



Les accidents «immérités» en plongée sous-marine de loisir chez l'adulte

**Accident «immérité» = accident
survenant après une procédure de
décompression faite dans les règles
(vitesse de remontée et paliers)**

Anomalies congénitales

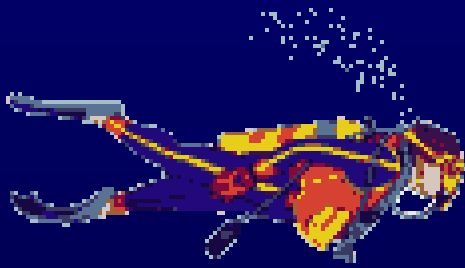

- FOP
- Shunts artério-veineux pulmonaires
- Shunts (hépatiques, musculaires...)
- Complexité de la vascularisation veineuse vertébro-médullaire
- Thrombophilie acquise ou héréditaire
-

Maladies acquises

- Maladies du muscle cardiaque
- Troubles du rythme cardiaque
- Maladies des coronaires
- Maladies des valves cardiaques
- Maladies des vaisseaux
- Maladies pulmonaires
-

Le vieillissement

- Fonction respiratoire
- Fonctions cardio-vasculaires
- Les liquides organiques
- Squelette, muscles, appareil locomoteur
- Système nerveux, endocrinien, homéostasie

- 
- 
- Redistribution sanguine (Blood Shift)
 - Déshydratation (respiration, diurèse d'immersion, froid)
 - Vasoconstriction (froid, hyperoxie)
 - Modifications ventilatoires en hyperbarie
 - L'embolie gazeuse de la décompression ++++

ADP expliqués

- Le milieu
- Le plongeur
- La plongée
- Le matériel

ADD «inexpliqués»

- Médullaires
- Vestibulaires
-
-

ADP «inexpliqués»

- Embolie pulmonaire
- Infarctus du myocarde
- Troubles du rythme cardiaque

Pathologie dysbarique

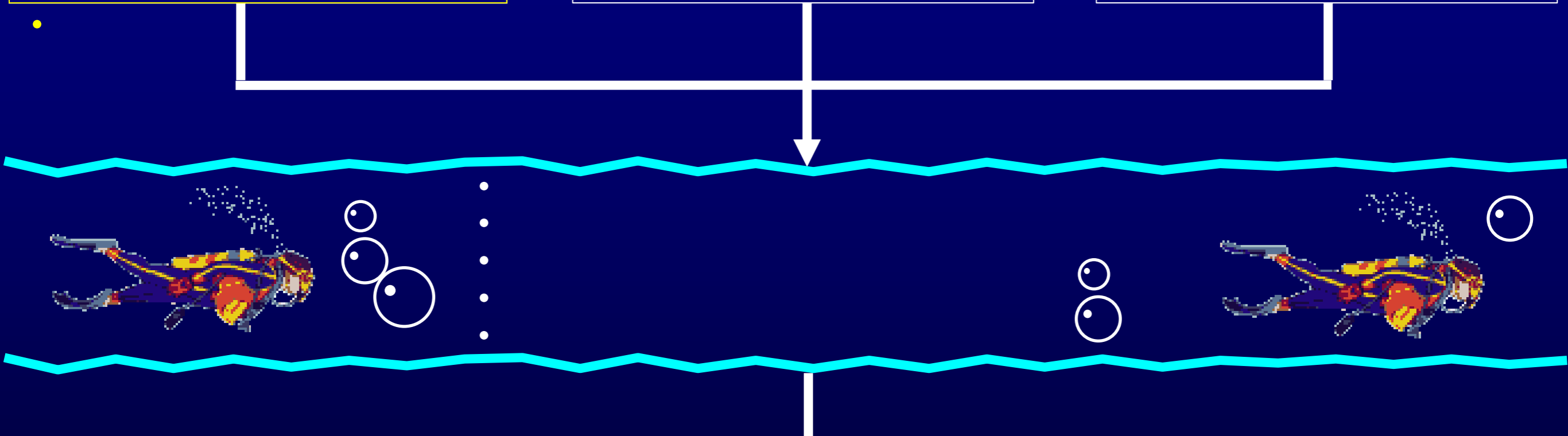
- Effets au long cours de la plongée
- Sur les poumons
 - Sur le système nerveux
 - Sur l'oreille
 - Ostéonécrose dysbarique +++

Anomalies congénitales

- FOP
- Shunts artériovo-veineux pulmonaires
- Shunts (hépatiques, musculaires...)
- Complexité de la vascularisation veineuse vertébro-médullaire
- Thrombophilie acquise ou héréditaire

Maladies acquises

Le vieillissement



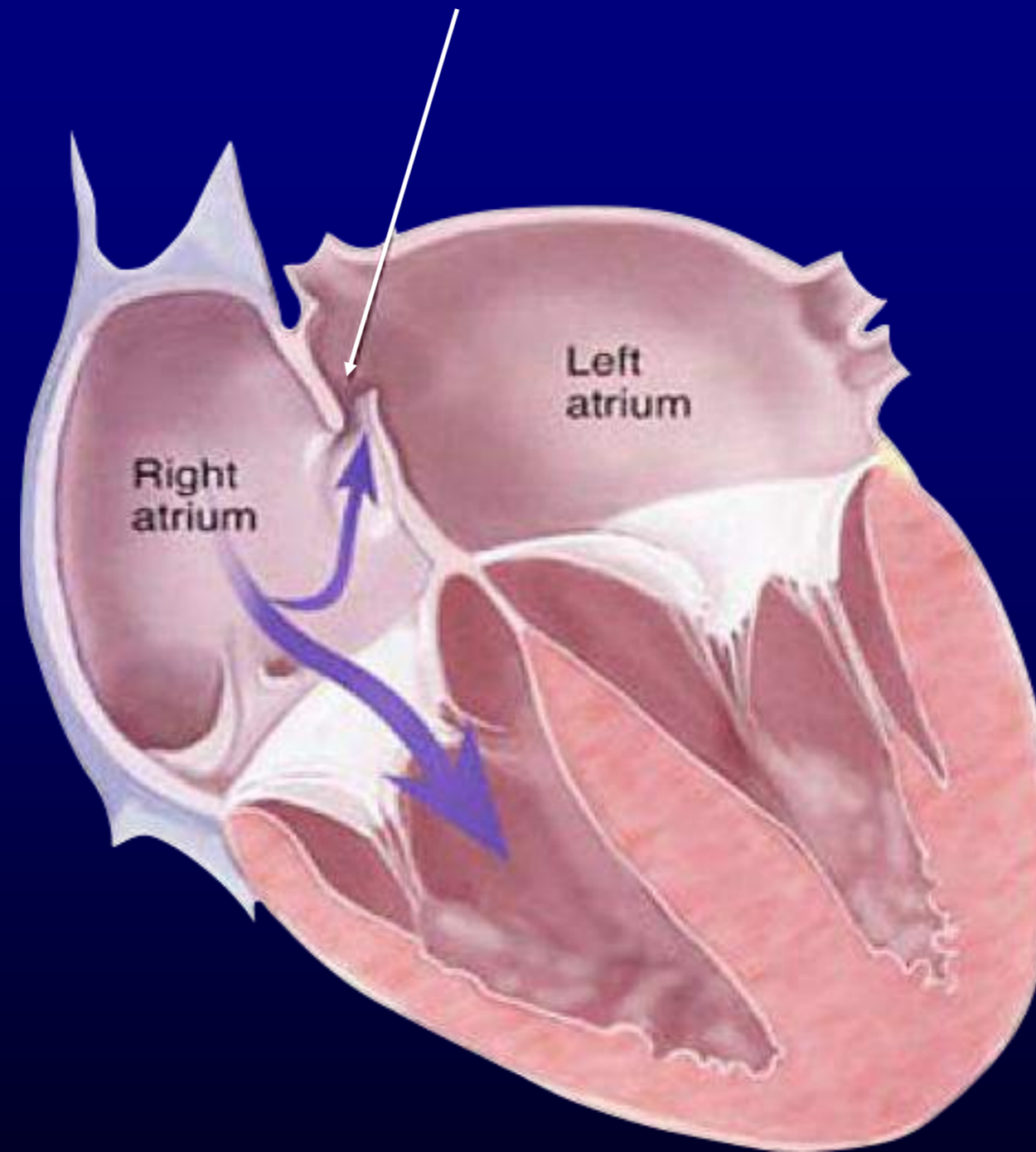
ADP expliqués

ADD «inexpliqués»

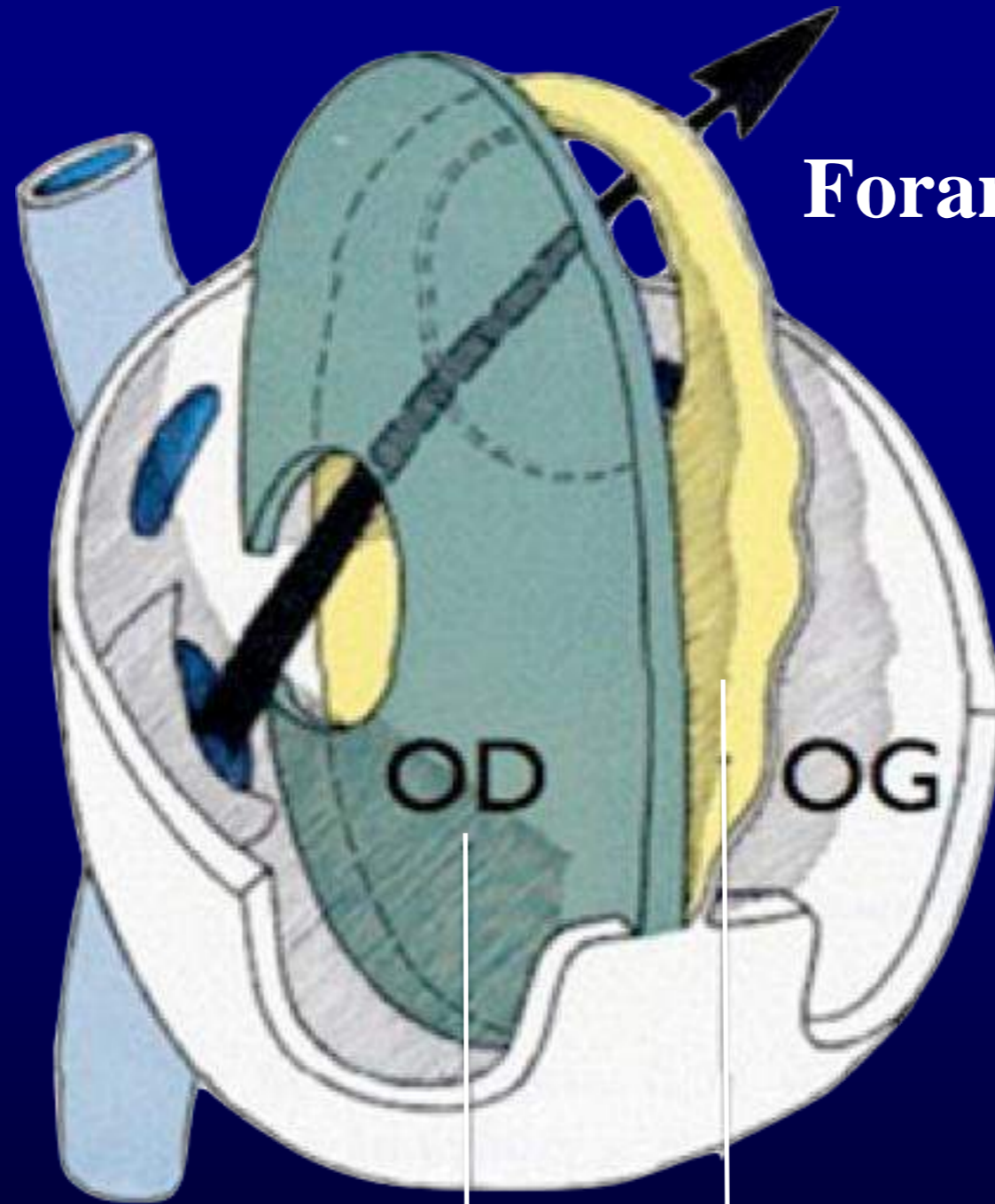
ADP «inexpliqués»

Pathologie dysbarique

Foramen ovale perméable



Veine cave supérieure



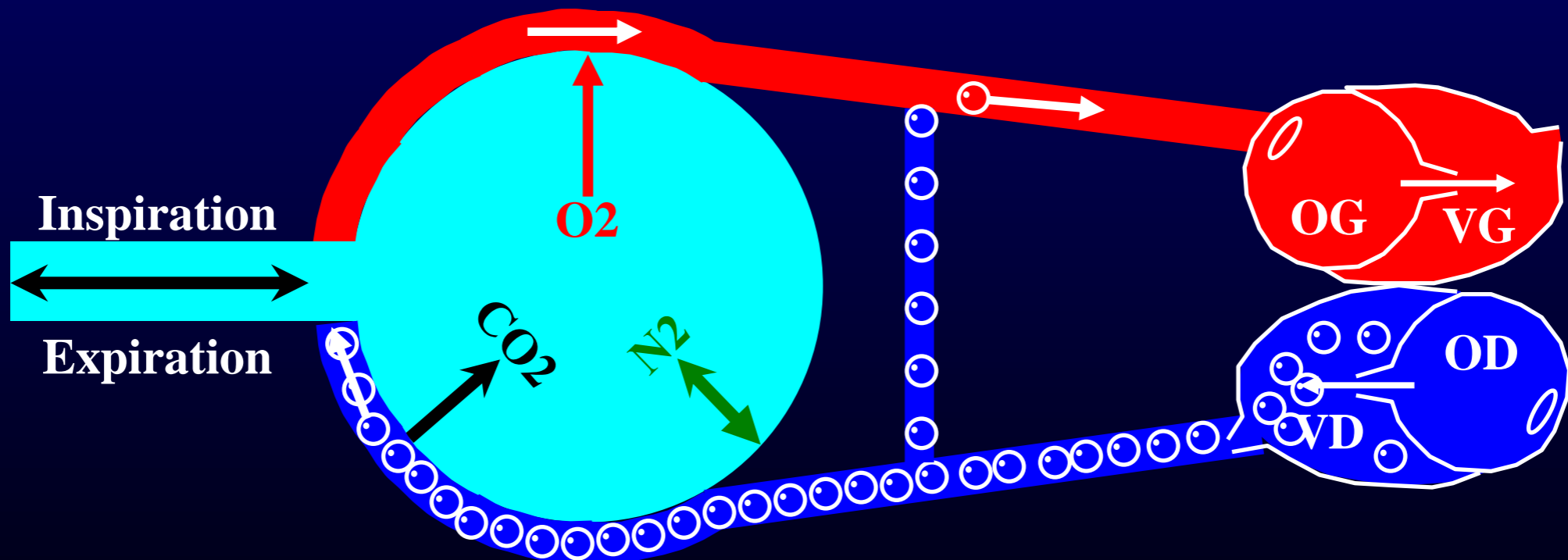
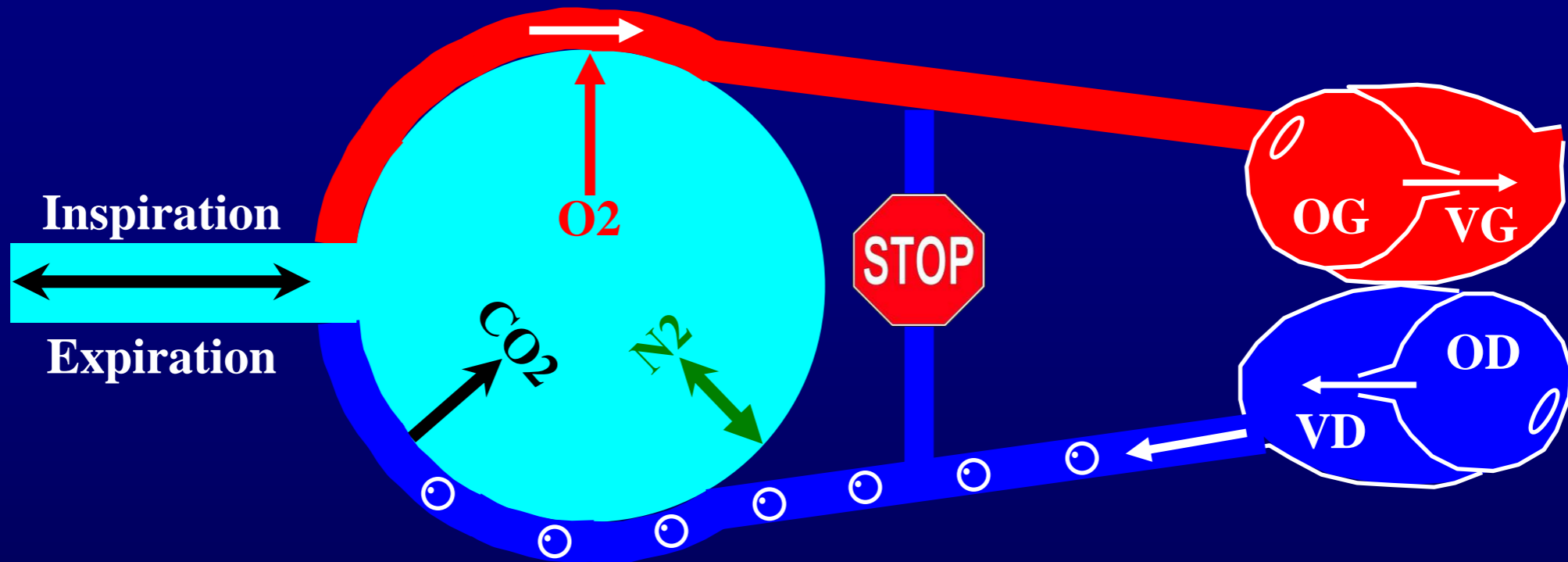
Foramen ovale perméable

Veine cave inférieure

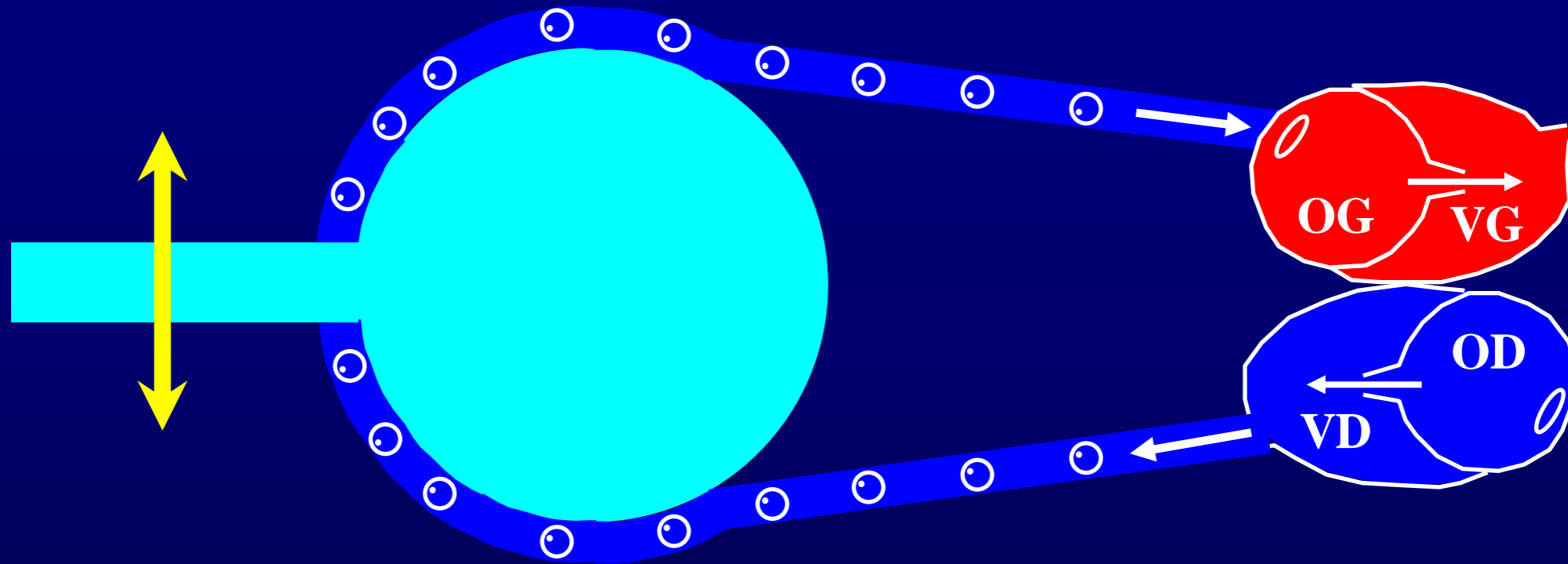
Septum primum

Septum secundum

Shunts artério-veineux pulmonaires par HTAP



Shunts artério-veineux pulmonaires malformatifs



- Un shunt au niveau pulmonaire est un espace perfusé non ventilé
- Nous ne sommes pas égaux devant la désaturation
- Physiologiquement nous avons à la base un pourcentage de shunt préexistant
- Certains facteurs notamment le tabac peut augmenter ce pourcentage de shunt
- L'exercice physique et l'entraînement permettent d'améliorer la situation

Shunts artério-veineux pulmonaires

- **Malformatifs ou par HTAP**
- **Fréquence nette dans les ADD : 25,8% des cas**
- **Fréquence accrue dans les accidents neurologiques centraux**

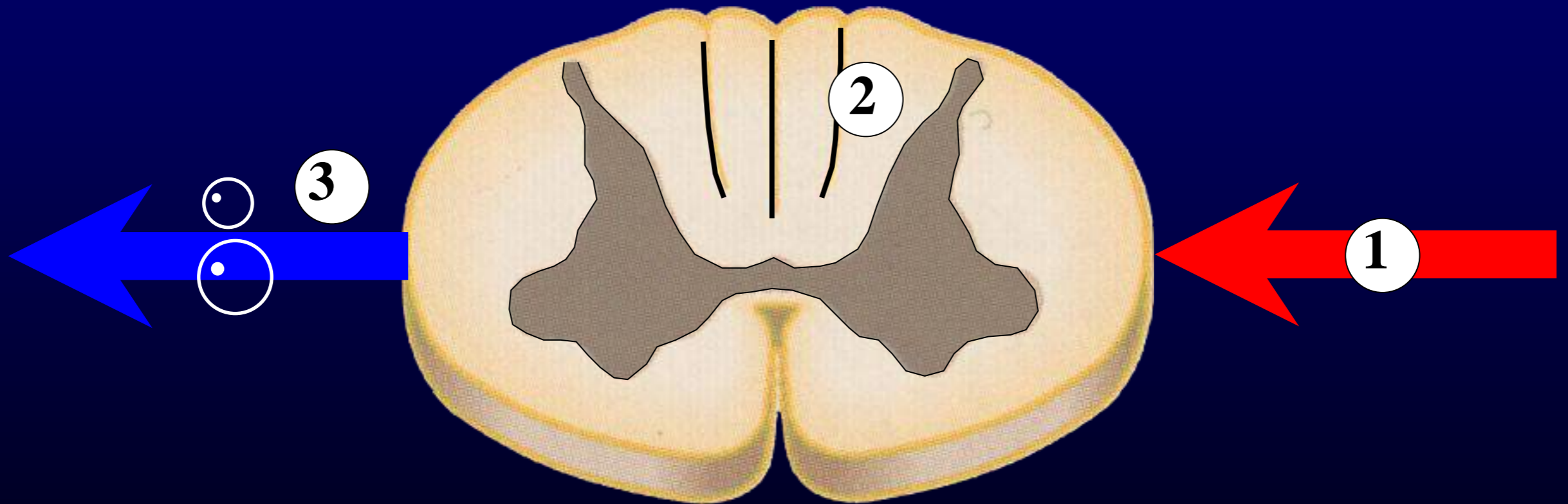
Conséquences :

Mauvaise élimination du N₂ par le filtre pulmonaire

Passage des bulles dans le circuit artériel

Les 3 hypothèses physiopathologiques de l'ADD médullaire (4)

- 3 • Infarcissement veineux : la plus probable
- Notion d'engorgement veineux bullaire au niveau des plexus épiduraux
- Stase sanguine et ischémie d'amont



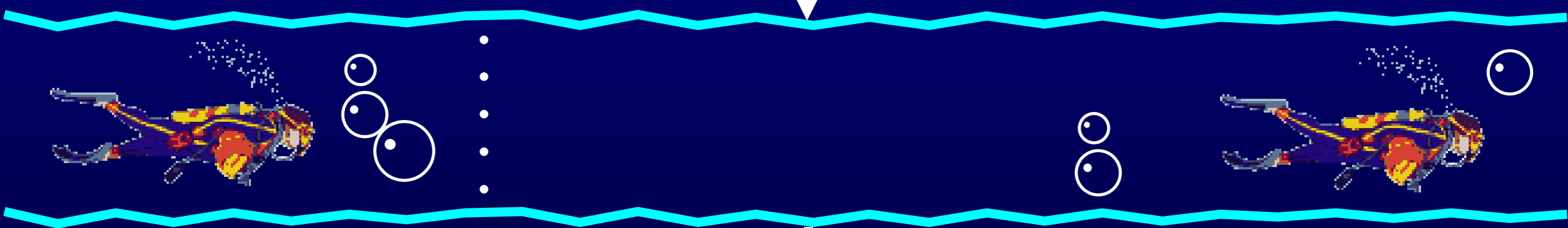
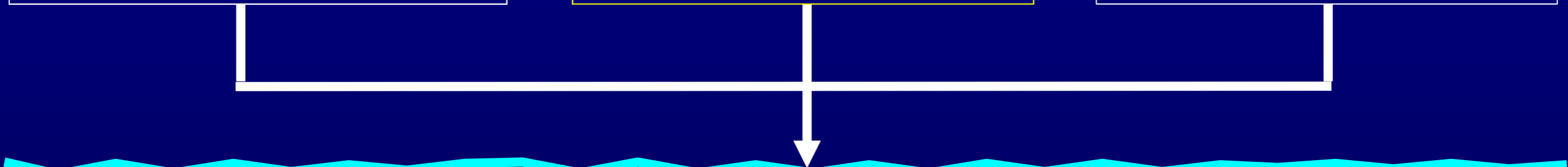
Anomalies congénitales

- FOP
- Shunts artériovo-veineux pulmonaires
- Shunts (hépatiques, musculaires...)
- Complexité de la vascularisation veineuse vertébro-médullaire
- Thrombophilie acquise ou héréditaire

Maladies acquises

- Maladies du muscle cardiaque
- Troubles du rythme cardiaque
- Maladies des coronaires
- Maladies des valves cardiaques
- Maladies des vaisseaux
- Maladies pulmonaires
-

