

LE CŒUR: quelques données

Taille: 12 cm

Poids: 250-350 g

Fréquence: 60-80 batt./min

Batt./jour ~ 100 000

Batt./vie ~ 3 milliards

Vol. éjection (VES) ~ 80 ml/ battement

VE/jour ~ 8 000 litres / jour

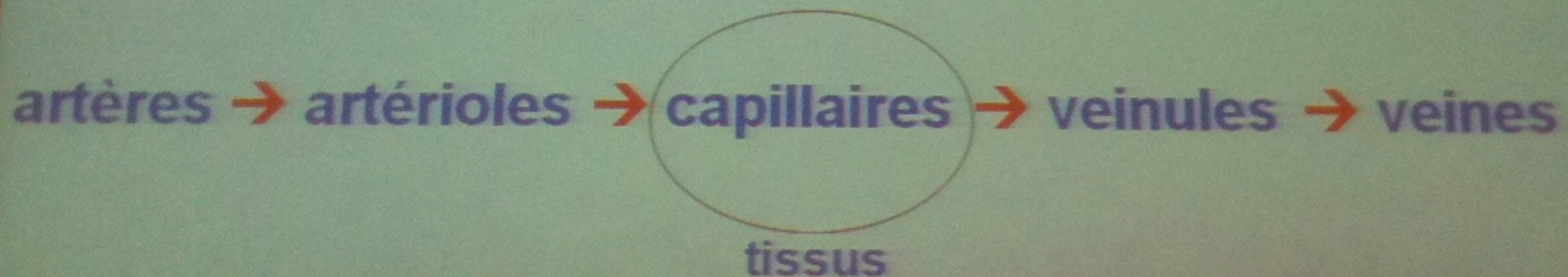
- ↳ Après la ventilation, le sang va véhiculer et apporter à toutes les cellules l' O_2 et les nutriments (AA, AG, vitamines...) indispensables au métabolisme.
- ↳ Il participe au maintien de l'homéostasie (pH ++, sels minéraux, eau).
- ↳ Le sang transporte également les déchets (CO_2 , lactates) rejetés à l'extérieur (poumons, reins et peau).
- ↳ Il répartit à travers tout le corps l'eau et la chaleur.

↳ Le sang véhicule des anticorps qui participent à la protection de l'organisme.

↳ Il transporte les hormones.

etc....

Pour remplir ses différents rôles, l'appareil cardiovasculaire est composé d'une pompe, le **cœur** et d'un ensemble de conduits pour canaliser le sang :



♣ Le cœur est un muscle creux divisé en 2 compartiments indépendants assurant la séparation entre les deux états du sang:

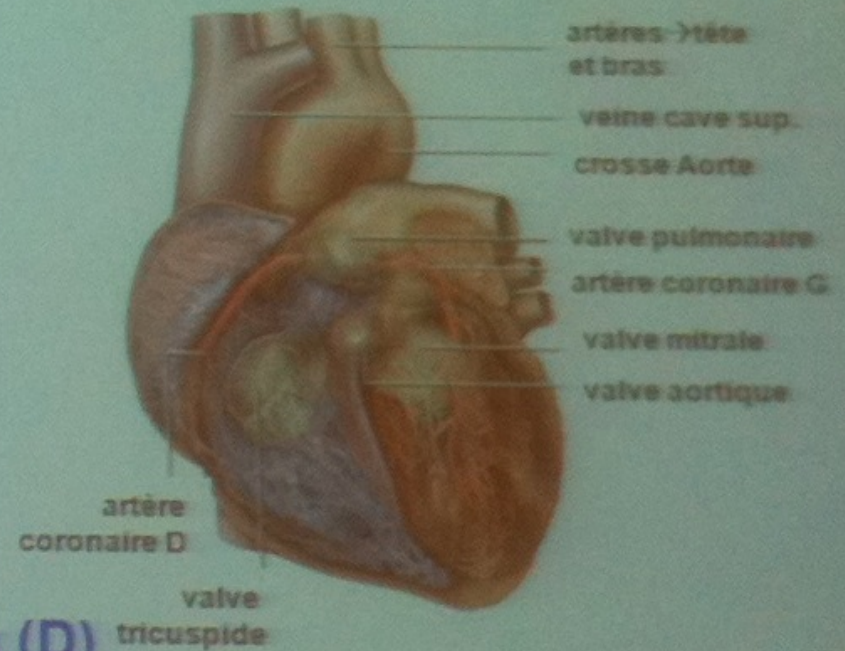
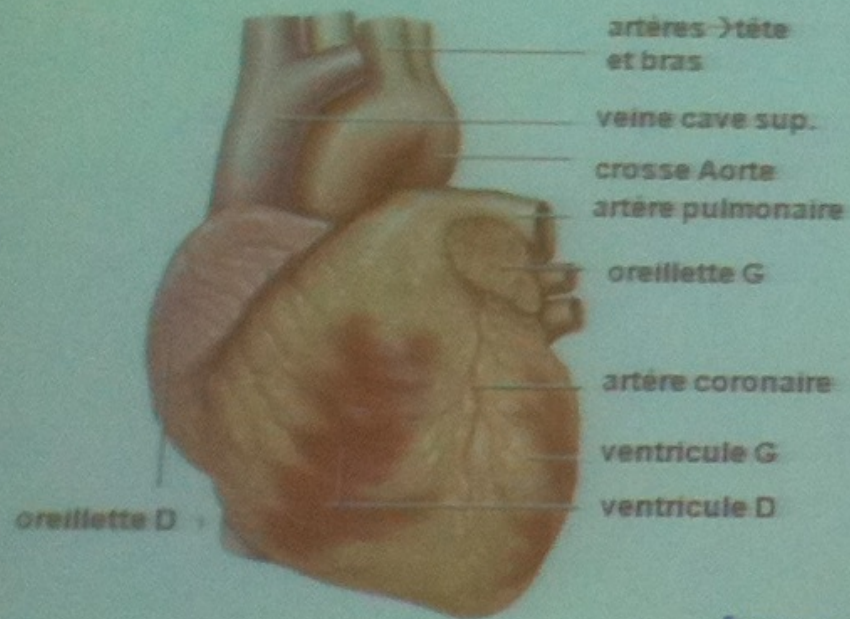
- hématosé (riche en O_2)
- carbonaté (riche en CO_2).

♣ \approx environ 70-80 ml à chaque battement (\approx 5L/min).

♣ Le muscle cardiaque est alimenté par les 2 artères coronaires (base de l'aorte)

↳ Chaque compartiment est lui même divisé en 2 cavités communiquant par une valvule :

- la partie réceptive = oreillette
- la partie motrice = ventricule, à paroi musculaire épaisse.



basse pression (D)
haute pression (G)

Le système cardio-vasculaire ~ 950 Km de vaisseaux sanguins

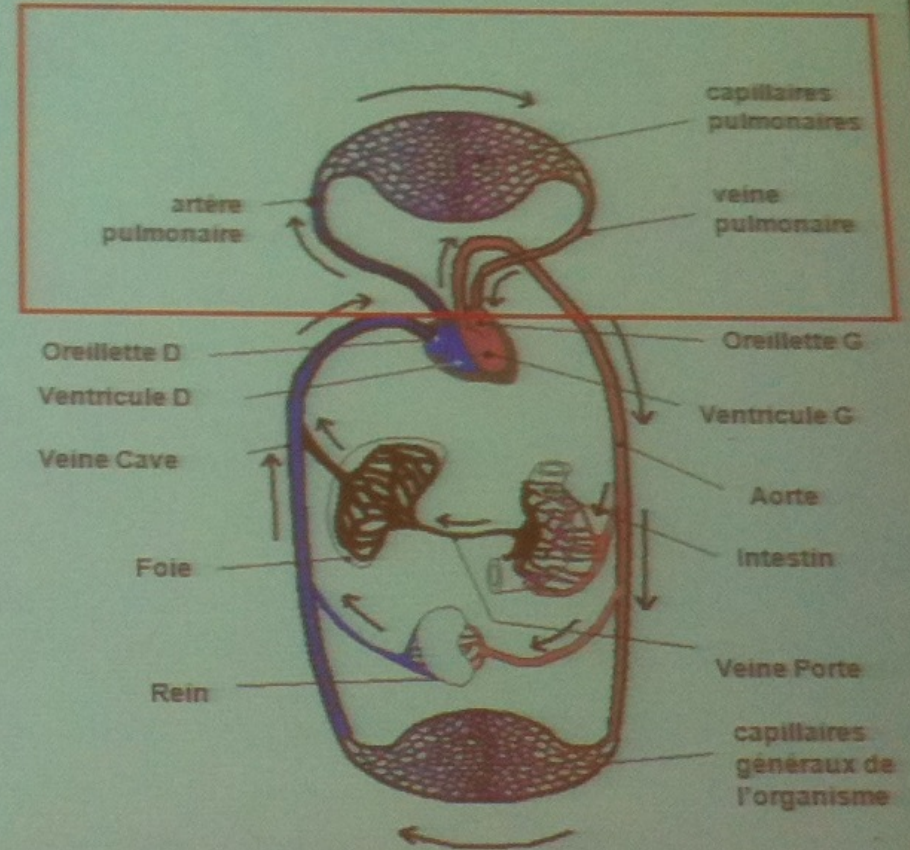
Petite circulation

= circulation pulmonaire, à basse pression

Constituée de:

- **vaisseaux capacitifs**, regroupant les vaisseaux artériels et veineux pulmonaires (qui participent également à la fonction de réservoir).

- **vaisseaux d'échanges**, les capillaires pulmonaires qui ne donnent normalement passage qu'aux gaz respiratoires.



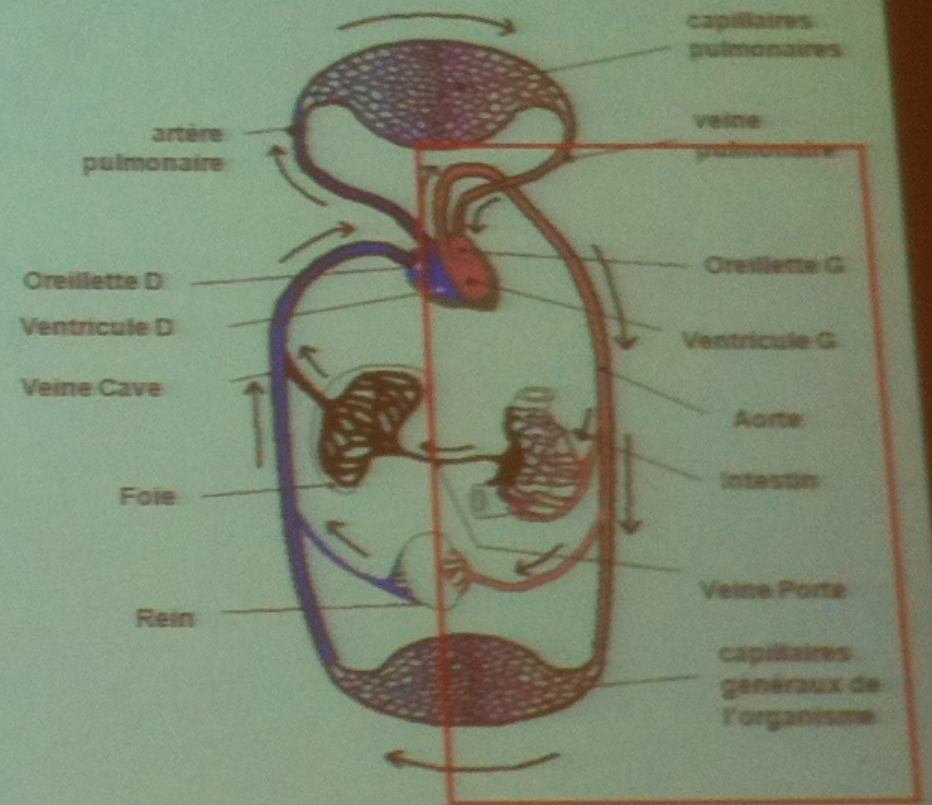
Grande circulation

-système d'alimentation, à haute pression : (sortie du ventricule G à $\approx 120/80$ mm Hg)

🐍 *Aorte et grosses artères = Vx élastiques: réservoir à haute pression*

🐍 *Vaisseaux résistifs précapillaires, petites artères et artérioles (vaisseaux de distribution) dans lesquelles la pression hémodynamique chute brutalement.*

