

L'ADD



Ne pas confondre:

L'accident de décompression

L'accident de désaturation

La maladie de désaturation

L'accident de désaturation est provoqué  
par des bulles de gaz.

Les réactions biologiques de l'organisme  
font évoluer cet accident en maladie de  
désaturation dont les symptômes  
persistent même lorsque les bulles  
responsables ont disparu.

Votre rôle est de le **prévenir**, tant par votre **comportement sous l'eau** que par les informations que vous devez délivrer sur le **comportement à adopter avant et après la plongée**.

- I- Rappels
- II- Mécanisme
- III- Impact des bulles sur l'organisme
- IV- Types d'ADD
- V- Conduite à tenir
- VI- Prévention

I- Rappels

- Composition de l'air:

Azote 78%, Oxygène 21%, Gaz rares 1%

- Loi de compressibilité des gaz (Mariotte):

$$P1 \times V1 = P2 \times V2$$

- La Loi de Dalton

- La pression partielle exercée par un gaz est la pression de ce gaz s'il occupait seul le volume occupé par le mélange de gaz.

$$P_P = P_t \times \% \text{gaz}$$

- Lorsque deux récipients communiquent, les deux gaz se mélangent de façon identique dans les deux compartiments



- Loi de dissolution des gaz dans l'organisme (Henry):
  - La quantité de gaz dissous dans un liquide est proportionnelle à la pression exercée par ce gaz au contact de l'interface air / liquide, à température constante et à saturation.

- Facteurs agissant sur la dissolution:
  - Température
  - Nature du liquide
  - Nature du gaz
  - Surface d'échange
  - Agitation
  - Pression ambiante
  - Durée

- Etats de saturation:

Il en existe 3:

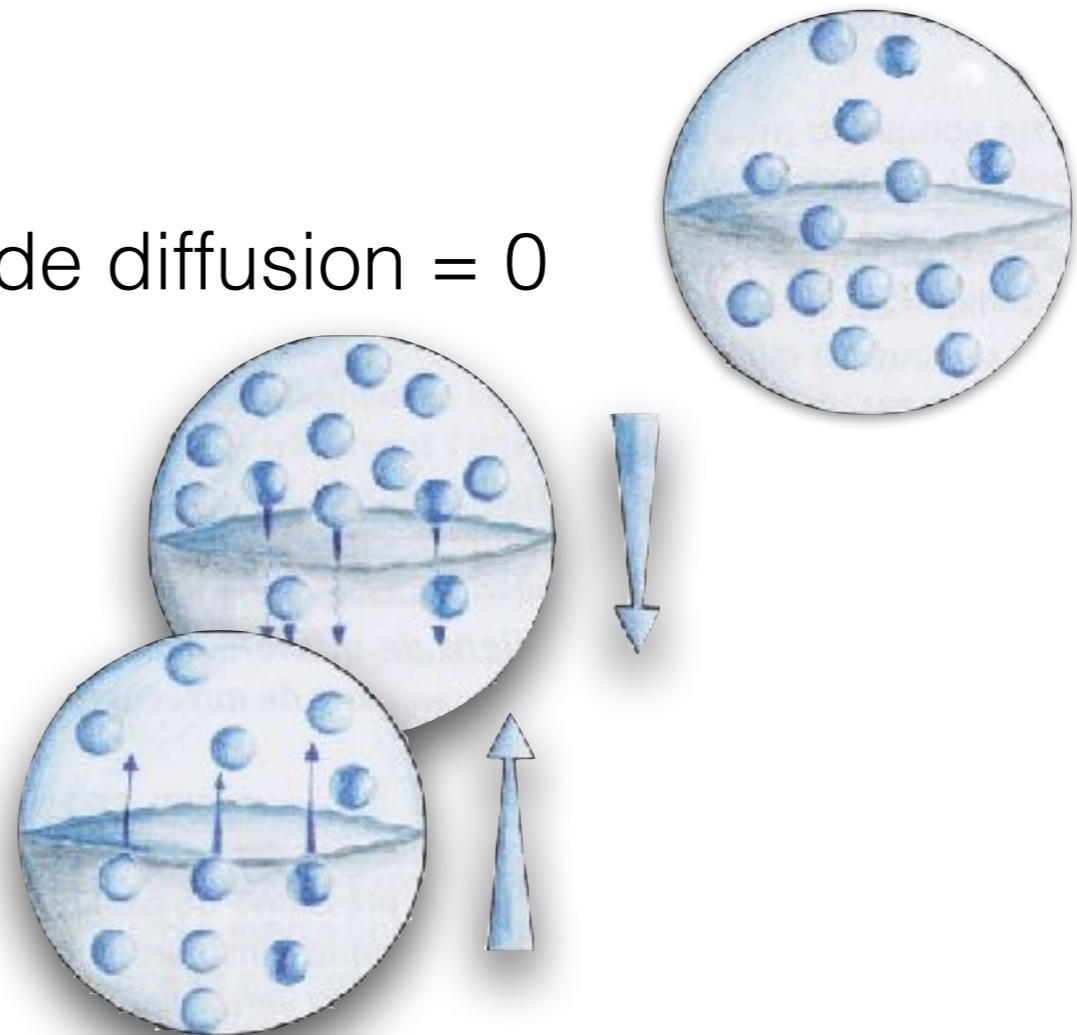
- **Saturation.**

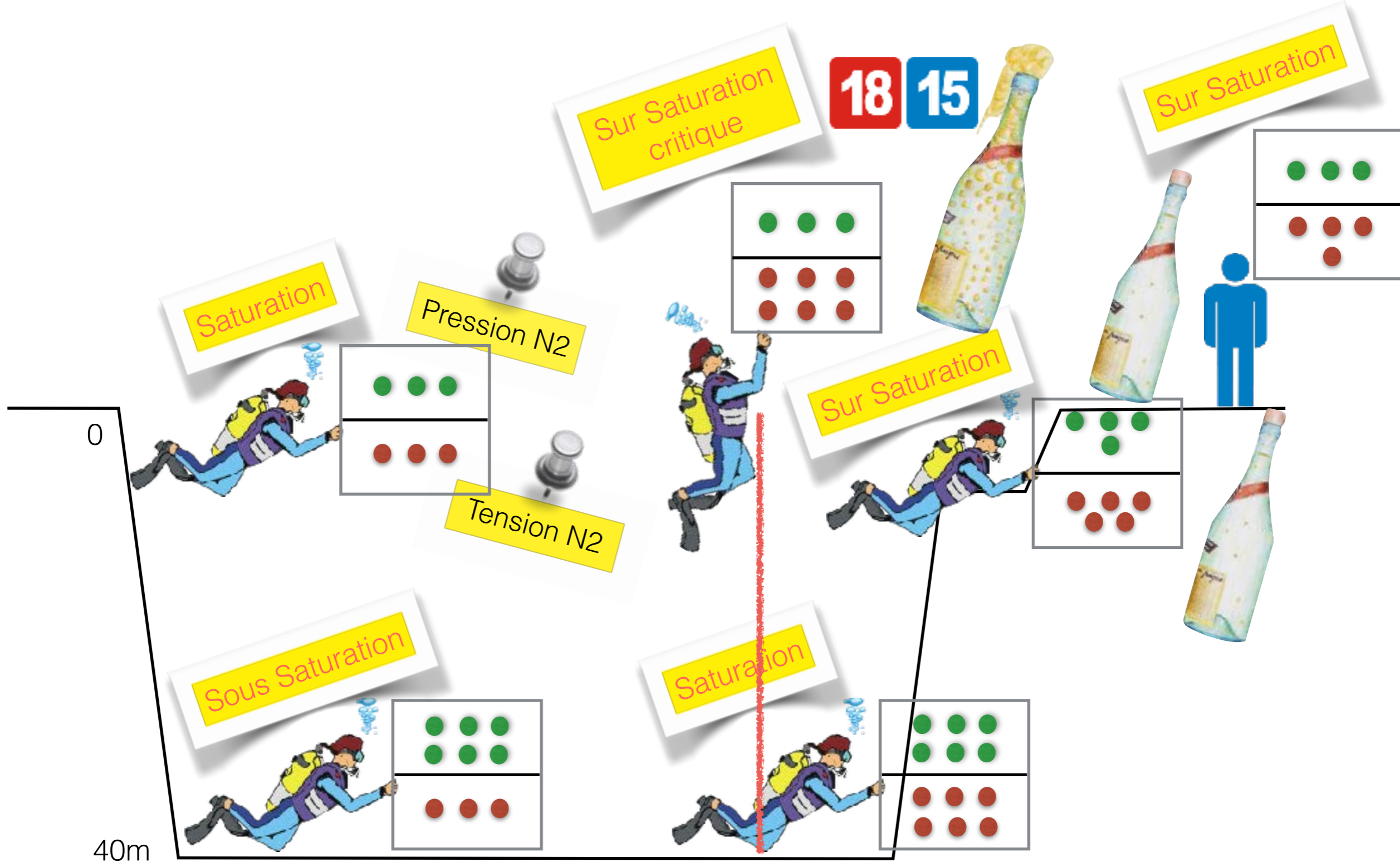
$P = p$  avec un gradient de diffusion = 0

- **Sous saturation.**  $P > p$

- **Sursaturation.**  $P < p$

**Sursaturation critique.**  $P \ll p$  le gaz sort du liquide de façon anarchique.





0

40m

Saturation

Sous Saturation

Pression N2

Tension N2

Sur Saturation critique

Sur Saturation

Sur Saturation

18 15

Saturation

## II- Mécanisme (formation des bulles)

- L'azote:

Il est plus soluble dans les tissus lipidiques que dans les tissus aqueux (jusqu'à 5 fois plus).

Il va donc s'accumuler différemment selon la composition en graisse des tissus.

- rapidement et en grande quantité dans les tissus lipidiques comme:
  - le tissu adipeux
  - les cellules du système nerveux
  - le liquide labyrinthique
  - ...
- plus lentement et en moins grande quantité dans les tissus riches en eau:
  - muscles
  - OS
  - ...

- L'azote en plongée:

- A la descente

La tension sanguine en azote est supérieure à celle des tissus, les tissus se chargent en azote.

- A la remontée

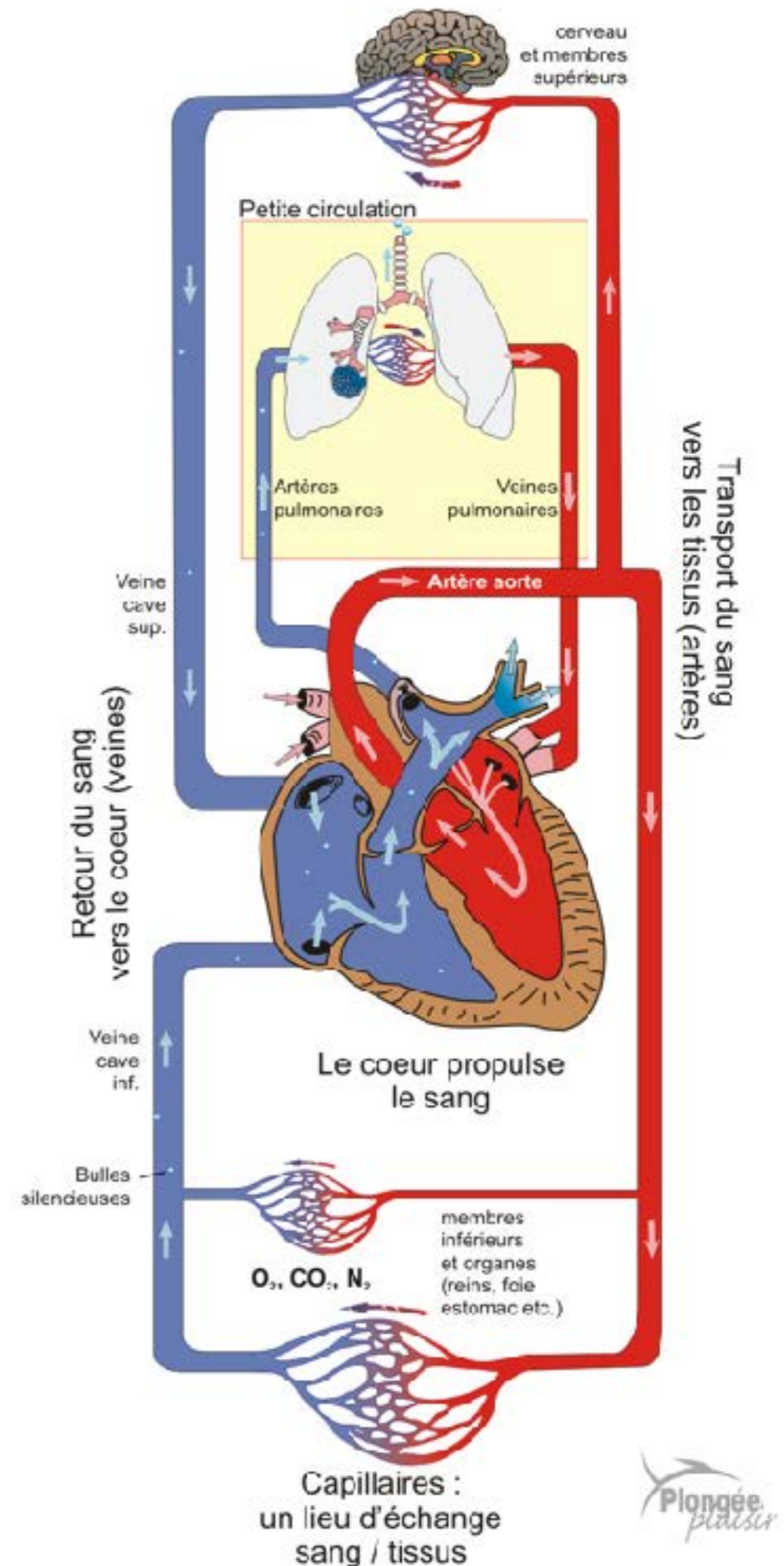
Le phénomène s'inverse, la tension tissulaire en azote est supérieure à celle du sang, le sang se charge en azote.



