

AVIS DE L'EXPERT / EXPERT OPINION

## La ventilation mécanique du patient obèse en 10 points

### *Ten things to know about mechanical ventilation for the obese patient*

Malcolm Lemyze<sup>1\*</sup> • Maxime Granier<sup>1</sup>

Reçu le 18 mars 2022 ; accepté le 28 octobre 2022.  
© SRLF 2023

#### Résumé

Les particularités anatomiques et physiologiques respiratoires du sujet obèse doivent être connues du réanimateur, car elles posent des problématiques techniques et posturales spécifiques lors de la ventilation mécanique et imposent des réglages individualisés. Ceux-ci visent à réouvrir le poumon collabé, et à assurer une stratégie de ventilation protectrice tout en maintenant les voies aériennes ouvertes pour lutter contre les atelectasies gravitationnelles. Cet article présente en 10 points les clés essentielles à la prise en charge du patient obèse sous ventilation mécanique invasive. Il se veut didactique et pratique, tout en étant basé sur la physiologie respiratoire appliquée et sur la littérature médicale. Il éclaire le lecteur sur les techniques de recrutement alvéolaire de l'obèse en ventilation mécanique, sur son positionnement, sur le choix des réglages, et sur les pièges à éviter, de l'intubation jusqu'au sevrage du support ventilatoire.

**Mots-clés :** obésité, insuffisance respiratoire aigüe, syndrome obésité hypoventilation, ventilation mécanique

#### Abstract

*Severe obesity affects both respiratory mechanics and pulmonary gas exchange during mechanical ventilation. The particular anatomy and respiratory physiology of the obese patient cause specific problems for mechanical ventilation with postural and technical issues, and impose tailored adjustments of the ventilator settings. The latter aims at recruiting the lungs by an open-lung approach combined with a low-tidal volume protective mechanical ventilation to prevent gravitational atelectasis and ventilator-induced lung injuries. Through a ten things to know about... format, this article gives us an insight into the understanding of obese patient's management from intubation to difficult weaning from mechanical ventilation.*

**Keywords:** obesity, acute respiratory failure, obesity hypoventilation syndrome, mechanical ventilation

#### Introduction

Du fait d'une épidémiologie toujours grandissante [1], l'obésité est devenue une des comorbidités les plus fréquentes en réanimation [2]. Elle est définie par l'OMS comme un indice de masse corporel — IMC = poids (kg) / taille (m)<sup>2</sup> — > 30 kg.m<sup>-2</sup> et sa sévérité est classée en type I (IMC > 30 kg.m<sup>-2</sup>), type II (IMC > 35 kg.m<sup>-2</sup>) ou obésité sévère, et type III (IMC > 40 kg.m<sup>-2</sup>) ou obésité

morbidité [3]. On parle de super-obésité pour des IMC dépassant 50 kg.m<sup>-2</sup>. Le nombre des patients obèses a doublé en 30 ans dans le monde, mais un phénomène encore plus alarmant est la multiplication par dix des malades atteints de super-obésité en 10 ans aux États-Unis entre 2000 et 2010 [4]. La France n'est pas épargnée par ce phénomène [5]. Avant l'épidémie de la COVID-19, environ 20 % des patients admis en réanimation étaient atteints d'obésité [6]. Les patients avec une obésité

\*Malcolm Lemyze

Service de Réanimation Polyvalente  
Hôpital d'Arras, Arras, France

✉ malcolmlemyze@yahoo.fr

La liste complète des auteurs est disponible à la fin de l'article.



étant à haut risque de développer une forme grave de la COVID-19, la prévalence de l'obésité rapportée en réanimation durant l'épidémie a atteint 50 à 72 % des patients avec un syndrome de détresse respiratoire aigu (SDRA) [7, 8]. L'obésité induit des particularités physiopathologiques qui posent des problématiques techniques et posturales spécifiques lors de la ventilation mécanique et imposent des réglages individualisés [7]. Les particularités du patient obèse en état critique doivent être connues du réanimateur tant elles impactent la prise en charge et le pronostic de ces patients.

### Comment l'obésité impacte la mécanique respiratoire sous ventilation mécanique ?

Les deux structures élastiques opposées du système respiratoire — que sont le poumon et la cage thoraco-abdominale — interagissent d'une façon pathologique chez l'individu obèse. Dans le modèle du *bag-in-box* de Neil MacIntire, la cage thoraco-abdominale réaliserait une enveloppe de graisse inextensible (*the box*) entourant les poumons (*the bag*) et empêchant leur expansion [9]. En décubitus dorsal, la pression induite par la graisse de la paroi thoracique et l'abdomen sur le compartiment thoracique s'exerce selon un gradient antéro-postérieur (selon la force de gravité), et provoque une élévation du diaphragme, et avec elle une amputation significative des volumes pulmonaires et notamment de la capacité résiduelle fonctionnelle (CRF). Il s'ensuit une augmentation majeure de la pression pleurale notamment dans les segments déclives [10]. Il s'agit d'un écrasement thoracique (« *chest mass loading* ») postural, plutôt que d'une restriction thoracique (« *chest stiffening* ») [11]. La courbe pression-volume du système respiratoire est déviée vers la droite, avec une augmentation du point d'inflexion inférieur, mais une compliance pulmonaire (la pente de la relation pression-volume) préservée [10, 11].

En ventilation mécanique, entre 70 et 100 % des sujets obèses morbides allongés ont une limitation du débit expiratoire [12, 13]. Elle s'oppose à la bonne vidange des poumons à l'expiration, générant un volume piégé en fin d'expiration (*end-expiratory lung volume*) et une pression cachée appelée pression télé-expiratoire positive intrinsèque (*auto-PEEP* ou *PEEPi*). Cette auto-PEEP représente une charge élastique supplémentaire que le malade doit vaincre à l'inspiration suivante pour générer son volume courant. Elle peut induire une augmentation du travail ventilatoire, être une source de dyspnée, et d'asynchronie patient-ventilateur comme chez l'individu obstructif [14]. La limitation du débit expiratoire du patient obèse peut aussi avoir une composante extra-thoracique du fait de la collapsibilité anormale des voies aériennes supérieures, source de syndrome d'apnées du sommeil [15].

### Abréviations

**AI** : aide inspiratoire  
**LDE** : limitation du débit expiratoire  
**PALV** : pression alvéolaire  
**PEEP** : pression télé-expiratoire positive  
**PES** : pression oesophagienne  
**PL** : pression transpulmonaire  
**PPL** : pression pleurale  
**SOH** : syndrome obésité hypoventilation  
**VA/Q** : rapport ventilation / perfusion  
**VNI** : ventilation non-invasive  
**VS** : ventilation spontanée

### Comment expliquer l'altération des échanges gazeux chez le sujet obèse ?

Chez le patient obèse, existe une inhomogénéité dans la distribution de la ventilation et de la perfusion pulmonaire. La ventilation prédomine aux apex alors que la perfusion se fait préférentiellement dans les bases pulmonaires [16]. Chez 40 sujets allongés au bloc opératoire pour une ablation de fibrillation atriale par radio-fréquence, Yamane et al ont analysé les gaz du sang prélevés dans les quatre veines pulmonaires. La  $PO_2$  était significativement diminuée dans les veines pulmonaires inférieures drainant les territoires pulmonaires déclives, et seul l'IMC était significativement corrélé en analyse multivariée à cette diminution [17]. L'hypoxémie du patient obèse s'explique principalement par des inadéquations ventilation/perfusion (VA/Q) en lien avec des atelectasies pulmonaires gravitationnelles. Elles prédominent dans les segments pulmonaires déclives, débutent généralement dans la région rétrocardiaque postérieure gauche, et génèrent une hypoxémie sévère et réfractaire par effet *shunt* (VA/Q diminué) car elles sont très bien perfusées en décubitus dorsal [17, 18]. L'induction anesthésique aggrave considérablement ces anomalies des échanges gazeux avec la constitution instantanée de ces atelectasies gravitationnelles comme l'ont montré au scanner thoracique Eichenberger *et al.* [18] L'hypoxémie peut s'aggraver aussi la nuit par un phénomène d'hypoventilation alvéolaire nocturne responsable d'une hypercapnie, mais surtout par l'association à un syndrome d'apnées obstructives du sommeil (SAOS) responsable de désaturations artérielles nocturnes [19]. Le syndrome obésité hypoventilation alvéolaire (SOH) correspond à la forme d'insuffisance respiratoire chronique du patient obèse et répond à une triade : obésité définie par un IMC > 30 kg/m<sup>2</sup>, hypercapnie diurne avec PaCO<sub>2</sub> > 45 torr ou HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> > 27 mmol/L en l'absence d'autres causes d'hypoventilation alvéolaire, et troubles ventilatoires nocturnes (SAOS dans 90 % des cas).

