

# Plongée à très haute altitude en Himalaya





**SWISS EXPEDITION 2000**

- 1968 Cousteau, Lac Titicaca 3810 m
- 1980 Armée Inde, Ladakh 4328 m  
Sahni, John, Chatterjee, Undersea Biomed Res 1991; 18: 303-16
- 1989 Expé anglaise, lacs Gokyo 4877 m O<sub>2</sub> + Nitrox  
Leach, Mc Lean, Mee, Undersea and Hyperbaric Med 1994; 21, 4: 459-66
- 1992 Dr Alain Gleises, Dolpo 4400 m  
Ducassé, Izard, Eléments de Médecine de Plongée, Medep, 1999;153-9
- 1993 Jean-Claude Le Péchon, Chili 4500 m lac Chungara  
EUBS 1994 Istanbul
- 1982-2007: Lac Licancabur, 5930 m, prof < 5 m  
Henri Garica, Nicolas Hulot, etc
- 2006 Claudia HENRIQUEZ et Alain MEYES, Chili 6046 m  
Volcan Pili 6046 m prof ? <http://www.azimut360.com/Fran/prensa.html>

# Où aller plonger ?

Himalaya, Népal,  
parc national de l'Everest  
(Sagarmatha National Park)







29 mai - 19 juin 2000

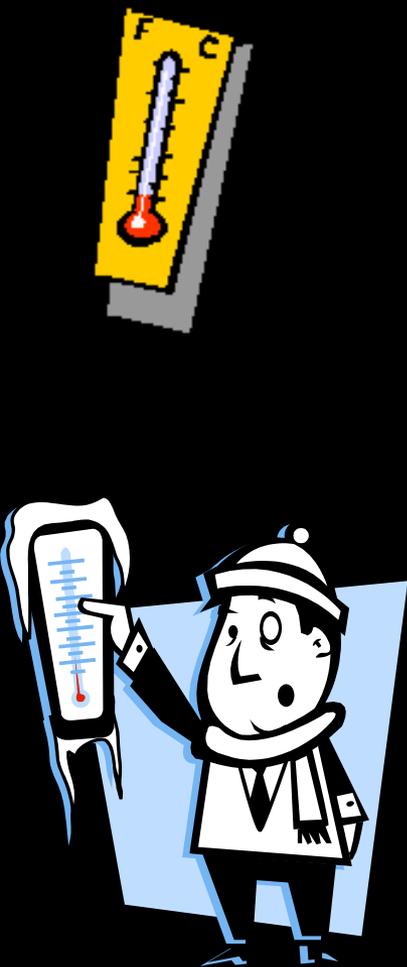


Expédition de 48 personnes

- 41 népalais
- 3 yopkaks ➔
- 7 Genevois



1 tonne de matériel





Genève - New Dehli -  
Kathmandu



Kathmandu - Namche  
Bazar (hélicoptère MI 17)



Namche Bazar – lacs  
(trekking)





Xixabangma Peak 8012 m

Zhangdong

QOMOLANGMA

TIBET

Rasuwa Garhi

Thangjet

Suabru

Suabru Bensi

Langtang

Congdu

Quxam

Rongxar

Rongpu Si

LANGTANG NATIONAL PARK

Cho Oyu 8201 m

Gyachung Kang

Dhunche

Gosainkund

Doglang

Yarsa

Thare Pati

Helmu

Malenchigaon

Tarke Ghyang

Tempathang

Gamphathang

Kodari

Tatopani

Zham

Liping

Lomrang

Gauri Shankar

Lunak

Mount Everest 8850 m

SAGARMATHA N.P.

Chhule

Taweche

Phortse

Namche Bazar

Khumbu

Lhotse 8501 m

Lobuche

Thukla

Amal Dablam 6856 m

Thapagaon

Pati

Kakani

Bhanjyang

Khadkagaon

Balaju

Sundarjal

Panga

Lalitpur

Bungmati

Pharping

Dakshinkali

Godavari

Dhulikhel

Banepa

Bhaktapur

Nagarkot

Lamadihi

Godavari

Godavari

Godavari

Godavari

Thyangboche

Phalamsangu

Chautara

Bahrabise

Bansangu

Chilankha

Sikpasor Khani

Charikot

Dolakha

Tandi

Kirantichhap

Thulopatal

Rasnalun

Barabise

Melung

Yangbel

Pachwarghat

Dumja

Beni Ghat

Sangutar

Ramechhap

Sindhuli Garhi

Ghumthang

Lamobagar

Beding

Nangaon

Beding

Chilankha

Sikpasor Khani

Charikot

Dolakha

Tandi

Kirantichhap

Thulopatal

Rasnalun

Barabise

Melung

Yangbel

Pachwarghat

Dumja

Beni Ghat

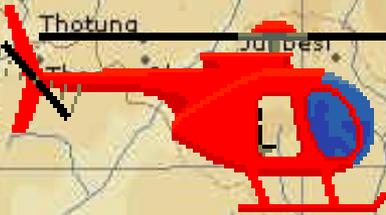
Sangutar

Ramechhap

Sindhuli Garhi

Sindhuli Garhi

Sindhuli Garhi



Chaunrikharka

Lukla

Jubing

Phaphlu

Wapsa Khani

Gudel

Sanam

Jantra Khani

Aisyalukharka

Okhaldhunga

Rumjatar

Rumjatar

Rumjatar

Rumjatar

Rumjatar

Rumjatar

Rumjatar

28°

27° 30'

MAKALU-BARUN N.P.

