

LES ACCIDENTS DE DESATURATION

FORMATION GP – SAISON 2024 2025

Béatrice BOSCHIAN
Claire SOUBITEZ

05.03.2025

OBJECTIFS DE CE COURS

- Accidents de désaturation : ADD
- Rappels
- Les mécanismes des accidents de désaturation
- Les principaux symptômes
- Prévention :
 - Respects des procédures
 - Facteurs favorisants.
 - Comportements et profils à risques avant, pendant et après la plongée.
- Prise en charge enseignée – RIFAP
- Procédures remontées anormales

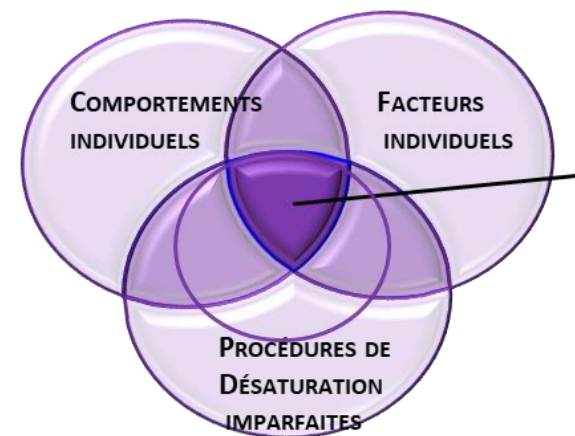
Votre rôle en tant que GP sera de prévenir ces accidents, tant par **votre comportement** sous l'eau que par les **informations** que vous devez délivrer sur le comportement à adopter avant, pendant et après la plongée

ETAT DE LA DESATURATION EN PLONGÉE LOISIR :

AG NATIONALE FFESSM 7 DECEMBRE 2024



- Aucun modèle de décompression ne peut prévenir tous les risques d'accident de décompression
- **Procédures de désaturation imparfaites**
- **80 % des ADD ont lieu sans faute de procédures**
- Tous les humains ne sont pas égaux entre eux, ni d'un jour à l'autre.
- 1 accident pour 10000 en moyenne, 1 pour 3000 en plongées saturantes
- Procédures à peu près maîtrisées pour 2 plongées par jour
- Les procédures s'améliorent mais il restent des facteurs favorisants :
 - **Comportements individuels** : plongée profondes saturantes qui nécessitent de paliers, plus de 2 plongées par jour, yoyo, montée en altitude...
 - **Facteurs individuels** :
 - * Ceux sur lesquels on ne peut pas agir :
Sujets bulleurs ou +/- bulleurs : prédisposition génétique
FOP (25 à 30 % de la population)
 - * Ceux sur lesquels on peut agir :
Obésité, âge (au-delà de 40 ans) en lien avec condition physique générale
Absence d'entraînement physique régulier
Manque de répétition des plongées, ...



80 % accidents
avec respect de
procédures

La modélisation de la décompression fait toujours l'objet de travaux et continue d'évoluer

L'ACCIDENT DE DESATURATION

A la remontée (phase de décompression) le N_2 dissous dans l'organisme repasse à l'état gazeux et conduit à la formation de bulles.

Ces bulles sont drainées par la circulation veineuse et éliminées par le filtre pulmonaire par différence de pression partielle au niveau de la barrière alvéolo-capillaire

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

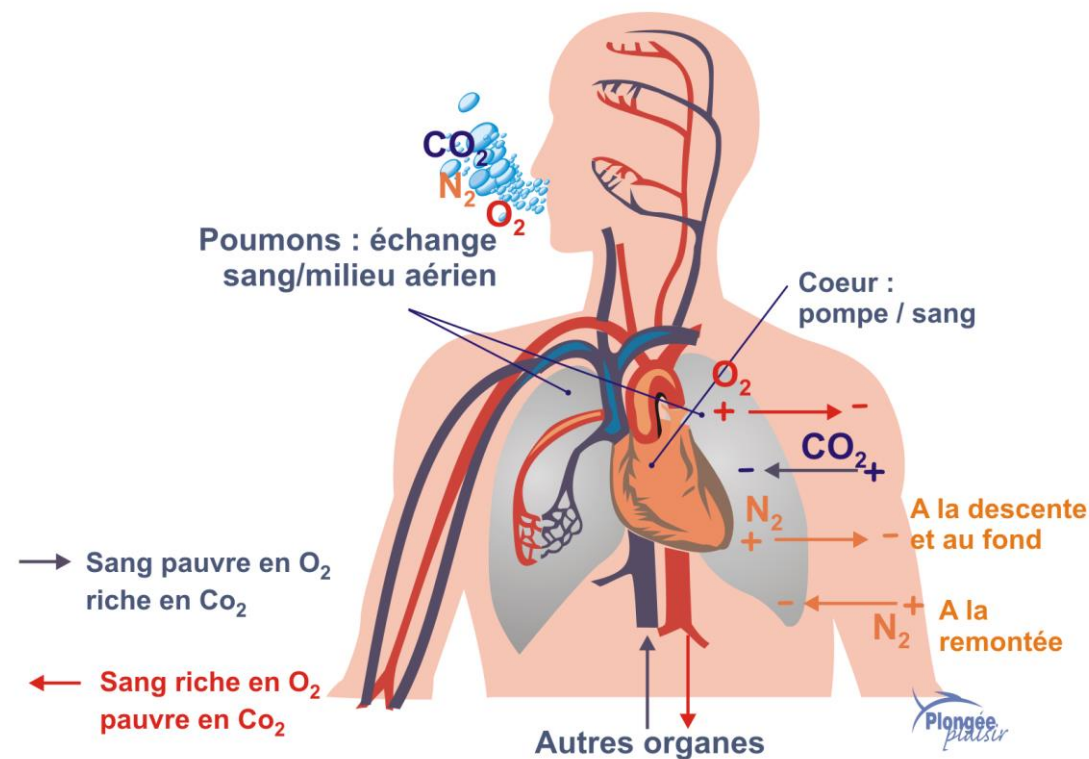
► **Bulles silencieuses** : bulles asymptomatiques

En cas de remontée rapide ou de non respect des paliers, ainsi qu'en cas de comportement inadapté avant, pendant ou après la plongée, les micro bulles grossissent et deviennent pathogènes.

