

# SOTGh



réanimation 2022

PARIS 22-24 JUIN

Palais des Congrès de Paris  
Porte Maillot



## Sauts Opérationnels à Très Grande Hauteur

---

ENJEUX DU SOUTIEN MÉDICAL



SESSION : OBJECTIF OXYGÈNE



Je n'ai pas de lien d'intérêt potentiel à déclarer



Orateur :  
Médecin Principal Pierre-Emmanuel

# SOTGH PLAN

Largage militaire à très grande hauteur

- Définition
- Contraintes environnementales

Pathologies du milieu

- L'ambiance thermique extrême
- L'hypobarie d'altitude

Rôle des équipes médicales

- Sélection médicale
- Soutien médical des sauts



# Définition du niveau de vol

## Altitude-pression :

- altitude conventionnelle, obtenue en reportant la pression sur une courbe d'altitude standard
- **Le niveau de la mer** correspondant à une pression de **1013 hPa à 15°C** (atmosphère standard)

## Niveau de vol (Flight Level, FL) :

- **Altitude-Pression divisée par 100 ;**
  - **FL 240 = 24 000 ft  $\approx$  7300 m**
  - 1 pied = 1 ft = 0,3048 m
  - 1hPa = 28 ft

# Largage militaire à très grande hauteur

## Opérations spéciales effectuées en discrétion :

- Parachute à ouverture commandée
- voile dirigeable
- Infiltration discrète de commandos à partir d'un aéronef

## Très Grande Hauteur >FL 120

- Infiltration sous voile sur 20 à 40 km
- Poser sur une zone déterminée
- De jour comme de nuit
- Exposition à l'altitude réelle de vol au moment de la dépressurisation de la cabine



# Evolution de la pression atmosphérique en fonction de l'altitude

## HYPOTHERMIE

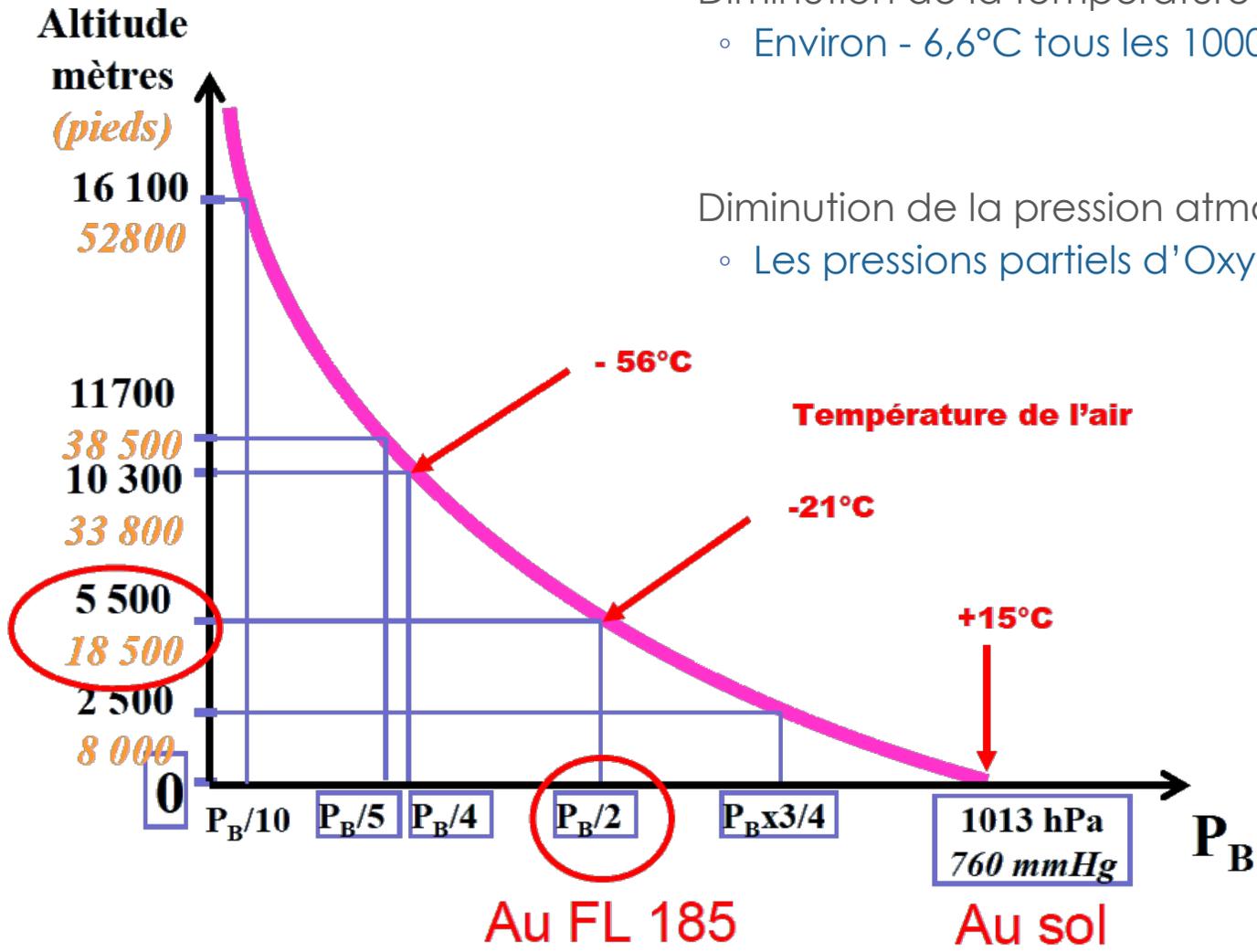
Diminution de la température en fonction de l'altitude

