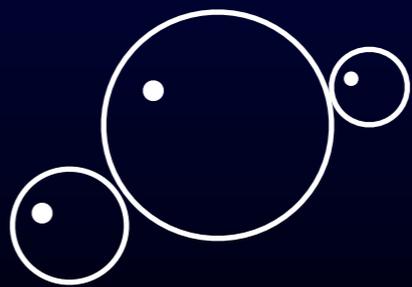
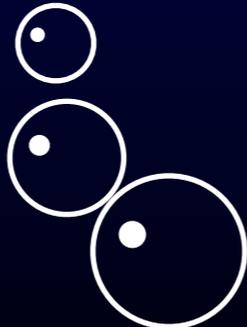
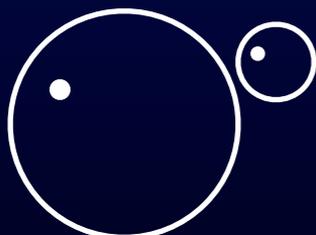


○ **Les accidents de plongée chez  
l'encadrant :  
Facteurs de risque et prévention**



# Epidémiologie

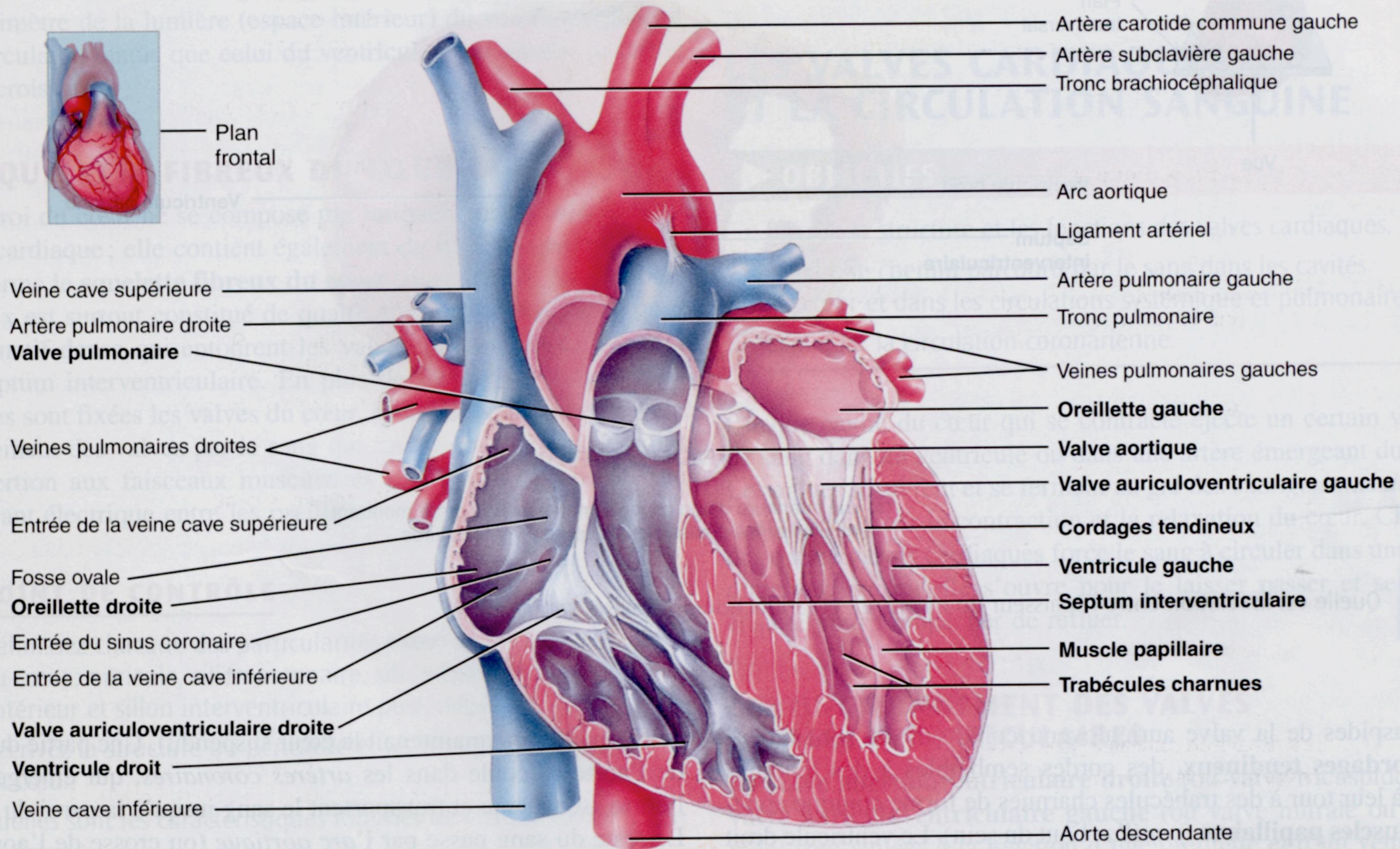
- 1 accident pour 6 à 10.000 plongées/an dans le monde
- Soit 350 accidents / an traités dans les centres hyperbares français.
- 75% = M      25% = F
- 10% ont déjà eu un accident de plongée
- **1/5ième des accidentés = encadrants (70)**
- 20% surviennent au cours d'une formation
- L'incidence augmente avec la profondeur
- Accident de désaturation = 53%
- Barotraumatisme grave = 15%
- Accident cardio-vasculaire d'immersion = 5% (17,5 cas)

*Anatomie du système  
cardiovasculaire et  
Ventilatoire*

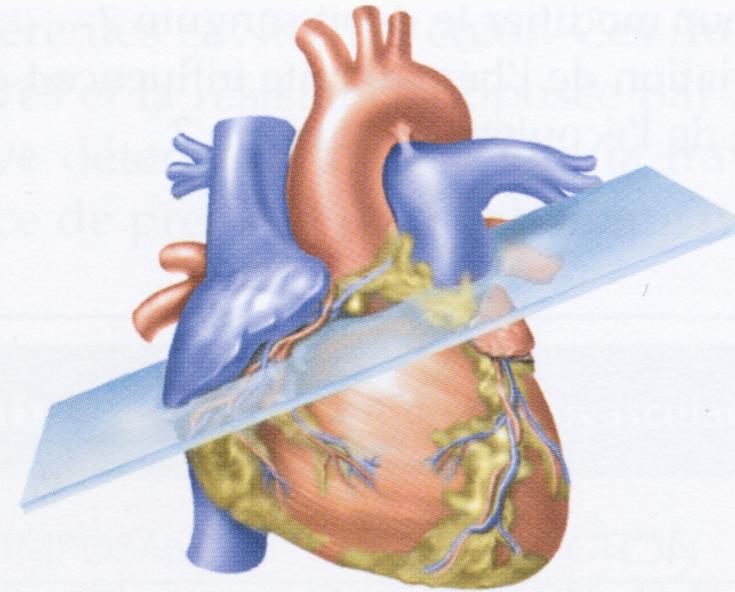
# Anatomie interne du coeur



Plan frontal



# Anatomie interne du coeur : Valves cardiaques



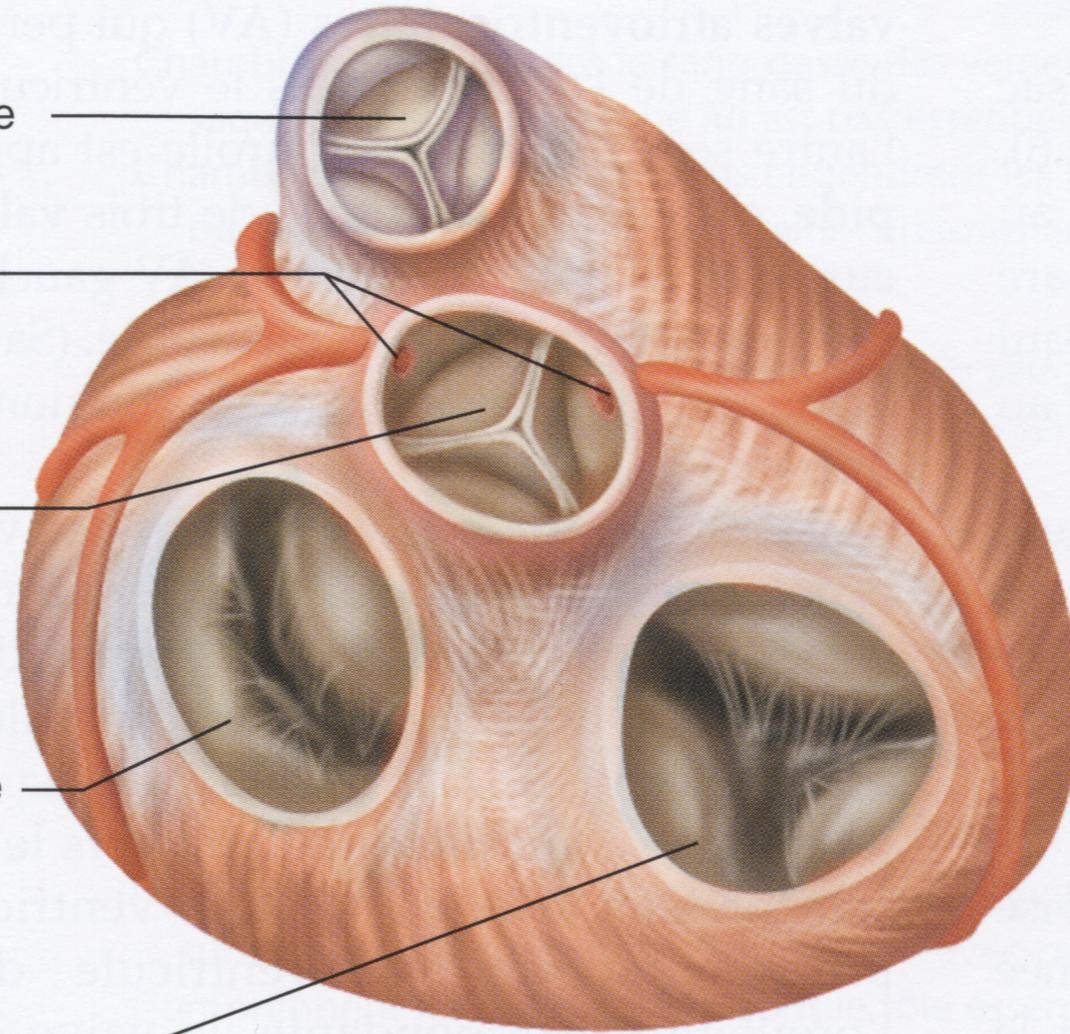
Valve semilunaire  
pulmonaire

Ouvertures  
vers les artères  
coronaires

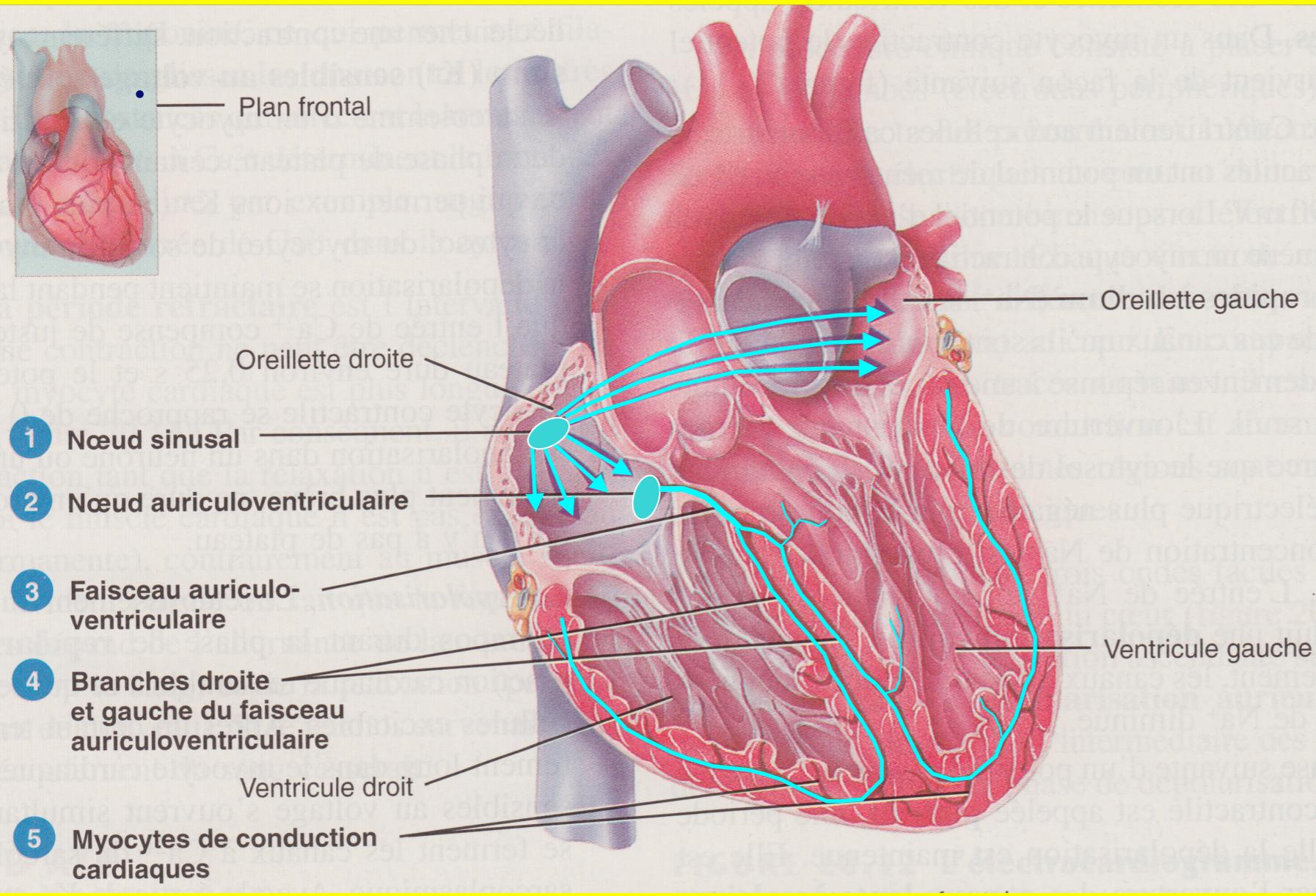
Valve  
semilunaire  
aortique

Valve AV gauche  
(bicuspide)

Valve AV droite  
(tricuspide)

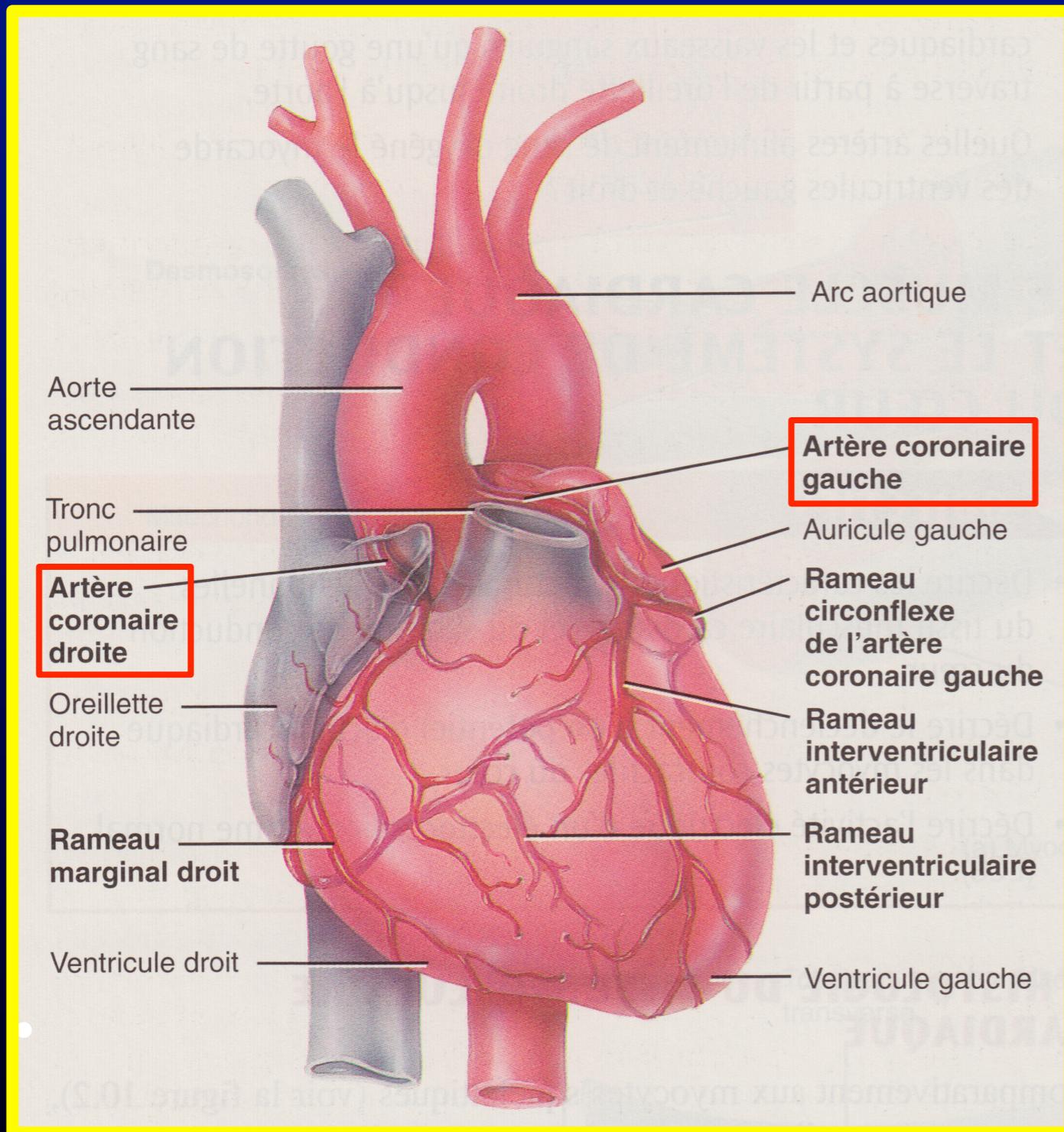


# Systeme de conduction électrique intracardiaque



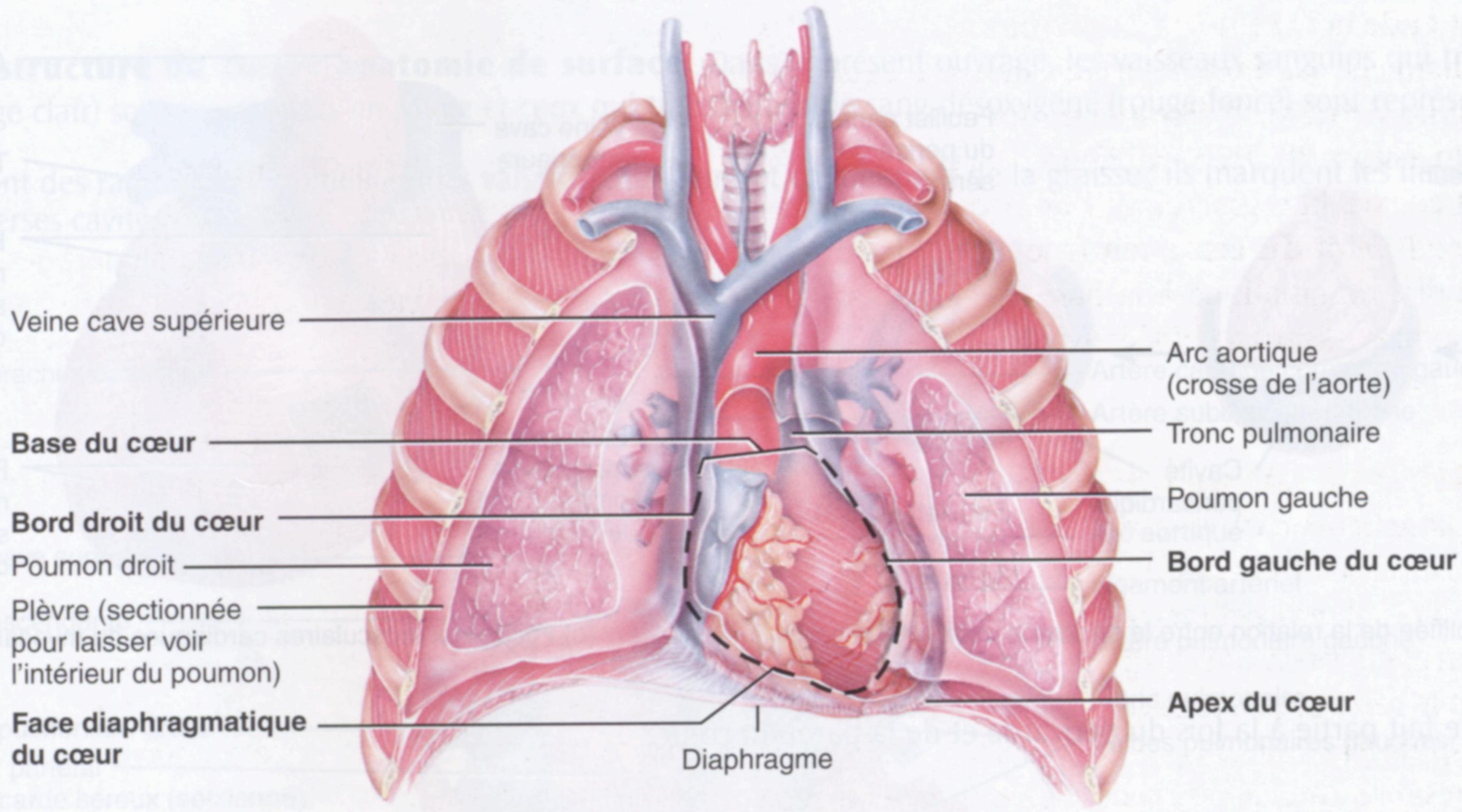
- La majorité des cellules du tissu nodal peuvent générer l'automatisme cardiaque, les plus rapides imposant leur rythme aux autres.
- Ce sont les cellules du nœud sinusal qui, normalement commandent l'automatisme, (rythme sinusal à 100 décharges / minutes), régulées par des mécanismes neuro-hormonaux.
- En cas de déficience du nœud sinusal, un autre groupe de cellules du tissu nodal 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).

