

Rétablissement de l'oxygénation

Pourquoi ?

Les causes d'altération de l'oxygénation sont fréquentes

Toutes les causes de traumatisme



Par détresse respiratoire ou choc hypovolémique hémorragique

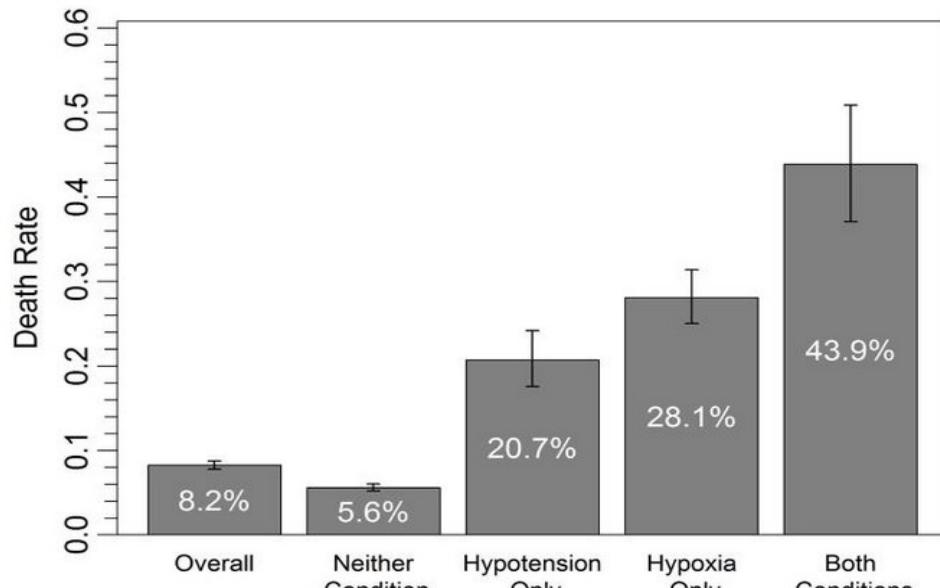
$$\text{CaO}_2 = (0,003 \cdot \text{PaO}_2) + (\text{Hb} \cdot 1,39 \cdot \text{SaO}_2)$$

Dissous

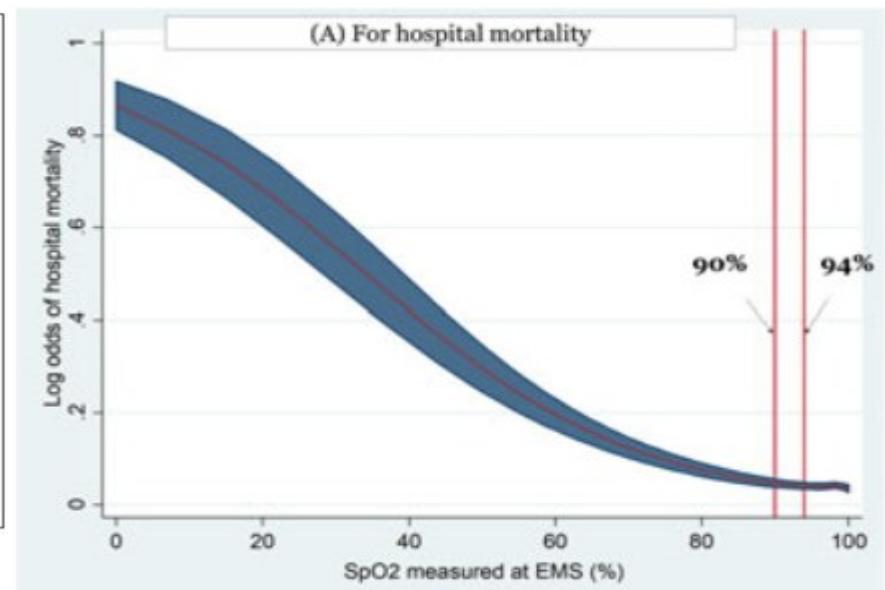
Transporté

Les causes d'altération de l'oxygénéation sont fréquentes

De plus l'hypoxie est un facteur aggravant du traumatisme



[Ann Emerg Med. 2017 Jan; 69\(1\): 62–72](#)

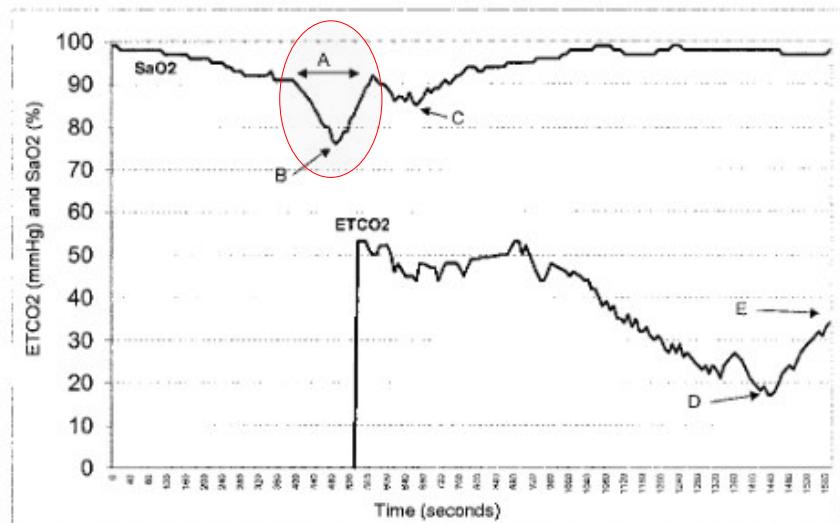


[Prehosp Emerg Care. 2018 Jul-Aug;22\(4\):485-496](#)

Notamment en cas d'atteinte cérébrale, Surtout si existe une hypoTA

Les causes d'altération de l'oxygénéation sont fréquentes

Notamment lors d'une induction en séquence rapide



Près de 10 % de désaturation, y compris en des mains expertes

Table 4

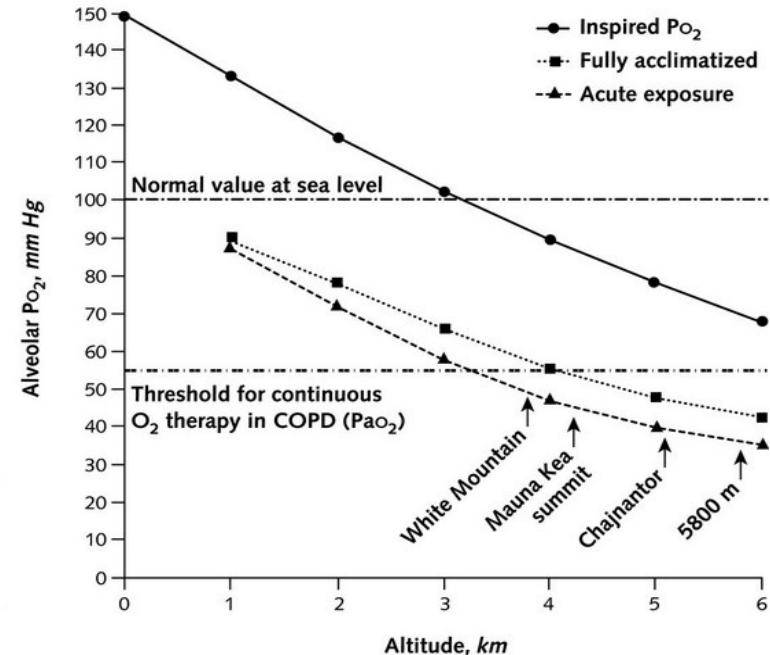
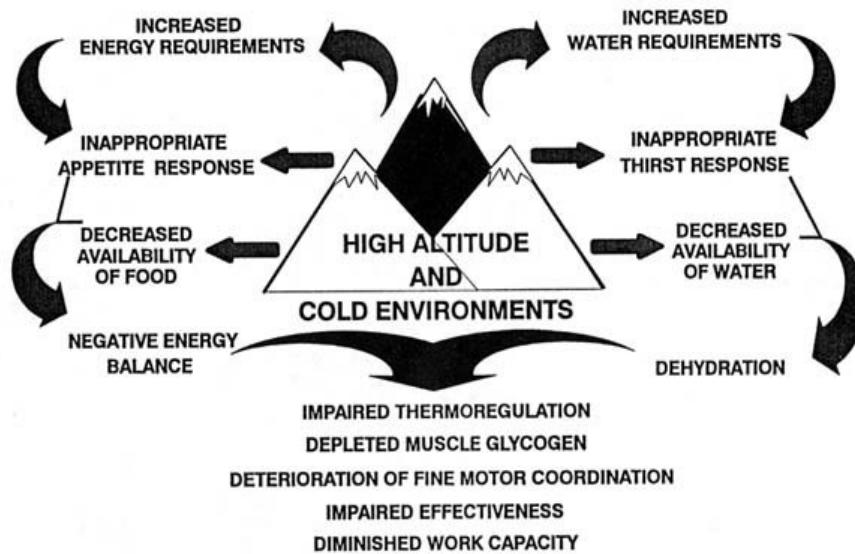
Characteristics of patients experiencing desaturation during pre-hospital rapid sequence intubation grouped by their diagnosis (values expressed as percent and median and IQR and mean +/- SD).

	Overall	Trauma	Medical	
Episode of desaturation (%)	20 (13.3%)	15 (12.8%)	5 (15.2%)	n.s.
ΔSpO_2 desaturation (%) (mean +/- SD)	24 ± 10	22 ± 10	28 ± 7	n.s.
Duration of desaturation (sec.)	50 (30–92)	40 (28–60)	116 (90–184)	< 0.05
$SpO_2 \geq 90\%$ at RSI-start	13 (65.0%)	10 (66.6%)	3 (60.0%)	n.s.
$SpO_2 < 90\%$ at RSI-end	18 (90.0%)	13 (86.7%)	5 (100.0%)	n.s.
$SpO_2 < 90\%$ at RSI-end +2 min.	2 (10.0%)	0 (0.0%)	2 (40.0%)	n.s.
$SpO_2 \geq 96\%$ upon hospital admission	150 (9.4%)	117 (100.0%)	33 (100.0%)	n.s.

IQR, interquartile range.

Les causes d'altération de l'oxygénation sont fréquentes

Et particulièrement lors de combats en altitude, car la pression barométrique ↓



The Physiologic Basis of High-Altitude Diseases - West JB Ann Intern Med. 2004;141:789-800.

Altitude, froid, dénivelés rapides : Être préparé pour intervenir au dessus de 2500 m

$$\text{PIO}_2 = [\text{FIO}_2 \bullet (\text{PB} - 47)] - \text{PaCO}_2 / \text{R}$$

$$\text{CaO}_2 = 1,34 \cdot \text{Hb} \cdot \text{SaO}_2 + 0,003 \cdot \text{PaO}_2$$

