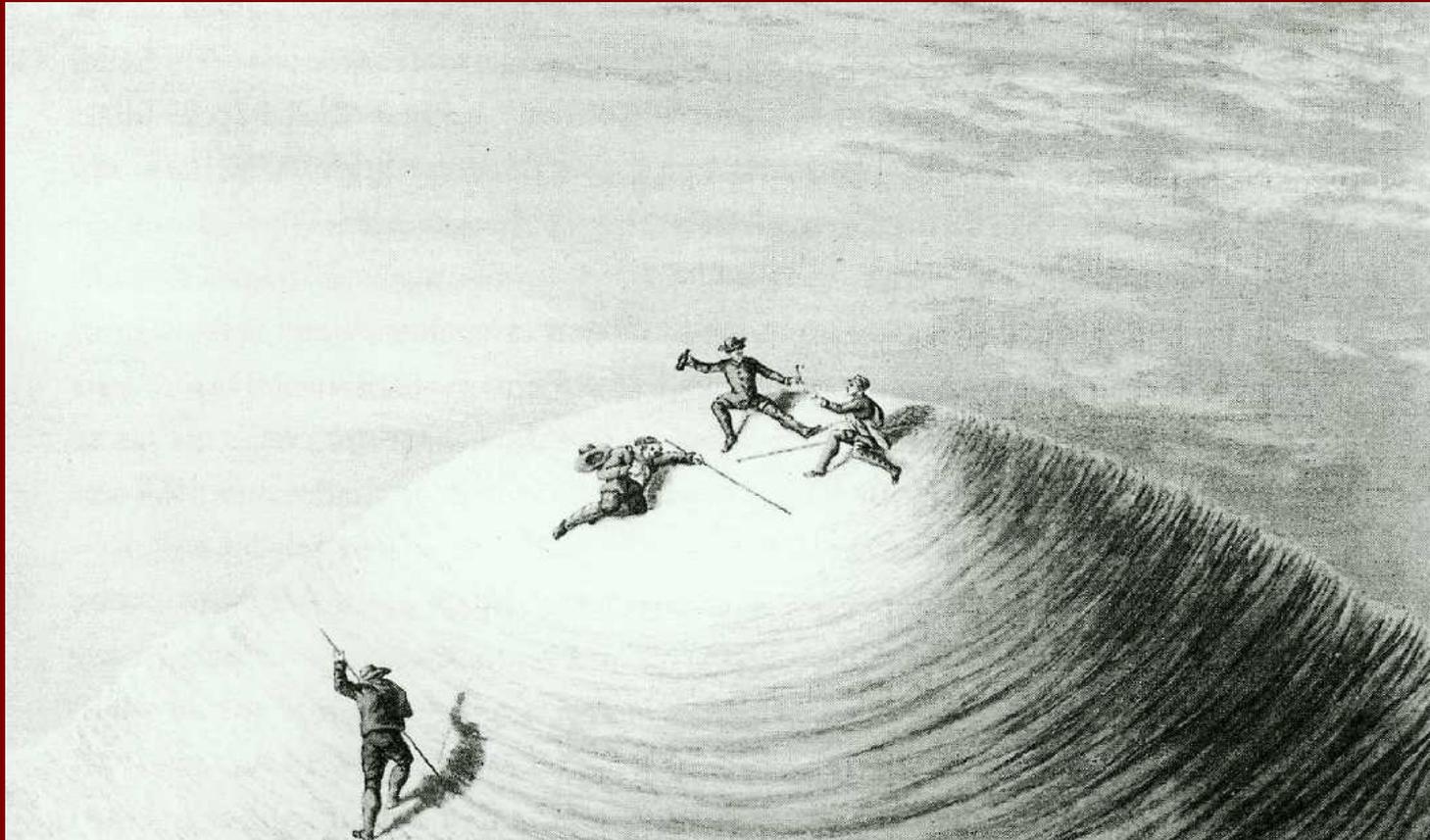


Physiologie et physiopathologie des Maladies liées au manque d' oxygène en altitude

DIUMUM, cabane du Trient

Matthieu de Riedmatten, septembre 2007

„La nature n'a point fait l'homme pour ces hautes régions; le froid et la rareté de l'air l'en écartent“



Horac Bénédict de Saussure, physicien genevois e alpiniste: lors de l'échec de la première ascension du Mont-Blanc en 1785

Risque lié à l'ascension d'un 8000

- 604 décès depuis 1950
- 1 : 48 taux de mortalité



Mortels «8 000»

Sommet		Nombre d'alpinistes arrivés au sommet	Nombre de décès sur l'ensemble des tentatives d'ascension	Ratio en% entre les ascensions réussies et les décès
Annapurna	8 091m	109	55	50,5
Nanga Parbat	8 125 m	186	61	32,8
K 2	8 611 m	189	49	25,9
Manaslu	8 163 m	198	51	25,8
Kangchenjunga	8 586 m	162	39	24,1
Dhaulagiri	8 167 m	298	55	18,5
Everest	8 850 m	1 314	167	12,7
Makalu	8 463 m	167	20	12
Shishapangma	8 046 m	180	19	10,6
G 1	8 068 m	162	17	10,5
Broad Peak	8 047 m	233	18	7,7
Lhoste	8 516 m	151	9	6
G 2	8 035 m	520	16	3,1
Cho Oyu	8 201 m	1 211	28	2,3
Total		5080	604	11,9

Mortalité sur les 14 sommets de plus de 8 000 mètres d'altitude, au 12 décembre 2000, classés en fonction du taux de décès.

Source: *Physiopathologie des pratiques sportives en haute altitude*, par Laurent Grélot, faculté des sciences du sport de Marseille-Gap, université de la Méditerranée (2001).

Altitude...

8000

Survie de courte durée seulement

Todeszone

7000

Séjour prolongé destructif

6000

Vie permanente impossible

3000

Diminution évidente de la puissance physique

1500

Amputation de l'effort physique de pointe

Détérioration > 6000m

Fatigue intense

Diminution de l'appétit

Léthargie, troubles du sommeil

Déshydratation

Perte de poids (masse maigre)



Récupération possible seulement vers 5000m !