🐍 *Capillaires*



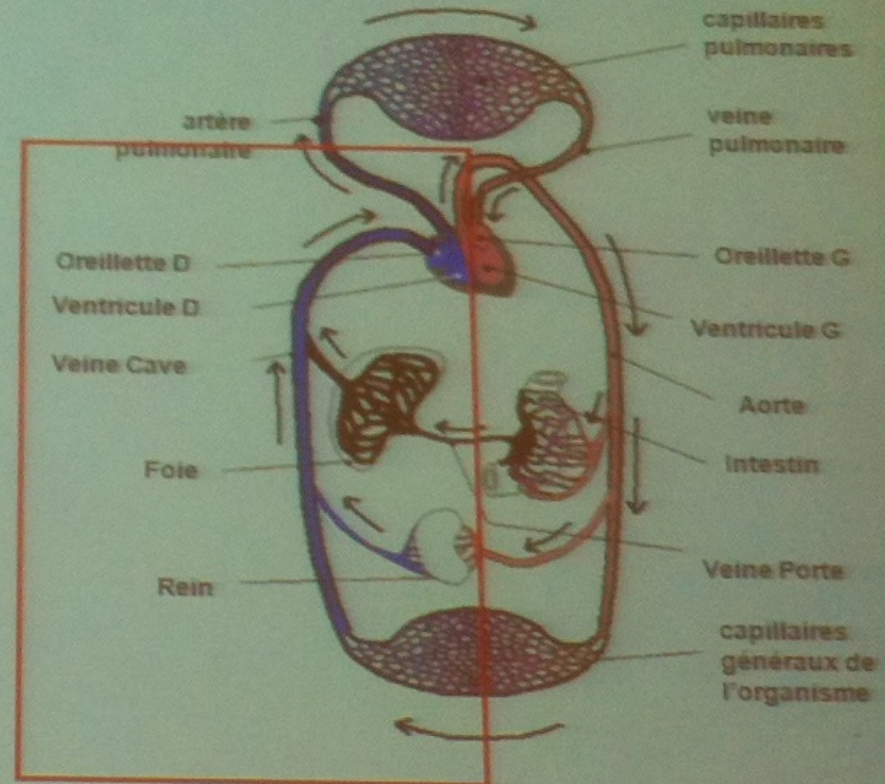
Grande circulation

-système de retour, à basse pression :
circul. veineuse et lymphatique = 80% du volume sanguin de la grande circulation

↳ Capillaires

↳ **Vaisseaux résistifs** *post-capillaires*, les veinules, dont les modifications de calibre influencent largement l'importance des échanges capillaires.

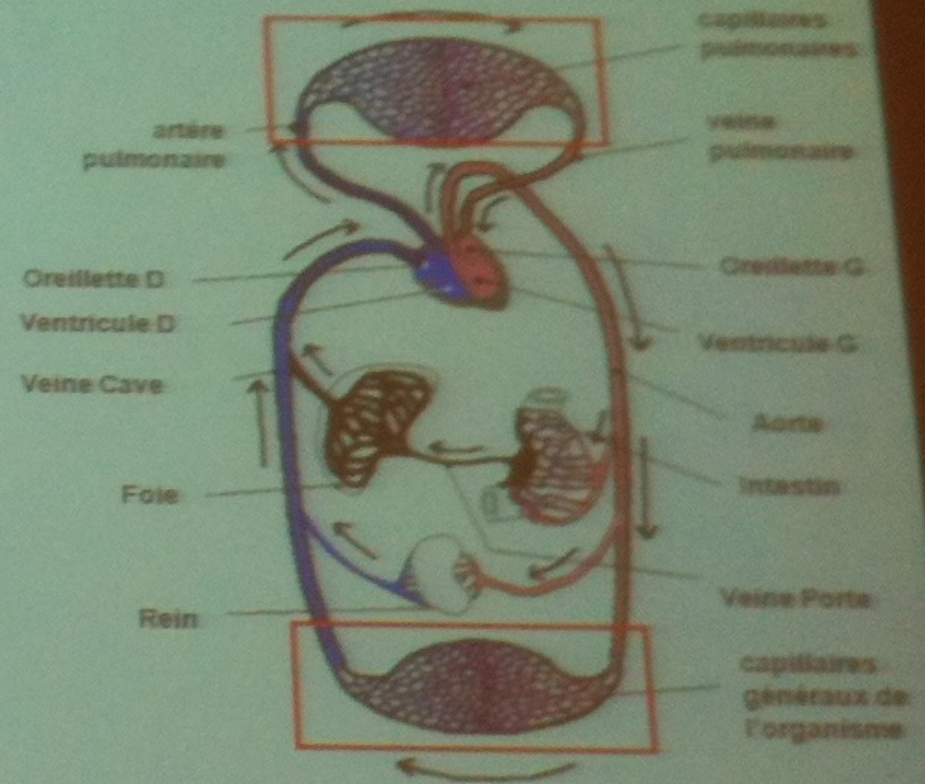
↳ **Vaisseaux capacitifs**, les veines systémiques, dont la capacité est importante et variable selon les circonstances hémodynamiques. Elles ont une fonction de réservoir de sang.



zones d'échange entre secteur vasculaire et secteur interstitiel

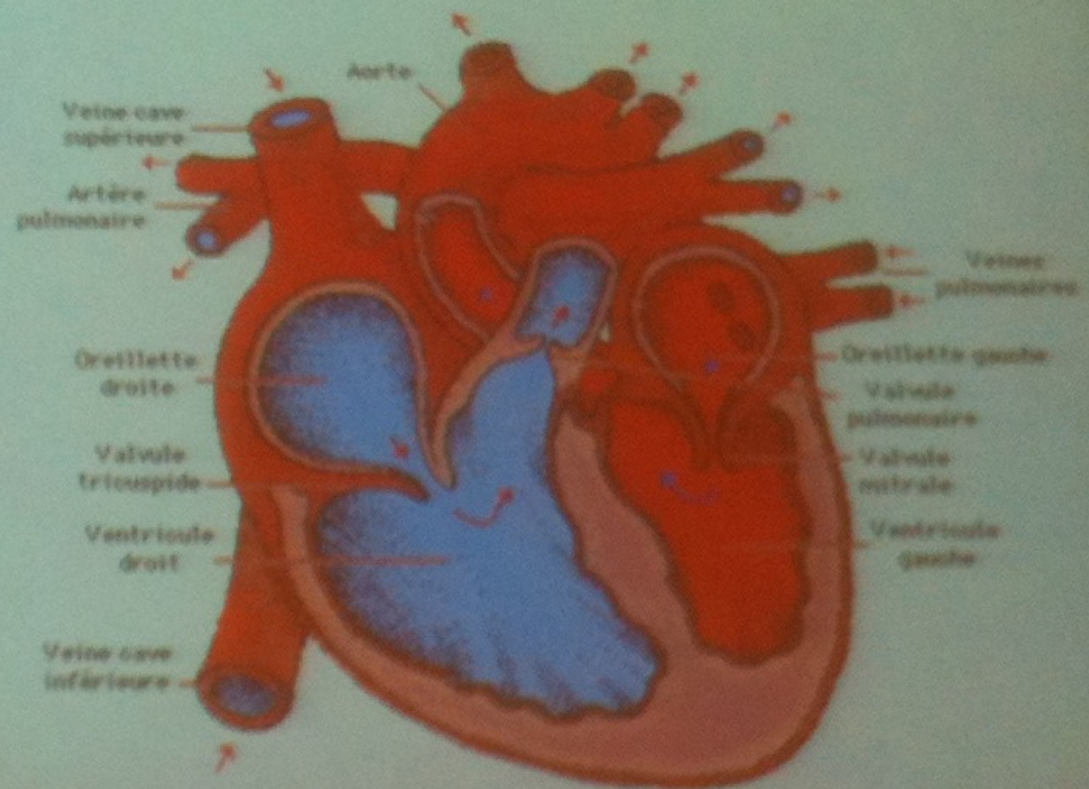
Sang - milieu extérieur : capillaires pulmonaires, splanchniques et rénaux

Sang - milieu intérieur : capillaires systémiques



Le cœur est constitué de deux ensembles analogues juxtaposés: le **cœur D** et le **cœur G**

Il est constitué de fibres **myocardiques** = muscle squelettique involontaire capable de se contracter rythmiquement de façon spontanée.

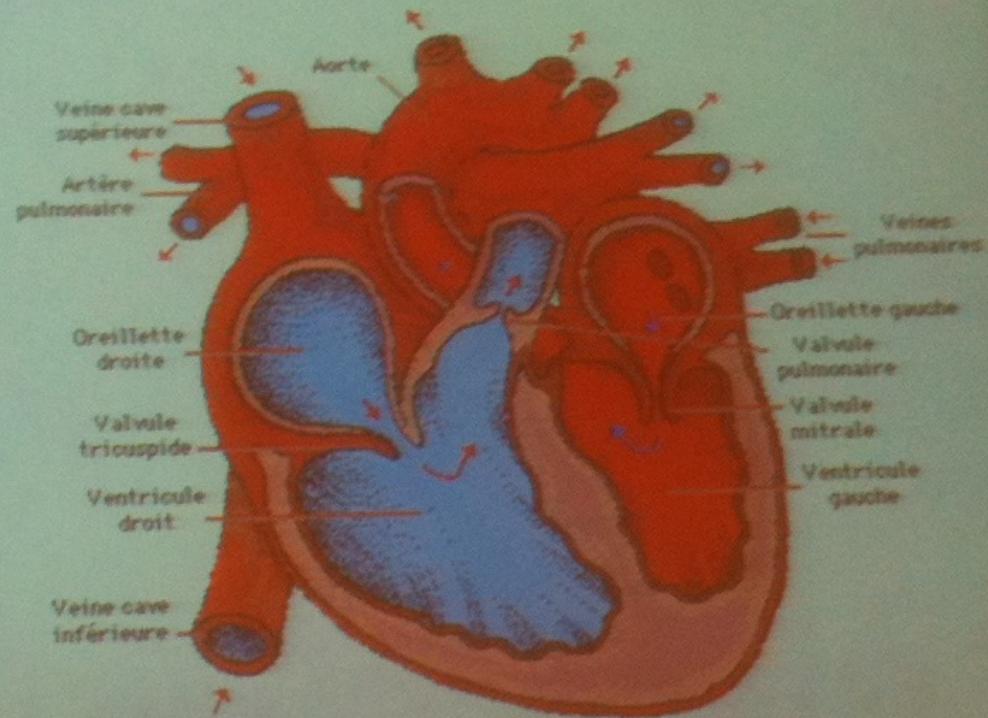


Les battements cardiaques et leur rythme sont déterminés par l'activité intrinsèque des **cardiomyocytes** du noeud sino-auriculaire.

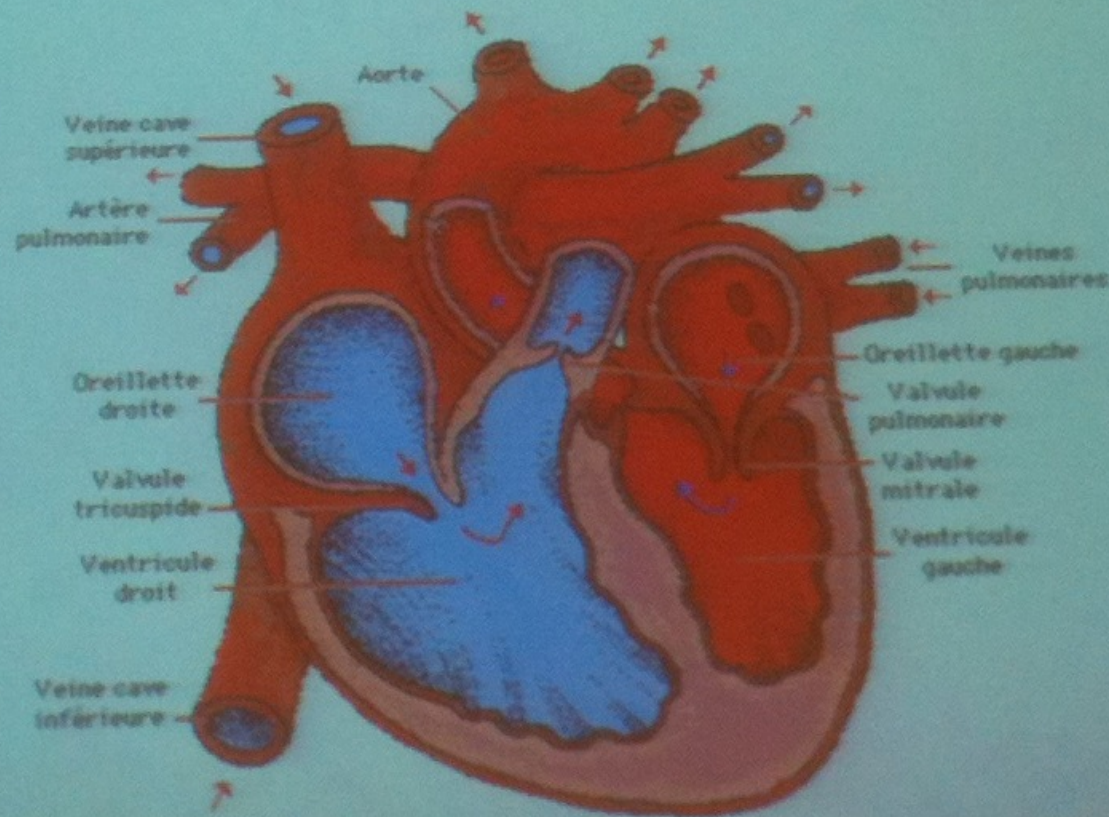
Les cardiomyocytes sont spontanément excitables ; leurs dépolarisation et repolarisation rythmiques sont indépendantes du système nerveux.