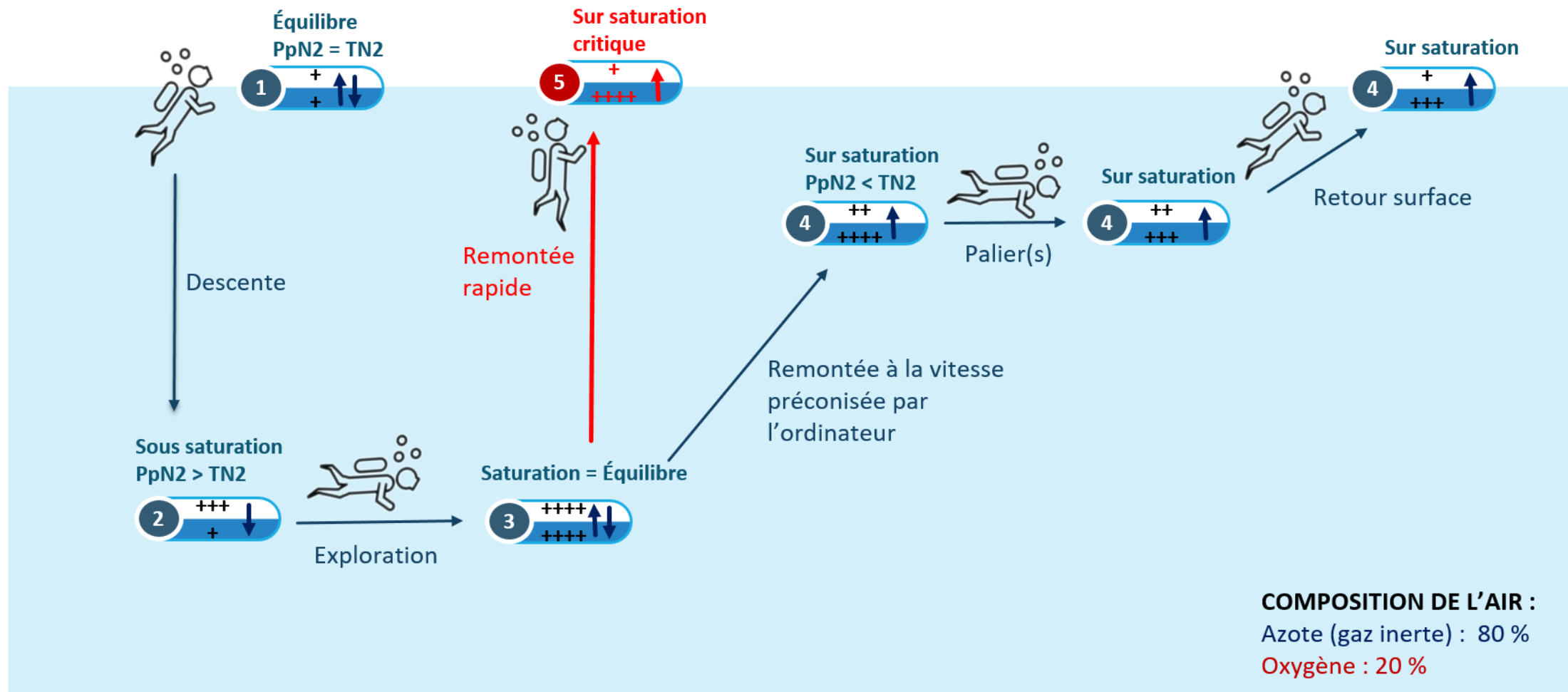
► **Bulles pathogènes** : peuvent engendrer des troubles + / - importants avec + / - de séquelles

Ces bulles sont à l'origine de **L'ACCIDENT DE DESATURATION**

Les manifestations cliniques dépendront de leurs localisations



RAPPELS



DISSOLUTION DES GAZ DANS L'ORGANISME - Loi de HENRY

A température constante et à saturation, la quantité de gaz dissout (N_2) dans un liquide est proportionnelle à la pression exercée par ce gaz sur le liquide

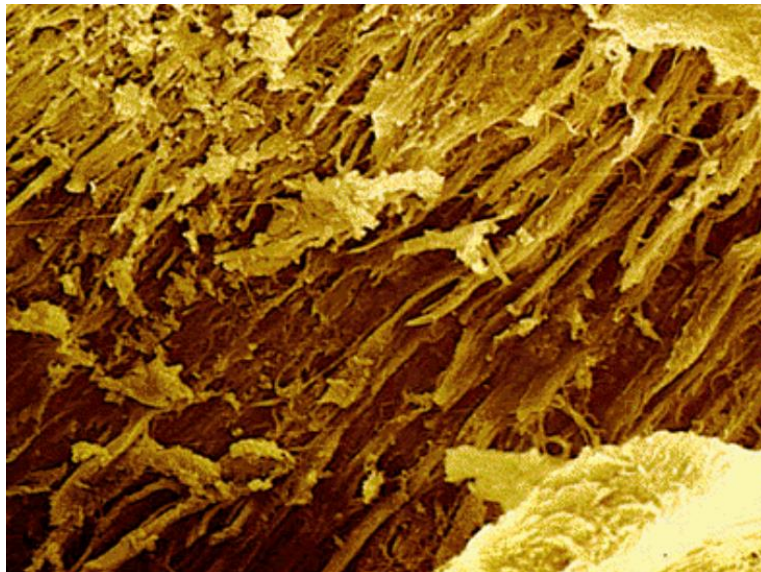
La profondeur, la durée d'immersion, la température (le froid), les efforts ont des conséquences sur la saturation en N_2

