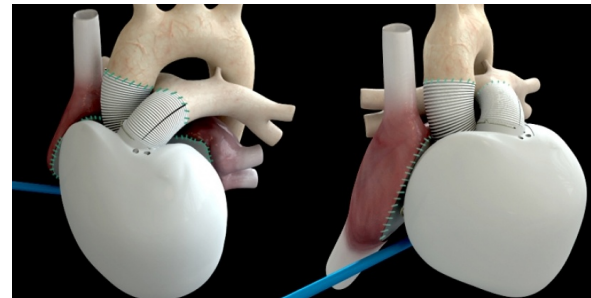
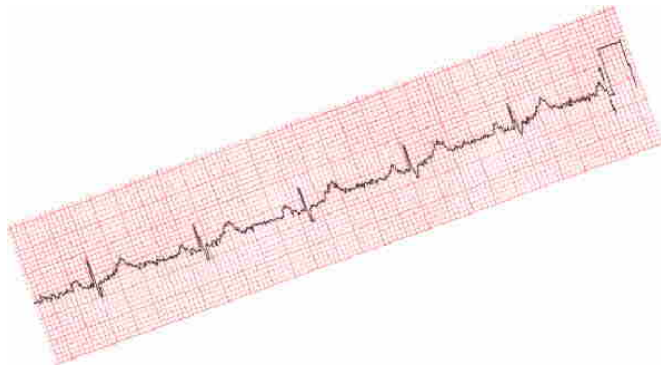


INTRODUCTION A LA CARDIOLOGIE : LE REGARD D'UN INGENIEUR



Brigitte QUENET
Equipe de Statistique Appliquée
ESPCI Paris

UMRS-1158 Unité de Neurophysiologie Respiratoire
Expérimentale et Clinique

OBJECTIFS

- accéder à une meilleure connaissance de la fonction cardiaque

Physiologie

- comprendre la façon de mesurer et d'exploiter des mesures d'une grandeur physiologique/ Simuler

Bio-ingénierie

- introduction au développement d'outils diagnostiques/thérapeutiques

PLAN DE COURS

GENERALITES

ACTIVITE ELECTRIQUE CARDIAQUE

SIMULATION

LES TYPES D'ECG, TRAITEMENT DU SIGNAL

VARIANTES DE LA NORMALE ET PATHOLOGIES

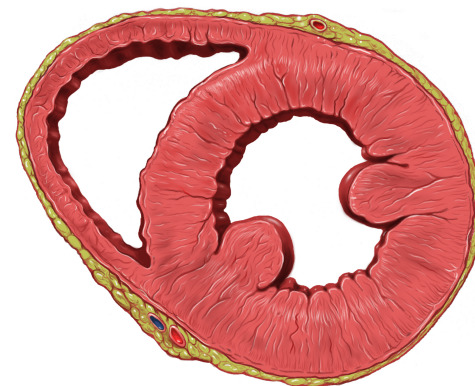
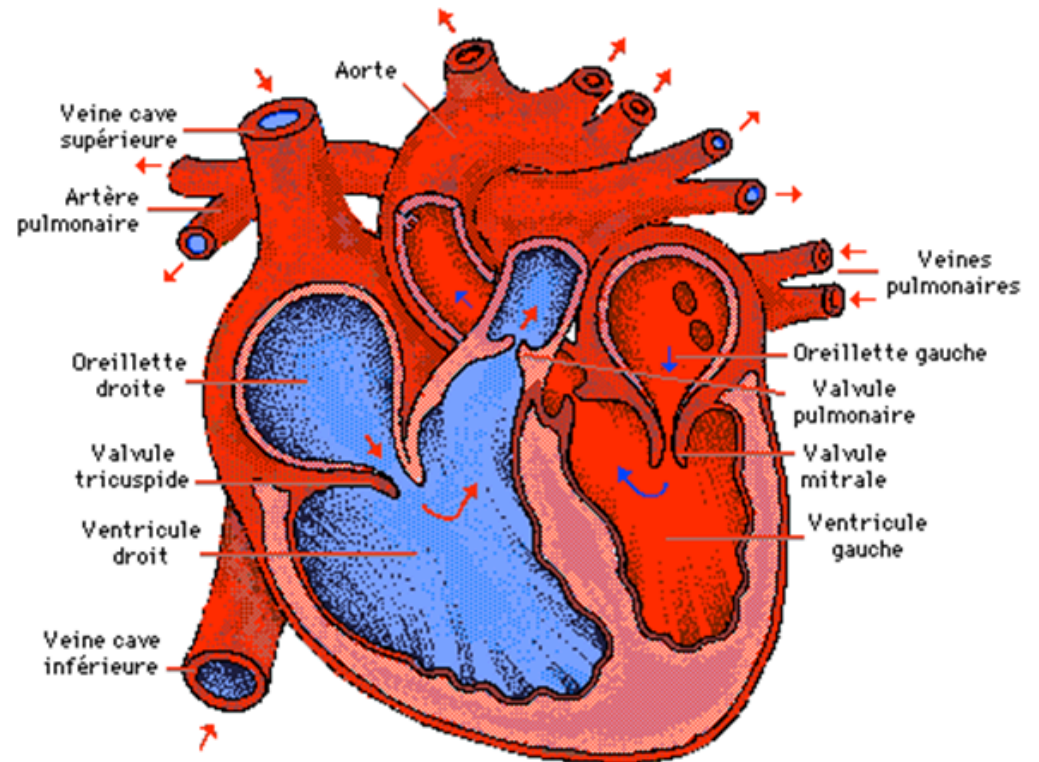
EXAMENS/OUTILS THERAPEUTIQUES

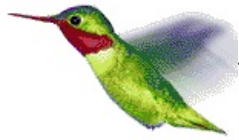
L'AVENTURE CARMAT

GENERALITES SUR LE COEUR



Anatomie d'un cœur humain





1200

2



500 Bpm

2



6

220



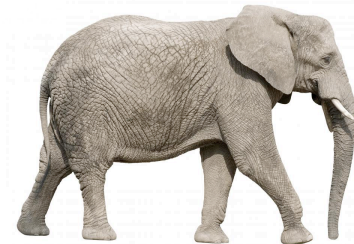
70

80



40

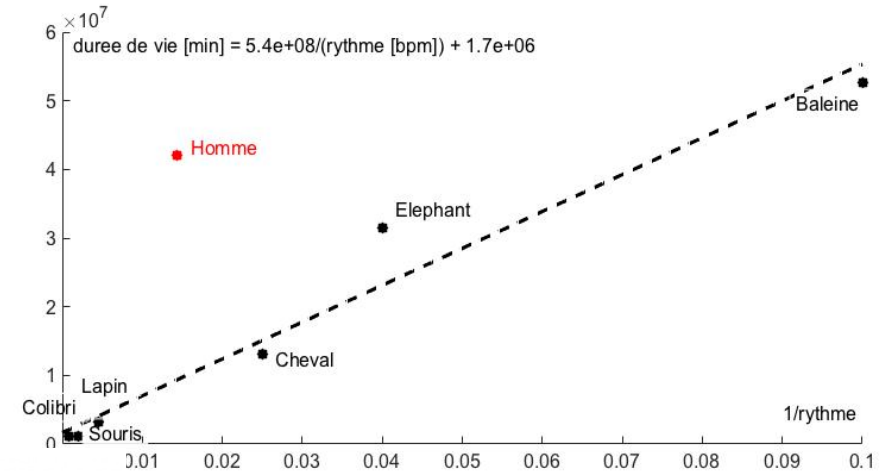
25



25

10

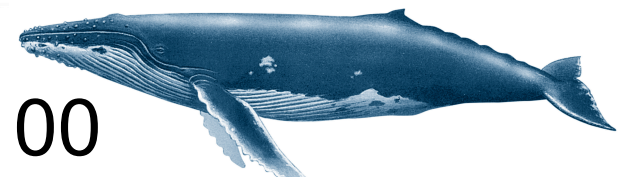
*Battement cardiaque :
temps propre ?*



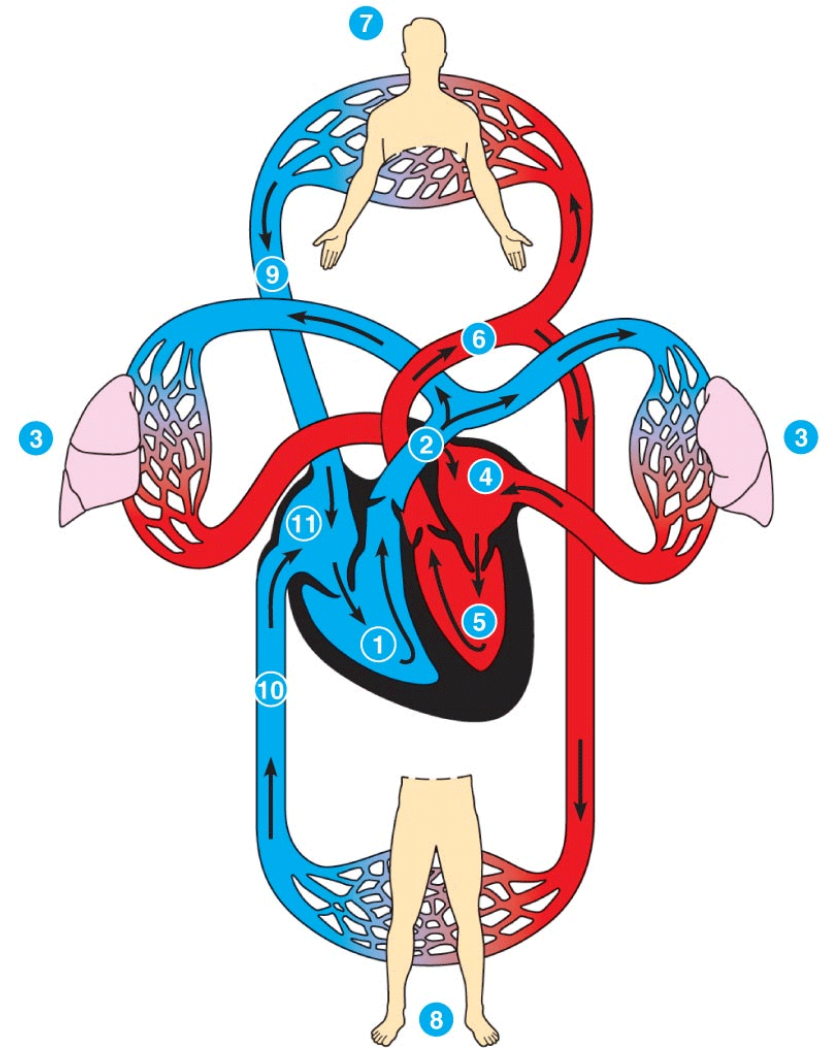
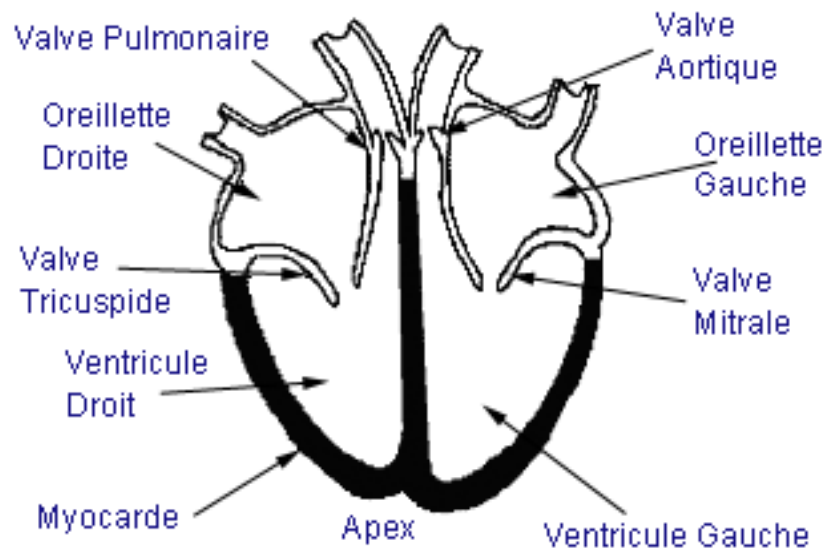
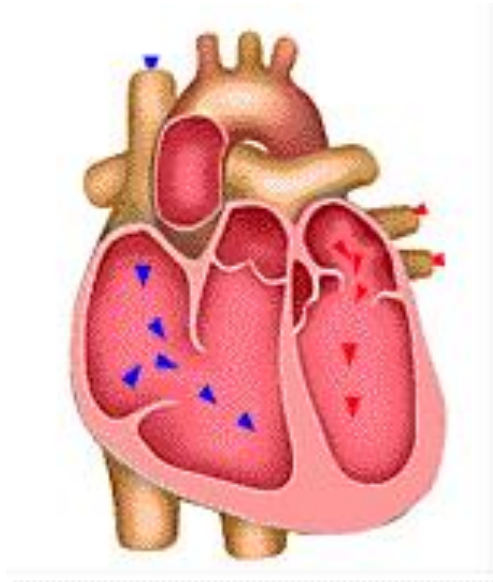
Ans

