

CONGRÈS

13^{ÈME}
EDITION

ACCREDITATION
DEMANDÉE

18.11.17

ACTUALITES EN VENTILATION

(Médecins • Kinésithérapeutes • Infirmières)



Monitorage:

La capacité résiduelle fonctionnelle

B Lambermont

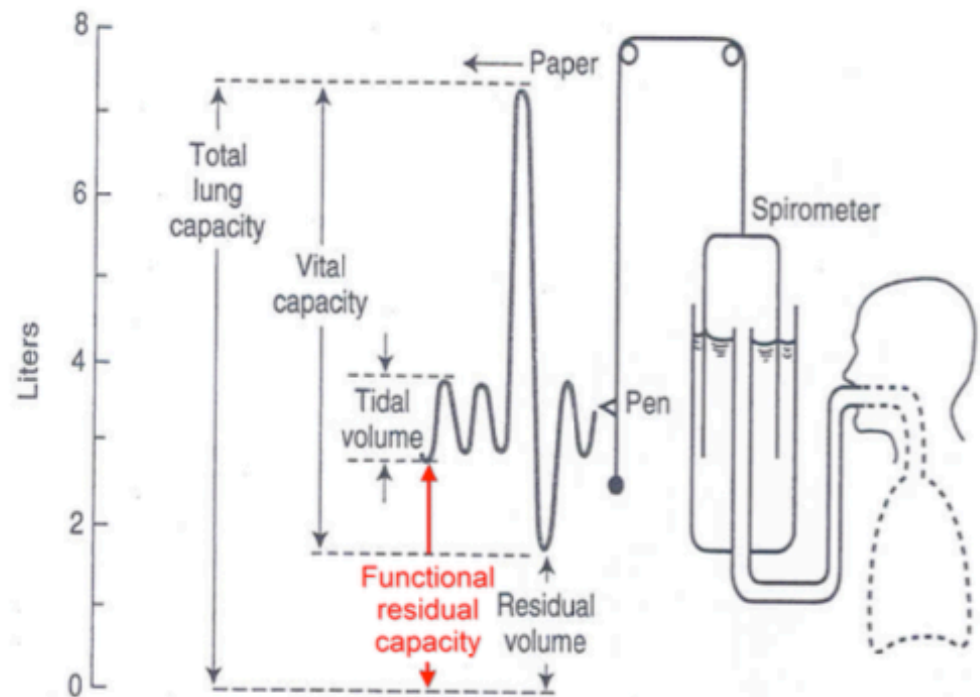
Soins intensifs médicaux



La CRF

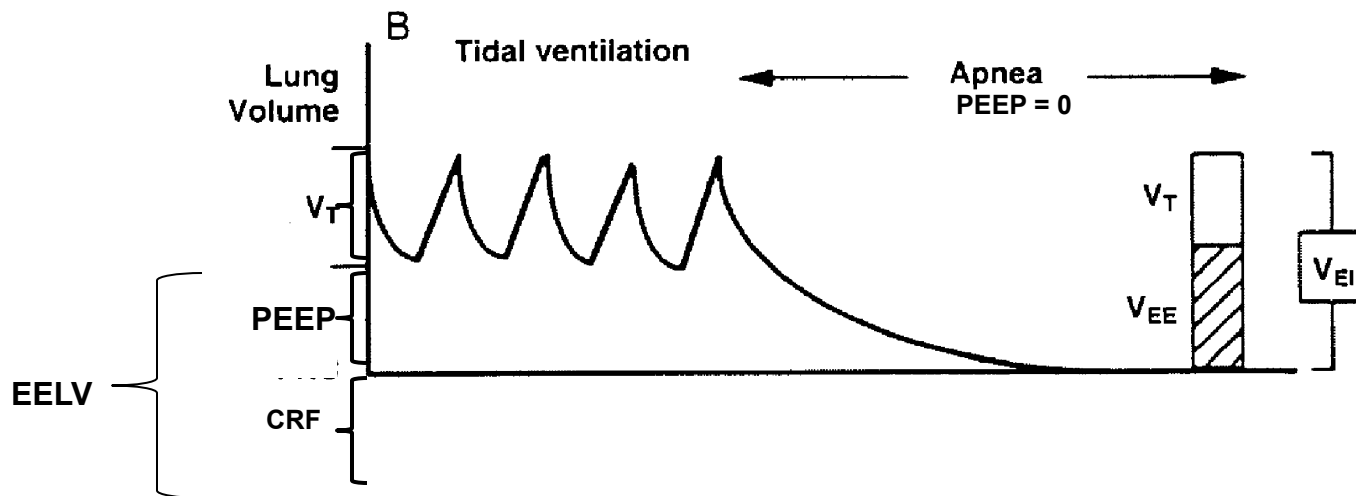
Les volumes pulmonaires

- **Capacité résiduelle fonctionnelle (CRF)** = volume pulmonaire en fin d'expiration normale
- CRF = **volume pulmonaire «de repos»**
- $CRF = VR + VRE$
- Mesurée de façon indirecte
- Adulte au repos $\approx 2\ 000\text{ ml}$



Respiratory Physiology 7th Edition, John B. West. Fig 2-2.

CRF et volume de fin d'expiration (EELV)



Méthodes de mesure en physiologie classique

- Pléthysmographie (1965): impossible en réa...
- Dilution de traceur (Hélium): nécessite un système clos et du rebreathing -> complexe. Déconnection du respi => risque de dérecrutement
- Scanner: précis (air piégé), lourd logistiquement, irradiation, pas de mesures répétées.

Mesure de EELV chez le patient intubé

- Mesure basée sur la méthode de washin-washout de l'azote:
 - Rendue possible par l'analyse breath/breath du CO₂ et de l'O₂
 - Nécessite un changement de 10% de FiO₂
- Mesure unique ponctuelle ou répétée
- Peep in view



Limitations de cette méthode de mesure

- Nécessite un respirateur particulier
 - FiO_2 entre 0.4 et 0.65 pour des résultats optimaux
- => Impossible si $FiO_2 = 100\%$
- VO_2 et VCO_2 stables en cours de mesure
- => Imprécis si tachypnée ou pattern respiratoire irrégulier:
- Grandes variations des volumes courants => sédation et ventilation contrôlée préférables
 - Fortes fièvres
 - Agitation
 - Conditions neurologiques altérant la respiration
 - Fuites (!pression élevées: Peep > 13-14 cmH₂O)
 - Espace mort alvéolaire élevé

Critical Care 2008, 12:R150 (doi:10.1186/cc7139)

Critical Care 2011, 15:R294

RESPIRATORY CARE • DECEMBER 2012 VOL 57 No 12

Intensive Care Medicine Experimental 2014, 2:10

Applications cliniques potentielles de la mesure de EELV dans l'ARDS

- EELV pour mesurer le strain pulmonaire
- EELV pour évaluer l'effet de certaines interventions:
 - Peep
 - Recrutement
 - Prone position, position assise
 - ...