# Syangboche

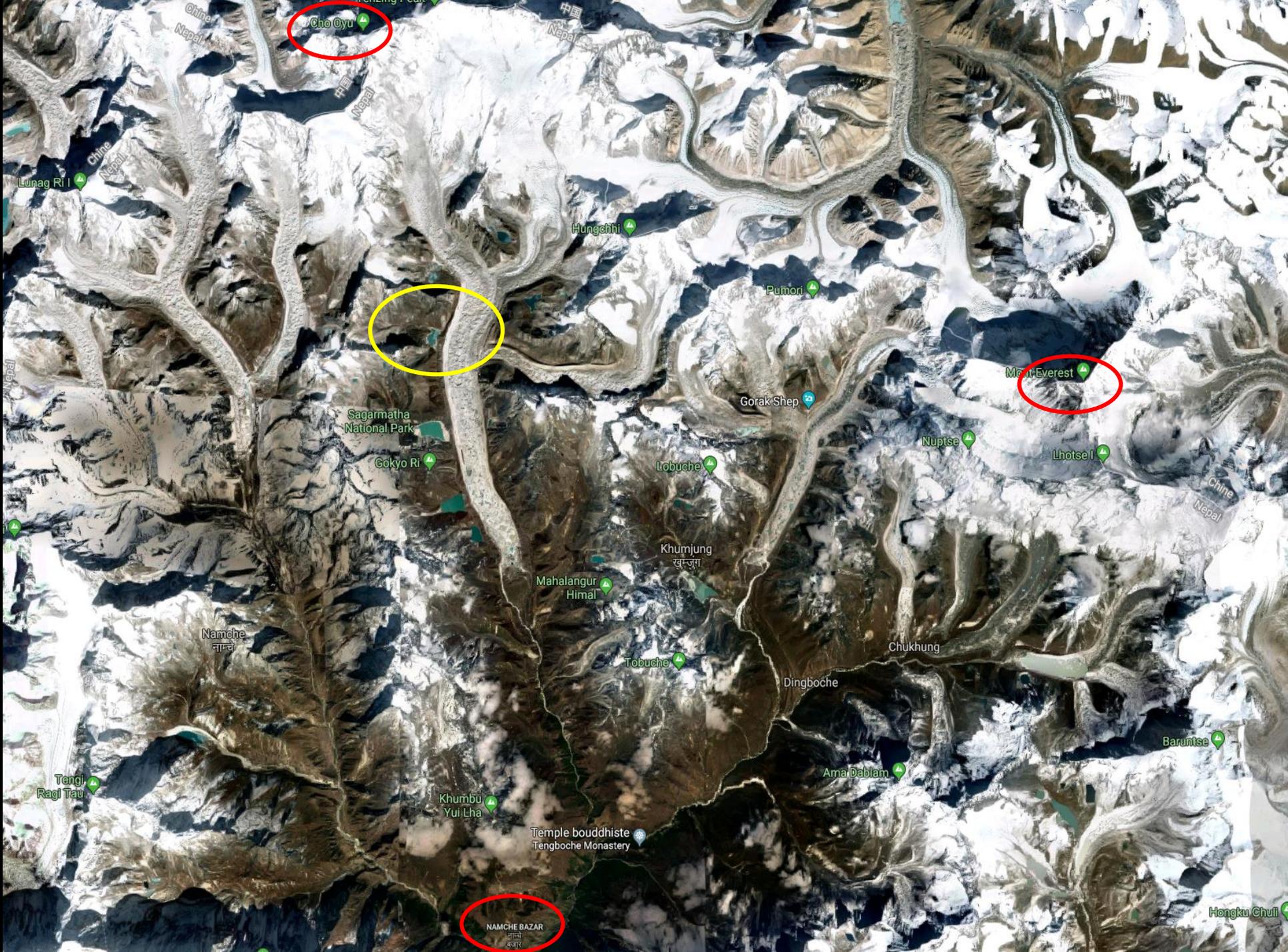
(3770 m)



Namche Bazar 3444 m







Cho Oyu

Mount Everest

NAMCHE BAZAR

(Yellow oval)