Problème principale en altitude l' Hypoxie

$$\dot{V}_{O_2} = FC \times VES \times Hb \times 1.34 \times (Sa_{O_2} - Sv_{O_2})$$

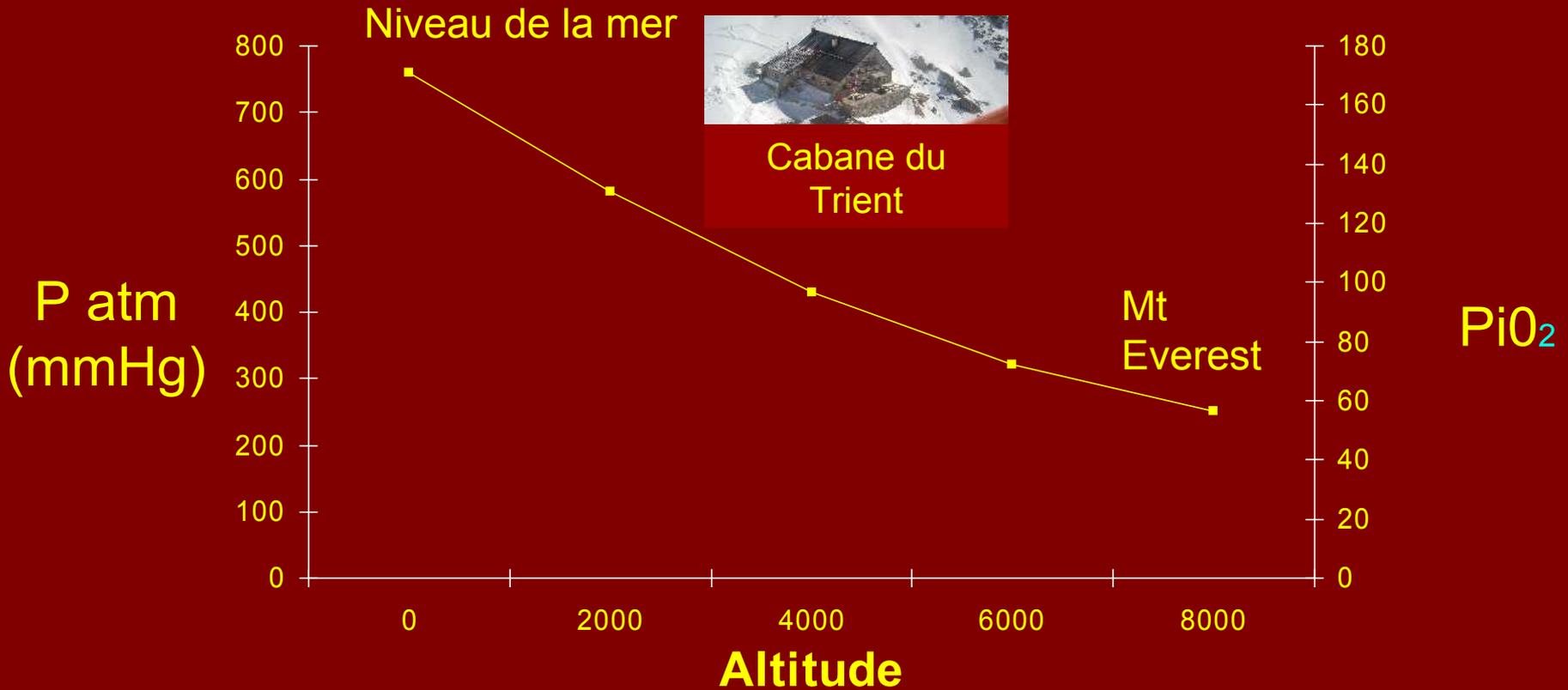
Avec l'altitude: Chute de la SaO2

Avec l'effort physique: Augmentation de la V02



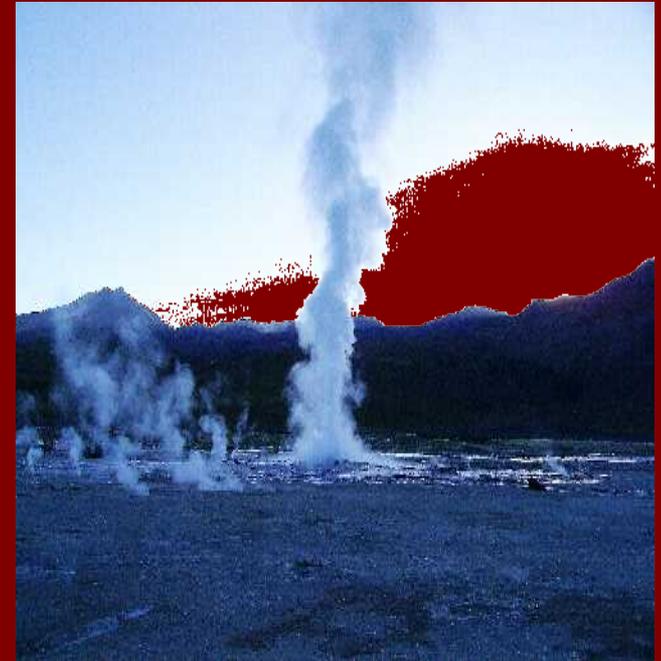
- But :**
- Limiter la chute de la SaO2
 - Optimiser le transport d'O2
 - Optimiser l'utilisation d'O2

Altitude et manque d'oxygène



P_{iO_2} et pression de vapeur d'eau

L'air inspiré se sature en vapeur d'eau dans les VAS



La pression partielle de vapeur d'eau à 37 C est de 47mmHg.