ORIGINE DES BULLES – GAZ NUCLEI : ROLE DU CO2

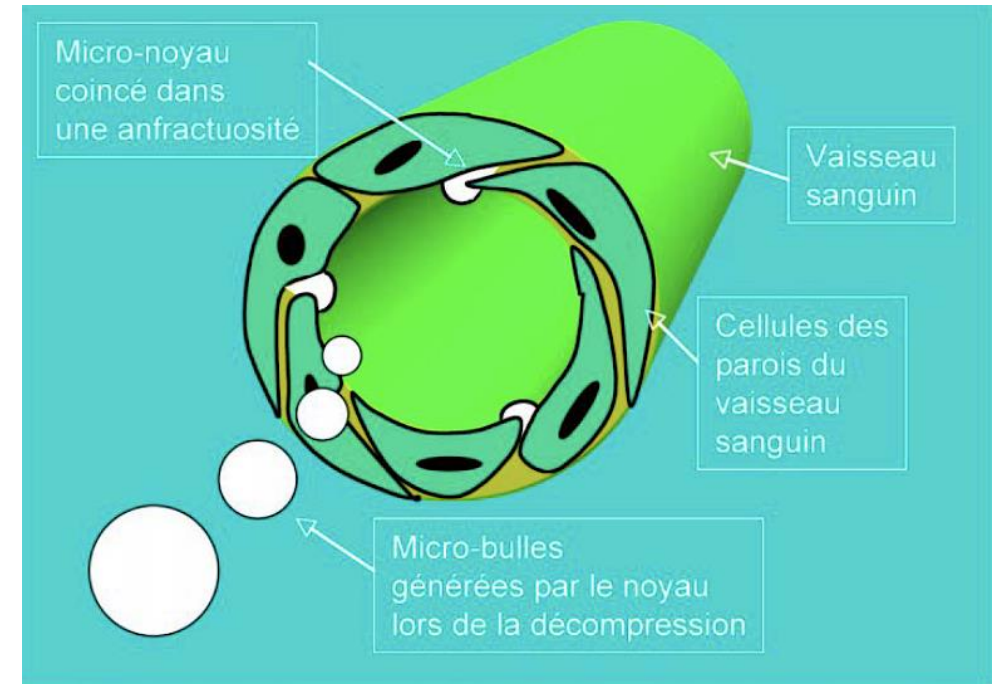
La surface des vaisseaux sanguins n'est pas lisse et présente des anfractuosités.

Des micro-noyaux gazeux principalement constitués de CO₂ sont présents naturellement dans les anfractuosités des vaisseaux.

Ces micronoyaux gazeux préexistants sont appelés **GAZ NUCLEI**. Ils servent d'amorce sur lesquelles les bulles N₂ circulantes vont fusionner, grossir et se détacher.



Endothélium vasculaire au microscope électronique à balayage



ORIGINE DES BULLES – ECOULEMENT SANGUIN

► CAVITATION

La cavitation est la naissance de bulles de gaz dans un liquide suite à une dépression.

Accélération importante au niveau de la bifurcation grosses artères (crosse aortique)

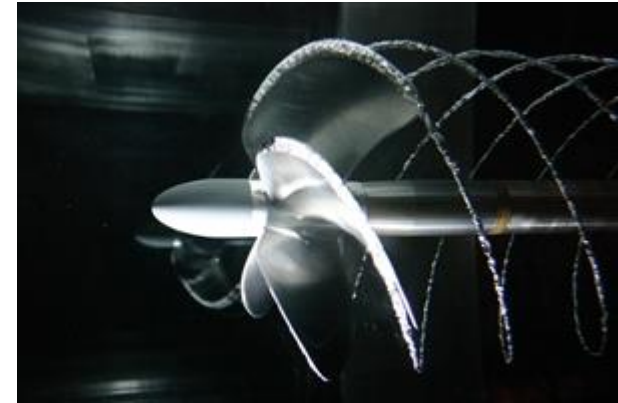
► TRIBONUCLEATION

Formation de bulles lorsque deux surfaces solides se séparent brutalement l'une de l'autre : séparation crée un vide => accélération des fluides avec tourbillons

