

Histoire de la Physiologie Hyperbare
Ses apports à la compréhension de la Pathologie Humaine

Yves Jammes
2026

**Physiologie Hyperbare = étude des fonctions vitales
d'individus exposés à de hautes pressions**

Focalisée sur exploration des profondeurs

**Toute descente de 10 m en eau de mer = 1 atmosphère
= 1 bar**

Exemple: -30 m = 4 (3+1) bar

-100 m = 11 (10+1) bar

Pourquoi explorer les océans et milieu maritime ?

Ils couvrent 71% de surface du globe

Leur profondeur atteint 11 000 m

Leurs richesses: pétrole, métaux rares, nutriments

Inexplorés à 90%

Conditions du travail sous marin:

Plongée en Air (Azote + O₂) limitée à -30 / -40m: essentiellement ludique, plusieurs centaines de milliers d'individus

Plongée en O₂ pur limitée à -25 /-30m: nageurs de combat, militaires, quelques milliers d'individus

Plongée en mélange autres que Air : industrie pétrolière (travail à -200/-300m), recherche (limite connue -700m), quelques centaines d'individus

Medecine hyperbare: effets thérapeutiques de O₂ pur sous basse pression (2 à 3 bar)

Le Passé

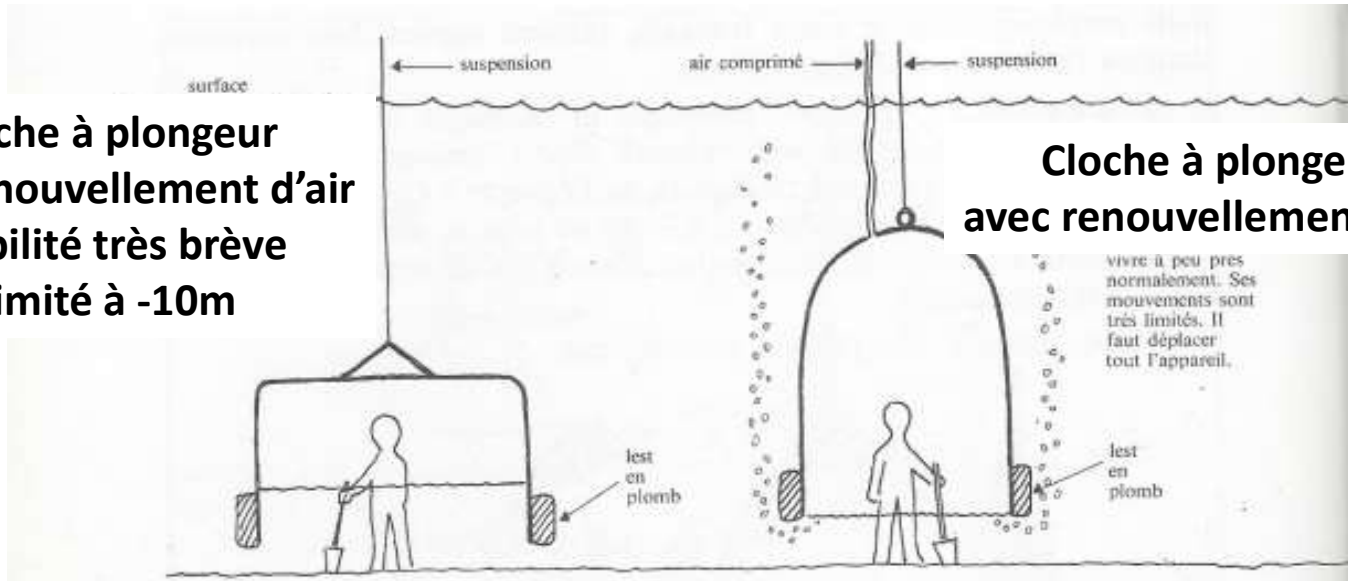


Gravure sur bois illustrant une édition faite au XVI^e siècle de l'ouvrage de l'auteur romain Végèce, intitulé « De la chose militaire ». Le plongeur est muni d'une vessie.

**Végèce XVI^e siècle
« De la Chose militaire »
L'Homme a souhaité
plonger depuis la plus haute
antiquité
(? Alexandre le Grand -300)**

**C'est seulement au XIX ème
siècle que ce rêve s'est
concrétisé**

**Cloche à plongeur
sans renouvellement d'air
Viabilité très brève
Limité à -10m**



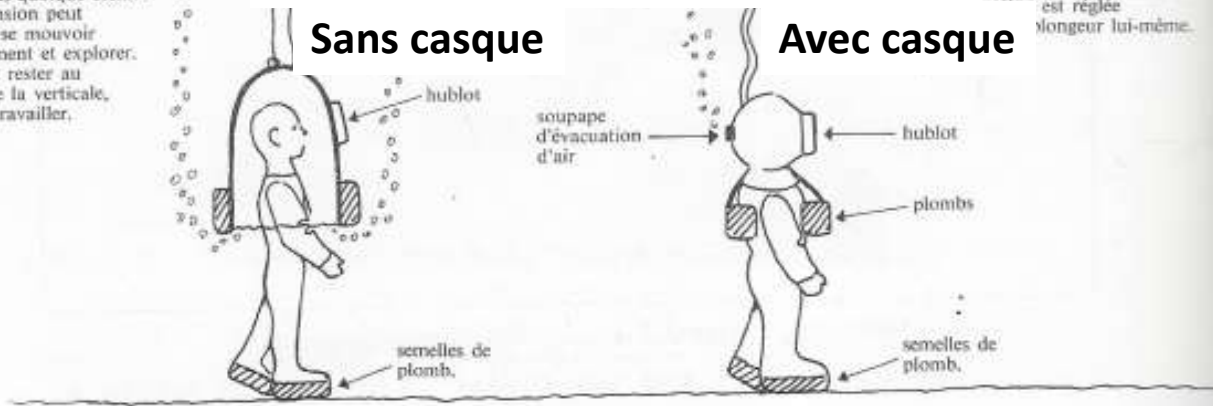
**Cloche à plongeur
avec renouvellement d'air**