- Environ - 6,6°C tous les 1000 m jusqu'à -56°C à 11 000 m

## HYPOBARIE

Diminution de la pression atmosphérique en fonction de l'altitude

- Les pressions partielles d'Oxygène et d'Azote diminuent (loi de Dalton)



Composition en air  
ambient constante  
quelle que soit l'altitude  
O2≈21%N2≈79%

# Lois fondamentales des échanges gazeux

## Loi de Boyle-Mariotte :

- Pression x Volume = Constante
- Le volume d'un gaz est inversement proportionnel à la pression qu'il reçoit  
(Barotraumatisme – Accident de décompression)

## Loi de Dalton sur la Pression Partielle des Gaz :

- La pression totale exercée par un mélange gazeux est égale à la somme des pressions partielles des gaz le constituant
- La pression partielle d'un gaz est le produit de sa fraction par la pression totale du mélange  
(Hypoxie – Accident de décompression)

## Loi de Henry sur la Dissolution des Gaz :

- La quantité de gaz dissout dans un liquide est proportionnelle à la pression qu'exerce ce gaz sur le liquide  
(Accident de décompression)

# Hypobarie d'altitude

## Diminution de la **pression partielle en oxygène**

- Responsable d'une incapacité grave et rapide des personnels par **Hypoxie**

## Diminution de la **pression partielle en azote**

- Responsable de la **Maladie de décompression ou Aéroembolisme**

## Variation de la **pression barométrique**

- Responsable de **Barotraumatismes**



# Classification des états d'hypoxie

Selon la durée	Circonstances d'apparition	Types de troubles	Altitude	Délai avant les troubles
<b>Suraiguë (fulminante)</b>	<b>Décompression brutale de cabine Dysfonctionnement du système d'oxygène</b>	<b>Syncope inaugurale</b>	<b>&gt;7 500 m</b>	<b>Quelques secondes</b>
<b>Aiguë</b>	<b>Exposition progressive à l'altitude, altitude moyenne</b>	<b>Troubles psychiques, syncope possible</b>	<b>5 000 à 6 000 m</b>	<b>Quelques minutes</b>
<b>Prolongée</b>	<b>En cabine pressurisée</b>	<b>Fatigue</b>	<b>2 500 m</b>	<b>Quelques heures</b>
<b>Chronique</b>	<b>Vie en haute montagne</b>	<b>(adaptation)</b>	<b>3 500 m</b>	<b>Quelques jours à toute la vie</b>

Lésions neurologiques irréversibles 3 minutes après le début de la perte de conscience