Le vieillissement



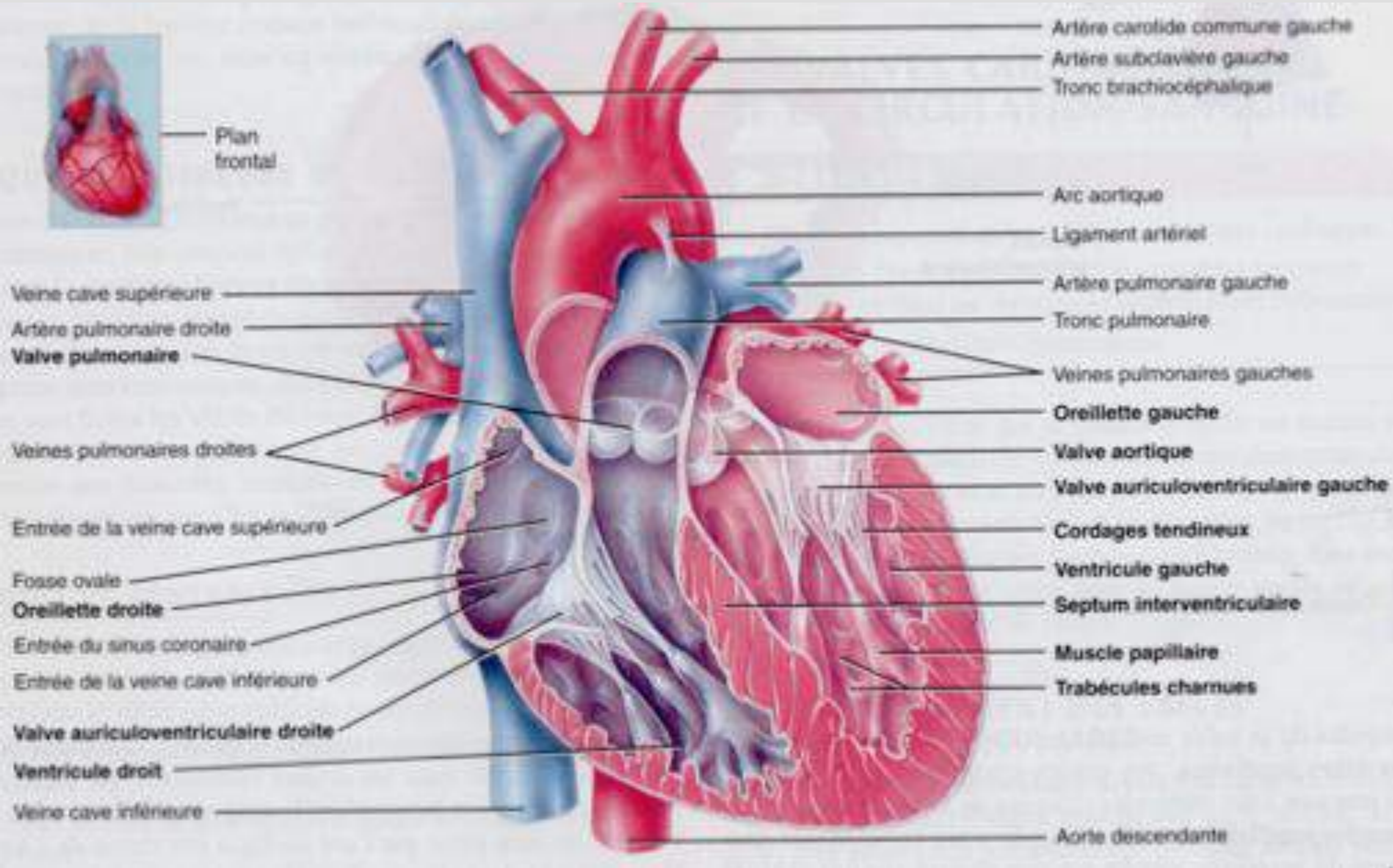
ADP expliqués

ADD «inexpliqués»

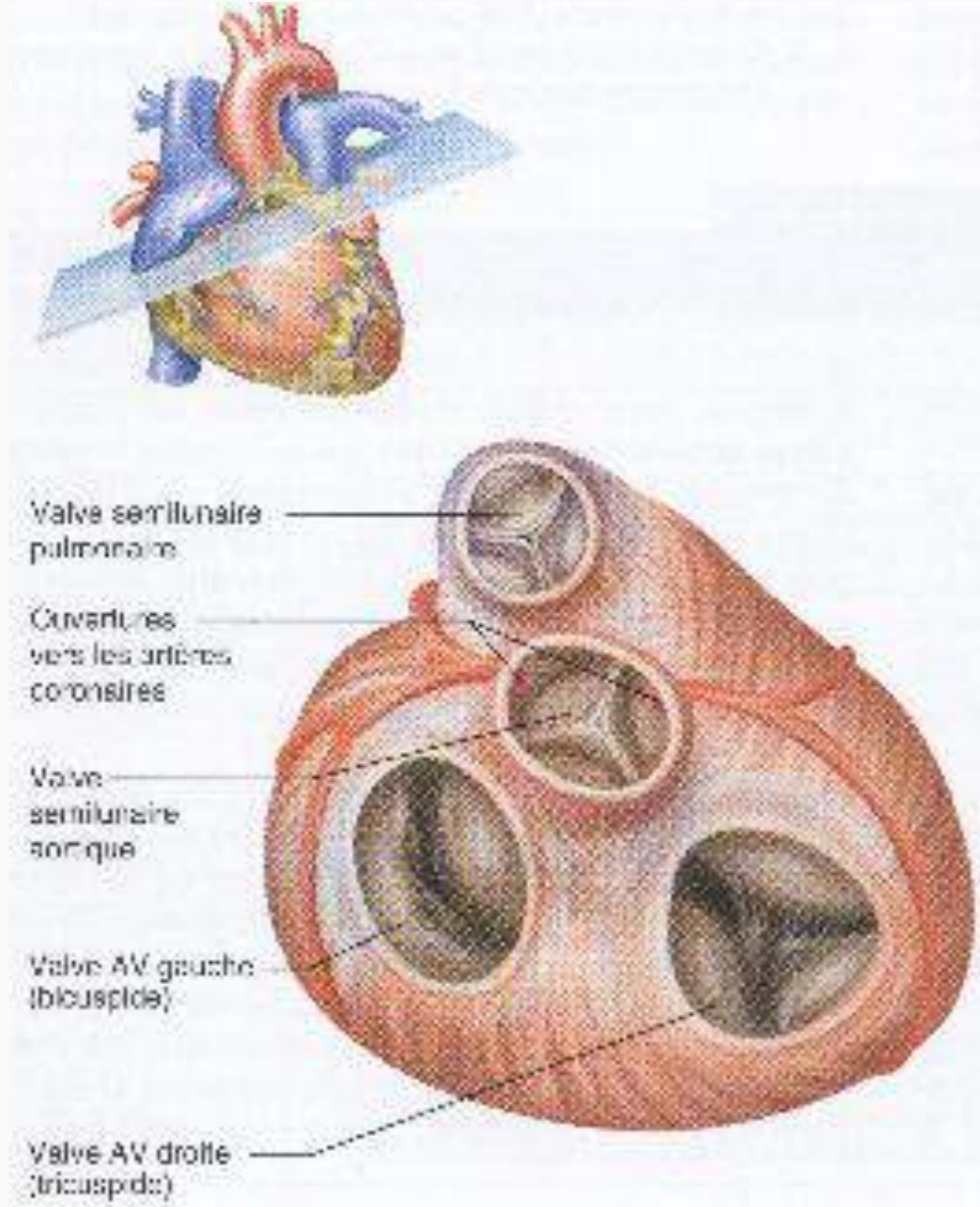
ADP «inexpliqués»

Pathologie dysbarique

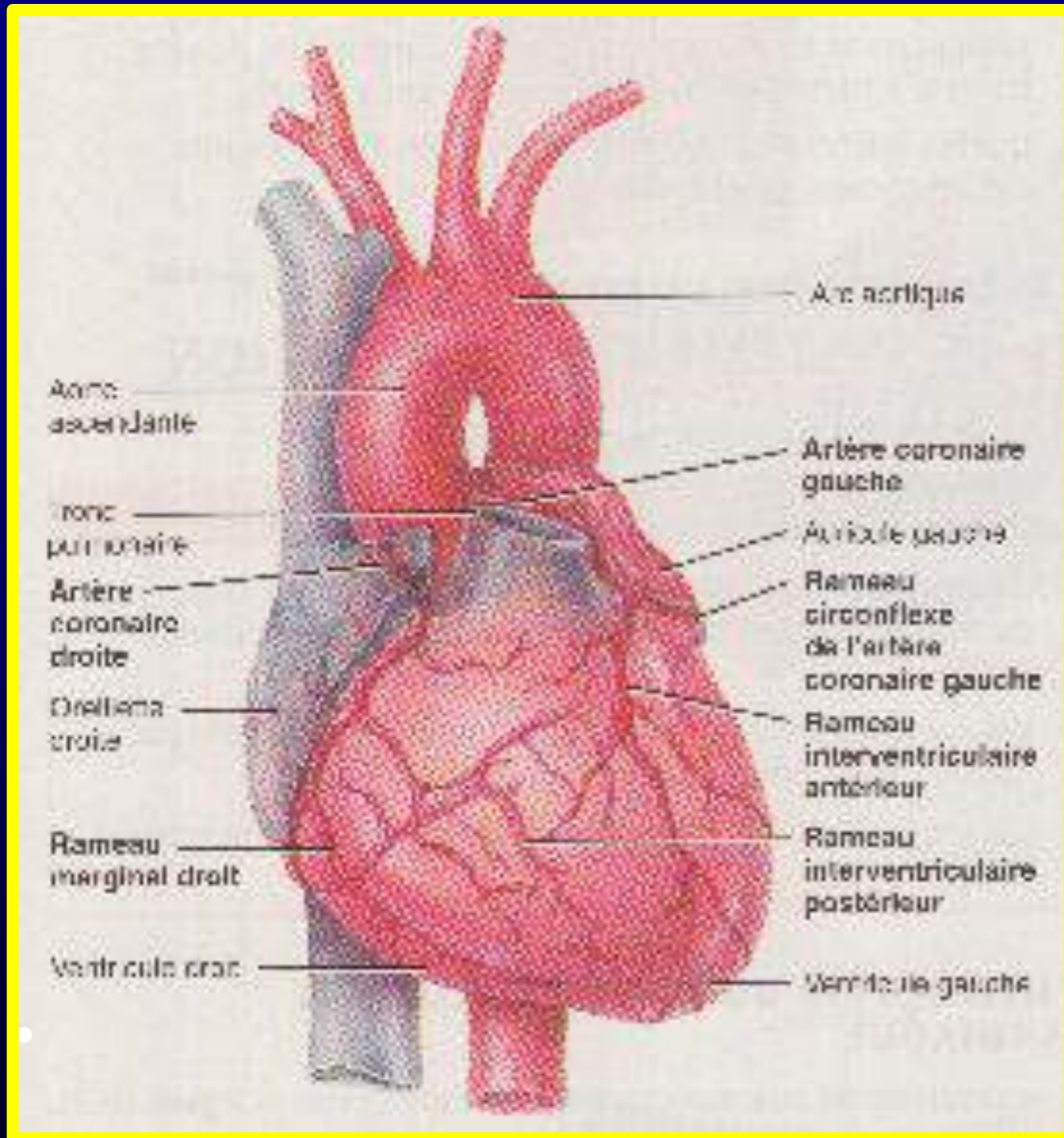
Anatomie interne du coeur



Anatomie interne du coeur : Valves cardiaques

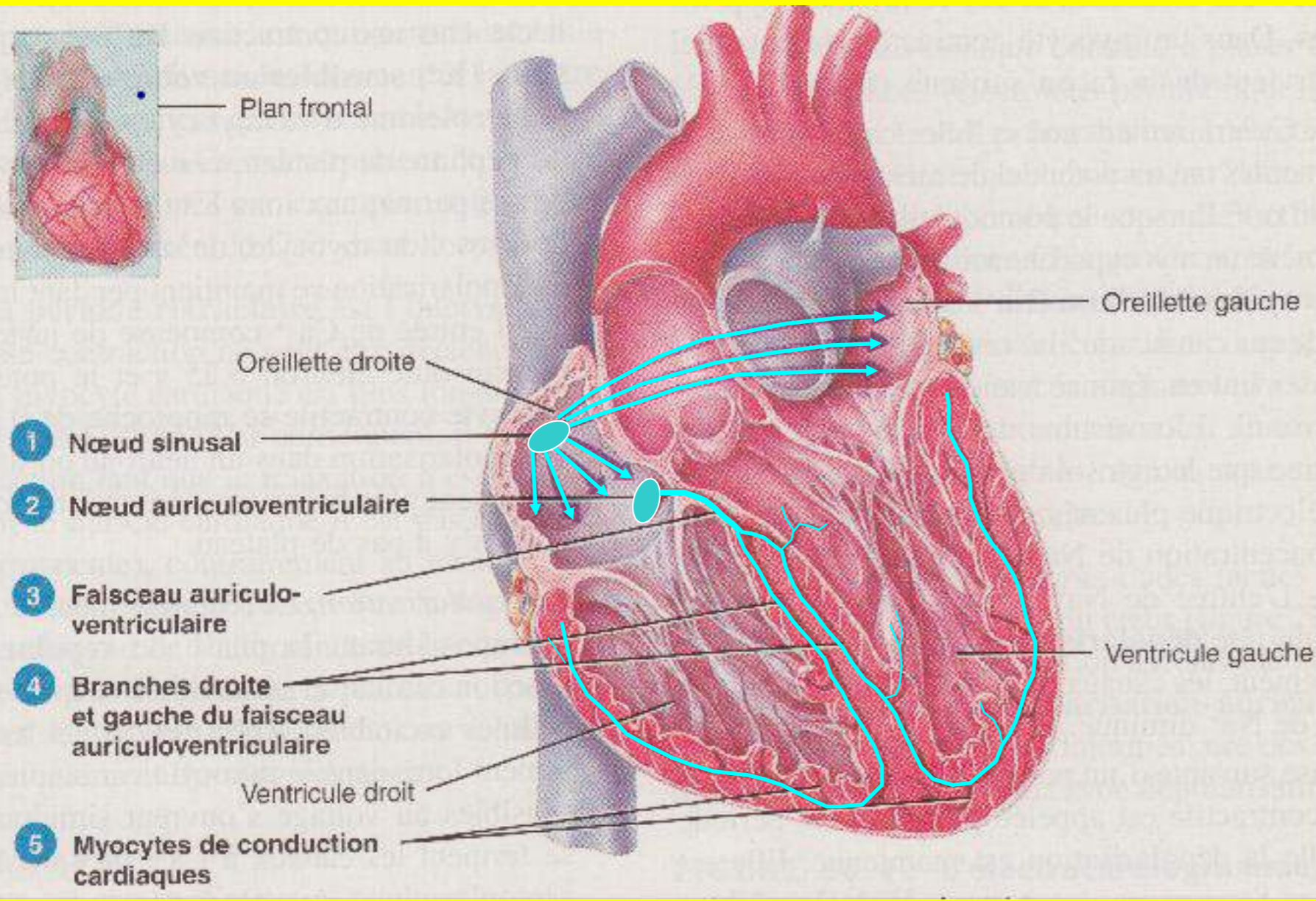


Systeme cardio-vasculaire



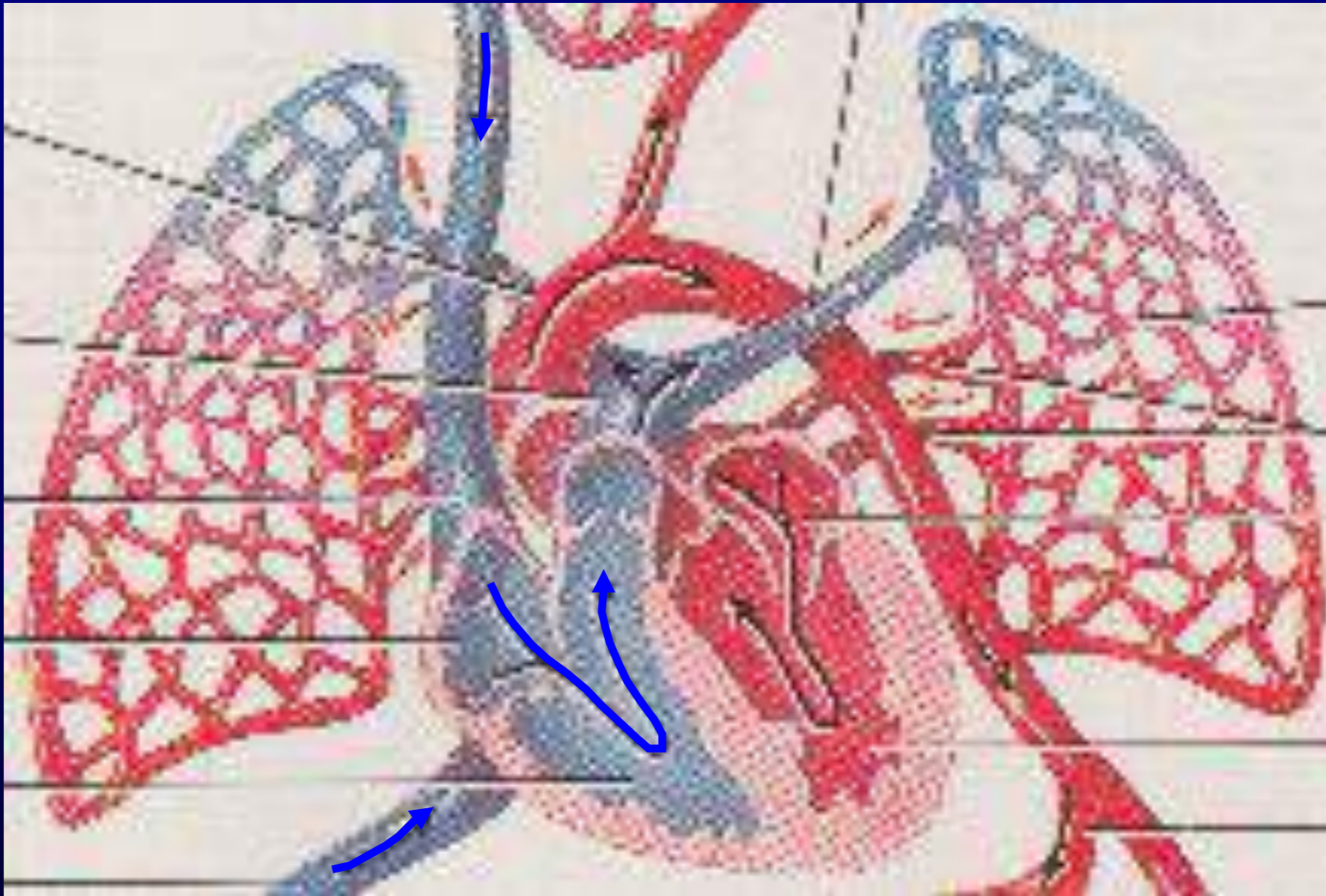
- Le tissu musculaire du coeur possède sa propre circulation artérielle et veineuse systemique.
- Les artères coronaires droites et gauches prennent naissance sur l'aorte thoracique ascendante. L'artere gauche est plus importante que l'artere droite; elle comporte deux rameaux l'artere interventriculaire anterieure et l'artere circonflexe. Chaque branche artérielle vascularise son propre territoire.
- Il peut se développer une circulation collaterale composée de petites ramifications pour contourner un étranglement artériel du fait d'un dépôt (athérome).

Systeme de conduction électrique intracardiaque



- La majorité des cellules du tissu nodal peuvent générer l'automatisme cardiaque, les plus rapides imposant leur rythme aux autres.
- Ce sont les cellules du nœud sinusal qui, normalement commandent l'automatisme, (rythme sinusal à 100 décharges / minutes), régulées par des mécanismes neuro-hormonaux.
- En cas de déficience du nœud sinusal, un autre groupe de cellules du tissu normal prend le relais, en fonction de sa fréquence propre.
- Plus on s'éloigne du nœud sinusal, plus la fréquence est basse (bradycardie).
- En cas de déficience et d'accélération de la fréquence d'un groupe autre que le nœud sinusal, ce groupe prend la commande du rythme cardiaque (tachycardie).

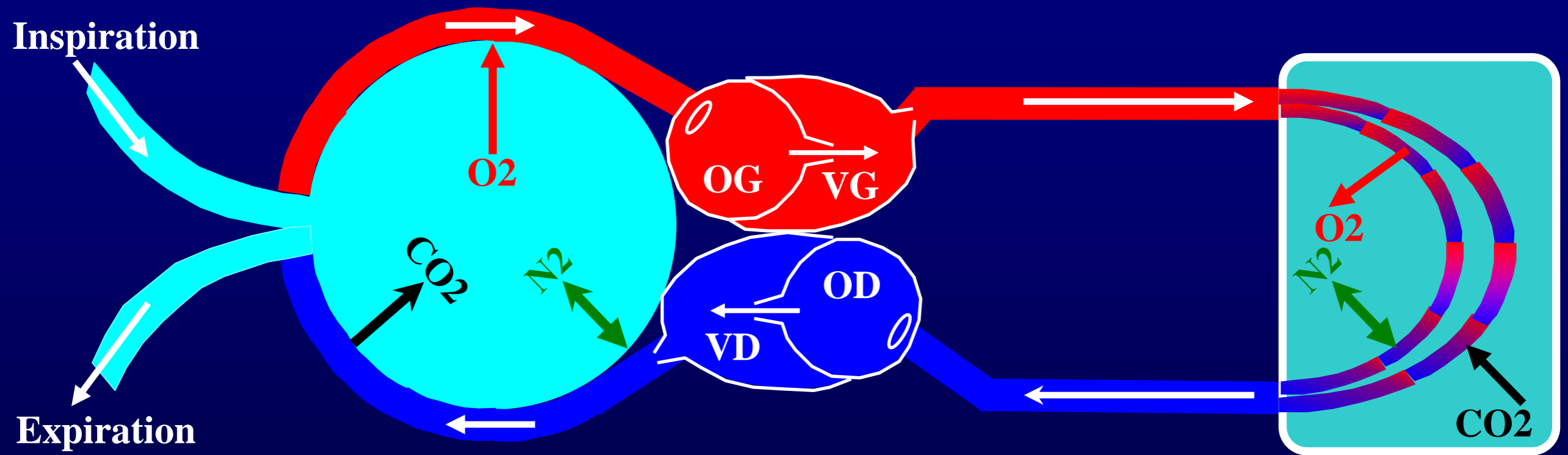
Les voies de la circulation sanguine



Les veines arrivent aux oreillettes

Les artères partent des ventricules

L'appareil pneumo-cardio-circulatoire



**Voies
aériennes**

Poumons

Coeur

**Grande
circulation**

Tissus

Alvéoles

Muscle

Artères

Moelle épinière

Petite circulation

Coronaires

Veines

Cerveau

Tissu nodal

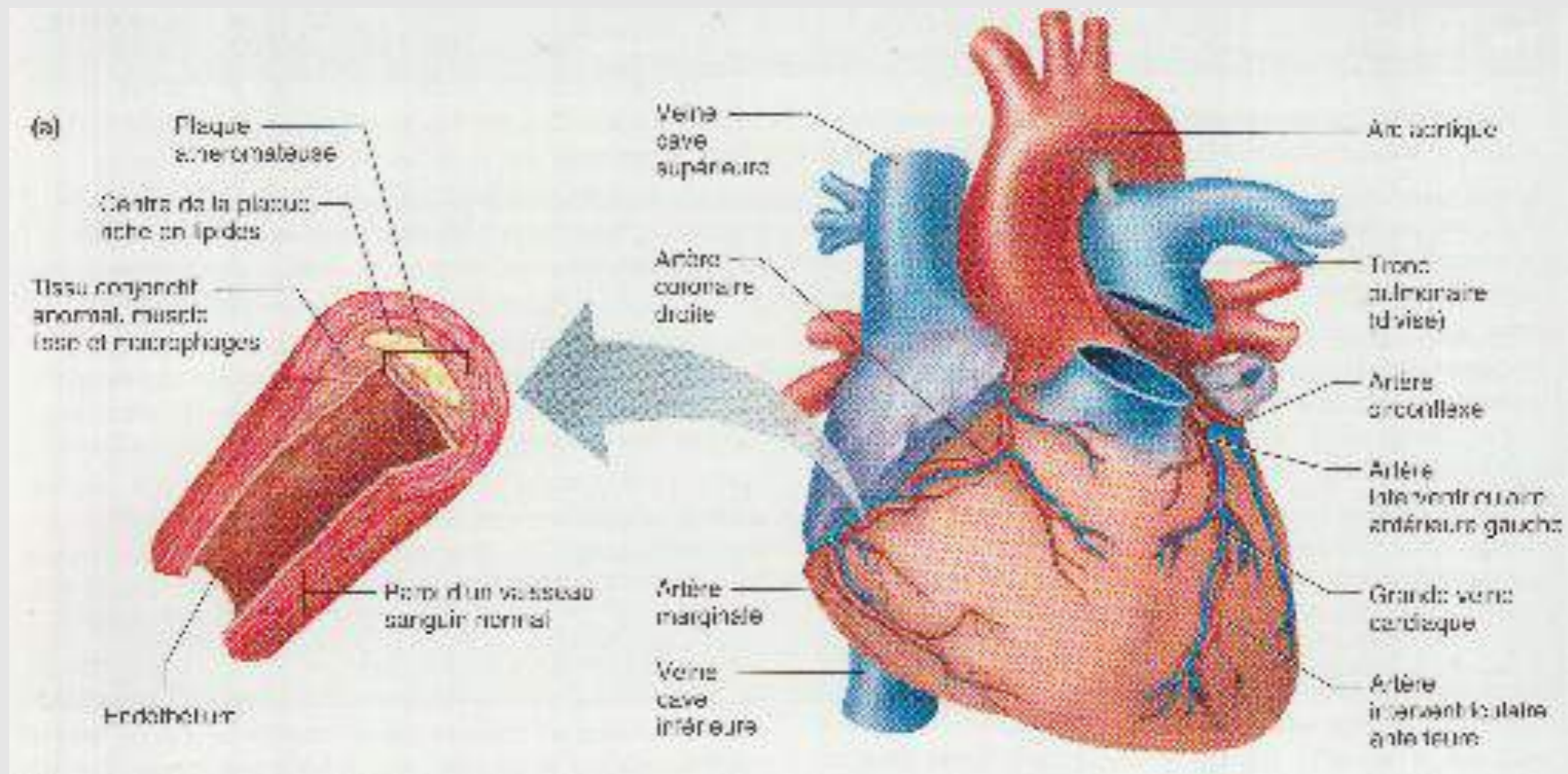
Oreille interne

Valves

Les maladies cardiovasculaires

- **Maladies des coronaires : angine de poitrine, infarctus du Myocarde**
- **Maladies du muscles cardiaque : insuffisance cardiaque**
- **Maladies des valves cardiaques**
- **Maladies du rythme et de la conduction cardiaque**
- **Maladies des vaisseaux (pulmonaires et / systémiques)**

Les maladies cardiovasculaires



Athérosclérose coronarienne

Les accidents cardiaques

- **2 à 15 % des accidents de plongée**
- **Accidents coronariens**
- **Troubles du rythme supra-ventriculaires et ventriculaires**
- **Décompensation cardiaque dans les 72 heures**

Anomalies congénitales

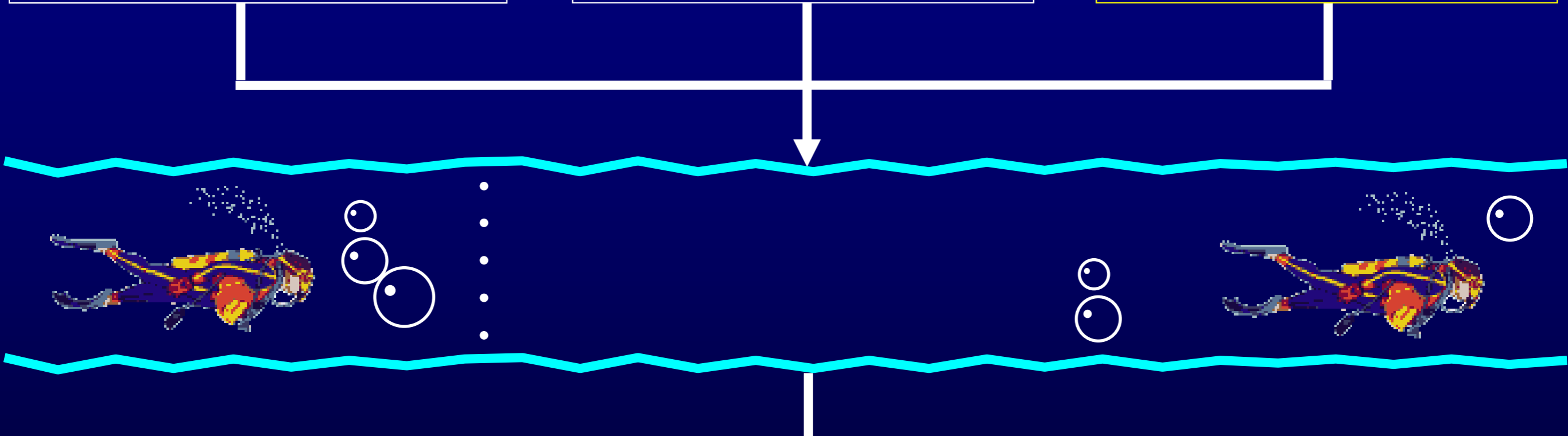
- FOP
- Shunts artério-veineux pulmonaires
- Shunts (hépatiques, musculaires...)
- Complexité de la vascularisation veineuse vertébro-médullaire
- Thrombophilie acquise ou héréditaire