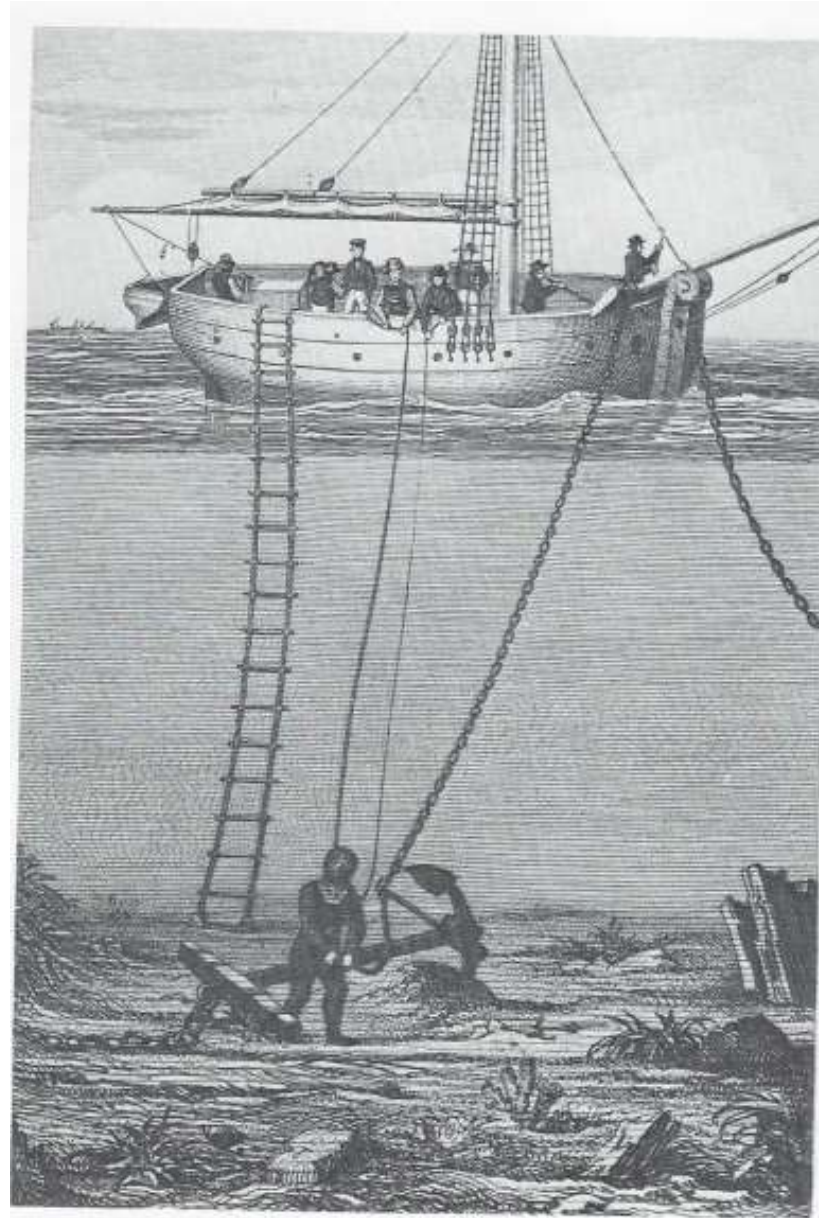
vivre à peu près
normalement. Ses
mouvements sont
très limités. Il
faut déplacer
tout l'appareil.

**Premiers scaphandres SIEBE
avec renouvellement d'air
1800-1840**

Premier scaphandre Siebe.
C'est la cloche individuelle.
L'appareil est intéressant
car l'homme, quoique esclave
de la suspension peut
maintenant se mouvoir
assez facilement et explorer.
Mais il doit rester au
voisinage de la verticale,
et ne peut travailler.

Le casque.
Il est étanche.
Il empêche l'entrée
de l'eau extérieure.
Sa pression
est réglée
par le plongeur lui-même.





Opération de relevage d'une ancre avec le scaphandre à casque.