# Tolérance à l'hypoxie aiguë

## Zone indifférente

- 0 – 1500 m
- pas de réaction physiologique
- sauf vision nocturne

## Zone de compensation complète

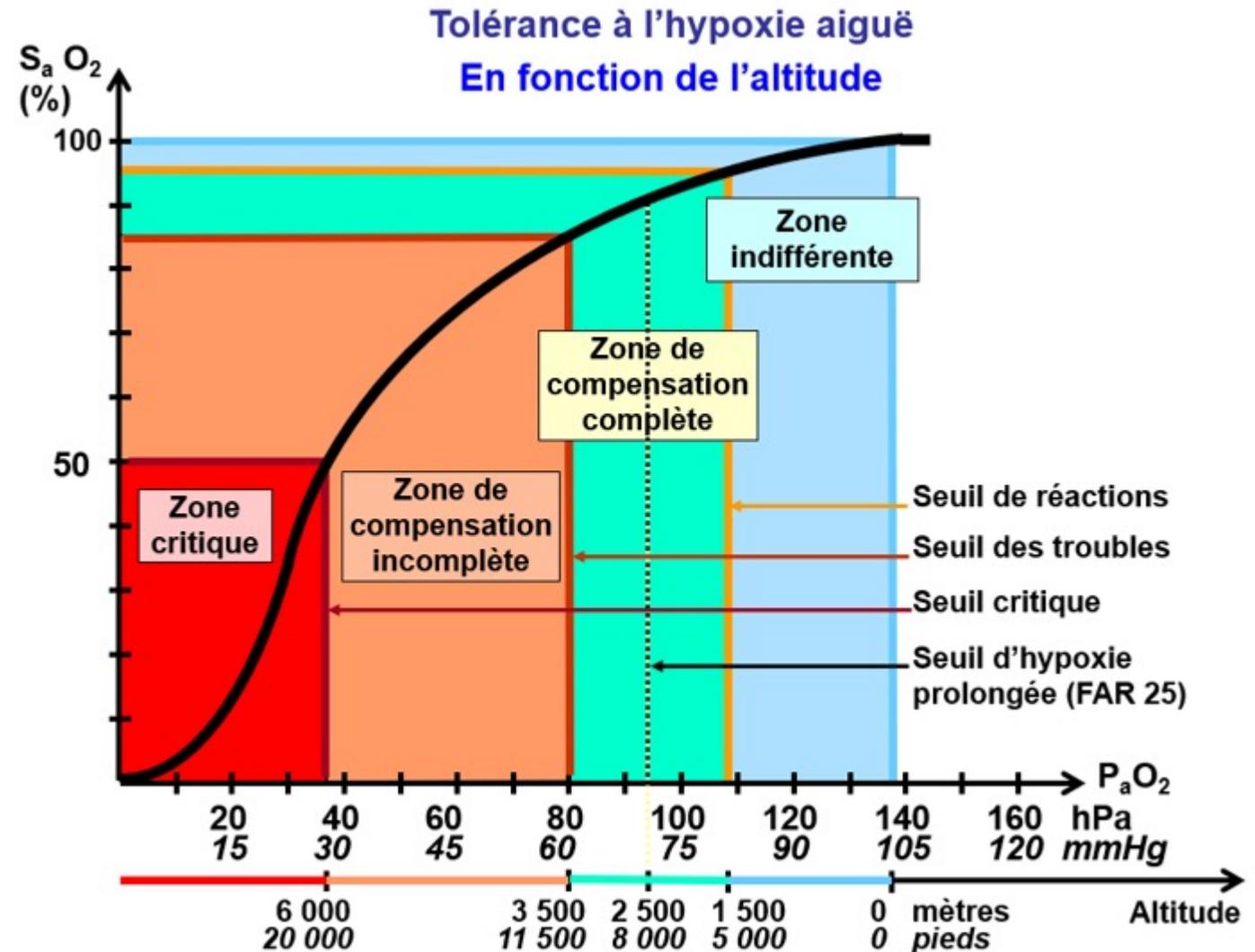
- 1500 – 3600 m
- réactions neuro-végétatives

## Zone de compensation incomplète

- 3600 – 6000 m
- FL 120 : seuil d'apparition des troubles
- risque d'hypoxie aiguë