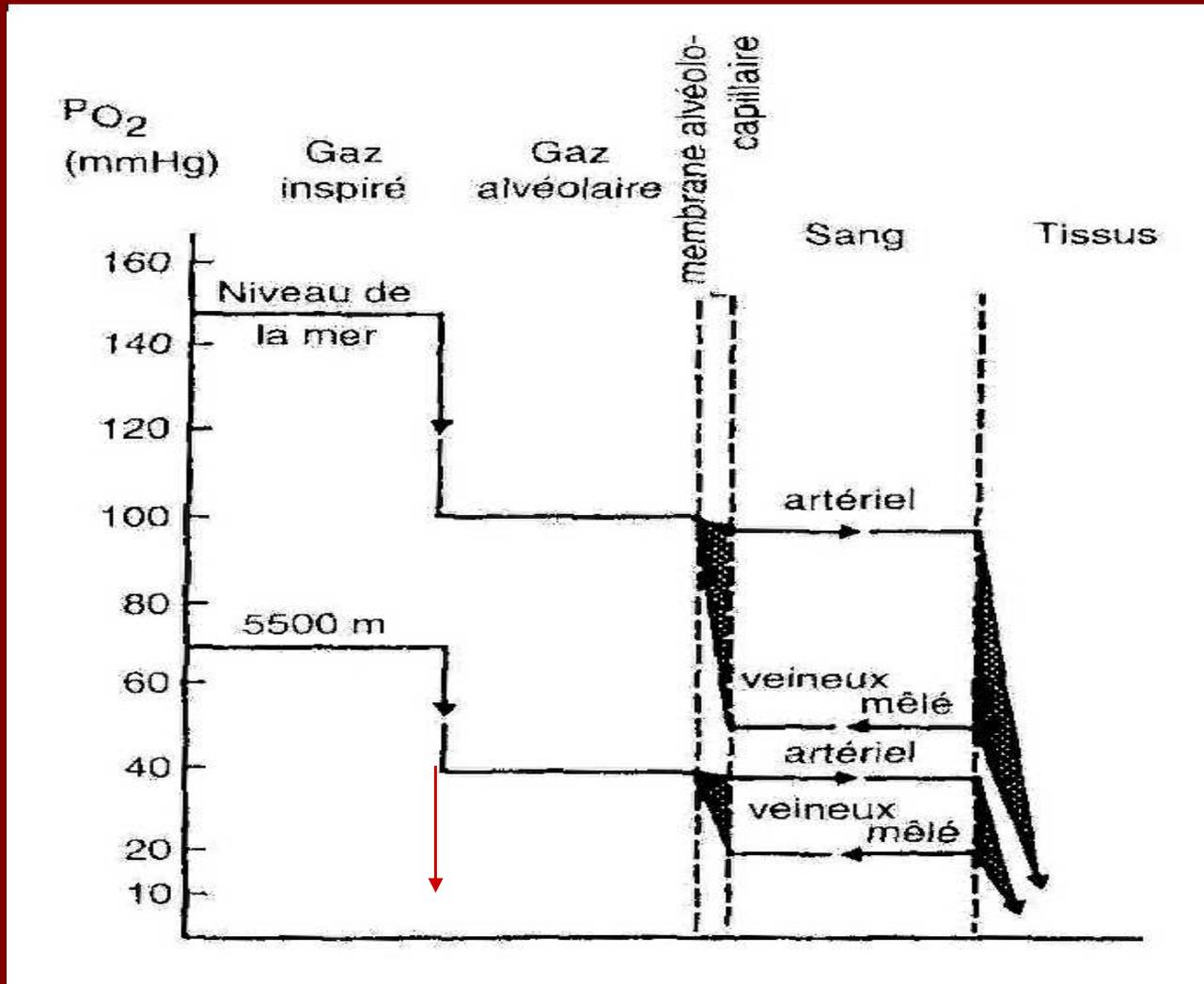
Elle est indépendante de l'altitude

Avec l'altitude, importance grandissante de la pression de vapeur d'eau:

$$P_{iO_2} = \underline{0.21 \times (760 - 47)} \text{ mmHg} = 150 \text{ mmHg} \Rightarrow \text{Niveau de la mer}$$

$$\underline{0.21 \times (250 - 47)} \text{ mmHg} = 42,5 \text{ mmHg} \Rightarrow \text{Sommet de l'Everest}$$

La cascade de l'oxygène



Equation des gaz alvéolaire

- $PA_{O_2} = P_{iO_2} - PA_{CO_2} / QR$
- Niveau de la mer: $PA_{O_2} =$
 $150 - (40/0.8) = 100 \text{ mmHG}$
- Sommet de l'Everest: $PA_{O_2} =$
 $42.5 - (40/0.8) = ???$

•Solution:

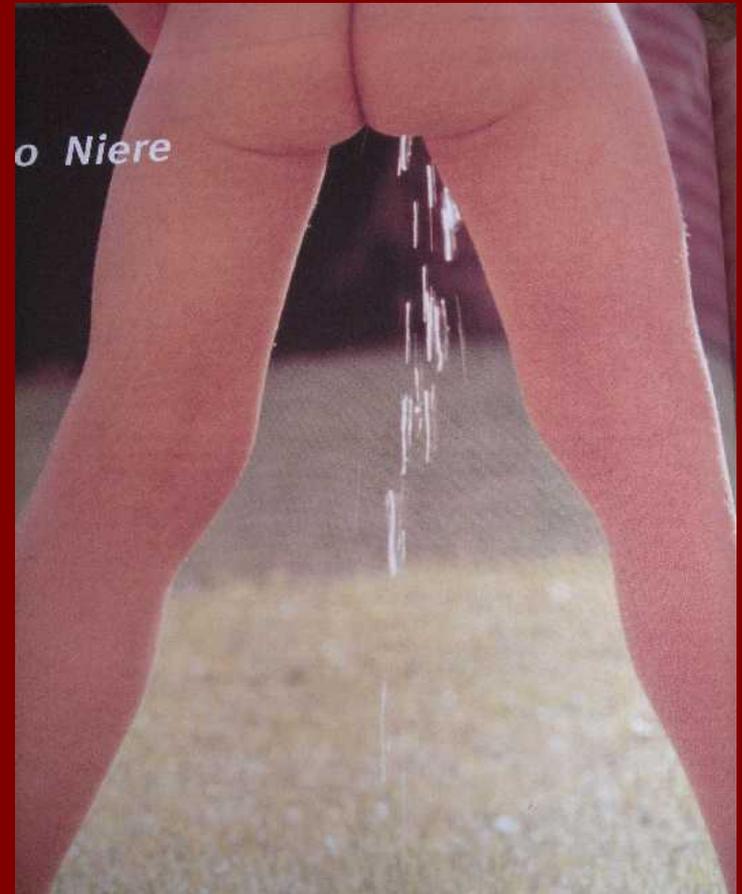
–Hyperventilation

–Ex.: Everest $PA_{O_2} =$

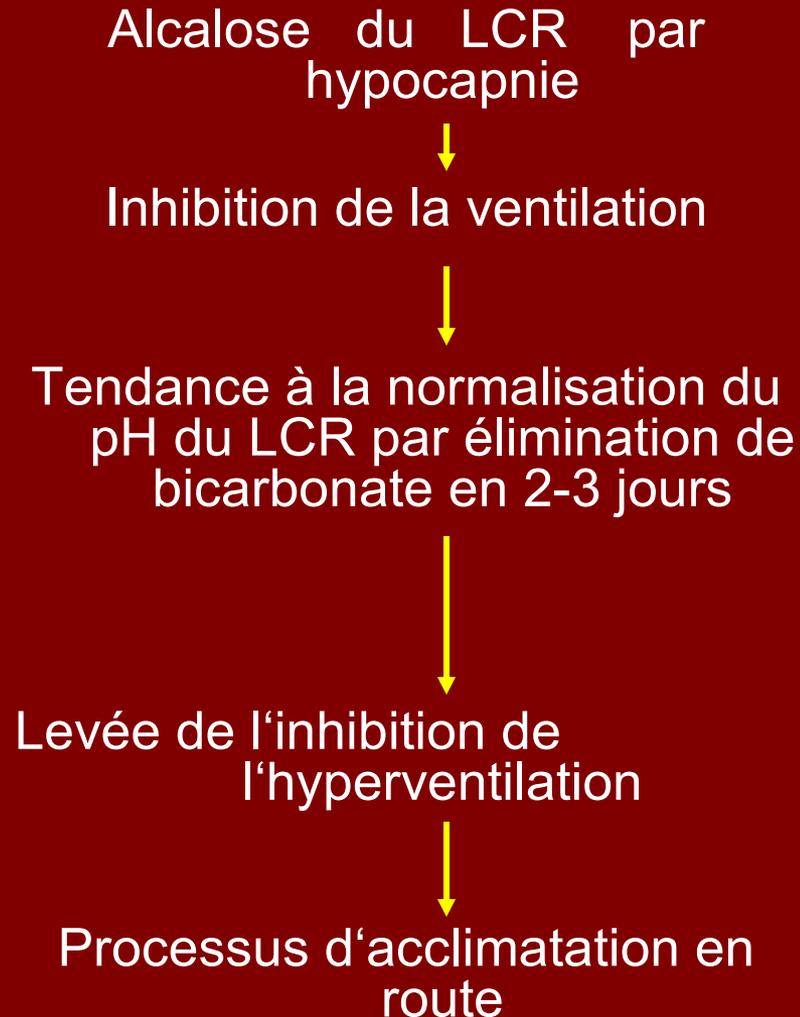
$$42.5 - (\textcircled{8}) / 0.8 = 32.5 \text{ mmHg}$$