**Scaphandre à casque
Type « pied lourd »
Relevage d'une ancre
1849**



**Scaphandrier à casque
et sa pompe
1873**



**Casque
Une oeuvre d'art**



Plongée « autonome »
Liberté du mouvement
Système Rouquayrol Denerouze
1865



par Jean-Yves Cousteau et Emile Gagnan
Premier appareil-plongeur autonome réalisé en 1943

Plongée autonome
Détendeur Cousteau Gagnan
1943
Toujours actuel



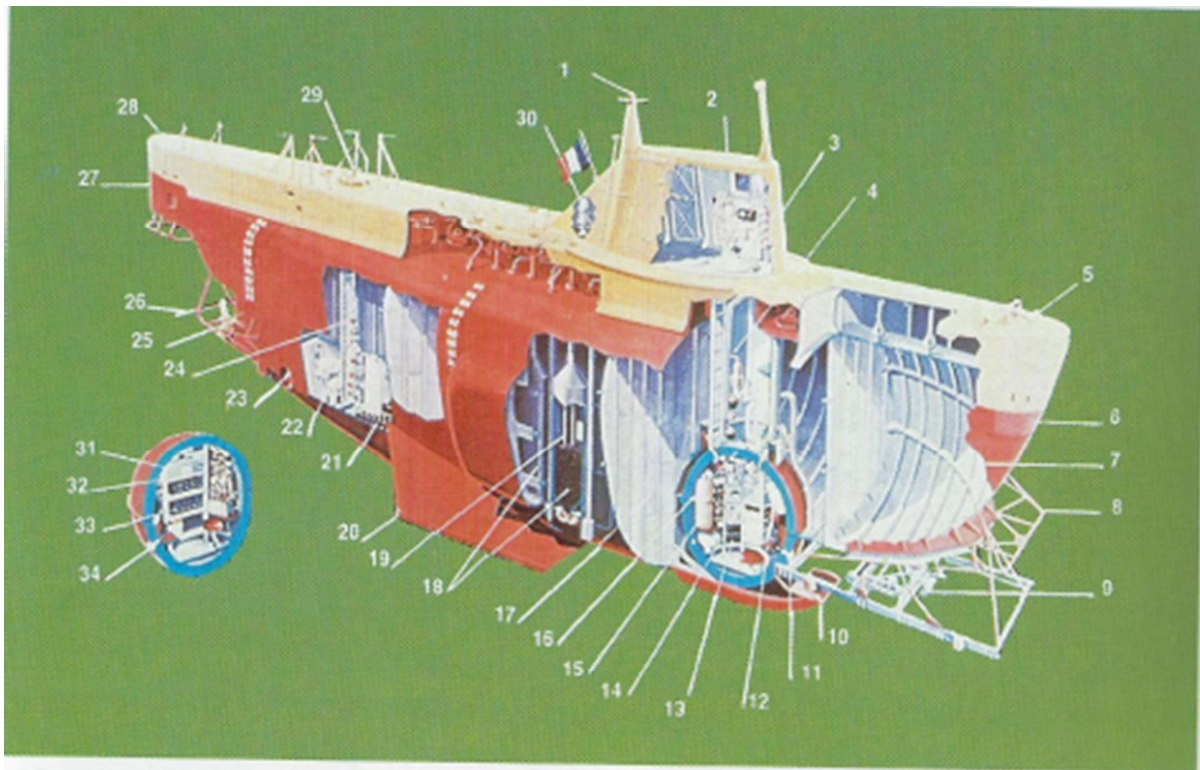
Credits photos : C. Lussardi - Sector

**Plongée « autonome » (SCUBA):
Réserve de gaz + détendeur**

Sector de COMEX



BATHYSCAPHES (sous-marins profonds)
Plongée sans augmentation de pression ambiante
NORMOBARIE et NON HYPERBARIE



L'Archimède

**L'ARCHIMEDE bathyscaphe de la Marine Nationale
Profondeur maximale 10 000 m**



**L'EPAULARD
Bathyscaphe du CNEXO
Profondeur maximale 6 000 m**

Facteur limitant majeur de la plongée: le temps

dissolution des gaz neutres (comme azote) dans les tissus lors de la plongée puis leur relargage sanguin lors de la remontée

(formation de bulles et risque d'embolie gazeuse)

Observance des tables de décompression: lenteur de la remontée

Pour se détacher du facteur temps

Plongée dite à saturation

(longue durée: plusieurs jours ou même semaines en hyperbarie)

