

## Modalités de prise en charge de l'hypoxémie

### Notions d'hygrométrie appliquées au haut débit nasal

### Thérapies inhalées et supports ventilatoires

*Pour le kinésithérapeute de réanimation*

**Mathieu Delorme, PhD**

Diplôme Universitaire de Kinésithérapie de Réanimation  
Société de Kinésithérapie de Réanimation

14/11/2024 1

## Programme détaillé de l'intervention

14/11/2024 2

## Programme détaillé de l'intervention

- **Partie 1 : Modalités de prise en charge de l'hypoxémie**
  - Rappels de physiopathologie
    - Déterminants de la PaCO<sub>2</sub>
    - Mécanismes de l'hypoxémie
  - Les techniques d'oxygénothérapie
    - Techniques d'oxygénothérapie « conventionnelles »
    - Haut débit nasal
- **Partie 2 : Notions d'hygrométrie appliquées au haut débit nasal**
  - L'hygrométrie ; c'est quoi ?
  - L'hygrométrie ; comment ça se mesure ?
  - Humidification et haut débit nasal
- **Partie 3 : Thérapies inhalées et supports ventilatoires**

14/11/2024 3

## A rajouter / modifier

- Pour moi il faudrait dissocier ce topo en deux interventions distinctes de 1h30 chacune
- 1) Hypoxémie et haut débit nasal (1h30)
  - Permet de parler un peu de la PPC et la ventil dans la PEC de l'hypoxémie
  - Permet aussi de parler des modes automatisés type FreeO2
- 2) Gestion de l'humidification des gaz respiratoires + interaction thérapies inhalées / supports ventilatoires (1h30)
  - Permet de parler un peu plus des recommandations hygrométrie en évoquant le cas des patients intubés / trach / VNI (et pas que haut débit)
  - Permet de parler un peu des filtres HME

14/11/2024 4

## Partie 1 : Modalités de prise en charge de l'hypoxémie

14/11/2024 5

## Rappels de physiopathologie

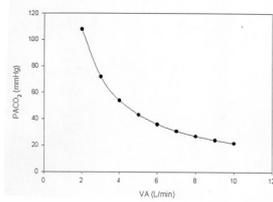
14/11/2024 6

## Déterminants de la PaCO<sub>2</sub>

- $PaCO_2 = (VCO_2 / V_{A_{AV}}) \times K$
- $V_{A_{AV}} = VT_{A_{AV}} \times FR$
- $VT_{A_{AV}} = VT - VD$

- Où :
- $VCO_2$  = Production de CO<sub>2</sub> en mL/min
- $V_{A_{AV}}$  = Ventilation alvéolaire en L/min
- $K = 0.863$

La ventilation alvéolaire est le principal déterminant de la PaCO<sub>2</sub>



SKR

14/11/2024

7

## L'hypoxémie

- L'hypoxémie est définie par une **diminution de la quantité d'oxygène véhiculée dans le sang artériel**
- Diminution de la pression partielle en O<sub>2</sub> (PaO<sub>2</sub>)
- Diminution de la saturation en O<sub>2</sub> (SaO<sub>2</sub>)

- Une hypoxémie n'entraîne pas forcément une hypoxie tissulaire

- $CaO_2 = (PaO_2 \times 0.003) + (Hb \times 1.34 \times SaO_2)$
- Forme dissoute
- Forme liée à l'hémoglobine

SKR

14/11/2024

8

## Transport de l'oxygène : O<sub>2</sub> dissous

- La quantité d'O<sub>2</sub> dissous est proportionnelle à sa pression partielle (loi de Henry)

- Sang artériel normal
  - $PO_2 = 100 \text{ mmHg}$
  - $\approx 0.3 \text{ mL d'O}_2 \text{ pour } 100 \text{ mL de sang}$
- Pour un débit cardiaque élevé (30 L/min) > 90 mL O<sub>2</sub> / min
- Besoins tissulaires peuvent atteindre 3000 mL O<sub>2</sub> / min !...

SKR

14/11/2024

9

## Transport de l'oxygène : Hémoglobine

- Contient 4 sites de liaison à l'oxygène
- Liaison réversible :  $O_2 + Hb \rightleftharpoons HbO_2$
- La quantité d'O<sub>2</sub> transportée par l'hémoglobine augmente rapidement jusqu'à une PO<sub>2</sub> d'environ 50 mmHg
- Sang artériel normal :
  - 15 g Hb / 100 mL
  - $\approx 21 \text{ mL d'O}_2 \text{ pour } 100 \text{ mL de sang}$
- Saturation en O<sub>2</sub> = %age de sites de fixation occupés par de l'O<sub>2</sub>
  - Sang artériel  $\approx 95 - 98\%$
  - Sang veineux mélangé  $\approx 75\%$

$$[O_2] \text{ du sang} = \left( 1,39 \times Hb \times \frac{Sat}{100} \right) + 0.003PO_2$$

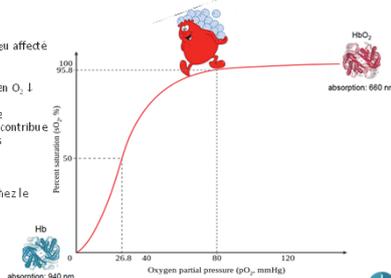
SKR

14/11/2024

10

## Relation PaO<sub>2</sub> – SaO<sub>2</sub>

- Portion supérieure plate
  - Ex : dans l'alvéole, si la PO<sub>2</sub> ↓ > le contenu en O<sub>2</sub> du sang sera peu affecté
- Portion inférieure pentue
  - Ex : dans les tissus, si le contenu en O<sub>2</sub> ↓ (consommation) > la PO<sub>2</sub> du sang sera peu affectée > ce maintien de la PO<sub>2</sub> sanguine contribue à la diffusion d'O<sub>2</sub> vers les cellules tissulaires
- Hb réduite de couleur violette > cyanose (difficile à détecter chez le patient anémique)



SKR

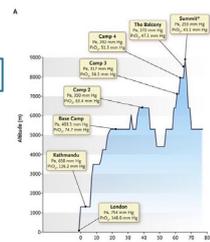
14/11/2024

11

## Physiologie de l'IRA hypoxémique

- Peut être causée par de multiples mécanismes :
  - Diminution de la PIO<sub>2</sub>

$$P_{A_{AV}O_2} = (P_{atm} - 47) \times FIO_2 - (PaCO_2 / 0.8)$$



Grocott et al. NEJM, 2009

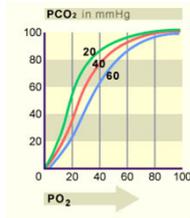
14/11/2024

12

## Physiologie de l'IRA hypoxémique

- Peut être causée par de multiples mécanismes :
  - Diminution de la  $PIO_2$
  - Diminution de la ventilation alvéolaire**
    - Effet Bohr (l'affinité Hb pour  $O_2$  en cas d'hypercapnie)
    - Hypoxémie ET hypercapnie

$$P_{A_{v}O_2} = (P_{Atm} - 47) \times FiO_2 - (PaCO_2/0.8)$$

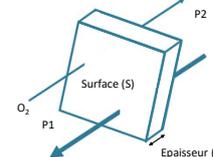


## Physiologie de l'IRA hypoxémique

- Peut être causée par de multiples mécanismes :
  - Diminution de la  $PIO_2$
  - Diminution de la ventilation alvéolaire
  - Problèmes de diffusion de l'oxygène**
    - Principe de Fick
      - Proportionnelle à la surface du tissu
      - Proportionnelle au gradient de pression partielle
      - Proportionnelle à la solubilité du gaz
      - Inversement proportionnelle à l'épaisseur de la membrane
      - Inversement proportionnelle au poids moléculaire

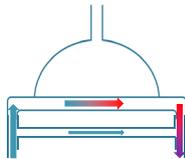
$$\dot{V}_{gaz} \propto \frac{S}{E} \times D \times (P_1 - P_2)$$

$$D \propto \frac{\text{Solubilité}}{\sqrt{\text{Poids moléculaire}}}$$



## Physiologie de l'IRA hypoxémique

- Peut être causée par de multiples mécanismes :
  - Diminution de la  $PIO_2$
  - Diminution de la ventilation alvéolaire
  - Problèmes de diffusion de l'oxygène
  - Shunt vrai**
    - Communication anatomique vasculaire droite-gauche
    - Shunt fonctionnel (obstacle bronchique / comblement alvéolaire)
    - Peu (pas) corrigé par l'oxygénothérapie
      - le sang shunté qui court-circuite les alvéoles ventilées n'est pas exposé à la  $PO_2$  alvéolaire
    - Un shunt ne fait généralement pas apparaître d'élévation de la  $PCO_2$  dans le sang artériel
      - élévation de la  $PCO_2$  artérielle détectée par les chémorécepteurs
      - augmentation de la ventilation

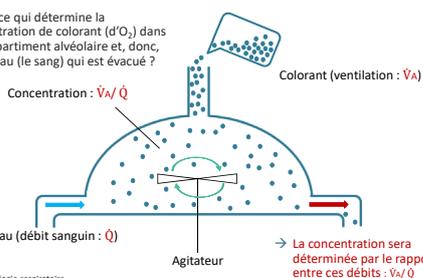


## Physiologie de l'IRA hypoxémique

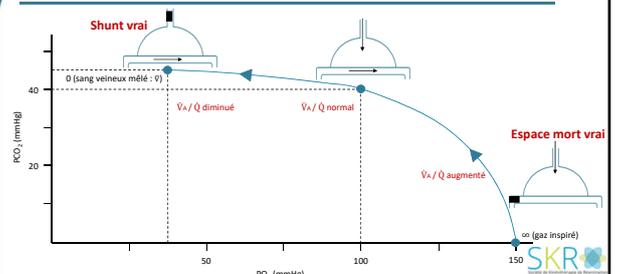
- Peut être causée par de multiples mécanismes :
  - Diminution de la  $PIO_2$
  - Diminution de la ventilation alvéolaire
  - Problèmes de diffusion de l'oxygène
  - Shunt vrai
  - Troubles des rapports V/Q : Effet shunt**

## Causes d'hypoxémie : Rapport ventilation - perfusion

Qu'est-ce qui détermine la concentration de colorant ( $d'O_2$ ) dans le compartiment alvéolaire et, donc, dans l'eau (le sang) qui est évacué ?