Recherche d'homéostasie

- Rôle des reins lors de l'acclimatation
 - élimination de bicarbonates: permet d'augmenter la ventilation
 - Niveau de la mer: 4-6 litres/min.
 - Sommet de l'Everest : 20-40 litres/min.
 - Modifications de l'équilibre acido-basique importants!!!
 - Ex.: Ventilation ici à 40l/min: tous inconscients!
- Mécanismes de compensation s'épuisent



Hyperventilation und acclimatation



Importance de la vitesse d'ascension

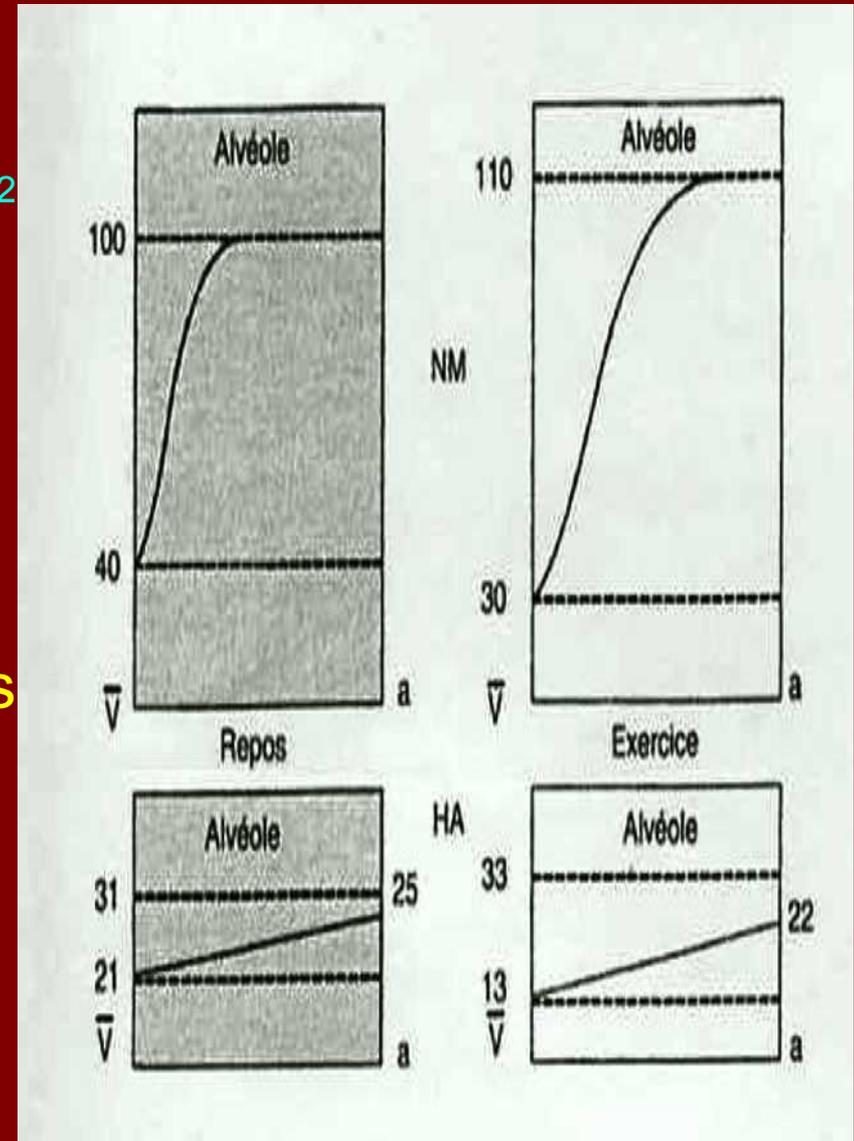
Rôle de l'acétazolamide

Pa₀₂ et Diffusion

- Au niveau de la mer... Pa₀₂ = PA₀₂

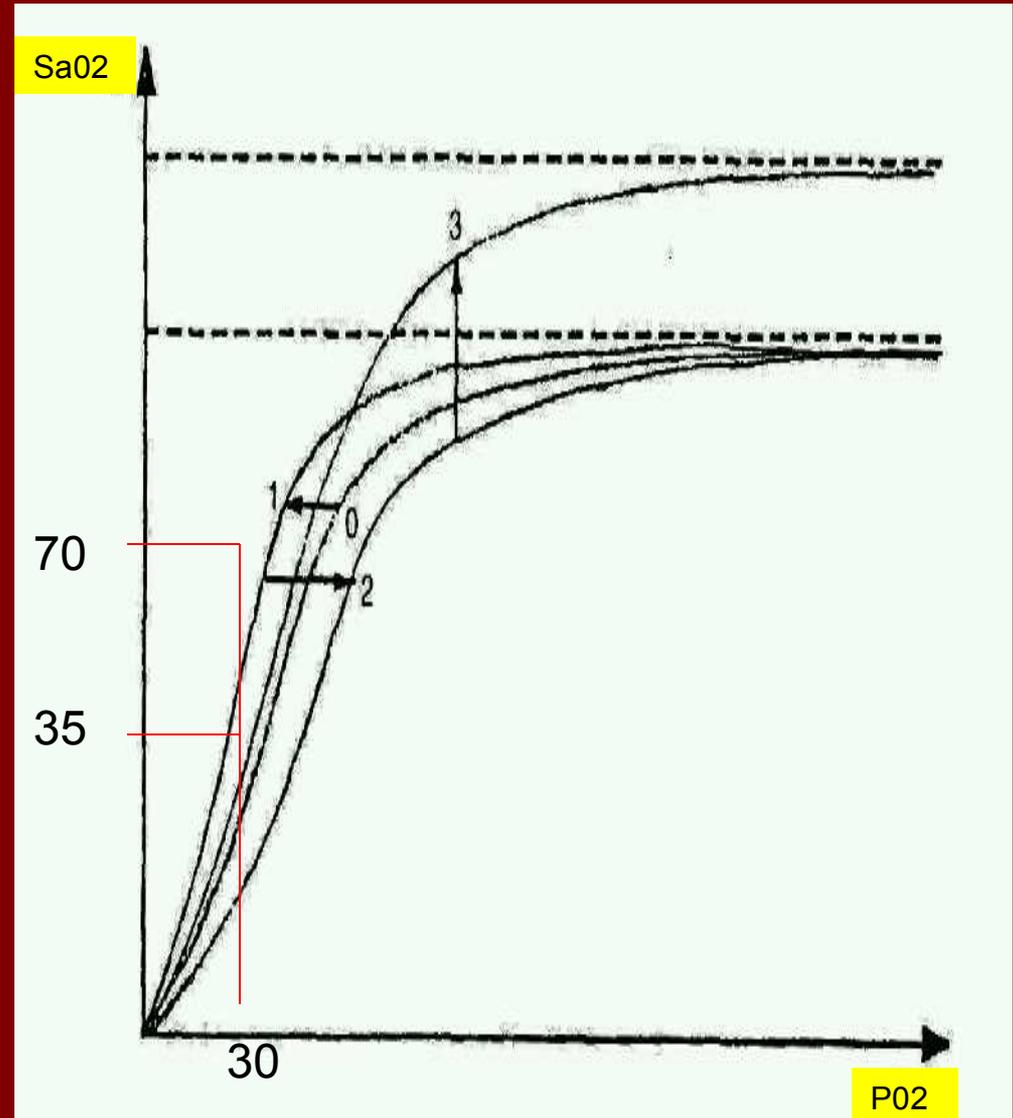
=> Importance de limiter les efforts en altitude!