## Zone critique

- > 6000m
- Risque de syncope sans prodromes



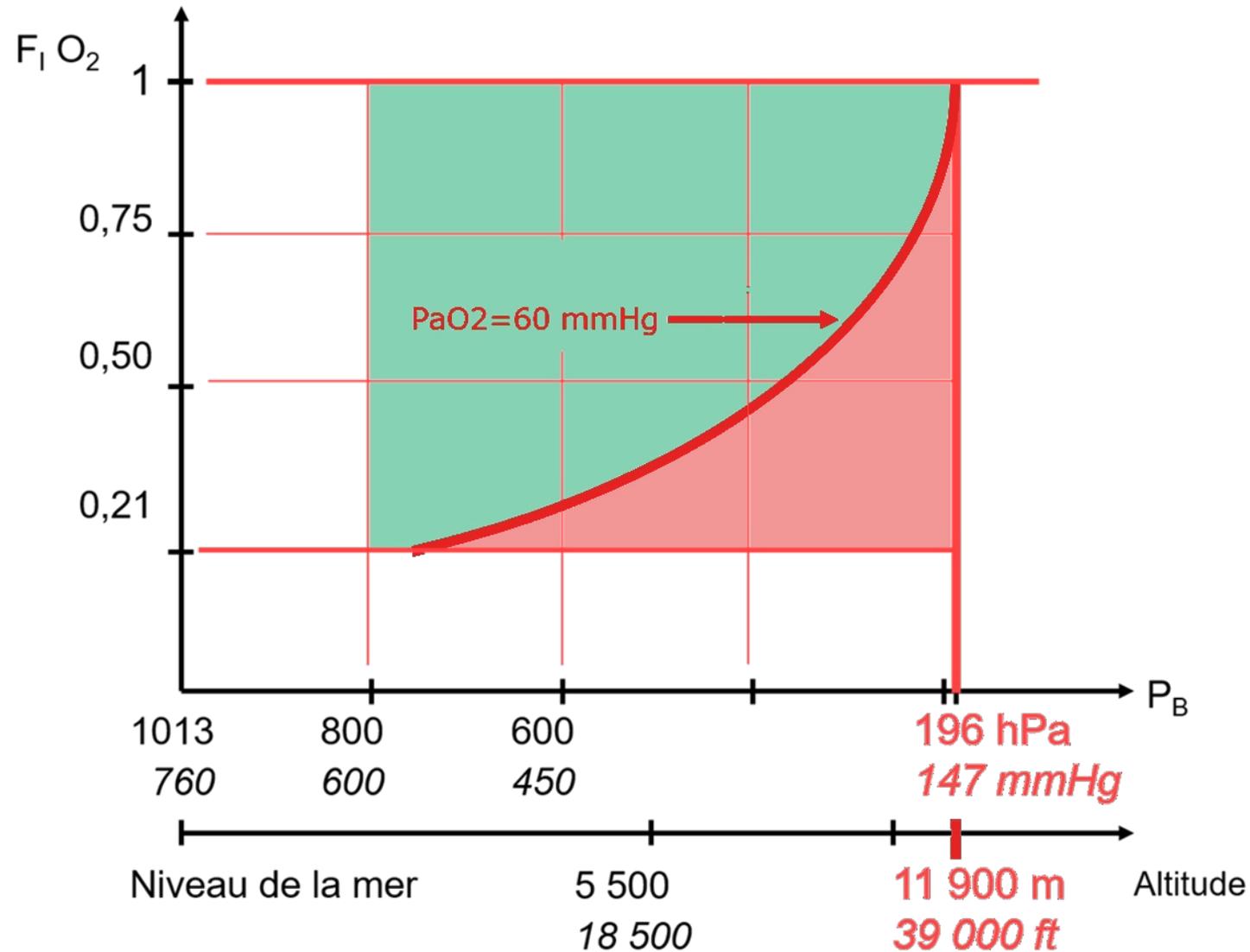
# Tolérance à l'hypoxie suraiguë

## Temps de conscience utile

- Réserve de temps dont dispose le sujet pour effectuer les opérations de sauvetage avant la perte de connaissance.

Altitude (mètres)	Sujets inhalant de l'oxygène		Sujets inhalant de l'air	
	Au repos	À l'exercice modéré	Au repos	À l'exercice modéré
7 000	10 min	5 min	5 min	2 min 30
8 000	5 min	2 min 30	2 min	1 min
8 500	2 min 30	1 min	1 min	30 s
9 000	1 min 30	45 s	45 s	20 s
10 500	45 s	30 s	30 s	15 s
12 000	30 s	20 s	20 s	15 s
13 500	15 s	12 s	15 s	12 s
16 500	15 s	12 s	15 s	12 s
20 000	12 s	12 s	12 s	12 s

# Altitude maximale avec $F_iO_2 = 1$ (En cabine non pressurisée)



# Hypoxie aigue lors d'un largage TGH

FL 240

H -10'

