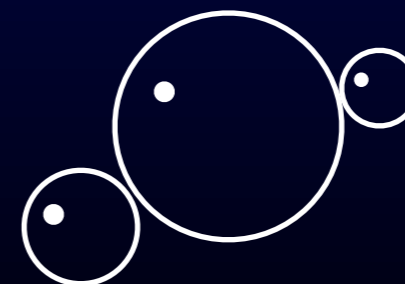
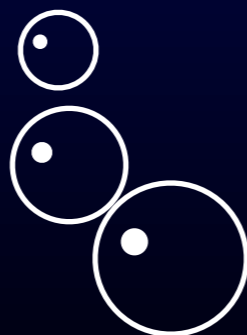
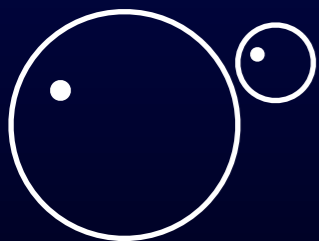


Les accidents de plongée chez l'encadrant :

Facteurs de risque et prévention

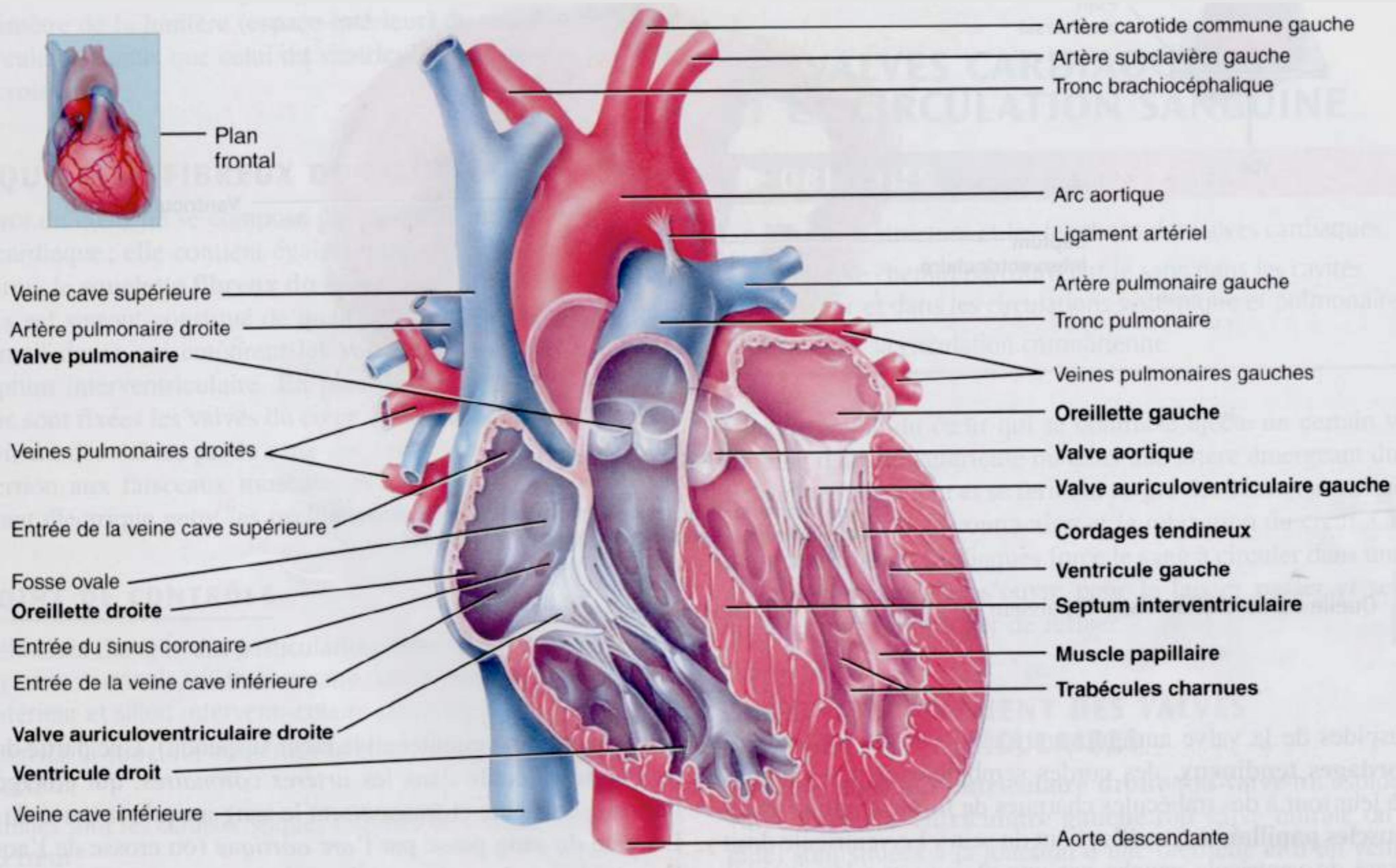


Epidémiologie

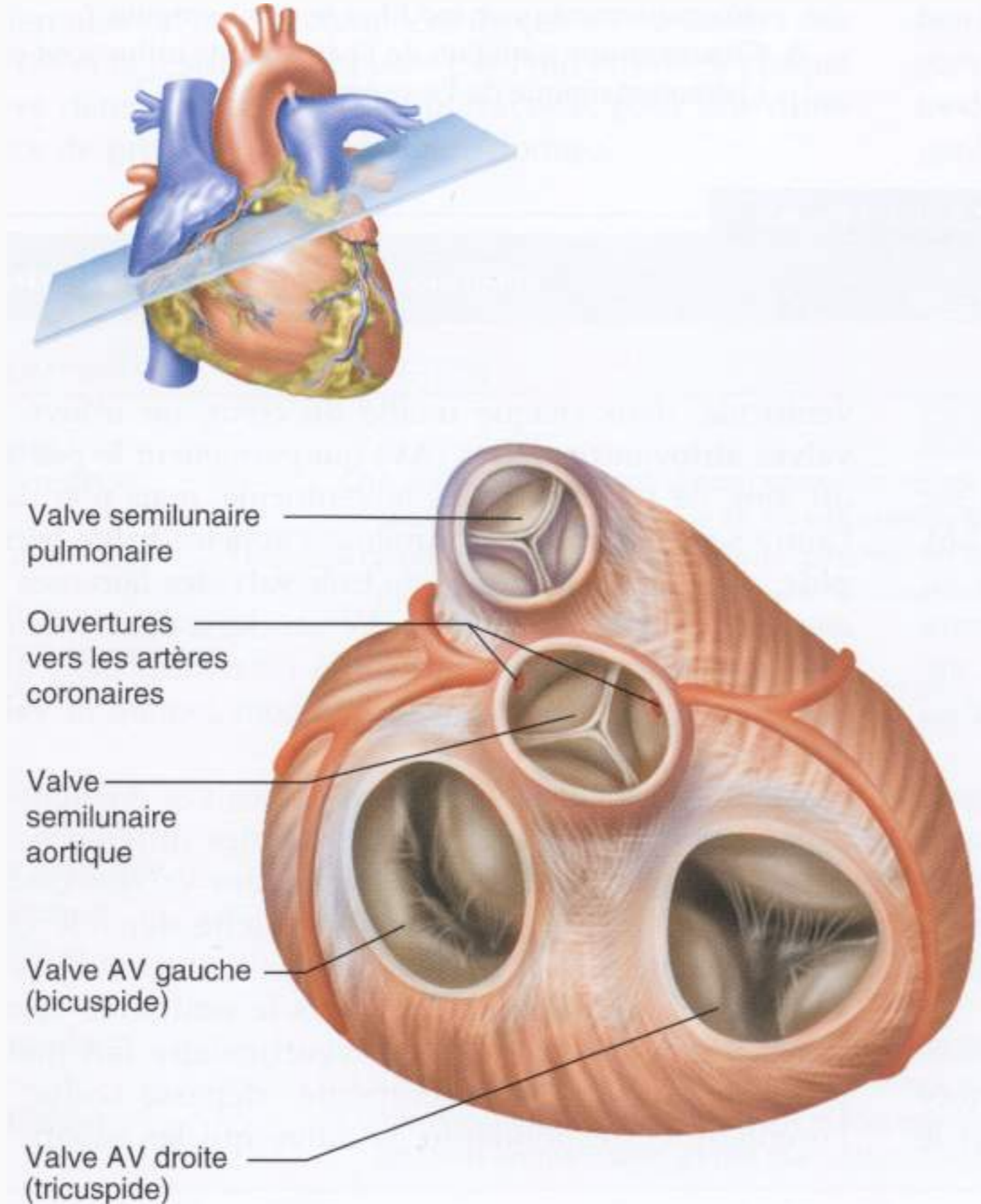
- 1 accident pour 6 à 10.000 plongées/an dans le monde
- Soit 350 accidents / an traités dans les centres hyperbares français.
- 75% = M 25% = F
- 10% ont déjà eu un accident de plongée
- **1/5ième des accidentés = encadrants (70)**
- 20% surviennent au cours d'une formation
- L'incidence augmente avec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

*Anatomie du système
cardiovasculaire et
Ventilatoire*

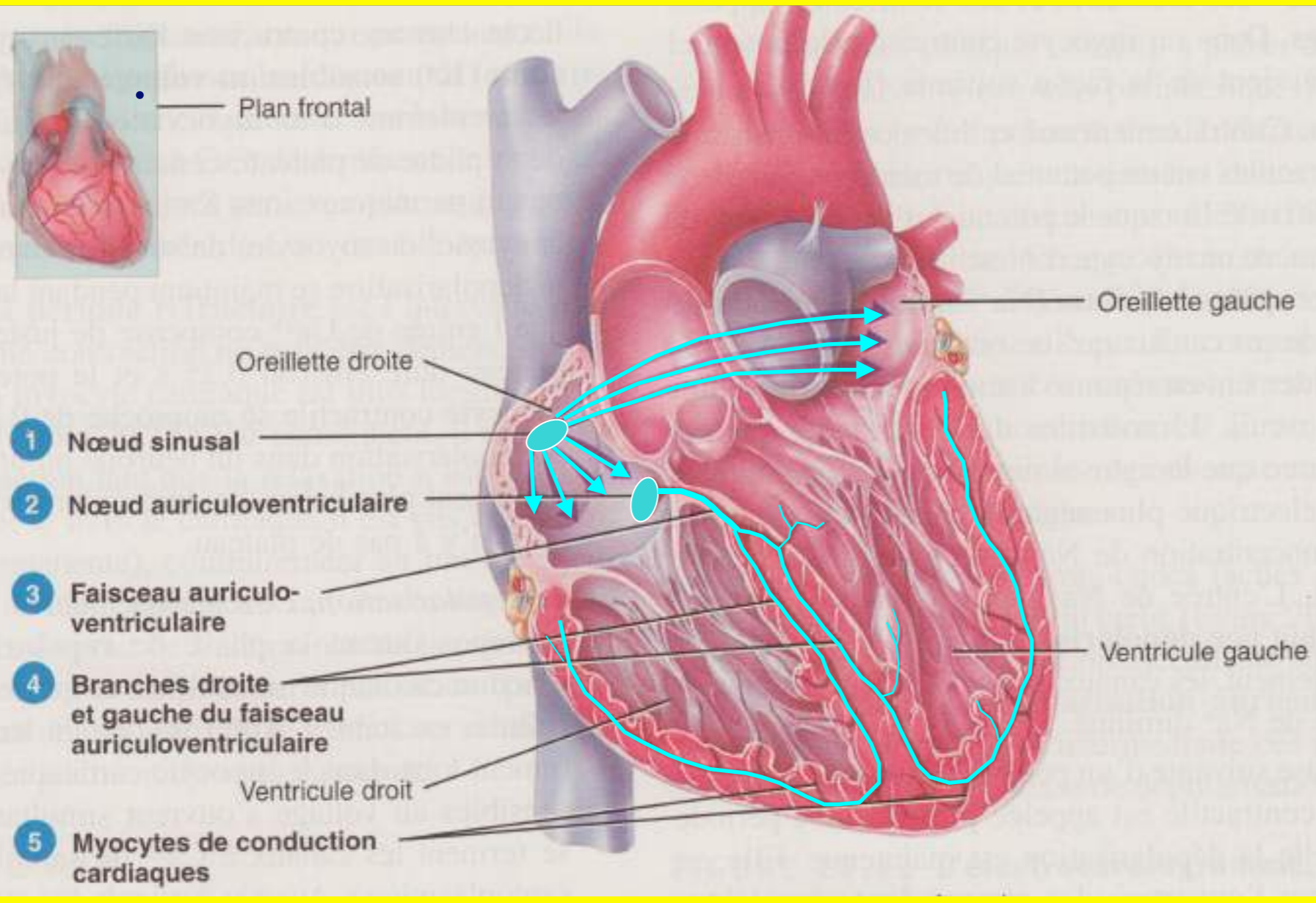
Anatomie interne du coeur



Anatomie interne du coeur : Valves cardiaques

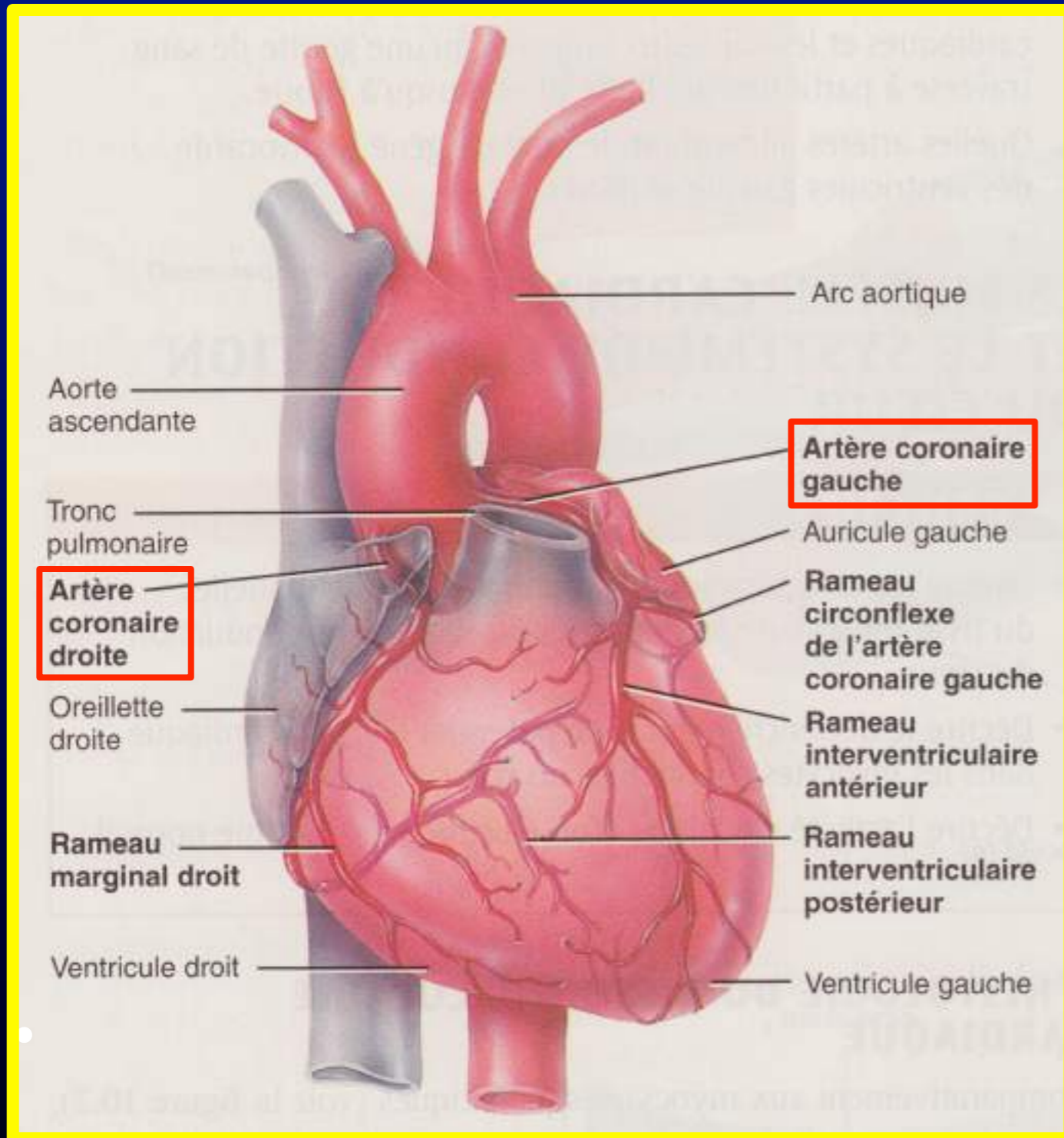


Systeme de conduction électrique intracardiaque



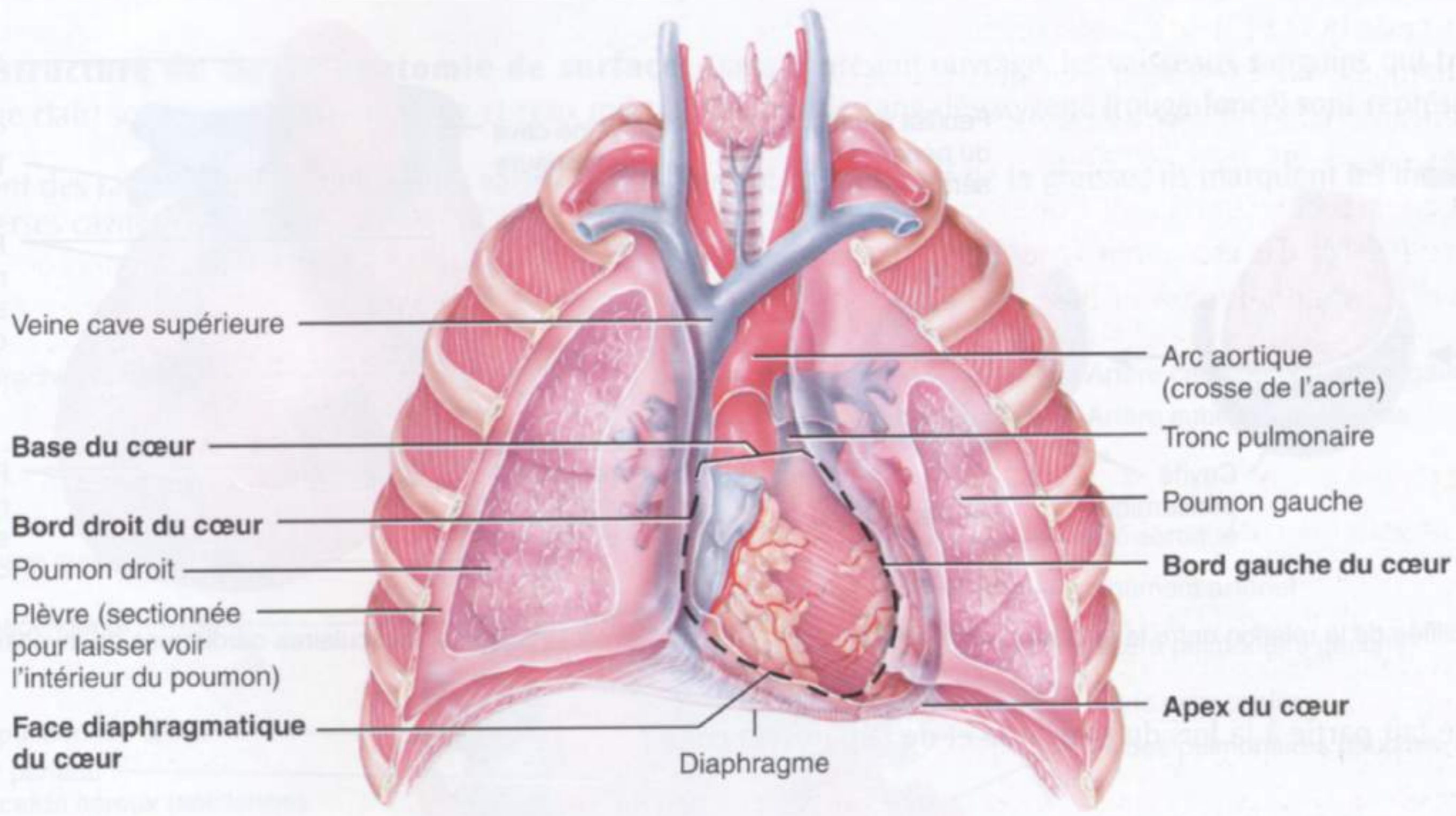
- La majorité des cellules du tissu nodal peuvent générer l'automatisme cardiaque, les plus rapides imposant leur rythme aux autres.
- Ce sont les cellules du nœud sinusal qui, normalement commandent l'automatisme, (rythme sinusal à 100 décharges / minutes), régulées par des mécanismes neuro-hormonaux.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