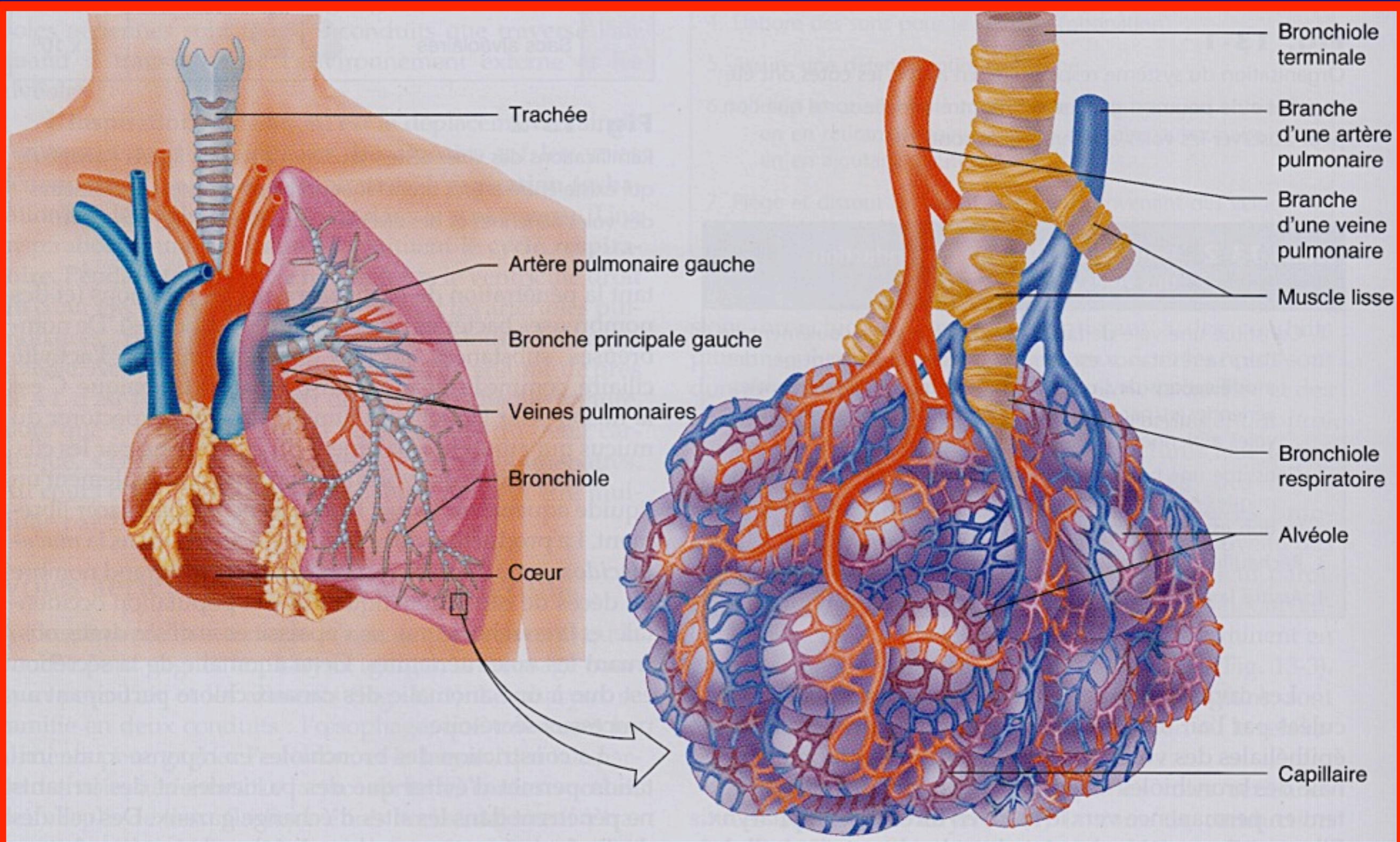
# Systeme cardio-vasculaire

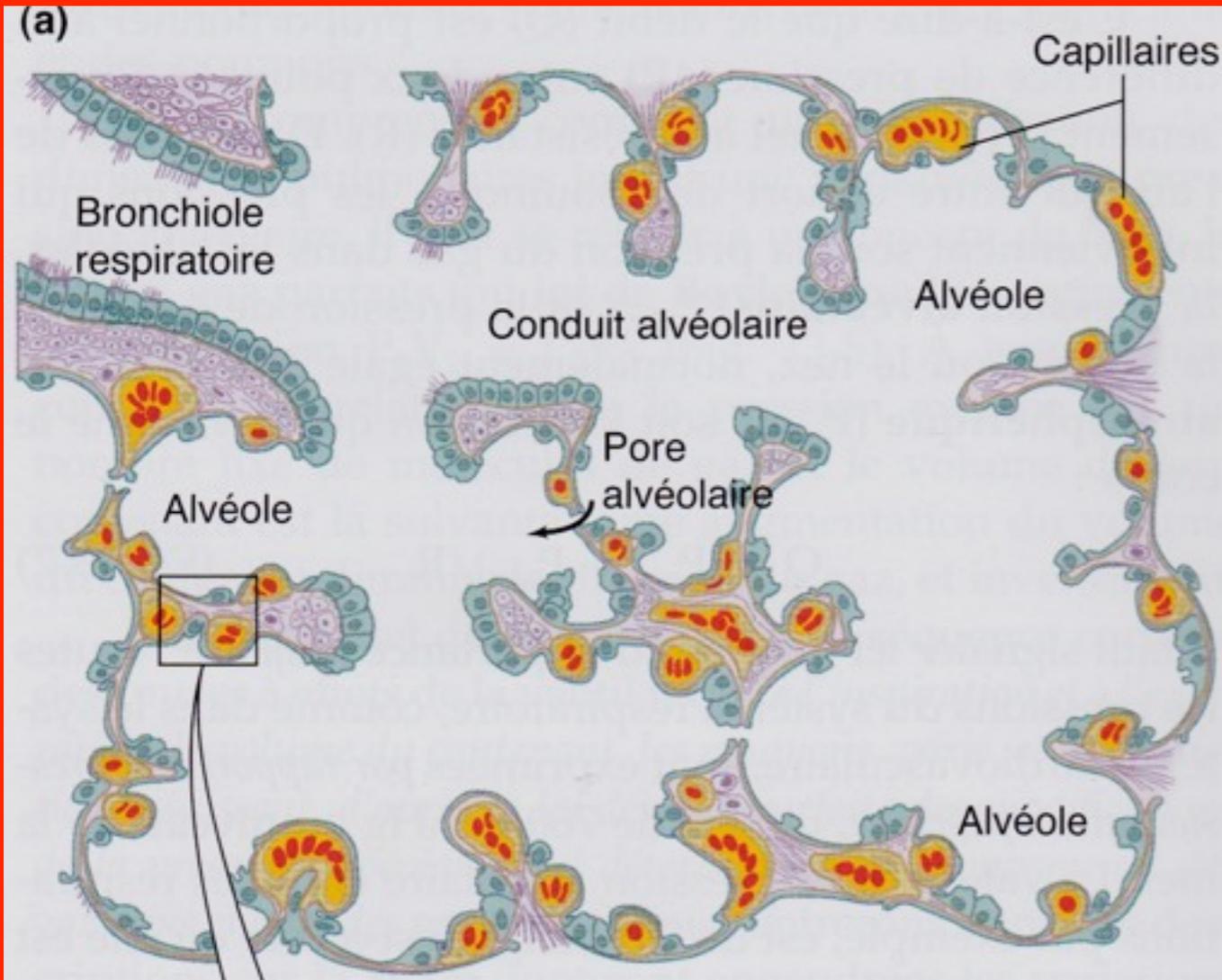


- **Le tissu musculaire du coeur possède sa propre circulation artérielle et veineuse systémique : circulation coronarienne**
- **Les artères coronaires droites et gauches prennent naissance sur l'aorte**
- **Il peut se développer une circulation collatérale composée de petites ramifications pour contourner un étranglement artériel du fait d'un dépôt (athérome).**

# Situation des poumons dans la cage thoracique

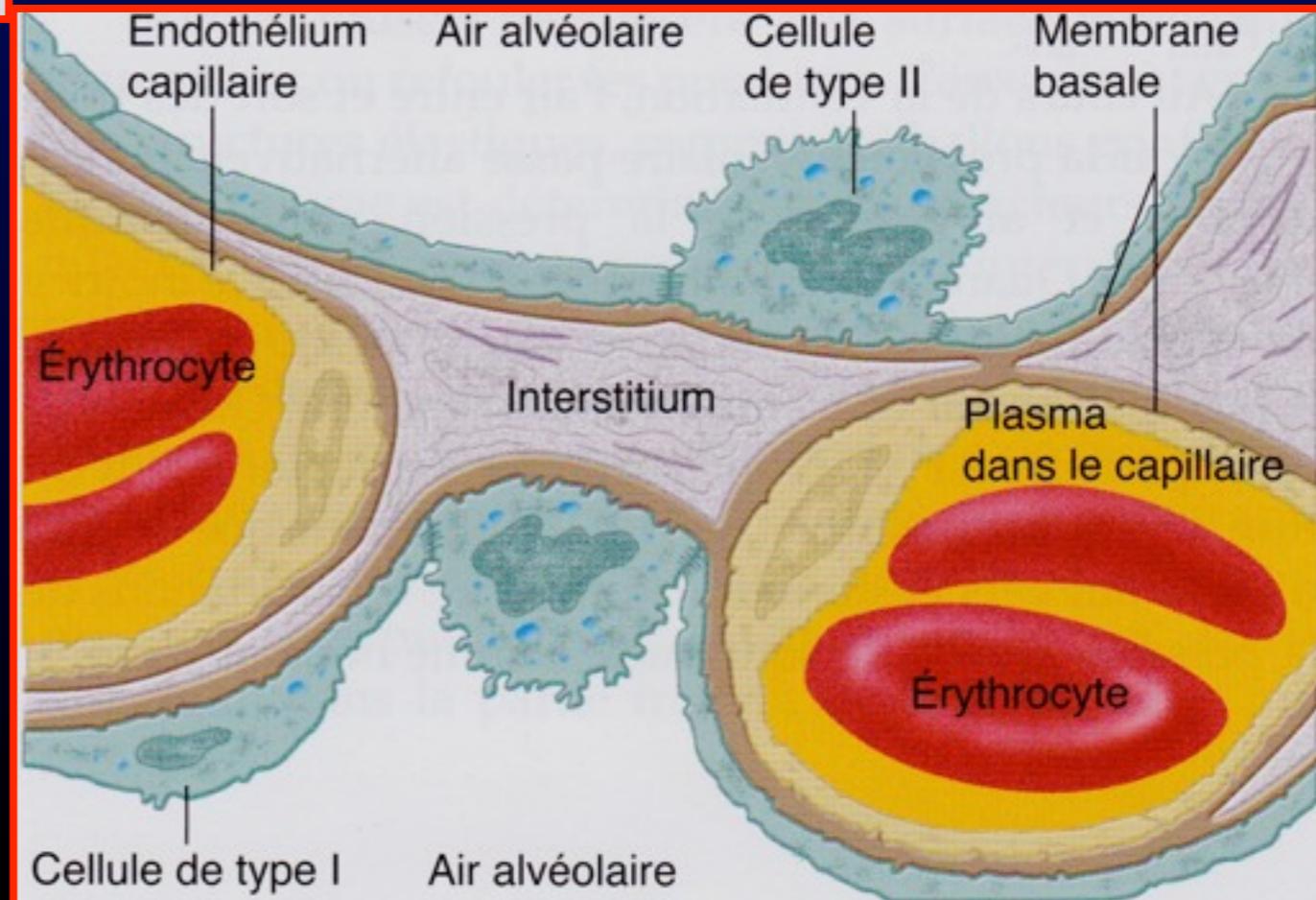




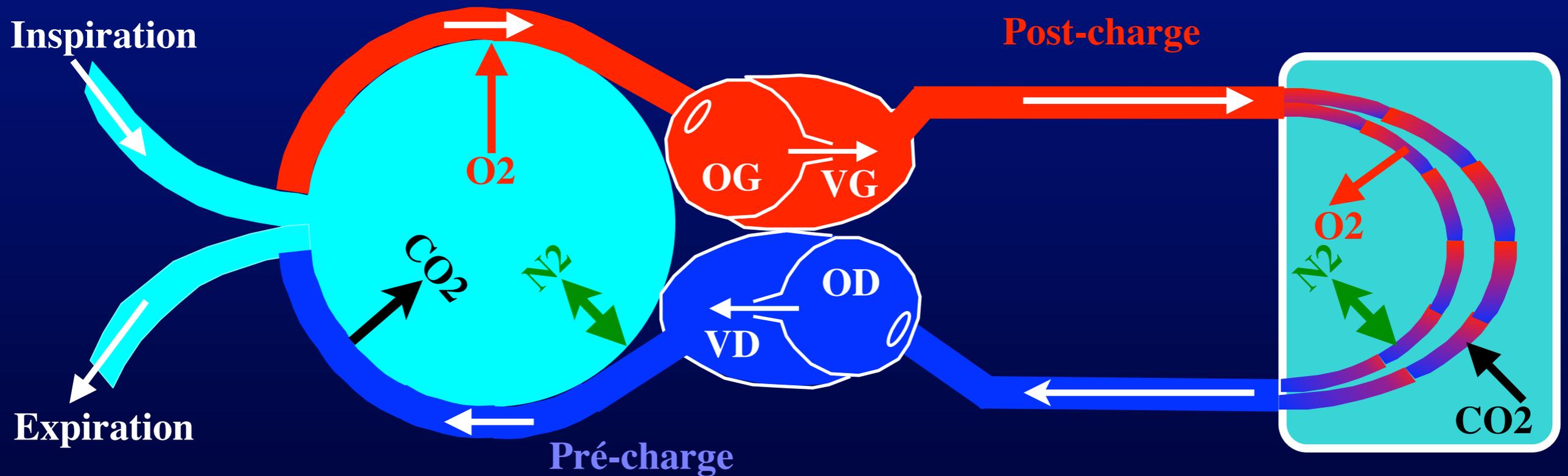


- 300 à 500 millions d'alvéoles environ
- Diamètre d'une alvéole :  $250 \pm 10 \mu\text{m}$
- Surface totale alvéolaire : 80 à 100 m<sup>2</sup>
- Surface en contact avec capillaires : 75 m<sup>2</sup>
- Membrane alvéolocapillaire : 0,3 à 0,5  $\mu\text{m}$
- Lieu des échanges gazeux avec la circulation sanguine (= Hématose)