60

100

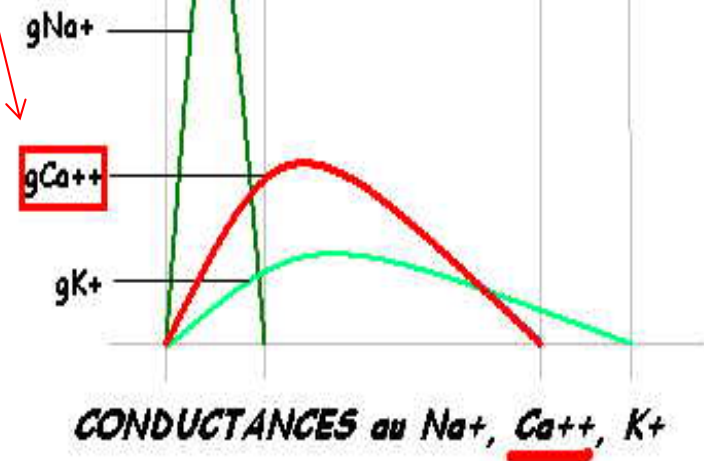
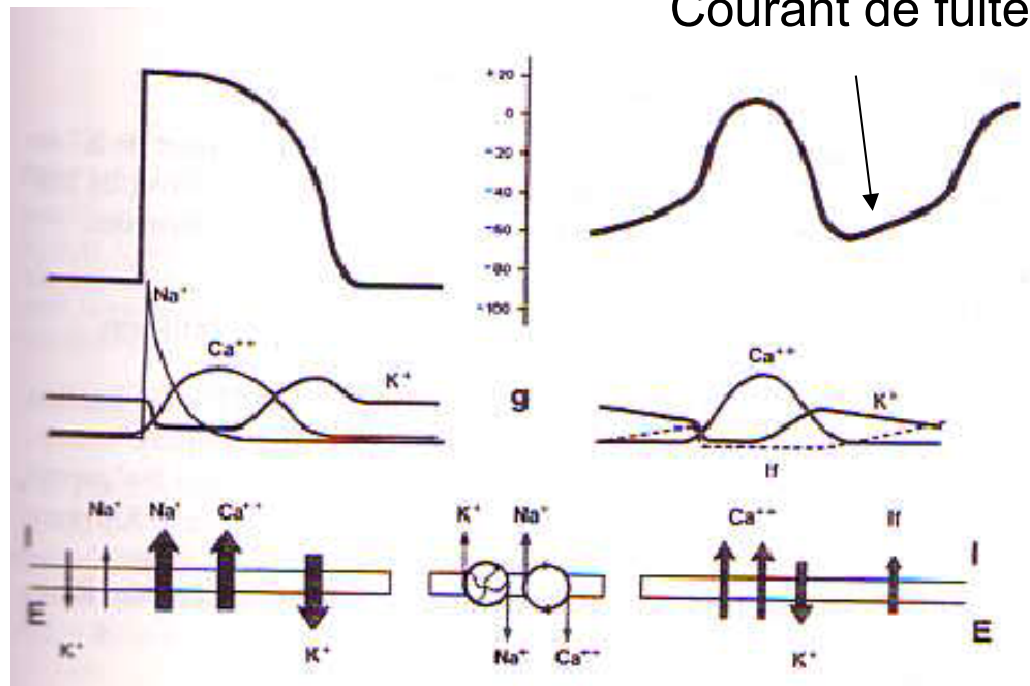
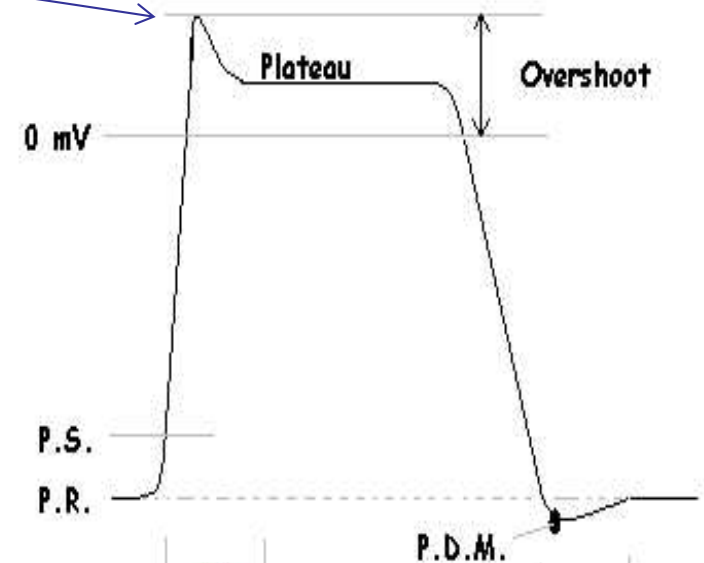
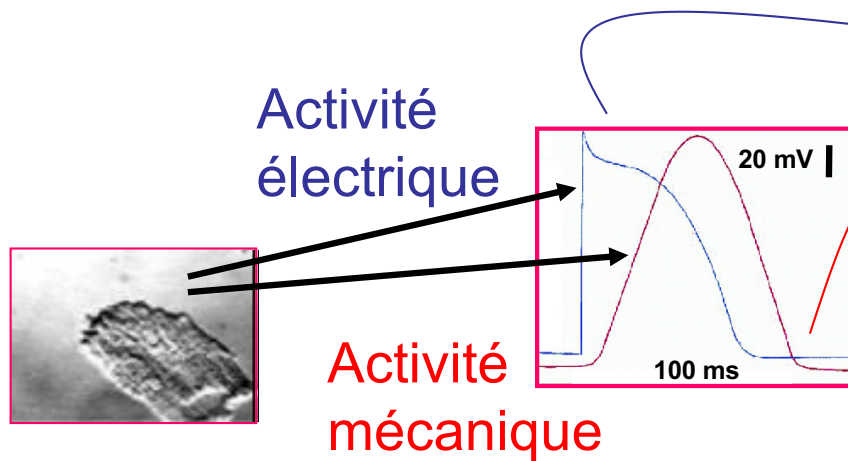


Petite et grande circulation



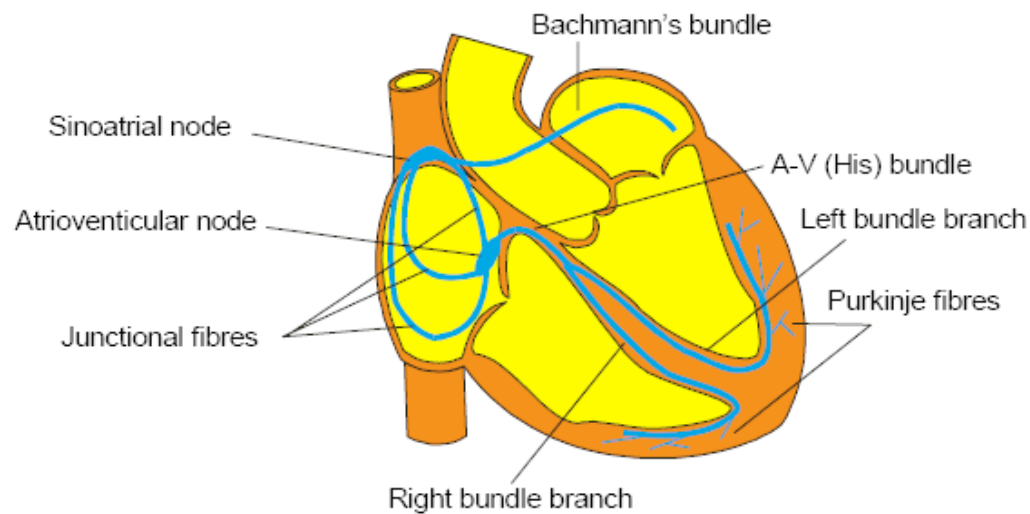
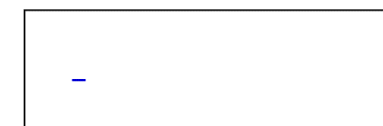
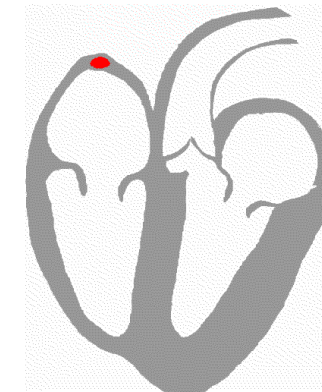
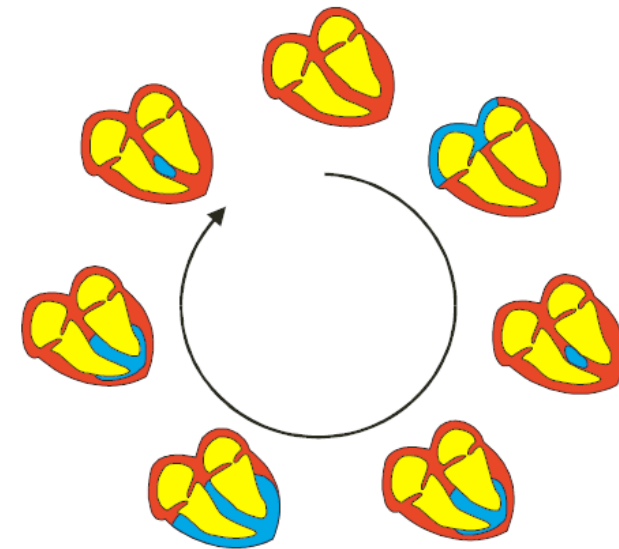
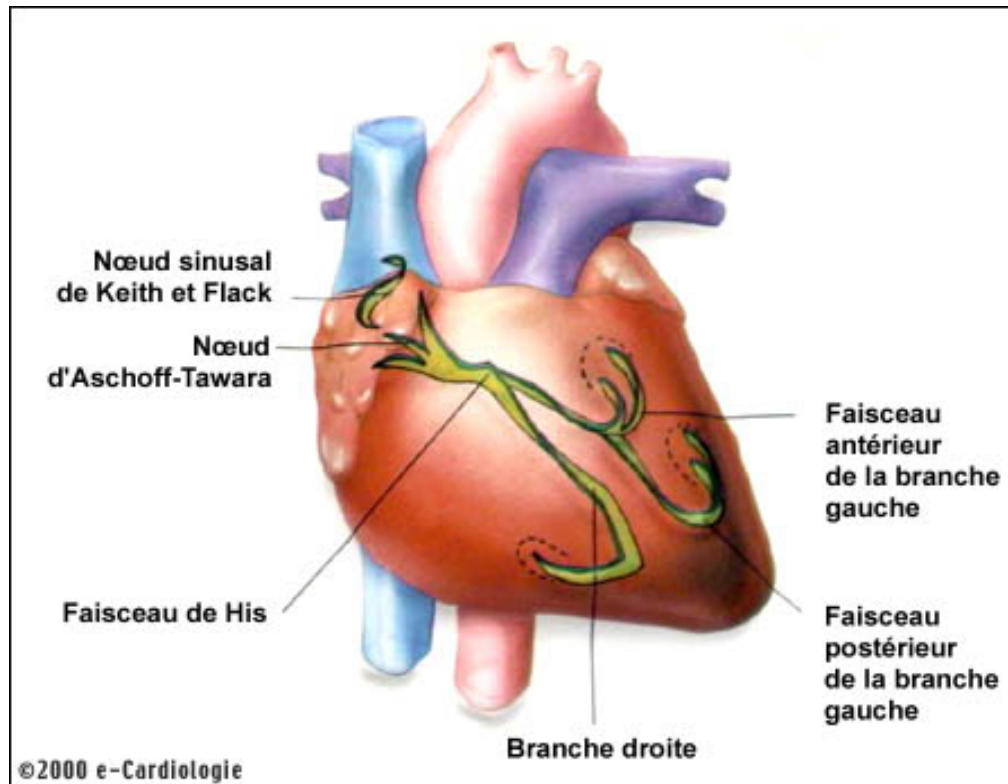
Copyright © 2005 Pearson Education, Inc. Publishing as Pearson Benjamin Cummings. All rights reserved.