Maladies acquises

- Maladies du muscle cardiaque
- Troubles du rythme cardiaque
- Maladies des coronaires
- Maladies des valves cardiaques
- Maladies des vaisseaux
- Maladies pulmonaires
-

Le vieillissement

- **Fonction respiratoire**
-
-
-
-
-



ADP expliqués

ADD «inexpliqués»

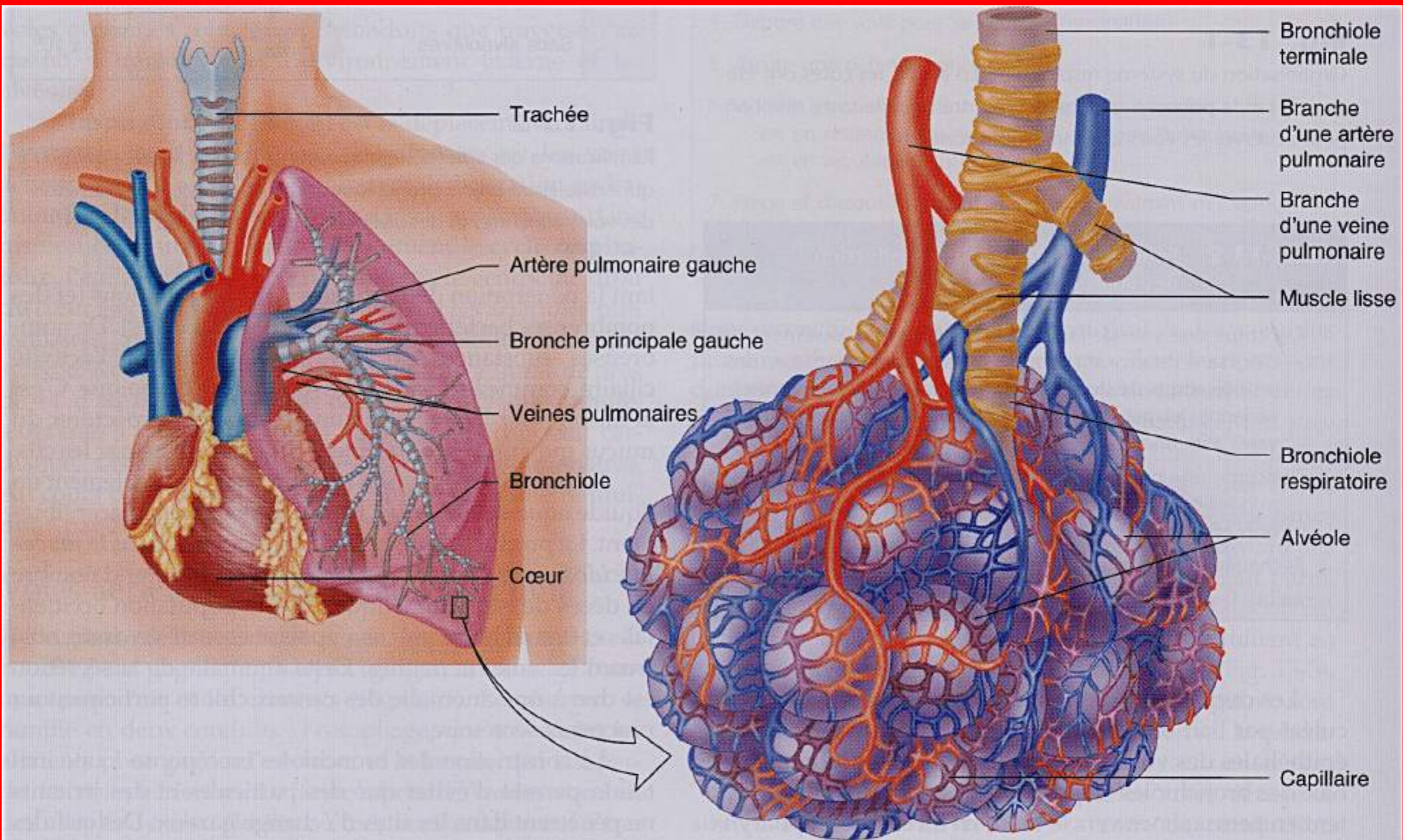
ADP «inexpliqués»

Pathologie dysbarique

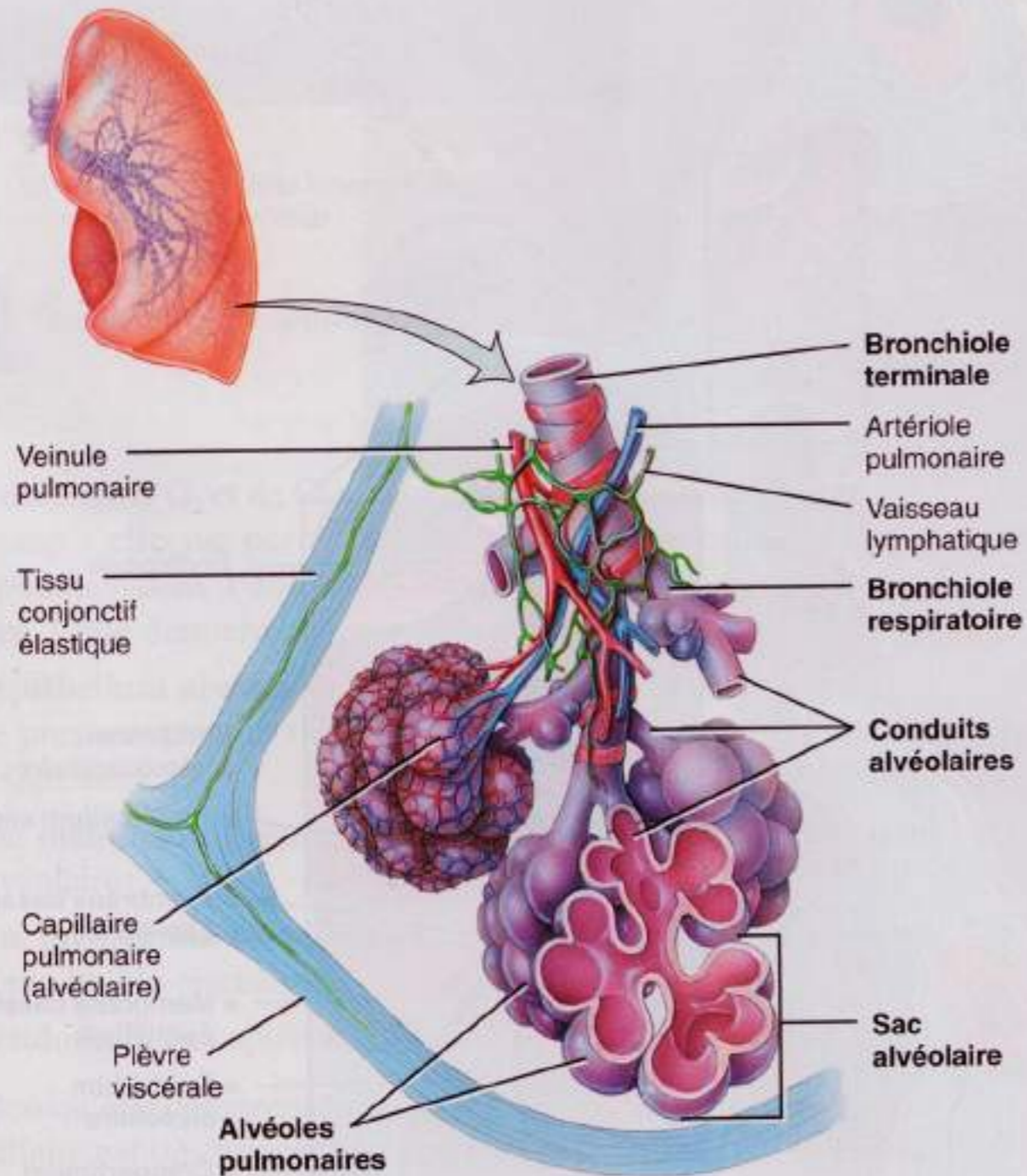
Vieillesse et ADD «immérités»

- **15% des plongeurs accidentés ont un âge entre 60 et 69 ans**
- **5% des plongeurs ont un âge entre 60 et 69 ans**

Le vieillissement est un facteur favorisant l'ADD et / ou sa gravité

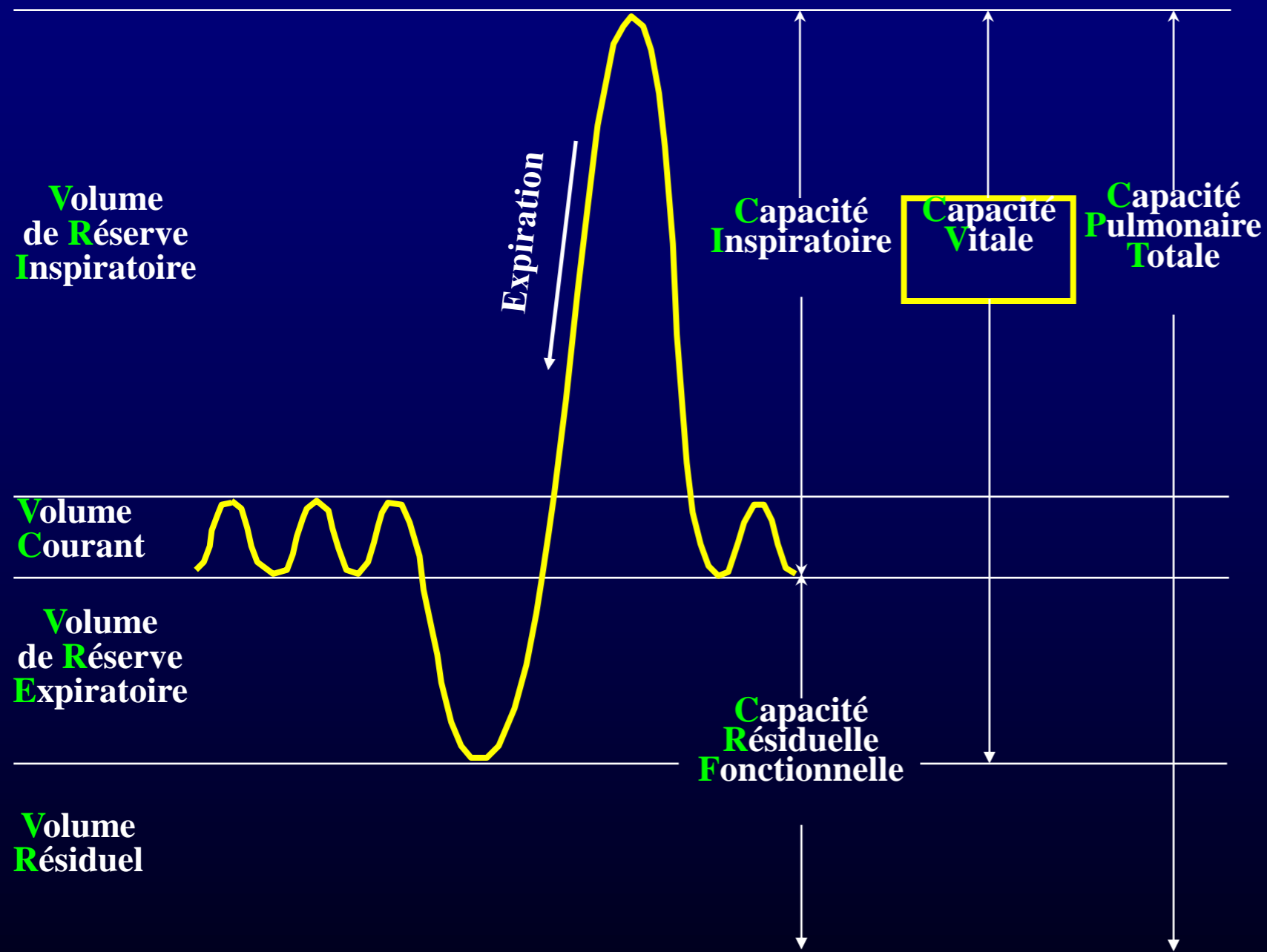


Détérioration anatomique de l'appareil respiratoire avec le vieillissement



- Diminution de l'élasticité des structures de soutien pulmonaires qui deviennent plus rigides avec l'âge
- Diminution du nombre des alvéoles (réduction de la surface des échanges gazeux : 300 millions d'alvéoles = 70 m² chez le jeune)
- Epaissement de la basale des capillaires pulmonaires

Dégradations fonctionnelles de l'appareil respiratoire avec le vieillissement



- Diminution de la capacité vitale de 30% entre 20 et 60 ans
- Diminution de la capacité de diffusion des poumons d'environ 25% entre 20 et 60 ans.

Spirogramme des volumes et des capacités respiratoires

Anomalies congénitales

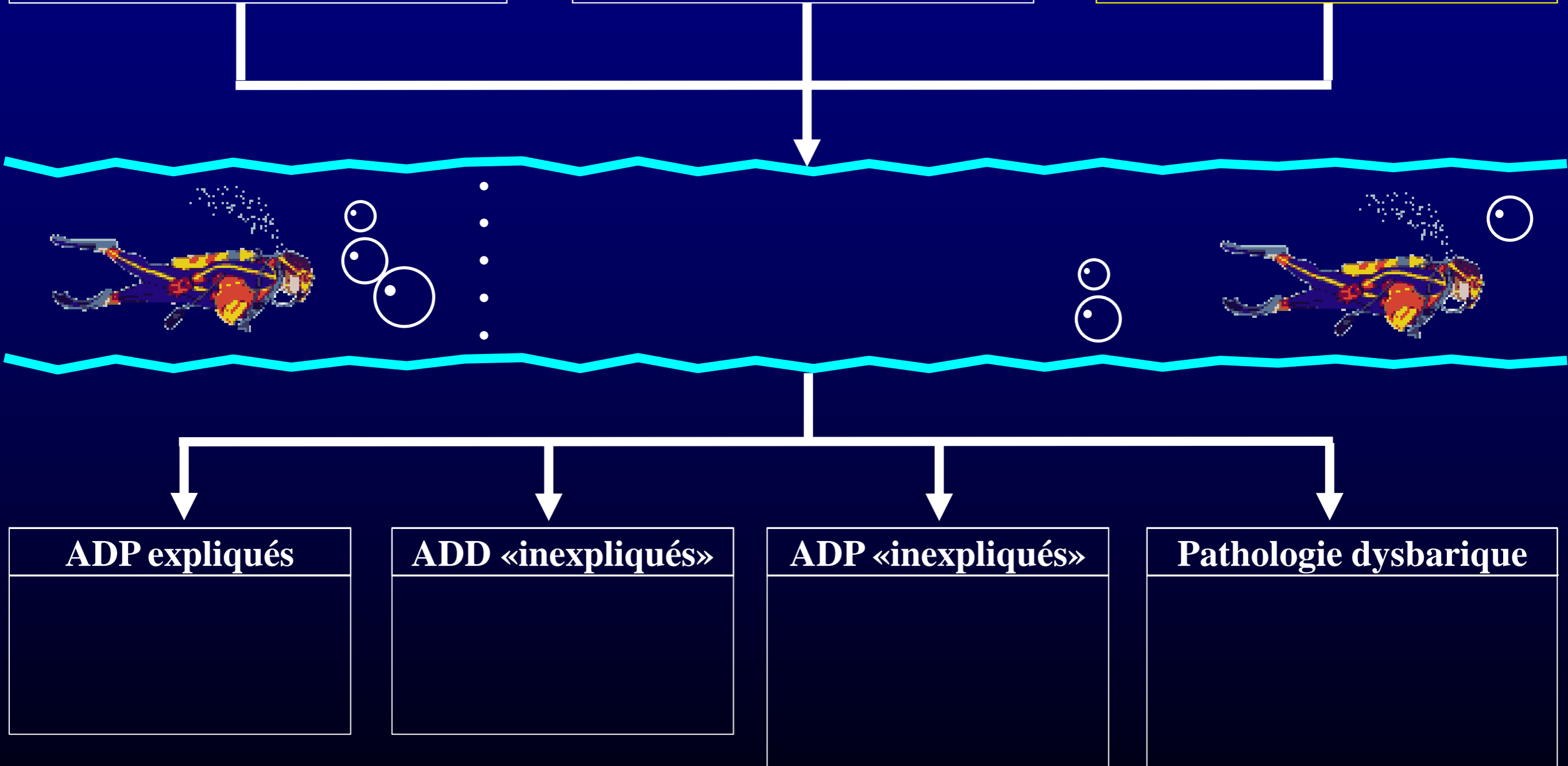
- FOP
- Shunts artério-veineux pulmonaires
- Shunts (hépatiques, musculaires...)
- Complexité de la vascularisation veineuse vertébro-médullaire
- Thrombophilie acquise ou héréditaire

Maladies acquises

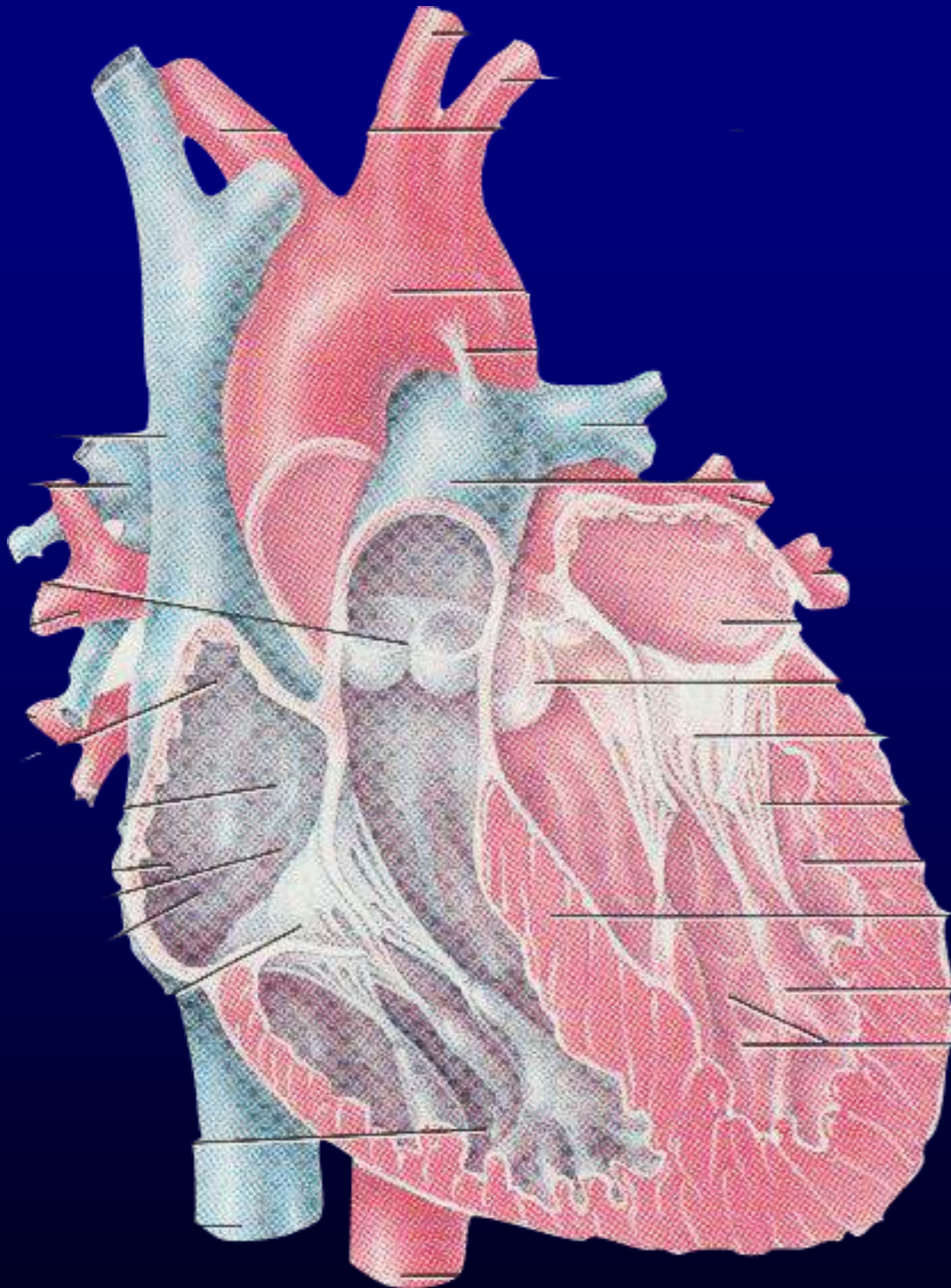
- Maladies du muscle cardiaque
- Troubles du rythme cardiaque
- Maladies des coronaires
- Maladies des valves cardiaques
- Maladies des vaisseaux
- Maladies pulmonaires
-

Le vieillissement

- Fonction respiratoire
- **Fonction cardio-vasculaire**
-
-
-
-

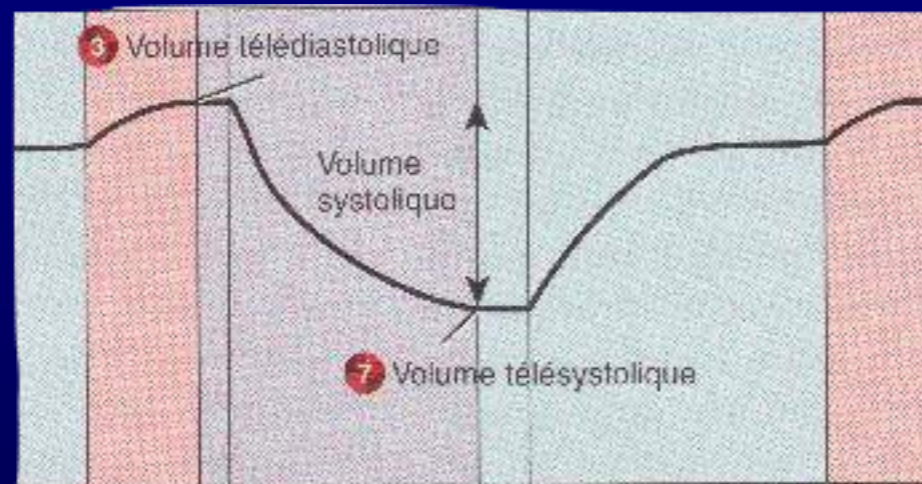


Détérioration anatomique du coeur avec le vieillissement

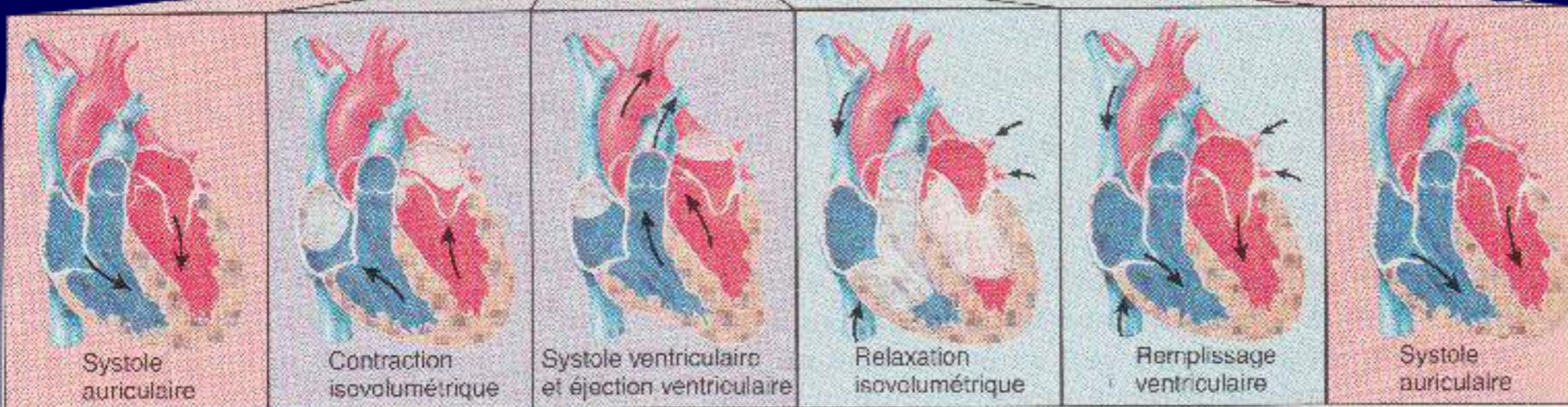


- **Epaississement du coeur gauche du fait de l'augmentation des résistances périphériques**
- **Le muscle cardiaque est infiltré par du collagène et perd des cellules contractiles => altération de la relaxation et baisse de l'aptitude du coeur à augmenter le débit à l'effort**
- **Les valves cardiaques se rigidifient et sont moins jointives**

Détérioration fonctionnelle du coeur avec le vieillissement



- Volume d'éjection systolique passe de 80 ml à 20 ans à 60 ml à 50 ans.
- Le débit cardiaque ($\text{Vol. Ej} \times 60$) diminue de 20 à 30 % de 20 à 50 ans



- Insuffisances valvulaires avec régurgitations (valves tricuspide, pulmonaire, mitrale et aortique).

