

DR JEAN-YVES BERNEY

29 AVRIL 2013



PLONGÉE ET
TRÈS HAUTE ALTITUDE

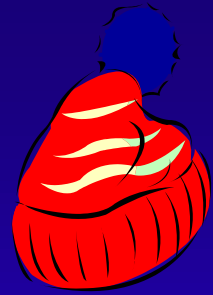


SWISS EXPEDITION 2000

Pourquoi monter si haut

pour descendre si bas ?





➤ 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
O₂ + 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

Où aller plonger ?

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





Arctic Ocean

ASIA

EUROPE

Atlantic Ocean

Pacific Ocean

AFRICA

OCEANIA

Indian Ocean

AUSTRALIA

Nepal






29 mai - 19 juin 2000



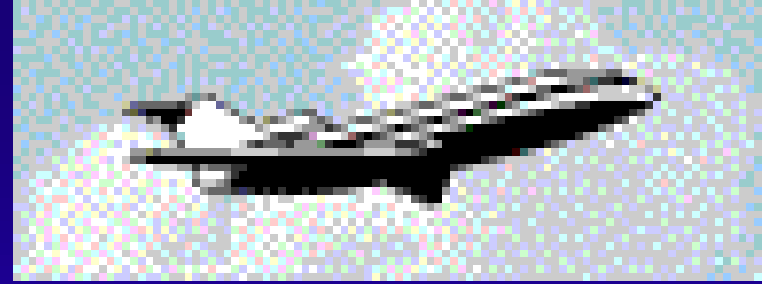
Expédition de 48 personnes

- ❖ 41 népalais
- ❖ 3 yopkaks 
- ❖ 7 Genevois



1 tonne de matériel

Genève - New Dehli - Kathmandu



Kathmandu - Namche Bazar
(MI 17)



Namche Bazar - lacs
(trekking)





Le lendemain matin...

Et voici Katmandou.



Avant tout, voir le chef
de l'aérodrome.



Syangboche (3770 m)



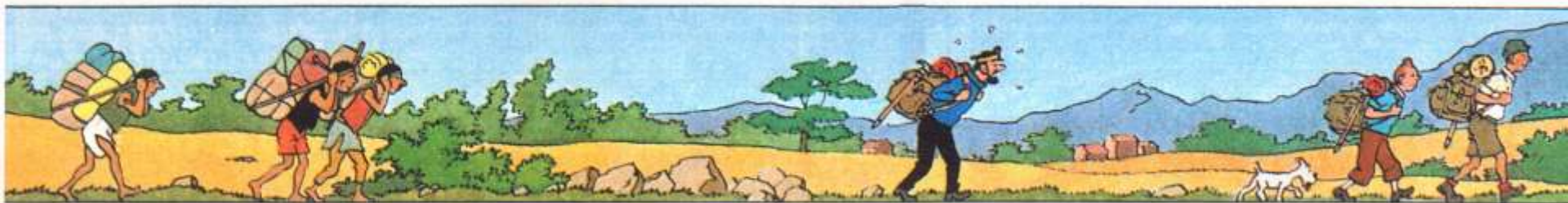
Namche Bazar 3444 m





2 juin
Phortse-Machhermo
3550m-4300m

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



Quand je pense que je suis à faire le zouave sur les routes du Népal, alors que je pourrais être tranquillement à Moulinsart, à siroter un bon whisky bien glacé!...

