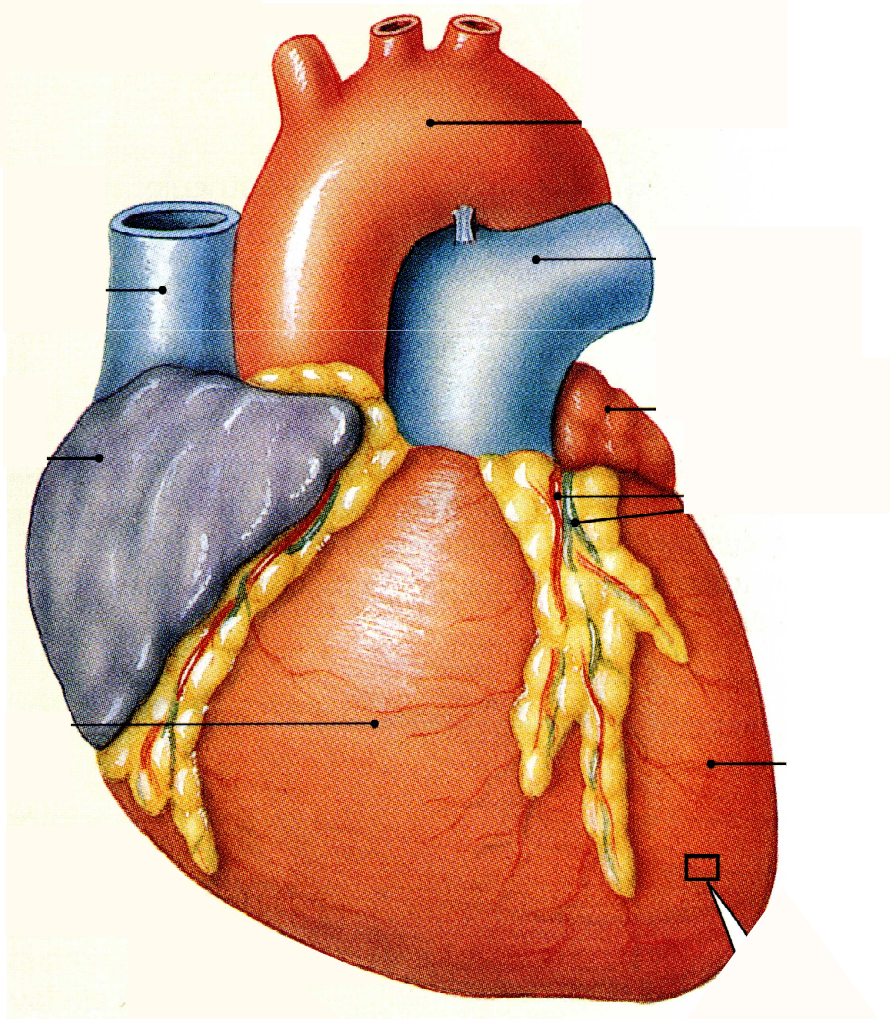
Physiologie cardio-circulatoire
Généralités



Cours aux L2

Dr D BAUDOUY

Le 9 octobre 2012

Université Nice Sophia Antipolis

Centre Hospitalier Universitaire de Nice

Plan du cours

- Notions de base
- Anatomie de l'appareil cardio-circulatoire
- Structure à l'échelle cellulaire
- Excitation et contraction myocardique
- Hémodynamique
- Principaux examens en cardiologie

Homéostasie et appareil cardio-circulatoire

- **Etat stable dynamique des constituants du milieu intérieur**, dont les variations sont minimisées par des réponses correctrices



Homéostasie et appareil cardio-circulatoire

- Système **clos** de transport de matières **à sens unique** dans l'organisme :
  - cœur = pompe musculaire
  - Vaisseaux sanguins = tuyaux
  - Sang = liquide

- Permet le fonctionnement cellulaire et les communications entre différents systèmes

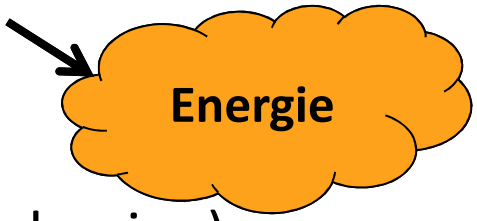
- Régulation fine de la pression artérielle pour assurer la **perfusion** des organes

Echanges capillaires

Apports

Nutriments et H_2O (intestin, tissu adipeux, foie)

O_2 (poumon)



Hormones (endocrine)

Anticorps et cellules immunitaires

Elimination

CO_2 (poumons)

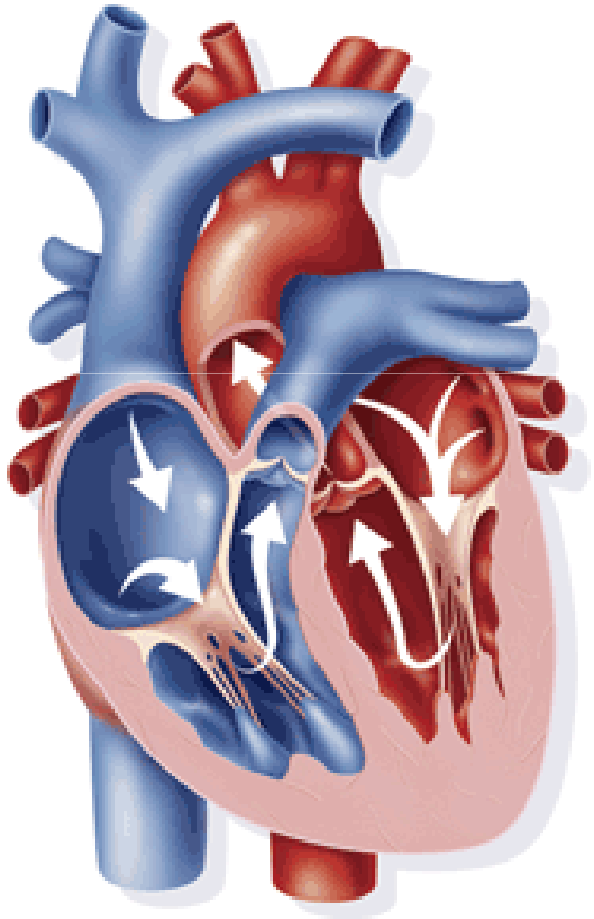
H_2O

Chaleur (peau)

Déchets (rein, foie)

Le cœur en quelques chiffres

- Taille d'un poing
- Débit cardiaque 5 L/min pour 70 Kg soit 7200 L/j
- FC 70 bpm sans arrêt (3.10^9 dans une vie)
- VES 75 mL/battement
- Le cœur embryonnaire bat dés J21



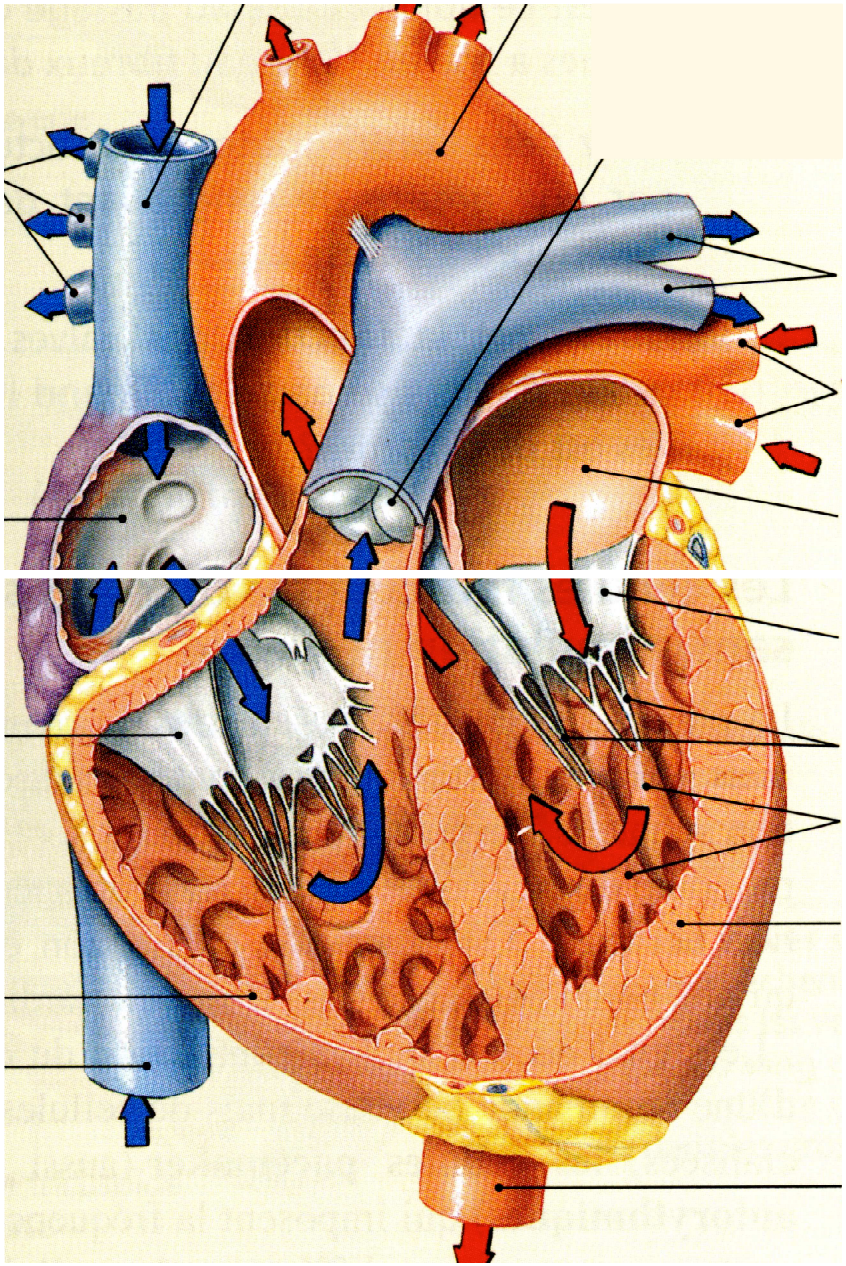
Plan du cours

- Notions de base
- Anatomie de l'appareil cardio-circulatoire
- Structure à l'échelle cellulaire
- Excitation et contraction myocardique
- Hémodynamique
- Principaux examens en cardiologie

Anatomie du cœur

- Muscle **strié** creux
- **2 corps de pompe en série** (D+G) chacun composé de :
  - Cavité réceptive (Oreillette O)
  - Cavité motrice (Ventricule V)

  ➔ 4 cavités
- 3 couches de tissus



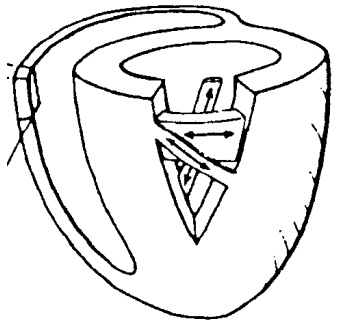
Les cavités cardiaques

Oreillettes

- Paroi mince peu organisée
- Réservoir de sang
- **Systole atriale = 20% remplissage ventriculaire**
- Régulation hémodynamique : volorécepteurs, sécrétion d'ANP et autres peptides
- **Nœud sinusal = Pace Maker normal**

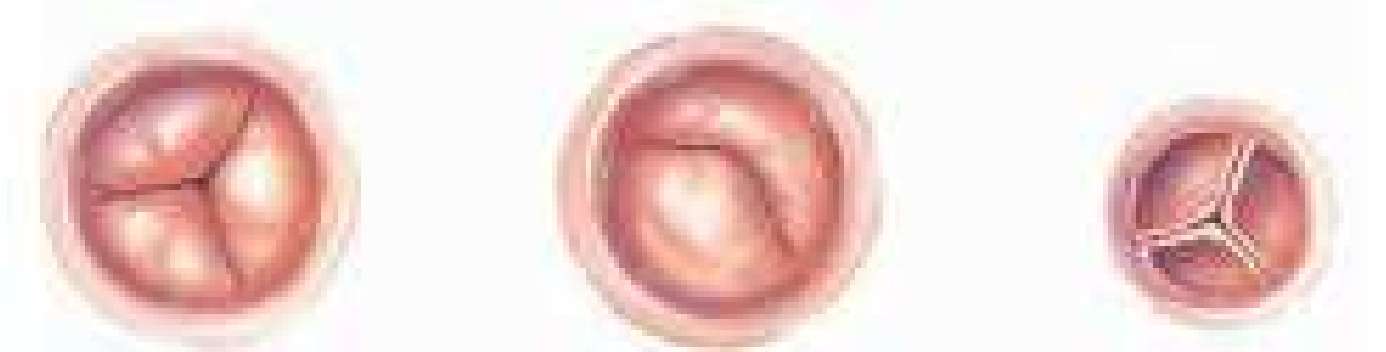
Ventricules

- 3 couches de fibres musc
- Contraction par torsion
- **FORCE MOTRICE du sang**, permettant son éjection dans la circulation
- VD = pyramide semi-lunaire
- VG = cône
- Interdépendance VD-VG



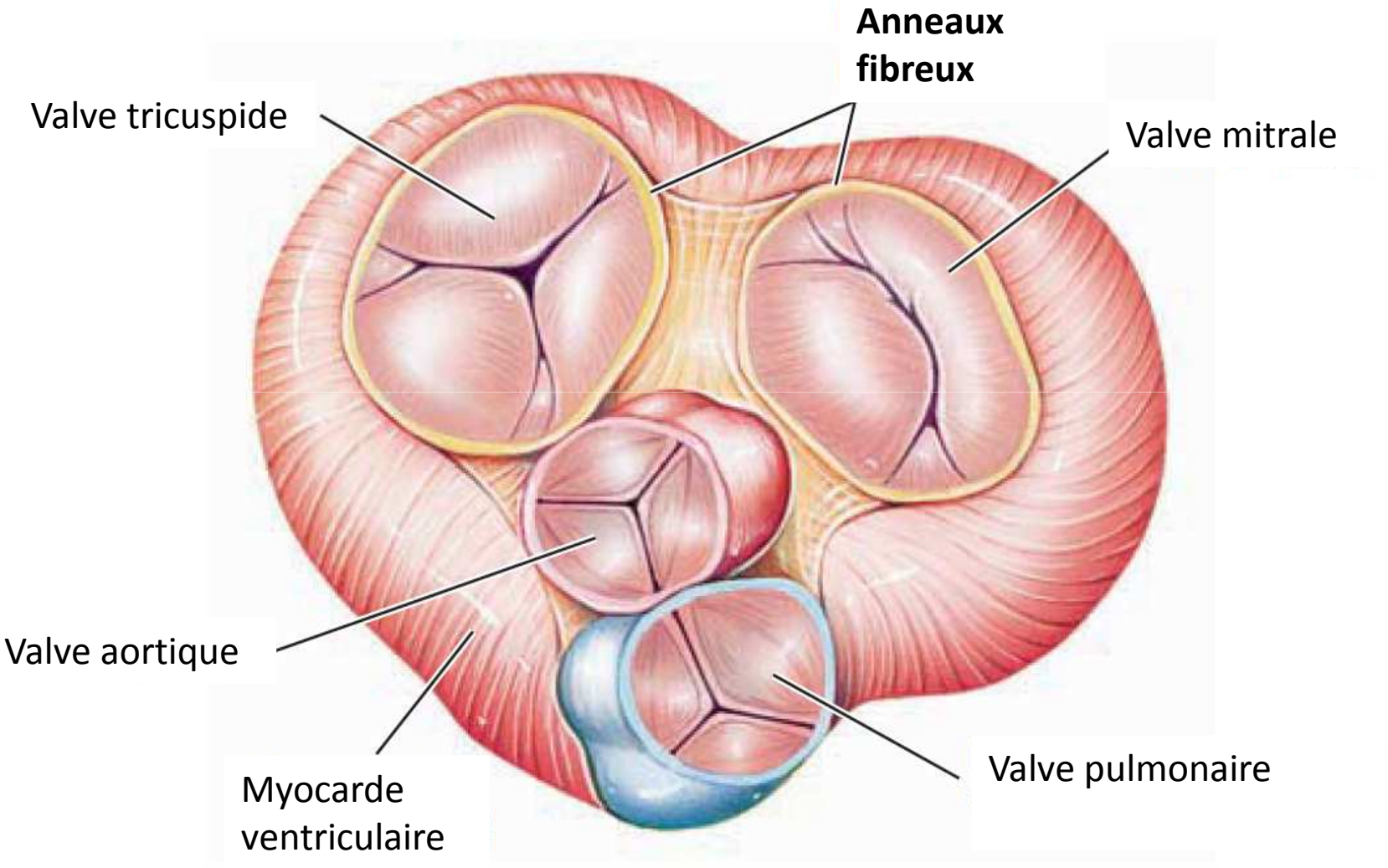
Les valves cardiaques

- 2 types :
  - **Auriculo-ventriculaires** : mitrale et tricuspide
  - **Sigmoïdes** (3 valvules) : aortique et pulmonaire
- Faible résistance au débit si ouvertes
- **Mouvement passif** (sensibilité aux faibles gradients de pression)
- **Système anti-retour** (étanchéité)



Valve tricuspide | Valve mitrale | Valve sigmoïde

Les anneaux sont reliés par le squelette fibreux



Textbook of medical physiology, Guyton et Hall, 11th edition

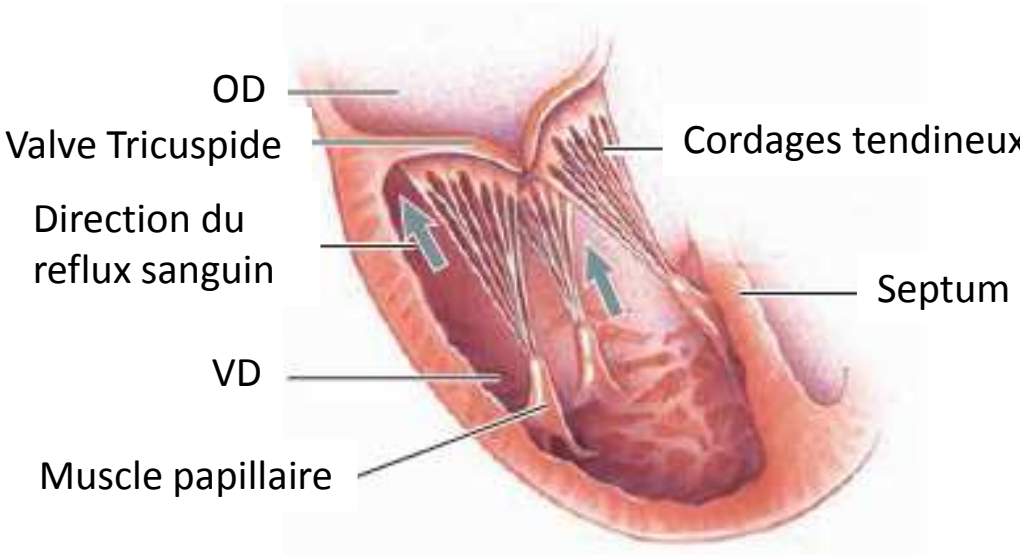
Etanchéité des valves cardiaques

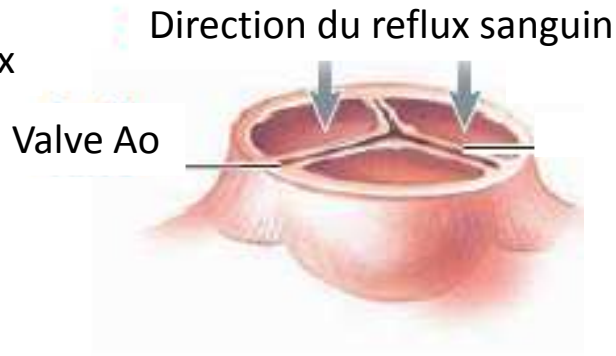
Auriculo-ventriculaires

- Etanchéité V→O en systole
- **Appareil sous-valvulaire** (éviter fuites par éversion)
- Fermeture par tourbillons (contraction O) puis ddP