Altérations des artères avec le vieillissement



Artère normale



lumière

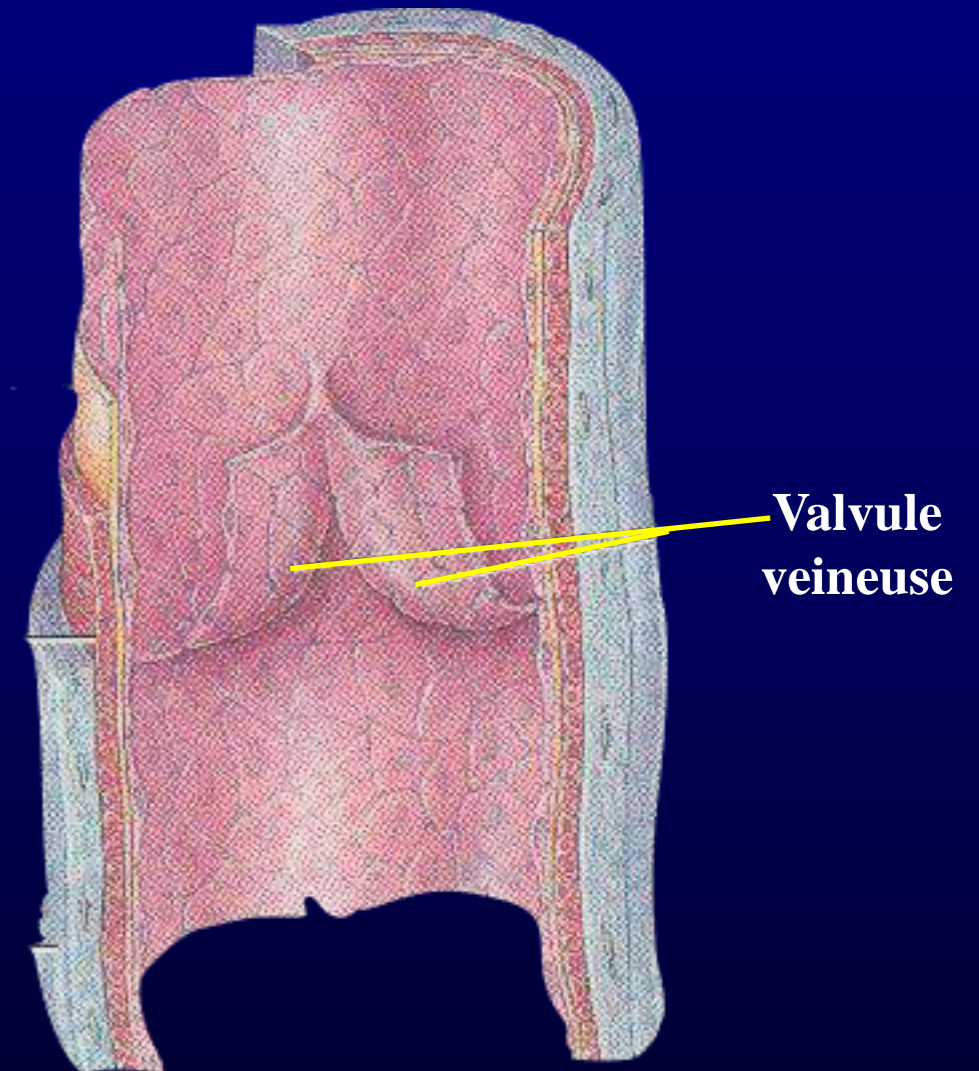
Plaque
d'athérosclérose

Artère obstruée

- **Epaississement des parois et augmentation de dépôt de cristaux de phosphates de calcium et de cholestérol dans la média**
- **=> Rigidification des parois artérielles. Les plaques athéromateuses aggravent encore le risque vasculaire**
- **Le maintien d'un même niveau de débit cardiaque requiert une pression systolique plus élevée (150 - 90 mmHg à 60 ans contre 120 - 70 mmHg à 20 ans) en dehors de toute pathologie**

Altérations des veines avec le vieillissement

- La faible pression dans les veines cause un ralentissement du retour veineux, voire un reflux. Le rôle des valvules veineuses est de prévenir ce reflux. Les valvules veineuses favorisent le retour du sang dans une seule direction : vers le coeur
- Les veines sont relativement moins altérées avec l'âge, on constate toutefois des signes d'incompétence valvulaire



Anomalies congénitales

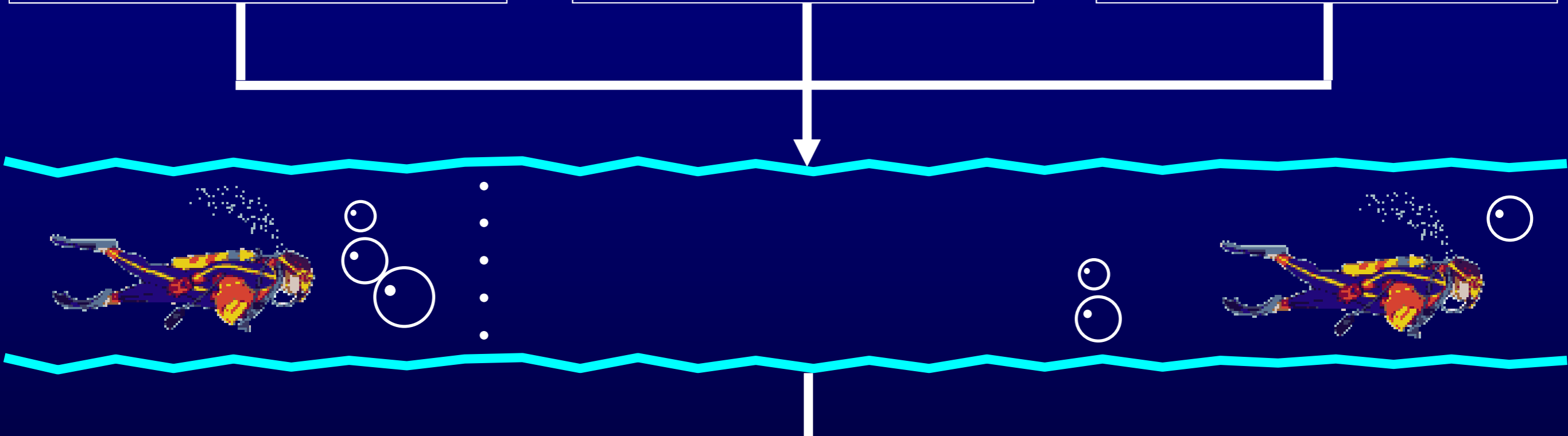
- FOP
- Shunts artério-veineux pulmonaires
- Shunts (hépatiques, musculaires...)
- Complexité de la vascularisation veineuse vertébro-médullaire
- Thrombophilie acquise ou héréditaire
-

Maladies acquises

- Maladies du muscle cardiaque
- Troubles du rythme cardiaque
- Maladies des coronaires
- Maladies des valves cardiaques
- Maladies des vaisseaux
- Maladies pulmonaires
-

Le vieillissement

- Fonction respiratoire
- Fonctions cardio-vasculaires
- **Les liquides organiques**
-
-
-



ADP expliqués

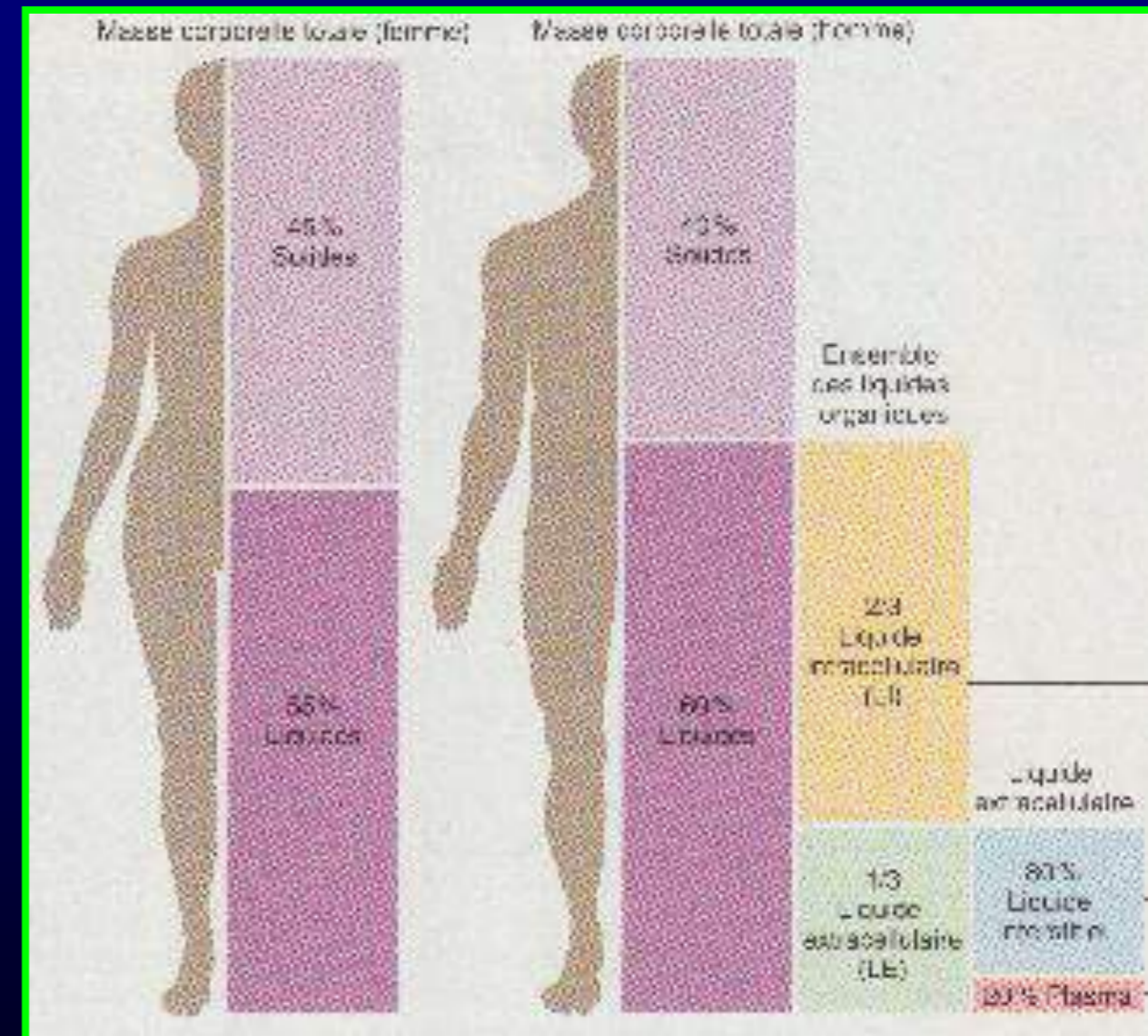
ADD «inexpliqués»

ADP «inexpliqués»

Pathologie dysbarique

Altérations des compartiments hydriques de l'organisme avec le vieillissement

- Le volume plasmatique reste chez le sujet âgé peu différent de celui de l'adulte jeune
- L'eau corporelle totale (ECT) diminue de l'ordre de 10 à 15% entre 20 et 60 ans
- % d'ECT par rapport au poids corporel total à 30 ans :
 - ▶ Chez l'homme = 62% (54 - 70)
 - ▶ Chez la femme = 51% (45 - 60)



Anomalies congénitales

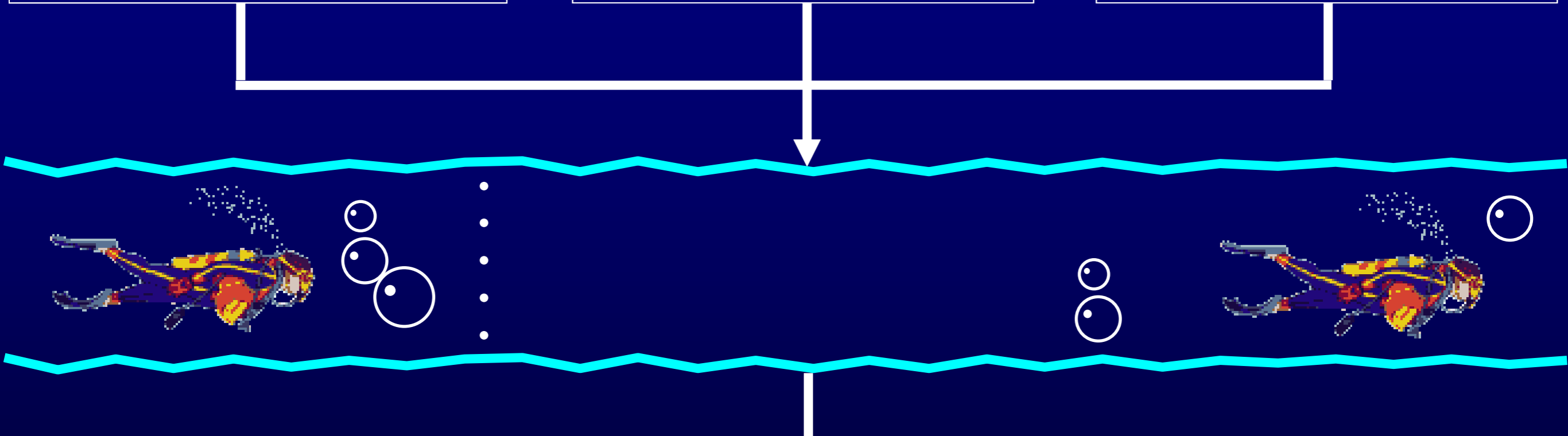
- FOP
- Shunts artério-veineux pulmonaires
- Shunts (hépatiques, musculaires...)
- Complexité de la vascularisation veineuse vertébro-médullaire
- Thrombophilie acquise ou héréditaire
-

Maladies acquises

- Maladies du muscle cardiaque
- Troubles du rythme cardiaque
- Maladies des coronaires
- Maladies des valves cardiaques
- Maladies des vaisseaux
- Maladies pulmonaires
-

Le vieillissement

- Fonction respiratoire
- Fonctions cardio-vasculaires
- Les liquides organiques
- **Squelette, muscles, appareil locomoteur**
-
-



ADP expliqués

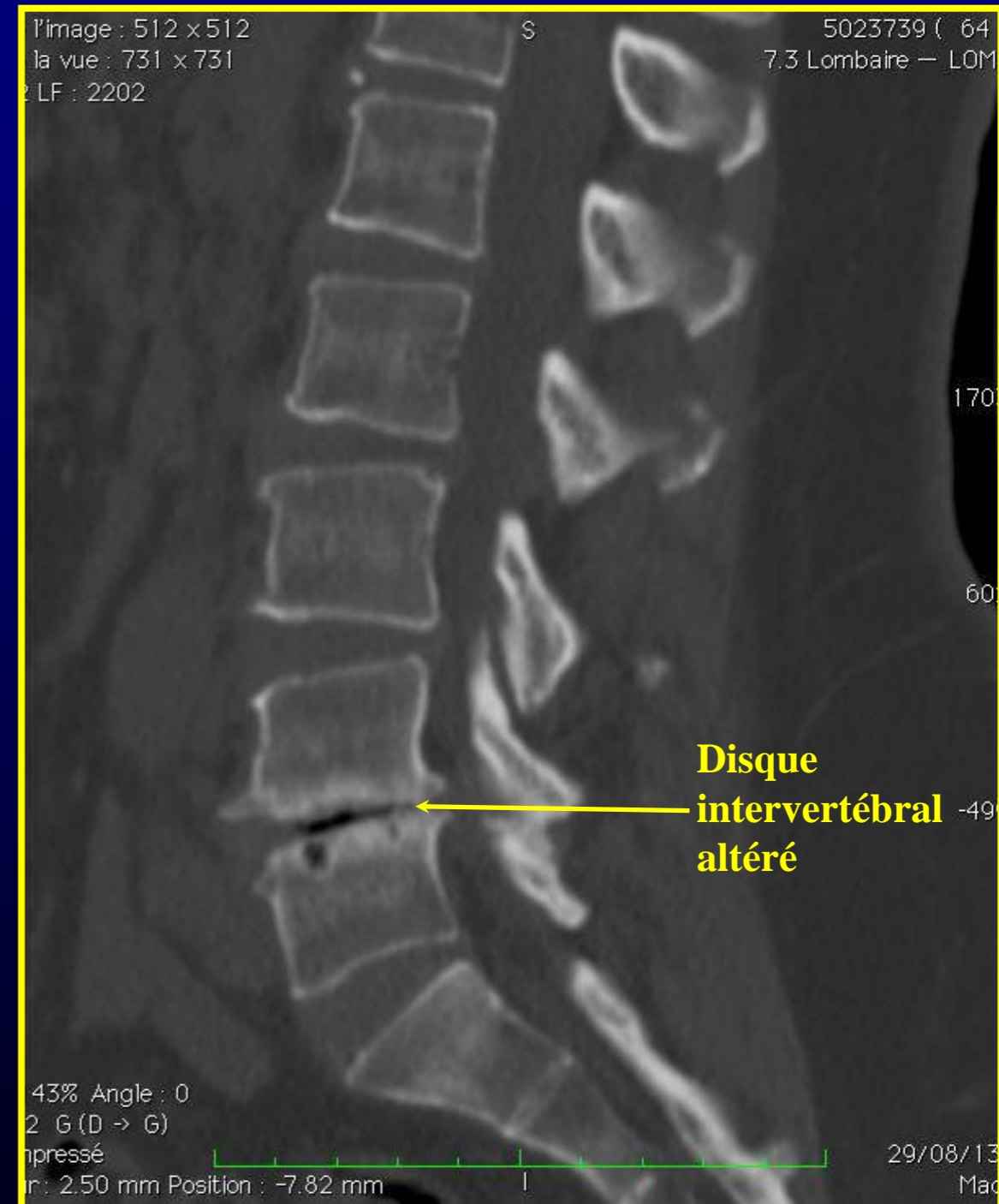
ADD «inexpliqués»

ADP «inexpliqués»

Pathologie dysbarique

Altérations du squelette, des muscles et l'appareil locomoteur avec le vieillissement

- La masse osseuse diminue avec l'âge (1500 g à 30 ans, à 1300 g à 60 ans).
- Toutes les articulations sont \pm touchées y compris des disques intervertébraux.
- La masse musculaire diminue (de l'ordre de 30% entre 30 et 60 ans).
- Au total \searrow force musculaire de l'ordre de 5% tous les 2 ans à partir de 40 ans \Rightarrow recrutement de muscles accessoires pour un effort donné.



Anomalies congénitales

- FOP
- Shunts artério-veineux pulmonaires
- Shunts (hépatiques, musculaires...)
- Complexité de la vascularisation veineuse vertébro-médullaire
- Thrombophilie acquise ou héréditaire

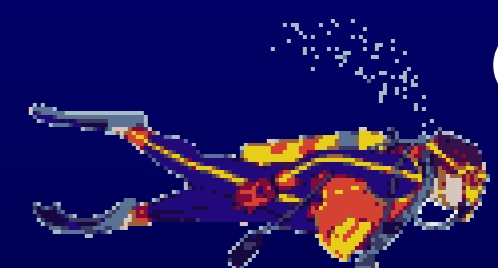
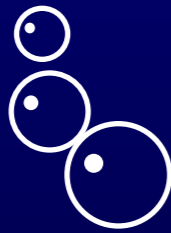
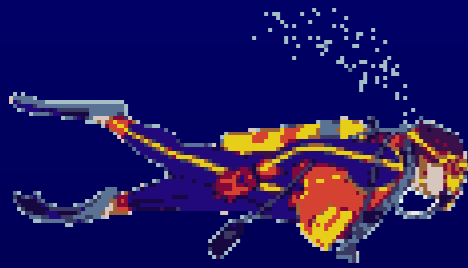
Maladies acquises

- Maladies du muscle cardiaque
- Troubles du rythme cardiaque
- Maladies des coronaires
- Maladies des valves cardiaques
- Maladies des vaisseaux
- Maladies pulmonaires
-

Le vieillissement

- Fonction respiratoire
- Fonctions cardio-vasculaires
- Les liquides organiques
- Squelette, muscles, appareil locomoteur
- Système nerveux, endocrinien, homéostasie

• Redistribution sanguine (Blood Shift)



ADP expliqués

ADD «inexpliqués»

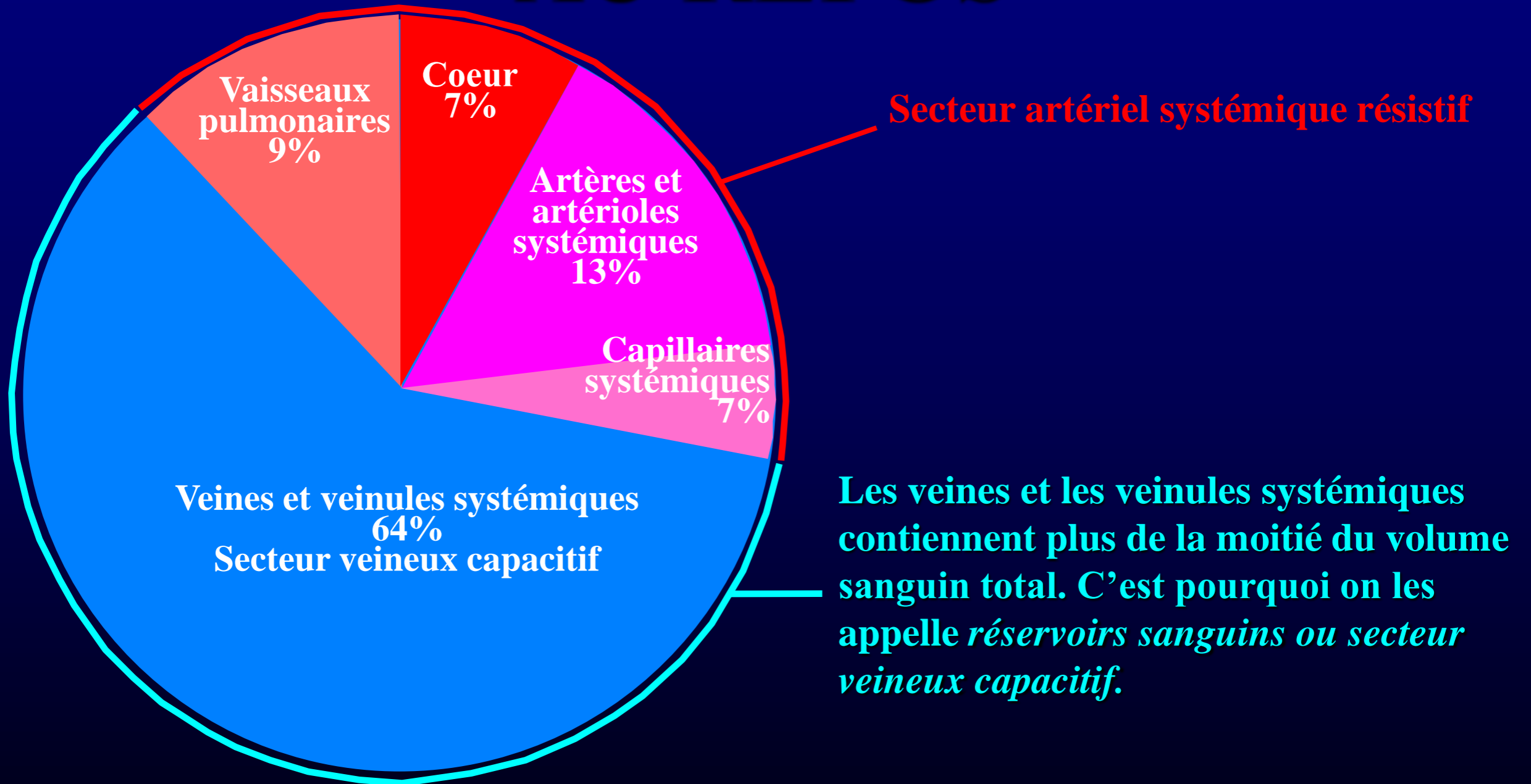
ADP «inexpliqués»

Pathologie dysbarique

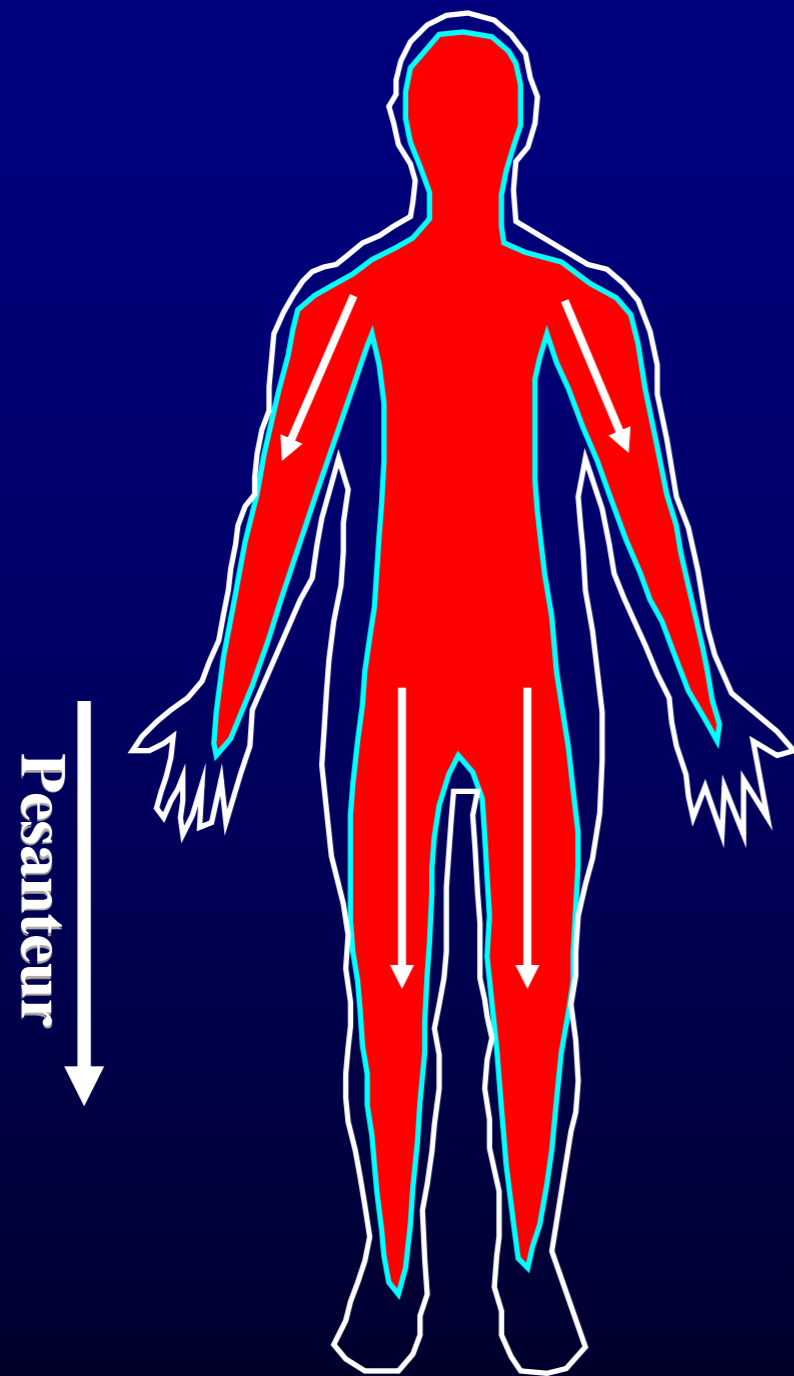


IMMERSION

DISTRIBUTION DU SANG DANS LE SYSTEME CARDIO-VASCULAIRE AU REPOS



IMMERSION

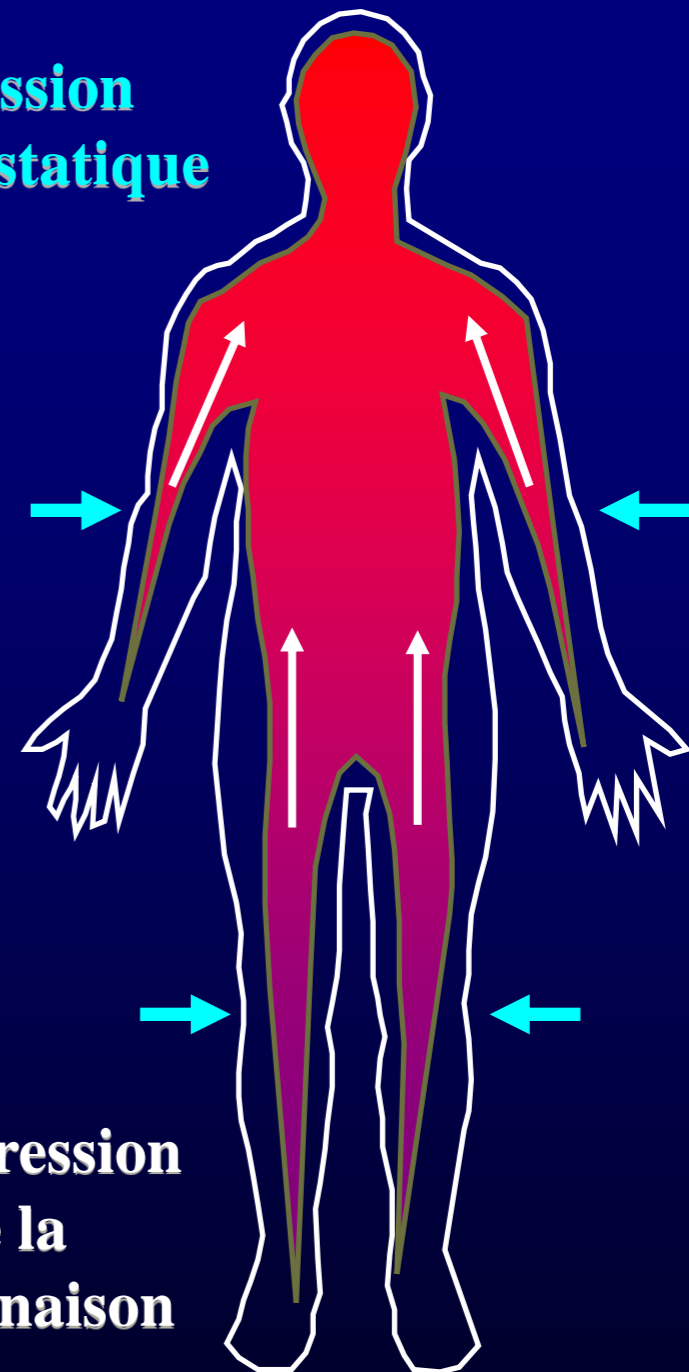


Hors de l'eau

Pression hydrostatique

Archimède
Pesanteur

Compression de la combinaison



Dans l'eau

Redistribution de la masse sanguine (700 ml)

