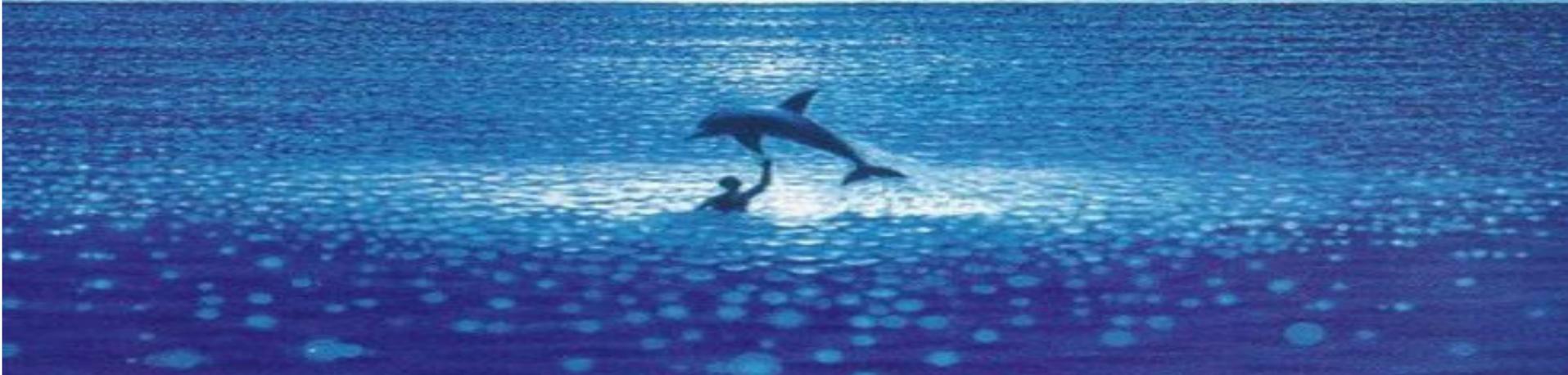


GAUMONT

Roberto, mio palmo

Enzo Molinari



Club plongée PLO

23 janvier 2012



Dr Jean-Yves BERNEY

LE GRAND BLEU

GAUMONT — ROSANNA AROUETTE — JEAN-MARC BARR — JEAN RENO — LUC BESSON — "LE GRAND BLEU"
LUC BESSON — ROBERT GARLAND — LUC BESSON
PAUL SHENAR — SERGIO CASTELLITTO — JEAN BOUISE — MARC DURET — ANDREAS VOITSINAS — VALENTINA VARGAS — GRIFFIN DUNNE
ERIC SERRA — CARLO VARINI — OLIVIER MAUFFROY — DAN WEIL — CREATION-EXPRESS — PIERRE BEFYE/GERARD LAMPS
BERNARD GRENET — LES FILMS DU LOUP — GAUMONT — PATRICE LEDOUX — LUC BESSON

www.gaumont.fr

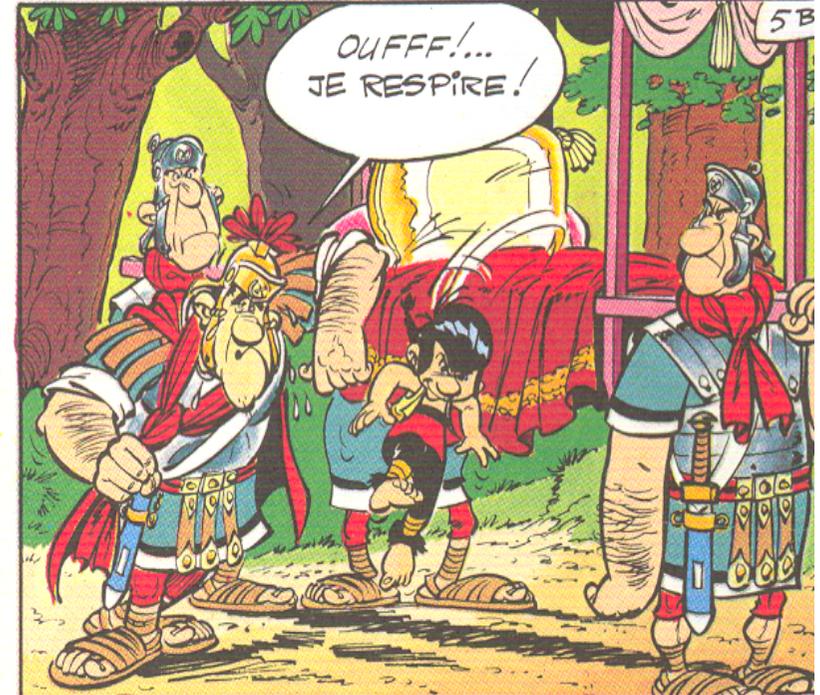
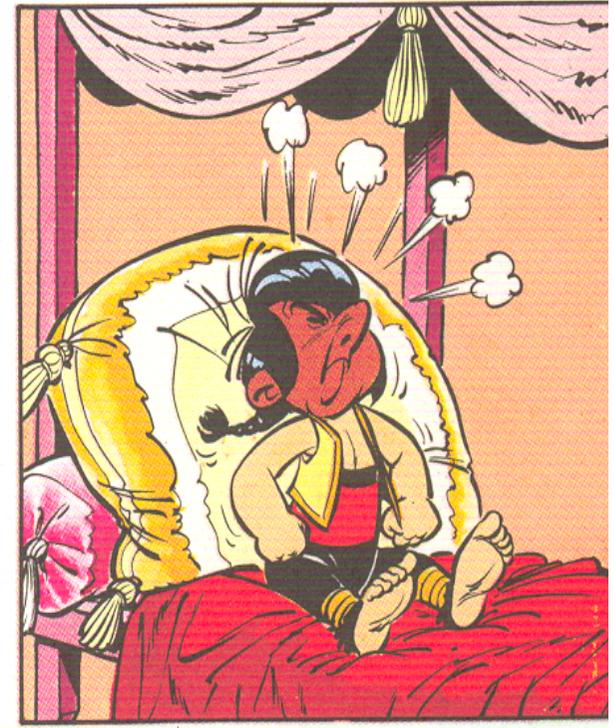


www.gaumont.fr

© GAUMONT 1988

COMPTON





A stylized map of Mexico and Central America is shown in shades of red, orange, and yellow against a dark blue background. The map is surrounded by several small, colorful fish (yellow, blue, and black) and a few white stars, suggesting an underwater or night sky theme.

1. Un peu d'histoire et quelques records

2. Comment ça marche ?

3. Comment repousser les limites

4. Adaptation ou prédisposition

5. Pathologies de la plongée en apnée

5000 AC Hérodote: récupération de trésors engloutis par guerriers perses du roi Xerxes

2000 AC : plongeuses Ama (Japon)
plongeuses Hae Nyo (Corée)



Plongeurs d'éponges (Grèce)
Plongeurs de perles (Tuamotu)

Disparition de la plongée professionnelle

Plongée de loisir (chasse)

Plongée de compétition (AIDA)

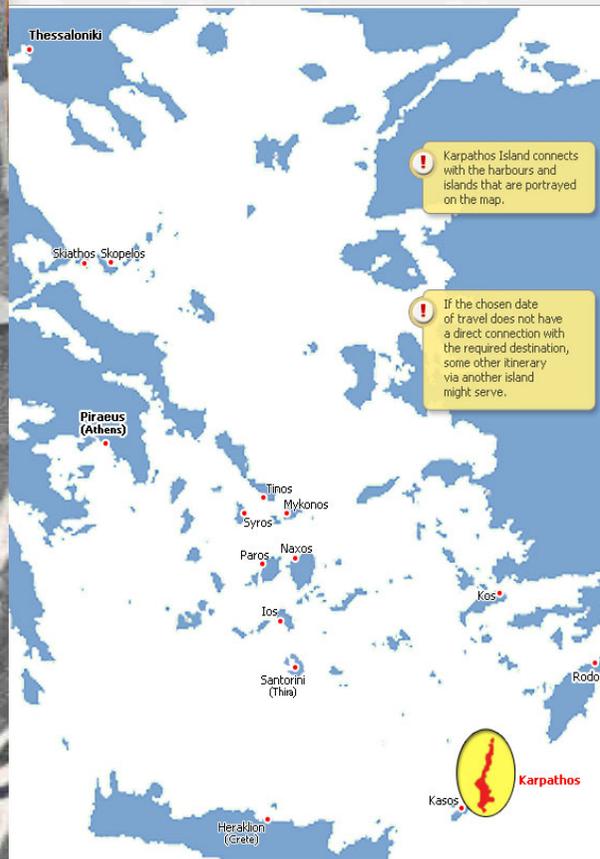
Pratique dangereuse: absence de formation,
accessible, bon marché, absence de contrôle
médical





PESCATORE DI SPUGNE

**Georgios Haggi Statti,
l'uomo che nel 1913
ricuperò,
a 77 metri di profondità,
l'ancora
della "Regina Margherita",
non sapeva tenere il fiato
per più di quaranta secondi,
ma sott'acqua resisteva
per tre minuti e mezzo**



Gheorgios Haggi Statti

Ile de Karpathos 1913

Ancre d'un cuirassé italien
le Regina-Margherita.
- 80 mètres

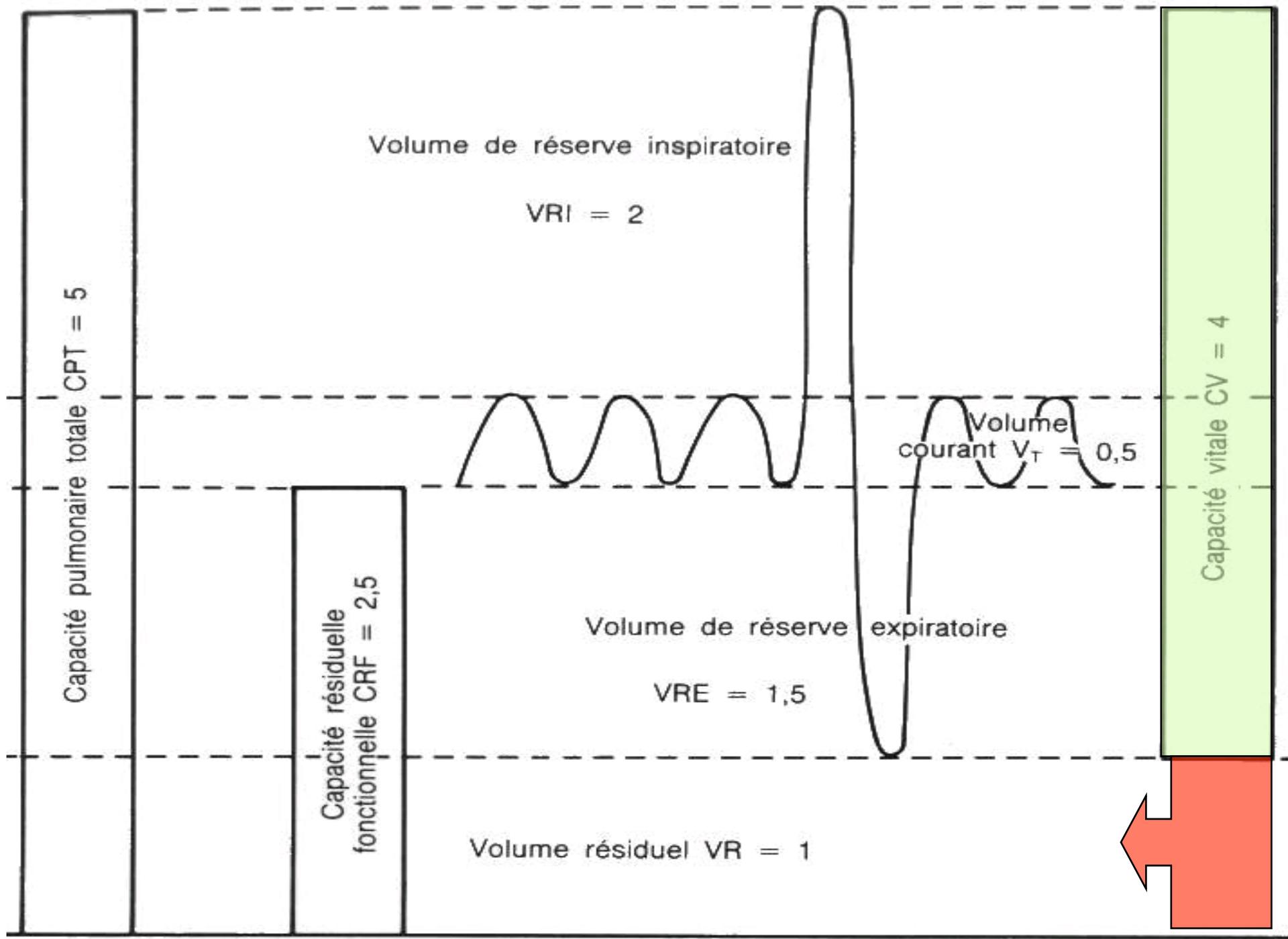
1950, Dr Cabarro, physiologiste français
Profondeur maximale théorique atteignable: ~ 40 m
CPT 7.5 litres/5 bars: 1.5. litre = VR

8.1961: Enzo MAIORCA: - 50 m

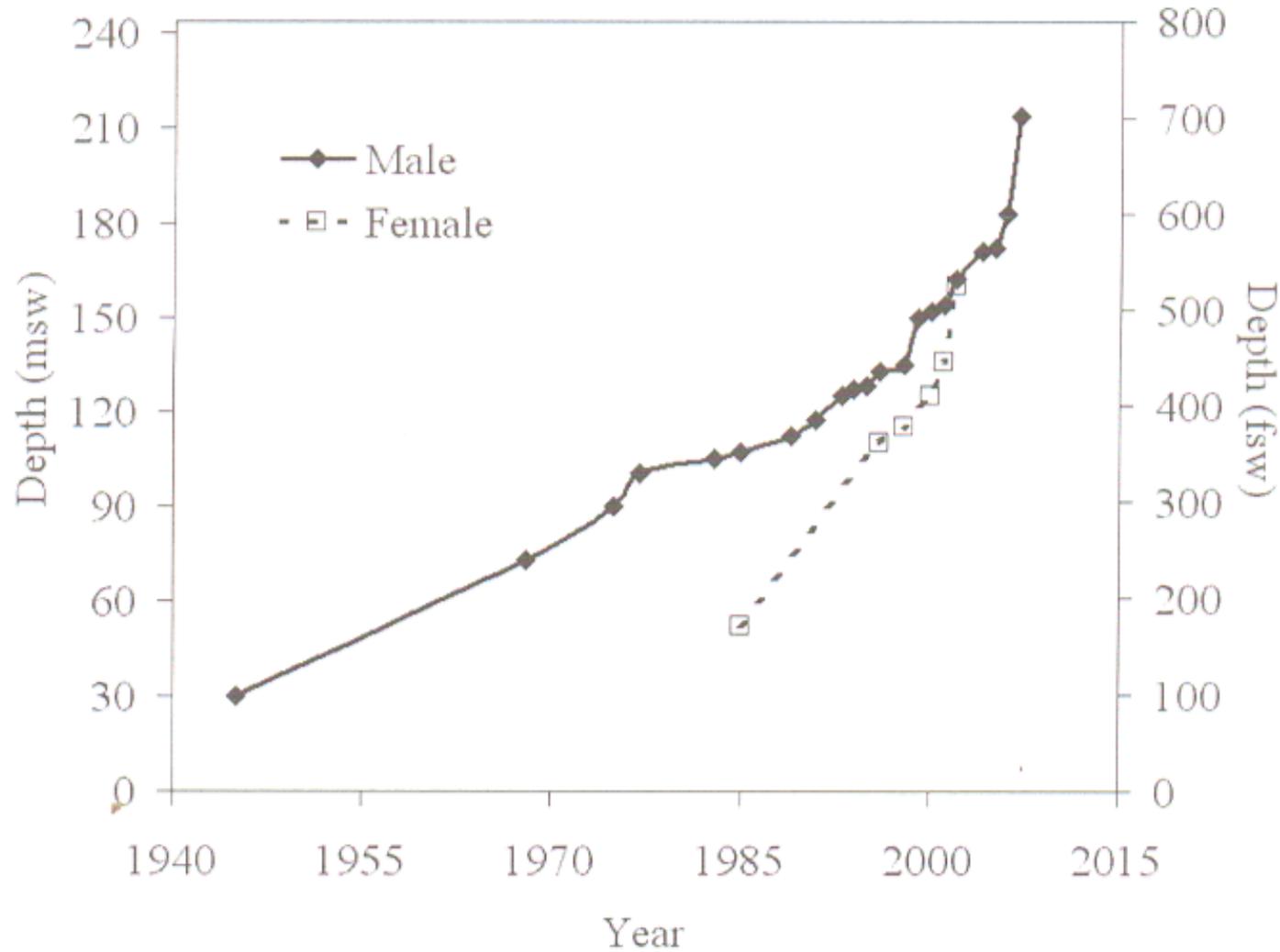
6.1966: Jacques MAYOL: - 60 m

11.1976: Jacques MAYOL: - 102 m





World record depths in freediving no-limits competition



• Apnée statique: rester le plus longtemps sous l'eau, dans n'importe quelle position, avec voies respiratoires en immersion