ACTIVITE ELECTRIQUE CARDIAQUE *Cardiomyocytes*

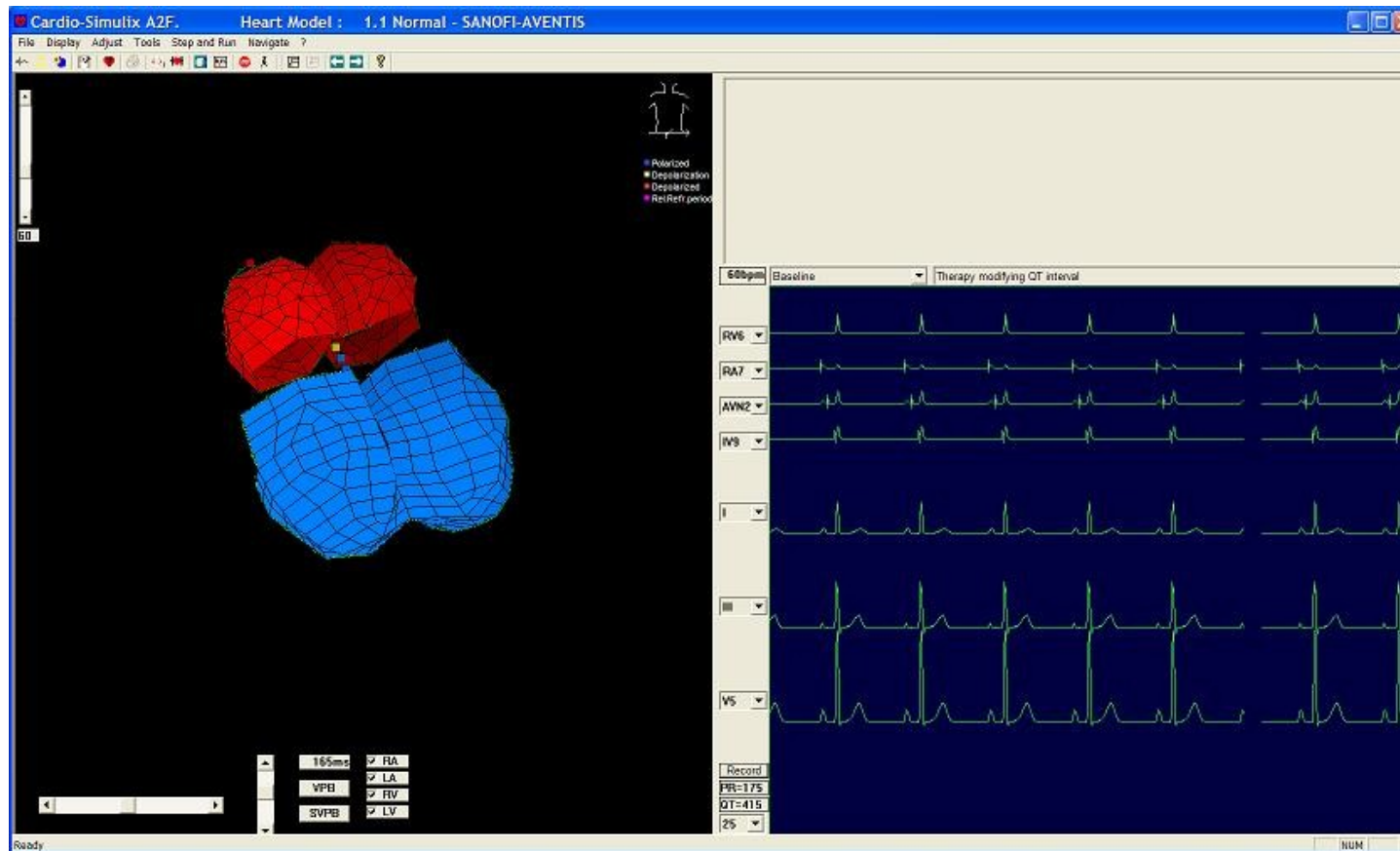


Cellule nodale

Circuit électrique cardiaque



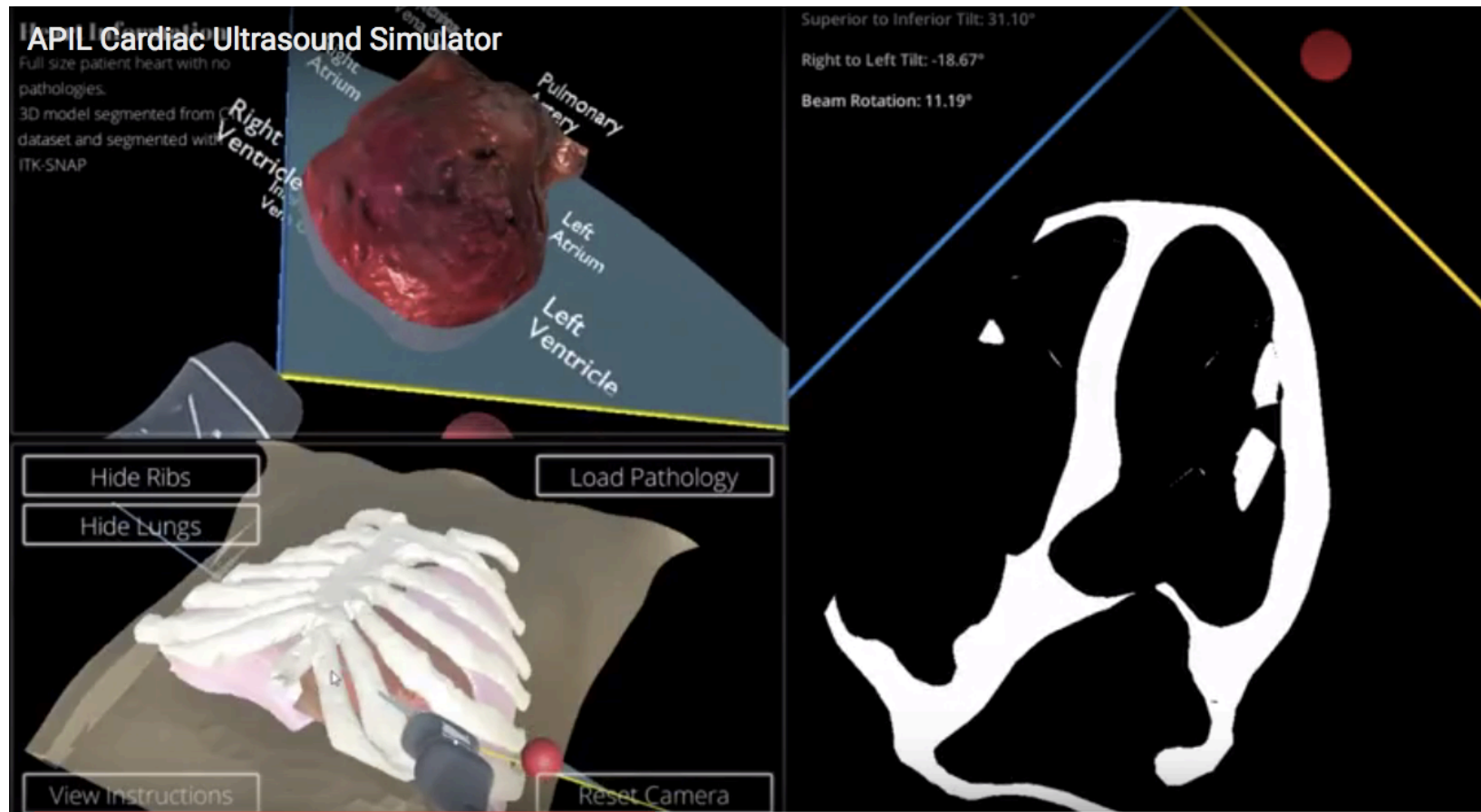
SIMULATION de l'activité cardiaque avec CardioSimulix



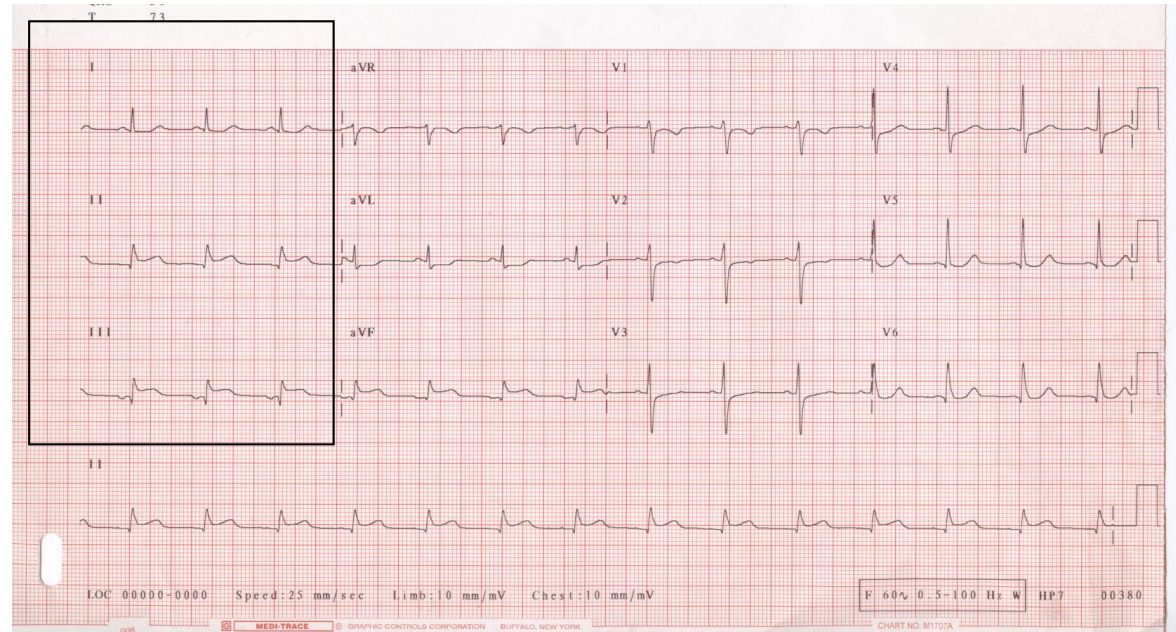
Employé par



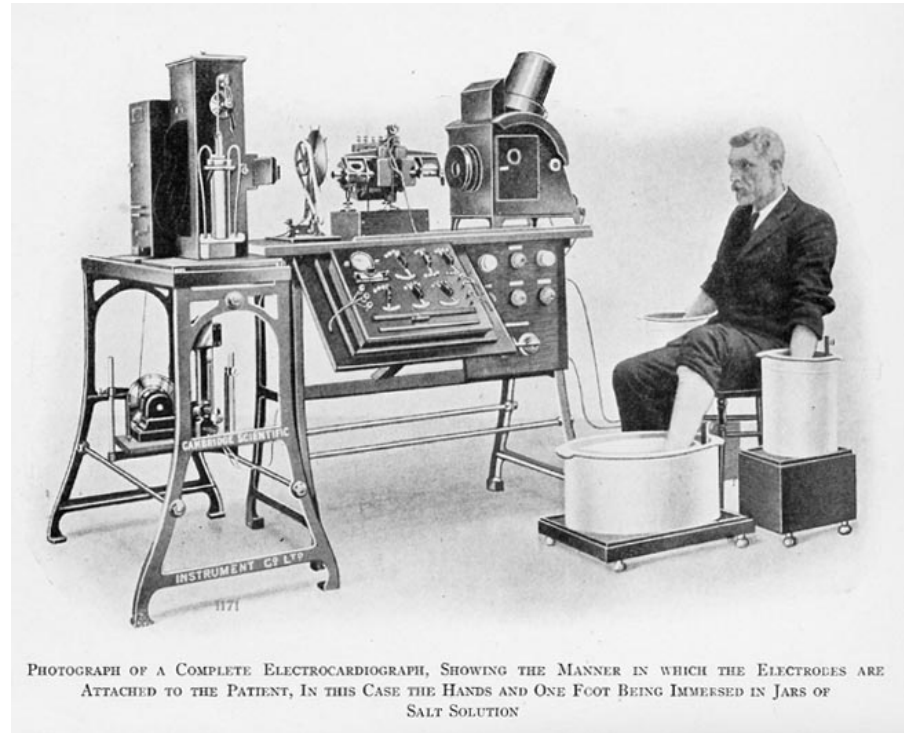
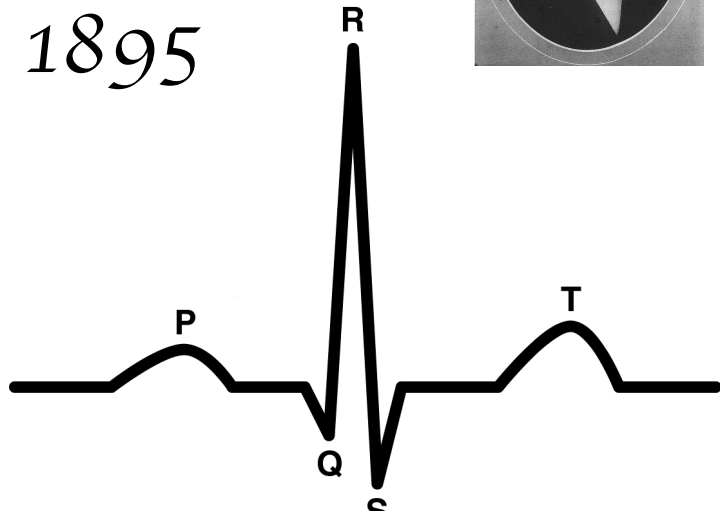
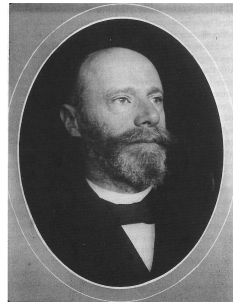
SIMULATION de l'image cardiaque en échographie avec APIL



LES TYPES D'ECG ET TRAITEMENT DU SIGNAL

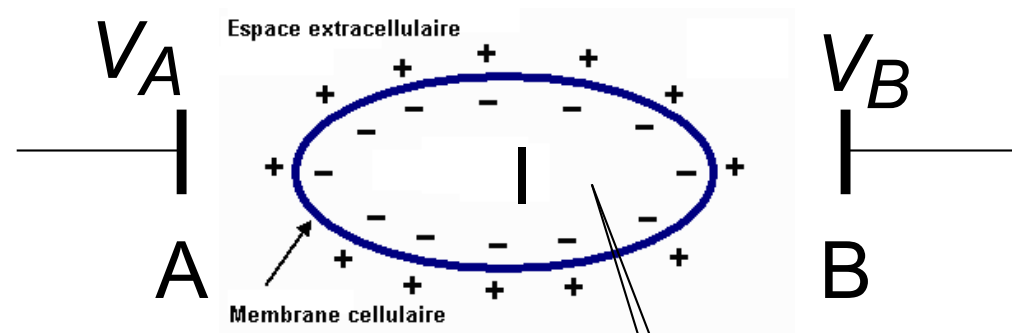


Willem
Einthoven
1895

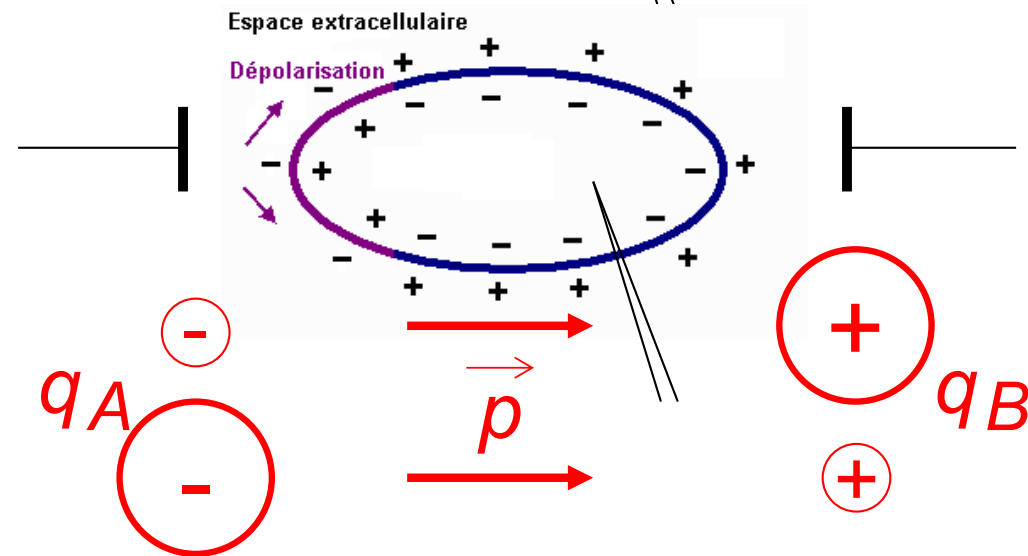


PHOTOGRAPH OF A COMPLETE ELECTROCARDIOGRAPH, SHOWING THE MANNER IN WHICH THE ELECTRODES ARE ATTACHED TO THE PATIENT, IN THIS CASE THE HANDS AND ONE FOOT BEING IMMERSSED IN JARS OF SALT SOLUTION