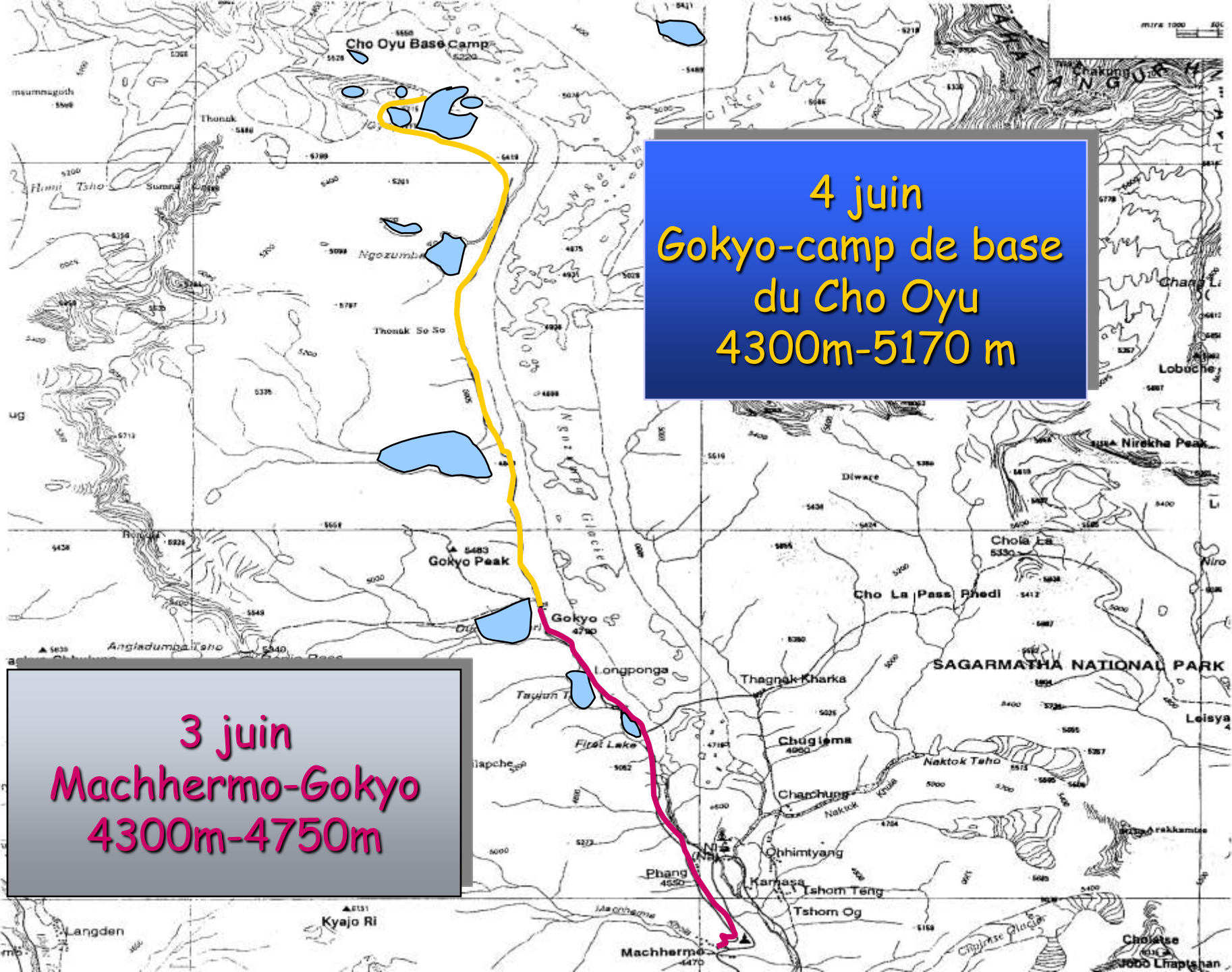


Mais, du whisky, tonnerre! j'en ai un flacon ou deux dans mon sac!...



Tous ces fiers enfants de la Gaule au-
le allaient sans trêve et sans repos...





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^{er} record

Lac Gyazumbha VI (5523 m) 2^{ème} record

profondeur réelle 13.2 m
théorique 26.5 m

température 0.9 °C



Air comprimé (compresseur Coltri)



Plongée et altitude

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



Pression: unités

1 ATA

= 1.01 bar

= 101 kPa

= 760 mm Hg

= 1033 cm H₂O

400 km
atmosphère

Ionosphère 400 km

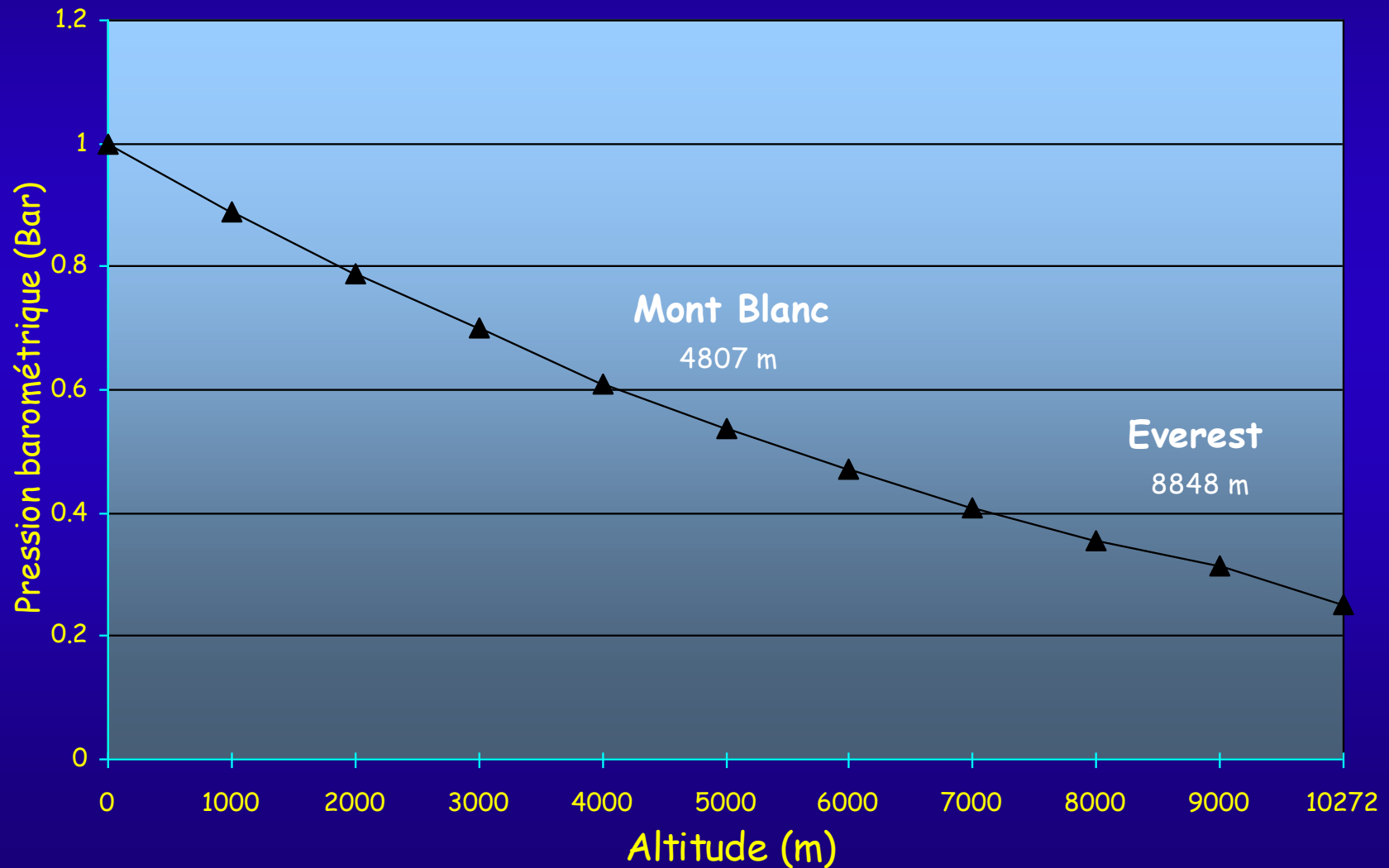
Stratosphère 80 km
(Ozone 50 km)