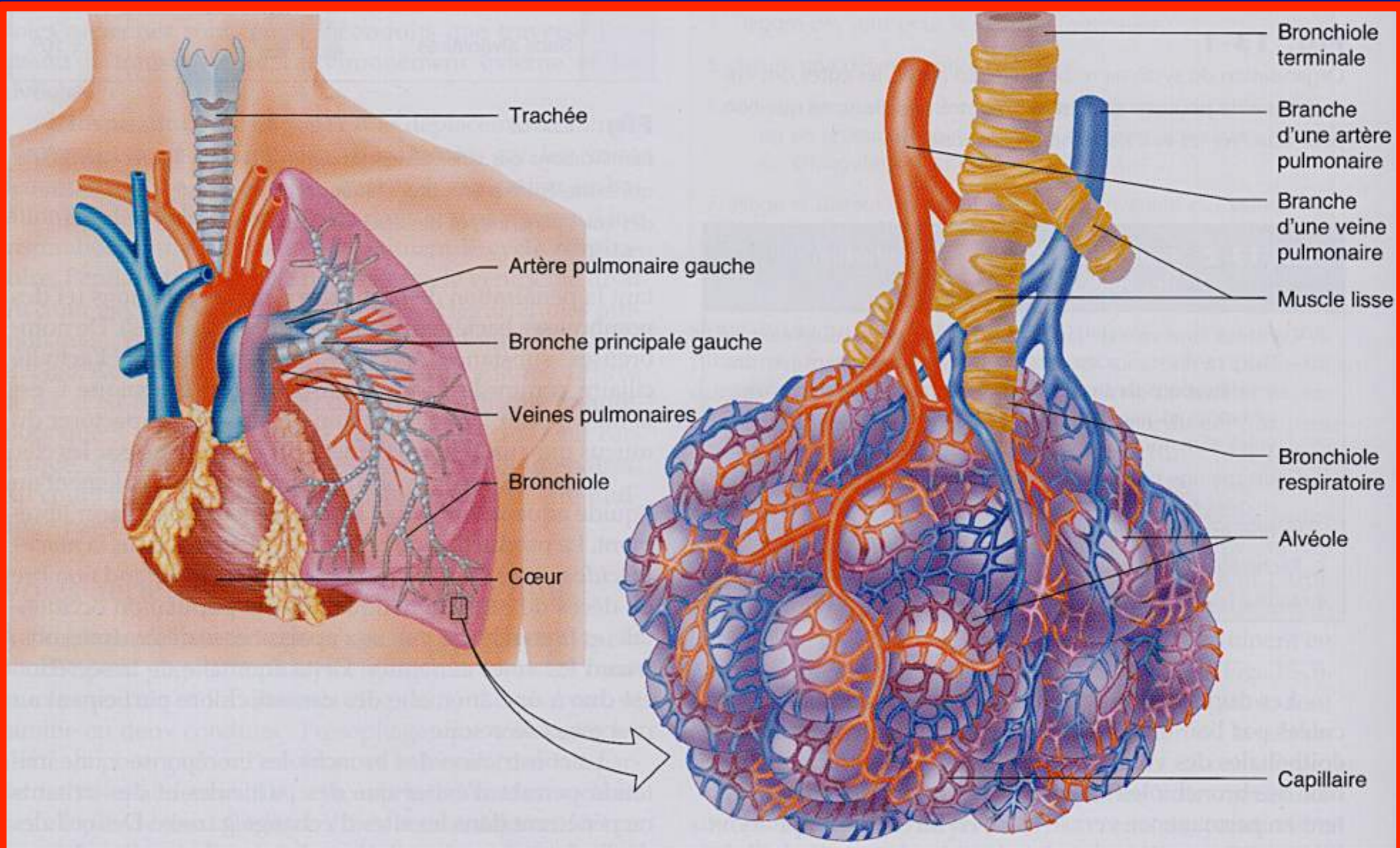
Systeme cardio-vasculaire

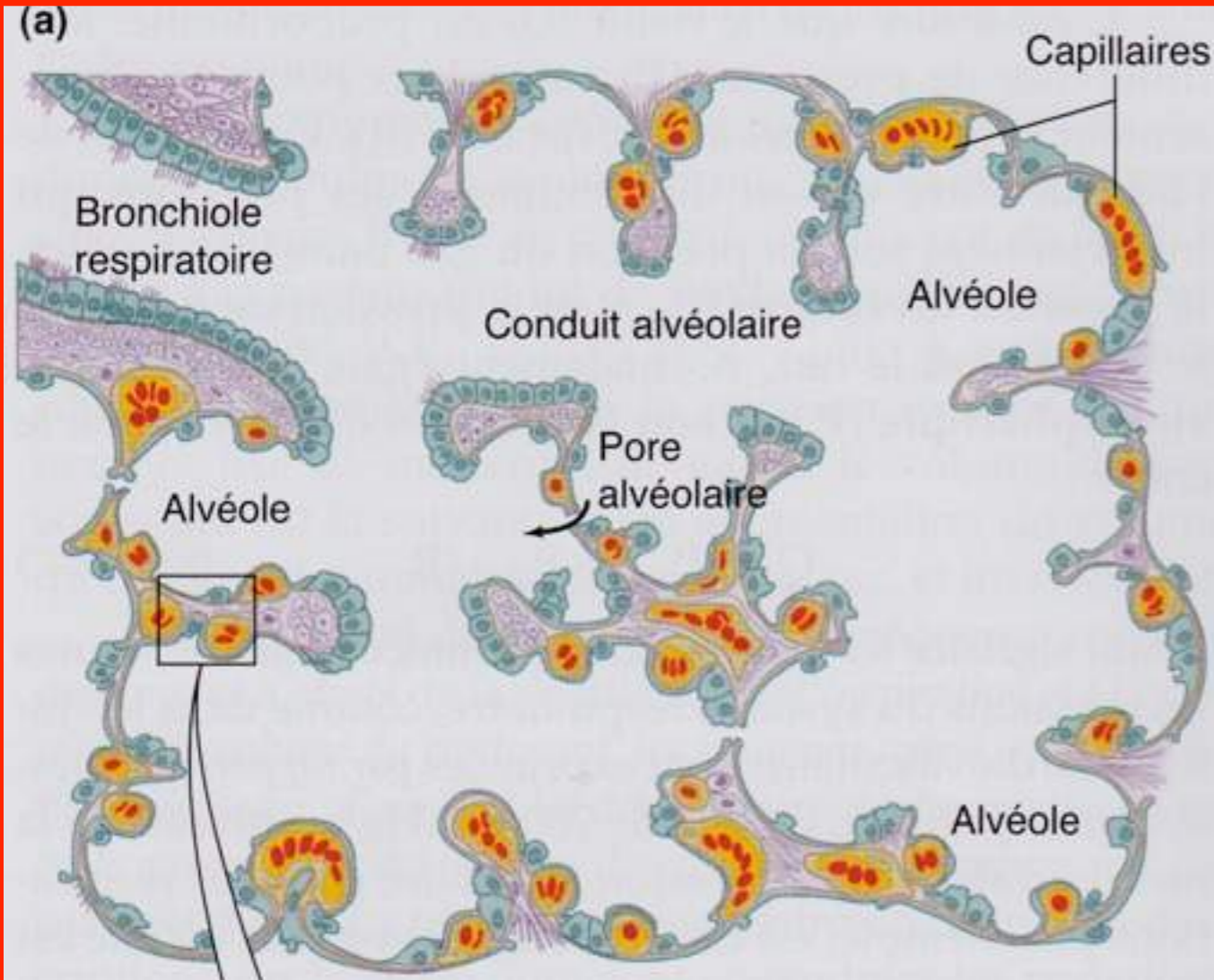


- Le tissu musculaire du coeur possède sa propre circulation artérielle et veineuse systémique : circulation coronarienne
- Les artères coronaires droites et gauches prennent naissance sur l'aorte
- Il peut se développer une circulation collatérale composée de petites ramifications pour contourner un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

Situation des poumons dans la cage thoracique

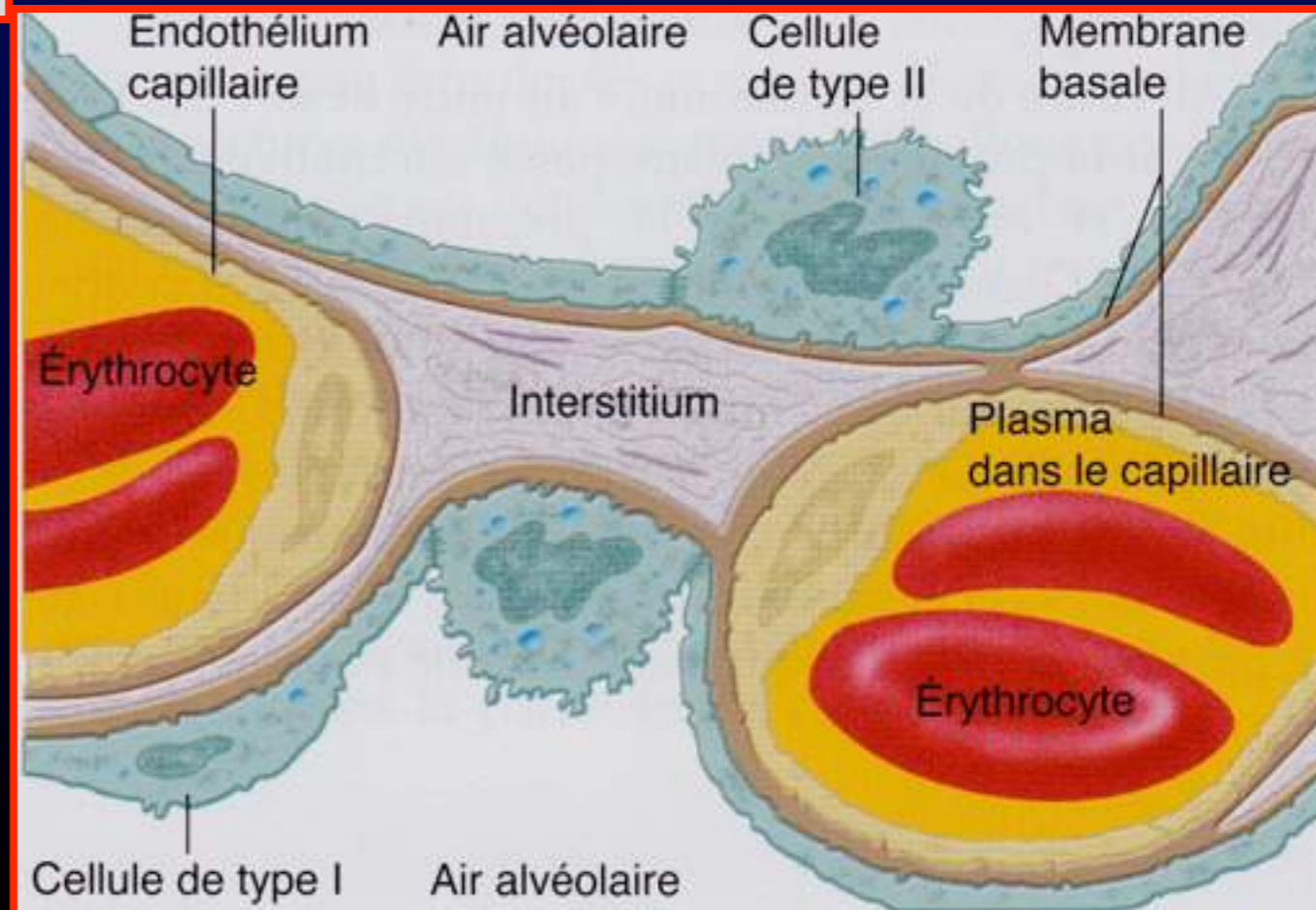




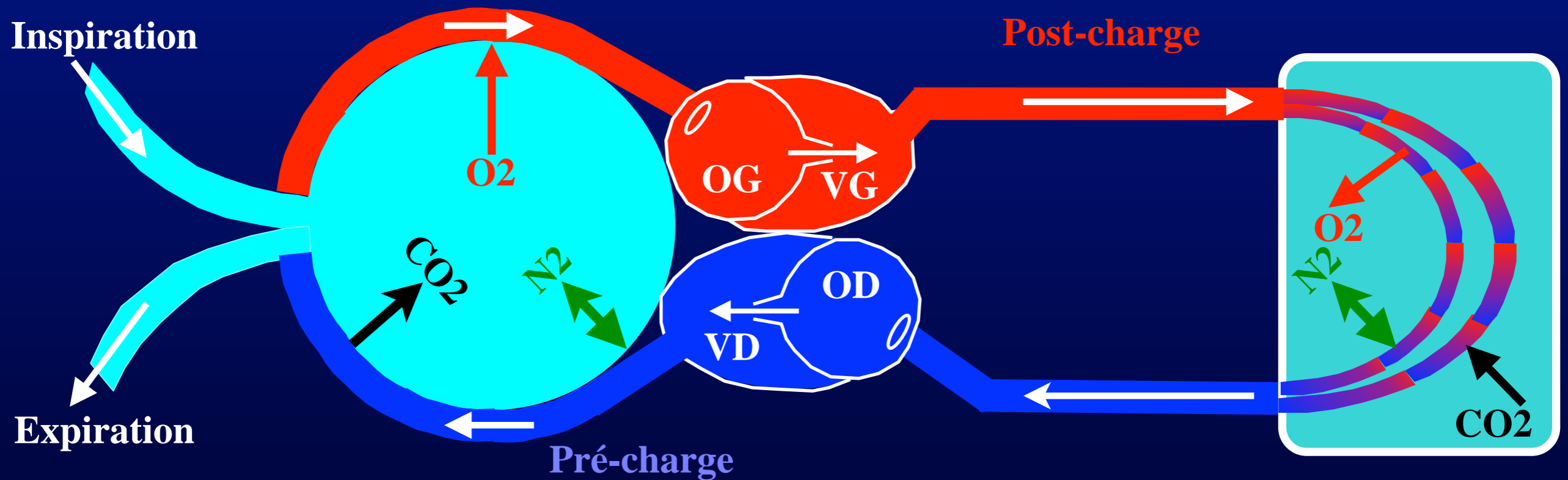


- 300 à 500 millions d'alvéoles environ
- Diamètre d'une alvéole : $250 \pm 10 \mu\text{m}$
- Surface totale alvéolaire : 80 à 100 m²
- Surface en contact avec capillaires : 75 m²
- Membrane alvéolocapillaire : 0,3 à 0,5 μm
- Lieu des échanges gazeux avec la circulation sanguine (= Hématose)