Les causes d'altération de l'oxygénation sont fréquentes

Les effets des explosions en milieu confiné ou par armes thermobariques



Surpression pulmonaire

Intoxication fumées d'incendie, Poussières, CO, Acide Cyanhydrique

Les causes d'altération de l'oxygénéation sont fréquentes

La rareté de l'oxygène disponible



Dans votre sac à dos ? Plutôt avec vos moyens d'EVASAN

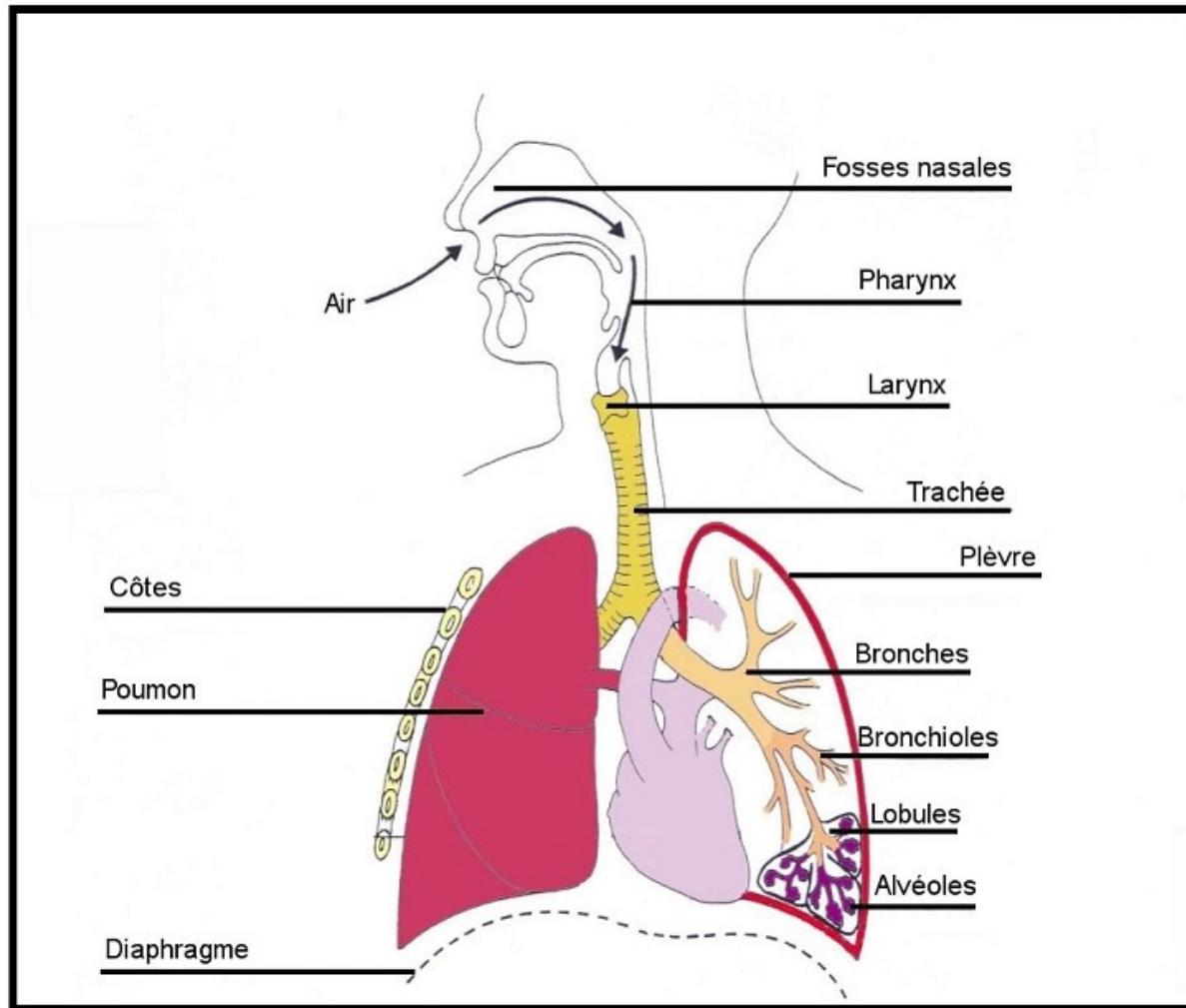
« *In our dataset, more than 1 in 5 casualties overall had documented hyperoxia on ABG measurement, 1 in 3 intubated casualties, and almost 1 in 2 TBI casualties. With limited oxygen supplies in theater and logistical challenges with oxygen resupply, efforts to avoid unnecessary oxygen supplementation may have material impact on preserving this scarce resource and avoid potential detrimental clinical effects from supraphysiologic oxygen concentrations »*

Ressource mal utilisée ?

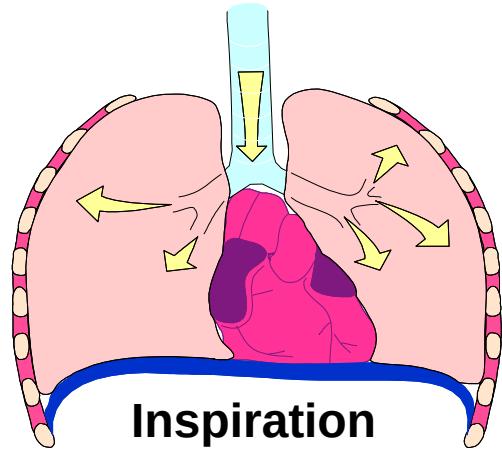
Quelques données d'anatomie et de physiologie

Appliquées aux conditions de combat

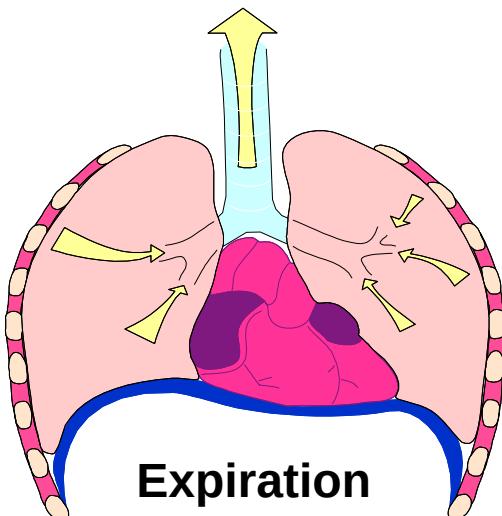
Anatomie de l'appareil respiratoire



Physiologie de l'appareil respiratoire



P intrathoracique < P barométrique



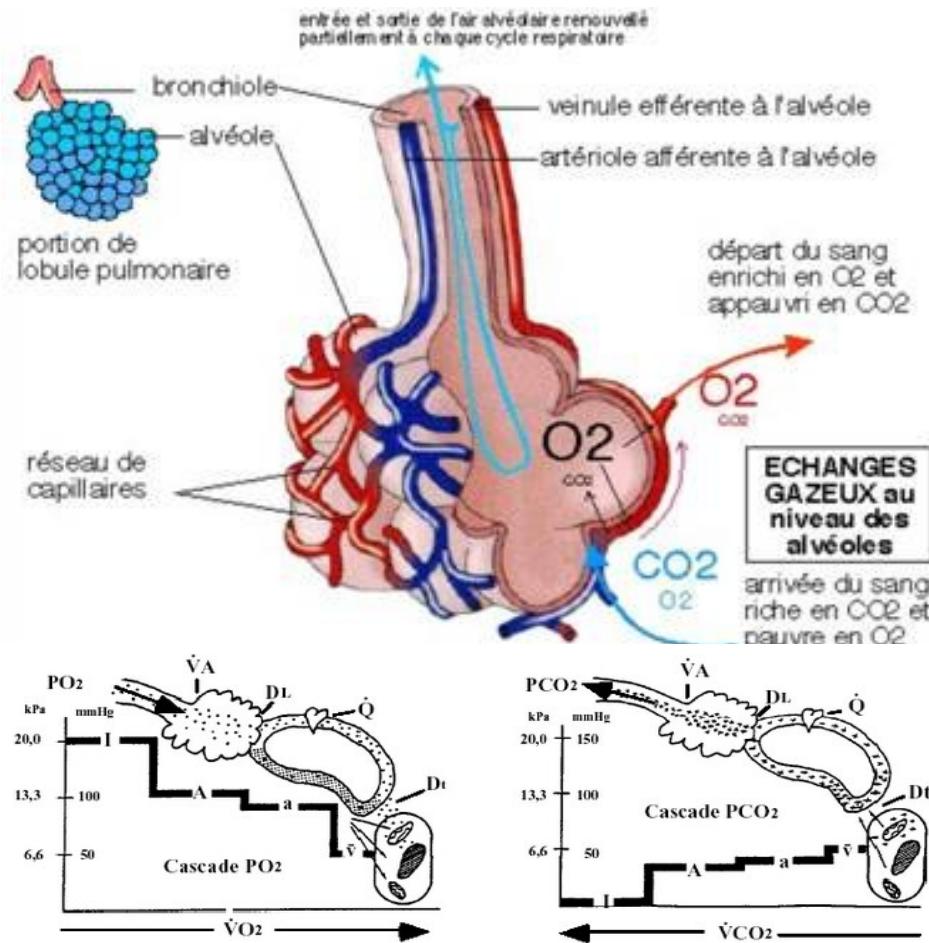
P intrathoracique > P barométrique

Une ventilation n'est adaptée que si:

1. Les voies aériennes sont libres
2. La stabilité costale est assurée
3. La vacuité pleurale est assurée
4. Le soufflet diaphragmatique est fonctionnel
5. La commande ventilatoire est normale

Physiologie de l'appareil respiratoire

Ce qui se fait au niveau pulmonaire est important : ***La ventilation alvéolaire***

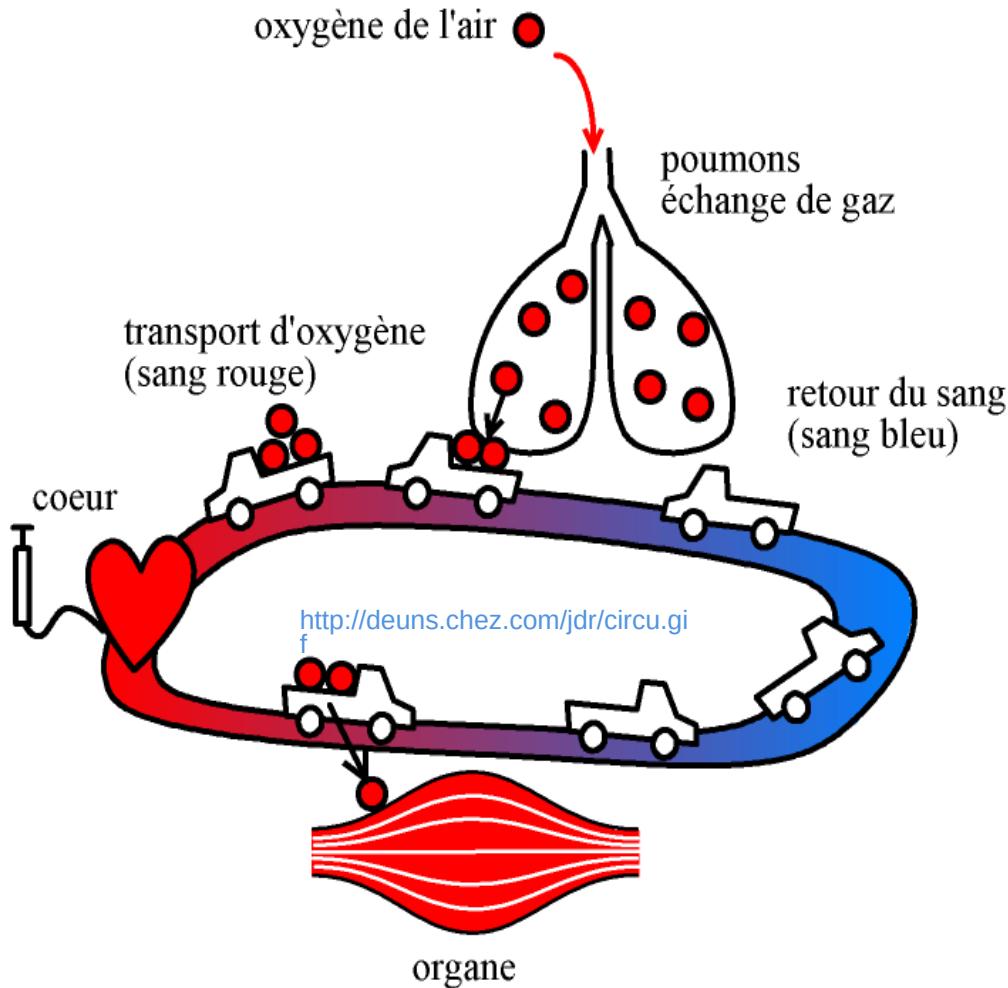


Oxygéner

Éliminer le gaz carbonique

Physiologie de l'appareil respiratoire

Mais pour oxygéner les tissus, d'autres étapes sont toutes aussi importantes



Le transport vers les cellules

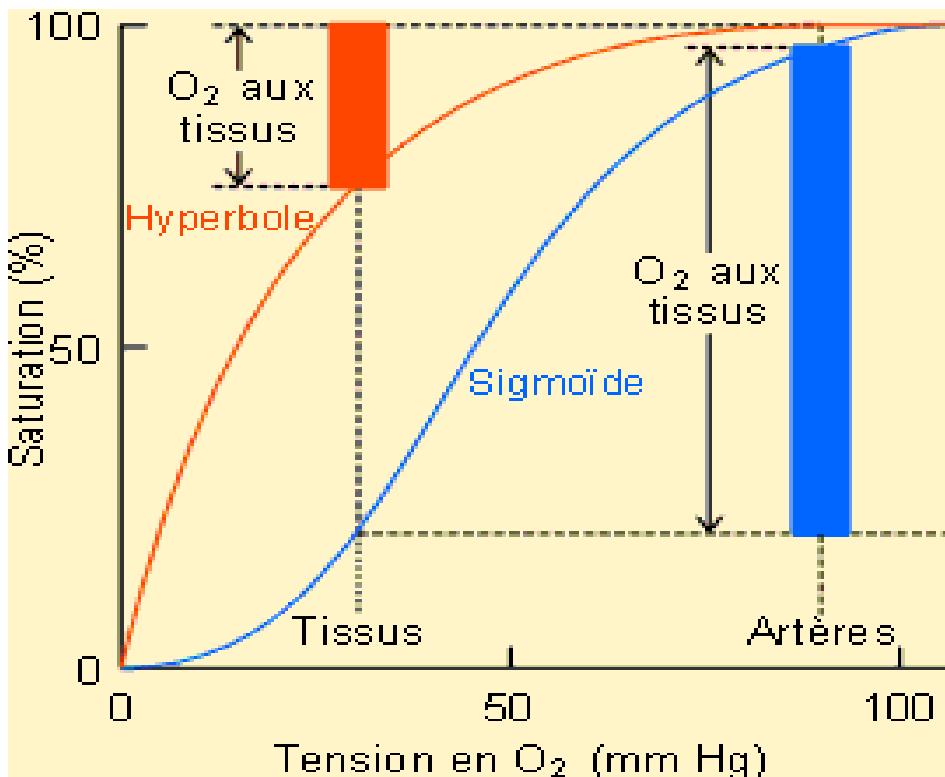
L'extraction par les cellules

L'utilisation par les cellules

L'élimination des métabolites

Physiologie de l'appareil respiratoire

Oxygénation et hémoglobine



La forme sigmoïde de cette courbe favorise le relargage de l'O₂ au niveau de la micro-circulation

