


DES : Médecine physique et de réadaptation  
 DIU : Médecine de rééducation  
 Module : MPR et Pathologie respiratoire  
 Rennes : 2009  
 Coordonnateurs : Pr R Brissot, Pr O. Remy-Neris, Pr F Boyer, Pr B Desrues, Dr J Gonzalez  
 Titre : Physiopathologie de la toux et de l'encombrement  
 Auteurs : Benoît Desrues

© Cofemer 2009, irr et l'auteur  
 Tous droits réservés

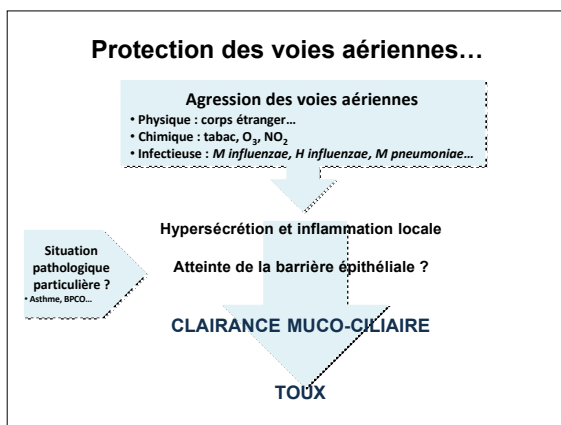


## Physiopathologie de la toux et de l'encombrement bronchique

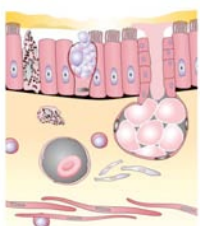
Enseignement National Interuniversitaire de Médecine Physique et Réadaptation

Rennes, le 4 février 2009

Pr Benoît Desrues



## Épithélium respiratoire



- Cellules ciliées : s'étendent de la partie moyenne de la muqueuse nasale aux bronchioles terminales
- Cellules muqueuses (caliciformes)
- Cellules basales : souches
- Glandes de la sous-muqueuse
- Vaisseaux, muscles, cartilage, cellules immunitaires, terminaisons nerveuses

## Composition du mucus

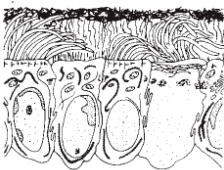
- Eau : 95 à 97 %
- Ions
- Mucines (glycoprotéines) : 106 Da, riche en sucres complexes, longues chaînes flexibles
  - Rôle dans le « piègeage » des micro-organismes ?

Gel dont l'état d'hydratation est conditionné par les mouvements actifs ioniques transépithéliaux

1 phase sol, très fluide dans laquelle baignent les cils

1 phase gel superficielle viscoélastique

Gradient très vraisemblable



## Composition du mucus

- Protéines transsudées ou excrétées
  - Fonction anti-infectieuse : IgA, Lysozyme, peroxydases, transferrine, lactoferrine, défensines
  - Protection contre les agressions « non infectieuses » : inhibiteurs de protéases, glutathion, catalases, superoxyde-dismutase
- Phospholipides

### Contrôle de la sécrétion

- **Neuro-humoral**
  - Innervation des cellules sécrétrices (glandes sous muqueuses) système nerveux sympathique et parasympathique et neurones afférents non myélinisés (fibres C)
  - Médiateurs : norépinephrine, acétylcholine, neuropeptide Y, vasoactive intestinal peptide, substance P
- **Stimulation de la sécrétion**
  - -adrénergique : sécrétion faible mais visqueuse
  - -adrénergique : hypersécrétion fluide
  - Processus infectieux et allergiques
    - Histamine
    - Métabolites de l'A. Arachidonique

### Propriétés physiques du mucus

- **Propriétés rhéologiques**
  - **Viscoélasticité** : capable de s'écouler (liquides) et capable de se déformer (solides)
  - **Filance** : capacité d'étirement. Une filance élevée permet un transport mucociliaire élevé
- **Propriétés de surface (propriétés bioadhésives)**
  - Interaction inter faciale mucus-cils est caractérisée par le « travail d'adhésion » qui correspond au travail nécessaire à la séparation de deux phases initialement en contact
  - importance du contenu en eau, de l'osmolalité, de la composition du mucus et des phospholipides
  - L'adhésivité du mucus à la muqueuse est un facteur favorable, évitant l'accumulation des sécrétions au niveau des bronches distales
  - Trop élevée elle est défavorable à l'épuration...