- La pression ambiante diminuant, des micro bulles d'azote se forment dans le sang veineux.

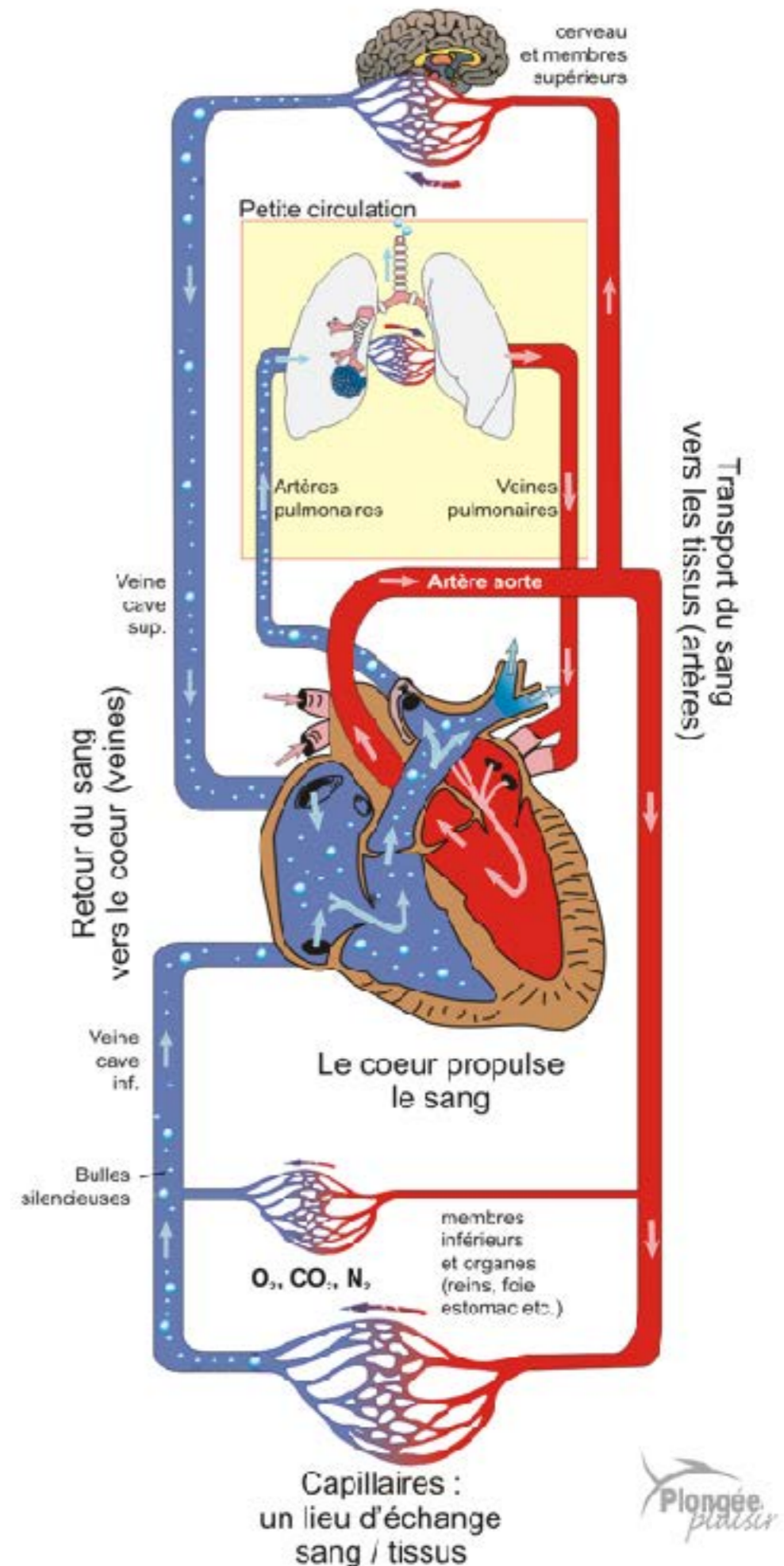
## Cas n°1

- Ces micro bulles circulantes ne sont pas pathogènes car limitées en nombre et en volume. Elles sont évacuées par le filtre pulmonaire.

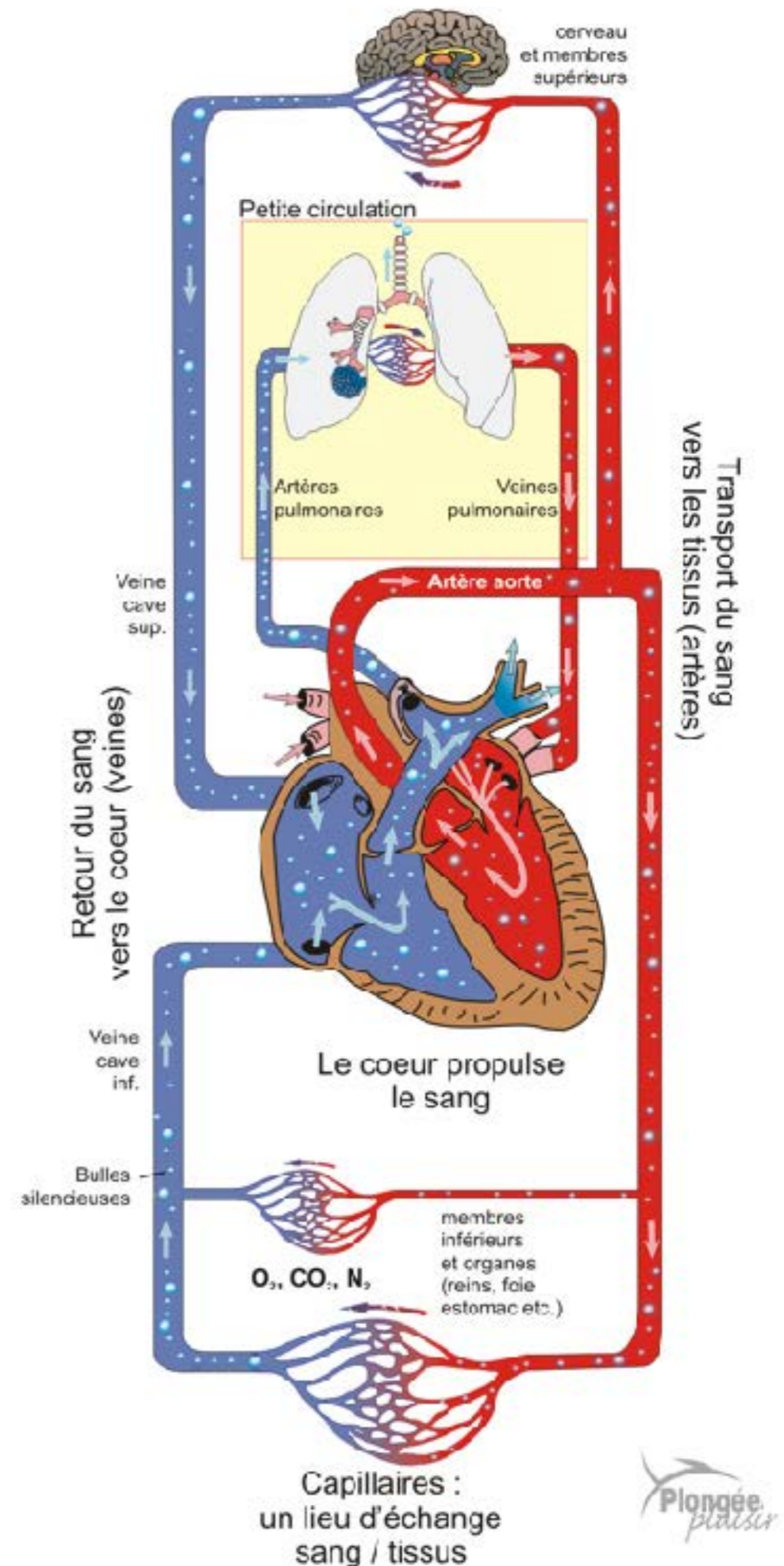


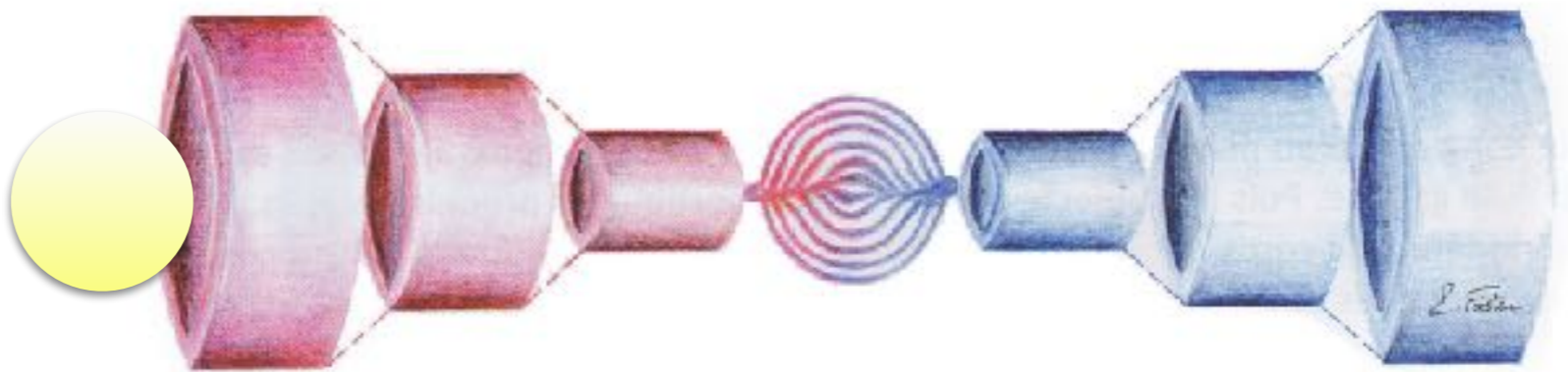
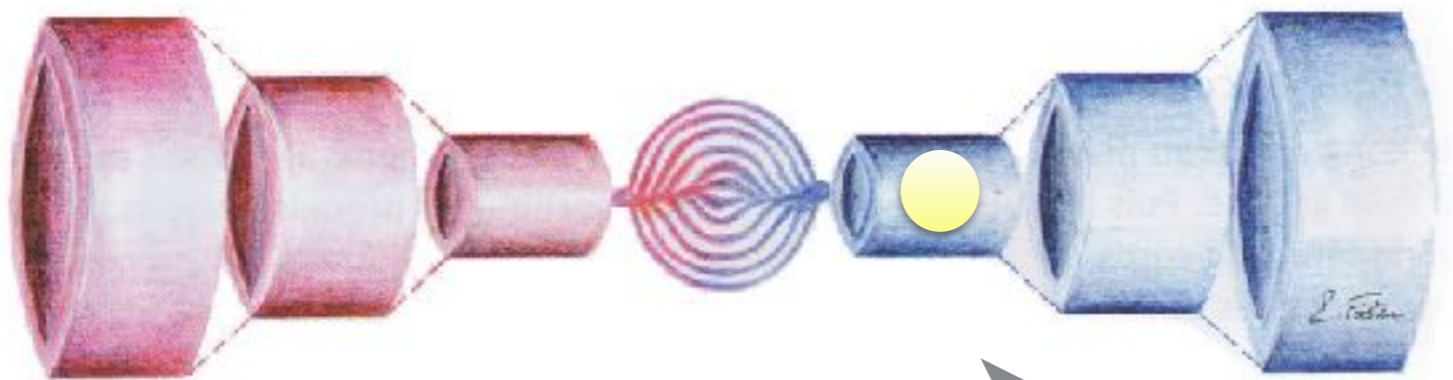
## Cas n°2