$$TaO_2 = CaO_2 \times Qc$$

$$CaO_2 = 0,003 \times PaO_2 + 1,34 \times Hb \times SaO_2$$

$$VO_2 = Qc \times (CaO_2 - CvO_2)$$

$$Qc = f \times VES$$



Altitude



Anémie



Entraînement



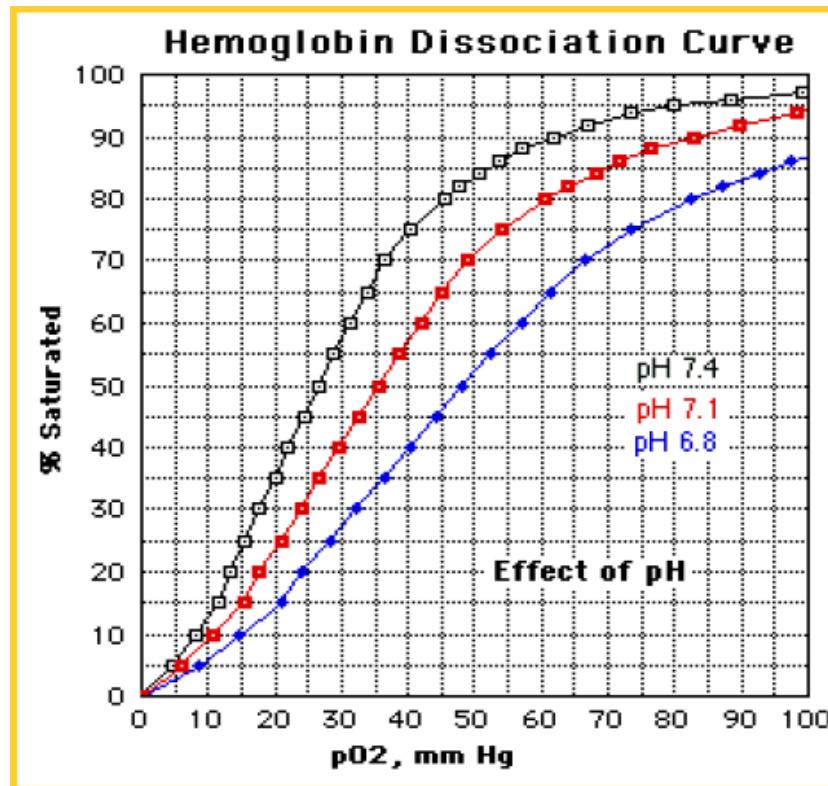
Hypovolémie



Baroréflexe

Physiologie de l'appareil respiratoire

Oxygénation et Acidose



pCO₂, 2,3DPG, θ°C ⇒

$$\text{CaO}_2 = 0,003 \times (\text{Hb}) + 1,34 \times \text{Hb} \times \text{SaO}_2$$

$$\text{VO}_2 = Q \times (\text{CaO}_2 - \text{CvO}_2)$$



Le pH



L'entraînement

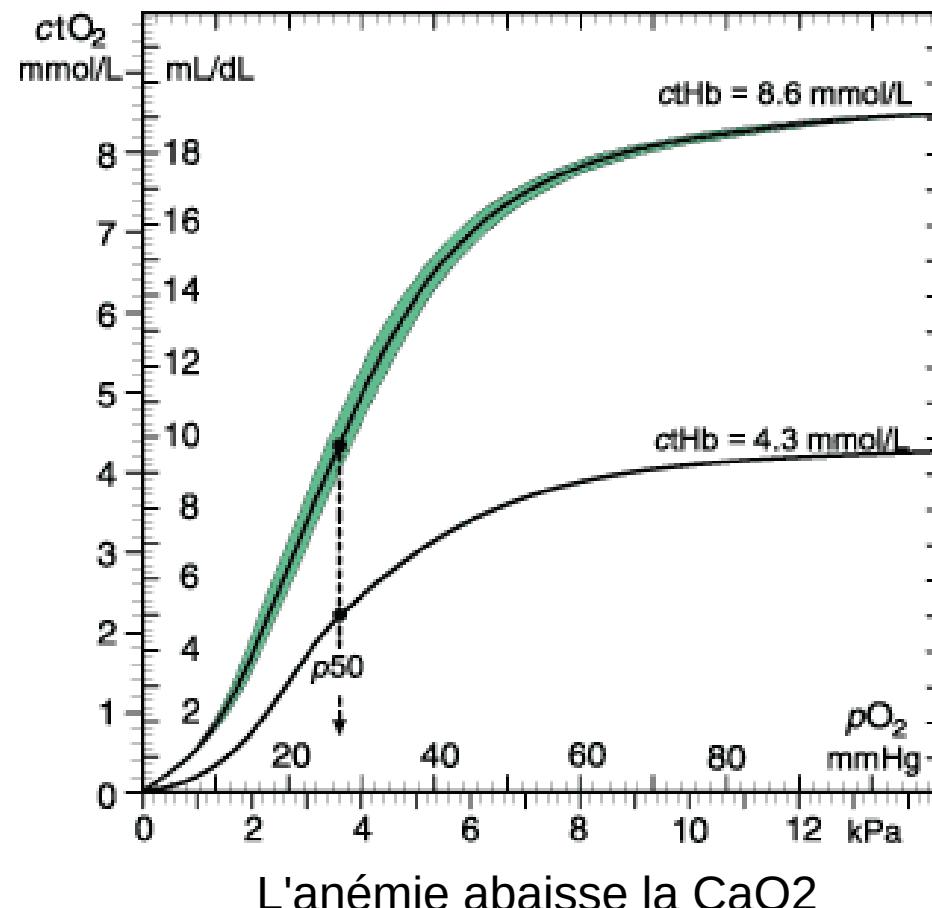


L'Hb elle même

Tout ce qui modifie la courbe de dissociation a un impact sur l'oxygénation tissulaire

Physiologie de l'appareil respiratoire

Oxygénation et anémie



$$TaO_2 = CaO_2 \times Qc$$

$$CaO_2 = 0,003 \times PaO_2 + 1,34 \times Hb \times SaO_2$$

$$VO_2 = Qc \times (CaO_2 - CvO_2)$$

$$Qc = f \times VES$$



Altitude



Anémie



Entraînement



Hypovolémie



Baroréflexe

Physiologie de l'appareil respiratoire

Oxygénation et anémie

Un retentissement majeur sur l'oxygénation

$$\text{CaO}_2 = 0,003 \times \text{PaO}_2 + 1,34 \times \text{Hb} \times \text{SaO}_2$$

Moins d'oxygène dans le sang

Altitude : 3650 mètres	FiO ₂	SaO ₂	Hb (g/dl)	Q' 1/min	DO ₂ ml/min	PVO ₂	SvO ₂
Avant hémorragie (H)	0,21	88%	15	6	1 111	36	66%
Après H + remplissage	0,21	85%	7	5	421	13	13%
Après H + O ₂ masque facial	0,7	99%	7	5	519	21	32%
Après H + O ₂ par intubation	1	99%	7	5	540	22	3%

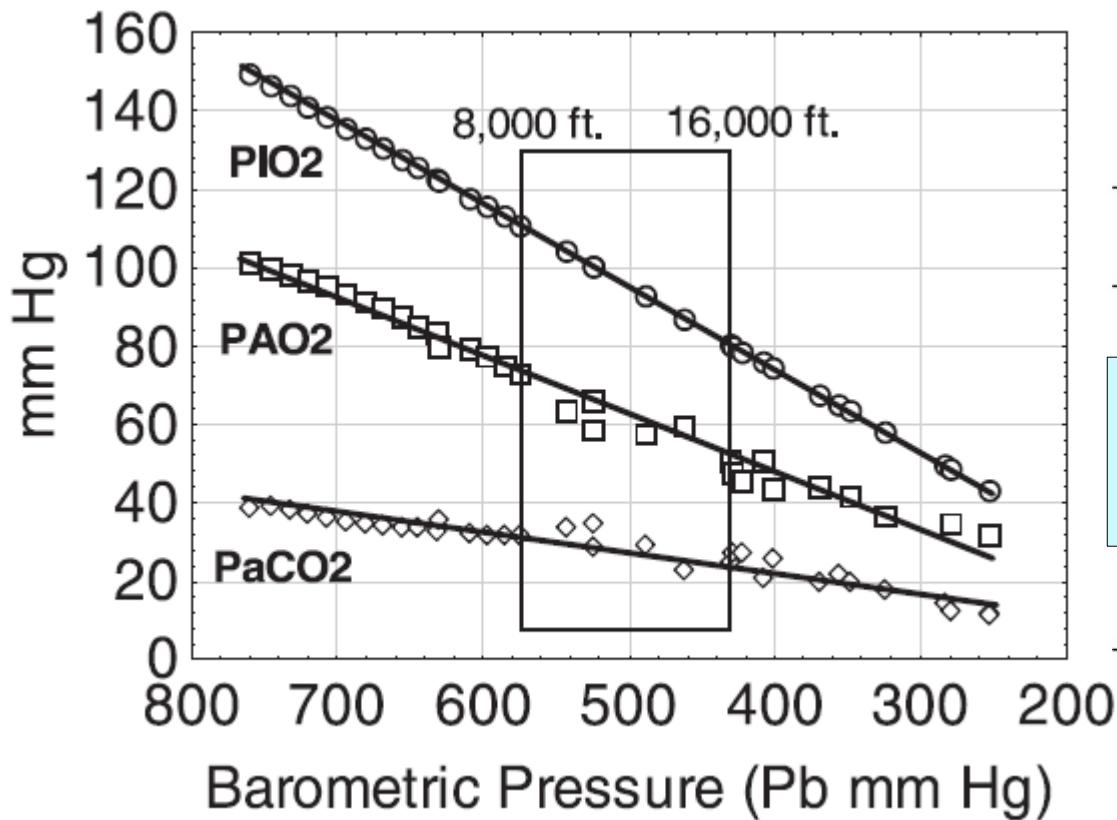
Choc hémorragique en altitude avec VO₂ = 250 mL O₂/min et 350 mL/min O₂/min avant trauma – Objectif pouls palpable

Pour améliorer le transport : Apporter de l'oxygène ou / et transfuser

Physiologie de l'appareil respiratoire

Oxygénation et altitude

C'est la pression barométrique qui baisse et pas la FiO₂



Hypoxie hypobarique

$$\text{PIO}_2 = (\text{Pb} - \text{PH}_2\text{O}) \times \text{FIO}_2$$

$$\text{PAO}_2 = \text{PIO}_2 - (\text{PaCO}_2 / 0,8)$$

Altitude	Barometric Pressure (mm Hg)	PIO ₂ (mm Hg)	PaO ₂ (mm Hg)	PaCO ₂ (mm Hg)
Feet	Meters			
Sea level		760	150	40
5,000	1,520	635	123	36
8,000	2,440	574	111	34
10,000	3,050	534	102	32
12,000	3,660	495	94	30
14,000	4,270	460	87	28
16,000	4,880	425	79	26
20,000	6,100	365	67	22
26,000	7,930	287	50	14
29,028	8,848	253	43	11