- Soute en cours de dépressurisation

SpO2 initiale à 66 %

- Normalisation en 1-2 minutes

Imputée à une fuite dans le masque



# Effets de l'hypoxie

## Effets sur les **fonctions psychiques**

- Lassitude, viscosité mentale, ralentissement psychique
- Altération du jugement
- Sensation d'ivresse
- Abattement, dépression
- Troubles mnésiques
- Troubles de la conscience
- Troubles cognitifs

Analyse de la situation

→ diminuée

Capacité à en déduire l'opération de sauvegarde à effectuer

→ quasi abolie

# Effets de l'hypoxie

## Effets sur les fonctions végétatives

### ◦ Ventilation

- **hyperventilation** liée à la stimulation hypoxique des chémorécepteurs carotidiens et aortiques
- modérée jusqu'à des altitudes de 7 000 mètres et limitée en raison de l'hypocapnie et de l'alcalose qu'elle induit

### ◦ Circulation

- **tachycardie** modérée avec augmentation du débit cardiaque et coronarien
- ECG : **ESV** > 3500 m

Altitude (mètres)	Augmentation de la ventilation (%)
1500	0 %
3000	4 %
4000	14 %
5000	24 %
6000	33 %
7000	50 %

# Effets de l'hypoxie

---

## Effets **physiologiques**

- Sur la vision
  - rétrécissement du champ visuel
  - altération de l'acuité visuelle
  - altération de la vision des couleurs
  - altération de la **vision nocturne (dès 1500m)**
- Peu d'effet sur l'audition
- Sur la fonction motrice
  - incoordination, mouvements cloniques, tremblements (> 4500 m)
- Troubles divers
  - céphalées, bouffées de chaleur, fourmillements des extrémités

# Hypoxie

Peu documentée pour les parachutistes

Dépend du FL de largage

- Temps de conscience utile pouvant aller jusqu'à 8 minutes au FL 250
- Augmentant considérablement en chute après le saut

→ Sauts effectués au FL 140 sans inhalation d'oxygène

- Peu de différence ressentie
- Personnel entraîné
- Exposition limitée



# Maladie de décompression

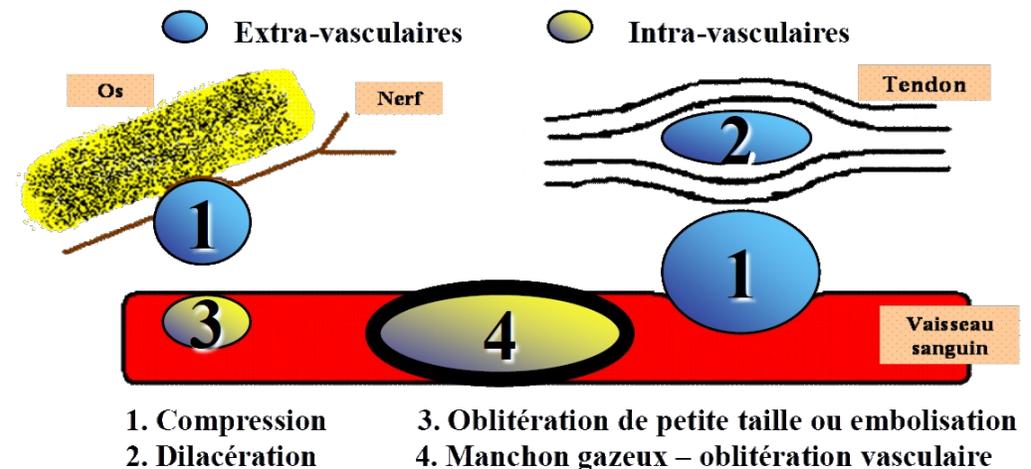
Pathologie médicale liée à l'azote (gaz inerte)

- 70 % de l'azote stocké dans le tissu adipeux (difficilement mobilisable)

*La baisse de Pp Azote environnante provoque un état de sursaturation dans les tissus*

Risque de création de bulles

- Piégées au niveau tissulaire ou vasculaire
  - Lésion de la paroi endothéliale
  - Réactions inflammatoire et pro-coagulante
  - Possible passage dans la circulation artérielle
    - Forme pulmonaire type Chokes
    - En cas de foramen ovale
    - Valvulopathie (phénomène de cavitation)