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

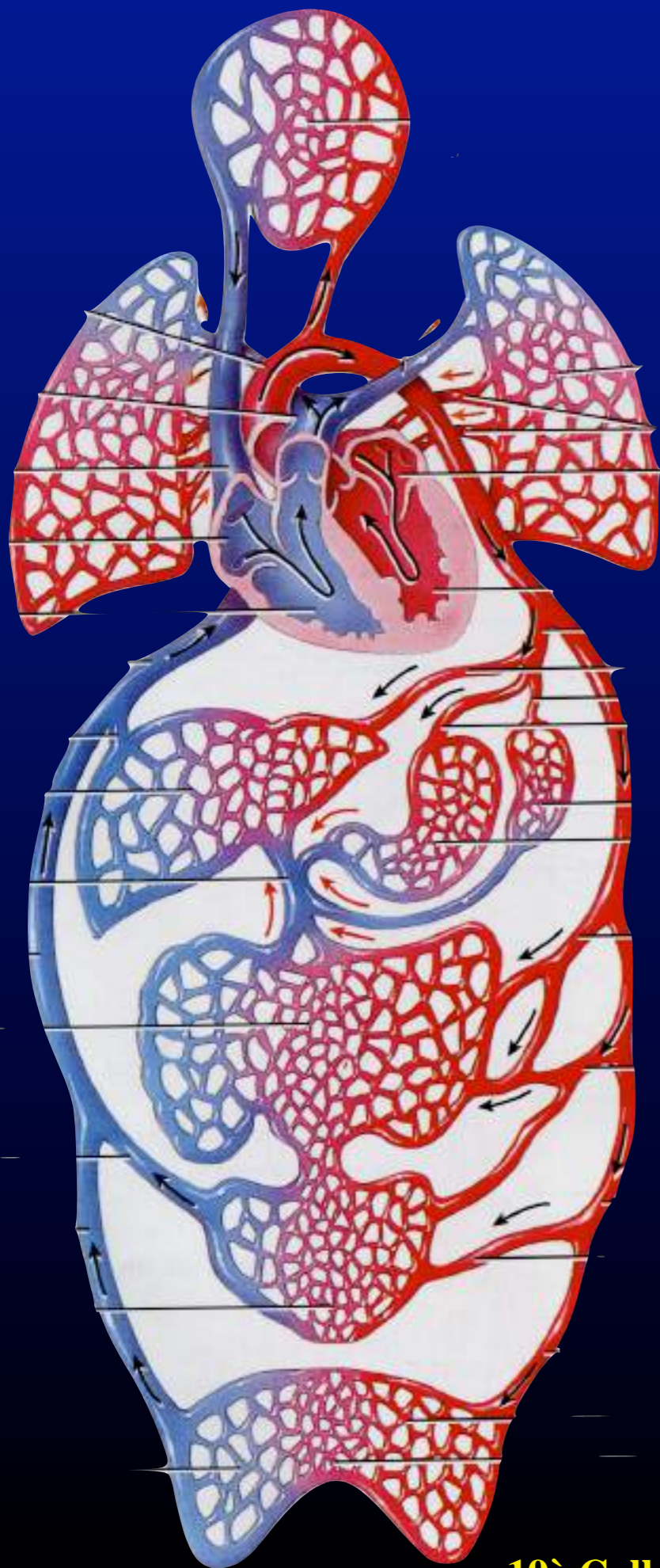
Veines

Oreille

Tissu nerveux

Muscles, Os

Valves

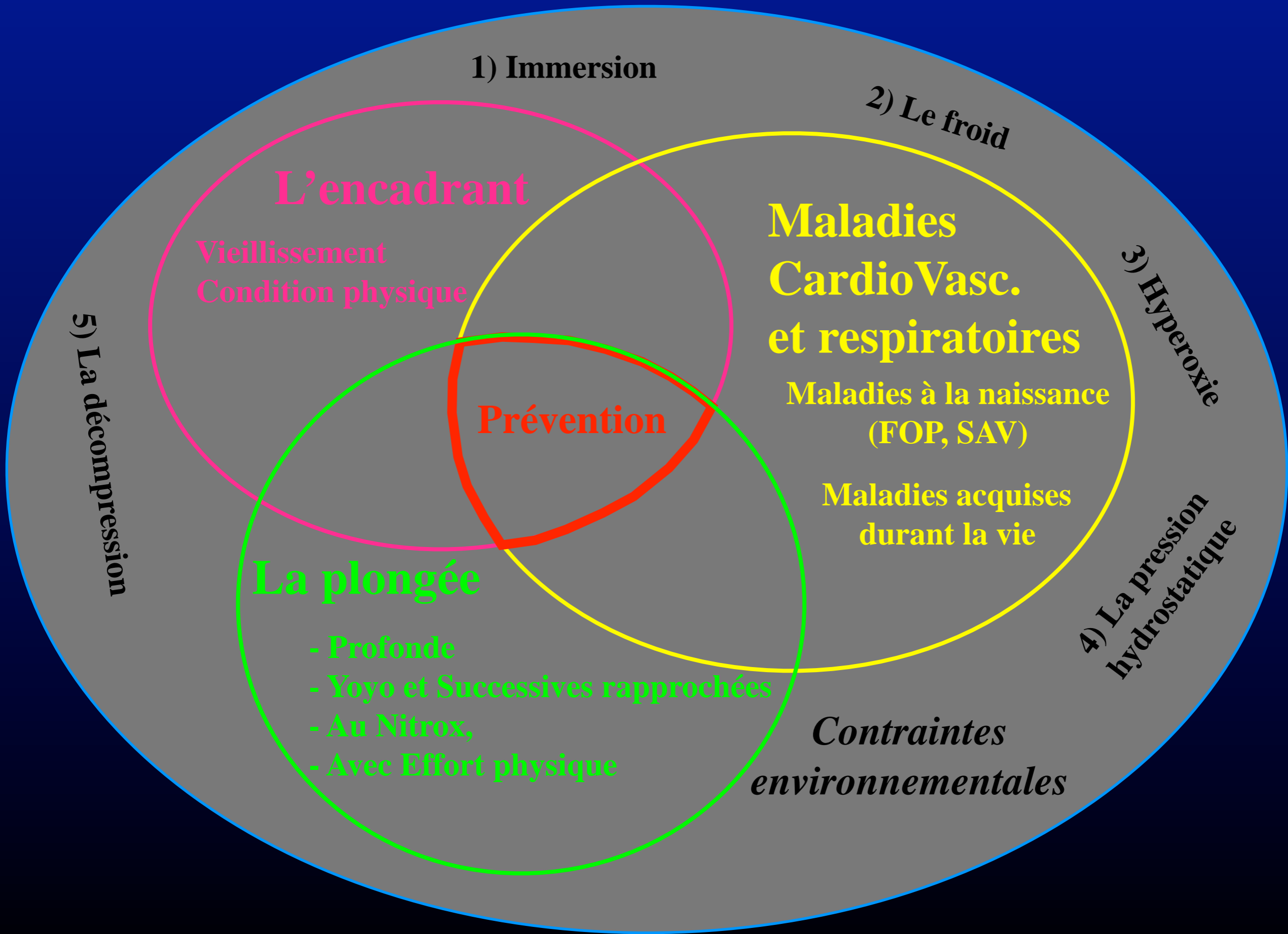


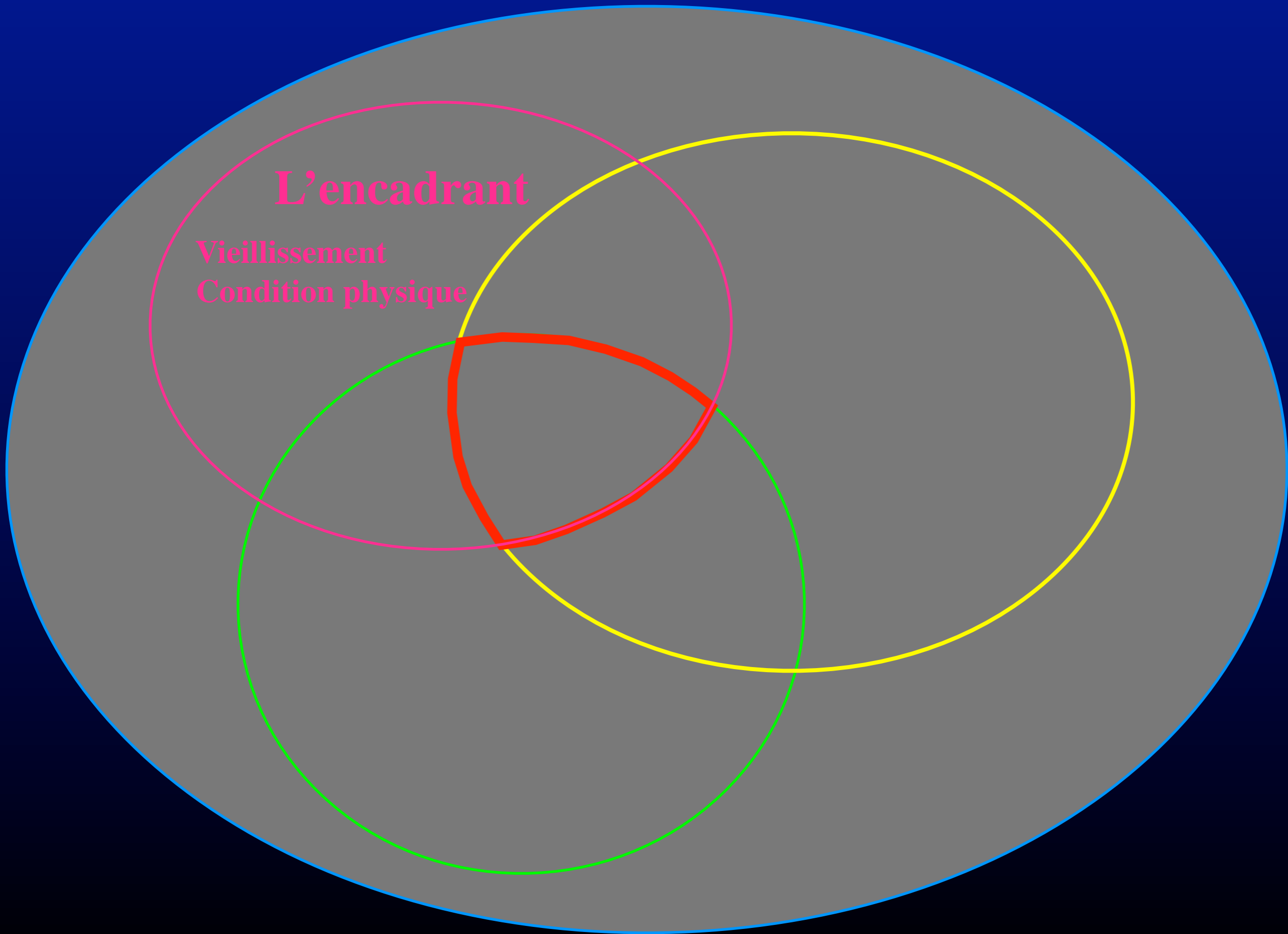
Les voies de la circulation

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

Les veines arrivent aux oreillettes

Les artères partent des ventricules

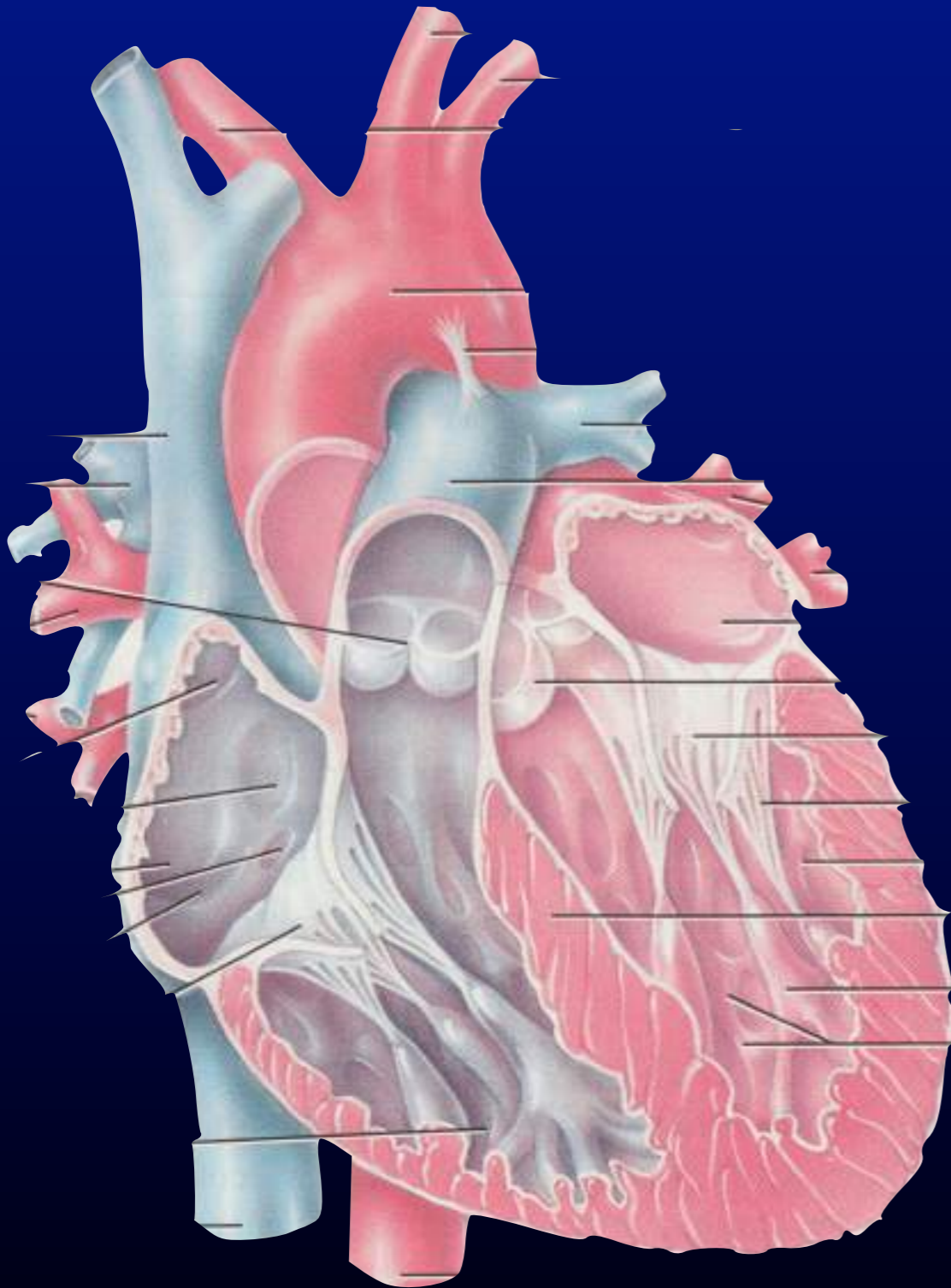




L'encadrant

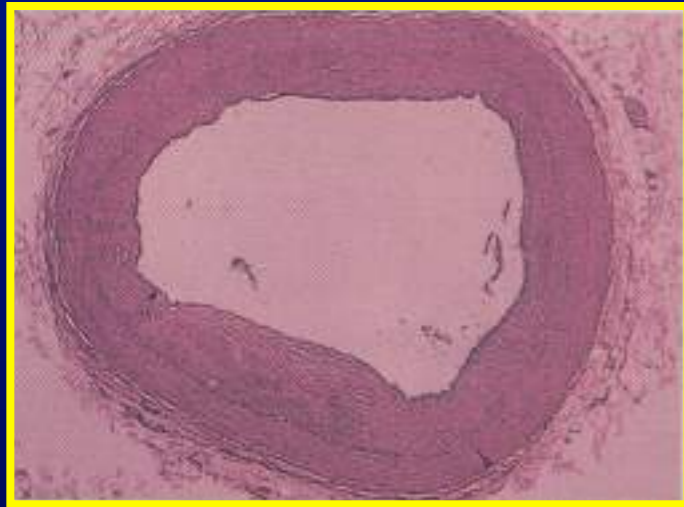
Vieillessement
Condition physique

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

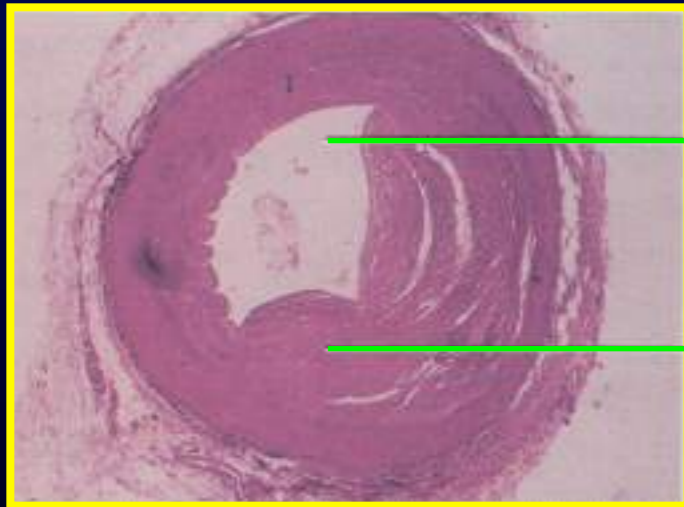


- Epaississement du coeur gauche du fait de l'augmentation des résistances périphériques
- Le muscle cardiaque est infiltré par du collagène et perd des cellules contractiles => altération de la relaxation et baisse de l'aptitude du coeur à augmenter le débit à l'effort
- Les valves cardiaques se rigidifient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