Acclimatation

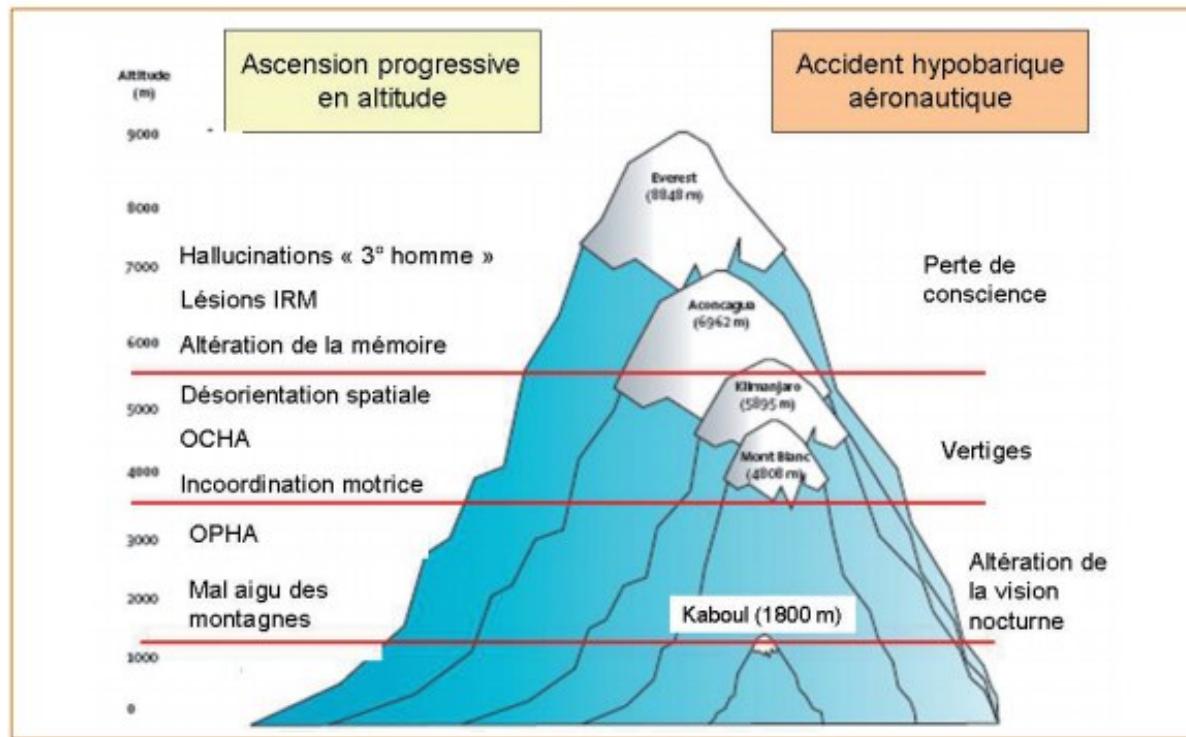
Altitude de combat afghanistan : 2500 m

Physiologie de l'appareil respiratoire

Oxygénation et altitude

Hypoxie hypobare

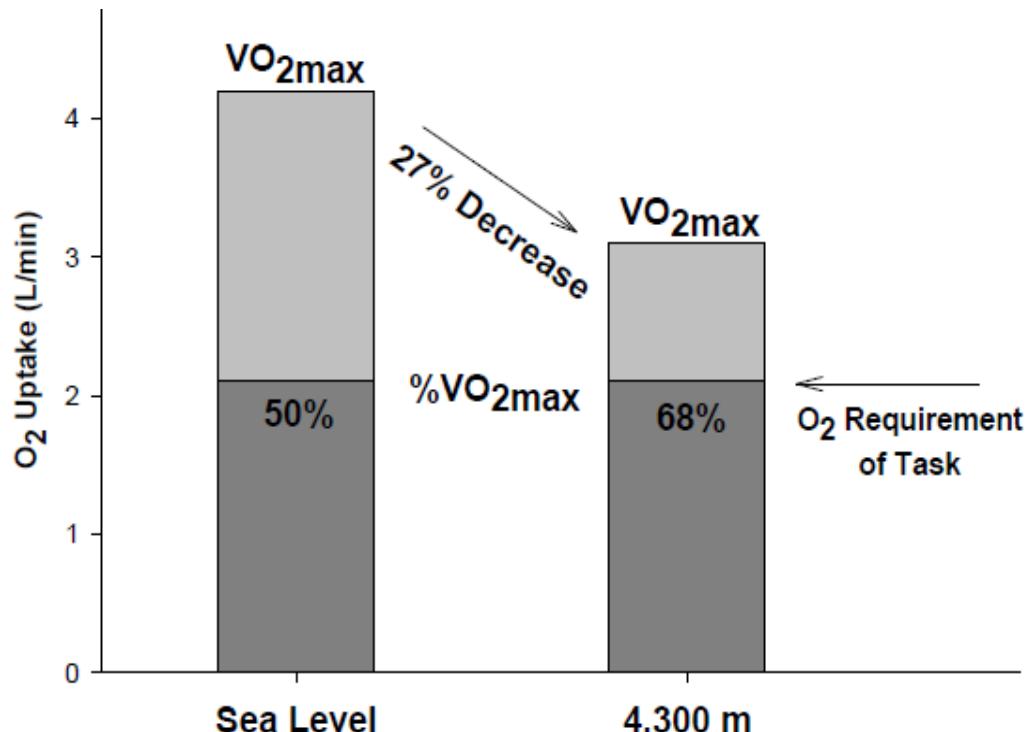
C'est la pression barométrique qui baisse et pas la FiO₂



Altitude de combat afghanistan : 2500 m

Physiologie de l'appareil respiratoire

Oxygénation et altitude

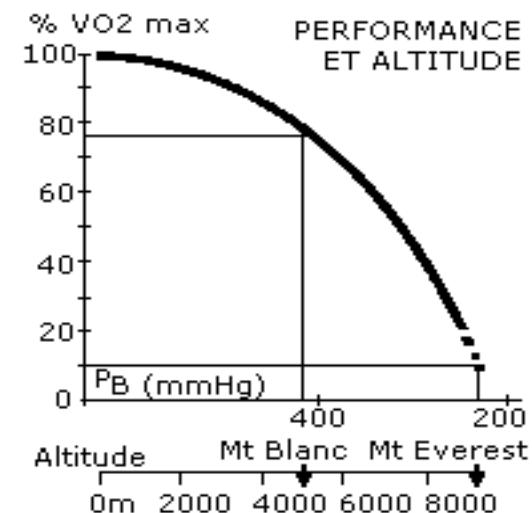


Increase in percent maximal oxygen uptake despite no change in task requirement at 4,300 meters



La VO₂ Max baisse

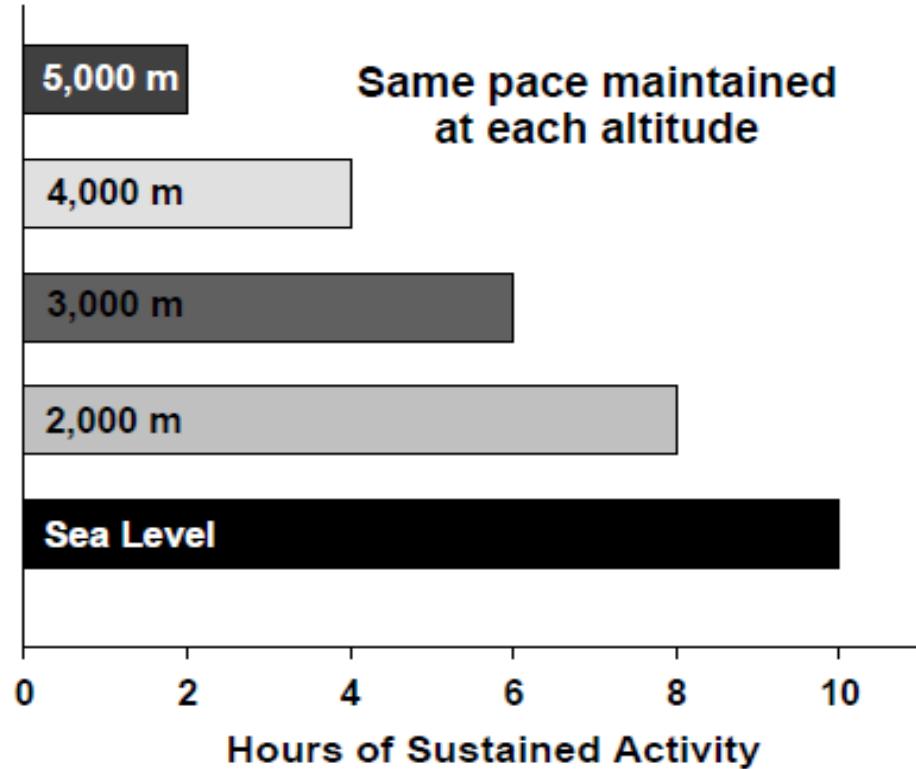
$$\text{VO}_2 = Q \downarrow \times (\text{CaO}_2 - \text{CvO}_2) \downarrow$$



Physiologie de l'appareil respiratoire

Oxygénation et altitude

Une capacité à l'effort moindre



- *Le même effort est soutenu moins longtemps en altitude*
- *Effet bétabloquant de l'altitude*
- *Et cela altère la performance du sauveteur*

Discussion d'O2 pour les sauveteurs si l'intervention >30min , au-delà de 3500 m

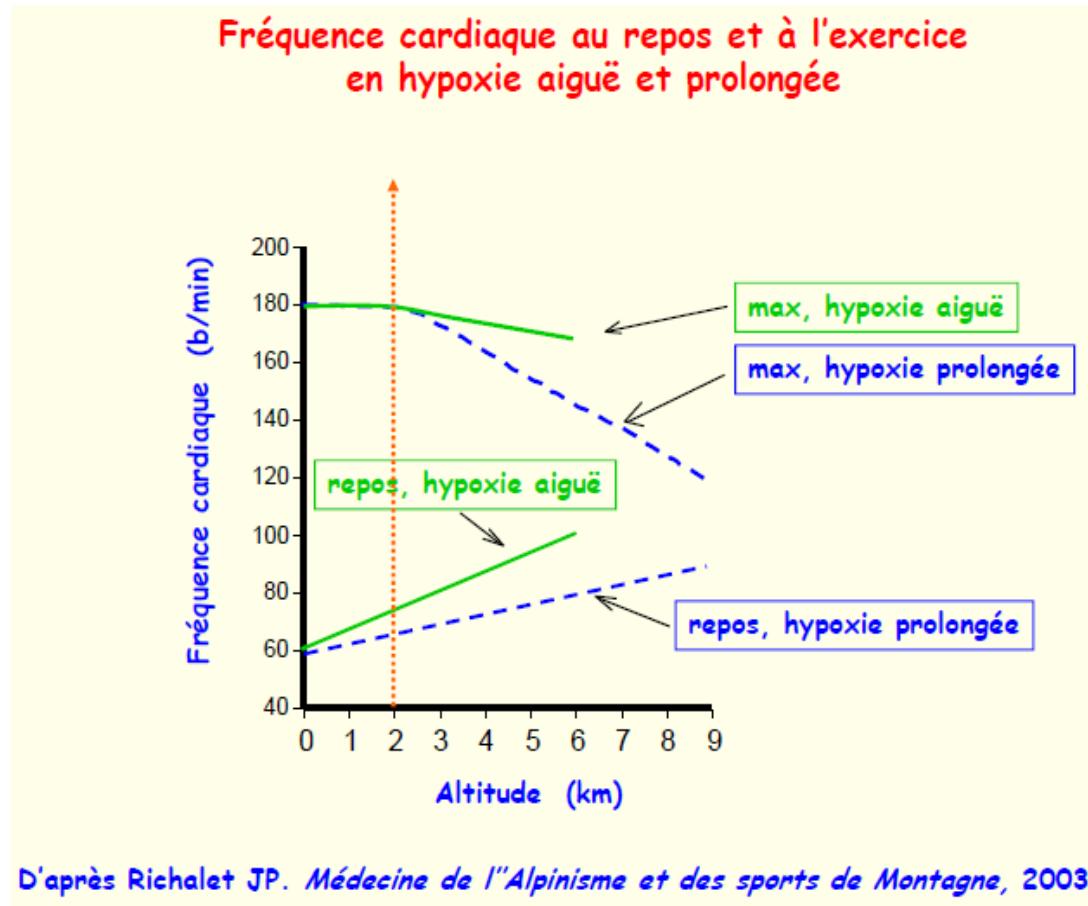


Reconnaître l'hypoxémie / hypoxie (?)

Reconnaître l'hypoxémie/ hypoxie (?)