EELV pour mesurer le strain pulmonaire

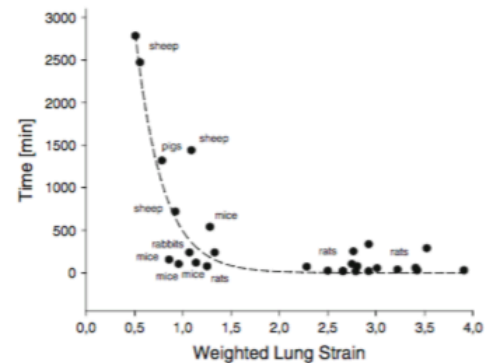
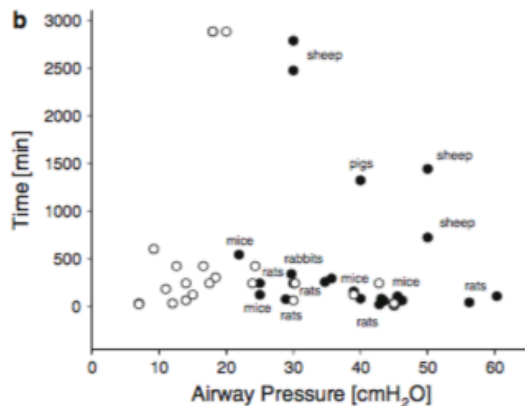
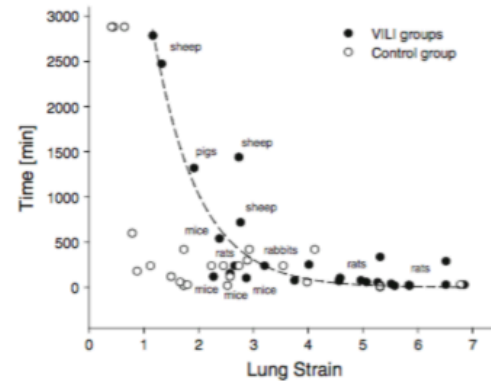
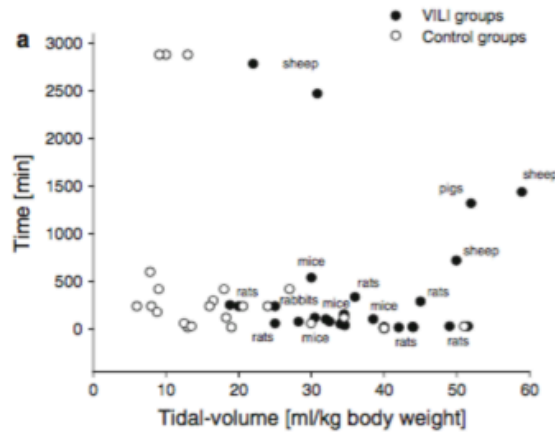
- Le strain est l'augmentation de volume pulmonaire (V_t +/-Peep) rapporté au volume initial (CRF, EELV):
 - Strain = $\Delta V / CRF$
 - Strain = $V_t / EELV$ (strain diminue avec la peep)
 - Strain = V_{t+Peep} / CRF (strain augmente avec la peep)
 - Strain = $(V_t + \Delta V_{Peep} - V_{recruté}) / (CRF + V_{recruté})$
- On distingue le strain dynamique (lié au V_t) et le strain statique (lié à la Peep)
- Le strain pulmonaire est un des déterminants majeurs des lésions induites par la ventilation (VILI) dans plusieurs études expérimentales et cliniques

Données expérimentales

- Pas de relation entre V_t ou P_{aw} et durée de ventilation pour apparition de VILI dans les modèles animaux (20 études) MAIS une relation exponentielle avec le Strain pour la durée de ventilation nécessaire pour générer VILI : pas de VILI si strain $< 1,5$; VILI si Strain > 2 *Caironi et al. ICM 2011*
- 20 porcs sains ventilés 54h: pas de VILI si strain $< 1,5$ mais VILI et décès si strain $> 2,5$. *Protti AJRCCM 2011*
- A strain global constant VILI plus important si strain dyn/strain statique est élevé *Protti CCM 2013*
- Strain global élevé ($> 2,5$) =>
 - libération de médiateurs pro inflammatoires pulmonaires et systémiques
 - formation de membranes hyalines, infiltration alvéolaire neutrophilique, œdème pulmonaire non-cardiogénique *Protti CCM 2013*

Pietro Caironi
Thomas Langer
Eleonora Carlesso
Alessandro Protti
Luciano Gattinoni

Time to generate ventilator-induced lung injury among mammals with healthy lungs: a unifying hypothesis