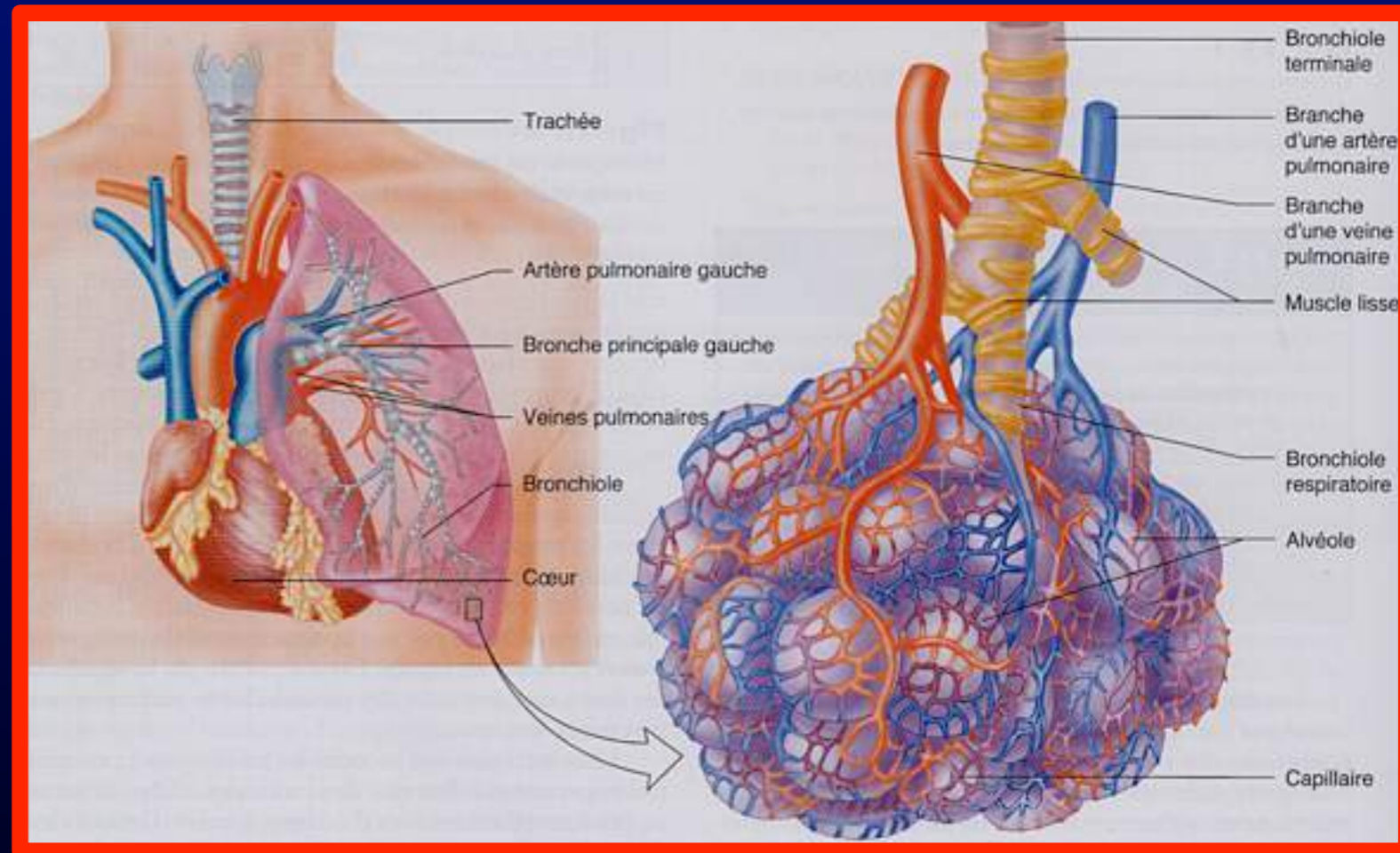
lumière

Plaque
d'athérosclérose

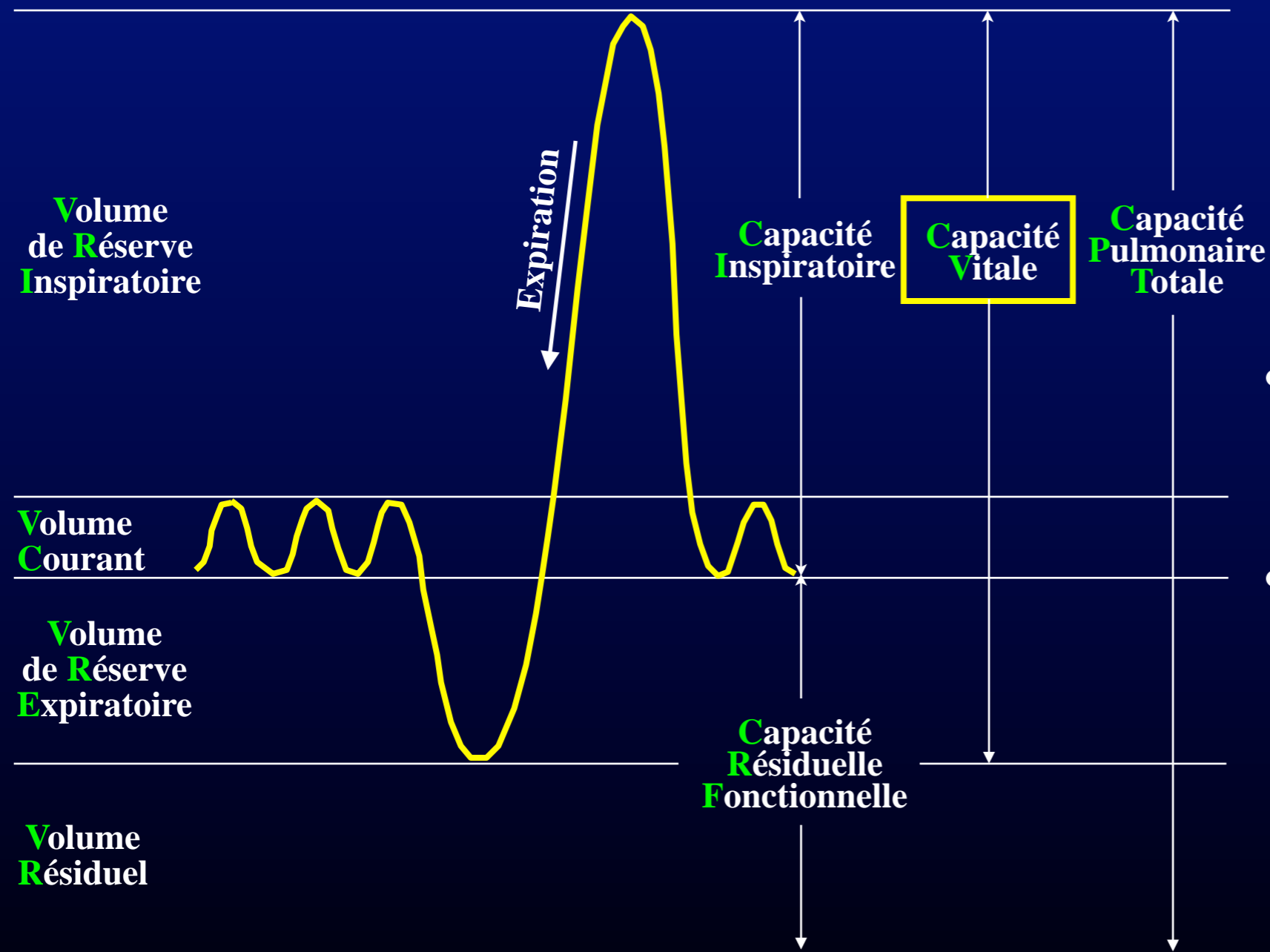
- **Epaississement des parois et augmentation de dépôt de cholestérol dans la paroi**
- **=> Rigidité des parois artérielles. Les plaques d'athérosclérose aggravent encore le risque vasculaire**
- **↑ de la formation de bulles par cavitation dans les artères altérées et rétrécies**
- **↑ pression systolique 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 m² chez le jeune)
- Epaissement de la basale des capillaires pulmonaires



Dégradations fonctionnelles de l'appareil respiratoire avec le vieillissement

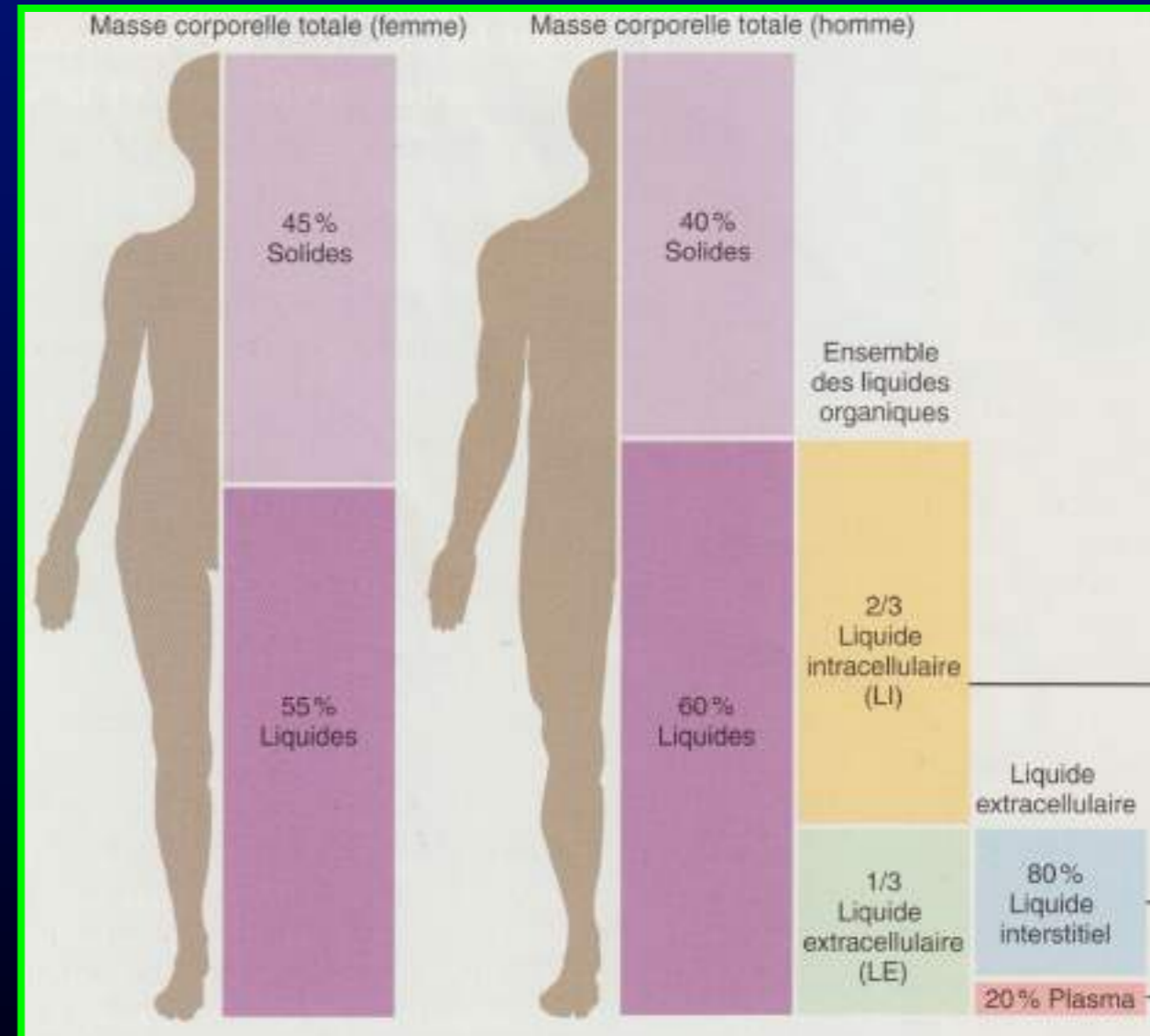


- Diminution de la capacité vitale de 30% entre 20 et 60 ans
- Diminution de la capacité de diffusion des poumons d'environ 30% entre 20 et 60 ans.

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)



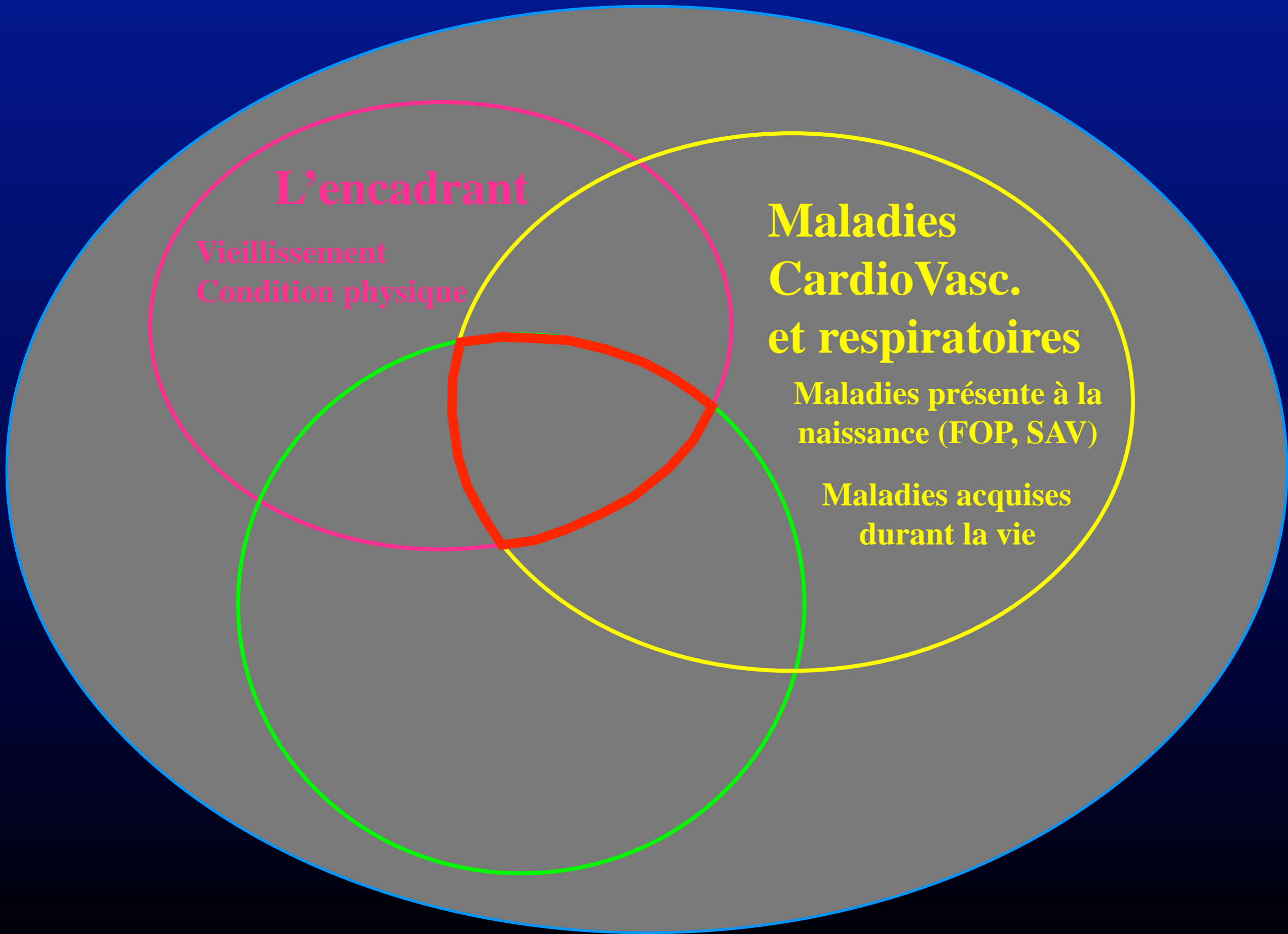
Altérations du squelette, des muscles et l'appareil locomoteur avec le vieillissement

- 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**



L'encadrant

Vieillessement
Condition physique

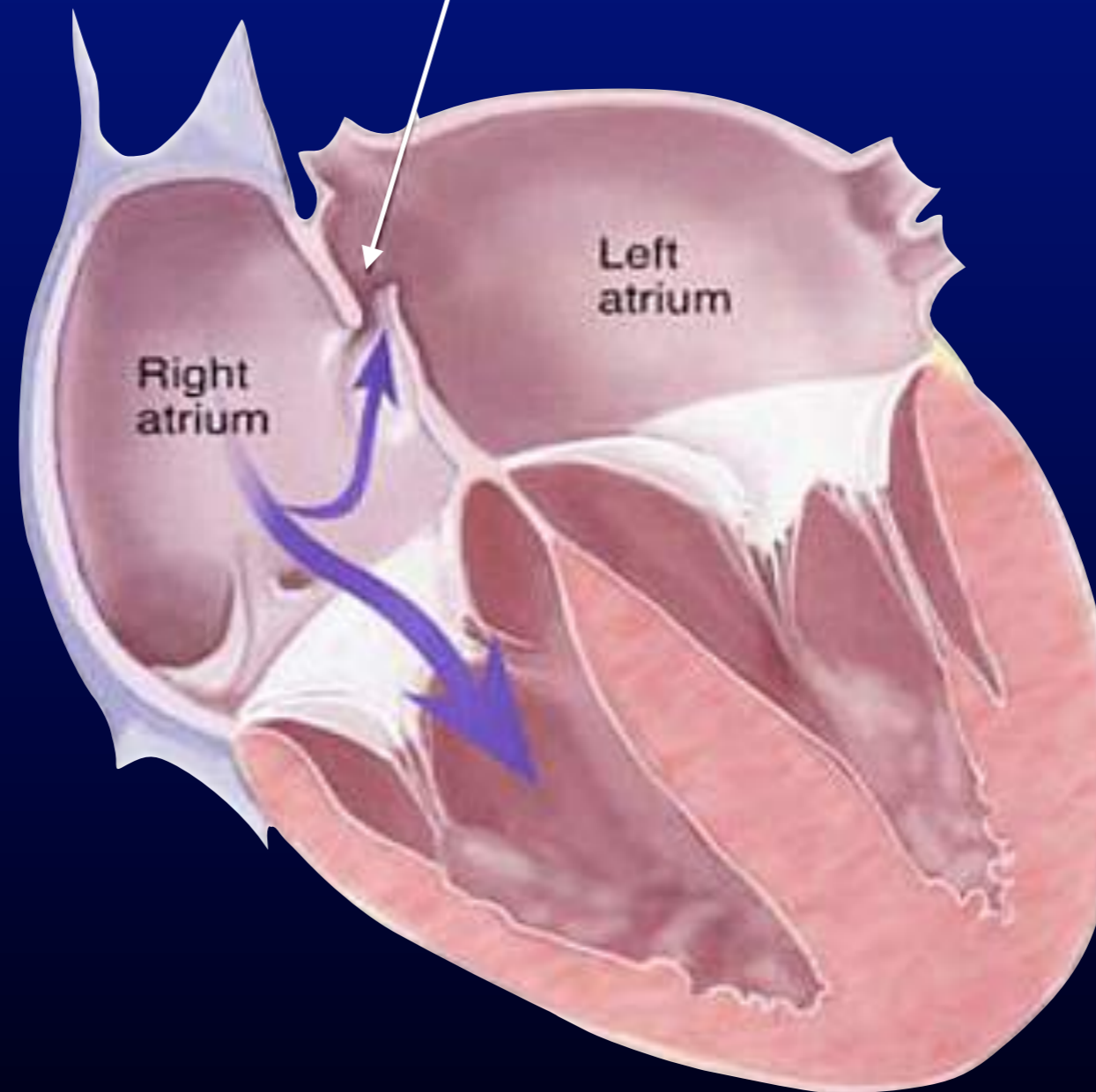
**Maladies
CardioVasc.
et respiratoires**

Maladies présente à la
naissance (FOP, SAV)

Maladies acquises
durant la vie

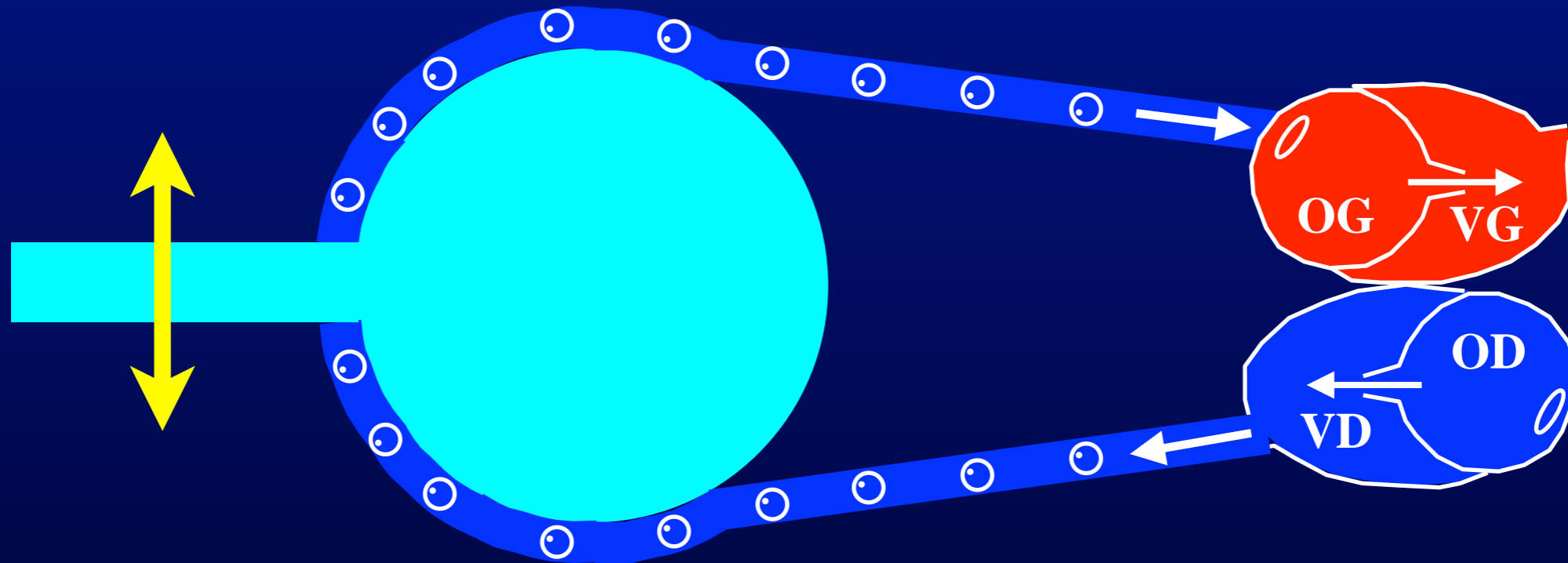
Maladies présentes à la naissance (congénitales)