Des signes cliniques qui dépendent de l'adaptation préalable

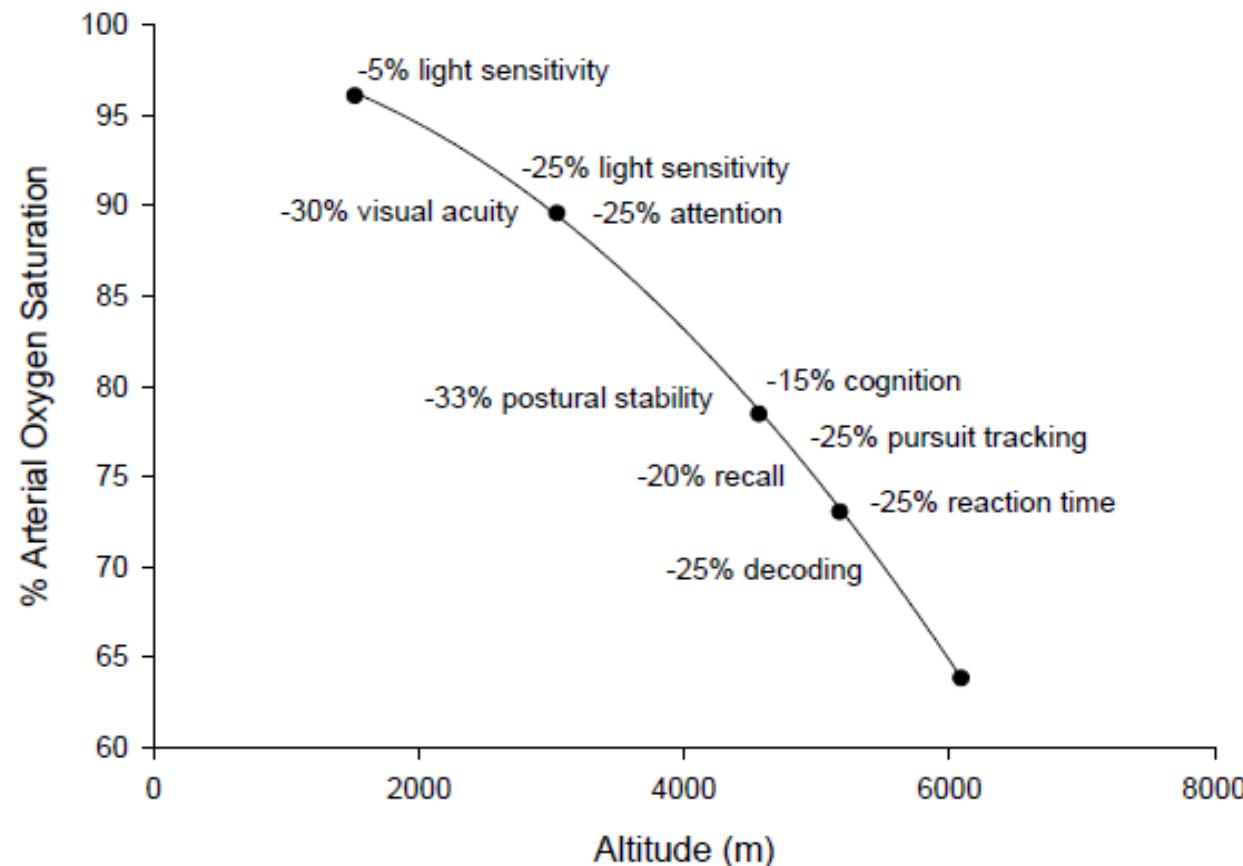
Les effets cardio-respiratoires



Reconnaître l'hypoxémie/ hypoxie (?)

Des signes cliniques qui dépendent de l'adaptation préalable

Les effets neurosensoriels



Reconnaître l'hypoxémie/ hypoxie (?)

Des signes cliniques qui dépendent de l'adaptation préalable

Les signes cutanéo-muqueux :

La cyanose

Moins de 5 g/dl d'Hb désoxygénée CAPILLAIRE

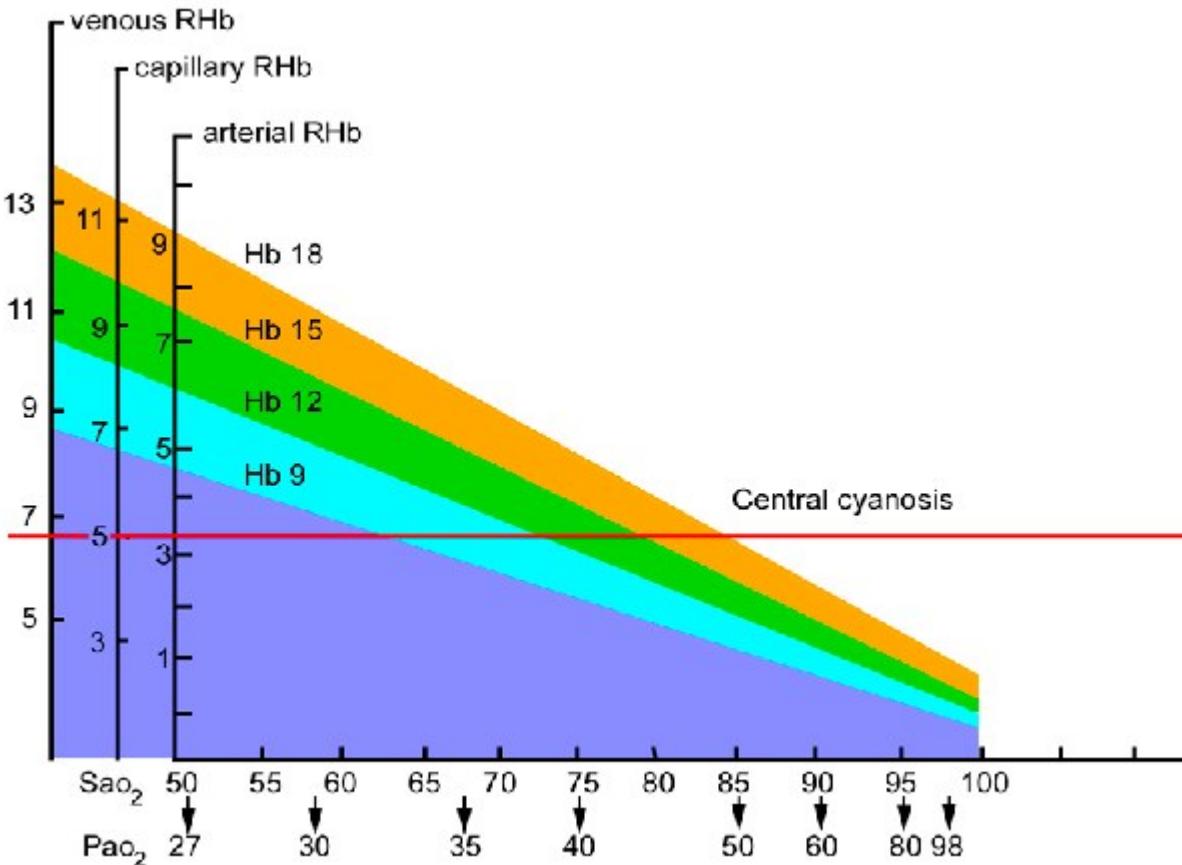


Centrale ou périphérique

Reconnaître l'hypoxémie/ hypoxie (?)

Des signes cliniques qui dépendent de l'adaptation préalable

Les signes cutanéo-muqueux :



La cyanose est **TARDIVE**

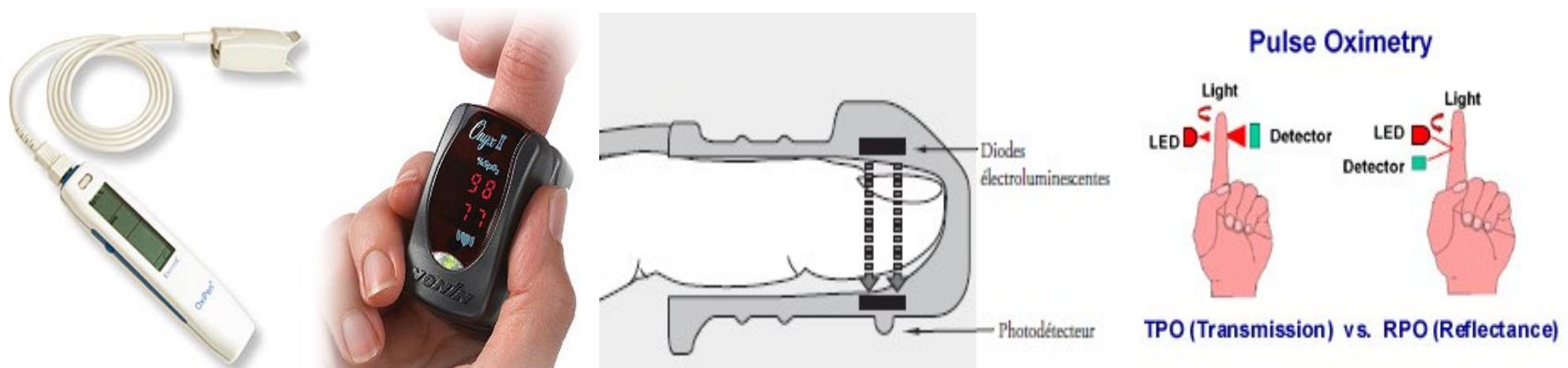
Pour une hémoglobine de 12 g/dl, la cyanose apparaît à des valeurs de saturation artérielle comprises entre 88 et 71%.

L'anémie masque la cyanose

Reconnaître l'hypoxémie/ hypoxie (?)

Le recours à des dispositifs de mesure de l'oxygénation

L'oxymétrie pulsée transcutanée : Principes



Mesurer, sur 2 longueurs d'onde R et IR, l'absorption de la lumière par l'HB

Deux technologies : La transmittance et la réflectance

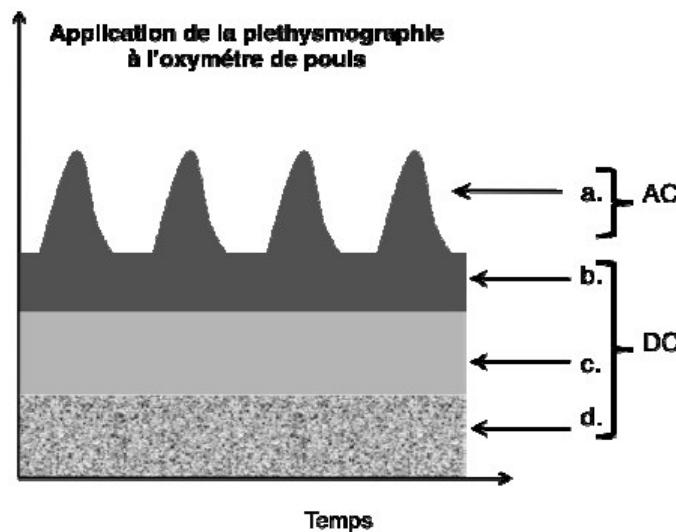
Mesure de ce qui arrive à la cellule ?

Reconnaître l'hypoxémie/ hypoxie (?)

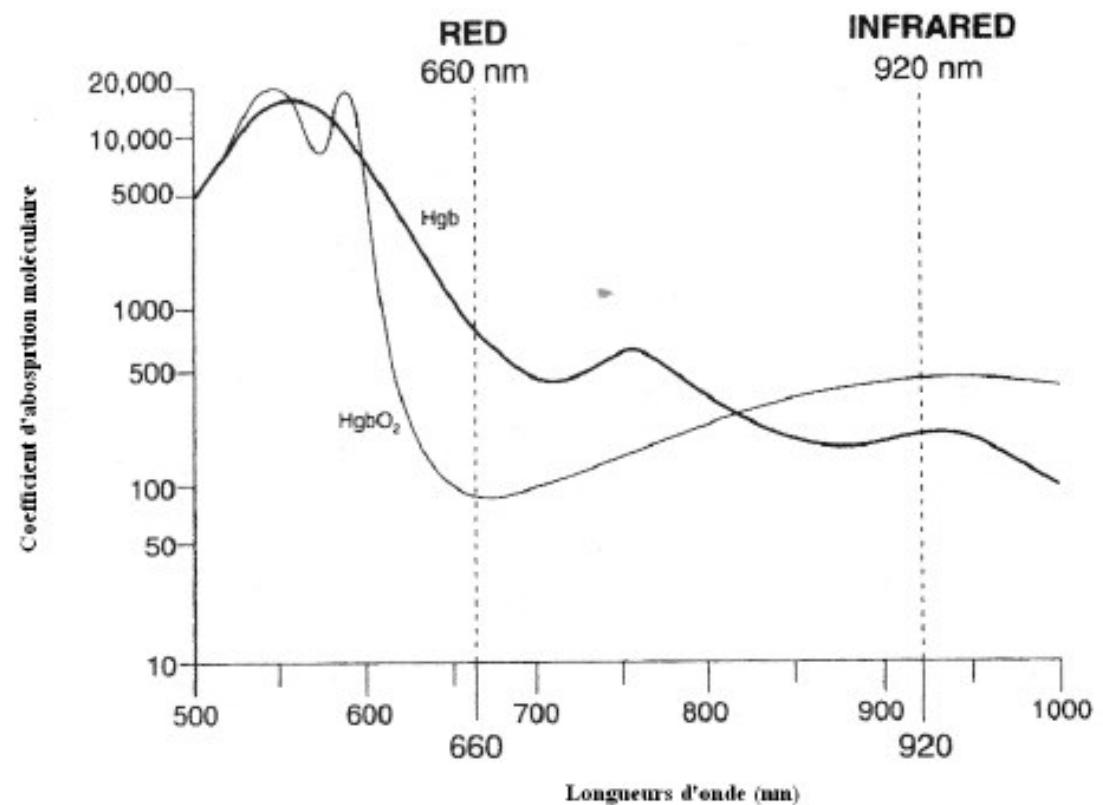
Le recours à des dispositifs de mesure de l'oxygénation