Apparition des symptômes possible plusieurs heures après l'exposition

*Decompression Sickness in the F/A-18C After Atypical Cabin Pressure Fluctuations. Aerosp Med Hum Perform. 2018 May 1; 89 (5): 478-482.*

# Maladie de décompression

Formes **bénignes** (accident de type I) :

- atteintes cutanées et ostéoarticulaires
- Fréquentes 80-90 %

Formes **graves** (accidents de type II) :

- atteintes cérébrales, médullaires, vestibulaires (5%)
- Pulmonaires (3%), cardiaques
- Rares



Rares cas décrits chez les populations de parachutistes

- Ces manifestations cliniques peuvent être masquées sur le plan opérationnel par : la température, les vibrations, les positions inconfortables, les accélérations, le stress.

Decompression sickness presenting as optic neuropathy. Aviat Space Environ Med. 1991

JERSEY SL, BARIL RT, McCARTY RD, MILLHOUSE CM. Severe neurological decompression sickness in a U-2 pilot. Aviat Space Environ Med. 2010 Jan

BUTLER W. USAF Experience with Hyperbaric Therapy of Altitude Decompression Sickness (1941-1999) NATO RTO-MP-HFM-062. 2001.

# Accidents barotraumatiques

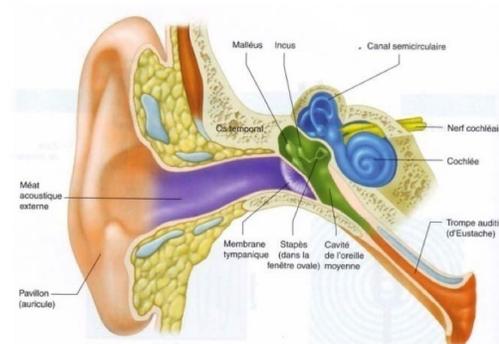
Dilatation et compression des gaz selon la loi de Boyle Mariotte  
**(Pression x Volume = constante)**

Montée en altitude: *La Pression diminue, Le Volume augmente*

- Sinusite barotraumatique
- Aéro-odontalgie
- Signes digestifs

Descente: *La Pression augmente, Le Volume diminue*

- Otite barotraumatique
  - essentiellement lors de la chute initiale, ou au cours de la descente pour l'équipage



# Rôles des équipes médicales

## Mesures préventives :

### Sélection technique et médicale des parachutistes

- Visite médicale d'aptitude
- Centre d'expertise médicale du personnel navigant (CEMPN)

### Caisson hypobare du **Département de Médecine Aéronautique Opérationnelle**

- Test d'exposition hypoxique hypobare en initial puis en normobare tous les 5 ans
- Carte d'identité individuelle à l'hypoxie
  - chronologie et typologie d'apparition des symptômes
  - propre à chaque individu
  - reproductible si la personne était exposée à une nouvelle hypoxie



# Prévention des pathologies

Evaluation du rapport : intérêt opérationnel/risque

- Limiter l'exposition si possible

Prévention du risque **d'hypoxie**

- Inhalation d'**oxygène** : augmentation de la Fi O<sub>2</sub>
- Pressurisation cabine Pb (impossible au moment du largage)

Prévention du risque **d'accident de décompression**

- Dénitrogénéation : **oxygène** pur avant l'exposition à l'hypobarie
  - **Éliminer l'azote dissout dans les compartiments tissulaires à élimination rapide**
  - **Risque** de formation de bulles **diminué**
  - Calcul du volume nécessaire au préalable

# Dénitrogénéation

## Profils d'exposition au FL 250 pendant 4 h

ADD au FL 250	Dénitrogénéation	Effort physique
80 %	aucune	non
25 %	60 minutes	oui
40 %	30 minutes	oui
65 %	60 minutes	non

*«Altitude DCS at 7620 m following prebreathe enhanced exercise periods» ASEM vol 75 n°10 october 2004*

## Recommandations (risque d'ADD < 20%)

Niveau de vol	Dénitrogénéation	Temps exposition
< FL 180	Non exigée	illimité
FL 180 – FL 209	30 minutes	illimité
FL 210 – FL 249	45 minutes	60 minutes max
FL 250 – FL 299	45 minutes	45 minutes max
> FL 300	45 minutes	30 minutes max

La dénitrogénéation doit se faire à un niveau de pressurisation cabine < 160 FL

*The effect of staged decompression while breathing 100 % oxygen on altitude decompression sickness. Aviat Space Environ Med. 2000 Jul*