**Tableau 1** - Récapitulatif des 10 points clés à connaître pour la prise en charge du patient obèse sous ventilation mécanique

Mécanique respiratoire	Syndrome posturale d'écrasement thoracique par la graisse thoraco-abdominale avec LDE, auto-PEEP et PPL très élevées
Échanges gazeux	Hypoxémie par inadéquation $V_A/Q$ avec effet <i>shunt</i> sur atélectasies gravitationnelles Hypercapnie sur hypoventilation alvéolaire définissant le SOH
Position	La position assise corrige la LDE, diminue les pressions intrathoraciques Le decubitus ventral améliore l'hématose en recrutant les segments pulmonaires postérieurs atélectasiés Le decubitus dorsal doit être proscrit
Intubation	Après pré-oxygénation en VNI avec PEEP, intubation dans la position de la rampe, puis manoeuvre de recrutement et PEEP élevée ( $> 10 \text{ cmH}_2\text{O}$ )
Impact de la PPL sur PL	$P_L = P_{ALV} - P_{PL}$ et $P_{PL}$ fortement positive souvent $> 20 \text{ cmH}_2\text{O}$ chez obèse morbide justifiant PEEP élevée pour maintenir $P_L$ positive et éviter le collapsus pulmonaire
Réglages du ventilateur	Stratégie de ventilation protectrice avec $V_T$ à 6 mL/kg de poids idéal théorique avec titration individualisée de la PEEP par la méthode de la PES ou par la méthode décrémente de la manoeuvre de recrutement
Manoeuvre de recrutement	Incrémentation rapide de la PEEP de 5 en 5 $\text{cmH}_2\text{O}$ de 10 à 40 $\text{cmH}_2\text{O}$ puis décrémentation rapide pour titrer la meilleure PEEP
Sevrage ventilatoire	Sevrage protocolisé avec épreuve de VS sur tube en T ou en VSAI avec PEEP = AI = 0 30 min, puis relai immédiat et systématique par VNI assis après l'extubation
Trachéotomie	Réalisable aussi bien par voie percutanée sous fibroscopie que par voie chirurgicale, canule « <i>extra-length</i> » avec portion horizontale plus longue, patient plus difficile à déventiler et à décanuler
Pronostic	Dépend de la sévérité initiale, de la fragilité et des comorbidités sous-jacente, mais est amélioré par la titration individualisée des réglages avec une stratégie à poumons ouverts

Son incidence augmente *crescendo* avec le niveau d'obésité, 50 % des individus avec une super-obésité (IMC  $> 50 \text{ kg/m}^2$ ) développant un SOH [20].

### Comment positionner le patient obèse pour la ventilation mécanique ?

L'installation d'un patient avec une obésité sévère doit être considérée comme un objectif thérapeutique prioritaire tant le bon ou mauvais positionnement peut impacter considérablement le pronostic.

#### Le décubitus dorsal

Sur le dos, le patient obèse morbide présente des efforts inspiratoires de plus grande amplitude avec un

travail ventilatoire accru en ventilation spontanée [21]. Lors de la ventilation mécanique [13] on peut noter une augmentation de toutes les pressions intra-thoraciques, notamment la pression de plateau et l'auto-PEEP, par un écrasement du thorax par l'abdomen et par la graisse de la paroi thoracique. Le syndrome de la mort de l'obèse allongé (*obesity supine death syndrome*) désigne l'arrêt cardio-respiratoire qui peut résulter de la mise en décubitus dorsal d'un patient avec une obésité morbide androïde [22–24]. La combinaison mortifère d'une hypoxémie profonde, d'une augmentation du travail respiratoire, d'une diminution de la précharge (par compression extrinsèque de la veine cave inférieure) et d'une augmentation de la post-charge (augmentation de l'auto-PEEP) peut aboutir à un désamorçage de la pompe cardiaque. Le décubitus dorsal strict est donc à proscrire.

## Le décubitus ventral

Le décubitus ventral améliore significativement la capacité résiduelle fonctionnelle, la compliance pulmonaire, et l'oxygénation des patients obèses intubés ventilés [25]. Il facilite le recrutement alvéolaire des régions postérieures, qui sont les plus prédisposées aux atelectasies gravitationnelles en décubitus dorsal. De Jong *et al.* ont montré la faisabilité du décubitus ventral chez le patient obèse en état critique, moyennant une équipe entraînée avec au moins cinq ou six soignants durant le retournement du patient obèse. La manœuvre n'entraînait pas plus de complications que pour les sujets non-obèses, avec un bénéfice supérieur en termes d'hématose (meilleure amélioration du rapport  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ ) et une meilleure survie [26]. Des supports en mousse pourraient servir à surélever les épaules et le bassin de l'individu obèse morbide pour décharger l'abdomen et éviter d'augmenter encore la pression intra-abdominale et son retentissement multi-viscéral délétère [27].

## La position assise

En évitant la compression du thorax par l'abdomen, la position assise (« *cardiac chair position* ») lève la limitation du débit expiratoire (LDE), et avec elle, annule l'auto-PEEP et diminue significativement la pression de plateau [13]. En diminuant l'auto-PEEP, elle diminue aussi le travail ventilatoire et l'amplitude des oscillations inspiratoires de la pression œsophagienne (témoin de la pression pleurale) [21], et donc la pression transpulmonaire durant l'insufflation (Figure 1). Elle participe au même titre que la PEEP appliquée par le ventilateur à la prévention des atelectasies gravitationnelles. L'individu avec une obésité sera installé assis, et dans un fauteuil bariatrique dès que possible, en s'assurant que les jambes soient écartées de façon que le diaphragme ne soit pas comprimé par l'abdomen [28].

## Comment intuber le patient obèse ?

Comme toute procédure potentiellement périlleuse en réanimation, l'intubation, même en urgence, d'un patient obèse en état critique doit pouvoir suivre un protocole pré-établi d'intubation difficile et peut justifier un matériel spécialisé (mandrin d'Eschmann, vidéolaryngoscope, masque laryngé) en cas de besoin. Comparativement au bloc opératoire, l'intubation difficile du patient obèse est deux fois plus fréquente et ses complications sévères — pouvant mettre en jeu le pronostic vital — sont 20 fois plus nombreuses en réanimation [29]. Le risque d'intubation difficile n'est pas en lien direct avec le grade de l'obésité selon l'IMC [30]. Cependant, plusieurs caractéristiques anatomiques du patient obèse (mobilité cervicale limitée

et ouverture de bouche réduite (< 3,5 cm), cou court, périmètre cervical augmenté, distance thyro-mentonnaire diminuée (inférieure à 6 cm), collapsibilité des voies aériennes supérieures) en font un patient à risque [29]. Il faut aussi savoir que le temps d'apnée avant désaturation artérielle (défini comme le délai entre l'induction anesthésique et la désaturation artérielle < 90 %) est très court chez l'individu obèse [31]. Dans la classique position amendée de Jackson (« *sniff position* ») (Figure 1A), le patient obèse peut aggraver ses échanges gazeux rapidement et la laryngoscopie peut être difficile, exposant le clinicien à l'arrêt cardiaque hypoxique [32, 33]. La position de la rampe ou « *HELP position* » (*Head Elevated Laryngoscopy Position*) facilite la ventilation au ballon et augmente le taux d'intubation oro-trachéale réussie [32]. Cette position est réalisée en inclinant de 30° le tronc du patient dans une position Trendelenburg inversée de façon à obtenir un alignement horizontal du conduit auditif externe et de la fourchette sternale. Elle permet d'améliorer significativement l'exposition des voies aériennes supérieures en laryngoscopie directe (Figure 1B). De plus, cette position prolonge le temps d'apnée avant désaturation donnant au clinicien plus de temps pour s'exposer et intuber le patient en toute sécurité [33]. La ventilation noninvasive (VNI) à deux niveaux de pression est la technique de choix pour pré-oxygéner un patient obèse morbide en vue de l'intubation. Au bloc opératoire, un protocole associant systématiquement pré-oxygénation en VNI, PEEP appliquée à 10  $\text{cmH}_2\text{O}$  et manœuvres de recrutement (selon la règle des 40 : 40  $\text{cmH}_2\text{O}$  de pression appliquée pendant 40 sec toutes les 40 min) au cours de la ventilation mécanique permet d'éviter les atelectasies gravitationnelles et l'hypoxémie après l'intubation des patients obèses morbides [34]. De même l'oxygénothérapie à haut débit a été utilisée en pré-oxygénation avant l'intubation pour augmenter le temps d'apnée sans désaturation. Dans une étude randomisée au bloc opératoire, 40 patients obèses morbides étaient randomisés avec une pré-oxygénation par OHD à 40L/min et 100 % de  $\text{FiO}_2$  pendant trois minutes dans le groupe interventionnel et une pré-oxygénation au masque à oxygène standard dans le groupe contrôle. Le temps d'apnée avant désaturation était allongé de 76 sec soit 40 % de temps supplémentaire avec l'OHD [35]. L'intérêt de l'OHD est aussi de pouvoir être poursuivi pendant la laryngoscopie alors que l'oxygénothérapie au masque et la ventilation au ballon doivent être interrompues pendant la procédure. Au bloc opératoire Schutzer-Weissmann *et al.* ont montré que la plupart des patients avec une obésité morbide en état stable pouvaient être maintenus en apnée sous OHD (à 70L/min et 100 % de  $\text{FiO}_2$ ) pendant 18 minutes sans désaturation significative (définie par une  $\text{SaO}_2 < 92\%$ ) [36]. Chez le patient de réanimation en insuffisance respiratoire aiguë