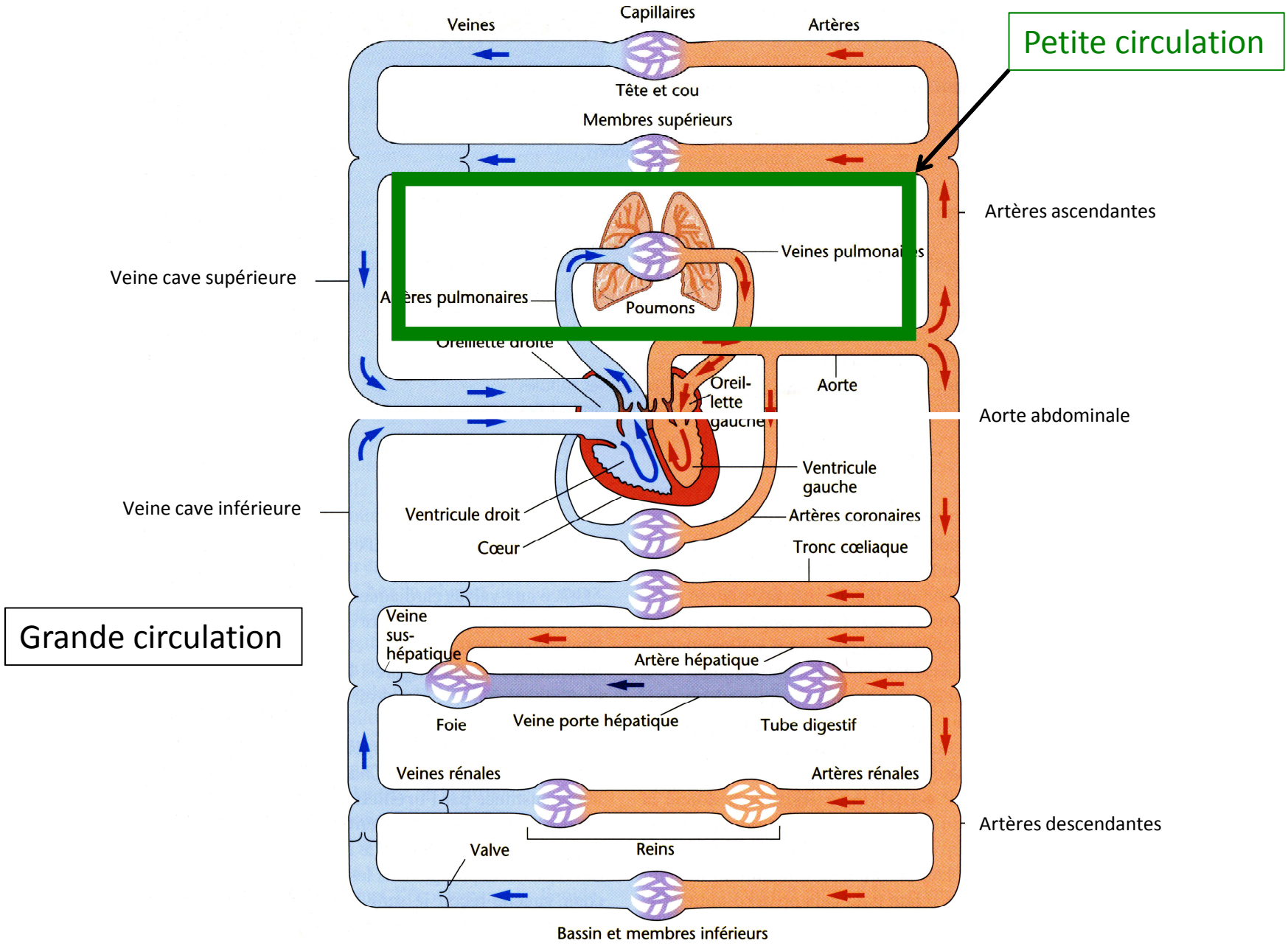
Sigmoïdes

- Etanchéité A→V en diastole
- Forme (affrontement bords)
- Fermeture brutale par différence de pression (ddP)
- Orifices étroits (vitesse élevée)





Appareil circulatoire



Petite circulation

- Circulation pulmonaire
- **Basse pression (faibles résistances)**
- Cœur droit
- **Fonctionnelle** (oxygénation du sang veineux
- Exclue pendant la vie embryonnaire

- Vaisseaux capacitifs (réservoir)
- Echanges = capillaires pulmonaires

Grande circulation : système d'alimentation

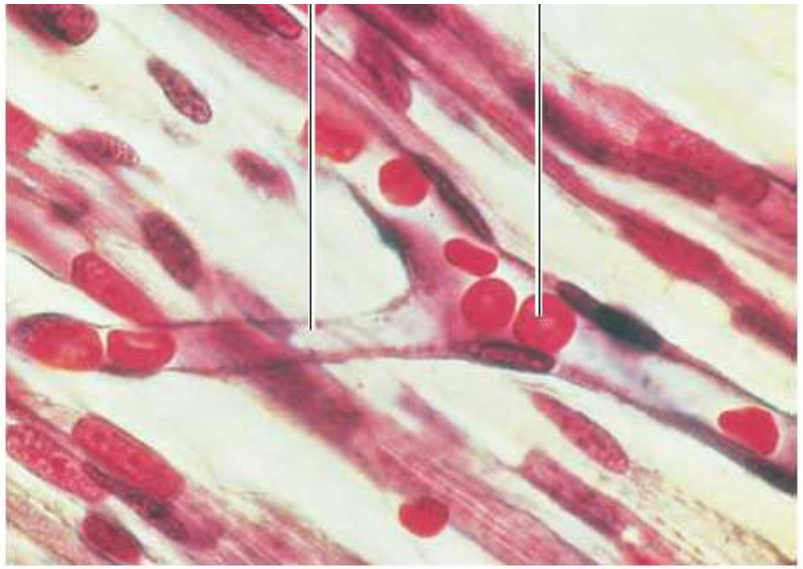
- Circulation artérielle
- **Haute pression (fortes résistances)**
- Cœur gauche
- Réservoir (vx élastiques): aorte et grosses artères
- Transmission (vx résistifs): petites artères et artérioles
- Echanges : capillaires systémiques

Grande circulation : système de retour

- Circulation veineuse et lymphatique
- **Basse pression**
- **80% volume** de la grande circulation
- Modulation des échanges capillaires (vx résistifs) : veinules
- **Réservoir** (vx capacitifs) : veines de gros calibre
- Réseau lymphatique

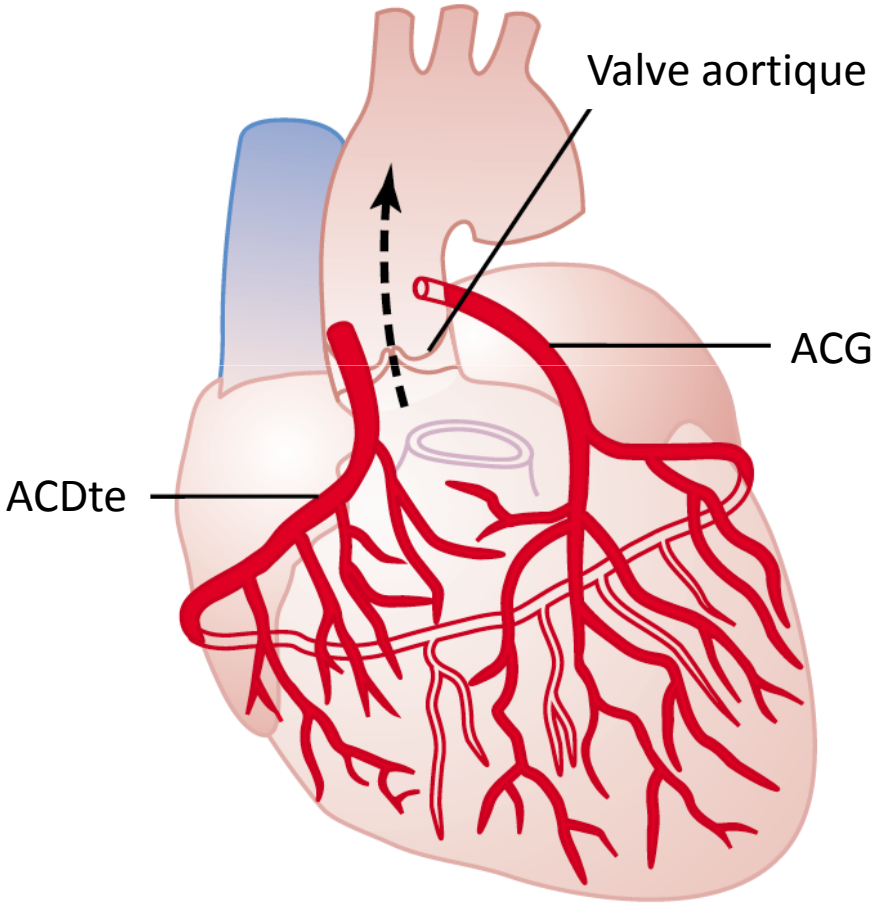
Capillaires

- **Interface** entre :
  - Milieu extérieur et sang : reins, tube digestif, poumons
  - Milieu intérieur et sang : circulation générale



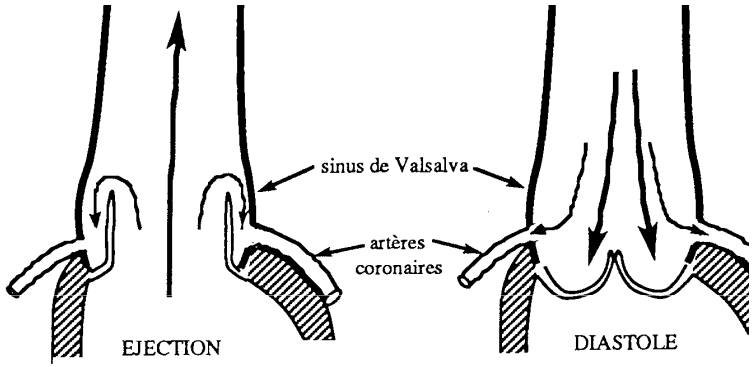
Circulation coronaire

- Circulation nourricière du cœur, 2 réseaux
- Locale, intramurale, « terminale »



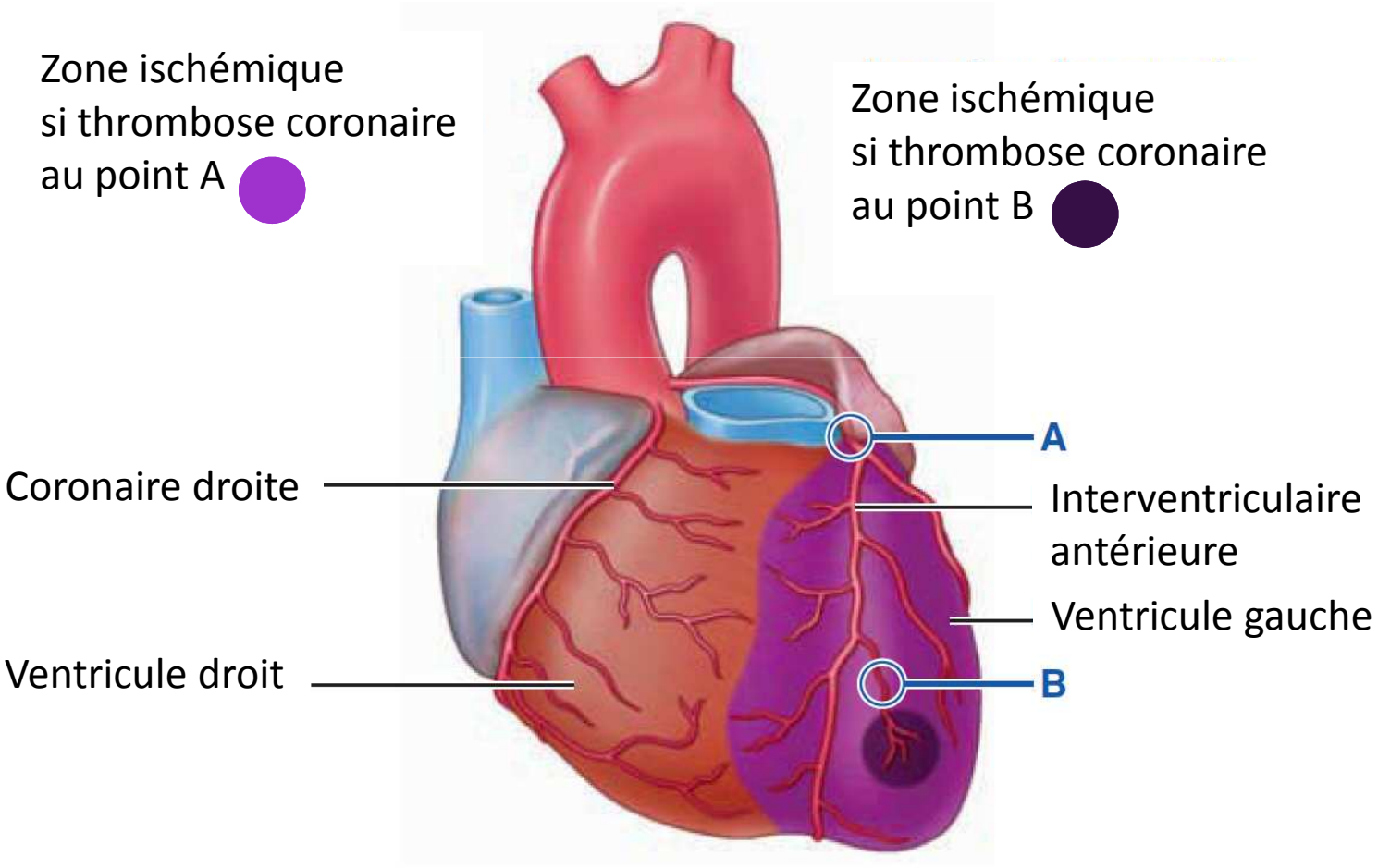
Circulation coronaire

- **Essentiellement diastolique**
- 4% du débit total



- Possible augmentation du débit
- Extraction de 80% de l'O_2

Infarctus du myocarde

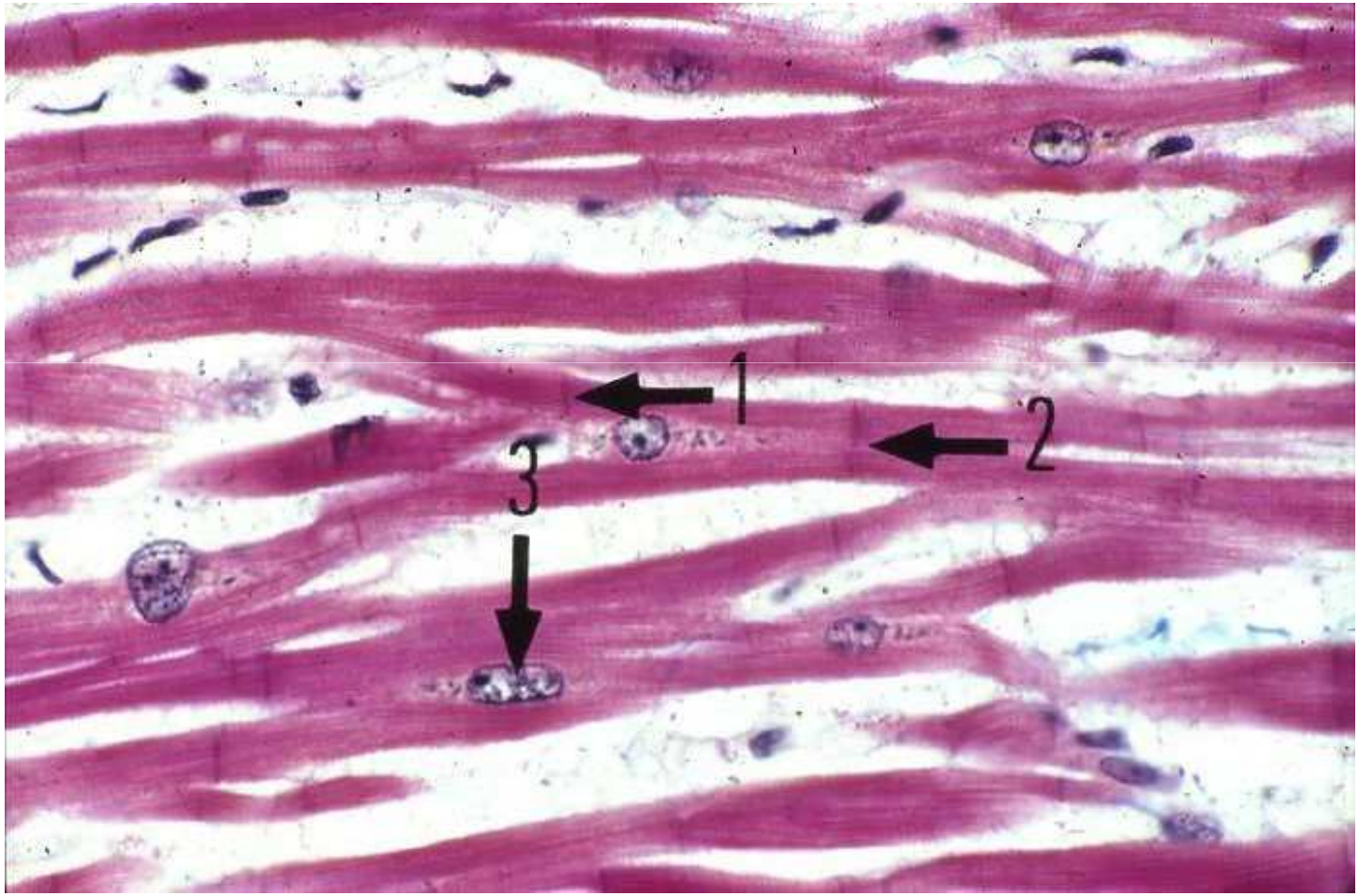


Obstruction → syndrome coronarien aigu (SCA) = infarctus du myocarde

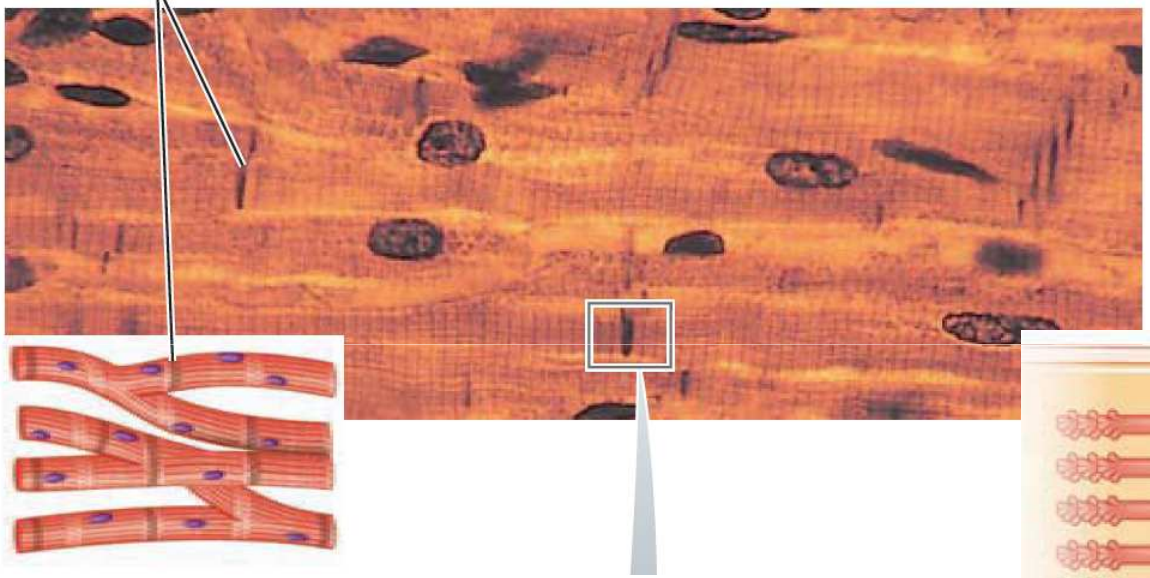
Plan du cours

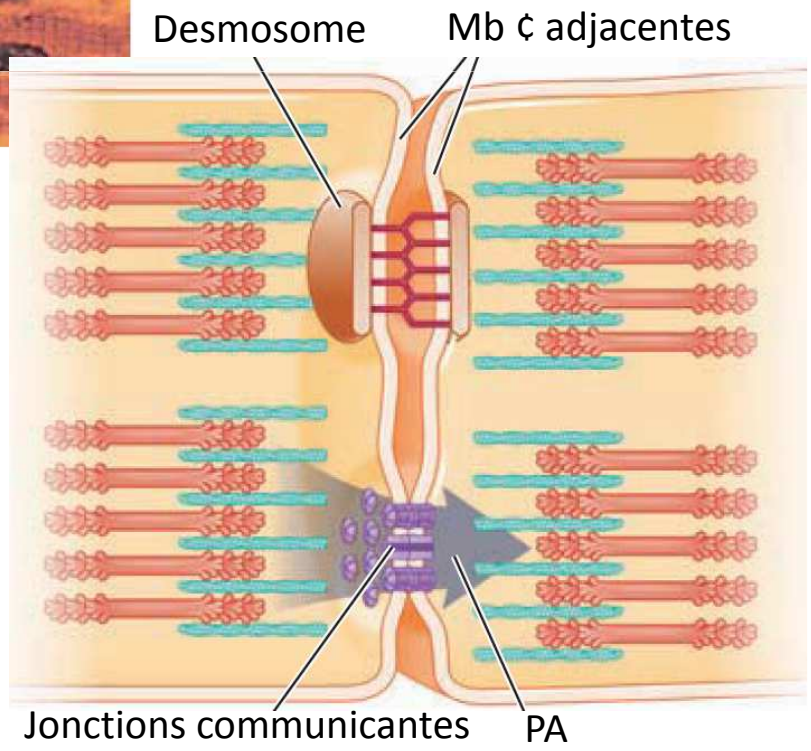
- Notions de base
- Anatomie de l'appareil cardio-circulatoire
- Structure à l'échelle cellulaire
- Excitation et contraction myocardique
- Hémodynamique
- Principaux examens en cardiologie

