

# 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

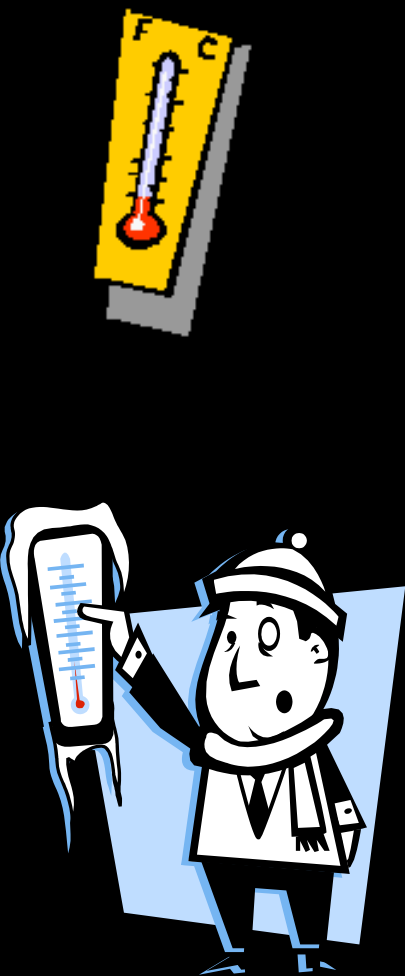


Expédition de 48 personnes

- 41 népalais
- 3 yopkaks ➔
- 7 Genevois

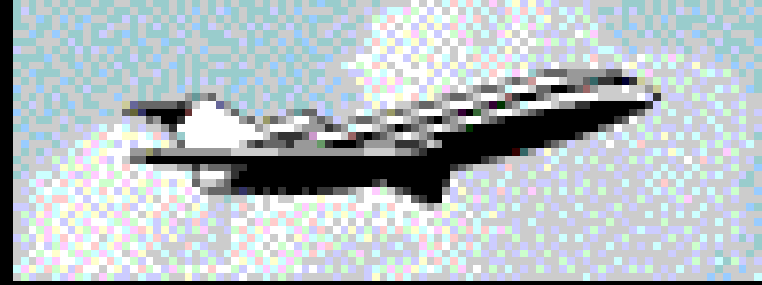


1 tonne de matériel





Genève - New Dehli -  
Kathmandu



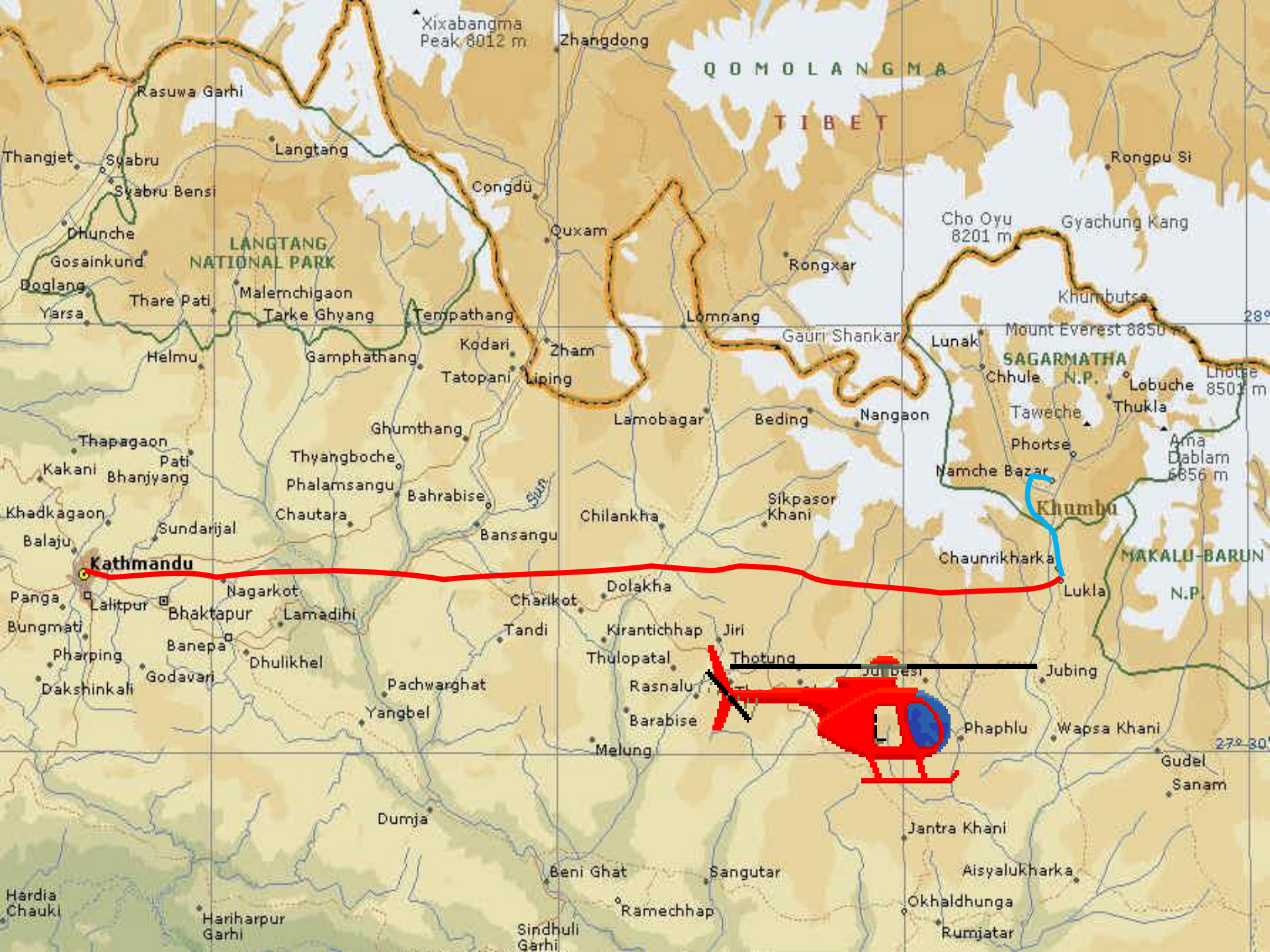
Kathmandu - Namche  
Bazar (hélicoptère MI 17)