Sagarmatha National Park

Gokyo Ri

Mahalangur Himal

Tobucho

Khumbu Yui Lha

Temple bouddhiste Tengboche Monastery

Ama Dablam

Dingboche

Chukung

Lobuche

Gorak Shep

Pumori

Hungshhi

Nuptse

Lhotse I

Baruntse

Hongku Chuli

Lunag Ri I

Namche

Tengj Ragi Tau

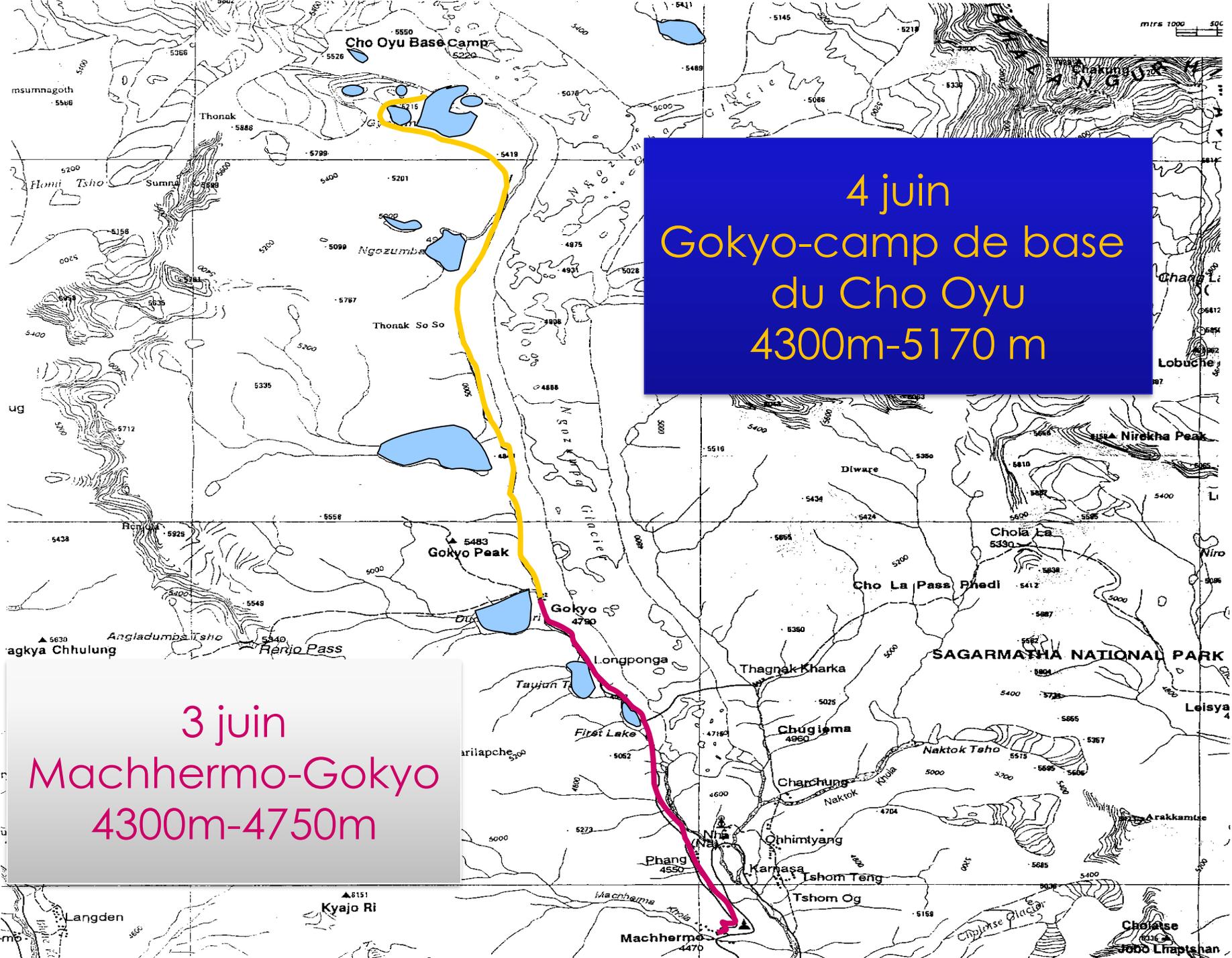
China Nepal

China Nepal

China Nepal

2 juin  
Phortse-Machhermo  
3550m-4300m

1er juin  
Namche Bazar-Phortse  
3360 m-3550m



4 juin  
Gokyo-camp de base  
du Cho Oyu  
4300m-5170 m

3 juin  
Machhermo-Gokyo  
4300m-4750m





Cho-Oyu 8246 m





# Lac Gyazumbha II 5170 m









Lac Gyazumbha  
VI

5523 m







Lac Gyazumbha II (5170 m) 1<sup>er</sup> record

Lac Gyazumbha VI (5523 m) 2<sup>ème</sup> record

Profondeur réelle 13.2 m  
théorique 26.5 m

Température 0.9 °C

Air comprimé (compresseur Coltri)



# Plongée et très haute altitude

- ↓ pression atmosphérique
- tables de décompression
- conditions climatiques
- fiabilité du matériel
- accessibilité des sites
- éloignement des secours



Altitude intermédiaire (1500-2500 m)

Haute altitude (2500-3500 m)

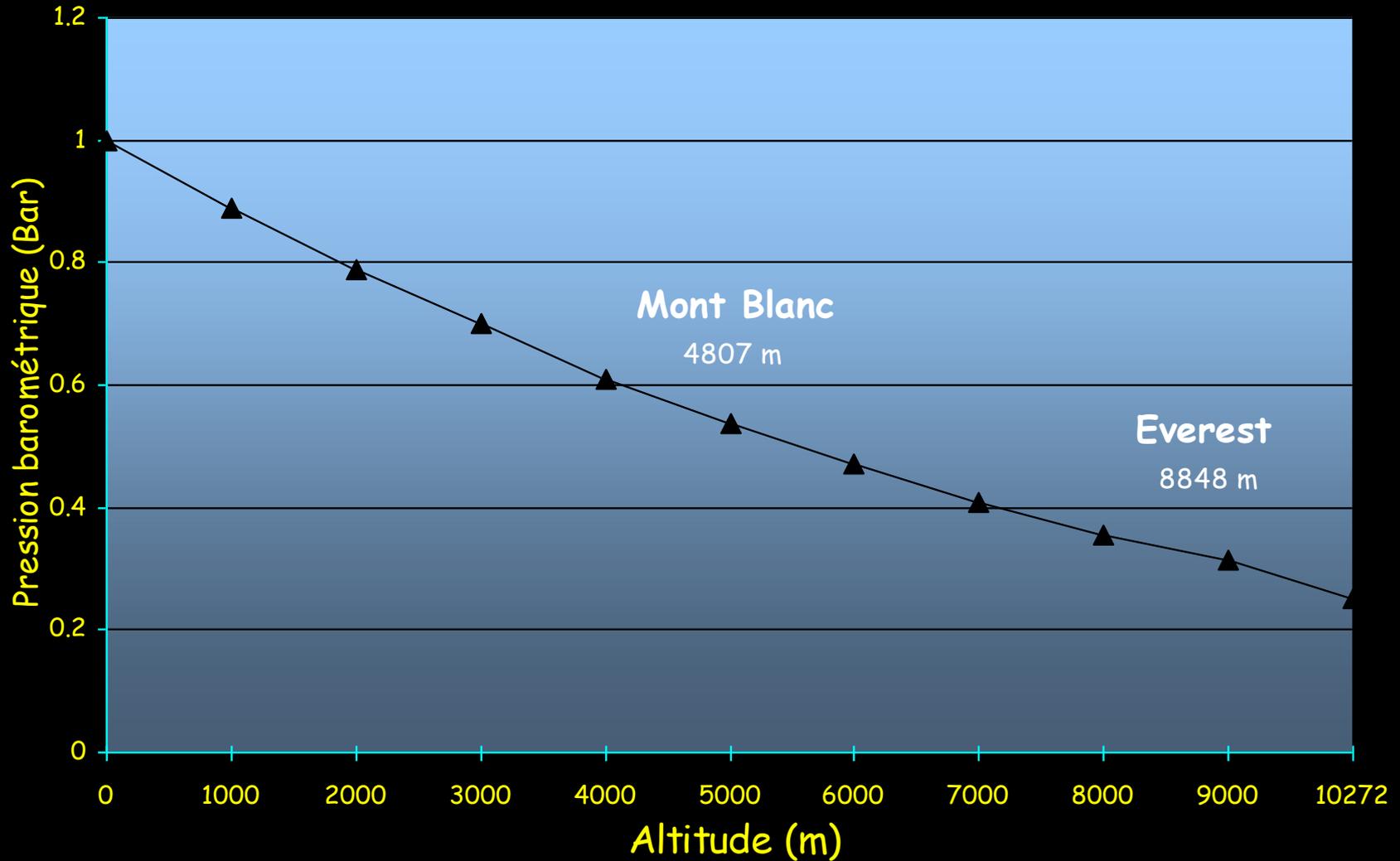
Très haute altitude (3500-5800 m)