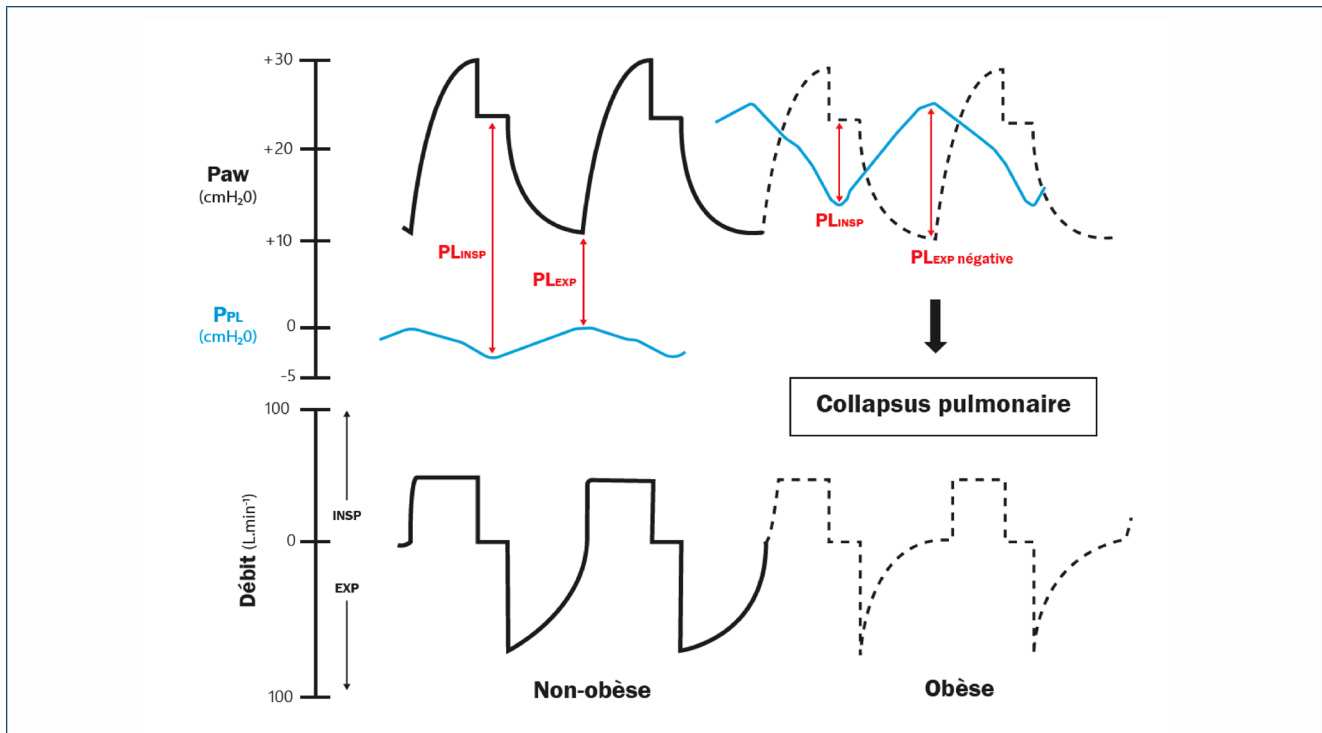




**Figure 1** - Positionnement du sujet obèse pour l'intubation orotrachéale

A : La classique position amendée de Jackson (« sniff position ») est inadaptée pour intuber le patient obèse morbide.

B : La position de la rampe (« HELP position ») améliore l'oxygénation et facilite la laryngoscopie directe en plaçant le patient dans une position Trendelenburg inversée de façon à aligner horizontalement le tragus et la fourchette sternale.



**Figure 2** -Rapports entre la pression alvéolaire, la pression pleurale, et la pression transpulmonaire chez l'individu non-obèse et chez l'obèse sur les courbes pression-temps

La pression transpulmonaire (PL) représente le gradient entre la pression alvéolaire (pression de plateau à l'insufflation et PEEP totale à l'expiration) et la pression pleurale (PPL). Chez le sujet non obèse (traits pleins) avec une PPL proche de zéro, un faible niveau de pression télé-expiratoire positive (PEEP) appliquée par le ventilateur permet d'obtenir une PL positive tout au long du cycle ventilatoire.

L'individu obèse (en pointillés) est caractérisé par une PPL parfois très élevée, avec des oscillations plus importantes à l'inspiration. Ces dernières témoignent d'un travail ventilatoire accru pour négativer la pression et générer un volume courant. Ainsi à l'expiration, si la PPL atteint 25 cmH<sub>2</sub>O, régler une PEEP à 10 cmH<sub>2</sub>O aboutit à une PL à -15 cmH<sub>2</sub>O. Or une PL expiratoire négative témoigne d'un collapsus pulmonaire.

hypoxémique, Jaber *et al.* ont montré qu'associer l'OHD à la VNI allongeait le temps d'oxygénation apnéique comparativement à la VNI seule [37]. De notre point de vue, le risque de désaturation artérielle précoce du patient obèse hypoxémique en état critique impose de combiner l'ensemble de ces approches pour donner au praticien le maximum de temps pour intuber : une pré-oxygénation en VNI et OHD en position assise suivie immédiatement d'une intubation dans la position de la rampe sous OHD nous semble la pratique la plus recommandable au regard de la littérature actuelle.

### Quel est l'intérêt du monitoring la pression pleurale et de la pression transpulmonaire pour la ventilation mécanique du patient obèse ?

Le système mécanique respiratoire élastique est l'intégration constante des forces élastiques opposées du poumon

(dont la tendance spontanée est à la rétraction) et de la cage thoraco-abdominale (qui doit naturellement s'expandre). Comme le montre la **Figure 2**, la pression transpulmonaire (PL) — qui représente le système mécanique respiratoire élastique dans son ensemble — est définie comme le delta entre la pression alvéolaire (PALV, les poumons) et la pression pleurale (PPL) (la paroi thoraco-abdominale). La mesure de la pression œsophagienne (PES) par une sonde œsophagienne à double ballonnet est considérée comme un témoin fiable de la PPL et permet d'appréhender la PL en ventilation mécanique [38]. La pression transpulmonaire (PL = PALV – PPL) devrait rester positive tout au long du cycle respiratoire pour s'assurer que les petites voies aériennes soient maintenues ouvertes y compris à l'expiration (**Figure 2**). La PEEP, par son effet de contention pneumatique interne, devrait permettre de maintenir la PL positive. Idéalement la PEEP devrait donc être réglée

1 à 2 cmH<sub>2</sub>O au-dessus du niveau de PPL mesurée à l'expiration par la méthode de la PES. Pirrone *et al.* ont montré qu'en ventilation mécanique invasive la PES dépassait souvent 20 cmH<sub>2</sub>O chez les patients avec un IMC > 50 kg/m<sup>2</sup> en SDRA. Une PEEP > 20 cmH<sub>2</sub>O était dans ce cas nécessaire pour maintenir la PL positive à l'expiration et corriger leur hypoxémie [39]. Le patient obèse présente aussi en position allongée et en ventilation spontanée des oscillations plus importantes de la PES témoignant d'efforts inspiratoires accrus pour générer un volume courant et vaincre l'auto-PEEP, conséquence immédiate du collapsus pulmonaire [21]. Chez le patient obèse morbide en VNI, régler la PEEP pour maintenir une PL positive diminue significativement ces oscillations de la PES, ainsi que la ventilation minute et le travail ventilatoire, améliore l'oxygénation, et homogénéise la distribution des volumes entre les territoires ventraux et dorsaux des poumons [40]. Il faut rappeler ici que la stratégie de ventilation protectrice à petit volume courant mais à poumons ouverts vise à éviter les variations importantes de pressions transpulmonaires et à maintenir une PL positive et la plus basse possible. En ventilation mécanique contrôlée ou chez un sujet obèse en ventilation spontanée calme et adaptée au ventilateur, ces objectifs sont atteints en ciblant une PEEP 1 à 2 cmH<sub>2</sub>O au-dessus de la PES expiratoire. Cependant, il faudra porter une attention toute particulière lors de la levée de la sédation aux patients avec une obésité grade 3 justifiant de hauts niveaux de PEEP mais développant des efforts ventilatoires majeurs en lien avec l'inconfort, l'anxiété, la confusion mentale, ou un *overdrive* respiratoire (SDRA à COVID-19, coma post-anoxique par exemple) [41]. En effet, le mode ventilatoire pourrait directement induire des lésions pulmonaires dites « auto-infligées » par le patient (P-SILI, *patient self-inflicted lung injury*). Les grandes oscillations de la pression transpulmonaire résultant d'efforts inspiratoires majeurs suivis d'une contraction abdominale à l'expiration seraient capables de créer ou d'aggraver un œdème pulmonaire lésionnel, notamment lors de la ventilation mécanique [42].