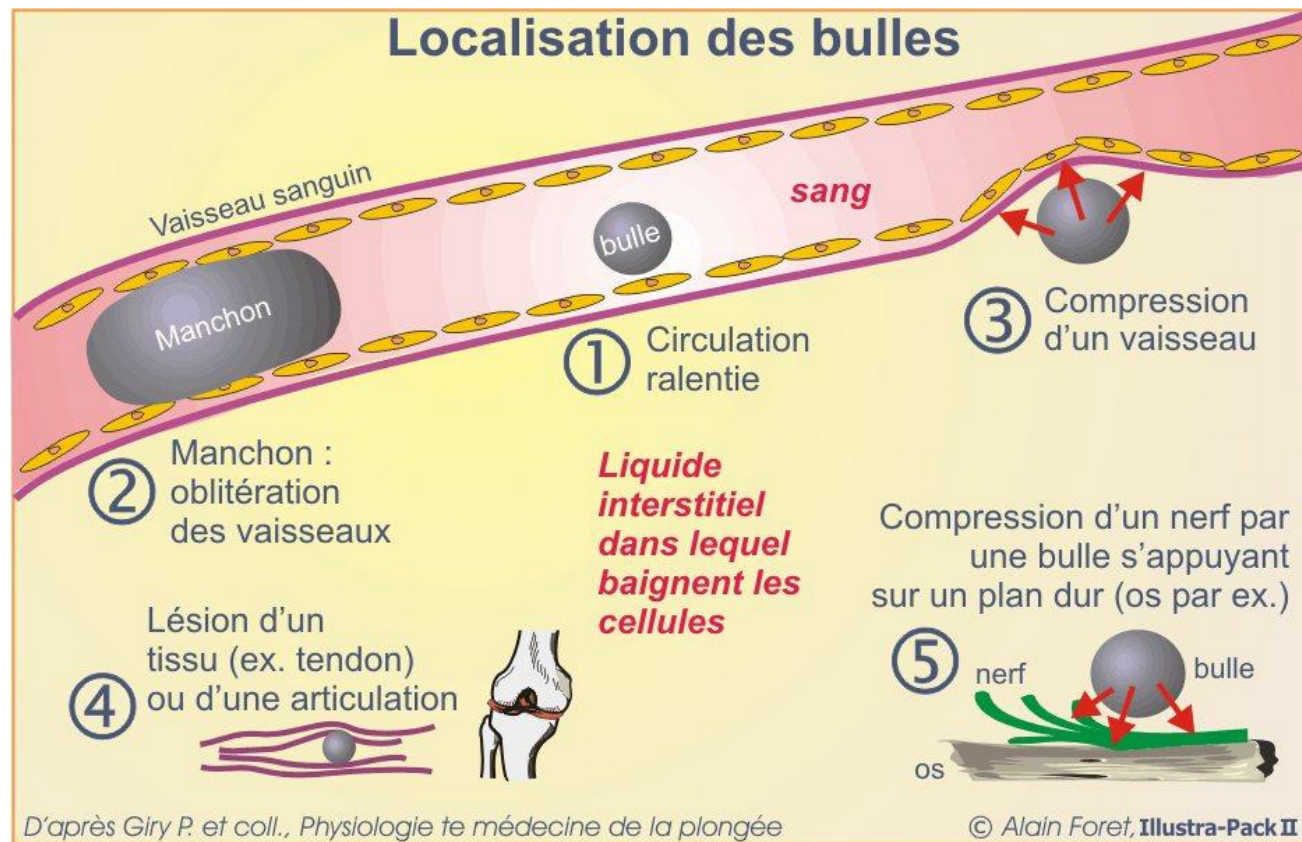
Un gradient de pression s'instaure et des bulles peuvent se former

Valves cardiaques

L'effort physique augmente le nombre de micro bulles



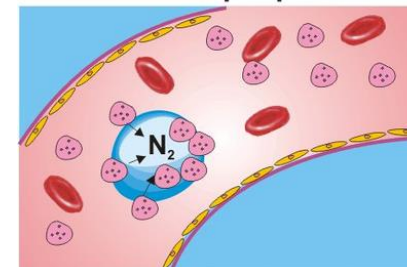
LESIONS PROVOQUEES PAR DES BULLES



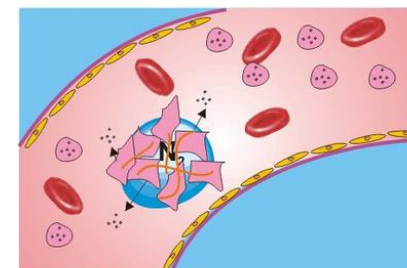
- Bulles **intravasculaires** : dans le système sanguin : 1 & 2
- Bulles **extravasculaires** : dans les tissus : 3, 4, 5

Les bulles formées sont considérées comme des corps étrangers, ce qui entraîne des réactions de défense de l'organisme et l'activation des plaquettes (réaction plaquettaire)

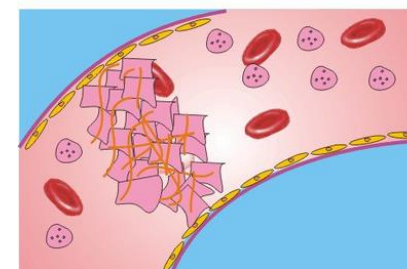
Bulle d'azote : action des plaquettes



Etape 1 : adhésion plaquettaire.



Etape 2 : libération plaquettaire.



Etape 3 : agrégation plaquettaire.

D'après Tortora et Grabowski

1. Les plaquettes se collent aux bulles
2. Elles s'allongent et entrent en contact les unes avec les autres
3. Agrégation des plaquettes entre elles

Ces réactions vont conduire à la constitution d'un caillot

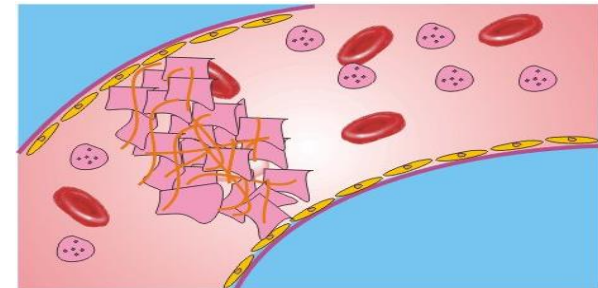
LESIONS PROVOQUEES PAR DES BULLES

Une fois formé, le caillot reste en place même après la disparition de la bulle (thrombus)

- La circulation sanguine reste bloquée
- Plus d'arrivée d'oxygène (anoxie)
- Nécrose des tissus en aval du thrombus

Les séquelles sont irréversibles.

C'est la MALADIE DE DESATURATION (MDD)



Etape 3 : agrégation plaquettaire.