# Alvéoles et Membrane alvéolo- capillaire



# L'appareil pneumo-cardio-circulatoire



**Voies  
aériennes**

**Poumons**

**Coeur**

**Grande  
circulation**

**Tissus**

Alvéoles

Muscle

Artères

Système nerveux

Petite circulation

Coronaires

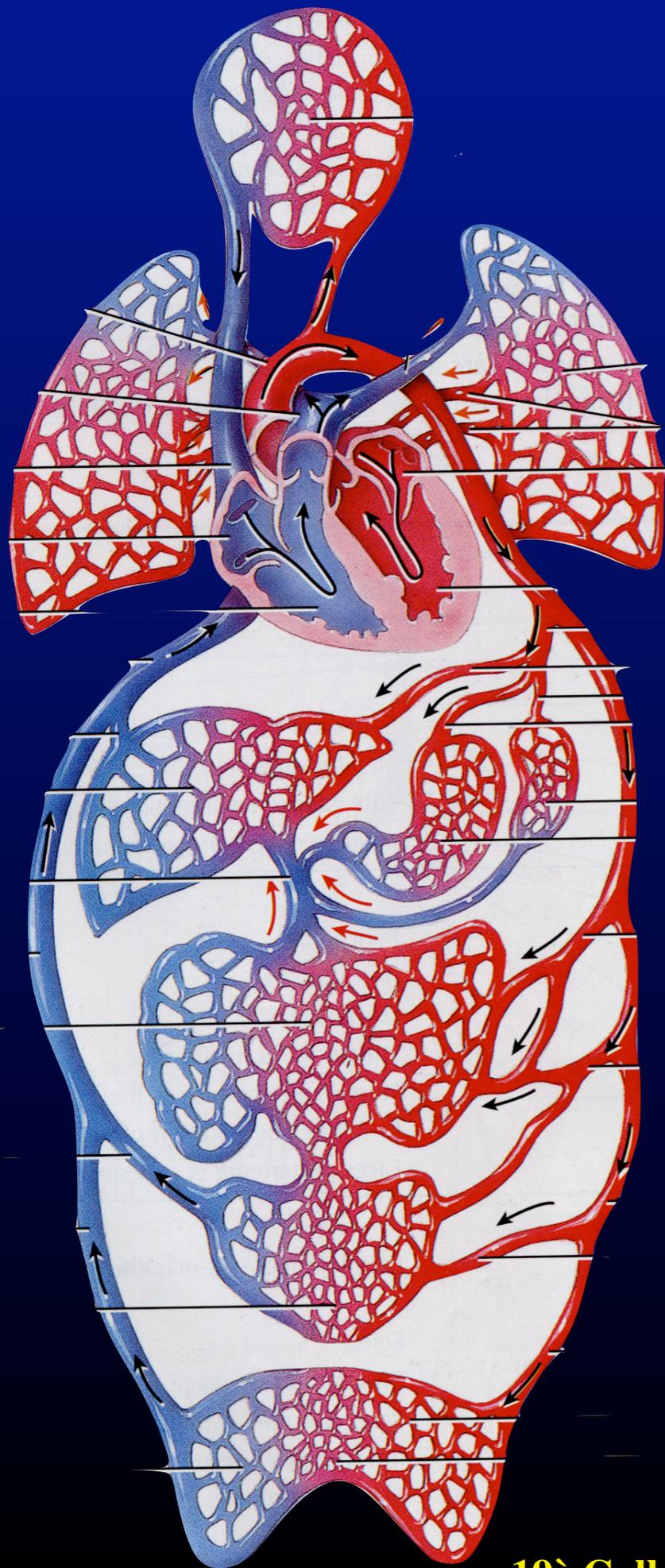
Veines

Oreille

Tissu nerveux

Muscles, Os

Valves

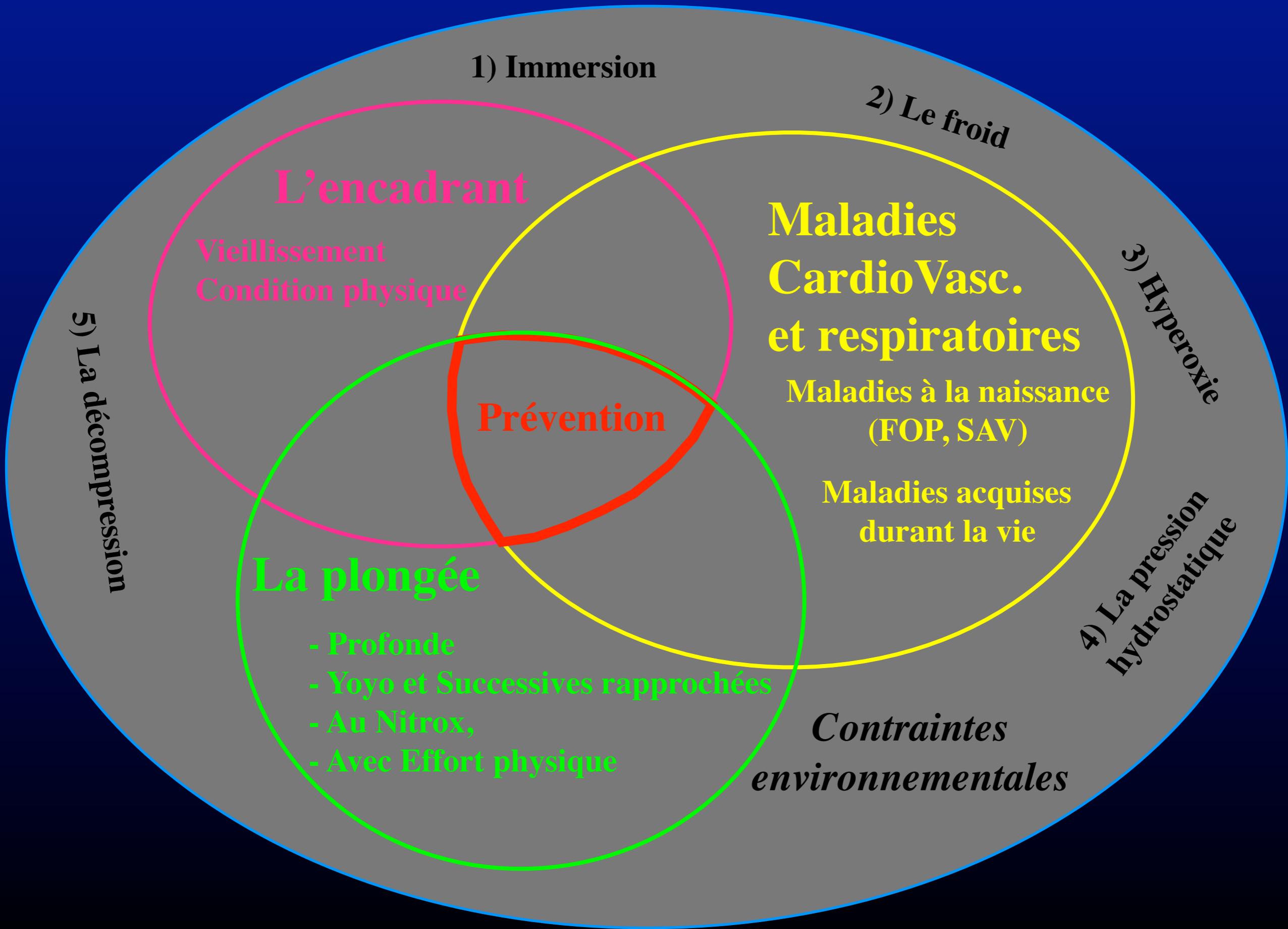


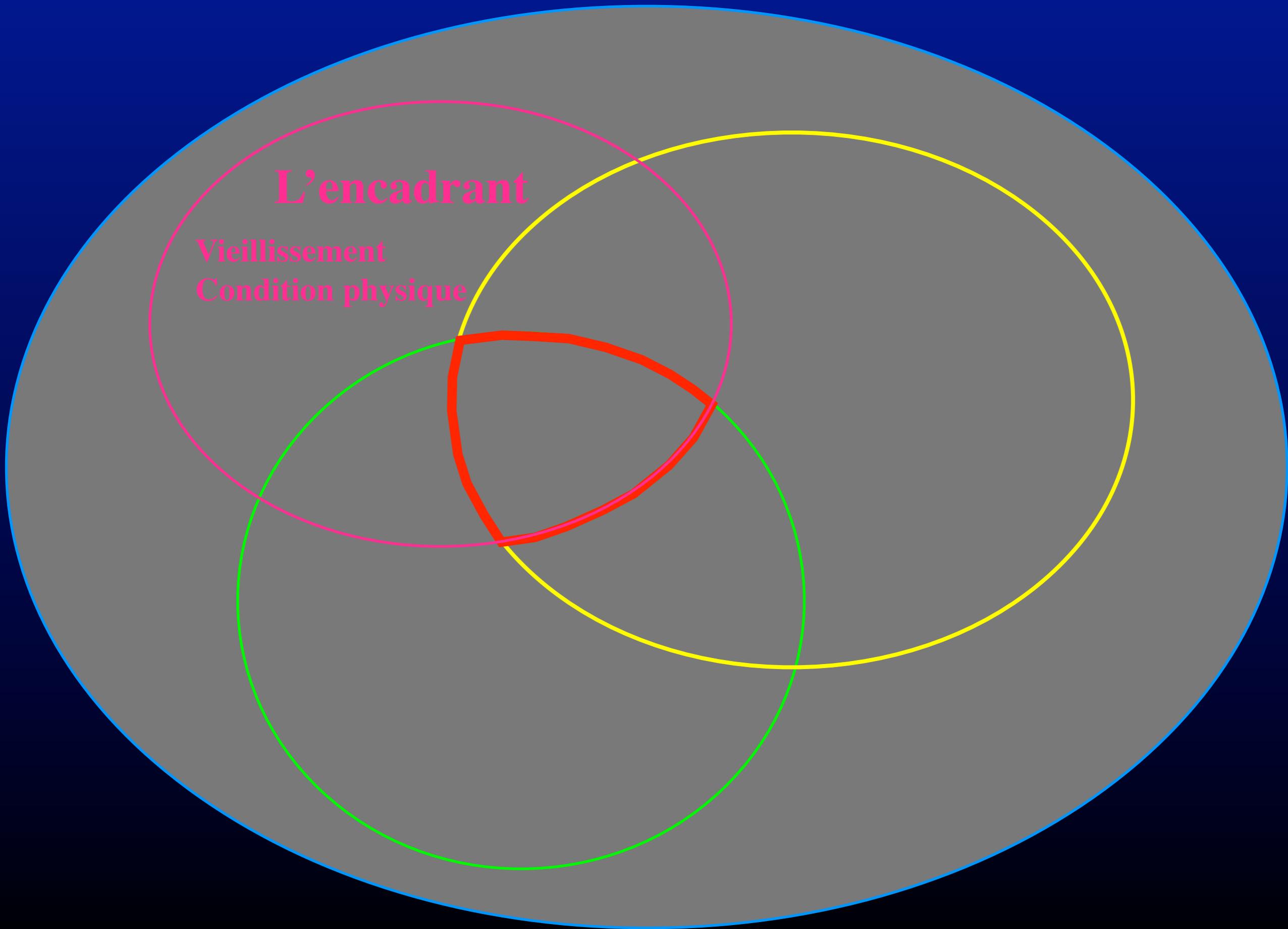
## Les voies de la circulation

- \* Circulation systémique ou grande circulation
- \* Circulation pulmonaire ou petite circulation

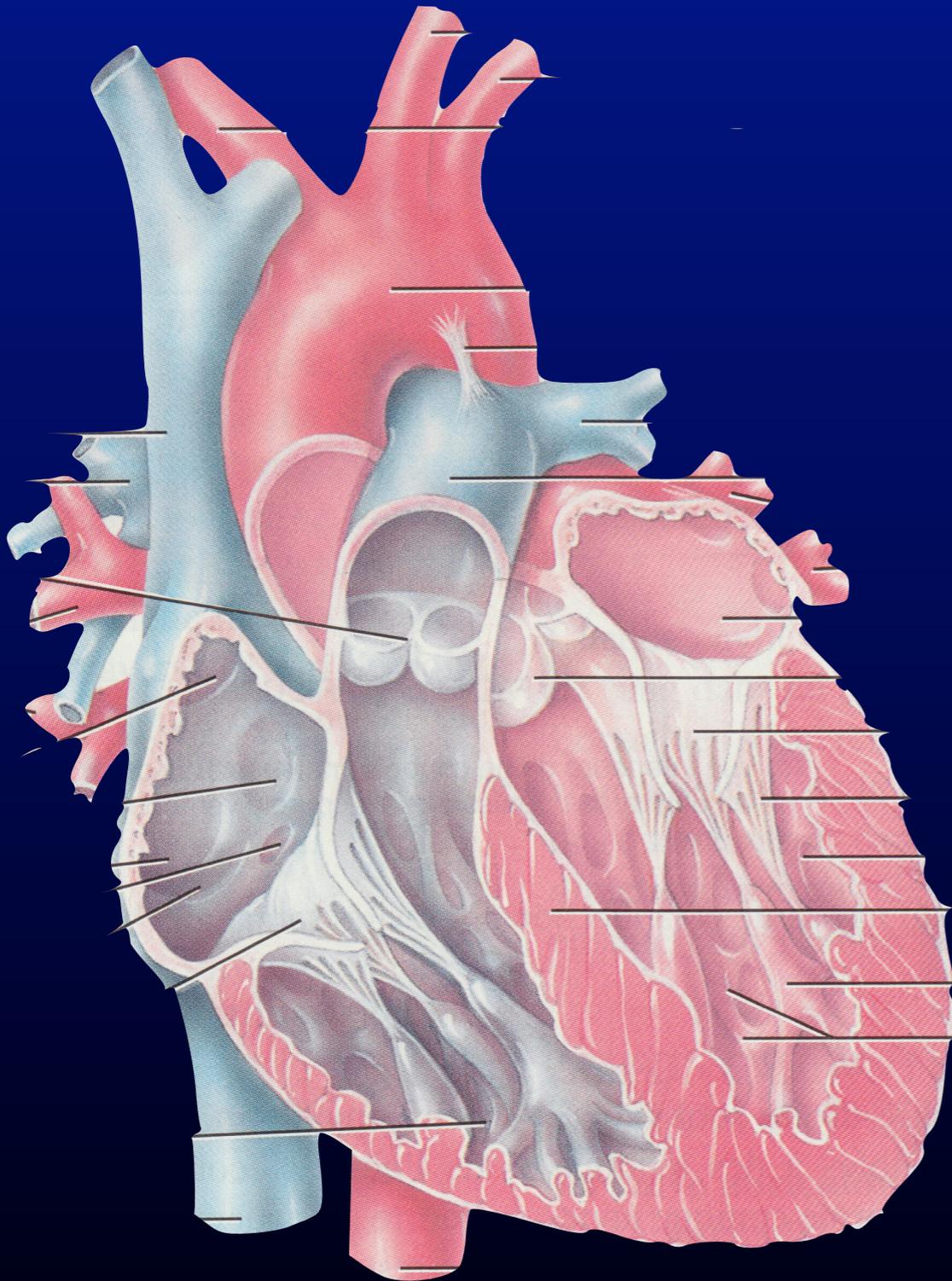
Les veines arrivent aux oreillettes

Les artères partent des ventricules





# Détérioration anatomo-**fonctionnelle** du coeur avec le vieillissement

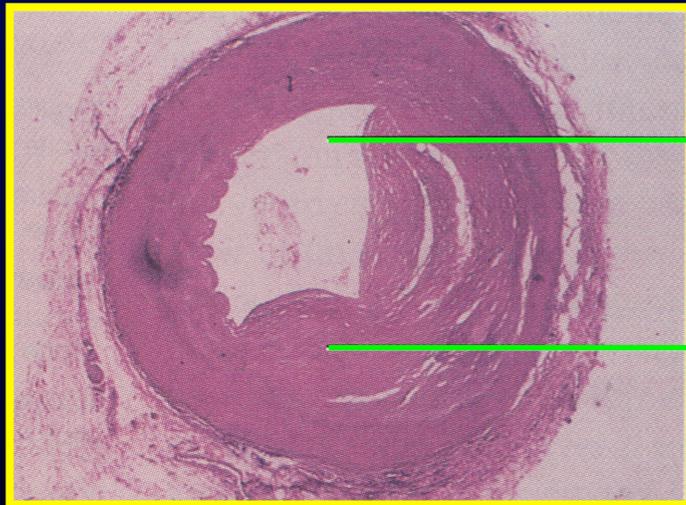


- Epaississement du coeur gauche du fait de l'augmentation des résistances périphériques
- Le muscle cardiaque est infiltré par du collagène et perd des cellules contractiles => altération de la relaxation et baisse de l'aptitude du coeur à augmenter le débit à l'effort
- Les valves cardiaques se rigidifient et sont moins jointives => remous => ↑ cavitation
- **Volume d'Ejection Systolique (VES) passe de 80 ml à 20 ans à 60 ml à 50 ans.**
- **Le débit cardiaque (VES x 60) diminue de 20 à 30 % de 20 à 50 ans**
- **Insuffisances valvulaires avec régurgitations (valves bicuspide, tricuspide, pulmonaire et aortique).**

# Altérations des artères avec le vieillissement



Artère normale



Artère obstruée

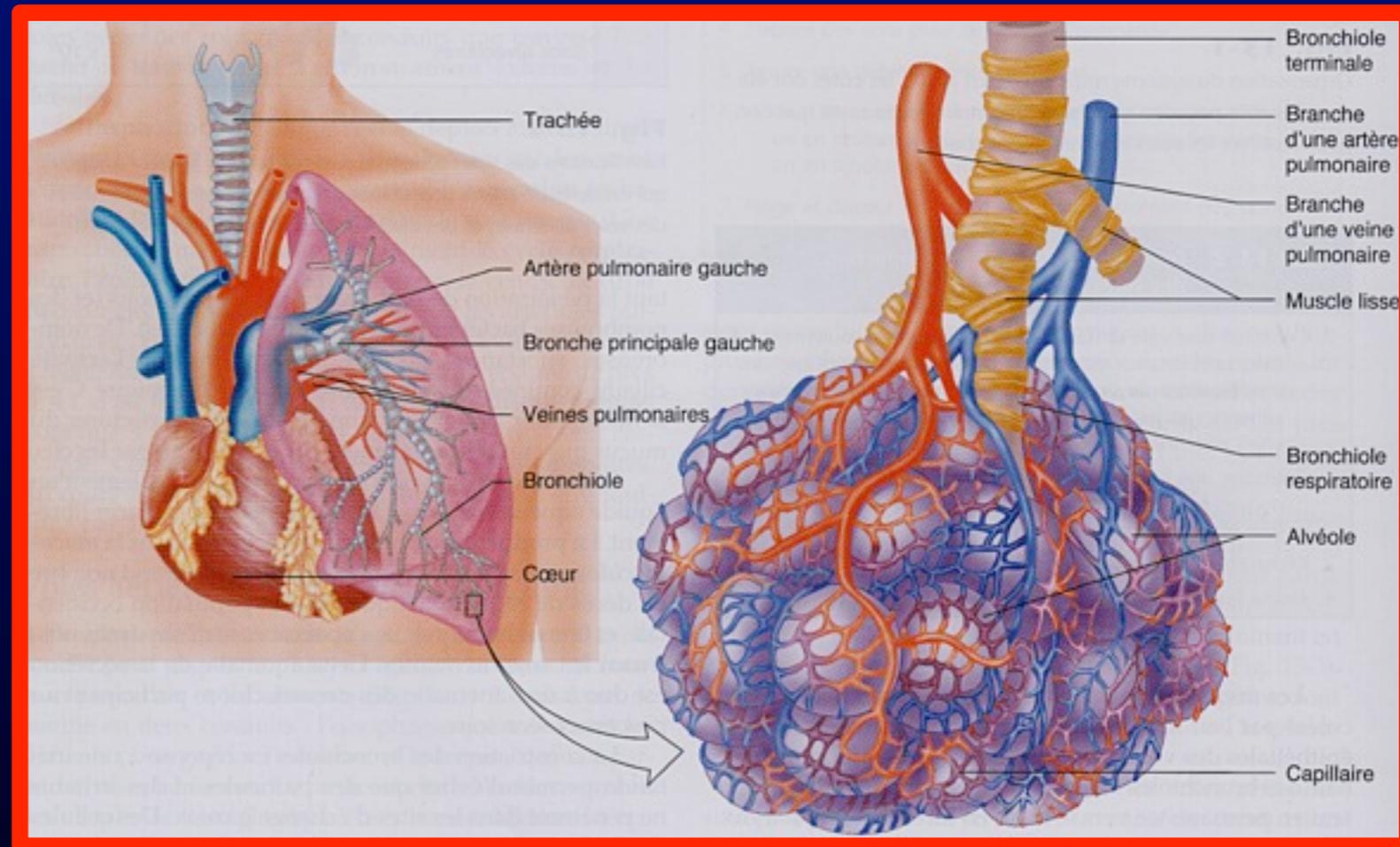
lumière

Plaque  
d'athérosclérose

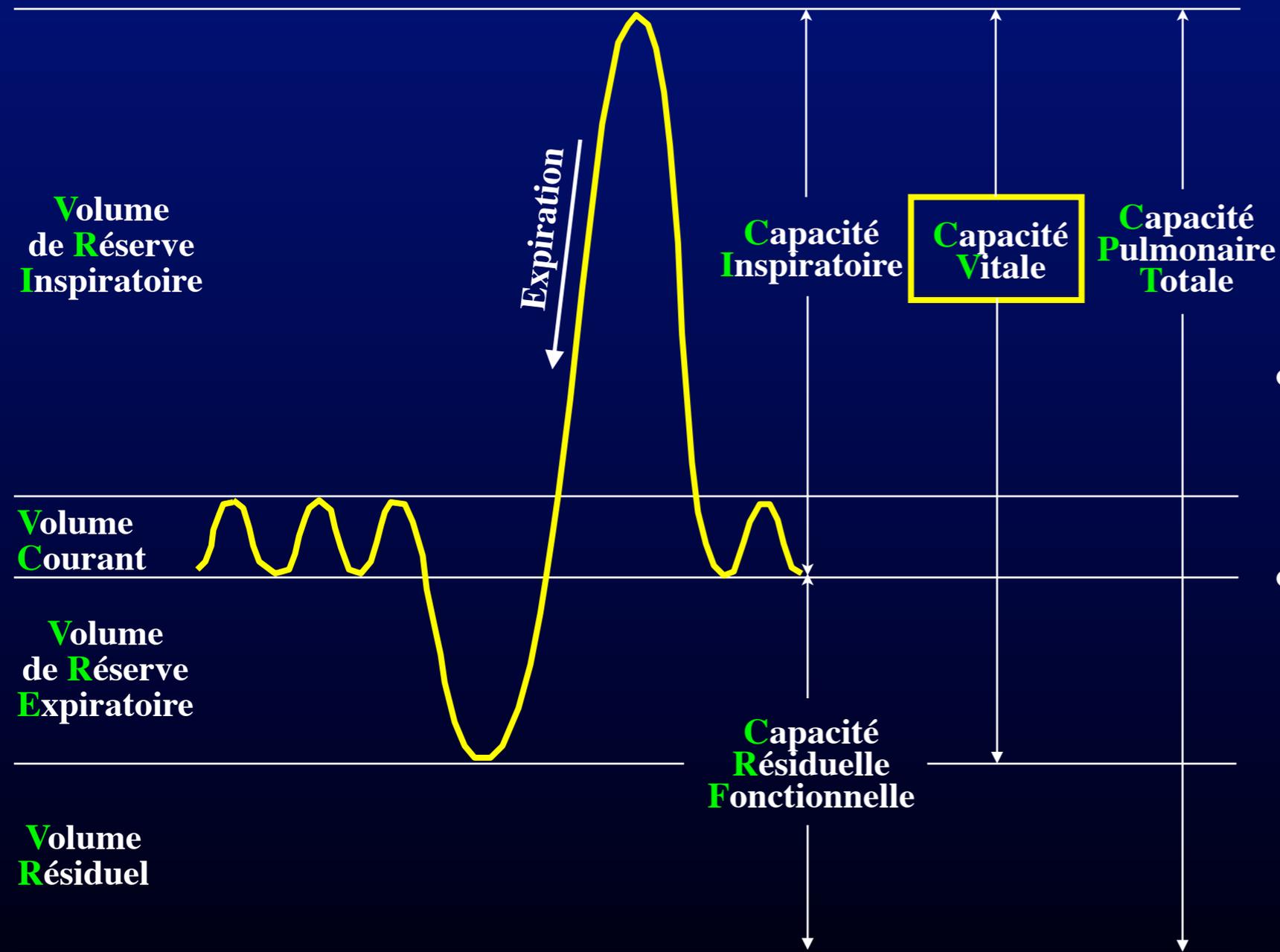
- **Epaississement des parois et augmentation de dépôt de cholestérol dans la paroi**
- **=> Rigidité des parois artérielles. Les plaques d'athérosclérose aggravent encore le risque vasculaire**
- **↑ de la formation de bulles par cavitation dans les artères altérées et rétrécies**
- **↑ pression systolique pour maintenir un même niveau de débit cardiaque : (150 - 90 mmHg à 60 ans contre 120 - 70 mmHg à 20 ans) en dehors de toute pathologie**