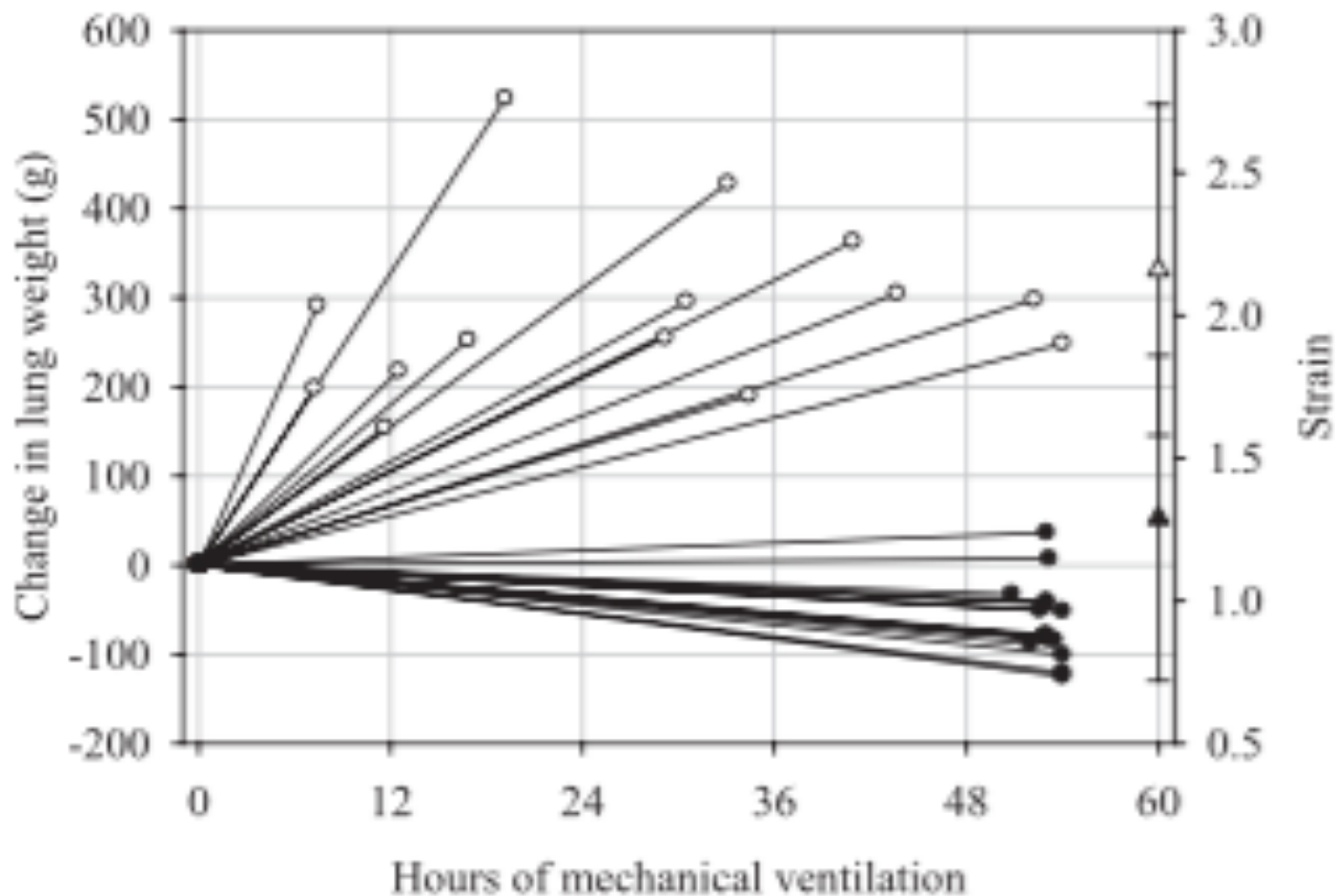
Données expérimentales

- Pas de relation entre V_t ou P_{aw} et durée de ventilation pour apparition de VILI dans les modèles animaux (20 études) MAIS une relation exponentielle avec le Strain pour la durée de ventilation nécessaire pour générer VILI : pas de VILI si strain $< 1,5$; VILI si Strain > 2 *Caironi et al. ICM 2011*
- 20 porcs sains ventilés 54h: pas de VILI si strain $< 1,5$ mais VILI et décès si strain $> 2,5$. *Protti AJRCCM 2011*
- A strain global constant VILI plus important si strain dyn/strain statique est élevé *Protti CCM 2013*
- Strain global élevé ($> 2,5$) =>
 - libération de médiateurs pro inflammatoires pulmonaires et systémiques
 - formation de membranes hyalines, infiltration alvéolaire neutrophilique, œdème pulmonaire non-cardiogénique *Protti CCM 2013*

Lung Stress and Strain during Mechanical Ventilation

Any Safe Threshold?

Alessandro Protti¹, Massimo Cressoni¹, Alessandro Santini¹, Thomas Langer¹, Cristina Mietto¹, Daniela Febres¹, Monica Chierichetti¹, Silvia Coppola¹, Grazia Conte², Stefano Gatti², Orazio Leopardi¹, Serge Masson³, Luciano Lombardi⁴, Marco Lazzerini⁴, Erica Rampoldi⁵, Paolo Cadringer¹, and Luciano Gattinoni^{1,6}



Données expérimentales

- Pas de relation entre V_t ou P_{aw} et durée de ventilation pour apparition de VILI dans les modèles animaux (20 études) MAIS une relation exponentielle avec le Strain pour la durée de ventilation nécessaire pour générer VILI : pas de VILI si strain $< 1,5$; VILI si Strain > 2 *Caironi et al. ICM 2011*
- 20 porcs sains ventilés 54h: pas de VILI si strain $< 1,5$ mais VILI et décès si strain $> 2,5$. *Protti AJRCCM 2011*
- A strain global constant VILI plus important si strain dyn/strain statique est élevé *Protti CCM 2013*
- Strain global élevé ($> 2,5$) =>
 - libération de médiateurs pro inflammatoires pulmonaires et systémiques
 - formation de membranes hyalines, infiltration alvéolaire neutrophilique, œdème pulmonaire non-cardiogénique *Protti CCM 2013*

Lung Stress and Strain During Mechanical Ventilation: Any Difference Between Statics and Dynamics?*

Alessandro Protti, MD¹; Davide T. Andreis, MD¹; Massimo Monti, MD¹; Alessandro Santini, MD¹; Cristina C. Sparacino, MD¹; Thomas Langer, MD¹; Emiliano Votta, PhD²; Stefano Gatti, MD³; Luciano Lombardi, RT⁴; Orazio Leopardi, MD¹; Serge Masson, PhD⁵; Massimo Cressoni, MD¹; Luciano Gattinoni, MD FRCP^{1,6}

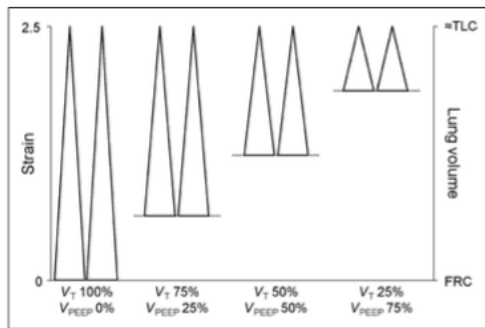


Figure 1. Study protocol. Four different combinations of dynamic and static strains, always resulting in a global lung strain of 2.5 (and an end-inspiratory lung volume close to total capacity [TLC]) were studied. Dynamic strain (tidal volume [V_T]) could contribute 100% down to 25% of total lung strain. Static strain (volume of gas corresponding to positive end-expiratory pressure [V_{PEEP}]) could accordingly account for 0–75% of global strain. FRC = functional residual capacity.