## Ligne ventilation - perfusion (Diagramme $O_2 - CO_2$ )



## Les techniques d'oxygénothérapie « conventionnelles »



14 novembre 2024

19

$$P_{iO_2} = P_{Atm} \times FiO_2 \rightarrow \text{Augmenter la } P_{Atm}$$



14 novembre 2024

20

$$P_{iO_2} = P_{Atm} \times FiO_2 \rightarrow \text{Augmenter la } FiO_2$$

- Les dispositifs à « bas débit »



Canules nasales

Débit /  $FiO_2$

- Facilité d'utilisation
- Bonne tolérance
- Absence de rebreathing
- $FiO_2$  faible

14 novembre 2024

21

$$P_{iO_2} = P_{Atm} \times FiO_2 \rightarrow \text{Augmenter la } FiO_2$$

- Les dispositifs à « bas débit »



Canules nasales



Sondes à oxygène

Débit /  $FiO_2$

- Facilité d'utilisation
- Bonne tolérance
- Absence de rebreathing
- $FiO_2$  faible

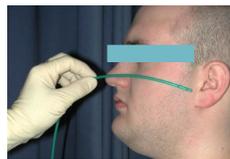
- $FiO_2$  plus élevée
- Absence de rebreathing
- Tolérance moins bonne
- Risques associés

14 novembre 2024

22

## Les sondes à oxygène

- Pose méticuleuse
- Débit modéré (6 – 8 L/min maximum)
- Attention aux bouchons muqueux



14 novembre 2024

23

$$P_{iO_2} = P_{Atm} \times FiO_2 \rightarrow \text{Augmenter la } FiO_2$$

- Les dispositifs à « bas débit »



Canules nasales



Sondes à oxygène



Masques simples

Débit /  $FiO_2$

- Facilité d'utilisation
- Bonne tolérance
- Absence de rebreathing
- $FiO_2$  faible

- $FiO_2$  plus élevée
- Absence de rebreathing
- Tolérance moins bonne
- Risques associés

- Facilité d'utilisation
- Rebreathing modéré
- Débit mini : 4 L/min
- $FiO_2$  : jusqu'à ~ 50%

14 novembre 2024

24

$PiO_2 = P_{Atm} \times FiO_2 \rightarrow$  Augmenter la  $FiO_2$

- Les dispositifs à « bas débit »

			
Canules nasales	Sondes à oxygène	Masques simples	Masques haute concentration

**Débit /  $FiO_2$**

<ul style="list-style-type: none"> <li>Facilité d'utilisation</li> <li>Bonne tolérance</li> <li>Absence de rebreathing</li> <li><math>FiO_2</math> faible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>FiO_2</math> plus élevée</li> <li>Absence de rebreathing</li> <li>Tolérance moins bonne</li> <li>Risques associés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Facilité d'utilisation</li> <li>Rebreathing modéré</li> <li>Débit mini : 4 L/min</li> <li><math>FiO_2</math> : jusqu'à = 50%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Facilité d'utilisation</li> <li><math>FiO_2</math> &gt; 70%</li> <li>Rebreathing modéré SI BIEN UTILISÉ</li> </ul>
--	---	--	---

14 novembre 2024 25

### Les masques haute concentration

- Le débit délivré dans le masque doit absolument être supérieur au débit ventilatoire du patient (en général  $\geq 12$  L/min)



👍



👎



👎

14 novembre 2024 26

### Pour les bricoleurs...

- Double trunk mask



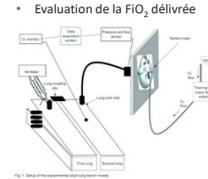

- $FiO_2$  > aux lunettes (?)
- $FiO_2$  > aux masques (?)
- Léger rebreathing (si  $O_2$  < 2 L/min)

Duprez F et al. Critical Care 2001; Suppl 1 : P001-1 : 10.1186

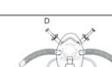
14 novembre 2024 27

### Pour les bricoleurs...

- Evaluation de la  $FiO_2$  délivrée







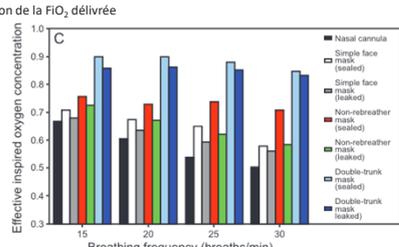


Duprez F, Dupriez F, De Greef J, Gabriel J, Bruyneel A, Reyckler G, et al. Respir Care. 2022 Mar;67(3):322-30.

14 novembre 2024 28

### Pour les bricoleurs...

- Evaluation de la  $FiO_2$  délivrée



Legend for chart:

- Nasal cannula
- Simple face mask (sealed)
- Simple face mask (leaked)
- Non-rebreather mask (sealed)
- Non-rebreather mask (leaked)
- Double-trunk mask (sealed)
- Double-trunk mask (leaked)

Duprez F, Dupriez F, De Greef J, Gabriel J, Bruyneel A, Reyckler G, et al. Respir Care. 2022 Mar;67(3):322-30.

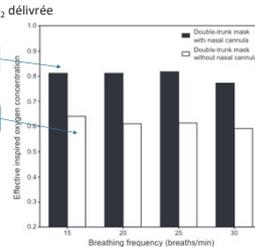
14 novembre 2024 29

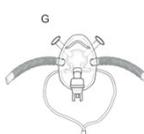
### Pour les bricoleurs...

- Evaluation de la  $FiO_2$  délivrée

Injection  $O_2$  par la canule nasale

Injection  $O_2$  par le nébuliseur





Legend for chart:

- Double-trunk mask with nasal cannula
- Double-trunk mask without nasal cannula

Duprez F, Dupriez F, De Greef J, Gabriel J, Bruyneel A, Reyckler G, et al. Respir Care. 2022 Mar;67(3):322-30.

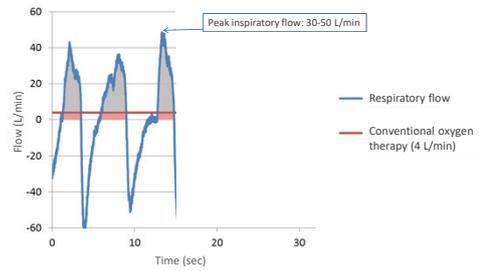
14 novembre 2024 30

### Quelle FiO<sub>2</sub> avec les techniques « conventionnelles » ?

- En pratique, 3 à 4% de FiO<sub>2</sub> supplémentaire par L/min additionnel MAIS...



### Avec les systèmes « conventionnels » La FiO<sub>2</sub> n'est pas réglée (donc variable !)



### Avec les systèmes « conventionnels » La FiO<sub>2</sub> n'est pas réglée (donc variable !)



- Sujets sains et patients
- La FiO<sub>2</sub> varie de 23,7% à 34,2% pour un débit d'O<sub>2</sub> constant (2 L/min) !

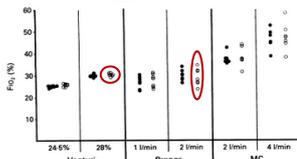
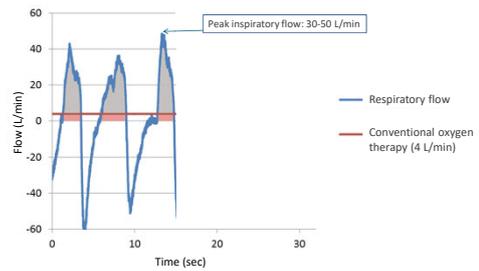


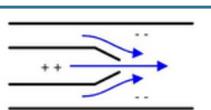
Figure 1 Mean inspired oxygen concentration (FiO<sub>2</sub>) for individual normal subjects (●) and patients (○) breathing oxygen via various delivery devices. No measurements were made with one patient breathing via MC mask at 2 l/min\* and with one normal subject breathing via MC mask at 4 l/min\*.

### En délivrant des débits élevés...



### Les systèmes Venturi

- Facilité d'utilisation
- FiO<sub>2</sub> précise (si débit respecté)
- Rebreathing modéré



### Le haut débit nasal



## Le haut débit nasal

Al-Husinat, L., Jounyeh, B., Rawashdeh, A., et al. (2023). *Journal of Clinical Medicine*, 12(20), 6685.

## Le haut débit nasal

Trois réglages :  
 -  $FiO_2$   
 - Débit total de gaz  
 - Température (niveau d'humidification)

## En délivrant des débits élevés...

Un meilleur contrôle de la  $FiO_2$ ...  
 Mais aussi...

Peak inspiratory flow: 30-50 L/min

Respiratory flow

tional oxygen (4 L/min)

## Effet PEP

- Augmentation de la pression naso-pharyngée
- Beaucoup de données physiologiques
- Un des premiers mécanismes physiologiques décrits

Effet PEP, à chaque palier de 10 L/min :  
 - Bouche fermée : 0,69  $cmH_2O$   
 - Bouche ouverte : 0,35  $cmH_2O$   
 Soit : Pour 40 L/min →

## Effet PEP

- La PEP semble être créée plus par la résistance qu'oppose le haut débit à l'expiration, que par une véritable pression positive intra-alvéolaire
- Entraîne très probablement une augmentation de la CRF, associée à une amélioration de la compliance thoraco-pulmonaire

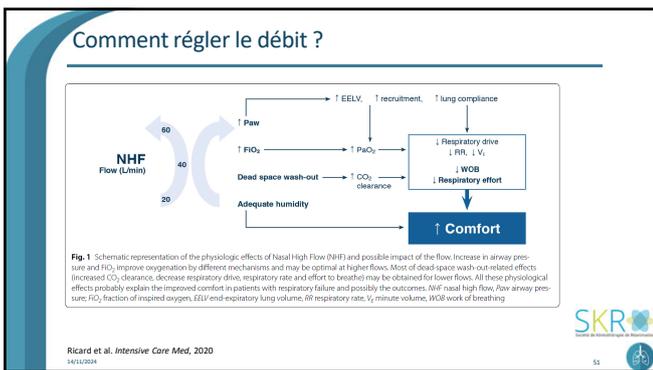
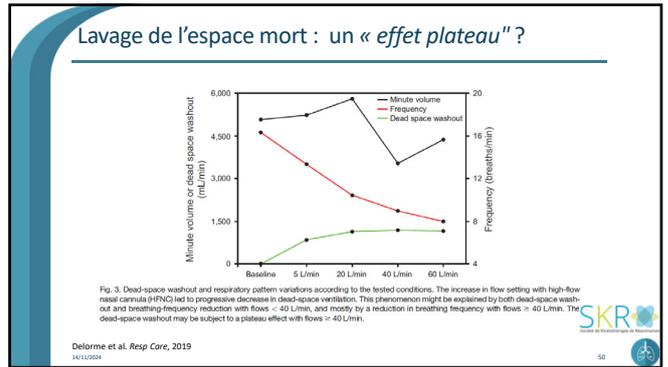
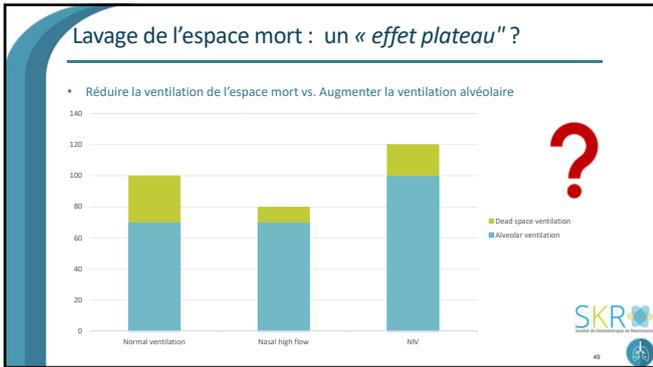
Delorme et al. *Crit Care Med*, 2017

## Lavage de l'espace mort anatomique

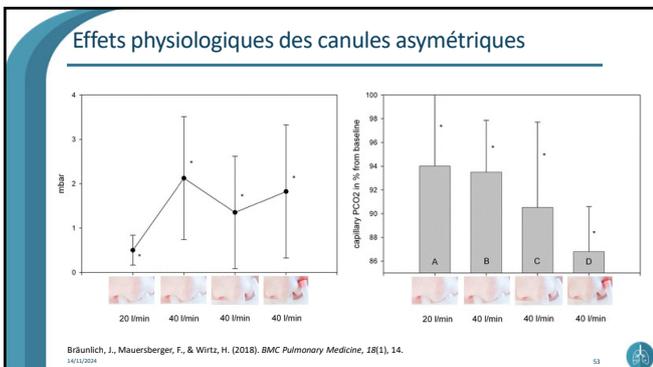
- Durant l'expiration, le débit continu de gaz (et les fuites !) entraînent un lavage continu de l'espace mort anatomique