Foramen ovale perméable



Maladies présentes à la naissance (congénitales)

Shunts Artério-Veineux (SAV) pulmonaires malformatifs

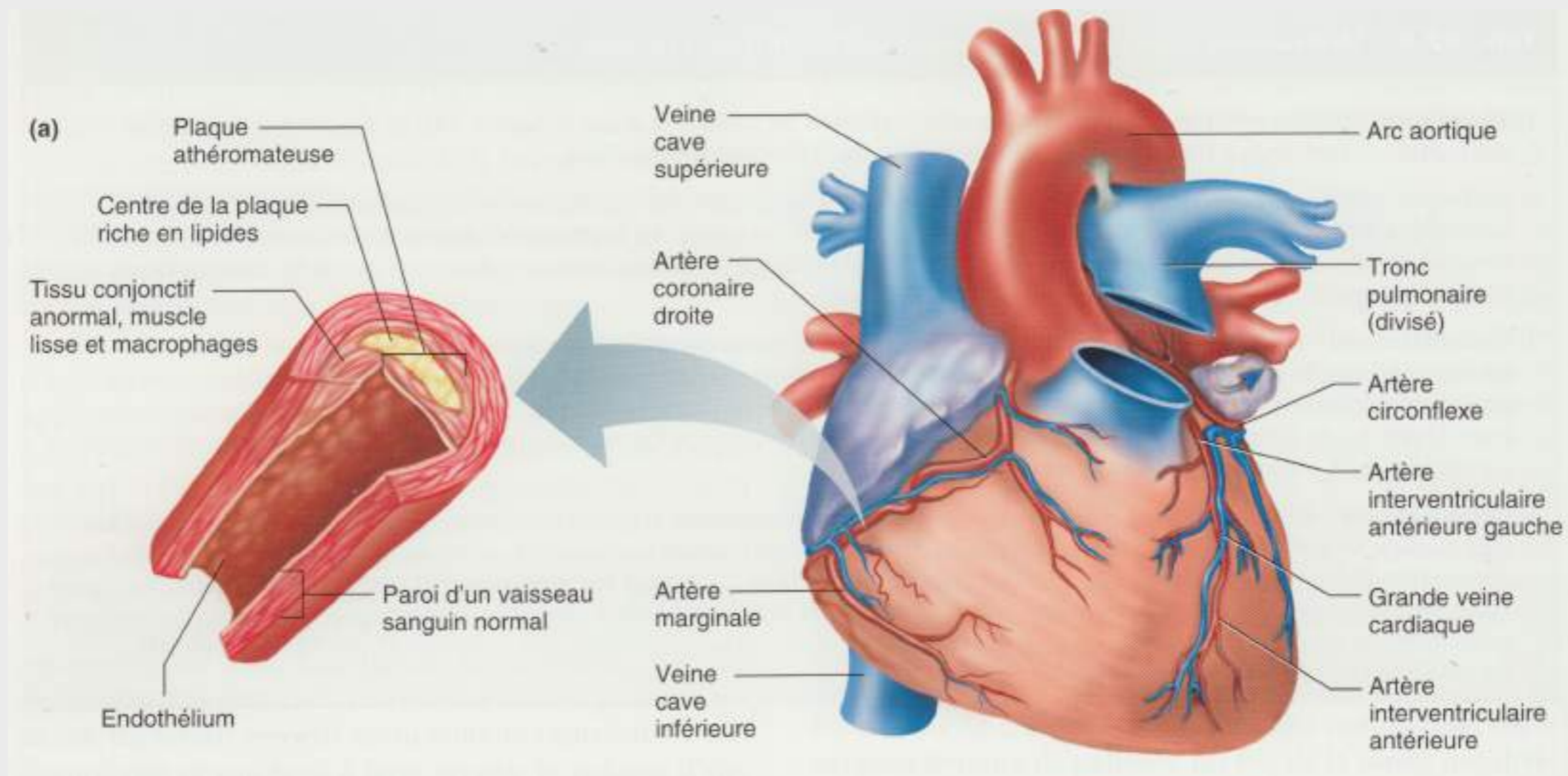


- Un shunt au niveau pulmonaire est un espace perfusé non ventilé
- Nous ne sommes pas égaux devant la désaturation
- Physiologiquement nous avons à la base un pourcentage de shunt préexistant
- Certains facteurs notamment le tabac peut augmenter ce pourcentage de shunt
- L'exercice physique et l'entraînement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

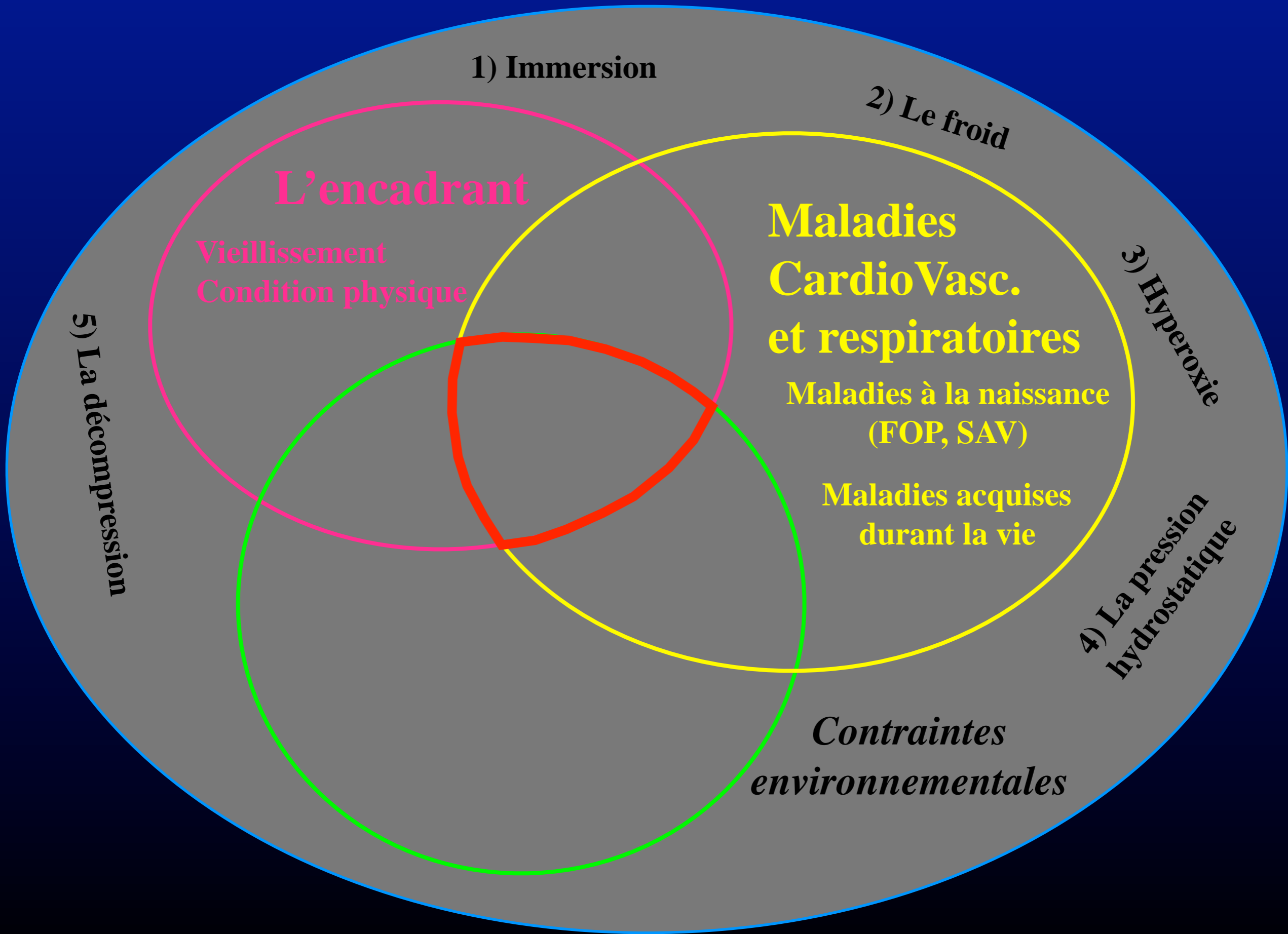
Maladies des artères coronaires



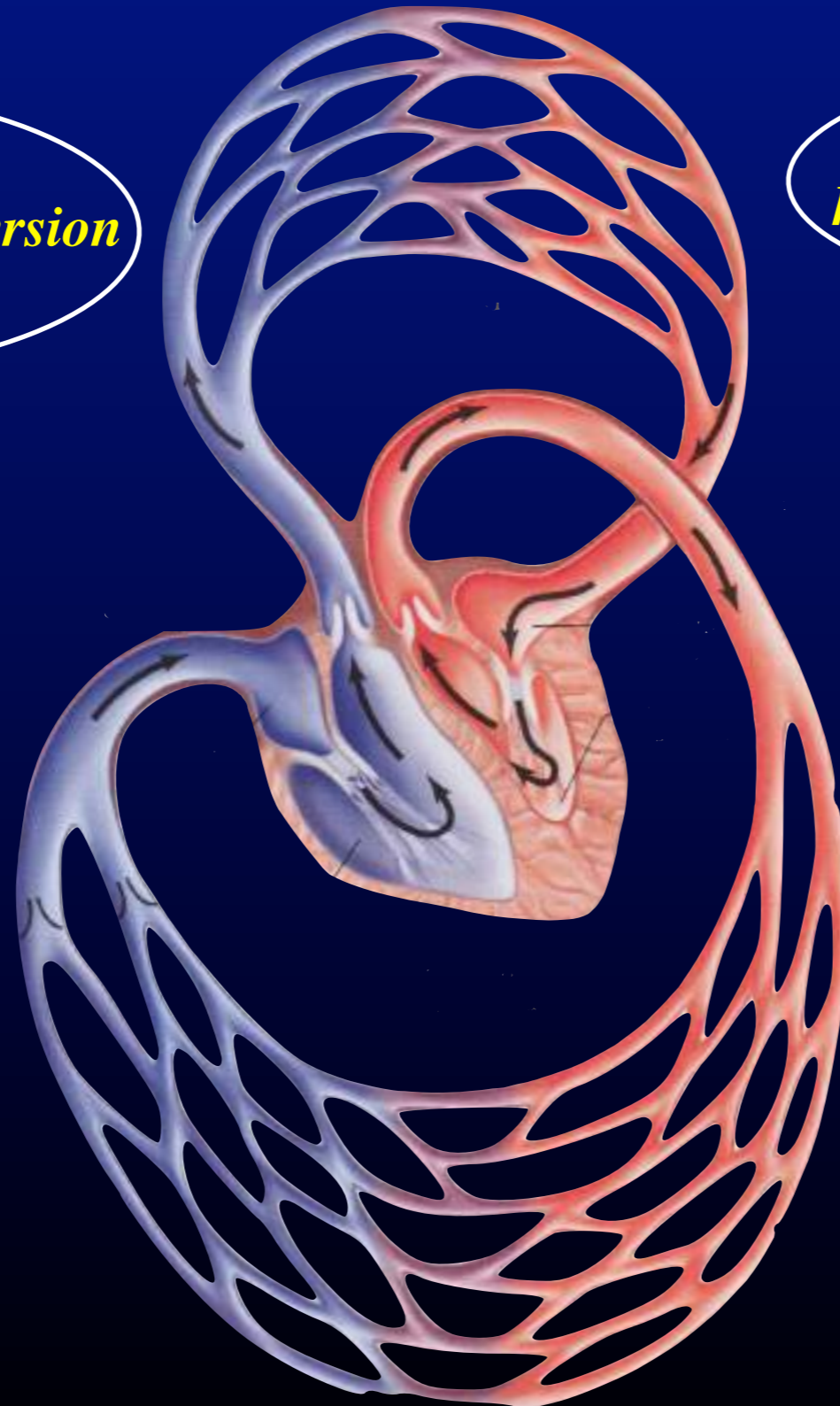
Athérosclérose coronarienne

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)

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

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

3- Hyperoxie ↑ Post-charge
(vasoconstriction)

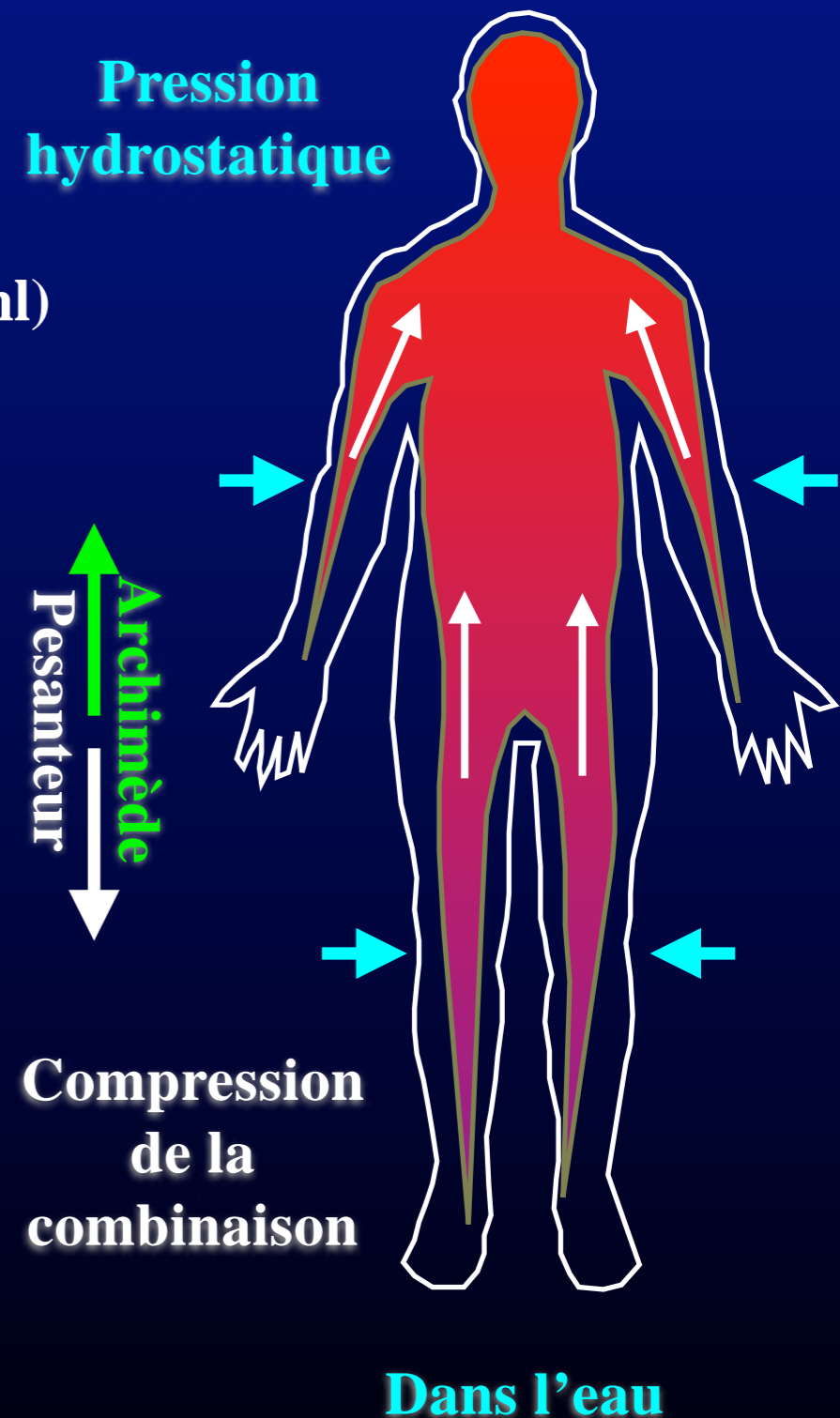
Le plongeur se comporte comme un insuffisant cardio-respiratoire