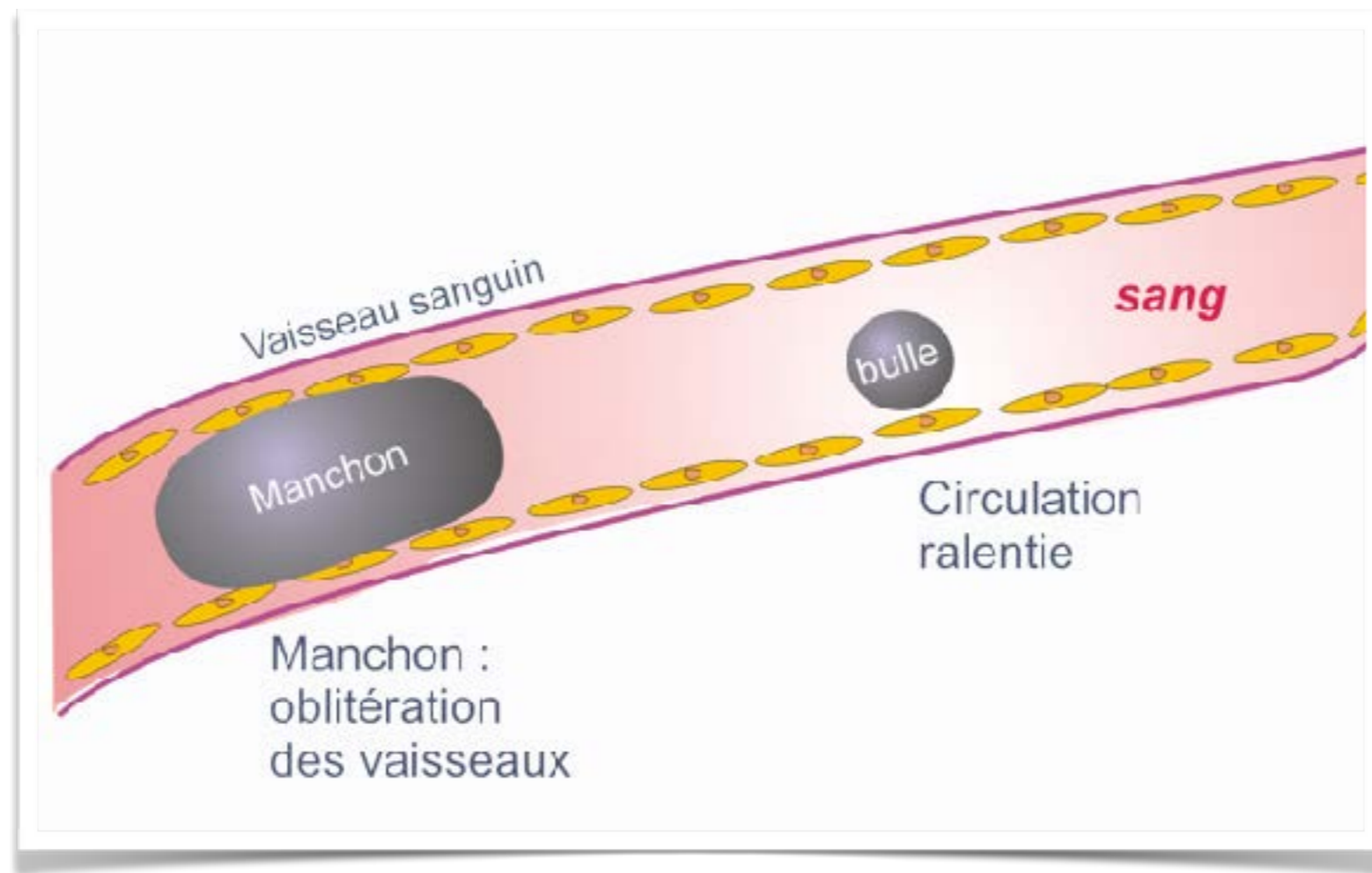
- En cas de remontée rapide ou de non respect des paliers (ainsi qu'en cas de comportement inadapté avant, pendant ou après la plongée), ces micro bulles vont évoluer et devenir pathogènes.
- Leur nombre et leur volume va devenir anormal.



- Les poumons saturent, n'assurent plus leur rôle de filtration (disparition du gradient de pression d'azote du sang vers les alvéoles) et des bulles vont passer dans la circulation artérielle.
- Ces bulles vont grossir sous l'action de la loi de compressibilité des gaz (Mariotte) et peuvent venir boucher les artérioles et les capillaires.

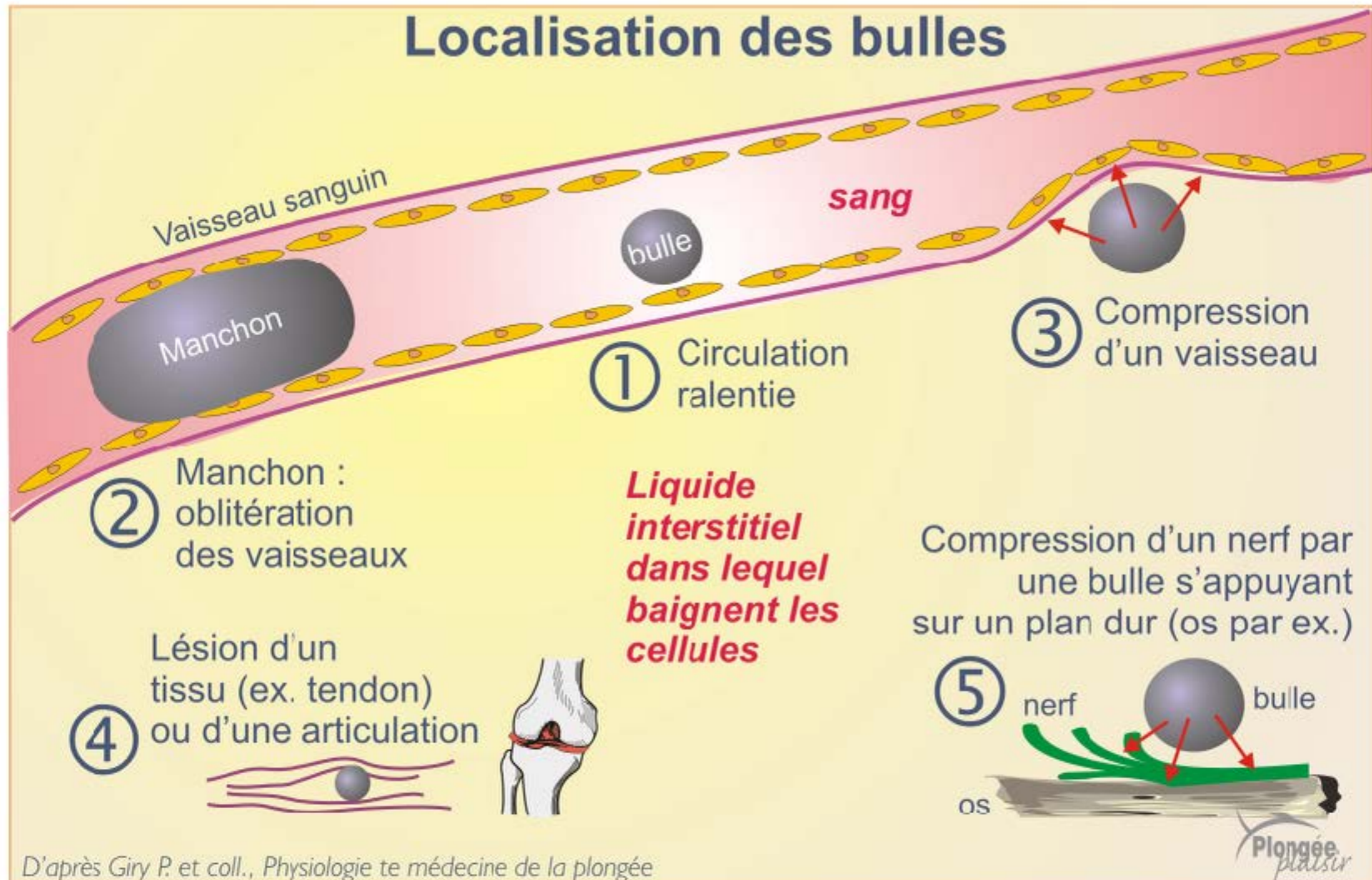






- Il peut y avoir formation de manchons gazeux ce qui aggrave la situation car ils sont difficiles à réduire par la re-compression.
- Le flux sanguin est fortement ralenti voir arrêté provoquant une ischémie.
- Les tissus qui ne sont plus irrigués, manquent d'oxygène et se nécrosent.

- Des bulles pathogènes peuvent aussi se former dans les tissus

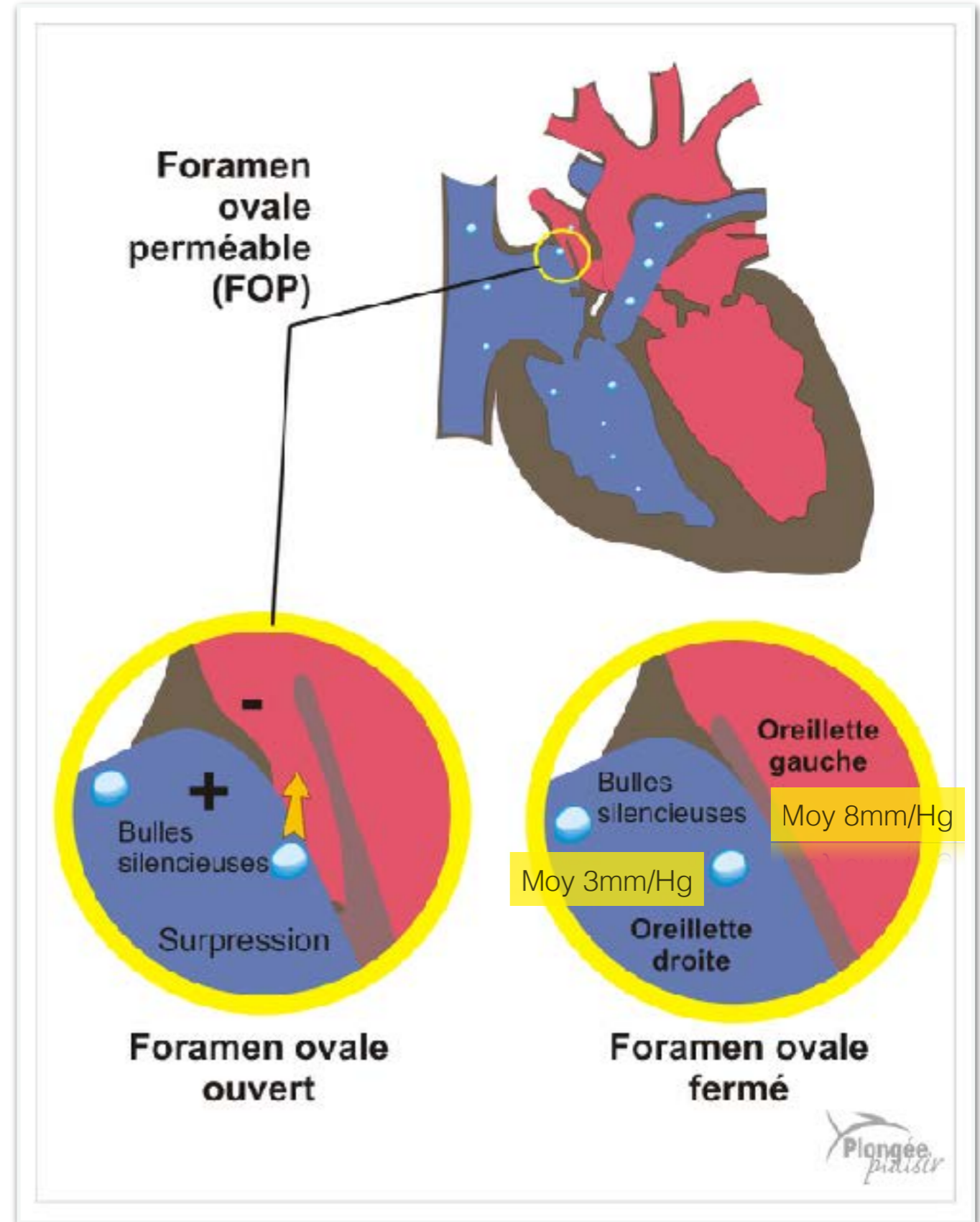


- Le passage des bulles de la circulation veineuse vers la circulation artérielle peut être favorisé par un comportement inadapté (effort, valsalva à la remontée ...) et la présence d'un FOP ou d'un Shunt pulmonaire.

- Le FOP

- Présent chez 25 à 35% des individus

- Explication du phénomène
- Augmentation de la pression dans le coeur droit si:
  - Valsalva à la remontée
  - Effort (remontée mouillage...) pendant et dans les heures qui suivent la plongée.
  - Gonflage du gilet à la bouche
  - Toux
  - ...