• Apnée dynamique sans et avec palmes: distance maximale effectuée en immersion dans une piscine

• No limits: profondeur max atteinte avec lest de poids illimité, remontée avec ballon

• Poids variable: profondeur max atteinte avec lest maximum 30 kg, remontée à la force des jambes

• Poids constant sans et avec palmes: profondeur max atteinte à la force des jambes ou sans, remontée idem, pas autorisé à toucher le filin, lest inchangé

• Immersion libre: profondeur max atteinte à la force des jambes sans palmes, avec l'aide du filin à la descente et à la remontée

WORLD RECORDS

<http://www.aida-international.org>



Constant Weight Without Fins (CNF)



101 m

Name: William TRUBRIDGE
Date: 2010-12-16
Place: Blue Hole, Bahamas

62 m

Name: Natalia MOLCHANOVA
Date: 2009-12-03
Place: Blue Hole, Bahamas



Constant Weight (CWT)



101 m

Name: Natalia MOLCHANOVA
Date: 2011-09-23
Place: Kalamata, Greece

Dynamic Without Fins (DNF)



160 m

Name: Natalia MOLCHANOVA
Date: 2009-08-20
Place: Aarhus, Denmark



Dynamic With Fins (DYN)



273 m

Name: Goran COLAK
Date: 2011-10-15
Place: Lignano, Italy

225 m

Name: Natalia MOLCHANOVA
Date: 2010-04-25
Place: Moscow, Russia

WORLD RECORDS

<http://www.aida-international.org>

Static Apnea (STA)

**11 min 35 sec**Name: Stephane MIFSUD
Date: 2009-06-08
Place: Hyeres, France**8 min 23 sec**Name: Natalia MOLCHANOVA
Date: 2009-08-21
Place: Aarhus, Denmark

Free Immersion (FIM)

**121 m**Name: William TRUBRIDGE
Date: 2010-04-10
Place: Long Island, Bahamas**88 m**Name: Natalia MOLCHANOVA
Date: 2011-09-24
Place: Kalamata, Greece

Variable Weight (VWT)

**142 m**Name: Herbert NITSCH
Date: 2009-12-07
Place: Blue Hole, Bahamas**126 m**Name: Annelie POMPE
Date: 2010-10-05
Place: Sharm el Sheljk

No Limit (NLT)

**214 m**Name: Herbert NITSCH
Date: 2007-06-14
Place: Spetses - Greece**160 m**Name: Tanya STREETER
Date: 2002-08-17
Place: Turks and Calcos

30 octobre 2004, Loïc Leferme
record du monde de plongée en apnée

No limits

-171 mètres

dans la rade de Villefranche-sur-Mer.

Il bat de 9 m sa précédente performance.

3 mn d'apnée.



Fatale remontée
pour le champion français d'apnée
11 avril 2007



30 juin 2005, Patrick MUSIMU
record du monde de plongée en apnée (non homologué)

No limits

-209.6 mètres

Mer rouge, Egypte.

3 m 28' d'apnée

Technique de compensation par immersion sinusale

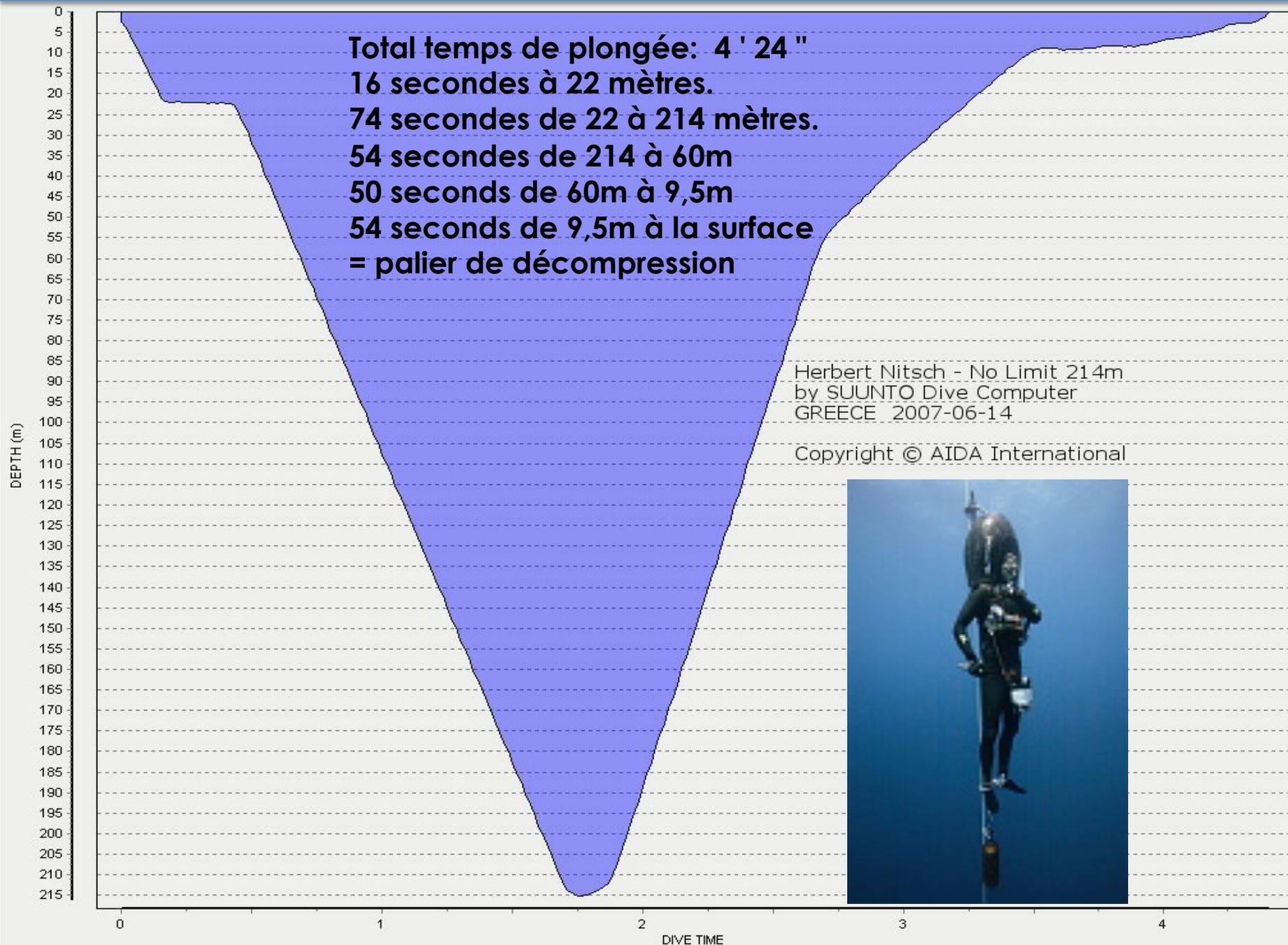


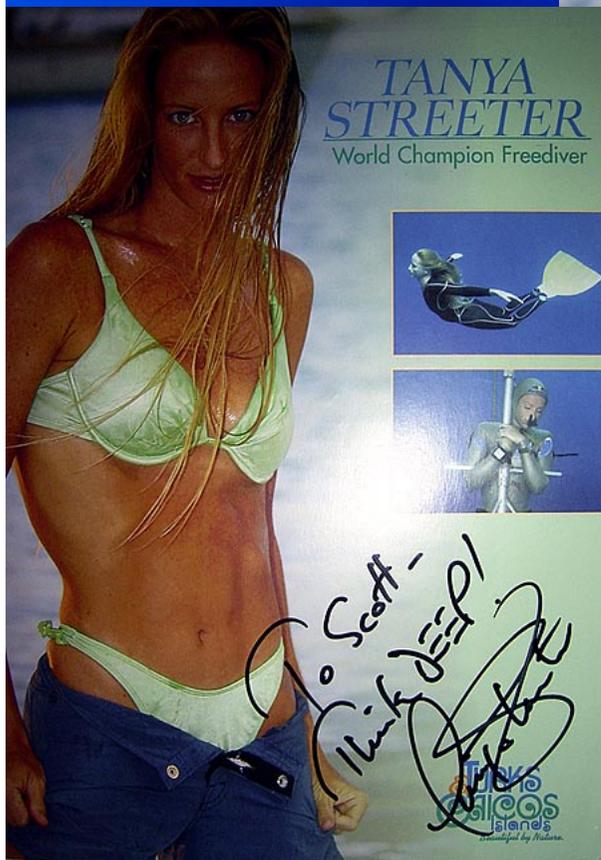
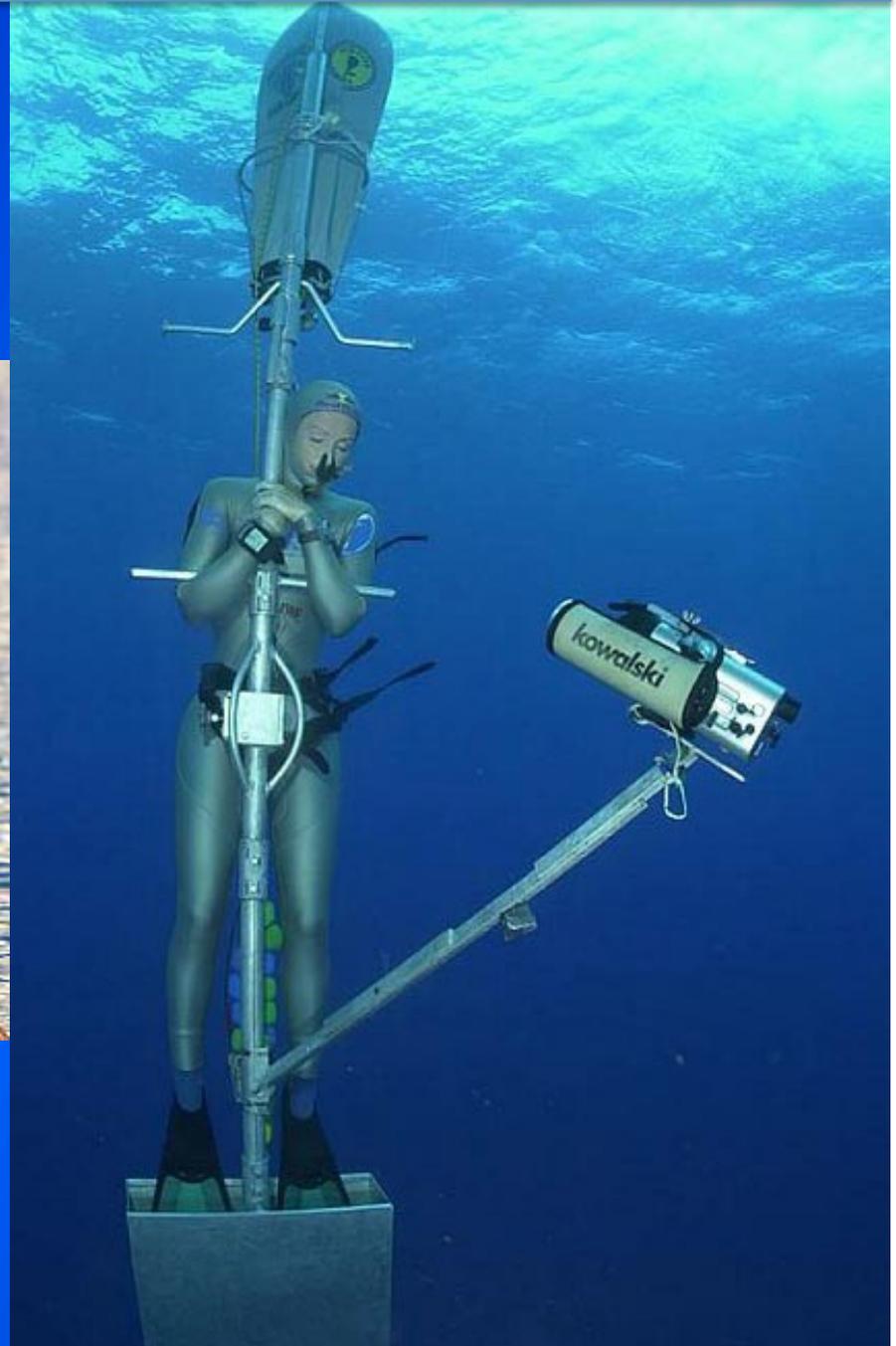


14 juin 2007, Herbert NITSCH
record du monde de plongée en
apnée **No limits**
-214 mètres
Spetses, GRECE.