IMMERSION

(à neutralité thermique : 33° à 35° et en scaphandre)



- ↗ Pression veineuse centrale plus de 15 mm Hg
- ↗ Volume sanguin central de 700 ml (Blood Shift) : hypervolémie relative
- ↗ Débit cardiaque (de 24% environ) et VES
- ↗ PA (modérée pour certains)
- Fréquence cardiaque peu modifiée
 - ▶ L'hypervolémie est compensée par la relaxation muscle lisse vasculaire
 - ▶ La bradycardie résulte soit de l'apnée soit du froid
- Bonne perfusion tissulaire
- Diurèse d 'immersion (x 4 par réactions ADH et FAN)

Tout plongeur est un hypo-volémique en puissance

Anomalies congénitales

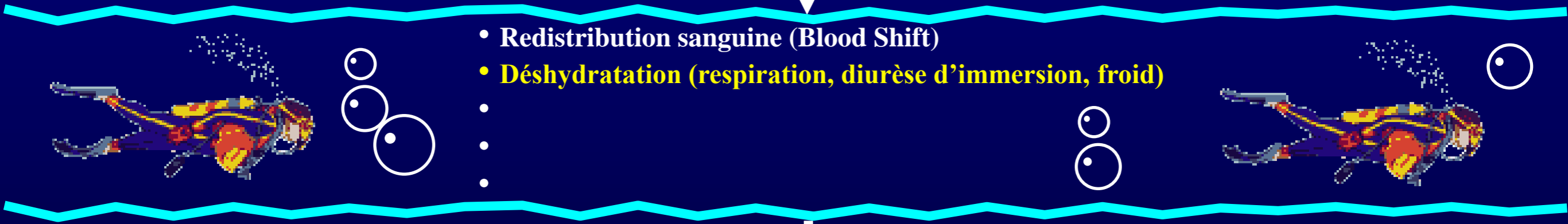
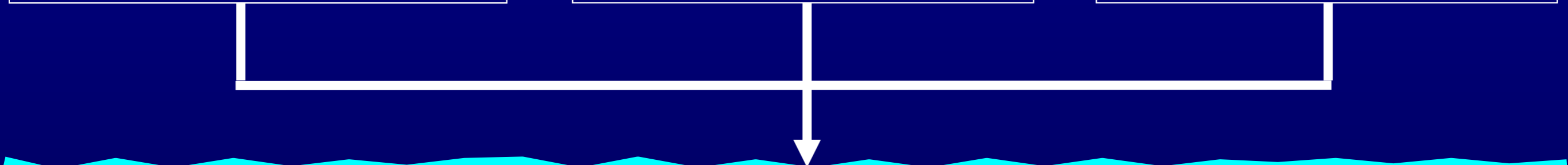
- FOP
- Shunts artério-veineux pulmonaires
- Shunts (hépatiques, musculaires...)
- Complexité de la vascularisation veineuse vertébro-médullaire
- Thrombophilie acquise ou héréditaire
-

Maladies acquises

- Maladies du muscle cardiaque
- Troubles du rythme cardiaque
- Maladies des coronaires
- Maladies des valves cardiaques
- Maladies des vaisseaux
- Maladies pulmonaires
-

Le vieillissement

- Fonction respiratoire
- Fonctions cardio-vasculaires
- Les liquides organiques
- Squelette, muscles, appareil locomoteur
- Système nerveux, endocrinien, homéostasie



ADP expliqués

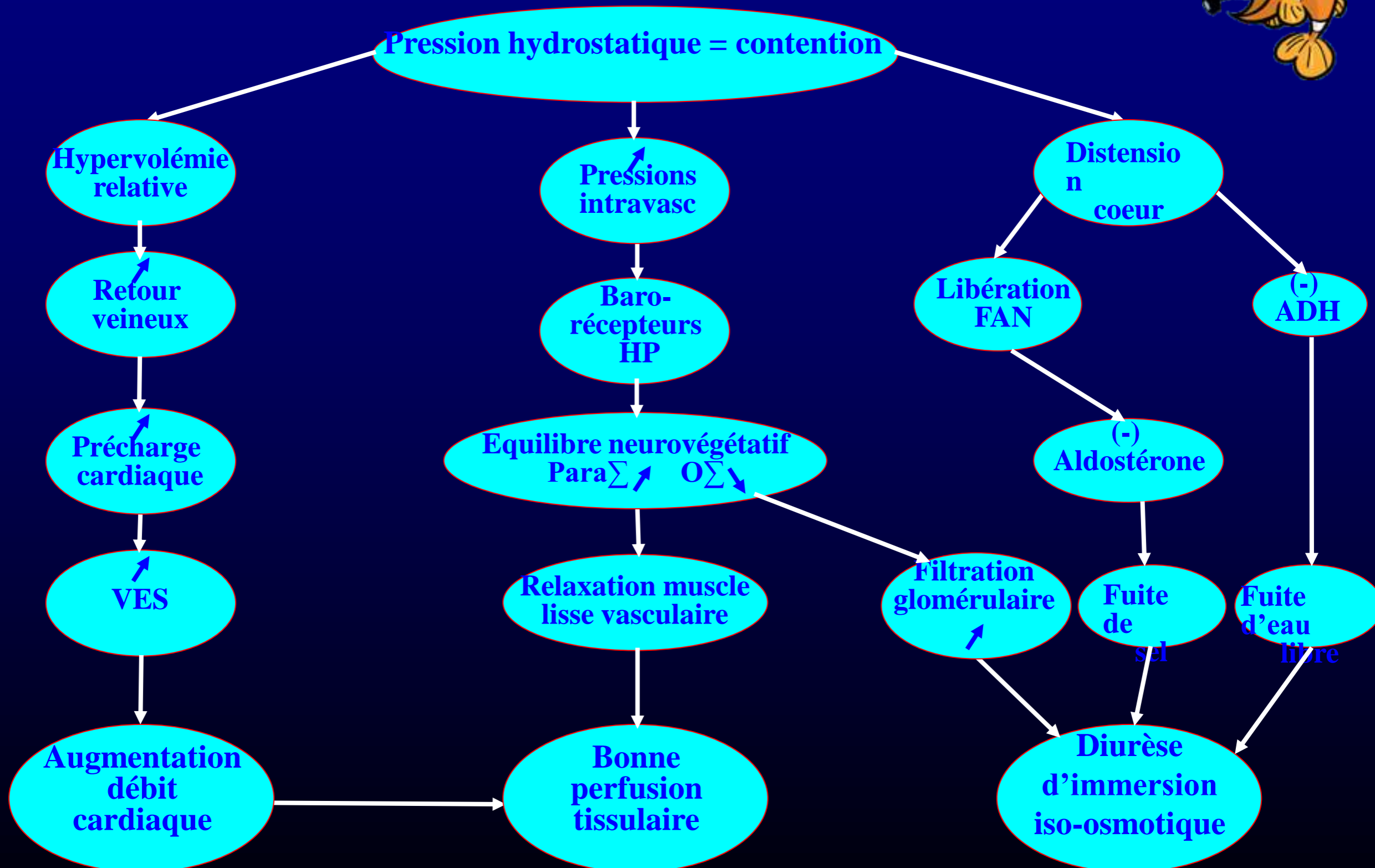
ADD «inexpliqués»

ADP «inexpliqués»

Pathologie dysbarique

Effets de l'immersion sur l'équilibre hémodynamique et le bilan hydrique

(à neutralité thermique : 33° à 35° et en scaphandre)



APRES L'IMMERSION

(température ambiante, pression atmosphérique, pesanteur...)

- **Modifications du bilan hydrique / Temps d'immersion**
- **Disparition contention d'immersion : passage de l'«hypervolémie» à l'hypovolémie**
- **Mise en route brutale d'une nouvelle contre-régulation neurovégétative et humorale**
- **Etat de déshydratation post-immersion iso-osmotique (peu de sensation de soif)**
- **Délais et mécanismes de restauration du bilan hydrique : encore inconnus**
- **Baisse de la perfusion tissulaire**
 - ▶ **risque de dégazage pathologique (ADD)**
 - ▶ **surtout en cas de plongées successives)**

Nécessité de boire avant et après la plongée (eau salée)

Anomalies congénitales


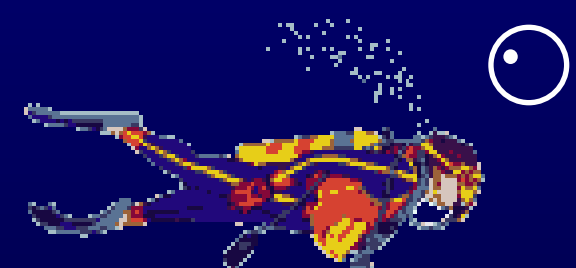
- FOP
- Shunts artério-veineux pulmonaires
- Shunts (hépatiques, musculaires...)
- Complexité de la vascularisation veineuse vertébro-médullaire
- Thrombophilie acquise ou héréditaire
-

Maladies acquises

- Maladies du muscle cardiaque
- Troubles du rythme cardiaque
- Maladies des coronaires
- Maladies des valves cardiaques
- Maladies des vaisseaux
- Maladies pulmonaires
-

Le vieillissement

- Fonction respiratoire
- Fonctions cardio-vasculaires
- Les liquides organiques
- Squelette, muscles, appareil locomoteur
- Système nerveux, endocrinien, homéostasie

- 
- Redistribution sanguine (Blood Shift)
 - Déshydratation (respiration, diurèse d'immersion, froid)
 - **Vasoconstriction (froid, hyperoxie)**
 -
 -
- 

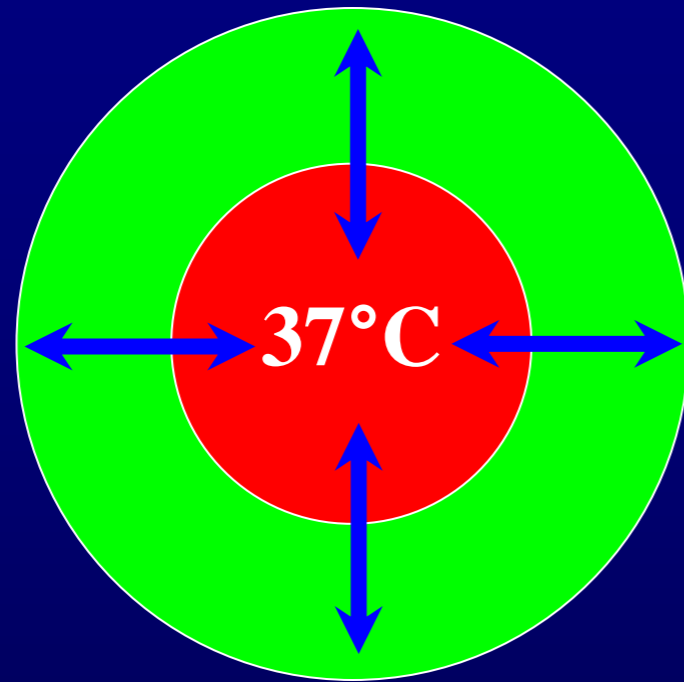
ADP expliqués

ADD «inexpliqués»

ADP «inexpliqués»

Pathologie dysbarique

Les contraintes thermiques : le froid



■ Zone centrale ou «noyau» homéotherme (foie, reins, coeur, cerveau)

■ Zone périphérique poïkilotherme : peau, muscles, membres, ... etc.

L'homme est un animal homéotherme : sa température centrale ou température du «noyau» doit varier très peu et reste aux alentours de 37°C.

La zone périphérique peut varier de température qui peut descendre à 25°C si nécessaire. La zone périphérique sert de régulateur au noyau.

Les mécanismes de refroidissement en plongée

Température de neutralité thermique : Eau = 33°C, Air = 27°C

Par conduction

- * Echange de chaleur de proche en proche à travers un solide ou un fluide immobile.
- * Pertes cutanées : conductivité thermique de l'**EAU** X 25 / AIR
- * La combinaison crée une fine couche liquidienne autour du corps de température variant peu.

Par convection

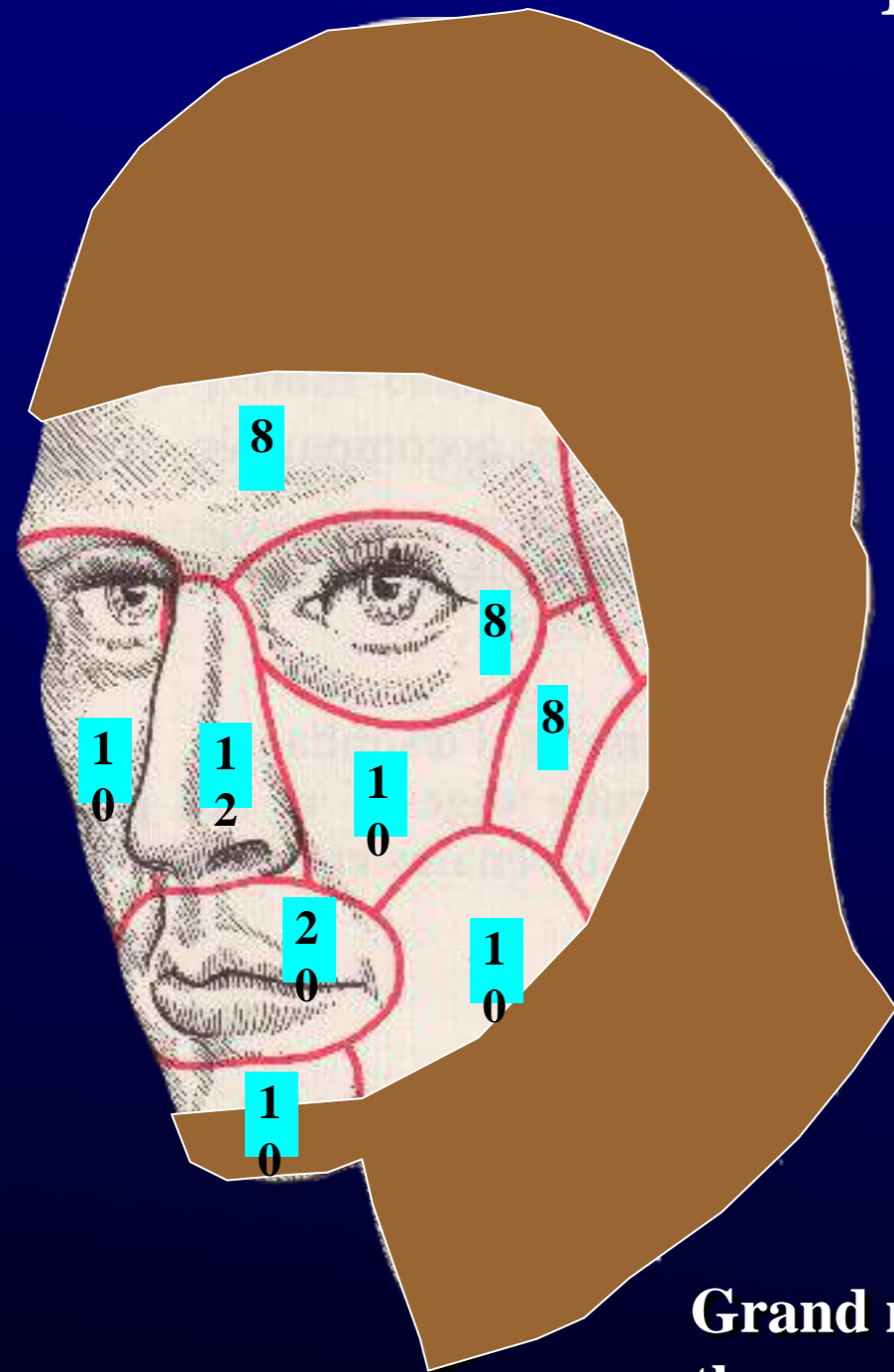
- * Echange thermique entre un corps et un fluide en mouvement et de température différente.
- * Pertes respiratoires +++ : conductivité thermique de l'**HELIUM** X6 / AZOTE

Radiation & Evaporation = 0 dans l'eau

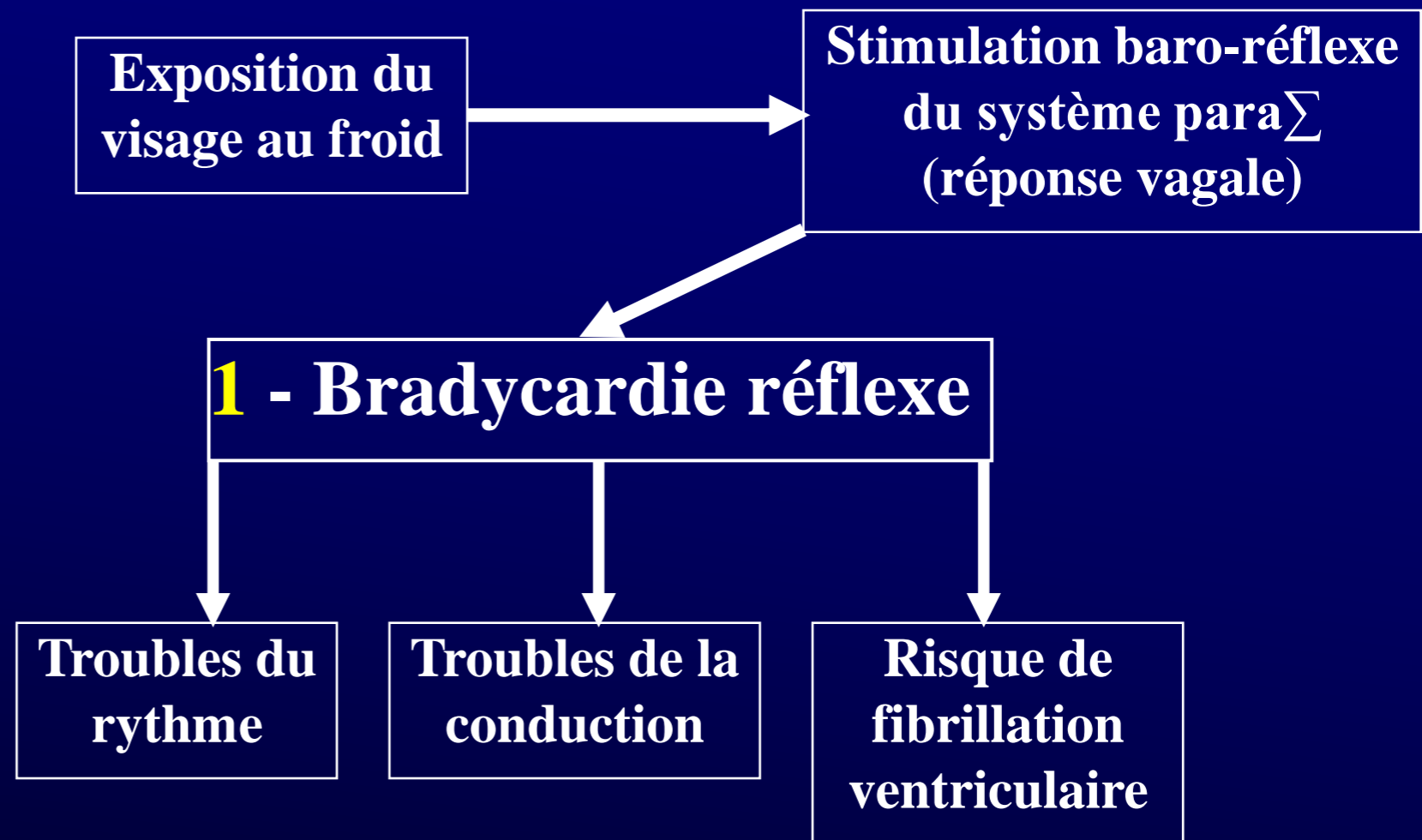


Effets cardio-vasculaires du froid

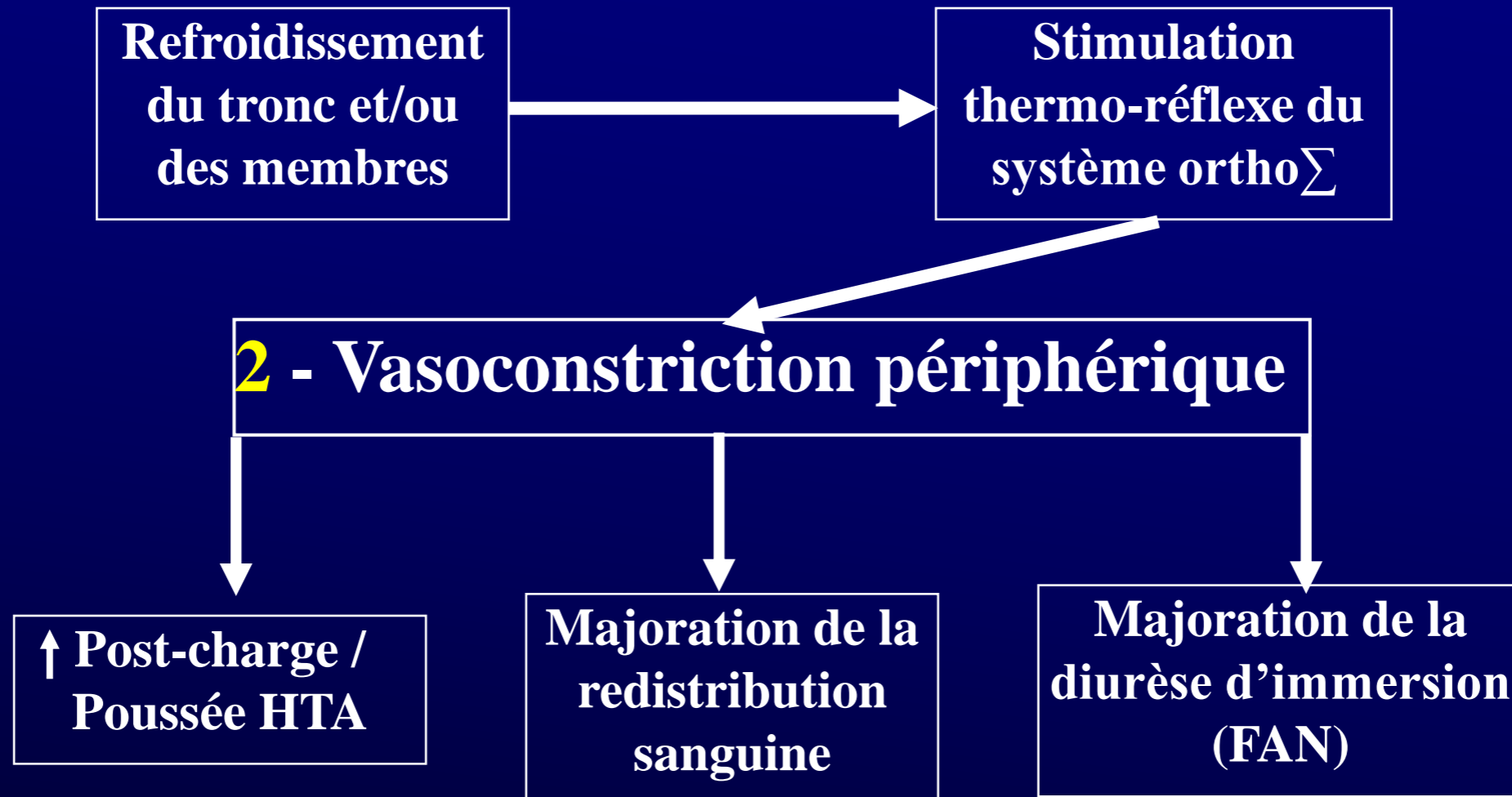
Réflexe de plongée ou «Diving reflex»



Grand nombre de thermo-récepteurs au visage (Nb/cm²)



Effets cardio-vasculaires du froid



Vasoconstriction



Augmentation de la viscosité sanguine

Mauvaise élimination de N₂

Favorise l'apparition de l'ADD



Effets cardio-vasculaires de l'hyperoxie

$P_p O_2 > 0,21 \text{ bar}$



Adaptation autorégulatrice cardio-vasculaire

- **Bradycardie réflexe par hyperactivité para Σ**
- **Baisse du débit cardiaque de 10 à 15% ($F_c \uparrow$, $VES \uparrow$)**
- **Vasoconstriction périphérique hyperoxique**
 - ▶ Baisse du débit cérébral de 12% à 2 bars
 - ▶ Baisse du débit sanguin coronaire (vasoC) / Vol coronaire
 - ▶ Augmentation de la tension artérielle : post-charge

Anomalies congénitales

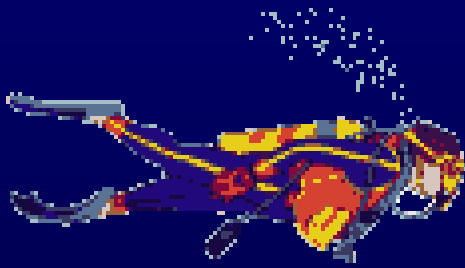

- FOP
- Shunts artério-veineux pulmonaires
- Shunts (hépatiques, musculaires...)
- Complexité de la vascularisation veineuse vertébro-médullaire
- Thrombophilie acquise ou héréditaire
-

Maladies acquises

- Maladies du muscle cardiaque
- Troubles du rythme cardiaque
- Maladies des coronaires
- Maladies des valves cardiaques
- Maladies des vaisseaux
- Maladies pulmonaires
-

Le vieillissement

- Fonction respiratoire
- Fonctions cardio-vasculaires
- Les liquides organiques
- Squelette, muscles, appareil locomoteur
- Système nerveux, endocrinien, homéostasie

- 
- Redistribution sanguine (Blood Shift)
 - Déshydratation (respiration, diurèse d'immersion, froid)
 - Vasoconstriction (froid, hyperoxie)
 - **Modifications ventilatoires en hyperbarie**
 -
- 

ADP expliqués

ADD «inexpliqués»

ADP «inexpliqués»

Pathologie dysbarique

Les modifications ventilatoires en hyperbarie

1. Diminution de la compliance thoracique

Afflux de sang intrathoracique (Blood Shift)

Ecrasement du thorax et de l'abdomen (P. hydrostatique)

Déplacement céphalique du diaphragme (P. hydrostatique)

Pression due au Néoprène

2. Diminution des volumes pulmonaires

CV de 10% à 40 mètres (P. hydrostatique)

CV de 10% à 15% (Blood Shift)

3. Diminution des débits pulmonaires

densité des gaz

résistances aériennes (détendeur, déplacement du VC vers le haut de la CV)