# Détérioration anatomo-fonctionnelle de l'appareil respiratoire avec le vieillissement

- Diminution de l'élasticité des structures de soutien pulmonaires qui deviennent plus rigides (perte de compliance)
- Diminution du nombre des alvéoles (réduction de la surface des échanges gazeux : 300 millions d'alvéoles = 70 m<sup>2</sup> chez le jeune)
- Epaissement de la basale des capillaires pulmonaires



# Dégradations fonctionnelles de l'appareil respiratoire avec le vieillissement

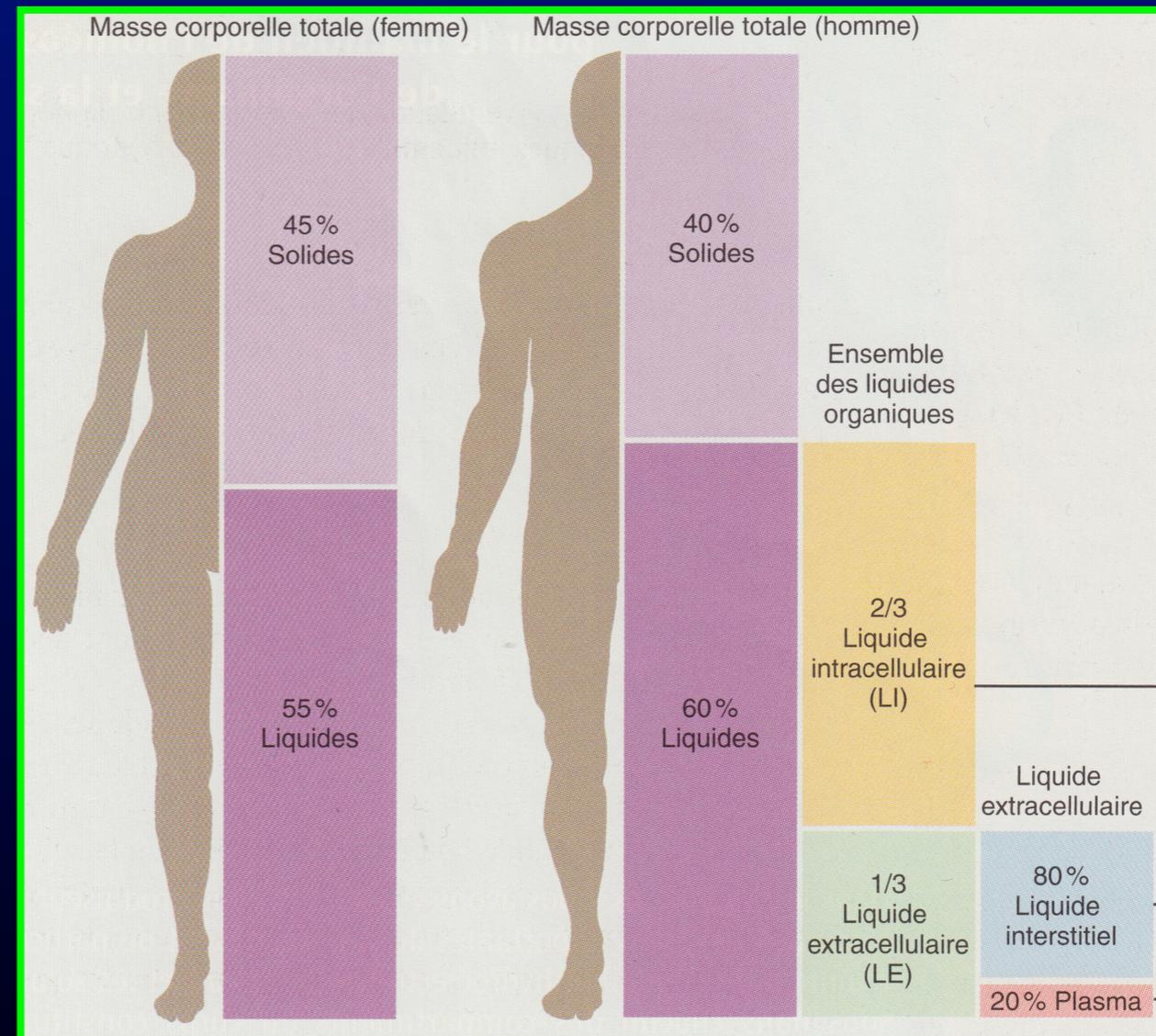


- Diminution de la capacité vitale de 30% entre 20 et 60 ans
- Diminution de la capacité de diffusion des poumons d'environ 30% entre 20 et 60 ans.

**Spirogramme des volumes et des capacités respiratoires**

# 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)



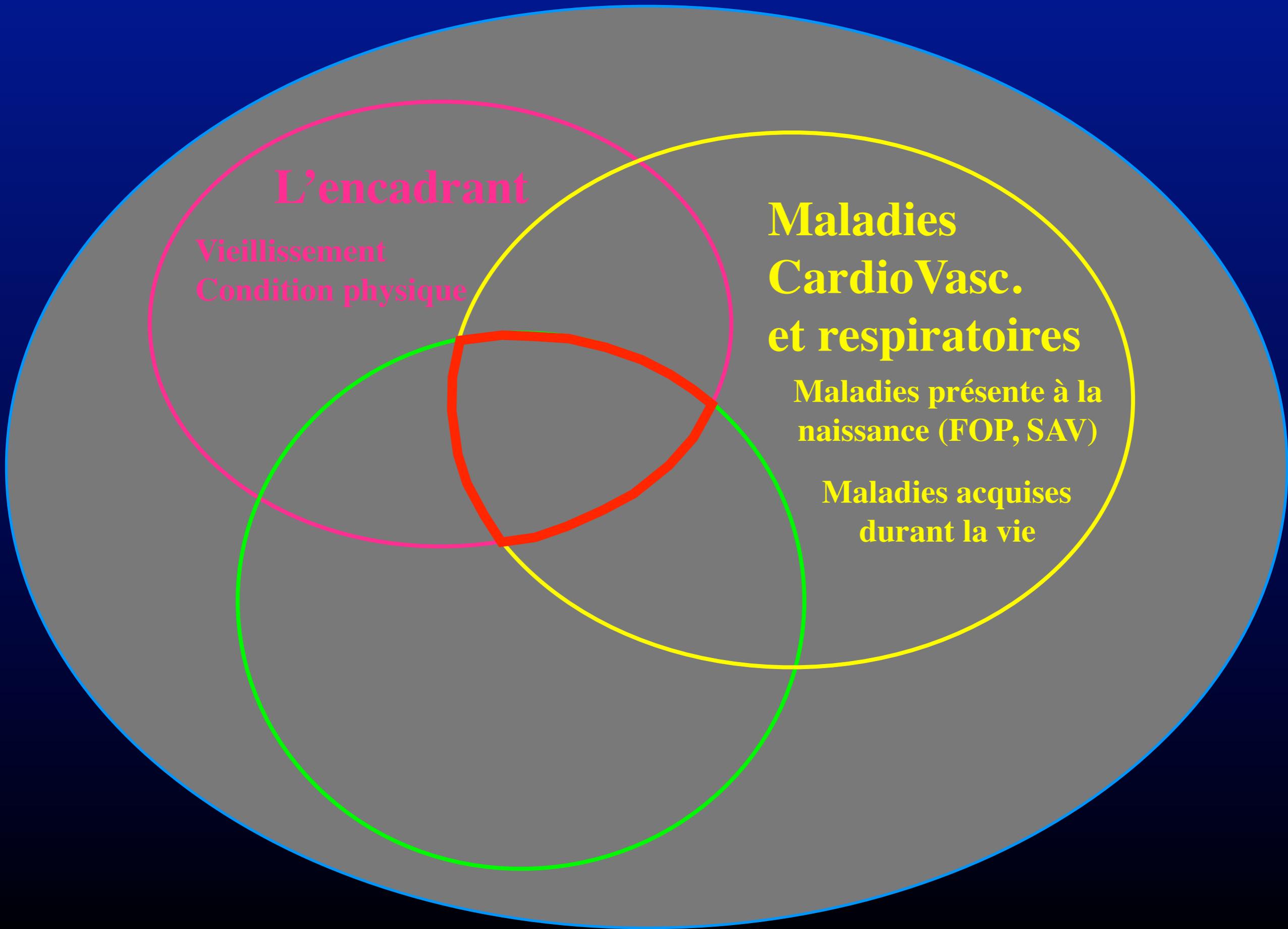
# Altérations du squelette, des muscles et l'appareil locomoteur avec le vieillissement

- La masse osseuse diminue avec l'âge
- Altération de toutes les articulations, tendons et des disques => ↑ cavitation
- ↓ Masse musculaire (de l'ordre de 30% entre 30 et 60 ans). ↑ graisse musculaire => ↑ stockage azote (?)
- Au total ↓ force musculaire de l'ordre de 5% tous les 2 ans à partir de 40 ans => recrutement de muscles accessoires pour un effort donné. ↓ du rendement musculaire => ↑ cavitation



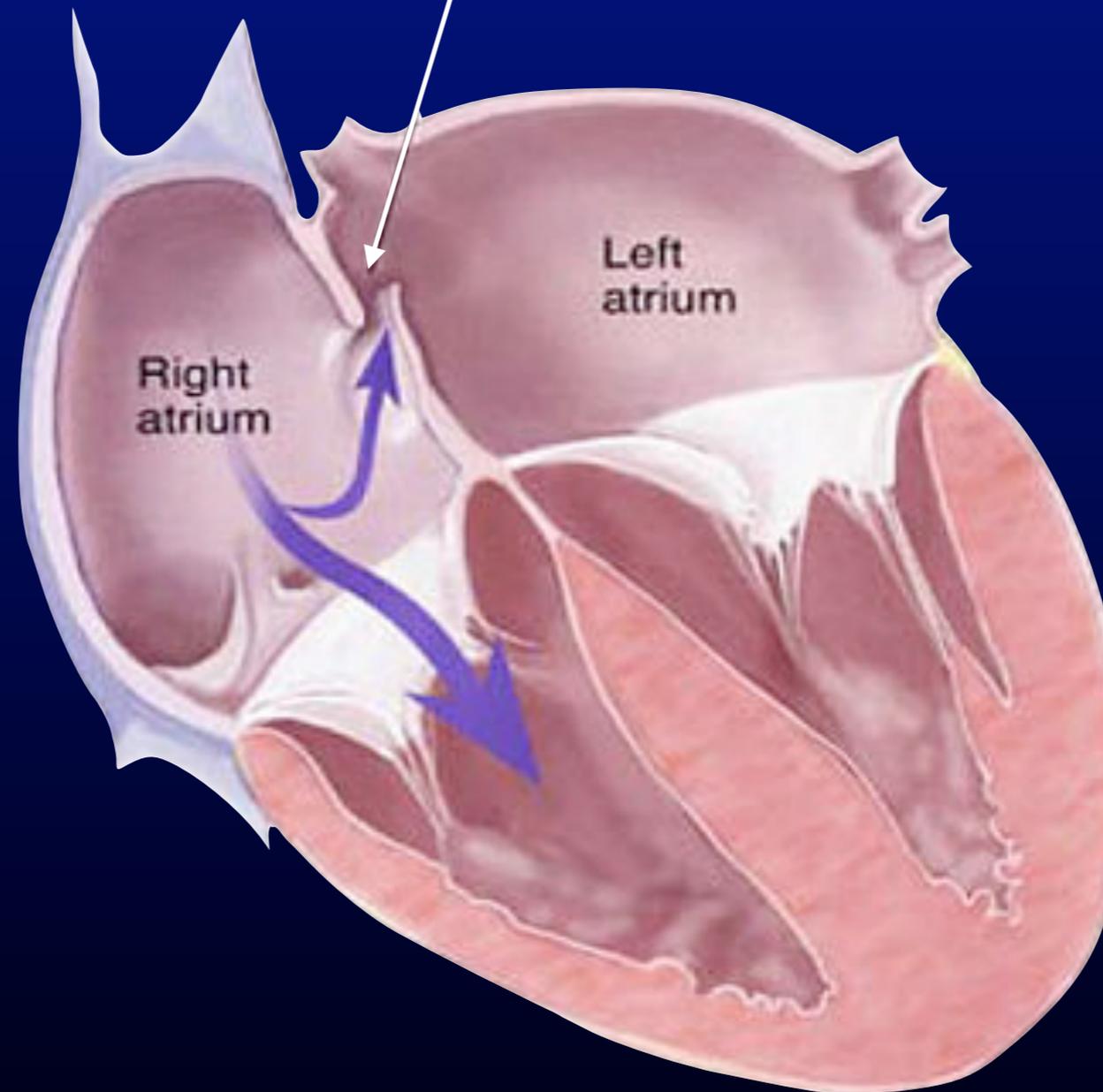
# Condition physique du plongeur

- **Sédentarité**
  - ▶ Réduction progressive de l'effort physique dans la plupart des actes quotidiens
  - ▶ Absence d'activité physique régulière
  - ▶ Affaiblissement du coeur :
    - sans entraînement, le muscle cardiaque perd de sa puissance de contraction,
    - il reçoit et renvoie moins de sang dans le corps,
    - il fournit moins d'oxygène aux muscles et aux organes,
    - il récupère moins vite en cas de crise cardiaque.
- **Facteurs de risque pour le coeur souvent associés à la sédentarité :**
  - ▶ excès alimentaires,
  - ▶ obésité,
  - ▶ hypertension,
  - ▶ tabagisme
  - ▶ Diabète



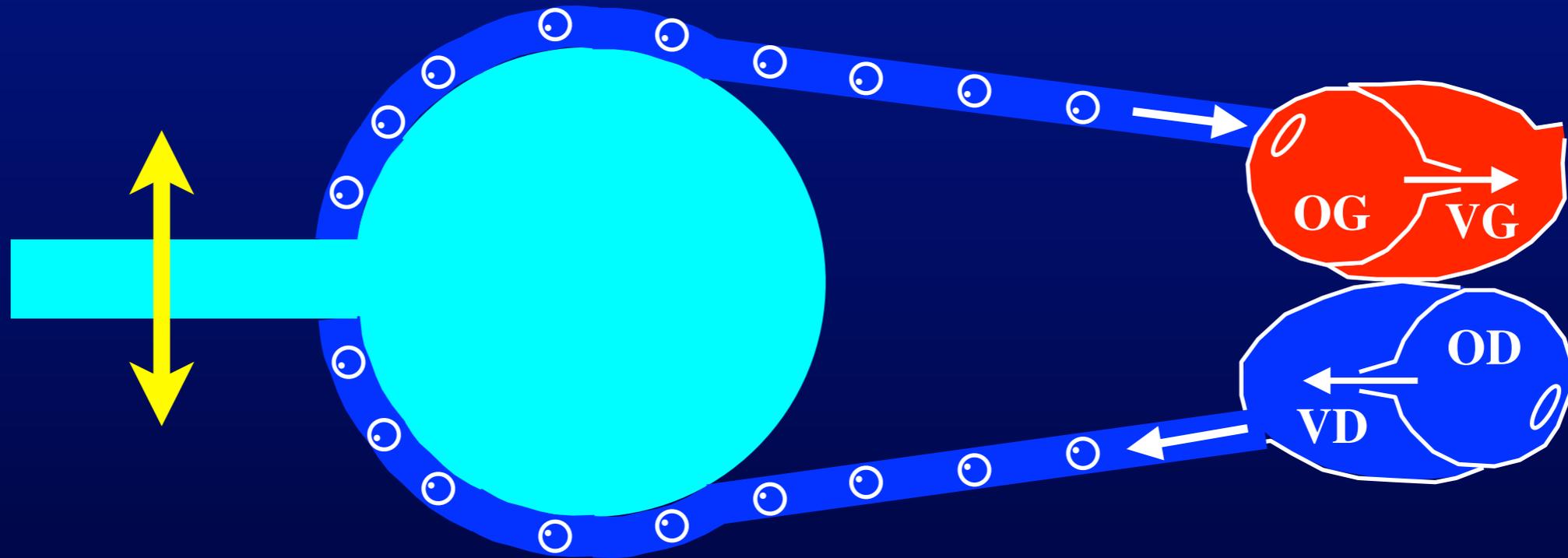
# Maladies présentes à la naissance (congénitales)