Mesure extracellulaire de la dépolarisation



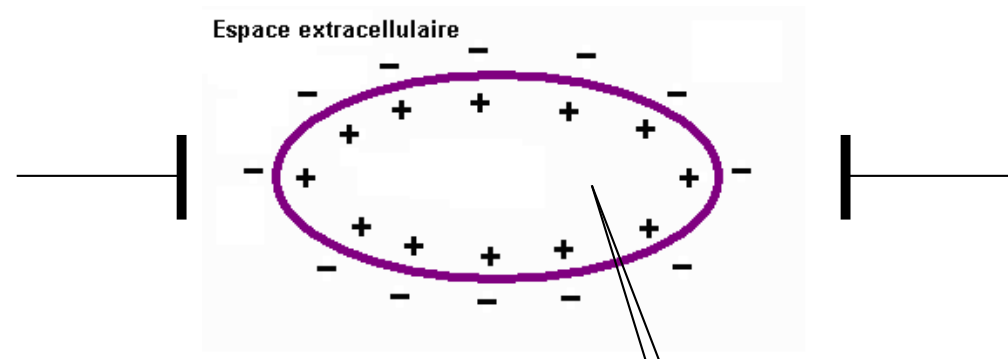
$$\begin{array}{ll} V_I - V_A < 0 & \text{Intra} \\ V_B - V_A = 0 & \text{Extra} \end{array}$$



$$\begin{array}{ll} V_I - V_A & \nearrow \text{Intra} \\ V_B - V_A & \nearrow \searrow \text{Extra} \end{array}$$

$$V_B - V_A \sim \|\vec{p}\| \sim |q_B - q_A|$$

$$\max(\|\vec{p}\|) \leftrightarrow q_B = -q_A$$

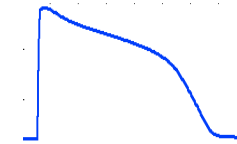


$$\begin{array}{ll} V_I - V_A > 0 & \text{Intra} \\ V_B - V_A = 0 & \text{Extra} \end{array}$$

Dérivée et projection

Intracellulaire

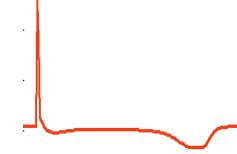
$$V_i - V_A$$



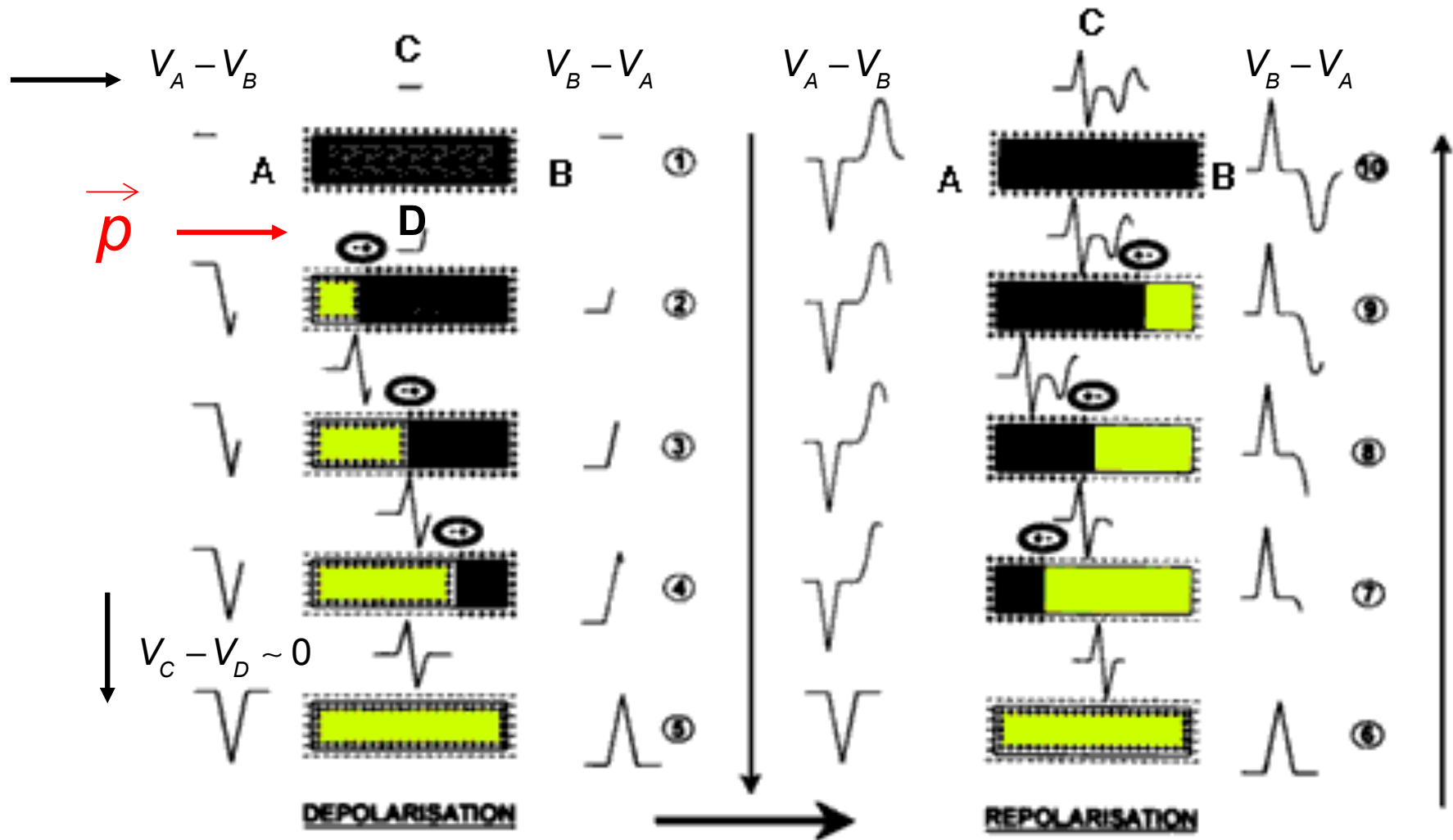
$$f(t)$$

Extracellulaire

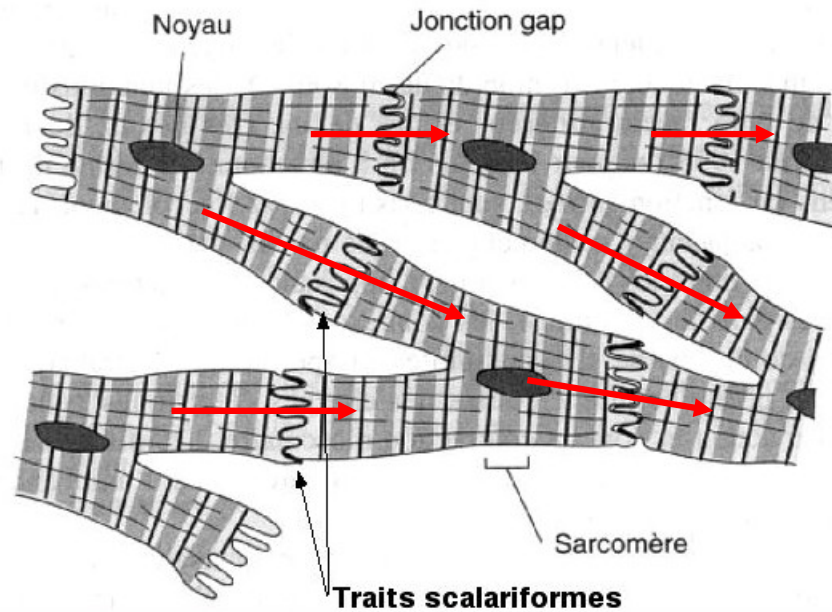
$$V_B - V_A$$



$$\approx \frac{df(t)}{dt}$$

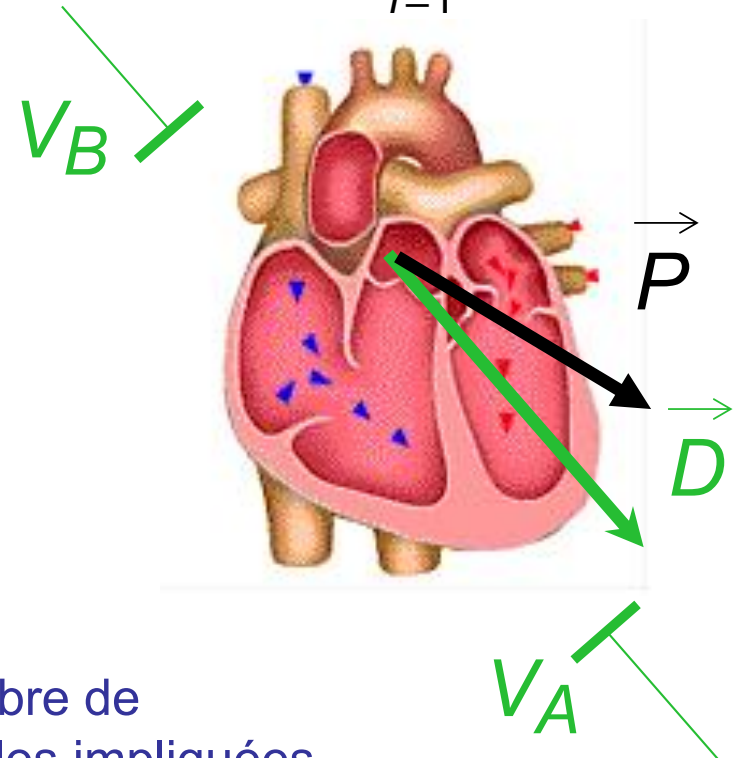


Sommation : vecteur électrique cardiaque



$\vec{p}_i$

$$\vec{P}(t) = \sum_{i=1}^{N(t)} \vec{p}_i(t)$$



Tracé électrocardiographique

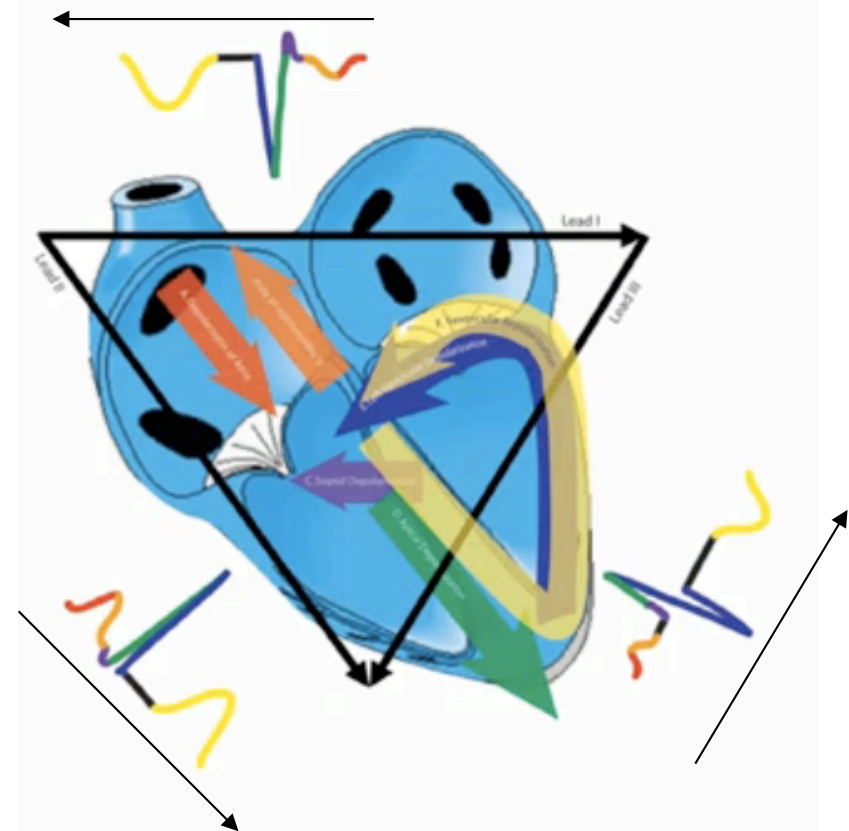
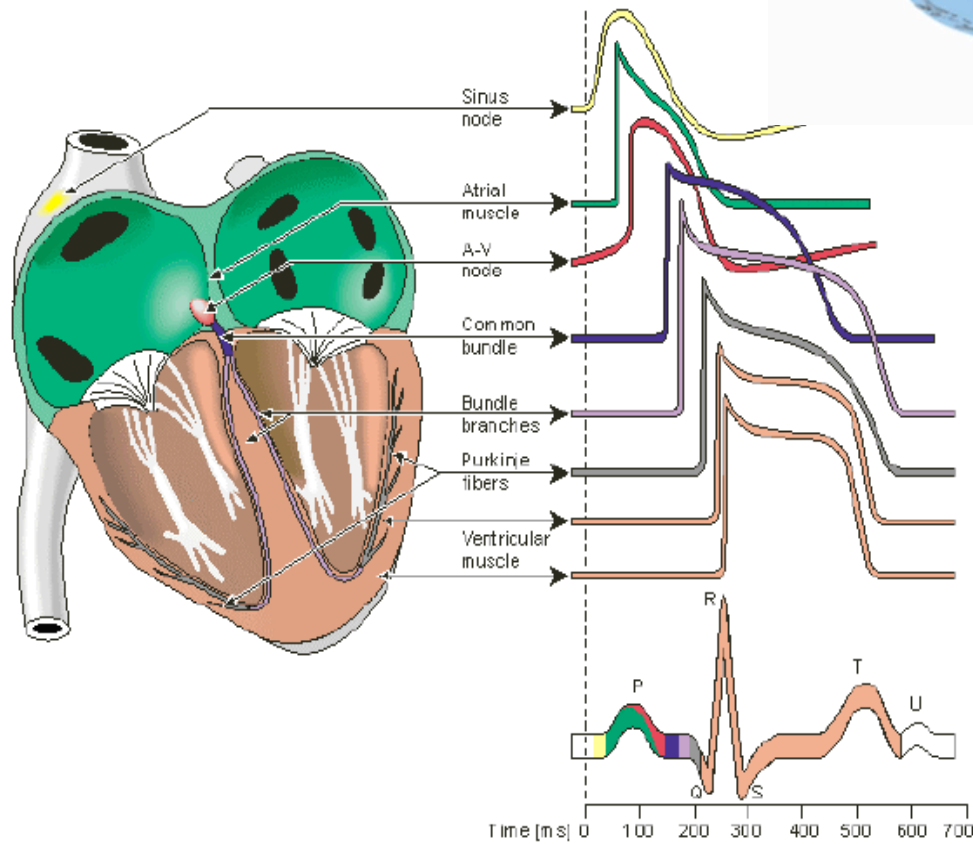
$$E_D(t) = V_B(t) - V_A(t) \sim \vec{D} \cdot \vec{P}(t) = \vec{D} \cdot \sum_{i=1}^{N(t)} \vec{p}_i(t) \simeq \vec{D} \cdot \sum_{i=1}^{N(t)} \frac{df_i(t)}{dt} \cdot \vec{u}_i$$