La VEMS = - 25% à 60 mètres

4. Augmentation du travail respiratoire

compliance thoracique

densité des gaz

Les modifications ventilatoires en hyperbarie

5. Différentiel de pression hydrostatique

Entre la bouche et le centre du poumon

Tête vers le haut : expiration facile, inspiration plus difficile

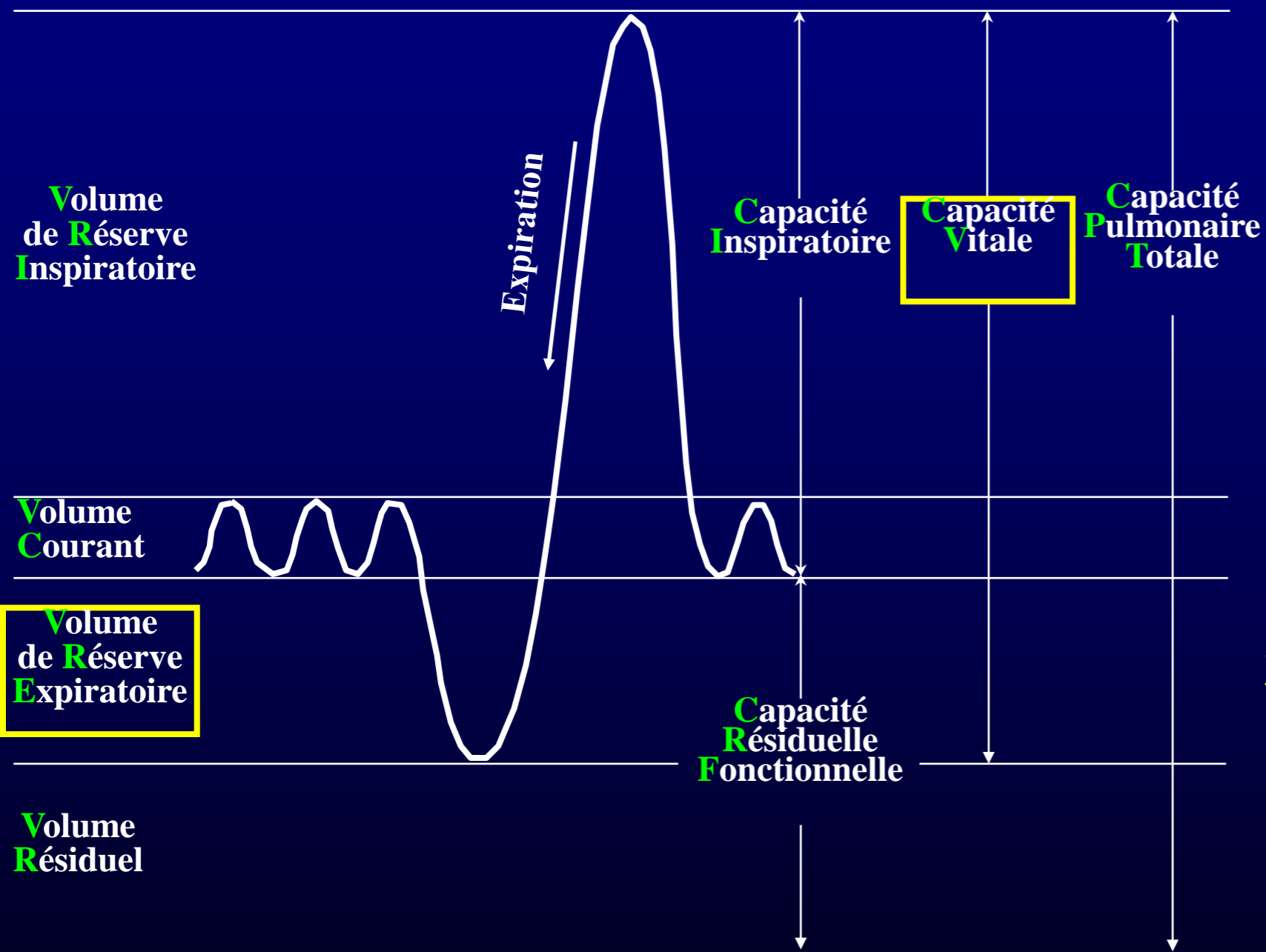
Tête vers le bas : expiration plus difficile, inspiration facile

6. Modification des rapports ventilation/perfusion

liée à la redistribution du volume sanguin due à la microgravité, et aux contraintes mécaniques ventilatoires

altère les échanges gazeux

Les contraintes de mécanique ventilatoire



1 - Perte de 30% du VRE, CV (-300ml), VR identique

2 - Travail ventilatoire augmenté de 60%

Le plongeur se comporte comme un insuffisant respiratoire

Anomalies congénitales


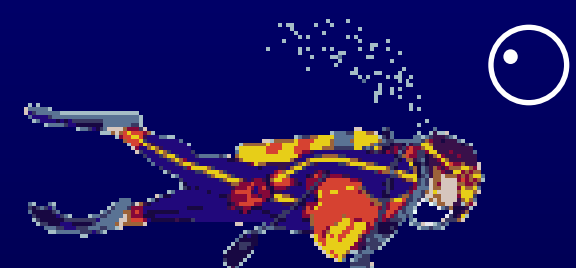
- FOP
- Shunts artério-veineux pulmonaires
- Autres shunts (hépatiques...)
- Thrombophilie acquise ou héréditaire
- Complexité de la vascularisation veineuse vertébro-médullaire

Maladies acquises

- Maladies du muscle cardiaque
- Troubles du rythme cardiaque
- Maladies des coronaires
- Maladies des valves cardiaques
- Maladies des vaisseaux
- Maladies pulmonaires
-

Le vieillissement

- Fonction respiratoire
- Fonctions cardio-vasculaires
- Les liquides organiques
- Squelette, muscles, appareil locomoteur
-
-

- 
- 
- Redistribution sanguine (Blood Shift)
 - Déshydratation (respiration, diurèse d'immersion, froid)
 - Vasoconstriction (froid, hyperoxie)
 - Modifications ventilatoires en hyperbarie
 - **L'embolie gazeuse de la décompression**

ADP expliqués

ADD «inexpliqués»

ADP «inexpliqués»

Pathologie dysbarique

La sursaturation n'est pas suffisante



- Dans un liquide purifié, la formation de bulles par sursaturation nécessite une variation de pression de **1400 ATA**
- In vivo la formation de bulle survient pour de faibles variations de pression
- Chez l'homme après exposition de 48 heures à 1,3 ATA, une variation de pression de 0,3 suffit pour observer des bulles.

D'où l'hypothèse de noyaux gazeux préexistant à pression atmosphérique

Origine des noyaux gazeux

- **Nucléation (thermodynamique)**
- **Cavitation : zones de moindre pression**
 - Lors des mouvements des tissus ou du sang
 - Quand le sang passe une bifurcation, un tourbillon
 - Dans un rétrécissement d'un vaisseau (cavitation de Reynolds)
- **Tribonucléation : formation de bulles par des forces de frottement**
 - Dans l'arbre vasculaire à l'occasion des mouvements des membres
 - Au niveau des surfaces articulaires
 - Au niveau des valves cardiaques



Exemple de tribonucléation au niveau du disque intervertébral

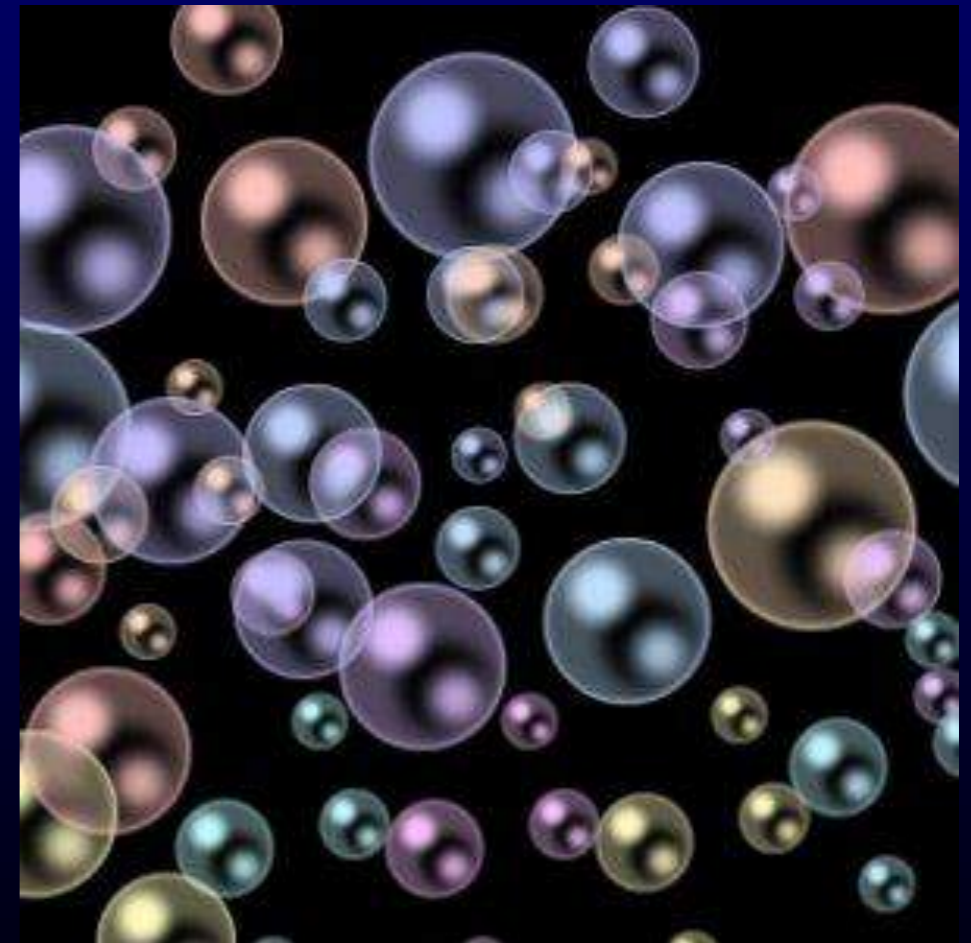


**Disque intervertébral
altéré par cavitation**

Evolution des noyaux gazeux



- $\emptyset < 1 \mu\text{m}$: adhérence aux parois
- $1 \mu\text{m} < \emptyset < 20 \mu\text{m}$: mise en circulation
- $\emptyset > 20 \mu\text{m}$:
 - Bulles détectables Doppler
 - Arrêt par filtre pulmonaire



Formations des bulles et altérations de l'organisme

- ↘ du rendement musculaire => ↗ cavitation
- ↗ graisse musculaire => ↗ stockage azote (?)
- ↘ des performances du cartilage => ↗ tribonucléation
- altération tendons et disque => ↗ cavitation



Formations des bulles et altérations de l'organisme

- Artères altérées et rétrécies => ↗ cavitation
- Valves cardiaques altérées => remous => ↗ cavitation
- ↘ rendement musculaire => ↗ CO₂ => ↗ volume des bulles
- ↗ masse grasse
- N₂ ↗ stocké (?)
- risque embols lipidiques (noyaux)
- Déshydratation



Anomalies congénitales

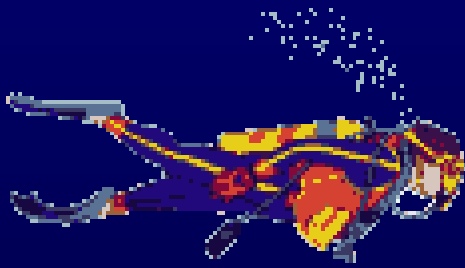

- FOP
- Shunts artério-veineux pulmonaires
- Shunts (hépatiques, musculaires...)
- Complexité de la vascularisation veineuse vertébro-médullaire
- Thrombophilie acquise ou héréditaire
-

Maladies acquises

- Maladies du muscle cardiaque
- Troubles du rythme cardiaque
- Maladies des coronaires
- Maladies des valves cardiaques
- Maladies des vaisseaux
- Maladies pulmonaires
-

Le vieillissement

- Fonction respiratoire
- Fonctions cardio-vasculaires
- Les liquides organiques
- Squelette, muscles, appareil locomoteur
- Système nerveux, endocrinien, homéostasie

- 
- 
- Redistribution sanguine (Blood Shift)
 - Déshydratation (respiration, diurèse d'immersion, froid)
 - Vasoconstriction (froid, hyperoxie)
 - Modifications ventilatoires en hyperbarie
 - L'embolie gazeuse de la décompression

ADP expliqués

- Le milieu
- Le plongeur
- La plongée
- Le matériel

ADD «inexpliqués»

ADP «inexpliqués»

Pathologie dysbarique

Barotraumatismes

- Plaquage du masque ↓
- Oreille (OM, OI) ↓(↑)
- Sinus ↓(↑)
- Dents ↓(↑)
- Digestif ↓(↑)
- Poumons ↑

Mariotte $P \times V = Cte$

Le stress

La noyade

Biochimique (toxicité gaz)

- Narcose (N₂)
- Hypercapnie (CO₂)
- Hyperoxie (O₂)
- Monoxyde de carbone (CO)

Loi de Dalton

Biophysique ou **Accident De Décompression : ADD**

Type I : bénins : bulles extra-vasculaires ou tissulaires

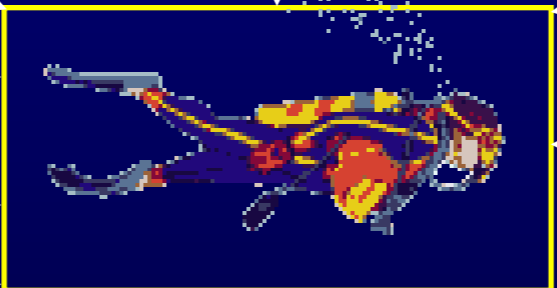
- Cutanés (puces et moutons)
- **Ostéo-Arthro-Musculaires (OAM) : Les Bends**

Type II : graves : bulles intra-vasculaires

- neurologiques : médullaires, cérébraux
- cochléo-vestibulaires
- «Chokes»

Loi de Henry

Le froid



Dangers du milieu

- En surface
- Les voiliers, planches et hélices
 - Les vagues
 - Rochers, houle, vent, foudre
- Dans l'eau
- Grottes et Tunnels
 - Les épaves
 - Les lignes et les filets
 - Eau trouble, vase
 - Le courant
 - Danger de la flore
 - Danger de la faune

Accidents de l'apnée

Perte de connaissance par hyperventilation
La Samba ou perte de contrôle moteur

Anomalies congénitales

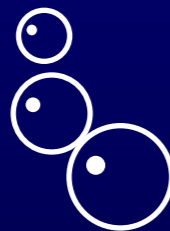
- FOP
- Shunts artério-veineux pulmonaires
- Autres shunts (hépatiques...)
- Thrombophilie acquise ou héréditaire
- Complexité de la vascularisation veineuse vertébro-médullaire

Maladies acquises

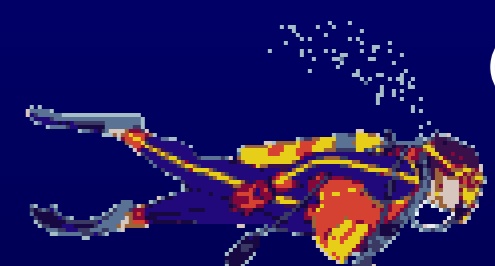
- Maladies du muscle cardiaque
- Troubles du rythme cardiaque
- Maladies des coronaires
- Maladies des valves cardiaques
- Maladies des vaisseaux
- Maladies pulmonaires
-

Le vieillissement

- Fonction respiratoire
- Fonctions cardio-vasculaires
- Les liquides organiques
- Squelette, muscles, appareil locomoteur
- Système nerveux, endocrinien, homéostasie



- Redistribution sanguine (Blood Shift)
- Déshydratation (respiration, diurèse d'immersion, froid)
- Vasoconstriction (froid, hyperoxie)
- Contraintes de la mécanique ventilatoire
- L'embolie gazeuse de la décompression



ADP expliqués

- Le milieu
- Le plongeur
- La plongée
- Le matériel

ADD «inexpliqués»

- Médullaires +++
-
-
-

ADP «inexpliqués»

Pathologie dysbarique

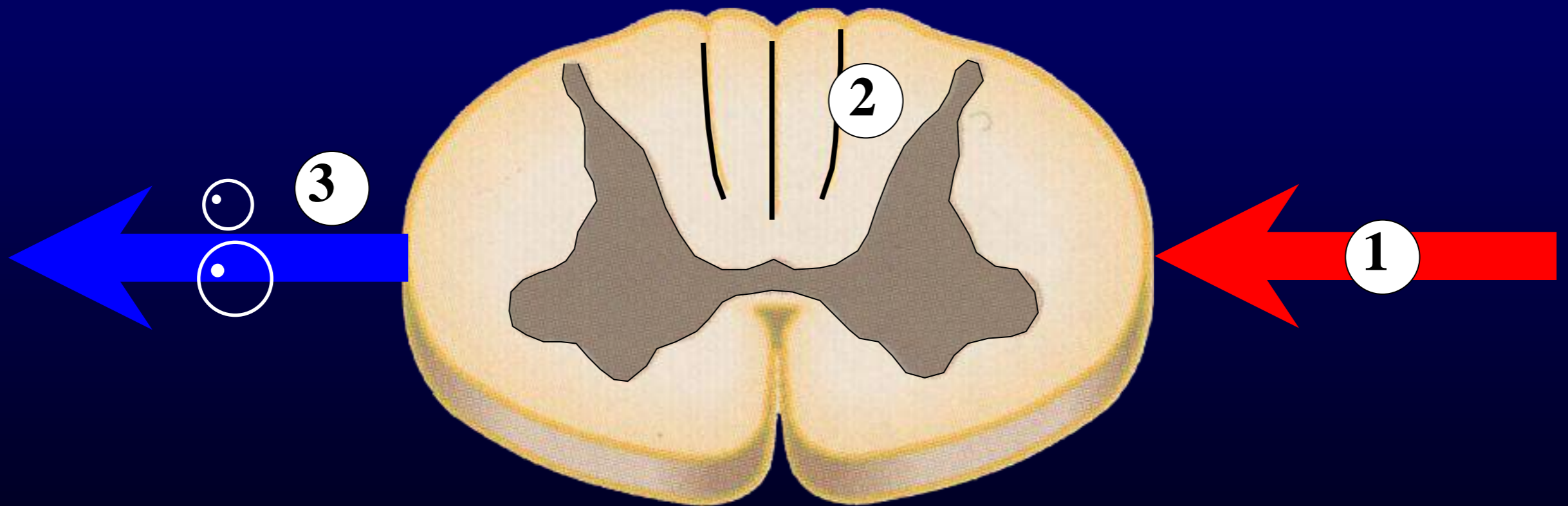
Epidémiologie

Les ADD médullaires sont de loin les plus fréquents

- **40 à 45% des accidents de plongée**
- **120 à 130 cas /an en France**
- **Sans séquelle neurologique : 70% des cas**
- **Séquelles non invalidantes : 20 à 30% des cas**
- **Séquelles invalidantes dans 10% des cas :**
 - ✓ **troubles sphinctériens**
 - ✓ **ataxie proprioceptive**

Les 3 hypothèses physiopathologiques de l'ADD médullaire (4)

- 3 Infarcissement veineux : la plus probable
- Notion d'engorgement veineux bullaire au niveau des plexus épiduraux
- Stase sanguine et ischémie d'amont



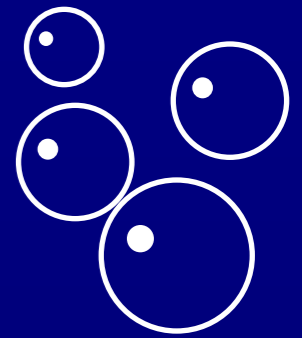
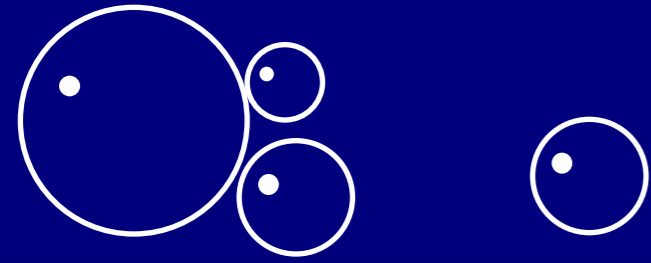
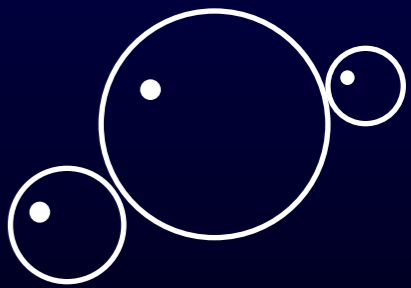
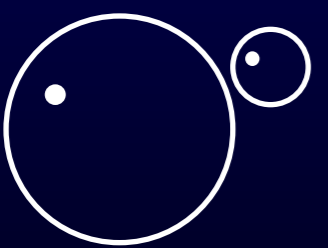
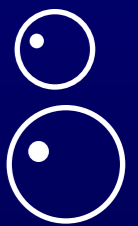
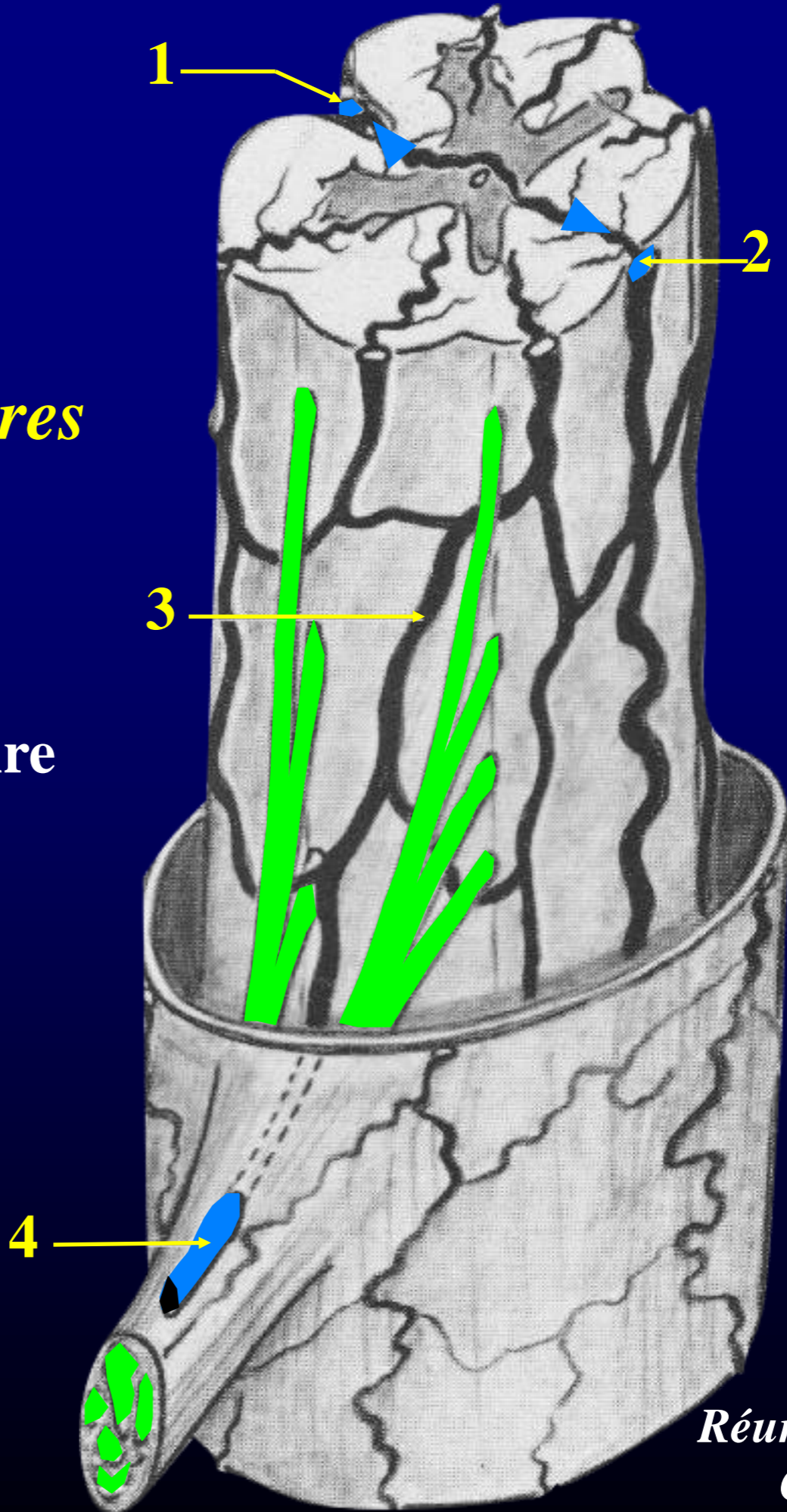
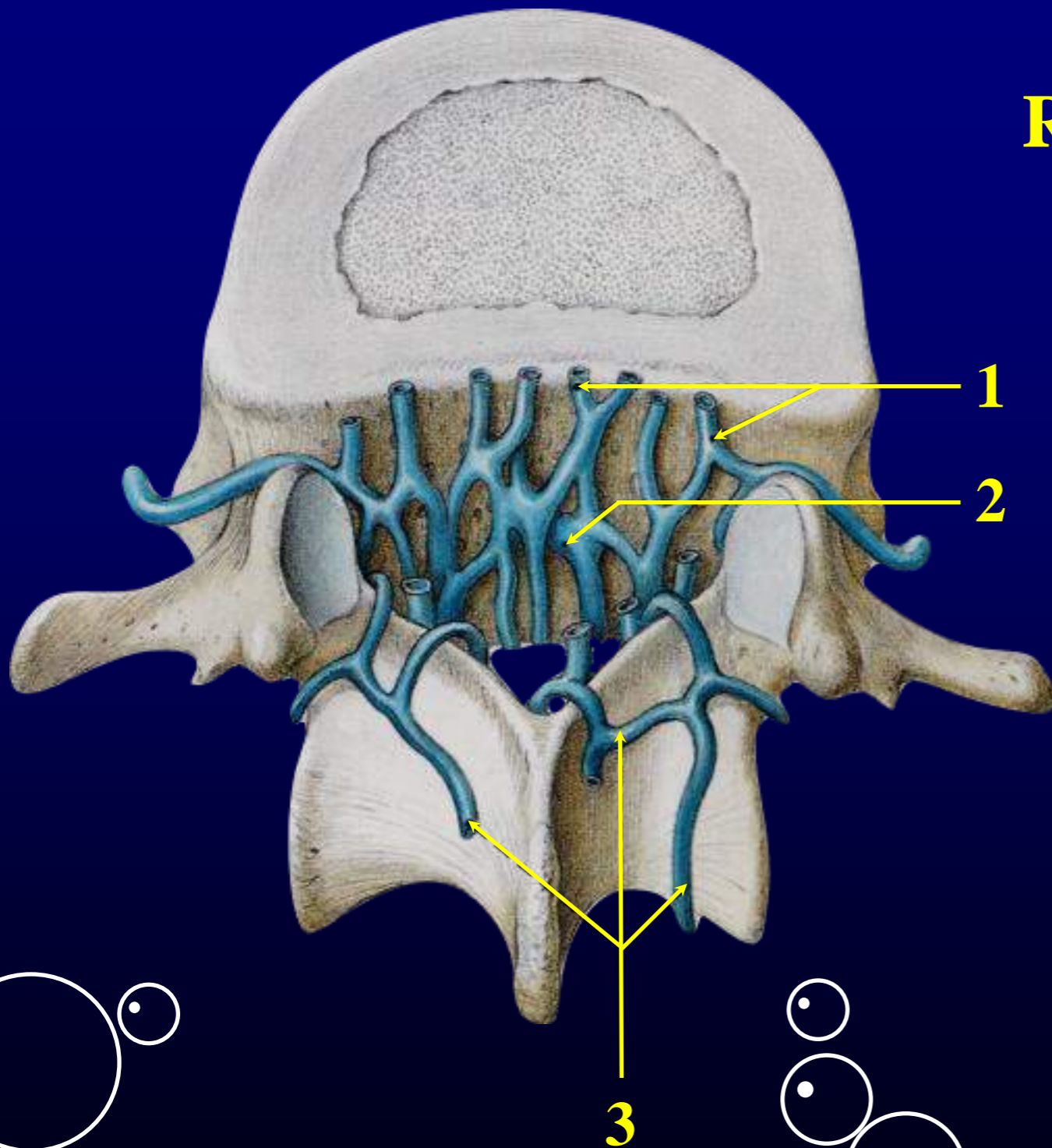
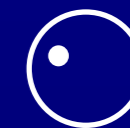
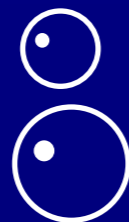
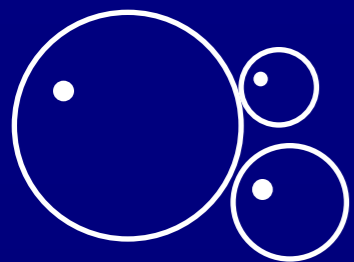