# Oxygène (aéronautique : $FO_2 > 0,950$ )

## Bouteille collective

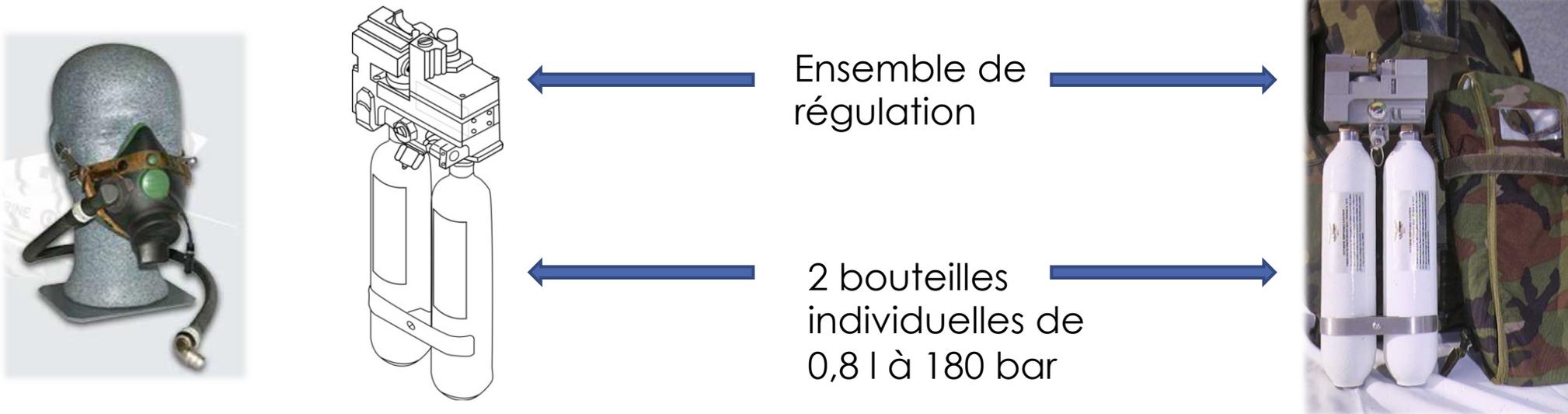
- Bouteille collective de 25 l à 125 bar (3125 l d'O<sub>2</sub>)
- La pression est détendue entre 6,5 et 8,5 bar pour des débits jusqu'à 400 dm<sup>3</sup>/min

Auto - Surveillance des personnels par des oxymètres



# Ensemble individuel portable

Masque, détendeur/régulateur, source d'oxygène



Mélange gazeux délivré par l'ensemble individuel après déconnexion de la bouteille collective :

- Au dessus du FL 180 → 100% d'oxygène
- Du FL 180 au sol → en dilution proportionnelle à l'altitude