Le SNV exerce toutefois une influence sur le rythme des contractions :

le para Σ (ACh) ralentit le cœur
- le Σ (norAd) l'accélère

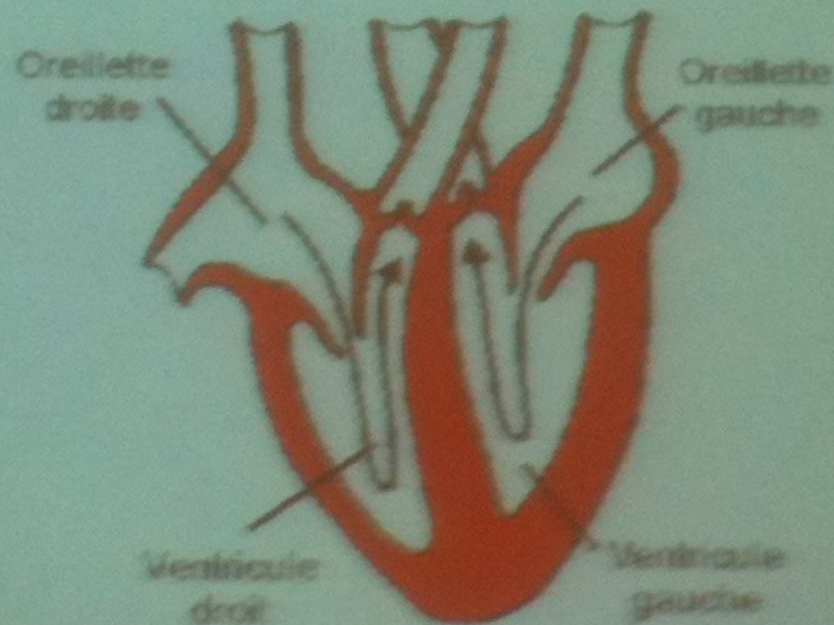


Présence d'un squelette fibreux: les **valvules**
= 4 anneaux solidaires qui délimitent les orifices
auriculo-ventriculaires et artériels



Le sang passe des oreillettes aux ventricules, mais pas l'inverse

Le sang passe des ventricules aux artères, mais pas l'inverse



Valvules
tricuspide D
et mitrale G
(bicuspide)

Valvules
sigmoides
(aortique G et
pulmonaire D)

Les cavités et les valves sont tapissées par un endothélium, l'**endocarde** qui continue celui qui recouvre l'intérieur des vaisseaux sanguins.

La surface externe du cœur est recouverte par une membrane à deux feuillets :

l'un, l'**épicarde**, colle au muscle cardiaque;
l'autre, le **péricarde**, remontant à la racine des vaisseaux de la base;

Entre les deux: couche de liquide d'environ 10 à 15 ml.

Ces feuillets péricardiques facilitent les mouvements de la masse cardiaque au cours de son cycle (site de pathologies).

LES OREILLETES

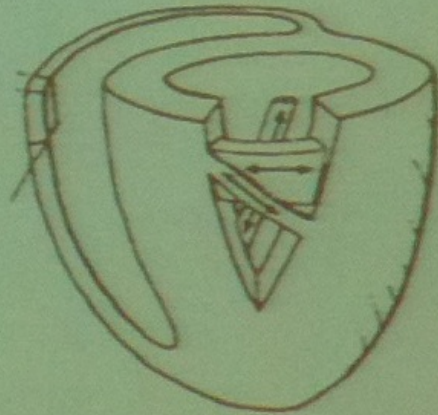
Paroi mince et flasque, structure lâche et peu ordonnée

- Rôles :
- réservoir
 - hémodynamique
 - excitation cardiaque : tissu nodal
 - régulation circulatoire : volorécepteurs, centres bulbaires, aldostérone et vasopressine
 - sécrétion Facteur Atrial Natriurétique

VENTRICULES

VG: cône avec section transversale circulaire, contraction puissante à la manière d'un piston

VD: pyramide avec section transversale en forme de croissant, contraction à la manière d'un soufflet



Rôle: Ejection du sang dans l'appareil circulatoire

VENTRICULES

- Fibres myocardiques réparties en 3 couches
- Epaisseur VG $>$ 3 x épaisseur VD
- Volume télédiastolique 150ml

- Dynamique de la contraction ventriculaire: \searrow de toutes les dimensions des cavités ventriculaires (++ diamètres transversaux)

- Le VG participe à l'éjection du sang du VD

SYSTEMES VALVULAIRES

double système:

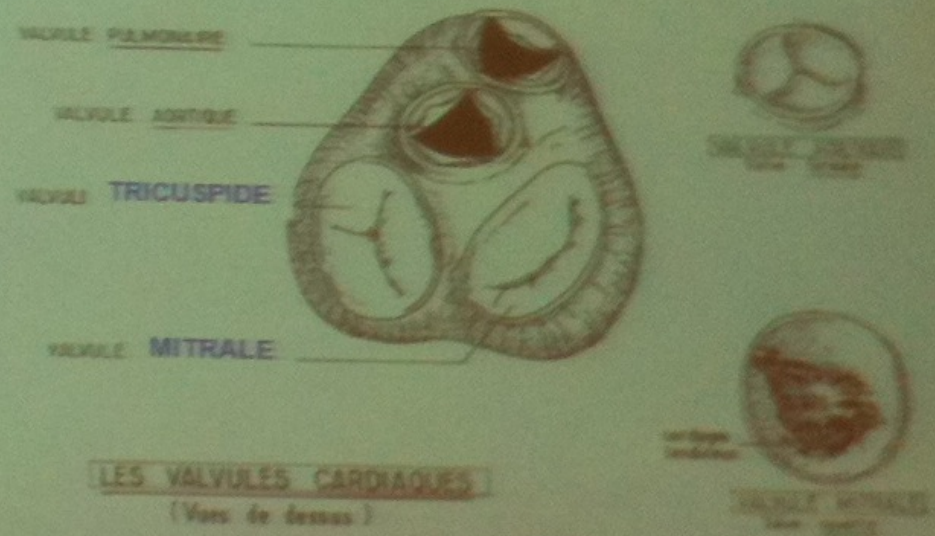
entrée : mitrale (gauche) / tricuspide (droit)

sortie : sigmoïdes aortiques et pulmonaires

tissu fibreux

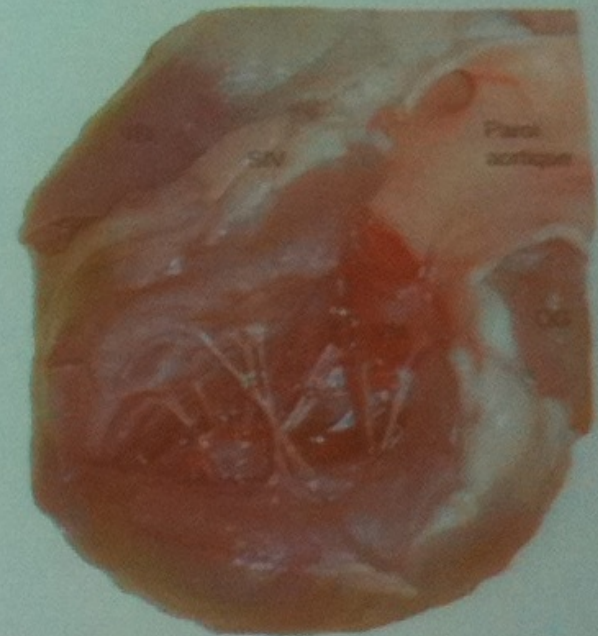
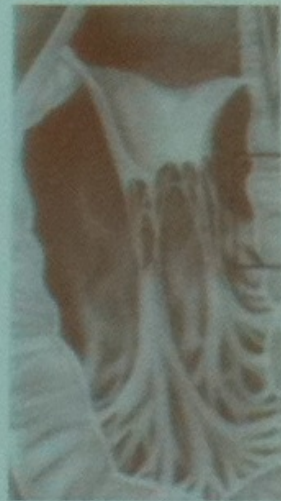
ouvertes : pas de
résistance à l'écoulement
du sang

fermées : étanches



Valvules auriculo-ventriculaires mitrale et tricuspide

importance de l'appareil sous-valvulaire :
les cordages insérés sur les piliers du cœur sous-tendent
les valves



Valvules sigmoïdes: aortique et pulmonaire

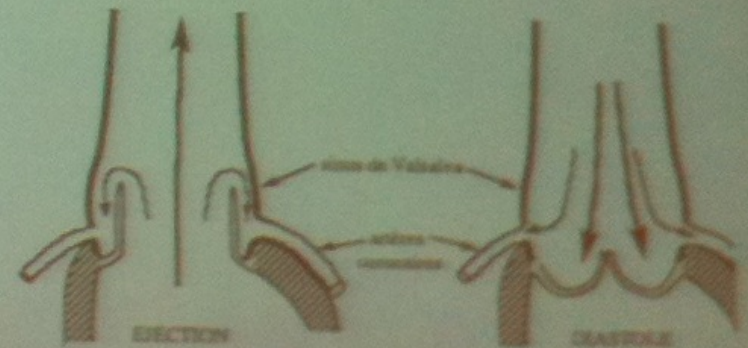
Pas de cordage

3 valvules en nid de pigeon



Pendant l'éjection ventriculaire, valvules non plaquées contre la paroi aortique, en raison de la morphologie aortique (sinus de Valsalva). Donc pas d'occlusion coronaires

A la fin de l'éjection :
pression artérielle > pression V →
fermeture des valvules



FONCTIONNEMENT DES APPAREILS VALVULAIRES

Valves auriculo-ventriculaires

- Diastole

valves non plaquées contre les parois ventriculaires
car tension exercée par cordages

Tourbillon derrière leur face ventriculaire

- Fin systole auriculaire

Inversion gradient de pression auriculoventriculaire
donc début d'affrontement des valves

Valves sigmoïdiennes

Ouverture au début de la phase d'éjection ventriculaire
lorsque $PV > P$ aortique et pulmonaire

LES ARTERES CORONAIRES

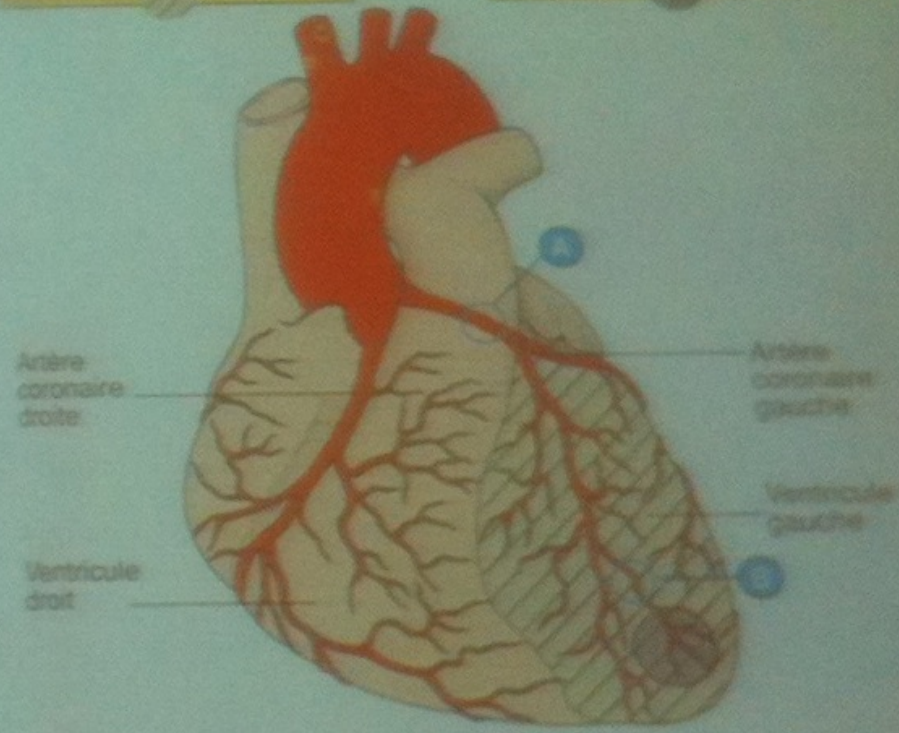
- En diastole



- 10% du débit total
- Ischémie: angor → IDM

Région du myocarde privée d'apport de sang en cas d'occlusion de l'artère coronaire gauche en A

Région du myocarde privée d'apport de sang en cas d'occlusion de l'artère coronaire gauche en B



Etendue des lésions du myocarde selon la taille de l'artère coronaire occluse

La circulation coronaire

C'est une circulation locale, intramurale

Particularités de la circulation coronaire

Extraction physiologique de 80 % d' O₂

Capacité particulière d'augmenter le débit selon les besoins:

- diminution locale de pO₂
- augmentation de la concentration d'acide lactique
- augmentation de la concentration d'adénosine

ANATOMIE MICROSCOPIQUE

Le cœur a une activité mécanique qui est commandée électriquement.