Schéma des veines médullaires

(d'après R. Louis)

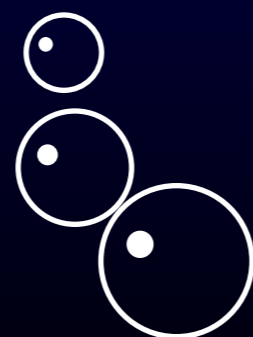
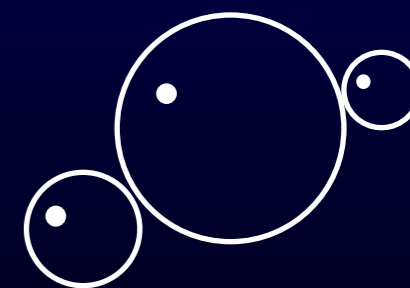
- 1 - Veine spinale antérieure
- 2 - Veine spinale postérieure
- 3 - Réseau veineux péri-médullaire
- 4 - Veine spinale

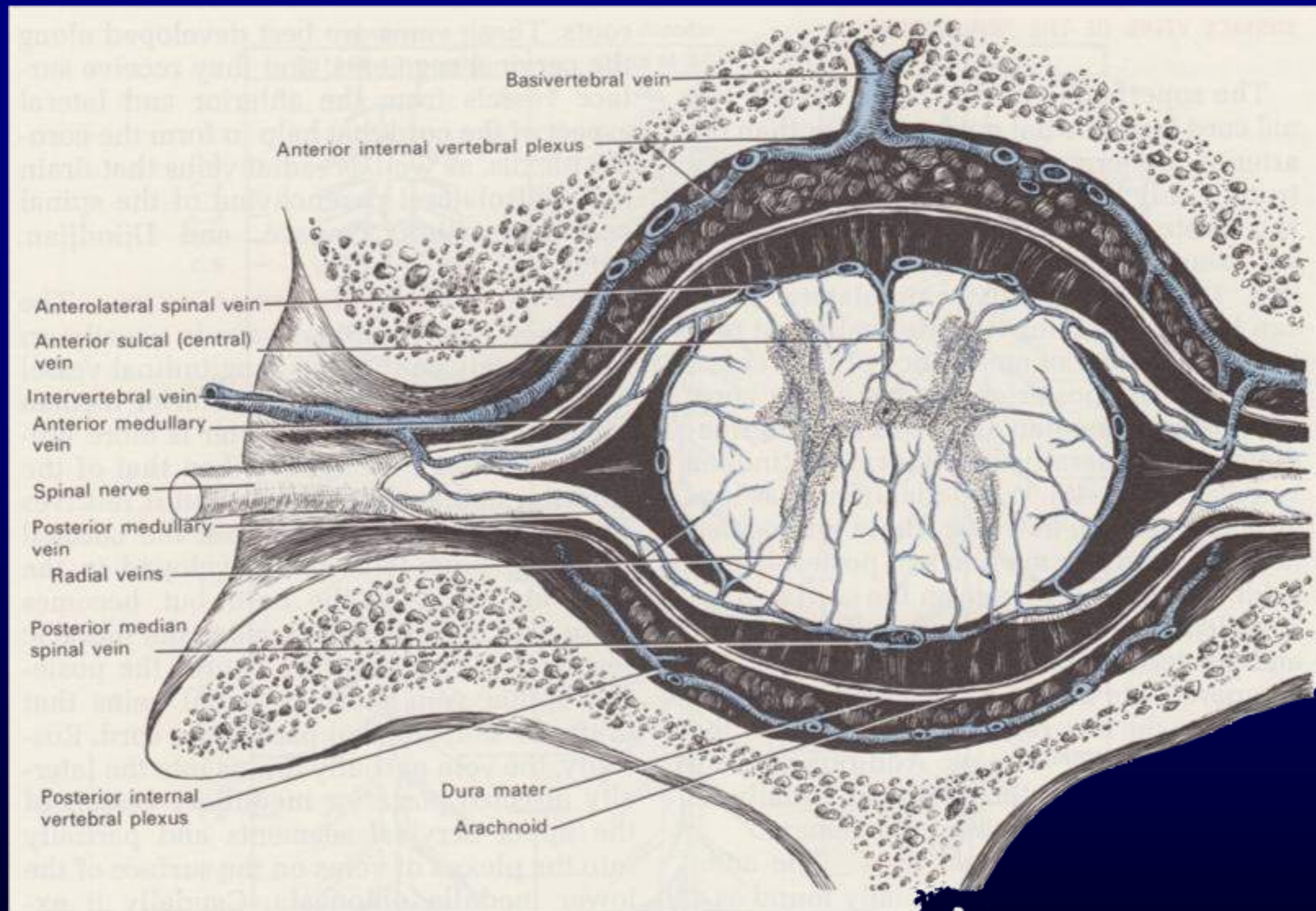




Représentation schématique du plexus veineux vertébral (interne : P.V.V.I.)

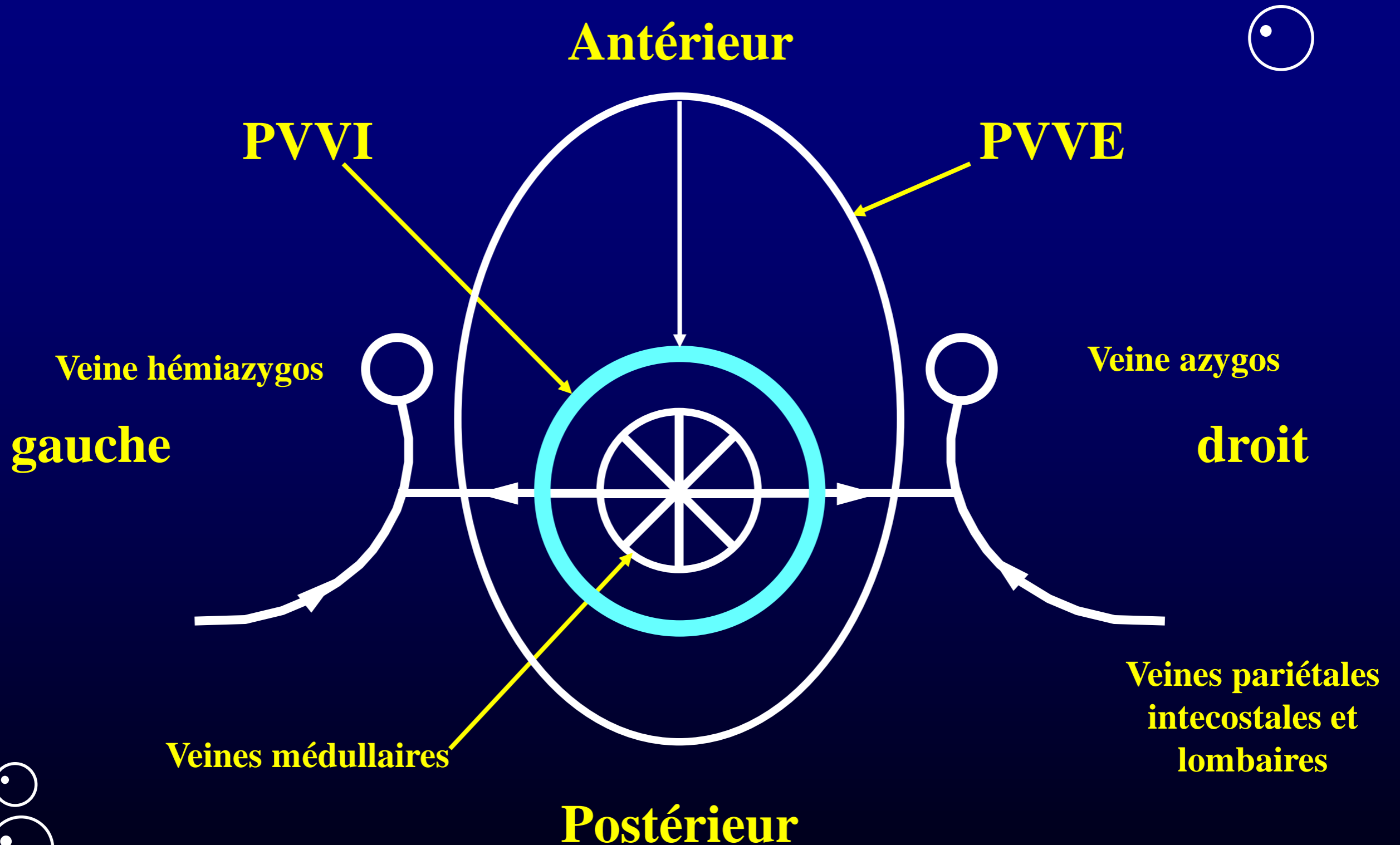
- 1** - PVVI antérieur
- 2** - Veine basi-vertébrale
- 3** - PVVI postérieur

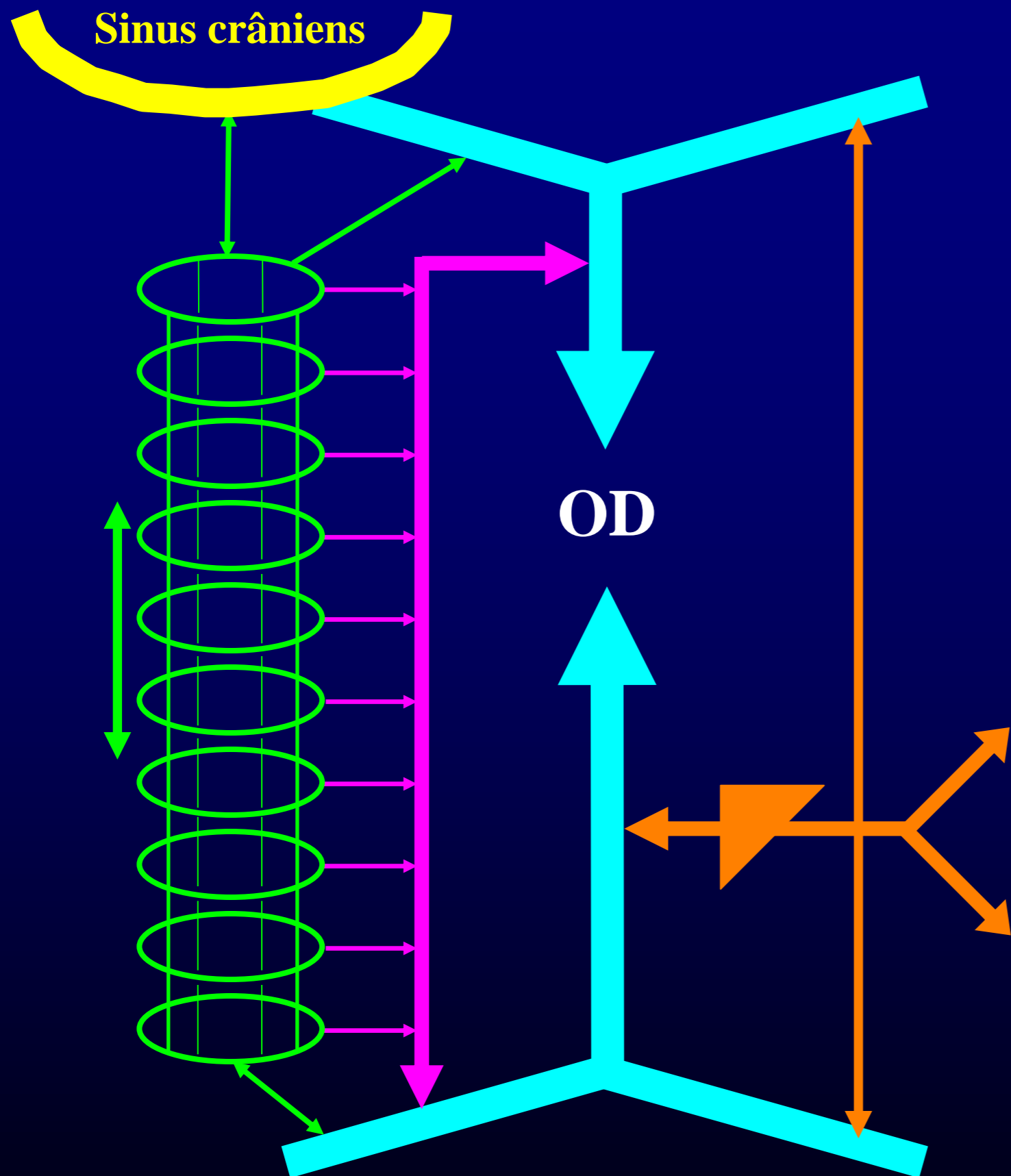




Plexus veineux vertébral (vue transversale avec la moelle épinière)

Schéma simplifié de la circulation veineuse vertébro-médullaire





**Les 4 axes de la circulation
veineuse de retour**

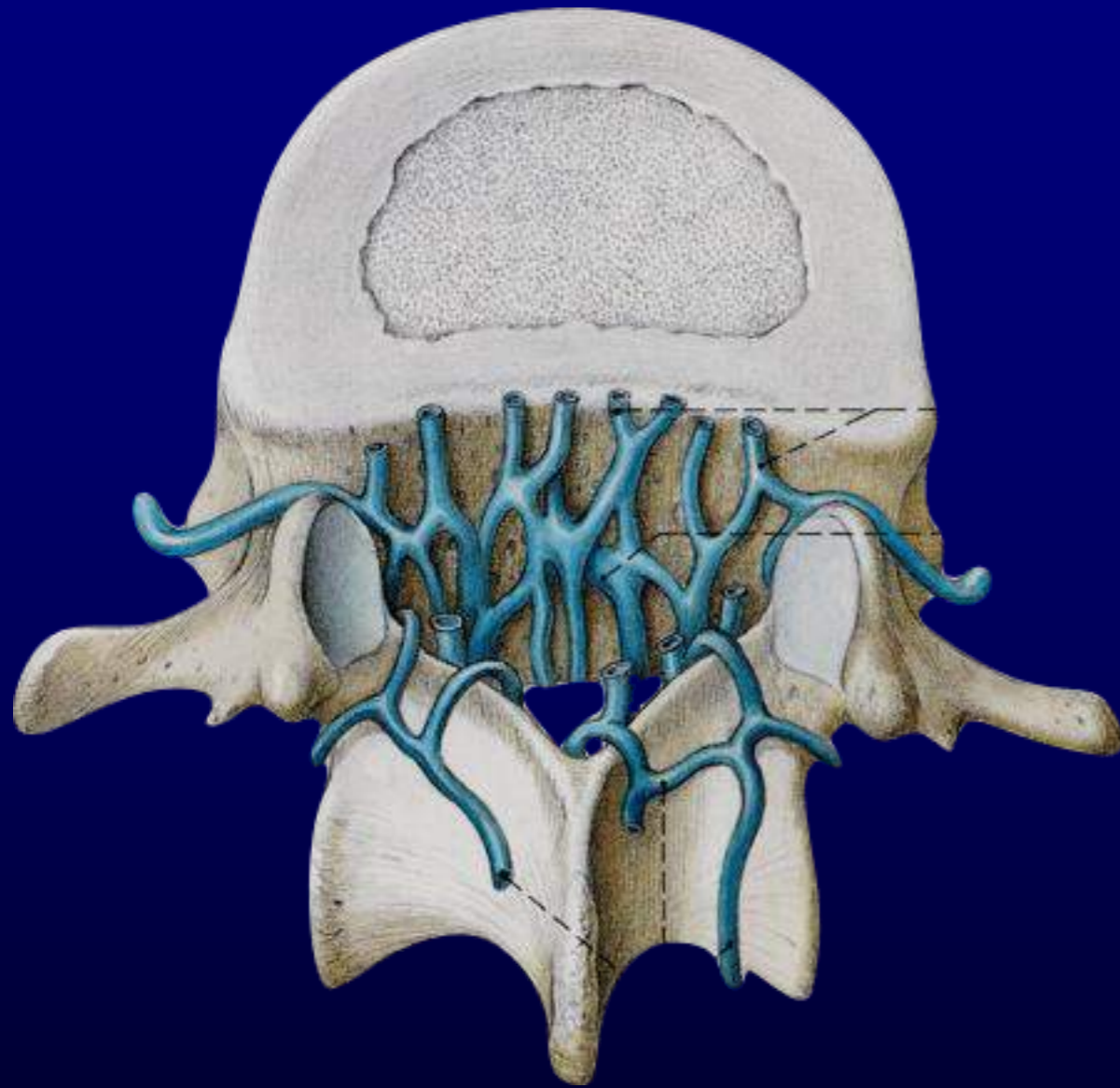
Systeme cave

Systeme porte

Systeme azygos

Plexus veineux vertébral

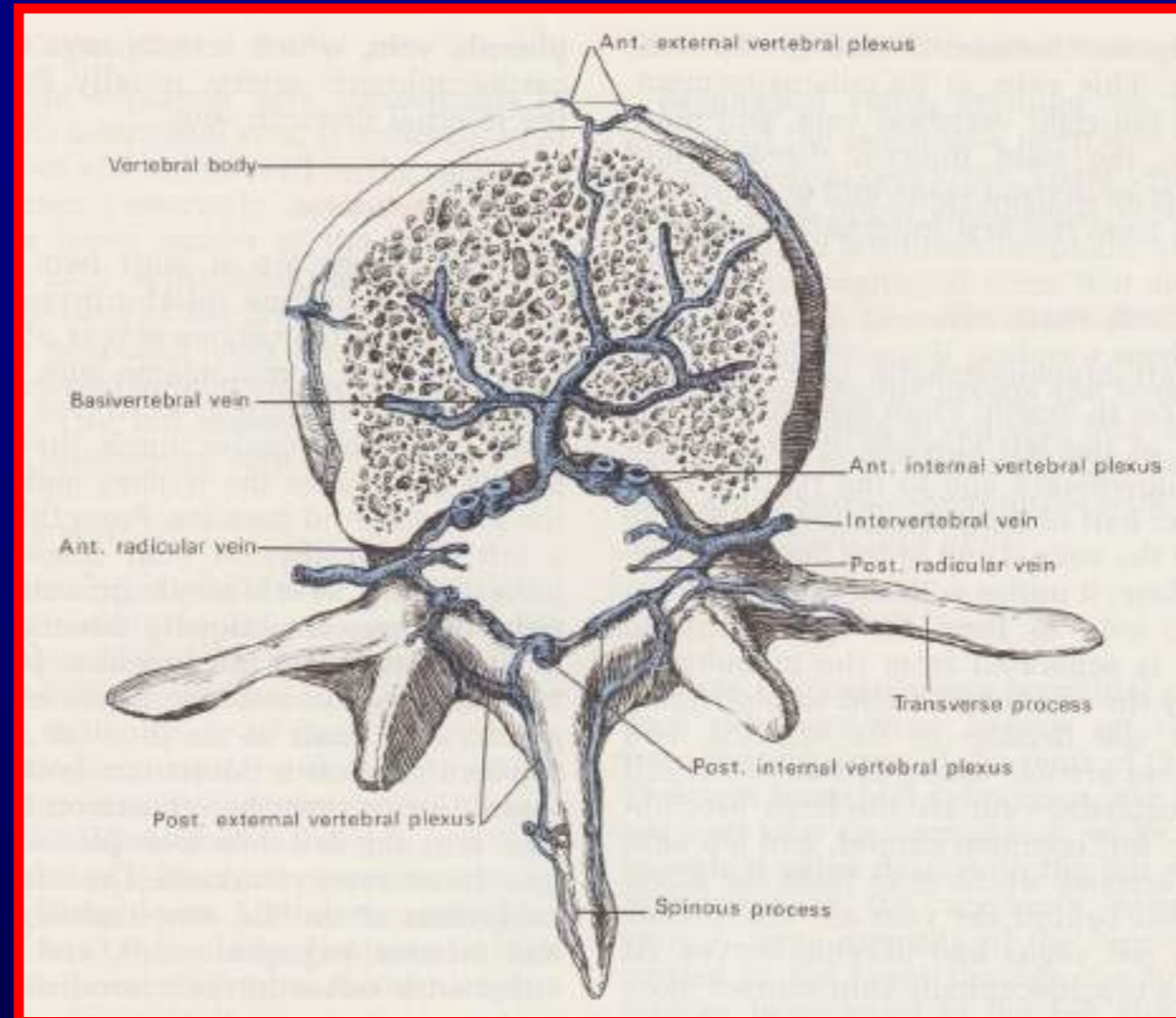
Arguments hémodynamiques



**plexus veineux vertébral
(interne : P.V.V.I.)**

La circulation épidurale a un débit très faible, de sens aléatoire, dans des veines non valvulées. Elle est drainée vers l'oreillette droite via le système azygos par des efférents dont le nombre diminue avec l'âge.

Le risque d'accident médullaire augmente donc avec l'âge du plongeur, par augmentation de la stase vasculaire.



L'existence de facteurs anatomiques compressifs (hernies discales, arthrose dégénérative, etc.) ralentissent la circulation veineuse péri-durale et favorisent la stase veineuse médullaire.

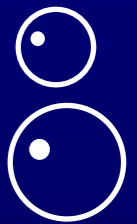
Participation de la circulation veineuse vertébrale au drainage veineux des organes appartenant aux territoires cave et porte via la veine azygos

5,7% du membre inférieur

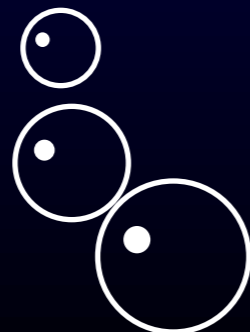
6,5% des viscères pelviens

10,8% des viscères susmésocoliques

11,7% du contenu crânien



La circulation veineuse de retour est donc assurée par les systèmes caves supérieur et inférieur, le système porte et l'axe veineux vertébral via le système azygos





CONCLUSIONS

La complexité et les particularités de la vascularisation veineuse vertébro-médullaire peuvent expliquer :

- **La susceptibilité élevée de la moelle épinière aux ADD médullaires**
- **la fréquence des ADD médullaires**
- **Le polymorphisme de la symptomatologie clinique**
- **Les facteurs de mauvais pronostic des ADD**
- **Rend compte de l'évolution parfois paradoxale de certains accidents médullaires qui répondent mal au traitement hyperbare.**

Anomalies congénitales


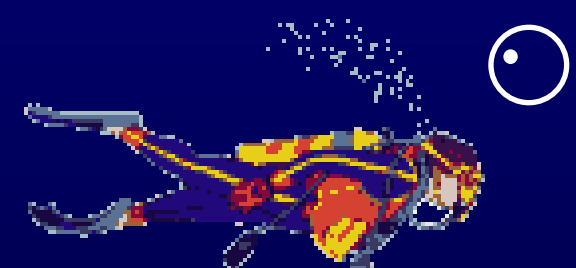
- FOP
- Shunts artério-veineux pulmonaires
- Autres shunts (hépatiques...)
- Thrombophilie acquise ou héréditaire
- Complexité de la vascularisation veineuse vertébro-médullaire

Maladies acquises

- Maladies du muscle cardiaque
- Troubles du rythme cardiaque
- Maladies des coronaires
- Maladies des valves cardiaques
- Maladies des vaisseaux
- Maladies pulmonaires
-

Le vieillissement

- Fonction respiratoire
- Fonctions cardio-vasculaires
- Les liquides organiques
- Squelette, muscles, appareil locomoteur
- Système nerveux, endocrinien, homéostasie

- 
- 
- Redistribution sanguine (Blood Shift)
 - Déshydratation (respiration, diurèse d'immersion, froid)
 - Vasoconstriction (froid, hyperoxie)
 - Contraintes de la mécanique ventilatoire
 - L'embolie gazeuse de la décompression

ADP expliqués

- Le milieu
- Le plongeur
- La plongée
- Le matériel

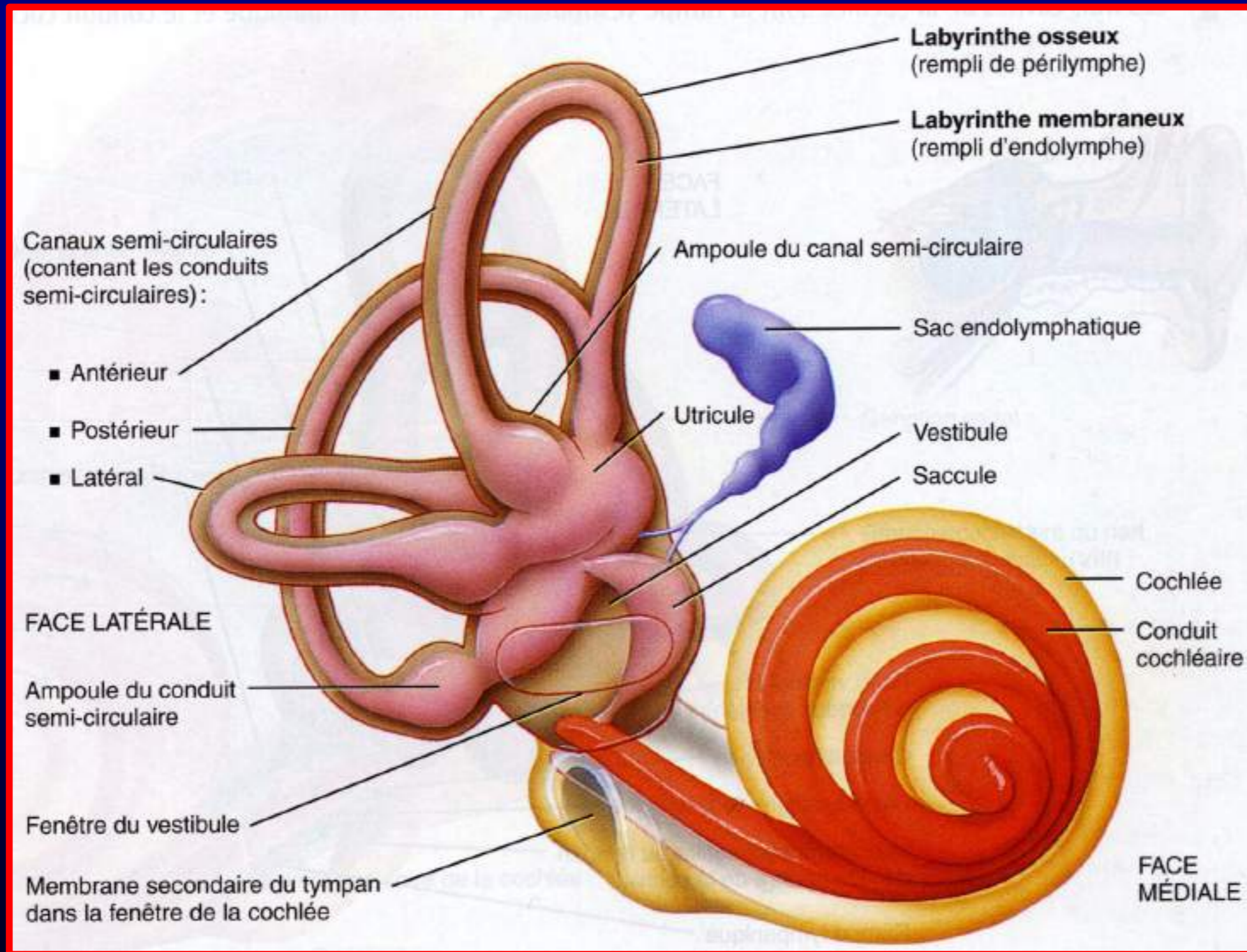
ADD «inexpliqués»