- En altitude: Pa₀₂ < PA₀₂
 - Gradient de pression est plus petit
 - Temps capillaire plus court
 - Barrière alvéolo-capillaire augmentée



Courbe de dissociation et altitude: P_{aO_2} - S_{aO_2}

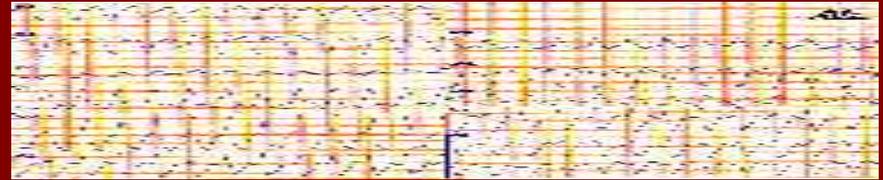
- CDO (Courbe de dissociation de l'oxyhémoglobine)
- Affinité de l'oxygène pour l'hémoglobine
- Modification de la courbe:
 - T° , CO_2 , pH, 2,3 DPG



Modifications hémodynamiques en altitude

$$V_{O_2} = \text{FC} \times \text{VES} \times \text{Hb} \times 1.34 \times (\text{Sa}_{O_2} - \text{Sv}_{O_2})$$

- **Fréquence cardiaque rapide (Tachycardie)**
- **Meilleur travail de la pompe cardiaque**



Transport d'oxygène

Le transport de l'oxygène dans le sang se fait par l'hémoglobine

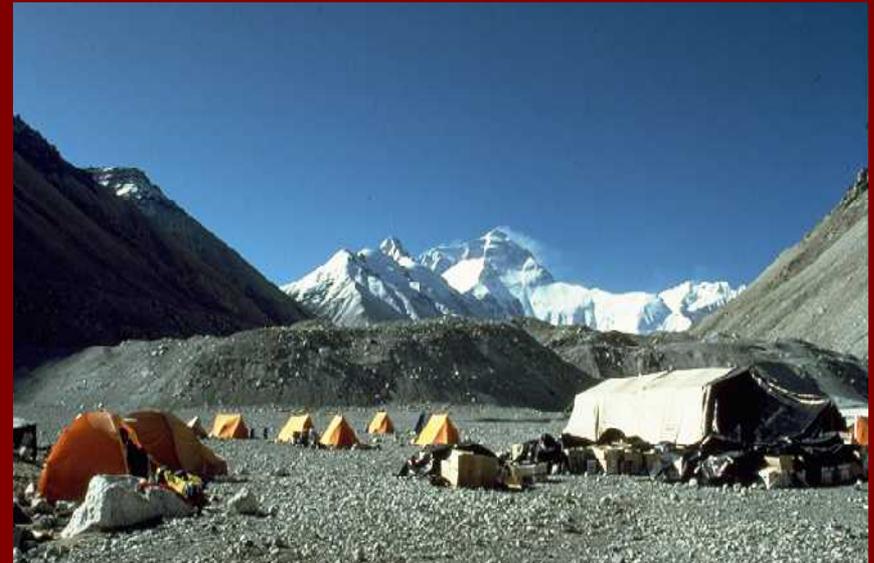
- EPO (24 - 48 h): rôle des reins
 - Polyglobulie (5-7 jours)
- => permet d'économiser le coeur



$$V_{O_2} = FC \times VES \times \boxed{Hb} \times 1.34 \times (Sa_{O_2} - Sv_{O_2})$$

Résumé des adaptations physiologiques à l'altitude

- Limitation de la chute de la Sa_{O_2}
 - Hyperventilation
 - Déviation gauche
- Adaptation du transport en O_2 :
 - Polyglobulie
 - Débit cardiaque



$$V_{O_2} = FC \times VES \times Hb \times 1.34 \times (Sa_{O_2} - Sv_{O_2})$$

Acclimatation: oui...mais...