L'oxymétrie pulsée transcutanée :

Principes



$$\Phi = \frac{AC_R / DC_R}{AC_{IR} / DC_{IR}}$$



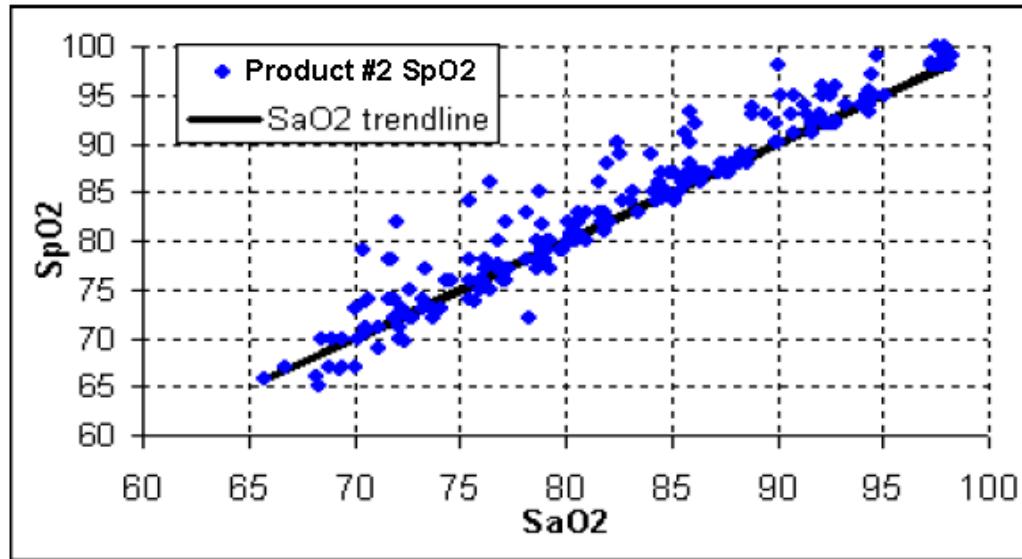
Reconnaître l'hypoxémie/ hypoxie (?)

Le recours à des dispositifs de mesure de l'oxygénation

L'oxymétrie pulsée transcutanée : Une approximation de la SaO₂

$$\text{SaO}_2 = \text{HbO}_2 / [\text{HbO}_2 + \text{Hb} + \text{COHb} + \text{Methb} + \text{SfHb} + \text{COSfHb}]$$

$$\text{SpO}_2 = \text{HbO}_2 / [\text{Hb} + \text{HbO}_2]$$



Fiable sauf en cas d'anémie et d'acidose

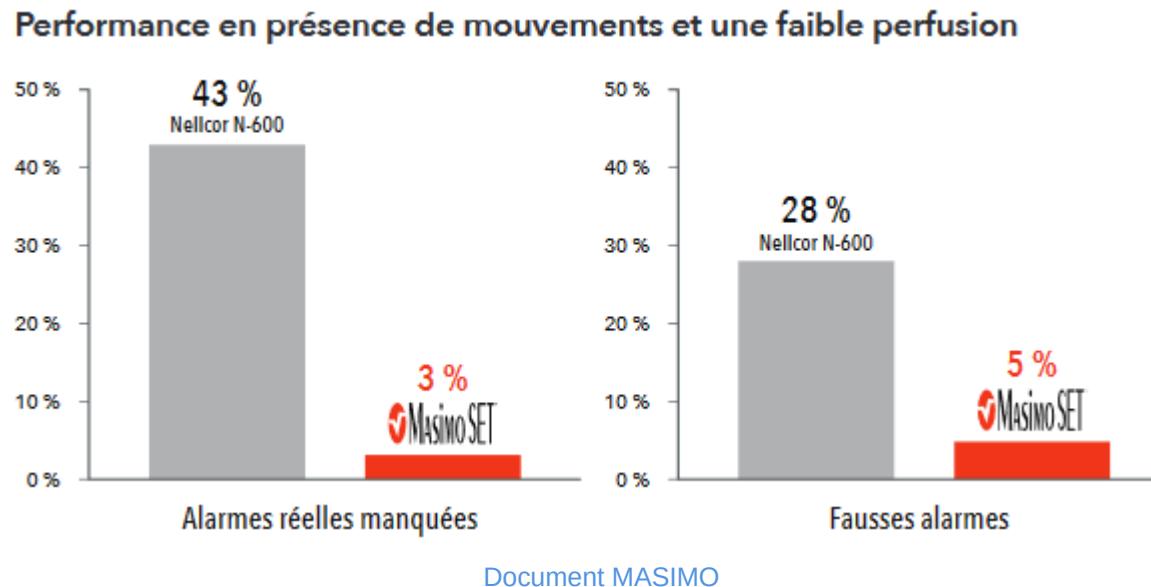
A total of 1085 paired readings demonstrated only moderate correlation ($r= 0.606$; $P < 0.01$) between changes in SpO₂ and those in SaO₂, and the pulse oximeter tended to overestimate actual changes in SaO₂. Anaemia increased the degree of positive bias whereas acidosis reduced it. However, the magnitude of these changes was small.

<http://ccforum.com/content/7/4/R67>

Reconnaître l'hypoxémie/ hypoxie (?)

Le recours à des dispositifs de mesure de l'oxygénation

Mais leur performance dépend de la qualité d'extraction du signal



Reconnaître l'hypoxémie/ hypoxie (?)

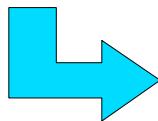
Le recours à des dispositifs de mesure de l'oxygénation

L'oxymétrie pulsée transcutanée : Des limites d'interprétation importantes



- Un chiffre sans courbe. Nécessité d'un flux pulsatile
- A interpréter en fonction de l'altitude
- Hypothermie
- Vasoconstriction liée au choc
- Anémie
- CO (Explosion en milieu confiné, inhalation de fumées)

A quoi sert la SpO₂ si je n'ai pas d'oxygène ?

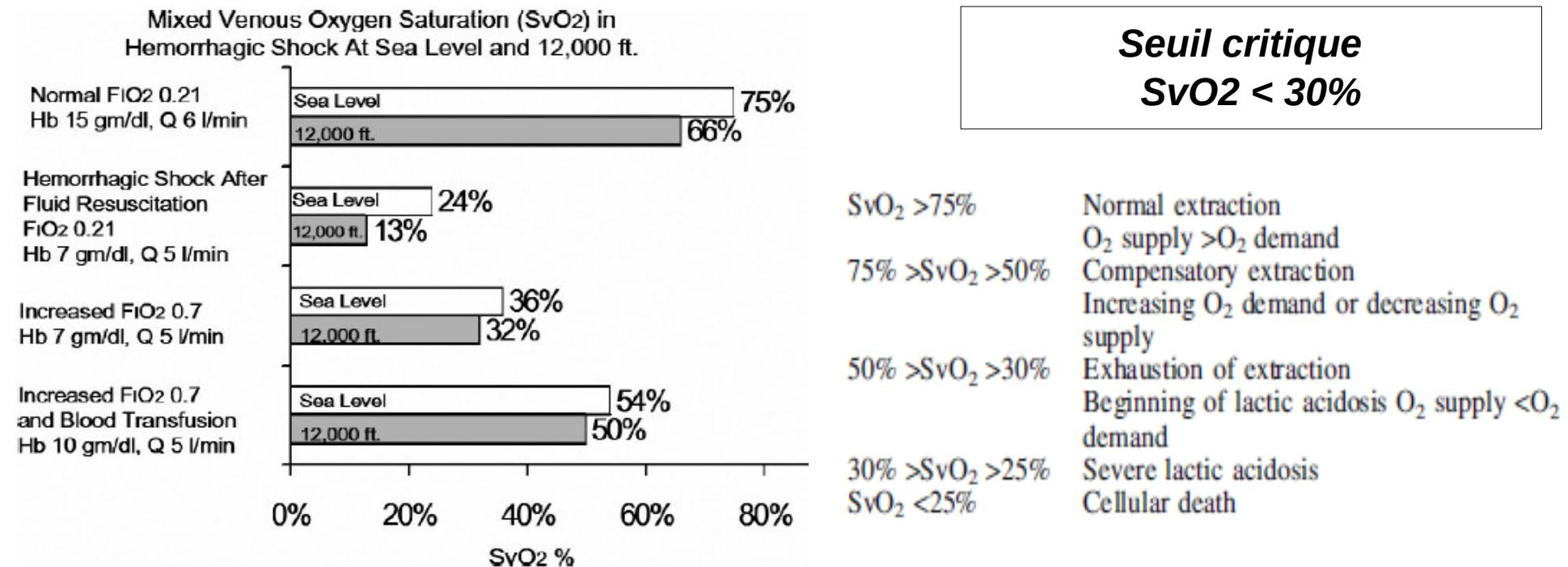


La SpHb ?

Reconnaître l'hypoxémie/ hypoxie (?)

Le recours à des dispositifs de mesure de l'oxygénation

La SVO₂: Une idée de l'extraction d'oxygène mais cela est une histoire hospitalière

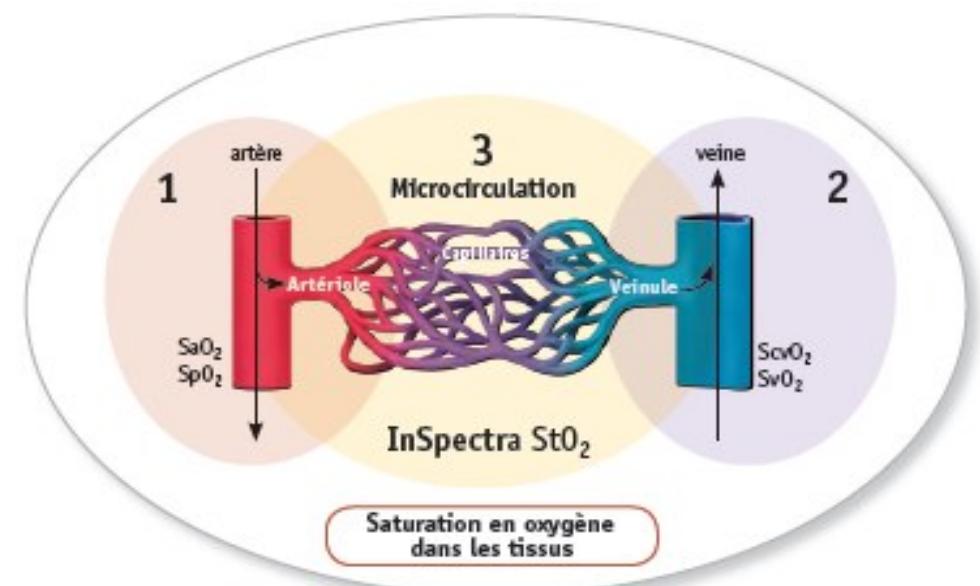
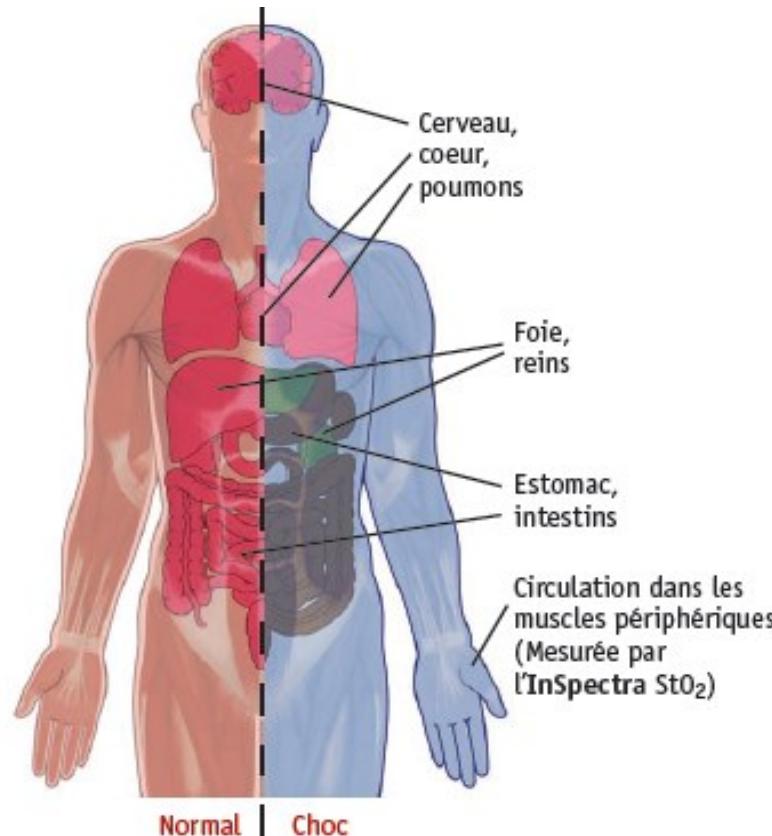


$$SvO_2 = SaO_2 - [VO_2 / (CO \times Hb \times 13.8)]$$

Reconnaître l'hypoxémie/ hypoxie (?)