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



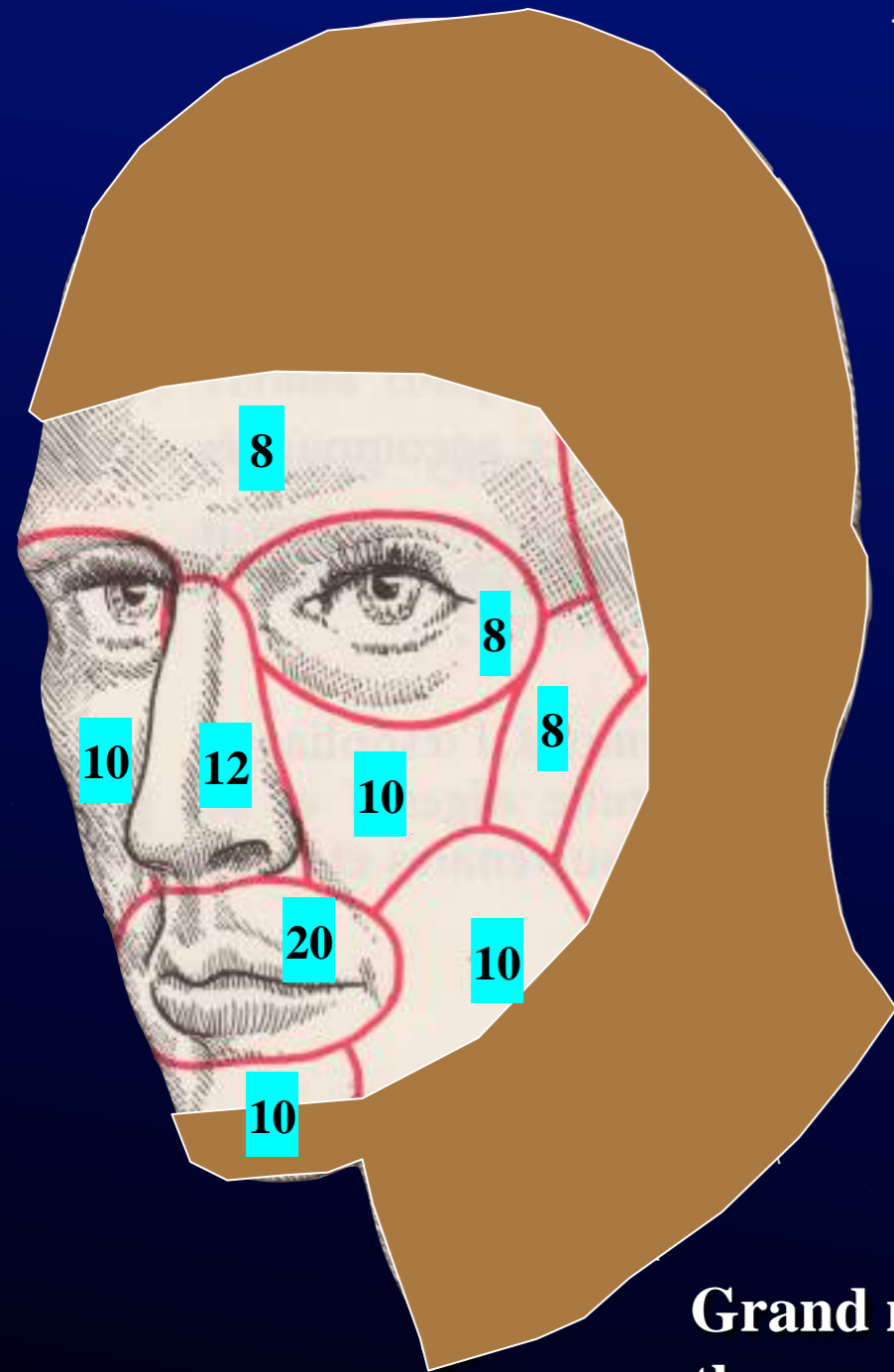


2) Le froid

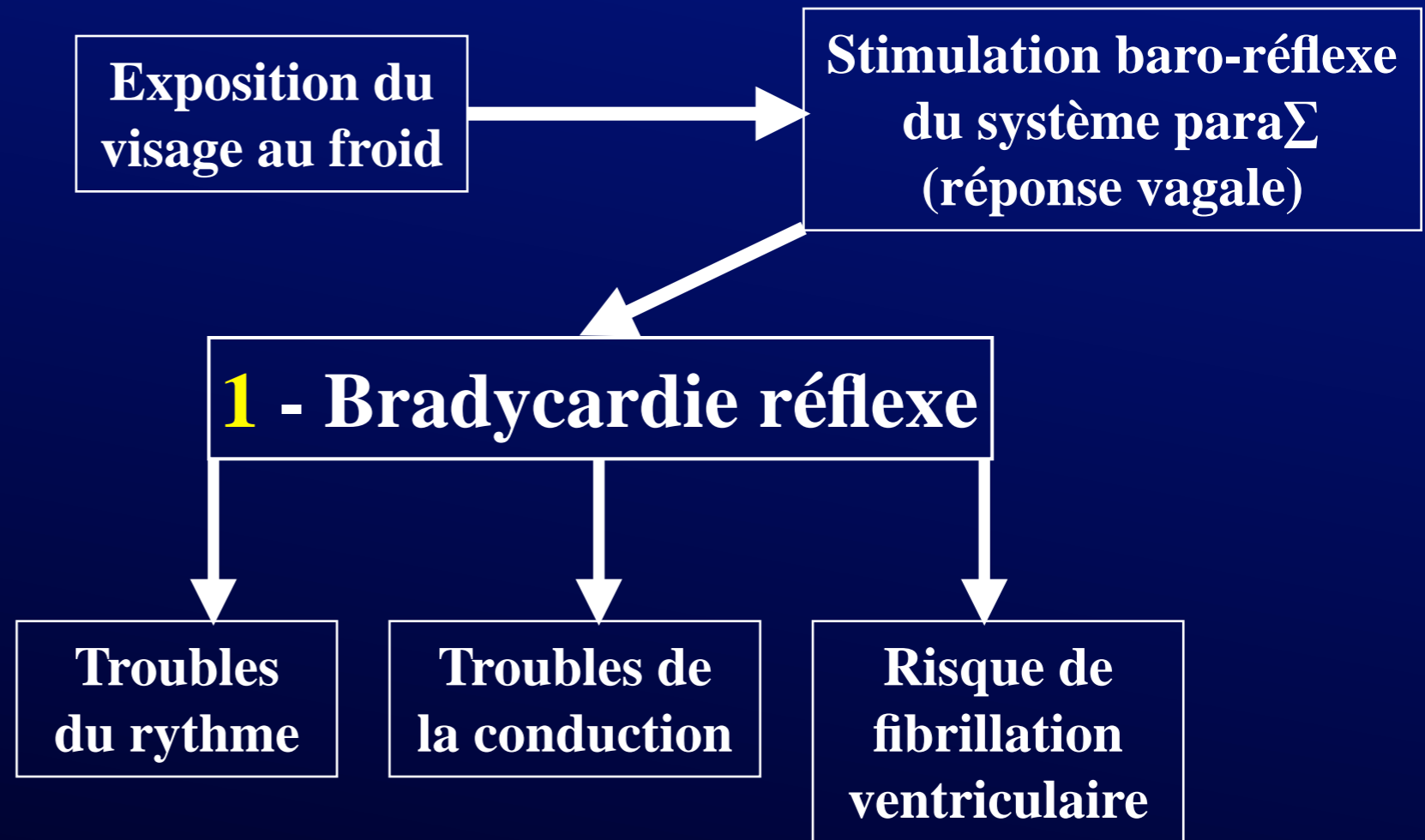


2) Effets cardio-vasculaires du froid

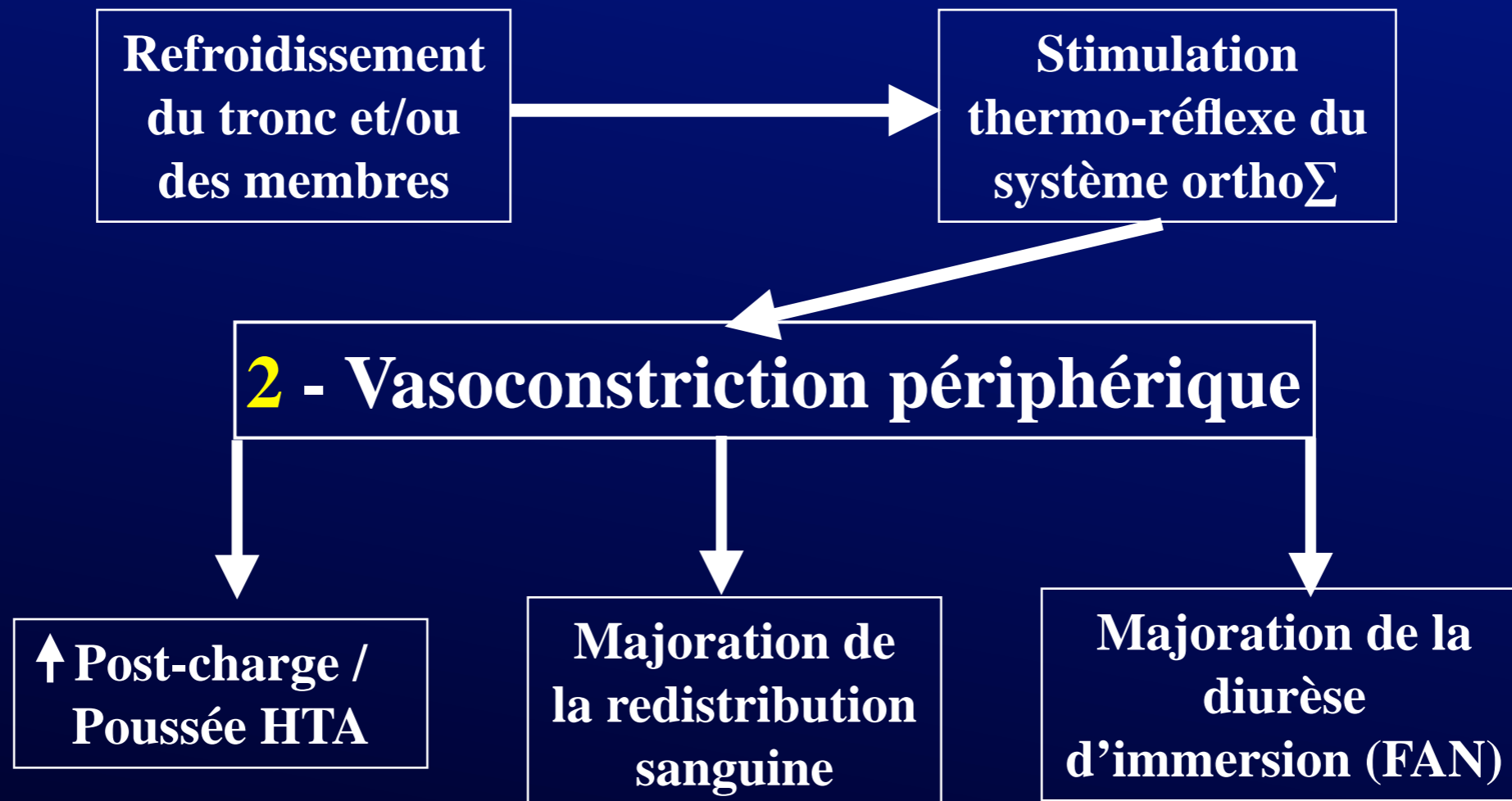
Réflexe de plongée ou «Diving reflex»



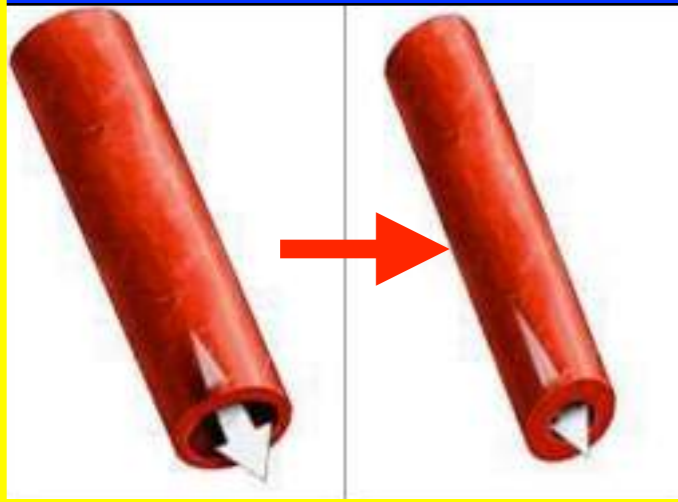
Grand nombre de thermo-récepteurs au visage (Nb/cm²)



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 Σ)
- ↓ 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

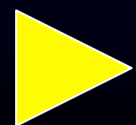
\uparrow densité des gaz (\uparrow P. hydrostatique)