Au regard des arguments développés précédemment, le bénéfice attendu du monitoring par la pression œsophagienne de la mécanique ventilatoire du patient obèse sous ventilation mécanique apparaît évident. Cependant, ceci doit être contrebalancé par les difficultés de cette technique en pratique clinique quotidienne. En effet, le bon placement de la sonde œsophagienne et le gonflage approprié de son ballonnet peuvent modifier grandement les chiffres de PES obtenus, et donc influencer nettement le niveau de PEEP choisi par le clinicien [43]. La pratique de cette technique demande une expérience et beaucoup de temps, deux conditions que tous les réanimateurs ne possèdent pas forcément pour

la mettre en œuvre en pratique. Dans l'étude clinique de Pirrone *et al.* la méthode décrementale d'identification de la PEEP idéale à partir de la manœuvre de recrutement alvéolaire (décrite dans le point sept retrouvait la même PEEP qu'avec la PES [39]). Notre conseil serait donc d'utiliser cette technique simple dans la pratique clinique quotidienne pour identifier la meilleure PEEP pour le recrutement pulmonaire en ventilation mécanique contrôlée chez le patient sédaté voire curarisé, plutôt que la sonde de PES. Dès lors que le patient obèse produit à nouveau des efforts inspiratoires en ventilation mécanique, la PES permet un monitoring plus fin des interactions patient-ventilateur et de la PL. Au cours du sevrage ventilatoire et lors de la levée de la sédation, le monitoring de la PES permet d'identifier précocement les variations de PL, et c'est à ce moment que la technique apporte des informations pertinentes uniques.

### Quels réglages du ventilateur pour le patient obèse sous ventilation mécanique ?

Initialement validé pour le syndrome de détresse respiratoire aiguë (SDRA), le concept de stratégie de ventilation protectrice à petit volume courant (VT = 6 mL/kg de poids idéal théorique) — visant à limiter les lésions induites par le ventilateur lui-même sur le parenchyme pulmonaire — est indiqué pour la plupart des patients en état critique [44]. Pour l'individu obèse, le poids mesuré ne peut servir de référence pour calculer le volume courant (VT) sans risquer un barovolotraumatisme [45]. Le VT à 6 mL/kg sera indexé sur la taille du patient ou son poids idéal théorique. Ainsi un homme super-obèse de 200 kg pour 1m70 ne devra pas recevoir un VT de 12000 mL mais 396 mL [46]. Le VT peut même être diminué encore tant que le patient n'est pas sévèrement hypercapnique (concept d'hypercapnie permissive et de stratégie ultra-protectrice) [47]. Une telle ventilation à petit VT conduit inexorablement à un dérecrutement alvéolaire si une PEEP ne lui est pas associée. Or les atelectasies gravitationnelles sont la principale problématique de l'obèse en ventilation mécanique, notamment en décubitus dorsal [18]. Le clinicien sous-estime quasi constamment les niveaux de PEEP requis pour contrebalancer l'effet compressif de la cage thoraco-abdominale et la pression pleurale (PPL) très positive chez les patients obèses morbides en ventilation mécanique [39]. La PEEP ne doit pas être limitée par un seuil théorique de PPLAT (tel que 30 cmH<sub>2</sub>O à l'insufflation) chez l'obèse en ventilation mécanique, au risque d'aboutir à une PL négative, témoignant alors d'un collapsus pulmonaire (Figure 2). Ouvrir et maintenir le poumon ouvert chez l'obèse nécessite un positionnement spécifique, une manœuvre



de recrutement alvéolaire, et une titration de la PEEP tel qu'expliqué dans le paragraphe sur la manœuvre de recrutement ci-après. Cette méthode clinique décrementale de titration individuelle de la PEEP permet de retrouver le même niveau de PEEP que le niveau de PES expiratoire identifié à l'aide d'une sonde de pression œsophagienne [39]. Dans l'étude d'Amato *et al.*, la pression motrice (PPLAT- PEEP totale, soit le gradient de pression alvéolaire entre l'insufflation et l'expiration) était le paramètre le mieux corrélé au risque de décès chez les patients en SDRA [48]. Chez l'obèse, une telle relation n'a pu être identifiée par l'étude de De Jong *et al.*, témoignant indirectement de l'importance du rôle de la paroi thoraco-abdominale sur la mécanique respiratoire et le pronostic de ces patients [49]. D'après Talmor *et al.*, la pression motrice transpulmonaire (delta de PL entre l'insufflation et l'expiration) serait un meilleur paramètre physiologique respiratoire (que la pression motrice alvéolaire) en lien réel avec la compliance de l'ensemble du système mécanique respiratoire élastique (poumons et paroi thoraco-abdominale) du patient obèse [38]. Chez ce type de malade, voir la pression motrice diminuée sur le respirateur avec le recrutement par la PEEP signifie la réouverture de territoires alvéolaires précédemment occlus et incite le clinicien à maintenir des niveaux de PEEP particulièrement élevés.

### Comment réaliser une manœuvre de recrutement chez le patient obèse ?

La réalisation d'une manœuvre de recrutement est un prérequis indispensable chez l'individu obèse en ventilation mécanique pour réouvrir le poumon puis le maintenir ouvert par la PEEP (*open lung ventilatory strategy*). Comme développé précédemment, les niveaux de pression à appliquer en ventilation mécanique, qui sont nécessaires pour contrebalancer l'effet compressif de la pression pleurale fortement positive chez le sujet obèse, justifient un recrutement agressif. Elle est incontournable dans la prise en charge ventilatoire initiale du SDRA du sujet obèse. Elle est recommandée pour prévenir les atélectasies per-opératoires lors de la ventilation mécanique du patient obèse opéré. De la même façon, elle est conseillée pour prévenir le dérecrutement lors de la ventilation mécanique du patient obèse en état critique, mais avec une prudence toute particulière chez les patients en état de choc ou instables sur le plan hémodynamique [50].

Avant de débiter la manœuvre, la limite d'alarme de pression maximale sur le ventilateur doit être repoussée au maximum (entre 100 et 110 cmH<sub>2</sub>O). Et il faut sans doute exclure les malades instables sur le plan hémodynamique avec une pneumonie [50]. La manœuvre de recrutement décrite par Kacmarek et Villar [51] puis