D'après Tortora et Grabowski

LES ADD **MEDULLAIRES** : LOCALISATION ET SYMPTÔMES

ADD le plus fréquent : 46 % des accidents en plongée loisir

Apparition entre 15 minutes et 1h

Bulles localisées au niveau dans la **moelle épinière**

Perte de sensibilité

Fourmillements

Fatigue importante

Faiblesse musculaire

Peut être précédé d'une violente douleur dorsale type coup de poignard

Paralysie ou troubles sensitifs en fonction de la localisation de la bulle

Symétrie horizontale

Paralysie d'un membre

Paraplégie des membres inférieurs

Tétraplégie : membres supérieurs et inférieurs

Impossibilité d'uriner



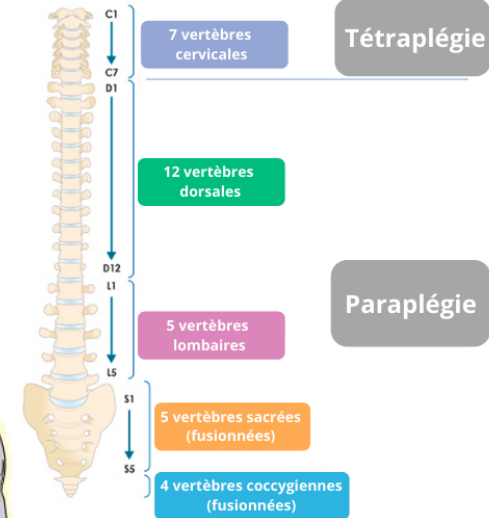
Paraplégie

Lésion de la moelle épinière au niveau des dorsales ou de la première lombaire



Tétraplégie

Lésion de la moelle épinière au niveau des cervicales



LES ADD **COCHLEO-VESTIBULAIRES** : LOCALISATION ET SYMPTÔMES

Lésions du nerf auditif

32 % des ADD

Atteinte de l'oreille interne

Touche les fonctions d'équilibre et audition

Vertiges ++++ (Tous les vertiges ne sont pas les symptômes d'un ADD)

Nausées

Vomissement

Baisse d'audition + / - sévère

Acouphène

Autres causes de problèmes d'oreille :

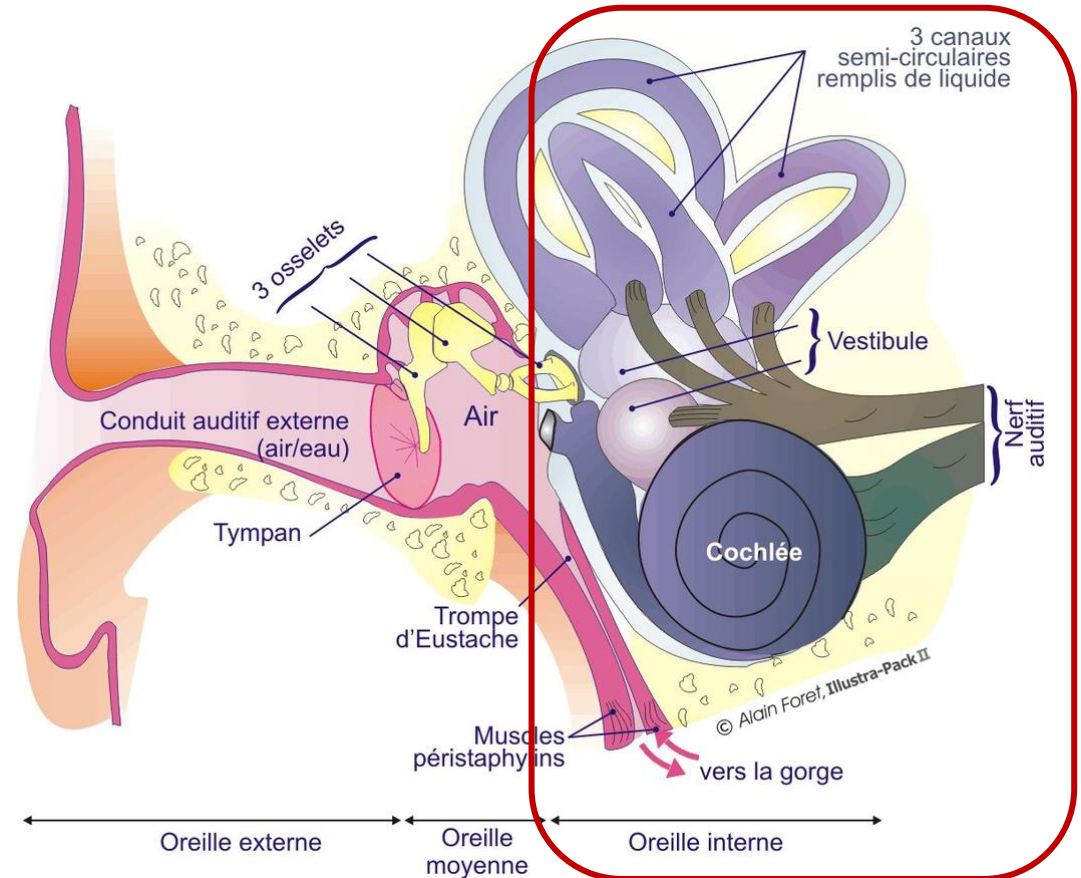
Vertiges alterno barique

BT oreille interne

BT oreille moyenne

Vertiges thermo différentiel

Mal de mer



DIFFERENTIATION DES ATTEINTES DE L'OREILLE

	MECANISME	DOULEURS	HYPOACOUSIE	DELAI D'APPARITION	DUREE	VERTIGES
ADD	Loi de Henry	∅	Oui, faible	Après la plongée : dans l'heure qui suit	6 mois	++++
ALTERNO-BARIQUE	Loi de Mariotte	Parfois légères	∅	A la remontée	< 15 min	++
BT OREILLE INTERNE	Loi de Mariotte	+++	+++	A la descente	A vie	++ lié à la position de la tête
BT OREILLE MOYENNE	Eau dans l'oreille moyenne suite rupture de tympan	++	++	A la descente	6 à 24 h	+++
THERMODIFFERENTIEL	Différence de température	∅	∅	Durant la plongée	Moins d'1 min	++
MAL DE MER	Désadaptation vestibulaire	∅	∅	Avant, pendant, après	Variable	+