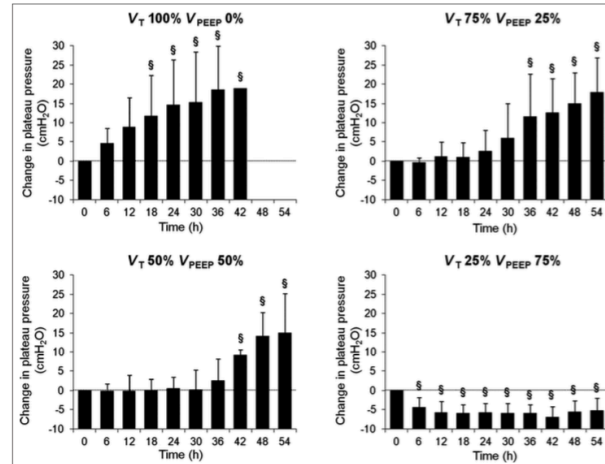


Figure 3. Temporal changes in plateau airway pressure. Changes in plateau airway pressure were computed as the difference between actual (measured every 6 hours) and initial values. Individual data were averaged within groups of ventilation. * $p < 0.05$ vs. time 0 within the same group. V_T = tidal volume; V_{PEEP} = volume corresponding to positive end-expiratory pressure.

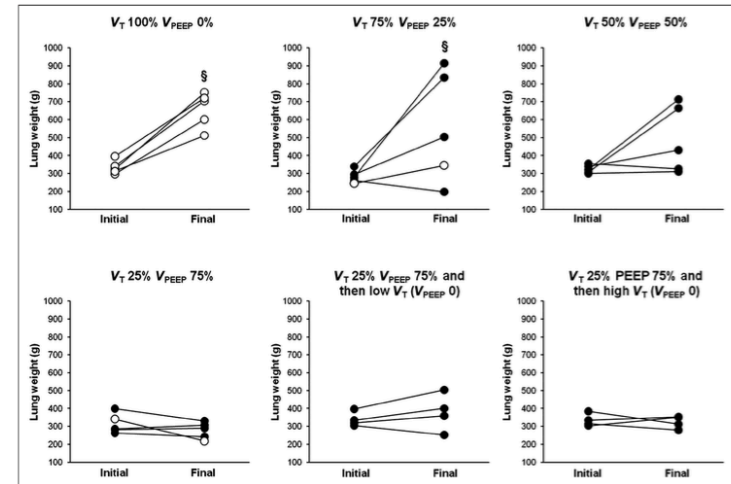


Figure 2. Lung weight change and 54-hr mortality. Individual initial and final lung weights are shown. Straight lines are used to connect individual points to help visualize how lung weight changed in every single animal (and not to suggest that these changes occurred linearly over time). White circles indicate animals that died within 54 hr, whereas black circles indicate those that survived. * $p < 0.01$ vs. initial lung weight. V_T = tidal volume; V_{PEEP} = volume corresponding to positive end-expiratory pressure.

TABLE 3. Lung Histology

	V_T 100%; V_{PEEP} 0%	V_T 75%; V_{PEEP} 25%	V_T 50%; V_{PEEP} 50%	V_T 25%; V_{PEEP} 75%	<i>p</i>
Emphysematous change	2 (1-2)	2 (2-3)	1 (0-2)	3 ^{ac} (3-4)	<0.01
Interstitial congestion	2 (2-2)	3 (2-3)	2 (2-4)	1 ^b (1-2)	0.02
Alveolar hemorrhage	2 (1-2)	1 (1-2)	1 (1-3)	1 (0-1)	0.11
Alveolar neutrophil infiltration	3 (2-4)	3 (1-3)	4 (4-4)	0 ^c (0-1)	<0.01
Alveolar macrophage proliferation	3 (2-3)	3 (2-3)	3 (2-3)	1 (1-2)	0.14
Alveolar type II pneumocyte proliferation	2 (1-3)	2 (2-2)	2 (1-2)	1 (1-2)	0.32
Interstitial lymphocyte proliferation	2 (1-2)	1 (1-2)	2 (1-2)	1 (1-2)	0.95
Interstitial thickening	3 (2-4)	3 (3-3)	2 (2-3)	1 (1-2)	0.05
Hyaline membrane formation	3 (2-4)	2 (1-2)	0 (0-2)	0 ^a (0-0)	<0.01
Interstitial fibrosis	2 (1-3)	2 (2-2)	1 (1-2)	1 (1-2)	0.51
Organization of alveolar exudate	2 (1-3)	2 (1-2)	1 (1-2)	1 (0-1)	0.18
Total injury score	23 (19-26)	23 (18-26)	20 (17-23)	10 ^a (9-17)	0.03

V_T = tidal volume; V_{PEEP} = volume corresponding to positive end-expiratory pressure.

^a p < 0.05 vs. V_T 100% and V_{PEEP} 0%.

^b p < 0.05 vs. V_T 75% and V_{PEEP} 25%.

^c p < 0.05 vs. V_T 50% and V_{PEEP} 50%.

TABLE 4. Final Lung and Systemic Inflammation

	V_T 100%; V_{PEEP} 0%	V_T 75%; V_{PEEP} 25%	V_T 50%; V_{PEEP} 50%	V_T 25%; V_{PEEP} 75%	<i>p</i>
Bronchoalveolar lavage fluid IL-6 (pg/mL)	1019 ± 251	1037 ± 363	534 ± 612	120 ± 144 ^{ab}	<0.01
Serum IL-6 (pg/mL)	602 (215-1200)	204 (52-470)	14 (8-225)	2 ^a (2-10)	0.01

V_T = tidal volume; V_{PEEP} = volume corresponding to positive end-expiratory pressure; IL-6 = interleukin-6.

^a p < 0.05 vs. V_T 100% and V_{PEEP} 0%.

^b p < 0.05 vs. V_T 75% and V_{PEEP} 25%.

The p values reported in the last column refer to overall comparisons between groups.