Namche Bazar – lacs  
(trekking)





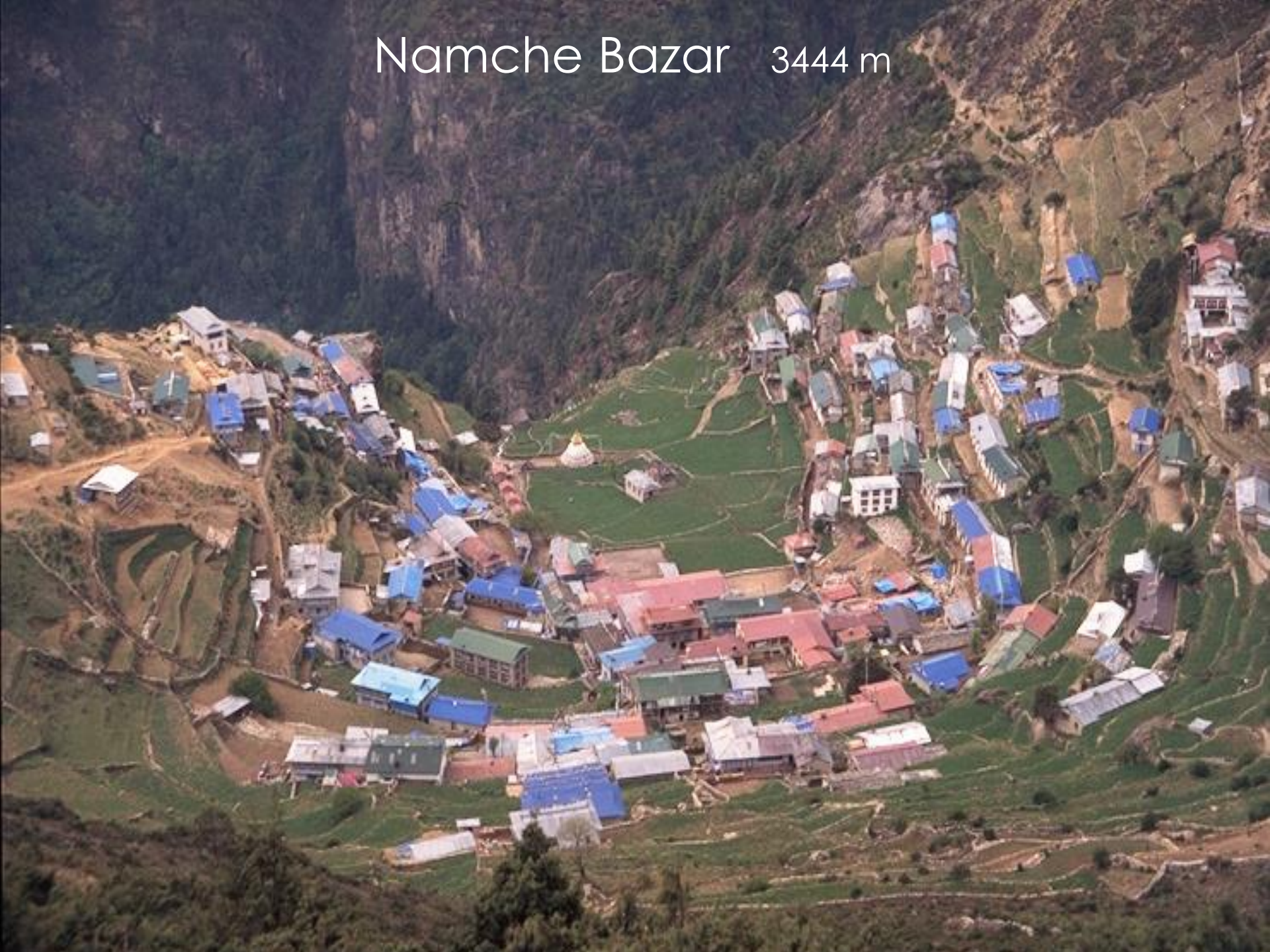


# Syangboche

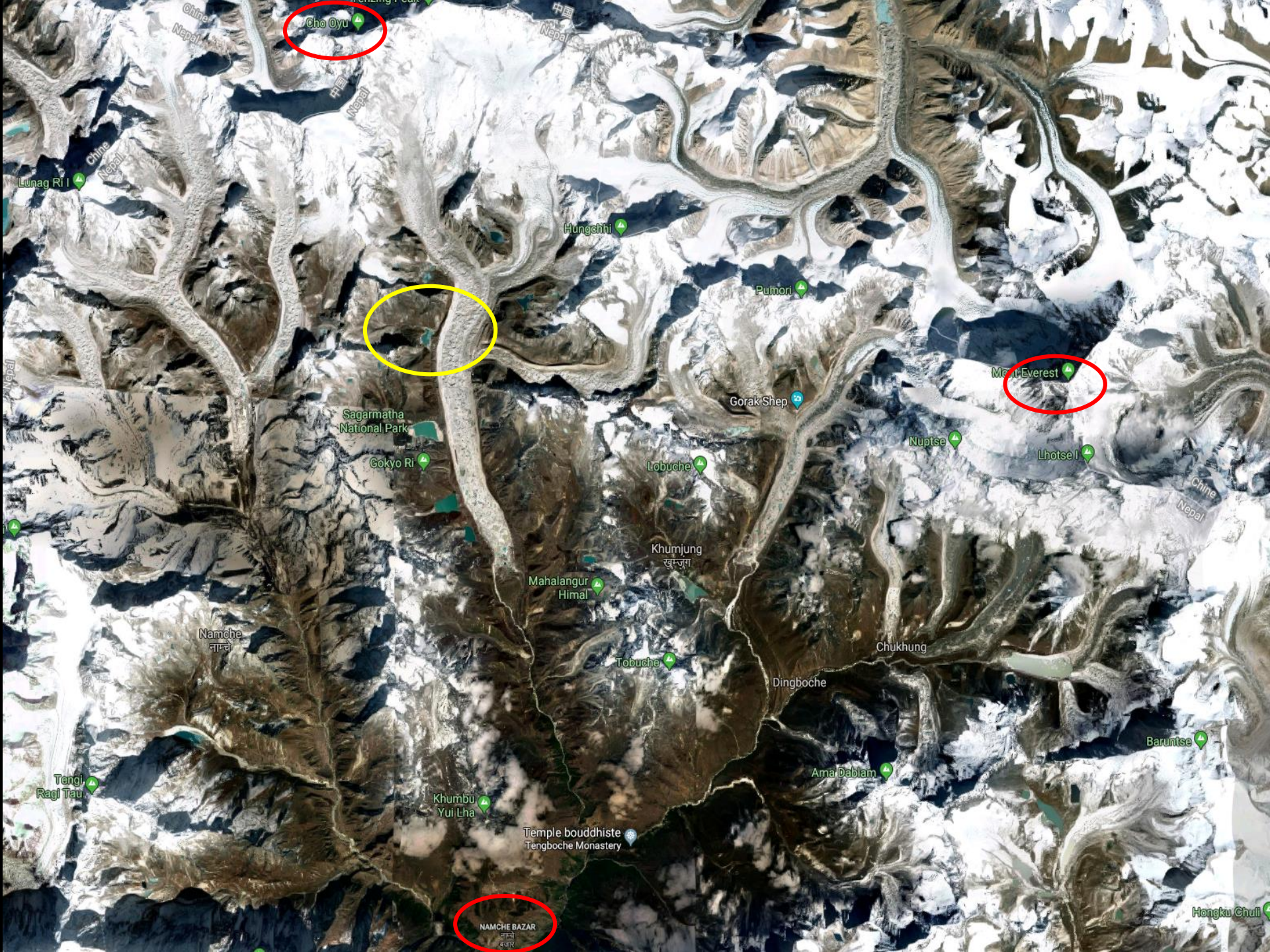
(3770 m)



Namche Bazar 3444 m







Cho Oyu

[Yellow oval highlighting a mountain pass area]