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

4. Augmentation du travail respiratoire

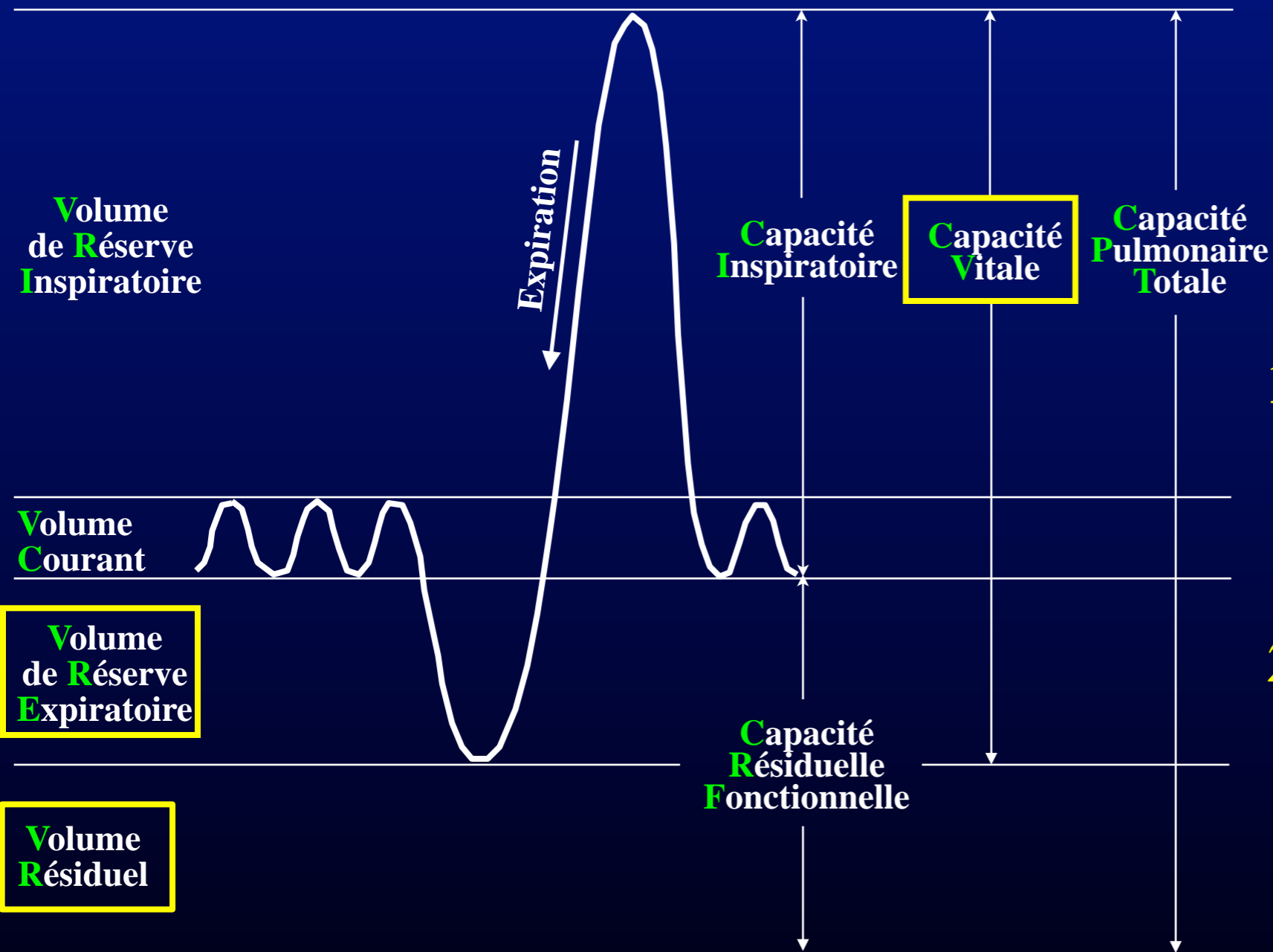
\downarrow compliance thoracique

\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



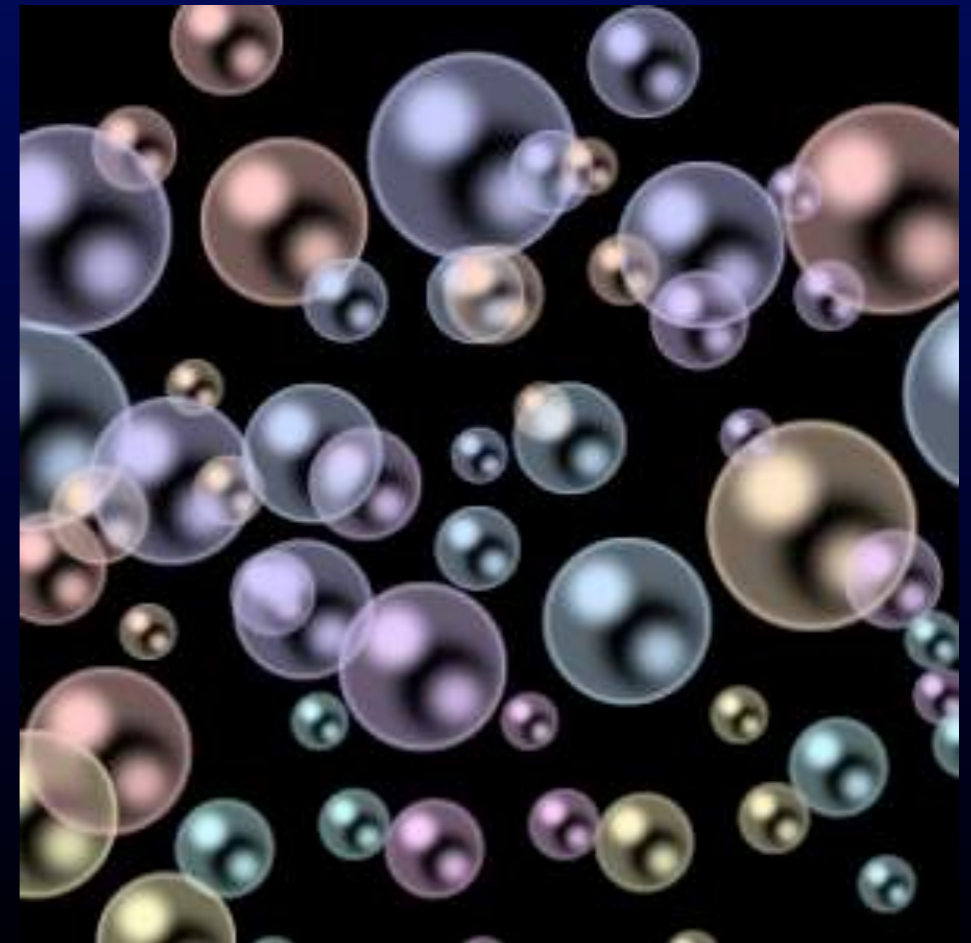
5- La décompression

Evolution des noyaux gazeux



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

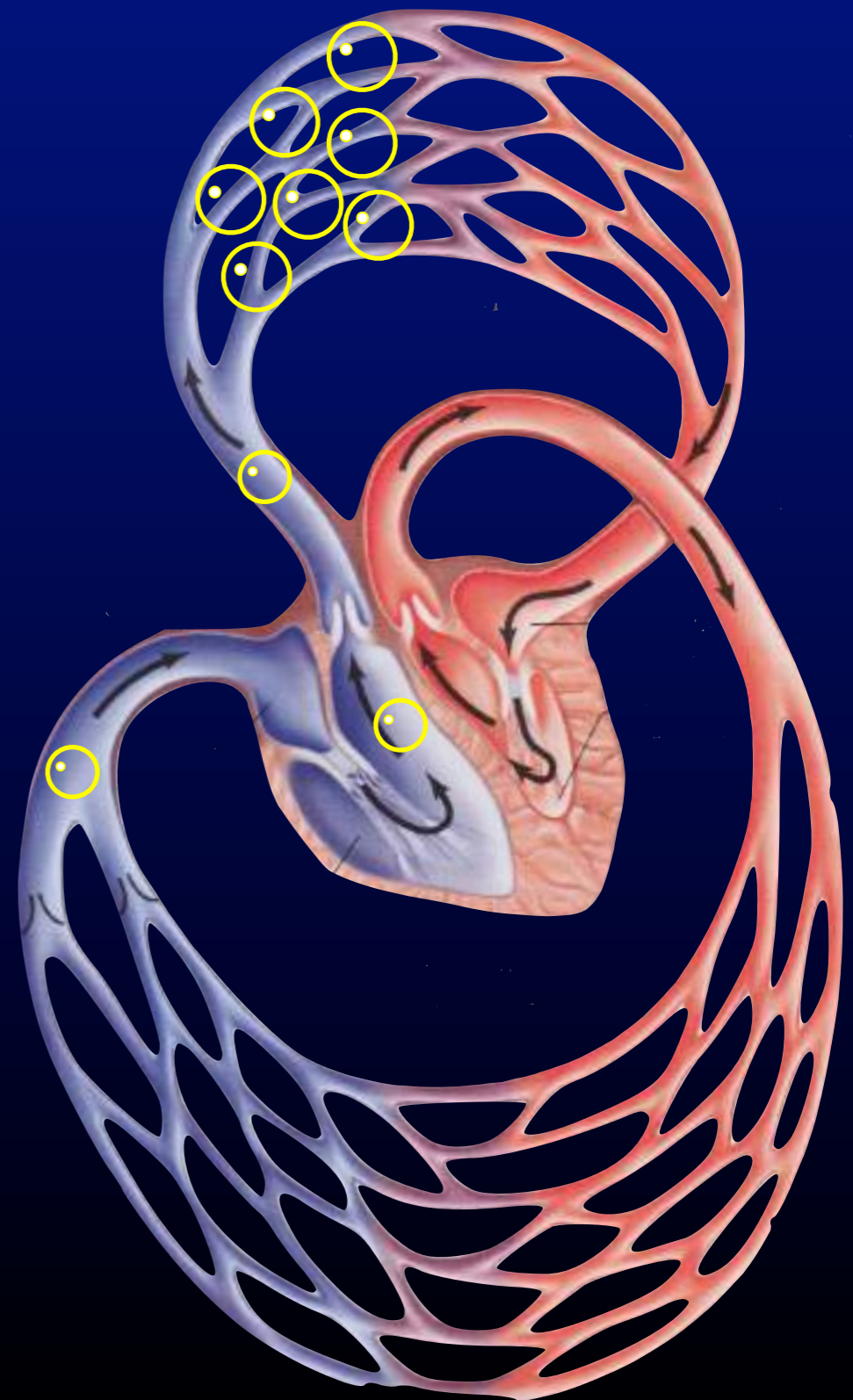
- $\emptyset < 1 \mu\text{m}$: adhérence aux parois
- $1 \mu\text{m} < \emptyset < 20 \mu\text{m}$: mise en circulation
- $\emptyset > 20 \mu\text{m}$:
 - Bulles détectables Doppler
 - Arrêt par filtre pulmonaire



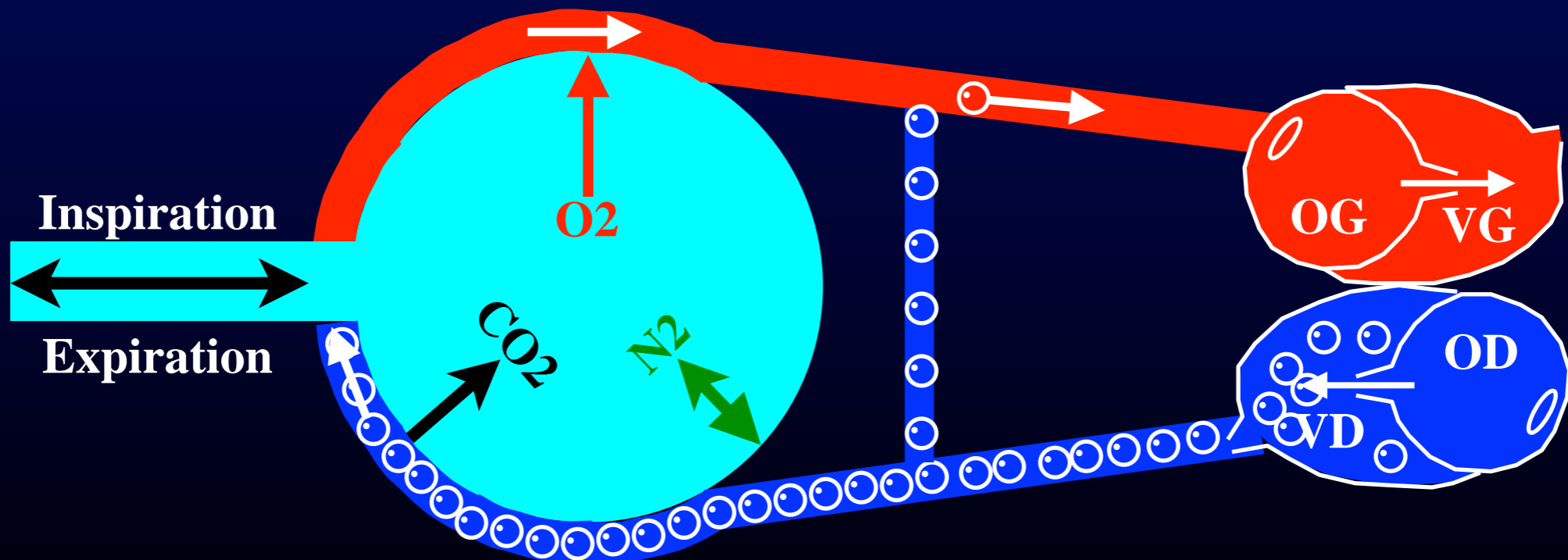
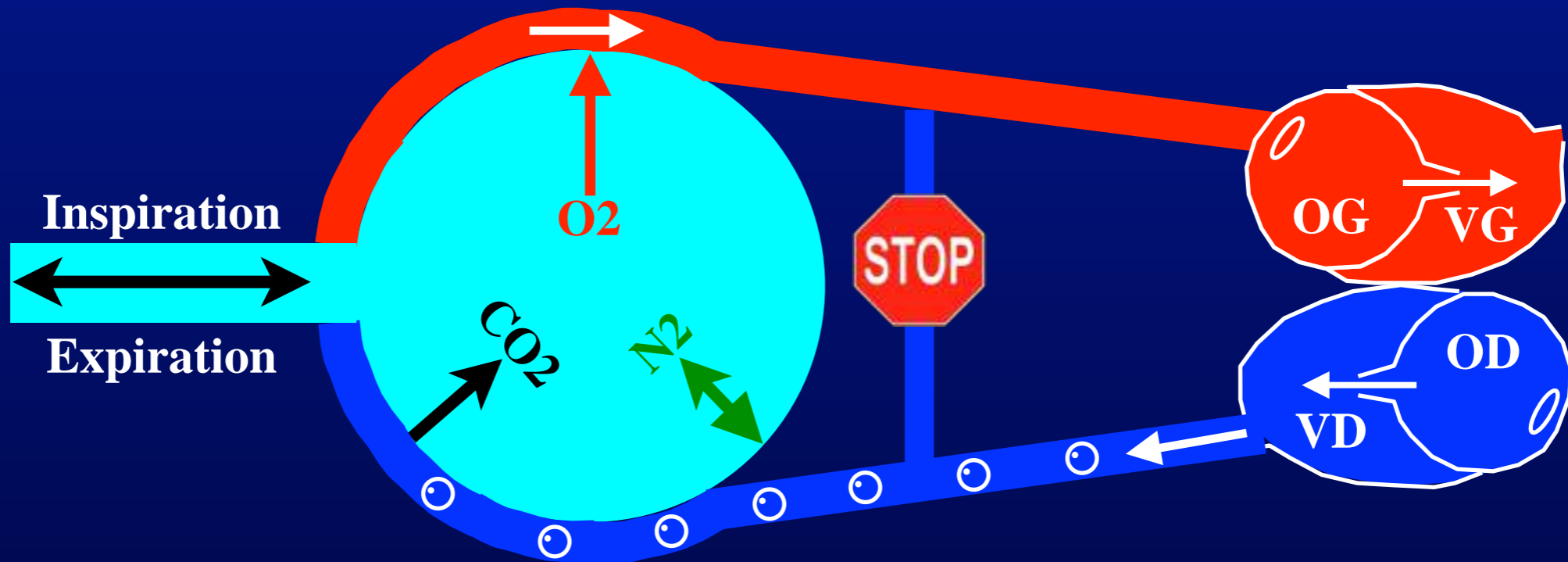
4) *Effets cardio-vasculaires et ventilatoires de la décompression*

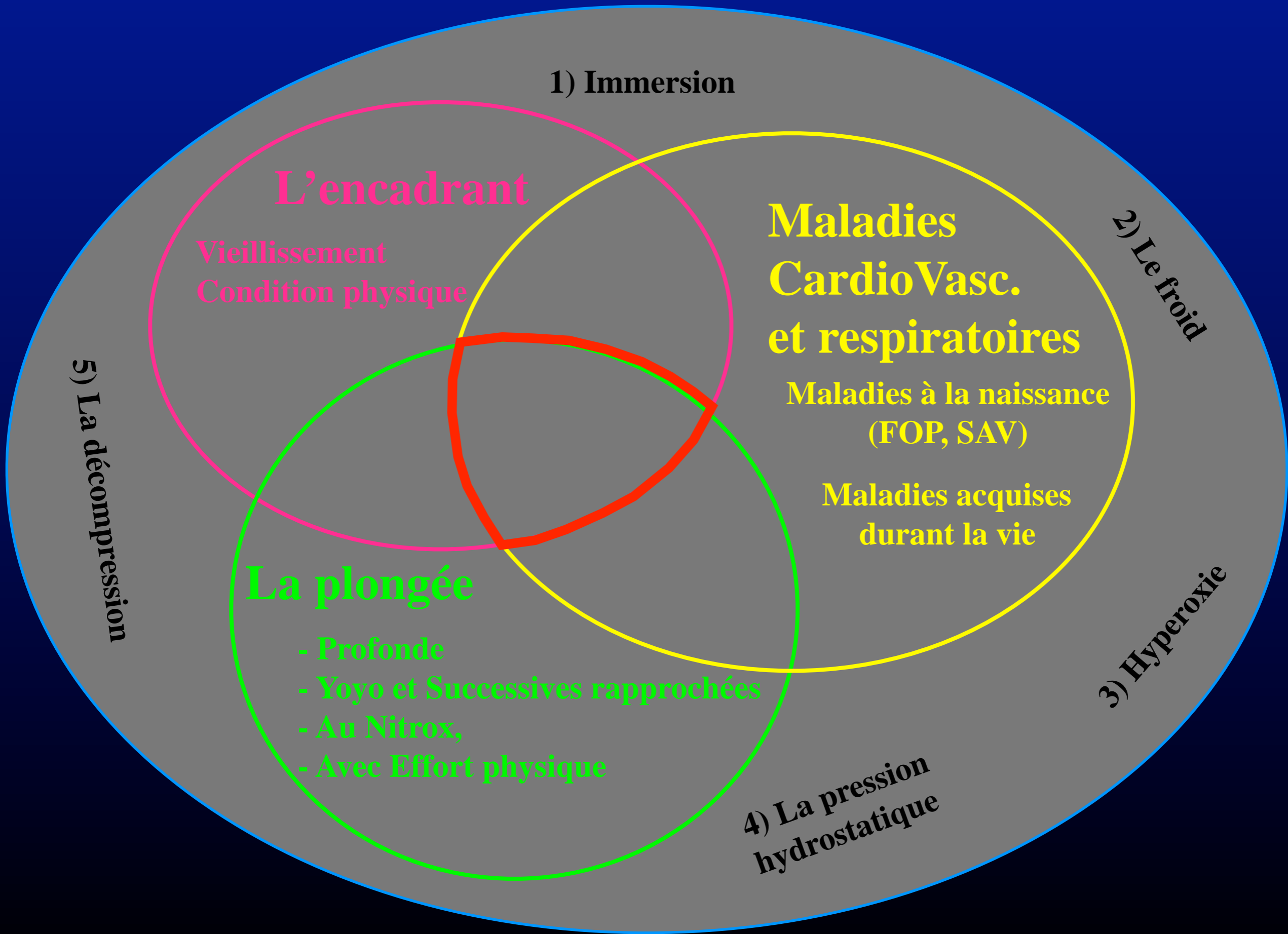
➔ **Augmentation des pressions droites par la décompression**

- **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'œdème 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**

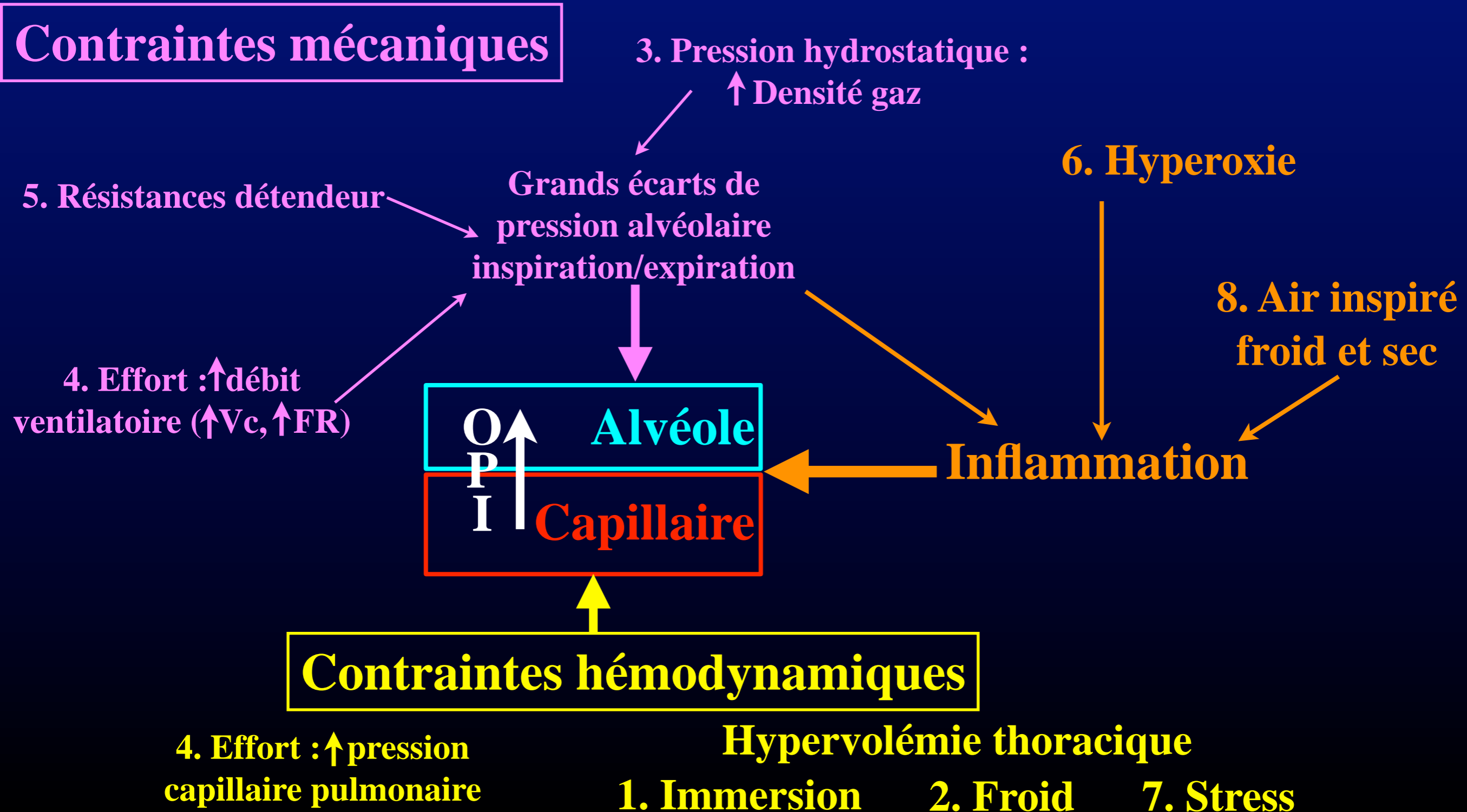
Oedème pulmonaire en immersion : *Physiopathologie : Les ≠ contraintes*



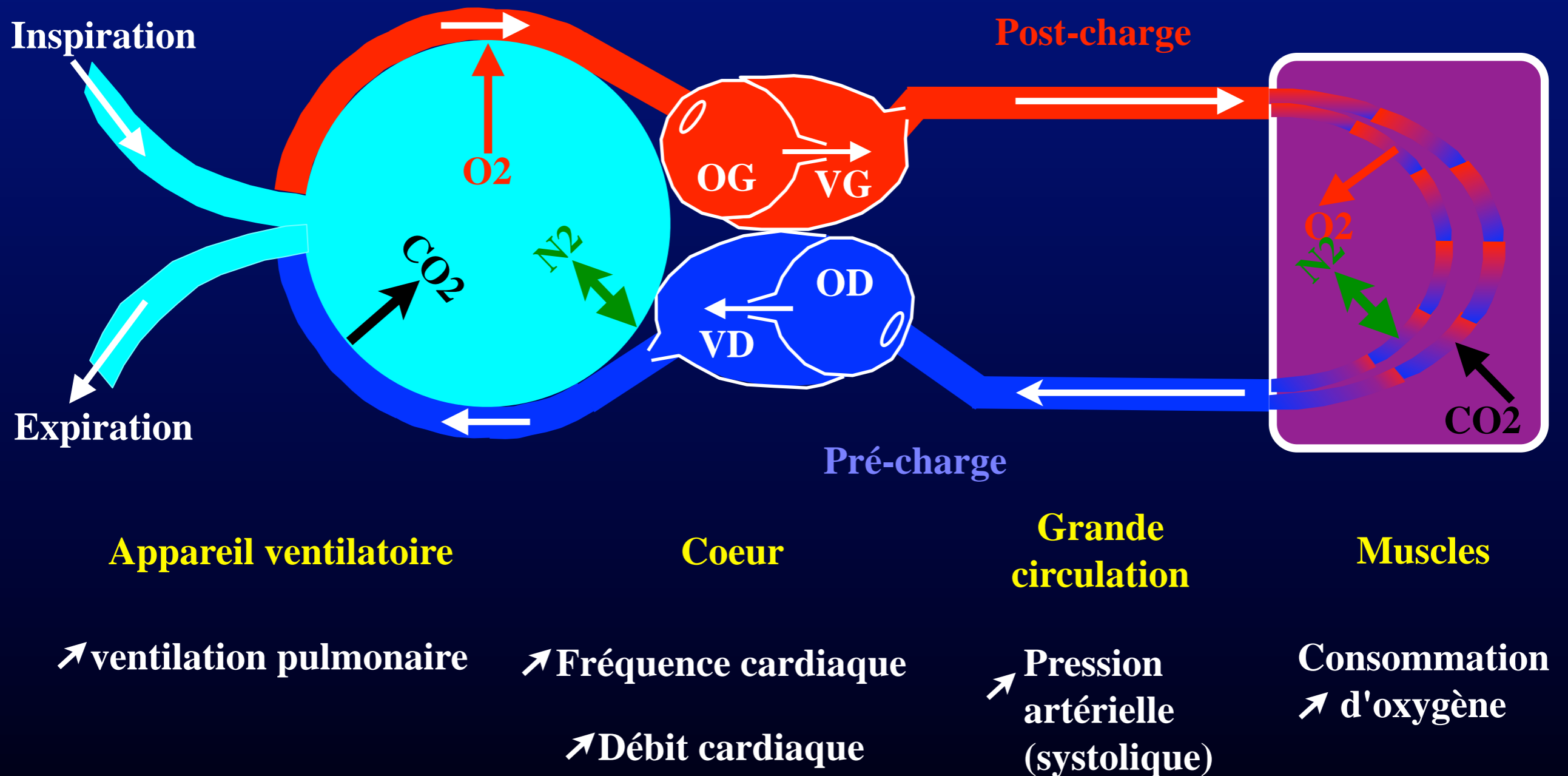
- 1. Immersion :** Re-distribution des volume sanguins (Blood shift = 700 ml)
- 2. Froid :** (par activation orthosympatique et libération +++ de noradrénaline) => vasoconstriction périphérique => ↑ volume sanguin central et des pressions dans les vaisseaux pulmonaires
- 3. Pression hydrostatique :** ↑ 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