Nombre de cellules impliquées

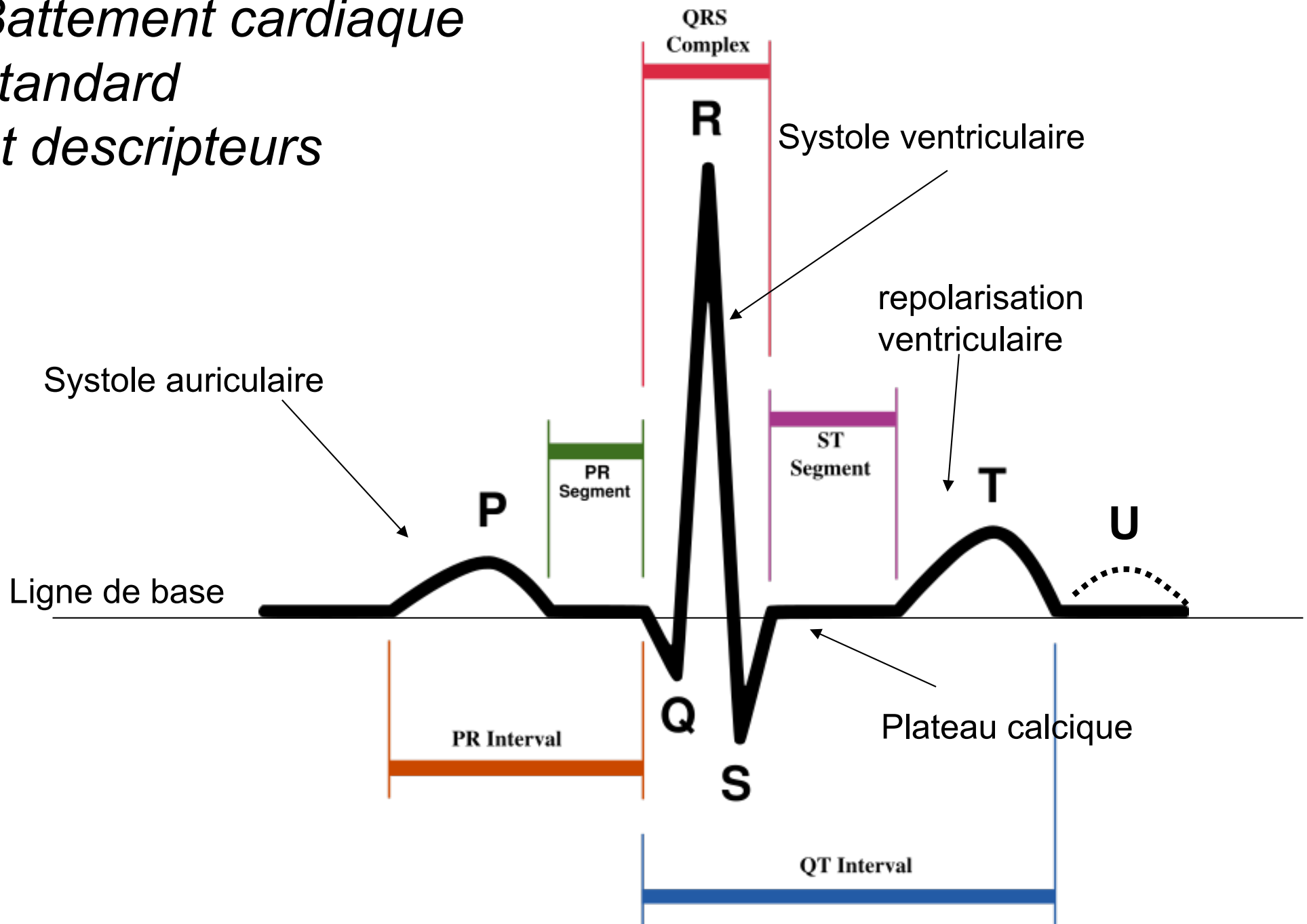
Direction de la dérivation

Dérivée de la courbe de dépolarisation/repolarisation

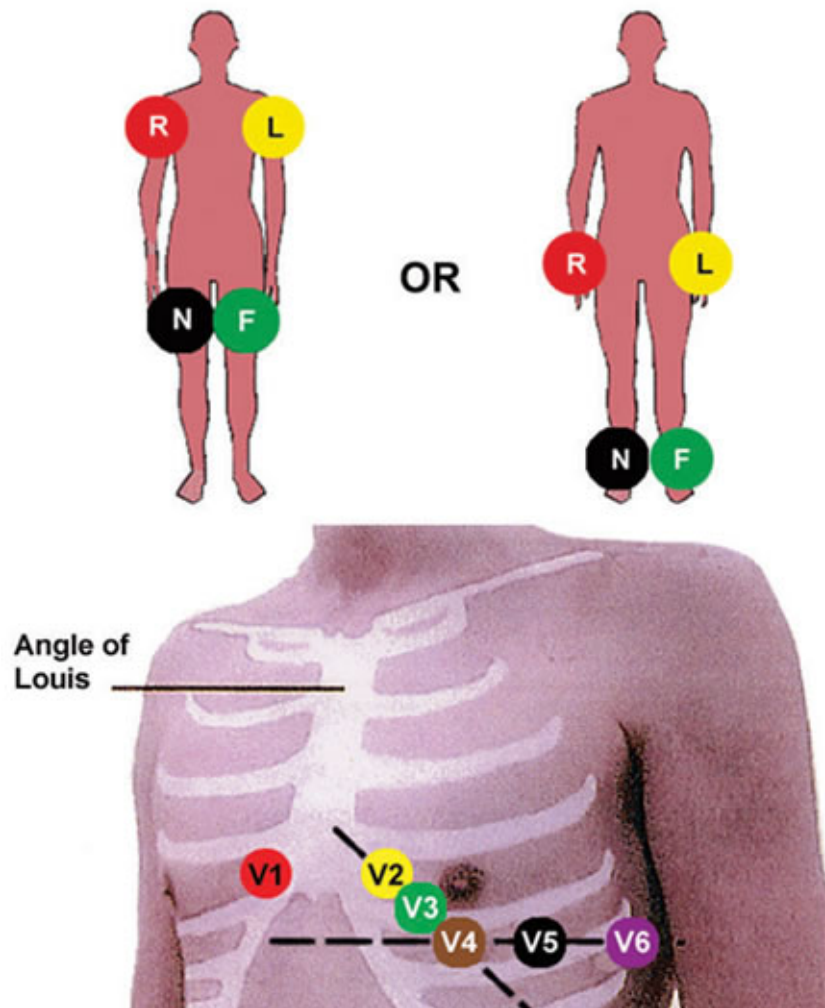
Battement cardiaque : complexe PQRST



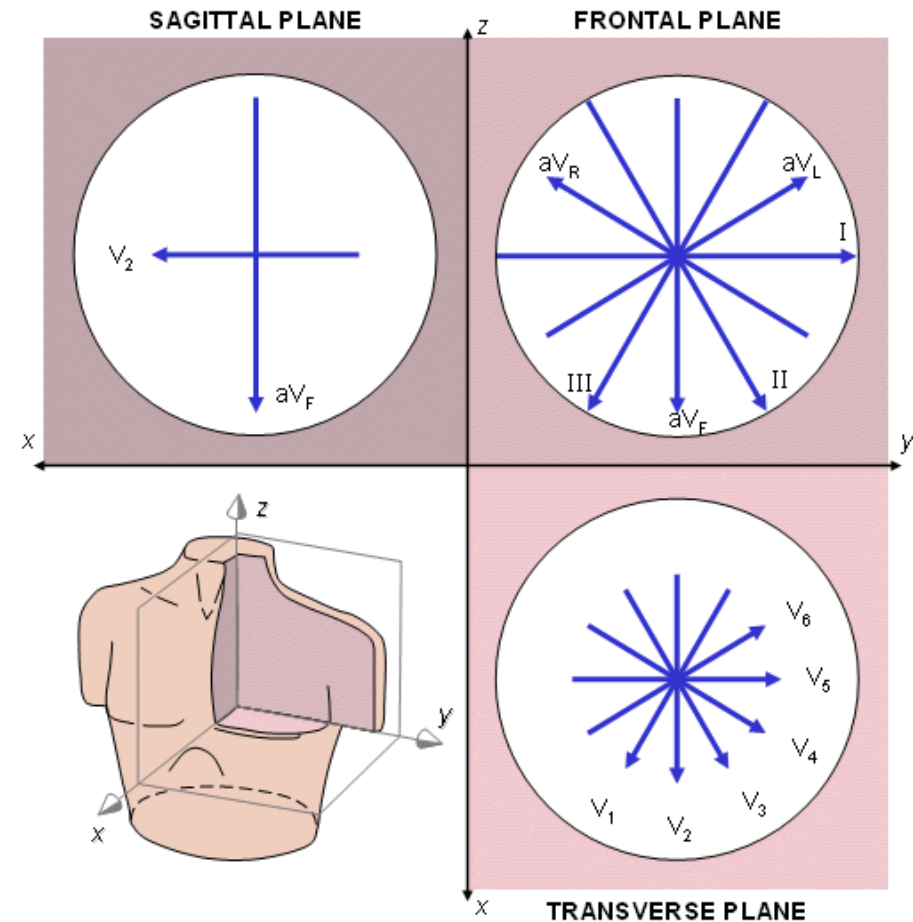
Battement cardiaque standard et descripteurs



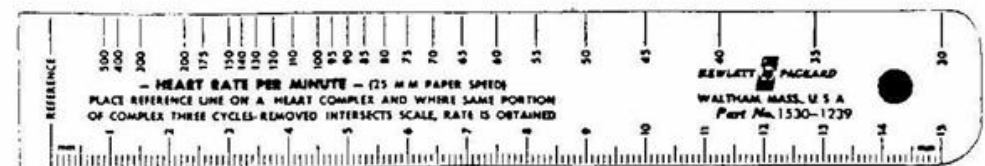
Examen électrocardiographique 12 dérivations



Enregistrement < 1min



Analyse manuelle



Autres examens d'enregistrement électrocardiographiques

Epreuve d'effort



Enregistrement
~ 20 min

Analyse manuelle

Enregistrement Holter : ECG > 24 heures



Norman Holter
1961



Holter supplies 2008

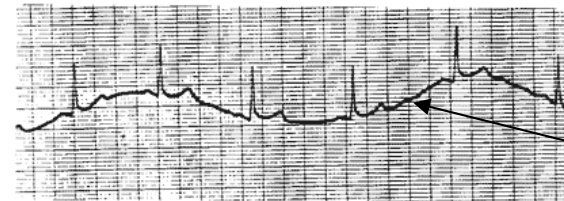
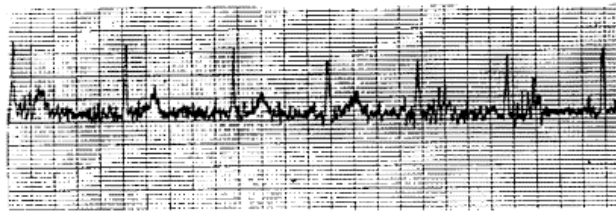


10^5 battements

Analyse automatique
+ expertise

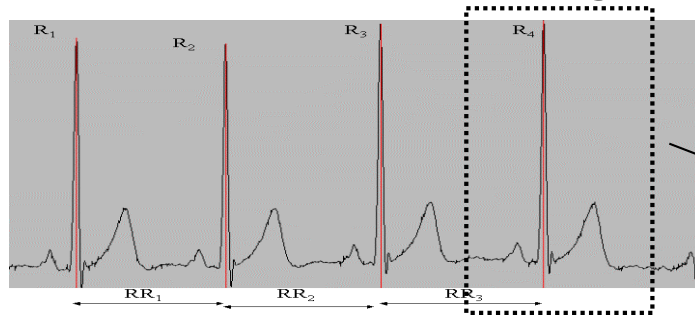
Traitement automatique du signal ECG

- *Filtrer* : éliminer des bruits haute et basse fréquence



Ligne de base

- *Segmenter* : découper le signal en battements élémentaires

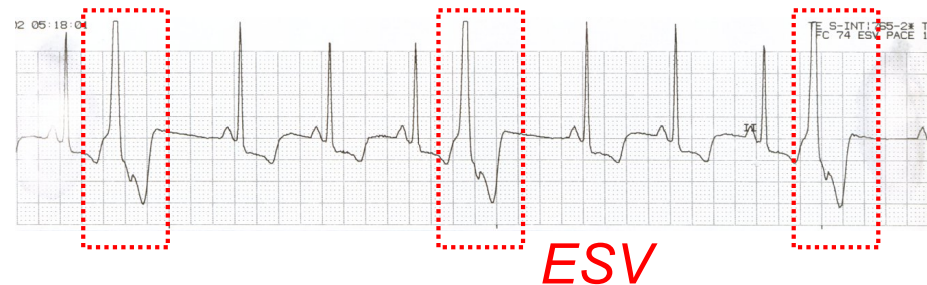


Distance RR : rythme

battement

- *Classifier* : distinguer les battements normaux (> 90%) des battements « anormaux »