Mémoire de Bernard SCHITTLY

La décompression : aspects théoriques et pédagogiques

LES ADD CEREBRAUX : LOCALISATION ET SYMPTÔMES

PEU FREQUENTS

Symptômes identiques à un AVC

Mécanisme artériel

Paralysie ou trouble sensitifs de symétrie verticale : hémiplégie, paralysie d'un membre

Fatigue importante

Troubles de l'élocution

Troubles sensoriels : vision

Maux de tête importants

Vomissement

Convulsions

Syncope, coma

Un ADD cérébral conduira à la recherche d'un FOP



Hémiplégie

Lésion des régions motrices du cerveau

LES ADD **CEREBRAUX** : LIVEDO RETICULORIS

ADD cérébral à manifestation cutanée

Présence de marbrures

Le cerveau lésé libère des molécules (neuropeptides) qui provoquent ce type de lésion cutanée



LES ADD OSTEO-ARTHRO- MUSCULAIRES : OAM ou BENDS

Concernent les grosses articulations :

Epaules

Genoux

Hanches

Poignets

Chevilles

Très douloureux +++

Douleurs non calmées au repos et résistantes aux antalgiques

Récidive fréquente

LES ADD CUTANÉES

Rares en plongée loisir

Bulles piégées dans les capillaires sous cutanées

➡ Puces :

Démangeaisons localisées ayant l'aspect de petites brûlures ou d'urticaire

➡ Moutons

Boursouflures en plaques

Démangeaisons dans les 2 cas

LE MALAISES DE DECOMPRESSION

Fatigue intense après la plongée, anormale.

Sentiment de mal être

Ce type de malaise peut évoluer vers un accident de type II

→ Souvent prostrée, renfermée sur soi : peut évoquer un mal de mer

CLASSIFICATION DES ADD

DATE DES ANNÉES 80

TYPE I : « bénins » : représente 22 % des ADD

Cutanées :

Puces

Moutons

OAM

Les malaises généraux

TYPE II : « grave » : représente 78 % des ADD

Neurologiques :

Médullaires

Centraux

Cochléo-vestibulaires

DELAI D'APPARITION DES ADD

50 % des signes apparaissent en moins de **30 min**

80 % en moins d'**1 heure**

99% au bout de **6h**

Précoces pour les types 2

D'autant plus graves que les délais d'apparition sont courts

Profondeur moyenne 34 m pour les ADD vestibulaires

Profondeur moyenne 41 m pour les OAM

Plus la plongée est profonde, plus les accidents sont graves

FACTEURS FAVORISANTS : SOUVENT MULTIFACTORIELS

- **DESHYDRATATION** : manque d'hydratation avant et après la plongée

Très souvent retrouvée dans les analyses d'accidents.

Altère la fluidité du sang. Augmentation de la viscosité sanguine qui conduit à des échanges gazeux moins efficaces et une désaturation moins bonne

- **ESSOUFFLEMENT / EFFORTS pendant et après la plongée**

Augmentation de la production de CO₂

CO₂ est un puissant vasodilatateur qui augmente le flux sanguin, la diffusion et la saturation tissulaire

CO₂ sert d'amorces aux bulles

Les efforts durant la descente et la phase de fond augmentent l'absorption de N₂

Un effort en fin de plongée ou immédiatement après une plongée peut augmenter la formation de bulles et la probabilité que ces bulles passent par les poumons sans être filtrées par la circulation sanguine.

- **FROID**

Augmentation du travail musculaire pour générer de la chaleur (frissons) qui conduit à l'augmentation de la production de CO₂

Vasoconstriction conduit à une diminution des zones de charge / décharge des gaz (peau, extrémités). Les gaz dissous vont se concentrer ailleurs dans l'organisme