Données cliniques

- Les patients qui développent un ARDS après l'intubation ont un strain plus élevé que ceux qui n'en développent pas *Gajic et al. CCM2004*
- Il existe relation entre le niveau d'activité métabolique du tissu pulmonaire mesurée par PET scan et le strain pulmonaire ($V_t/EELV$) mais pas avec V_t/PBW *Bellani AJRCCM 2011*
- Les patients ventilés avec un strain ($V_t/EELV$) élevé ($> 0,27$) ont une réponse alvéolaire inflammatoire augmentée (remodelage matriciel et marqueurs inflammatoires) *Gonzales-Lopez ICM 2012*
- Il n'est pas possible de prédire le strain pulmonaire à partir de la pression plateau ou du volume courant car la CRF est très variable *Chiumello AJRCCM 2008*

Lung Stress and Strain during Mechanical Ventilation for Acute Respiratory Distress Syndrome

Davide Chiumello¹, Eleonora Carlesso², Paolo Cadringer², Pietro Caironi^{1,2}, Franco Valenza^{1,2}, Federico Polli², Federica Tallarini², Paola Cozzi², Massimo Cressoni², Angelo Colombo¹, John J. Marini³, and Luciano Gattinoni^{1,2}

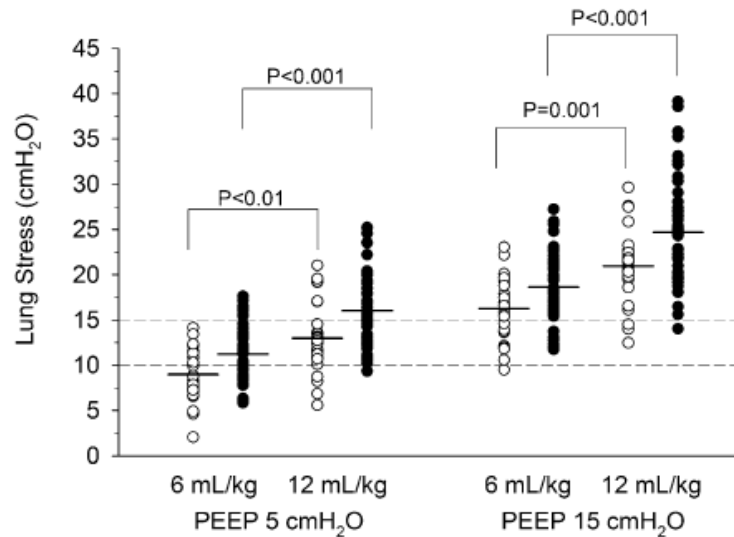


Figure 5. Lung stress at 6 and 12 ml/kg V_T IBW in patients with acute lung injury (ALI) or acute respiratory distress syndrome (ARDS) and control subjects. For clarity, surgical and medical control subjects were grouped together as were the patients with ALI and ARDS (see the online supplement for further details). Individual values of lung stress detected in patients with ALI/ARDS (solid circles) and in control subjects (open circles) are reported, both at 6 and 12 ml/kg V_T IBW with positive end-expiratory pressure (PEEP) of 5 and 15 cm H_2O . Black solid lines represent mean values of each group. Dashed lines were drawn at lung stress of 10 and 15 cm H_2O to underline the overlap of lung stress at different V_T IBW and PEEP.

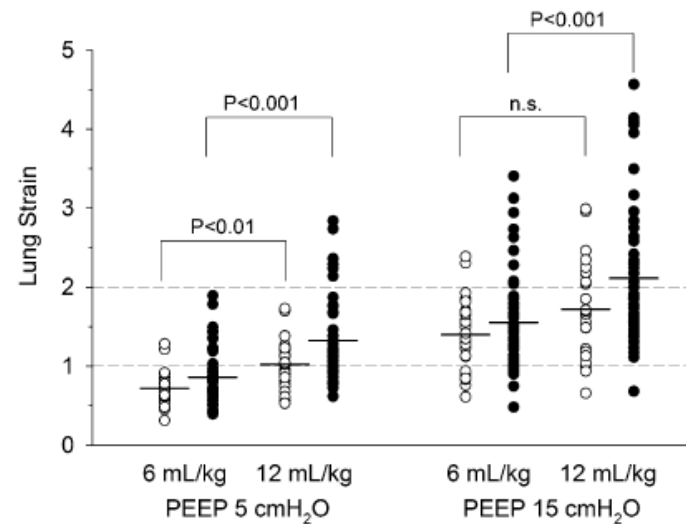


Figure 6. Lung strain at 6 and 12 ml/kg V_T IBW in patients with acute lung injury (ALI) or acute respiratory distress syndrome (ARDS) and control subjects. For clarity, surgical and medical control subjects were grouped together as were the patients with ALI and ARDS (see the online supplement for further details). Individual values of lung strain detected in patients with ALI/ARDS (solid circles) and in control subjects (open circles) are reported, both at 6 and 12 ml/kg V_T IBW with positive end-expiratory pressure (PEEP) of 5 and 15 cm H_2O . Black solid lines represent mean values of each group. Dashed lines were drawn at lung strain of 1 and 2 to underline the overlap of lung strain at different V_T IBW and PEEP.

Intérêt de la mesure de EELV: le strain pulmonaire

- Un strain élevé (dynamique > statique)

⇒ VILI

⇒ réaction inflammatoire systémique

- V_t ne permet pas de prédire Strain

⇒ Si on veut adapter V_t et PEEP pour minimaliser le VILI via une diminution du strain **il faut mesurer EELV**

Mais quel seuil pour le strain en pratique clinique?

Quelle formule appliquer?

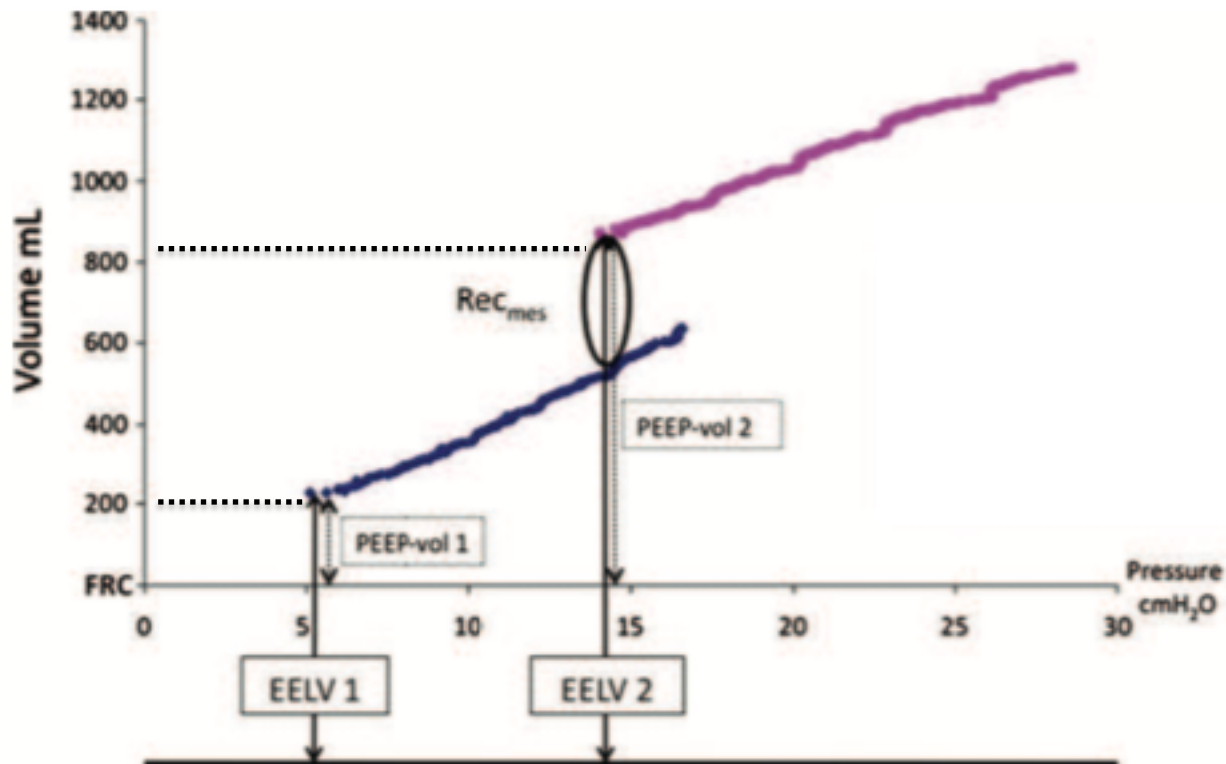
Impact clinique d'une stratégie de réglage du respirateur basée sur le strain?