Foramen ovale perméable



# Maladies présentes à la naissance (congénitales)

## Shunts Artério-Veineux (SAV) pulmonaires malformatifs

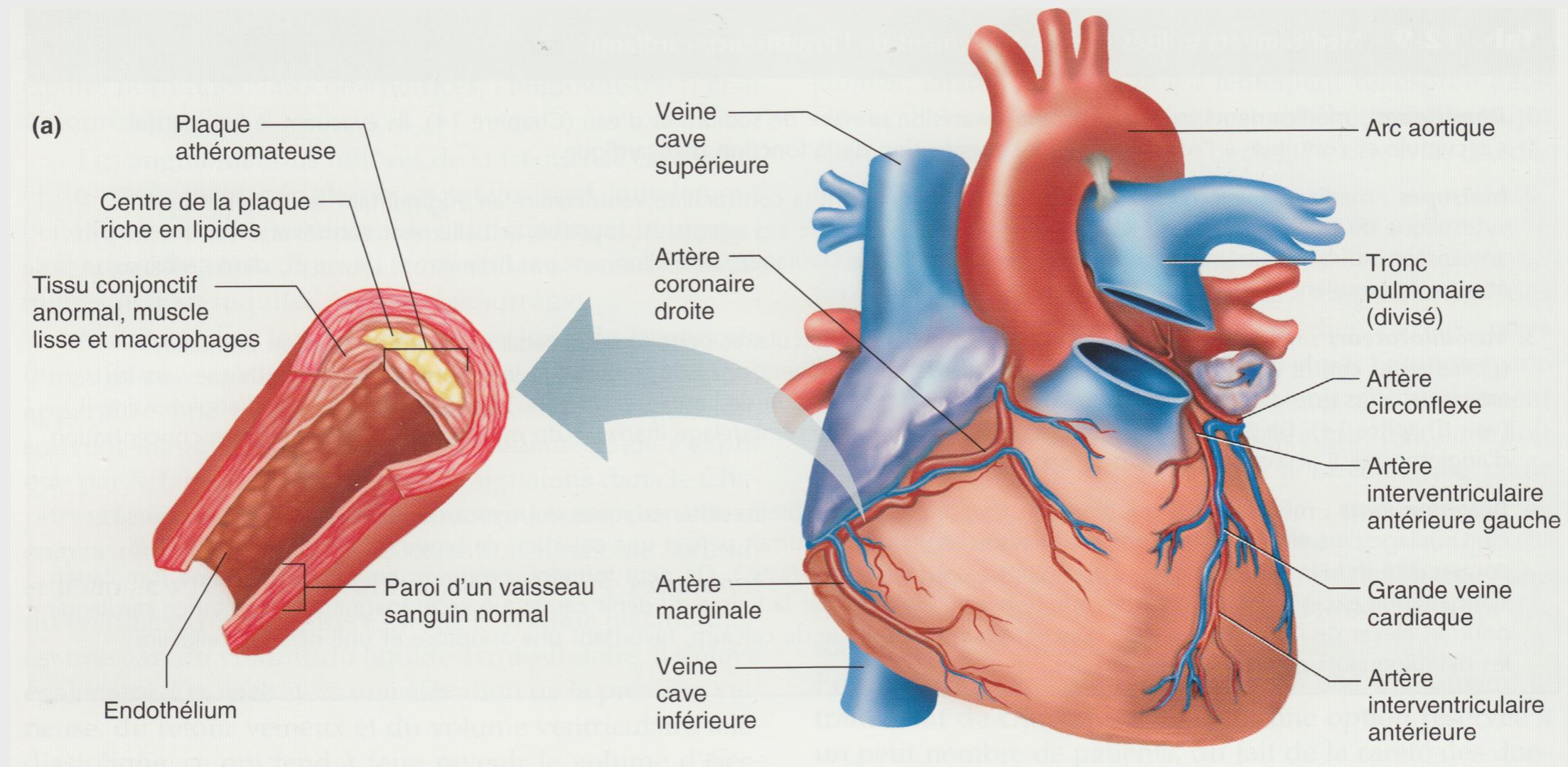


- Un shunt au niveau pulmonaire est un espace perfusé non ventilé
- Nous ne sommes pas égaux devant la désaturation
- Physiologiquement nous avons à la base un pourcentage de shunt préexistant
- Certains facteurs notamment le tabac peut augmenter ce pourcentage de shunt
- L'exercice physique et l'entraînement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

# Les maladies cardiovasculaires acquises

- **Maladies du muscles cardiaque :**
  - insuffisance cardiaque
  - gauche ou droite
- **Maladies des valves cardiaques :**
  - insuffisance et surtout rétrécissement
  - valves aortique et pulmonaire
  - Valves AV gauche et droite (bicuspide et tricuspide)
- **Maladies du rythme et de la conduction cardiaque :**
  - Atteinte du tissu nerveux intra-cardiaque (tissu nodal)
  - Palpitations, crise de tachycardie, dyspnée, syncope, malaise, mort subite
- **Maladies des coronaires :**
  - angine de poitrine
  - Infarctus du myocarde
- **Maladies des vaisseaux :**
  - Hypertension artérielle
  - Systemique (grande circulation) ou pulmonaire (petite circulation)

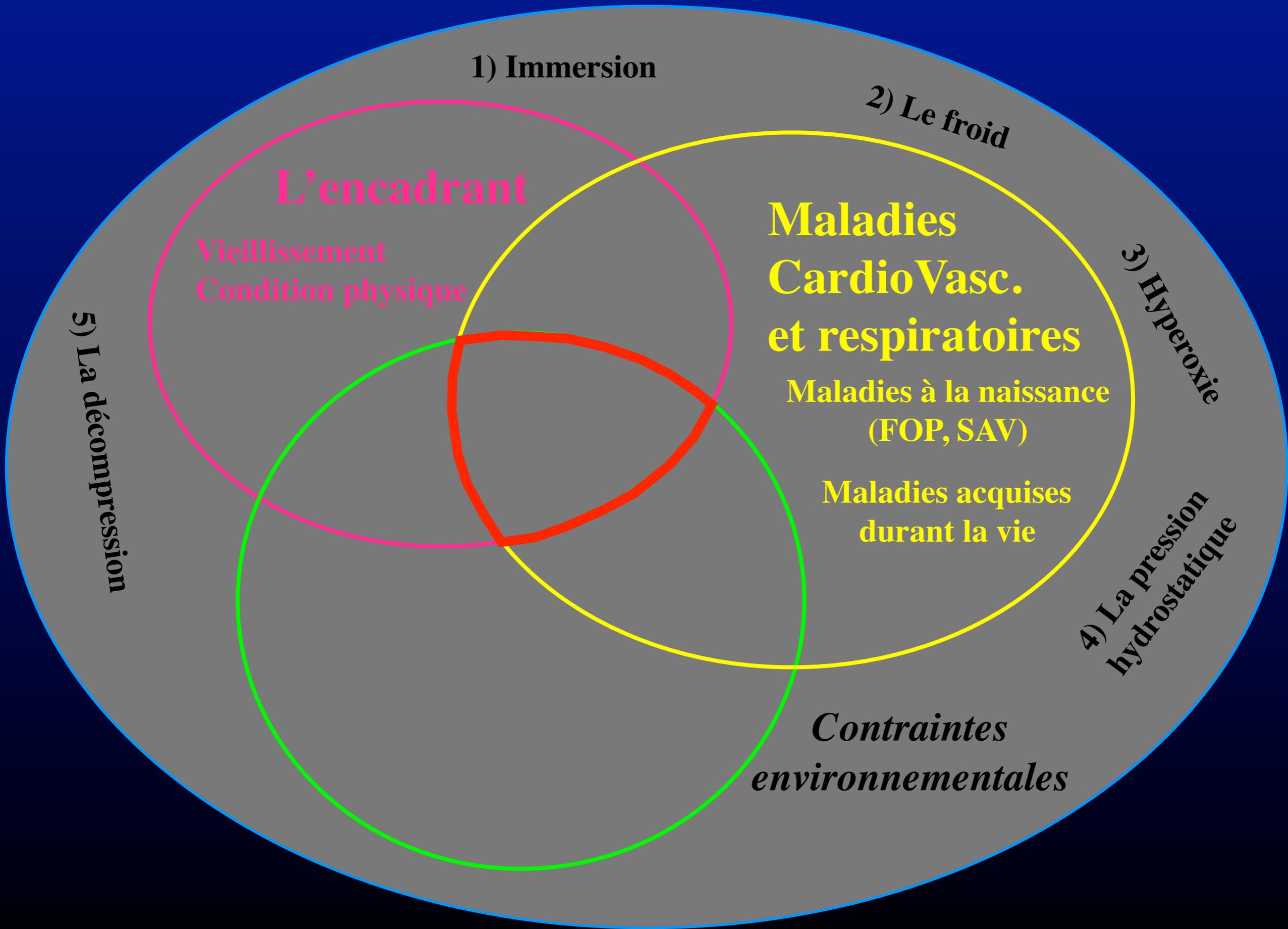
# Maladies des artères coronaires



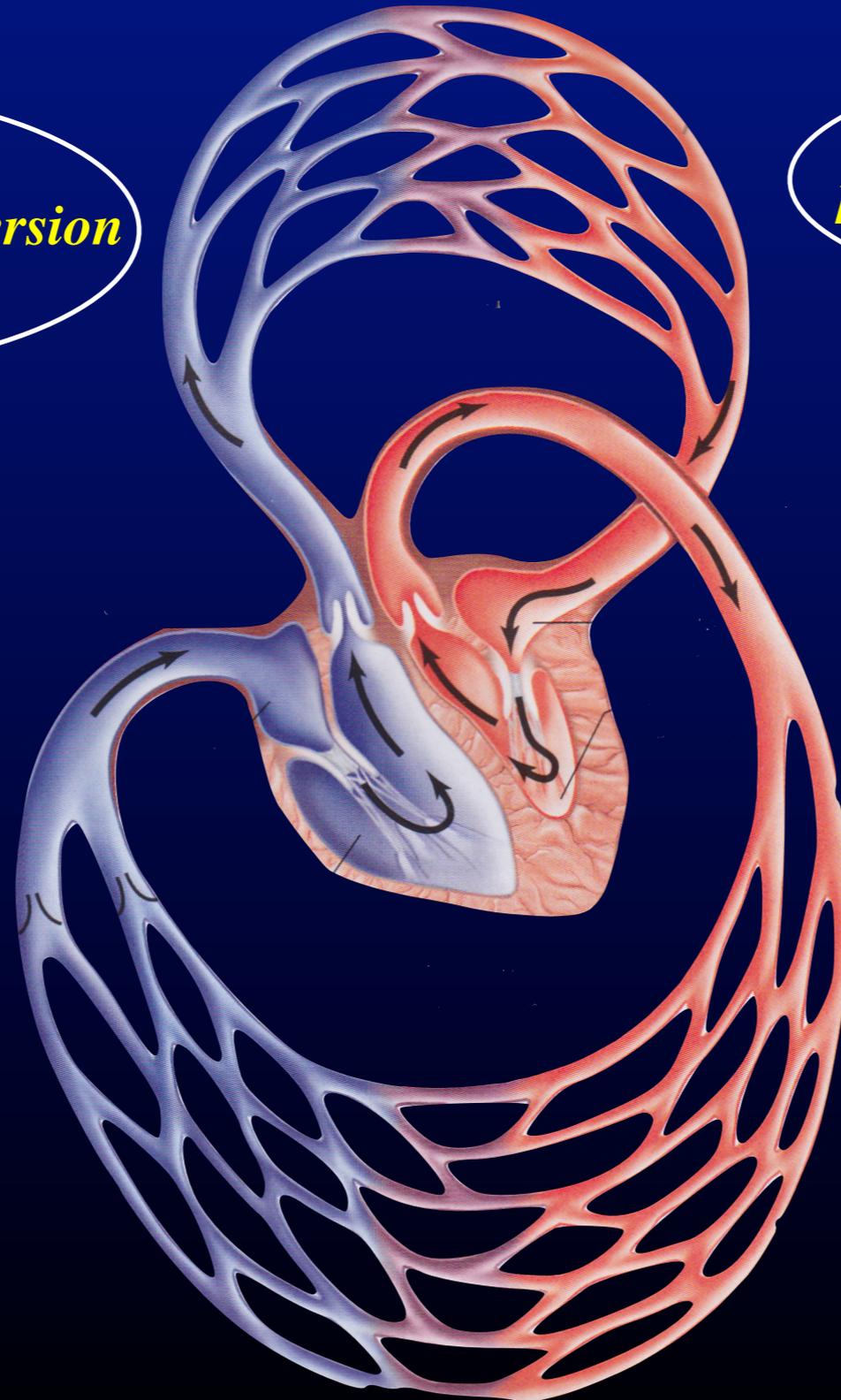
## Athérosclérose coronarienne

# 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



# Les contraintes environnementales cardio-vasculaires et respiratoires en plongée



↑ Précharge  
(Bloodshift) **1- Immersion**  
Bradycardie

**4- Pression** ↑ W ventilatoire  
hydrostatique (↑ densité des gaz)

↑ Post-charge  
**2- Le froid** (vasoconstriction)  
Bradycardie

**5- Décompression**  
↑ Précharge  
(embolie gazeuse  
du filtre pulmonaire)

**3- Hyperoxie** ↑ Post-charge  
(vasoconstriction)

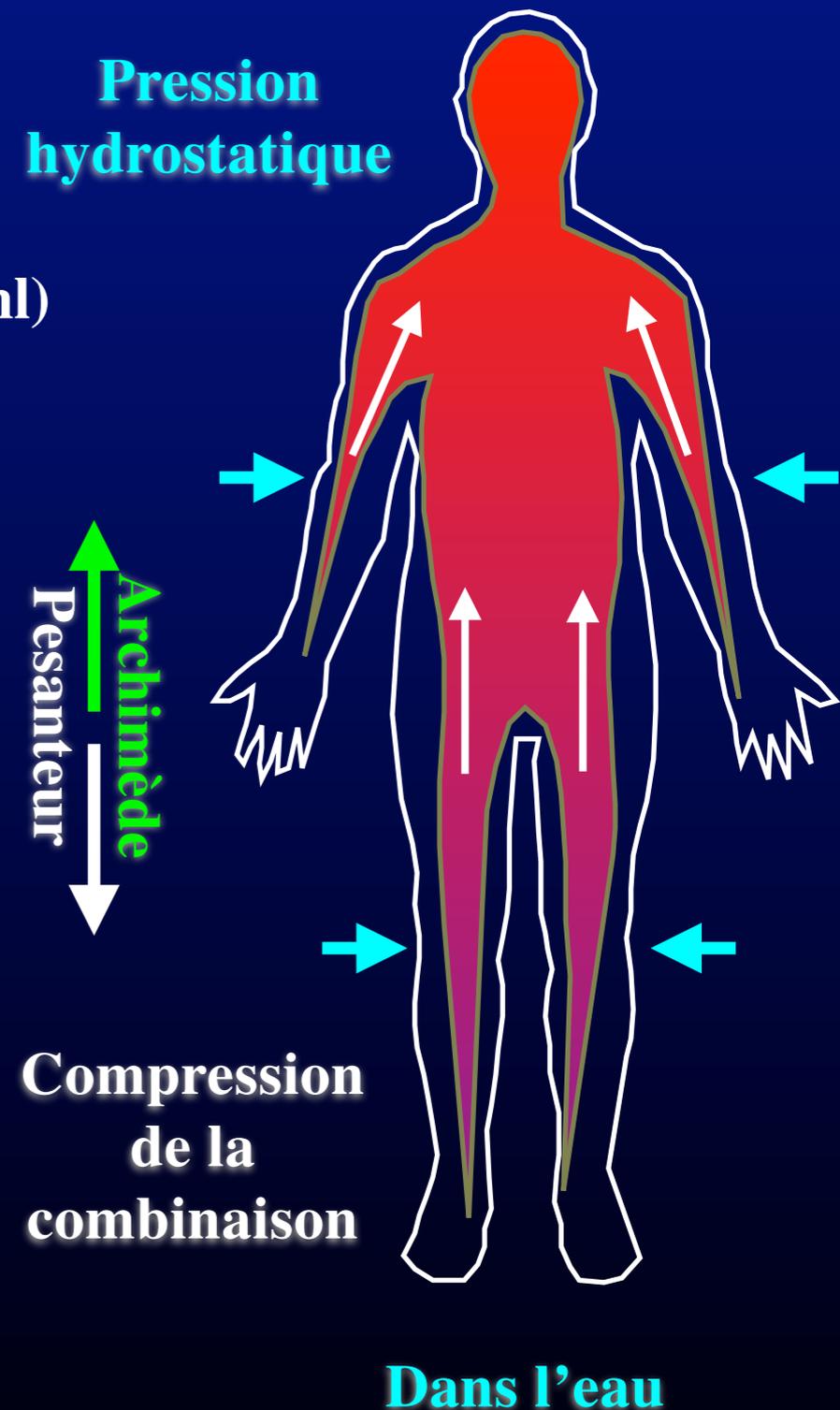
Le plongeur se comporte comme un insuffisant cardio-respiratoire



*1) Immersion*

# 1) Effets cardio-vasculaires de l'Immersion

- ➔ Redistribution de la masse sanguine vers le thorax (700 ml)
- ➔ ↗ Pré-charge
- ➔ ↗ Débit cardiaque de 10 à 25% (orthosympatique)
- ➔ ↗ Diurèse ( ↗ viscosité sanguine) :  
déshydratation à la sortie de l'eau
- ➔ ↘ Fréquence cardiaque
- ➔ ↘ Résistances vasculaires systémiques :  
tissus (muscles, reins...) mieux vascularisés