- **FATIGUE**

Facteur préalable retrouvé dans bon nombre d'ADD

FACTEURS FAVORISANTS : SOUVENT MULTIFACTORIELS

LE FORAMEN OVALE PERMEABLE : SHUNT D /G

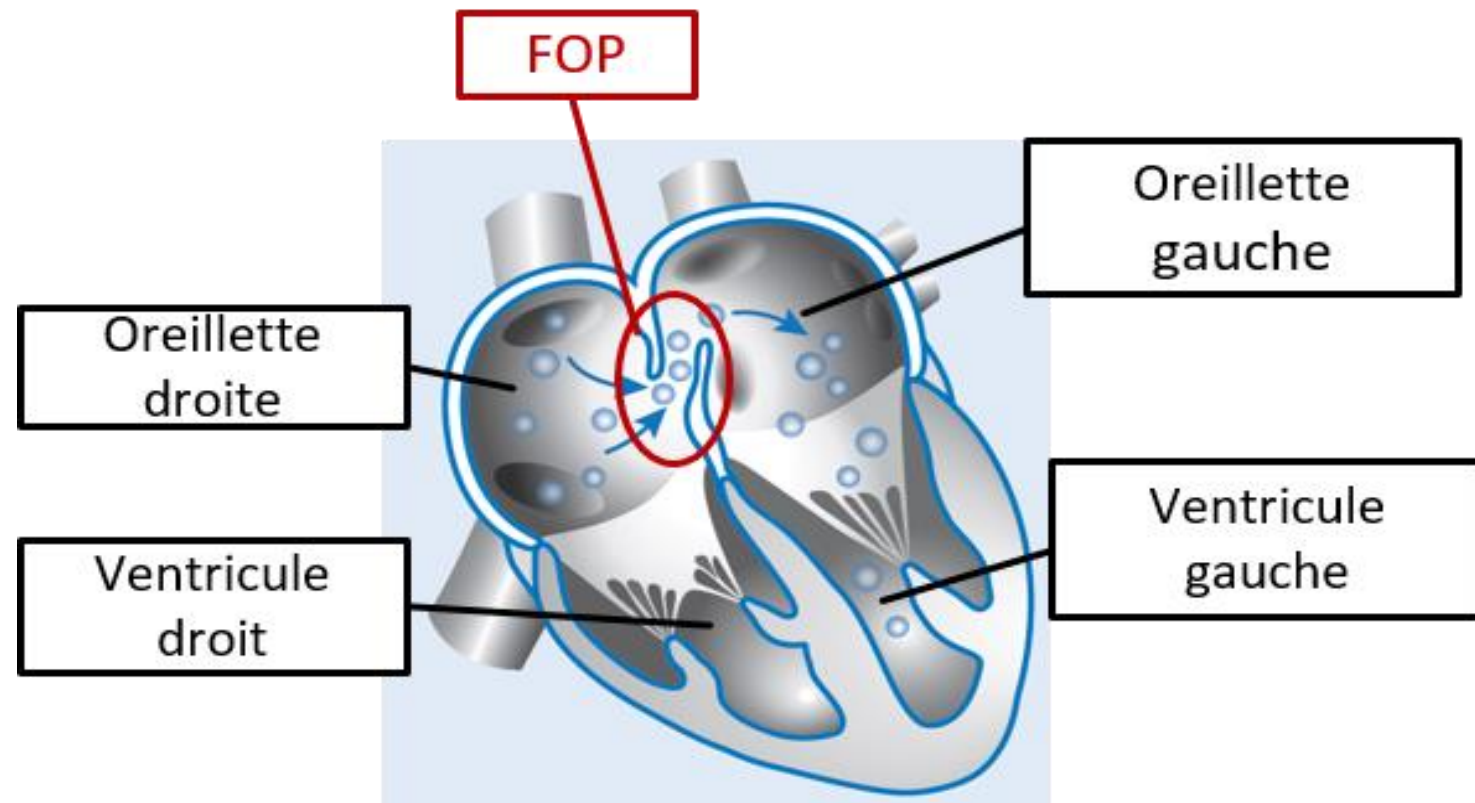
Ouverture du FOP par mise en hyperpression thoracique.

Dès que l'on s'immerge, il y a augmentation de la pression du cœur.

Dès lors qu'il y a effort à glotte fermé, la pression du cœur droit augmente encore.

Les bulles du cœur droit ont alors plus de facilité à passer vers le cœur gauche

« Effort » à effectuer sur expiration : montée à l'échelle, transfert de bloc, vomissements (mal de mer)



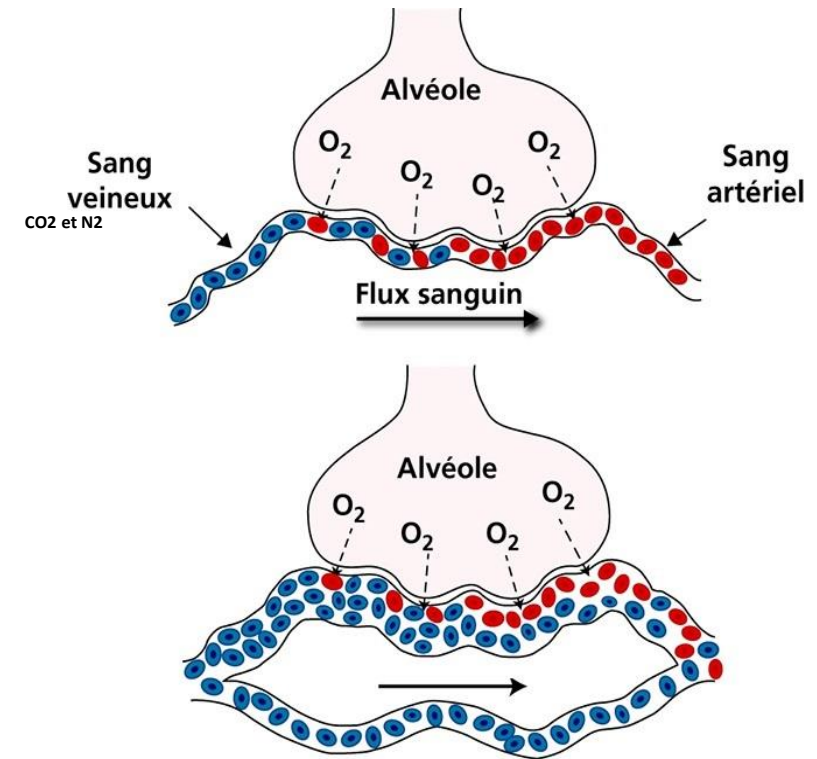
FACTEURS FAVORISANTS : SOUVENT MULTIFACTORIELS

SHUNT PULMONAIRE

Bulles trop grosses, trop nombreuses, le filtre pulmonaire est débordé.

Les bulles repartent dans la circulation

Fumeurs : échanges gazeux moins efficaces



FACTEURS FAVORISANTS : SOUVENT MULTIFACTORIELS

- **ALTITUDE / AVION**

Dégazage accentué par la dépressurisation en altitude

Augmentation du gradient de N₂

En avion la pression équivaut à 8000 pieds $\approx$ 0,76 b

En montagne : la pression atmosphérique diminue avec l'altitude : 0,1 b / 1000 m

- **ABSENCE DE PLONGEE DE READAPTATION**

Permet la mise en place de mécanismes de défense contre les microbulles

PROFIL DE PLONGEE :

Plongée profonde, saturante, yoyo, remontée rapide...