Troposphère 10 km

= 3/4air



Pression et altitude



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



$[O_2] = 21\%$

*quelle que soit
l'altitude
→ 100 km*

*Ozone,
O atomique
 O^+ , O^+_2*

Loi de Dalton

$$P_{\text{tot}} = P_1 + P_2 + \dots + P_x$$

P_{atm} = somme des pressions
partielles $O_2 + N_2$

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

* P_{H_2O} à 37°C

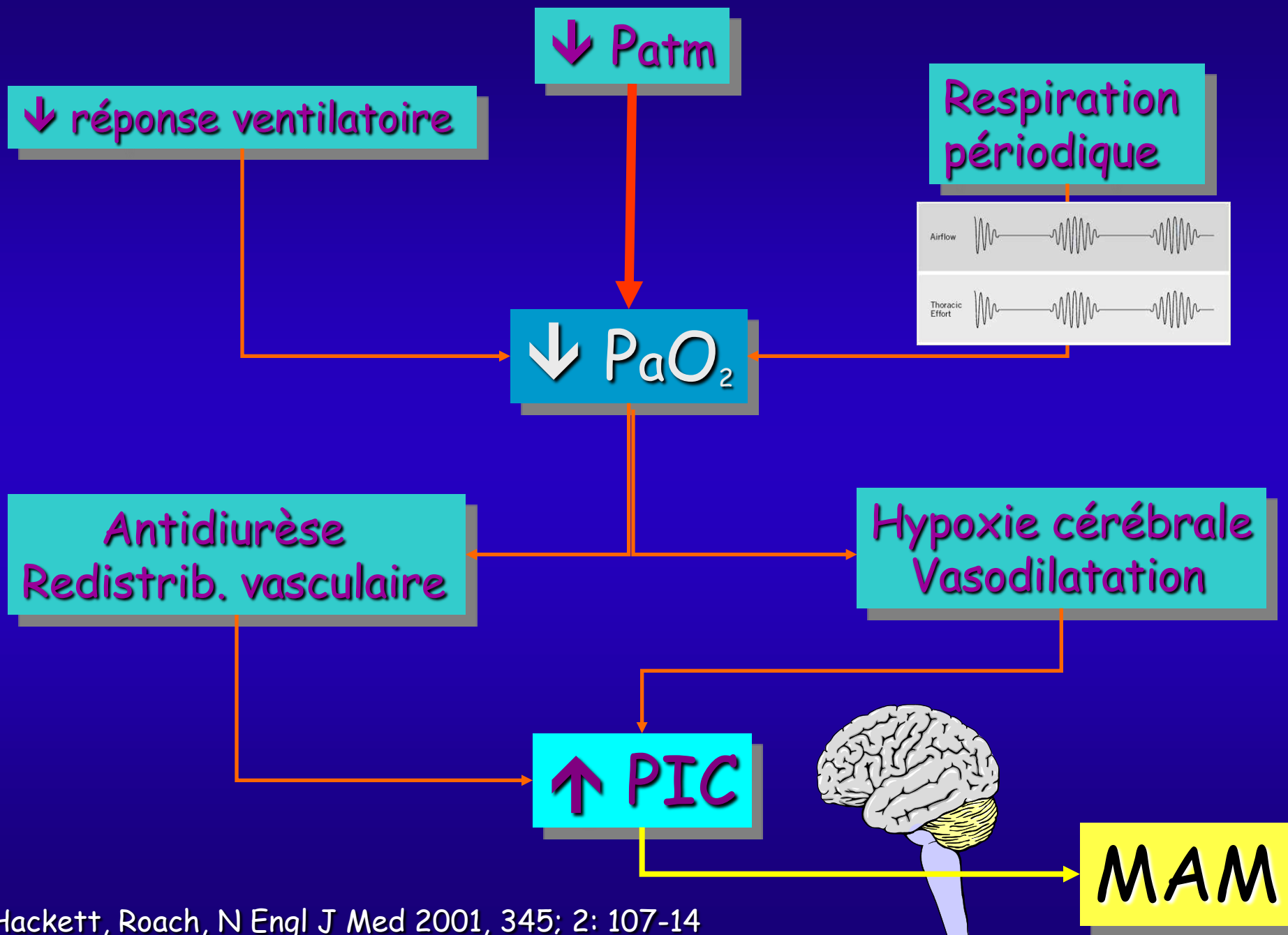
PiO_2

= 19.6 kPa (mer)

= 9.2 kPa (5000 m)