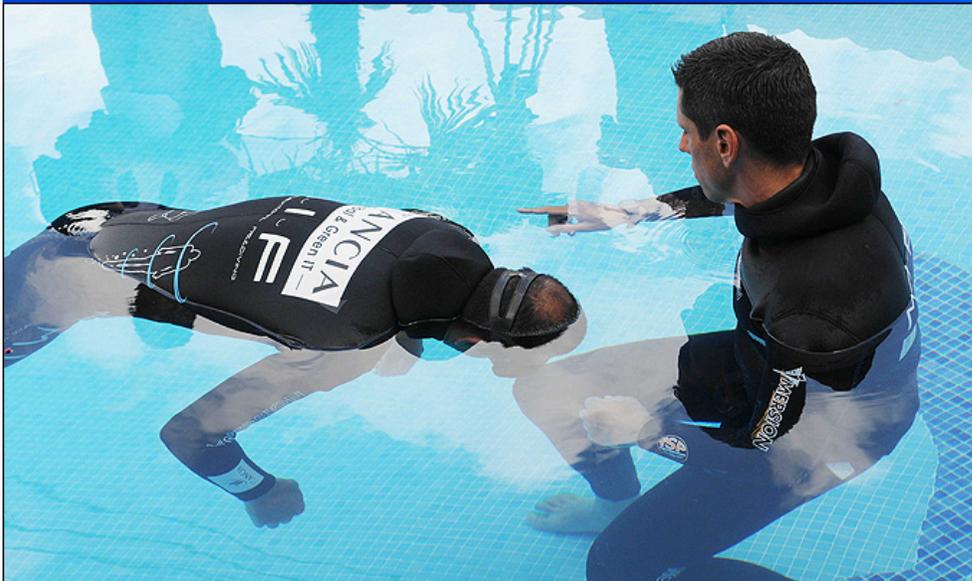
Technique de compensation par
EqEx





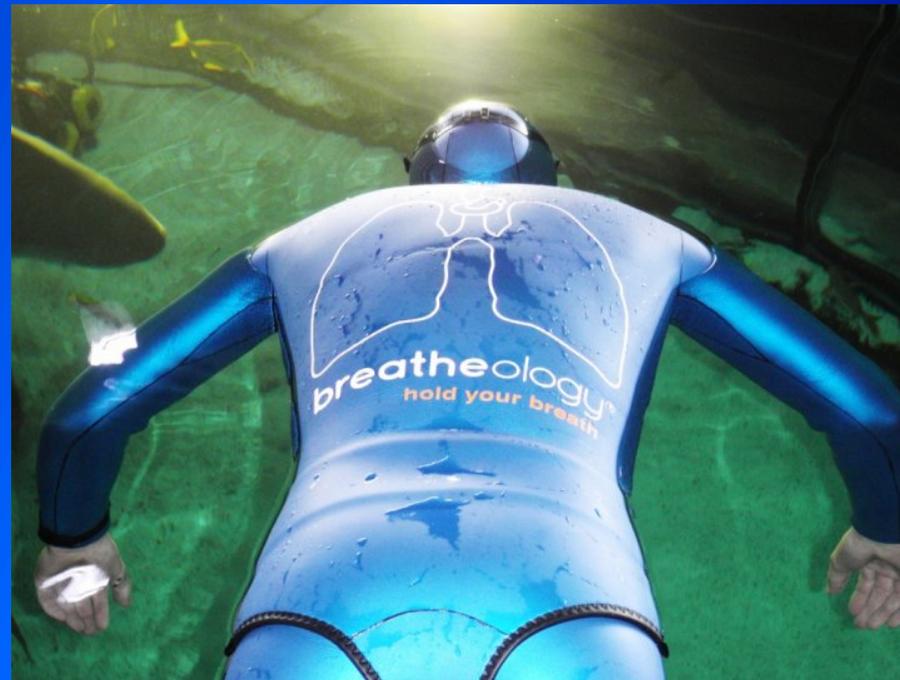


8 juin 2009, Stéphane Mismud
record du monde de plongée
en apnée statique
11 minutes 35 secondes



1^{er} avril 2010, Stig Avall Severinsen
record du monde de plongée
en apnée statique
après inhalation d'O₂

20 minutes 10 secondes





1. Un peu d'histoire et quelques records

2. Comment ça marche ?

3. Comment repousser les limites

4. Adaptation ou prédisposition

5. Pathologies de la plongée en apnée

La théorie de Cabarro est basée sur la

Loi de Boyle et Mariotte

Pression x Volume = Constante

Pression: unités

1 ATA =

1.01 bar

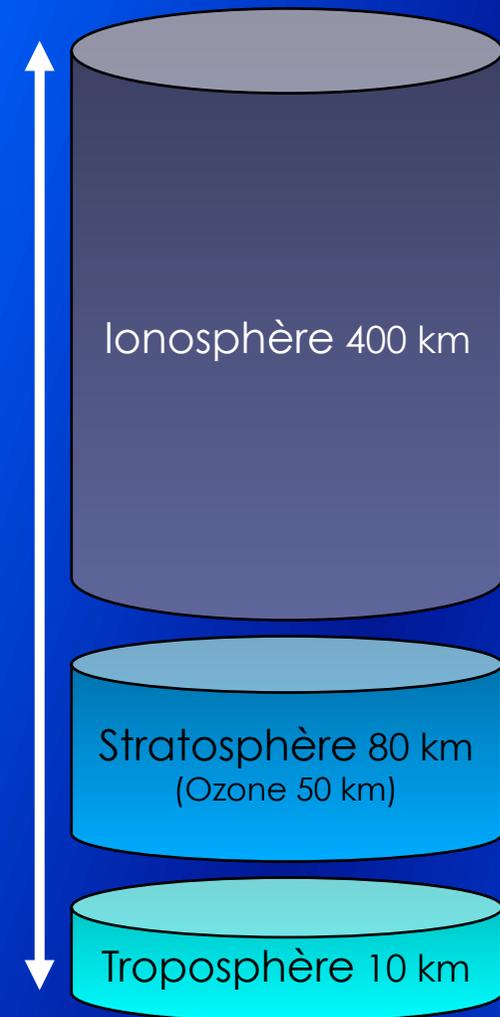
14.5 psi

101 kPa

760 mm Hg / Torr

1033 cm H₂O

400 km
atmosphère

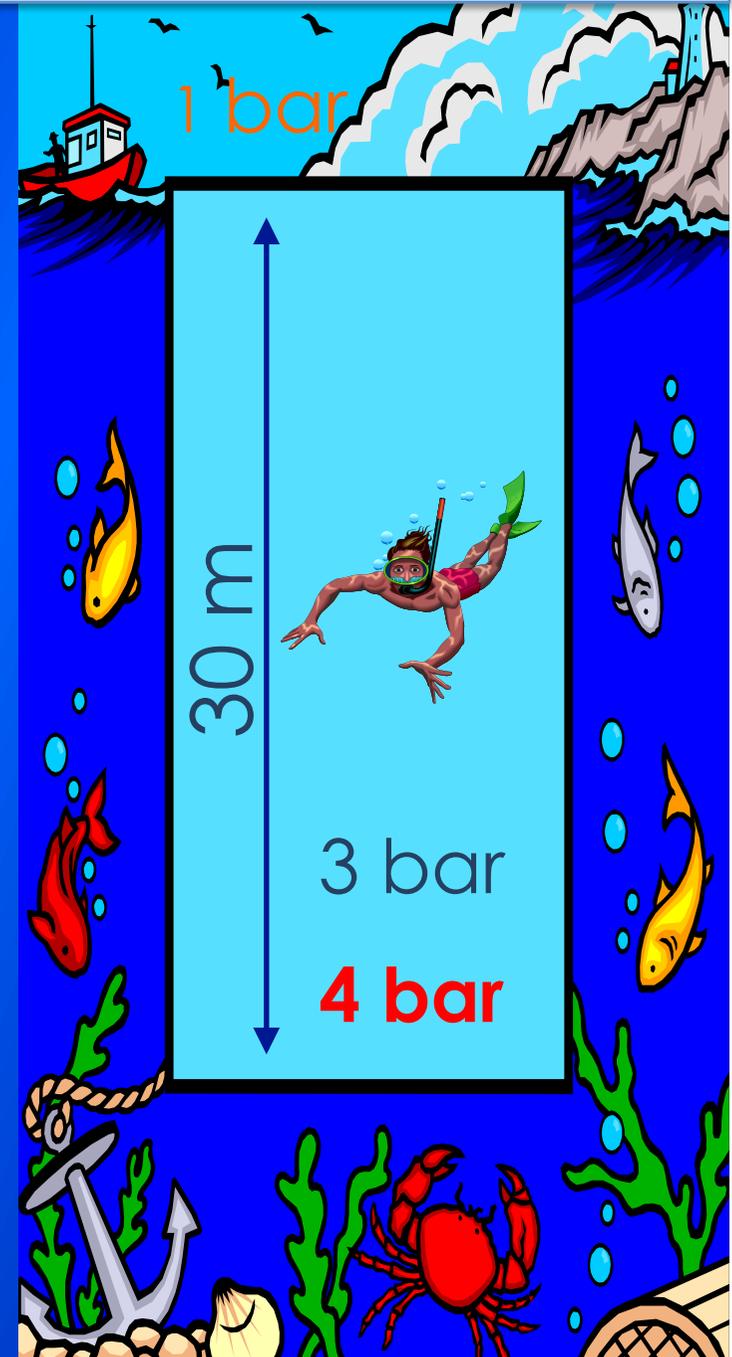


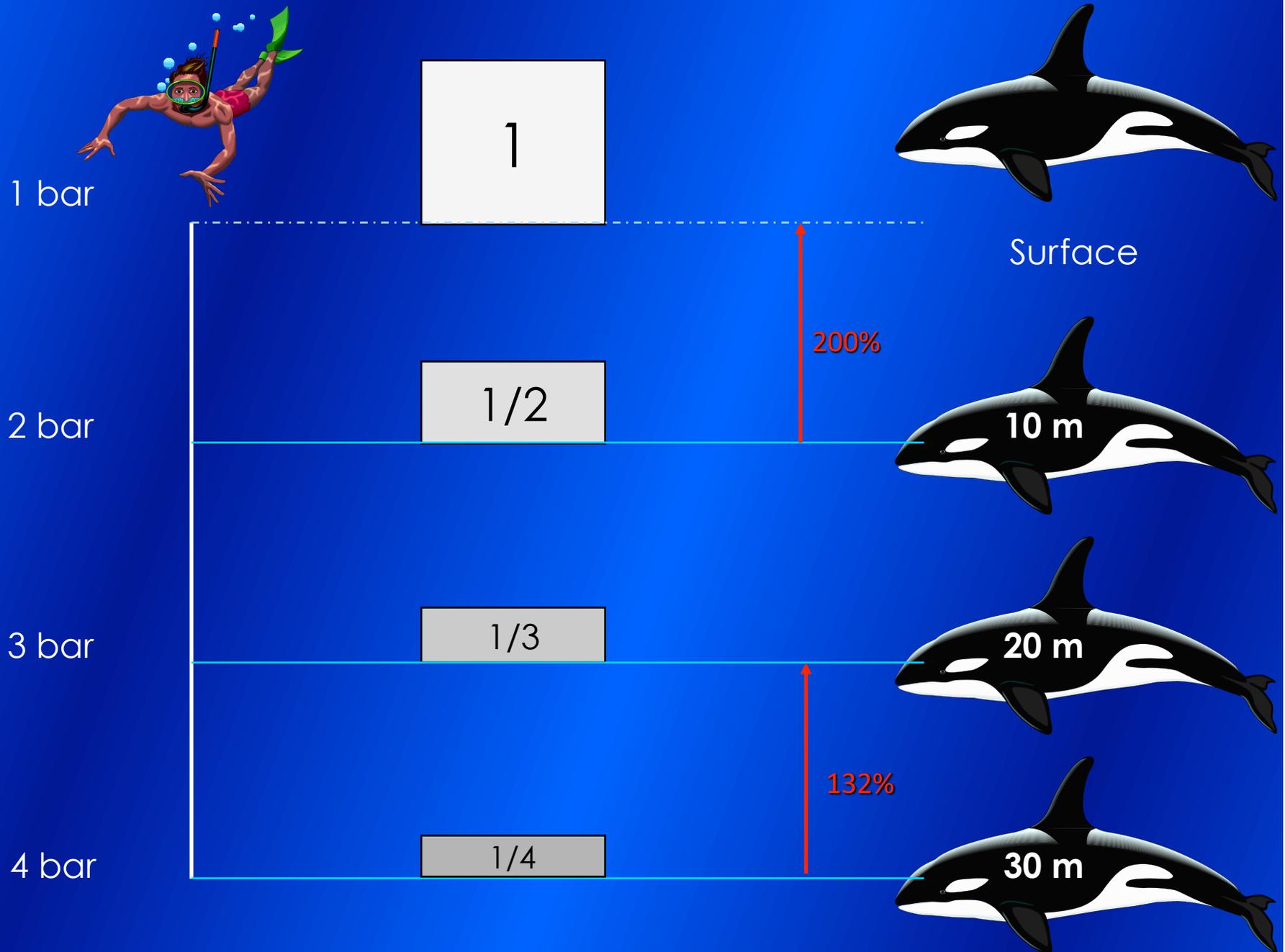
= $\frac{3}{4}$ air

Plongée et pression

Pression hydrostatique **P**
= colonne d'eau (1 bar/10 m)

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





Pression x Volume = Constante

Si volume pulmonaire < VR = lung squeeze

$CPT / VR = \text{profondeur maximale (ATA)}$

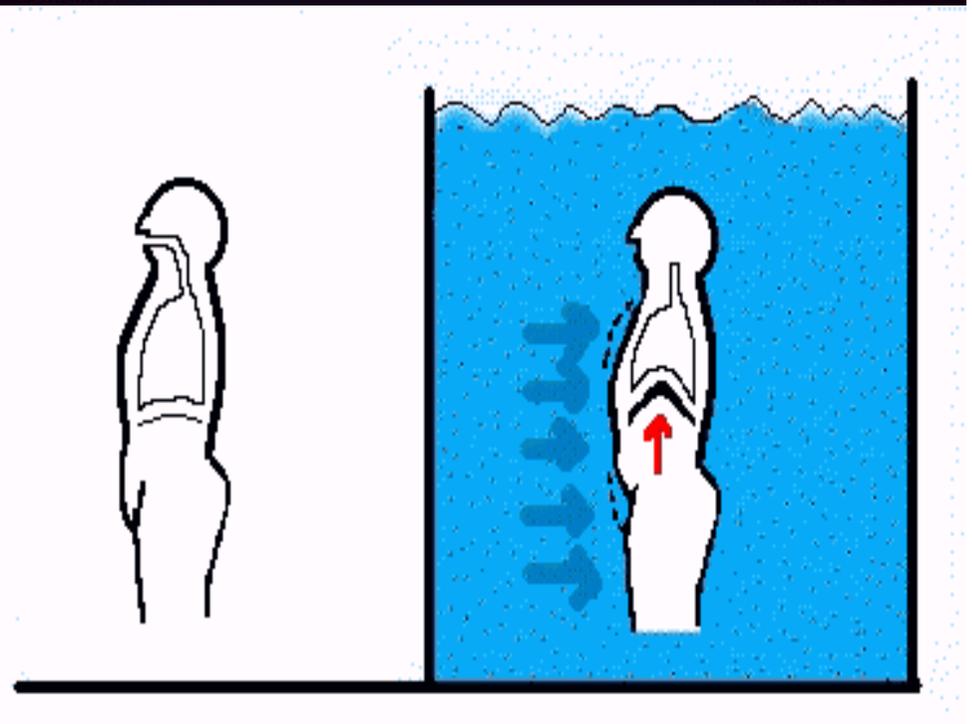
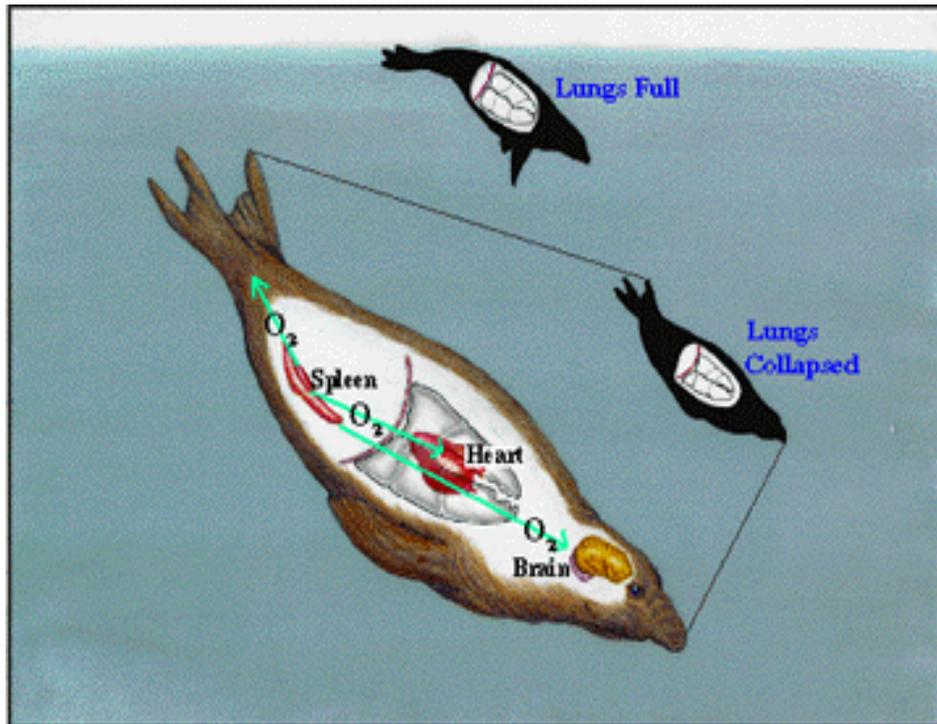
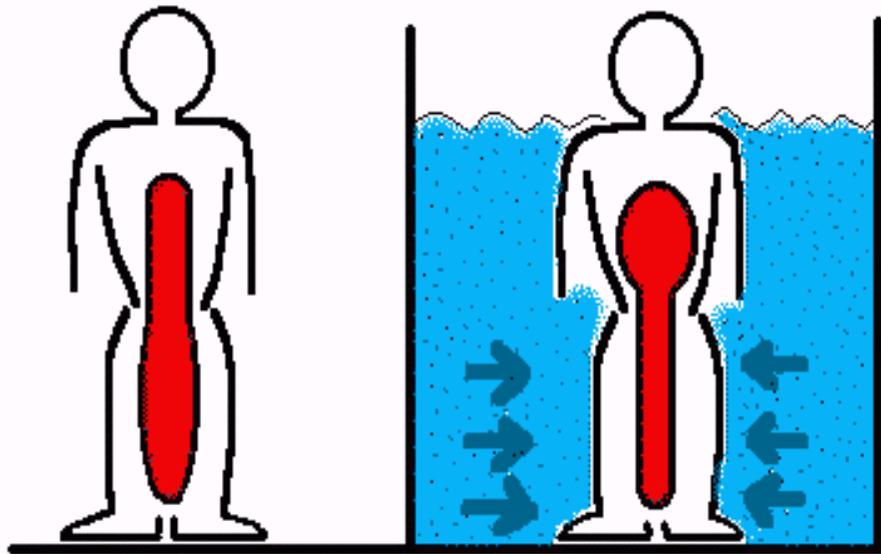
$$7.5 / 1.5 = 5 \text{ ATA} = 40 \text{ m}$$