### Interaction cils-mucus

- **Battements** : 10 à 20 cycles/s
  - Stimulants : Anti cholinergiques,  $\alpha_2$ -adrénergiques,  $Ca^{2+}$
  - Inhibiteurs : atropine
- **Vitesse** : 2,4 mm/min niveau des bronchioles ; 12 mm/min niveau trachéal
- **Gradient insuffisant pour éviter l'accumulation de sécrétions intrabronchiques** ce qui suggère que l'épithélium absorbe une partie des sécrétions
- **Interaction air-mucus significative dans les conditions physiologiques ?**
  - Débit trachéal de 1m/s ; Bronchioles : 10 mm/s
  - Les mouvements expiratoires favorisent la progression du mucus vers les voies aériennes centrales

### Perturbations de la clairance mucociliaire

- **Épuration modulée par** :
  - $T^\circ$ , hydrométrie, osmolarité, pH, NO, exercice
- **Pathologies congénitales** : maladie des cils, mucoviscidose
- **Pathologies bronchiques acquises** :
  - modification de la qualité rhéologique des sécrétions : asthme, BPCO, DDB...
  - Atteinte ciliaire (bronchite chronique)
- **Inhalation** : répétées (salive, RGO)

### Perturbations de la clairance mucociliaire

**Infections :**

- **lésions structurelles**
  - Déciliation de l'épithélium, nécrose des cellules épithéliales, desquamation de l'épithélium
  - Mise à nu de la membrane basale et des récepteurs nerveux sous épithéliaux ; favorise l'adhérence bactérienne
  - *Myxovirus influenzae* (normalisation en 3 mois) ; *M pneumoniae* (persiste 1 an ?)

### Perturbations de la clairance mucociliaire

**Infections :**

- **Modifications du mucus**
  - Hypersécrétion : bactéries (stimulation production mucine...)
  - Augmentation de la viscosité par l'ADN (polynucléaires)

**Peut-on valablement améliorer la qualité du mucus ?**

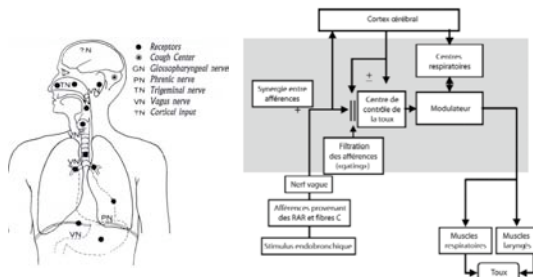
- Vaste question...
- Globalement les thérapeutiques existantes (fluidifiants, « mucorégulateurs »...) ont des effets peu pertinents cliniquement et ne sont pas recommandées (par exemple dans la BPCO)
- Mouvements respiratoires : agissent sur la structure du mucus
- Cas particuliers :
  - DNase (+/- sérum hypertonique) dans la mucoviscidose
  - $\beta_2$ -agonistes ?
  - stéroïdes dans l'asthme
  - en diminuant la charge bactérienne, les antibiotiques améliorent la qualité des sécrétion

**Dans ces conditions pathologiques, les capacités d'épuration sont dépassées...**

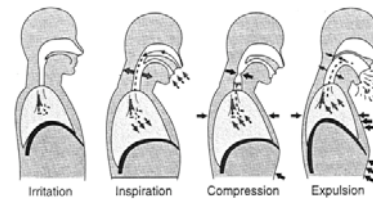
**Toux**

- Composante neurologique : reflexe de toux
  - Récepteurs, voies de conduction, centres ?, médiateurs
  - Médiateurs inflammatoires (histamine, bradykinines, tachykinines...)
  - Intérêt dans les toux « irritatives » pour guider les thérapeutiques antitussives...
- Composante mécanique
  - Mécanique proprement dite
  - Interaction toux-mucus
  - Comment augmenter/remplacer la toux