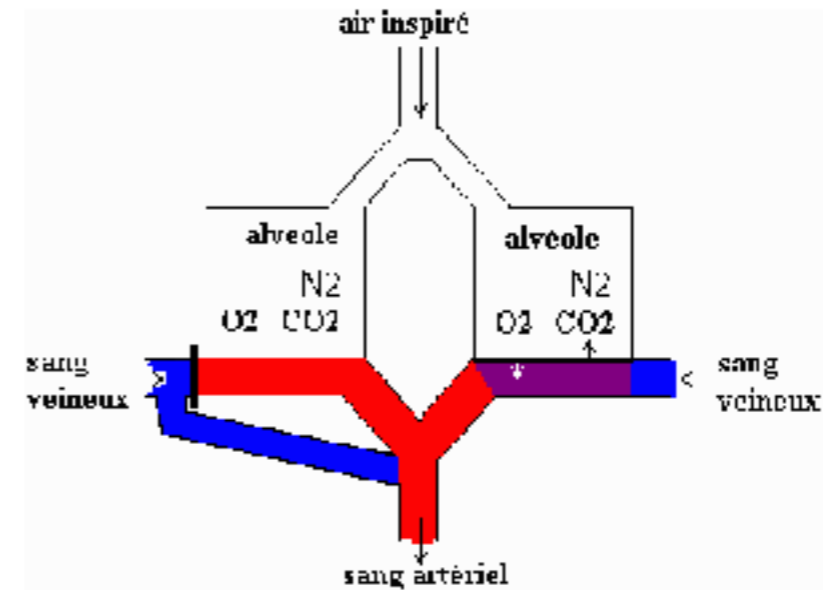
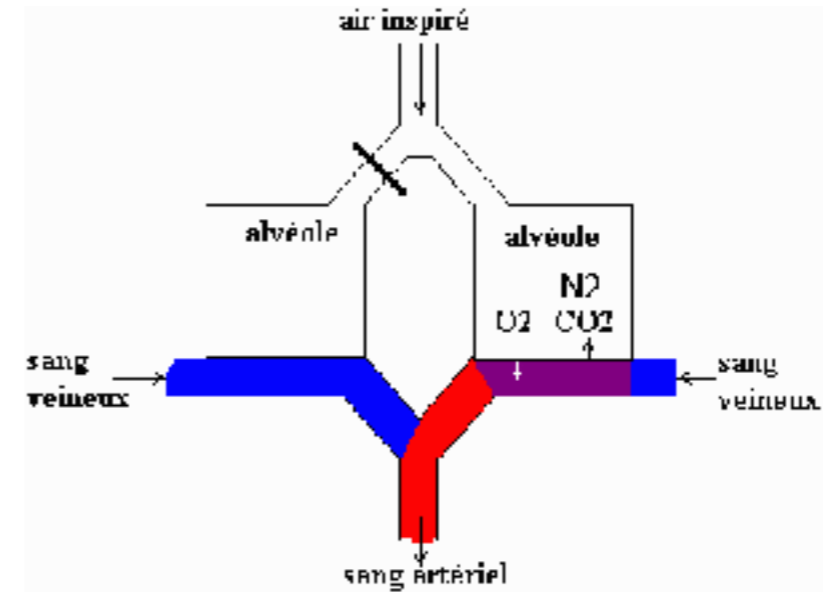
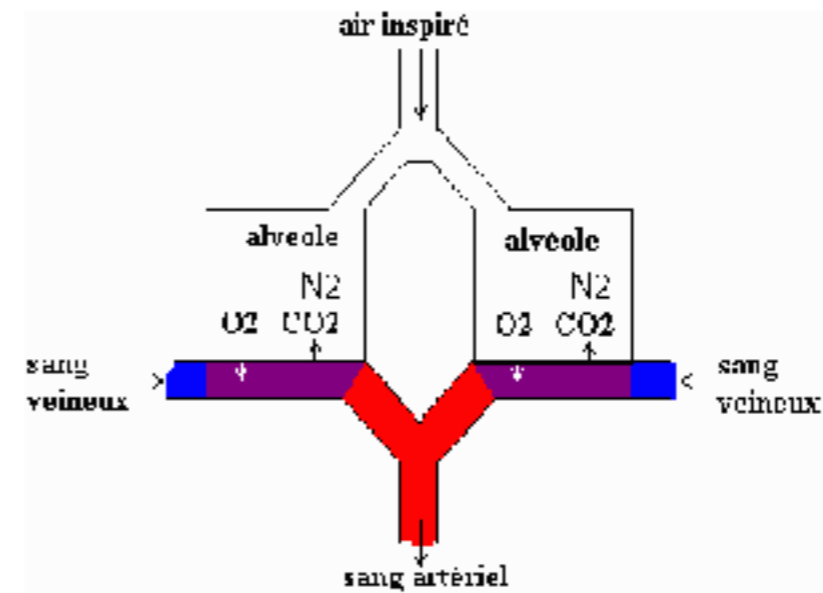


- Shunt pulmonaire

Le sang passe à travers le filtre pulmonaire sans être hématosé.

Passage par une alvéole perfusée mais non ventilée.

Passage par une dérivation au niveau des capillaires.



Les shunt pulmonaires sont présents chez 10% de la population, en particulier chez les fumeurs.

Un shunt pulmonaire n'implique pas que la personne fera systématiquement un ADD.

Un shunt pulmonaire ne s'opère pas.

La formation de la bulle pathogène est la conséquence de la sursaturation.  
Mais d'autres phénomènes interviennent et accroissent la formation de bulles.

**La façon la plus simple pour une bulle de se former est de se constituer à partir d'une autre.**

constituer à partir d'une autre.

- Les gaz nuclei

Du gaz est présent dans les micro-cavités de l'organisme, par exemple dans les parois des vaisseaux sanguins, et ceci avant même de plonger.

Lors de la plongée, à la descente, en phase de saturation, la tension de gaz bullaire dans les micro-cavités augmente. A la remontée, en désaturation, lorsque la saturation est importante, la tension élevée du gaz bullaire peut provoquer l'apparition d'une bulle sphérique. Le volume de gaz augmente aussi selon la loi de Mariotte.

- La cavitation

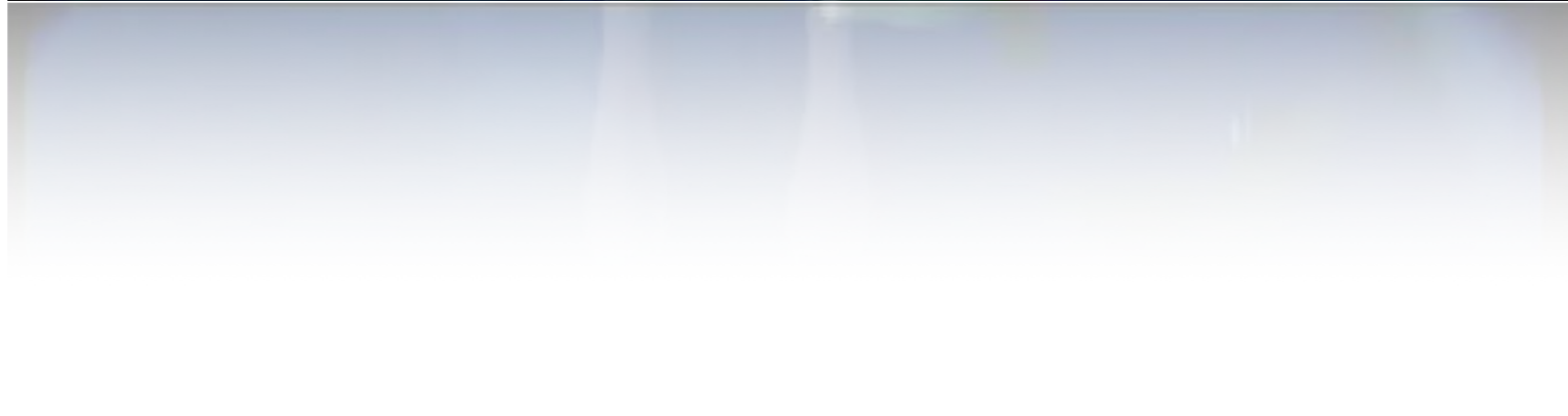
Une chute de pression locale notable peut provoquer la formation de bulles.

Cette chute de pression peut avoir une origine:

- mécanique (agitation provoquée par les inégalités des parois des vaisseaux)
- Acoustique. On parle alors de micro-cavitation acoustique (onde de choc du deuxième bruit du coeur)

- La tribonucléation

Elle s'accomplit lorsque deux surfaces solides se séparent l'une de l'autre (effet de vide) dans un fluide (Frottements des muscles entre eux, frottements de valves cardiaques, frottements entre les surfaces cartilagineuses...). Un gradient de pression s'instaure et des bulles peuvent se former.



### III- Impact des bulles sur l'organisme



Lorsque la bulle devient pathogène, elle entraîne des réactions de défense de l'organisme.

Considérée comme un corps étranger, l'organisme va chercher à s'en protéger.

- Dans le sang, ces réactions vont conduire à la constitution d'un caillot qui peut entraîner une ischémie et la nécrose des tissus.
- Dans les tissus, la bulle peut venir comprimer un nerf et/ou un vaisseau. Elle peut aussi entraîner des lésions au niveau des tendons ou des articulations.

A partir de l'apparition de bulles pathogènes, on peut distinguer 4 phases (selon Michaud):

- *Phase de constitution.*

Phase réversible mise à profit par les tables et les ordinateurs pour proposer une procédure de secours (3 mn). Les bulles sont sphériques et la circulation juste ralentie. La plus grande partie du gaz emmagasiné est encore dissoute dans les tissus.

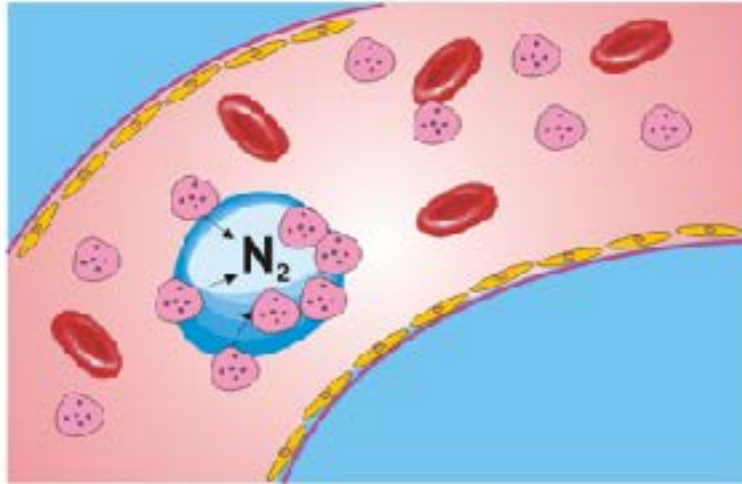
- *Phase d'organisation:*  
Les bulles s'accumulent, grossissent, fusionnent, forment des amas et se fixent. Cela peut entraîner localement des blocages de la circulation sanguine et provoquer l'anoxie de certains tissus.  
Les symptômes apparaissent.  
A ce stade l'urgence des secours est primordiale avec mise sous oxygène pur.
- *Phase de troubles généraux:*  
Les réactions biologiques de l'organisme s'étendent, amplifiant les troubles.

- *Phase de séquelles éventuelles:*  
Si les secours sur le lieux de l'accident ont été défectueux (manque d'O<sub>2</sub>) ou tardifs, les risques de séquelles augmentent.

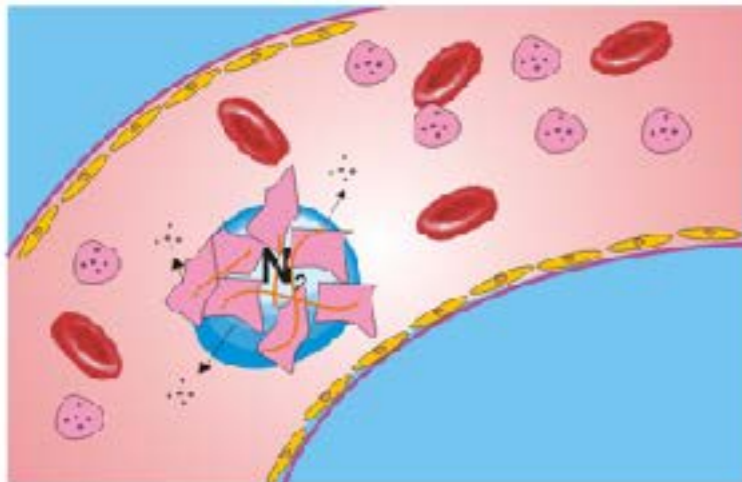
- La réaction plaquettaire:

Au contact d'une bulle, le sang « se trompe » et croit être confronté à une blessure. Il commence donc à fabriquer un caillot.