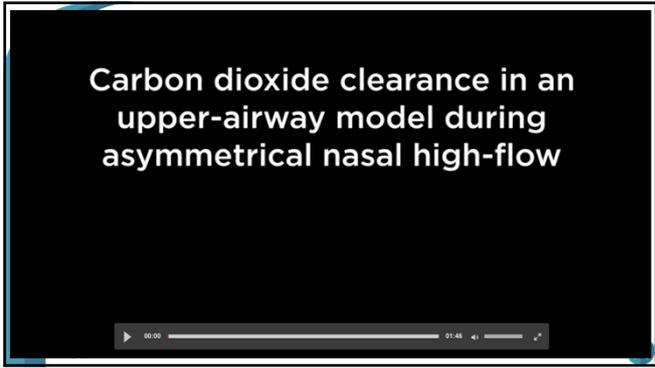
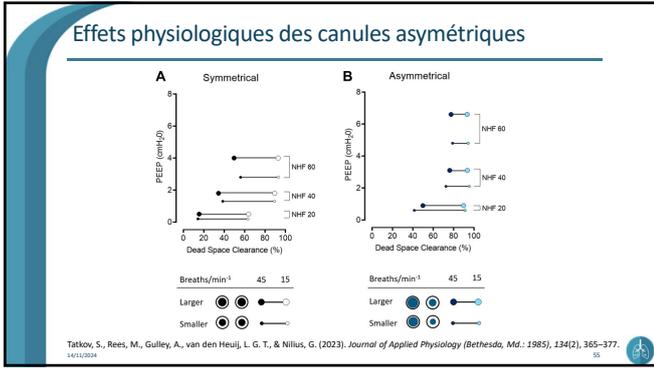
Möller et al. *J Appl Physiol*, 2015





- ### En conclusion
- Le haut débit nasal aujourd'hui devenu le **traitement de première intention** de l'insuffisance respiratoire aigüe hypoxémique
  - Un débit total de gaz supérieur au débit inspiratoire du patient **ne permet pas un conditionnement optimal des gaz inspirés !**
    - Délivrer des gaz à hygrométrie et température proches de ce qui est proposé en invasif
  - Si humidification adéquate**
    - Thérapie très confortable
    - Pourrait réduire la dépense métabolique liée au conditionnement des gaz inspirés (= 150 calories/min)
    - Pourrait être envisagée au long cours dans les pathologies associées à un encombrement bronchique chronique et/ou une sécheresse des voies aériennes
- SKR



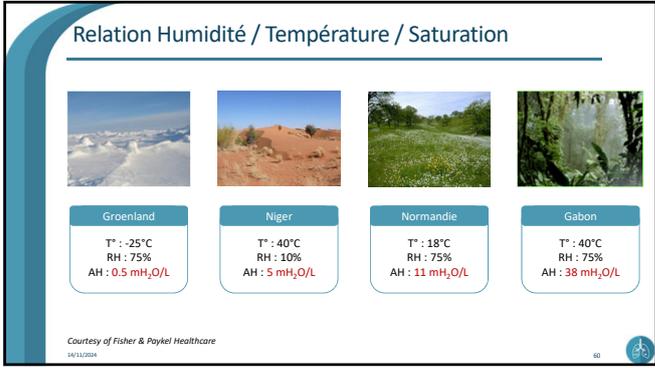
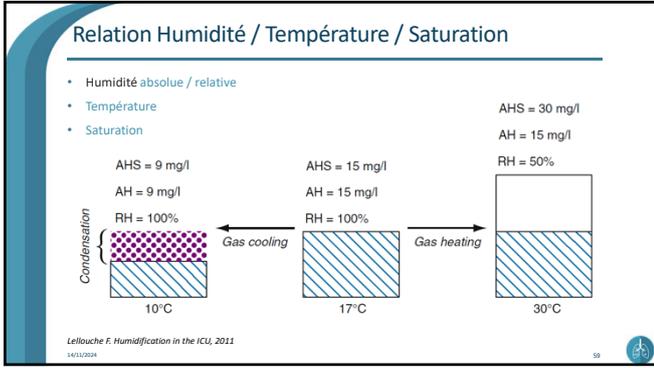


## Partie 2 : Notions d'hygrométrie appliquées au haut débit nasal

### L'hygrométrie; c'est quoi ?

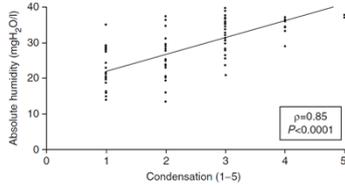
- Quantification de l'humidité dans l'air
- Quantité de **vapeur d'eau** contenue dans l'air (non solide, non liquide)
- En général exprimée comme un taux (%)

- Humidité absolue (AH) :**
  - C'est la quantité de vapeur d'eau (« poids ») présente dans un volume de gaz donné
  - Elle s'exprime en mgH<sub>2</sub>O/L
  - Plus la température est élevée, plus la capacité du gaz à contenir de la vapeur d'eau est grande
- Humidité relative (RH) :**
  - C'est le ratio entre AH / AHS, exprimé en %
  - AHS : AH à saturation, autrement dit, la capacité maximum du gaz à contenir de la vapeur d'eau, pour une température et une pression données.



## L'hygrométrie; comment ça se mesure ?

- Evaluation visuelle de la condensation dans la chambre d'humidification
- Ecart de T° chambre d'humidif vs chambre du patient
- Augmentation de l'humidité relative sur la paroi de la chambre d'humidif
- Condensation (si atteinte du point de rosée)
- Corrélation intéressante si T° ambiante normale (22 – 24°C)



Lellouche et al, AJRCCM, 2004

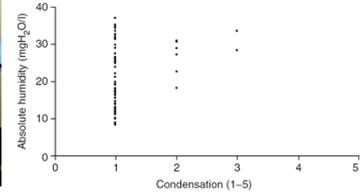
14/11/2024

62



## L'hygrométrie; comment ça se mesure ?

- Température ambiante élevée (28-30°C)
- Corrélation nettement moins évidente



14/11/2024

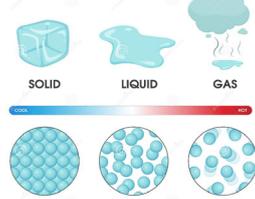
63



## L'hygrométrie; comment ça se mesure ?

- La vapeur d'eau est un gaz
- L'aérosol est une suspension de particules liquides
- Un gaz contenant de la vapeur contient une énergie latente (enthalpie)
- Au moment de la condensation, la matière refroidit (elle libère de la chaleur)
- Lors de l'évaporation du gaz, la matière se réchauffe (elle absorbe de la chaleur)

### STATE OF MATTER



14/11/2024

64



## La psychrométrie

- Technique de référence pour la mesure de l'hygrométrie
- Deux sondes de température
  - Une sonde sèche
  - Une sonde humide
- Au contact de l'air, si le gaz n'est pas saturé, la sonde humide s'évapore
  - la température de la sonde « humide » va diminuer
  - la température de la sonde « sèche » restera stable
- Connaissant la température de ces deux sondes et à l'aide d'abaques, on peut déterminer l'humidité relative, à partir de laquelle on recalcule l'humidité absolue.

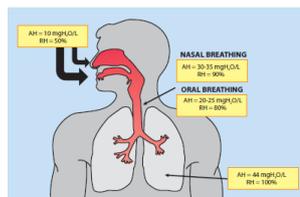


14/11/2024

65



## L'humidification en clinique : aspects physiopath



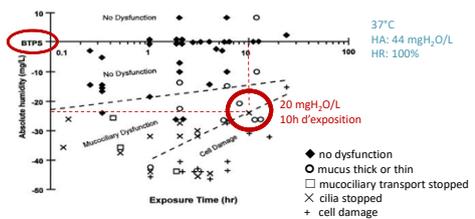
Lellouche & Delorme, Humidification of the respiratory tract and comfort during NHF therapy. In: Bräunlich et al. Basics and modern practice of nasal high-flow therapy. 1st edition. Bremen: UNI-MED Science; 2019:75-86

14/11/2024

66



## L'humidification en clinique : aspects physiopath



Williams et al, Crit Care Med, 1996

14/11/2024

67



## Humidification et haut débit nasal

Trois réglages :

- FiO<sub>2</sub> (réglable)
- Débit total de gaz
- Température (niveau d'humidification)

14/11/2024 67

## Humidification et haut débit nasal

### Hygrometric Performances of Different High-Flow Nasal Cannula Devices: Bench Evaluation and Clinical Tolerance

Mathieu Delorme, Pierre-Alexandre Bouchard, Serge Simard, and François Lelouche

BACKGROUND: High-flow nasal cannula (HFNC) is increasingly used for the management of respiratory failure. Settings include FiO<sub>2</sub>, total gas flow, and temperature target. Resulting absolute humidity (AH) of the nasal cannula may affect clinical tolerance, and optimal settings with respect to hygrometry remain poorly documented. METHODS: A bench study was designed to assess AH delivered by 4 HFNC devices (Optiflow, Airo 2, Precision Flow, and Hydrate) according to flow, ambient temperature, and other available settings. Clinical tolerance of different levels of hygrometry (20, 30, and 40 mg H<sub>2</sub>O/L) was evaluated in 15 healthy volunteers. RESULTS: With FiO<sub>2</sub> set at 1A, normal ambient temperature, and settings made according to the manufacturer's recommendations, mean ± SD AH was 42.2 ± 3.1, 34.5 ± 1A, 35.7 ± 2.8, and 32.9 ± 2.7 mg H<sub>2</sub>O/L for the Airo 2, Optiflow, Hydrate, and Precision Flow, respectively (P < .001). All dropped from ~15.0 to ~10.7 mg H<sub>2</sub>O/L (P < .001) with high ambient temperature, except for the Precision Flow. Increasing flow did not significantly affect AH except for the Precision Flow (from 36.4 to 16 to 20.8 to 8.2 mg H<sub>2</sub>O/L at 30 and 40 L/min, respectively) (P < .001). The bench AH was increased with the Optiflow set with noninvasive ventilation (NIV) mode, without compensation algorithm, and at high ambient temperature (42.2 ± 1.5 mg H<sub>2</sub>O/L). In clinical subjects, AH significantly affected breathing comfort, reduced from 7.6 ± 1.0 to 5.0 ± 2.8 at 30 and 20 mg H<sub>2</sub>O/L, respectively (P < .001). Comfort was similar at 30 and 40 mg H<sub>2</sub>O/L. CONCLUSIONS: When used according to manufacturer's recommendations and at normal ambient temperature, all the HFNC devices evaluated achieved satisfactory hygrometric output with respect to breathing comfort evaluated in healthy subjects (> 30 mg H<sub>2</sub>O/L). Substantial differences exist between devices, and optimal knowledge of their working principles is required in inappropriate usage may dramatically affect efficacy and clinical tolerance. **Key words:** High-flow nasal cannula; humidification performance; absolute humidity; psychrometry; breathing comfort. (Respi Care 00 (01):1-6 © Elsevier Inc 2021)

14/11/2024 68

## Humidification et haut débit nasal

- Evaluation de la tolérance clinique
- Sujets sains (n=10)
- 10 minutes d'exposition
- Débit 40 L/min

Fig. 1. Breathing comfort of healthy subjects according to the hygrometry of HFNC. \*P < .001 in comparison with 20 mg H<sub>2</sub>O/L. Each line represents the breathing comfort evaluated on a 10-cm visual analog scale after 10 min of HFNC set at 40 L/min with varying humidity levels for each subject (lined for the conditions). Mean breathing comfort is represented by the bold line.