**Plus de limitation théorique car dégazage très progressif
(remontée en plusieurs jours en fin d'opération)**

**Plongée dite
à « saturation »**



**Tourelle de Plongée:
Le séjour sous haute
Pression a déjà
commencé**

**« Sortie extra-véhiculaire »
sous pression équivalente à
– 250 m de profondeur**



Ombilical

**Simulation de plongée à saturation
Hyperbarie « à sec »:
CEH COMEX**

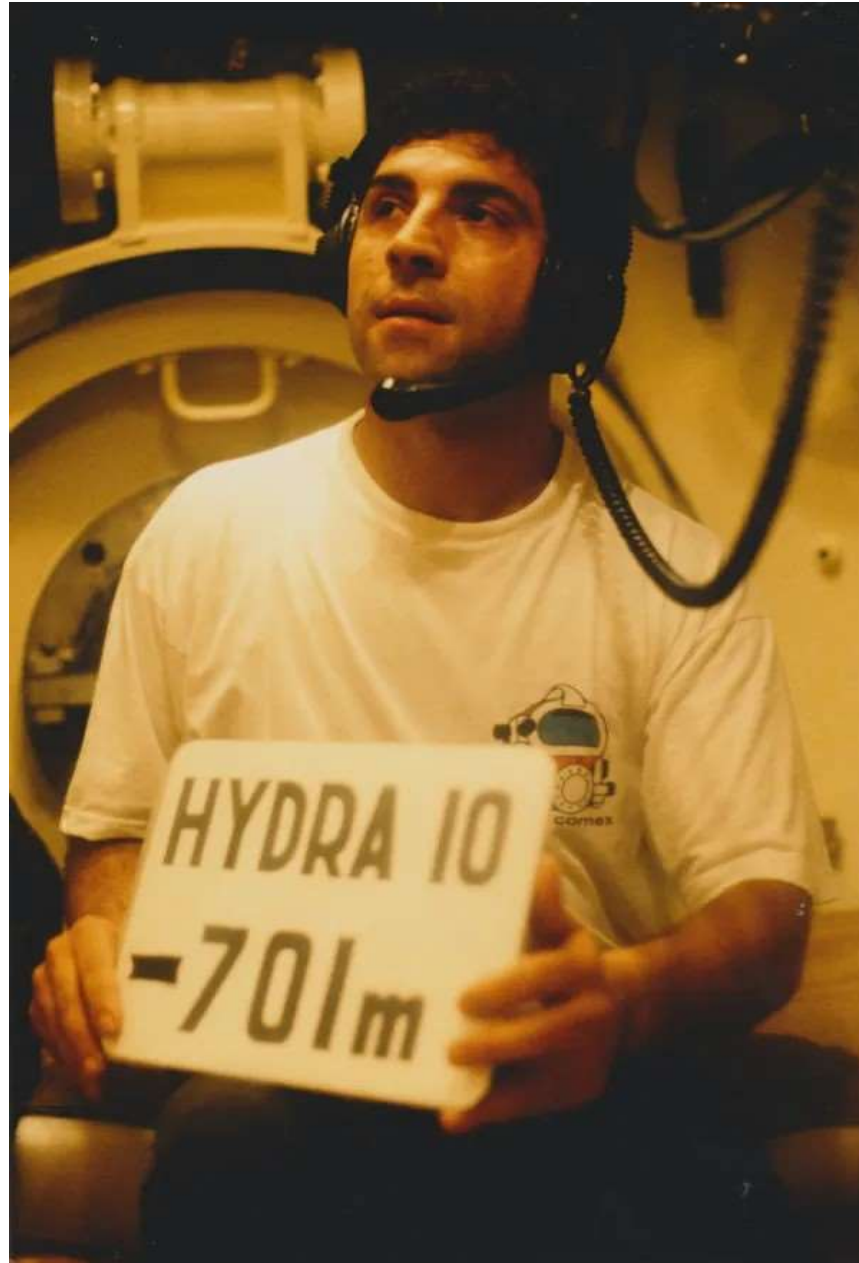


**Plongée humaine record:
HYDRA X COMEX -650m / -701m
1992**

**Pression ambiante 71 bar
Mais utilisation d'une mélange hydrogène – hélium – oxygène
8 fois moins dense que air**



HYDRA X COMEX 1992



Theo MAVROSTOMOS
Recordman inégalé

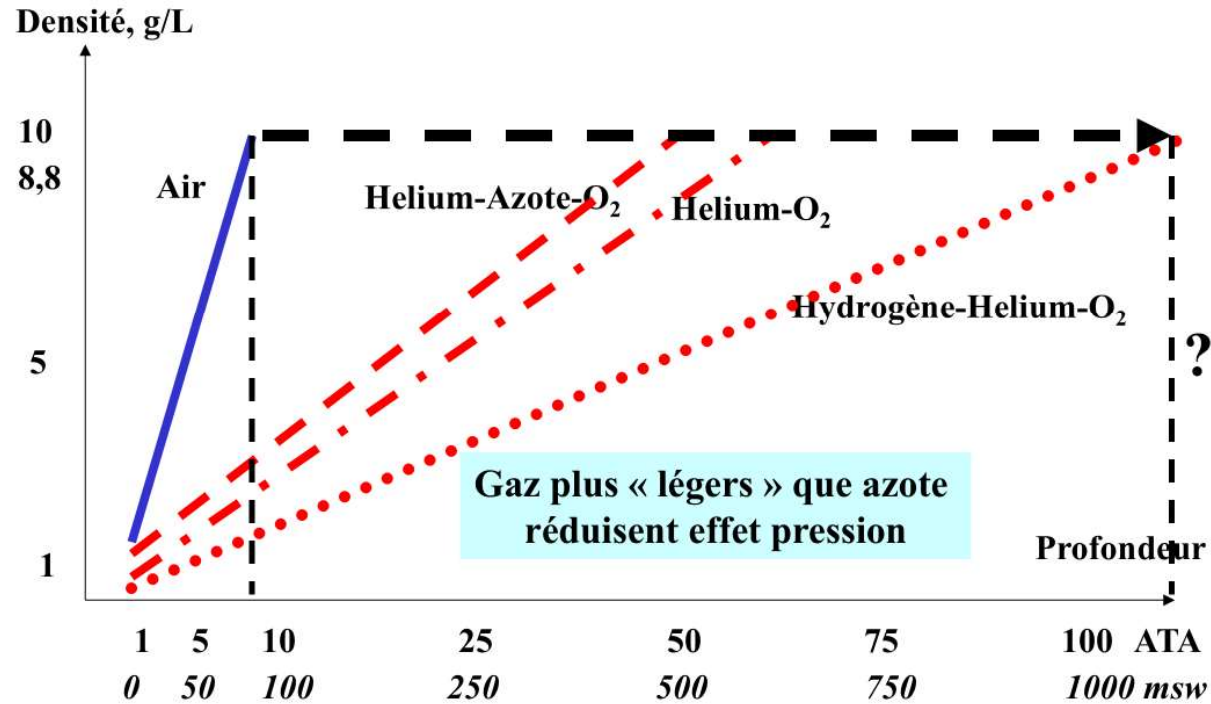
Plongées profondes dites à saturation (- 200 m et plus)