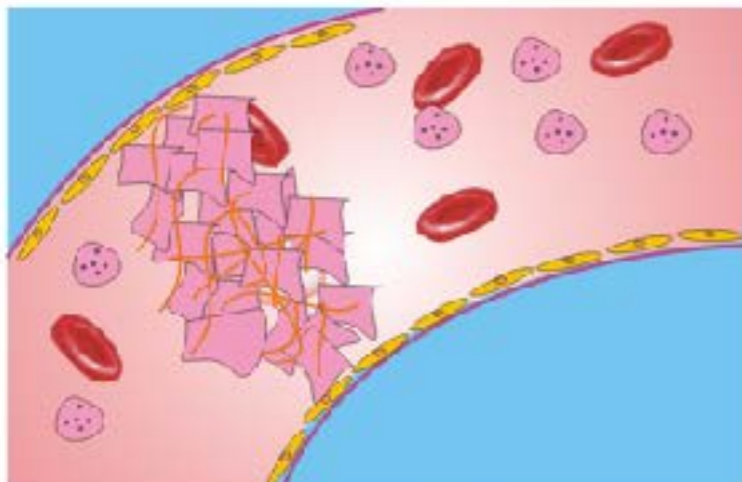
## Bulle d'azote : action des plaquettes



Etape 1 : adhésion plaquettaire.



Etape 2 : libération plaquettaire.



Etape 3 : agrégation plaquettaire.

Etape 1: Adhésion plaquettaire  
Les plaquettes s'agglutinent sur les bulles de gaz.

Etape 2: Libération plaquettaire  
Les plaquettes émettent des prolongements leur permettant de rentrer en contact les unes avec les autres.

Etape 3: Agrégation plaquettaire  
Un grand nombre de plaquettes s'agrègent, renforcé par des filaments de fibrine, une protéine insoluble essentielle à la coagulation.

D'autres réactions de l'organisme vont contribuer à diminuer le flux sanguin (à cela s'ajoute la diminution du volume sanguin liée aux diurèses d'immersion et de froid). Cela augmente la viscosité du sang. Les organes sont moins bien irrigués. Cela peut même obstruer les vaisseaux sanguins.

Importance de l'aspirine et de la réhydratation de la personne sujette à un ADD.



Antiagrégant plaquettaire

## IV- Types d'ADD



Selon la localisation des bulles, les atteintes peuvent être:

- Neurologiques centrales
- Vestibulaires (oreille interne)
- Respiratoires
- Ostéo-articulaires (os et articulations)
- Musculaires
- Cutanées

## Classification des ADD sur le plan clinique

Type I (bénins): Accidents cutanés et ostéo-articulaires

Type II (graves): Système nerveux, oreille interne, troubles respiratoires

- Le « BEND » ou accident ostéo-artthro-musculaire

Expression issue du verbe anglais *to bend* qui signifie courber.

Il se caractérise par une douleur atroce au niveau d'une articulation

- Mécanisme: La bulle provoquant cet accident est située dans le tendon du muscle de l'articulation

Lésion d'un  
tissu (ex. tendon)  
ou d'une articulation



- Symptômes:  
Douleur lancinante à type de déchirement. Dans certains cas, l'accident se révèle par une simple lourdeur au niveau d'un membre et la douleur s'intensifie au cours du temps.  
La douleur est rebelle aux antalgiques usuels.  
L'articulation ou la zone atteinte sont par ordre décroissant de fréquence:

- L'épaule
- Le genou
- le coude
- le poignet
- la hanche
- la cheville

Plusieurs articulations  
peuvent être touchées

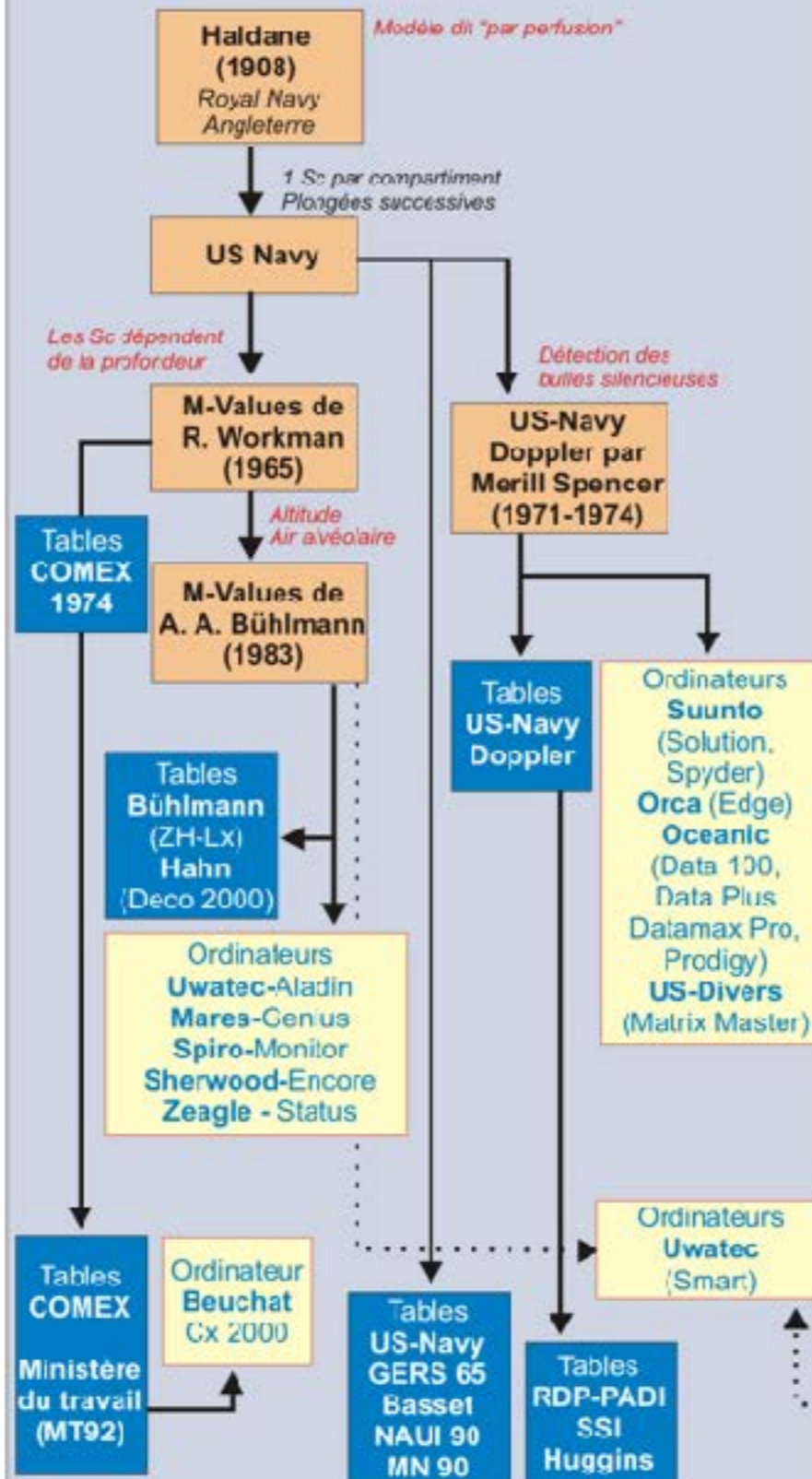
L'examen du membre  
et la radio sont  
normaux

- Traitement spécifique:  
Il est urgent et se réalise en centre hyperbare.  
C'est la recompression thérapeutique à l'oxygène  
(Tables Comex 12m ou 18m)

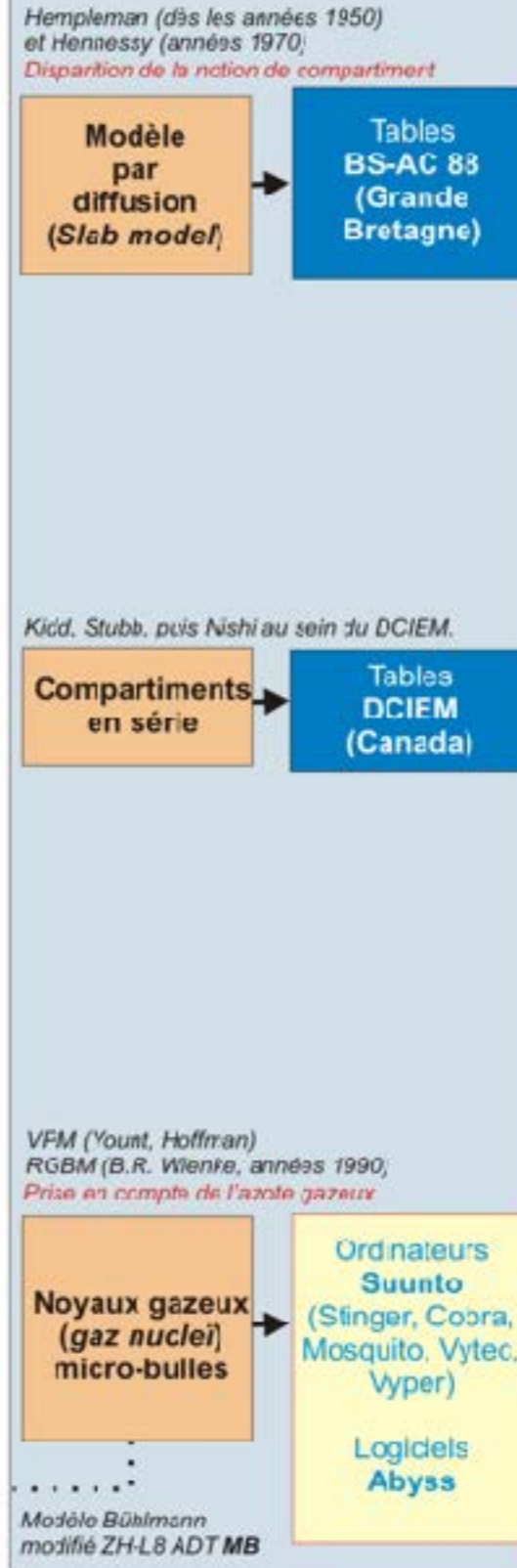


# LES MODELES DE DECOMPRESSION

## MODELES HALDANIENS ET DERIVES



## AUTRES MODELES



- Les accidents cutanés



Ils se révèlent par l'apparition de **puces** et de **moutons**.

Ces accidents ne sont pas fréquents en plongée lorsque le plongeur est équipé d'une combinaison humide. Ils deviennent plus courant lorsque la décompression s'effectue en milieu sec (vêtement étanche ou caisson). L'évolution de ce type d'accident est bénigne.

- Mécanisme:

Les bulles de gaz inerte sont présentes dans les tissus sous-cutanés ou les capillaires sous-cutanés.

- Localisation:  
Ils se produisent essentiellement sur le tronc (thorax, abdomen dos), plus rarement au niveau des oreilles ou des poignets et des mains.  
Jamais au niveau des jambes ou des pieds.

- Manifestation:

- Les puces se caractérisent par des démangeaisons (prurit) parfois accompagnées de petites taches rouges (ne pas confondre avec les piqûres de moustiques). Le prurit est le signe d'une morsure.
- Les morsures se manifestent par un prurit ou une douleur et une éruption cutanée (maculo-papuleuse) évoquant une urticaire.

Guérison spontanée en 2 à 3 jours.



- Traitement spécifique:  
Recompression thérapeutique à l'oxygène  
(Tables Comex 12m)



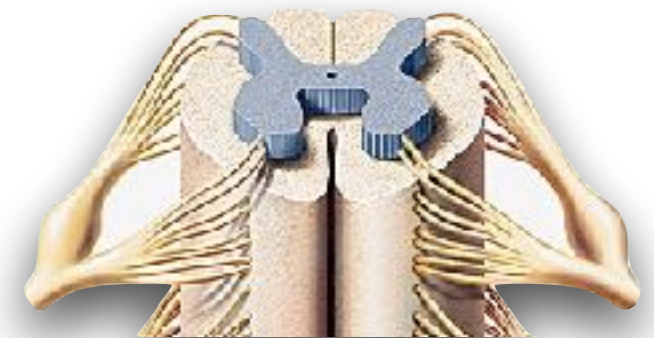
- Les accidents médullaires

Ces accidents sont graves et ils représentent les accidents neurologiques les plus fréquents en plongée sportive à l'air.