Mt. Everest

NAMCHE BAZAR

Lunag Ri I

Hungshhi

Pumori

Sagarmatha National Park

Gokyo Ri

Gorak Shep

Lobuche

Nuptse

Lhotse I

Namche

Mahalangur Himal

Khumjung

Tobuche

Chukung

Dingboche

Tengj Ragi Tau

Khumbu Yui Lha

Temple bouddhiste Tengboche Monastery

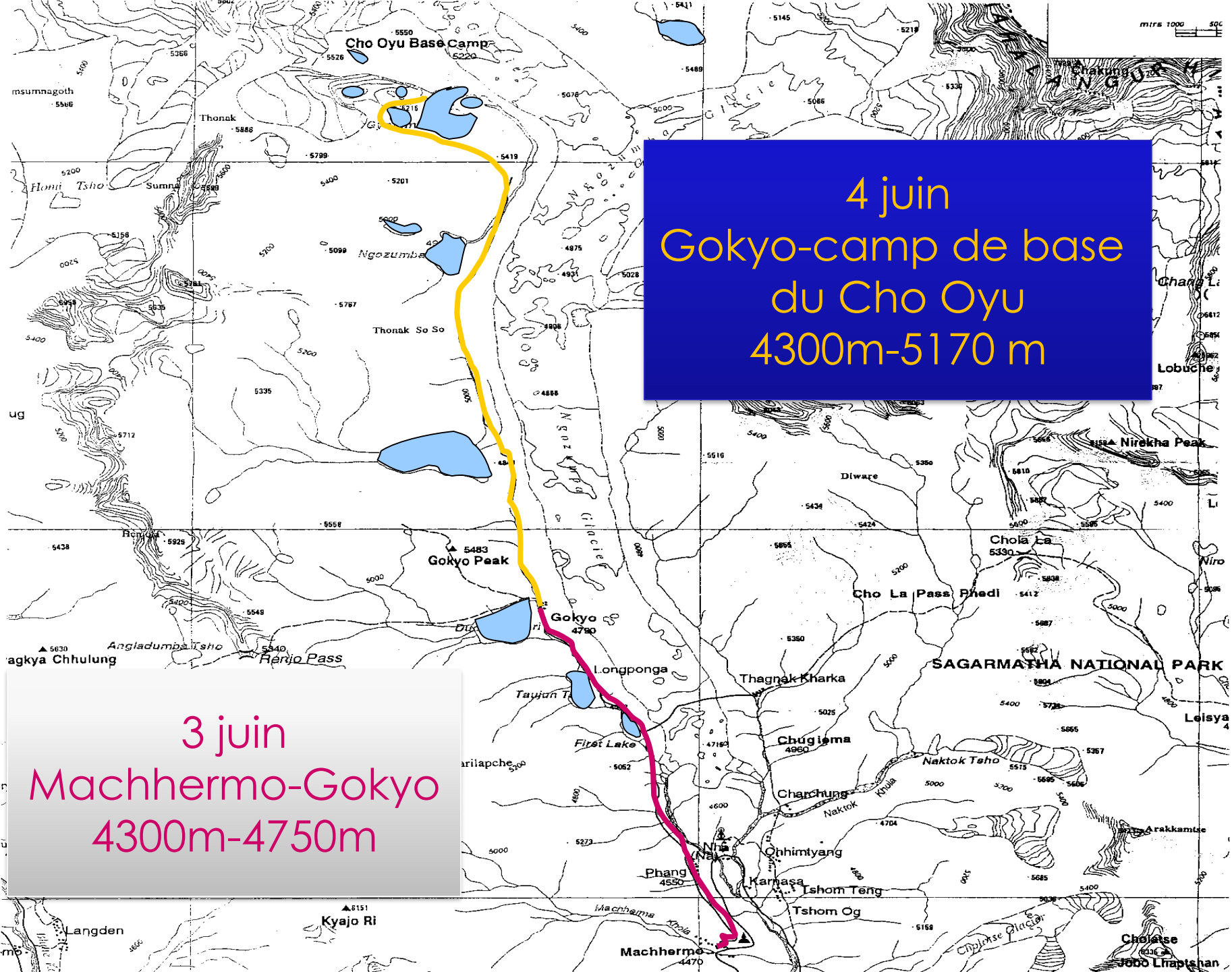
Ama Dablam

Baruntse

Hongku Chuli

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)

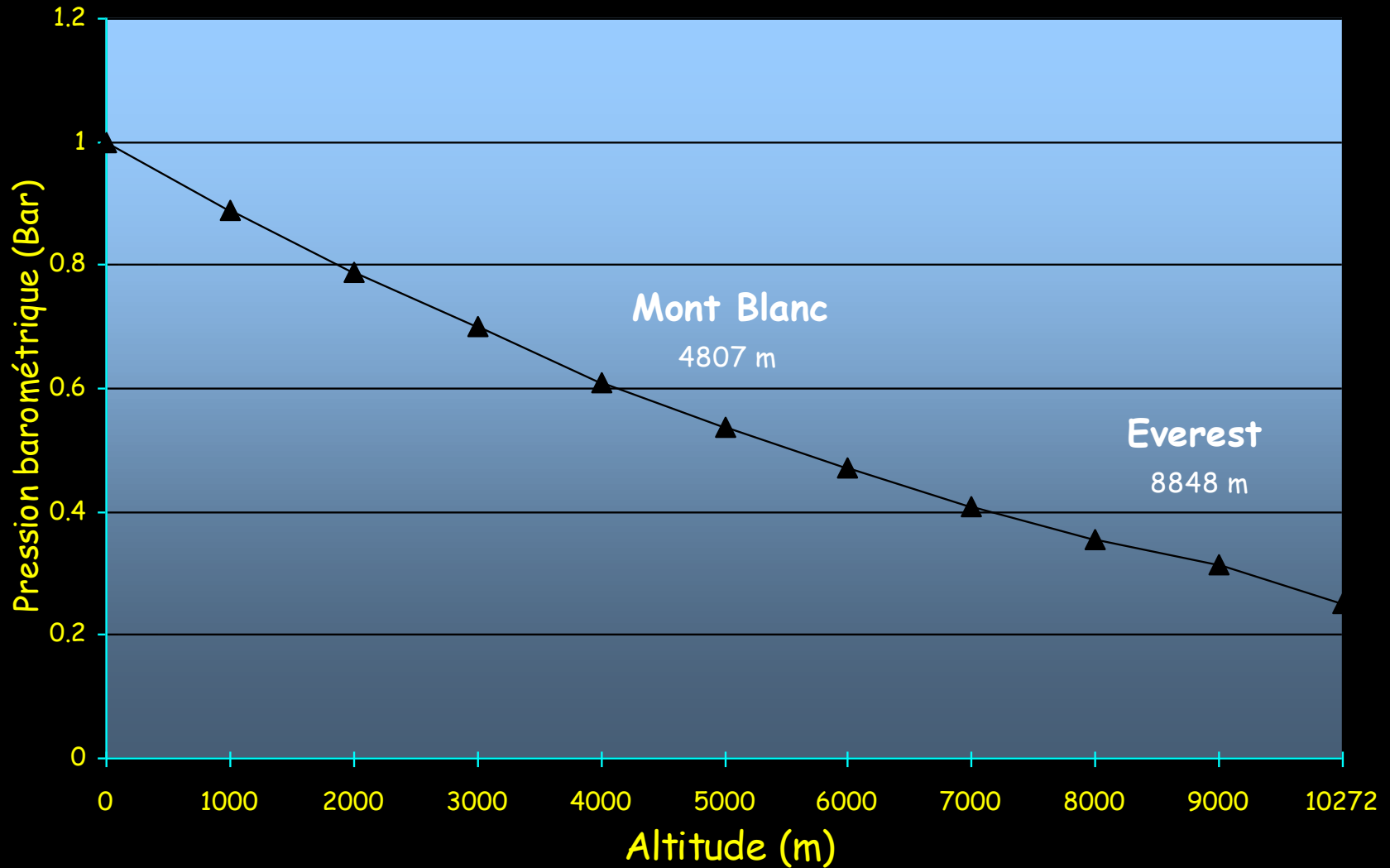
Très haute altitude (3500-5800 m)