└─ Intervention manuelle de l'expert

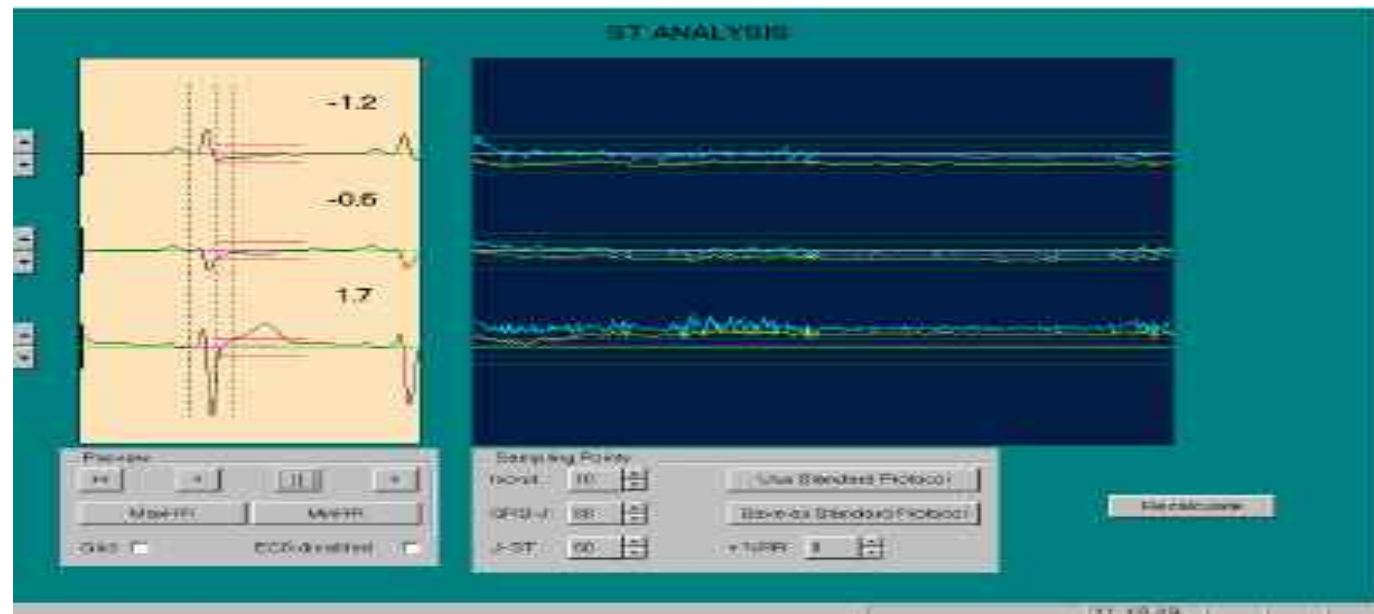


Spiderview et Synescope de

Vue synthétique
du rythme



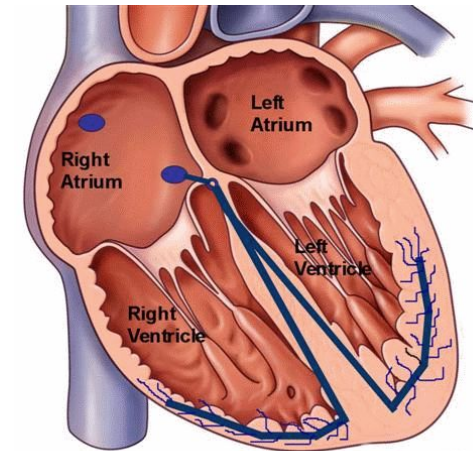
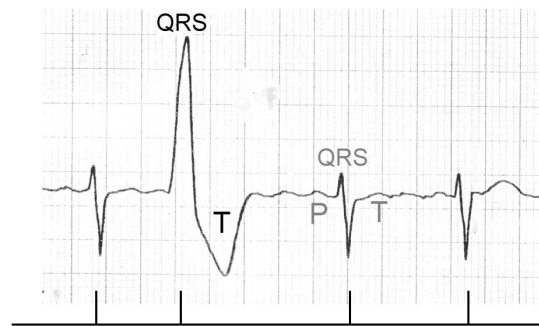
Analyse dynamique
du segment ST



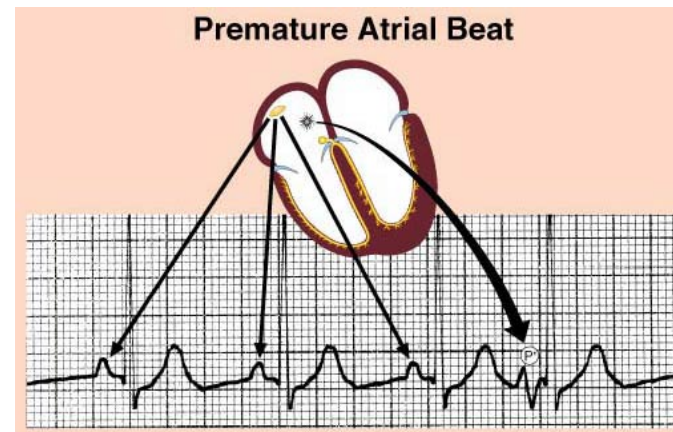
VARIANTES DE LA NORMALE ET PATHOLOGIES

forme

Extrasystole
Ventriculaire

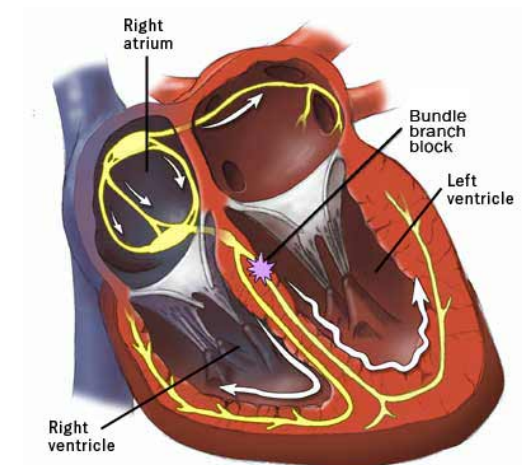
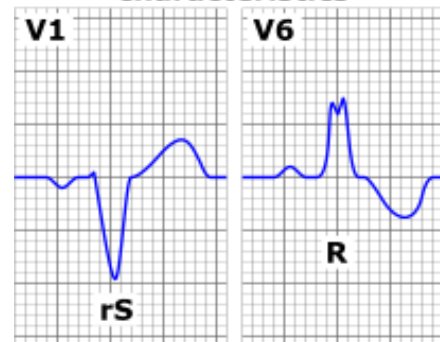


Extrasystole
Auriculaire



Bloc de branche

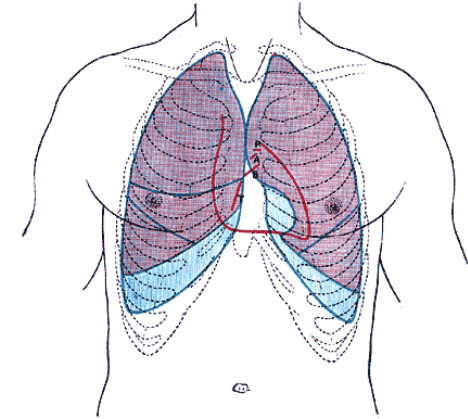
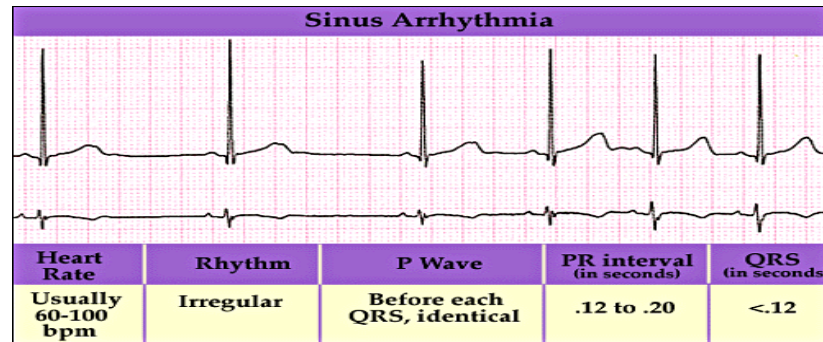
Left bundle branch block
characteristics



Variantes de la normale et anomalies de l'ECG rythme

50bpm <= Freq <=100 bpm

Arythmie
sinusale

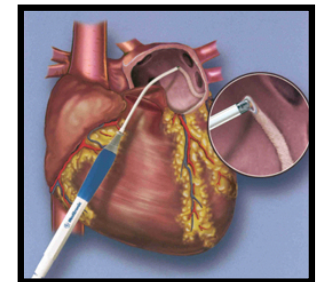
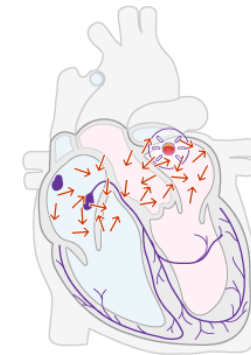
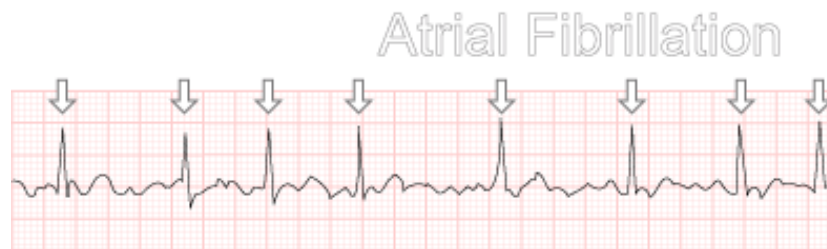


Freq <50 bpm

Bradychardies/Tachycardies

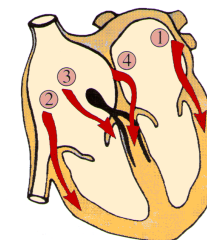
Freq >100 bpm

Fibrillation
auriculaire



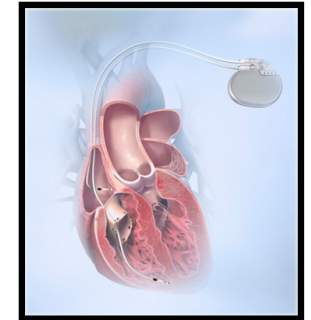
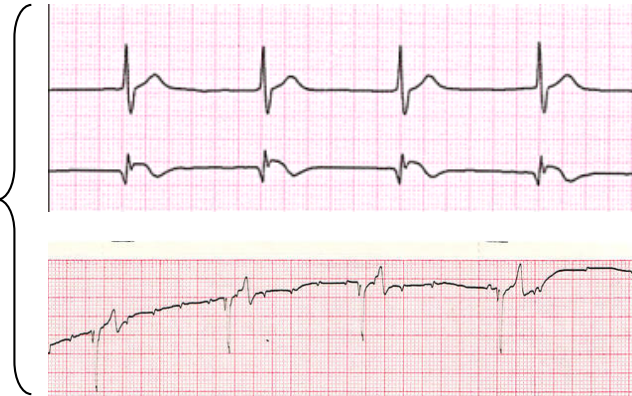
↳ **Risque AVC**

Bouveret
WPW

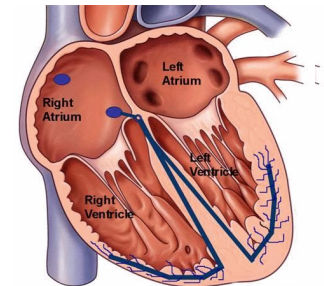


Variantes de la normale et anomalies de l'ECG rythme

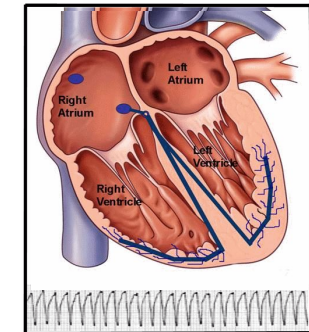
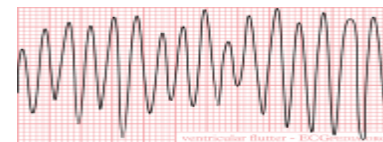
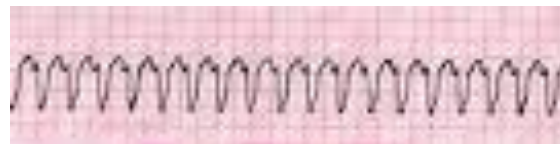
Echappement
jonctionnel



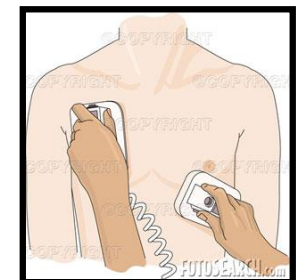
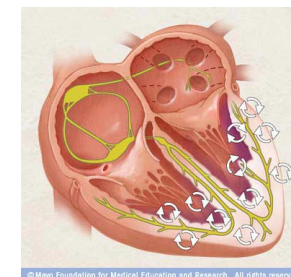
Echappement
Ventriculaire
SA



Tachycardie
Ventriculaire
Flutter
ventriculaire

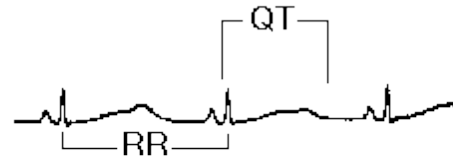


Fibrillation
Ventriculaire



Variantes de la normale et anomalies de l'ECG

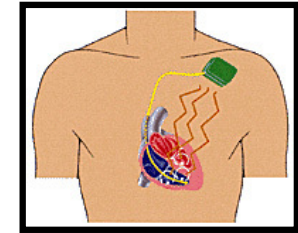
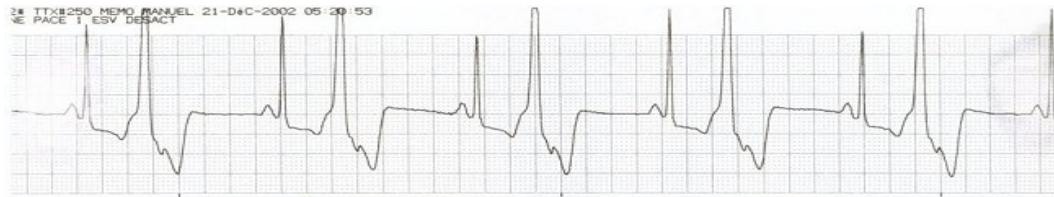
QT long
RW/médicaments