SEDENTARITE :

Une mauvaise condition physique augmente les risques d'ADD

Il est prudent de maintenir un niveau élevé de conditions physique

Adapter la pratique de la plongée à l'évolution physique

FACTEURS FAVORISANTS : SOUVENT MULTIFACTORIELS

AGE :

Est le reflet d'une condition physique et médicale compromise.

Perte progressive de la masse musculaire et réduction de l'activité métabolique des muscles vieillissants

Peut être limité par le maintien d'une bonne condition physique pour préserver ces capacités: nage, vélo, course ou tout autre activité physique

OBESITE :

La masse grasseuse augmente le volume de distribution.

N₂ a une affinité privilégiée pour les tissus adipeux

Dépendant de la condition physique

CONDUITE A TENIR - RIFAP

- Protéger-Alerter-Secourir → Mise sous O2 le plus rapidement possible : 15 l/ min, 100%

PROTEGER

Protection de soi-même et de la/des victime (s)

- Sécuriser la sortie de l'eau
- Mise en sécurité de la victime
- Éviter tout sur accident
- Limiter les allées et venues
- Protection du chaud, du froid, des intempéries

Rappeler les palanquées encore immergées

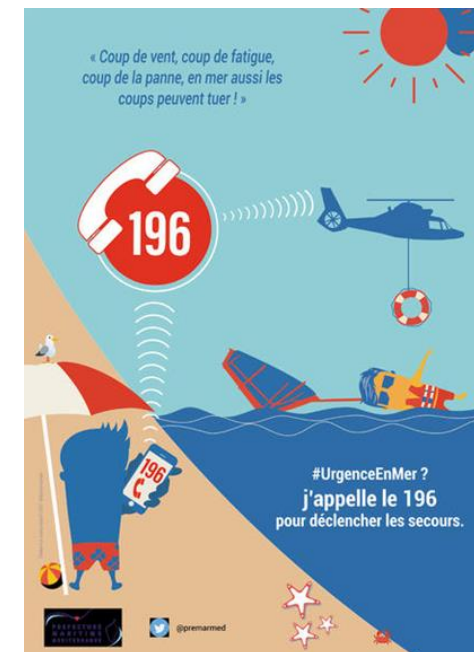
ALERTER

Rapide bilan de la victime avant d'appeler :

- Sur terre : France :15 (SAMU) ; Europe : 112
- En mer : VHF canal 16 _ 196 (proche littoral)

Message clair et circonstancié (identité-lieu- nombre victime et état- actions entreprises)

Ne raccrocher qu'après l'accord des secours



CONDUITE A TENIR - RIFAP

- Secourir

Conscient ?

OUI

Position de confort : 1/2 assis ou couché O2
au masque à 100 %, 15 L / min
Eau 1 L à boire si possible
Couvrir - Surveiller

NON

LVA

Respire ?

OUI

PLS
O2 à l'insufflateur à 100 %, 15 L / min
Couvrir - Surveiller

NON

Compressions thoraciques
O2 100% en insufflation
DEA

CONDUITE A TENIR - RIFAP

Secourir

Renseignement de la fiche d'évacuation

Rassembler le matériel de la palanquée

Transmission des informations auprès des services de secours sur place.

La/les victime (s) sera évacuée vers le centre hospitalier hyperbare le plus proche.



ROLE DU GP

Planification +++

- Air
- Prof, temps
- Modèles de désat

Discussion palanquée :

- Plongées précédentes ?
- Fatigue ?
- Appréhensions ?
- Hydraté ?

Lestage adapté

Equilibrage oreilles doux

Adaptation de la plongée aux conditions rencontrées

Surveillance des plongeurs :
stabilisation, consommation,
effort, temps fond restant,
....

Vitesse de remontée
lente, progressive

Faciliter la réalisation
des paliers : repères
visuels, points
d'accroche au besoin
(parachute)

Surveillance des
plongeurs et
hydratation : moment
convivial

Conseils post plongée:
Pas d'efforts physiques
dans les 12h, pas
d'apnée, No flight pdt
24h

PROCEDURES ANORMALES DE REMONTEE

→ Fiche technique FFESSM validée en CDN _ oct 2024

<https://rex.ffessm.fr/wp-content/uploads/2024/10/2024-10-Fiche-guide-Technique-Remontees-anormales.pdf>

→ Remontée rapide

Une remontée est dite rapide dès lors qu'elle dépasse, entre 30 mètres et la surface, une **vitesse supérieure à 15m/min sur une distance de 10m minimum.**

Conduite à tenir:

- 3 minutes max pour rejoindre un palier à mi-profondeur minimum et y rester 5 min.
- Lors de la remontée, rajouter aux éventuels paliers indiqués par son moyen de décompression 1 minute à 6m et 5 minutes à 3m.
- Si impossible de se ré immerger → mise sous oxygène + déclenchement des secours.

PROCEDURES ANORMALES DE REMONTEE

→ Interruption de paliers obligatoires

Conduite à tenir :

- Réimmersion dans les 3 min et suivre les indications de l'ordinateur utilisé en ajoutant 3 min au palier de 3m.
- Si impossibilité de se réimmerger :
 - signe d'un possible accident OU plus de 3min de paliers non réalisés :
 - ➡ mise sous oxygène et déclenchement des secours
 - pas de signe d'un possible accident OU moins de 3min de paliers non réalisés :
 - ➡ période d'observation de 3 heures et interdiction de nouvelle plongée pendant 24 heures.
 - ➡ Au moindre signe pouvant évoquer un accident, déclenchement des secours

Le meilleur
accident est celui
qui n'arrive pas

- Attention à la rapidité de prise en charge
- Les ADD restent statistiquement peu élevés en nombre mais sérieux
- NITROX au palier ou durant la plongée





Questions ??