Extrême altitude (> 5800 m)



Résidents à Aconquilcha, Chili, 5340 m

# Pression et altitude



# Pression: unités

1 ATA =

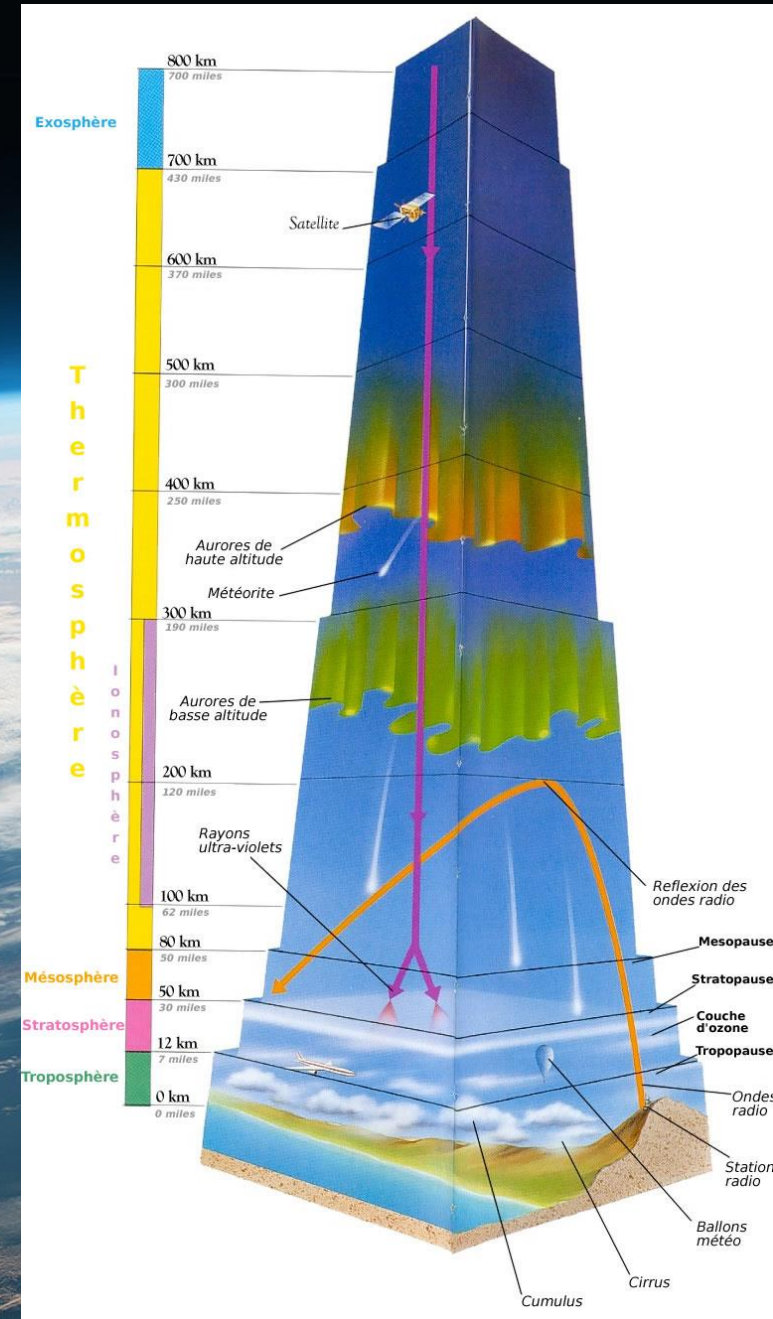
1.01 bar

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

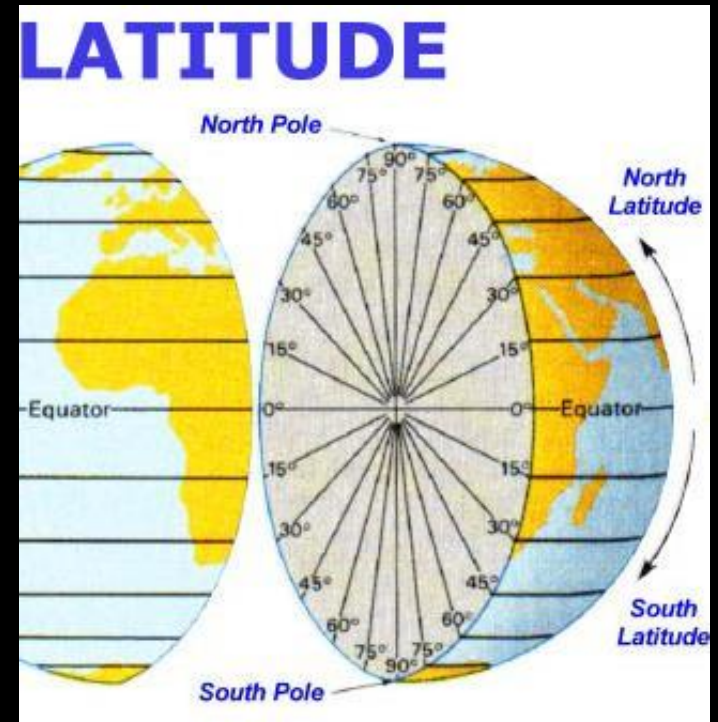