➤ Hypoxie hypobarique



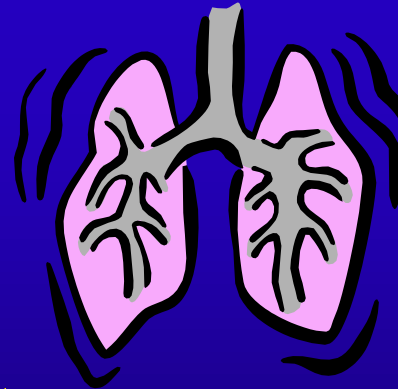
↓ PaO₂

HTAP

↑ activité
sympathique

Fuite capillaire

Vasoconstriction
inadéquate



Oedème pulmonaire
de haute altitude

↓ transport
H₂O + NaCl

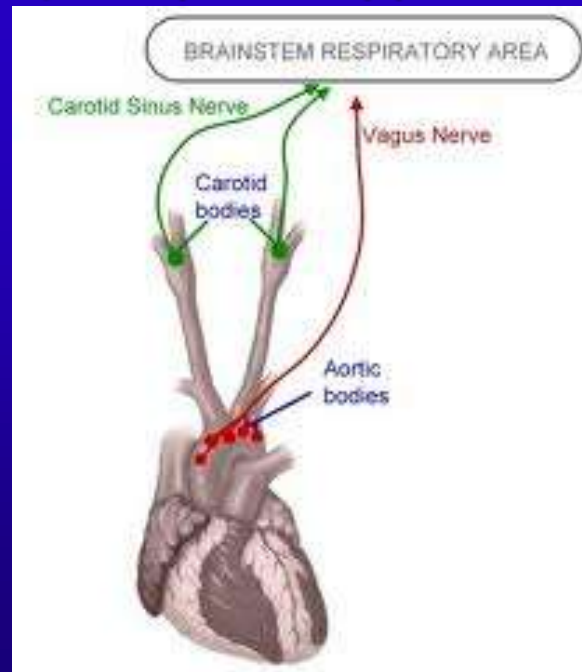
Acclimatation

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



ADAPTATION VENTILATOIRE

- **Hyperventilation** (stimulation des chémorécepteurs carotidiens et aortiques par l'hypoxie hypobarique)

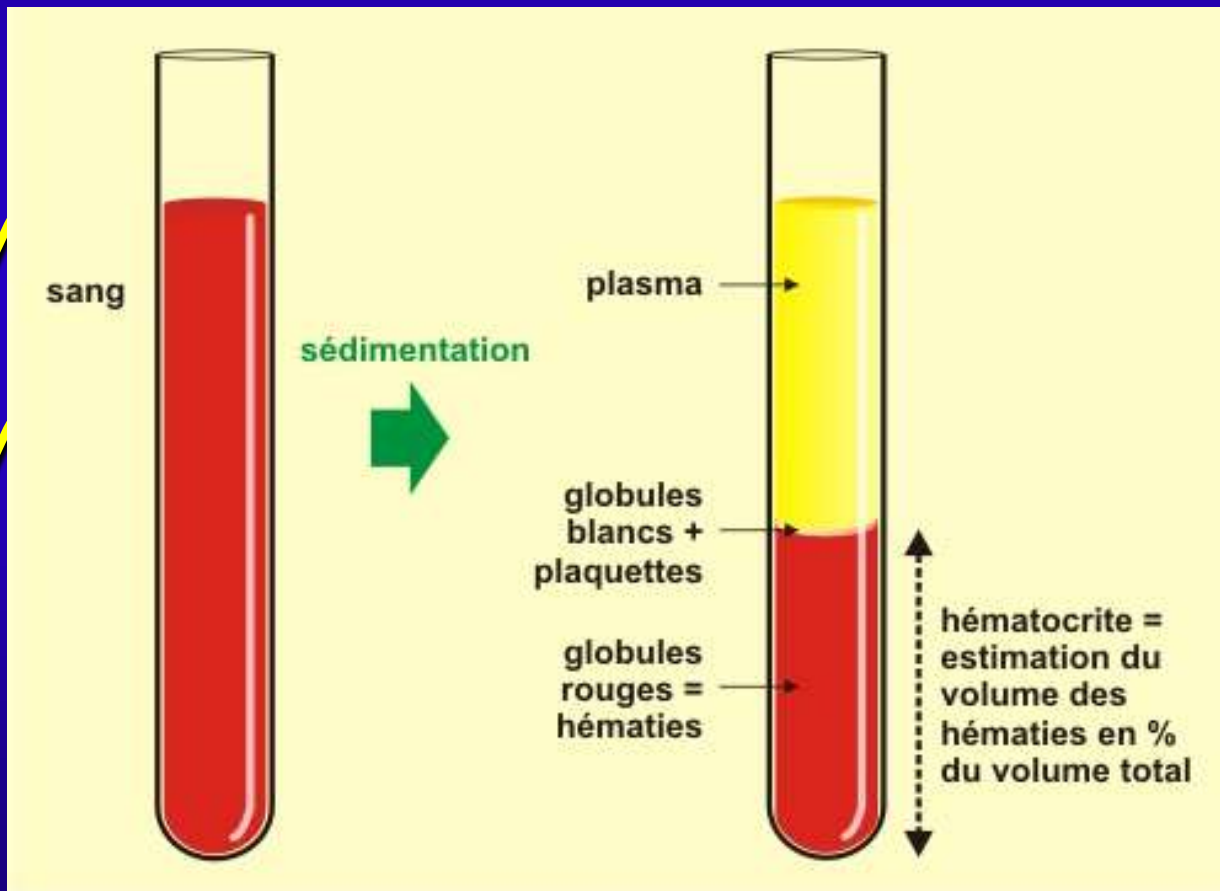


ADAPTATION CARDIO-VASCULAIRE

- Tachycardie (20%) → ↗ débit cardiaque
- ↗ pression artérielle pulmonaire
- ↗ débit cérébral