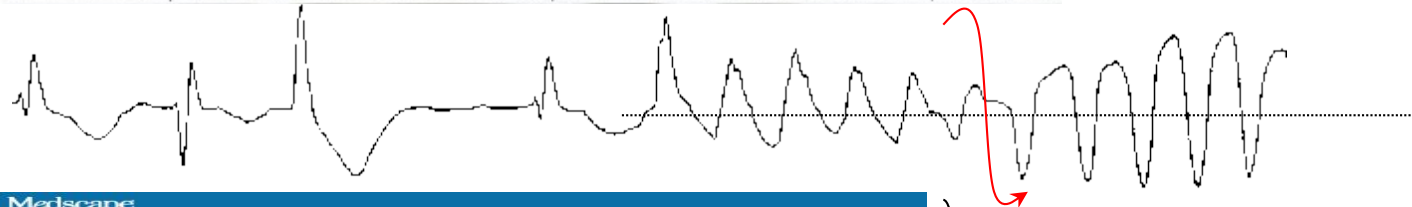
$$QT_c = \frac{QT}{\sqrt{RR}} = \frac{0.71}{\sqrt{1.11}} = 0.67 \text{ seconds}$$



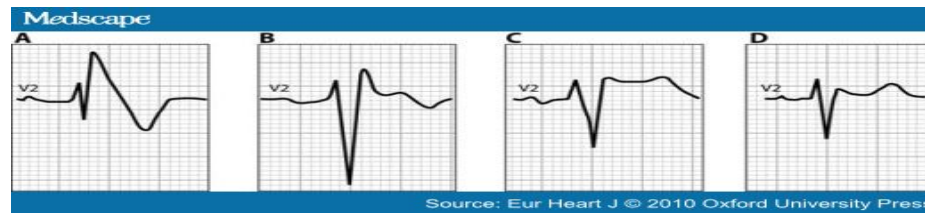
ESV précoces
(R/T)



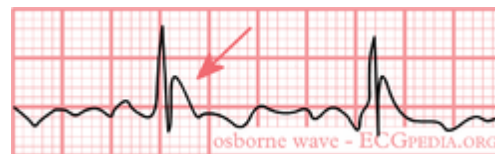
Torsade
de pointe



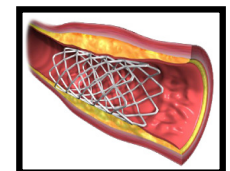
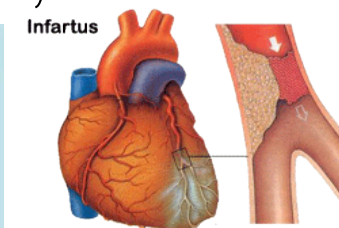
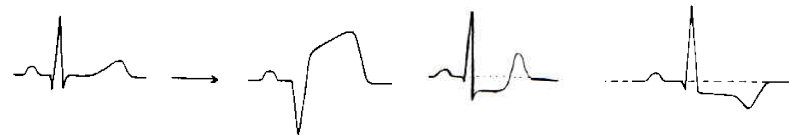
Brugada



Hypothermie

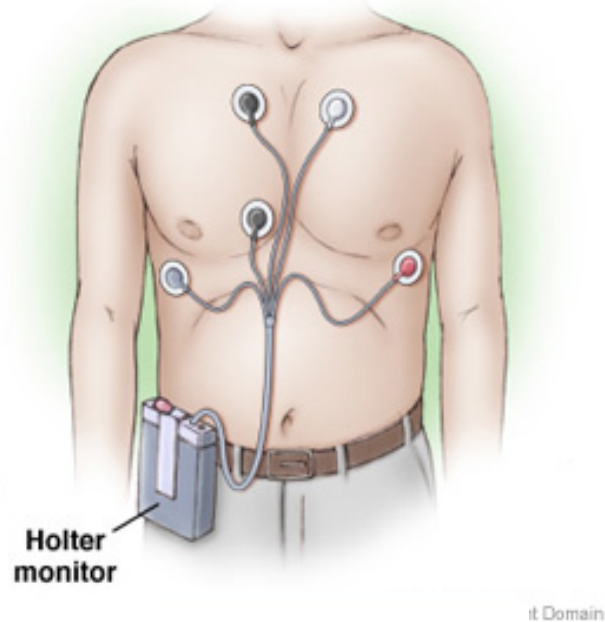


Infarctus



Onde J
ou
Onde d'Osborne

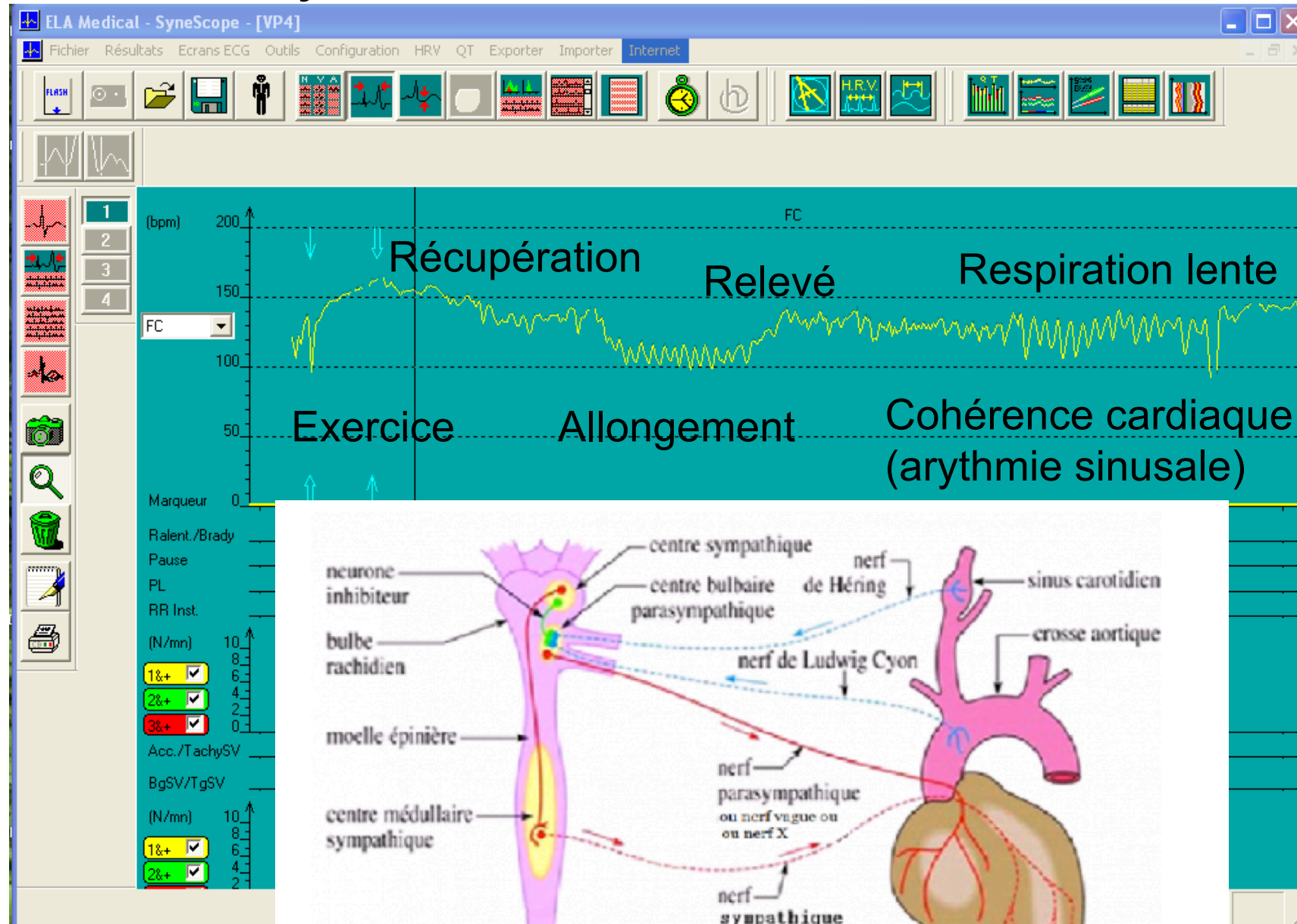
Exemple d'enregistrement holter



Protocole expérimental comprenant des exercices respiratoires, un *petit* effort, un relèvement *lent* depuis la position couchée et une respiration *lente* contrôlée



Influence du système nerveux autonome sur le coeur



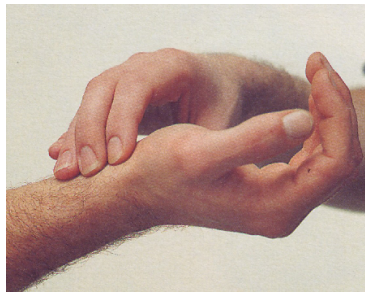
EXAMENS/OUTILS THERAPEUTIQUES

Examens/Imagerie

Ecoute du patient/ de témoins

Examen clinique

Prise de pouls



Observation



Stéthoscope Littman



Examen biologique

Troponine (2010), NT pro BNP (2001),...

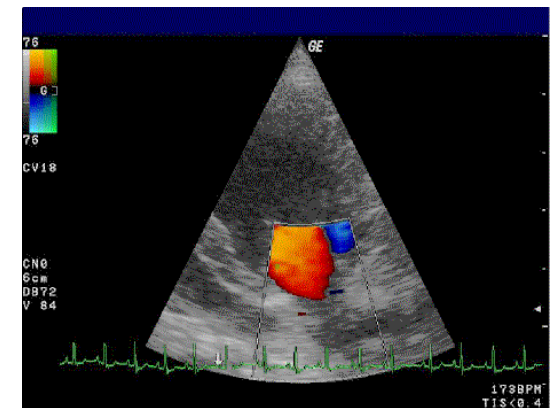
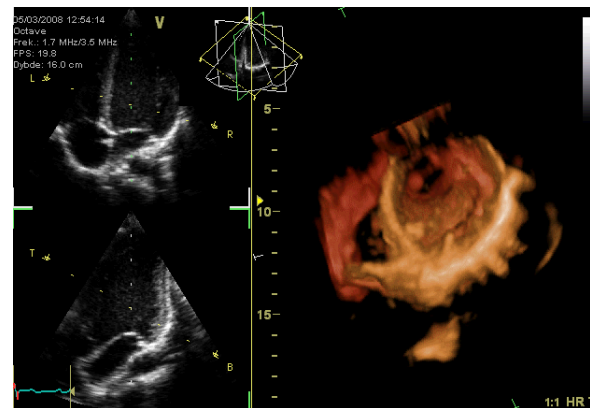
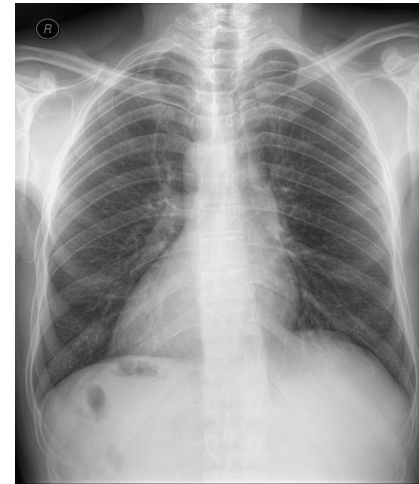
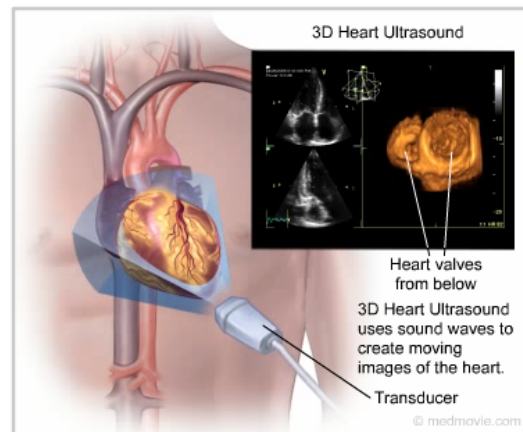
Autres examens en plus de l'ECG et ses variantes...