Les records jusqu'aux années 1970
sont compatibles avec la théorie de Cabarro.

Grande profondeur = grande CPT

Mais la réalité
des records
dépasse
le raisonnement
physiologique

Comment l'expliquer?



↑ pression ambiante

Redistribution

Thorax/diaphragme

↑ sang intrathoracique
1000 ml (blood shift)

collapsus alvéolaire

↓ volume résiduel

Blood shift = 700 ml tête hors de l'eau

Blood shift = 1500 ml en grande profondeur

PIPIN Ferreras, Cuba

CPT 9.6 L VR 2.2 L

$9.6 / 2.2 = 4.4 \text{ ATA} = 34 \text{ m}$

Blood shift de 1.5 L = VR de 0.7 L

$9.6 / 0.7 = 13.7 \text{ ATA} = 127 \text{ m}$

2003, record no limits 170 m !?



Limite pour le blood shift ?

Résistance mécanique
des capillaires pulmonaires

Hémorragie alvéolaire
et hémoptysie décrites

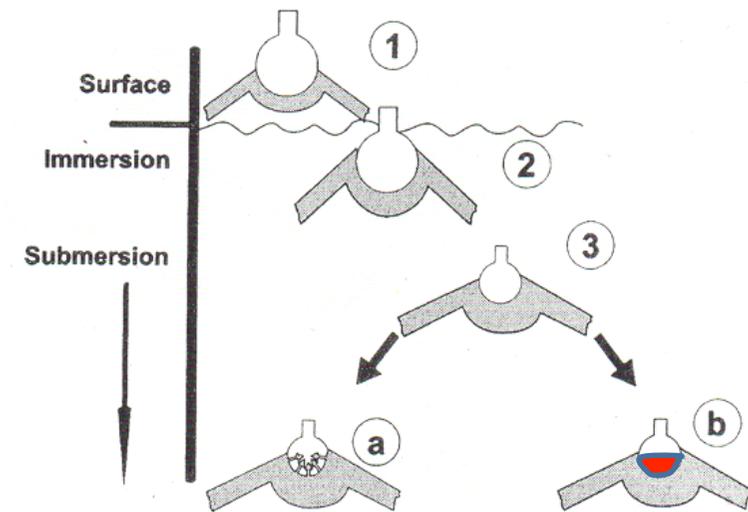


Fig. 3. Blood shift. At surface (1), the alveoli of the lung and the pulmonary blood vessels have their normal diameters. Immersion (2) to the neck creates a negative intrathoracic pressure and, thus, an increased venous return into the pulmonary vessels. Submersion while breath-holding (3) leads to a compression of alveoli (Boyle's law) and a further redistribution of blood into the thoracic vessels, leading to engorgement of these vessels. In greater depth, this mechanism may lead either to a rupture of vessels from overdistension (a) or to an intraalveolar edema (b) from the very high hydrostatic pressure.



Gaz emporté: oxygène 21% azote 79%

Différencier apnée en surface (normobarie)
apnée en profondeur (hyperbarie)

Valeurs PaO_2 et $PaCO_2$ idem chez plongeur entraîné et population normale

Apnée en surface

O₂

↓ progressive de la PO₂ dans les poumons et dans le sang

Après 4 minutes:

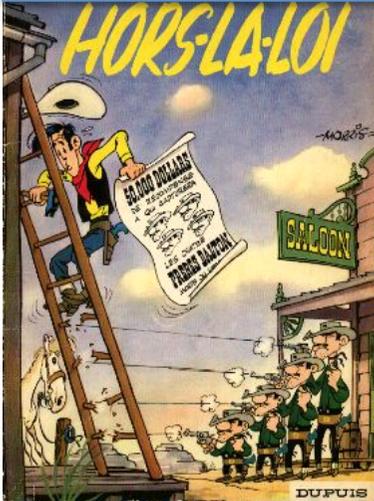
PAO₂: 4 kPa (au lieu de 13.5 kPa)

Pa O₂: 2.7 kPa (au lieu de 12.3 kPa)

CO₂

↑ progressive pendant 30 secondes

stabilisation de la PCO₂ à 6.8 – 8.2 kPa (au lieu de 5.5 kPa)



Apnée en profondeur

Loi de Dalton



$P_{\text{tot}} = \sum \text{des } P_p \text{ de chaque}$
gaz

$$P_{\text{air}} = P_{\text{O}_2} + P_{\text{N}_2}$$

$$P_{\text{iO}_2} = 0.21 \times (100 - 6.3^*) \text{ kPa}$$

niveau de la mer, air ambiant, * $P_{\text{H}_2\text{O}}$ à 37°C

6 litres
PCO₂ 5.5
PO₂ 13.7

à la surface 1 bar

← ← ← ← 6.3

3.33 litres

8 m profondeur 1.8 bar

PCO₂ 6.3 ← ← ← ← 6.3

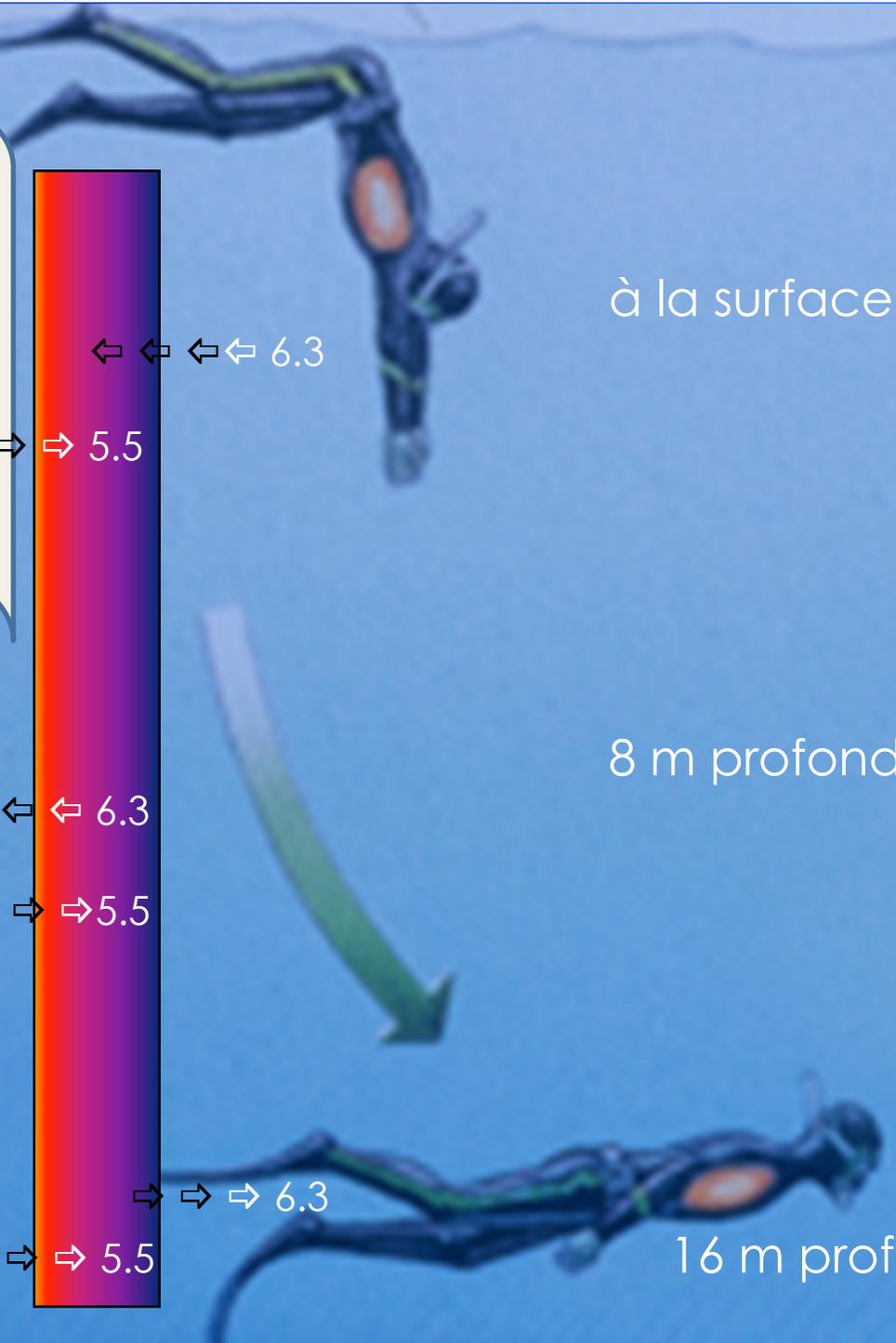
PO₂ 20.5 ⇒ ⇒ ⇒ ⇒ 5.5

2.3 litres

16 m profondeur 2.6 bar

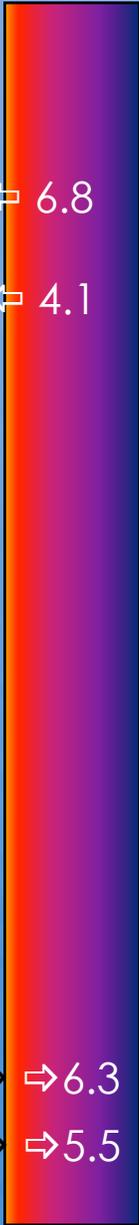
PCO₂ 6.8 ⇒ ⇒ ⇒ ⇒ 6.3

PO₂ 30.8 ⇒ ⇒ ⇒ ⇒ 5.5



6 litres
PCO₂ 4.8 ↔ ↔ ↔ ↔ 6.8
PO₂ < 4 ↔ ↔ ↔ ↔ 4.1

1.5 litres
PCO₂ 7.1 ↔ ↔ ↔ ↔ 6.3
PO₂ 45.9 ↔ ↔ ↔ ↔ 5.5

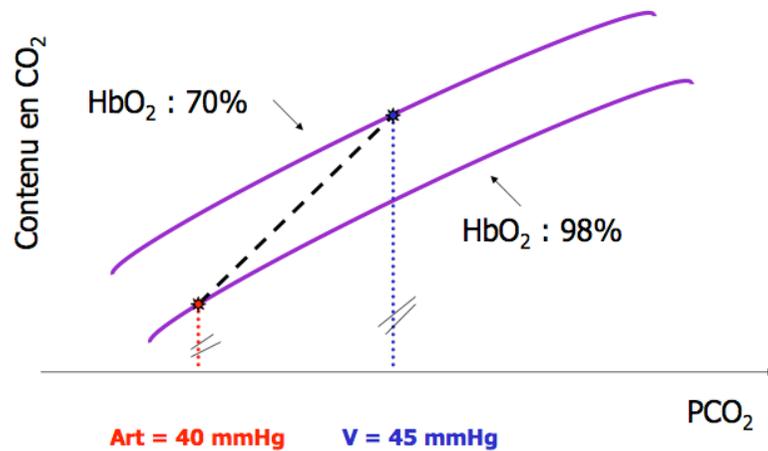


à la surface 1 bar

30 m profondeur 4 bar



CO₂ : effet Haldane



La désoxygénation de l'Hb ↑ la capacité de transport du CO₂ par le sang, sans variation de la PCO₂

- 75% du CO₂ est transformé en carbamates (10%) et bicarbonates (65%) du fait de la désaturation d'Hb

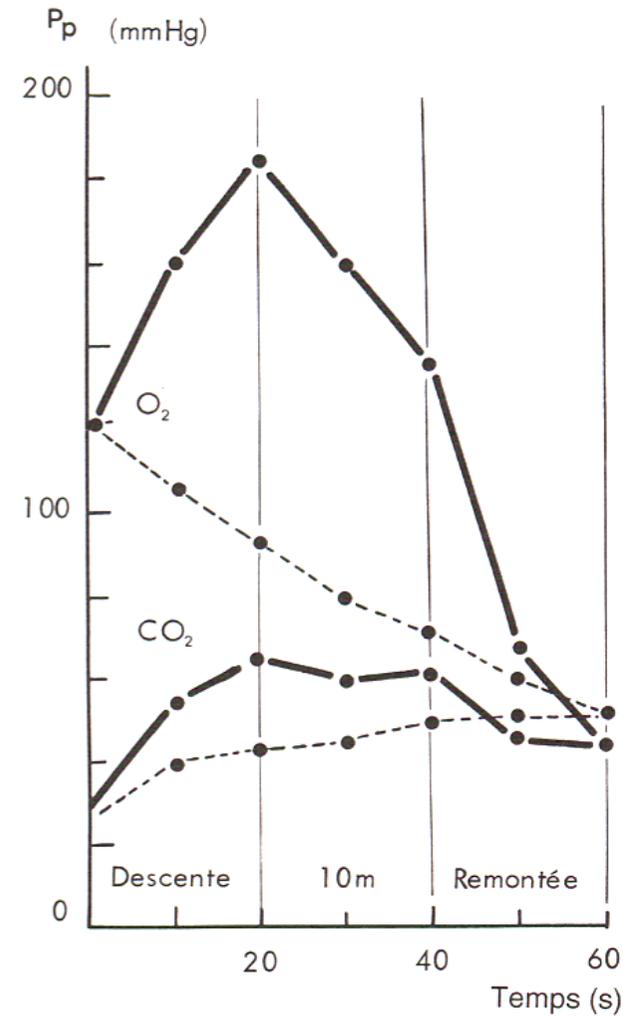


FIG. 22. — Évolution de PACO₂ et PAO₂ au cours d'une apnée de 60 s comportant une descente à 10 m, un palier à 10 m et la remontée; chaque étape dure 20 s. Les courbes en pointillé rappellent les valeurs correspondant à une apnée en surface avec un travail léger (d'après LANPHIER et RAHN, 1963).