Delorme et al, *Resp Care*, 2021  
14/11/2024 69

## Humidification et haut débit nasal

Device	Flows Evaluated, L/min	Ambient Temperature	FiO <sub>2</sub> *	Settings†
Optiflow	10, 20, 30, 40, 60	22-24°C and 28-30°C	0.4, 0.6, 1.0	31°C, 37°C
Airo 2	15, 20, 30, 40, 50	22-24°C and 28-30°C	0.21, FiO <sub>2</sub> max‡	31°C, 34°C, 37°C
Precision Flow	10, 20, 30, 40	22-24°C and 28-30°C	1.0	37°C
Hydrate	10, 20, 30, 40	22-24°C and 28-30°C	1.0	37°C

\* With the Optiflow, the effects of FiO<sub>2</sub> were only evaluated at 10 and 60 L/min under normal ambient temperature (22-24°C). For the Airo 2, the effect of FiO<sub>2</sub> was tested with all flows under both ambient and high temperatures.

† For the Airo 2, FiO<sub>2</sub> was compared to approximately 90%.

‡ For the Airo 2, FiO<sub>2</sub> was compared to approximately 90%.

§ For the Optiflow, additional measurements were performed with and without compensation algorithm activated.

Delorme et al, *Resp Care*, 2021  
14/11/2024 70

## Impact du dispositif

	10-15 L/min	20 L/min	30 L/min	40 L/min	50-60 L/min	P
Optiflow						
22-24°C	37.3 ± 1.3	38.9 ± 0.6	39.8 ± 0.3	41.8 ± 0.2	41.5 ± 1.1	.008
28-30°C	37.0 ± 3.0	36.0 ± 2.7*	34.8 ± 1.4*	35.6 ± 0.7*	36.3 ± 0.7*	.50
Airo 2						
22-24°C	41.8 ± 3.9	44.2 ± 0.4	39.1 ± 3.9	43.6 ± 0.4	38.8 ± 1.0	.009
28-30°C	28.9 ± 2.3*	29.9 ± 0.2*	31.1 ± 1.0*	35.8 ± 1.3*	37.9 ± 0.3	<.001
Precision Flow						
22-24°C	35.0 ± 0.8	35.3 ± 0.6	31.7 ± 2.0	29.6 ± 0.2	-	<.001
28-30°C	37.7 ± 0.3*	36.6 ± 0.4	33.8 ± 0.2*	29.9 ± 0.2	-	<.001
Hydrate						
22-24°C	33.2 ± 0.3	36.0 ± 0.6	38.1 ± 0.4	35.3 ± 1.9	-	<.001
28-30°C	32.2 ± 0.7	32.1 ± 0.4*	32.5 ± 0.6*	32.0 ± 0.3*	-	.92

\*P < .05 in comparison with normal ambient temperature. Values are reported as mean ± SD (mg H<sub>2</sub>O/L absolute humidity). For all flows and devices, the values presented were obtained with normal (22-24°C) and high (28-30°C) ambient temperatures. FiO<sub>2</sub> was set at 0.21 (precision flow) or 1.0 (all other devices) and compensation algorithm was activated (when available).

Delorme et al, *Resp Care*, 2021  
14/11/2024 71

## Impact du débit

Fig. 3. Effects of flow settings on absolute humidity. Units are expressed as mean ± SD mg H<sub>2</sub>O/L (absolute humidity). The values presented are averaged from measurements obtained with normal (22-24°C) and high (28-30°C) ambient temperatures. FiO<sub>2</sub> set at its maximum, temperature target set at 37°C or invasive mode (when available), and compensation algorithm activated (when available).

Delorme et al, *Resp Care*, 2021  
14/11/2024 72

## Impact de la température ambiante

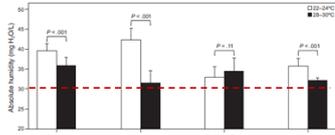
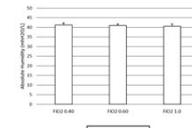


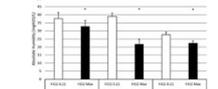
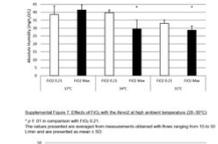
Fig. 2. Absolute humidity delivered according to device and ambient temperature. Units are expressed as mean  $\pm$  SD mg H<sub>2</sub>O/L (absolute humidity). The values presented are averaged from flows ranging from 15-20 L/min to 60 L/min (available for all devices) and were obtained with normal (22-24°C) and high (28-30°C) ambient temperature. FiO<sub>2</sub> set at its maximum, temperature target set at 37°C or invasive mode (when available), and compensation algorithm activated (when available).

## Impact de la FiO<sub>2</sub> réglée

Supplemental Figure 5. Effects of FiO<sub>2</sub> with the Optiflow at normal ambient temperature (22-24°C). The values presented are averaged from measurements obtained with the device set with "Invasive mode" (37°C), compensation algorithm activated, and flow set at 30 and 60 L/min. Data are presented between 3 SD.



Supplemental Figure 6. Effects of FiO<sub>2</sub> with the Airvo at normal ambient temperature (22-24°C). The values presented are averaged from measurements obtained with the device set with "Invasive mode" (37°C), compensation algorithm activated, and flow set at 30 and 60 L/min. Data are presented between 3 SD.



Supplemental Figure 7. Effects of FiO<sub>2</sub> with the Hydra at normal ambient temperature (22-24°C). The values presented are averaged from measurements obtained with the device set with "Invasive mode" (37°C), compensation algorithm activated, and flow set at 30 and 60 L/min. Data are presented between 3 SD.

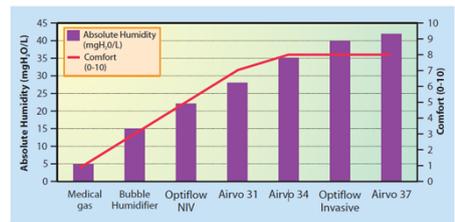
## Impact de la température réglée

Table 3. Hygrometry Delivered According to Target Temperature Setting

	37°C "Invasive" mode	34°C	31°C "NIV" mode	P
Optiflow				
22-24°C	39.9 $\pm$ 1.9	-	23.3 $\pm$ 2.1	< .001
28-30°C	36.0 $\pm$ 1.8*	-	24.2 $\pm$ 3.4	< .001
Airvo 2				
22-24°C	41.5 $\pm$ 3.1	29.5 $\pm$ 5.6	28.6 $\pm$ 2.8	< .001
28-30°C	32.7 $\pm$ 3.8*	21.7 $\pm$ 3.1*	22.3 $\pm$ 1.5*	< .001

\*P < .05 in comparison with normal ambient temperature. Units are expressed as mean  $\pm$  SD mg H<sub>2</sub>O/L (absolute humidity). The values presented are averaged from all flows evaluated for each device and obtained with normal (22-24°C) and high (28-30°C) ambient temperature. FiO<sub>2</sub> set at its maximum, and compensation algorithm activated (when available).

## L'humidification en clinique : tolérance



Lellouche & Delorme, *Humidification of the respiratory tract and comfort during NHF therapy*. In: *Brünnlich et al. Basics and modern practice of nasal high-flow therapy*. 1st edition. Bremen: UNI-MED Science; 2019:75-86

## Conclusion

- L'humidité absolue (AH) est le marqueur le plus pertinent pour juger de l'hygrométrie d'un gaz
- Les recommandations
  - Sont très claires pour la ventilation invasive
    - 37°C
    - RH 100%
    - AH > 30 mg H<sub>2</sub>O/L
  - Sont moins claires pour la ventilation non invasive
    - VAS non shuntées
    - > 15 mg H<sub>2</sub>O/L (Lellouche, ICM, 2009)
  - Sont encore moins claires pour le haut-débit nasal
    - Suggestions fabricants : idem ventilation invasive
    - Tolérance clinique diminuée pour des niveaux bas
    - Situation la plus cata : T° ambiante élevée, Réglage VNI, algorithme de compensation pour la T° ambiante inactif
    - Débit élevé, unidirectionnel
    - > 30 mg H<sub>2</sub>O/L

Respir Care, Med (2009) 54(10):1405-1410  
DOI: 10.1093/rc/54.10.1405

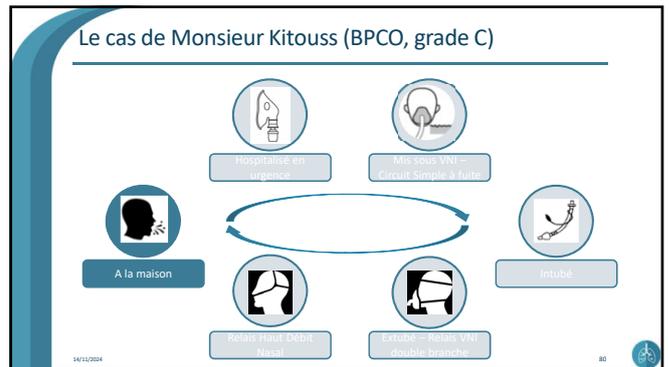
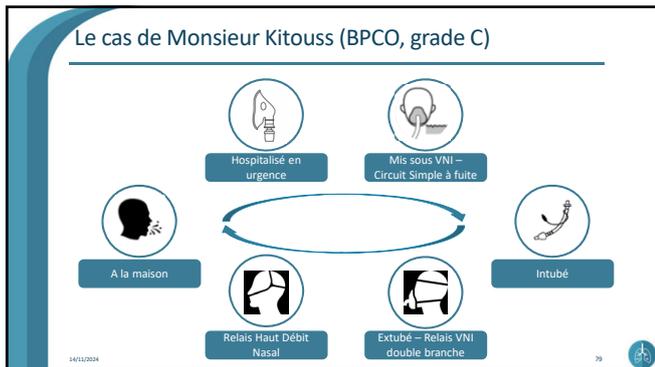
EDITORIAL

Jean-François Ricard  
Alexandre Breyer

Humidification during oxygen therapy and non-invasive ventilation: do we need some and how much?