Mélanges respirés autres que l'air

- Hélium – Oxygène ou HELIOX**
- Hélium – Azote - Oxygène ou NITRELIOX**
- Hydrogène – Hélium – Oxygène ou HYDRELIOX**

La « densité » des mélanges gazeux inspirés croît avec la profondeur

$$\rho_{\text{Air } 7 \text{ ATA}} = \rho_{\text{He-O}_2 \text{ 51 ATA}} = \rho_{\text{H}_2\text{-He-O}_2 \text{ 101 ATA}}$$



Densité des gaz augmente de 1 unité tous les 10 m en eau de mer

Conséquences physiologiques de Hyperbarie

Trois facteurs majeurs limitant les séjours sous haute pression:

- Effets neurologiques des gaz neutres sous pression (azote et helium): **narcose à l'azote et syndrome nerveux des hautes pressions ou SNHP**
- Densité élevée des gaz et travail ventilatoire augmenté : **ventilation dite en charge**
- Accroissement des pertes thermiques corporelles et respiratoires: **hypothermie et bronchospasme au froid**

**Peut survenir dès – 30 m
plongée ludique en air**

NARCOSE A L'AZOTE CHEZ L'HOMME

Désorientation temporo - spatiale

Troubles de la mémoire

Euphorie

Hallucinations

Modifications de l'humeur

Incoordination neuromusculaire

**Diminution des performances
psychomotrice et intellectuelle**

HOMME

SYNDROME NERVEUX DES HAUTES PRESSIONS EN MELANGE HELIUM-OXYGENE DE 200 A 610 m

SYMPTOMES CLINIQUES

TREMBLEMENT (8 - 12 Hz)
FASCICULATIONS, MYOCLONIES
DYSMETRIE
SOMNOLENCE
BAISSE IMPORTANTE DES
PERFORMANCES PSYCHOMETRIQUES

SYMPTOMES ELECTROPHYSIOLOGIQUES

MODIFICATIONS EEG : θ
 α

MICROSOMMEILS
PERTURBATIONS DU SOMMEIL
Eveil, stades 1 et 2
stades 3 et 4

MODIFICATIONS DES POTENTIELS EVOQUES
ET DES CYCLES D'EXCITABILITE CORTICALE
PERTURBATIONS DES REFLEXES

```
graph TD; EEG["MODIFICATIONS EEG : \theta, \alpha"] --> Sleep["MICROSOMMEILS, PERTURBATIONS DU SOMMEIL"]; Sleep --> Stages["Eveil, stades 1 et 2, stades 3 et 4"]; Stages --> Potentials["MODIFICATIONS DES POTENTIELS EVOQUES ET DES CYCLES D'EXCITABILITE CORTICALE"]; Stages --> Reflexes["PERTURBATIONS DES REFLEXES"];
```

SNHP

Très réduit en mélange Hélium – Azote – Oxygène

Jamais observé en mélange Hydrogène – Hélium - Oxygène

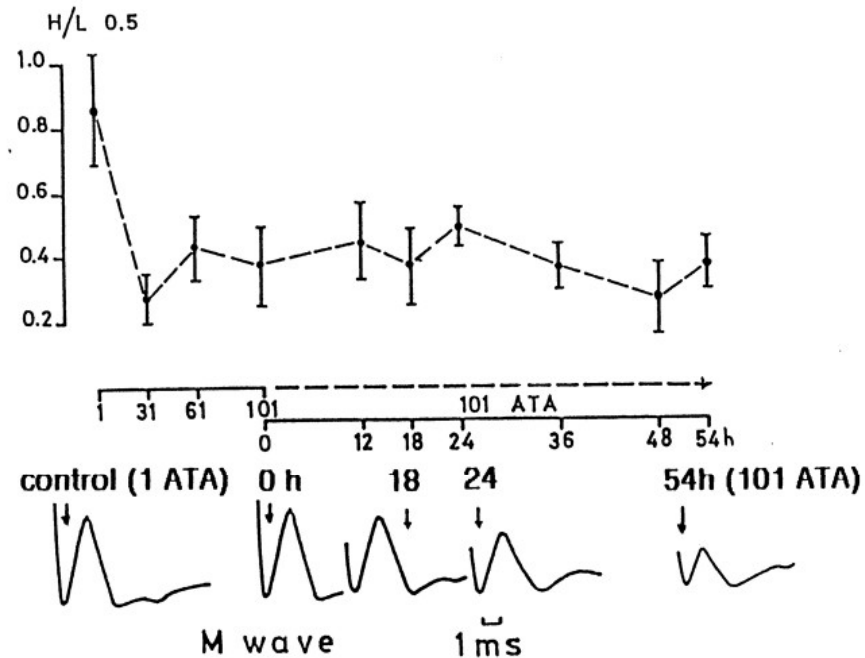
Hyperbarie = ↗ Pression ambiante + ↗ Pression des gaz inhalés → Ventilation en charge