Le myocarde en microscopie



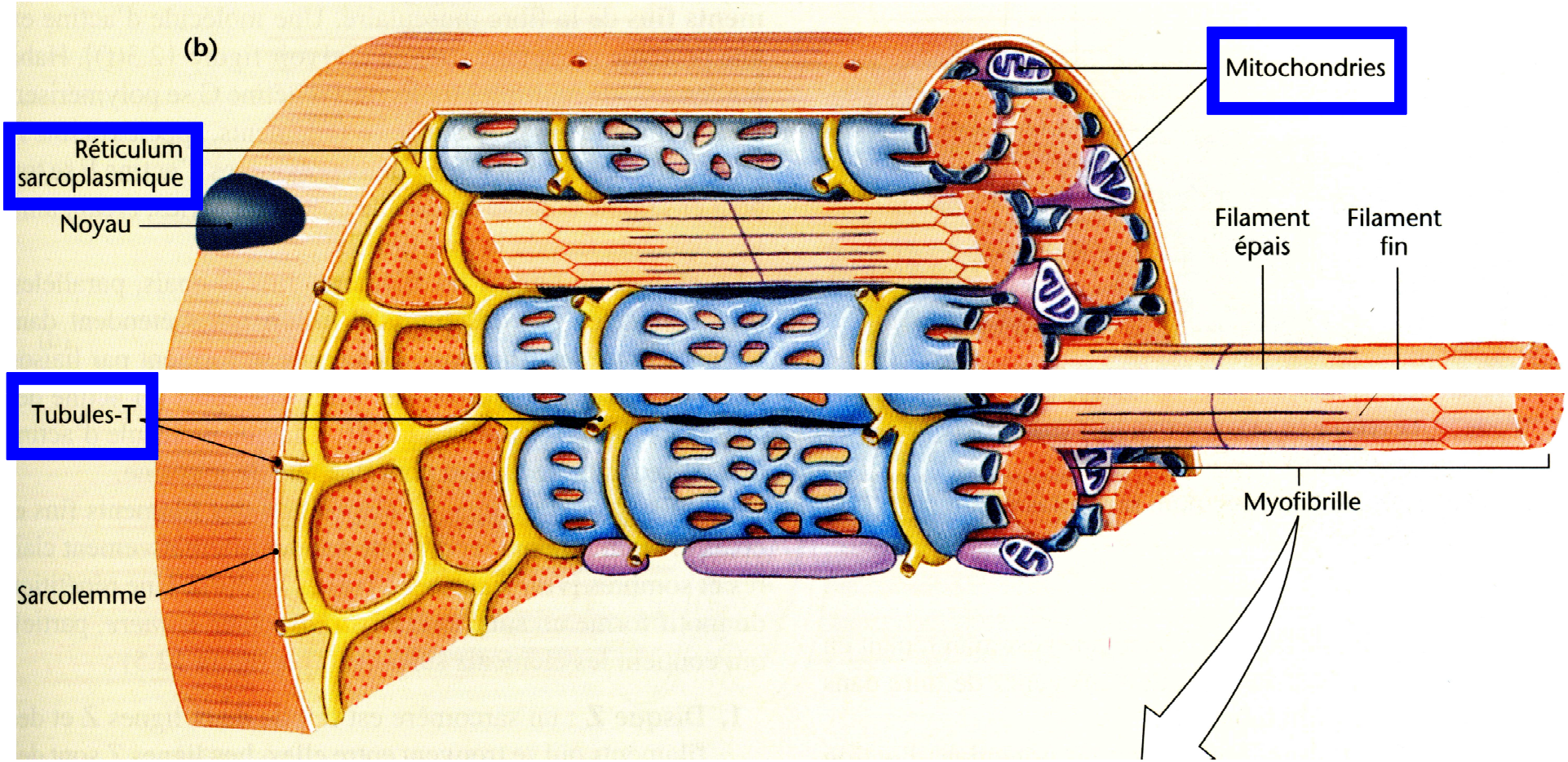
Les jonctions entre cardiomyocytes



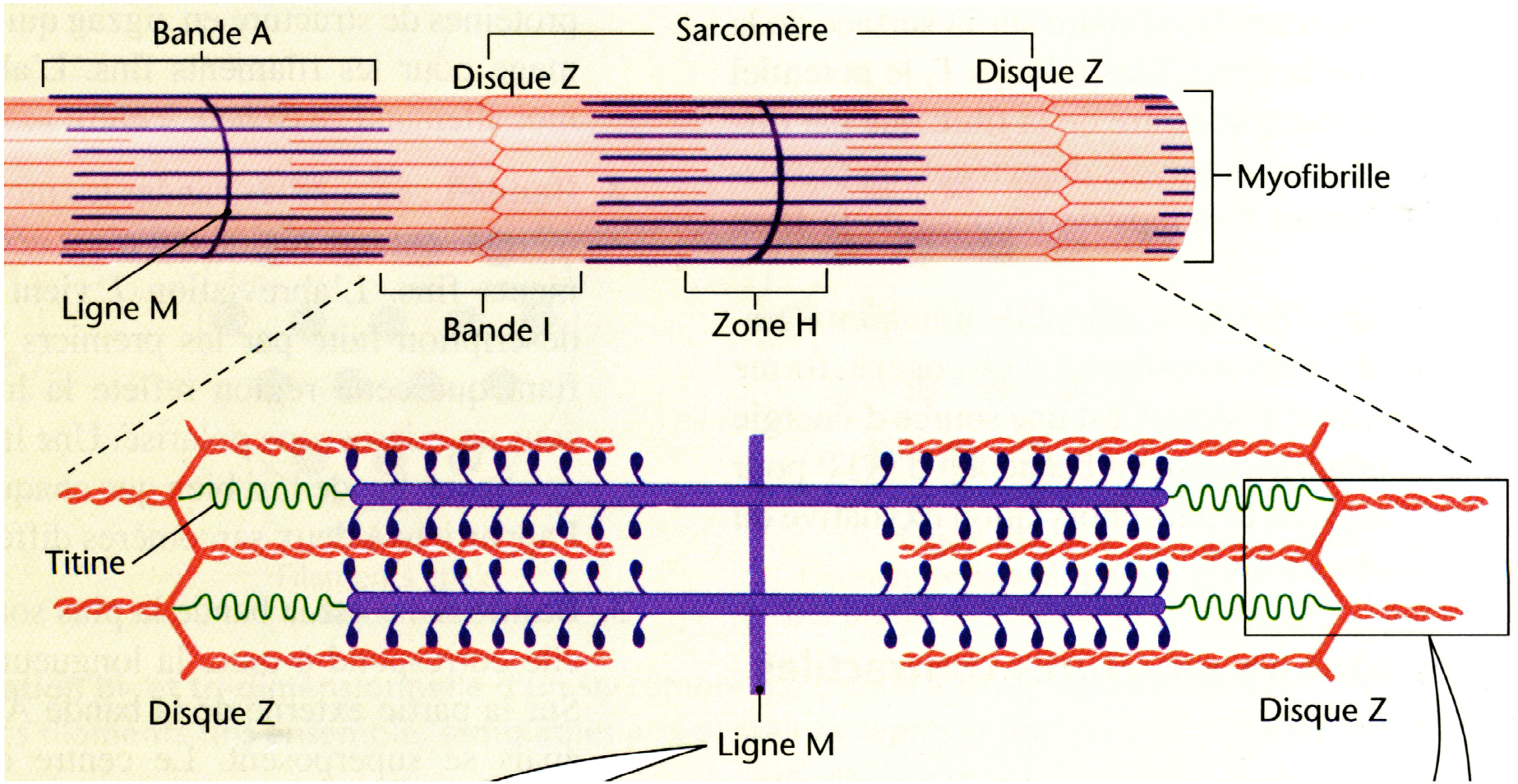


Cohésion mécanique (syncytium fonctionnel)
Transmission rapide de l'influx électrique

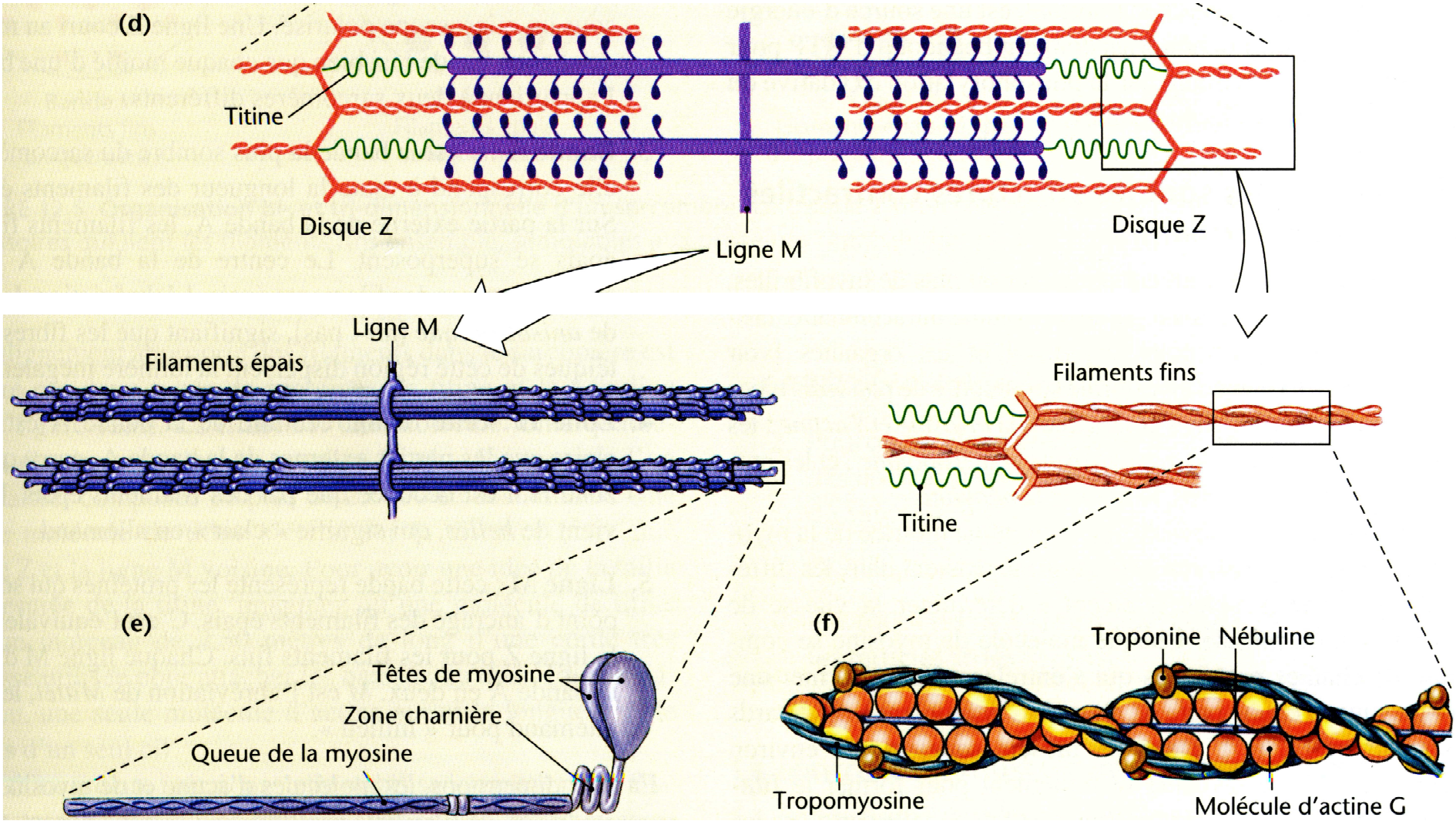
Fibre musculaire striée



Organisation des sarcomères



Filaments d'actine et de myosine



Plan du cours

- Notions de base
- Anatomie de l'appareil cardio-circulatoire
- Structure à l'échelle cellulaire
- Excitation et contraction myocardique
- Hémodynamique
- Principaux examens en cardiologie

Automatisme cardiaque

- Cœur = muscle strié se contractant de façon **involontaire et rythmique**

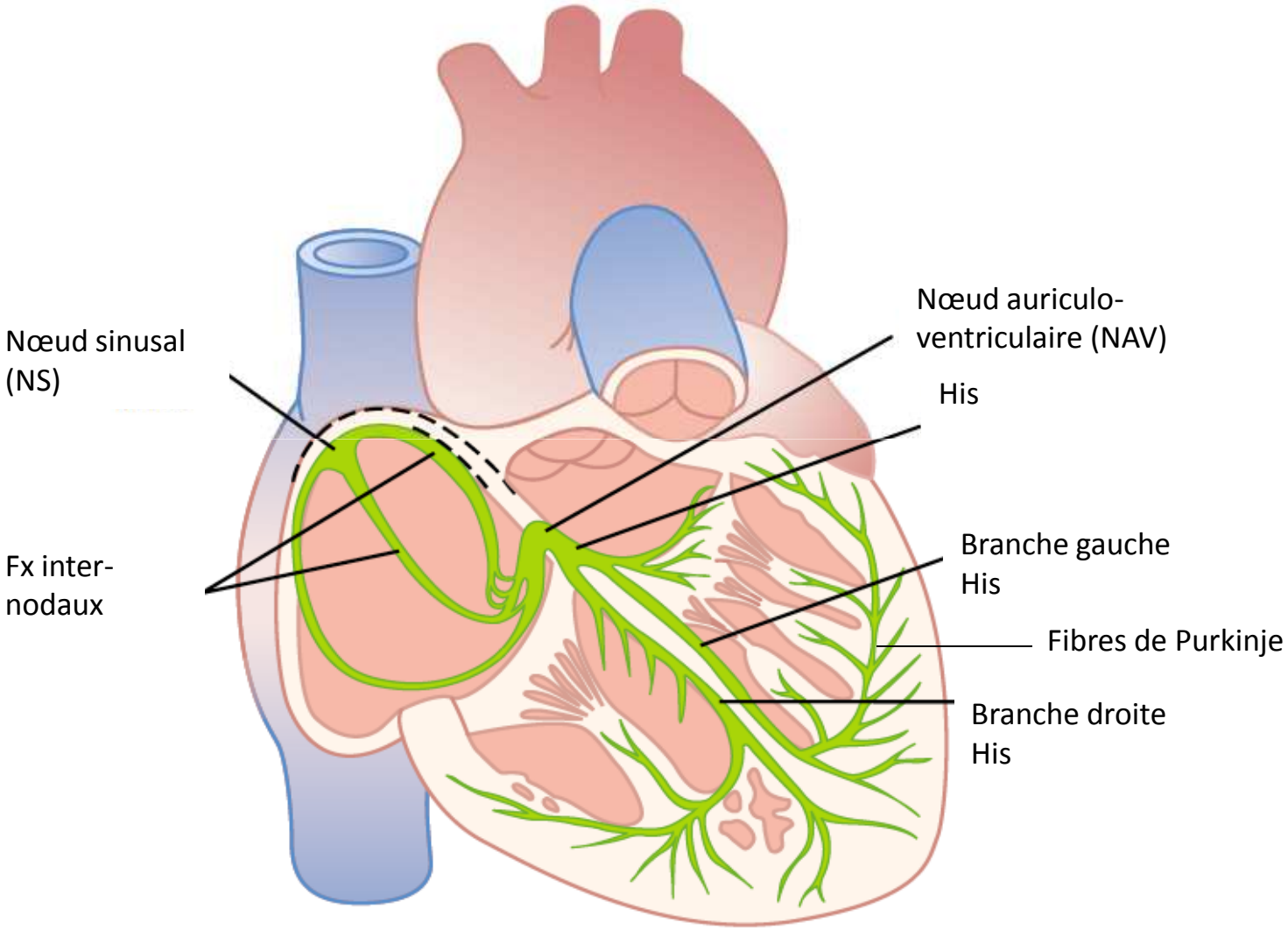
- **Tissu cardionecteur**, spécialisé dans la génération et la transmission du PA à tous les cardiomyocytes → contraction coordonnée **myogène**

- Régulation de la FC et de la conduction cardiaque par le SNV

Système cardionecteur

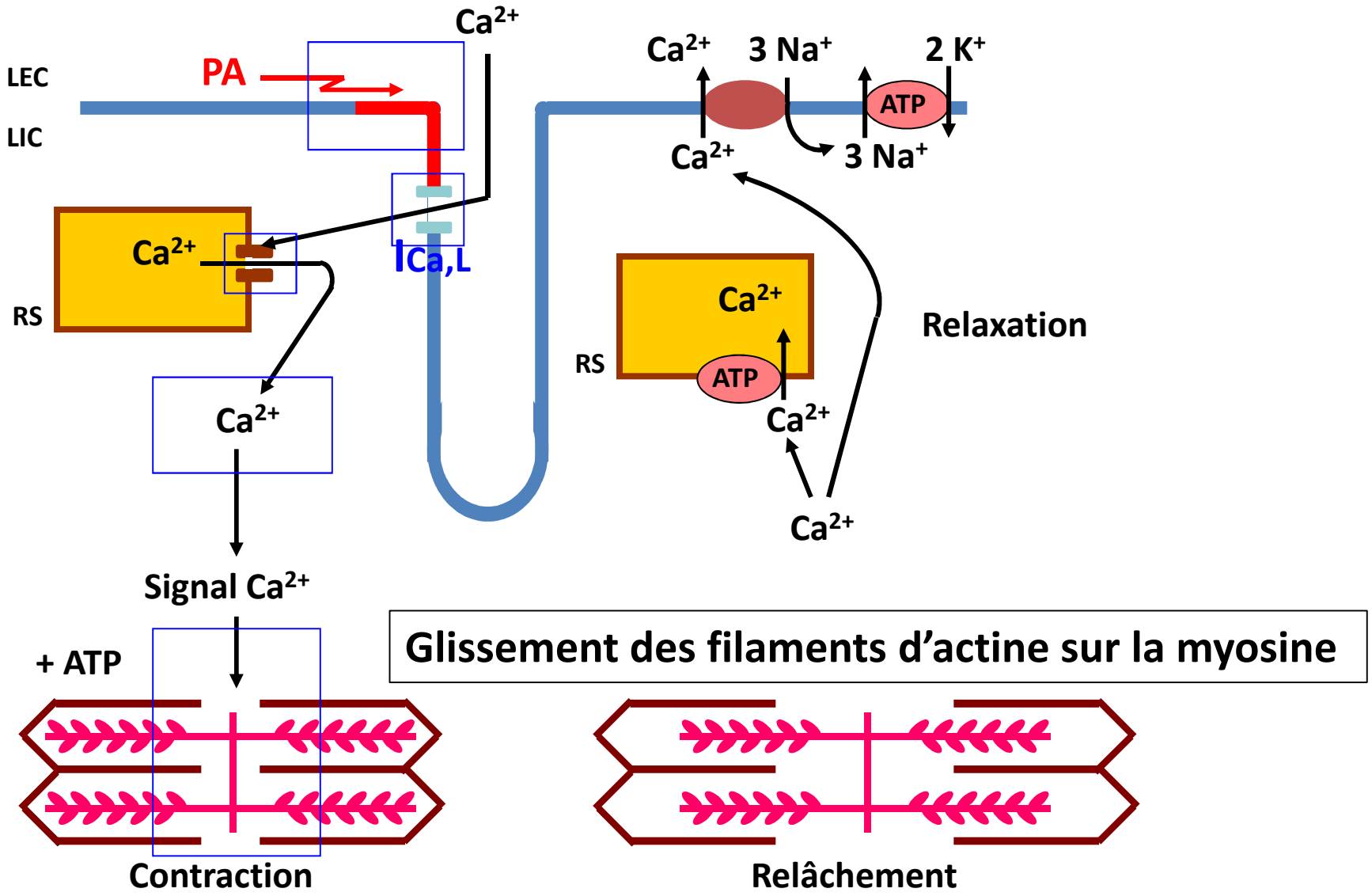
- **Cellules auto-rythmiques** (PM) non contractiles
- Génération du PA = **automatisme cardiaque**
- Transmission rapide du PA → contraction synchrone du **syncytium** fonctionnel (nexus)
- Seul passage entre O et V à travers le squelette fibreux du cœur (isolant) → **délai nodal** permet le remplissage ventriculaire puis l'éjection