- Mécanisme:

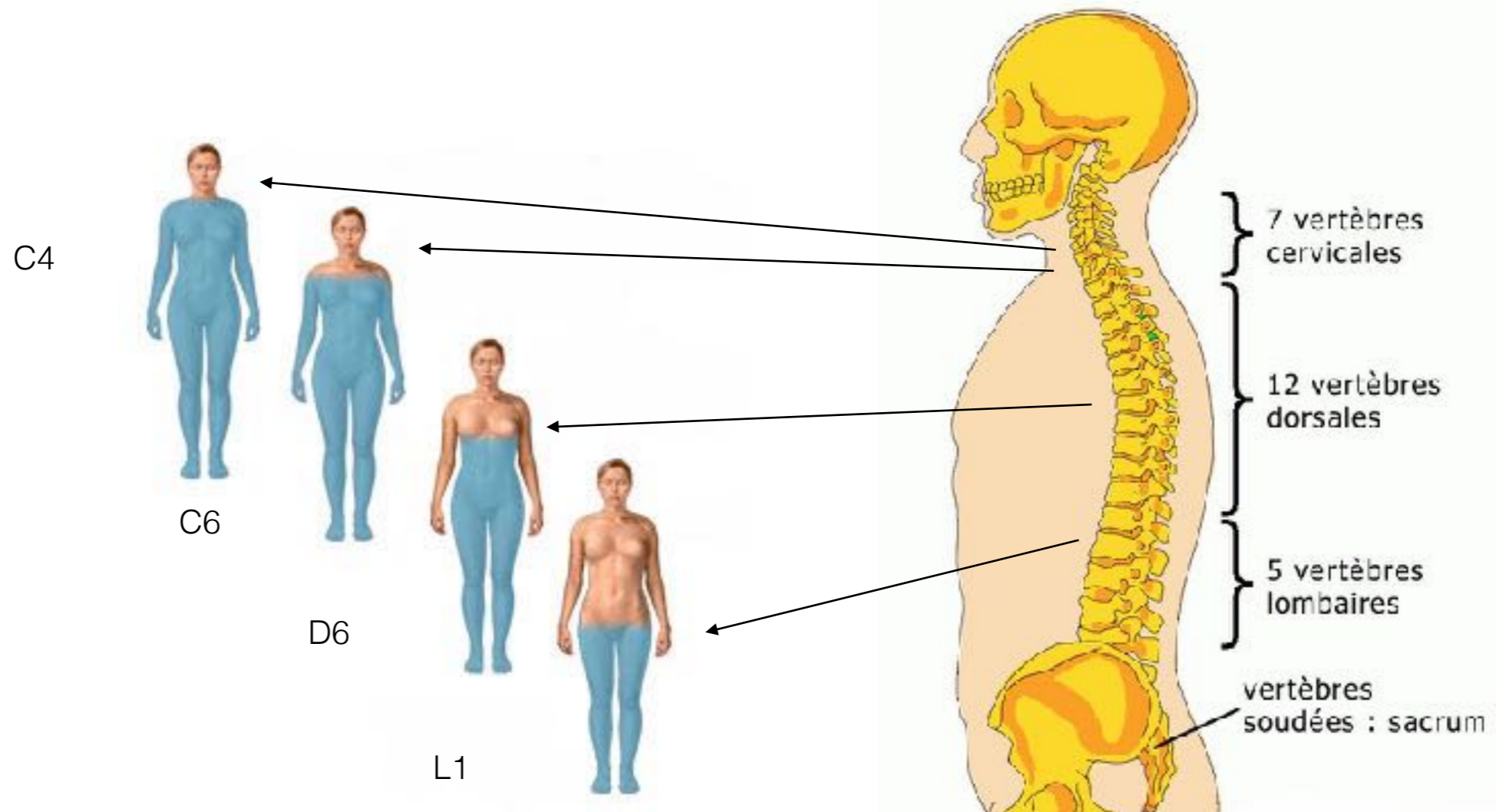
La présence de bulles dans la moelle épinière provoque des lésions appelées ramollissements.

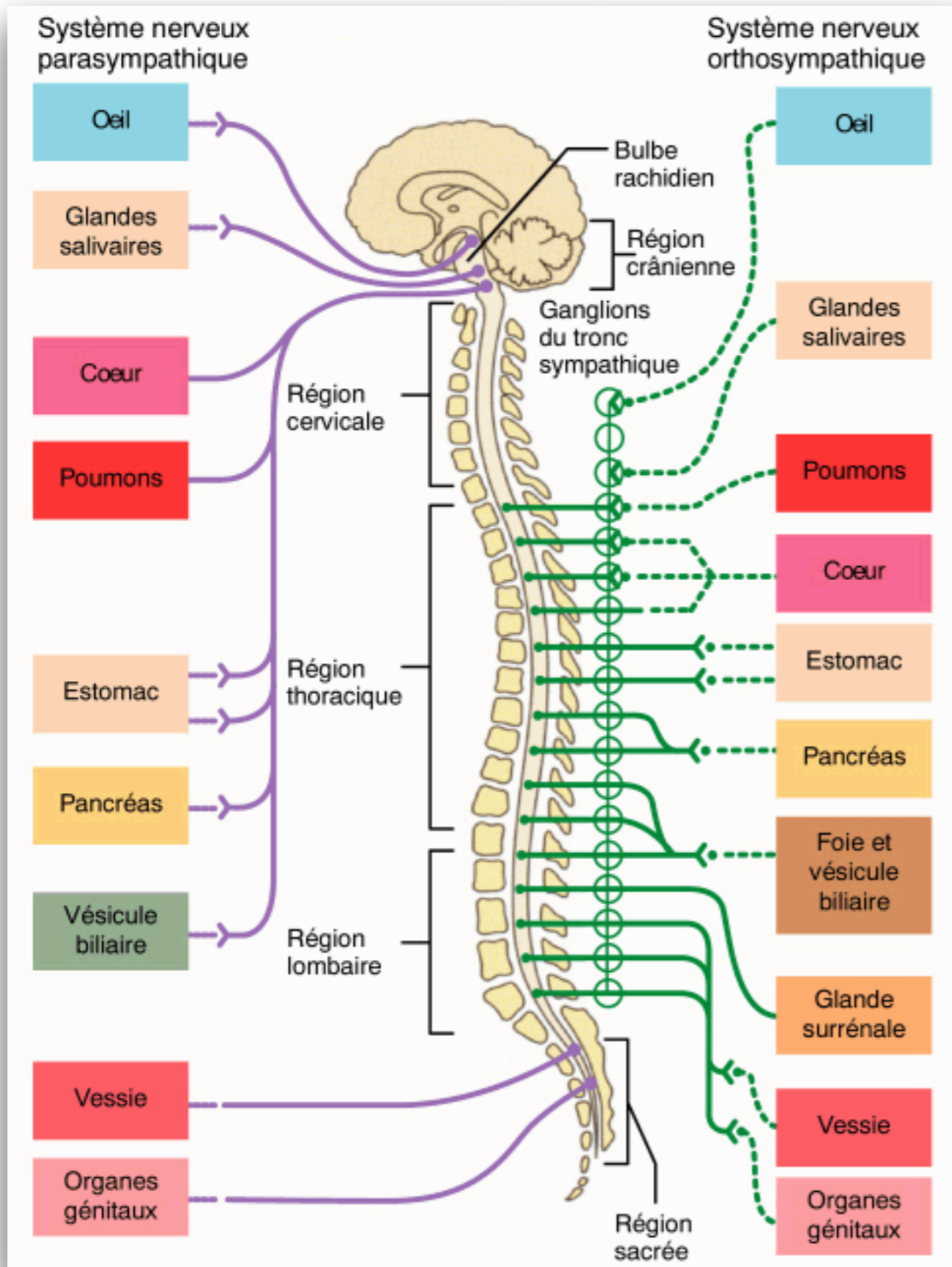
Les bulles pathologiques pourraient être veineuses, artérielles ou se former directement dans le tissu médullaire.



- Apparition:  
Elle est rapide et peut se produire dans l'eau, à l'émergence ou après la plongée. Le délai varie parfois de quelques minutes à quelques heures après la plongée.  
La majorité des accidents médullaires se produit dans l'eau ou à la sortie de l'eau dans les 10 minutes suivant la fin de plongée.
- Symptômes:  
Ce sont la douleur dorso-lombaire en coup de poignard (signe annonciateur de l'accident), une sensation de picotement dans un ou plusieurs membres.  
Parfois c'est un engourdissement qui est noté, puis une faiblesse d'un ou plusieurs membres.

La paraplégie ou la tétraplégie s'installe ensuite, selon le niveau de la lésion médullaire. La rétention d'urine est souvent présente. Une grande diversité de tableaux neurologiques médullaires peut être observée.





- Séquelles: Il subsiste presque toujours de petites séquelles cliniques. Le mode de vie est modifié dans la moitié des cas.

- Traitement spécifique:  
Il est urgent et doit être réalisé en centre hyperbare dans les 30 minutes.  
C'est la recompression thérapeutique à l'oxygène (Tables Comex 30m)



- Les accidents cérébraux

Ils peuvent se déclarer par une grande diversité de signes.

- Mécanisme:

Le blocage de la filtration pulmonaire par des bulles de gaz inerte (dégazage important) occasionne le transfert de bulles de gaz inerte directement dans le coeur gauche. La persistance d'une anomalie anatomique Shunt, FOP peut être à l'origine du passage de bulles veineuses directement dans le coeur gauche, sans passage par le filtre pulmonaire.

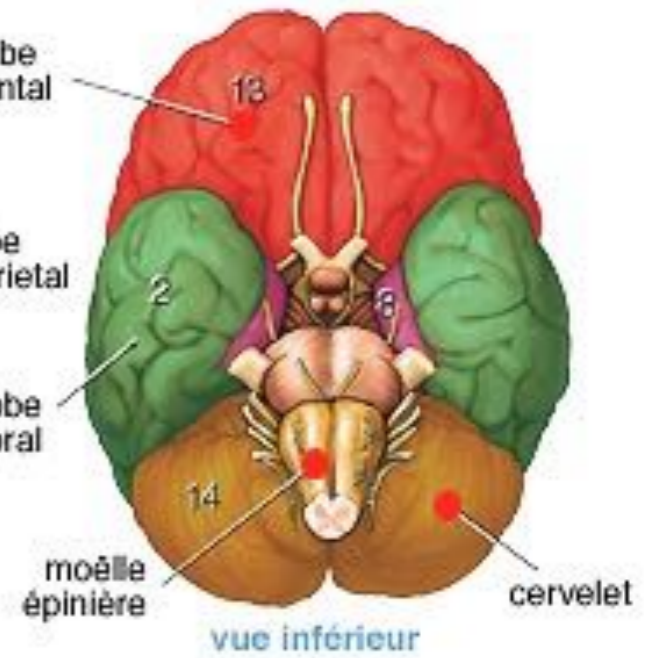
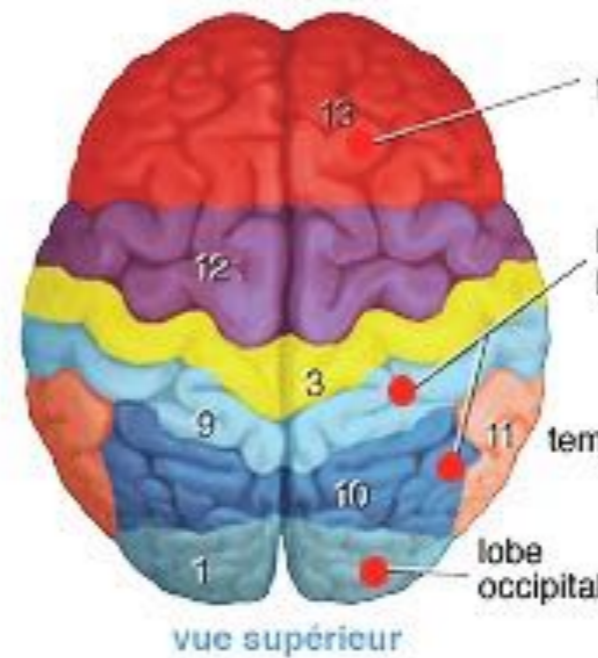
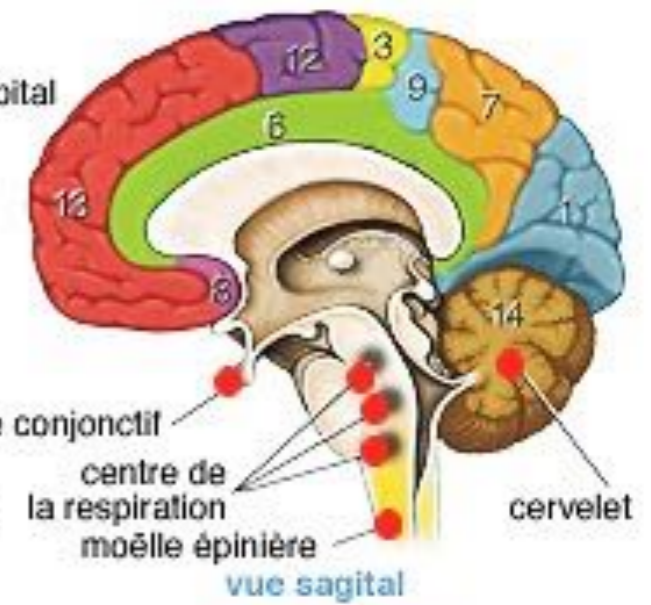
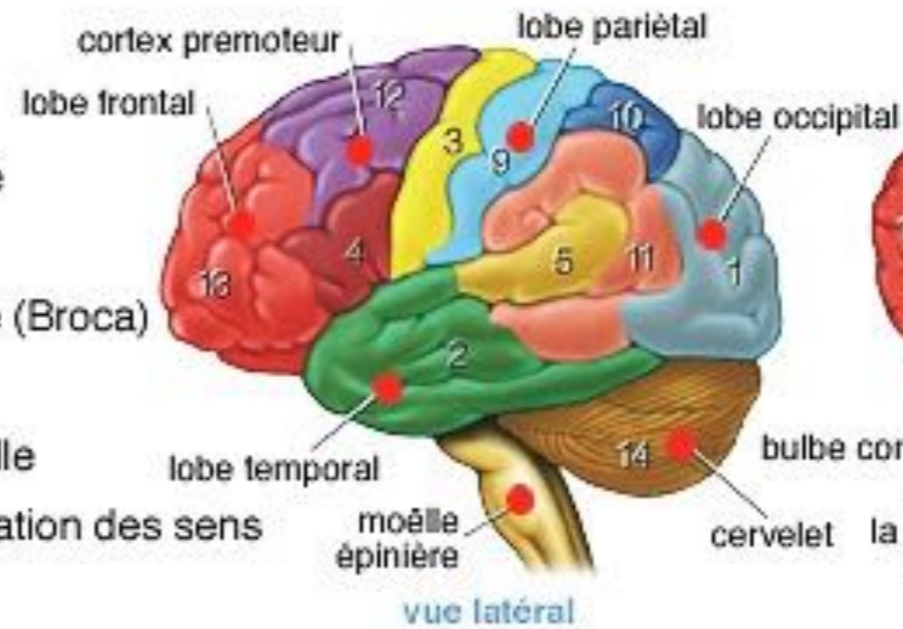