Myocarde commun

Fibres musculaires striées particulières:

- Membrane avec nombreux tubules T
- Cytoplasme riche en mitochondries (→ énergie) et myofibrilles
- Réticulum sarcoplasmique avec citernes

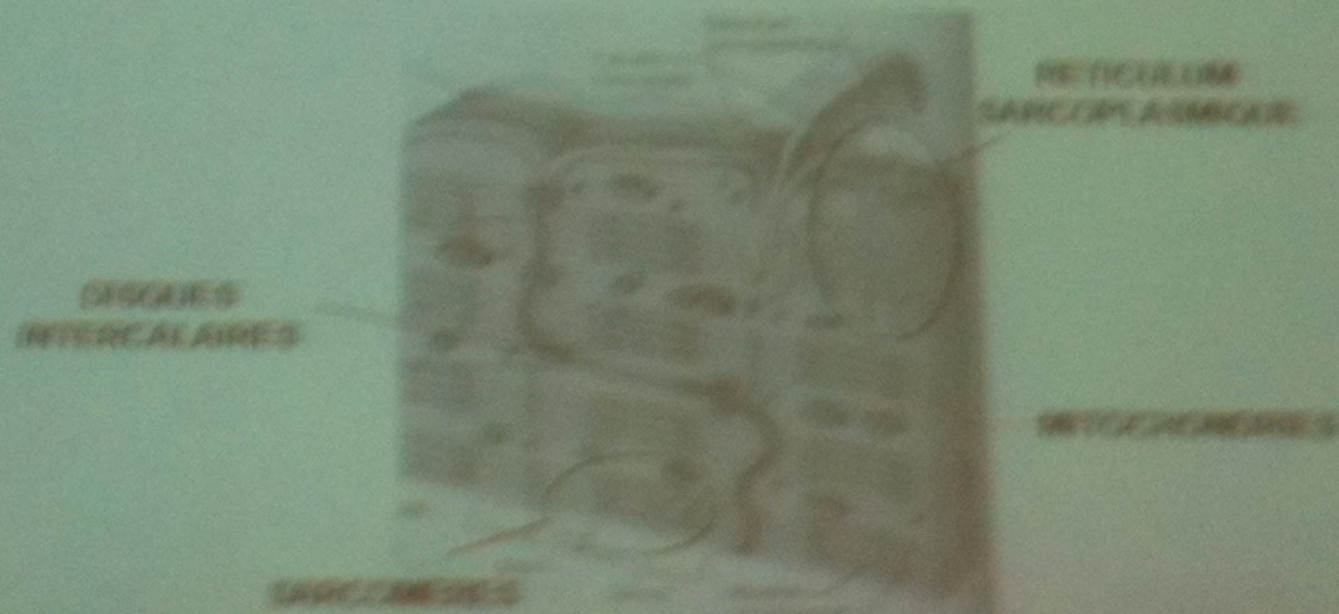


DISQUES
INTERCALAIRES

Myocarde commun

Fibres musculaires striées ramifiées et anastomosées à leurs extrémités : disques intercalaires (nexus)

Rôles: cohésion mécanique des fibres entre elles
transmission de l'excitation par les nexus



Tissu nodal

Cellules très pauvres en myofibrilles et très riches en nexus

- petites cellules fusiformes groupées en amas:
nœud sinusal (paroi post. oreillette D), nœud auriculo-ventriculaire (partie sup. Interventriculaire).
- cellules de gros diamètre: faisceau de His (qui se divise en 2 branches → ventricule D et G) et réseau de Purkinje (sous-endocardique)

Dépolarisation spontanée
donc automatisme cardiaque

Quelques définitions

Systole : contraction du muscle cardiaque

Diastole : relachement du muscle cardiaque

Volume d'éjection systolique (VES) : Volume de sang éjecté par les ventricules à chaque contraction (~80-100 ml)

Volume télédiastolique (VTD) : Volume de sang contenu dans les ventricules juste avant la systole ventriculaire (~ 150 ml) = *volume précharge*

Volume télésystolique (VTS) : Volume de sang contenu dans les ventricules à la fin de chaque systole (~ 60 ml) = *volume postcharge*

$$\text{VES} = \text{VTD} - \text{VTS}$$

Quelques définitions

Fréquence cardiaque (Fc) : nombre de contractions ventriculaires par unité de temps.

Exprimée en battements par minute bats/min (moyenne = 60 - 70 bats/min).

• **Fc max** = variable suivant les individus, elle diminue progressivement avec l'âge et avec l'entraînement.
= $220 - \text{âge}$

Quelques définitions

Effet chronotrope = Fréquence

Effet inotrope = Force de contraction

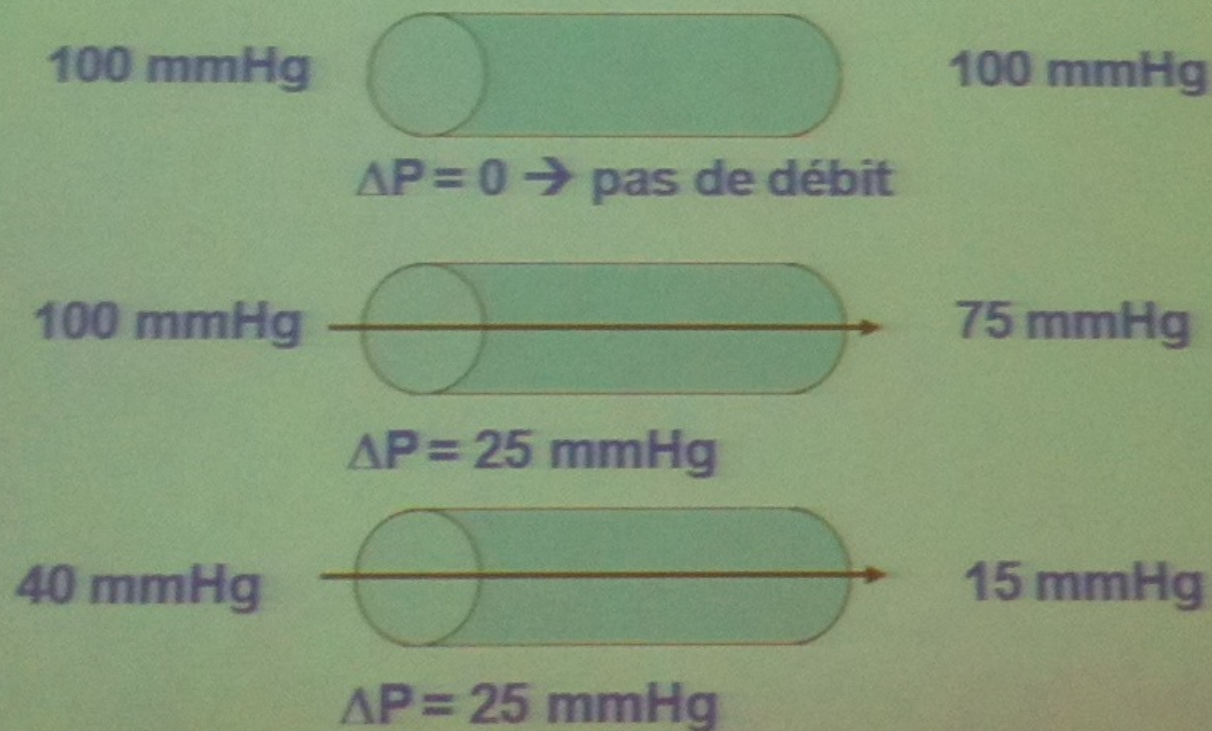
Effet dromotrope = Vitesse de conduction

Effet bathmotrope = Excitabilité

Effet tonotrope = Distensibilité

Qu'est ce qui fait couler le sang?

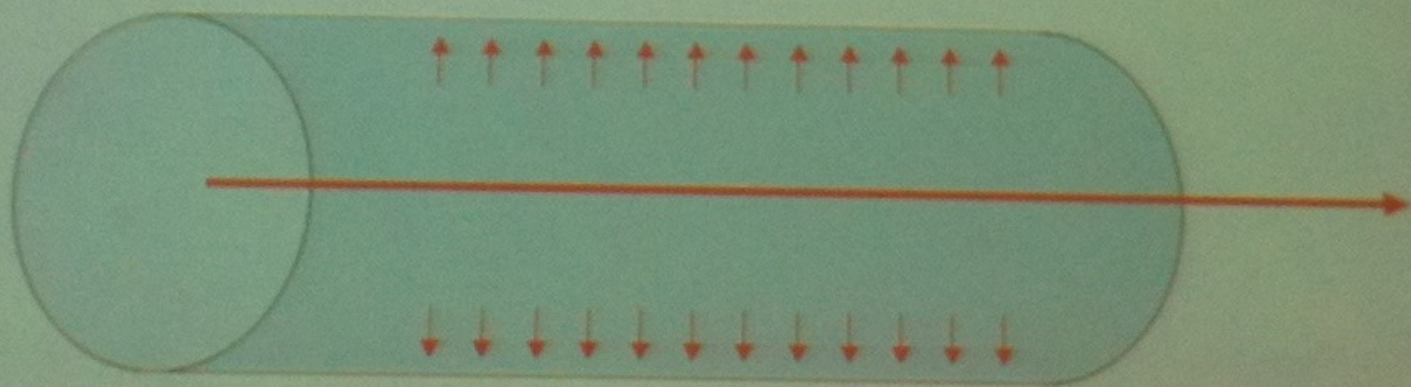
Les fluides (liquides ou gazeux) s'écoulent sous l'effet mécanique d'une différence de pression depuis la zone où la pression est la + haute vers celle où elle est la + basse.



Pression

La pression exercée par un fluide en mouvement a 2 composantes:

- L'une dynamique qui correspond à l'énergie cinétique du système
- L'autre, latérale, qui correspond à la force exercée par le fluide sur les parois de son conteneur (vaisseaux)



Chez l'homme, la haute pression est créée dans les cavités du cœur quand il se contracte → le sang sort du cœur vers le circuit fermé des vaisseaux sanguins (où la pression diminue).

Le sang est propulsé dans la grande circulation grâce aux pressions développées par le VG.

Puis, baisse progressive lors de sa progression de l'aorte vers la périphérie, secondaire à la résistance des Vx à l'écoulement du sang.

C'est dans l'aorte et les grosses artères systémiques que la pression est la + haute et dans les veines caves qu'elle est la + basse.

La vitesse de propagation de l'onde pulsatile de pression artérielle (= une onde de choc correspondant à un transfert d'énergie) est bcp + rapide que la vitesse d'écoulement qui correspond à un transfert de matière (le sang).

La transmission de l'onde de pression est d'autant plus rapide que la compliance artérielle est faible ;

La compliance/distensibilité artérielle = capacité des artères à se laisser distendre sous l'effet d'une pression.

L'altération de la rigidité artérielle → facteur de risque majeur au développement des maladies cardiovasculaires.

Résistance

C'est l'ensemble des frottements avec les parois des vaisseaux et entre les éléments du sang.