Extrême altitude (> 5800 m)



Résidents à Aconquilcha, Chili, 5340 m

# Pression et altitude



# Pression: unités

1 ATA =

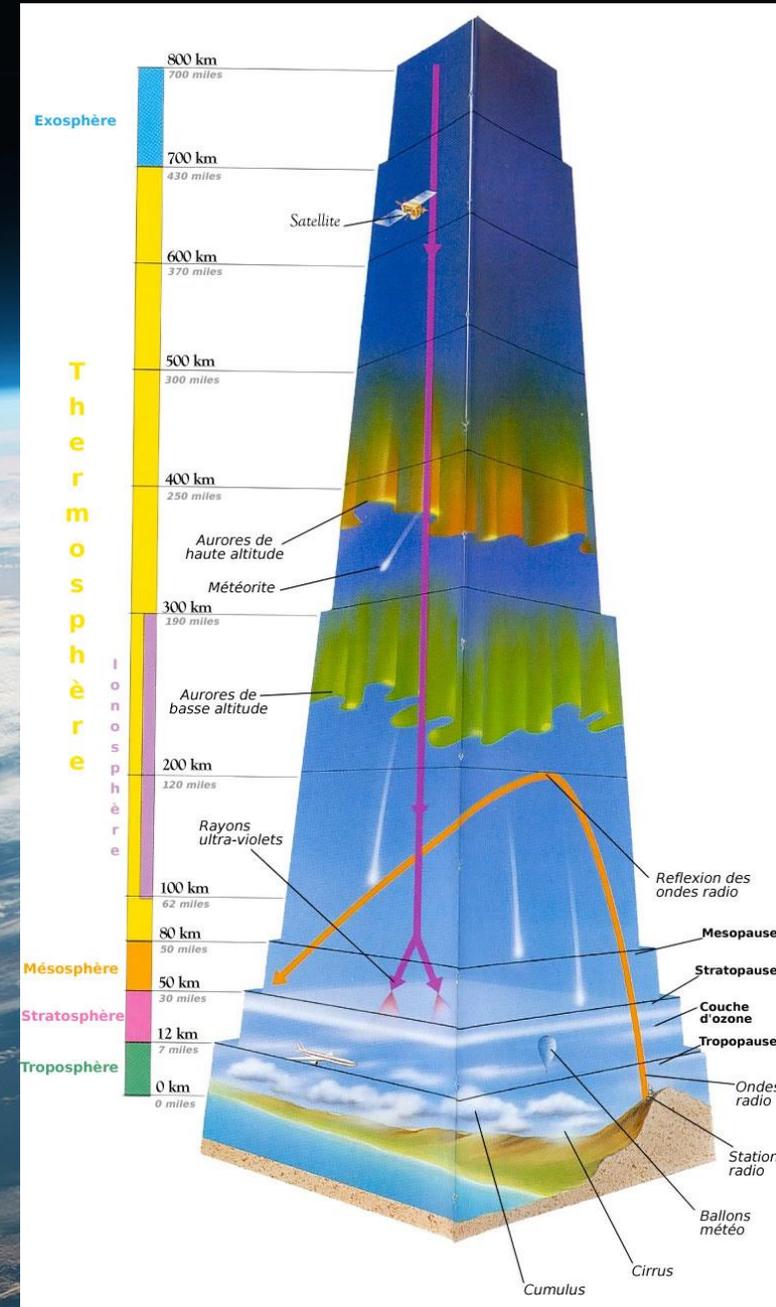
1.01 bar

14.5 psi

101 kPa

760 mm Hg / Torr

1033 cm H<sub>2</sub>O



# Loi de Dalton

$$P_{iO_2} = 0.21 \times (100 - 6.3^*) \text{ kPa}$$

\* $p_{H_2O}$  à 37°C

$$= 19.6 \text{ kPa (mer)}$$

$$= 9.2 \text{ kPa (5000 m)}$$

➤ Hypoxie hypobarique



# Variation de la pression atmosphérique

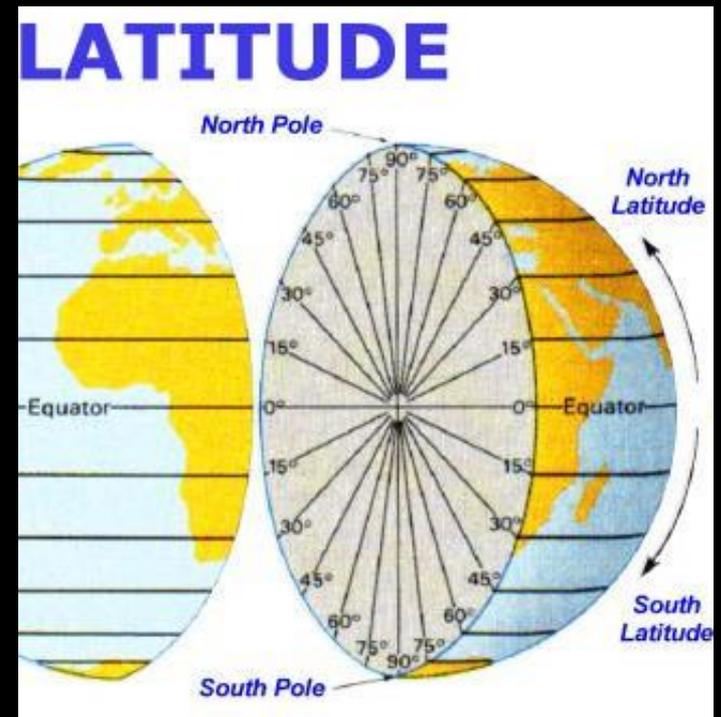
✓ Dépendante de la latitude : plus basse au pôles qu'à l'équateur