reprise par Pirrone *et al.* [39] est particulièrement bien adaptée pour le patient obèse morbide sous ventilation mécanique. Elle consiste à incrémenter le niveau de PEEP de 5 en 5 cmH<sub>2</sub>O de 10 jusqu'à 40 cmH<sub>2</sub>O, puis à fixer la PEEP lors de la décrementation de 5 en 5 cmH<sub>2</sub>O [39]. À chaque niveau de pression, le clinicien jauge visuellement rapidement la SaO<sub>2</sub> témoin de l'hématose, la pression motrice (*driving pressure*, gradient de pression alvéolaire) témoin de la compliance pulmonaire (D PALV / VT), et la courbe de pression artérielle qui permet de juger de la tolérance hémodynamique en temps réel. Il est important ici de rappeler que physiologiquement l'efficacité du recrutement alvéolaire est obtenue quasi immédiatement à chaque palier de pression (dans les 10 premières secondes) alors que l'intolérance hémodynamique va crescendo avec le temps d'application de la PEEP [52]. Ceci doit motiver une manœuvre exécutée rapidement pour éviter des accidents circulatoires catastrophiques comme un désamorçage de la pompe cardiaque. Une PEEP très élevée s'oppose en effet au retour veineux diminuant la précharge, notamment chez l'hypovolémique, ce qui provoque une baisse significative du débit cardiaque. Ainsi dans l'essai multicentrique randomisé ART, la réalisation de manœuvres de recrutement chez des patients en SDRA était associée à une surmortalité à 28 jours, notamment dans le SDRA causé par une pneumonie avec état de choc. Cependant dans cette étude, la manœuvre était très prolongée et agressive puisqu'à chaque palier, 10 cmH<sub>2</sub>O supplémentaires étaient appliqués et maintenus une à deux minutes jusqu'à 45 cmH<sub>2</sub>O [53]. L'idéal est de rester moins de 10 sec par palier et que la manœuvre totale soit brève et dure moins de 90 sec. Dans ces conditions il est rare que celle-ci soit très mal tolérée sur le plan circulatoire. Il est toutefois conseillé que la manœuvre soit interrompue si la pression artérielle moyenne chute en deçà de 50 mmHg [54]. Chez l'obèse, le niveau optimal de PEEP sera choisi lors de la décrementation de la pression comme le plus haut niveau permettant d'obtenir la meilleure hématose (SaO<sub>2</sub> la plus élevée à FiO<sub>2</sub> fixe), la meilleure compliance pulmonaire (la plus petite pression motrice obtenue), la meilleure tolérance hémodynamique (jugée selon la courbe de pression artérielle invasive comme le plus haut niveau de pression artérielle moyenne). Une deuxième manœuvre identique est réalisée rapidement jusqu'à décrementation au niveau de la PEEP idéale déterminée lors de la première manœuvre. Ceci vise à ouvrir le poumon et à le laisser ouvert (*open lung ventilatory strategy*). Lorsque le clinicien utilise cette méthode simple et rapide chez l'obèse morbide intubé pour un SDRA, le niveau de PEEP déterminé est identique à celui qui aurait été fixé par le monitoring de la pression œsophagienne [39].



## Quelles spécificités pour le sevrage de la ventilation mécanique chez le patient obèse ?

Le sevrage de la ventilation mécanique peut être compromis chez le patient obèse par ses anomalies de la mécanique respiratoire et ses troubles de l'hématose. Il s'agit d'un sevrage ventilatoire difficile prévisible. Un bon test de sevrage est celui capable de prédire quel malade sera déventilable (c'est-à-dire capable d'assumer seul le travail de la ventilation sans l'aide de la machine) en reproduisant pendant une période courte le travail ventilatoire qu'aura le malade une fois extubé. L'épreuve de ventilation spontanée sur tube en T (VST) ou l'épreuve de ventilation en aide inspiratoire à 8 cmH<sub>2</sub>O avec une PEEP à 0 cmH<sub>2</sub>O (AI.PEEP 8.0) pendant 30 à 120 min sont les tests classiquement utilisés [55]. Dans une étude de physiologie appliquée, Mahul *et al.* ont comparé le travail ventilatoire au cours de 5 tests réalisés chez 16 sujets obèses morbides intubés ventilés en réanimation : VST, AI.PEEP 0.0, AI.PEEP 7.0, AI.PEEP 0.7, AI.PEEP 7.7, avec la ventilation spontanée post-extubation. De façon surprenante, les deux tests qui permettaient de prédire au mieux l'effort inspiratoire et le travail ventilatoire du patient en ventilation spontanée après l'extubation étaient la VST et la AI.PEEP 0.0 [56]. Cette équipe française experte de la ventilation mécanique du patient obèse recommande donc la réalisation d'un test de sevrage type VST ou AI.PEEP 0.0 pour le sevrage de la VM chez ces patients de réanimation porteurs d'une obésité [57]. L'utilisation prophylactique systématique de la VNI chez les patients présentant un IMC > 35 kg/m<sup>2</sup>, en relai immédiat de la ventilation invasive, réduit significativement le risque d'IRA durant les 48 premières heures post-extubation [58]. La VNI pourrait permettre d'extuber précocément des patients obèses morbides moyennant l'application de niveaux de pression positive continue très élevés (> 15 cmH<sub>2</sub>O chez ceux souffrant de super-obésité) permettant de compenser leur PES à l'expiration [40].

## Que faut-il retenir sur la trachéotomie du patient obèse ?

La trachéotomie est indiquée en cas d'obstacle sur les voies aériennes supérieures compromettant l'extubation, en cas de sevrage ventilatoire difficile du fait d'une insuffisance ventilatoire sévère, ou d'une combinaison des deux situations précédentes [59]. Si l'obésité est un facteur de risque indépendant identifié à la fois pour la trachéotomie chirurgicale [60] et percutanée [61], le taux de complications est identique et faible pour les deux techniques [62, 63].

Des canules avec une portion horizontale plus longue (*extra-length*) sont nécessaires chez l'obèse morbide

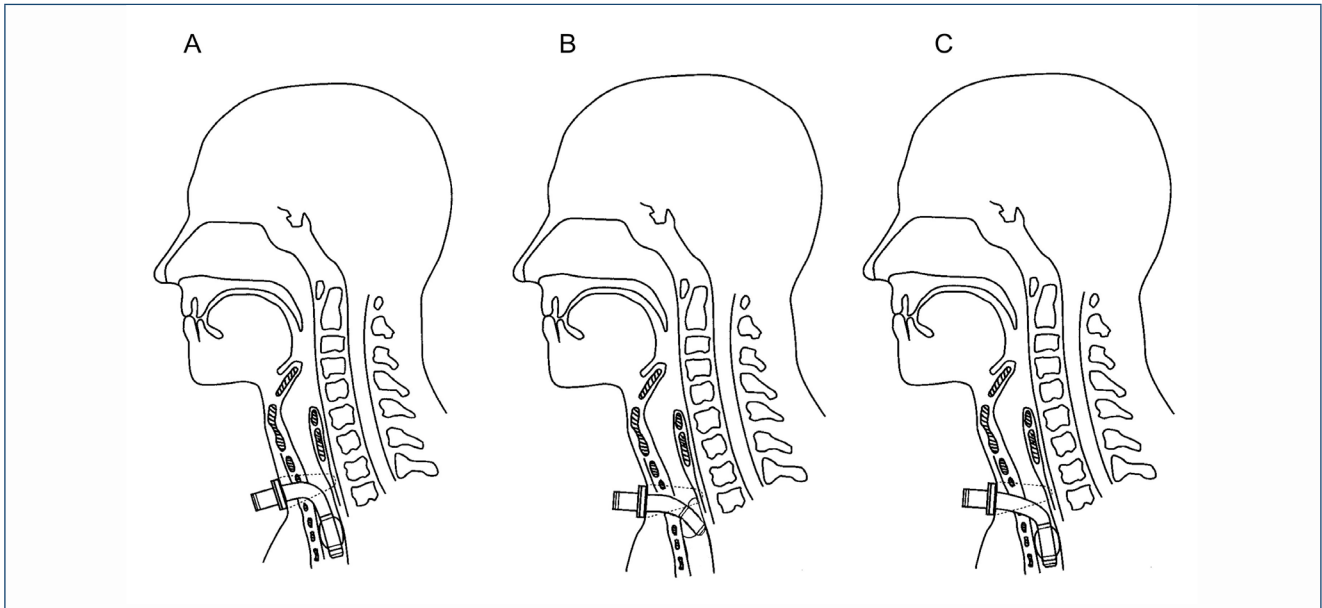
qui présente une épaisseur de tissus sous cutanés plus importante en regard de l'orifice de trachéotomie. Comme le montre la **Figure 3**, les canules courtes risquent d'être mal positionnées avec une tendance à l'horizontalisation de leur portion verticale, l'extrémité distale de la canule pouvant alors être obstruée par le mur postérieur de la trachée qui vient bomber en avant à l'expiration. Ce phénomène de clapet expiratoire peut induire une détresse respiratoire aiguë avec trappage gazeux et tamponnade sous ventilation mécanique [64].

Le *timing* de la trachéotomie n'est pas clairement défini, les complications infectieuses et le pronostic semblant identiques entre trachéotomies précoce et tardive [65, 66]. Il faut rappeler que la trachéotomie, en shuntant les VAS, était le traitement des formes sévères de SAOS avant la VNI [67]. Un relai par VNI nocturne peut donc être nécessaire après la décanulation.

Les patients super-obèses (IMC > 50 kg/m<sup>2</sup>) trachéotomisés dans les suites d'un état critique sont à haut risque d'être indécanulables ou même indéventilables (respectivement 97 % et 23 % dans l'étude rétrospective de Marshall *et al.*) [68]. Le pronostic de la pathologie respiratoire et des comorbidités sous-jacentes, la réserve fonctionnelle et métabolique de l'individu obèse, et son niveau de dépendance prévisible doivent être intégrés dans la réflexion concernant le recours à la trachéotomie.