Le recours à des dispositifs de mesure de l'oxygénation

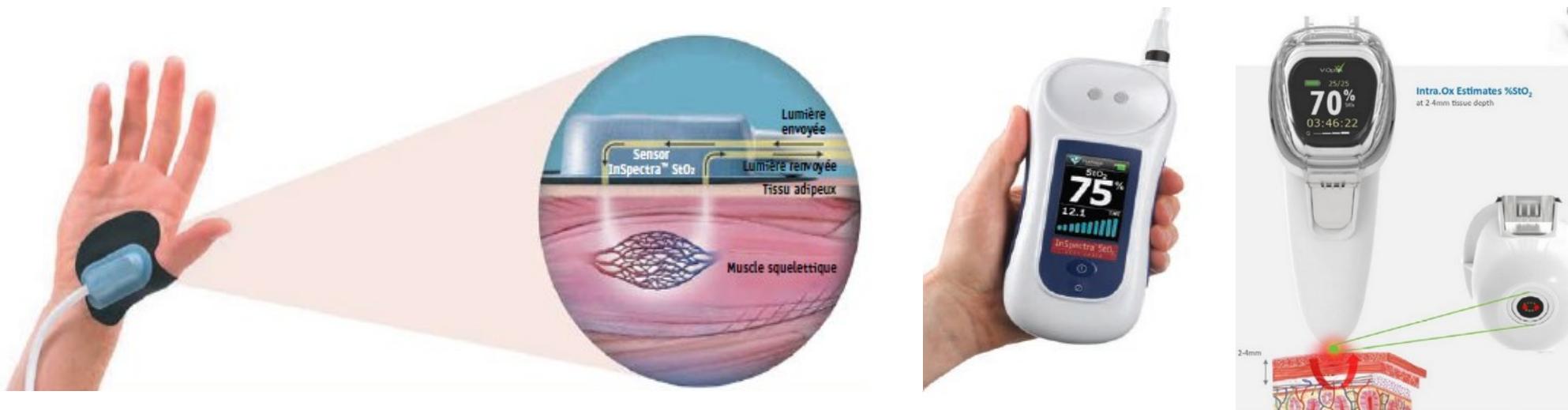
La StO₂: Une mesure continue de l'oxygénation tissulaire. **Non validé à ce jour ?**



Reconnaitre l'hypoxémie/ hypoxie (?)

Le recours à des dispositifs de mesure de l'oxygénation

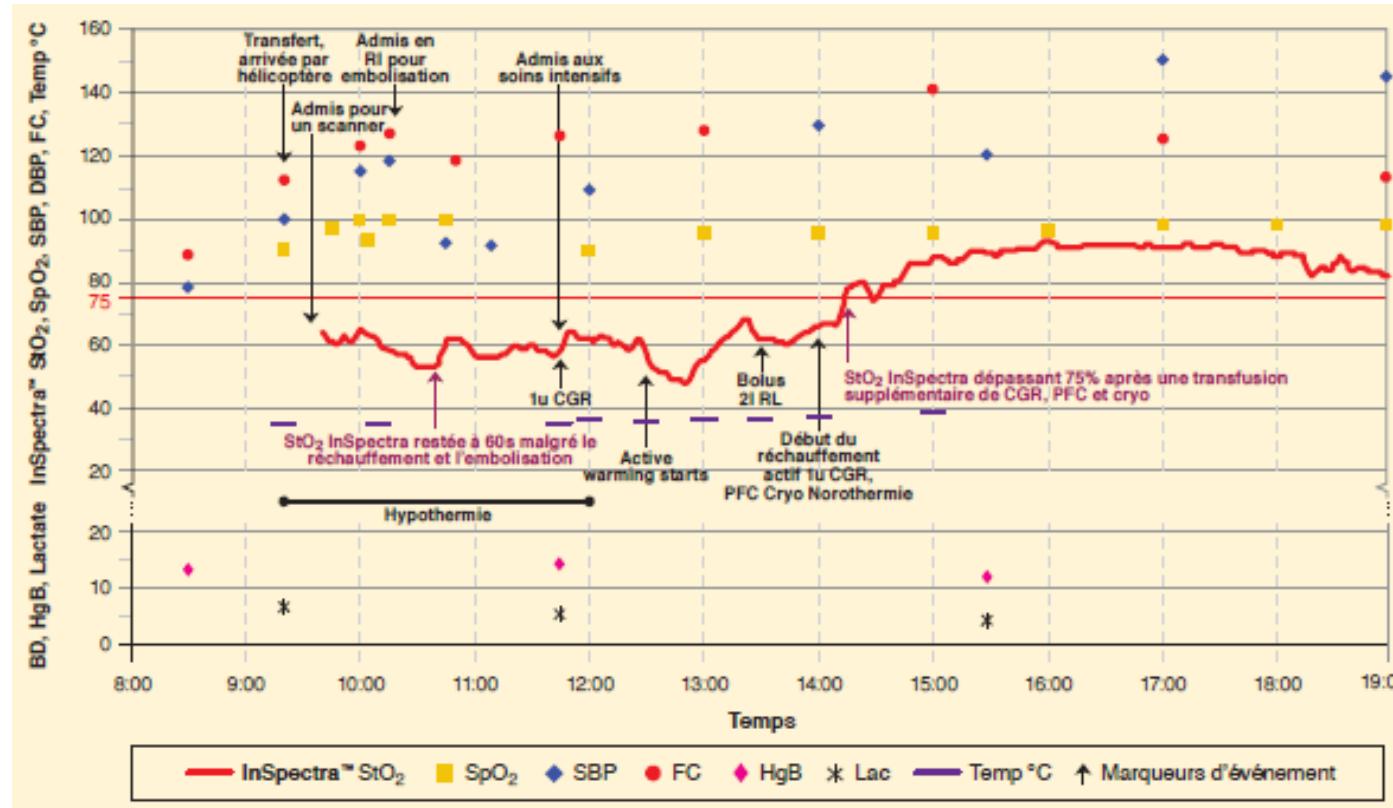
La StO₂: Une mesure continue de l'oxygénation tissulaire. **Non validé à ce jour ?**



Reconnaître l'hypoxémie/ hypoxie (?)

Le recours à des dispositifs de mesure de l'oxygénation

La StO₂: Une mesure continue de l'oxygénation tissulaire. **Non validé à ce jour ?**



Reconnaître l'hypoxémie/ hypoxie (?)

Le recours à des dispositifs de mesure de l'oxygénation

La StO₂: Une mesure continue de l'oxygénation tissulaire. Non validé à ce jour ?

	SaO ₂	SpO ₂	SvO ₂	ScvO ₂	InSpectra StO ₂
Mesure de	La saturation artérielle en O ₂	La saturation artérielle en O ₂	La saturation en O ₂ du sang veineux mêlé	La saturation veineuse centrale en O ₂	La saturation en O ₂ des tissus
Mesure du % de saturation en O ₂ de l'hémoglobine	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Site de mesure	Artères	Artères pulsatiles	Artère pulmonaire	Veine cave supérieure ou inférieure, oreillette droite ¹	Microcirculation périphérique
Méthode de mesure	Prélèvement de sang artériel, analyseur des gaz du sang	Oxymètre de pouls	Cathéter d'artère pulmonaire	Cathéter veineux central	InSpectra™ StO ₂ Systèmes de surveillance de l'oxygénation des tissus
Utilisation des mesures	Fixation de l'O ₂ dans les poumons	Fixation de l'O ₂ dans les poumons	Indicateur de l'oxygénation globale des tissus	Substitut à la SvO ₂	Statut de la perfusion des tissus
Ce que cela indique pendant un choc et une réanimation	Fonction pulmonaire ou cardiaque compromises		Modification du transport d'O ₂ et/ou de la consommation		Réponse immédiate aux modifications précoce du statut de perfusion périphérique
Nécessite un flux pulsatile	Non	Oui	Non	Non	Non

Reconnaître l'hypoxémie/ hypoxie (?)

Le recours à des dispositifs de mesure de l'oxygénation

La StO₂: Une mesure continue de l'oxygénation tissulaire. **Non validé à ce jour ?**

Injury	Initial StO ₂	Resuscitation Maneuver	Post resuscitation StO ₂
Bilateral lower extremity IED	60	2 LR, 2 PRBCs	78
IED blast, right leg, left flank	51	2 LR, 1 PRBCs	71
GSW left thigh	54	1 LR	88
Abdominal compartment syndrome	62	Open abdomen	91
Bilateral lower extremity IED	51	1 LR	76
GSW abdomen	50	1 LR	82
GSW right arm	55	0.5 LR (9 y/o)	76
Blast injury	—	CPR	—

During the above time period, 161 patients were evaluated at the CSH as a result of traumatic injury and the device was placed on approximately 40 patients. In most patients, StO₂ readings of greater than 70% were noted during the initial evaluation. No further information was collected from these patients. In 8 patients, convenience samples of StO₂ data were collected along with pertinent physiologic data. In these patients, StO₂ levels of below 70% tracked with hypotension, tachycardia, and clinical shock resulted in increases in StO₂ after resuscitation maneuver.

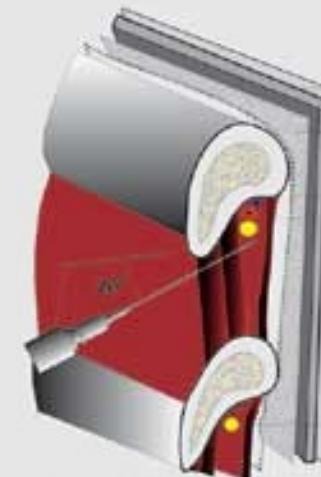
Corriger l'hypoxémie / hypoxie (?)

Corriger l'hypoxémie/ hypoxie (?)

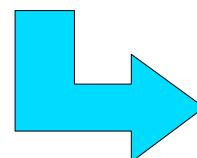
Les sources d'oxygène



Ce qui LIMITE le recours à l'oxygène



Un blessé non hémorragique non choqué n'a probablement pas besoin d'oxygène



Sauf si c'est un traumatisé crânien

Corriger l'hypoxémie/ hypoxie (?)

Les sources d'oxygène



L'oxygène comprimé

Les bouteilles du SSA ont un volume de 3 litres. Elles peuvent être gonflées à 300 bars et ont été éprouvées à 450 bars. En pratique elles sont gonflées à 200 bars

Autonomie ?

Bouteille de 3 l à 150 bars	= 450 litres disponibles
Pour un débit de 10 l/min	= Autonomie de 45 minutes
Moins 10% pour les pertes	= 40 min d'autonomie

Ne pas entreposer au soleil
A l'abri du feu de l'ennemi
Le poids (près de 6 kg) dans le sac à dos ?

Bouteille présence
Air liquide Santé

Corriger l'hypoxémie/ hypoxie (?)

Les sources d'oxygène

Bouteille Oxycos



L'oxygène comprimé

Les bouteilles OXYCOS ont un volume de 1 litre. Elles peuvent être gonflées à 300 bars. Utilisables de -40 à +60°C

Autonomie ?

Bouteille de 1 l à 300 bars	= 300 litres disponibles
Pour un débit de 10 l/min	= Autonomie de 25 minutes
Moins 10% pour les pertes	= 20 min d'autonomie

Ne pas entreposer au soleil
A l'abri du feu de l'ennemi
Le poids (près de 2,3 kg) dans le sac à dos ?

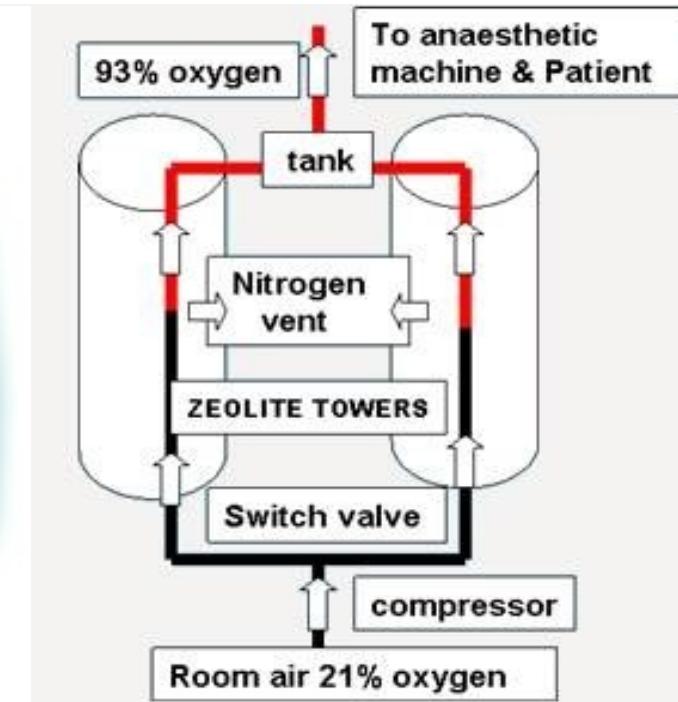
Autonomie très faible

Corriger l'hypoxémie/ hypoxie (?)