Mont Mc Kinley, **63°** nord, altitude « barométrique » 6900m, altitude GPS 6195m, +700m

Mont Blanc : **45° 49' 55.6284" N**

Everest **27°59'9.85''N**

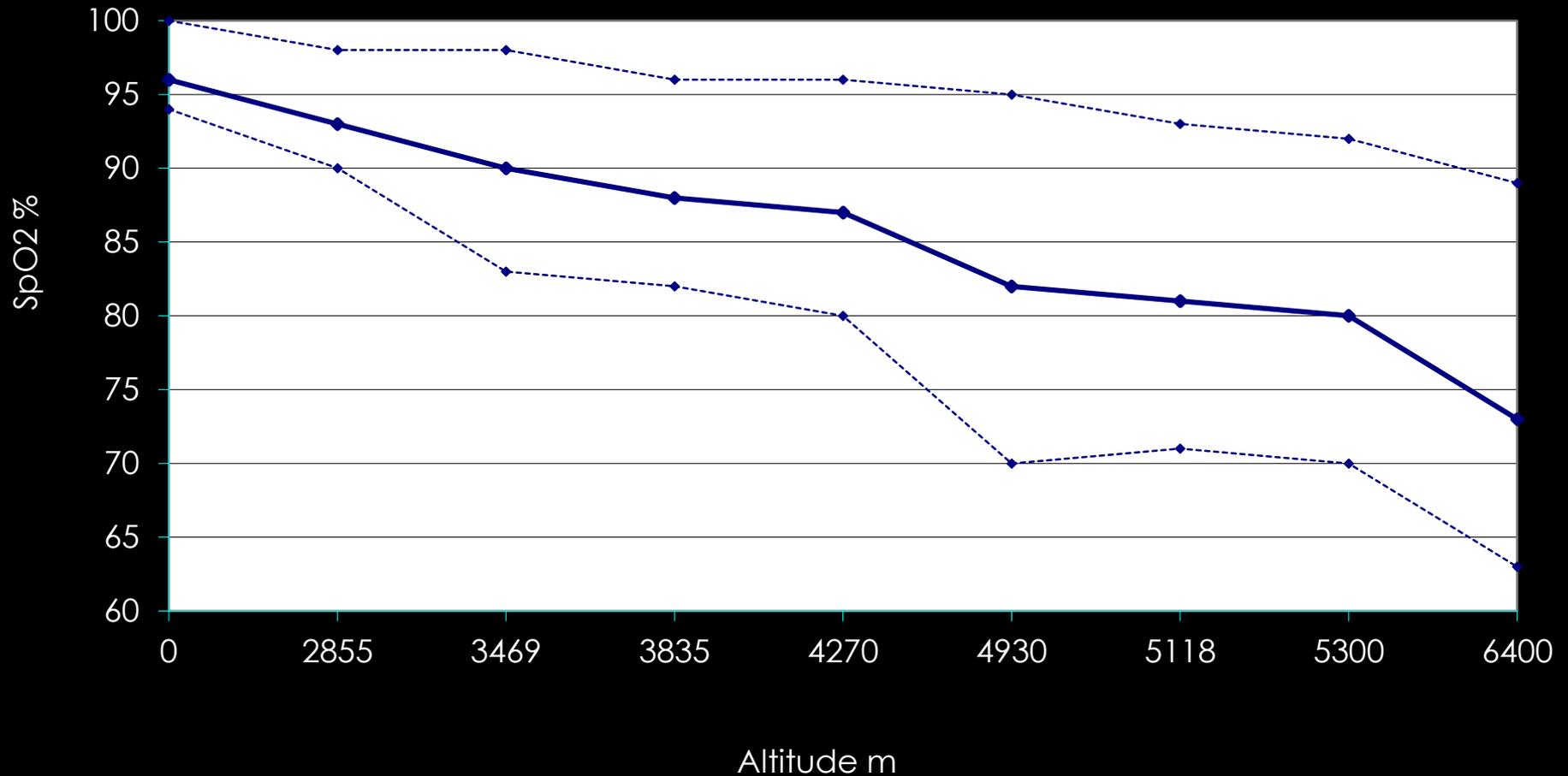
$P_{\text{atm}}$  prédite = 236 mmHg  
 $P_{\text{atm}}$  mesurée = 253 mmHg



# British Everest Medical Expedition

SpO2 moyenne CI 95%

1994

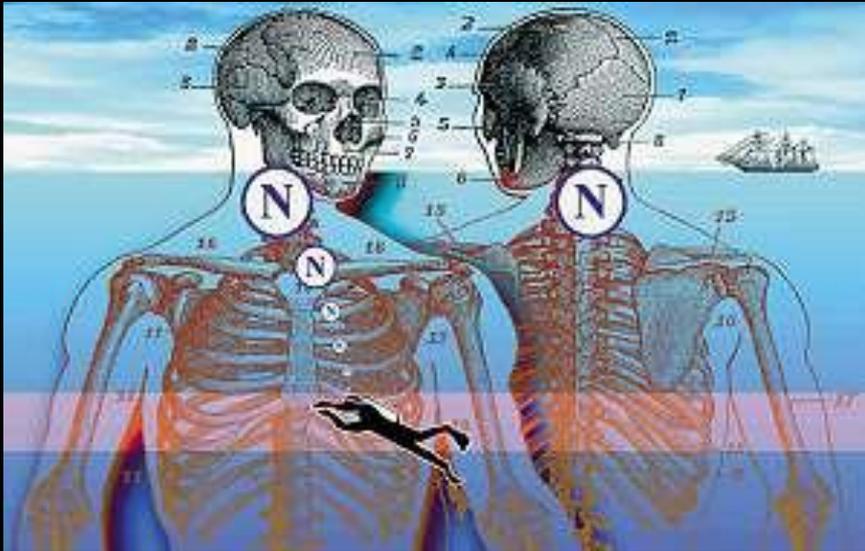


# Acclimatation

- mal compris
- variabilité individuelle
- indépendant de la condition physique
- dès 1500 m → 5500m