- Apparition:  
Elle est très rapide et se produit dans l'eau, à l'émergence ou quelques minutes après la plongée (moins de 10mn).
- Symptômes:  
Ils sont très variés.
  - Etourdissement
  - Perte de connaissance
  - Coma
  - Convulsions
  - Maux de tête
  - Troubles de l'élocution
  - Amnésie
  - Hémiplégie
  - Paraplégie
  - Tétraplégie
  - Arrêt cardia-respiratoire





- 1 aire visuelle
- 2 aire associative
- 3 cortex moteur
- 4 aire du langage (Broca)
- 5 aire auditive
- 6 aire émotionnelle
- 7 aire de l'association des sens
- 8 aire olfactive
- 9 cortex somesthésique
- 10 aire associative
- 11 aire de compréhension
- 12 aire prémotrice
- 13 aire préfrontal
- 14 cervelet



- Traitement spécifique:  
Il est urgent et se réalise en centre hyperbare.  
C'est la recompression thérapeutique à l'oxygène  
(Tables Comex 30m). Les résultats obtenus sont  
souvent remarquables.



- Les « Chokes »

Dérivé de l'anglais *to choke*, suffoquer.

Les chokes représentent l'accident de décompression pulmonaire. Souvent la remontée a été très rapide.

- Mécanisme:

Les troubles respiratoires sont dus à un dégazage massif. La circulation pulmonaire est obstruée par les bulles abondantes. Cela peut entraîner une défaillance de la pompe cardiaque droite en amont, qui devient inefficace.

- Apparition:  
Elle se produit très tôt, dans l'eau ou dans les minutes qui suivent la plongée.
- Symptômes:
  - Sensation d'inconfort
  - Douleur à l'inspiration et à l'expiration profonde
  - Toux
  - Respiration rapide et superficielle
  - Cyanose
  - Arrêt Cardio-respiratoire

- Traitement spécifique:  
Il est urgent et se réalise en centre hyperbare sans retard.  
C'est la recompression thérapeutique à l'oxygène (Tables Comex 30m)



- Les accidents vestibulaires

Une décompression mal effectuée peut entraîner un retentissement local au niveau de l'oreille interne.

- Mécanisme:

La bulle prend naissance dans l'oreille interne. Elle peut trouver son origine soit dans les vaisseaux, soit directement dans le liquide de l'oreille.

La rupture des canaux circulaires ainsi que de l'organe de Corti peut survenir.

L'os entourant les canaux circulaires peut également se fracturer et un cal se former par la suite.



- Apparition:  
Elle se produit dans l'eau, à l'émergence ou dans les heures qui suivent la plongée.

- Symptômes:
  - Grand vertige rotatoire (parfois plus discret, il peut être confondu avec le mal de mer)
  - Nausées, vomissements
  - Perte de l'audition
  - Bourdonnement de l'oreille
  - Somnolence inhabituelle
  - Nystagmus spontané (secousse spontanée des globe oculaires dans le sens inverse du mouvement des yeux) qui signe la lésion des canaux semi-circulaires.



- Traitement spécifique:  
Il est urgent et se réalise en centre hyperbare.  
C'est la recompression thérapeutique à l'oxygène  
(Tables Comex 30m)



V- Conduite à tenir

- En cas d'apparition de symptômes arrêter immédiatement la plongée.
- En cas de doute, agir comme si un ADD était déclaré.
- On ne ré-immmerge pas une personne qui commerce à faire un ADD.
- Porter assistance à la personne car elle ne pourra vraisemblablement pas se prendre en charge elle même.
  - Gonfler sa stab en surface
  - Maintenir son détendeur en bouche
  - La ramener au bateau

- Organiser les secours de la personne accidentée.

## Protéger

- La victime et les autres plongeurs d'un sur-accident.
- Accrocher solidement tous les objets pour éviter qu'ils ne tombent ou roulent sur quelqu'un.

## Alerter

- VHF canal 16
- Téléphone 15 (SAMU)

Le message doit être le plus précis possible pour guider les secours

# Secourir

- Administrer de l'oxygène pur 15l/mn en inhalation ou insufflation (permet de maintenir en vie les tissus peu ou mal irrigués et facilite l'élimination de l'azote en excès)
- Ne jamais arrêter l'inhalation d'oxygène et l'évacuation vers un centre hyperbare même si le plongeur se sent mieux
- Proposer de l'aspirine (500mg Max)
- Faire boire de l'eau (1L par petite quantité)



- Débarrasser la victime de sa combinaison
- L'allonger, la couvrir
- Lui parler, la rassurer
- Récupérer son ordinateur pour le transmettre aux secours
- Remplir la fiche d'évacuation
- Mettre sa palanquée sous surveillance.

# Statistiques

- Apparitions des symptômes (d'autant plus graves qu'ils surviennent rapidement après le retour en surface):
  - 50% dans les 30mn après la plongée
  - 85% dans l'heure qui suit la plongée
  - 95% dans les 3 heures qui suivent la plongée
  - 99% dans les 6 heures qui suivent la plongée

- Type d'ADD:
  - Accidents médullaires 40%
  - Accidents cochlée-Vestibulaires 30%
  - Accidents encéphaliques 15%
  - Accidents ostéo-articulaires 15%

- Type de plongée

- Plongée technique 20%
- Plongée d'urgence 20%
- Plongée de loisir 60%

Le simple respect des procédures de décompression ne suffit donc pas à empêcher la survenue d'un ADD. Le rôle du GP va beaucoup plus loin !!!!

procédure 20%  
procédure **60%**



## VI- La Prévention

**Elle doit se faire avant, pendant et après la plongée.**

**Votre rôle de guide de palanquée ne commence pas à l'immersion pour se terminer à l'émergence.**

à l'émergence

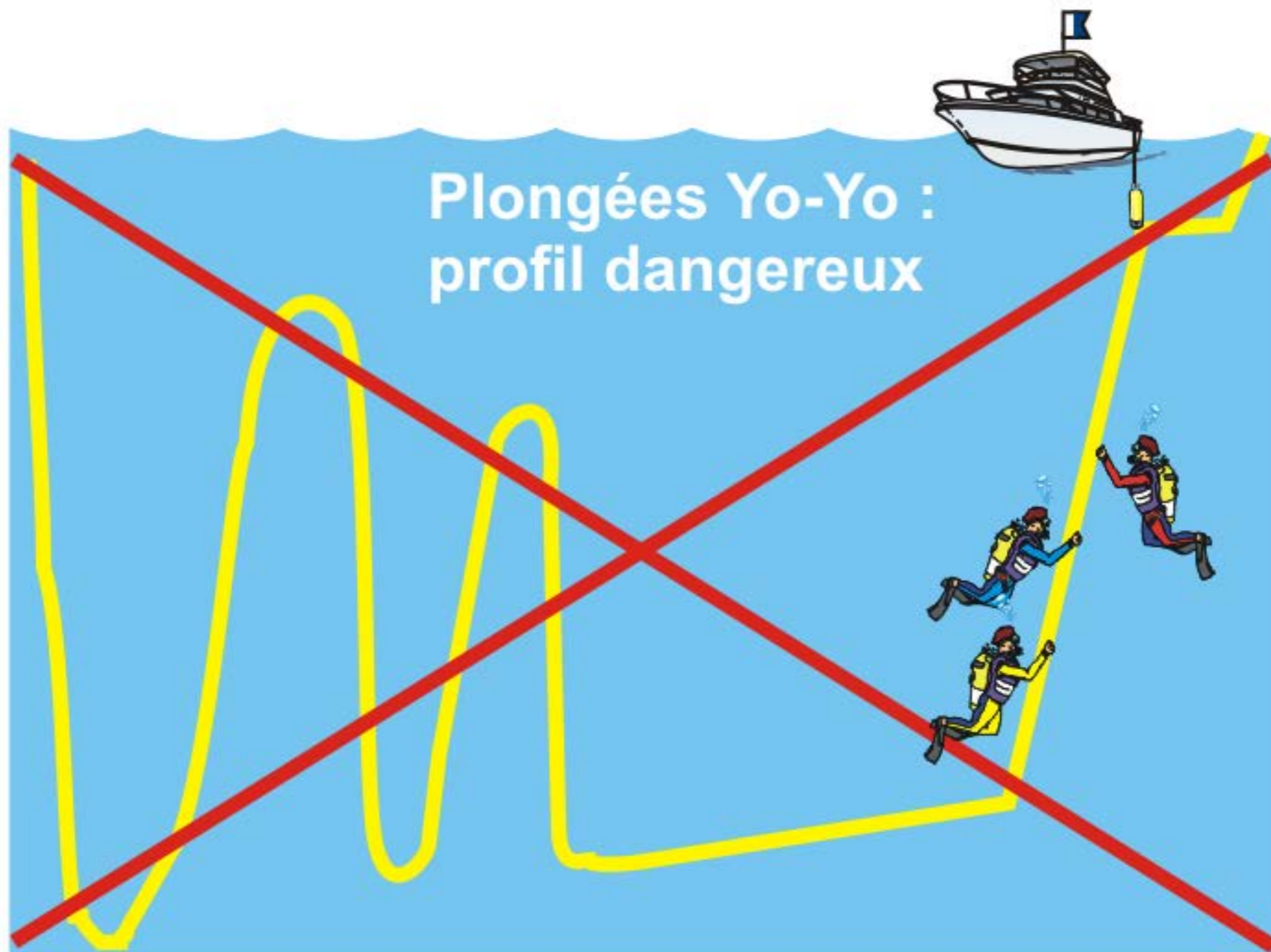
commence pas à l'immersion pour se terminer