Anatomie du système cardionecteur



Pace maker normal = NS (tonus vagal permanent)

Couplage excitation-contraction



Glissement des filaments d'actine sur la myosine

Plan du cours

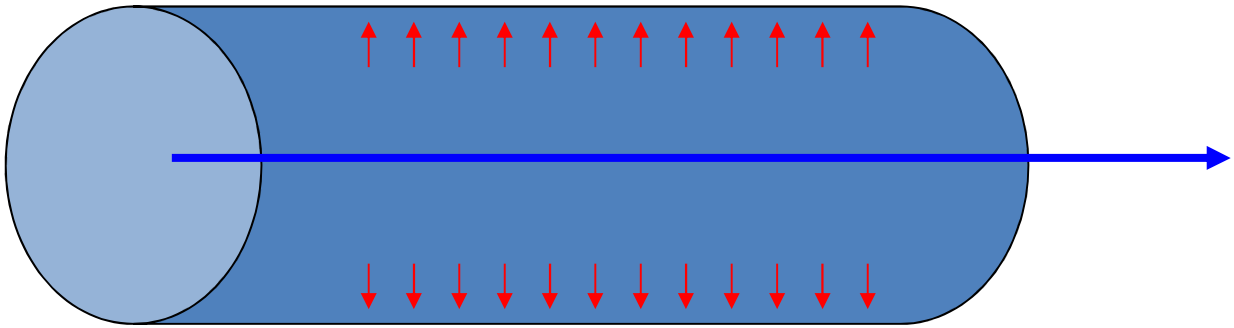
- Notions de base
- Anatomie de l'appareil cardio-circulatoire
- Structure à l'échelle cellulaire
- Excitation et contraction myocardique
- Hémodynamique
- Principaux examens en cardiologie

Hémodynamique

- Etude des propriétés physiques du flux sanguin en mouvement dans le système cardio-vasculaire (pression, volume, viscosité et débit)
- Déterminants :
  - Force motrice (cœur)
  - Volume (volémie) et viscosité du sang
  - Respiration (O_2, CO_2)
  - Vasomotricité (résistance)

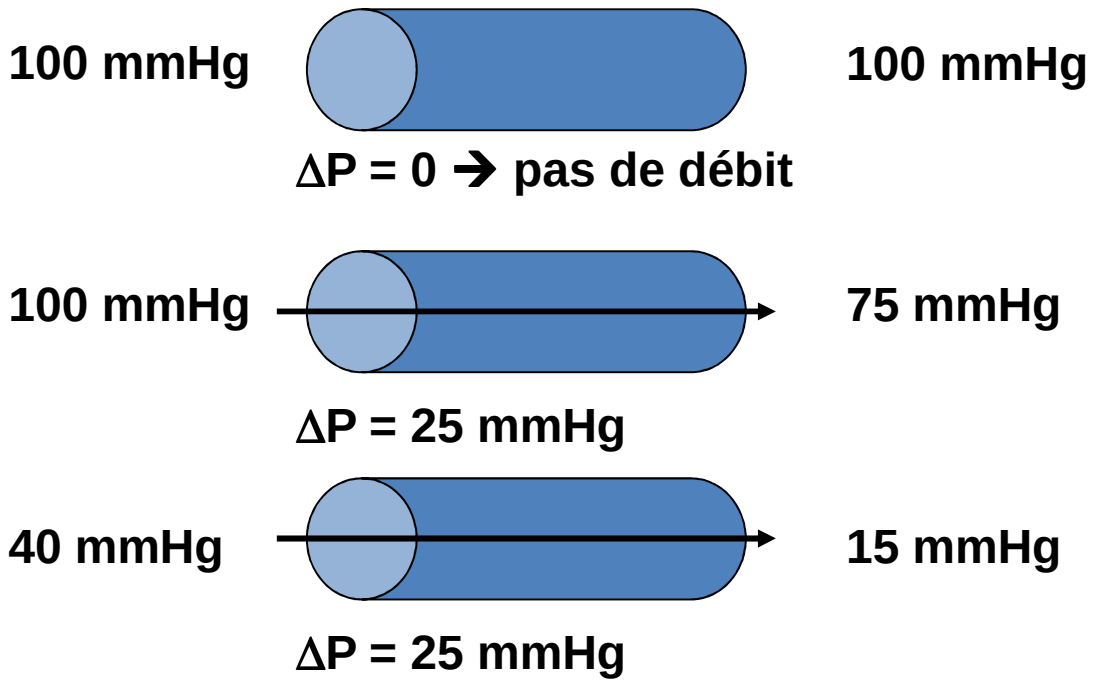
Pression (P)

- Force exercée par un liquide sur les parois de son contenant (en mmHg) ≠ Tension
- **P hydrostatique** si liquide immobile
- **P hydraulique** (P dynamique + P hydrostatique) si liquide en mouvement

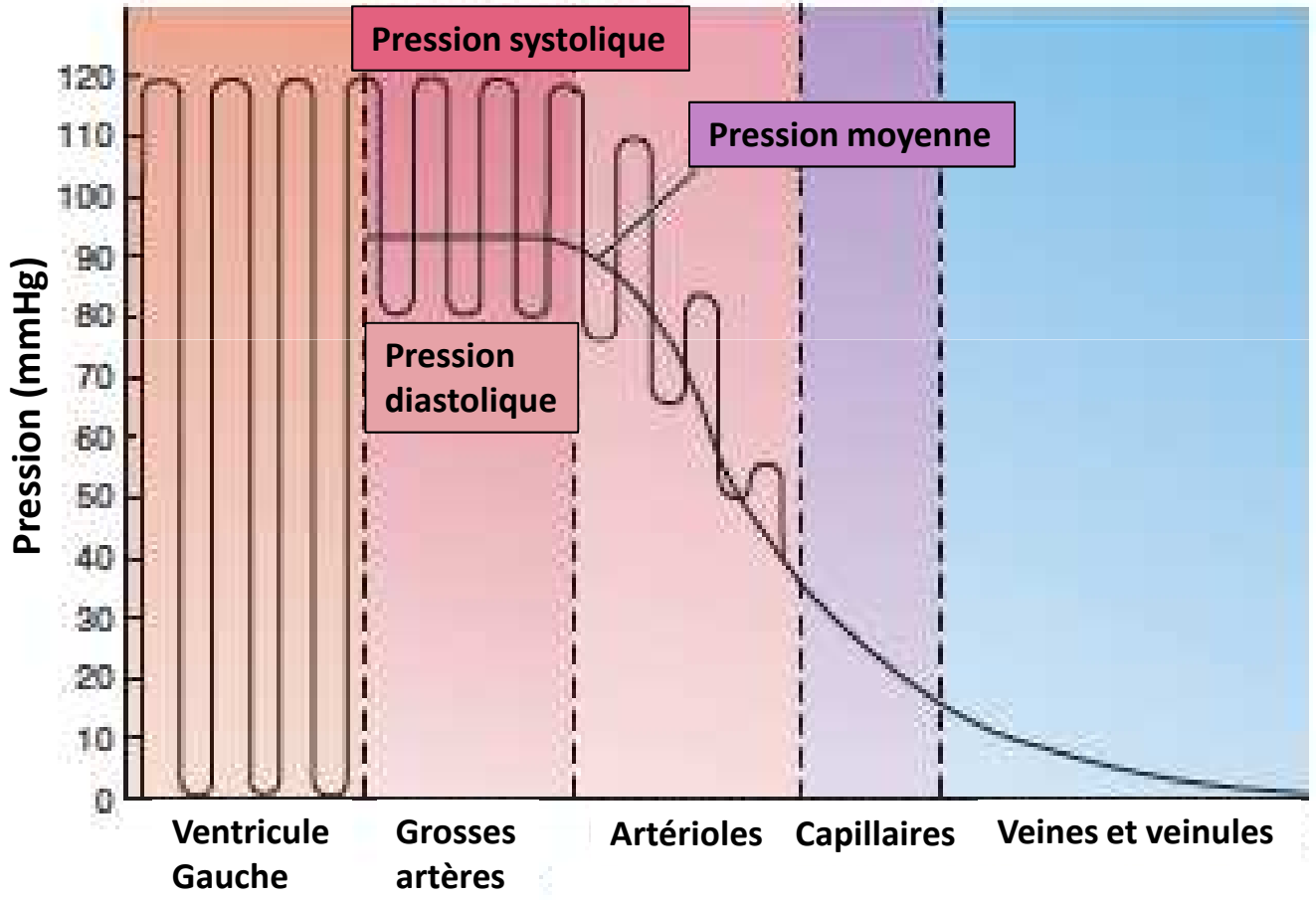


Principes généraux d'écoulement d'un fluide

- Un fluide circule d'une zone de haute pression vers une zone de basse pression donc **le sang coule des artères vers les veines**



Pression dans le système circulatoire



2 types de fluide

- **Liquide parfait** : pas de dissipation de la charge avec la distance parcourue

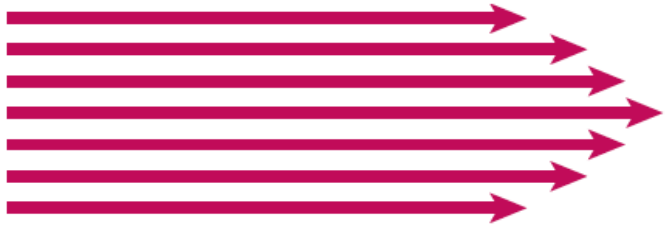
- **Liquide visqueux** (sang) = dissipation de la charge dans les vaisseaux par frottements (résistances)
  ↘ P hydrostatique

Ecoulement d'un fluide visqueux

- **Laminaire** (sang en physiologie)
  - ↳ Pas de bruit auscultatoire

≠ **Turbulent** (sang en pathologie)

- ↳ Souffle
  - Rétrécissement ou fuite valvulaire
  - Sténose artérielle ou fistule





Résistance

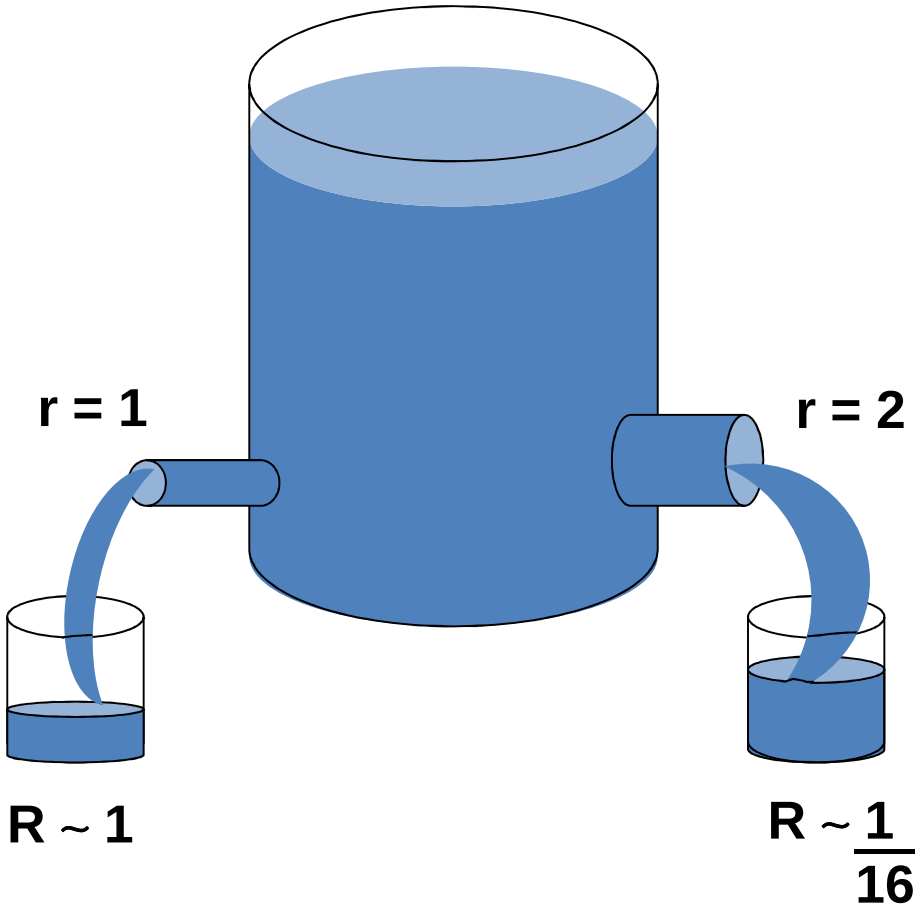
- Ensemble des frottements des éléments du sang entre eux et avec les parois des vaisseaux

- Loi de Poiseuille

$$R = 8L\eta / \pi r^4$$

L et r : longueur et **rayon** vx, η : viscosité sang

Résistance



$$R \approx x/r^4$$

Rayon du vaisseau doublé→ résistance diminuée 16 fois!!

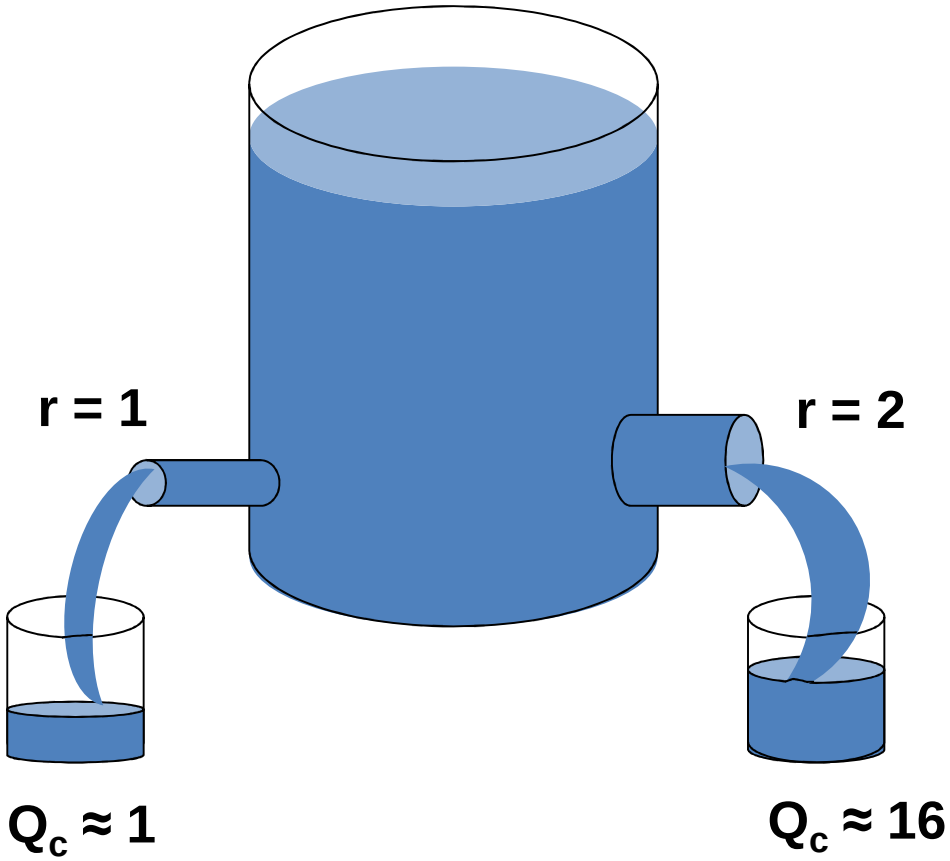
Débit cardiaque

- Volume de sang éjecté par le cœur par unité de temps

- Identique dans le cœur droit et le cœur gauche soit 5 L/min au repos

$$\mathbf{Q_c = VES \times FC}$$

Débit cardiaque



$$Q_c \approx \Delta P/R$$

soit $\approx \Delta P \cdot r^4$

Rayon du vaisseau doublé → débit cardiaque augmente 16 fois!!