LIMITATION VENTILATOIRE

Travail ventilatoire accru par augmentation de densité des mélanges respirés

Risque de fatigue des muscles respiratoires et de défaillance ventilatoire

Modèle animal de défaillance ventilatoire sous 101 ATA (-1000 m)

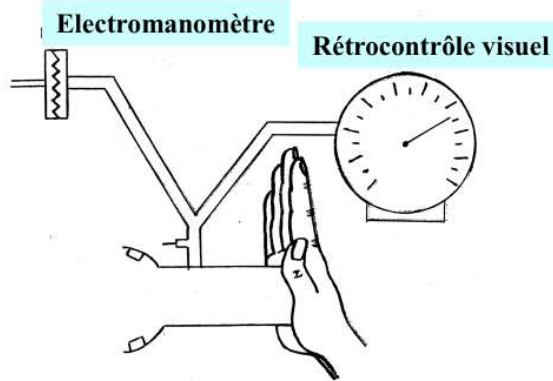


Burnet et al., J Appl Physiol, 1992

Séjour à 1000 m: extinction progressive des potentiels diaphragmatiques – arrêt respiratoire
Mime la mort par état de mal asthmatique

Sequelles de défaillance diaphragmatique post plongée profonde HYDRA X Comex

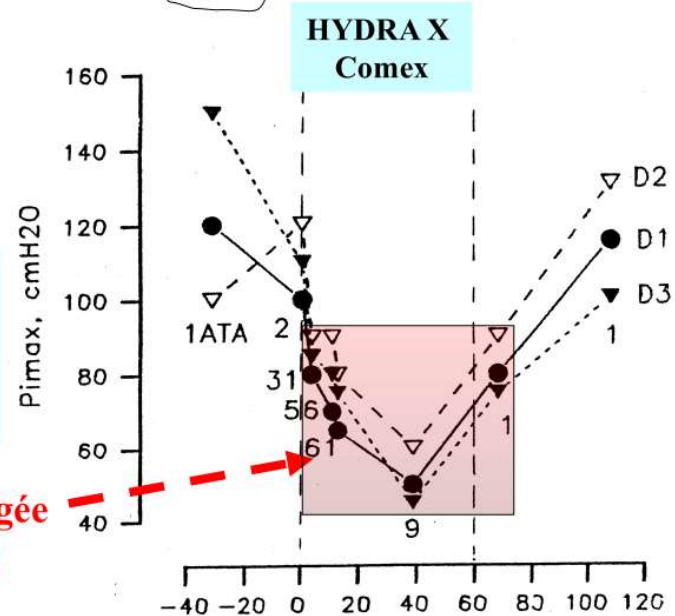
Mesure de la Pression Inspiratoire Maximale (P_{imax})



Séjour Hyperbare Prolongé
(10 j de compression + 30 j de décompression)
conduit à l'épuisement des
muscles inspiratoires

**Diminution de P_{imax} pendant la plongée
persiste pendant la décompression**

P_{imax} Manœuvre de Müller



Fontanari ... and Jammes, European Journal of Applied Physiology, 2000

**Accentuation des pertes
thermiques respiratoires en
condition hyperbare**

Pertes thermiques respiratoires et cutanées (en caisson):

**- Par convection (mouvements respiratoires et courants d'eau):
facteurs = densité + chaleur spécifique Cp des gaz dits neutres**

**- Par conduction (simple contact) : facteur = conductibilité thermique
K des gaz dits neutres**

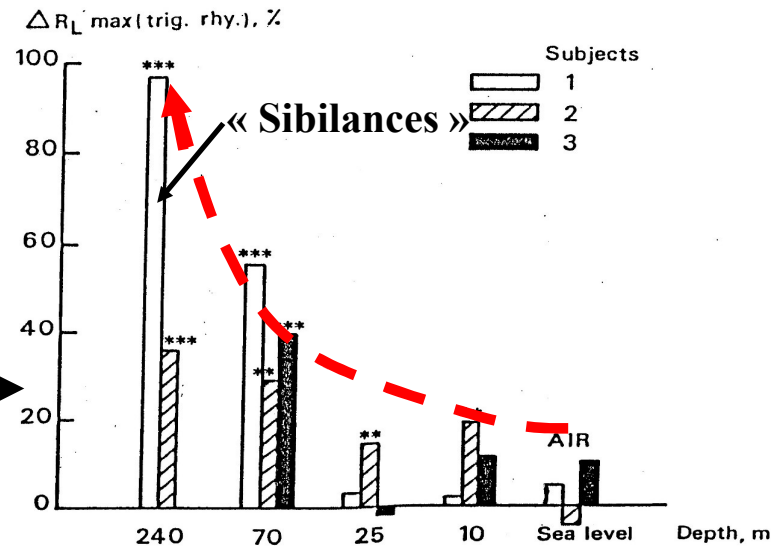
**Plongée: augmentation de densité et de Cp et K des gaz remplaçant
azote**