ADAPTATION HEMATOLOGIQUE

- ↗ érythrocytes
- polyglobulie

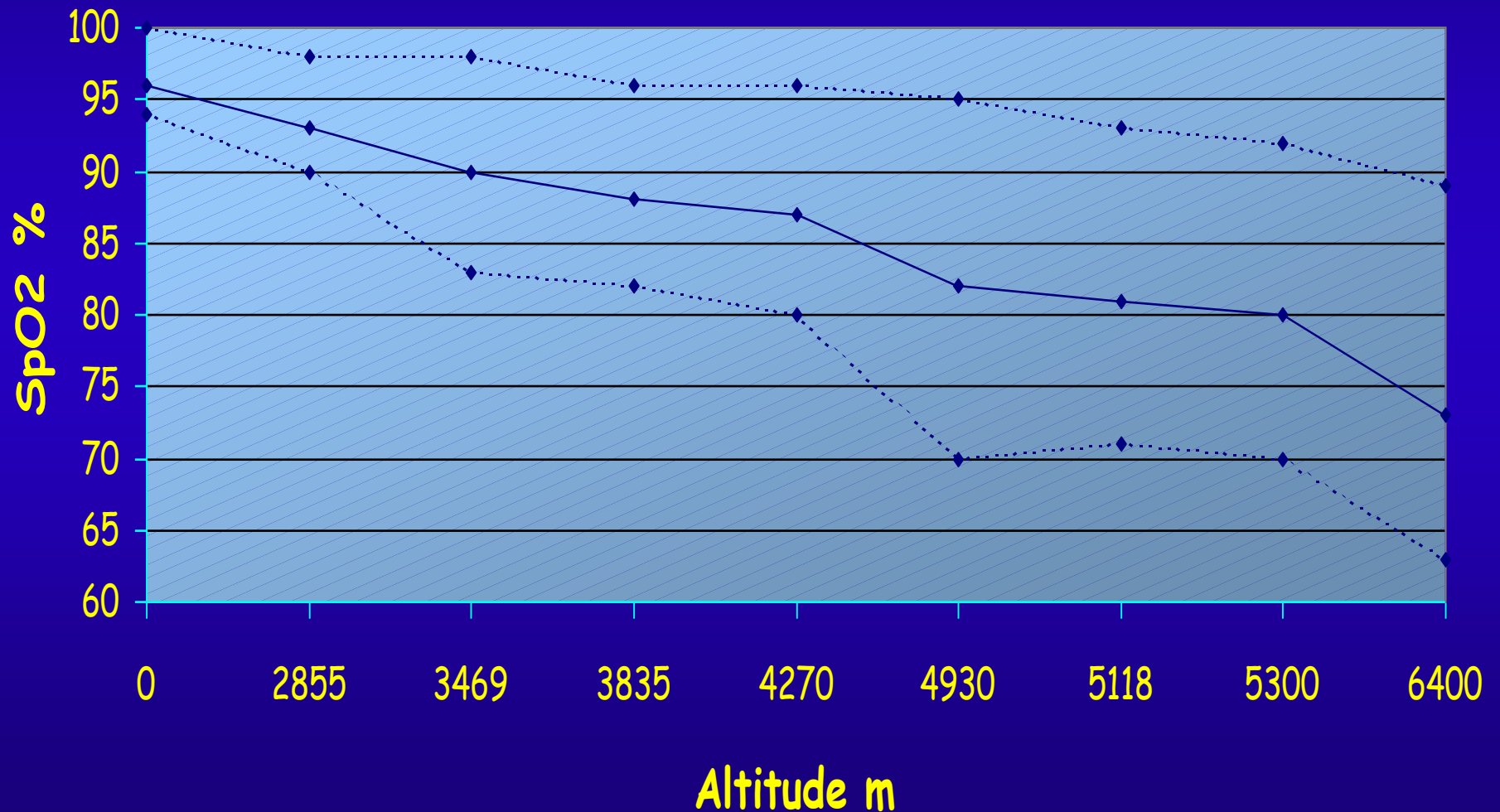


rouges)

British Everest Medical Expedition

SpO2 moyenne CI 95%

1994



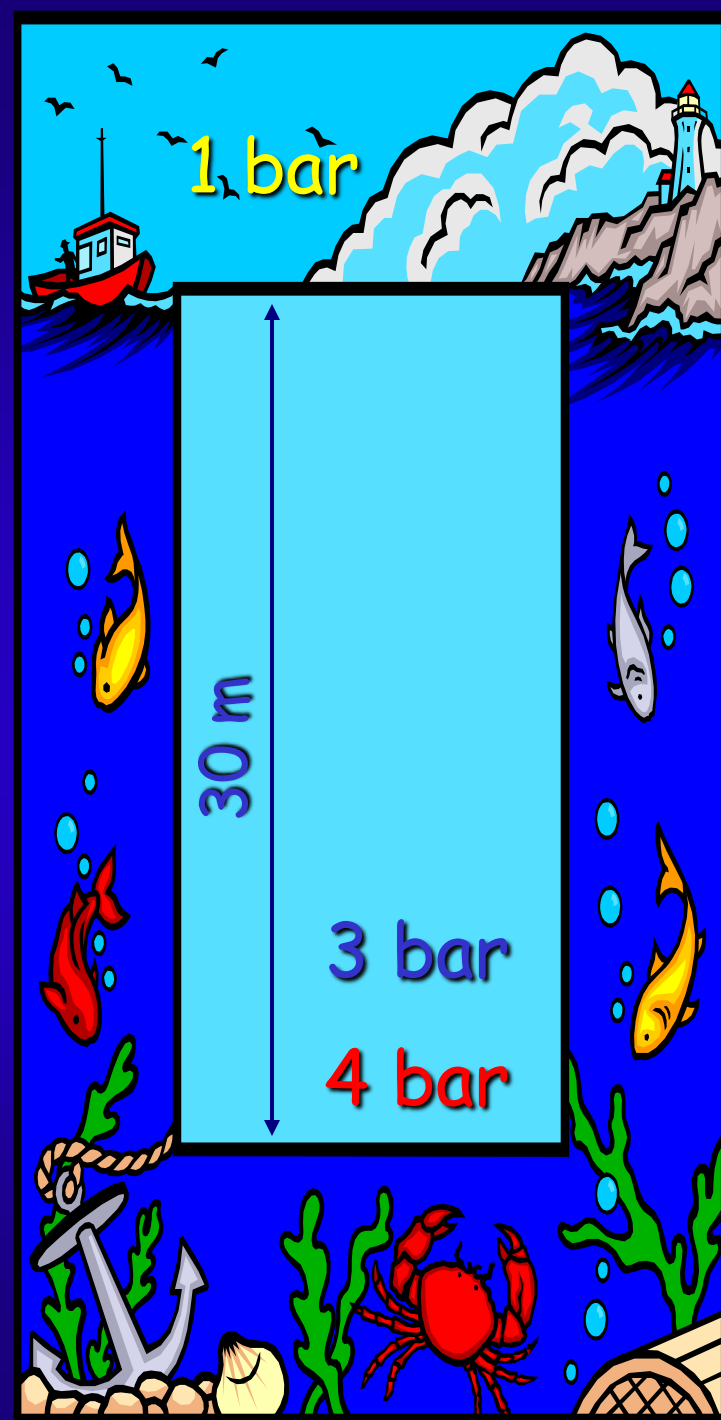
Plongée et pression

Pression hydrostatique P

= colonne d'eau (1 bar/10 m)