Débit cardiaque

- Loi de Ohm : $Q_c \approx \Delta P / R$ (ΔP = PAM)

  soit $Q_c \approx \Delta P . r^4$

- Modulable +++ (effort 20-30L/min)

Vitesse d'écoulement du sang (V)

- Transfert de matière
- < Vitesse de propagation de l'onde pulsatile de pression artérielle (transfert d'énergie)
- Transmission de l'onde de pression meilleure si compliance artérielle faible
- A ne pas confondre avec le débit cardiaque $Q_c = V \times S$

Vitesse d'écoulement du sang

- $V = Q_c / S$

→Proportionnelle au débit si surface de section vasculaire inchangée

→A débit constant, la vitesse augmente dans les petits vaisseaux

- Dans circulation, débit réparti sur tous les vaisseaux de la section concernée

Relation volume-pression

- Volume du sang invariable dans le circuit vasculaire
- Mais volume du contenant variable → modifications pression exercée sur le liquide
  - Contraction cœur ou vaisseau ↗ pression
  - Relaxation cœur ou vaisseau ↘ pression
- Contraction V → **Force motrice** → éjection → déplacement sang déjà présent

Le cycle cardiaque

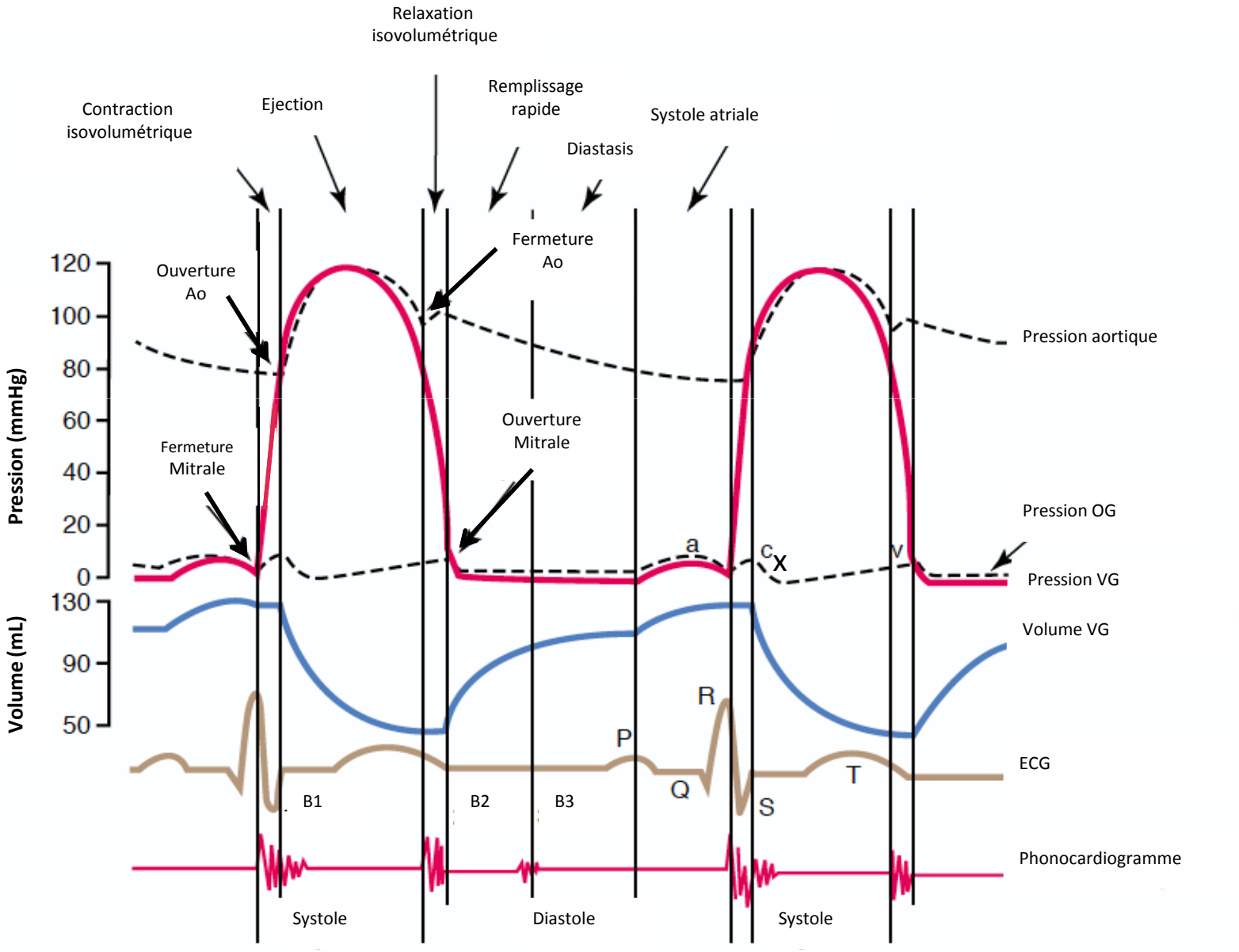
- Alternance de contractions (systoles) et de relaxations (diastoles) du muscle cardia que
- Rythme = FC
- Diastole = remplissage de la cavité cardiaque
- Systole = éjection du sang
- Non simultanées pour O et V



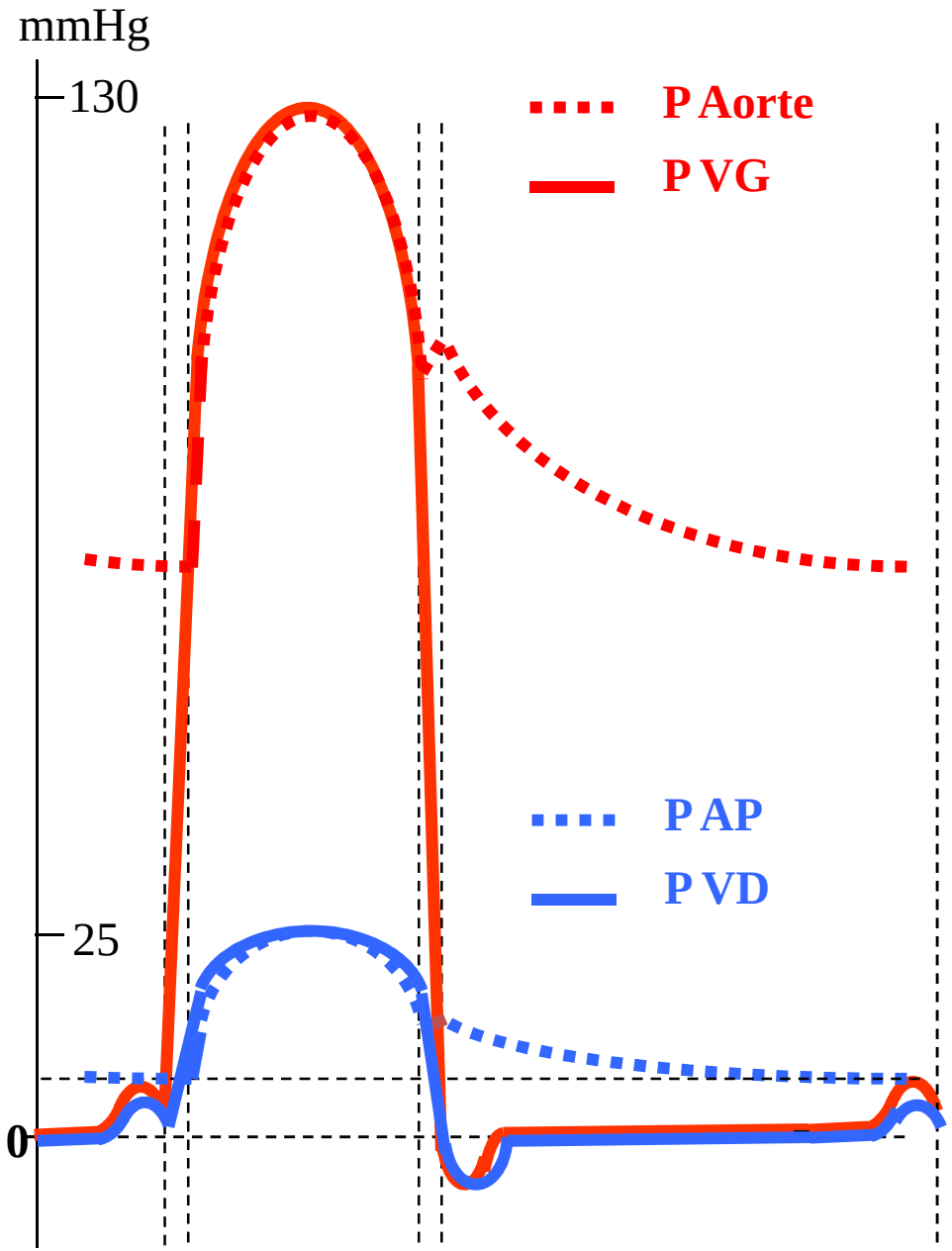
Quelques repères du cycle

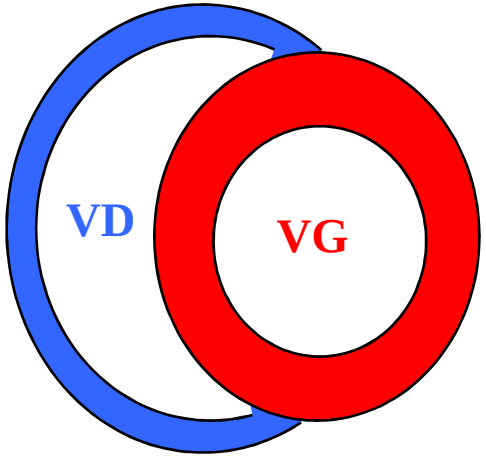
- **Volume télédiastolique** (VTD) : volume de sang contenu dans les ventricules avant la systole = précharge ≈ 120 mL
- **Volume télésystolique** (VTS) : volume de sang contenu dans les ventricules à la fin de la systole = postcharge ≈ 50 mL
- **Volume d'éjection systolique** (VES) = VTD-VTS estimé à 70 mL/battement

Hémodynamique intra-cardiaque



VD et VG



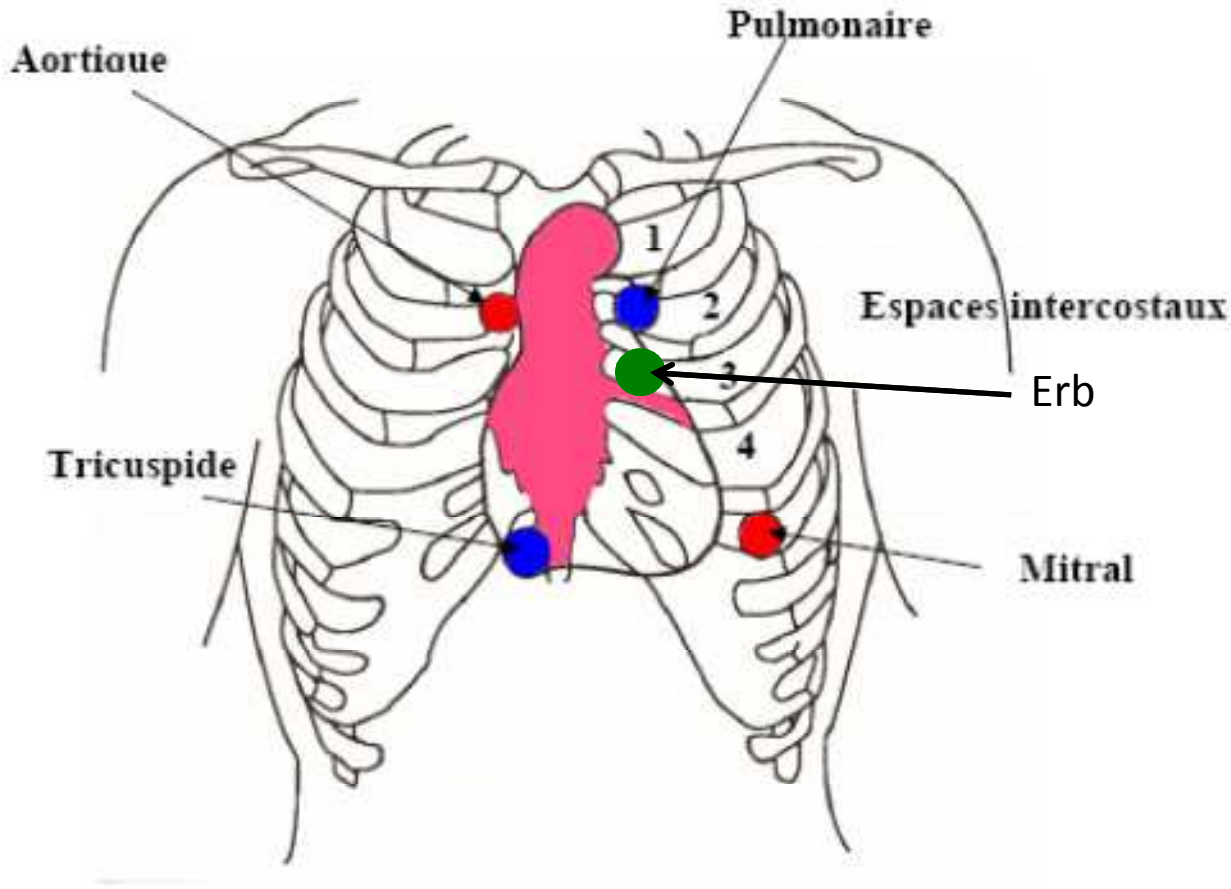


Les pressions dans le VD et l'AP
sont 6 à 8 fois plus faibles
que dans le VG et l'aorte

Plan du cours

- Notions de base
- Anatomie de l'appareil cardio-circulatoire
- Structure à l'échelle cellulaire
- Excitation et contraction myocardique
- Hémodynamique
- Principaux examens en cardiologie

L’auscultation cardiaque



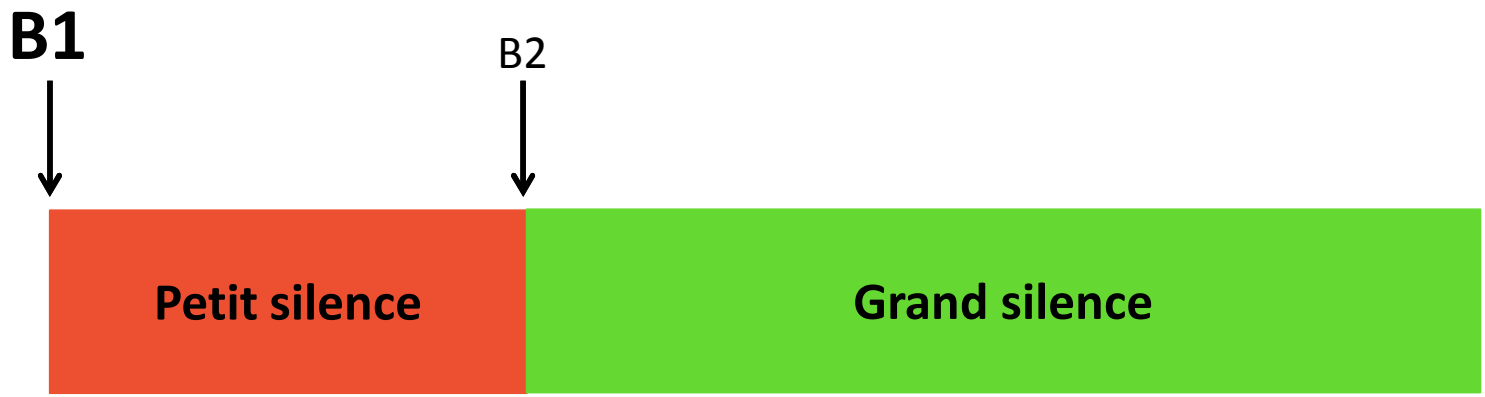
Ne pas oublier la palpation du pouls et l’auscultation vasculaire (carotide, aorte abdo, fémorale)
Bruits physiologiques et pathologiques (modifiés, +, -)

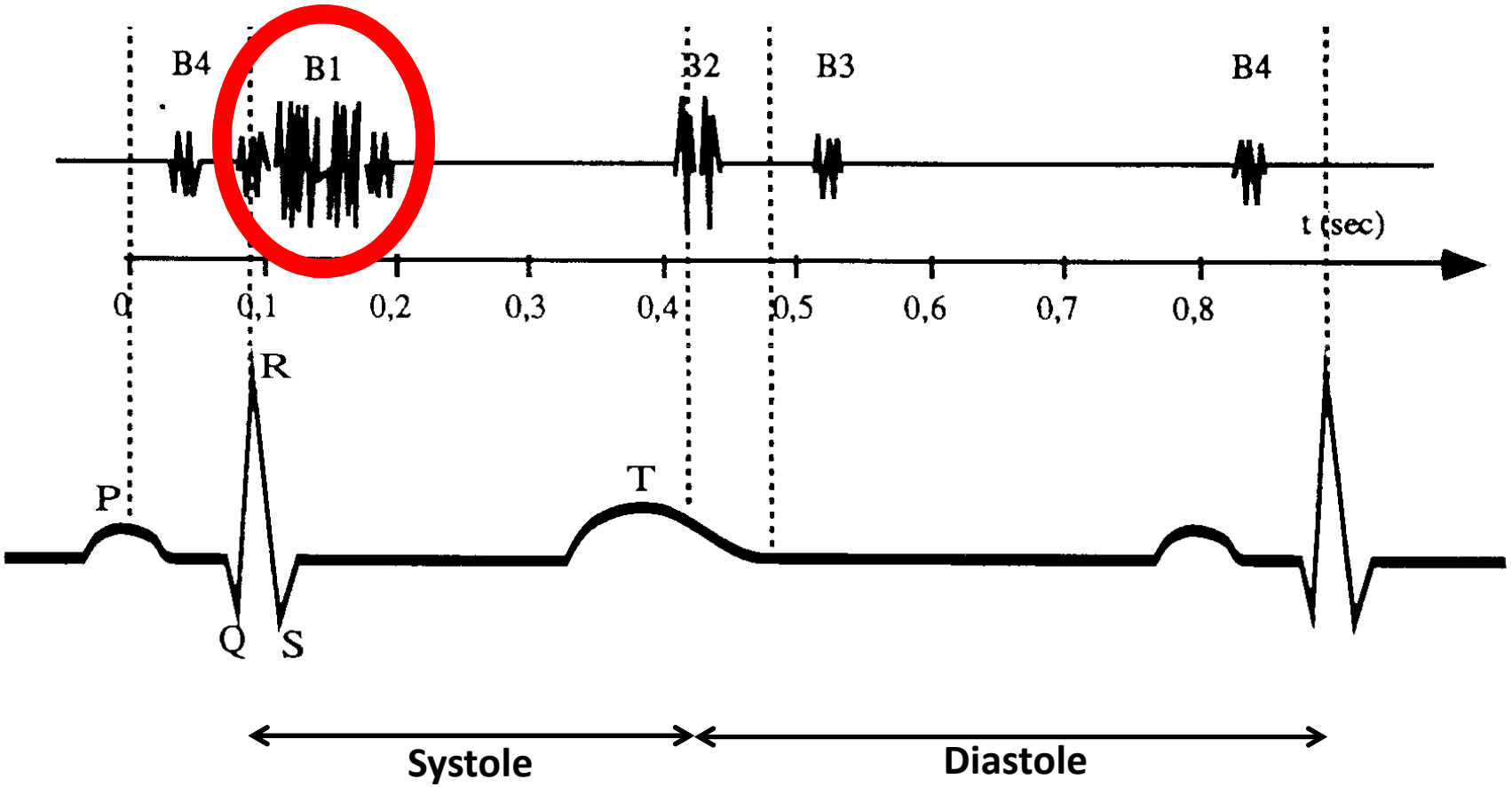
L'auscultation cardiaque

- Mouvement des valves (fermeture++) → mouvements de colonnes de sang → vibrations des valves, du myocarde et de la paroi artérielle (Ao, Pulm)
- → Turbulences sanguines transmises à la paroi thoracique via tissus
- Auscultation ssi fréquence audible, sinon phonographe

Bruits cardiaques physiologiques : B1

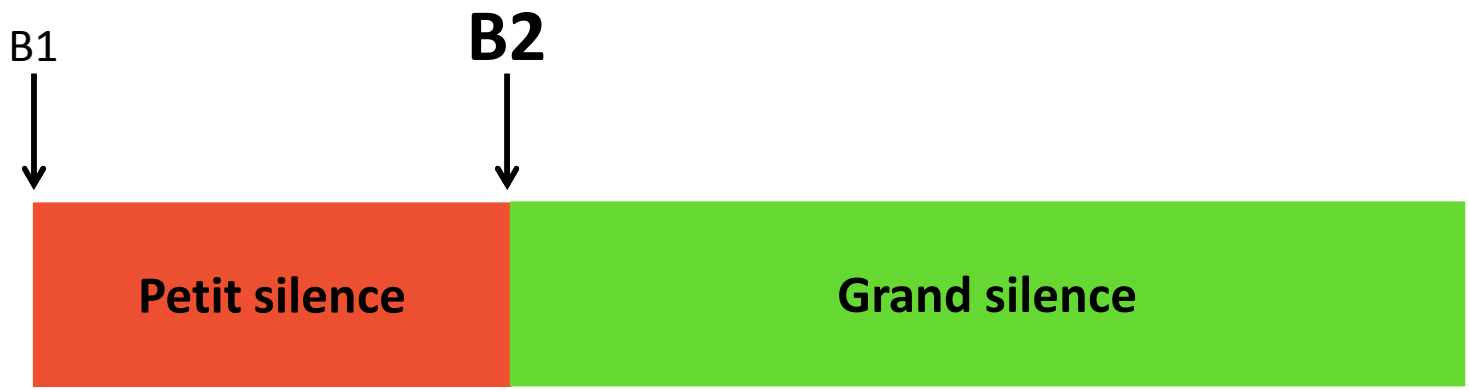
- « TOUM », concomitant du pouls
- *Fermeture des valves AV*
- **Mise en tension myocarde** (contraction IV)
- **Ouverture des valves sigmoïdes**
- Ecoulement turbulent artériel