Apnée

↓ T° front et région orbitaire



Diving response

Bradycardie

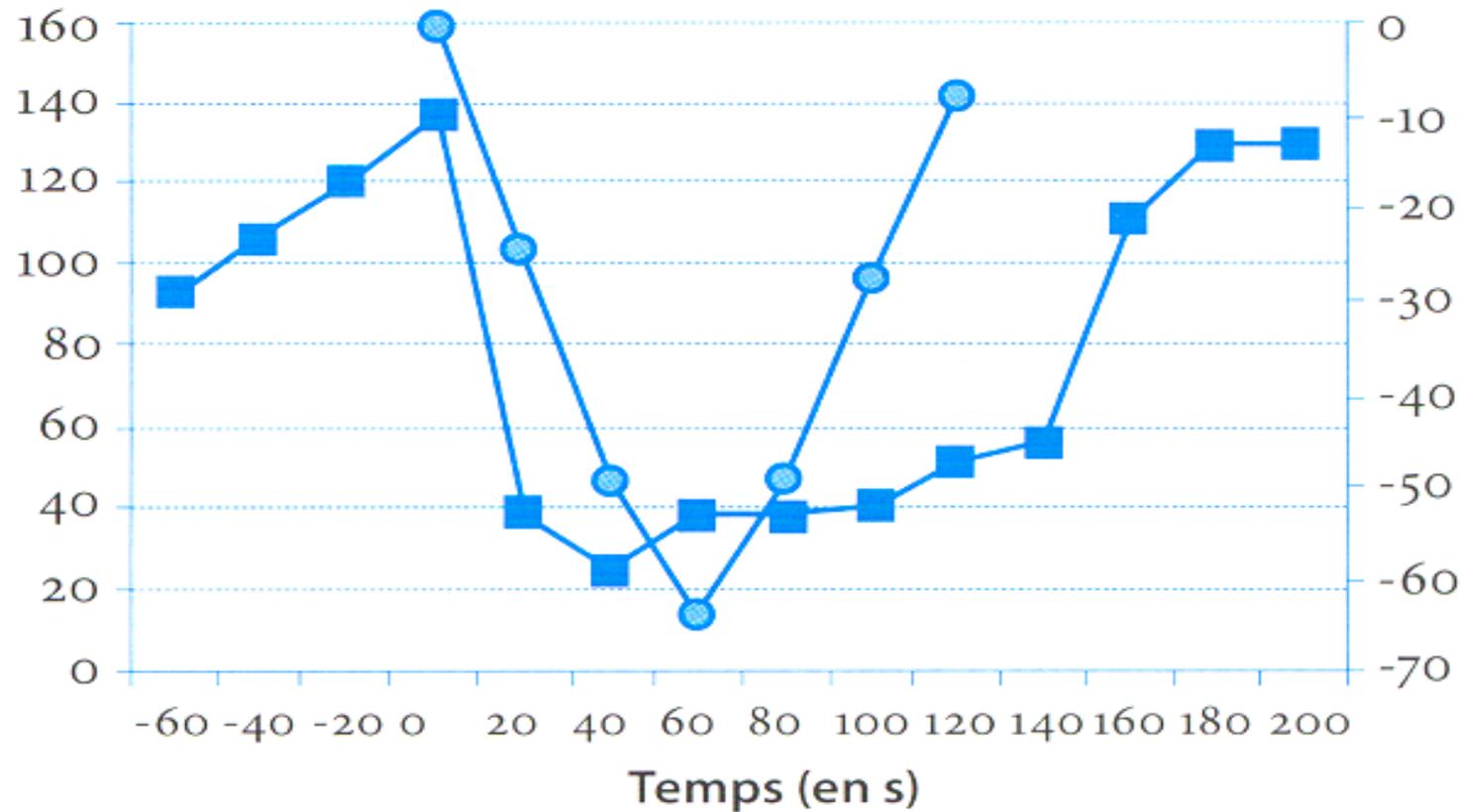
Vasoconstriction
périphérique

Redistribution et ↑ PaO₂



Fréquence cardiaque (en bpm)

Profondeur (en m)



Adapté de Ferrigno et coll., 37

L'apnée: de la théorie à la pratique

Publications des Universités de Rouen et du Havre, Décembre 2007, p 240

Légende :

■ Fréquence cardiaque (en bpm)

● Profondeur (en m)

Apnée No Limit, -65 m

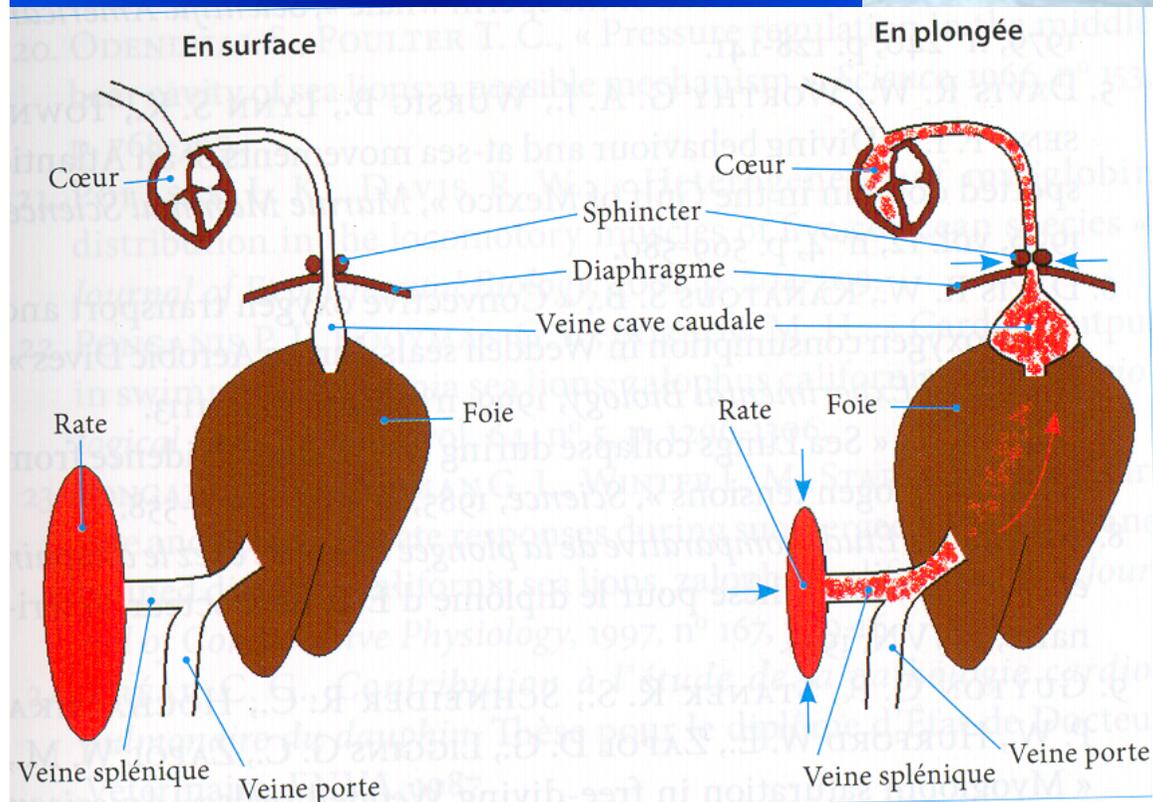
Figure n° 8. – Fréquence cardiaque au cours d'une plongée en apnée No Limit chez un plongeur de niveau international.

Le rôle de la rate

= réservoir globules rouges

60% chez le phoque
de Weddell

10% chez l'homme



Ht 44% → 55%

Le rôle de la rate

Schagatay E, Undersea & Hyperbaric Med; 26:143-9

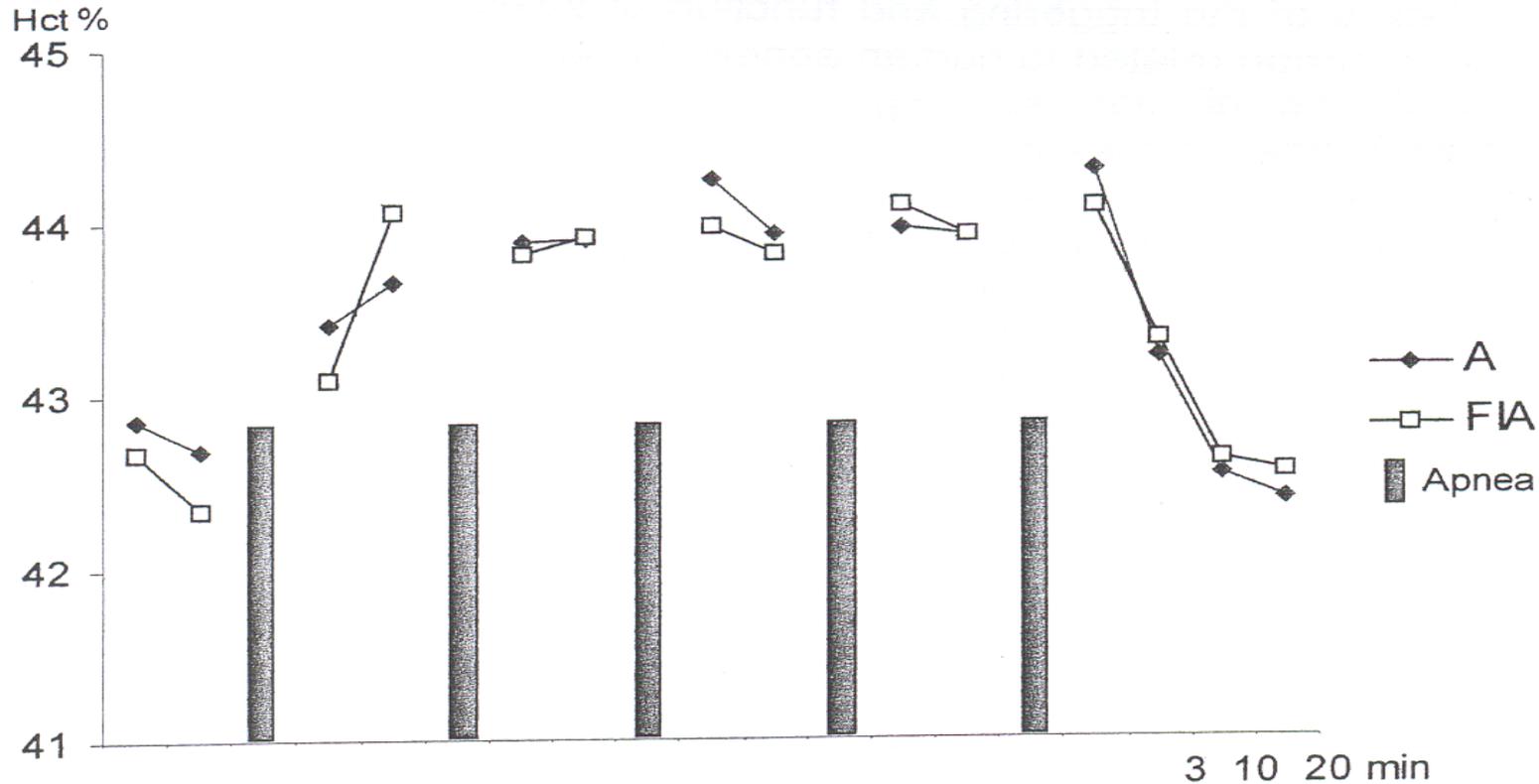


Figure 1. Hematocrit across two series of five apneas of a predetermined duration, with or without face immersion, in 8 subjects. Apneas were spaced by 2 min of rest. A indicates responses to apneas, while FIA indicates responses to apneas with face immersions in cold (10C) water.

Le rôle de la rate

Schagatay E, Undersea & Hyperbaric Med; 26:143-9

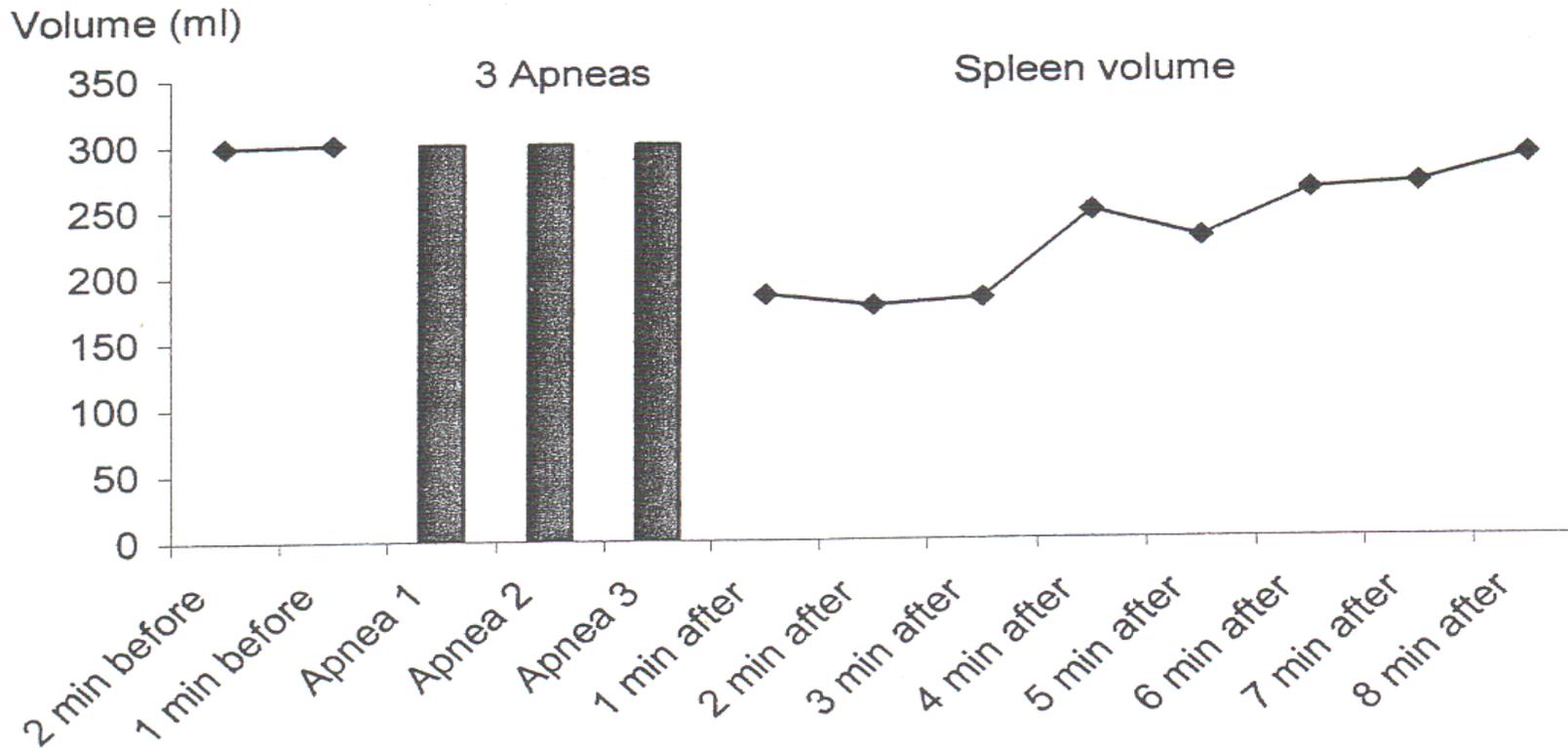


Figure 2. Spleen volume derived from ultrasonic-Doppler recordings from one woman, trained in underwater rugby, before and after three apneic episodes of maximal duration spaced by 2 min of rest.