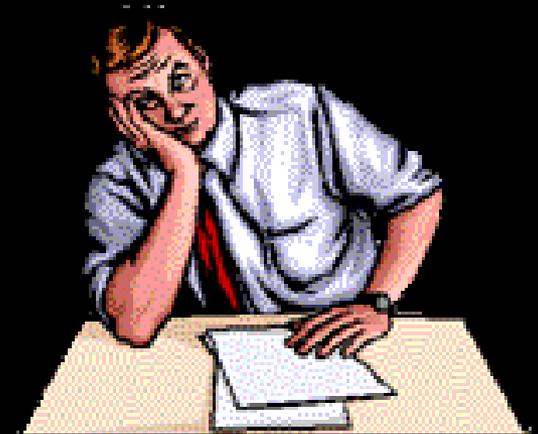
# Hyperbarie - Hypobarie



# Tables de décompression

Modélisation

Validation



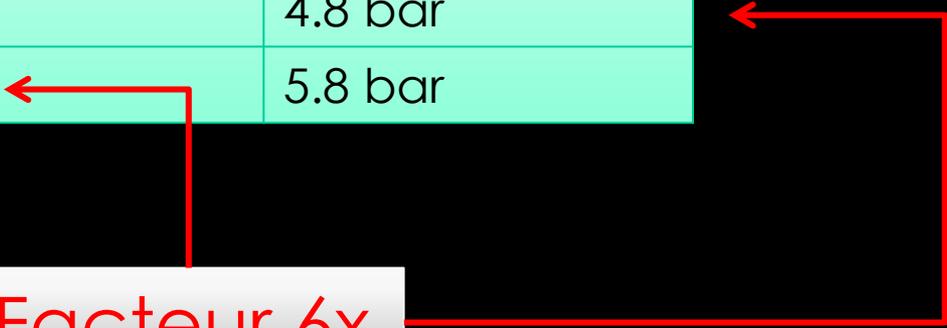
Acclimatation du plongeur?



# Calcul de décompression

Profondeur	Mer	Lac à 2000 mètres d'altitude
surface	1 bar	0.8 bar
-10 m	2 bar	1.8 bar
-40 m	5 bar	4.8 bar
-50 m	6 bar	5.8 bar

Facteur 6x



Plonger à une altitude de 5000 m

à une profondeur de 20 m

=

passer d'une pression de 0.5 bar à 2.5 bar

et d'une  $PiO_2$  de 9.2 kPa à 49 kPa



Confort respiratoire au fond



Dyspnée et palpitations  
à la remontée



# La décompression en altitude

## 3 principes d'adaptation:

### 1. Extrapolation linéaire de $M$

(quantité max admissible gaz intra-tissulaire) (tables Bühlmann 2500 m)

### 2. Translation rapport constant $M$ et CSC

(méthode des profondeurs équivalentes)

### 3. Extrapolation rapport constant de CSC

(tables Boni 3200m)

# Méthode des profondeurs équivalentes

(Translation rapport constant M et CSC)

$$\frac{P_{\text{atm mer}}}{P_{\text{atm lac}}} = \frac{P_{\text{abs mer}}}{P_{\text{abs lac}}} = \frac{\text{prof}_r \text{ mer}}{\text{prof}_r \text{ lac}}$$

$$\text{prof}_f = \text{prof}_r \times \alpha$$

$\alpha$  = facteur de correction =  $P_{\text{atm mer}} / P_{\text{atm altitude}}$

OU

$$\text{prof}_f = \text{prof}_r / P_{\text{atm altitude}} \text{ (exprimée en bar)}$$

$$\frac{P_{\text{atm mer}}}{P_{\text{atm lac}}} = \frac{P_{\text{abs mer}}}{P_{\text{abs lac}}} = \frac{\text{prof mer}}{\text{prof lac}} = \frac{\text{vit. remontée mer}}{\text{vit. remontée lac}} = \frac{\text{prof paliers mer}}{\text{prof paliers lac}}$$

# La décompression en altitude

> 4000 m: aucune validation

Padi:  $\geq 300$  m  $\rightarrow$  3000 m

CMAS:  $\rightarrow$  2500 m, profondeurs équivalentes

FSSS: Bühlmann  $\rightarrow$  2500 m

Ordinateurs: Aladin  $\rightarrow$  4000 m

# Décompression Swiss Expedition 2000

Tables MN 90

Courbe de sécurité, paliers de 2 et 4 m

Vitesse de remontée très lente

# L'acclimatation du plongeur

Fatigue



# L'acclimatation du plongeur, fenêtre $O_2$

Fatigue

↓ fenêtre d' $O_2$

= gradient de pression responsable  
de l'élimination des gaz inertes/  
bulles vers les poumons



# L'acclimatation du plongeur, fenêtre O<sub>2</sub>

	P <sub>Alv</sub>	P <sub>art</sub>	P <sub>vein</sub>
CO <sub>2</sub>	5.3	5.3	6
O <sub>2</sub>	13.8	12.6	5.3
H <sub>2</sub> O	6.3	6.3	6.3
N <sub>2</sub>	76	76	76
Total	101.3	100.2	93.6