- Avant la plongée

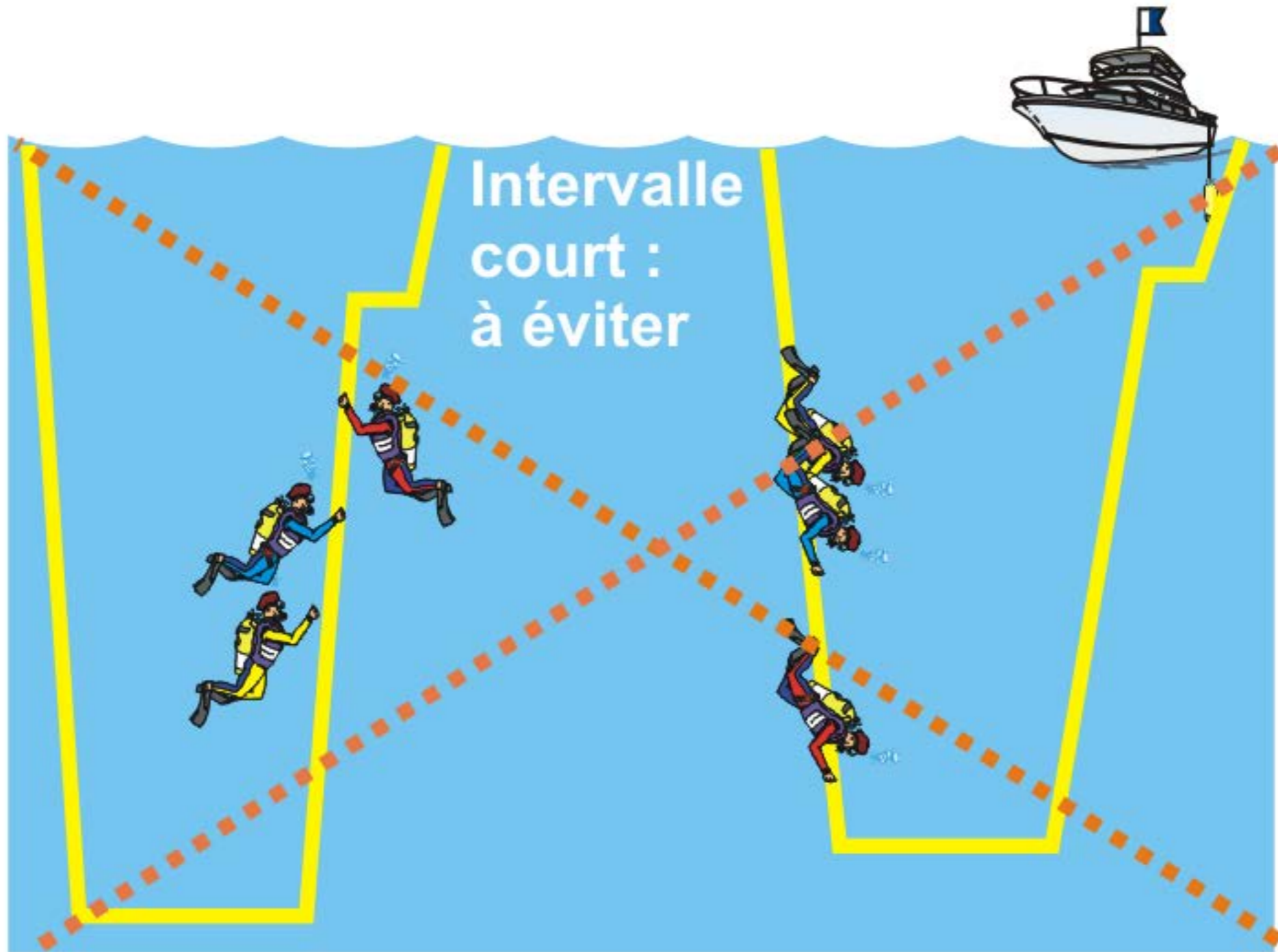
- Pas d'effort avant une plongée (cela «prépare le terrain» pour un ADD)
- Adapter les paramètres à son état de fatigue
- Prendre en compte les conditions de mer et sa forme physique pour déterminer les paramètres
- Bien s'hydrater
- Bien se couvrir pour ne pas avoir froid avant la plongée
- Choisir d'utiliser du Nitrox
- Ne pas consommer d'alcool avant et après la plongée
- Ne pas fumer avant et après la plongée

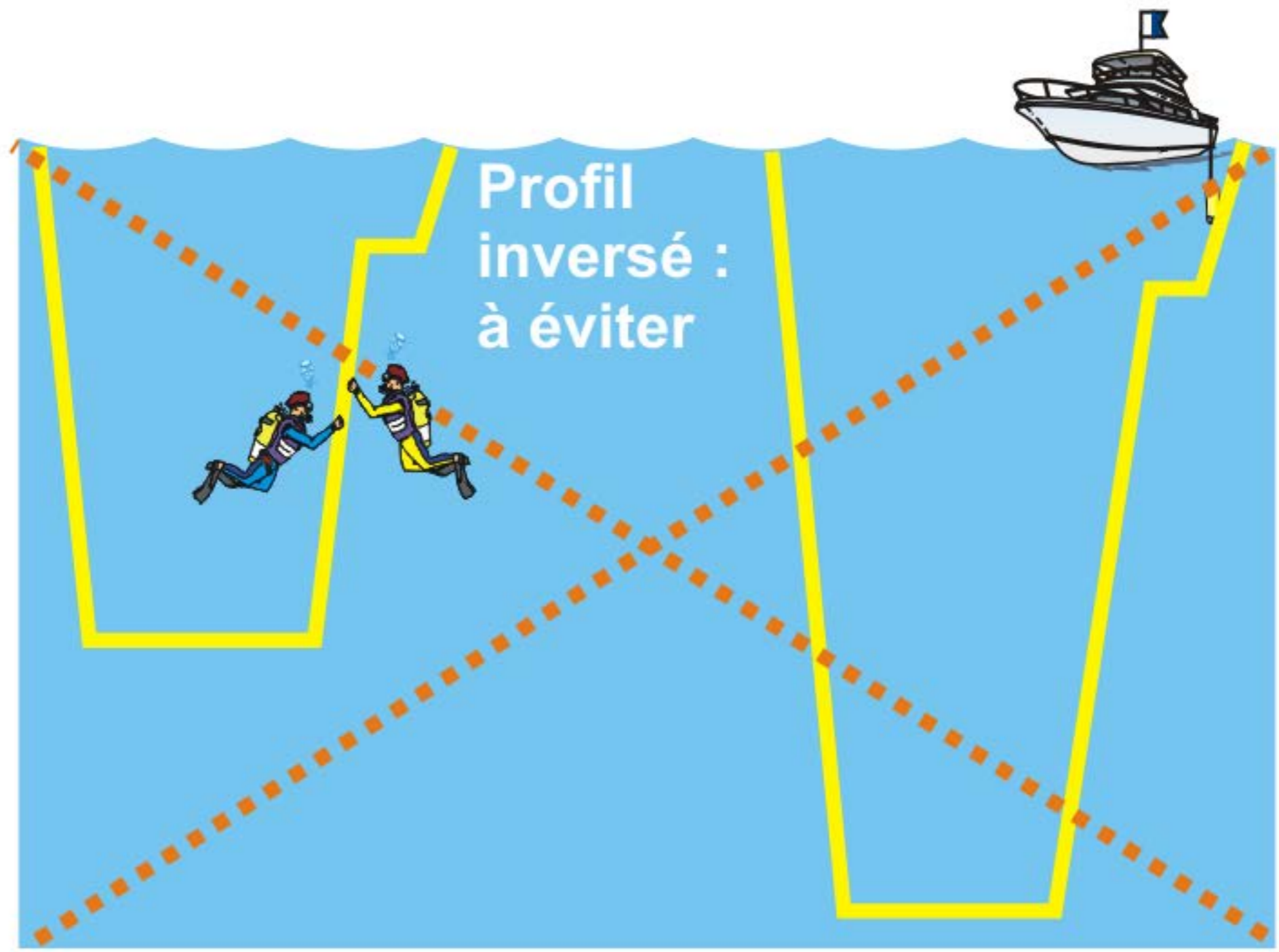
- Pendant la plongée
  - Respecter les procédures de décompression (vitesse de remontée, paliers...)
  - Descendre et remonter si possible au mouillage
  - Pas d'effort pendant la plongée (Le CO<sub>2</sub> fait grossir les micro bulles)
  - Pas de YO-YO, de profil inversé
  - Ne pas lutter contre le courant (CO<sub>2</sub>)
  - Bien gérer sa consommation pour être en mesure d'assurer ses paliers
  - Ventiler normalement au palier
  - Faire éventuellement un palier de sécurité
  - Dans l'eau froide augmenter les paliers (ou faire un palier de sécurité)

- Pas d'effort, de valsalva à la remontée
- En cas d'effort sous l'eau augmenter les paliers (ou faire un palier de sécurité)
- Eviter les intervalles de surface courts

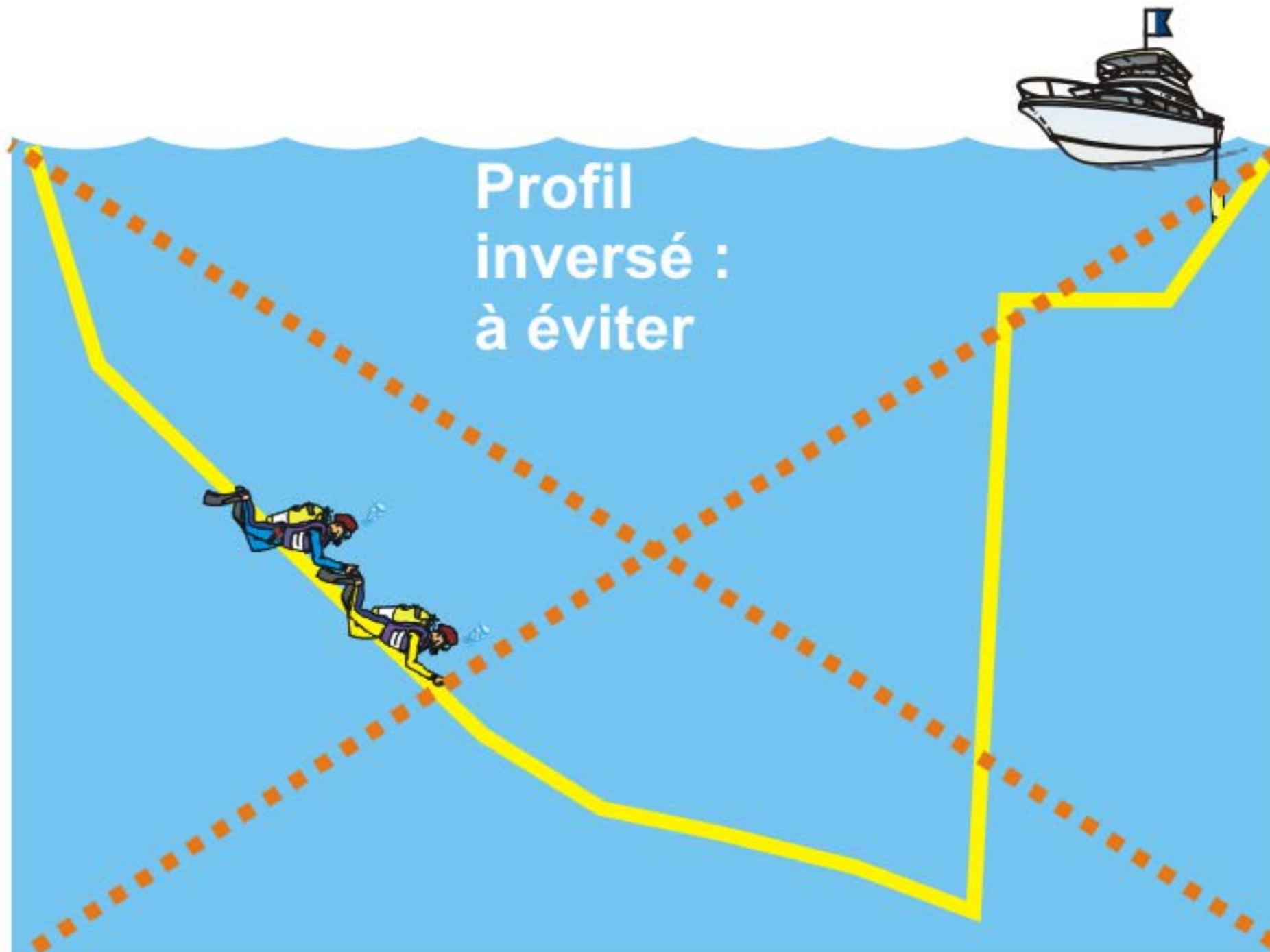


Micro-bulles









Les micro-bulles présentes à l'état basal en surface ne sont pas éliminées par une descente lente

Fatigue  
Stress  
Anxiété

Renoncer à la plongée  
Repos

Accroître  
les paliers

Effort  
Froid  
Mauvaises  
conditions  
etc.

Remontée  
lente



- Après la plongée
  - Pas d'effort, de sport
  - Boire de l'eau
  - Pas d'apnée pendant au moins 6h
  - Pas d'avion pendant 12 à 24h (ou consignes de l'ordinateur)
  - Pas de montée en altitude pendant 6 à 12h (ou consignes de l'ordinateur)
  - Ne pas faire plus de 2 plongées par jour

Un ADD peut déboucher sur:

- Une contre-indication absolue à la pratique de la plongée
- Une contre-indication relative (adaptation des paramètres de la plongée)
- Une contre-indication temporaire (de quelques semaines à quelques mois)

A la suite d'un ADD, le certificat médical doit être visé par le président de la commission médicale et de prévention régionale de la FFESSM.

Pour prévenir les risques, il faut diminuer les facteurs de risques

Le plus souvent, un accident grave est la conséquence non pas d'une seule « erreur importante », mais de l'accumulation de petits dysfonctionnements.

Pris indépendamment les uns des autres, chacun de ces dysfonctionnement peut apparaître anodin, mais il ne l'est plus s'il amplifie d'autres dysfonctionnements.

Par exemple, ne pas avoir de parachute de palier peut être sans conséquence dans la plupart des plongées.

Cela ne l'est plus s'il y a des vagues ou du courant et que vous sortez loin du bateau.

Ajoutez une mauvaise gestion de l'air due au courant, une personne s'essouffle et tombe en panne d'air, et la situation peut vite dégénérer.

En tant que guide de palanquée  
(et même en tant que plongeur)  
vous ne pouvez pas vous  
satisfaire du « ça va passer  
comme ça! »

comme ça! »

MERCI DE VOTRE ATTENTION