Les sources d'oxygène



L'oxygène produit sur place



Les concentrateurs d'oxygène portables. Pas de remplissage de bouteille (*en principe*)

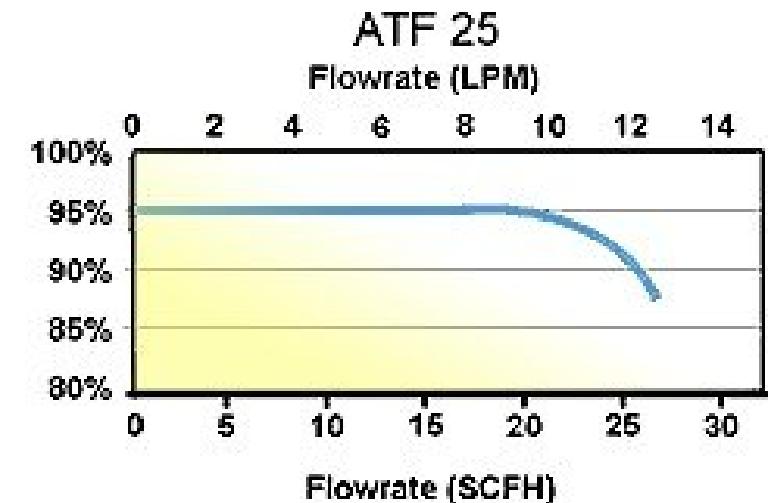
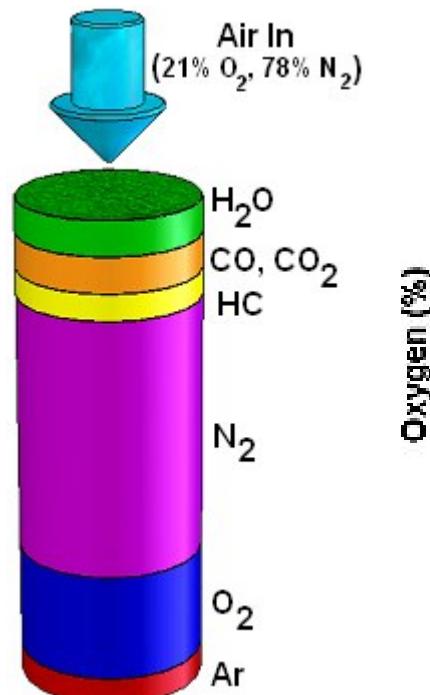
Des performances dépendantes des conditions pression/température ambiante. Une solution individuelle

Corriger l'hypoxémie/ hypoxie (?)

Les sources d'oxygène

L'oxygène produit sur place

Une performance qui dépend du débit de sortie



L'air est filtré puis comprimé puis dirigé sur un des 2 tamis moléculaires qui retient l'azote pendant que le second se régénère

Corriger l'hypoxémie/ hypoxie (?)

Les sources d'oxygène



Oxygène chimique

L'oxygène produit sur place

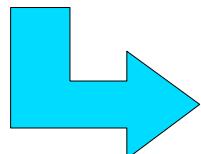


SAROS Systeme



Oxygène liquide

Un blessé non hémorragique non choqué n'a probablement pas besoin d'oxygène



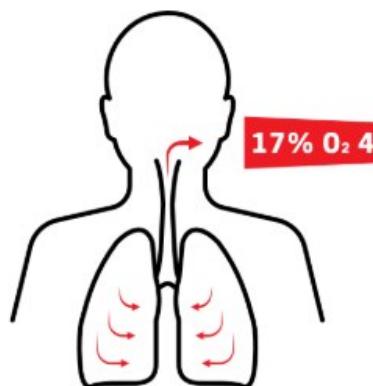
Sauf si c'est un traumatisé crânien

Corriger l'hypoxémie/ hypoxie (?)

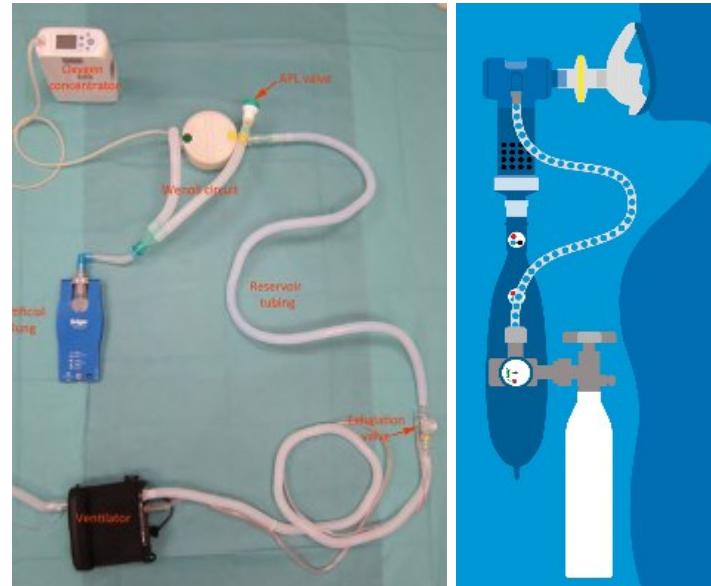
Les sources d'oxygène

L'oxygène exhalé ?

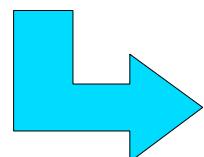
La ré-inhalation de l'oxygène expiré : Usage quotidien en anesthésie, Plongée



17% O₂ 4% CO₂



FIDO



Pas d'utilisation clinique véritable

Stocker l'air expiré dans un tube, un ballon et le réutiliser

Gestion du CO₂ ?

Corriger l'hypoxémie/ hypoxie (?)

Les modes de dispensation



Avoir recours aux ballons réservoirs pour avoir une FiO₂ élevée

Corriger l'hypoxémie/ hypoxie (?)

Le mode de dispensation: Une FiO₂ très variable

Inhalation d'oxygène		
	Débit (l/mn)	FiO ₂
Sonde nasale	1 à 6	0,24 à 0,26 (24 à 26 %)
Lunettes à oxygène	1 à 6	0,22 à 0,24 (22 à 24 %)
Masque simple	8 à 10	0,4 à 0,6 (40 à 60 %)
Masque haute concentration	8 à 10	0,8 à 1 (80 à 100 %)
Ballon autopremplisseur sans réservoir	8 à 10	0,4 à 0,6 (40 à 60 %)
Ballon autopremplisseur avec réservoir	10 à 15	0,9 à 1 (90 à 100 %)



Corriger l'hypoxémie/ hypoxie (?)

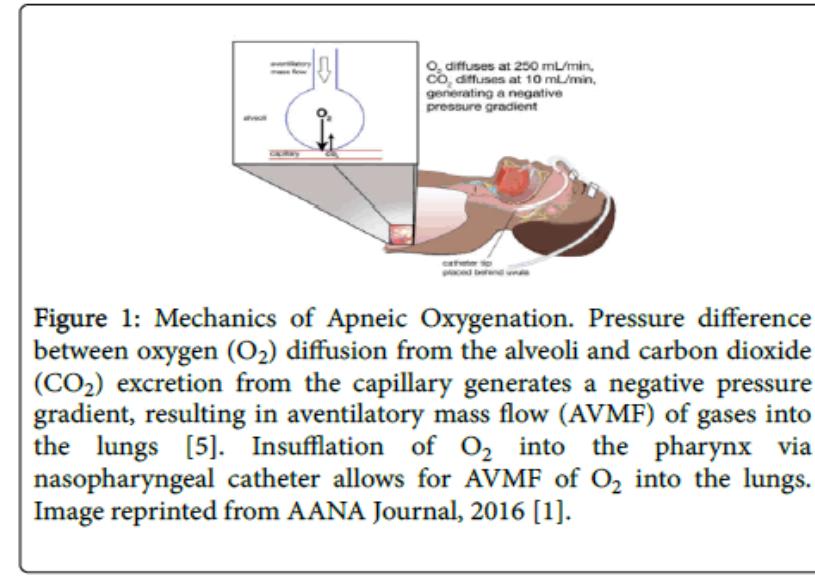
Le mode de dispensation: Oxygénation apnétique, surtout pour l'induction

15 l/min O₂ pur sans ventiler

- par masque/ballon sans ventiler
- +/-valve de PEP si SpO₂<90 %

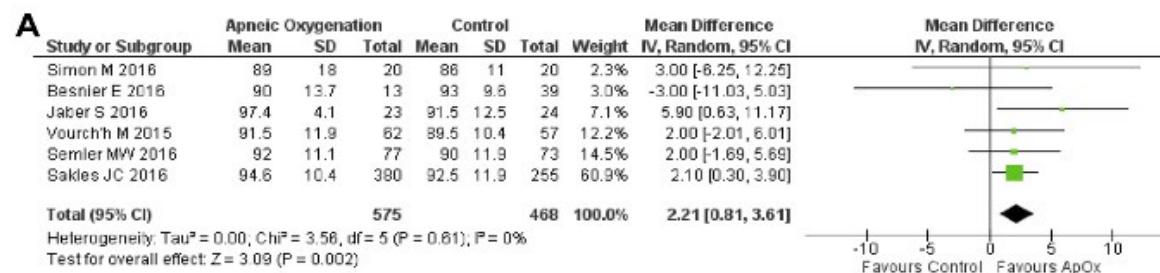


Logistique ?



Effectiveness of Apneic Oxygenation During Intubation

Oliveira

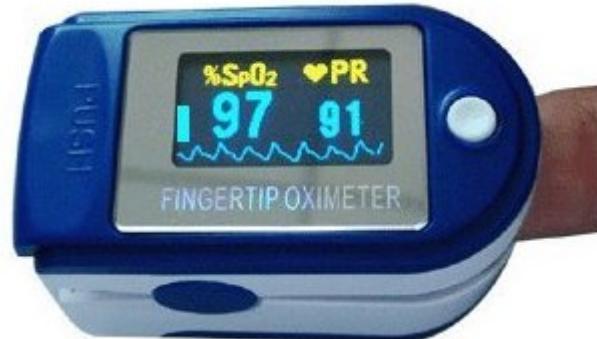


Méta-analyses en faveur mais encore discuté (ENDAO et FELLOW Trial).

Corriger l'hypoxémie/ hypoxie (?)

Alors quand administrer de l'oxygène ?

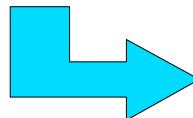
Dès que vous le pouvez, autant que vous le pouvez QSP SpO₂ >92%(Φ altitude) **SI :**



- SpO₂ < 90% à + de 3000 m, < 85% à + 3600 m, <80% à + de 4200 m
- Les traumatismes fermés ou pénétrants thoraciques
- Obstructions des voies aériennes
- Le traumatisé crânien
- Hémorragiques sans pouls radial perceptible
- Induction en séquence rapide (oxygénation apnéique)

Masque standard : début à 10l/min

Masque HC : début à 15l/min



Si un débit de 5l/Min \neq > SpO₂ > 92 %, alors évacuation urgente nécessaire

L' oxymètre: Un outil de triage dont il faut connaître les limites !

Appliquer tous la même méthode, quelles que soient les circonstances !

S	Stop the burning /Freezing process	Répliquer par les armes et se soustraire au grand froid
A	Assess the scene	Analyser ce qu'il se passe
F	Free of danger	Extraire le(s) blessé(s) pour des soins sans danger
E	Evaluate for xABC	Evaluer le(s) blessé(s) par la méthode START
x: Hémorragie massive, exsanguination		A: Airway B: Breathing C: Conscience/Choc

Regrouper, établir un périmètre de sécurité 3D, gérer les armes, rendre compte

M	Massive bleeding control	Garrot, compression, packing, hémostatiques, Stab. pelvienne
A	Airway	Position, subluxation, guédel, Crico-thyroïdotomie, Intubation
R	Respiration	Position, oxygène, exsufflation, intubation, ventilation
C	Choc	Abord vasculaire, remplissage, adrénaline, transfusion
H	Head/Hypothermia	Conscience, protection des VAS, oedème cérébral, hypothermie
E	Evacuate	9 line CASEVAC/MEDEVAC request

R Réévaluer Y Yeux/ORL A 4 As: Analgésie, Antifibrinolyse, Anti Emetique, Antibiotique N Nettoyage, parage

Juste ce qu'il faut pour sauver par la bonne personne sur le bon blessé au bon moment

Pour accéder au Website de médecine tactique

Version pdf (actualisé annuellement)



Version sonorisée (nécessite une ouverture de compte)



Gestion d'Enseignements à Distance et d'Informations du Service de Santé des Armées