## Quel est le pronostic d'un sujet obèse sous ventilation mécanique ?

L'échec de la VNI qui signe le recours à la ventilation mécanique invasive est un facteur de mauvais pronostic dans l'insuffisance respiratoire aiguë du patient obèse comparativement aux patients pour lesquels la VNI est un succès [69, 70]. La pneumonie hypoxémiante est le principal pourvoyeur d'échec de la VNI chez le sujet obèse morbide [70]. La mortalité hospitalière des sujets avec une obésité grade trois (IMC ≥ 40kg.m<sup>-2</sup>) sous ventilation mécanique varie entre 16 % et 93 % en fonction des séries [26, 69–71]. Le pronostic du patient obèse sous ventilation mécanique est influencé par l'état fonctionnel sous-jacent, les comorbidités, la fragilité du patient, mais aussi et surtout par la stratégie de prise en charge. Ce dernier point apparaît capital car il est modifiable et optimisable contrairement au terrain du patient. L'équipe d'Harvard du *Massachusetts Hospital* a montré qu'une stratégie de ventilation mécanique individualisée avec une titration des réglages du ventilateur visant à optimiser le recrutement pulmonaire des sujets obèses morbides en SDRA, telle qu'elle est développée tout au long de cet article, améliorerait la survie. La mortalité à 28 jours (31 % *versus* 16 %,  $P = 0.012$ ) et à 3 mois (41 % *versus* 22 %,  $P = 0.006$ ) des patients du groupe contrôle (dont la PEEP était fixée selon les tables *low PEEP* de



**Figure 3** - Spécificité des canules de trachéotomie pour le sujet obèse.

Reproduit avec permission d'après la référence [28].

A : Position normale d'une canule de trachéotomie chez le sujet non-obèse.

B : Chez le sujet obèse, la distance peau-trachée étant plus importante, les canules standard ont une portion horizontale trop courte et prennent une inclinaison anormale, leur extrémité distale pou-vant alors être obstruée par la paroi trachéale postérieure.

C : Des canules avec une portion horizontale extra-longue sont nécessaires chez l'obèse.

l'ARDS network [44]) était double comparativement au groupe interventionnel [71]. Pour ces derniers, la prise en charge individualisée était basée sur la manœuvre de recrutement, la titration de la PEEP selon la méthode décrementale décrite et sur la mesure de la pression œsophagienne, avec un monitoring hémodynamique par échocardiographie.

## Conclusion

La problématique principale que posent les patients avec une obésité sous ventilation mécanique est celle des atelectasies gravitationnelles des segments déclives, source d'hypoxémie profonde et de difficultés de sevrage ventilatoire. La ventilation mécanique invasive du patient obèse repose donc sur une stratégie de recrutement alvéolaire activement obtenu combinée à une ventilation protectrice à petit volume courant. Le recrutement alvéolaire sera idéalement obtenu par l'association de manœuvres de recrutement, un positionnement assis ou en décubitus ventral, et l'application de hauts niveaux de PEEP guidés idéalement par le monitoring de la pression œsophagienne ou en utilisant la méthode clinique décrementale de détermination de la PEEP à partir d'une manœuvre de recrutement. L'objectif est de

maintenir une pression transpulmonaire positive tout au long du cycle ventilatoire, pour éviter le dé-recrutement pulmonaire. Cette ventilation mécanique à poumons ouverts (*open lung ventilatory strategy*) améliore le pronostic des patients obèses en état critique sous ventilation mécanique.

## Conflits d'intérêts

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêt en lien avec cet article, aucune publication antérieure ou soumission concurrente du manuscrit, et aucune contrainte de droit d'auteur.

## Affiliations

<sup>1</sup>Service de Réanimation Polyvalente  
Hôpital d'Arras  
Boulevard Besnier, 62000 Arras, France

## Références

1. GBD 2015 Obesity Collaborators et al. (2017) Health Effects of Overweight and Obesity in 195 Countries over 25 Years. *N Engl J Med* 377: 13-27. DOI : [10.1056/NEJMoa1614362](https://doi.org/10.1056/NEJMoa1614362)
2. Sakr Y, Alhussami I, Nanchal R et al. (2015) Being overweight is associated with greater survival in ICU patients: results from the intensive care over nations audit. *Crit Care Med* 43:2623-2632. DOI : [10.1097/CCM.0000000000001310](https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000001310)