## Partie 3 : Thérapies inhalées et supports ventilatoires





### Traitements à domicile :

Ventoline / Atrovent  
Matin et Soir

Ventoline en Spray  
A la demande

Symbicort  
2 / jour

Onbrez  
1 gélule par jour

**Parmi les dispositifs ci-dessus, lesquels sont des aérosols ?**  
 A : Ventoline / Atrovent  
 B : Ventoline / Atrovent ET Ventoline en spray  
 C : Ventoline / Atrovent ET Ventoline en spray ET Symbicort  
 D : Tous

#1

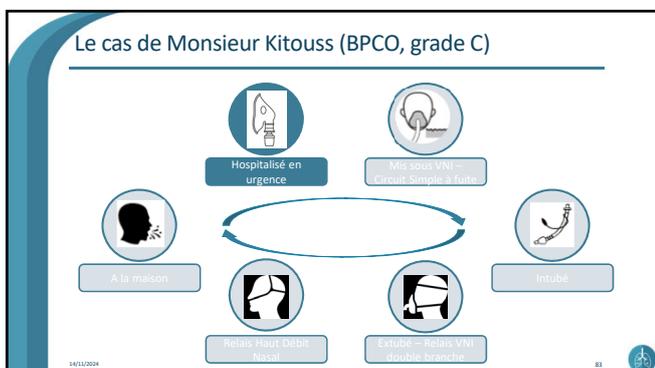
14/11/2024 31

### Définitions

- **Aérosol** : Suspension stable de particules solides ou liquides dans un gaz (chute < 0,5m.sec<sup>-1</sup>)
- **Nébulisation** : Création d'un aérosol à partir d'une préparation liquide
- **Aérosols doseurs** : Dispositifs d'inhalation portables qui sont pour la plupart pré-conditionnés avec le médicament
  - **pMDI : pressurized Metered Dose Inhaler = Aérosols doseurs pressurisés**
  - Aérosols doseurs de liquide pressurisé dont le médicament est conditionné avec un liquide propulseur
  - **DPI : Dry Powder Inhaler = Inhalateurs de poudres sèches**
  - Le médicament est conditionné sous forme de poudre et l'aérosol est généré à l'inspiration

Dautzenberg B., Bequemin M.H., Chaumazeau J.P., Diot P pour le GAT. Bonnes pratiques de l'aérosolthérapie par nébulisation. Rev Mal Respir 2007 ; 24 : 753-7.

14/11/2024 32



### Le médecin choisit de prescrire des nébulisations de Ventoline et Pulmicort 3 fois par jour

A Pneumatique /  
masque

B Pneumatique /  
Embout buccal

C Ultrasonique

D Tamis vibrant

**Parmi les dispositifs ci-dessus, le ou lesquels peut-on recommander en première intention ?**

#2

14/11/2024 34

### Question #1 : Le choix de l'interface

AARC Clinical Practice Guideline

JOURNAL OF AIRWAYS MEDICINE AND PULMONARY DRUG DELIVERY  
 Volume 10 Number 2  
 © 2013 Taylor & Francis Ltd  
 DOI: 10.1080/10919132.2013.781148

#### Performance Comparisons of Jet and Mesh Nebulizers Using Different Interfaces in Simulated Spontaneously Breathing Adults and Children

Atou AN, PhD, RRT, PT, CPFT, FAARC; Armita Domitov, MD, PhD, FRCPC; Mandy Sheward, MD, RRT; Benjamin Alsharif, MD; and James B. Fink, PhD, RRT, FAARC, FCCP\*

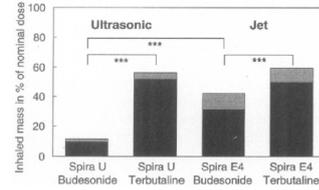
Nebulizers	Jet nebulizer	
	Mouthpiece	Valved mask
Inhaled mass (mg)	0.19 ± 0.01	0.22 ± 0.01
Inhaled mass percent (%)	7.66 ± 0.62	8.63 ± 0.22

**Reco #4.** For patients who cannot correctly use a mouthpiece, aerosol masks are suggested as the interface of choice

#### Aerosol Delivery Device Selection for Spontaneously Breathing Patients: 2012

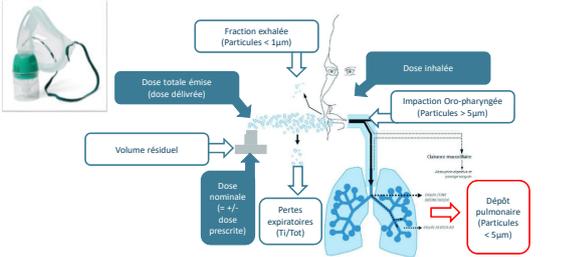
1.5 Interfaces Used with Aerosol Generators. Mouthpieces, masks, hoods, and spacers are the most common interfaces used between the aerosol generator and the patient. Evidence is lacking for better clinical response with one or another interface (eg, mask vs mouthpiece). Selection of interface is dependent on age, ability to use a mouthpiece, and patient preference. When a nebulizer is used, a mouthpiece is preferred, but a mask can be used if the patient cannot effectively hold the mouthpiece between the lips. Also, a face mask should be avoided in the delivery of corticosteroids, due to the side effects of steroid administration to the facial skin and eyes. A VHC is

### Question #2 : Le type de nébuleuse



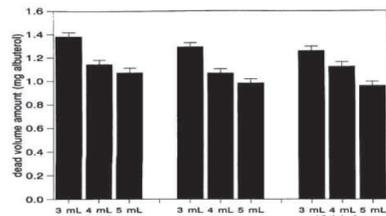
Nikander K., Turpeinen M., Wollmer P. The conventional ultrasonic nebulizer proved inefficient in nebulizing a suspension. J Aerosol Med. 1999;12(2):47-53.

### Je choisis un nébuleuseur pneumatique avec masque facial



Adapté de : [http://pdfs.jkucontent.com/uploads/2014/04/TraductionSAM\\_ERS2011\\_1.pdf](http://pdfs.jkucontent.com/uploads/2014/04/TraductionSAM_ERS2011_1.pdf) [Consulté le 09/09/2019]

### Question #3 : Le « réglage » du nébuleuseur



Pour 2,5 mg d'albuterol (dose nominale)  
 Effets du volume et débit sur le volume résiduel (in vitro)  
 Volume de dilution p<0.001  
 Débit de nébulisation p = 0.02

Hess et al. Chest, 1996

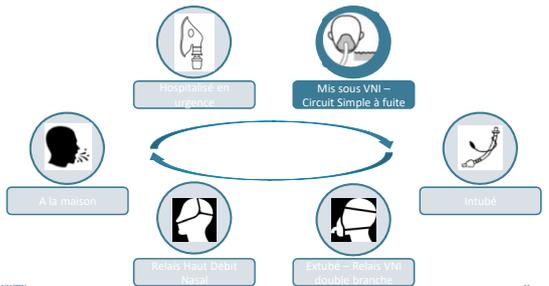
### Question #4 : L'aspect pharmacologique

Table 4. Physico-chemical compatibility of inhalation solutions/suspensions. No sufficient information available for yellow marked combinations. \*\*Mixtures not recommendable from a clinical viewpoint. \*Compatibility applies only to preservative-free dosage forms. †Unchanged aerosol characteristics and drug output have been proved.

	Dexaméthasone Pentacétate	Ephédrine Hydrochloride TORBID	Ephédrine Géminale	Colistiméthate Colistin C80	Salméterol Acrosulfate dose 2 et	Albuterol Sulfate dose 2 et	Budesonide Propionate	Fluticasone-17-propionate	Chénofène	Hypertonique 0,9% NaCl solution
Dexaméthasone	Mixable	Do not mix	Do not mix	Do not mix	Do not mix	Do not mix	Do not mix	Do not mix	Do not mix	Do not mix
Ephédrine Hydrochloride TORBID	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Do not mix	Do not mix
Ephédrine Géminale	Do not mix	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Do not mix	Do not mix
Colistiméthate	Do not mix	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Do not mix	Mixable*
Salméterol	Do not mix	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Do not mix	Do not mix
Albuterol	Do not mix	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Do not mix	Do not mix
Budesonide	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Do not mix	Do not mix
Fluticasone-17-propionate	Do not mix	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Mixable*	Do not mix	Do not mix
Chénofène	Do not mix	Do not mix	Do not mix	Do not mix	Do not mix	Do not mix	Do not mix	Do not mix	Do not mix	Do not mix
Hypertonique saline	Do not mix	Do not mix	Do not mix	Mixable*	Do not mix	Do not mix	Mixable*	Do not mix	Do not mix	Do not mix

Kamin et al. J Cyst Fibros, 2014

### Le cas de Monsieur Kitouss (BPCO, grade C)



14/11/2024

### Le patient se dégrade et a besoin de VNI (circuit simple)

A D  
Après la fuite  
Avant la fuite  
Après l'humidificateur  
Avant l'humidificateur

? #3 Parmi les positions proposées sur le schéma, laquelle vous semble la plus adaptée ?

14/11/2024 93

### Le patient se dégrade et a besoin de VNI (circuit simple)

A 100  
Median leak (% of the nominal flow of fresh gas)

□ Between the exhalation port and lung model  
■ Between the ventilator and exhalation port

VAP VNA VAS BUB VNO

Michotte et al. JAMPDD, 2014

14/11/2024 92

### Le cas de Monsieur Kitouss (BPCO, grade C)

A la maison Hospitalisé en urgence Mis sous VNI - Circuit Simple à fuite Relais Haut Débit Nasal Extubé - Relais VNI double branche Intubé

14/11/2024 91

### Le patient est intubé, VAC / double branche

D C B A  
Après la pièce en Y  
Avant la pièce en Y  
Après l'humidificateur  
Avant l'humidificateur

? #4 Parmi les positions proposées sur le schéma, laquelle vous semble la plus adaptée ?

14/11/2024 94

### Le patient est intubé, VAC / double branche

Influence of Nebulizer Type, Position, and Bias Flow on Aerosol Drug Delivery in Simulated Pediatric and Adult Lung Models During Mechanical Ventilation

From: An. PPD 887 P1 C97; Onco Ther. Advan. PPD P1; Robot. Serviced. MSA 887; Mater. 18. Mater. 887; Swain. 8. 8. 887; and J. 8. 887 P1 C97.

Model	Position	Jet nebulizer (%)	Mesh nebulizer (%)
Adult Lung Model	Position 1	13.4 ± 1.1	4.7 ± 0.1
	Position 2	23.8 ± 1.0	5.2 ± 0.2
Pediatric Lung Model	Position 1	~10	~5
	Position 2	~15	~8

An et al. Resp Care, 2010

14/11/2024 95

### Le patient est intubé, VAC / double branche

Administration d'aérosols médicamenteux au cours de la ventilation mécanique

Aerosolized drug delivery during mechanical ventilation

N. Ehrmann - A. Galbraith - L. Munk - L. Vignola - P.-F. Dupont

From: J. 8. 887; Onco Ther. Advan. PPD P1; Robot. Serviced. MSA 887; Mater. 18. Mater. 887; Swain. 8. 8. 887; and J. 8. 887 P1 C97.

Ehrmann et al. Réanimation, 2012

14/11/2024 96

### Le cas de Monsieur Kitouss

Options for Monsieur Kitouss:

- A la maison
- Hospitalisé en urgence
- Mise sous VNI - Circuit Simple à fuite
- Intubé
- Extubé - Relais VNI double branche
- Relais Haut Débit Nasal

14/11/2024 97

### Le patient vient d'être extubé, relais VNI - double

Options for humidifier placement:

- A Avant l'humidificateur
- B Après l'humidificateur
- C Avant la pièce en Y
- D Après la pièce en Y

? #5 Parmi les positions proposées sur le schéma, laquelle vous semble la plus adaptée ?