EELV pour évaluer le recrutement alvéolaire

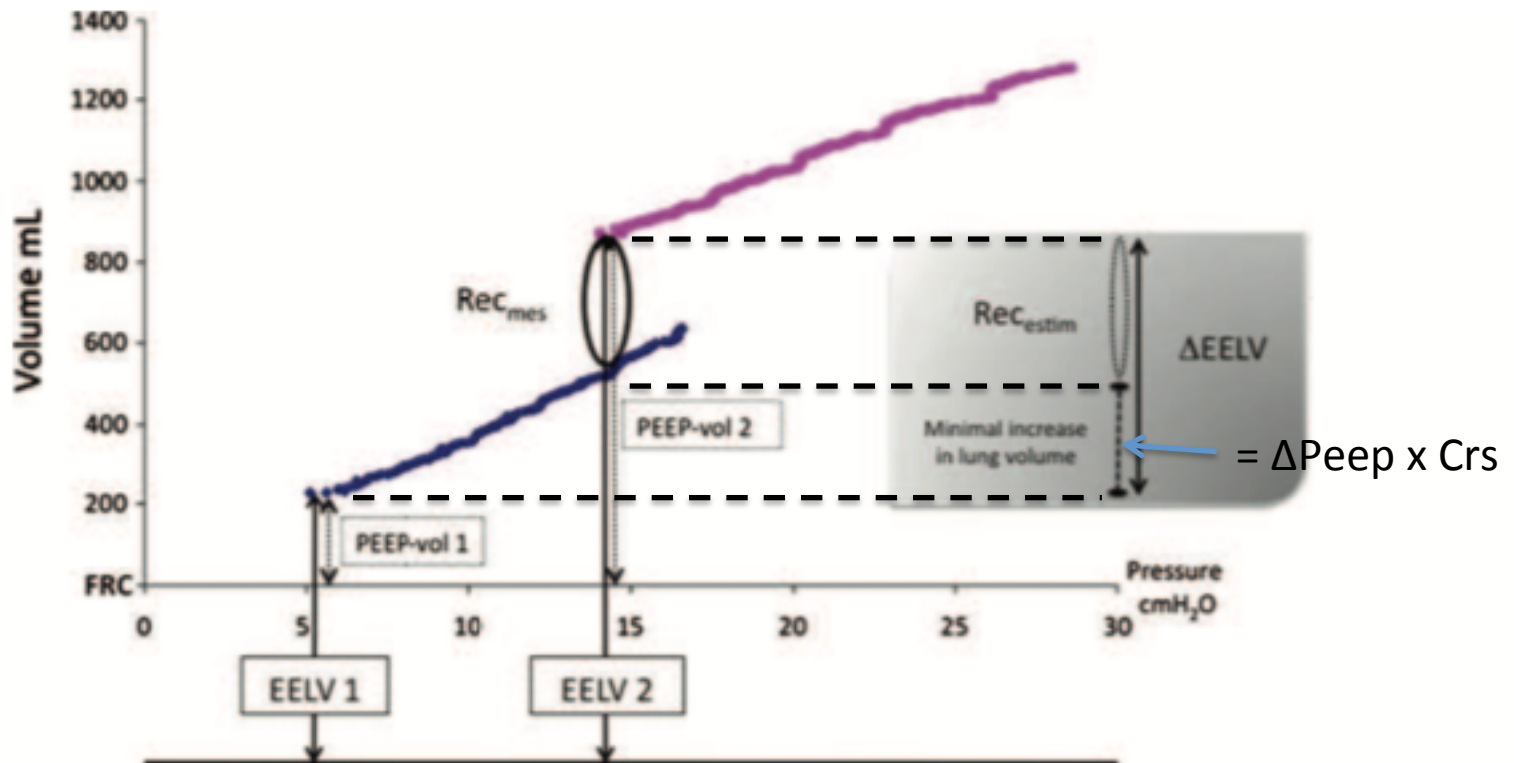
- Ventilation de l'ARDS:
 - Petit Vt pour diminuer VILI
 - Application d'une Peep:
 - Permet de garder les alvéoles ouvertes (diminution des atelectrauma)
 - Augmente EELV par recrutement de zones pulmonaires faiblement ou non aérées
- Le recrutement de zones préalablement non aérées doit être distingué de la (sur)distension d'alvéoles déjà aérées
- La Peep a deux effets opposés sur des déterminants majeurs du VILI:
 - Diminution des phénomènes d'ouverture/fermeture alveolaire intratidal 😊
 - Augmentation du strain alveolaire ☹️
- L'impact bénéfique de la prévention de l'atélectrauma par l'augmentation de la Peep prévaut sur l'effet délétère de l'augmentation du strain uniquement chez les patients à haute recrutabilité. *Caironi AJRCCM 2011*

=> une méthode permettant d'évaluer la quantité de poumon recruté pourrait améliorer la prise en charge des patients ventilés en adaptant mieux le niveau de Peep aux besoins des patients

Evaluation du recrutement pulmonaire lors de l'application d'une PEEP par la méthode de la relation pression – volume à débit lent



Méthode utilisant EELV et la compliance pour mesurer le volume recruté



- Recrutement = $\Delta EELV$ mesuré – Minimal increase in lung volume
- $\Delta EELV$ mesuré = EELV2 – EELV1
- Minimal increase in lung volume = $\Delta P_{eep} \times C_{rs}$

En pratique....