- Médullaires
- **Vestibulaires**
-
-

ADP «inexpliqués»

Pathologie dysbarique

L'oreille interne



Accidents de décompression de l'oreille interne

- ★ La symptomatologie est essentiellement vestibulaire
- ★ Ils sont en fréquence croissante dans la plongée de loisir

Accidents de décompression de l'oreille interne

Mécanismes : hypothèses étiopathogéniques sont diverses

- ★ Microbulles des tissus et liquides labyrinthiques endolymphatiques : elles provoquent des dilacérations ou compression des structures neurosensorielles, avec hémorragies et exsudats protéiques, à l'origine d'une évolution vers la dégénérescence
- ★ Microbulles dans la circulation de type terminal de l'oreille interne (artère labyrinthique) : la constitution d'agrégats bullo-lipido-plaquettaires entraîne une anoxie en aval, dans une circulation de type terminal et sans anastomoses fonctionnellement valables
- ★ Souffrance des noyaux vestibulaires centraux
- ★ L'embolisation de microbulles du système veineux central à travers un FOP a été évoquée récemment à l'occasion d'ADD de l'OI (prévalence de près de 70% de FOP dans ce type d'accident, alors qu'il existe une moyenne de 30% de FOP dans la population globale)

Anomalies congénitales

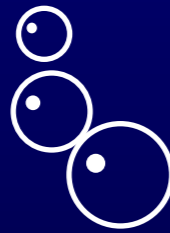
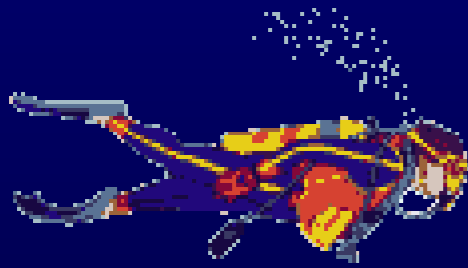
- FOP
- Shunts artério-veineux pulmonaires
- Autres shunts (hépatiques...)
- Thrombophilie acquise ou héréditaire
- Complexité de la vascularisation veineuse vertébro-médullaire

Maladies acquises

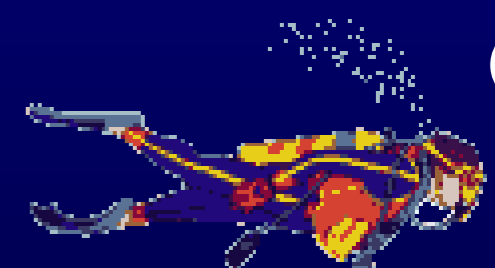
- Maladies du muscle cardiaque
- Troubles du rythme cardiaque
- Maladies des coronaires
- Maladies des valves cardiaques
- Maladies des vaisseaux
- Maladies pulmonaires
-

Le vieillissement

- Fonction respiratoire
- Fonctions cardio-vasculaires
- Les liquides organiques
- Squelette, muscles, appareil locomoteur
-
-



- Redistribution sanguine (Blood Shift)
- Déshydratation (respiration, diurèse d'immersion, froid)
- Vasoconstriction (froid, hyperoxie)
- Contraintes de la mécanique ventilatoire
- L'embolie gazeuse de la décompression



ADP expliqués

- Le milieu
- Le plongeur
- La plongée
- Le matériel

ADD «inexpliqués»

- Médullaires
- Vestibulaires
-
-

ADP «inexpliqués»

- Embolie pulmonaire
- Infarctus du myocarde
- Troubles du rythme cardiaque

Pathologie dysbarique



Exemple de pièce d'embolectomie

Anomalies congénitales

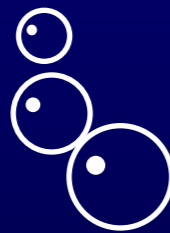
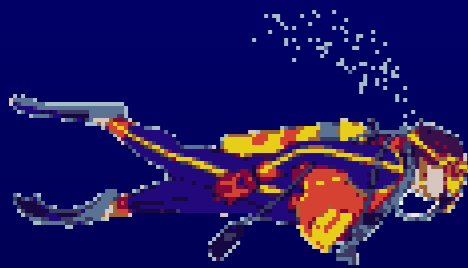
- FOP
- Shunts artério-veineux pulmonaires
- Autres shunts (hépatiques...)
- Thrombophilie acquise ou héréditaire
- Complexité de la vascularisation veineuse vertébro-médullaire
-

Maladies acquises

- Maladies du muscle cardiaque
- Troubles du rythme cardiaque
- Maladies des coronaires
- Maladies des valves cardiaques
- Maladies des vaisseaux
- Maladies pulmonaires
-

Le vieillissement

- Fonction respiratoire
- Fonctions cardio-vasculaires
- Les liquides organiques
- Squelette, muscles, appareil locomoteur
-
-



- Redistribution sanguine (Blood Shift)
- Déshydratation (respiration, diurèse d'immersion, froid)
- Vasoconstriction (froid, hyperoxie)
- Contraintes de la mécanique ventilatoire
- L'embolie gazeuse de la décompression



ADP expliqués

- Le milieu
- Le plongeur
- La plongée
- Le matériel

ADD «inexpliqués»

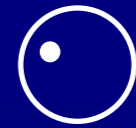
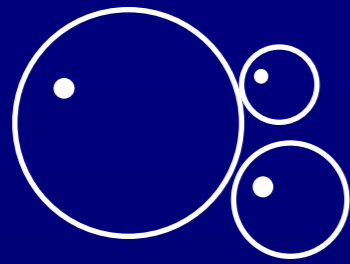
- Médullaires
- Vestibulaires
-
-

ADP «inexpliqués»

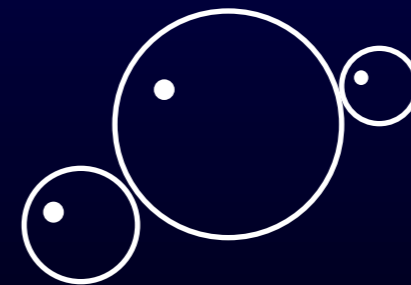
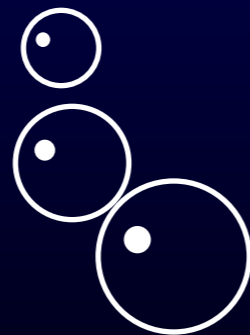
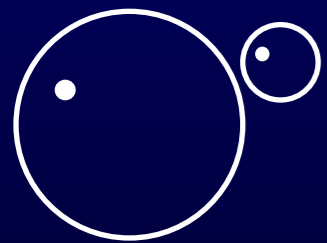
- Embolie pulmonaire
- Infarctus du myocarde
- Troubles du rythme cardiaque

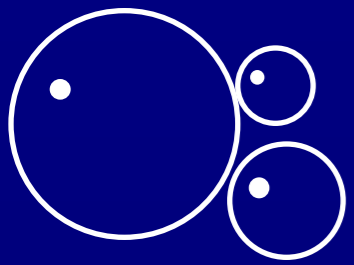
Pathologie dysbarique

- Effets au long cours de la plongée**
- Sur les poumons
 - Sur le système nerveux
 - Sur l'oreille
 - Ostéonécrose dysbarique +++

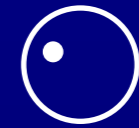


Prévention des accidents en plongée dits «immérités»





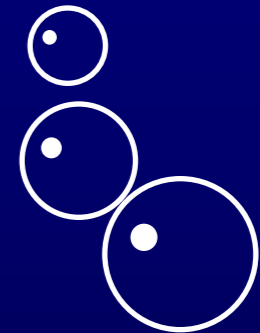
Prévention de l'ADD : Notions traditionnelles



Actions sur la plongée

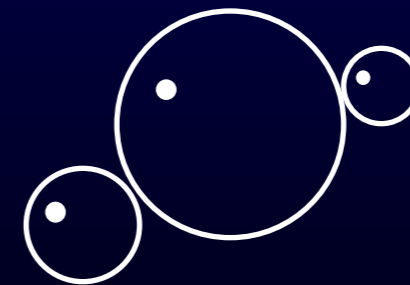
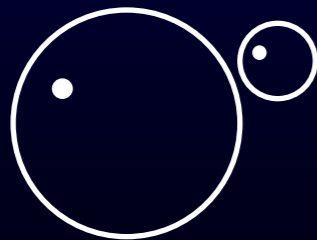
Adopter une vitesse de remontée lente :

- ▶ 10 m/mn
- ▶ surtout à l'approche de la surface.



Effectuer des paliers dans de bonnes conditions :

- ▶ Respecter la profondeur des paliers (l'augmenter si mer agitée) ;
- ▶ Pas d'efforts physiques ;
- ▶ Bonne ventilation ;
- ▶ Pas d'échanges d'embout.

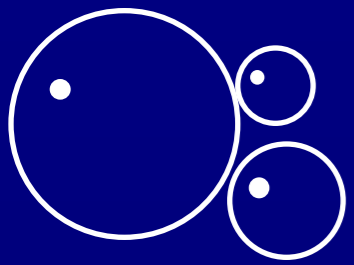


Prévention de l'ADD :

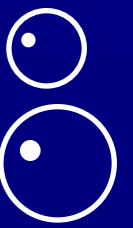
Notions traditionnelles

Eviter les comportements à risque :

- ▶ Les plongées yoyo ; les profils inversés
- ▶ Les plongées consécutives et successives rapprochées ;
 - ▶ Limiter le nombre de remontée lors des exercices ;
 - ▶ Respecter un délai d'au moins 3 ou 4 heures entre deux plongées.
 - ▶ Eviter les hyperpression thoraciques, afin d'éviter les shunts cardiaques (FOP) et pulmonaire, donc proscrire les manoeuvres de Valsalva à la remontée ;
 - ▶ Eviter les efforts violents après une plongée ;
 - ▶ Eviter l'apnée après une plongée ;
 - ▶ Pas de montée en altitude ; ne pas prendre l'avion suite à une plongée ;
 - ▶ Limiter le nombre de plongées à deux par jour.

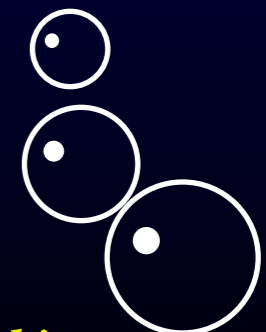
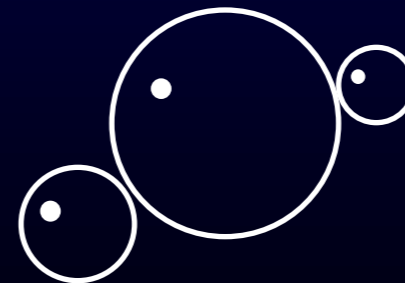
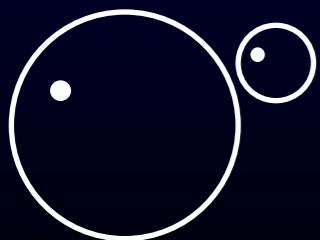


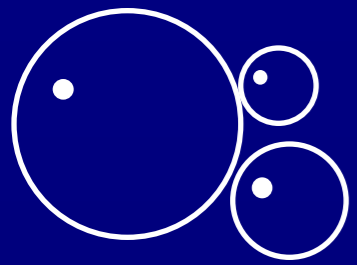
Prévention de l'ADD : Notions traditionnelles



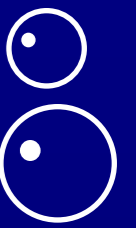
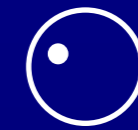
Actions sur le plongeur : Eviter les facteurs favorisants

- ▶ Une mauvaise condition physique; obésité
- ▶ La fatigue physique ;
- ▶ Stress ;
- ▶ Les efforts, l'essoufflement ;
- ▶ Le froid ; mauvaise hydratation avant la plongée ;
- ▶ Les médicaments ;
- ▶ Tabac (augmente la viscosité sanguine, altère la MAC) ;
- ▶ L'âge avancée doit inciter à la prudence.
- ▶ Shunt droit - gauche

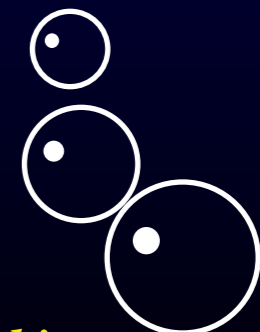
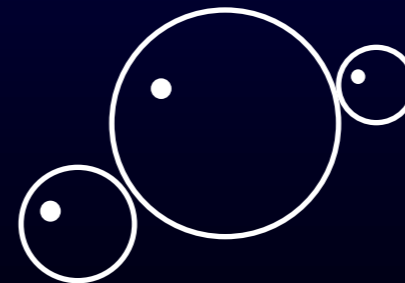
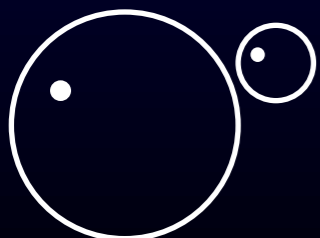




Prévention de l'ADD : Nouvelles Notions



Prévenir l'ADD en neutralisant les noyaux gazeux avant la plongée ?



Prévention de l'ADD :

Plongée précédée par une action de préconditionnement

1) Exercice physique avant la plongée



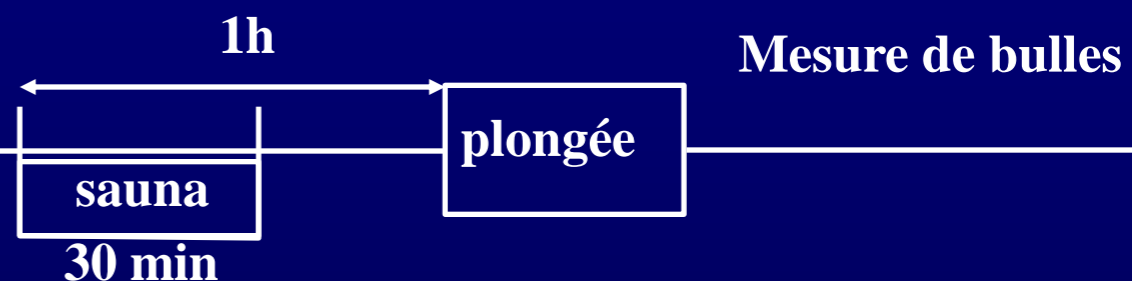
Exercice physique réalisé 2h avant la plongée est efficace (réduction nette de la bullogénèse)

Mais pas d'effet 24h avant la plongée (Jurd et coll 2009)

Prévention de l'ADD :

Plongée précédée par une action de préconditionnement

2) Exposition à la chaleur avant la plongée



Une 1/2 h de sauna réalisée une heure avant la plongée est efficace (réduction nette de la bullogénèse)

Prévention de l'ADD :

Plongée précédée par une action de préconditionnement

3) Hydratation avant la plongée



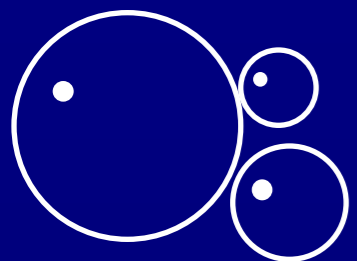
Boire 1,3 litre d'eau + sel (2g) et sucre (30 g)
90 min avant l'immersion

Score en % de la bullogénèse :

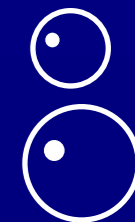
- * Avec préH = 3%
- * Sans préH = 19%

La préhydratation prévient l'hypovolémie liée à l'immersion



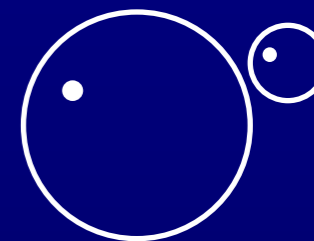


Prévention de l'ADD :



Plongée précédée par une action de préconditionnement

4) Préoxygénation avant la plongée



30 min préoxygénation. O₂ normobare (10L/min)
Respect de 15 min en air ambiant avant le début de la plongée

2 plongées successives. 4 conditions différentes :
Air-Air O₂-O₂ Air-O₂ O₂-Air

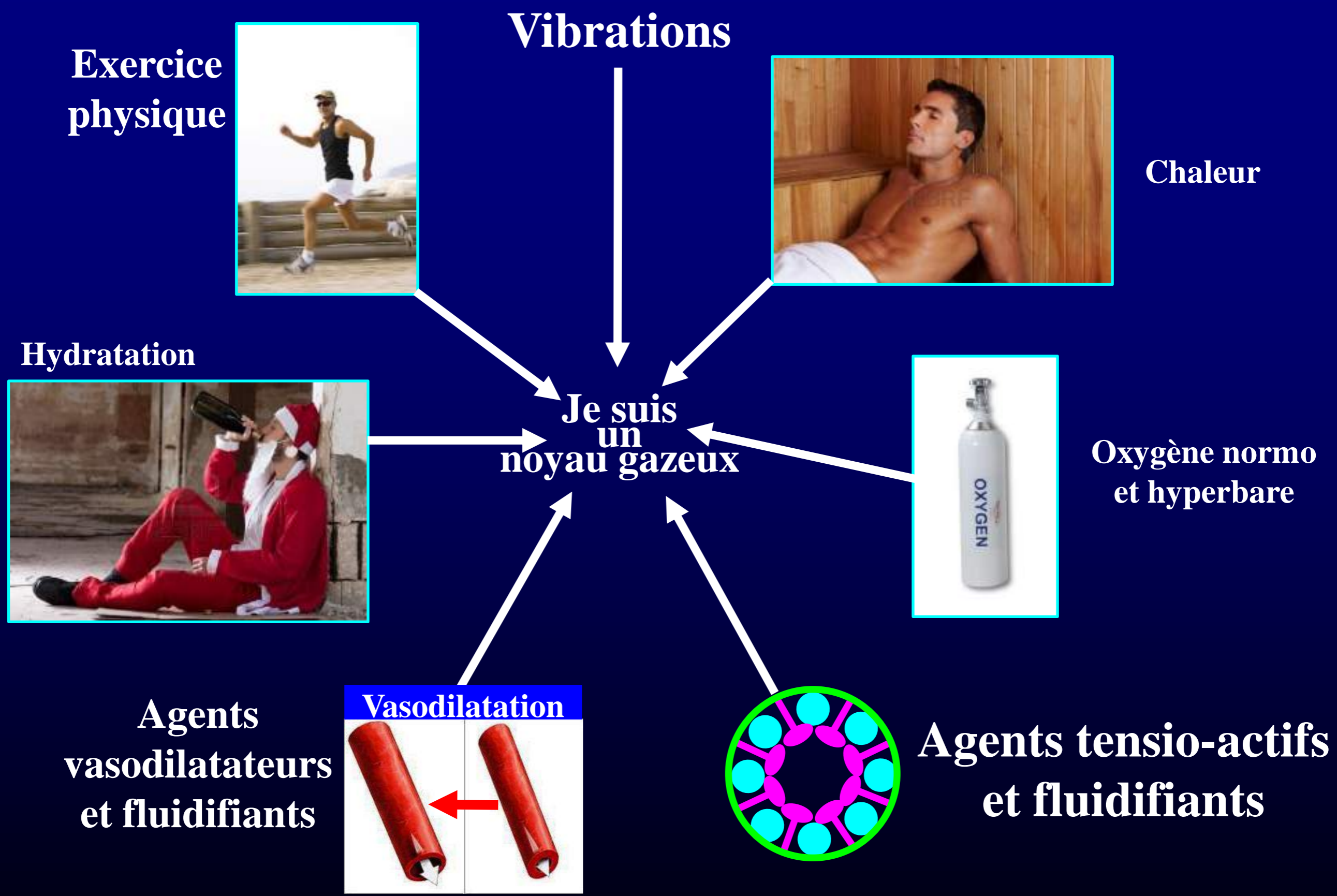
	Air - Air	O ₂ - O ₂	Air - O ₂	O ₂ - Air
Plongée 1	16,22	7,15	15,22	6,47
Plongée 2	35,60	12,1	17,02	18,81

Aptitude cardio-vasculaire à la plongée en scaphandre

- **Interrogatoire** : motivation, ATCD familiaux et personnels, signes d'appel, facteurs de risque, traitement en cours
- **Examen clinique** : Ne pas oublier la TA
- **Electrocardiogramme** : fondamental : troubles conductifs ++
- **Echocardiogramme** : chez tous les hypertendus anciens et sévères
- **Epreuve d'effort** : raisonnable chez l'homme de plus de 40 ans et chez la femme de plus de 50 ans ; renouvelée tous les 3 à 5 ans jusqu'à 60 ans puis tous les ans.



Neutralisation des noyaux gazeux avant la plongée : Perspectives



Conclusion

« pré-conditionnement »

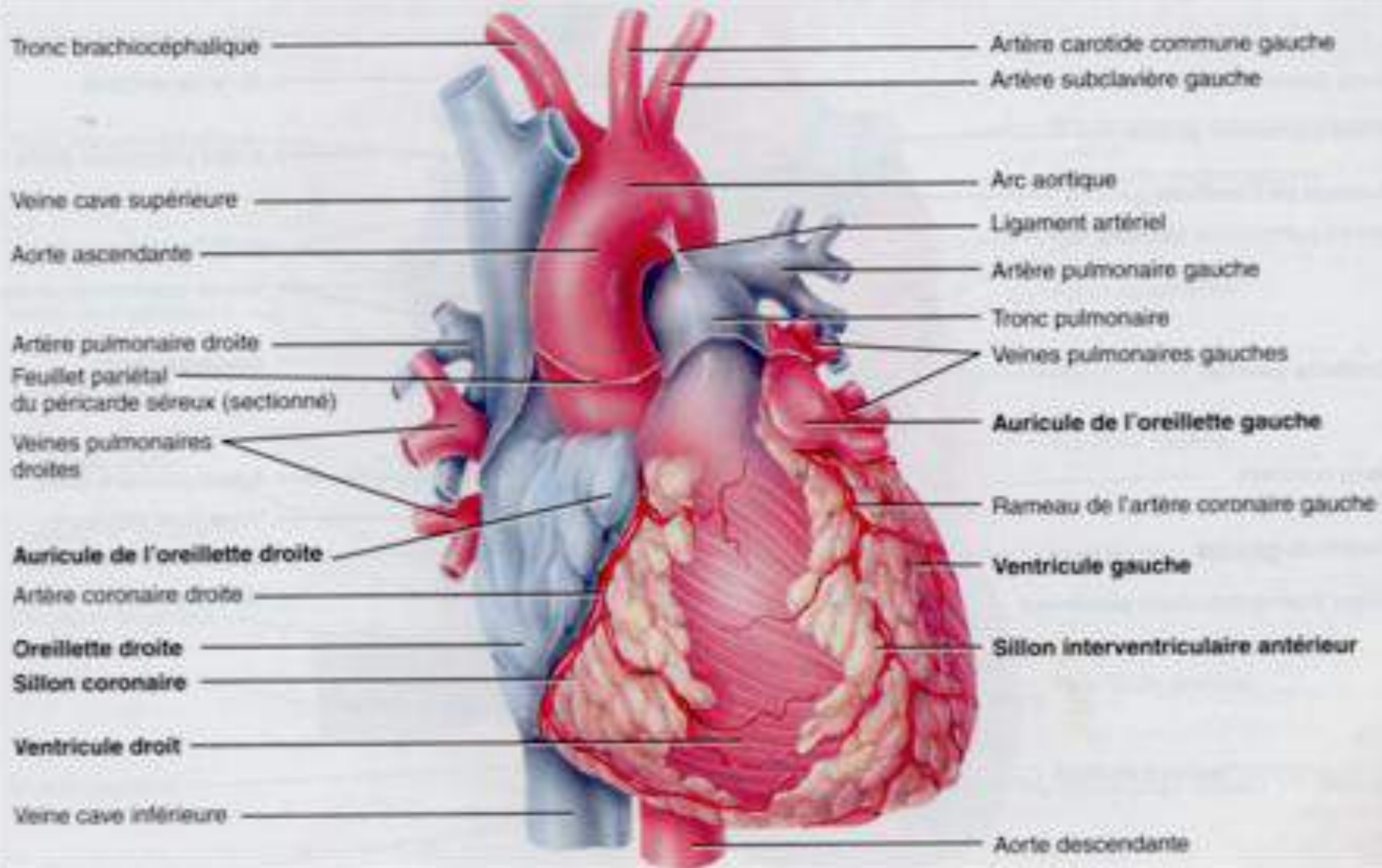
- **Exercice physique pendant 40 - 45 min, débuté de 2 h à 1h avant la plongée**
 - ▶ **Ambiance thermique chaude favorable**
 - ▶ **Hydratation à volonté**
- **Plongées saturantes répétées**
 - ▶ **30 min de préoxygénation avant plongée**
 - ▶ **Hydratation entre les plongées**
 - ▶ **Privilégier séquence « O2-air » si stock O2 limité**



FIN

MERCI DE VOTRE ATTENTION

Anatomie externe du coeur



APTITUDE A LA PLONGEE

- **↑ du travail cardiaque** Insuffisance. cardiaque symptomatique
- **Bradycardie, BAV** Risque syncopal
- **Augmentation de la TA** HTA sévère ou mal contrôlée
- **Vol coronarien** Cardiopathie ischémique
- **Augmentation des P.A.P.** Cardiopathie droite
- **Interactions coeur-poumons** Antécédents pulmonaires
- **Décompression, bulles** Shunt (FOP ?), valvulopathies

APTITUDE A LA PLONGEE

Contre-indications définitives (FFESSM)

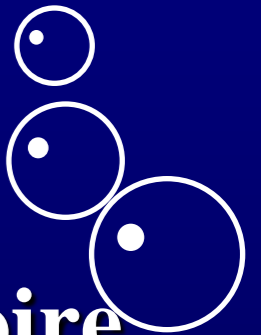
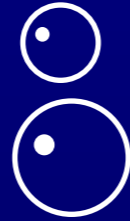
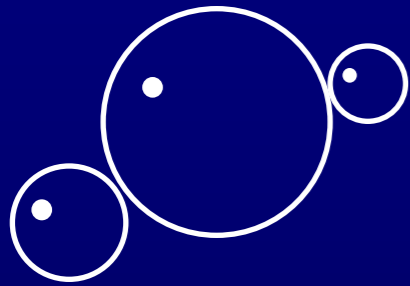
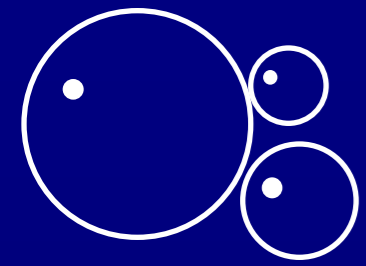
- **Cardiopathie congénitale (Shunt)**
- **Insuffisance cardiaque symptomatique**
- **Cardiomyopathie obstructive**
- **Pathologie avec risque syncopal**
- **Tachycardie paroxystique**
- **BAV II ou III non appareillé**
- **Shunt D-G découvert après accident cérébral**

APTITUDE A LA PLONGEE

Contre-indications temporaires (FFESSM)

- Hypertension artérielle non contrôlée
- Infarctus récent, angor
- Péricardite
- Traitement par anti-arythmiques ou β bloquants

Conclusions



- **Le plongeur se comporte comme un insuffisant respiratoire**
- **Le plongeur se comporte comme un insuffisant cardiaque**
- **Le plongeur se comporte comme un insuffisant coronarien**