1. Un peu d'histoire et quelques records

2. Comment ça marche ?

3. Comment repousser les limites

4. Adaptation ou prédisposition

5. Pathologies de la plongée en apnée

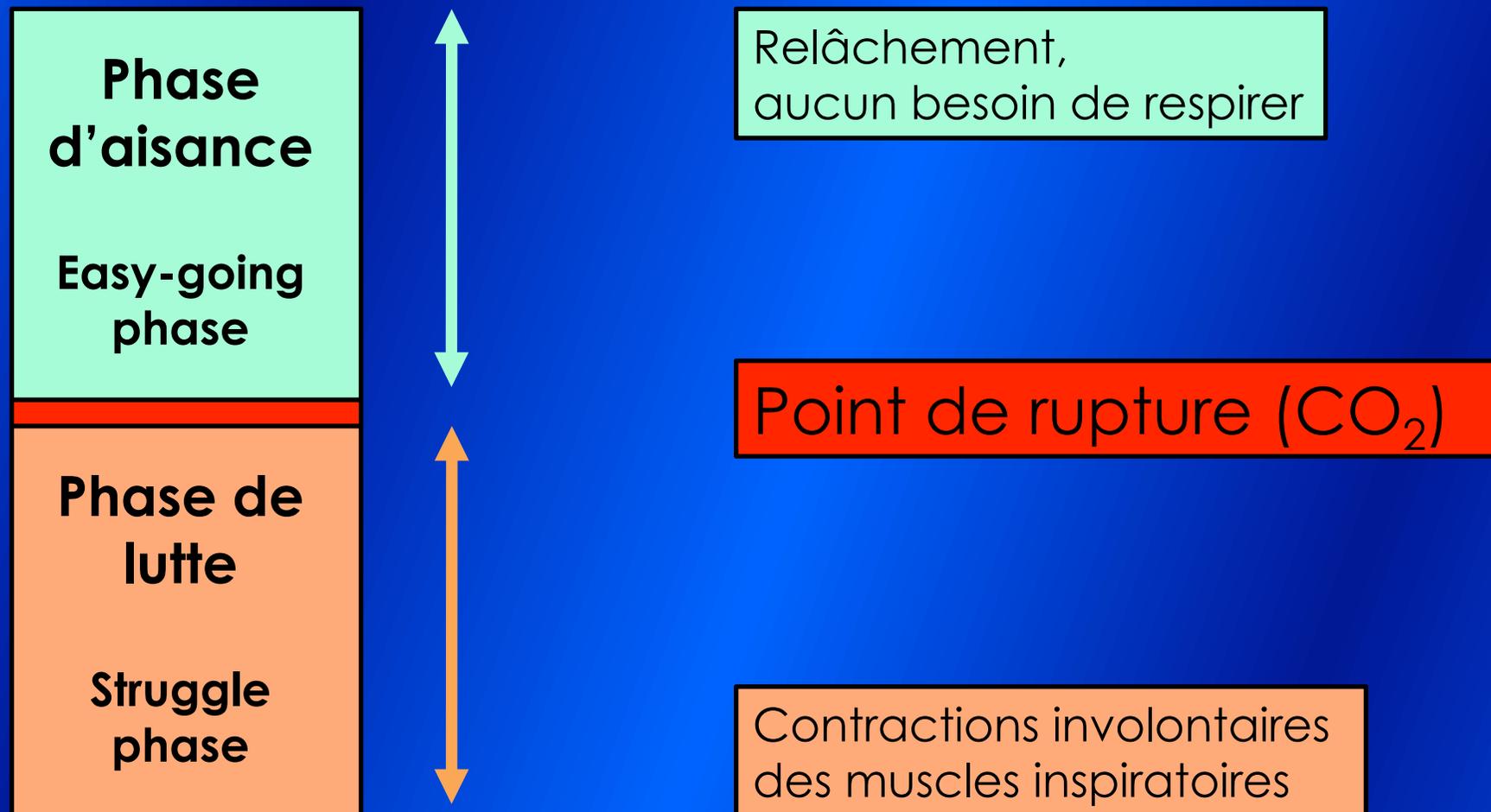
↑ durée de l'apnée

↑ profondeur

↓ demande métabolique

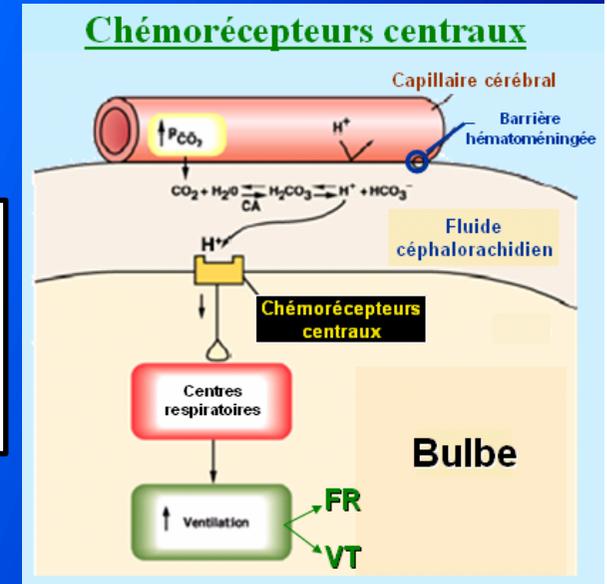
	Homme	Femme
Apnée dynamique avec palmes	273 m	225 m
Apnée dynamique sans palmes	218 m	160 m
Poids constant avec palmes	124 m	101 m
Poids constant sans palmes	101 m	62 m
Apnée statique	11 min 35	8 min 23
No limits	214 m	160 m

Les 2 phases de l'apnée, rôle du CO₂



Hypercapnie ($\uparrow \text{CO}_2$)

= principal facteur limitant de l'apnée
 \rightarrow point de rupture de l'apnée
 du aux chémorécepteurs centraux

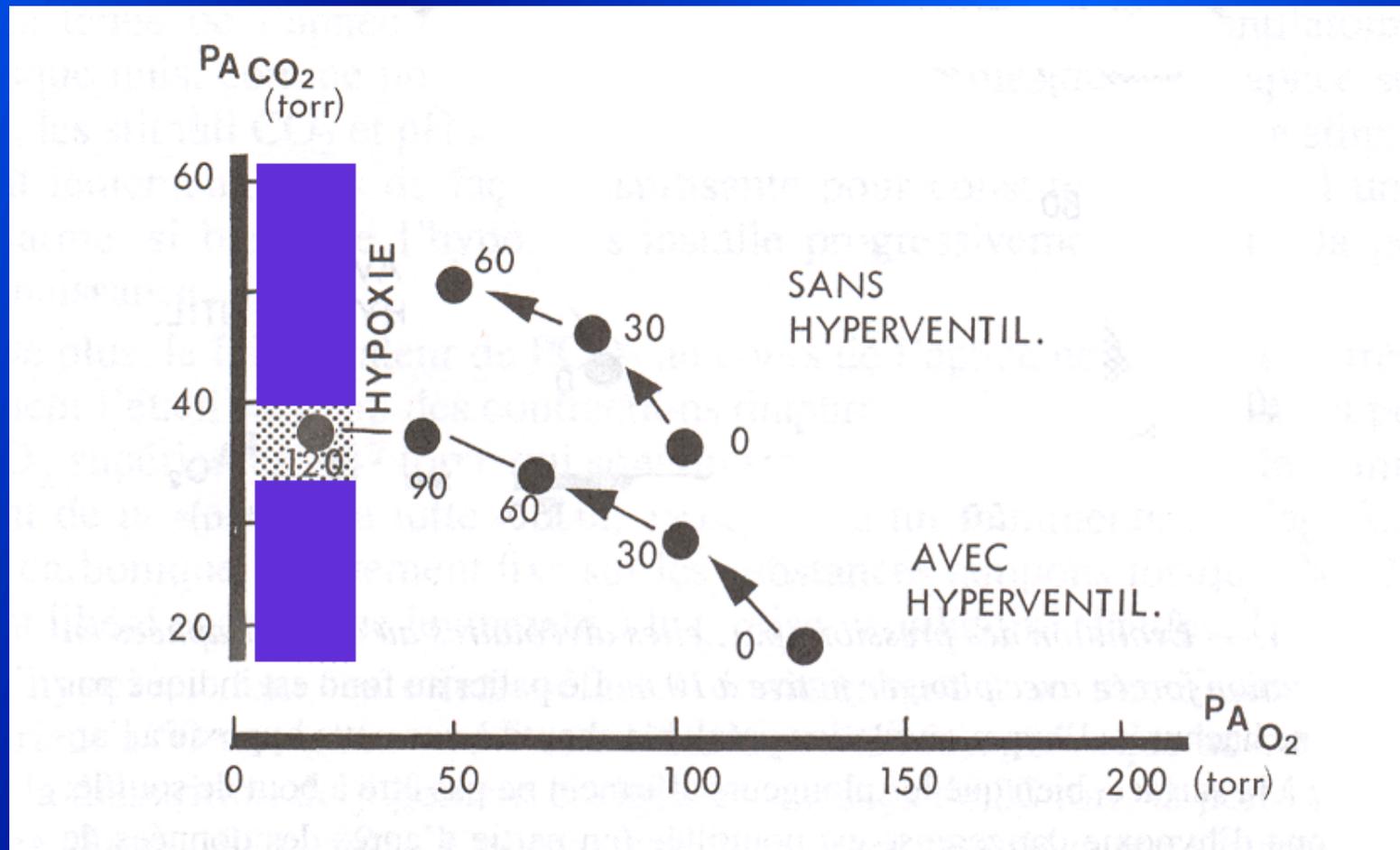


Autres facteurs limitants:

Mécanique: réflexe d'Hering-Breuer

Dynamique: absence de mvt respiratoire

Hyperventilation



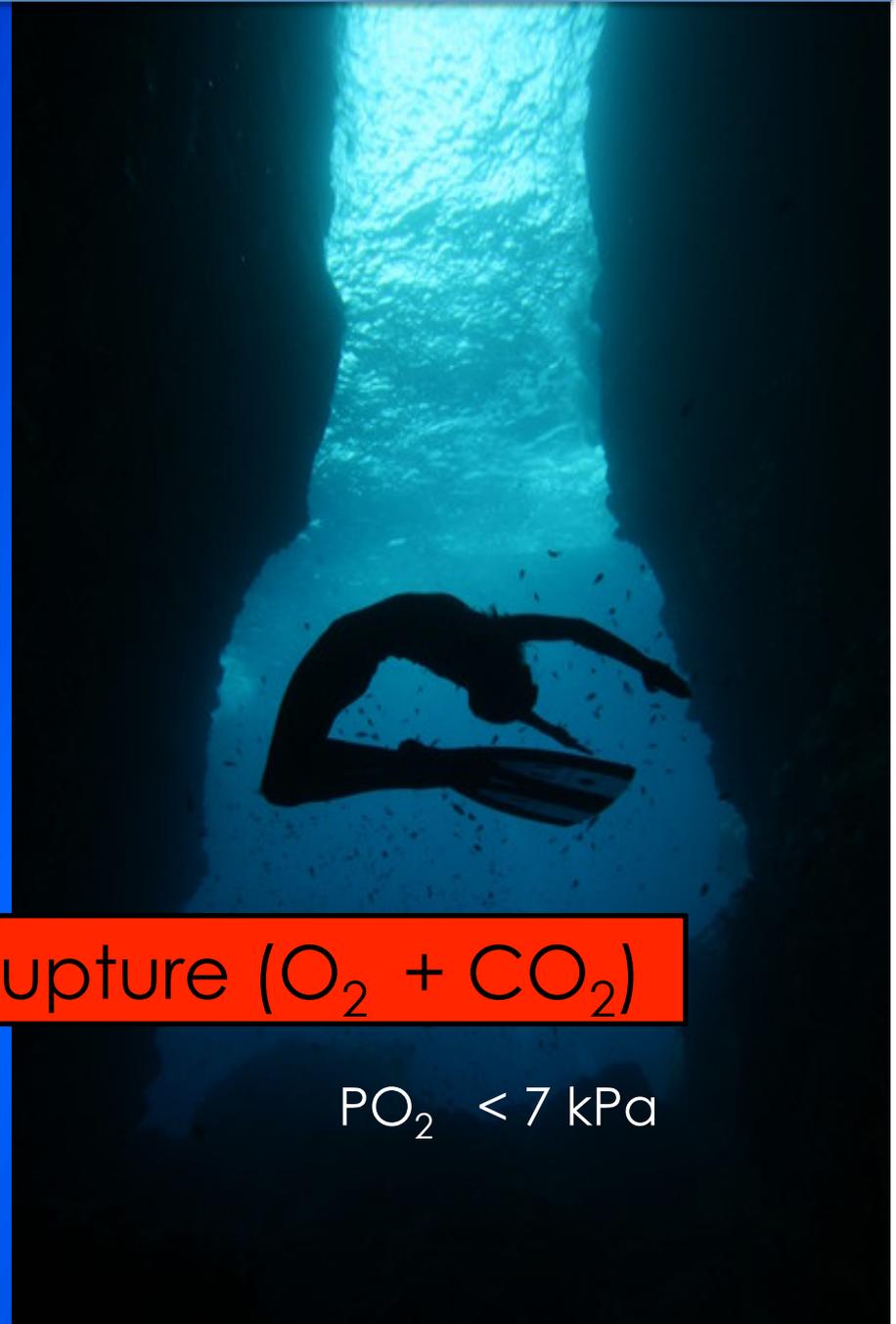
Hyperventilation

Phase
d'aisance

Phase de
lutte

Point de rupture ($O_2 + CO_2$)

$PO_2 < 7 \text{ kPa}$



Hyperventilation + oxygénation

**Phase
d'aisance**

O₂ normobare:
8.5 minutes c/o non entraîné

20 minutes 10 sec
Stig Avall Severinsen

Phase de lutte

Point de rupture (O₂ + CO₂)

Apnée

↓ T° front et région orbitaire

Diving response
Comment l'améliorer ?