# Exemple d'un saut au FL 200

**H-60'** : 10 minutes pour la mise en place des moyens d'oxygénation

**H-50'** : 30 minutes de **dénitrogénéation**

**H-20'** : 10 minutes de **dépressurisation**

**H-10'** : 5 minutes pour l'ouverture de la rampe avion

**H-5'** : 5 minutes pour les derniers équipements et les vérifications

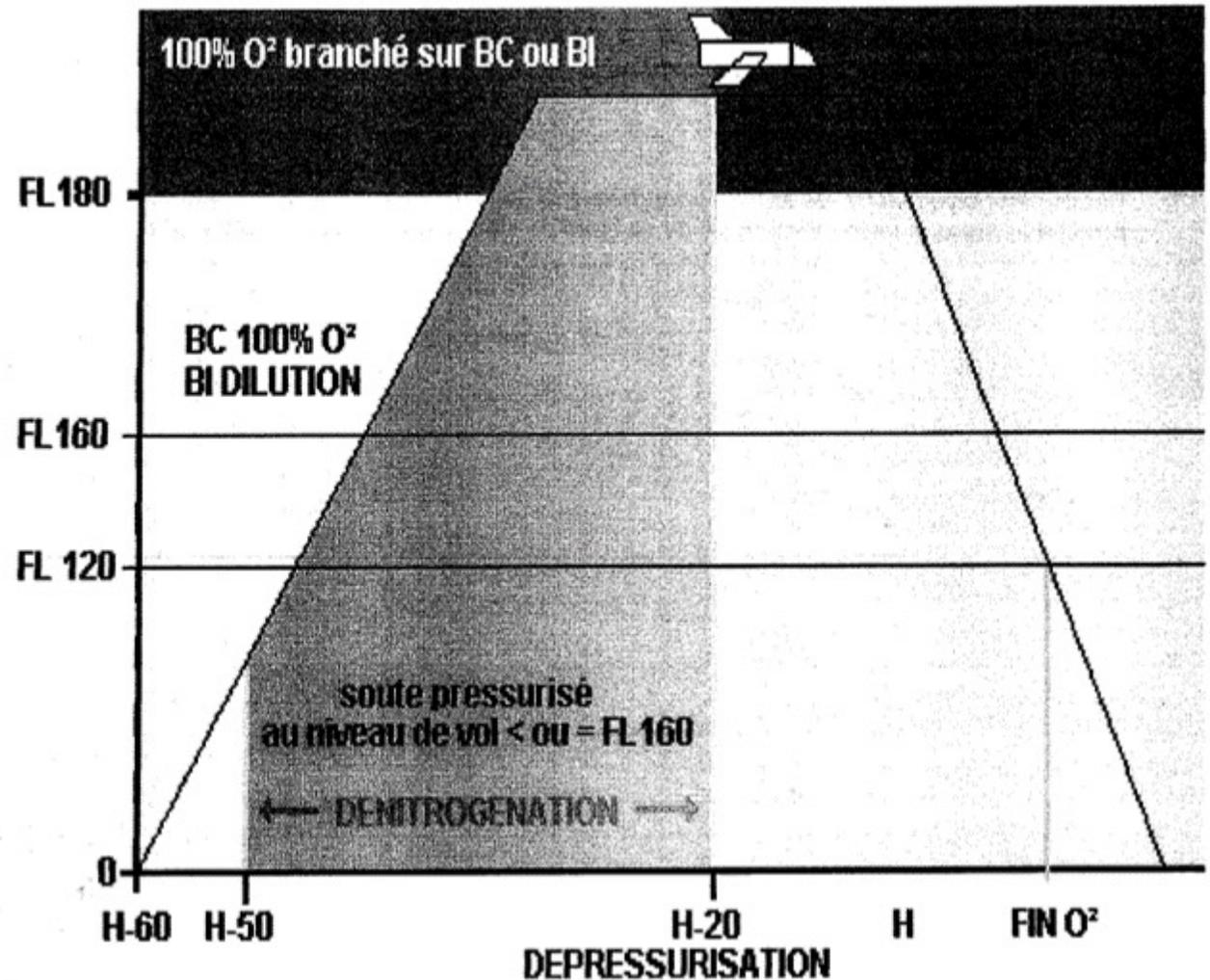




Photo : Roméo, 2014

# Survenue d'un accident grave en vol

## Mise sous Oxygène médical 100% normobare

- 1 bouteille d'oxygène médical de 15 litres - 200 bars
- Avec une tuyauterie spécifique, un débitmètre et un masque insufflateur

## Selon les conditions tactiques

- **Descente d'urgence**
- **Recompression** de la soute à l'altitude la plus basse possible

➔ Résolution des symptômes dans les 2 heures dans plus de 90 % des cas

Altitude decompression sickness symptom resolution during descent to ground level. Aviat Space Environ Med. 2004 Jun; 75 (6): 496-9.

# En cas de suspicion d'ADD

## Accident de décompression de **type I**

- **Oxygénation normobare** poursuivie **pendant 2 H au niveau du sol**
- Descente de l'aéronef
- Traitement symptomatique

## Accident de **type II** ou accident de **type I non résolutif**

- **Oxygénothérapie normobare continue**
- Orientation vers un **centre hyperbare**
- Résolution des troubles dans plus de 95% des cas

*Towards new paradigms for the treatment of hypobaric decompression sickness. Aviat Space Environ Med. 1998 Apr; 69 (4): 403-9*

# En cas de suspicion de barotraumatisme

- Otoscopie
- Traitement des affections de la sphère ORL (Corticoïdes...)
- **Nouveau saut contre indiqué**



## Enjeux **MEDICAUX, TECHNIQUES** et **OPERATIONNELS**

Place de l'Oxygène

Gestion du matériel

Intérêt tactique

Expertise du Service de Santé  
des Armées



Soutien et suivi médical adapté