14/11/2024 98

### Le patient est extubé > Relais VNI / double branche

Delivery efficiency (%) for different nebulizers:

Device	150 cm H <sub>2</sub> O	200 cm H <sub>2</sub> O
NetJet	17%	13.3%
NetJet	18%	3.5%
NetJet	3.8%	-
Other	-	3.5%
Other	-	3.8%

14/11/2024 99

### Le cas de Monsieur Kitouss (BPCO, grade C)

Options for Monsieur Kitouss (BPCO, grade C):

- A la maison
- Hospitalisé en urgence
- Mise sous VNI - Circuit Simple à fuite
- Intubé
- Extubé - Relais VNI double branche
- Relais Haut Débit Nasal

14/11/2024 100

### Extubé, hypoxémie persistante / relais optiflow®

Options for humidifier placement:

- A Avant l'humidificateur
- B Après l'humidificateur
- C Avant l'interface
- D Aucune de ces propositions

? #6 Parmi les positions proposées sur le schéma, laquelle vous semble la plus adaptée ?

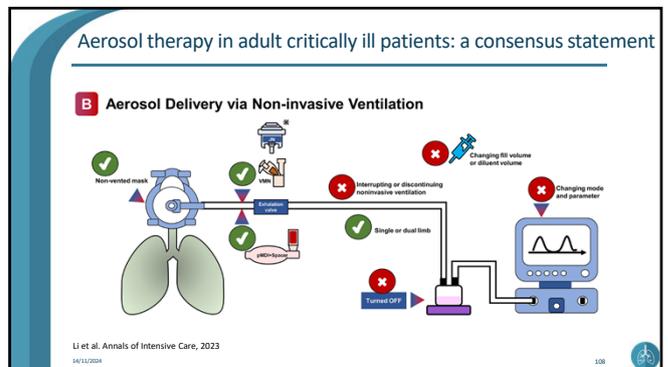
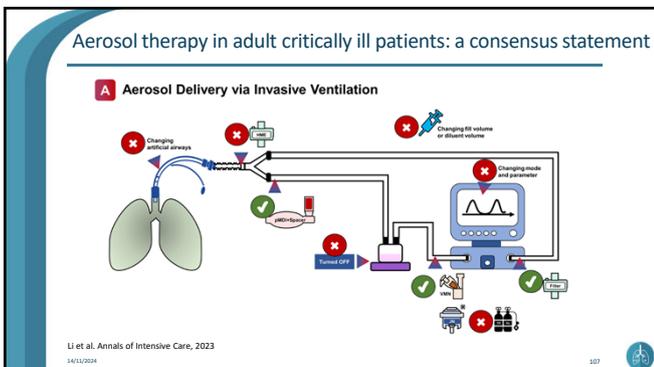
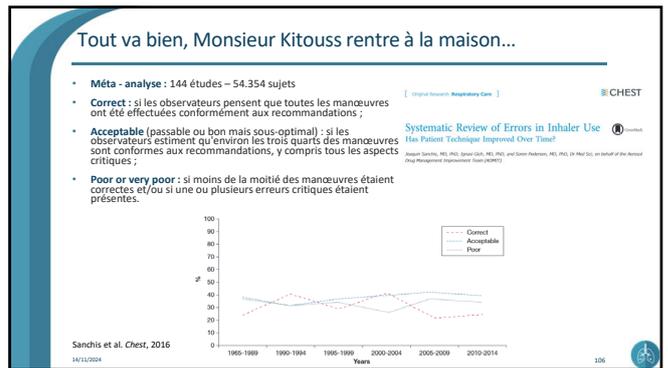
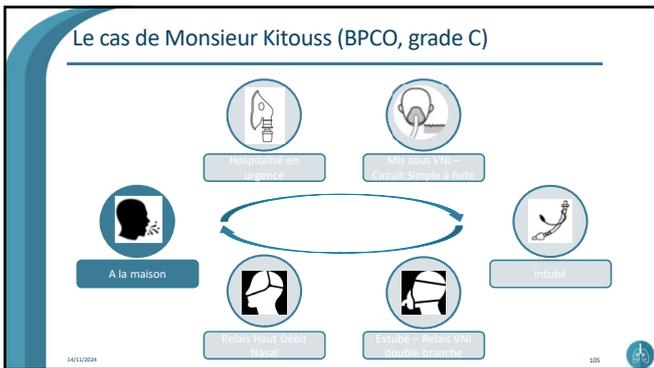
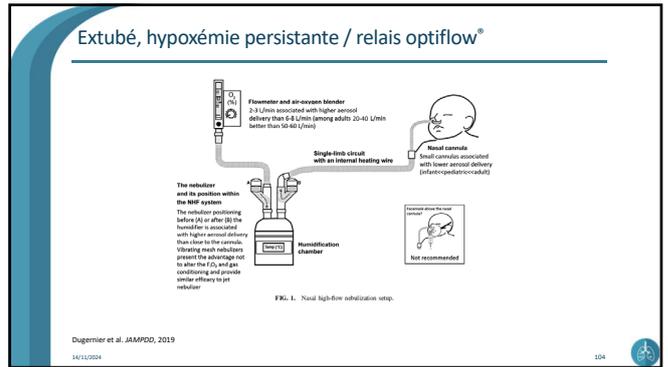
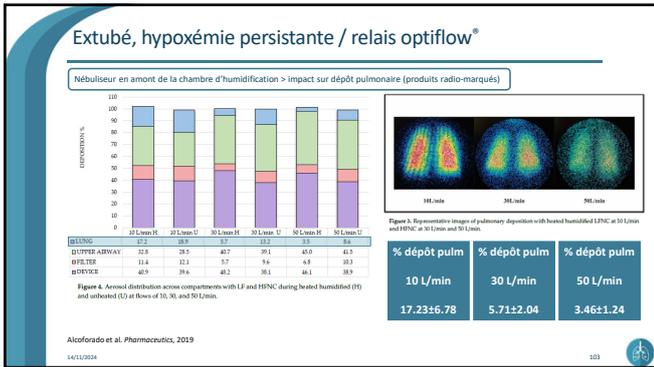
14/11/2024 101

### Extubé, hypoxémie persistante / relais optiflow®

Aerosol at the cannula outlet (%) (measurable mass):

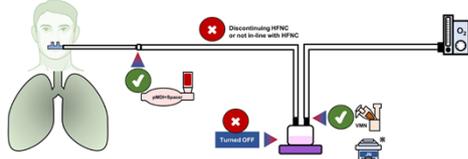
Condition	Aeroneb-mesh nebulizer	Net-jet nebulizer	Circus-smart-particle-jet nebulizer
Before humidifier	~28%	~32%	~30%
After humidifier	~28%	~25%	~28%
Upstream from cannula (C)	~15%	~18%	~20%

14/11/2024 102



## Aerosol therapy in adult critically ill patients: a consensus statement

### C Aerosol Delivery via High-flow Nasal Cannula



\* In some in vitro experiments a continuous IN placed in those positions is less efficient than VMN for aerosol delivery.

Li et al. *Annals of Intensive Care*, 2023

109

Réponses	
#1	D
#2	A – (B) – (D)
#3	D
#4	A – (B)
#5	C – (D)
#6	A – (B)

Entre parenthèses = discutable  
Parce qu'on peut et qu'on doit  
toujours discuter ! ☺

Merci pour votre attention



04/11/2024

110

## How Should Aerosols Be Delivered During Invasive Mechanical Ventilation?

Table 2. Optimal Technique for Drug Delivery by pMDI in Ventilated Patients

1. Have patient seated in erect or semi-erect position.\*
2. Review order, identify patient, and assess need for bronchodilator.
3. Suction endotracheal tube and airway secretions.
4. Shake pMDI and warm in hand temperature.
5. Place pMDI in spacer chamber adapter in ventilator circuit about 15 cm from endotracheal tube.
6. Remove IME. Do not disconnect handpiece.
7. Ensure that there is no leak in the circuit.
8. Coordinate pMDI activation with beginning of inspiration.
9. Wait at least 15 seconds between activations; administer total dose.
10. Monitor for adverse response.
11. Reconnect IME.
12. Document clinical outcome.

\*Erect may be a clinical contraindication to elevating the head of the patient.  
pMDI = pressurized metered-dose inhaler  
IME = heat and moisture exchanger

Table 3. Optimal Technique for Drug Delivery by Jet Nebulizer in Ventilated Patients

1. Have the patient seated in erect or semi-erect position.\*
2. Review order, identify patient, and assess need for bronchodilator.
3. Suction endotracheal tube and airway secretions.
4. Place drug in nebulizer to fill volume of 4 to 6 mL.
5. Place nebulizer in the inspiratory line 10 to 16 cm from the patient's eyes.
6. Turn off flow by or continuous flow during nebulizer operation.
7. Remove IME from circuit (do not disconnect handpiece).
8. Set gas flow to nebulizer at 6 L/min.
9. Use a ventilator if it meets the nebulizer flow requirements and cycles on inspiration, or
  - a. Use continuous flow from external source (1–50 psi).
  - b. Adjust ventilator volume or pressure limit to compensate for added flow.
10. Tap nebulizer periodically until nebulizer begins to sputter.
11. Remove nebulizer from circuit, rinse with sterile water and run dry, store in safe place.
12. Reconnect handpiece or IME, return ventilator settings and alarms to previous values.
13. Monitor patient for adverse response.
14. Assess outcome and document findings.

\*Erect may be a clinical contraindication to elevating the head of the patient.  
IME = heat and moisture exchanger

Table 4. Optimal Technique for Drug Delivery by Vibrating Mesh Nebulizer in Ventilated Patients

1. Correctly assemble the nebulizer.
2. Follow the manufacturer's instructions on performing a functionality test prior to the first use of a new nebulizer as well as after each disinfection to verify proper operation.
3. Pour the solution into the medication reservoir. Do not exceed the volume recommended by the manufacturer.
4. Keep the nebulizer in an upright position.
5. Place the nebulizer in the ventilator circuit at the position recommended by the manufacturer.
6. Have the patient seated in an erect or semi-erect position.\*
7. Turn on the power.
8. If the treatment must be interrupted, turn off the unit to avoid sputter.
9. At the completion of the treatment, disconnect and clean as recommended by the manufacturer.
10. When using a mesh nebulizer, avoid touching the mesh during cleaning because this could damage the unit.
11. Follow the manufacturer's instructions for cleaning and disinfection of the nebulizer.

\*Erect may be a clinical contraindication to elevating the head of the patient.