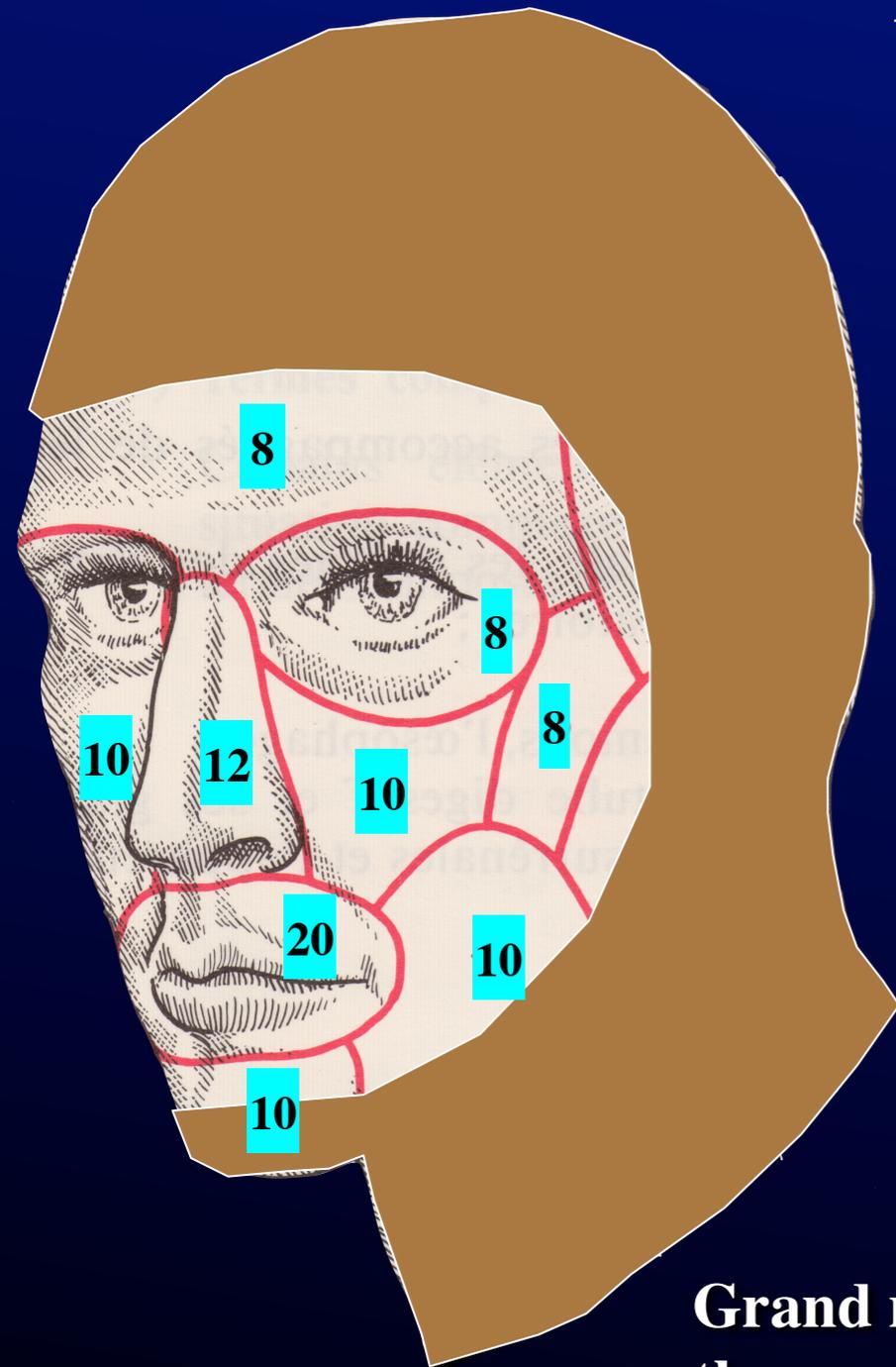


## *2) Le froid*

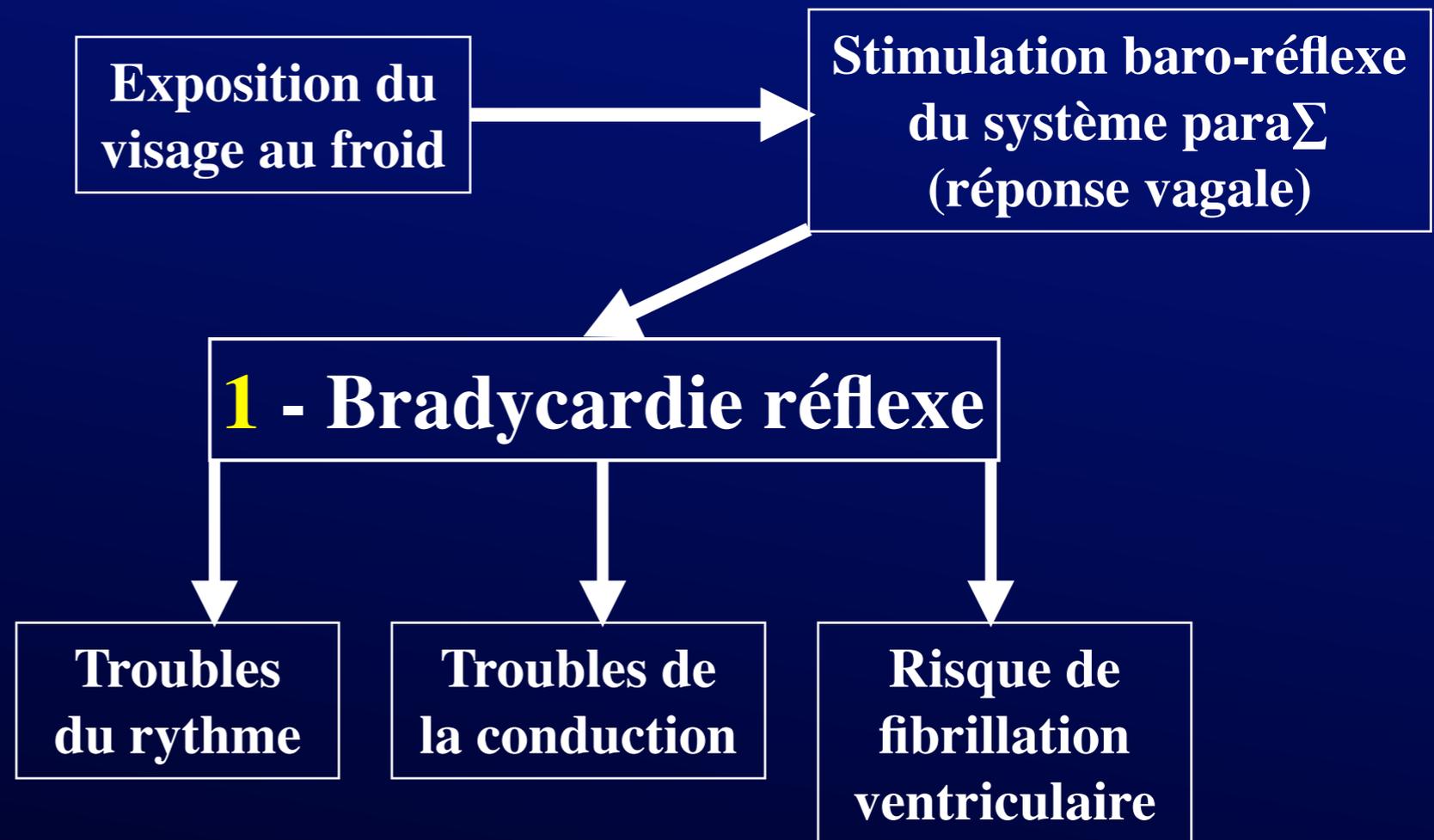


## 2) Effets cardio-vasculaires du froid

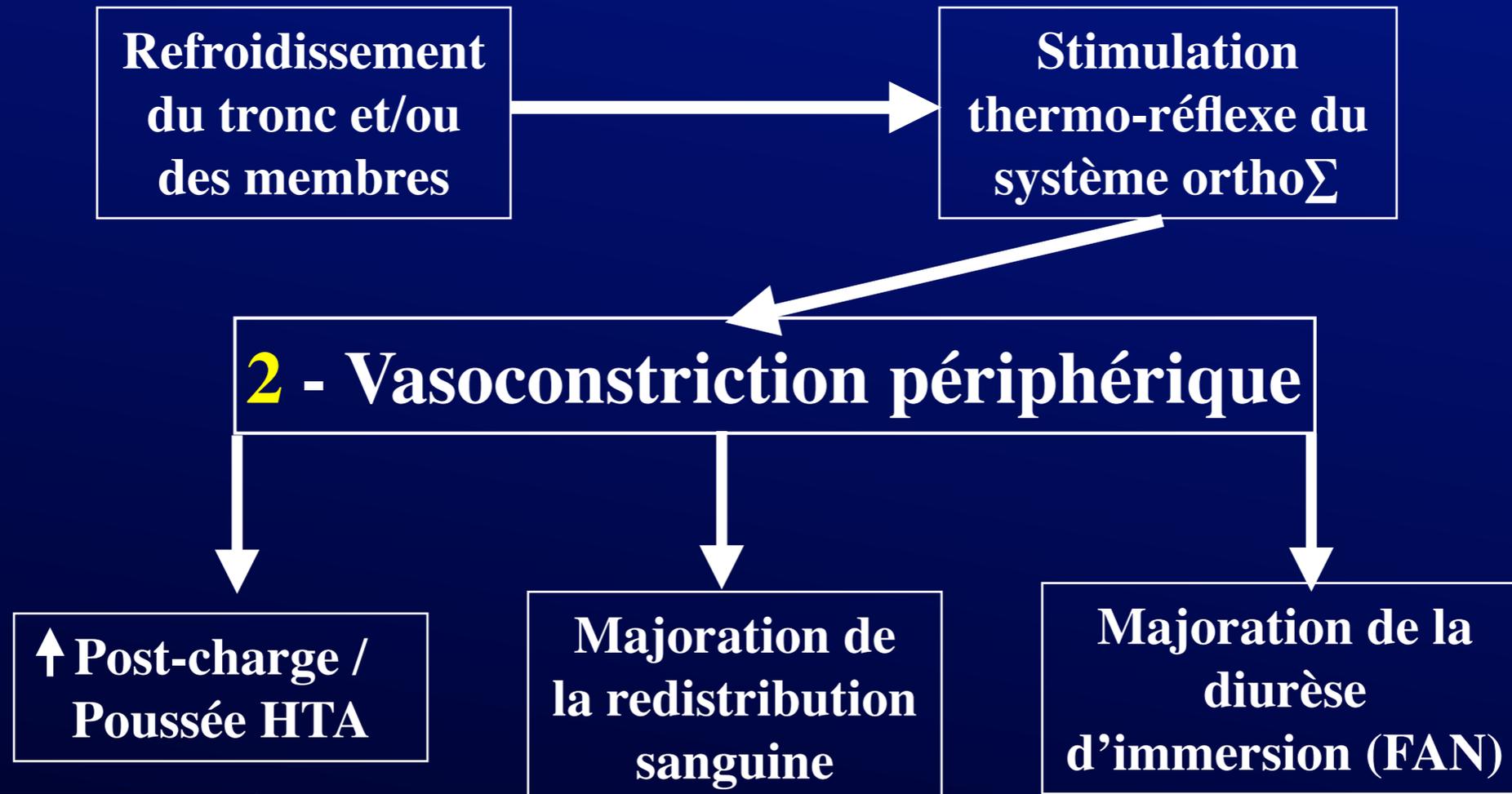
### Réflexe de plongée ou «Diving reflex»



Grand nombre de thermo-récepteurs au visage (Nb/cm<sup>2</sup>)



## 2) Effets cardio-vasculaires du froid



### Vasoconstriction



**Augmentation du travail cardiaque**

**Par augmentation de la post-charge**

**Le tout dans un contexte de bradycardie**



## *3- L'hyperoxie*



Azote	N2	78,084 %
Oxygène	O2	20,946 %
Argon	Ar	0,934 %
Gaz carbonique	CO2	0,033 %
Gaz rares		0,003 %



Surface



### 3) Effets cardio-vasculaires de l'hyperoxie

### 3) Effets cardio-vasculaires de l'hyperoxie

- ↓ Fréquence cardiaque ( para $\Sigma$ )
- ↓ Débit cardiaque de 10 à 15%
- Vasoconstriction périphérique
  - ▶ ↓ débit cérébral de 12% à 2 bars
  - ▶ ↓ Débit sanguin **coronaire**
  - ▶ ↑ Tension artérielle : ↑ post-charge
- **Plus marqués chez les hypertendus**
  - ↑ Tension artérielle
  - ↓ Débit cardiaque





## *4) La pression hydrostatique*

# 4) Effets ventilatoires de la pression hydrostatique

## 1. Diminution de la compliance thoracique

Afflux de sang intrathoracique (Immersion : Blood Shift)

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

Déplacement céphalique du diaphragme ( $\uparrow$  P. hydrostatique)

Pression due au Néoprène

## 2. Diminution des volumes pulmonaires

$\downarrow$  CV de 10% à 40 mètres ( $\uparrow$  P. hydrostatique)

$\downarrow$  CV de 10% à 15% (Immersion : Blood Shift)

## 3. Diminution des débits pulmonaires

$\uparrow$  densité des gaz ( $\uparrow$  P. hydrostatique)

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

## 4. Augmentation du travail respiratoire

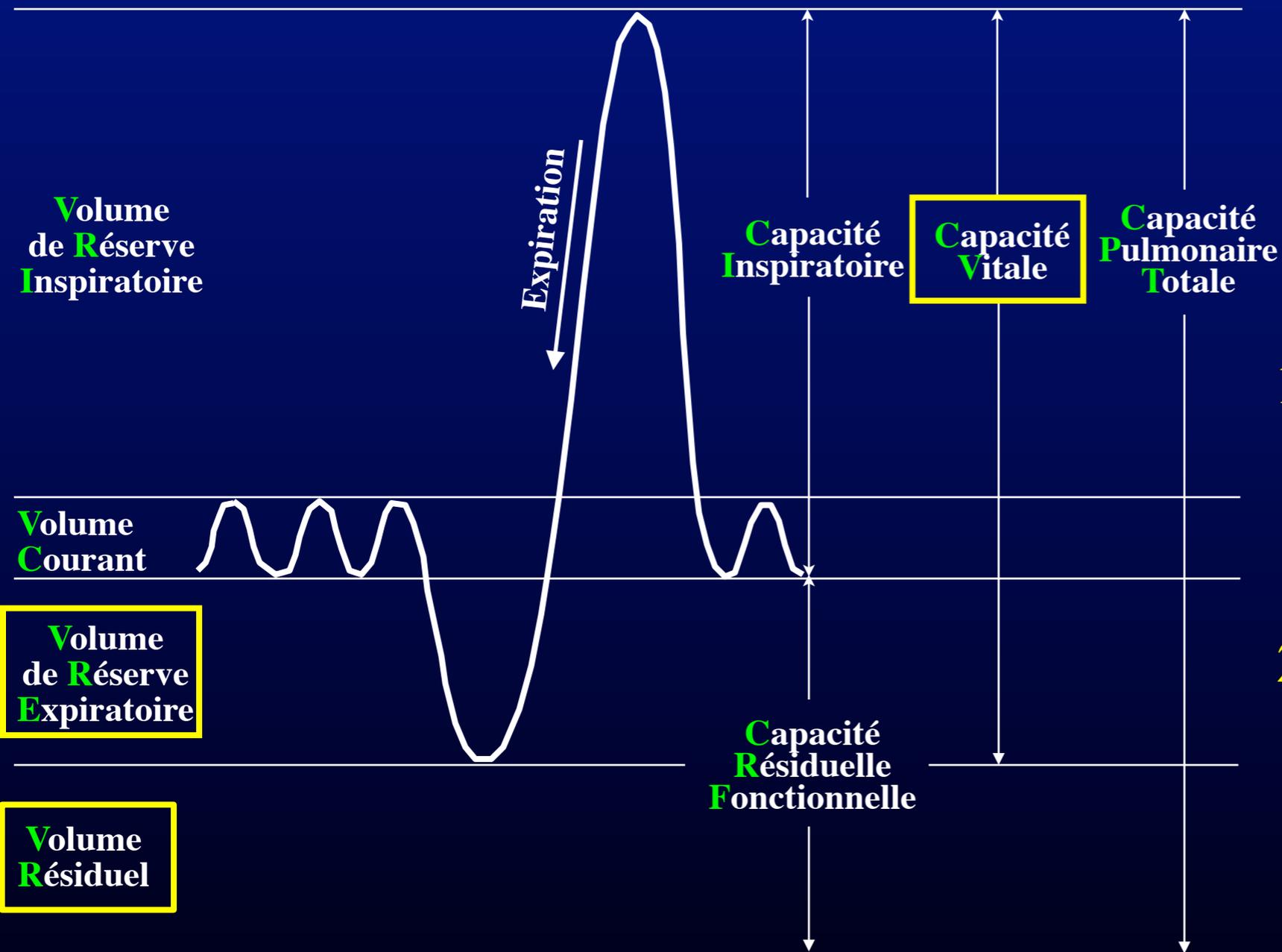
$\downarrow$  compliance thoracique

$\uparrow$  densité des gaz



**Augmentation des écarts de pression intra thoracique  
entre inspiration et expiration**

# Les modifications ventilatoires en hyperbarie



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

2 - Travail ventilatoire  
augmenté de 60%

Le plongeur se comporte comme un insuffisant respiratoire



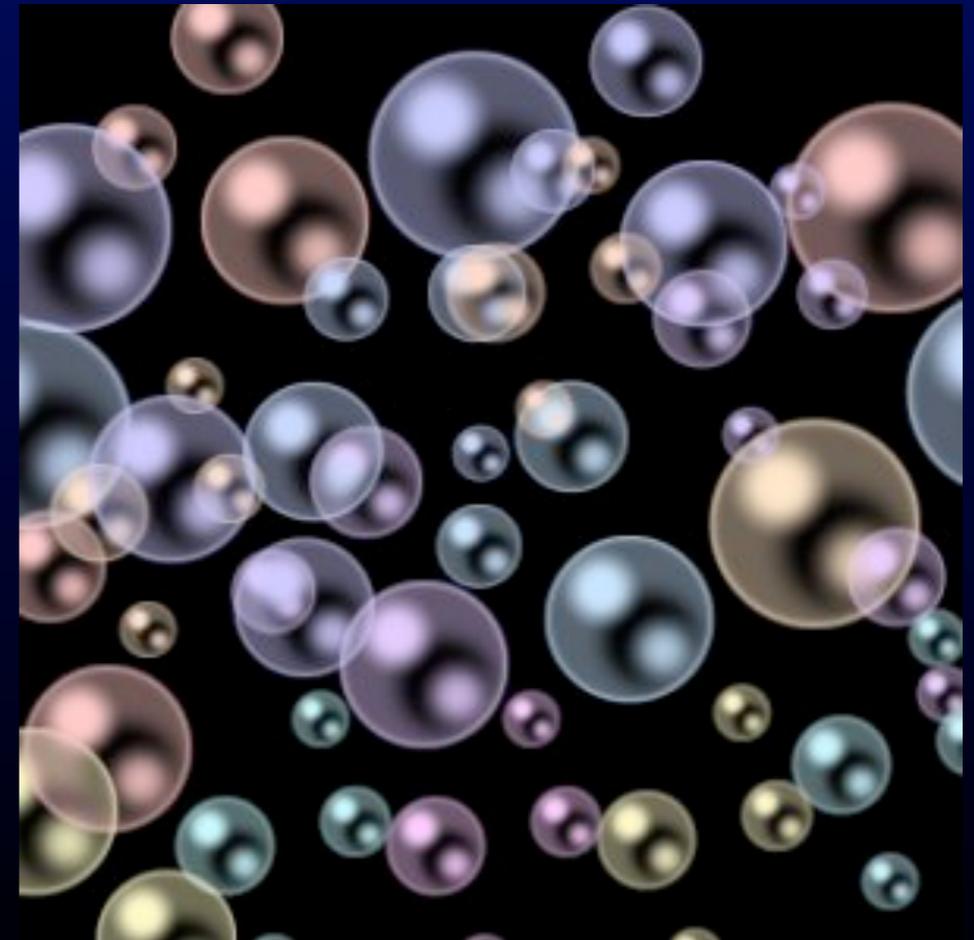
# *5- La décompression*

# Evolution des noyaux gazeux



- **Formation de micro bulles chez près de 50% des plongeurs même si strict respect des règles de décompression**

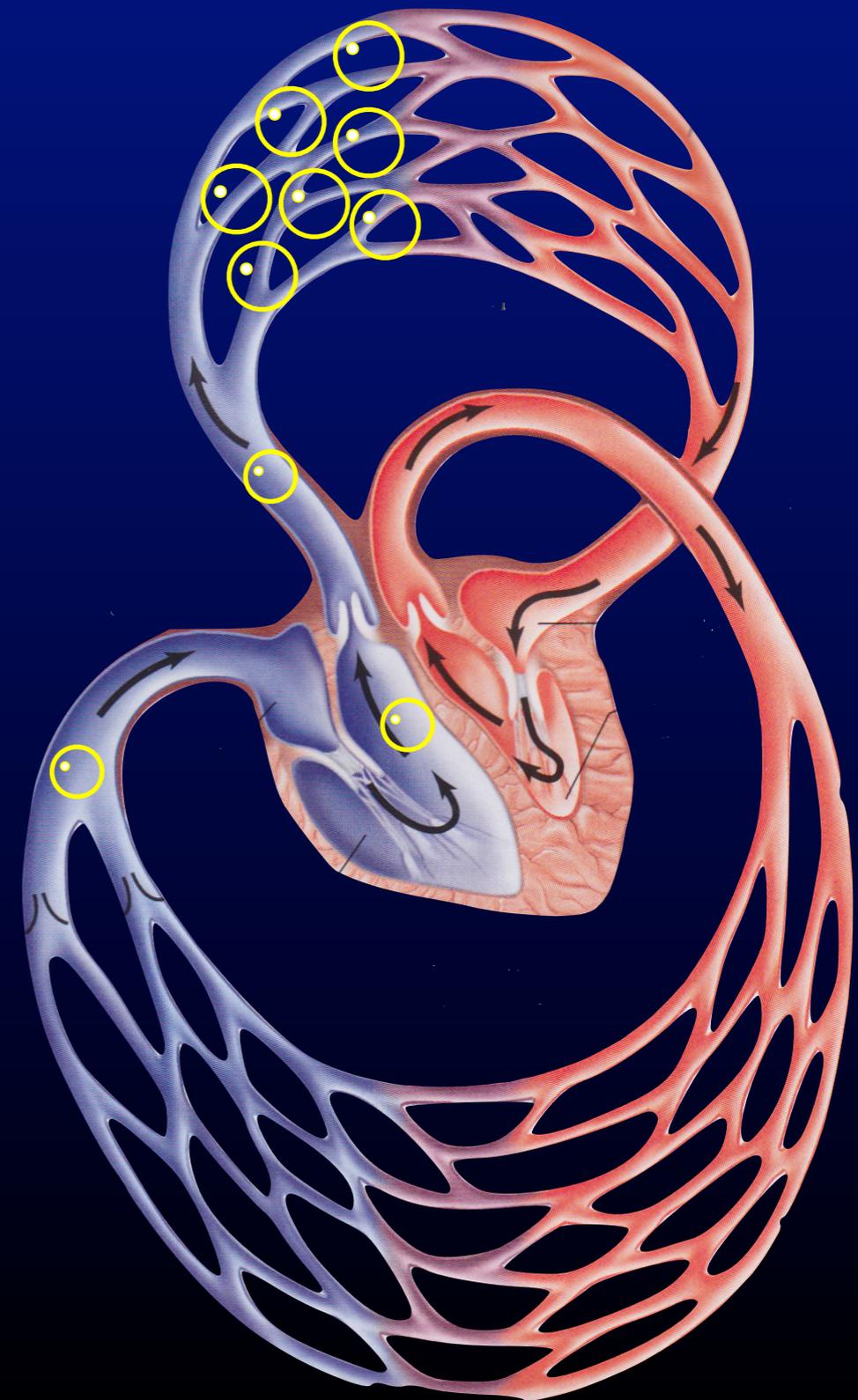
- $\emptyset < 1 \mu\text{m}$  : adhérence aux parois
- $1 \mu\text{m} < \emptyset < 20 \mu\text{m}$  : mise en circulation
- $\emptyset > 20 \mu\text{m}$  :
  - Bulles détectables Doppler
  - Arrêt par filtre pulmonaire