Dans la circulation, le sang coule de façon préférentielle vers les régions de faible résistance

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

L: longueur; η : viscosité; r: rayon

Facteur important: le rayon du vaisseau

Résistance

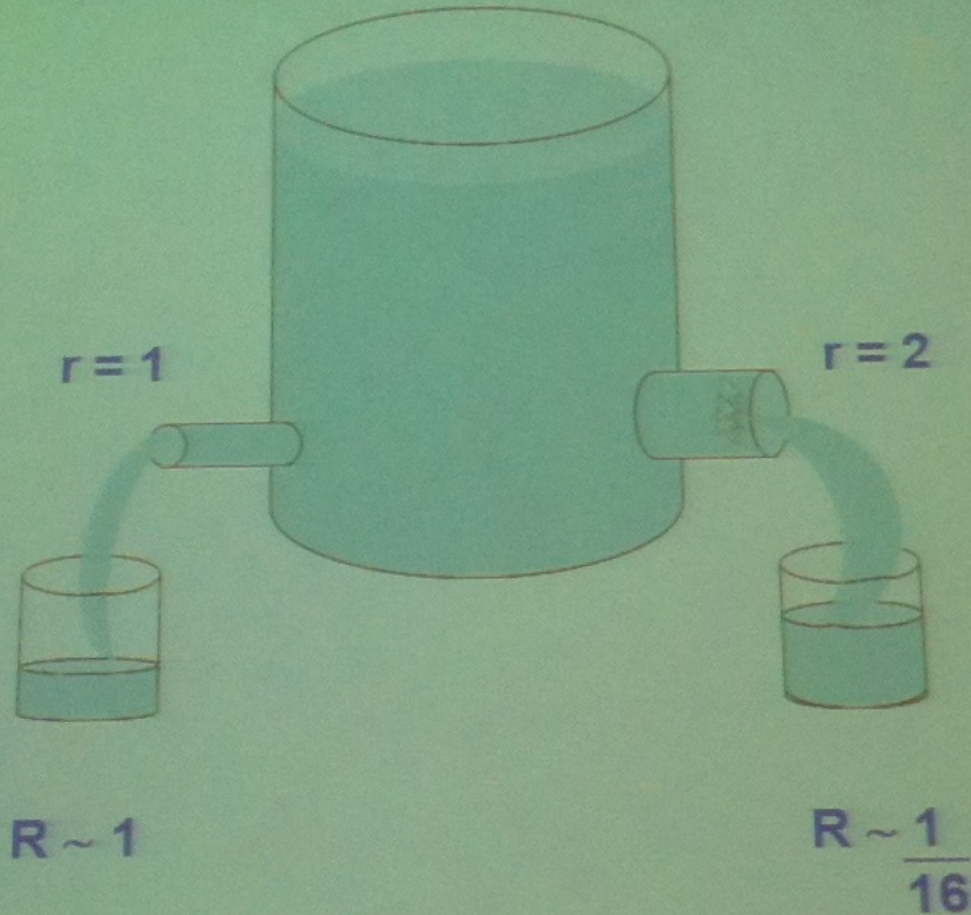
C'est l'ensemble des frottements avec les parois des vaisseaux et entre les éléments du sang.

Dans la circulation, le sang coule de façon préférentielle vers les régions de faible résistance

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

L: longueur; η : viscosité; r: rayon

Facteur important: le rayon du vaisseau



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

$$R \sim 1 / r^4$$

$r=1$

$r=2$

$$R \sim 1$$

$$R \sim \frac{1}{16}$$

ex: la résistance est divisée par 16 quand le rayon est x par 2 (et inversement)

Débit

$$\text{Débit} \sim \Delta P / R$$

Le débit dans un vaisseau est inversement proportionnel à la résistance.

Donc quand la résistance \nearrow , le débit \searrow et vice versa.

Dans le cas de débit continu, la résistance des parois vasculaires est la seule force qui s'oppose au débit.

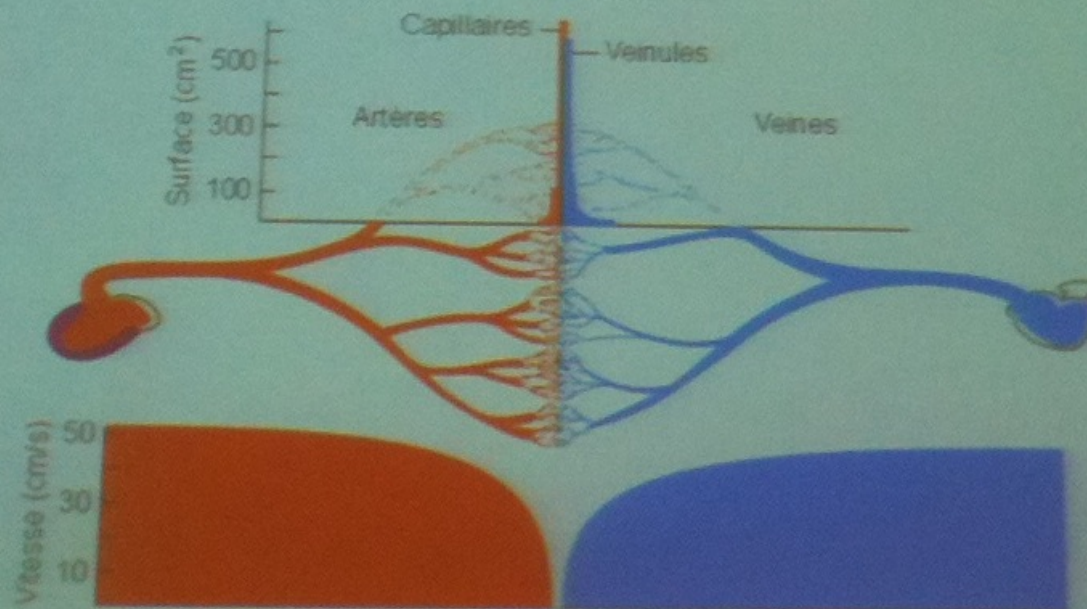
Dans le cas d'un débit pulsatile, la résistance est représentée par l'association:

- frottement contre la paroi vasculaire,
- l'élastance de la paroi
- l'inertie sanguine.

La vitesse circulatoire

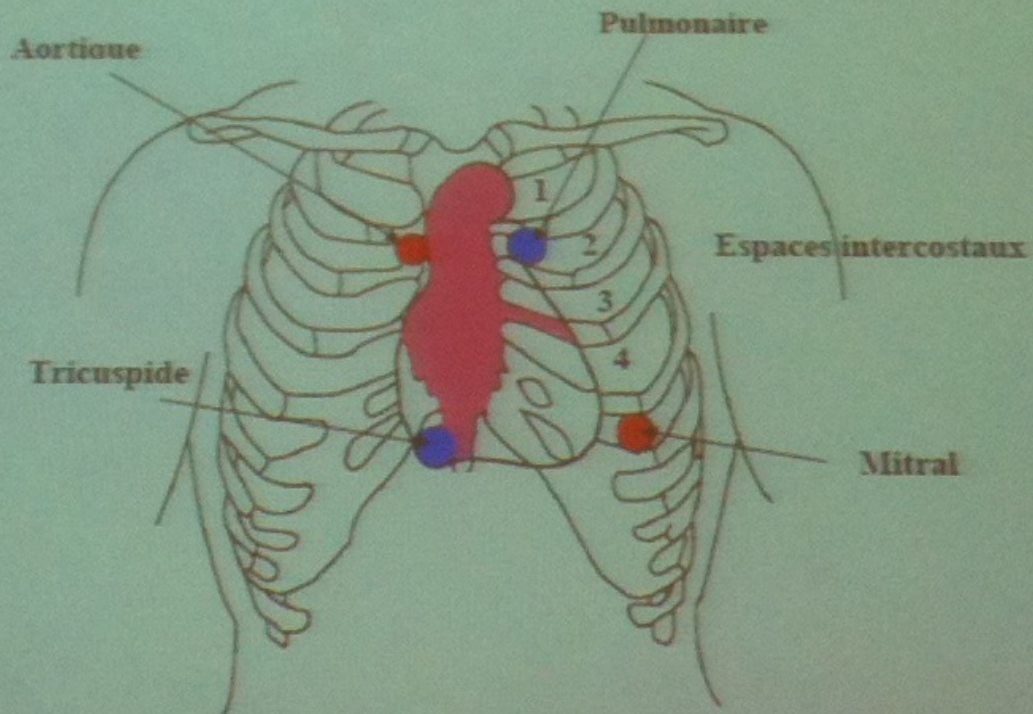
à débit sanguin stable, elle dépend de la largeur du lit vasculaire

- aorte : \varnothing 2.5 cm, vitesse moyenne 50-60 cm/sec (surface de section $\sim 5 \text{ cm}^2$)
- capillaires : \varnothing 500 μ , vitesse 0.5mm/sec (surface de section $\sim 3500 \text{ cm}^2$)



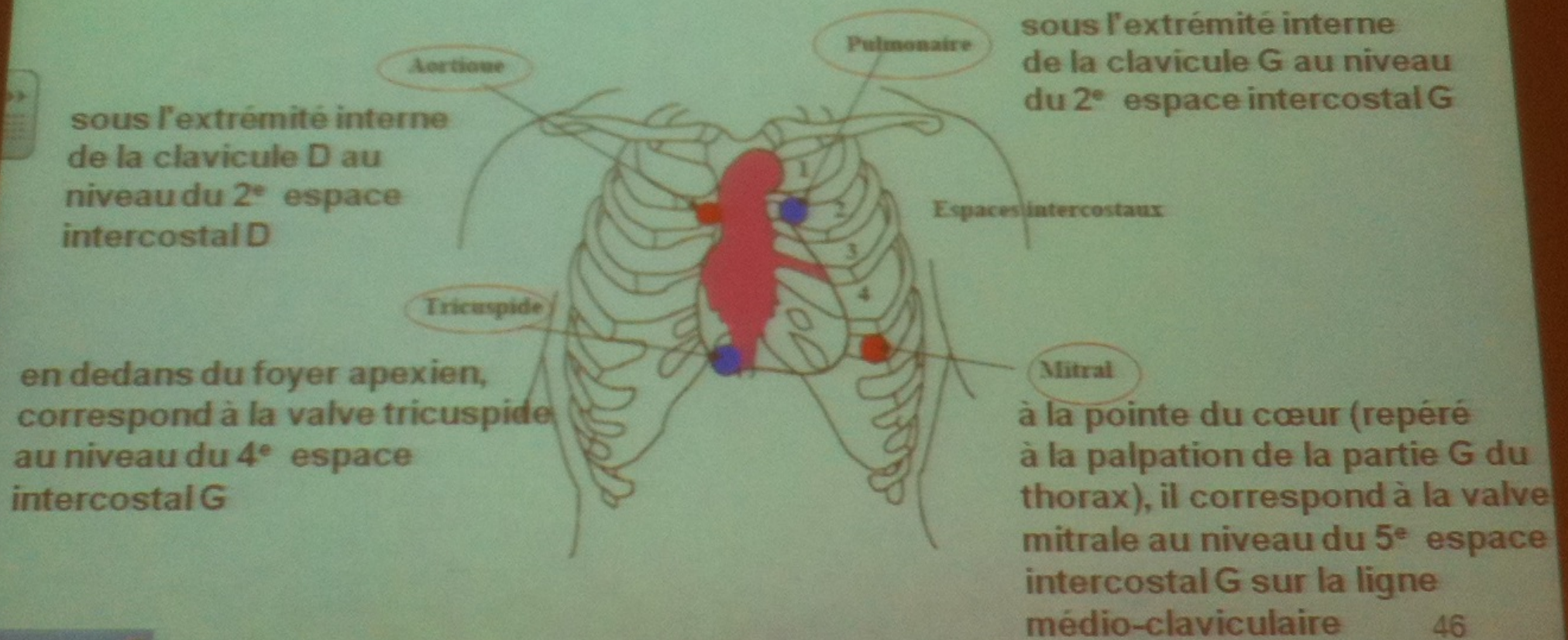
Auscultation : Laennec; stéthoscope biauriculaire
4 foyers principaux

Phonocardiographie : enregistrement des BDC par
microphone au contact de la peau



Auscultation : Laennec; stéthoscope biauriculaire
4 foyers principaux

Phonocardiographie : enregistrement des BDC par microphone au contact de la peau



Les bruits du coeur sont produits par les vibrations provoquées par les accélérations et décélérations de la colonne sanguine sous l'effet de la contraction du myocarde et des mouvements valvulaires

Transmis par les tissus jusqu'à la surface thoracique

Amortis par le parenchyme pulmonaire

Perçus dans les zones où coeur est en contact avec paroi (directement ou via tissus denses du médiastin)

Bruits du cœur normaux

Premier bruit B1

Correspond à la contraction du myocarde au début de la systole ventriculaire

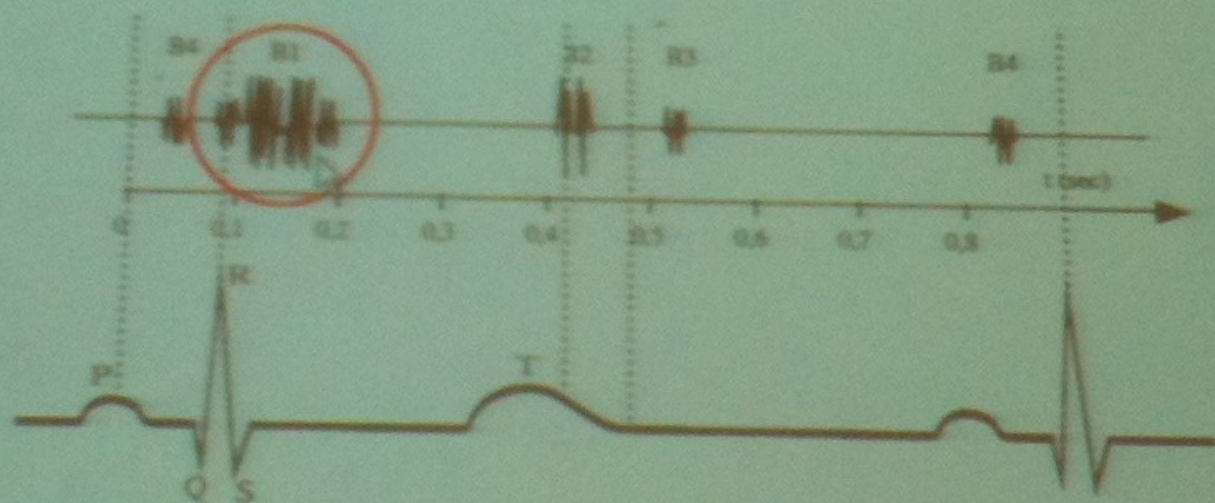
Mécanismes de production:

- 1- Mise en tension myocarde ventriculaire : début contraction iso-volumétrique
- 2- Mise en tension feuillets valvulaires : fermeture valves AV
- 3- Choc de l'onde systolique sur colonnes sanguines aortique et pulmonaire : ouverture valves sigmoïdes
- 4- Écoulement turbulent sang dans l'aorte et l'artère pulmonaire

Seules les composantes 2 et 3 sont audibles

Est ~ contemporain du pouls

Sourd, prolongé (0.1s), maximum à la pointe : TOUM



Deuxième bruit B2

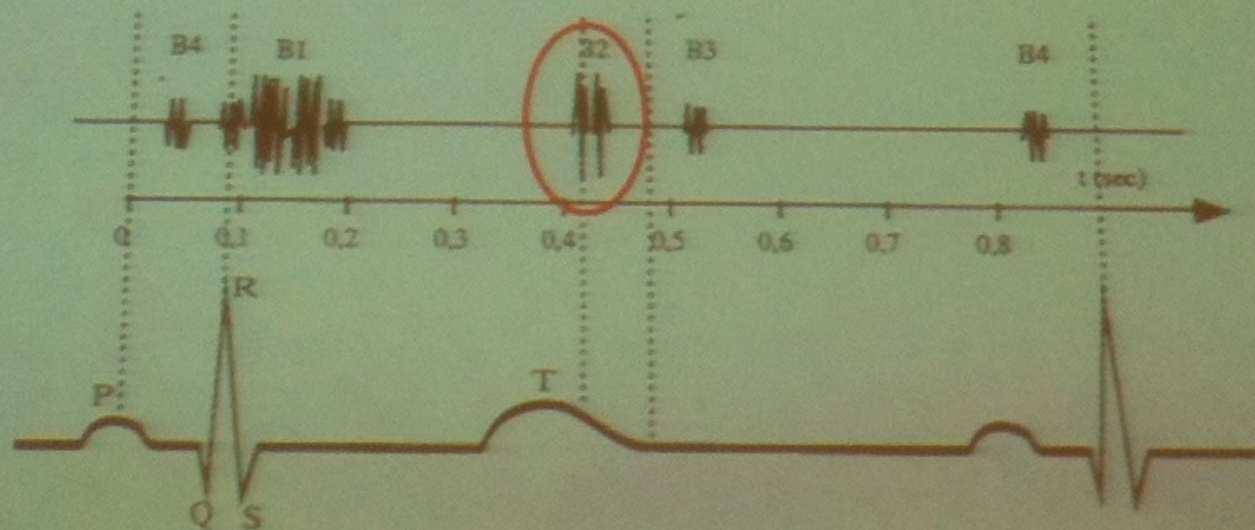
Fin systole ventriculaire: fermeture valves sigmoïdes,
séparé de B1 par le *petit silence*

Sec, bref, aigu : TA

Mécanismes de production :

vibrations colonnes sanguines aortique et pulmonaire
dus au choc en retour de la masse sanguine sur les
sigmoïdes.

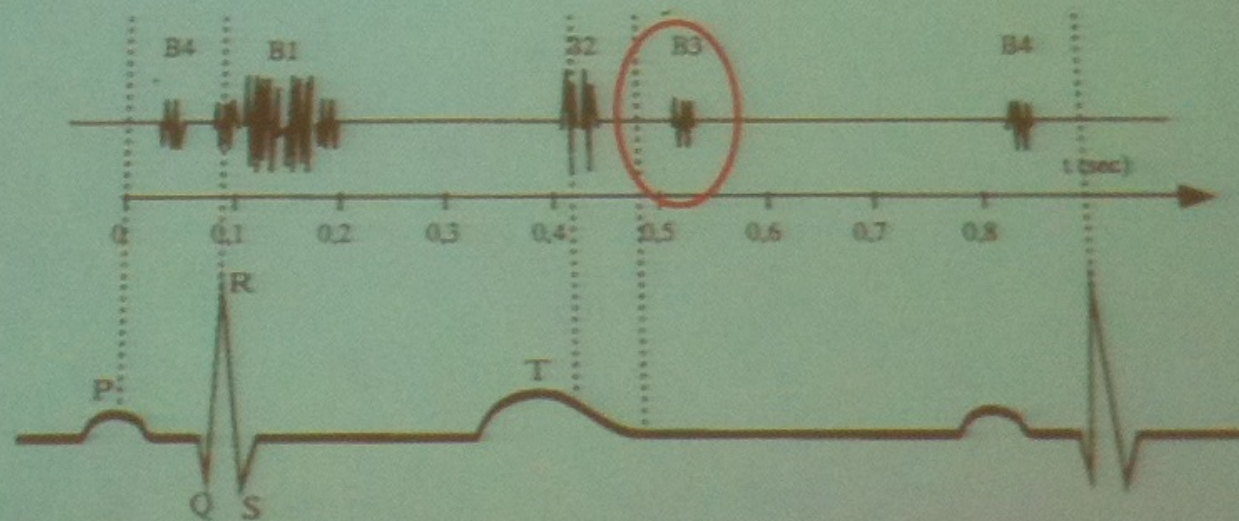
2 composantes : aortique et pulmonaire (moins intense)



Troisième bruit B3

Bruit proto-diastolique (= dans la 1^{ère} partie de la diastole):
phase de remplissage passif rapide

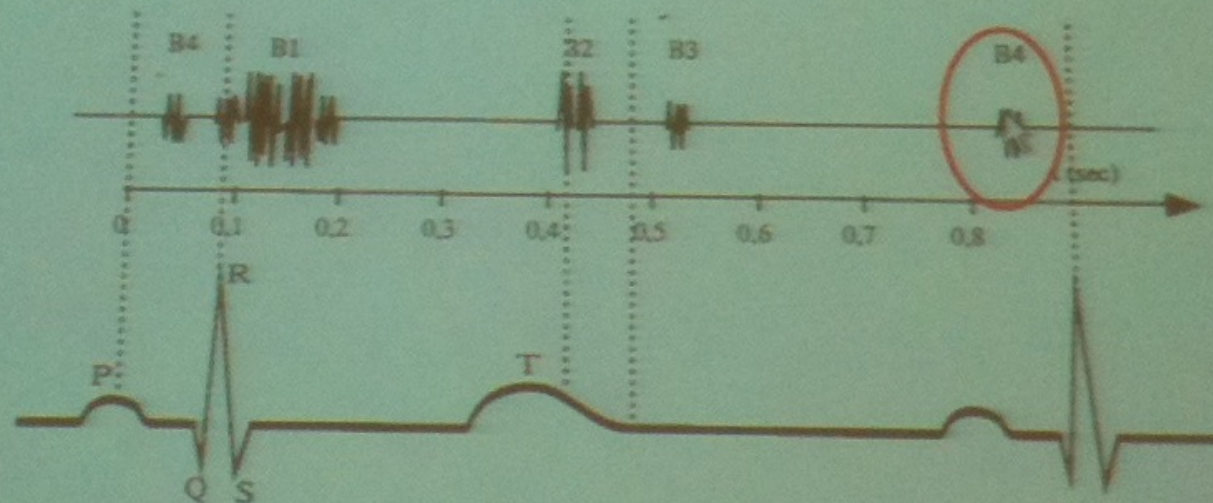
Mécanisme de production : vibrations paroi ventriculaire
sous l'effet de l'irruption brutale du sang



Quatrième bruit B4

Bruit pré-systolique : systole atriale

Mécanisme de production comparable à B3



Bruits anormaux

Normalement écoulement sanguin laminaire → si obstacle ou orifice rétréci: écoulement turbulent

Lésions organiques cardiaques (rétrécissement ou incontinence valvulaire): souffles ou roulements

Dilatation cavité ventriculaire

B3 accentué : bruit de galop protodiastolique (au cours de la 1^{ère} partie de la diastole)

B4 accentué : bruit de galop présystolique

Site d'écoute de bruits du cœur:

<http://depts.washington.edu/physdx/heart/demo.html>

Examen clinique:

Auscultation, mesure PA, palpation et auscultation des artères du cou et des membres.

ECG (Électrocardiogramme):

Il permet d'apprécier:

- rythme et fréquence cardiaques,
- épaisseur des parois du cœur (l'augmentation d'épaisseur constituant l'hypertrophie),
- existence d'anomalies de cheminement de l'activité électrique et indirectement de la circulation dans les artères coronaires.

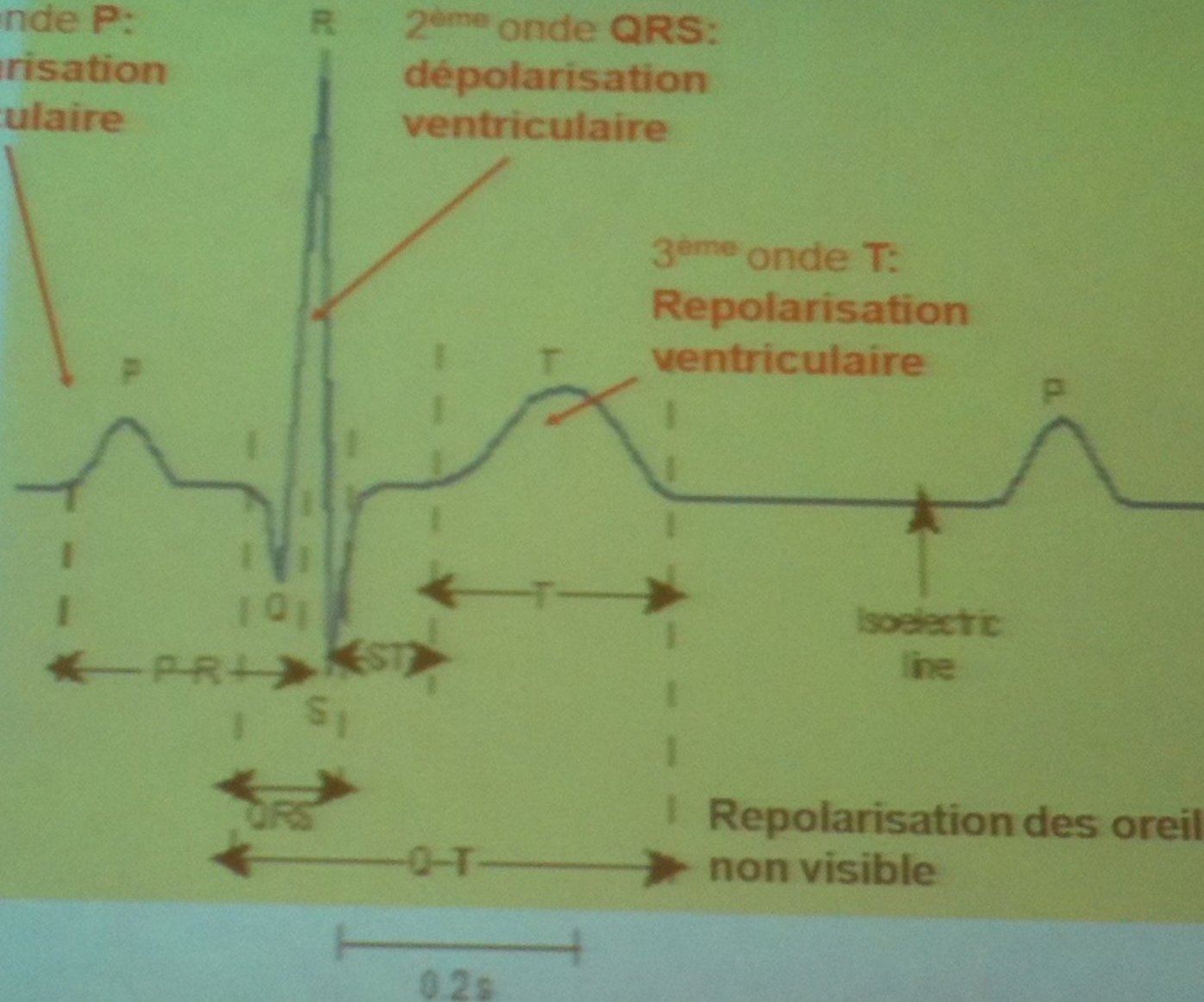
Si l'activité cardiaque est arrêtée, l'ECG est plat.