✓ Dépendante de la latitude : plus basse au pôles qu'à l'équateur

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**

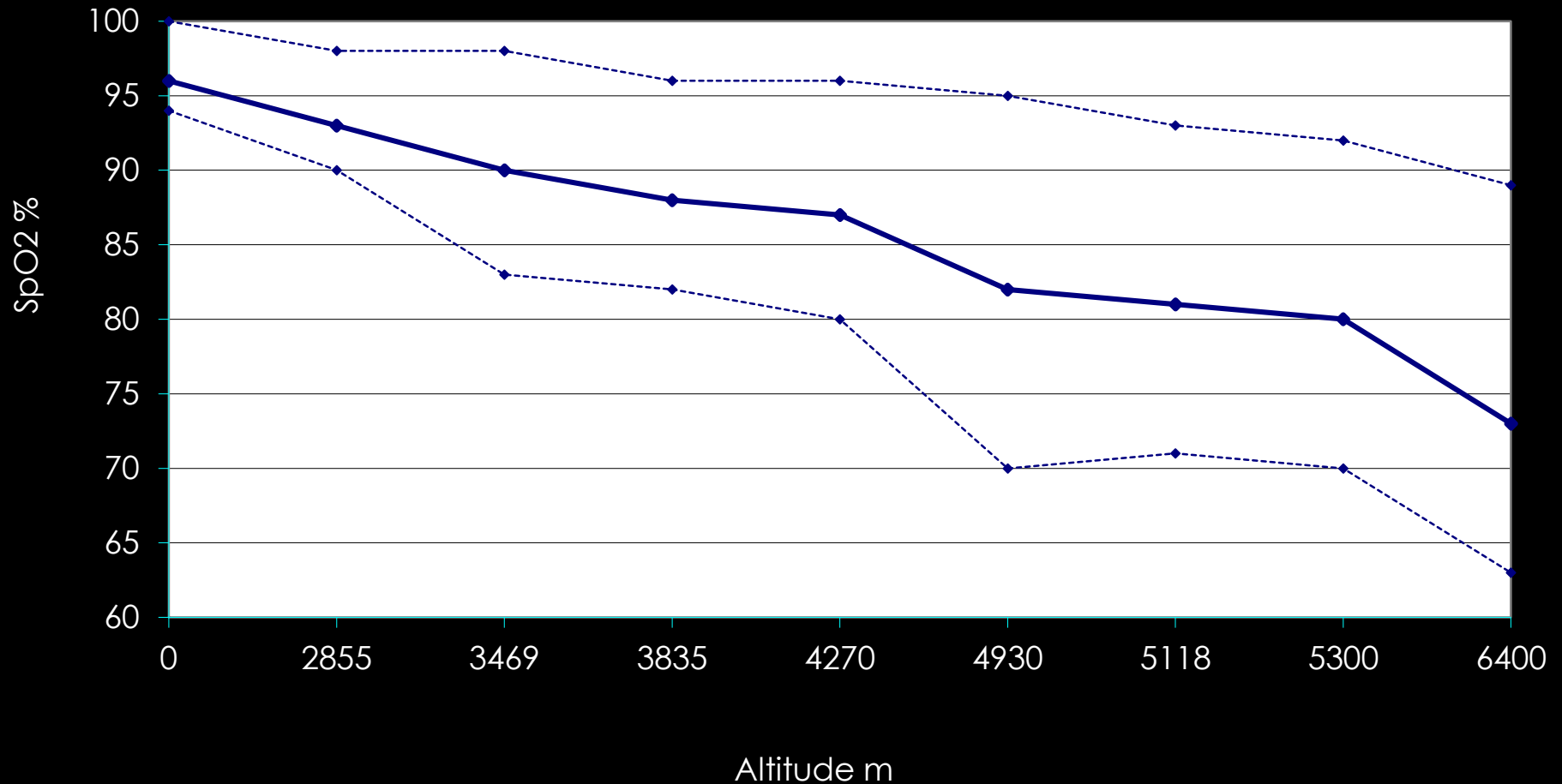
$P_{\text{atm}}$  prédite = 236 mmHg  
 $P_{\text{atm}}$  mesurée = 253 mmHg