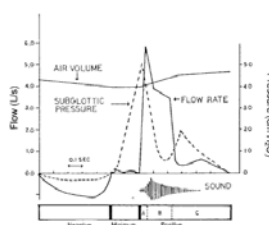
**Composante neurologique de la toux**



**Composante mécanique de la toux**

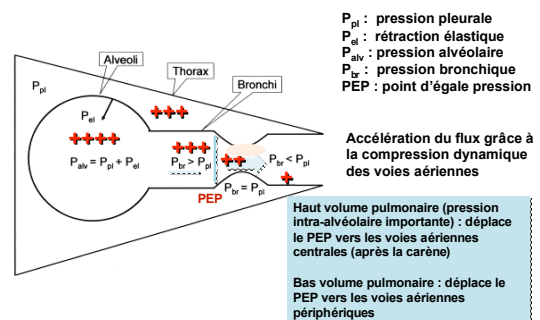


**Composante mécanique de la toux**



- Inspiration**
- profonde, rapide, volume variable
  - position optimale des muscles expiratoires
  - Fermeture de la glotte et contraction des muscles expiratoires (0,2 sec)
  - pressions jusqu'à 300cmH<sub>2</sub>O
  - Ouverture rapide de la glotte (+contraction du diaphragme)
  - expulsion d'air (6 à 12 l.sec<sup>-1</sup>) vitesse 250 m.sec<sup>-1</sup>
  - vibration des gaz intrathoraciques et des voies aériennes (bruit)
  - plateau et poursuite de débit (collapsus des voies aériennes)

**Effet du flux d'air sur les voies aériennes**



### Interaction mucus-air

- Slug flow : mucus épais (bouchons muqueux)
- Annular flow : voies aériennes proximales, film muqueux
- Mist flow : aérosol (flux important, gouttelettes se détachant du film de mucus)
- variable fonction :
  - de l'importance du flux
  - de la viscosité du mucus
  - épaisseur du mucus

### Toux chez le sujet sain

#### Inhalation Infection

- Irritation (toux sèche)
- Encombrement rare
- Il faut une épaisseur suffisante du mucus pour que la toux soit « libératrice »
- Problématique : contrôler la toux

### Pathologie broncho-pulmonaire (a priori sans atteinte musculaire)

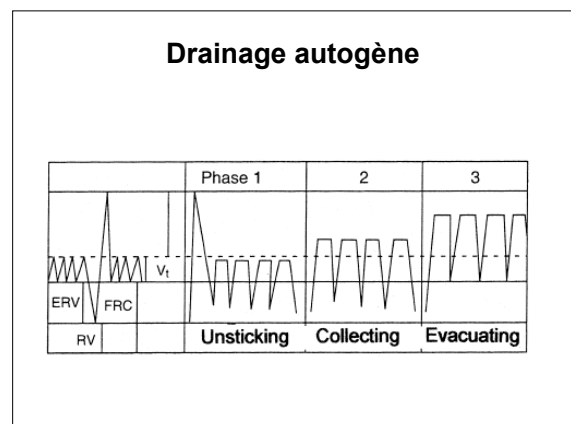
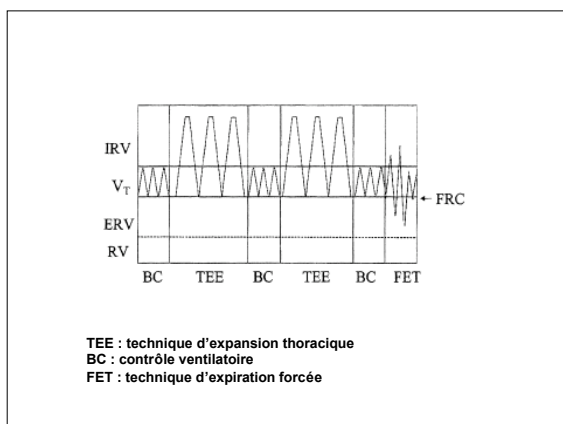
DDB, mucoviscidose, bronchite chronique...