$$P_{\text{atm}} + P =$$

Pression absolue

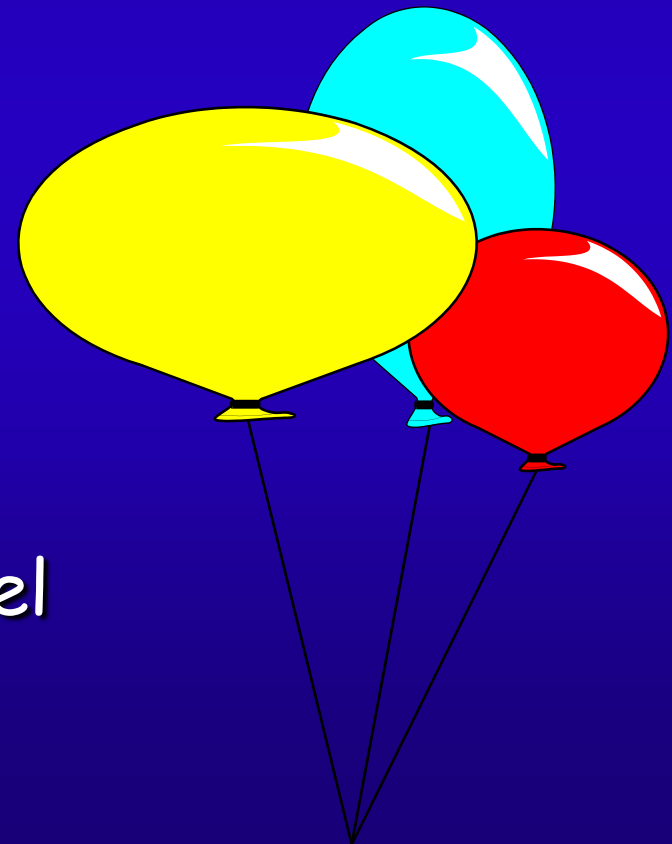


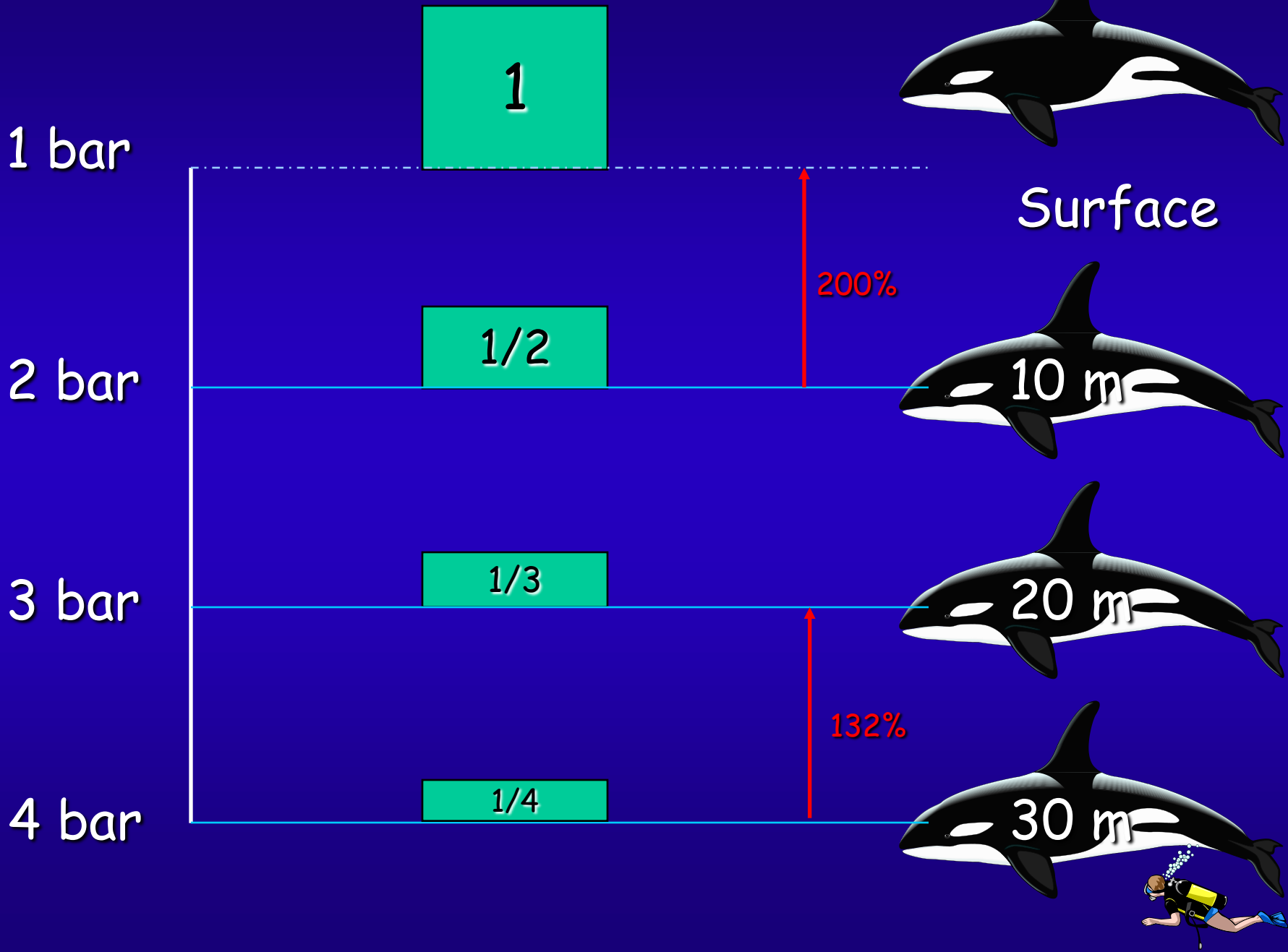
Altitude et plongée

Loi de Boyle et Mariotte

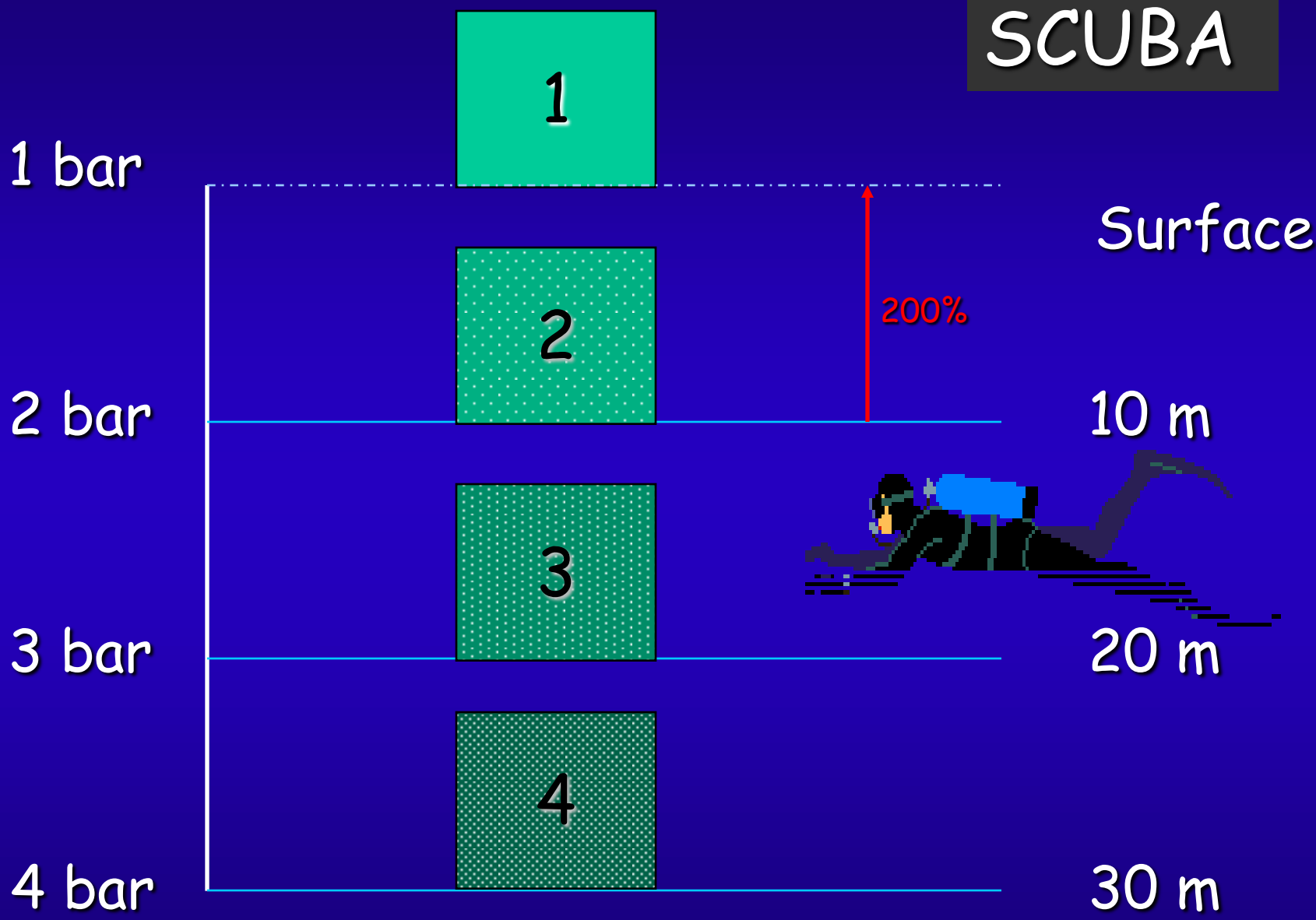
$$PV = \text{constante}$$

A T° constante le volume d'un gaz est inversement proportionnel à la pression qu'il subit





SCUBA



Tables de décompression

Modélisation

Validation



Acclimatation du plongeur

MOUNTAIN



CLIMBER

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 de P 0.5 bar à 2.5 bar

P_{iO_2} 9.6 kPa à 49 kPa





confort respiratoire au fond

essoufflement 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)

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

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

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

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: ≥ 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 (1)

Fatigue



L'acclimatation du plongeur (1)

Fatigue

↓fenêtre d'O₂

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



L'acclimatation du plongeur (1)

Fenêtre d'O₂ = 101.3 - 93.6 = 7.7 kPa

	PA	Pa	Pv
CO ₂	5.3	5.3	6
O ₂	13.8	12.6	5.3
H ₂ O	6.3	6.3	6.3
N ₂	76	76	76
Total	101.3	100.2	93.6

Fenêtre d'O₂ = 1.4 kPa à 4000 m



L'acclimatation du plongeur (1)

Fatigue

↓ fenêtre d'O₂

MDD

Majorée par hypoxie



L'acclimatation du plongeur (1)

Fatigue

↓ fenêtre d'O₂

MDD

Cardio-vasculaire



L'acclimatation du plongeur (1)