Peep 5 cmH₂O
Vt 450 ml
Pplat 20 cmH₂O
⇒ C = 30 ml/cmH₂O
⇒ EELV: 750 ml

Δpeep 10 cmH₂O

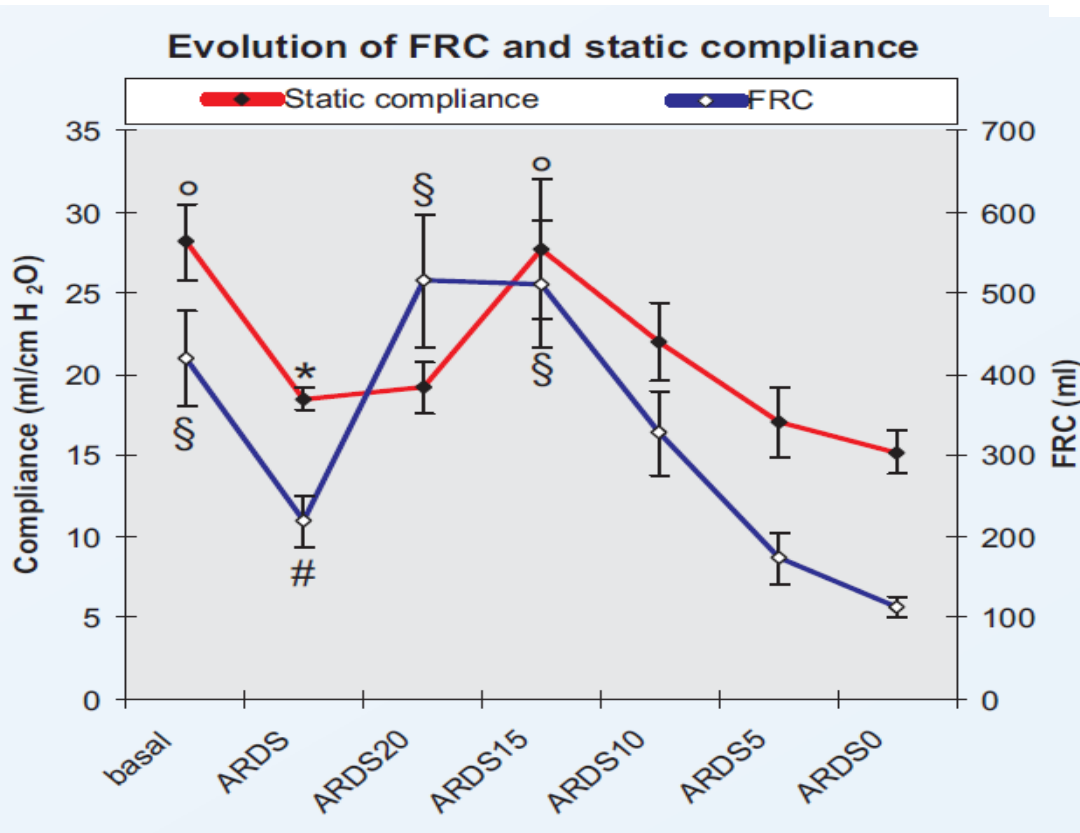
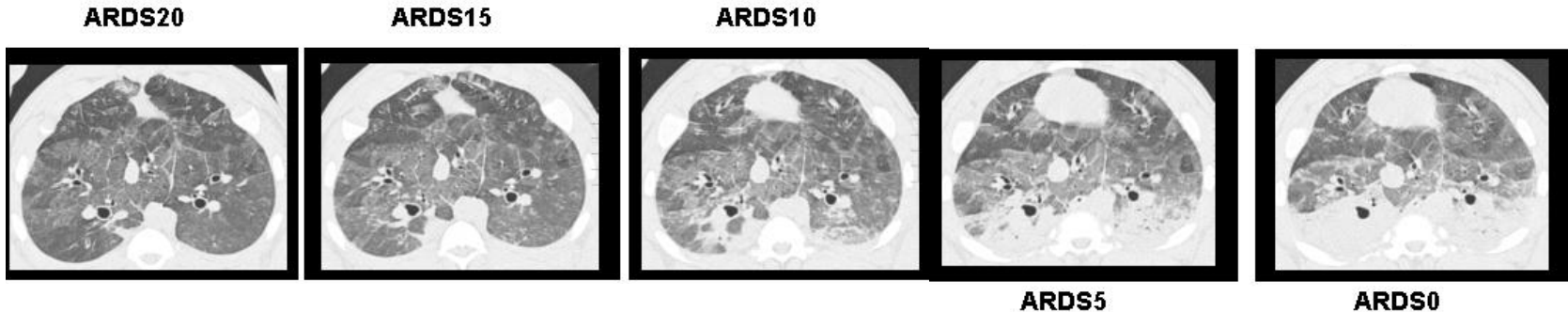
Recrutement ??