3. World Health Organization. (2000) Obesity: preventing and managing the global epidemic: report of a WHO consultation. Geneva, 1999.
4. Sturm R, Hattori A. (2013) Morbid obesity rates continue to rise rapidly in the United States. *Int J Obes (Lond)* 37: 889-91. DOI : [10.1038/ijo.2012.159](https://doi.org/10.1038/ijo.2012.159)
5. Czernichow S, Renuy A, Rives-Lange C et al. (2021) Evolution of the prevalence of obesity in the adult population in France, 2013-2016: the Constances study. *Sci Rep*. 11(1):14152. DOI : [10.1038/s41598-021-93432-0](https://doi.org/10.1038/s41598-021-93432-0).
6. Lewandowski K, Lewandowski M. (2011) Intensive care in the obese. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol*. 25(1):95-108. DOI : [10.1016/j.bpa.2010.12.003](https://doi.org/10.1016/j.bpa.2010.12.003).
7. Lemyze M, Courageux N, Maladobry T, et al. (2020) Implications of obesity for the management of severe Coronavirus disease 2019 pneumonia. *Crit Care Med* 48(9):e761-e767. DOI : [10.1097/CCM.0000000000004455](https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000004455)
8. Dana R, Bannay A, Bourst P, et al. (2021) Obesity and mortality in critically ill COVID-19 patients with respiratory failure. *Int J Obes* 45, 2028-2037. DOI : [10.1038/s41366-021-00872-9](https://doi.org/10.1038/s41366-021-00872-9)
9. MacIntire NR. (2012) Mechanical ventilation in the context of a “bag-in-box” respiratory system. *Crit Care Med* 40:1988-9. DOI : [10.1097/CCM.0b013e3182515092](https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e3182515092)
10. Umbrello M, Furnagalli J, Pesenti A, Chiumello D. (2019) Pathophysiology and management of acute respiratory distress syndrome in obese patients. *Semin Respir Crit Care Med* 40(1):40-56. DOI : [10.1055/s-0039-1685179](https://doi.org/10.1055/s-0039-1685179)
11. Sharp JT, Henry JP, Sweany SK et al. (1964) Effects of mass loading the respiratory system in man. *J Appl Physiol* 19:959-66. DOI : [10.1152/jappl.1964.19.5.959](https://doi.org/10.1152/jappl.1964.19.5.959)
12. Koutsoukou A, Koulouris N, Bekos B et al. (2004) Expiratory flow limitation in morbidly obese postoperative mechanically ventilated patients. *Acta Anaesthesiol Scand* 48(9):1080-8. DOI : [10.1111/j.1399-6576.2004.00479.x](https://doi.org/10.1111/j.1399-6576.2004.00479.x)
13. Lemyze M, Mallat J, Duhamel A, et al. (2013) Effects of sitting position and applied positive end-expiratory pressure on respiratory mechanics of critically ill obese patients receiving mechanical ventilation. *Crit Care Med* 41:2592-2599. DOI : [10.1097/CCM.0b013e318298637f](https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e318298637f).
14. Pankow W, Podszus T, Guthel T et al. (1998) Expiratory flow limitation and intrinsic positive end-expiratory pressure in obesity. *J Appl Physiol* 85: 1236-43. DOI : [10.1152/jappl.1998.85.4.1236](https://doi.org/10.1152/jappl.1998.85.4.1236)
15. Verin E, Tardif C, Portier F, et al. (2002) Evidence for expiratory flow limitation of extrathoracic origin in patients with obstructive sleep apnoea. *Thorax* 57(5):423-8. DOI : [10.1136/thorax.57.5.4234](https://doi.org/10.1136/thorax.57.5.4234)
16. Holley HS, Milic-Emili J, Becklake MR, et al. (1967) Regional distribution of pulmonary ventilation and perfusion in obesity. *J Clin Invest* 46:475-81. DOI : [10.1172/JCI105549](https://doi.org/10.1172/JCI105549)
17. Yamane T, Date T, Tokuda M, et al. (2008) Hypoxemia in inferior pulmonary veins in supine position is dependent on obesity. *Am J Respir Crit Care Med* 178:295-9. DOI : [10.1164/rccm.200801-1130C](https://doi.org/10.1164/rccm.200801-1130C)
18. Eichenberger AS, Proitti S, Frascarolo P et al. (2002) Morbid obesity and postoperative pulmonary atelectasis: an underestimated problem. *Anesth. Analg* 95: 1788-92. DOI : [10.1097/00000539-200212000-00060](https://doi.org/10.1097/00000539-200212000-00060)
19. Crummy F, Piper AJ, Naughton MT. (2008) Obesity and the lung: 2. Obesity and sleep-disordered breathing. *Thorax* 63:738-46. DOI : [10.1136/thx.2007.086843](https://doi.org/10.1136/thx.2007.086843).
20. Mokhlesi B. (2010) Obesity hypoventilation syndrome: a state-of-the-art review. *Respir Care* 55:1347-62. PMID: 20875161
21. Steier J, Jolley CJ, Seymour J, et al. (2009) Neural respiratory drive in obesity. *Thorax* 64: 719-25. DOI : [10.1136/thx.2008.109728](https://doi.org/10.1136/thx.2008.109728)
22. Tsueda K, Debrand M, Zeok SS, et al. (1979) Obesity supine death syndrome: reports of two morbidly obese patients. *Anesth Analg* 58: 345-7. DOI : [10.1213/00000539-197907000-00023](https://doi.org/10.1213/00000539-197907000-00023)
23. Lemyze M, Guerry MJ, Mallat J, Thevenin D. (2012) Obesity supine death syndrome revisited. *Eur Respir J* 40(6): 1568-9. DOI : [10.1183/09031936.00090812](https://doi.org/10.1183/09031936.00090812)
24. Lemyze M, Guiot A, Mallat J, Thevenin D. (2018) The obesity supine death syndrome (OSDS). *Obes Rev* 19(4): 550-556. DOI : [10.1111/obr.12655](https://doi.org/10.1111/obr.12655)
25. Pelosi P, Croci M, Calappi E, et al. (1996) Prone positioning improves pulmonary function in obese patients during general anesthesia. *Anesth Analg* 83:578-583. DOI : [10.1097/00000539-199609000-00025](https://doi.org/10.1097/00000539-199609000-00025)
26. De Jong A, Molinari N, Sebbane M, et al. (2013) Feasibility and effectiveness of prone position in morbidly obese patients with ARDS: a case-control clinical study. *Chest* 143:1554-61. DOI : [10.1378/chest.12-2115](https://doi.org/10.1378/chest.12-2115)
27. Kirkpatrick AW, Pelosi P, De Waele JJ, et al. (2010) Clinical review: Intra-abdominal hypertension: does it influence the physiology of prone ventilation? *Crit Care* 14: 232. DOI : [10.1186/cc9099](https://doi.org/10.1186/cc9099)
28. Lemyze M, Granier M. (2019) Le patient obèse en insuffisance respiratoire aiguë, un défi pour la réanimation [The obese patient and acute respiratory failure, a challenge for intensive care]. *Rev Mal Respir* 36(8):971-984. DOI : [10.1016/j.rmr.2018.10.621](https://doi.org/10.1016/j.rmr.2018.10.621)
29. De Jong A, Molinari N, Pouzeratte Y, et al. (2015) Difficult intubation in obese patients: incidence, risk factors, and complications in the operating theatre and in intensive care units. *Br J Anaesth* 114(2): 297-306. DOI : [10.1093/bja/aeu373](https://doi.org/10.1093/bja/aeu373)
30. Saasouh W, Laffey K, Turan A, et al. (2018) Degree of obesity is not associated with more than one intubation attempt: a large centre experience. *Br J Anaesth* 120(5): 1110-1116. DOI : [10.1016/j.bja.2018.01.019](https://doi.org/10.1016/j.bja.2018.01.019)
31. Jense HG, Dubin SA, Silverstein PI, O'Leary-Escolas U. (1991) Effect of obesity on safe duration of apnea in anesthetized humans. *Anesth Analg* 72(1):89-93. DOI : [10.1213/00000539-199101000-00016](https://doi.org/10.1213/00000539-199101000-00016)
32. Collins JS, Lemmens HJ, Brodsky JB, et al. (2004) Laryngoscopy and morbid obesity: a comparison of the “sniff” and “ramped” positions. *Obes Surg* 14: 1171-5. DOI : [10.1381/0960892042386869](https://doi.org/10.1381/0960892042386869).
33. Boyce JR, Ness T, Castroman P, et al. (2003) A preliminary study of the optimal anesthesia positioning for the morbidly obese patient. *Obes Surg* 13: 4-9. DOI : [10.1381/09608920321136511](https://doi.org/10.1381/09608920321136511)
34. Futier E, Constantin JM, Pelosi P, et al. (2011) Noninvasive ventilation and alveolar recruitment maneuver improve respiratory function during and after intubation of morbidly obese patients: a randomized controlled study. *Anesthesiology* 114(6): 1354-63. DOI : [10.1097/ALN.0b013e31821811ba](https://doi.org/10.1097/ALN.0b013e31821811ba).
35. Wong DT, Dallaire A, Singh KP, et al. (2019) High-flow nasal oxygen improves safe apnea time in morbidly obese patients undergoing