Tracé standard en D2

1^{ère} onde P:
dépoléarisation
auriculaire

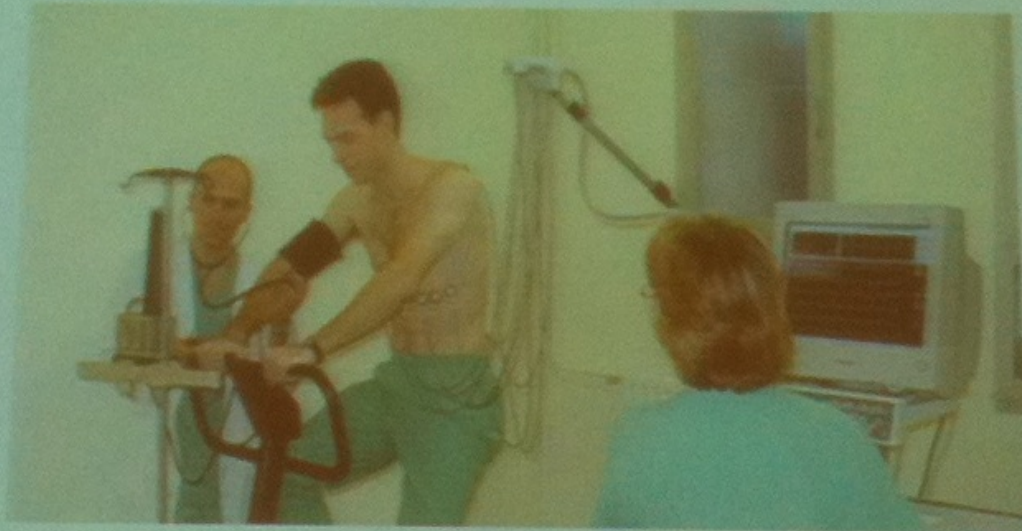
2^{ème} onde QRS:
dépoléarisation
ventriculaire

3^{ème} onde T:
Repolarisation
ventriculaire



Intervalle PR = temps de conduction auriculo-ventriculaire, cad de l'influx entré
oreillettes et ventricules.

L'ECG d'effort permet de détecter une insuffisance coronaire surtout s'il est couplé à l'injection de thallium (scintigraphie myocardique)



Holter : Enregistrement permanent du rythme cardiaque dans une cassette placée à la ceinture pendant 24, 48 ou 72 h.

Permet de noter les modifications des battements du cœur, de dépister les troubles du rythme et de détecter des anomalies inaperçues sur un ECG simple durant en moyenne quelques minutes.

Holter tensionnel (MAPA): identique ; pour la surveillance de la tension artérielle ambulatoire, évite l'effet « blouse blanche ».

Les cathétérismes

= introduction d'une sonde dans les différentes cavités cardiaques pour:

- mesurer les pressions intra-vasculaires et intra-cardiaques
- prélever des échantillons de sang
- injecter divers indicateurs pour mesurer le débit cardiaque
- détecter et quantifier un shunt intra-cardiaque
- injecter des produits de contraste pour l'étude morphologique et cinétique des cavités et des vaisseaux

Cathétérisme droit:

On introduit, en général, par la veine fémorale, un cathéter branché sur un manomètre et on le guide jusque dans une branche de l'artère pulmonaire où on le bloque.

On enregistre alors la "pression capillaire pulmonaire".

Puis successivement, en retirant le cathéter, on enregistre les pressions des différentes cavités.

On peut réaliser en même temps des prélèvements sanguins (oxymétrie) ou une injection de produit radio-opaque (angiocardigraphie de l'oreillette D, du ventricule D ou l'artère pulmonaire).

Figure 1 (d'après E Braunwald)

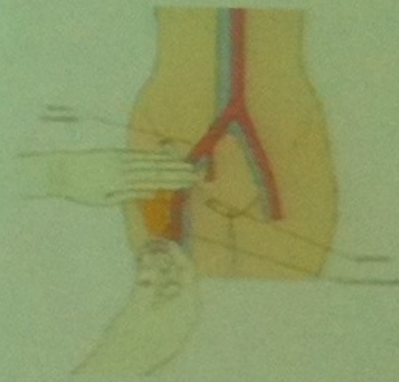
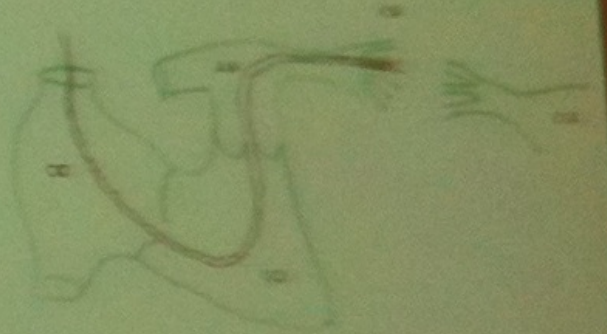


Figure 2



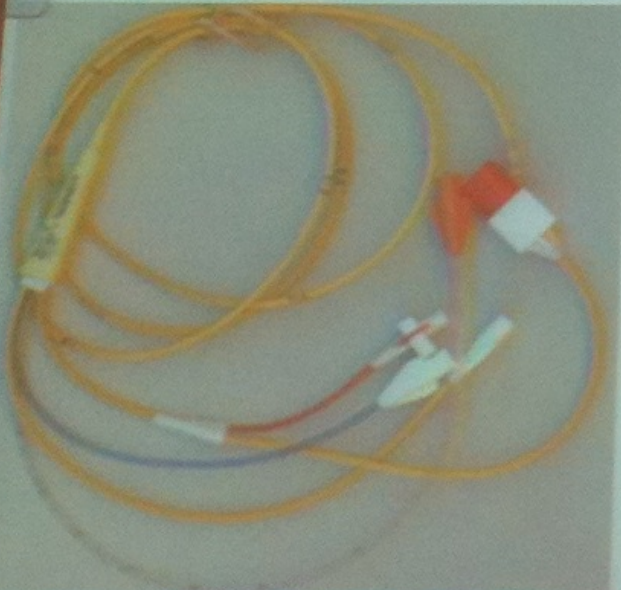
Ex cathétérisme D, d'après Université Médicale Virtuelle Francophone



Ponction de la veine fémorale

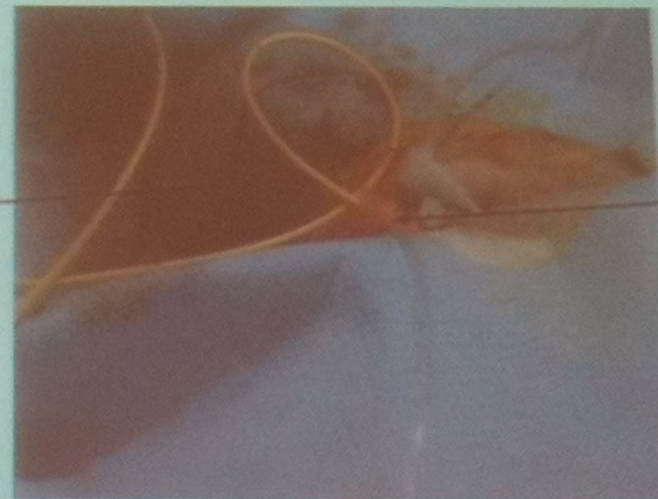


Mise en place de l'introducteur



Sonde de Swan Ganz

Sonde de Swan Ganz



Introducteur dans la veine fémorale

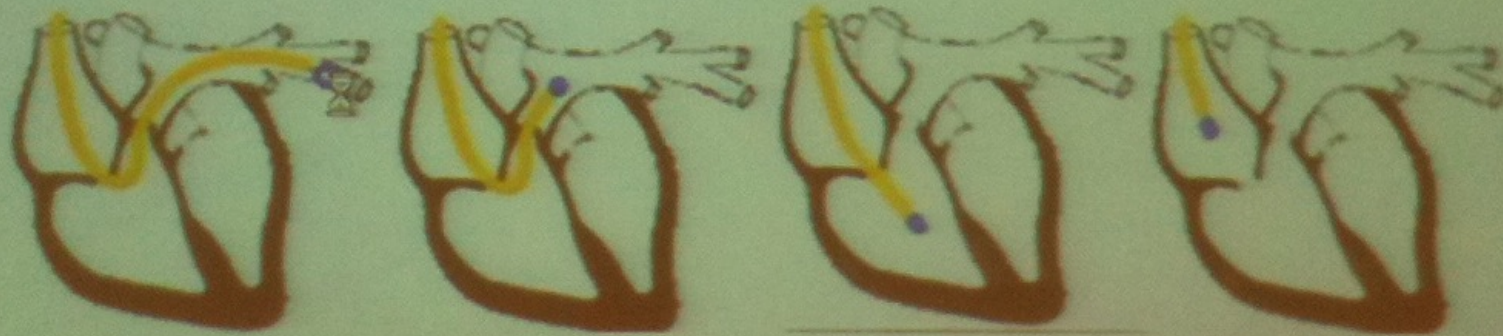
Insertion de la sonde de Swan Ganz

Arrivé dans l'artère pulmonaire, le plus loin possible sans forcer → mesure de la pression capillaire bloquée.

En dégonflant le ballonnet → mesure de la pression artérielle pulmonaire.

En retirant la sonde jusque dans le ventricule D → mesure de la pression ventriculaire D.

En retirant la sonde dans l'oreillette droite → mesure de la pression de l'oreillette droite

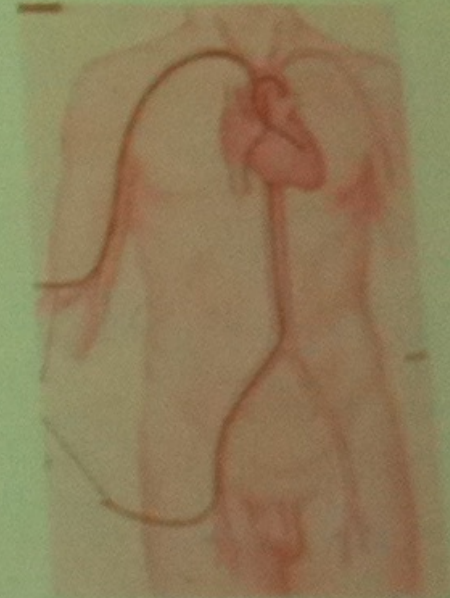


Cathétérisme gauche:

La sonde est passée par voie artérielle rétrograde (artère fémorale, humérale, axillaire), chemine à contre courant dans l'aorte, puis franchit les sigmoïdes et atteint le VG. L'O.G. ne peut être explorée par cette voie.

On peut réaliser en même temps des prélèvements sanguins (oxymétrie) ou injecter des produit radio-opaques (ventriculographie, aortographie).

d'après F. Netter

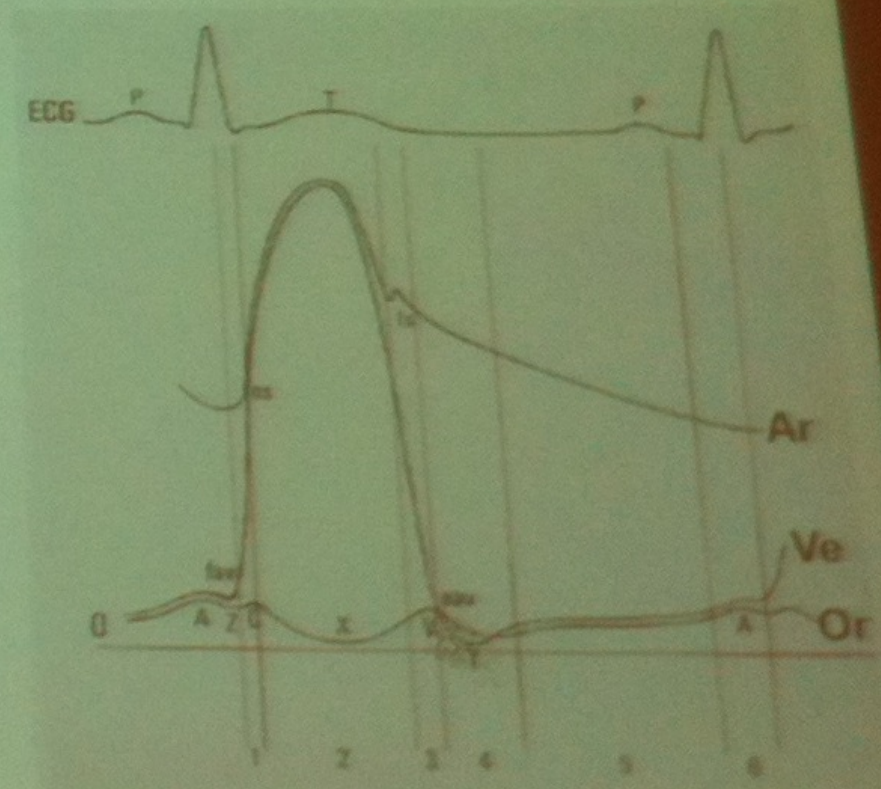


Courbes de pression:

Elles sont morphologiquement similaires à D et à G.