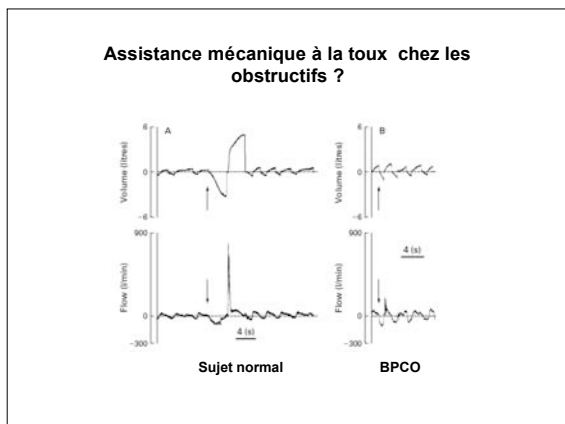
- Sécrétions visqueuses, adhérentes
- Collapsus des voies aériennes
- Pas de déficit musculaire

- Agir sur la qualité des sécrétions
- Éviter le collapsus des voies aériennes

### Pathologie broncho-pulmonaire

- Techniques d'expiration forcée
  - Toux dirigée...
  - Accélération de flux à glotte ouverte (huff)
    - Volumes pulmonaires moyens et bas, permet la mobilisation des sécrétions en périphérie
    - Répétition des manœuvres : modification des propriétés du mucus
- Techniques combinées





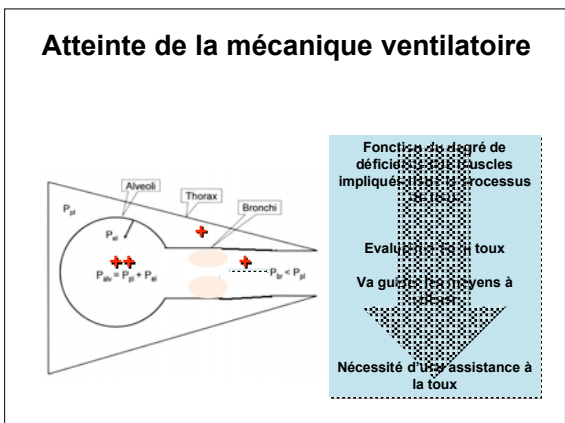
### Assistance mécanique à la toux chez les obstructifs ?

- accélération du flux
- insufflation (CoughAssist)
- combinaison des deux techniques

	Normal subjects (n=9)	COPD (n=8)
<b>Baseline</b>		
PCEF (l/min)	668 (310-700)	370 (267-483)
CEV (l)	2.4 (1.31-4.91)	1.02 (0.4-2.51)
PVT (ms)	35 (30-45)	32 (25-40)
<b>Manually assisted cough</b>		
PCEF (l/min)	624 (326-700)	226 (120-315)*
CEV (l)	2.91 (1.31-5.31)	0.8 (0.26-1.51)
PVT (ms)	50 (40-85)**	45 (30-60)*
<b>Mechanical insufflation</b>		
PCEF (l/min)	676 (494-695)	288 (218-370)
CEV (l)	2.2 (0.8-5.91)	0.75 (0.2-2.37)*
PVT (ms)	35 (30-40)	33 (30-40)
<b>In combination</b>		
PCEF (l/min)	624 (388-695)	245 (218-370)*
CEV (l)	2.2 (0.7-5.41)	0.8 (0.3-1.06)
PVT (ms)	55 (40-100)	40 (35-50)

PCEF : peak cough expiratory flow rate  
CEV : cough expiratory volume  
PVT : peak value time