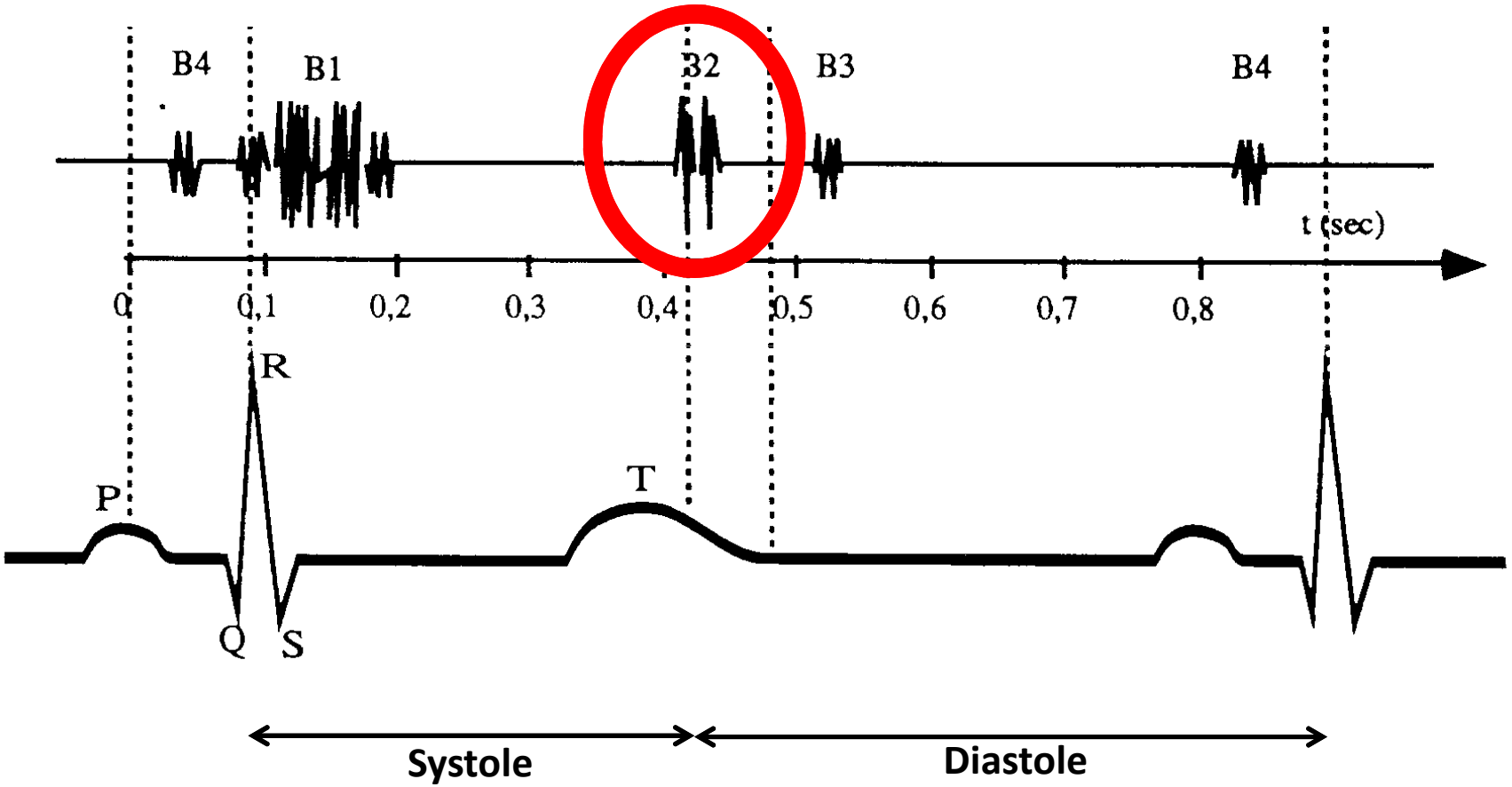



B4
B1
B2
B3
B4
t (sec)
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
R
P
T
Q
S
Systole
Diastole

Bruits cardiaques physiologiques : B2

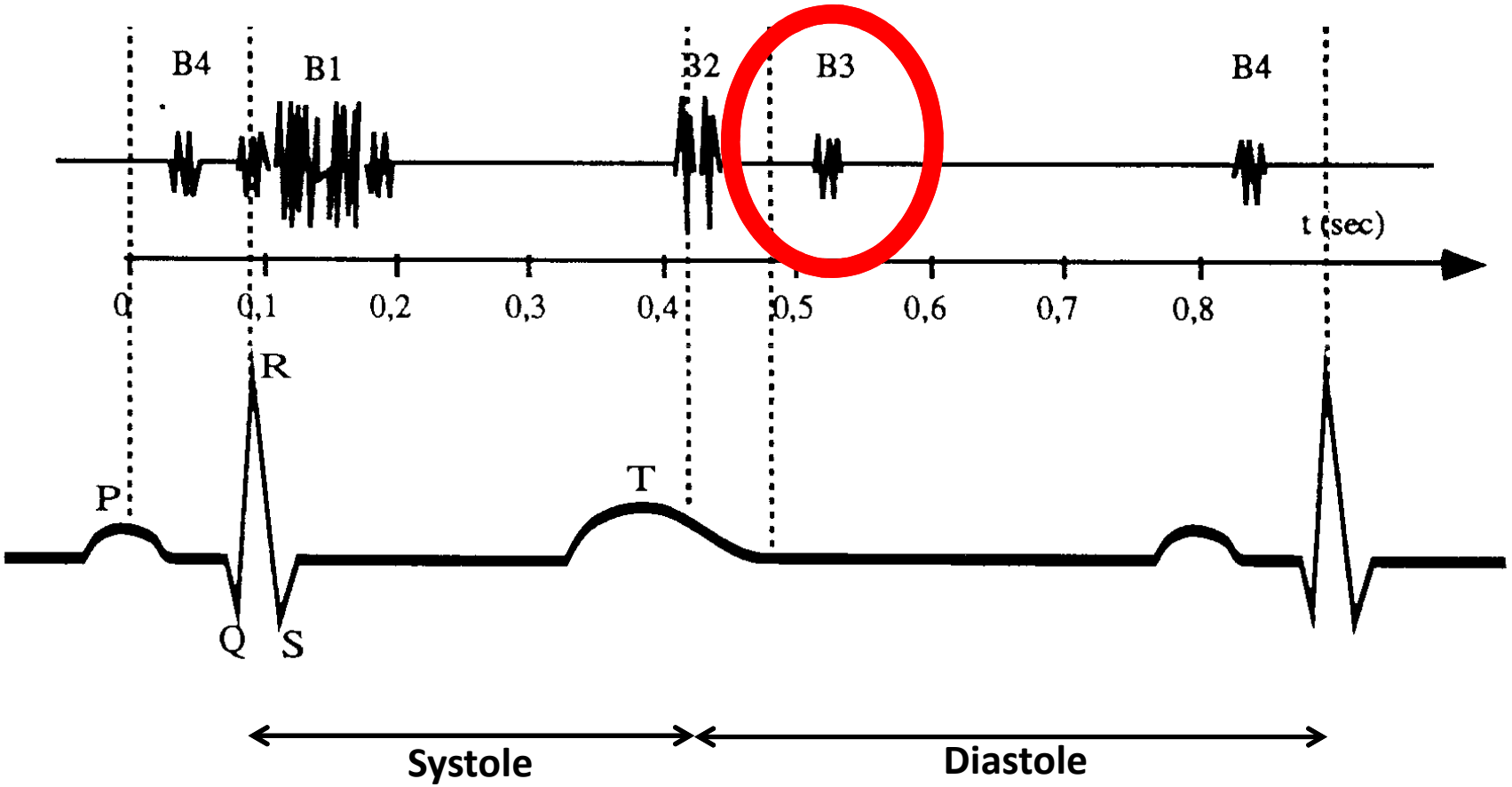
- « TA »
- **Fermeture des valves sigmoïdes**
- Mise en tension myocarde (contraction IV)
- Ouverture des valves AV
- Ecoulement turbulent artériel




B4
B1
B2
B3
B4
t (sec)
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
R
P
T
Q
S
Systole
Diastole

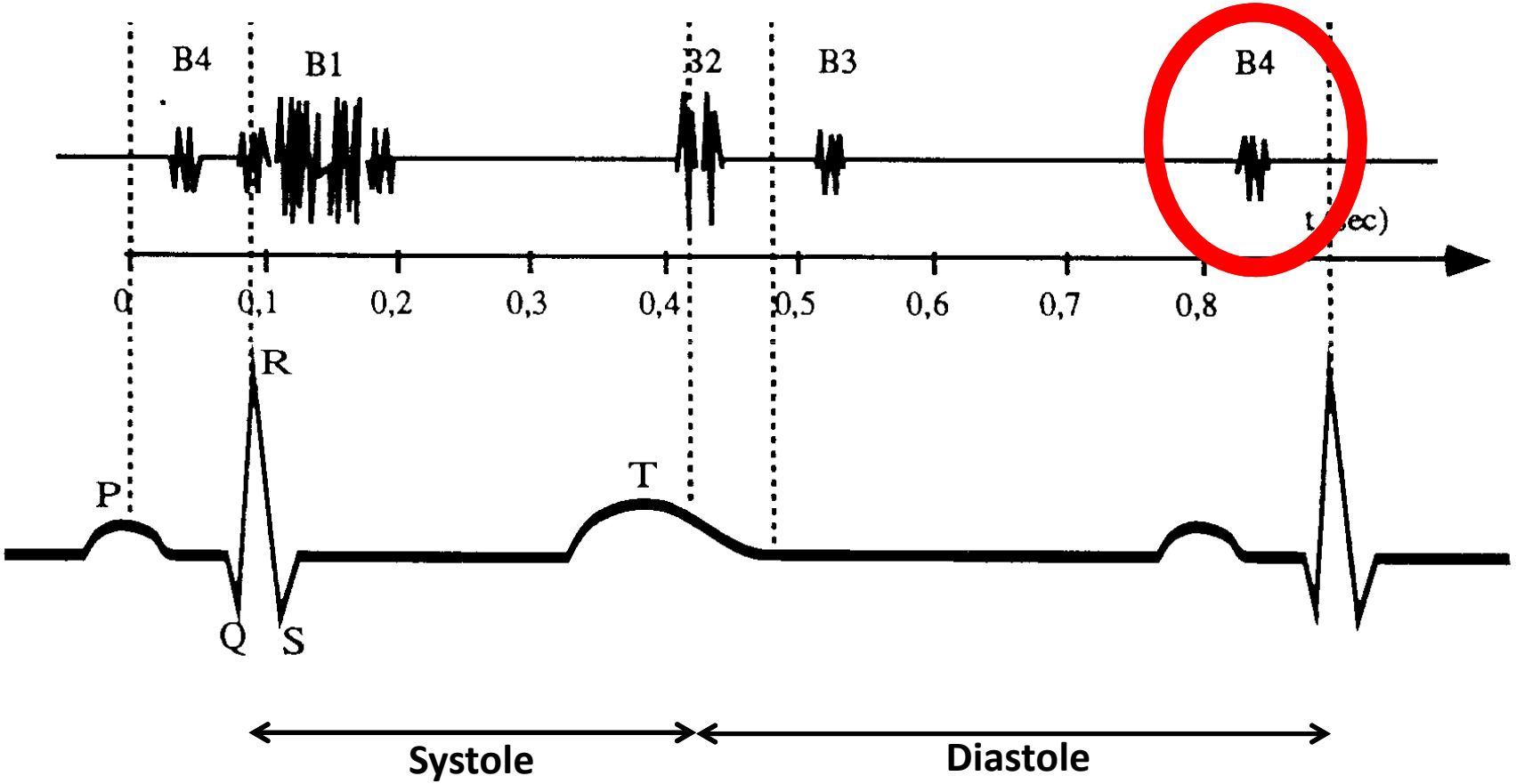
Bruits cardiaques physiologiques : B3

- Proto-diastolique
- Vibrations de la paroi ventriculaire à l'irruption de sang pendant le **remplissage passif rapide**
- Si exacerbé = **galop proto-diastolique**, correspond à un **trouble de la relaxation** ventriculaire


B4
B1
B2
B3
B4
t (sec)
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
R
P
T
Q
S
Systole
Diastole

Bruits cardiaques physiologiques : B4

- Télé-diastolique
- Vibrations de la paroi ventriculaire à l'irruption de sang pendant le **remplissage actif**
- Si exacerbé = **galop télé-diastolique**, correspond à un **trouble de la compliance** ventriculaire


B4
B1
B2
B3
B4
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
R
P
T
Q
S
Systole
Diastole

Les souffles cardiaques organiques

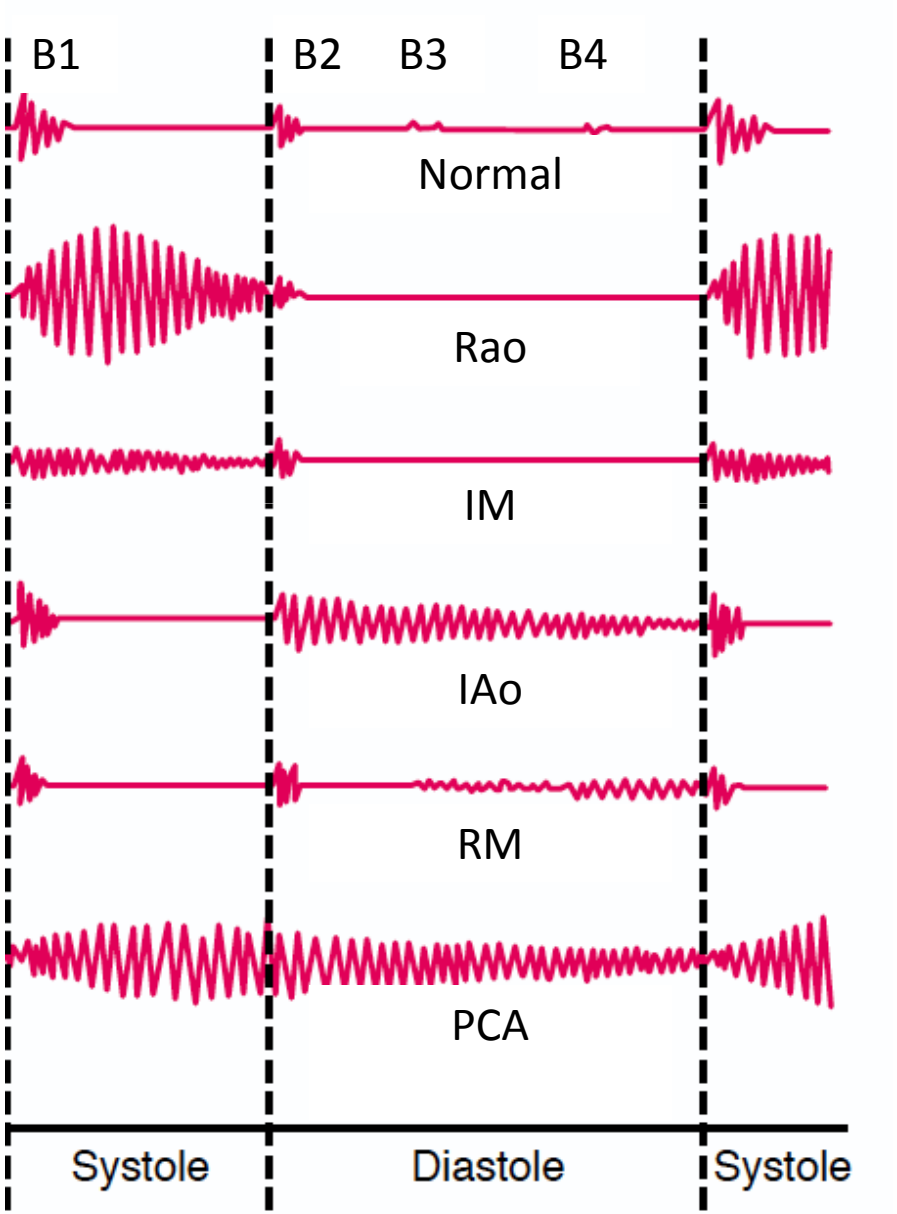
Pathologiques

- Sténose valvulaire
- Fuite valvulaire
- Shunt (D⟷G)
- Cardiopathie obstructive

Flux non laminaire

↓

Souffle



Plan du cours

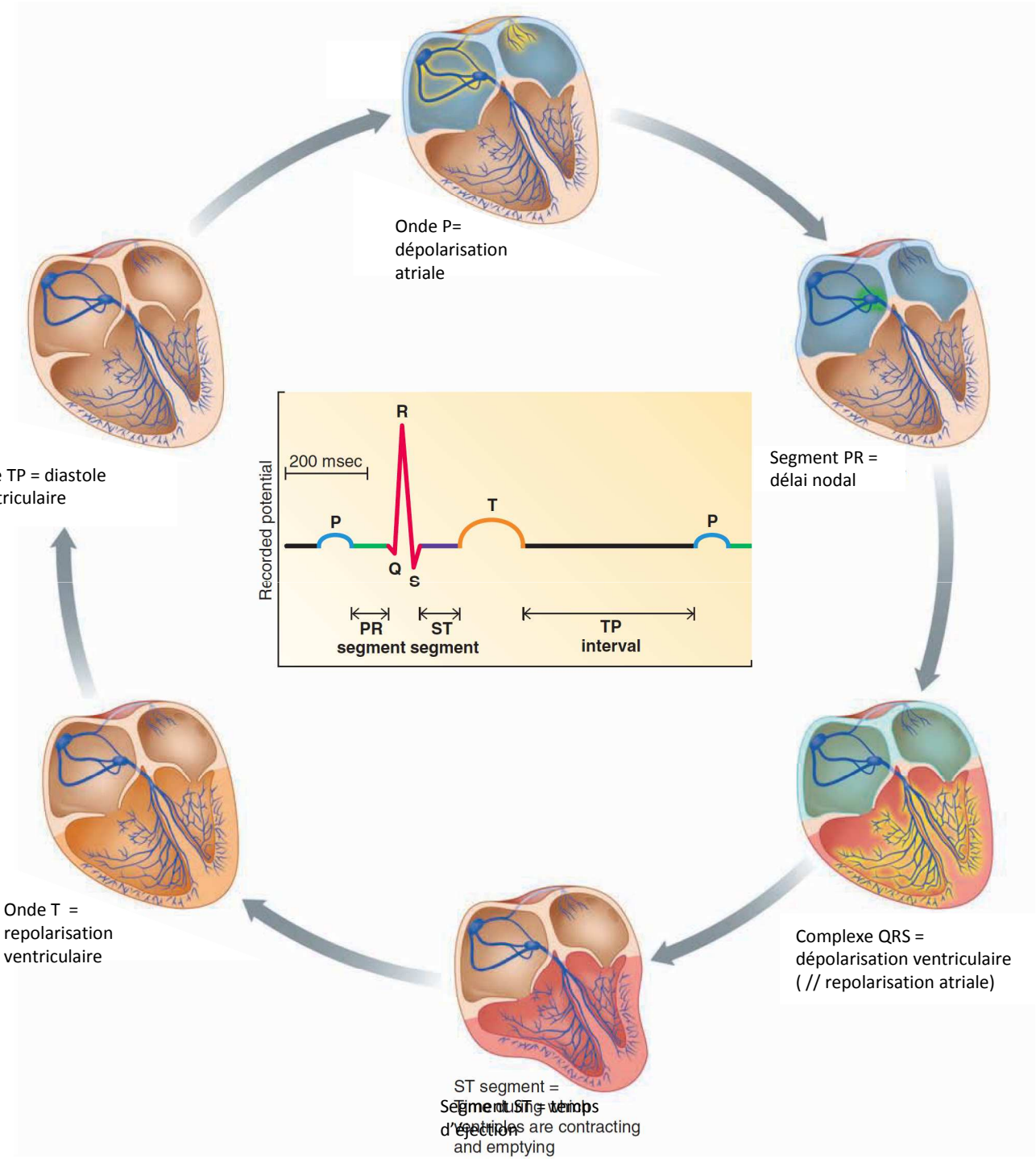
- Notions de base
- Anatomie de l'appareil cardio-circulatoire
- Structure à l'échelle cellulaire
- Excitation et contraction myocardique
- Hémodynamique
- Principaux examens en cardiologie

Electrocardiogramme

- Reflet de l'activité électrique globale du cœur au cours du cycle cardiaque (modification du vecteur)
- Enregistrement superficiel des courants de dépolarisation et de repolarisation cardiaques
- Succession d'ondes (dépolarisations) et d'espaces/intervalles de durée normée

Analyse de l'électrocardiogramme

- Fréquence cardiaque
- Rythme
- Axe du cœur
- Taille et épaisseur des cavités (hypertrophie)
- Ischémie-nécrose myocardique
- Troubles du rythme et de conduction


Onde P= dépolarisation atriale
Segment PR = délai nodal
Complexe QRS = dépolarisation ventriculaire (// repolarisation atriale)
ST segment = temps d'éjection
Onde T = repolarisation ventriculaire
Intervalle TP = diastole ventriculaire
Recorded potential
200 msec
R
P
T
P
Q
S
PR segment
ST segment
TP interval

