. Whalen FX, Gajic O, Thompson GB, Kendrick ML, Que FL, Williams BA et al . The effects of the alveolar recruitment maneuver and positive end-expiratory pressure on arterial oxygenation during laparoscopic bariatric surgery. *Anesth.Analg.* 2006 ; 102 : 298-305
38. Erlandsson K, Odenstedt H, Lundin S, Stenqvist O. Positive end-expiratory pressure optimization using electric impedance tomography in morbidly obese patients during laparoscopic gastric bypass surgery. *Acta Anaesthesiol.Scand.* 2006 ; 50 : 833-9
39. DeCastro V, Puizillout JM, Baguenard P, Wioland Y, Billard V, Bourgain JL. Surveillance et impact budgétaire des pannes des appareils d'anesthésie. *Ann.Fr.Anesth.Reanim.* 2003 ; 22 : 499-504