Peep 15 cmH₂O
EELV 1250
⇒ ΔEELV = 1250 - 750 = **500 ml**

ΔEELV dû à la
ΔPeep=
C x Δpeep
30 x 10 = **300 ml**

Recrutement=
ΔEELV - ΔEELV dû à la ΔPeep
= 500ml - 300ml = **200ml**

Méthode utilisant EELV et la compliance pour sélectionner la Peep optimale

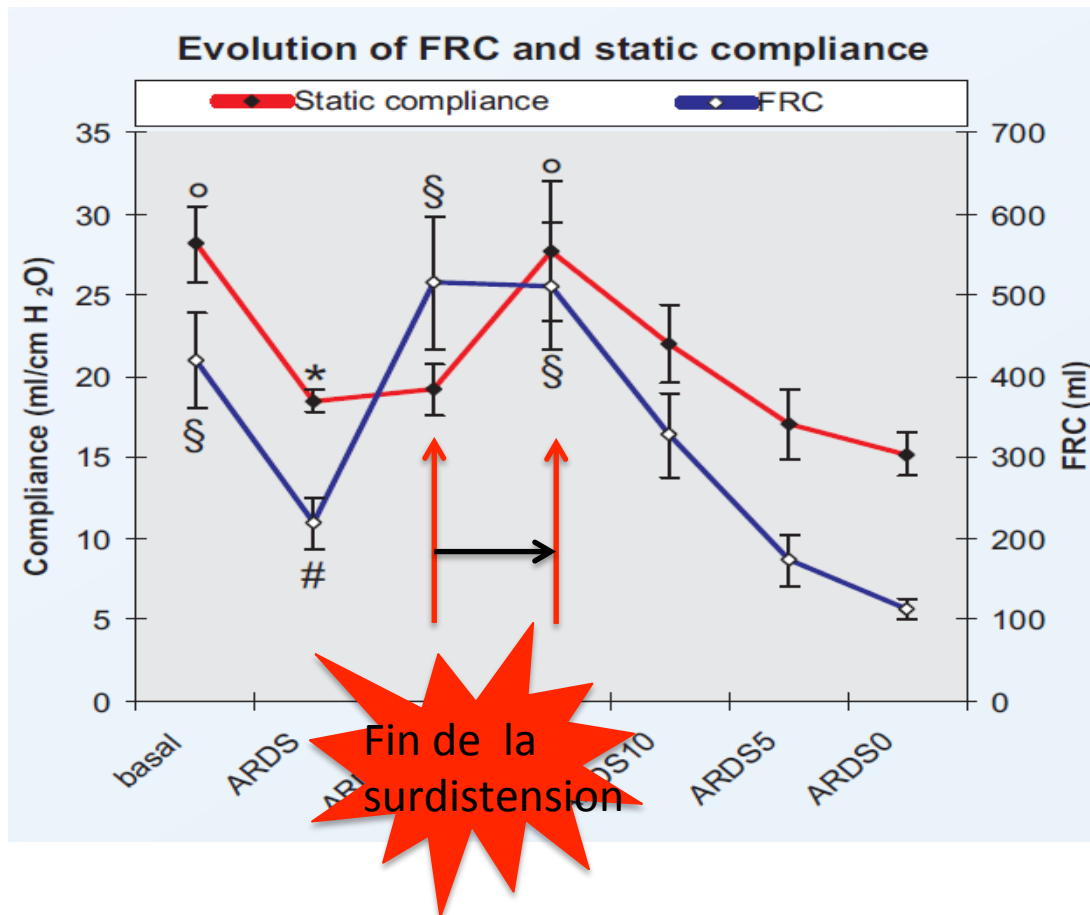


L'augmentation de la CRF liée à la PEEP peut être due soit à un recrutement soit à une surdistension: l'évolution de la compliance peut aider à discriminer ces deux phénomènes.

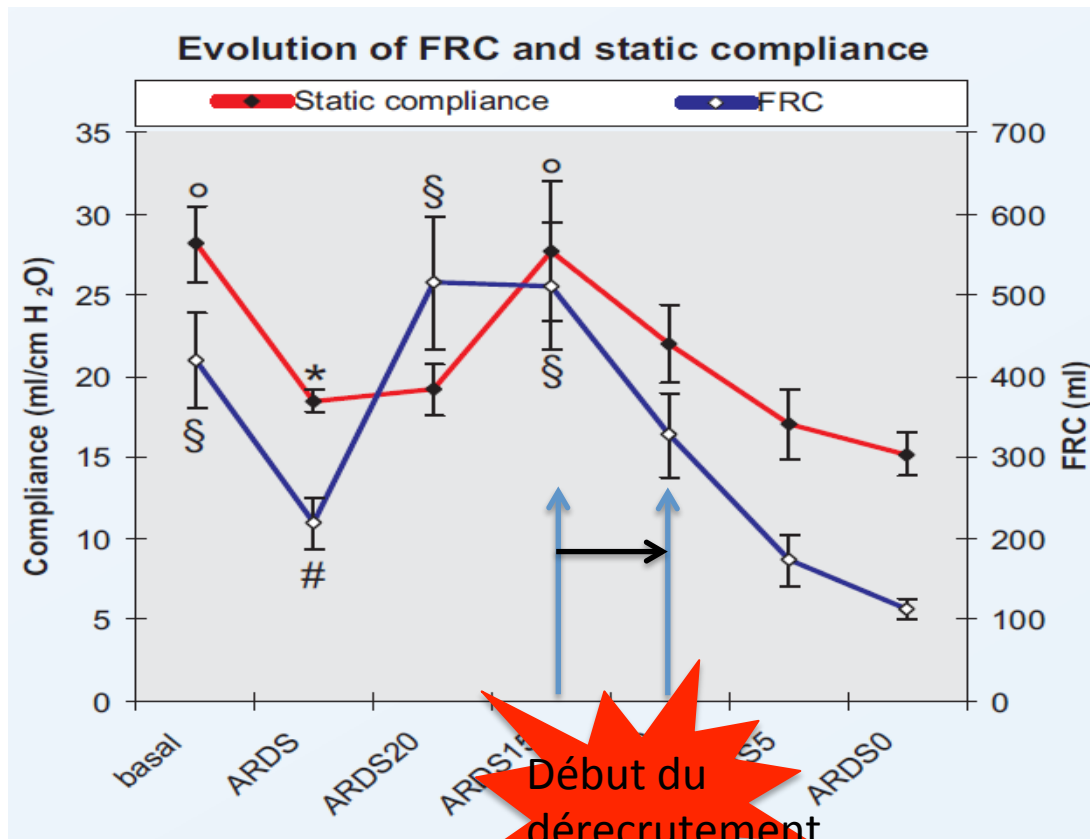
Gattinoni et al. *Current opinion in Crit Care* 2010

Lambermont et al. *Crit Care* 2008

Distension alvéolaire > Peep optimale



Distension alvéolaire > **Peep optimale** > dérecrutement



L'augmentation de la CRF liée à la PEEP peut être due soit à un recrutement soit à une surdistension: l'évolution de la compliance peut aider à discriminer ces deux phénomènes.

Conclusion

- La mesure de la CRF est possible chez le patient ventilé
- Application clinique du concept de strain
 - Potentiel intérêt clinique de la mesure du EELV (très variable d'un patient à l'autre) pour adapter le V_t et la Peep à chaque patient (et donc le strain) et minimaliser les VILI
 - Quels valeurs seuil? Quelle formule utiliser?
 - Détrôné par la driving pressure?
- Meilleure compréhension de la mécanique respiratoire chez les patients en ARDS et des effets de certaines interventions visant à recruter du poumon (Peep, Position ventrale,..)
 - Identification des recruteurs
 - Aide au réglage optimal de la Peep