On individualise différentes phases:

- 1 : contraction isovolumétrique
- 2 : éjection
- 3 : relaxation isovolumétrique
- 4 : remplissage rapide
- 5 : remplissage lent
- 6 : remplissage lié à la contraction auriculaire.



Valeurs des pressions D et G

	Pression systolique	Pression diastolique
OD	+ 3 mmHg	- 3 mmHg
VD	20 à 25 mmHg	0 mmHg
Art. pulmon.	20 à 25 mmHg	10 mmHg
OG	7 mmHg	0 mmHg
VG	120mmHg	0 mmHg
Aorte	120mmHg	80 mmHg

Ex de pathologies révélées au cours des cathétérismes:

- ↳ Hypertension diastolique dans le V.D et O.D.
→ insuffisance cardiaque, péricardite constrictive
- ↳ Hypertension dans l'artère pulmonaire → cœur pulmonaire chronique
- ↳ élévation des pressions diastoliques dans l'O.G. et le V.G.
→ Insuffisance ventriculaire G, péricardite constrictive
- ↳ élévation des pressions systoliques dans l'O.G.
→ Insuffisance mitrale
- ↳ Augmentation des pressions diastoliques dans le VG.
→ Insuffisance aortique

OXYMÉTRIE

↳ La saturation en oxygène à **droite** est autour de 75 %. Cette saturation est stable dans le tronc de l'artère pulmonaire.

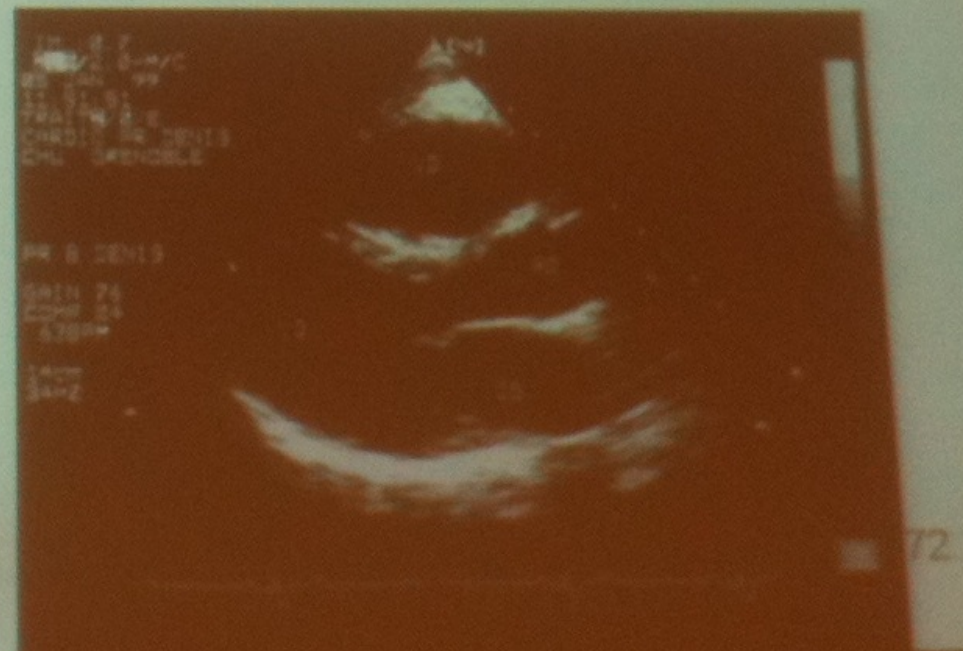
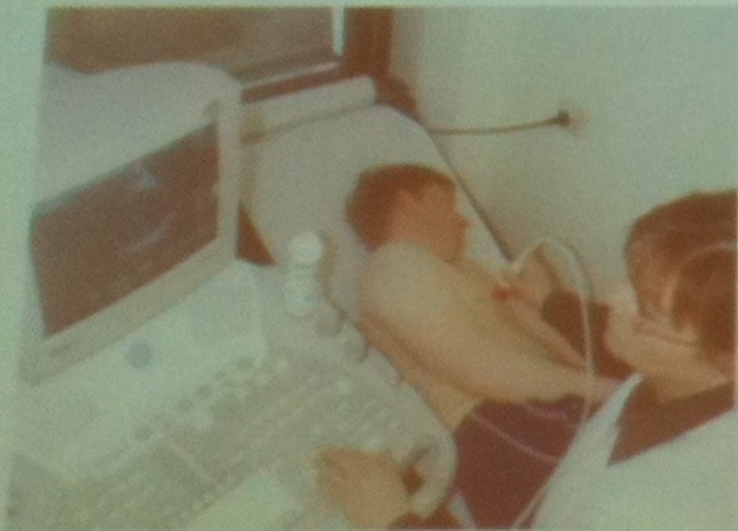
La VCI ramène au cœur un sang plus riche en O_2 que la VCS parce que le rein consomme peu d' O_2 .

↳ Un shunt gauche droit amène une \nearrow du taux d' O_2 dans les cavités droites. L' \nearrow du taux d'oxygène dans une cavité par rapport à celle qui se trouve en amont permet de soupçonner un shunt gauche-droit, (= passage de sang G oxygéné dans la circulation D).
Ex : communications inter-auriculaire ou inter-ventriculaire, canal artériel.

↳ La saturation en oxygène à **gauche** est de 95 à 97%.

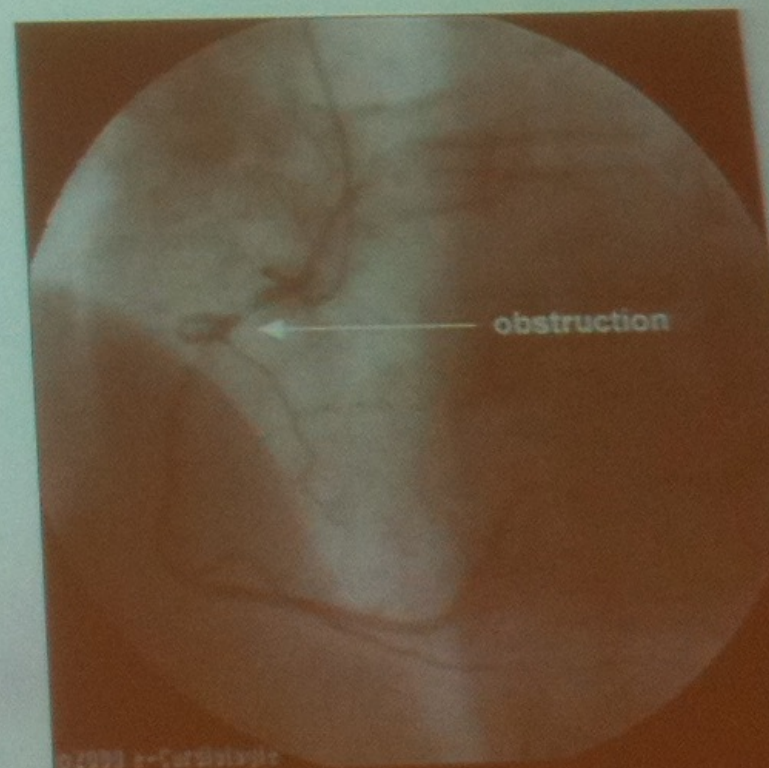
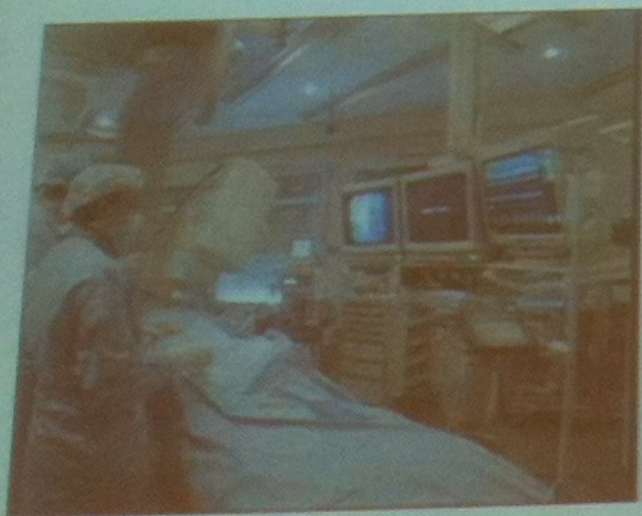
Échocardiographie : Permet de

- visualiser cavités, valvules, parois cardiaques et péricarde par émission d'ultrasons à partir d'un capteur placé sur le thorax ou dans l'œsophage (échocardiographie transœsophagienne),
- apprécier la capacité fonctionnelle du muscle cardiaque (débit, fraction d'éjection),
- évaluer la masse du ventricule gauche dont l'augmentation constitue l'hypertrophie ventriculaire gauche et de quantifier l'insuffisance ou le rétrécissement des valves.



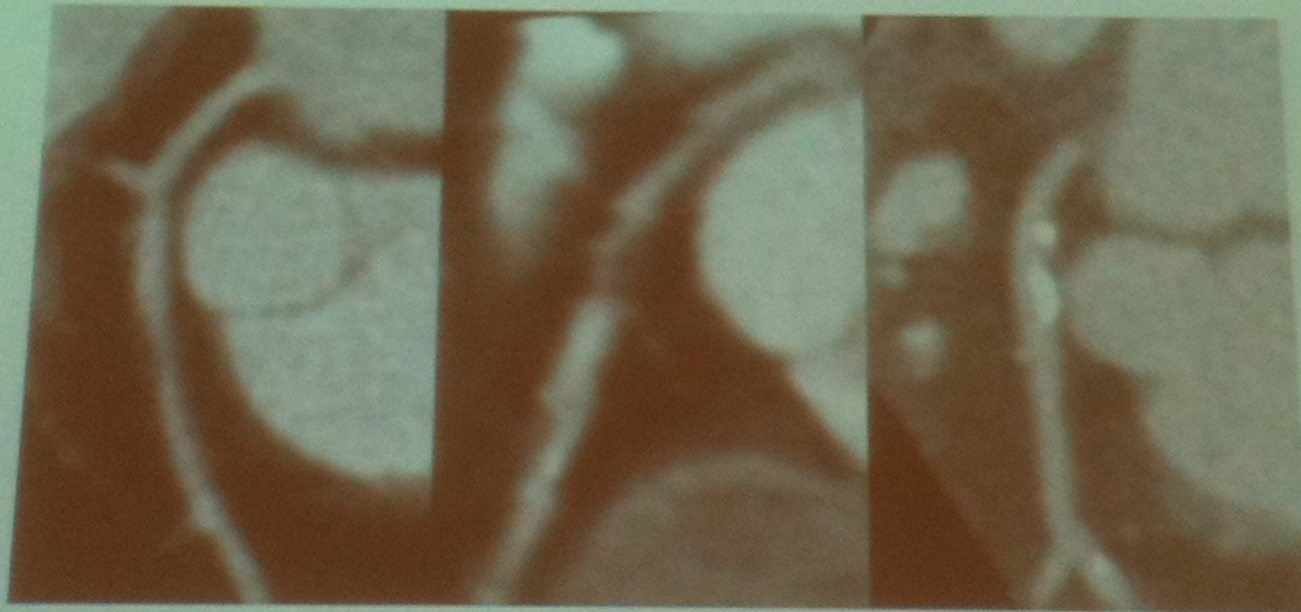
Coronarographie: pour diagnostic de la maladie coronaire.
Radio des coronaires ss anesthésie locale après injection.
A partir d'une sonde introduite dans l'aorte par l'artère fémorale ou l'artère radiale et montée jusque dans les artères coronaires, injection d'un produit de contraste opaque pour visualiser le siège et le nombre des sténoses des artères coronaires.

En France : 500 à 800 000 par an.



IRM: Montre l'artère dans son ensemble par l'extérieur.

Scanner coronaire : Angioscanner multibarrettes permet une reconstruction complète des coronaires.



Trois différents types de plaque athéromateuse caractérisés par Coroscanner:

À gauche : plaque à forte composante lipidique ;

Au milieu : plaque à composante fibreuse plus élevée ;

A droite : plaque calcifiée.