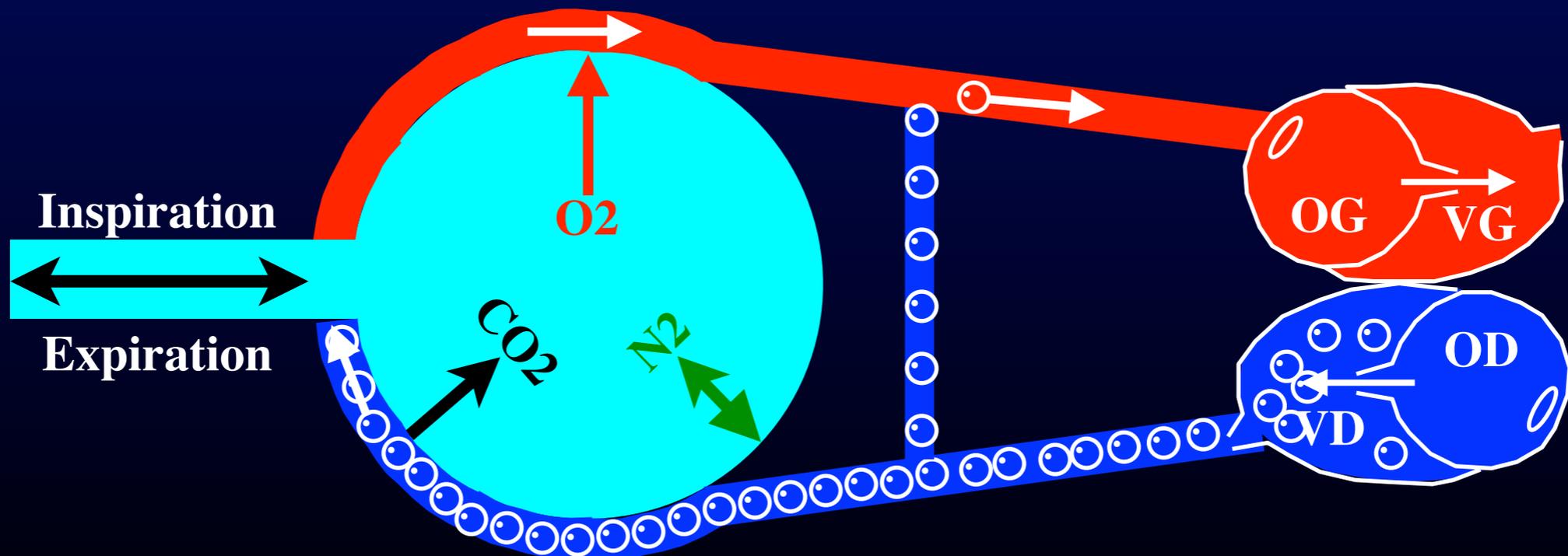
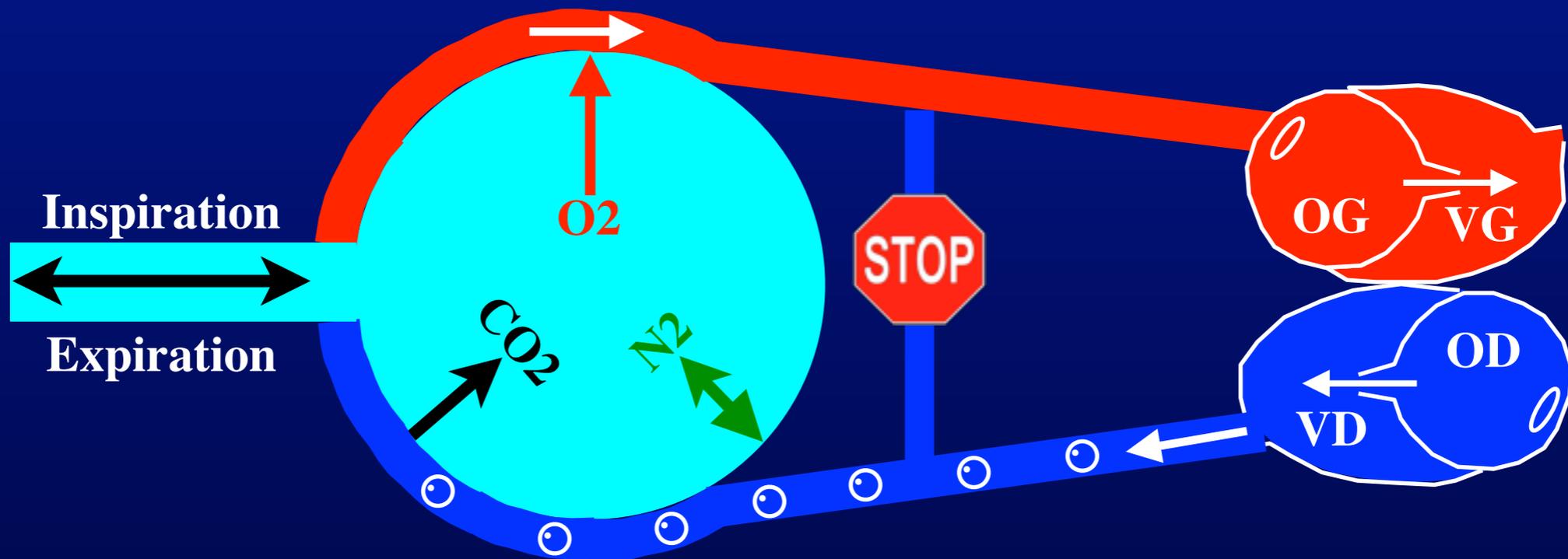
## 4) *Effets cardio-vasculaires et ventilatoires de la décompression*

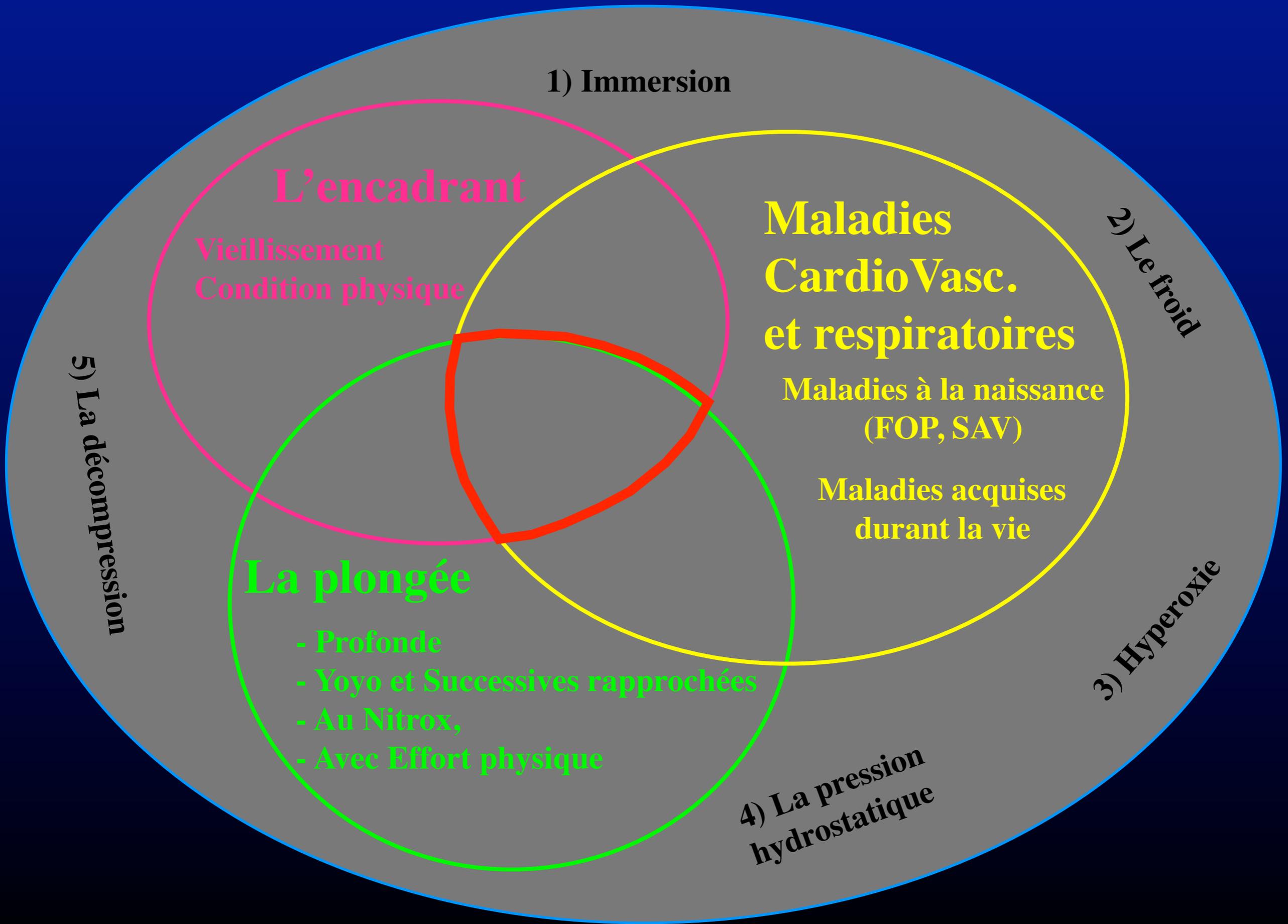
➔ **Augmentation des pressions droites par la décompression**

- **Une vasoconstriction artérielle pulmonaire, peut-être liée à l'agression mécanique directe des bulles sur l'endothélium vasculaire.**
- **Un effet embolique gazeux dans la circulation pulmonaire**



# Shunts artério-veineux pulmonaires par $\uparrow$ PAP





# PLONGEE PROFONDE

- **La surcharge bullaire du filtre pulmonaire est plus importante à la fin d'une plongée profonde.**
- **La décompression augmente les pressions droites du coeur**
- **Risque de décompenser une insuffisance cardiaque droite au cours d'une plongée**
- **Une surcharge bullaire du filtre pulmonaire peut entraîner le passage de bulles dans la circulation systémique**
- **La présence d'un foramen ovale perméable est donc potentiellement responsable d'accidents emboliques lors de la décompression.**

# L'oedème pulmonaire en immersion

# *Oedème pulmonaire en immersion : Définition*

- Un oedème pulmonaire correspond à l'irruption du contenu des capillaires pulmonaires d'abord dans les alvéoles : passe d'abord le plasma puis les surtout les globules rouges qui sont les plus petits.
- L'oedème pulmonaire survient lorsqu'il y a défaillance de la barrière alvéolo-capillaire, qui devient alors perméable.
- Son mécanisme est mixte :
  - ➔ **Composantes hémodynamiques** : augmentation de la pression capillaire
  - ➔ **Composantes lésionnelles** : altération directe de la barrière alvéolo capillaire. C'est typiquement l'oedème pulmonaire de la noyade, au cours duquel l'eau agresse la paroi alvéolaire et détruit le surfactant pulmonaire.
  - ➔ **Composantes inflammatoires**

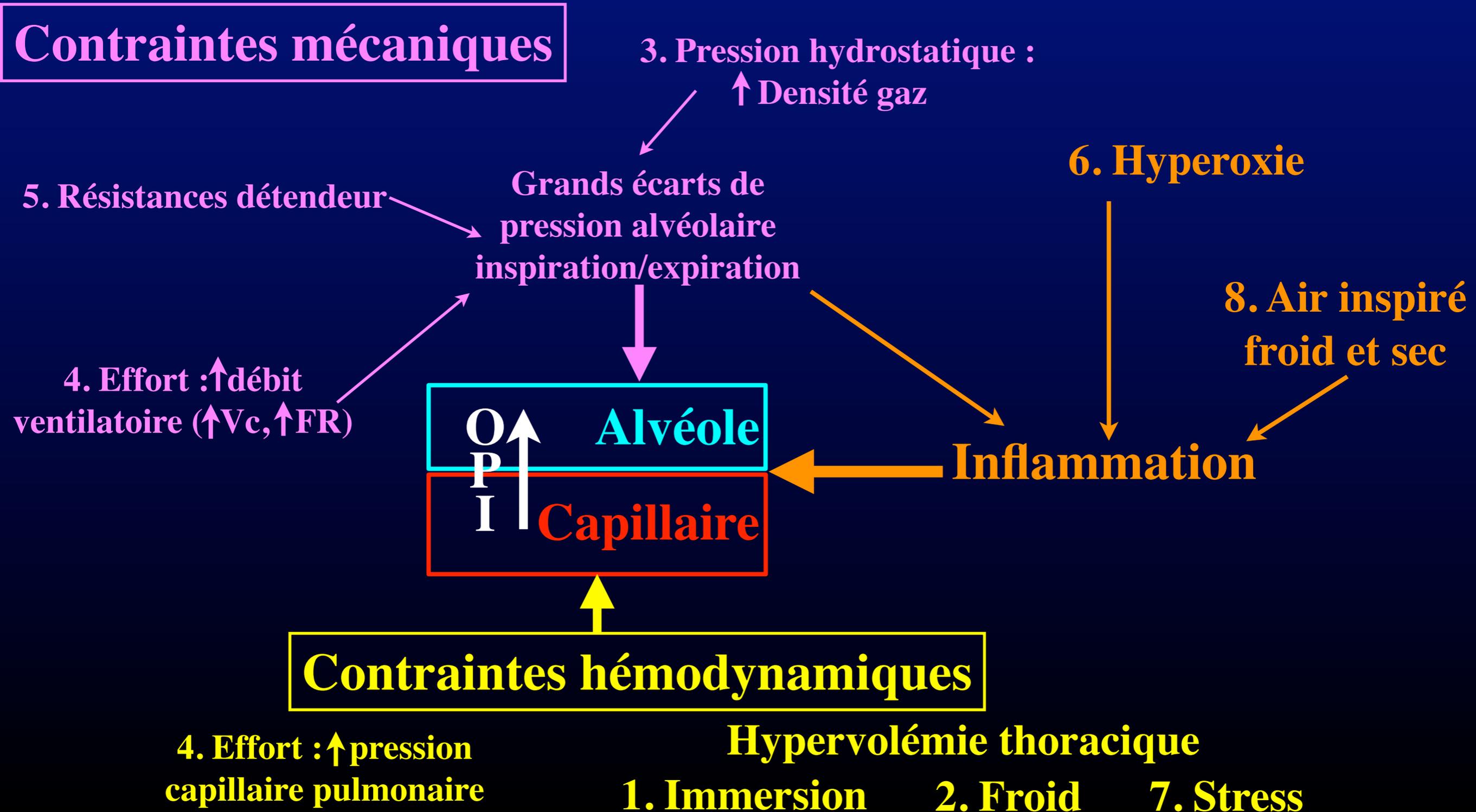
# *Oedème pulmonaire en immersion :* *Physiopathologie : Les ≠ contraintes*



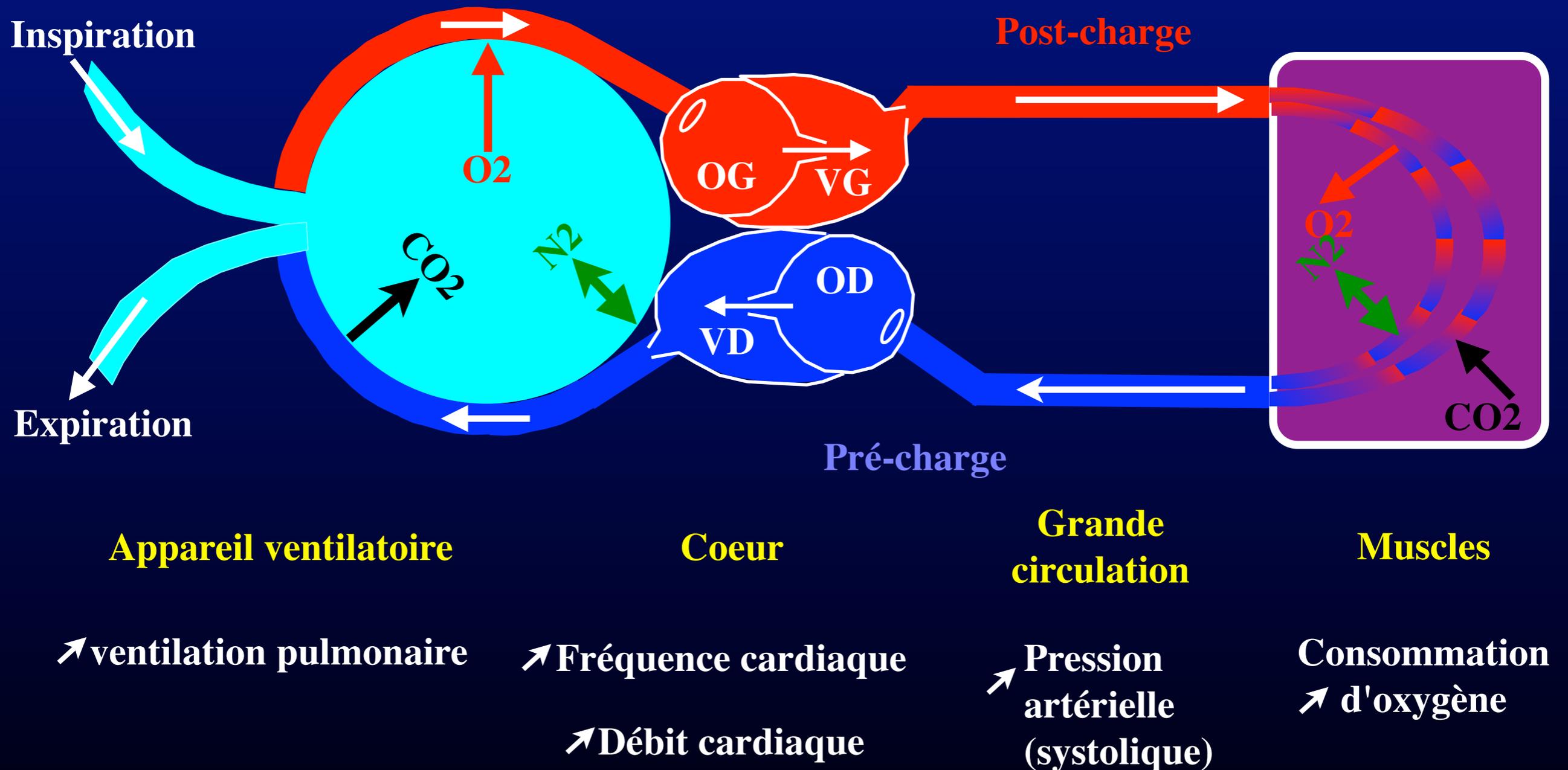
- 1. Immersion :** Re-distribution des volume sanguins (Blood shift = 700 ml)
- 2. Froid :** (par activation orthosympatique et libération +++ de noradrénaline) => vasoconstriction périphérique => ↑ volume sanguin central et des pressions dans les vaisseaux pulmonaires
- 3. Pression hydrostatique :** ↑ Densité gaz => ↑ résistances à l'écoulement dans les VA, surtout à l'effort +++
- 4. L'effort :** ↑ la pression capillaire pulmonaire et le travail respiratoire (oedèmes des nageurs)
- 5. Détendeur :** ↑ résistances respiratoires + espace mort
- 6. Hyperoxie :** induit une réaction inflammatoire et un effet vasoconstricteur
- 7. Stress :** ↑ TA, peut être à l'origine d'OAP !
- 8. Air inspiré froid et sec :** induit une réaction inflammatoire locale => ↑ perméabilité vasculaire