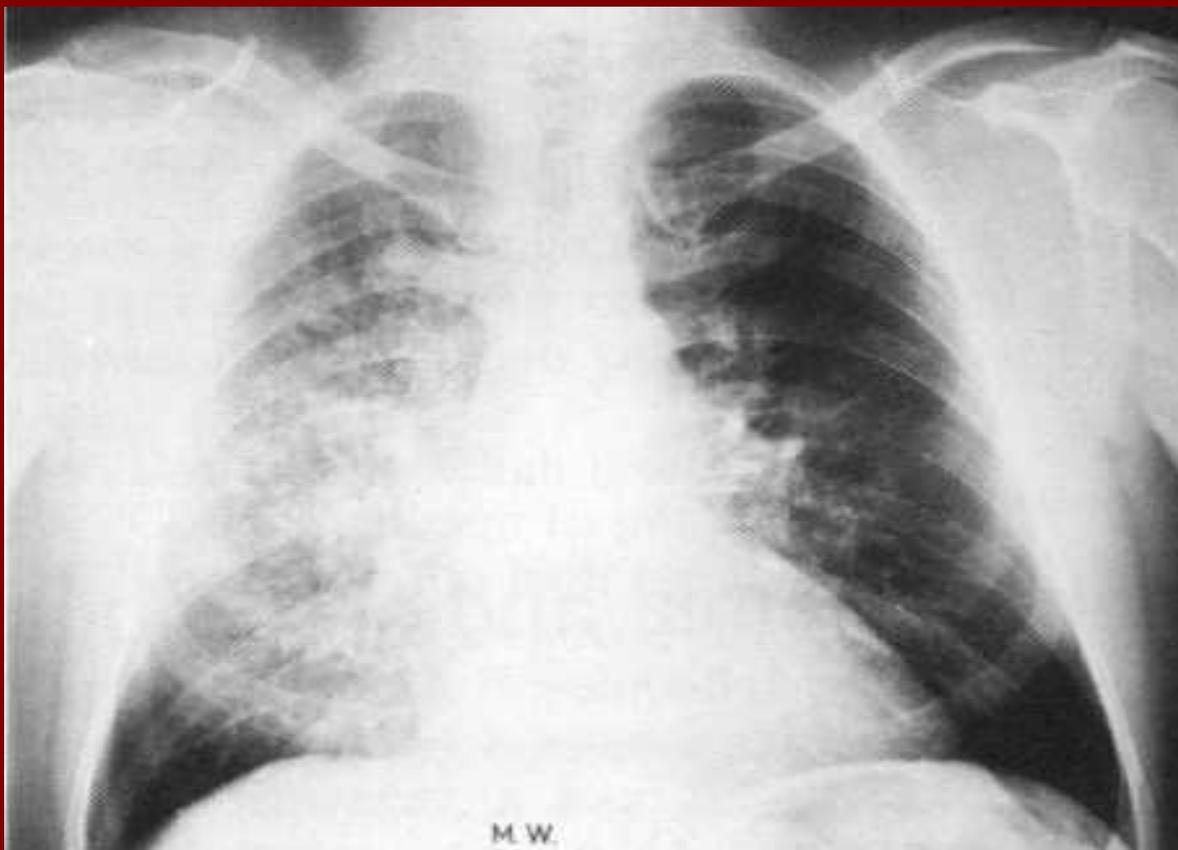
- Jusqu'à 6000m, acclimatation encore possible
 - Hyperventilation, CDC tachycardie
 - Compensation rénale possible (bic et globules)
- Dès 6000m, épuisement des mécanismes de compensation
 - Ascension possible seulement en hyperventilation, CDC et tachycardie cad par accommodation



=> Le corps semble bien s'adapter au manque d'oxygène en altitude???..... Et pourtant.....



DAVID au sommet



Diagnostic : Odème pulmonaire d'altitude

Pourquoi ????

Manque d'oxygène

Maladie d'altitude

MAM
Mal aigü des montagnes

OPHA
Oedème pulmonaire



OCHA
Oedème cérébrale

Incidence du MAM dans les Alpes:

2850m - 9%

3650m - 34%

OPHA - 1,5% Mortalité 24%

OCHA - 1% Mortalité 40%

Pathophysiologie von AMS und HACE

Hypoxie

1. Oedème vasogénique

- Vasodilatation cérébrale
- Perte de l'auto-régulation et surperfusion massive

⇒ Augmentation de la perméabilité capillaire

⇒ **Augmentation du volume extra-cellulaire**

2. Oedème cytotoxique

- Diminution de la synthèse d'ATP
- Hydrolyse des phospholipides membranaires
- Modification de la pompe Na/K
- **Oedème intracellulaire**

Epidémiologie

- Concerne:

- Habitant de plaine non acclimaté lors d'une ascension rapide en haute altitude
- Dès 2500- 3000m (Cas décrit dès 1500m!)

- Facteurs de risque :

- Vitesse d'ascension
- Altitude de sommeil
- Altitude atteinte
- Susceptibilité perso (Antécédent d'AMS)

=> Ne pas monter trop vite trop haut

=> Monter haut, dormir bas!

MAM



1800m	3.1%	(cab Concordia)
2820	9 %	(cab Finsterhaarhorn)
1	13 %	(cab Mönchjoch)
4559	52 %	(Cab.Margaritha)

Manifestation clinique du MAM

- Céphalée, apparue chez une personne non acclimatée arrivée depuis peu à une altitude $> 2500\text{m}$
- Accompagnée d'un des signes suivants:
 - Plaintes GI
 - Insomnie
 - Fatigue



Survenue 6 à 12h après arrivée en altitude

Rare entre 1500 et 2500m

Traitement du MAM

- Repos (Arrêt de l'ascension)
- Hydratation
- Paracétamol 1 gr 4x/j (Aspirine)

Si pas d'amélioration après 24h:

- Descente, descente, descente!!!
- O₂



Clinique de l'odème cérébrale (OCHA)



Diagnostic clinique:

- Trouble de l'équilibre, vision double
- Altération de l'état de conscience (Somnolence, Agitation, Hallucination...) puis paralysie, convulsion, coma
- Stade terminal du MAM
- En cas d'OCHA: favorise l'évolution du MAM vers l'OCHA

Effets de l'odème cérébral: A haute altitude, maladie potentiellement mortelle

-Directement par oedème

-Emprisonnement des alpinistes
dans les camps d'altitude

- Comportement inadéquat conduisant à la chute ou à de
mauvaises prises de décisions



Faible mortalité dans les Alpes

OCHA: Traitement

- Descente, descente, descente !!!
- O₂
- Caisson hyperbare
- Dexaméthasone 8mg puis 4mg 3x/jour
- Déxa+diamox 250mg 2-3x/ jour





Le Sherpa et l`Oèdeme cérébrale

OCHA: Prévention

- Prophylaxie possible mais seulement si
 - ATCD d'OCHA
 - Vitesse d'ascension incompressible
- Seulement après consultation d'un doc compétent



Manque d'oxygène

Maladie d'altitude

MAM
Mal aigu des montagnes

OPHA
Oedème pulmonaire



OCHA
Oedème cérébrale

Incidence du MAM dans les Alpes:

2850m - 9%

3650m - 34%

OPHA - 1,5% Mortalité 24%

OCHA - 1% Mortalité 40%

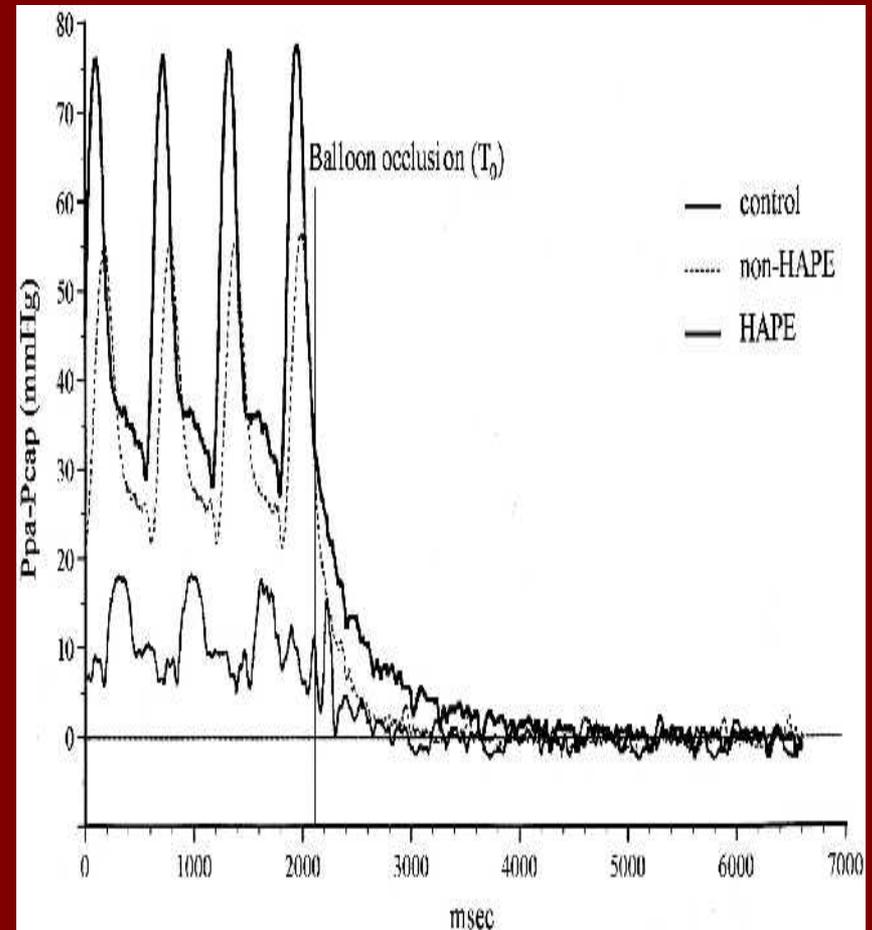
Pathophysiologie de l'OPHA

- HTAP exagérée
- Perméabilité capillaire augmentée
- Clearance alvéolaire diminuée
- Foramen ovale perméable?



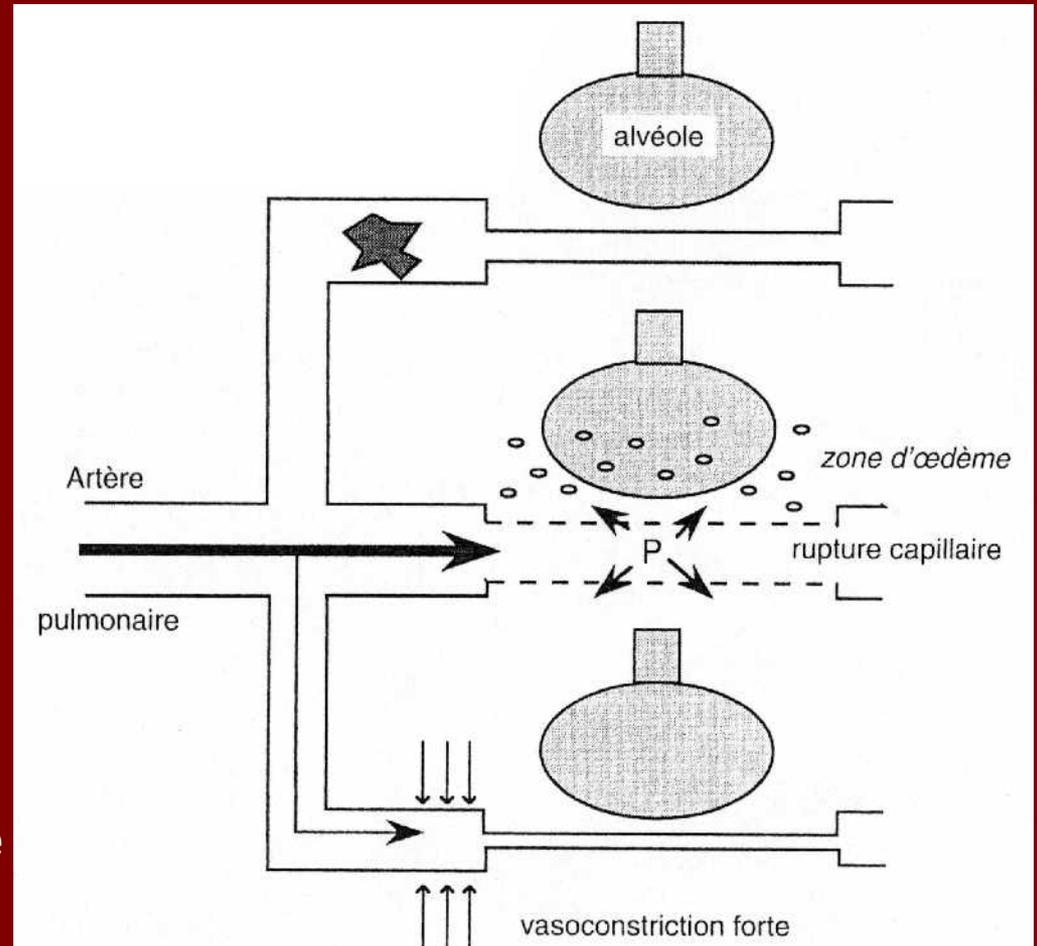
1. HTAP exagérée

- Adaptation physiologique pour diminuer le mismatch ventilation/perfusion: V/P
- Vasoconstriction hypoxique précapillaire
 - Hyperactivité Sympathique?
 - Manque d'NO-Synthetase?
 - Surproduction d'Endothelin?
- Veinoconstriction (pression capillaire élevée)