Dhand. *Resp Care*, 2017

14/11/2024

111

## Le cas de Monsieur Malchance\*

- Asthmatique sévère, 52 ans
- Suivi par son méd G à domicile
- Traitement de fond :
  - Ventoline à la demande
  - Symbicort 1-0-1
- Dernière consultation pneumo en 2019 suite exacerbation sévère
- Majoration de la toux depuis 15 jours

M. MALCHANCE



MONSIEUR MALCHANCE - ROGIER HARBREAVES

hachette  
JURISIA

\* Toute ressemblance avec des faits existants ou ayant existé serait purement fortuite

## Son parcours

- 1) A domicile – prescription nébu
- 2) A domicile – administration nébu
- 3) Admission aux urgences
- 4) Admission en USI
- 5) Intubation en USI
- 6) Transfert en réa
- 7) Risque de PAVM en réa
- 8) Extubé – relai VNI
- 9) Sevrage VNI – relai HDN
- 10) Transfert en pneumo
- 11) Sortant pour retour à domicile



## Son parcours

- 1) A domicile – prescription nébu
- 2) A domicile – administration nébu
- 3) Admission aux urgences
- 4) Admission en USI
- 5) Intubation en USI
- 6) Transfert en réa
- 7) Risque de PAVM en réa
- 8) Extubé – relai VNI
- 9) Sevrage VNI – relai HDN
- 10) Transfert en pneumo
- 11) Sortant pour retour à domicile



## Son parcours

- 1) A domicile – prescription nébu
- 2) A domicile – administration nébu
- 3) **Admission aux urgences**
- 4) Admission en USI
- 5) Intubation en USI
- 6) Transfert en réa
- 7) Risque de PAVM en réa
- 8) Extubé – relai VNI
- 9) Sevrage VNI – relai HDN
- 10) Transfert en pneumo
- 11) Sortant pour retour à domicile



## Son parcours

- 1) A domicile – prescription nébu
- 2) A domicile – administration nébu
- 3) Admission aux urgences
- 4) **Admission en USI**
- 5) Intubation en USI
- 6) Transfert en réa
- 7) Risque de PAVM en réa
- 8) Extubé – relai VNI
- 9) Sevrage VNI – relai HDN
- 10) Transfert en pneumo
- 11) Sortant pour retour à domicile



## Son parcours

- 1) A domicile – prescription nébu
- 2) A domicile – administration nébu
- 3) Admission aux urgences
- 4) Admission en USI
- 5) **Intubation en USI**
- 6) Transfert en réa
- 7) Risque de PAVM en réa
- 8) Extubé – relai VNI
- 9) Sevrage VNI – relai HDN
- 10) Transfert en pneumo
- 11) Sortant pour retour à domicile



## Son parcours

- 1) A domicile – prescription nébu
- 2) A domicile – administration nébu
- 3) Admission aux urgences
- 4) Admission en USI
- 5) Intubation en USI
- 6) **Transfert en réa**
- 7) Risque de PAVM en réa
- 8) Extubé – relai VNI
- 9) Sevrage VNI – relai HDN
- 10) Transfert en pneumo
- 11) Sortant pour retour à domicile



## Son parcours

- 1) A domicile – prescription nébu
- 2) A domicile – administration nébu
- 3) Admission aux urgences
- 4) Admission en USI
- 5) Intubation en USI
- 6) Transfert en réa
- 7) **Risque de PAVM en réa**
- 8) Extubé – relai VNI
- 9) Sevrage VNI – relai HDN
- 10) Transfert en pneumo
- 11) Sortant pour retour à domicile



## Son parcours

- 1) A domicile – prescription nébu
- 2) A domicile – administration nébu
- 3) Admission aux urgences
- 4) Admission en USI
- 5) Intubation en USI
- 6) Transfert en réa
- 7) Risque de PAVM en réa
- 8) **Extubé – relai VNI**
- 9) Sevrage VNI – relai HDN
- 10) Transfert en pneumo
- 11) Sortant pour retour à domicile



### Son parcours

- 1) A domicile – prescription nébu
- 2) A domicile – administration nébu
- 3) Admission aux urgences
- 4) Admission en USI
- 5) Intubation en USI
- 6) Transfert en réa
- 7) Risque de PAVM en réa
- 8) Extubé – relai VNI
- 9) Sevrage VNI – relai HDN
- 10) Transfert en pneumo
- 11) Sortant pour retour à domicile



### Son parcours

- 1) A domicile – prescription nébu
- 2) A domicile – administration nébu
- 3) Admission aux urgences
- 4) Admission en USI
- 5) Intubation en USI
- 6) Transfert en réa
- 7) Risque de PAVM en réa
- 8) Extubé – relai VNI
- 9) Sevrage VNI – relai HDN
- 10) Transfert en pneumo
- 11) Sortant pour retour à domicile



### Son parcours

- 1) A domicile – prescription nébu
- 2) A domicile – administration nébu
- 3) Admission aux urgences
- 4) Admission en USI
- 5) Intubation en USI
- 6) Transfert en réa
- 7) Risque de PAVM en réa
- 8) Extubé – relai VNI
- 9) Sevrage VNI – relai HDN
- 10) Transfert en pneumo
- 11) Sortant pour retour à domicile



### Interro surprise

Comment participer ?



1 Allez sur [wooclap.com](https://wooclap.com)

2 Entrez le code d'événement dans le bandeau supérieur

Code d'événement: **NTGSD**

Activer les réponses par SMS

[Créer le lien de certification](#)

### 1) A domicile – prescription nébu

Allez sur [wooclap.com](https://wooclap.com)

Entrez le code d'événement dans le bandeau supérieur

Code d'événement: **NTGSD**

- Le patient consulte son med G pour une toux persistante depuis plus de 15 jours
- Prescription de nébulisations
  - Salbutamol
  - Budésonide
- Parmi les dispositifs suivants, lesquels sont des aérosols ?



A



B



C



D



### 1) A domicile – prescription nébu

- Parmi les dispositifs suivants, lesquels sont des aérosols ?







- Définition :
  - Aérosol** : Suspension stable de particules **solides ou liquides** dans un gaz (chute < 0,5m.sec<sup>-1</sup>)
  - Nébulisation** : Création d'un aérosol à partir d'une préparation liquide

Dautzenberg B., Becquemin M.H., Chaumazeau J.P., Diet P pour le GAT. Bonnes pratiques de l'aérosolthérapie par nébulisation. Rev Mal Respir 2007 ; 24 : 751-7.

## 2) A domicile – administration nébu

- Par commodité, le pharmacien lui conseille de mélanger dans la cuve de nébulisation la ventoline et le pulmicort
- Est-ce un bon conseil ?



- A** Oui, tous les produits peuvent être mélangés dans un nébuliseur
- B** Oui, la ventoline et le pulmicort font partie des classes pharmacologiques « mixables »
- C** Oui, en tout cas chez nous on a toujours fait comme ça
- D** Non, il ne faut jamais mélanger 2 classes pharmacologiques différentes dans une même cuve de nébulisation



## 2) A domicile – administration nébu

- B** Oui, la ventoline et le pulmicort font partie des classes pharmacologiques « mixables »



Table 4. Physico-chemical compatibility of salbutamol-suspensions. No sufficient information available for yellow marked combinations. \*\*Mixtures not recommended from a clinical viewpoint. \*Compatibility applies only to pressurized-dose forms. #Exchanged aerosol characteristics and drug output have been proved.

	Desonamide Fluticasone	Formoterol Budesonide	Formoterol Ciclesonide	Colistatim Ciclesonide	Formoterol Albuterol Budesonide Formoterol	Albuterol Formoterol Budesonide Formoterol	Budesonide Formoterol	Formoterol Fluticasone	Formoterol Budesonide	Formoterol Ciclesonide	Formoterol Ciclesonide
Desonamide	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Fluticasone	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Formoterol	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Colistatim	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Albuterol	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Budesonide	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Formoterol	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Formoterol Fluticasone	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Formoterol Budesonide	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Formoterol Ciclesonide	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Formoterol Ciclesonide	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green

Kamin et al. J Cyst Fibros, 2014



## 2) A domicile – administration nébu

- B** Oui, la ventoline et le pulmicort font partie des classes pharmacologiques « mixables »



- Néanmoins :
  - De façon générale, en suivant leurs AMM, à peu près tous les produits ne doivent pas être mélangés, particulièrement : atroxonam, dornase alpha, pentamidine, tobramycine, sérum salé hypertonique
- Situations hors AMM, mais bien validées :
  - Salbutamol ou terbutaline + ipratropium (pour rappel AMM ipratropium = jamais seul)
  - Salbutamol ou terbutaline + budesonide
- Idéalement pas plus de 2 produits dans un mélange, en gardant en tête qu'à peu près aucun mélange nébulisé ne peut être officiellement conseillé.

Chaumazau J.-P. et Becquemin M.-H. Voie nébulisée : Médicaments ayant l'AMM et mélanges autorisés. In: SPLF. Thérapie par voie inhalée, 1<sup>ère</sup> édition, 2020.



## 3) Admission aux urgences

- Le patient se dégrade, il est admis aux urgences avec une hypoxémie marquée, et placé sous O<sub>2</sub> au masque simple (8 L/min)
- Les nébulisations de ventoline/pulmicort sont poursuivies
- Dans cette situation, il est préférable d'utiliser :



## 3) Admission aux urgences

- Deux questions en une
- Faut-il privilégier le masque ou l'embout buccal ?
- Tous les types de nébuliseurs sont-ils compatibles avec tous les médicaments nébulisables ?



## 3) Admission aux urgences

- Faut-il privilégier le masque ou l'embout buccal ?

Performance Comparisons of Jet and Mesh Nebulizers Using Different Interfaces in Simulated Spontaneously Breathing Adults and Children

Interfaces	Jet nebulizer		
	Mouthpiece	Valved mask	Aerosol mask
Inhaled mass (mg)	0.19±0.01	0.32±0.01	0.17±0.01
Inhaled mass percent (%)	7.66±0.62	8.63±0.22	6.54±0.79

Reco #4. For patients who cannot correctly use a mouthpiece, aerosol masks are suggested as the interface of choice

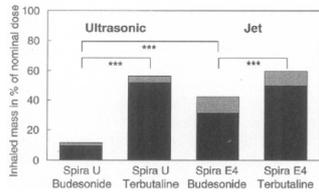
AARC Clinical Practice Guideline  
Aerosol Delivery Device Selection for Spontaneously Breathing Patients: 2012

1.5 Interfaces Used with Aerosol Generators. Mouthpieces, masks, hoods, and spacers are the most common interfaces used between the aerosol generator and the patient. Evidence is lacking for better clinical response with one or another interface (eg, mask vs mouthpiece). Selection of interface is dependent on age, ability to use a mouthpiece, and patient preference. When a nebulizer is used, a mouthpiece is preferred, but a mask can be used if the patient cannot effectively hold the mouthpiece between the lips. Also, a face mask should be avoided in the delivery of corticosteroids, due to the side effects of steroid administration to the facial skin and eyes. A VHC is



### 3) Admission aux urgences

- Tous les types de nébuliseurs sont-ils compatibles avec tous les médicaments nébulisables ?

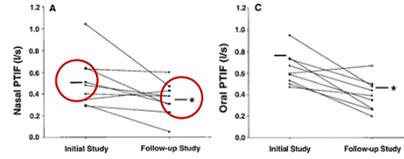


Nikander K., Turpelinen M., Wollmer P. The conventional ultrasonic nebulizer proved inefficient in nebulizing a suspension. *J Aerosol Med.* 1999;12(2):47-53.



### 3) Admission aux urgences

- Répartition du débit inspi chez 13 patients asthmatiques
- En exacerbation (initial) vs. en état stable (follow-up)
- Une part non négligeable du débit inspi passe par le nez

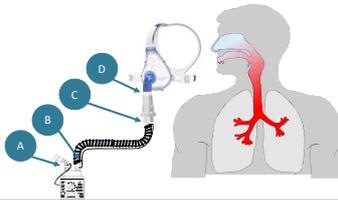


Karalitis K., Garlick S. R., Wheatley J. R., & Amis, T. C. (1999). Route of breathing in patients with asthma. *Chest*, 116(6), 1646-1652.

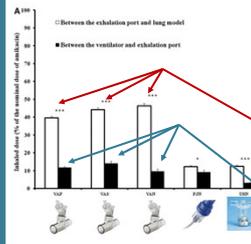


### 4) Admission en USI

- Le patient continue de se dégrader, il est admis aux soins intensifs et placé sous VNI
- Circuit simple / fuite intentionnelle / masque NVI
- Où placer le raccord ?