Modifications cardio-vasculaires

HTAP \Rightarrow ouverture FOP

HTAP \Rightarrow \downarrow efficacité
filtre pulmonaire



L'acclimatation du plongeur (1)

Fatigue

↓ fenêtre d'O₂

MDD

Cardio-vasculaire

Etat hypercoagulable
↑ viscosité sanguine



L'acclimatation du plongeur (2)

Déshydratation

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



L'acclimatation du plongeur (2)

Déshydratation

↓ température



L'acclimatation du plongeur (2)

Déshydratation

↓ température

Effort

⇒ ↑ bulles en milieu hypobare



Altitude et plongée

➤ risque de barotraumatisme

➤ risque de maladie de décompression

PLONGEE EN ALTITUDE = DANGER



Procédures plongée très haute altitude

Préparation: type trekking, excellente forme physique

Acclimatation: selon recommandations 300-600m/j

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

Sécurité: ligne de vie/3^{ème} plongeur équipé/lestage sup/
connaître la profondeur/doubler instruments

Aspect médical

Prise en charge d'un ADD en altitude

- Arrêt de tout effort physique
- Décubitus dorsal, déplacement prudent du patient
- O₂thérapie normobare masque hte concentration: FiO₂ 100%
- *Appel des secours, organiser la descente*
- Hydratation orale +++: 1000 ml eau en 30-45 minutes
- Hydratation i.v. +++: pas de glucosés (NaCl, Ringer)
- Protection +++ contre le froid (sécher, couvrir)
- Aspirine ? Cortisone?
- Rassurer le plongeur, récupérer son ordinateur de plongée



Matériel médical

O₂ 3 bouteilles kevlar 2 L



Pas de Gamow bag

Chambres hyperbares portables

GSE FlexiDec
41 kg, 6 ATA

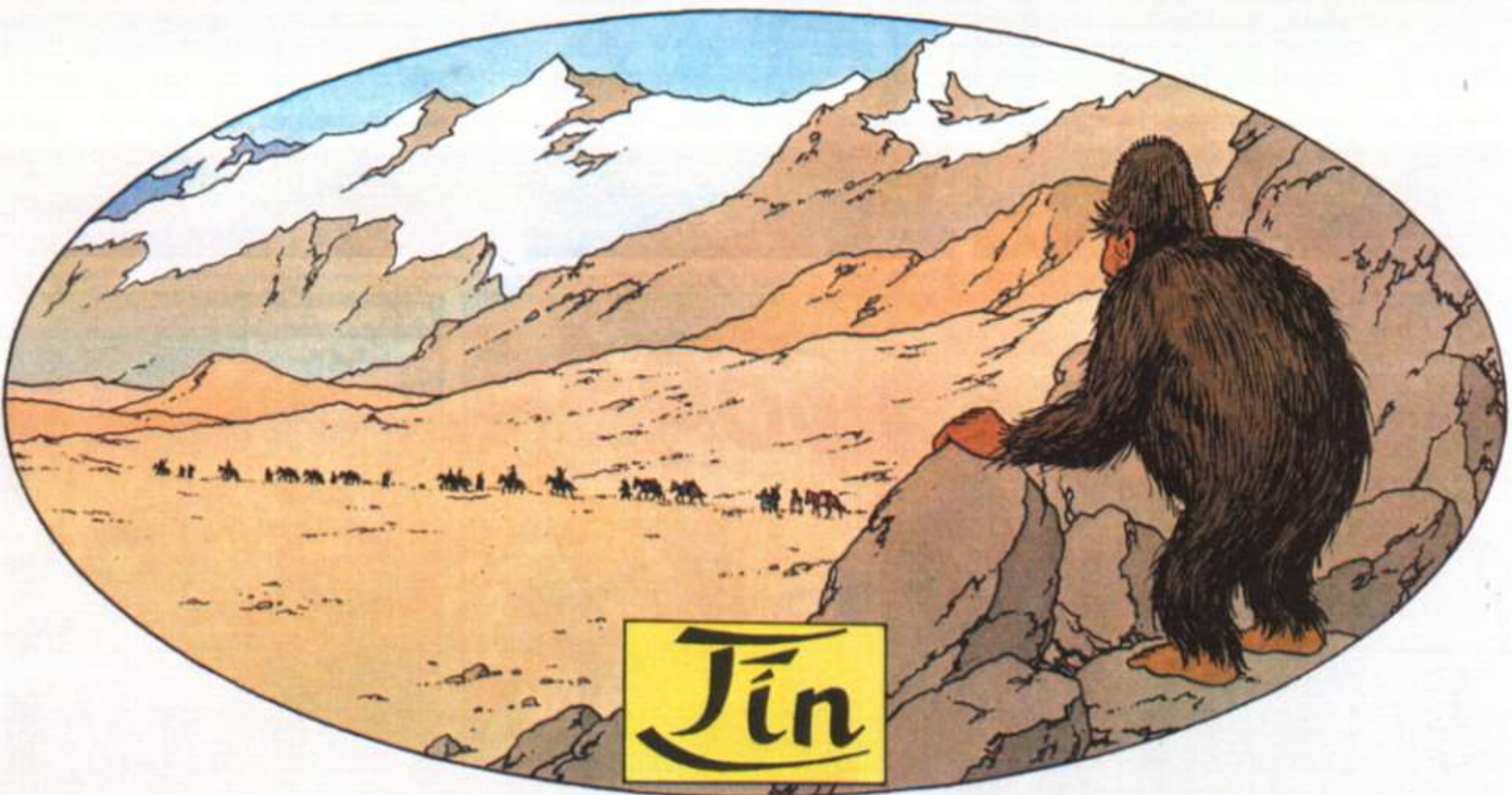


Hyperlite
95 kg, 2.8 ATA









Jin