Mvts respiratoires volontaires
supprime la réponse
durant la phase d'aisance
mais pas durant
la phase de lutte

ΔT° est important
Garder la tête chaude entre
les plongées

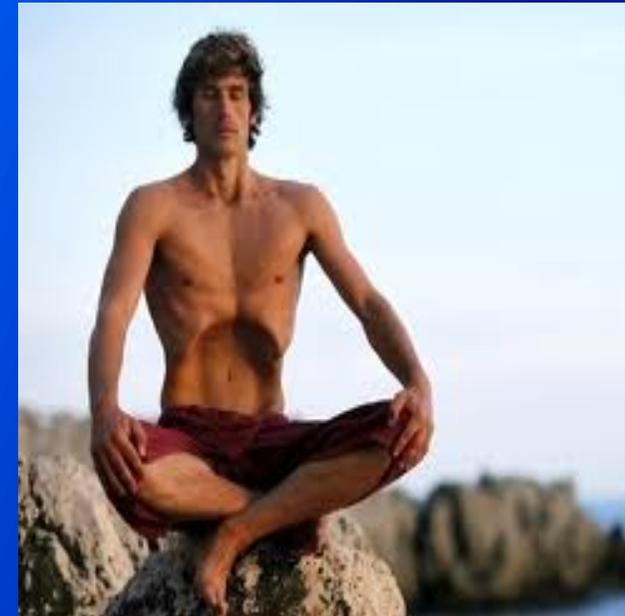
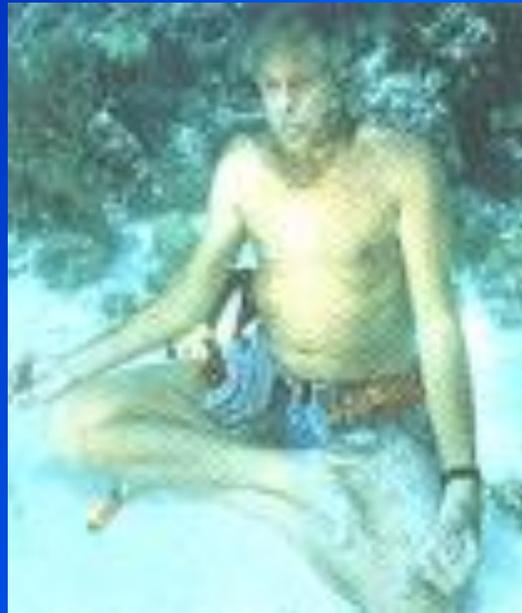
Profondeur
(compression pulmonaire + thermocline)



Diving
response
augmentée
chez le
plongeur
entraîné

Agir sur la CPT, le VR, le VR/CPT

Yoga: stretching du diaphragme ↓ VR



Respiration glosso-pharyngée

= glossopharyngeal insufflation = frog breathing
= lung packing = buccal pumping = la carpe



A la CPT, compression de l'air buccal avec muscles oro-pharyngés → ouverture glotte → inhalations répétitives de petits volumes d'air (40-60 x)

↑ volume et ↑ compression des gaz

↑ profondeur et ↑ stock O₂



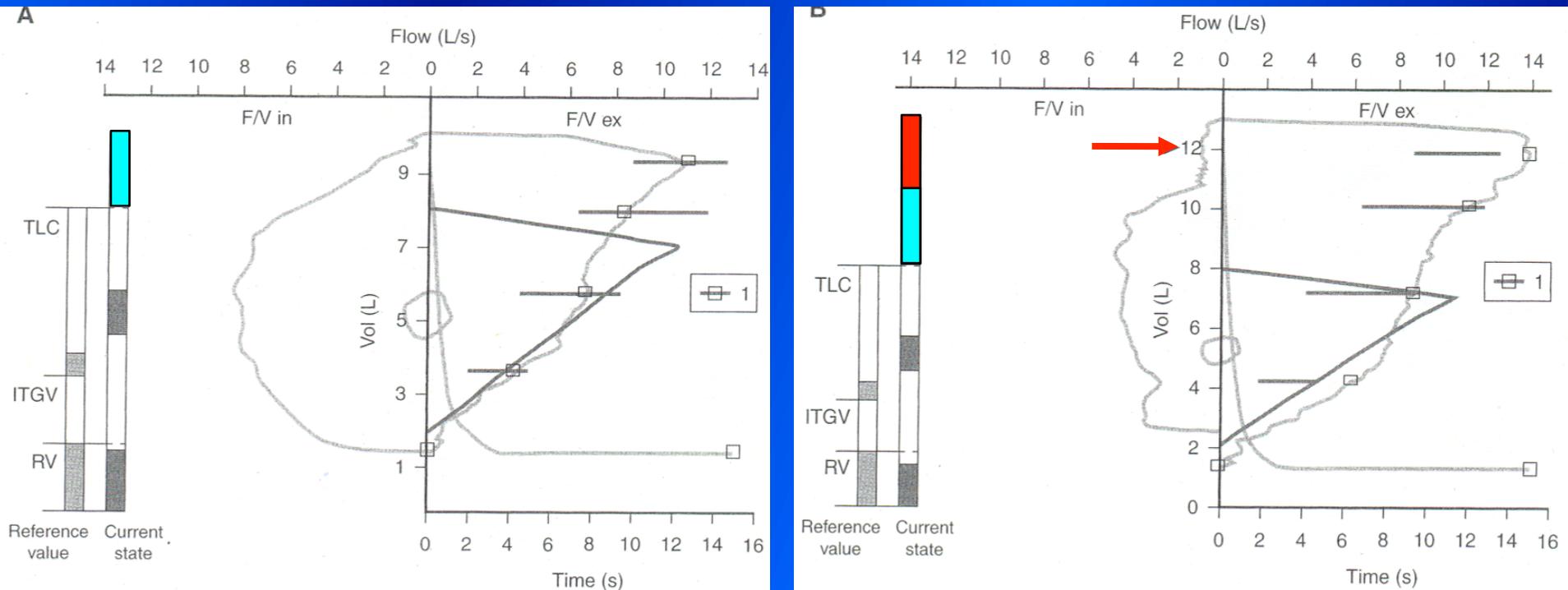


Fig. 4. Buccal pumping maneuver. The bodyplethysmographic findings in an elite apnea diver without (A) and with (B) buccal pumping maneuver (arrow), which enables hyperinflation of the lungs and increased TLC.

~ ↑ 1.1 litre ± 1.3 litre (18%)

↑ 4.2 litre (47%)



↓ TA

↑ FC

↓ FEVG

↑ P transpulmonaire

↑ RVP

⇒ Malaise, vision tunnel, syncope, barotrauma

Pneumomediastinum after lung packing.

F.L. JACOBSON¹, S.H. LORING², M. FERRIGNO³

¹Assistant Professor of Radiology, Brigham and Women's Hospital, Harvard Medical School, Boston, MA; ²Associate Professor of Anaesthesia, Beth Israel Deaconess, Medical Center, Harvard Medical School, Boston, MA; ³Assistant Professor of Anaesthesia, Brigham and Women's Hospital, Harvard Medical School, Boston, MA



Fig. 1. Axial CT image at TLC shows a small pneumomediastinum; gas is visible adjacent to the left mainstem bronchus, anterior to the aorta, as indicated by small arrows. The large arrow points to the small gas collection normally present in the esophagus.

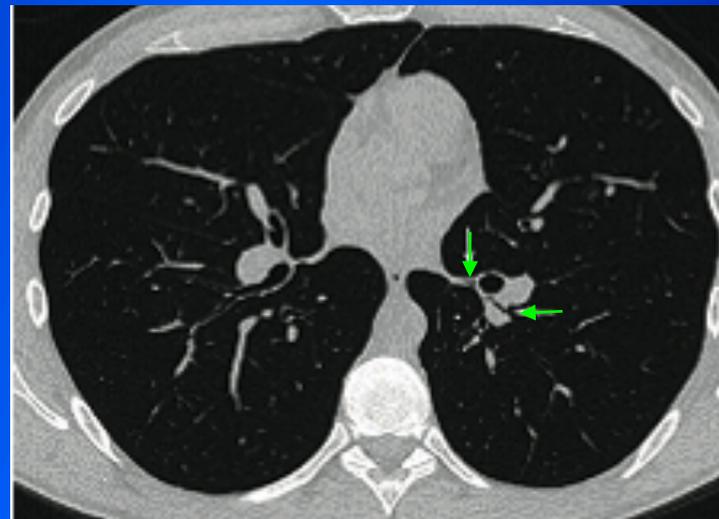
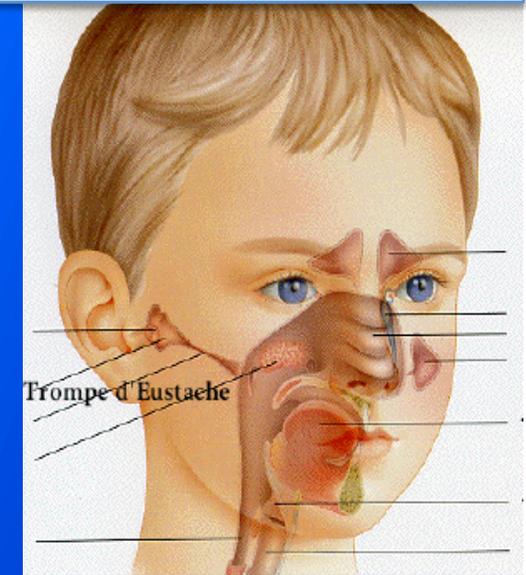


Fig 2. Arrows indicate pulmonary interstitial emphysema, as gas dissects through the interstitium adjacent to the airways.

Glossopharyngeal exsufflation

= reverse packing



Proche du VR, exhalation d'air intra-pulmonaire dans la bouche pour permettre équilibration de l'oreille moyenne

Quotient respiratoire VCO_2/VO_2

VCO_2/VO_2 bas: métabolisme des graisses

VCO_2/VO_2 haut: métabolisme des hydrates carbonés

Lindholm P, Eur J Appl Physiol. 2007; 100:417-25

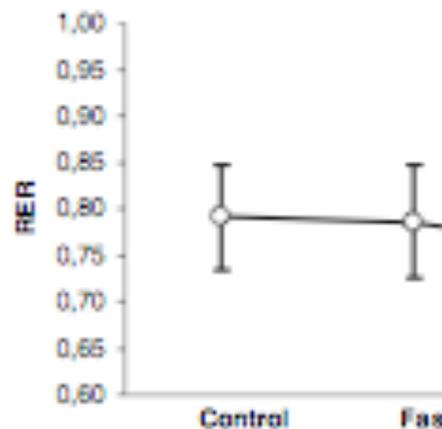


Fig. 2 Average respiratory exchange ratio determined for 5-min periods before and after the four conditions. The four conditions were: control (C), after 14 h of fasting (F14 h), after 18 h of fasting (F18 h), and after post fasting carbohydrate consumption (PFCC). Mean \pm SD showed $P < 0.05$ between conditions.

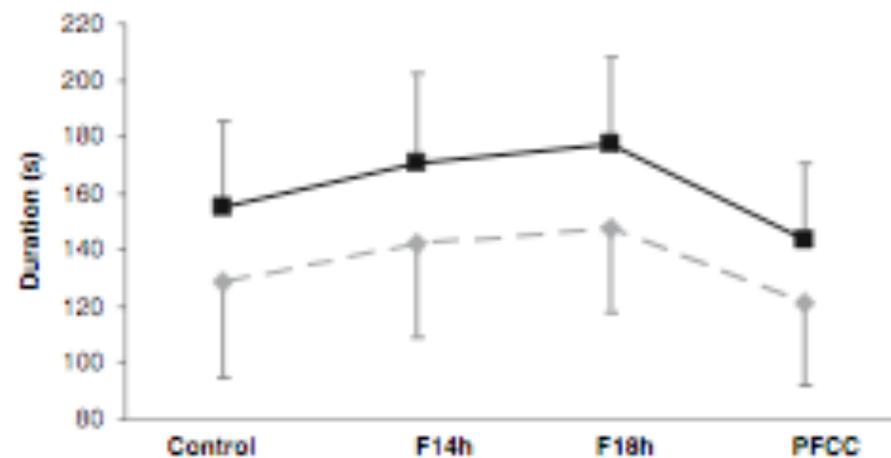
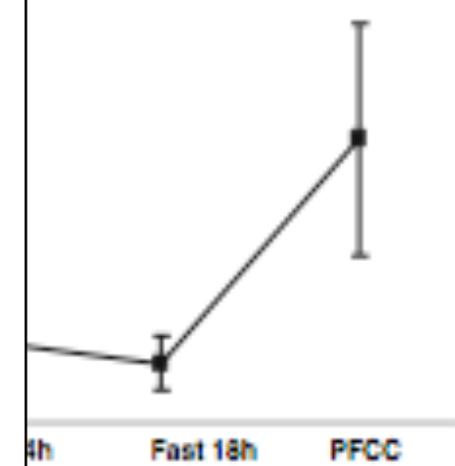


Fig. 3 Average \pm SD values for breath-hold durations: physiological breakpoint (grey diamonds), maximal breakpoint (black squares). Mean \pm SD, $N = 10$. The four conditions were: control (C), after 14 h of fasting (F14 h), after 18 h of fasting (F18 h), and after post fasting carbohydrate consumption (PFCC). ANOVA $P < 0.001$, for details on statistics see Table 2 and Results.



levels measured before and after the four conditions were: control (C), after 14 h of fasting (F14 h), after 18 h of fasting (F18 h), and after post fasting carbohydrate consumption (PFCC). Mean \pm SD, ANOVA $N = 10$, showed $P < 0.05$ between condition PFCC and F14 h and F18 h.

A stylized map of Mexico and Central America is centered on a dark blue background. The map is composed of several colored regions: a large red area for Mexico, a yellow area for Central America, and a blue area for the Caribbean Sea. Several small, colorful fish are scattered around the map, and a few white stars are visible in the upper left quadrant.

1. Un peu d'histoire et quelques records

2. Comment ça marche ?

3. Comment repousser les limites

4. Adaptation ou prédisposition

5. Pathologies de la plongée en apnée

Question fréquente en performance extrême

CPT plongeurs > CPT contrôles

La plongée en apnée, JH Corriol, Masson 2006, p 95

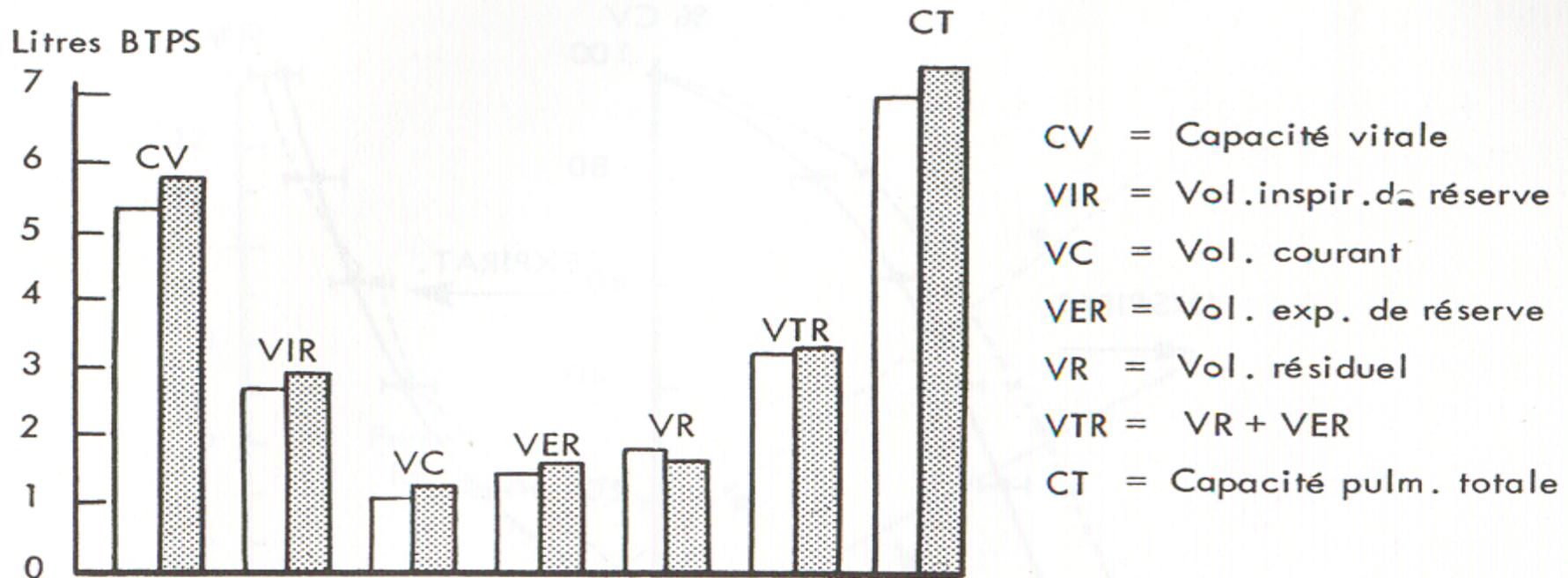


Fig. 40. — Effets de l'entraînement sur les différents volumes pulmonaires; les colonnes pointillées représentent les volumes après l'entraînement (d'après Schaefer, 1955).