- general anesthesia: a randomized controlled trial. *Anesth Analg*. 129(4):1130-1136. DOI : [10.1213/ANE.0000000000003966](https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000003966).
36. Schutzer-Weissmann J, Wojcikiewicz T, Karmali A, et al. (2022) Apnoeic oxygenation in morbid obesity: a randomised controlled trial comparing facemask and high-flow nasal oxygen delivery. *Br J Anaesth*. S0007-0912(21)00800-X. DOI : [10.1016/j.bja.2021.12.011](https://doi.org/10.1016/j.bja.2021.12.011).
  37. Jaber S, Monnin M, Girard M, et al. (2016) Apnoeic oxygenation via high-flow nasal cannula oxygen combined with non-invasive ventilation preoxygenation for intubation in hypoxaemic patients in the intensive care unit: the single-centre, blinded, randomised controlled OPTINIV trial. *Intensive Care Med*. 42(12):1877-1887. DOI : [10.1007/s00134-016-4588-9](https://doi.org/10.1007/s00134-016-4588-9).
  38. Talmor D, Sarge T, O'Donnell CR, et al. (2006) Esophageal and transpulmonary pressures in acute respiratory failure. *Crit Care Med* 34(5): 1389-94. DOI : [10.1097/01.CCM.0000215515.49001.A2](https://doi.org/10.1097/01.CCM.0000215515.49001.A2).
  39. Pirrone M, Fisher D, Chipman D, et al. (2016) Recruitment maneuvers and positive end-expiratory pressure titration in morbidly obese ICU patients. *Crit Care Med* 44(2):300-7. DOI : [10.1097/CCM.0000000000001387](https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000001387)
  40. Florio G, De Santis Santiago RR, Fumagalli J, et al. (2021) Pleural Pressure Targeted Positive Airway Pressure Improves Cardiopulmonary Function in Spontaneously Breathing Patients With Obesity. *Chest* 159(6):2373-2383. DOI : [10.1016/j.chest.2021.01.055](https://doi.org/10.1016/j.chest.2021.01.055)
  41. Lemyze M, Guiot A, Granier M. (2019) Esophageal Pressure Monitoring in the Critically Ill Obese Subject. *Anesthesiology* 130(3):441. DOI : [10.1097/ALN.0000000000002499](https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000002499)
  42. Brochard L, Slutsky A, Pesenti A. (2017) Mechanical Ventilation to Minimize Progression of Lung Injury in Acute Respiratory Failure. *Am J Respir Crit Care Med*. 195(4):438-442. DOI : [10.1164/rccm.201605-1081CP](https://doi.org/10.1164/rccm.201605-1081CP).
  43. Mojoli F, Chiumello D, Pozzi M, et al. (2015) Esophageal pressure measurements under different conditions of intrathoracic pressure. An in vitro study of second generation balloon catheters. *Minerva Anestesiol*. 81(8):855-64.
  44. Fan E, Del Sorbo L, Goligher EC, Hodgson CL, et al.; American Thoracic Society, European Society of Intensive Care Medicine, and Society of Critical Care Medicine. (2017) An Official American Thoracic Society/European Society of Intensive Care Medicine/Society of Critical Care Medicine Clinical Practice Guideline: Mechanical Ventilation in Adult Patients with Acute Respiratory Distress Syndrome. *Am J Respir Crit Care Med* 195: 1253-1263. DOI : [10.1164/rccm.201703-0548ST](https://doi.org/10.1164/rccm.201703-0548ST).
  45. Anzueto A, Frutos-Vivar F, Esteban A, et al. ; Ventila group. (2011) Influence of body mass index on outcome of the mechanically ventilated patients. *Thorax* 66(1):66-73. DOI : [10.1136/thx.2010.145086](https://doi.org/10.1136/thx.2010.145086)
  46. Richard JCM. (2006) Tables donnant les valeurs d'un volume courant de 6 ml/kg en fonction du poids idéal théorique. *Réanimation* 87. DOI : [10.1016/j.reaurg.2005.12.017](https://doi.org/10.1016/j.reaurg.2005.12.017)
  47. Regunath H, Moulton N, Woolery D, et al. (2019) Ultra-protective mechanical ventilation without extra-corporeal carbon dioxide removal for acute respiratory distress syndrome. *J Intensive Care Soc* 20(1):40-45. DOI : [10.1177/1751143718774712](https://doi.org/10.1177/1751143718774712)
  48. Amato MB, Meade MO, Slutsky AS, et al. (2015) Driving pressure and survival in the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 372(8):747-55. DOI : [10.1056/NEJMsa1410639](https://doi.org/10.1056/NEJMsa1410639)
  49. De Jong A, Cossic J, Verzilli D, et al. (2018) Impact of the driving pressure on mortality in obese and non-obese ARDS patients: a retrospective study of 362 cases. *Intensive Care Med* 44(7): 1106-1114. DOI : [10.1007/s00134-018-5241-6](https://doi.org/10.1007/s00134-018-5241-6)
  50. Zampieri FG, Costa EL, Iwashyna TJ, et al. ; Alveolar Recruitment for Acute Respiratory Distress Syndrome Trial Investigators. (2019) Heterogeneous effects of alveolar recruitment in acute respiratory distress syndrome: a machine learning reanalysis of the Alveolar Recruitment for Acute Respiratory Distress Syndrome Trial. *Br J Anaesth* 123(1):88-95. DOI : [10.1016/j.bja.2019.02.026](https://doi.org/10.1016/j.bja.2019.02.026)
  51. Kacmarek RM, Villar J. (2011) Lung recruitment maneuvers during acute respiratory distress syndrome: is it useful? *Minerva Anestesiol* 77(1):85-9. PMID: 21273969
  52. Arnal JM, Paquet J, Wysocki M, et al. (2011) Optimal duration of a sustained inflation recruitment maneuver in ARDS patients. *Intensive Care Med* 37(10):1588-94. DOI : [10.1007/s00134-011-2323-0](https://doi.org/10.1007/s00134-011-2323-0)
  53. Cavalcanti AB, Suzumura EA, Laranjeira LN, et al. (2017) Effect of lung recruitment and titrated positive end-expiratory pressure (PEEP) vs low PEEP on mortality in patients with acute respiratory distress syndrome: a randomized clinical trial. *JAMA* 318: 1335-45. DOI : [10.1001/jama.2017.14171](https://doi.org/10.1001/jama.2017.14171)
  54. Mercado P, Maizel J, Kontar L, et al. (2018) Moderate and severe acute respiratory distress syndrome: hemodynamic and cardiac effects of an open lung strategy with recruitment maneuver analyzed using echocardiography. *Crit Care Med* 46: 1608-16. DOI : [10.1097/CCM.0000000000003287](https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000003287)
  55. MacIntyre NR, Cook DJ, Ely EW Jr, et al. ; American College of Chest Physicians; American Association for Respiratory Care; American College of Critical Care Medicine. (2001) Evidence-based guidelines for weaning and discontinuing ventilatory support: a collective task force facilitated by the American College of Chest Physicians; the American Association for Respiratory Care; and the American College of Critical Care Medicine. *Chest* 120(6 Suppl):375S-95S. DOI : [10.1378/chest.120.6\\_suppl.375s](https://doi.org/10.1378/chest.120.6_suppl.375s)
  56. Mahul M, Jung B, Galia F, et al. (2016) Spontaneous breathing trial and post-extubation work of breathing in morbidly obese critically ill patients. *Crit Care* 20(1):346. DOI : [10.1186/s13054-016-1457-4](https://doi.org/10.1186/s13054-016-1457-4)
  57. De Jong A, Chanques G, Jaber S. (2017) Mechanical ventilation in obese ICU patients: from intubation to extubation. *Crit Care* 21(1): 63. DOI : [10.1186/s13054-017-1641-1](https://doi.org/10.1186/s13054-017-1641-1)
  58. El-Solh AA, Aquilina A, Pineda L et al. (2006) Noninvasive ventilation for prevention of post-extubation respiratory failure in obese patients. *Eur Respir J* 28: 588-95. DOI : [10.1183/09031936.06.00150705](https://doi.org/10.1183/09031936.06.00150705)
  59. Trouillet J-L, Collange O, Belafia F, et al. (2019) Tracheotomy in the Intensive Care Unit: Guidelines from a French Expert Panel: the French Intensive Care Society and the French Society of Anaesthesia and Intensive Care Medicine. *Médecine Intensive Réanimation*, 28(1), 70-84. DOI : [10.3166/rea-2018-0066](https://doi.org/10.3166/rea-2018-0066)
  60. El Solh AA, Jaafar W. (2007) A comparative study of the complications of surgical tracheostomy in morbidly obese critically ill patients. *Critical Care* 11(1). DOI : [10.1186/cc5147](https://doi.org/10.1186/cc5147)
  61. Byhahn C, Lischke V, Meiningner D et al. (2005) Perioperative complications during percutaneous tracheostomy in obese patients. *Anesthesia* 60:12-15. DOI : [10.1111/j.1365-2044.2004.03707.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2044.2004.03707.x)



62. Mansharamani NG, Koziel H, Garland R, LoCicero J 3rd, Critchlow J, Ernst A. (2000) Safety of bedside percutaneous dilatational tracheostomy in obese patients in the ICU. *Chest* 117(5):1426-9. DOI : [10.1378/chest.117.5.1426](https://doi.org/10.1378/chest.117.5.1426)
63. Heyrosa MG, Melniczek DM, Rovito P, Nicholas GG. (2006) Percutaneous tracheostomy: a safe procedure in the morbidly obese. *J Am Coll Surg* 202(4): 618-22. DOI : [10.1016/j.jamcollsurg.2005.12.009](https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2005.12.009)
64. Rumbak MJ, Walsh FW, Anderson WM, Rolfe MW, Solomon DA. (1999) Significant tracheal obstruction causing failure to wean in patients requiring prolonged mechanical ventilation: a forgotten complication of long-term mechanical ventilation. *Chest* 115(4): 1092-5. DOI : [10.1378/chest.115.4.1092](https://doi.org/10.1378/chest.115.4.1092)
65. Cheung NH, Napolitano LM. (2014) Tracheostomy: epidemiology, indications, timing, technique, and outcomes. *Respir Care* 59(6): 895-915. DOI : [10.4187/respcare.02971](https://doi.org/10.4187/respcare.02971)
66. Alhajhusain A, Ali AW, Najmuddin A, Hussain K, Aqeel M, El-Solh AA. Timing of tracheotomy in mechanically ventilated critically ill morbidly obese patients. *Crit Care Res Pract.* 2014; 2014:840638. DOI : [10.1155/2014/840638](https://doi.org/10.1155/2014/840638)
67. Guilleminault C, Simmons FB, Motta J, Cummiskey J, Rosekind M, Schroeder JS, Dement WC. (1981) Obstructive sleep apnea syndrome and tracheostomy. Long-term follow-up experience. *Arch Intern Med* 141(8): 985-8. PMID: 7247605
68. Marshall RV, Haas PJ, Schweinfurth JM, Replogle WH. (2016) Tracheotomy Outcomes in Super Obese Patients. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg* 142(8): 772-6. DOI : [10.1001/jamaoto.2016.1089](https://doi.org/10.1001/jamaoto.2016.1089)
69. Duarte AG, Justino E, Bigler T, Grady J (2007) Outcomes of morbidly obese patients requiring mechanical ventilation for acute respiratory failure. *Crit Care Med* 35:732-7. DOI: [10.1097/01.CCM.00000256842.39767.41](https://doi.org/10.1097/01.CCM.00000256842.39767.41)
70. Lemyze M, Taufour P, Duhamel A, et al. (2014) Determinants of noninvasive ventilation success or failure in morbidly obese patients in acute respiratory failure. *PLoS One* 9(5):e97563. DOI : [10.1371/journal.pone.0097563](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097563)
71. Florio G, Ferrari M, Bittner EA, et al. ; investigators of the lung rescue team. (2020) A lung rescue team improves survival in obesity with acute respiratory distress syndrome. *Crit Care* 24(1):4. DOI : [10.1186/s13054-019-2709-x](https://doi.org/10.1186/s13054-019-2709-x)