Hélium: Cp = 5 x azote K = 6 x azote

Hydrogène: Cp = 14 x azote K = 7 x azote

Absence de réchauffement
des gaz inhalés en plongée:
→ bronchospasme
+ hypersécrétion bronchique

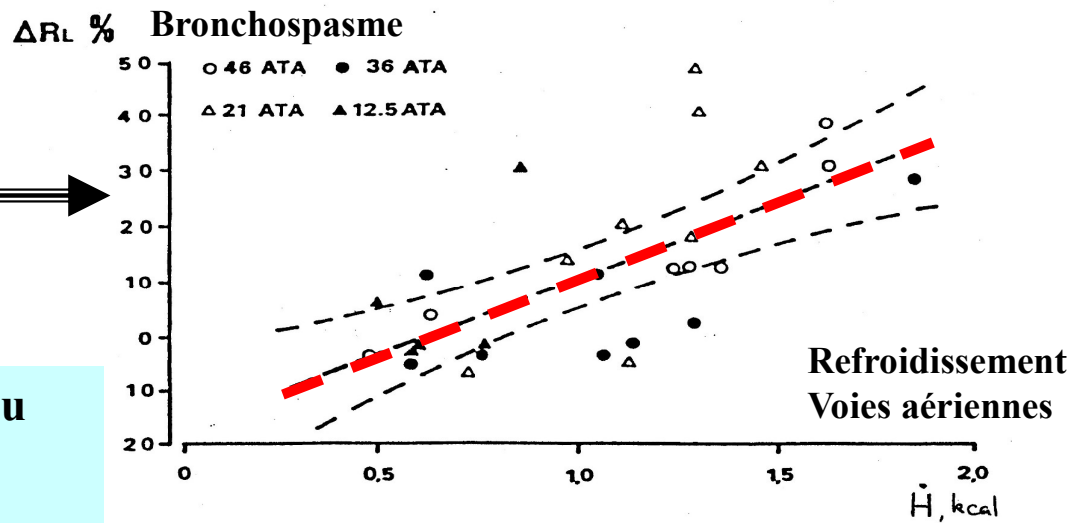
« Découverte »
Plongée ENTEX (1994): - 240 m



Jammes et al., Undersea Biomed Res, 1988

Confirmation:
4 plongées ENTEX
-120 m, - 200 m,
- 350 m, -450 m

Bronchospasme proportionnel au
refroidissement
des voies aériennes

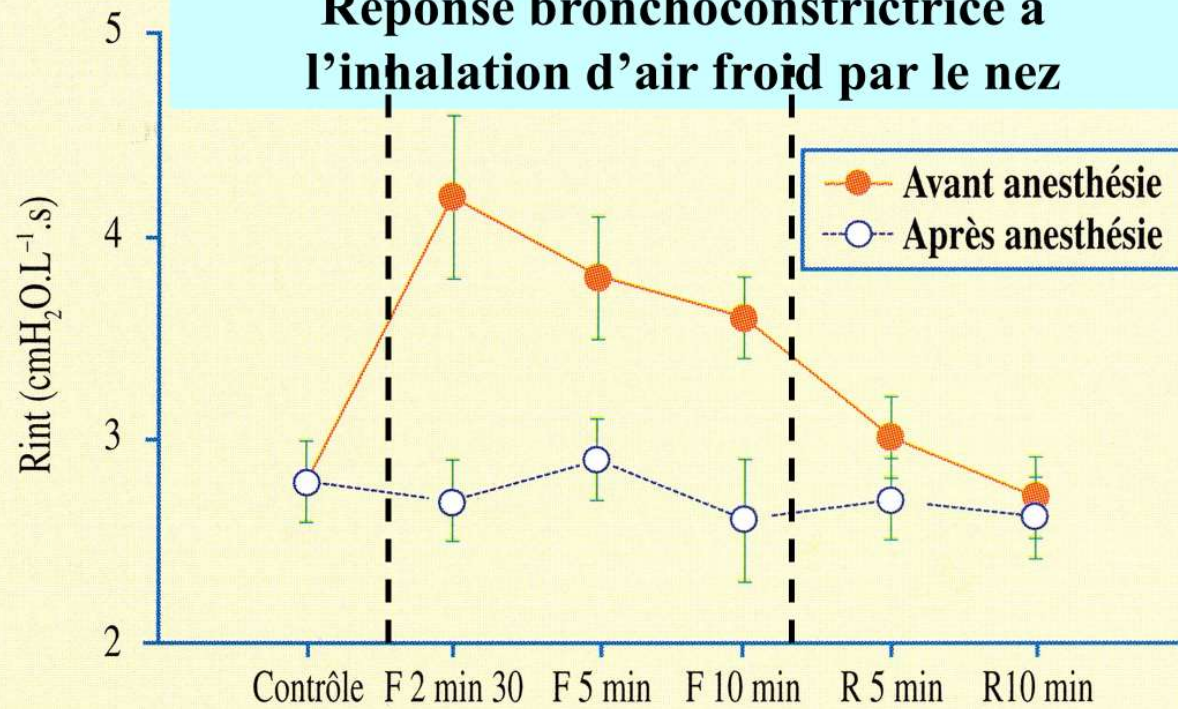


Burnet et al., Respir Physiol, 1990

Confirmation en normobarie

Sujet « Normal »