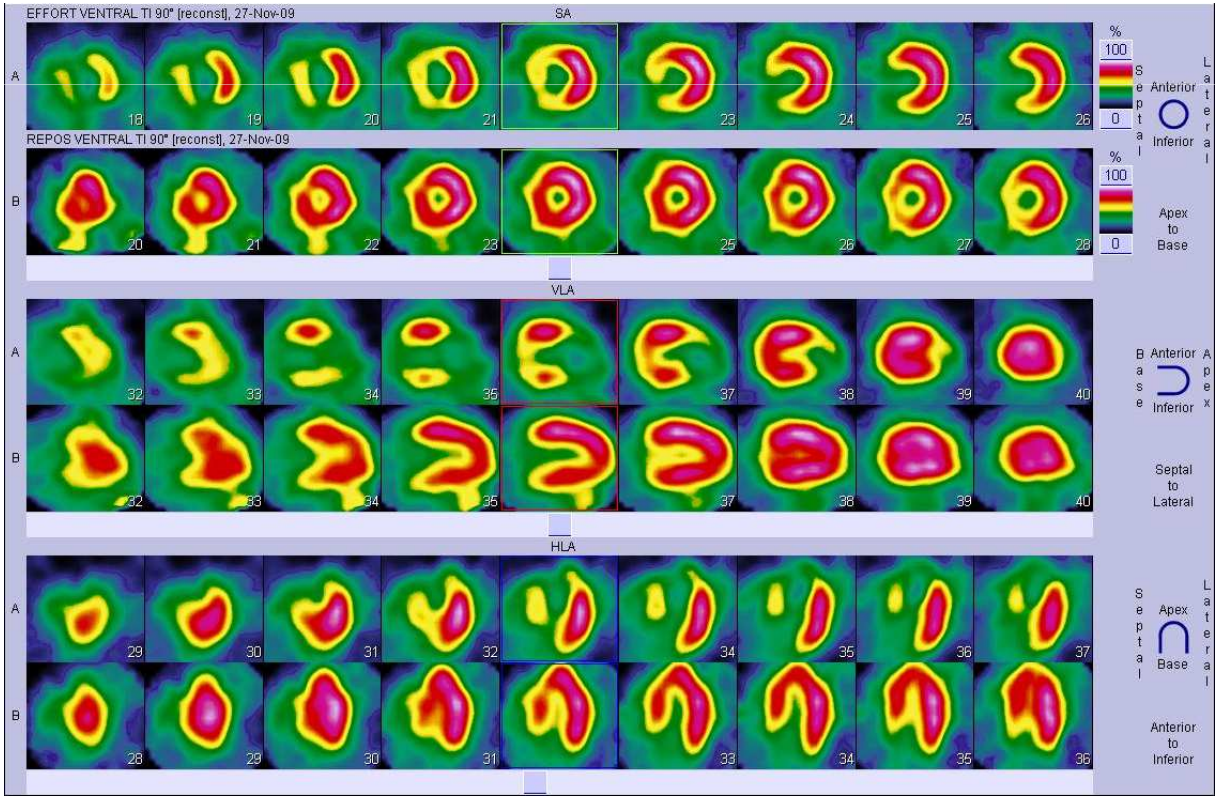
ECG d'effort

- Ergométrie : dyspnée d'effort, troubles du rythme ECG
- Détection d'une ischémie myocardique :
  - Scintigraphie myocardique d'effort / dipyridamole
  - Echocardiographie d'effort (ou à la dobutamine)
  - Ergométrie sur tapis roulant ou bicyclette



Scintigraphie myocardique

- Couplée à un effort ou une stimulation médicamenteuse (dipyridamole)
- Injection traceur (thallium, technetium)
- Acquisitions :
  - fin effort
  - Récupération
  - temps tardif



Holter ECG

- Enregistrement sur 24h (possible pendant 1 semaine)

- Diagnostic de troubles du rythme ou de troubles de conduction devant symptomatologie inexpliquée (syncope, palpitations)



Moniteur ECG implantable

- Enregistrement de plusieurs mois (→ 2ans) :
  - automatique si bradycardie ou tachycardie ou
  - manuel par le patient si symptôme

- Devant syncope d'origine indéterminée après bilan étiologique négatif

- Implantation sous AL



Holter tensionnel

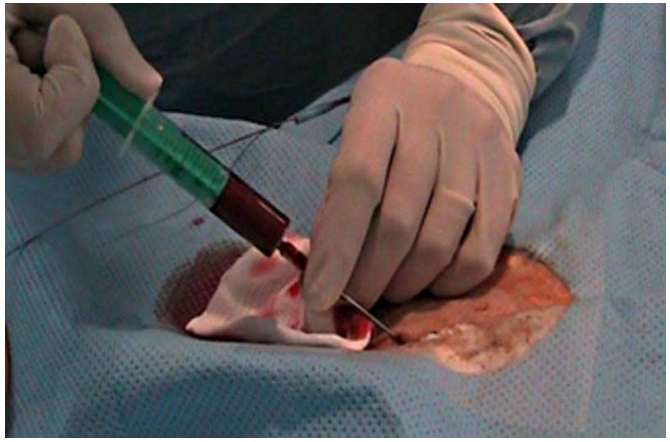
- Mesure Ambulatoire de la Pression Artérielle
- Sur 24 h
- Evite l'effet blouse blanche
- Diagnostic d'HTA masquée
- Analyse de l'effet des traitements
- Variations nycthémérales de la PA

Cathétérisme cardiaque

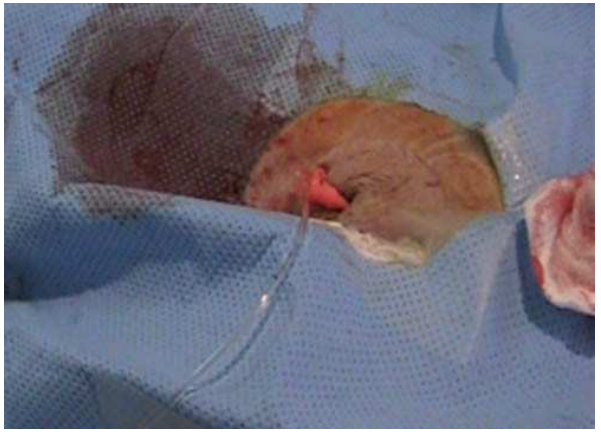
- Montée d'une sonde dans les cavités cardiaques à visée diagnostique :
  - Mesure des pressions, du débit cardiaque,
  - Quantification d'une valvulopathie
  - Opacification des artères coronaires (coronarographie) et des cavités cardiaques
  - Prélèvements de sang étagés (oxymétrie)
  - A visée thérapeutique +++

Cathétérisme droit

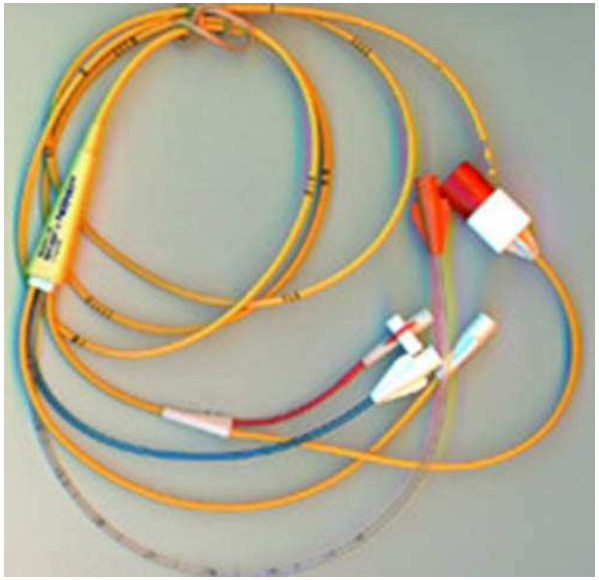
- Cathéter monté dans l'artère pulmonaire
- Mesures des pressions :
  - PAPO (≈ pressions de remplissage VG)
  - Retrait du cathéter : PAP, PVD, POD
- Oxymétrie étagée (shunts)
- Mesure du débit cardiaque par thermodilution
- Angiographie VD
- Geste thérapeutique



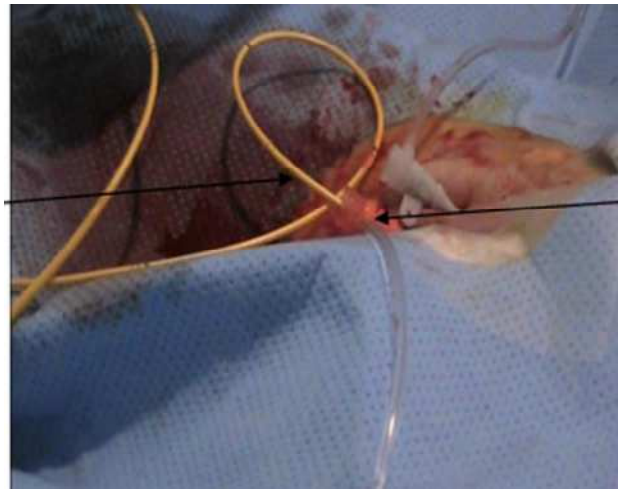
Ponction de la veine fémorale



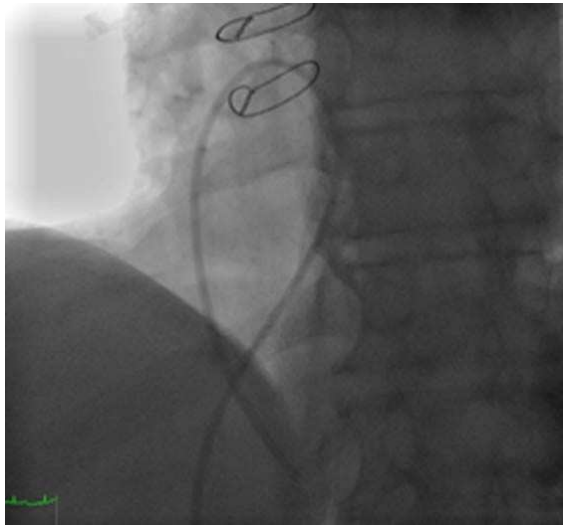
Mise en place de l'introducteur



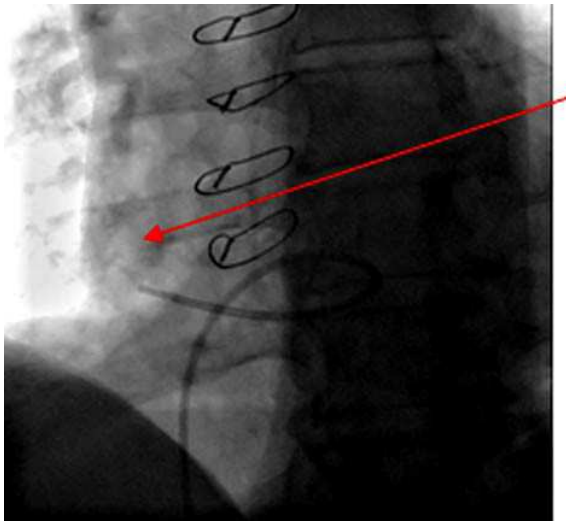
Sonde de Swan Ganz



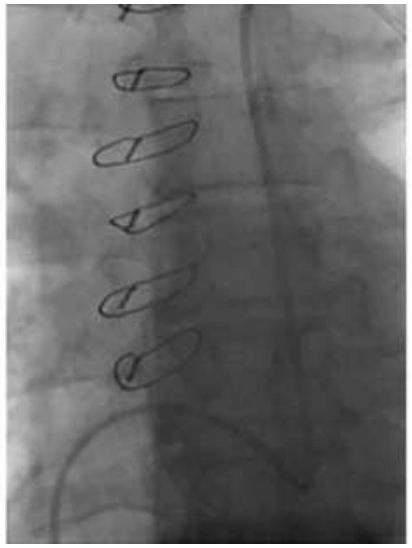
Insertion de la sonde de Swan Ganz



montée de la sonde dans la VCI puis l'oreillette D

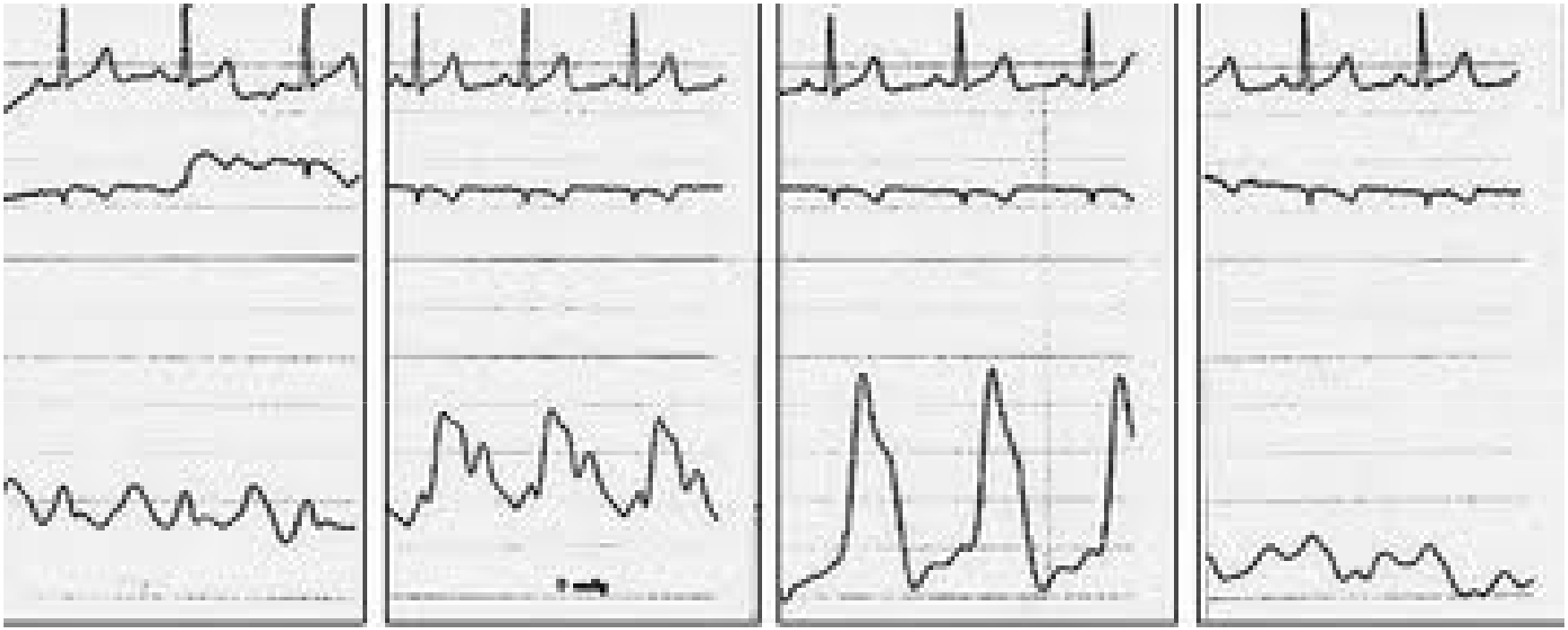


ballonnet gonflé dans le VD



montée de la sonde dans l'artère pulmonaire

Courbes de pression



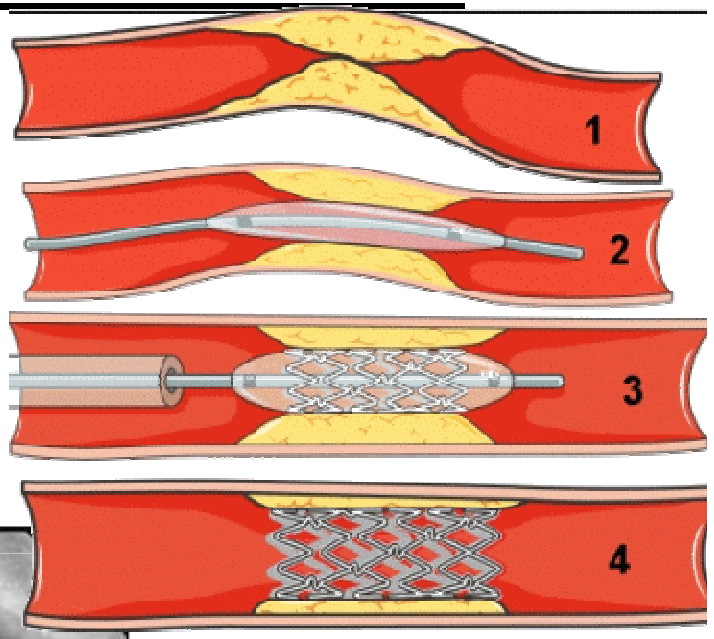
PAPO PAP PVD POD

Cathétérisme gauche

- Abord radial, fémoral, (huméral)
- Opacification : VG, OG, VP, aorte, coronaires
- Mesure de pressions :
  - Gradient trans-valvulaire (mitral, aortique)
  - Courbes de pression (Ao, VG, OG) → PRVG
- Oxymétries (shunt D-G)
- Débit cardiaque (Fick)
- Evaluation sténoses coronaires (FFR, IVUS)
- INVASIF!