Fenêtre d'O<sub>2</sub> = 101.3 – 93.6 = 7.7 kPa

Fenêtre d'O<sub>2</sub> = 1.4 kPa à 4000 m



# L'acclimatation du plongeur, MDD

Fatigue

↓ fenêtre d' $O_2$

Maladie de décompression

- majorée par hypoxie



# L'acclimatation du plongeur, MDD

## Déshydratation

Effets cumulés de la déshydratation  
d'altitude et de la plongée



# L'acclimatation du plongeur, MDD

Déshydratation

↓ température



# L'acclimatation du plongeur, MDD

Déshydratation

↓ température

Effort

⇒ ↑ bulles en milieu hypobare



# L'acclimatation du plongeur, C-V

Fatigue

↓ fenêtre d' $O_2$

MDD

Cardio-vasculaire



# L'acclimatation du plongeur, C-V

## Modifications cardio-vasculaires

HTAP  $\Rightarrow$  ouverture FOP

HTAP  $\Rightarrow$   $\downarrow$  efficacité  
filtre pulmonaire



# L'acclimatation du plongeur, sang

Fatigue

↓ fenêtre d' $O_2$

MDD

Cardio-vasculaire

Etat hypercoagulable

↑ viscosité sanguine



# Altitude et plongée

↗ risque de barotraumatisme

↗ risque de maladie de décompression

Plongée en altitude = plongée à risques



# Procédures plongée très haute altitude

Préparation: type trekking, excellente forme physique

Acclimatation: selon recommandations 300-600 m/j

Décompression: méthode des profondeurs équivalentes  
ne pas plonger avant un délai de 24h00

Sécurité: ligne de vie/3<sup>ème</sup> plongeur équipé/lestage sup/  
connaître la profondeur/doubler instruments

Aspect médical

# Matériel médical

O<sub>2</sub> 3 bouteilles kevlar 2 L

Oxymètre

acétazolamide

dexaméthasone

sildénafil

AINS (aspirine)

zolpidem



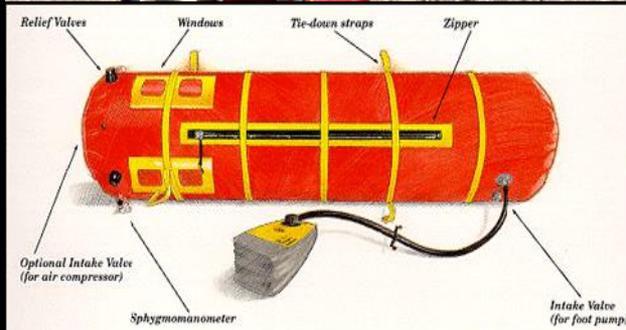
# Traitement hyperbare par chambres portables

## Chambres thérapeutiques mal des montagnes

Gamov Bag  
2 psi = 138 mb

Certec Bag  
2 psi = 138 mb

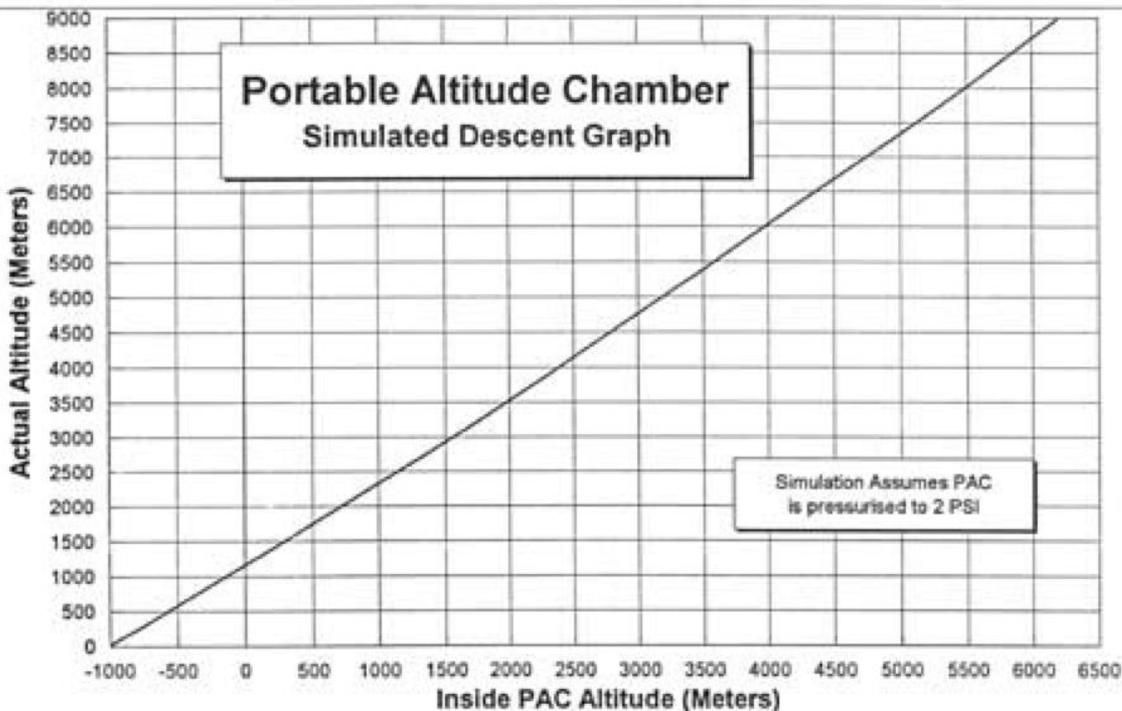
PAC  
3.2 psi = 220 mb



# Traitement hyperbare par chambres portables

Chambres thérapeutiques mal des montagnes

= descente 2000 – 3200 m selon altitude



TABEAU DE CORRESPONDANCE  
POUR UNE PRESSION DE 220 MB  
ENTRE

Altitude Ext. au caisson	Altitude fictive Int. au caisson
3500 m	1200 m
3750 m	1400 m
4000 m	1600 m
4250 m	1800 m
4500 m	2000 m
4750 m	2200 m
5000 m	2375 m
5250 m	2550 m
5500 m	2725 m
5750 m	2900 m
6000 m	3075 m
6250 m	3250 m
6500 m	3425 m
6750 m	3600 m
7000 m	3775 m
7250 m	3950 m