# British Everest Medical Expedition

SpO2 moyenne CI 95%

1994

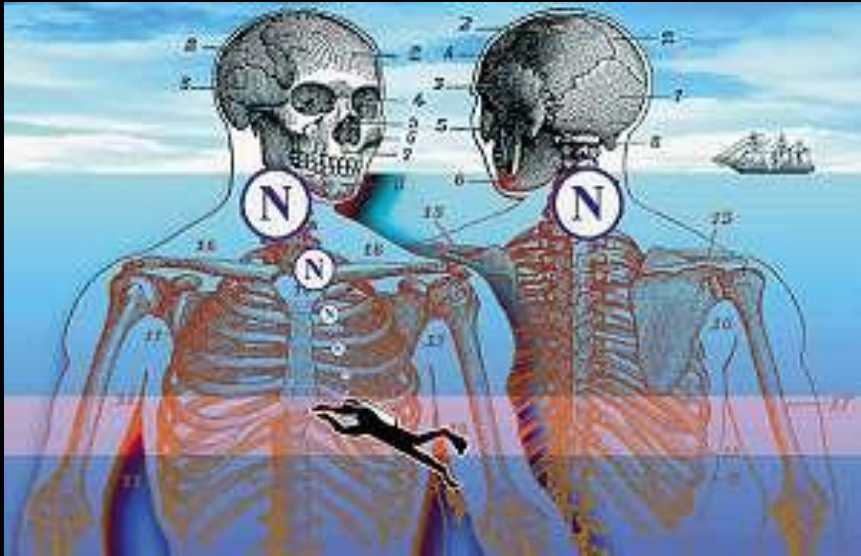


# Acclimatation

- 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

CMAA:  $\rightarrow$  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



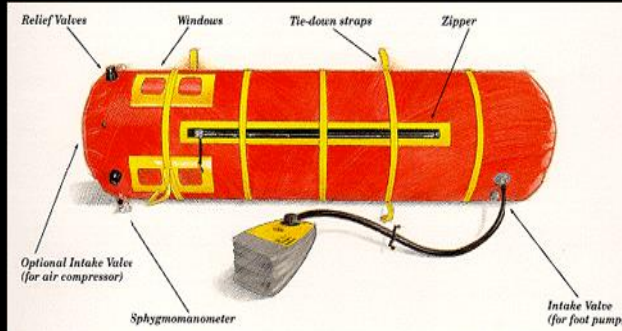
# Traitement hyperbare par chambres portables