# *Oedème pulmonaire d'immersion*

## *Physiopathologie : Les ≠ contraintes*



# Adaptation cardio-vasculaire et respiratoire pendant l'effort physique



# L'effort en plongée sous-marine



- Pourvoyeur de bulles
- Inversion de shunt
- Majore la décompression

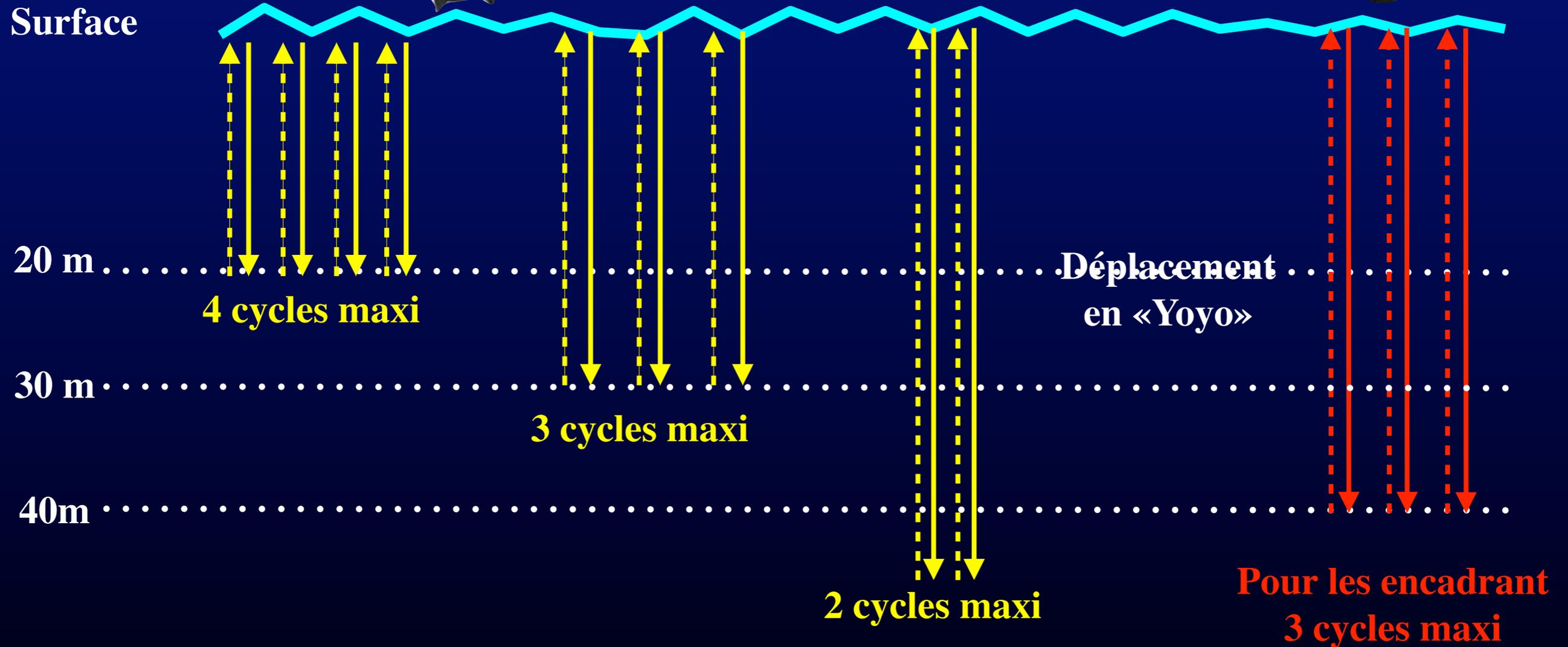
**Toute contre-indication à la pratique d'un effort physique interdit la pratique de la plongée sous-marine.**

# Les plongées yo-yo

- **Les plongées yo-yo comportent plusieurs cycles de remontées au cours d'une même séance (cas des ateliers verticaux)**
- **On appelle cycle, une immersion jusqu'à la profondeur de travail suivie d'une remontée jusqu'à la zone de surface.**
- **Plongées yo-yo au cours des ateliers verticaux : remontée gilet individuelle, assistance, sauvetage (pauvre encadrant)**
- **In fin les plongées yo-yo entraînent une surcharge bullaire du filtre pulmonaire qui lors de la recompression (redescente), une ou plusieurs bulles passent dans le circuit artériel pulmonaire.**
- **Recommandations de la CTN FFESSM (PV du 20/09/2008 et du 17/01/2009)**



# Ateliers verticaux : Variation des pressions et des volumes



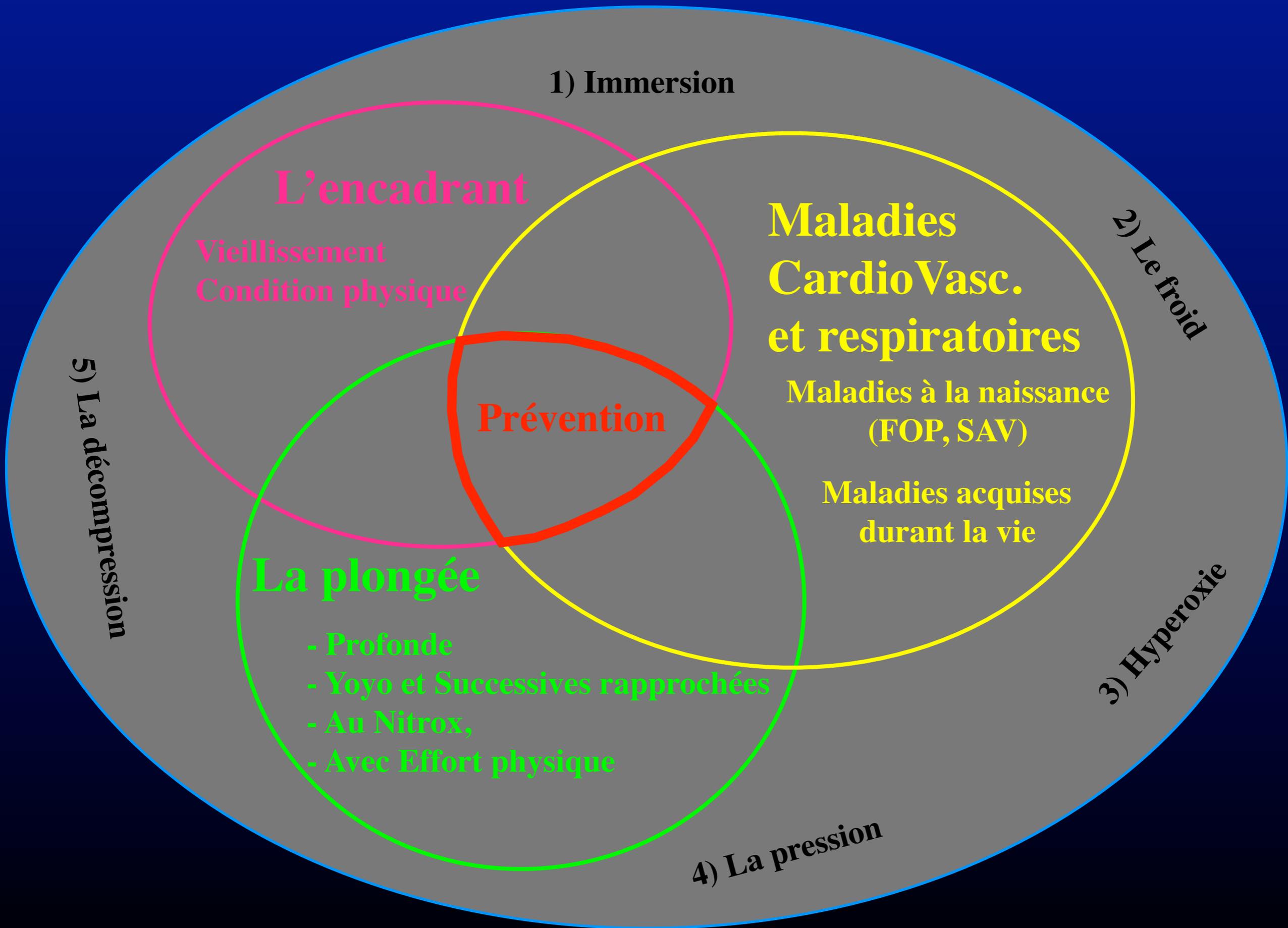
**Le "Yoyo" est responsable d'un accident sur trois chez les moniteurs**

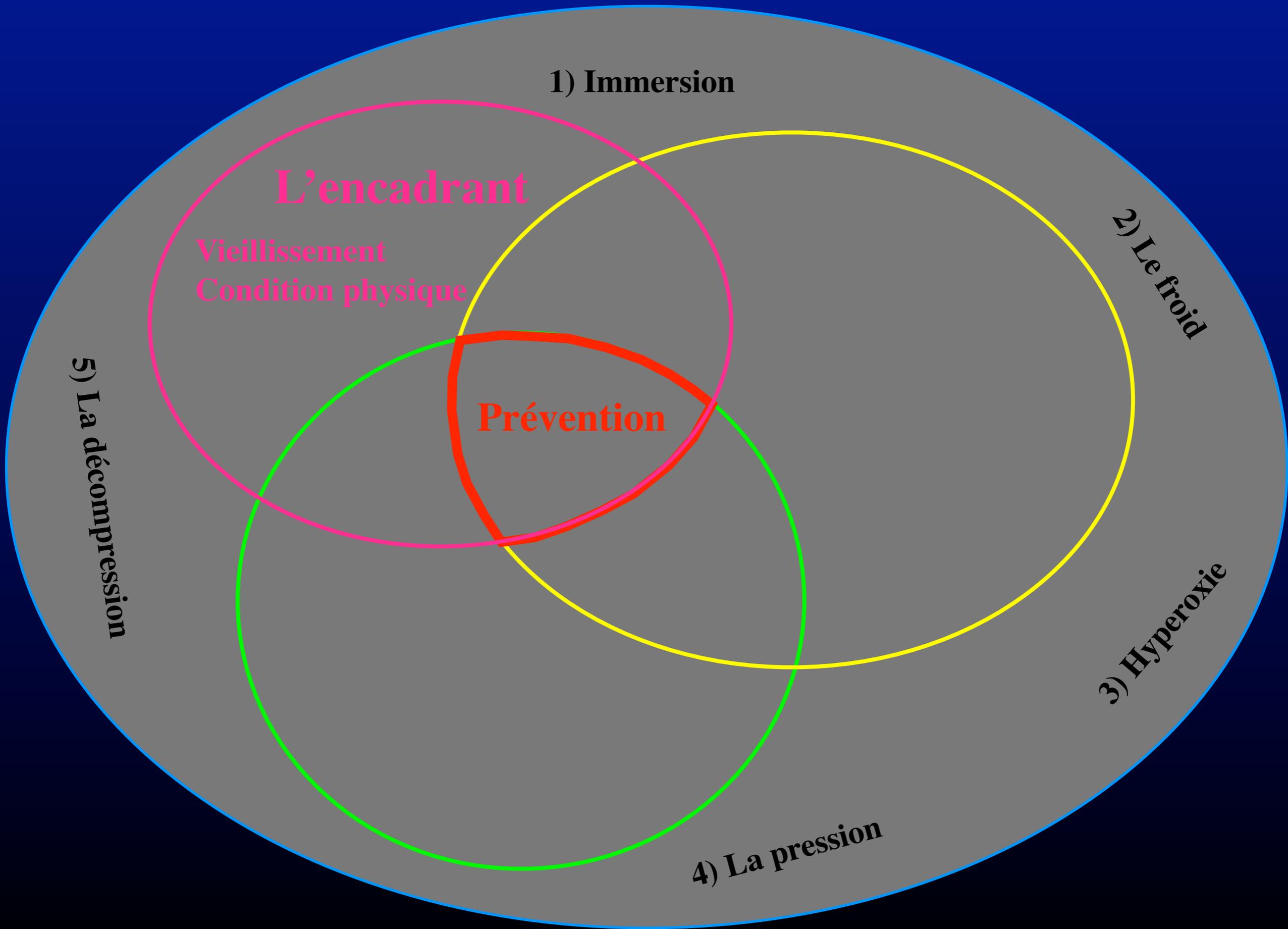
*Nombre de cycle vertical (yoyos) au cours d'une séance*

# Eviter les plongées Yoyo



- **Toujours faire des yoyos au tout début de la plongée,**
- **Pas de yoyos pendant une plongée successive**
- **Plonger au nitrox**
- **Pas d'effort après une plongée yoyo**
- **Attention aux yoyos déguisés : redescendre pour décrocher le mouillage, le palier à 3 m quand la houle est trop forte etc...,**
- **Pendant les ateliers verticaux ne misez pas tout votre entraînement sur les remontées, surtout en fosse**
- **Votre capacité pulmonaire de "filtration" des bulles n'est pas constante: le froid, la fatigue, le CO<sub>2</sub>, le tabac, l'âge etc influencent votre capacité à éliminer les bulles.**



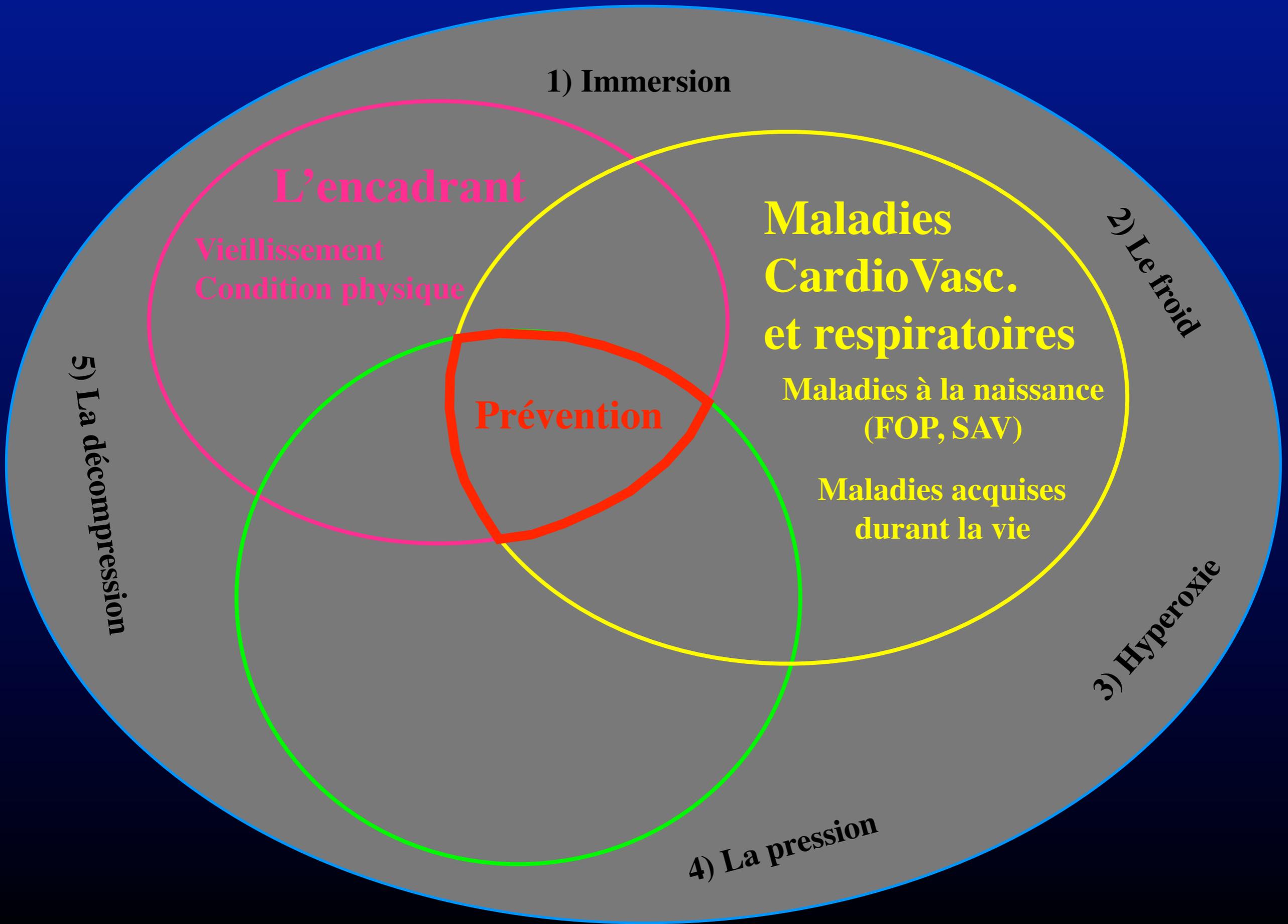


# Prévention

## *Entretien de la condition physique*



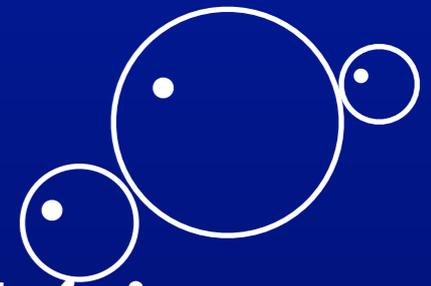
- Respecter les règles hygiéno-diététiques
- Suivi médical régulier
- Lutte contre la sédentarité
- Pratique régulière d'une activité d'endurance : Natation, cyclisme, marche-course,...



<b>Maladies CV</b>	<b>Contraintes</b>	<b>Prévention</b>
<b>Insuffisant cardiaque</b>	<b>1, 2, 3, 4 et 5</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C.I à la plongée</li> <li>• Pas de plongée physique</li> </ul>
<b>Le coronarien</b>	<b>2 et 3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nitrox avec modération</li> </ul>
<b>L'hypertendu</b>	<b>2, 3, Stress</b>	<b>Prudence quand plongée profonde, ou avec Nitrox</b>
<b>Troubles rythmes</b>	<b>2 et 3</b>	<b>Eviter les eaux froides</b>
<b>Valvulaire</b>	<b>5</b>	<b>Eviter les plongées profondes</b>

**1) Immersion 2) Froid 3) Hyperoxie 4) Pression 5) Décompression**

# L'HYPERTENDU



- **2)Froid 3)Hyperoxie Stress : Vaso-constriction périphérique**  
Augmentation de la post charge  
Poussée tensionnelle
- **Les plongées profondes ou l'utilisation de mélanges suroxygénés (Nitrox) sont donc à considérer avec prudence en cas d'hypertension artérielle.**
- **Pas de restriction pour un sujet asymptotique dont la TA est équilibrée (< 140/90 mmHg).**
- **Si la TA n'est pas équilibrée (> 160/100 mmHg) : pas de plongée en eau froide, limitation à 30 m et pas de mélange suroxygéné ou prolonger la contre-indication temporaire .**



# Le bilan médical du plongeur

- **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.



# L'épreuve d'effort : Technique



- Le tapis roulant
- La bicyclette ergométrique
- Enregistrement électrocardiogramme continu
- Analyse des échanges gazeux
- Prise de la tension artérielle

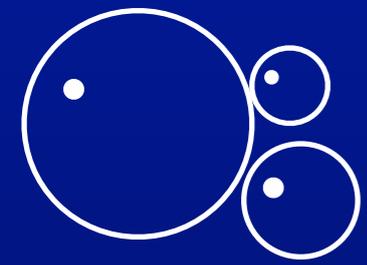


# L'épreuve d'effort : Indications

- **Sujet symptomatique**
- **Sujet avec cardiopathie dont HTA**
- **Sujet asymptomatique avec deux facteurs de risque (en dehors de l'âge et du sexe) ou un facteur très marqué**
- **Sujet asymptomatique voulant débiter ou reprendre une activité intense si plus de 45 ans pour la femme et 35 ans chez l'homme**
- **Sujet asymptomatique de plus de 60 ans pratiquant un sport intense**



**Un plongeur doit être capable d'effectuer un effort de 150 - 180 watts**



# Conclusions

**La plongée en scaphandre est une activité sportive à risque, avec des contraintes importantes pour le système cardiovasculaire.**

**Une visite d'aptitude est nécessaire**

**Le bilan cardiaque avec test d'effort est incontournable**

**« Ce n'est pas le plongeur qui doit s'adapter à la plongée, mais la plongée qui doit être adaptée à chacun ».**



**Merci de  
votre  
attention**