Valeurs données à titre indicatif

# Chambres hyperbares portables

Plongée, militaire, yacht



# Chambres hyperbares portables

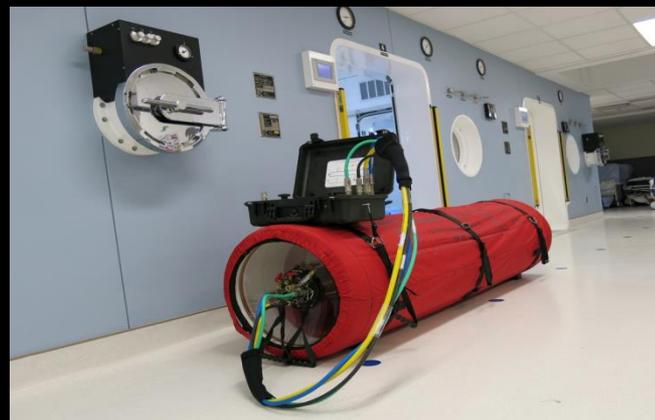
GSE FlexiDec 41 kg, 6 ATA

Double sac en polyester composite imprégné d'uréthane  
30'000 \$



# Chambres hyperbares portables

Hyperlite 1, 95 kg (1x 57 kg 1 x 38 kg, 2.3 ATA  
Kevlar, 40'000 \$



# Chambres hyperbares portables

HematoCare 125 kg , 3 ATA, 60'000 \$

Toile en Kevlar avec résine de polyuréthane

Le Groupe Médical Gaumond remporte un prix d'excellence au Salon JEC Europe 2014

## HematoCare™

The new generation of hyperbaric chamber

# 3ATA



The HematoCare™ is a light and compact product that allows easy transportation and quick installation. Various configurations and uses of the product are initiated through a user friendly visual interface.



### Easy transportation and installation

The HematoCare™ concept is to create the most transportable 3ATA hyperbaric chamber in the world.

- Transportable by only one person (rolling transport case)
- Passes through regular door frames
- Fits in a small mini-van
- Complete system is 125 kg (275 lb)
- Assembly completed in less than 15 minutes and requires only 2 people
- Transport case includes a secure and organized storage system for components

### Operator friendly

- Simple and easy to understand controls
- Regular mechanical pneumatic controls
- Efficient communication system with patient
- Different units available for monitoring parameters
- Handy and secure quick connects for pressure couplings
- Intuitive control layout
- Multifunction touch screen offering:
  - Chronometers
  - Real time monitoring
  - Pressure-time curve
  - Communication and light control
  - Different languages
  - And more ...

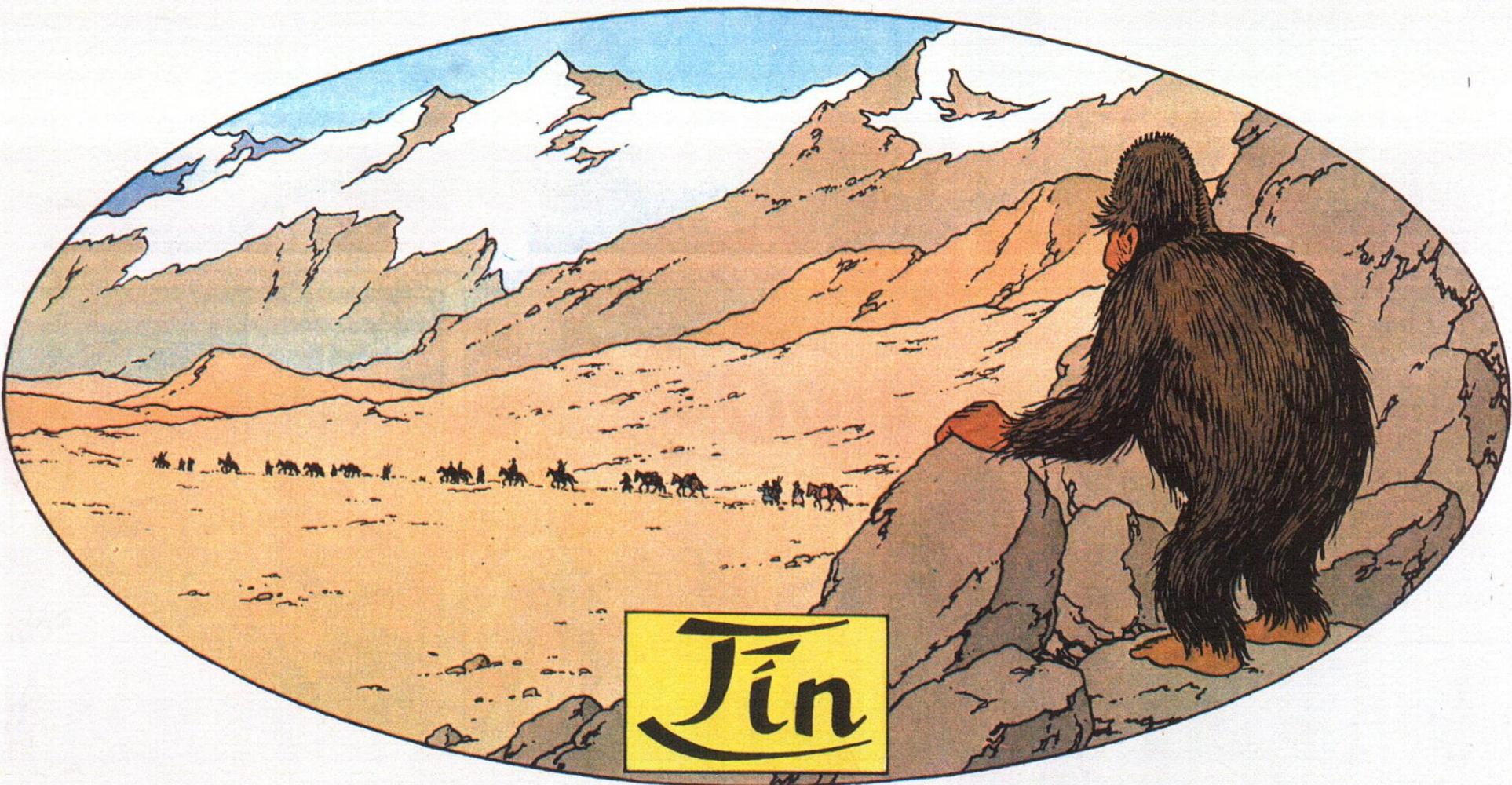


# Chambres hyperbares portables









Jin