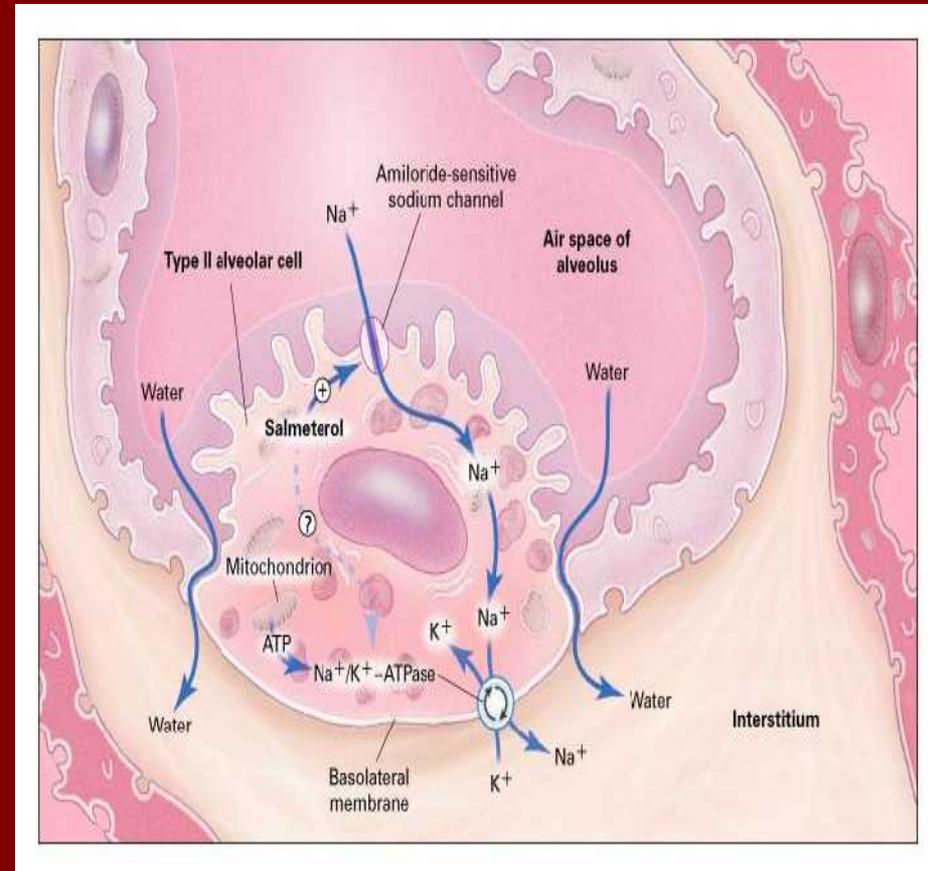
2. Perméabilité capillaire

- Inhomogénéité de la vasoconstriction hypoxique
- Lésion mécanique liée à la surperfusion
- Perméabilité capillaire élevée
- => réaction inflammatoire secondaire



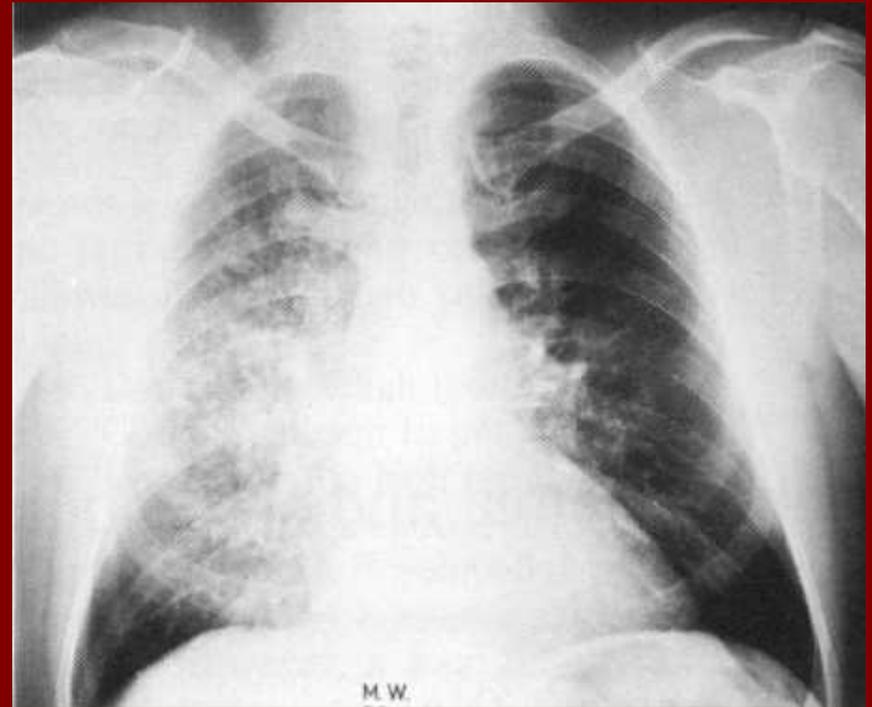
3. Défaillance de la Clearance du liquide alvéolaire

- Transport transépithélial de sodium par les canaux sodiques amiloride-sensitifs.
- Bon effet prophylactique en stimulant ces canaux par inhalation de B2-mimétique
 - 50% de réduction de l'incidence de l'OPHA
 - L'activité de ces canaux est réduite chez les personnes sensibles à l'OPHA
 - Un test clinique simple existe



Clinique : OPHA

- Rare après une semaine en altitude
- 1-3 jours après arrivée en altitude
- Fréquence resp. et cardiaque élevées au repos, lèvres bleues, toux, crachats...



OPHA: Traitement

- Descente = ttt optimal

- Repos

- O₂

- Caisson hyperbare

- Vasodilatateur pulmonaire:

→ Nifedipin 20mg 1x/j

→

→ Viagra (Futur?)

NO(peu pratique)





Baptiste dans le caisson

OPHA: Prophylaxie

- Acclimatation lente
 - 300-500m/jour
 - 1 jour de repos tous les 3-4 jours
- Effort modéré
- Hydrate de carbone
- Diamox 250mg 2-3x/jour
- Salmétérol
- Dexaméthasone???



Résumé

- Altitude = manque d'oxygène
- Réaction du corps: poumon, coeur, sang et reins
- MAM: fréquent, bénin
- OCHA: rare, dangereux, souvent évitable
- OPHA:
 - Grande susceptibilité individuelle
 - Bonne réponse au traitement médicamenteux
 - Personne ne devrait mourir de nos jours de HAPE



REPOS



DESCENTE

**En l'absence d'une cause évidente,
l'alpiniste qui n'est « pas bien » en altitude
souffre d'un problème dû à l'altitude
(jusqu'à preuve du contraire)**



**II FAUT
DESCENDRE!!!**

Merci pour votre attention



Paramètres physiques

Table 2.1 Standard Atmosphere (ICAO, 1968)

Attitude		Pressure (P_B)		P_{O_2}		Temperature	Density
<i>m</i>	<i>ft</i>	<i>torr</i> (<i>mm Hg</i>)	<i>millibars</i>	<i>dry, torr</i>	<i>moist, torr</i>	$^{\circ}\text{C}$	kg/m^3
0	0	760	1013.3	159.2	149.3	15	1.225
1000	3 281	674.1	898.8	141.2	131.4	8.50	1.112
2000	6 562	596.3	795.0	124.9	115.1	2.00	1.007
3000	9 843	526.0	701.2	110.2	100.3	-4.49	0.909
4000	13 123	462.5	616.6	96.9	87.0	-10.94	0.819
5000	16 404	405.4	540.5	84.9	75.1	-17.47	0.736
6000	19 685	354.2	472.2	74.2	64.3	-23.96	0.660
7000	22 966	308.3	411.1	64.6	54.7	-30.45	0.590
8000	26 247	267.4	356.5	56.0	46.2	-36.94	0.526
9000	29 528	231.0	308.0	48.4	38.5	-43.42	0.467

* P_{O_2} of moist inspired gas is $0.2094 (P_B - 47)$