- ### Pathologie obstructive bronchique
- Assurer un bon drainage périphérique sans phénomène d'obstruction bronchique donc éviter les manœuvres « intempestives » et privilégier le contrôle ventilatoire
  - Il n'y a pas de franche déficience mécanique de la toux donc pas de nécessité d'aide mécanique à la toux qui risque d'être délétère



- ### Atteinte mécanique de la toux
- Phase inspiratoire
    - Inhalation jusqu'à la CV
      - induit la meilleure pression intrathoracique
      - Le meilleur Rapport longueur/tension des muscles expiratoires
  - Atteinte bulbaire
    - Déficit d'adduction : pas essentiel pour générer une toux efficace chez les patients sans atteinte musculaire (huffing)
    - Déficit d'abduction plus préjudiciable : limitation du flux aérien
    - Risque d'inhalation après déglutition (pas d'expiration)

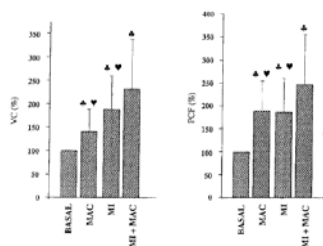
- ### Atteinte mécanique de la toux
- Phase expiratoire
    - Réduction de la pression expiratoire (indépendamment du volume inhalé)
    - distension abdominale paradoxale
    - Atteinte présente malgré une ventilation « acceptable »
- IMPORTANT DE L'EVALUATION DE LA TOUX**

### Assistance à la toux

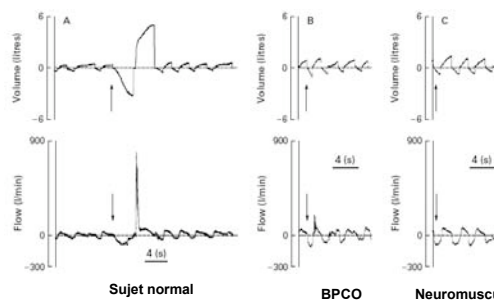
- **Assistance manuelle seule**
  - Force inspiratoire préservée (traumatisme médullaire)
  - Compression du thorax et de l'abdomen
    - Rapide pour les gros tronc
    - Lente pour un drainage plus périphérique
- **Manceuvres d'hyperinflation**
  - Déficit inspiratoire
  - Insufflation : ballon, relaxateur de pression, technique de stacking (empilement)
  - Pas d'atteinte bulbaire
  - Ventilation glossopharyngée parfois suffisante
- **Combinaison de manœuvres inspiratoires et assistance manuelle à l'expiration**



### Assistance à la toux



MAC : toux manuellement assistée  
 MI : insufflation manuelle  
 PCF : Débit de toux



Sujet normal      BPCO      Neuromusculaires  
 7 SLA  
 2 polio  
 1 Beker  
 1 Duchenne

Effet d'une assistance à la toux  
 • accélération du flux  
 • insufflation (avec CoughAssist)  
 • combinaison des deux techniques

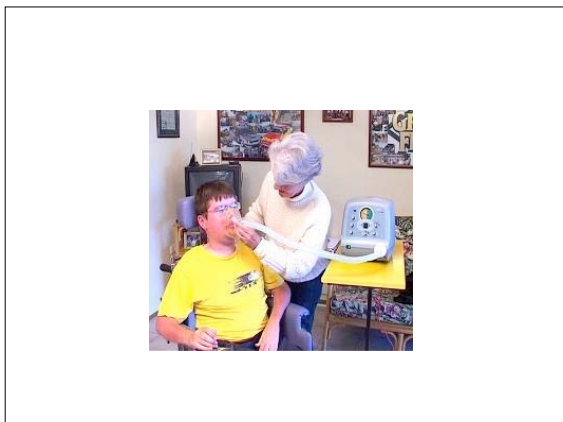
PCEF : peak cough expiratory flow rate  
 CEV : cough expiratory volume  
 PVT : peak value time