Réponse bronchoconstrictrice à l'inhalation d'air froid par le nez



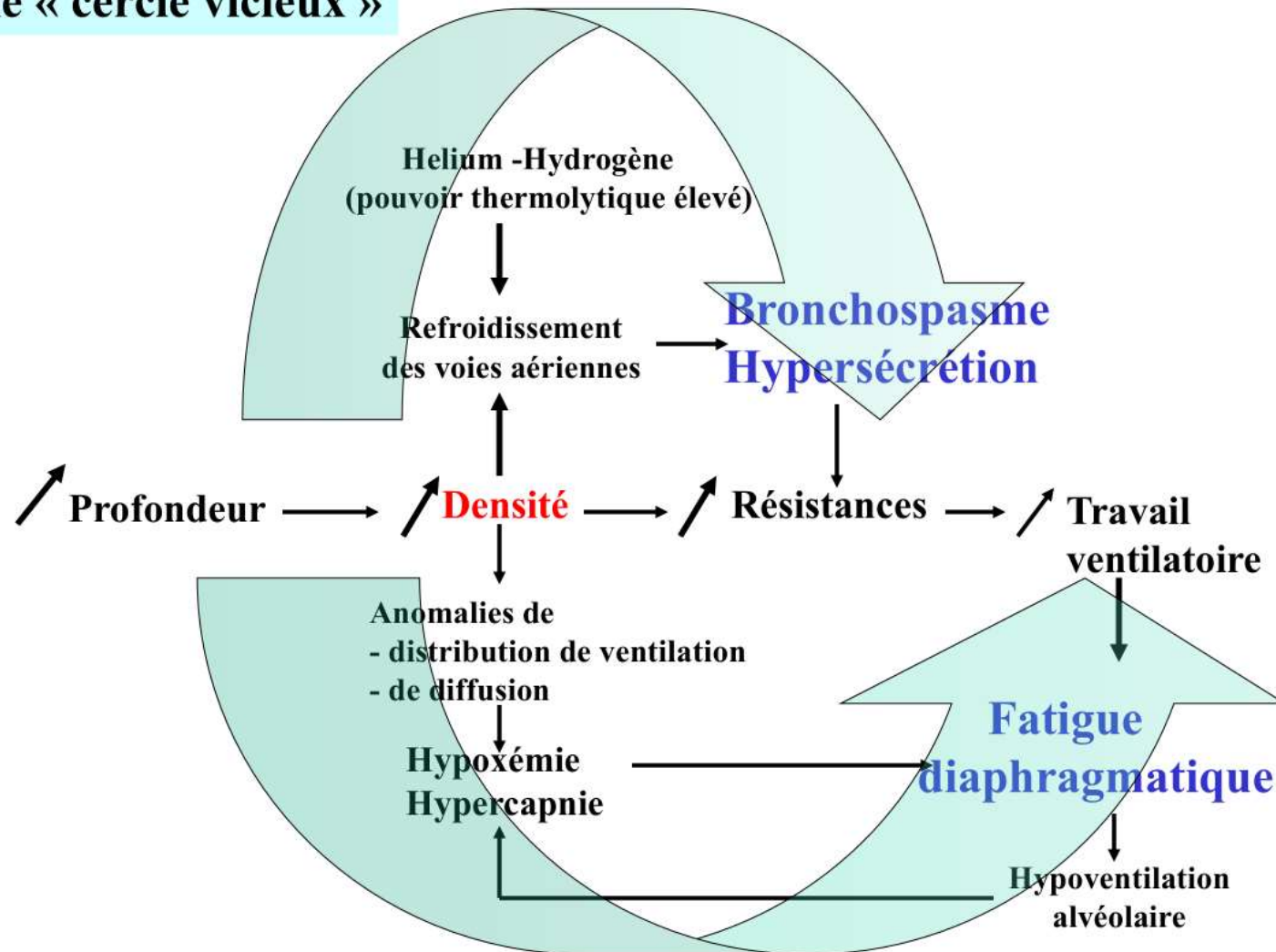
Fontanari...and Jammes. J. of Applied Physiology 1996

Refroidissement en condition hyperbare est présent dans toute plongée réelle en milieu marin

- **Température de eau toujours inférieure à celle de confort thermique de l'homme immergé (35°C)**
- **Bouteilles contenant les gaz sont à même température que l'eau: refroidissement également présent dans les plongées ludiques**
- **Cas de plongée à saturation: ombilical relié à la tourelle de plongée incapable de réchauffer gaz inspiré**

Déséquilibre thermique en plongée est le vrai facteur limitant

Double « cercle vicieux »



**Deux noms de grands pionniers français
(une histoire Marseille - Toulon)**

Armées: Médecin Général Inspecteur Bernard Broussolle dcd 2024

Civil: Henri Germain Delauze, President-Fondateur de COMEX dcd 2012



Un ouvrage de référence en français

Physiologie et Medecine de la Plongée

Broussolle – Méliet - Coulange

Editions Ellipses 2006