### 4) Admission en USI



Michotte, J.-B., Jossen, E., Roeseler, J., Litro, G., & Reyckler, G. (2014). *Journal of Aerosol Medicine and Pulmonary Drug Delivery*, 27(6), 430-440.



### 4) Admission en USI

Annals of Intensive Care

RESEARCH Open Access

**Aerosol therapy in adult critically ill patients: a consensus statement regarding aerosol administration strategies during various modes of respiratory support**

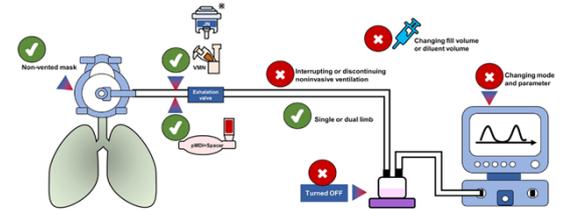
Jie Li<sup>1</sup>, Kai Liu<sup>1</sup>, Shan Luo<sup>1</sup>, Guoqiang Jing<sup>1</sup>, Bing Dai<sup>1</sup>, Ruiyi Zhang<sup>1</sup>, Hui-Ling Lin<sup>1</sup>, Paolo Petros<sup>2,3\*</sup>, Ariel Berenski<sup>4</sup>, José Rello<sup>5,6,7,8</sup>, Antoni Torres<sup>1,2</sup>, Charles Edouard Luyt<sup>9</sup>, Jean-Benoît Michotte<sup>10</sup>, Qin Lu<sup>11</sup>, Gregory Reyckler<sup>12,13</sup>, Laurent Vecellio<sup>14</sup>, Armelle Dornelas de Andrade<sup>15</sup>, Jean-Jacques Rouby<sup>16</sup>, James B. Fink<sup>17</sup> and Stephan Ehrmann<sup>18</sup>

U. J. et al. (2023). *Annals of Intensive Care*, 18(1), 63.



### 4) Admission en USI

#### B Aerosol Delivery via Non-invasive Ventilation



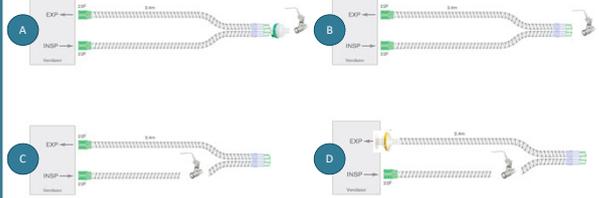
U. J. et al. (2023). *Annals of Intensive Care*, 18(1), 63.

## 5) Intubation en USI

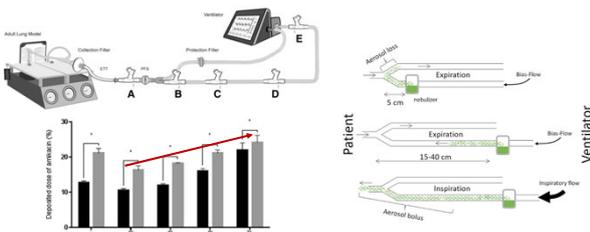
- Le patient continue de se dégrader pour rappel il s'agit de Monsieur Malchance qui dans ses aventures n'a en général pas de chance
- Il est intubé, ventilé & sédaté / circuit double / filtre HME
- Les nébulisations doivent être poursuivies, vous disposez d'un nébuliseur à tamis vibrant, quelle configuration suggérez-vous ?



## 5) Intubation en USI



## 5) Intubation en USI



Dugernier, J., [...] & Reyche, G. (2015). *Journal of Aerosol Medicine and Pulmonary Drug Delivery*, 28(3), 229-236.  
 Ehrmann, S., Chastre, J., Desc, P., & Lu, G. (2013). *Annals of Intensive Care*, 7, 78.

## 5) Intubation en USI



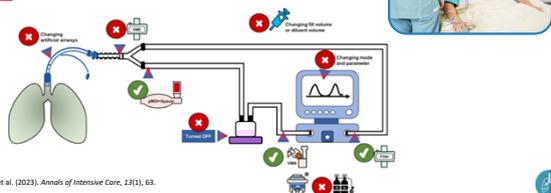
- « When a VMN or JN is utilized during invasive ventilation with bias flow, it is recommended to place the nebulizer in the inspiratory limb, away from the Y-piece and towards the ventilator »
- Le plus souvent 15 à 40 cm

Li, J. et al. (2023). *Annals of Intensive Care*, 18(1), 63.

## 6) Transfert en réa

- Poursuite de la sédation
- Ventilé en circuit double avec humidificateur chauffant

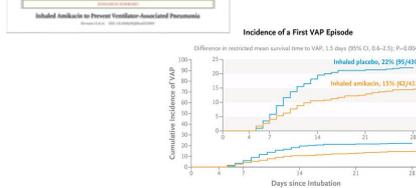
### A Aerosol Delivery via Invasive Ventilation



Li, J. et al. (2023). *Annals of Intensive Care*, 18(1), 63.

## 7) Risque de PAVM en réa

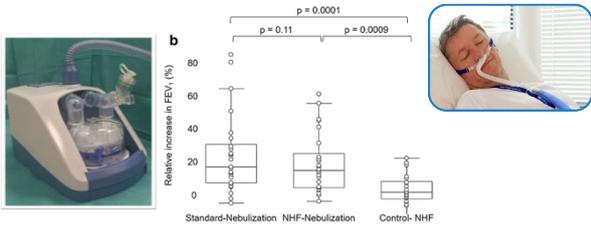
- Le patient est stable, toujours intubé (J5)
- On souhaite prévenir le risque de PAVM



Ehrmann, S., et al. (2023). Inhaled Amikacin to Prevent Ventilator-Associated Pneumonia. *The New England Journal of Medicine*, 389(22), 2052-2062.



## 9) Sevrage VNI – relai HDN



Reminiac, F., Vecellio, L., Bodet-Contentin, L., Gissot, V., Le Pennec, D., Salmon Gandonnière, C., Cabrera, M., Dequin, P.F., Plantier, L., & Ehrmann, S. (2018). Nasal high-flow bronchodilator nebulization: A randomized cross-over study. *Annals of Intensive Care*, 8(1), 128.

## 10) Transfert en pneumo

- Le patient est transféré en unité de pneumologie
- Persiste une discrète hypoxémie nécessitant O<sub>2</sub> aux lunettes (3 L/min)
- Les nébulisations de salbutamol (seul) sont reprises (masque)
- Pour poursuivre les nébulisations, il est préférable :

- A De nébuliser le salbutamol seul, avec un débit de 6 L/min d'O<sub>2</sub>
- B De nébuliser le salbutamol seul, avec un débit de 6 L/min d'air (+ lunettes O<sub>2</sub>)
- C De nébuliser le salbutamol en diluant avec du sérum physiologique, avec de l'O<sub>2</sub> vecteur
- D De nébuliser le salbutamol en diluant avec du sérum phy, avec de l'air (+ lunettes O<sub>2</sub>)



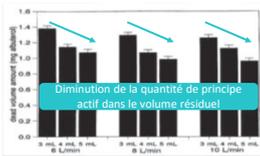
## 10) Transfert en pneumo

- Deux questions en une
- Faut-il diluer avec du sérum phy ?
- Le vecteur (air ou O<sub>2</sub>) a-t-il un impact ?



## 10) Transfert en pneumo

- Faut-il diluer ?
- Eventuellement... mais très discutable (non recommandé) :
  - effet relativement théorique (paradoxalement peu d'études)
  - de moins en moins vrai (dvpt technologiques)



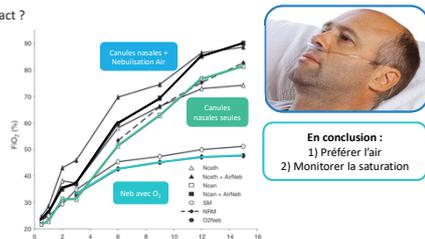
Pour 2,5 mg d'albuterol (dose nominale)  
Effets du volume et débit sur le volume résiduel (in vitro)

Volume de dilution  $p < 0.001$   
Débit de nébulisation  $p = 0.02$

Hess et al. Chest, 1996  
Vecellio L. Faut-il diluer les doses prêtes à l'emploi pour améliorer l'effet du traitement nébulisé ? In: SPLF. Thérapie par voie inhalée, 1<sup>ère</sup> édition, 2020.

## 10) Transfert en pneumo

- Le vecteur a-t-il un impact ?
- Probablement peu d'impact sur l'efficacité clinique de la nébulisation
- Mais attention à la FIO<sub>2</sub> finale...



En conclusion :  
1) Préférer l'air  
2) Monitorer la saturation

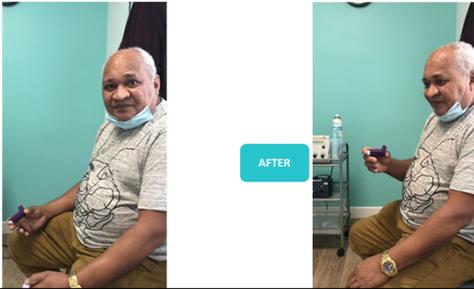
Callie, V., Ehrmann, S., Boissinet, E., Perrotin, D., Diot, P., & Dequin, P.F. (2009). *Journal of Aerosol Medicine and Pulmonary Drug Delivery*, 22(3), 255-261.  
Dequin P.F. Le meilleur gaz pour nébuliser est-il l'oxygène ? In: SPLF. Thérapie par voie inhalée, 1<sup>ère</sup> édition, 2020.

## 11) Sortant pour retour à domicile

- Tout est bien qui finit bien pour Monsieur Malchance
- Un retour à domicile s'organise
- Vous décidez de refaire le point avec lui sur la technique de prise des thérapies inhalées à domicile

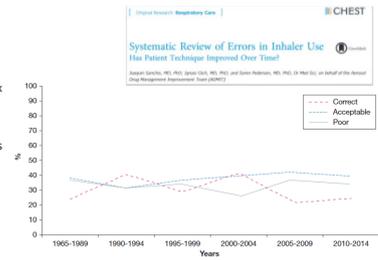


## 11) Sortant pour retour à domicile



## 11) Sortant pour retour à domicile

- Méta - analyse : 144 études – 54.354 sujets
- Correct : si les observateurs pensent que toutes les manœuvres ont été effectuées conformément aux recommandations ;
- Acceptable (passable ou bon mais sous-optimal) : si les observateurs estiment qu'environ les trois quarts des manœuvres sont conformes aux recommandations, y compris tous les aspects critiques ;
- Poor or very poor : si moins de la moitié des manœuvres étaient correctes et/ou si une ou plusieurs erreurs critiques étaient présentes.



Sanchis et al. Chest, 2016

## Take home messages

- La bonne délivrance des thérapies inhalées est **l'affaire de tous** !
- De façon générale, je privilégie :
  - L'embout buccal en respiration spontanée mais surtout... je reste pragmatique !
  - Les tamis vibrants chez les patients ventilés mais surtout... je reste pragmatique !
- De façon générale, j'évite :
  - Les cocktails ou les dilutions inutiles
  - L'oxygène inutile (voire délétère)
- Chez les patients sous assistance respiratoire
  - Je me rapproche du masque (de VNI)
  - Je m'éloigne de la canule (de haut débit ou d'intubation)



Merci pour votre attention...

 mathieu.delorme@u-bordeaux.fr

14/11/2024

160