	Normal subjects (n=9)	COPD (n=8)	Neuromuscular weakness	
			Without scoliosis (n=4)	With scoliosis (n=4)
<b>Baseline</b>				
PCEF (l/min)	668 (310-700)	370 (267-483)	104 (43-188)	288 (175-362)
CEV (l)	2.4 (1.31-4.91)	1.02 (0.4-2.51)	0.5 (0.3-0.9)	0.9 (0.50-1.1)
PVT (ms)	35 (30-45)	32 (25-40)	80 (40-220)	44 (40-50)
<b>Manually assisted cough</b>				
PCEF (l/min)	624 (326-700)	226 (120-315)*	185 (93-355)	193 (185-287)
CEV (l)	2.91 (1.31-5.31)	0.8 (0.20-1.51)	0.7 (0.31-1.07)	0.5 (0.41-1.01)
PVT (ms)	50 (40-82)**	43 (30-60)*	118 (35-360)*	50 (35-55)
<b>Mechanical insufflation</b>				
PCEF (l/min)	676 (494-695)	288 (218-370)	136 (61-247)	231 (148-597)
CEV (l)	2.2 (0.8-5.91)	0.85 (0.2-0.91)*	0.7 (0.3-1.01)	0.7 (0.3-1.3)
PVT (ms)	33 (30-40)	33 (30-40)	85 (20-420)	45 (30-60)
<b>In combination</b>				
PCEF (l/min)	624 (288-695)	245 (218-370)*	248 (110-343)*	162 (218-440)
CEV (l)	2.2 (0.7-5.41)	0.8 (0.3-1.00)	0.6 (0.40-2.19)	0.6 (0.4-1.01)
PVT (ms)	55 (40-100)	40 (35-50)	75 (20-420)	50 (45-120)

P Sivasthoy, L Brown, I E Smith and J M Sheeerson Thorax 2001;56:438-444

### Assistance mécanique à la toux

- **In-exsufflation (coughAssist)**
  - Connu depuis les années 50
  - Combinaison d'une insufflation (3 à 4 sec) et d'une exsufflation (1/2) qui permet d'augmenter le flux expiratoire
  - Pressions de l'ordre de + et - 40 cm H<sub>2</sub>O
  - Plusieurs cycles
  - Masque ou pièce buccale
  - Possible chez le patient trachéotomisé
  - Intérêt clinique très vraisemblable...



### Limites de l'aide mécanique à la toux

- **Atteinte bulbaire sévère**
  - SLA
  - Obstruction dynamique des voies aériennes supérieures au moment de exsufflation
- **BPCO**
  - Collapsus expiratoire
- **Syndromes restrictifs en rapport avec une atteinte de la paroi thoracique (cyphoscoliose)**

### Autres méthodes mécaniques

#### Aide au drainage périphérique

- **Percussions**
  - **Externes**
    - Manuelles : inefficaces, à déconseiller...
    - Instrumentales (vestes, matelas...)
      - Augmentent la clairance, réduit la viscosité, améliore les battements ciliaires
      - 10 à 15 Hz
      - Preuve ? Petites séries...

### Autres méthodes mécaniques

#### Aide au drainage périphérique

- **Percussions**
  - **Internes**
    - Ventilation intrapulmonaire à percussion (percussionnaire™)
      - 100 à 300 cycles
      - Couplé à un relaxateur de pression
      - Aussi efficace que la kinésithérapie dans la mucoviscidose...non recommandé
      - Etudes peu convaincantes
      - Partisans...
      - Pas dangereux

### Physiopathologie de la toux et de l'encombrement

#### Situation complexe - choix des techniques

Pathologies différentes - niveaux de gravité variables, avec de nombreux paramètres

- **Obstructifs :**
  - A priori pas ou peu de déficit de la toux
  - éviter le collapsus et favoriser le drainage périphérique
- **Neuromusculaires :**
  - Impossible et/ou dangereux d'utiliser certaines techniques : drainage postural, drainage autogène, fluidifiants
  - assurer le drainage périphérique et l'expulsion en recréant les étapes de la toux
  - Mise en œuvre rapide et efficace de la prise en charge de l'encombrement bronchique