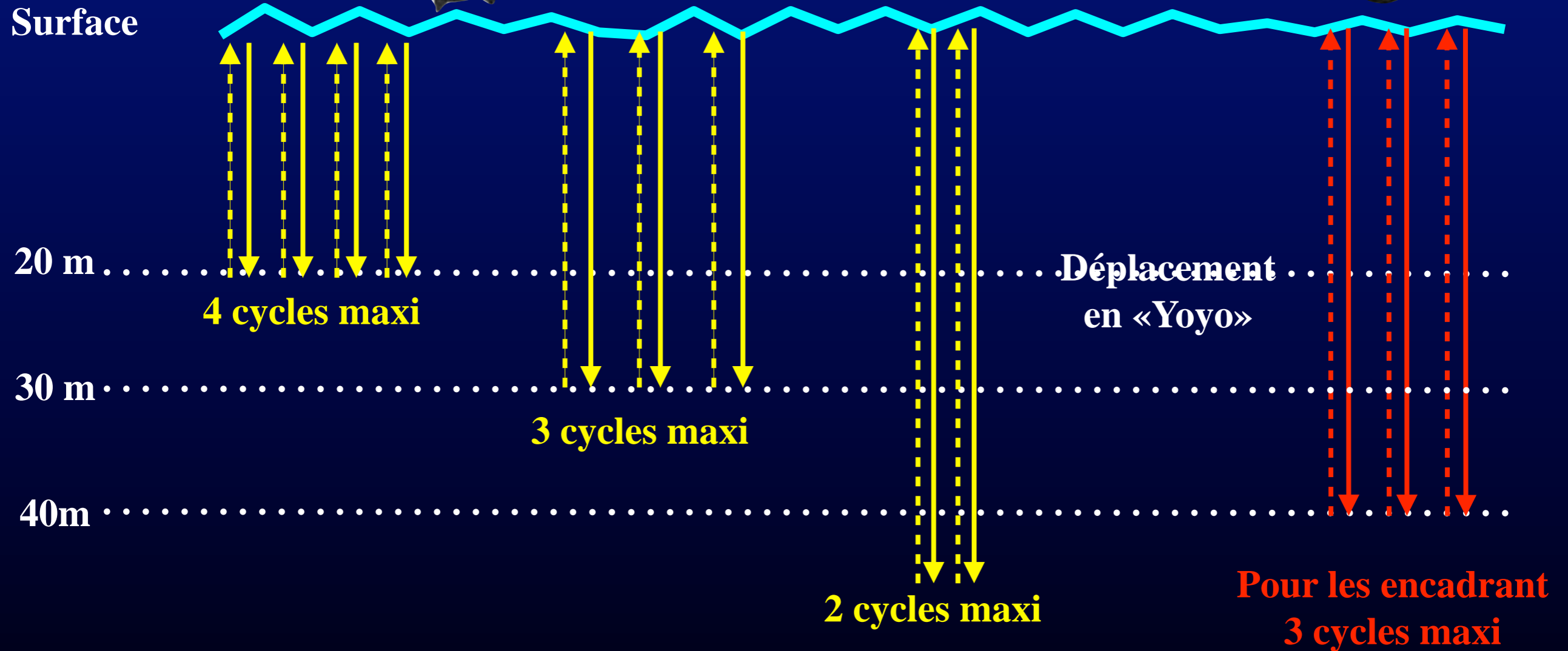
Toute contre-indication à la pratique d'un effort physique interdit la pratique de la plongée sous-marine.

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

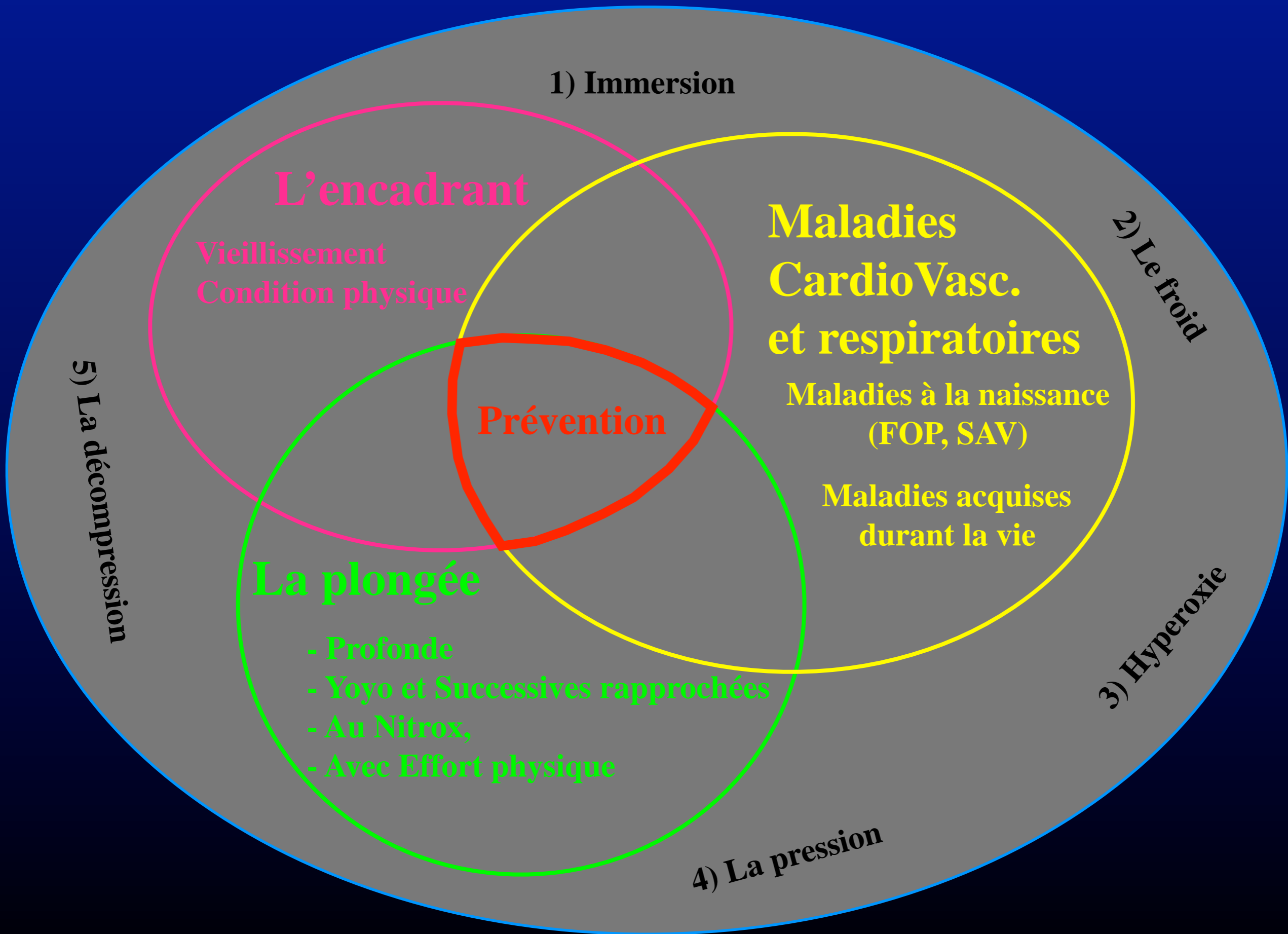
60 m

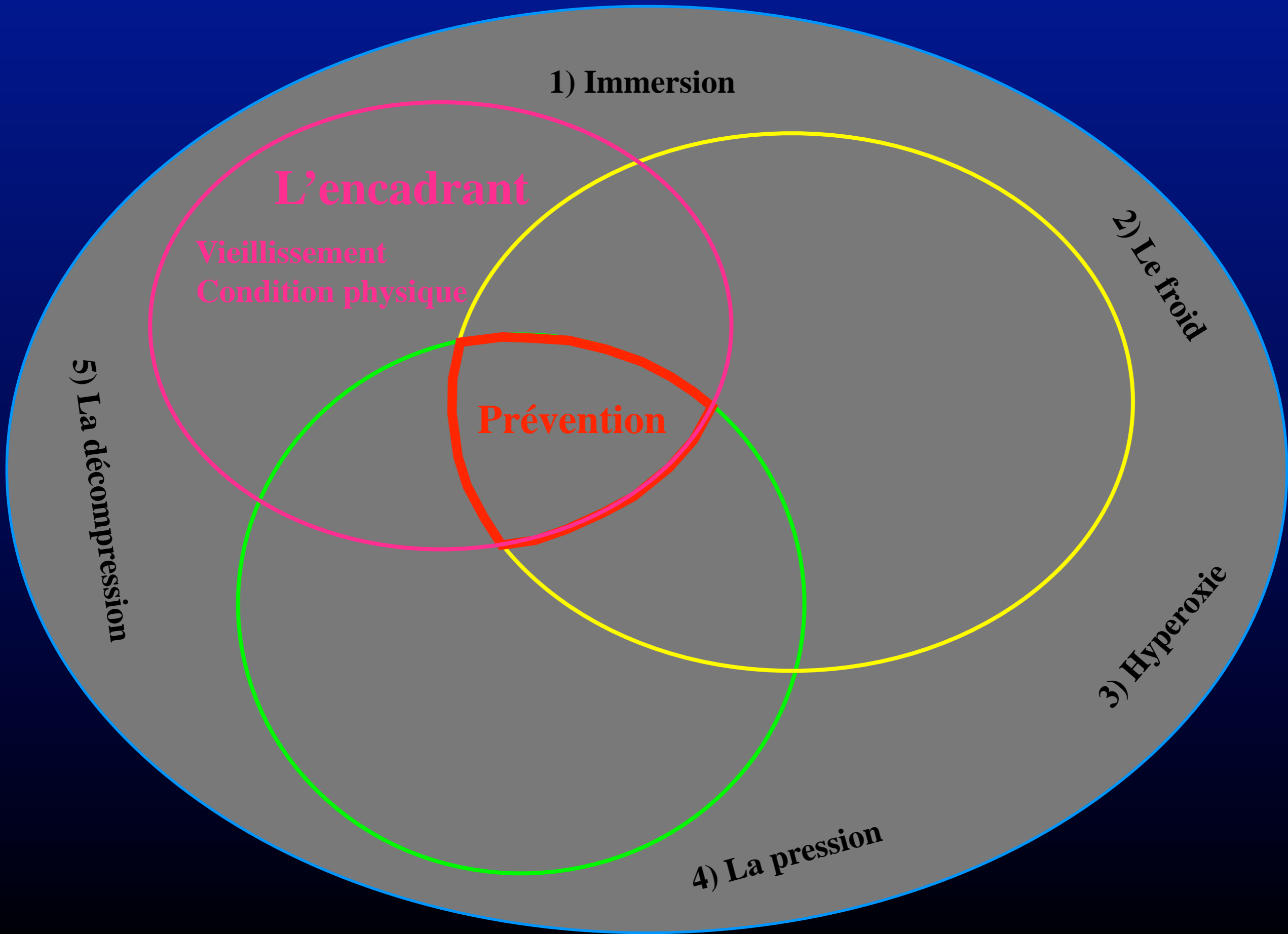
Nombre de cycle vertical (yoyos) au cours d'une séance

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 CO₂, le tabac, l'âge etc influencent votre capacité à éliminer les bulles.**



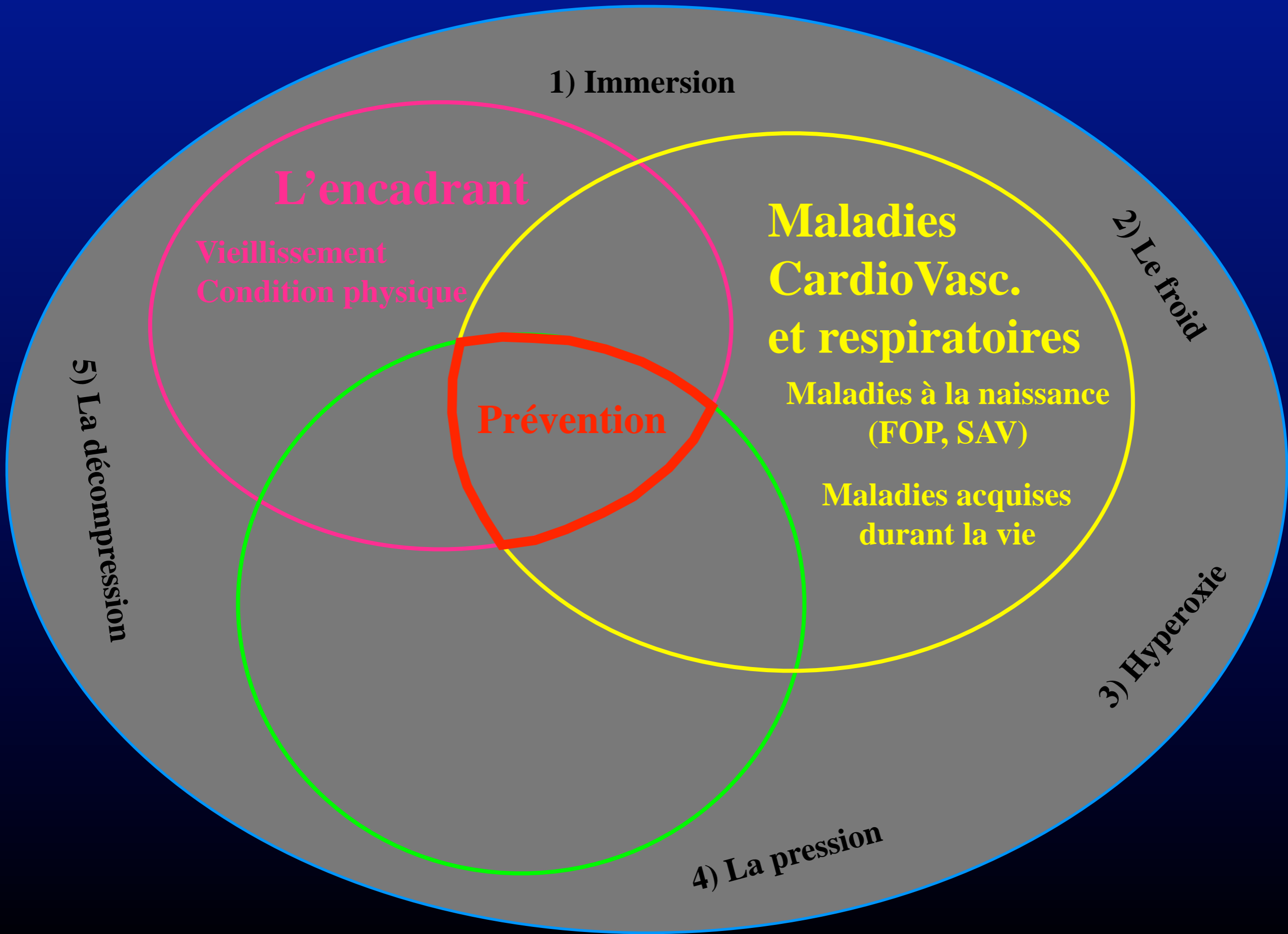


Prévention

Entretien de la condition physique



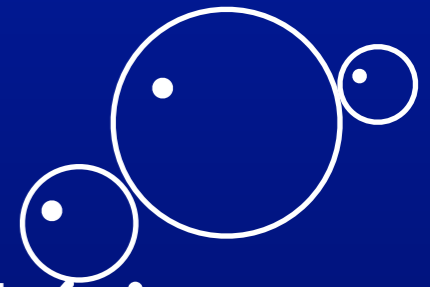
- Respecter les règles hygiéno-diététiques
- Suivi médical régulier
- Lutte contre la sédentarité
- Pratique régulière d'une activité d'endurance : Natation, cyclisme, marche-course,...



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

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

L'HYPERTENDU

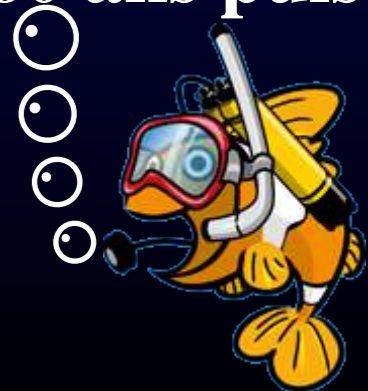


- **2)Froid 3)Hyperoxie Stress : Vaso-constriction périphérique**
Augmentation de la post charge
Poussée tensionnelle
- **Les plongées profondes ou l'utilisation de mélanges suroxygénés (Nitrox) sont donc à considérer avec prudence en cas d'hypertension artérielle.**
- **Pas de restriction pour un sujet asymptomatique 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

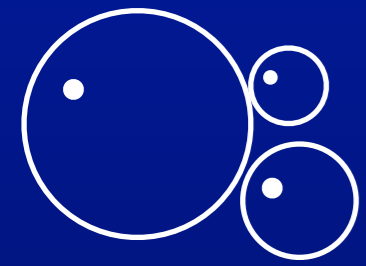


L'épreuve d'effort : Indications

- **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**