Cathétérisme gauche interventionnel

- Angioplastie coronaire

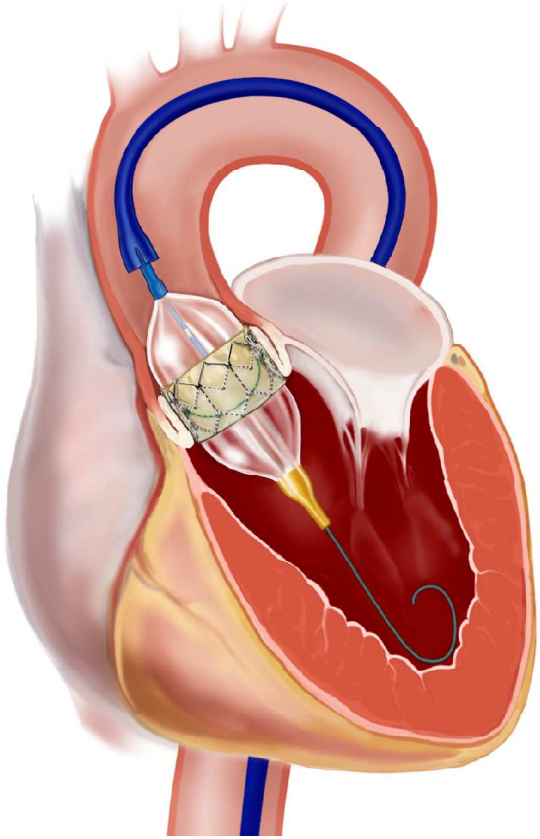




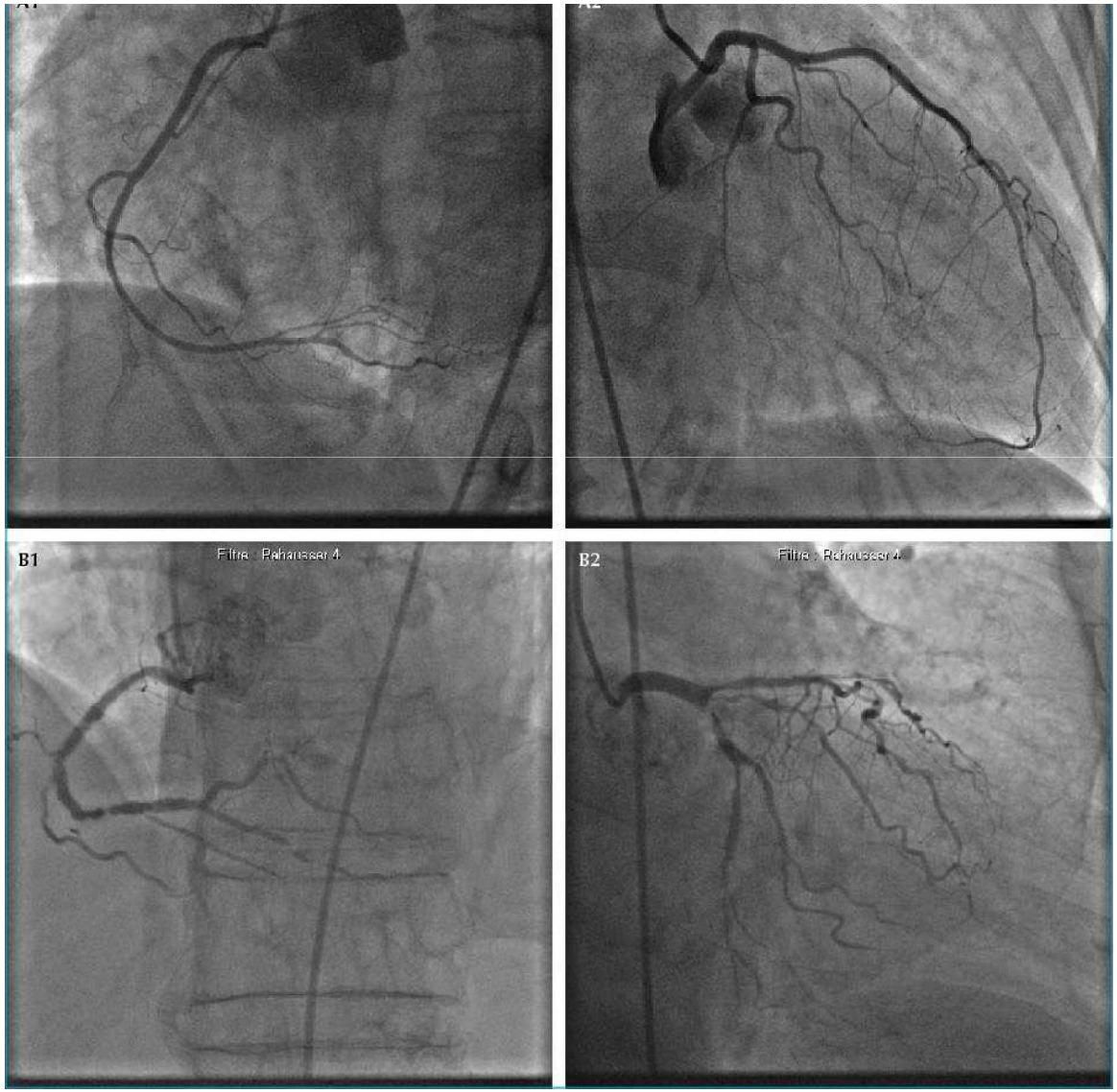
Cathétérisme gauche interventionnel

- Dilatation aortique/mitrale percutanée
- Remplacement valvulaire aortique percutané (TAVI)





Coronarographie

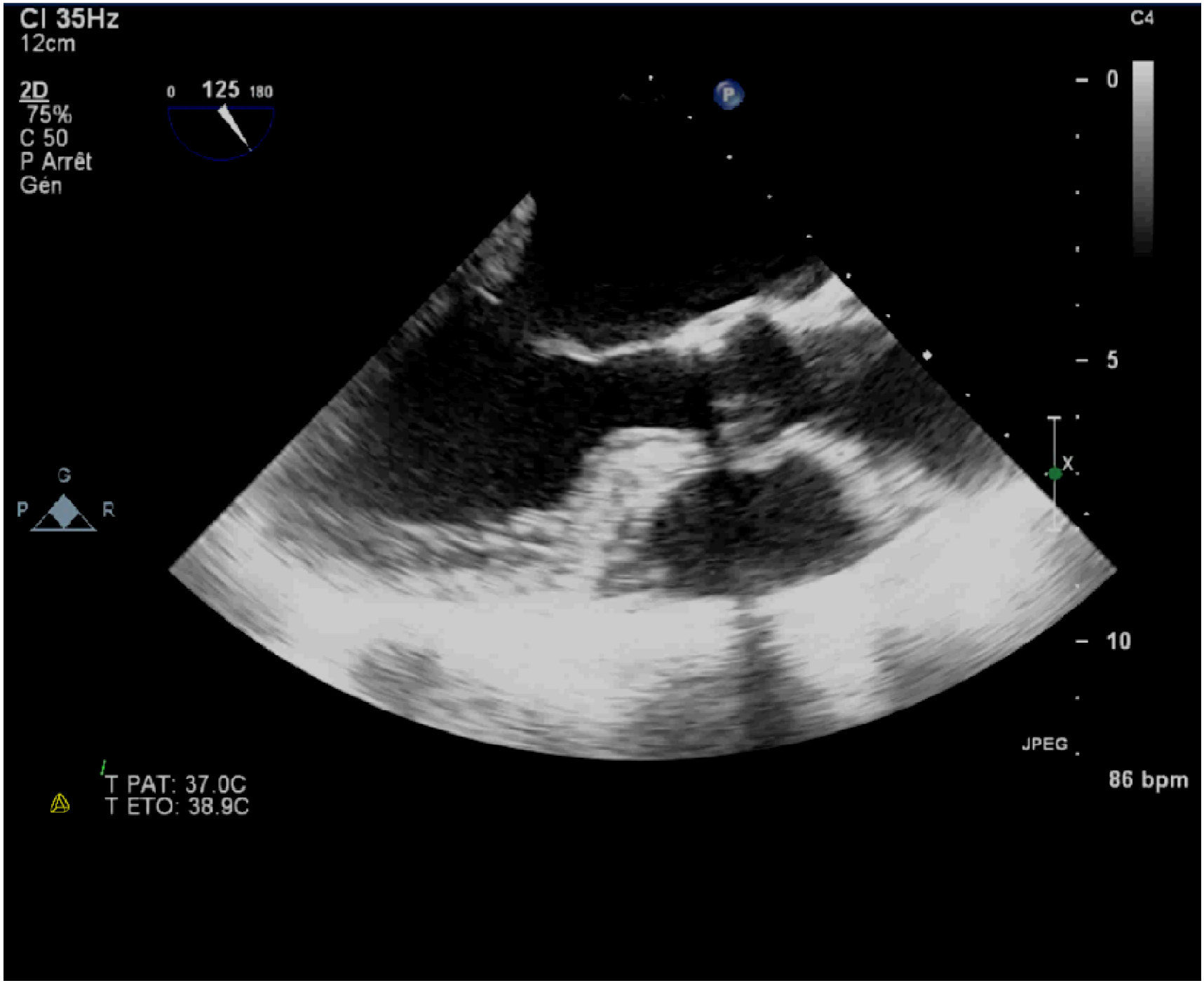


Réseau coronaire normal

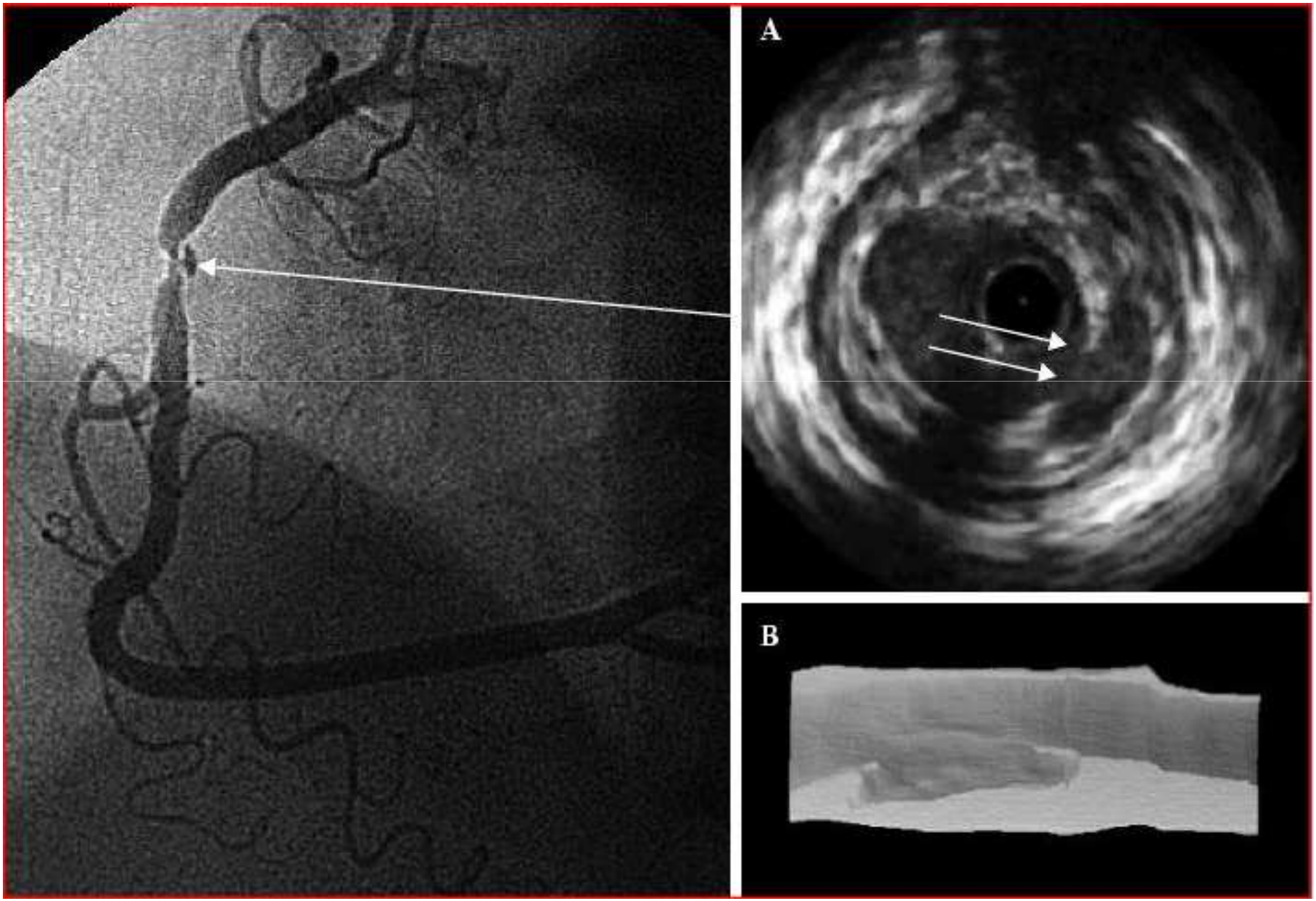
Patient tritronculaire

Echographie et doppler cardiaque

- Ultra-sons et effet doppler
- Transthoracique ou transoesophagien
- Dimensions et volumes cavitaires
- Fonction contractile
- Fonctionnement valvulaire
- Estimation non invasive de l’hémodynamique


CI 35Hz
12cm
2D
75%
C 50
P Arrêt
Gén
0
125
180
C4
0
5
10
G
P
R
X
JPEG
86 bpm
T PAT: 37.0C
T ETO: 38.9C

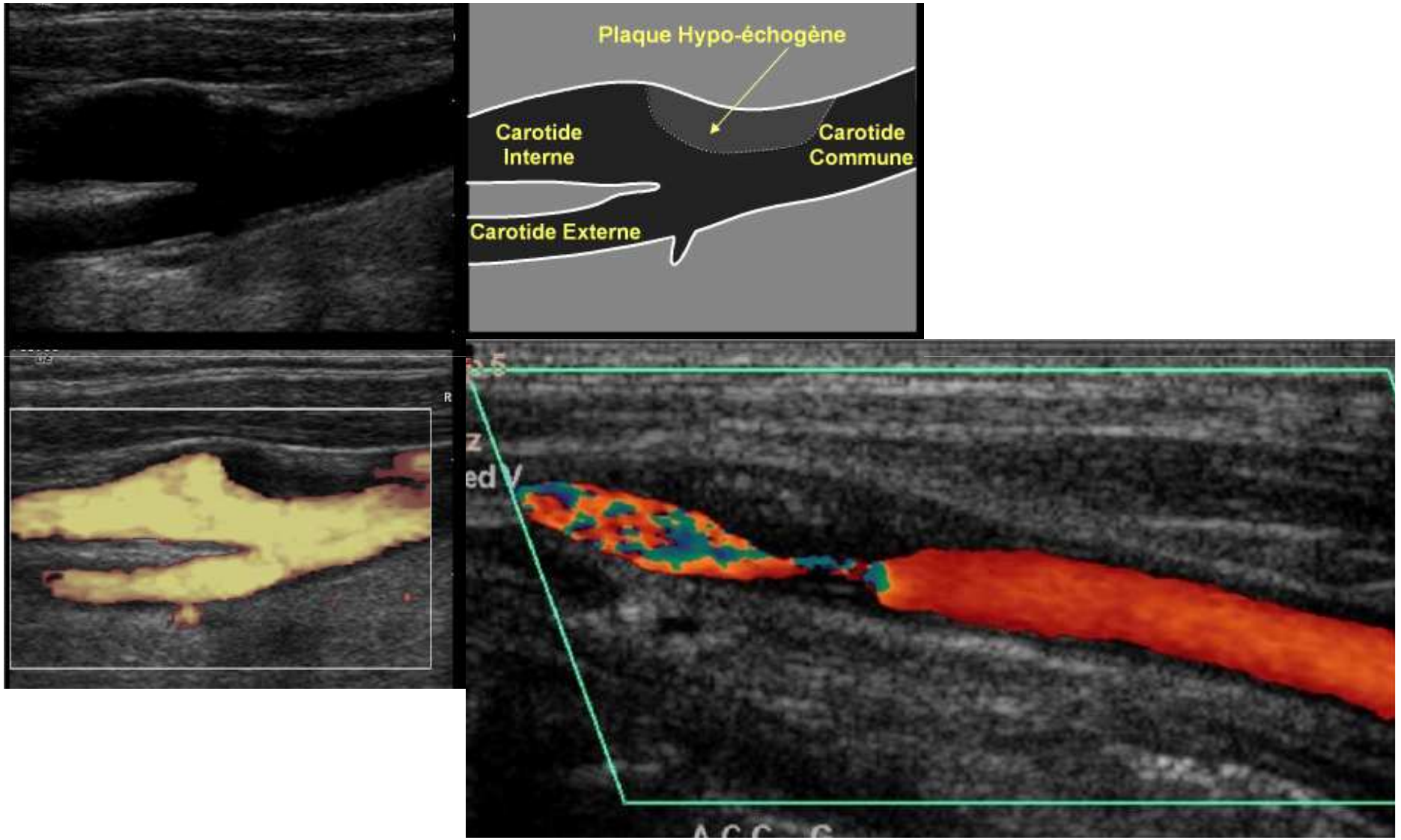
Echographie-doppler endocoronaire



Echographie et Doppler vasculaire

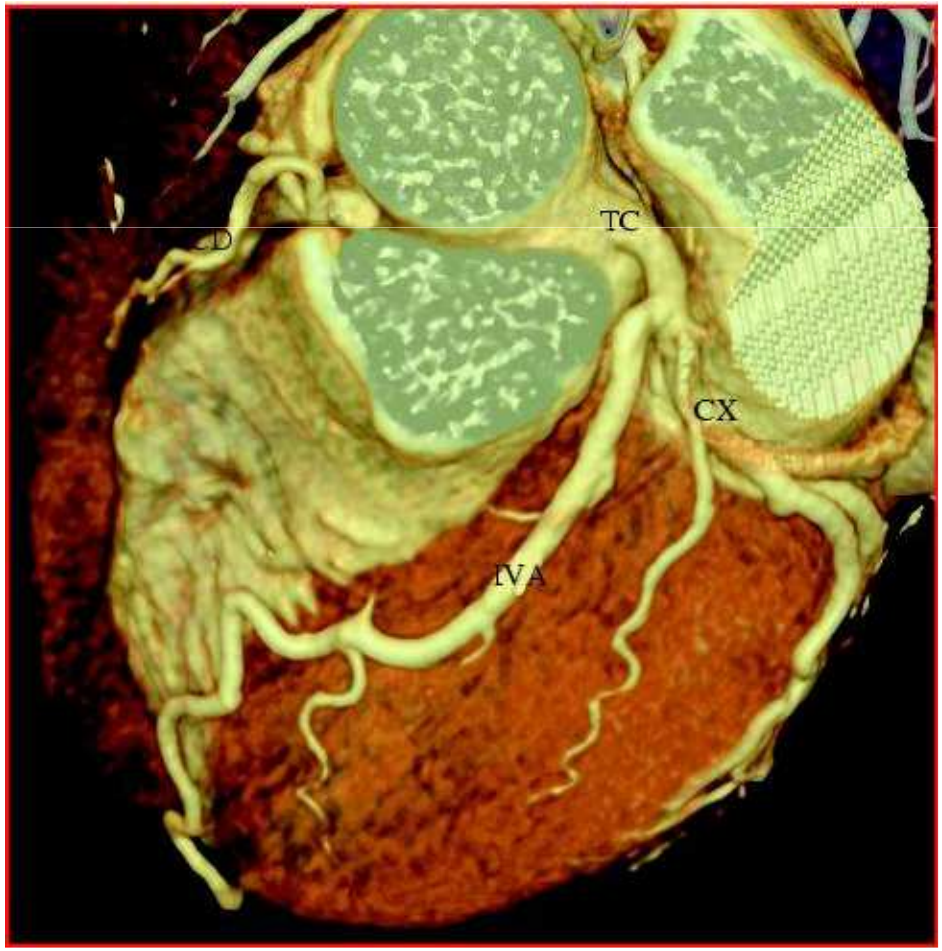
- Exploration des vaisseaux : aorte, digestif, rein, membres, cou
- Artériel : athérome, anévrisme, dissection
- Veineux : thrombus, dilatations

Exemple : plaque d’athérome carotidienne



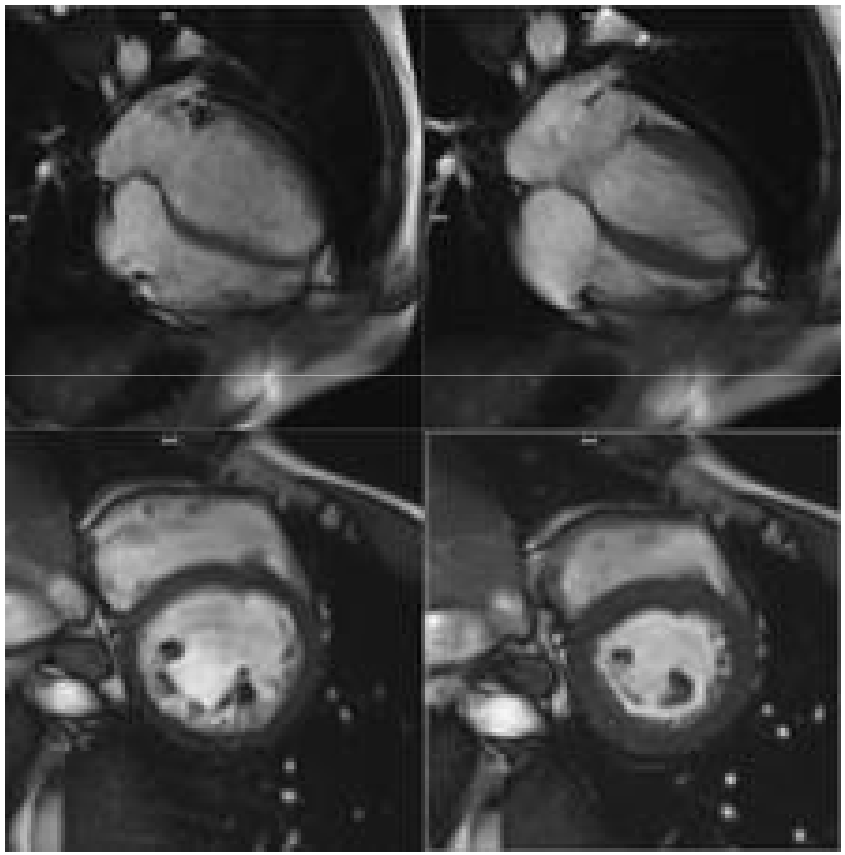
Scanner

- Diagnostic et bilan étiologique de pathologies du cœur droit
- Pathologies aortiques
- Scanner coronaire



IRM cardiaque

- Détection ischémie (stress), **IDM**, **myocardite**
- Mesure volumes et **fonction contractile**
- Bilan **cardiopathies**, valvulopathies et masses



Références bibliographiques

- Physiologie humaine, Sherwood (2è édition)
- Physiologie humaine une approche intégrée, Silverthorn (4è édition)
- Textbook of medical physiology, Guyton & Hall (11th edition)