6 semaines de respiration glosso-pharyngée \uparrow CV

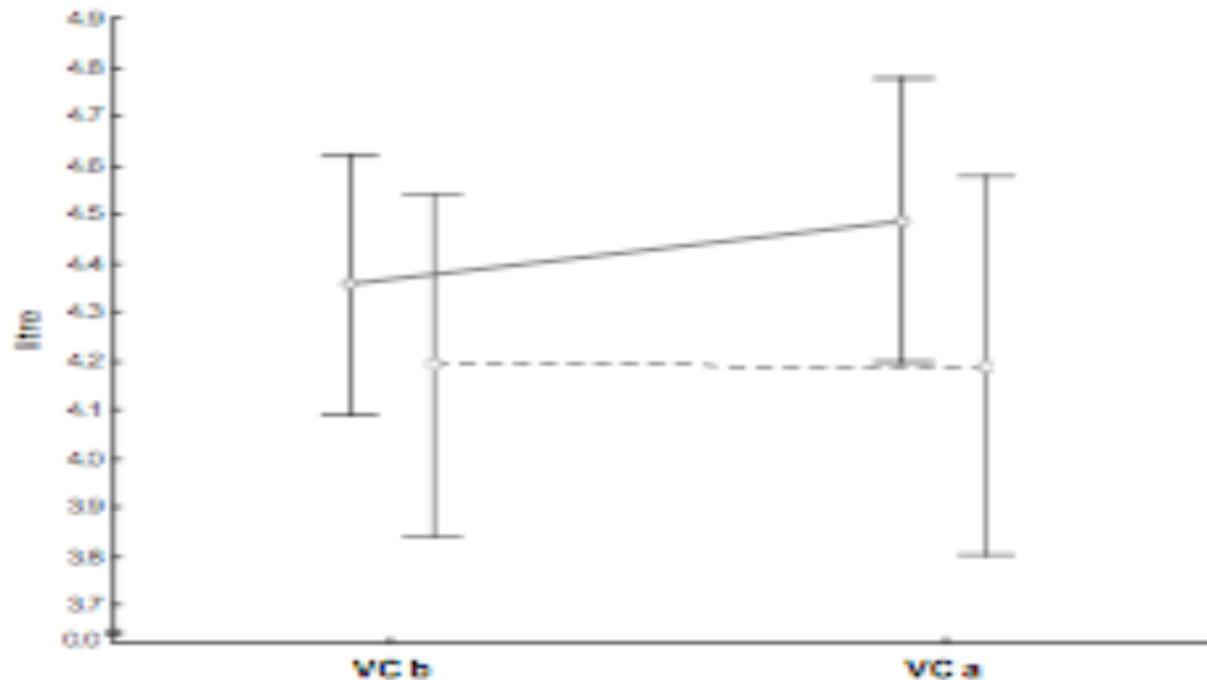


Figure 9. Measurements of vital capacity (VC) before (b) and after (a) a six-week period of glossopharyngeal pistoning for lung insufflation (GI) performance. Values are presented as means (SD). Training group \circ (TG, $n=16$). VC increased in the TG, $p<0.001$. Control group \square (CG, $n=9$). There was significant difference in effect between groups, $p<0.01$ after six weeks.

Drive respiratoire

Réponse ventilatoire hypercapnique basse

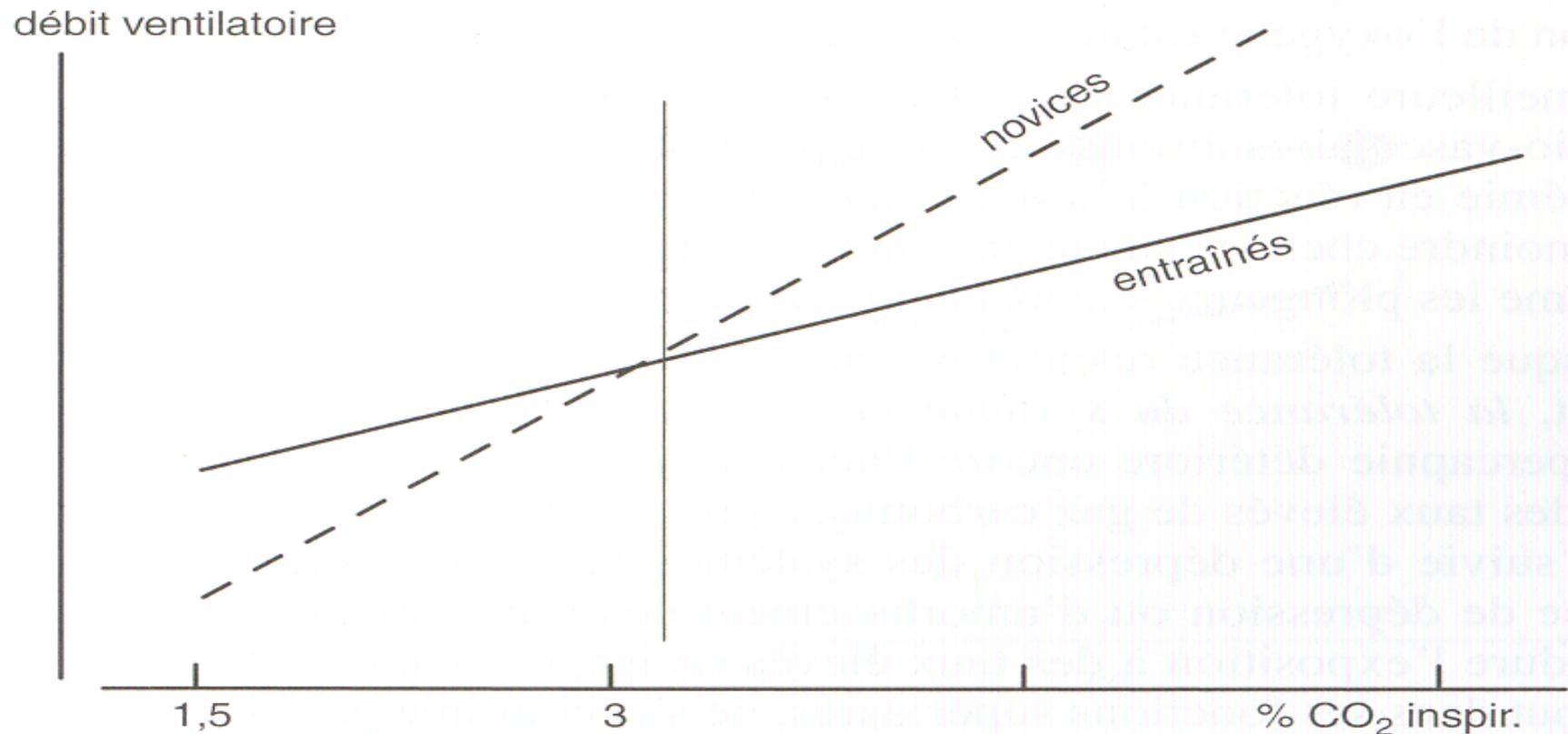


Fig. 43. — Débit ventilatoire en fonction des taux de gaz carbonique dans l'air inspiré, chez des sujets entraînés (en trait plein) et non entraînés (en trait discontinu) (d'après des données de Schaefer, 1955, 1965).

A diver is shown underwater against a dark blue background. The diver's body is overlaid with a map of Mexico, where different states are colored in various shades of red, orange, and yellow. The diver is wearing a black mask and a red BCD. Several colorful fish are swimming around the diver, and some light blue bubbles are visible in the water.

1. Un peu d'histoire et quelques records

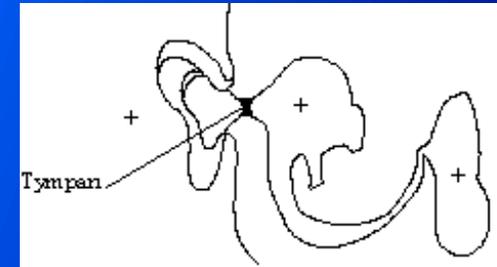
2. Comment ça marche ?

3. Comment repousser les limites

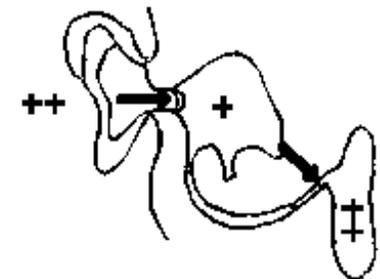
4. Adaptation ou prédisposition

5. Pathologies de la plongée en apnée

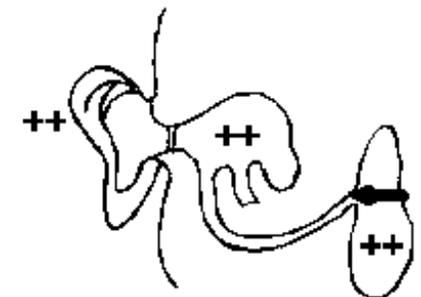
Barotraumatismes



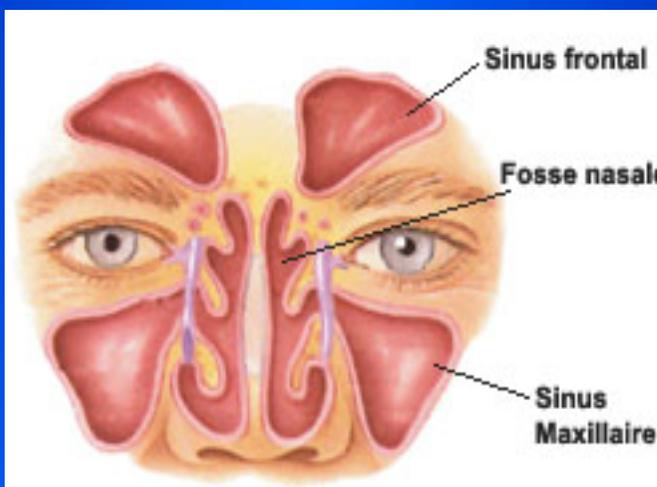
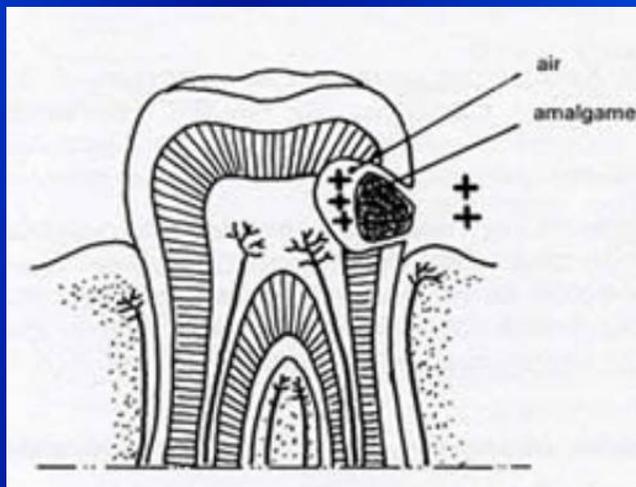
En surface

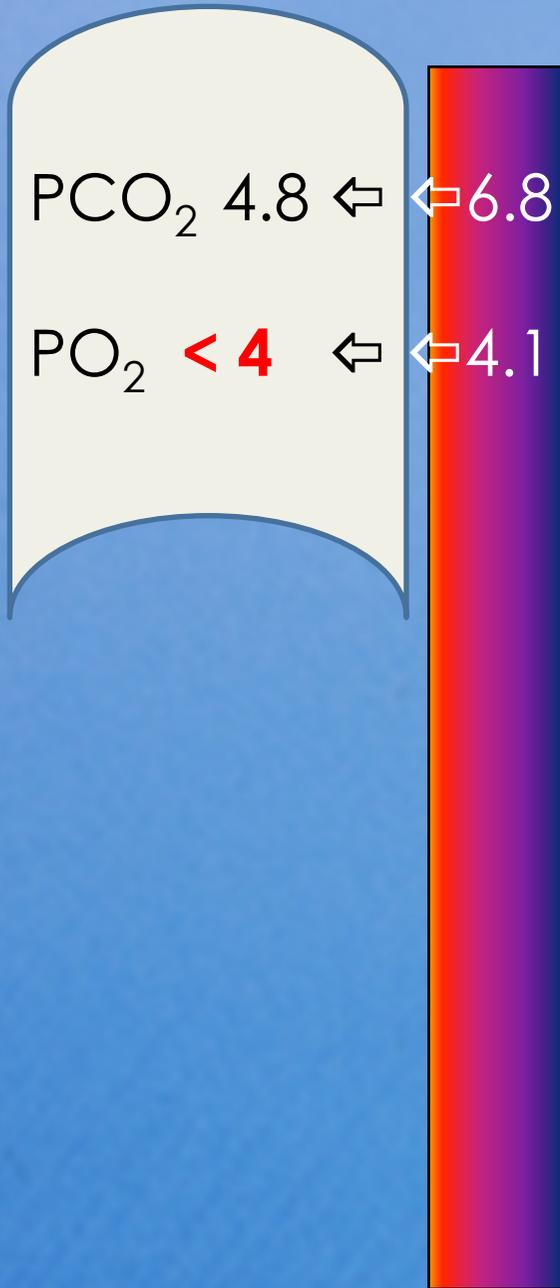


Lors de la descente



En immersion après réalisation de la manoeuvre de Valsalva





PO₂ = 3.4 kPa après apnée de 4-5 minutes

Samba ou perte de contrôle moteur(PCM)
Mvts saccadés de la tête à la sortie de l'apnée avec conscience et réponse motrice altérées

Syncope
RDV syncopal des 7 m



Accidents de décompression

1947 Iles Tuamotu « *TARAVANA* » *tomber fou*

Apnées profondes et répétitives

Accidents neurologiques
centraux



LE REPAIRE DE LA MURÈNE

Franquin



DUPUIS



SPIROU, NOUS VOICI DANS LE MONDE DU SILENCE ! QUELLE PAIX PROFONDE !

PLOUF

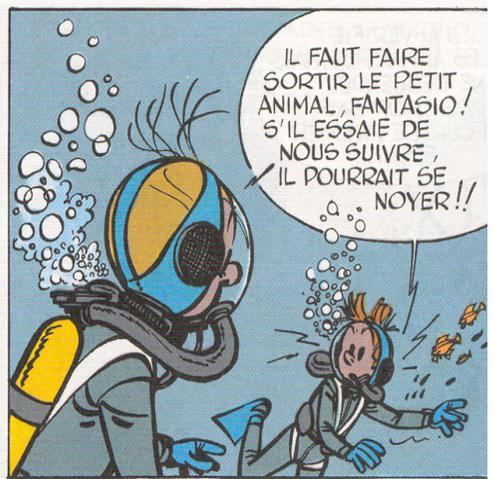


HLOUBLA HLOUBLA HOLPL !

GLOUPELUB



HLOUBLA !



IL FAUT FAIRE SORTIR LE PETIT ANIMAL, FANTASIO ! S'IL ESSAIE DE NOUS SUIVRE, IL POURRAIT SE NOYER !!