## Chambres thérapeutiques mal des montagnes

Gamov Bag  
2 psi = 138 mb

Certec Bag  
2 psi = 138 mb

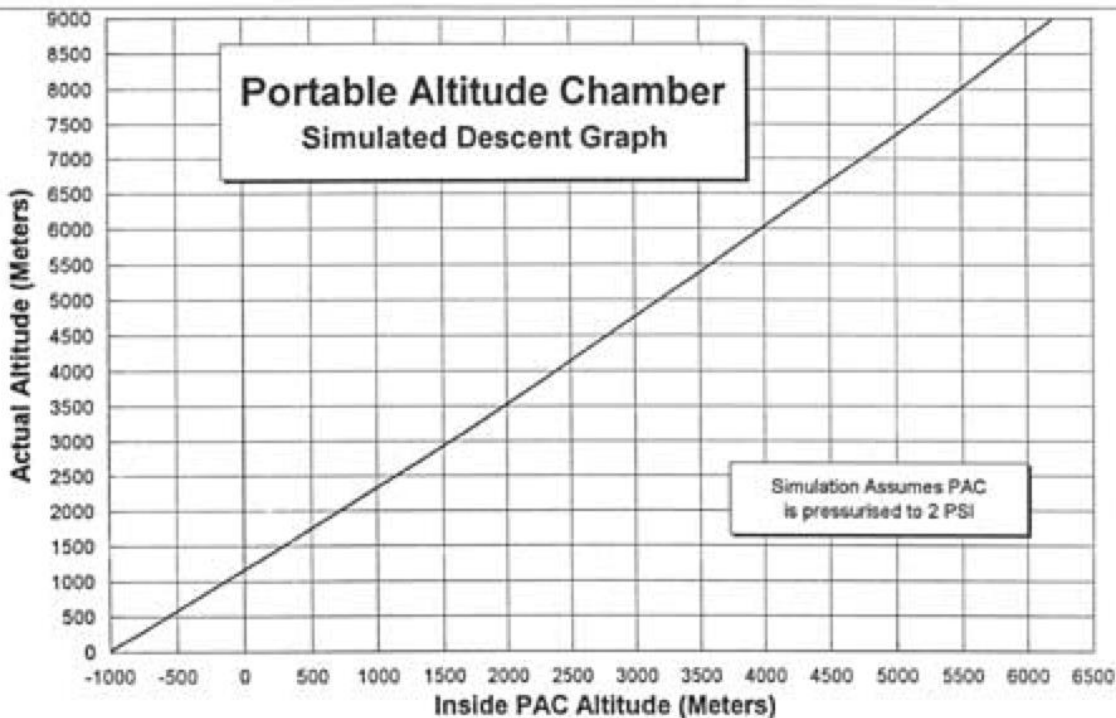
PAC  
3.2 psi = 220 mb



# 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 \$

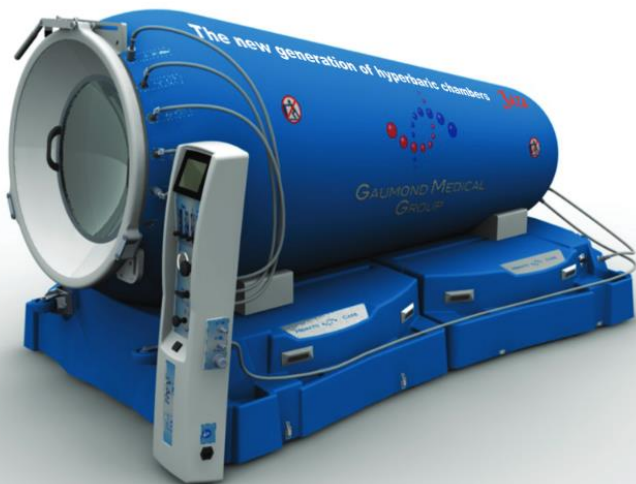
Toile en Kevlar avec résine de polyuréthane

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 ...



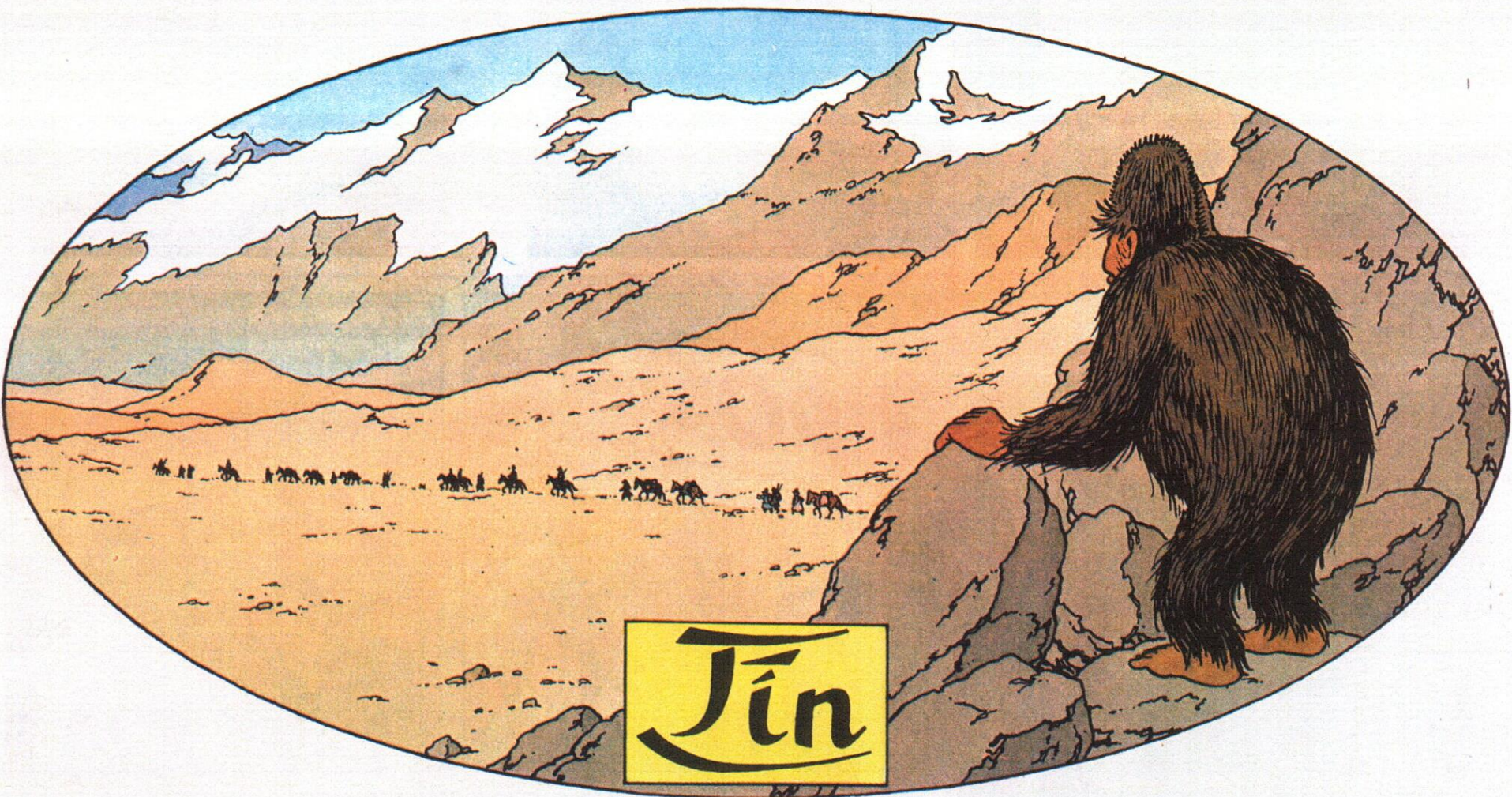


# Chambres hyperbares portables









Jin