Examens/Imagerie

Radiographie

Echographie
+
Doppler

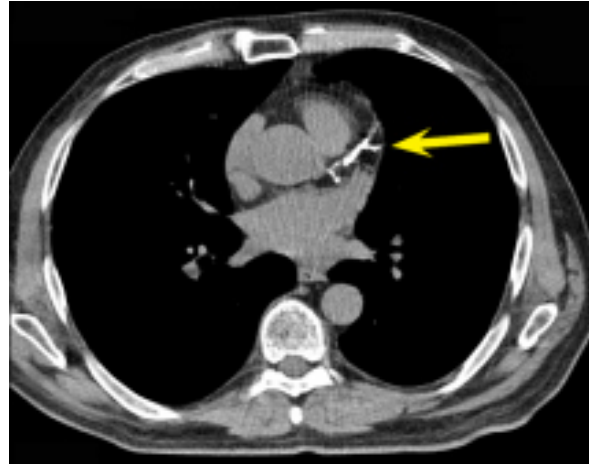
3D Heart Ultrasound



Examens/Imagerie

Scanner Rayon X

Score calcique

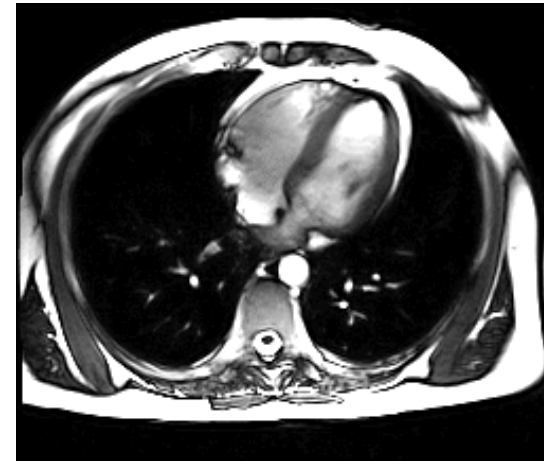


Coronarographie virtuelle
CT 3D



Examens/Imagerie

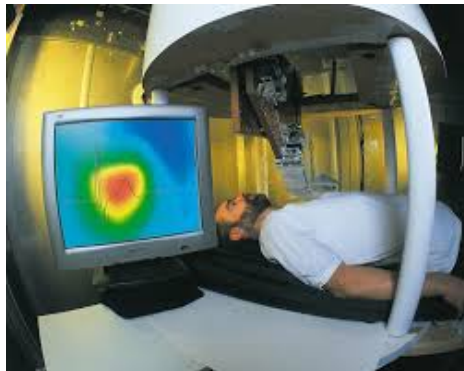
IRM cardiaque



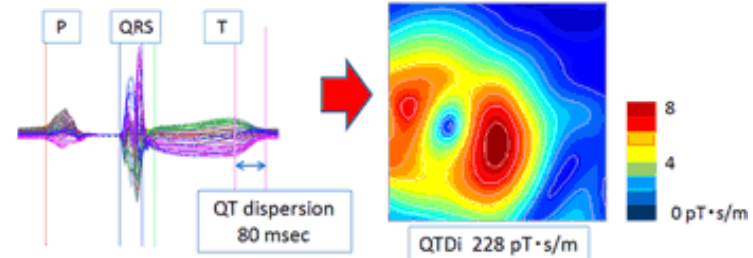
Scintigraphie cardiaque d'effort



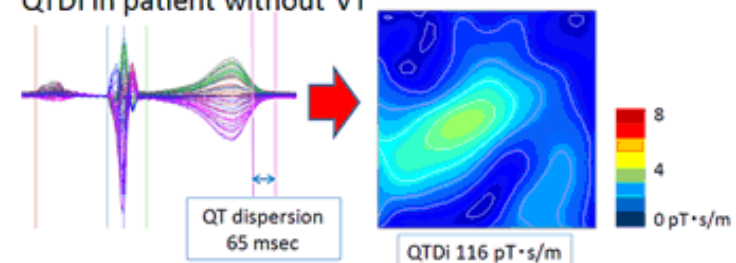
Magnétocardiographie



A QTDi in patient with VT



B QTDi in patient without VT



Réponses thérapeutiques

Cardiologie médicale

Hygiène de vie

Médicaments

Anti-arythmiques

Anti-coagulants

Anti-hypertenseurs

Vasodilatateurs

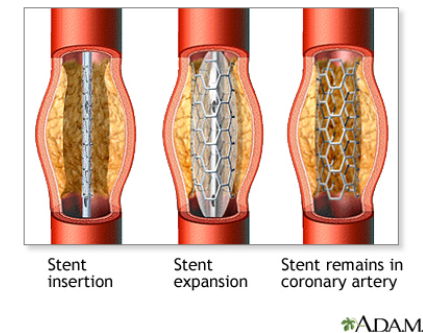
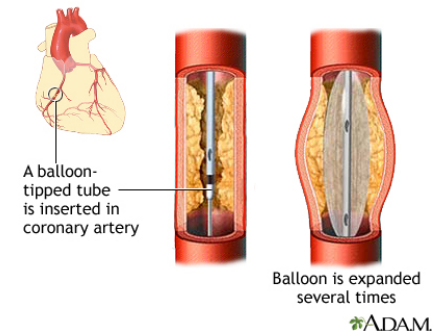
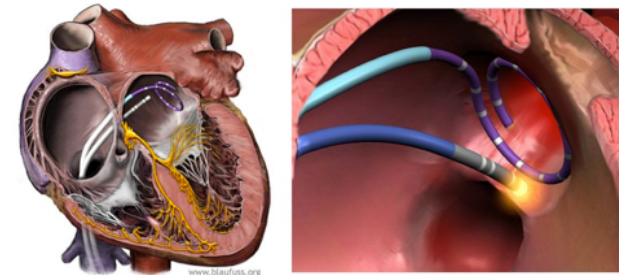
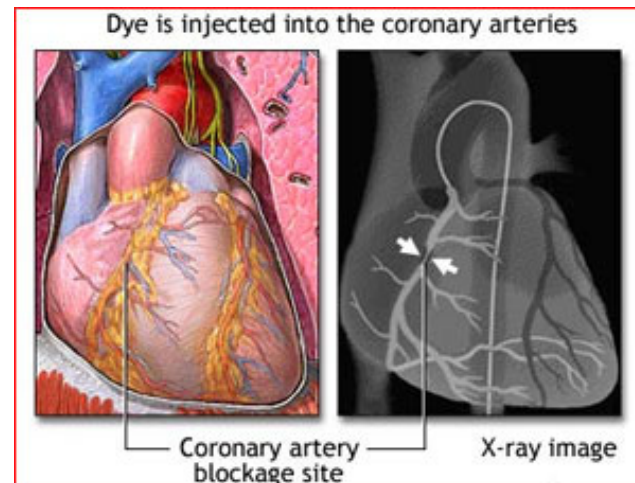
Cardiologie interventionnelle

Radiofréquence

Coronarographie

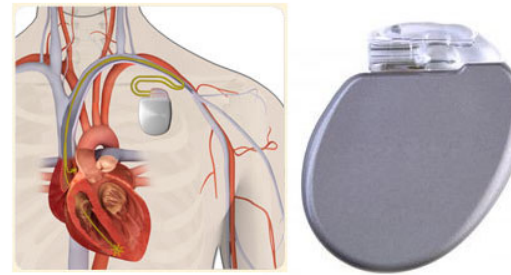
+

Stents

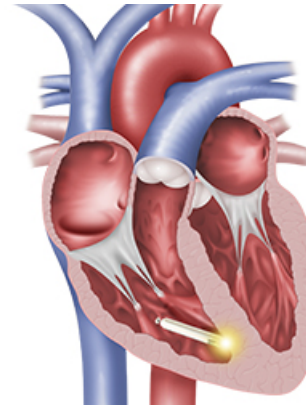
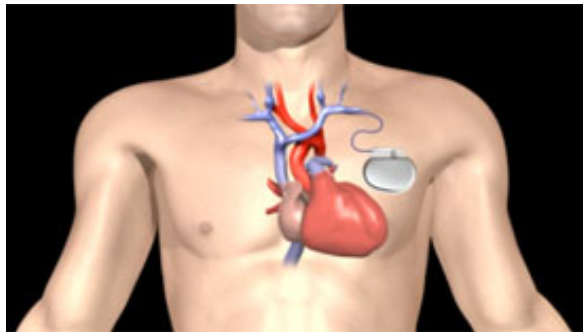


Cardiologie interventionnelle

Défibrillateur automatique implantable



Pacemaker



nanostim™

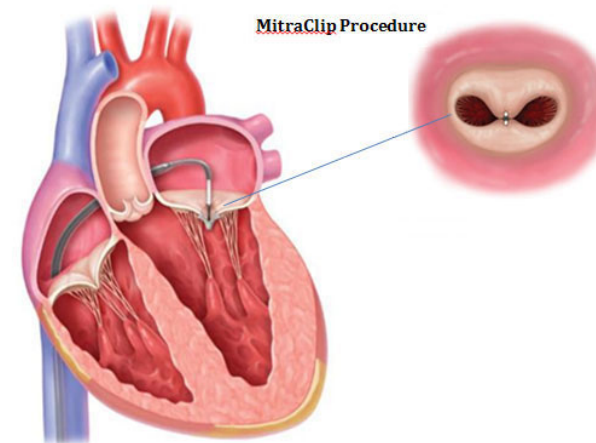


micra™

Valves artificielles

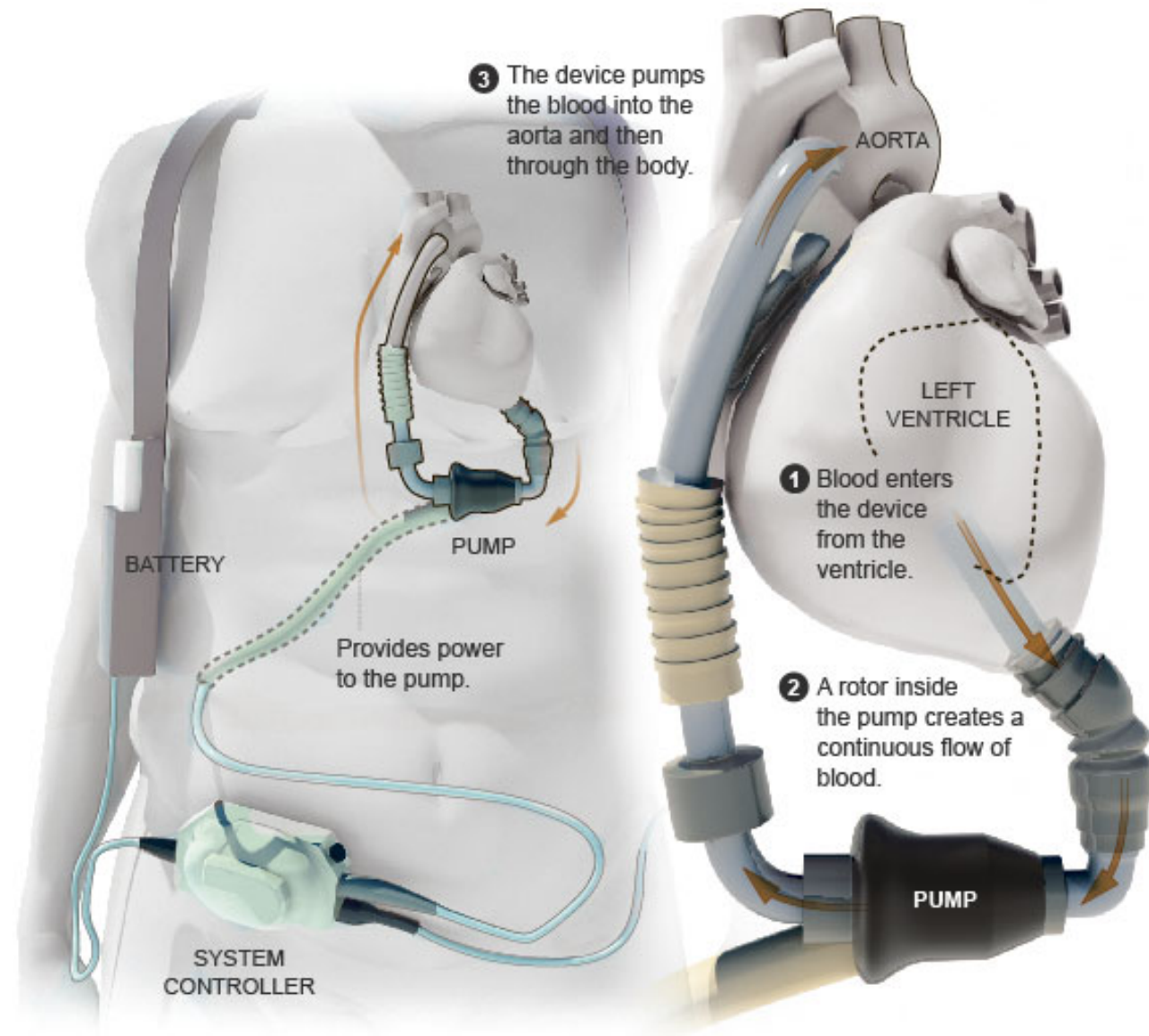


mitraclip™

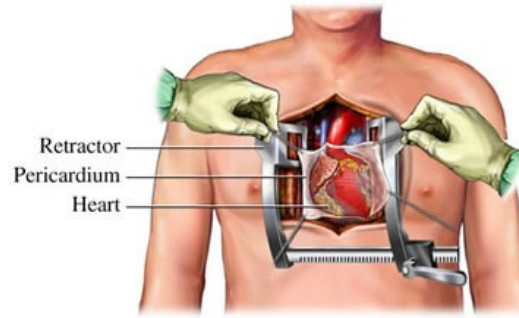


Courtesy of Abbott Vascular. © 2013 Abbott Laboratories. All Rights Reserved.

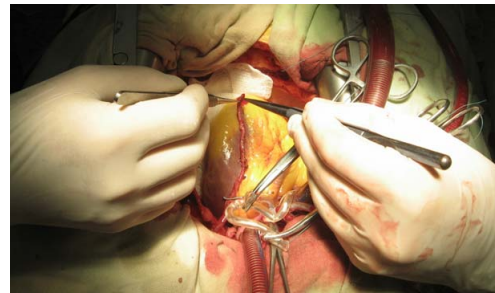
Assistance ventriculaire (LVAD) Heart mate II de Thoratec



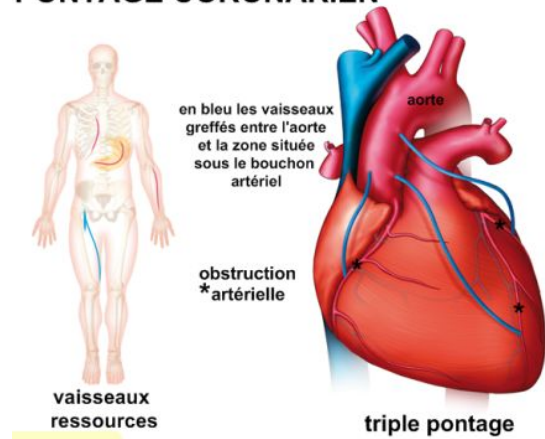
Chirurgie cardiaque



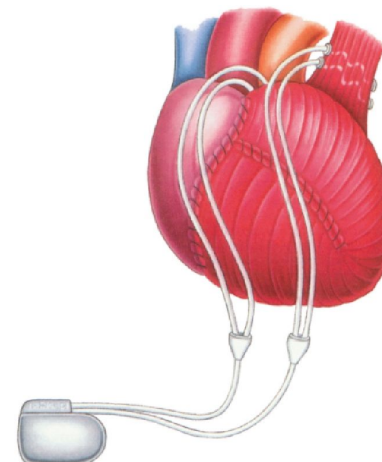
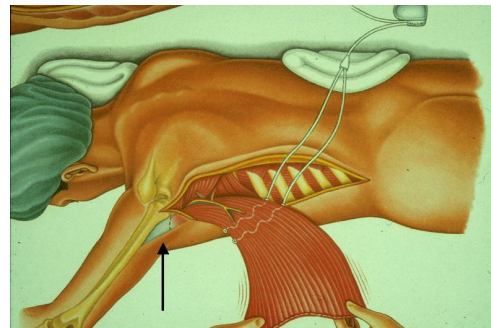
Pontages coronariens



PONTAGE CORONARIEN

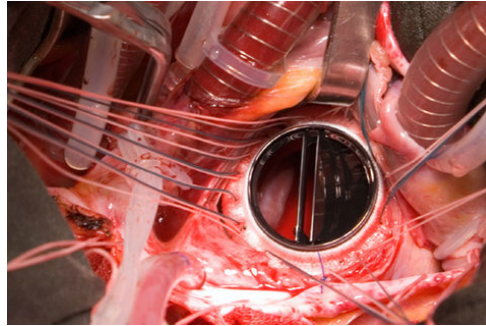


Cardiomyoplastie dynamique



Chirurgie cardiaque

Remplacement d'une valve



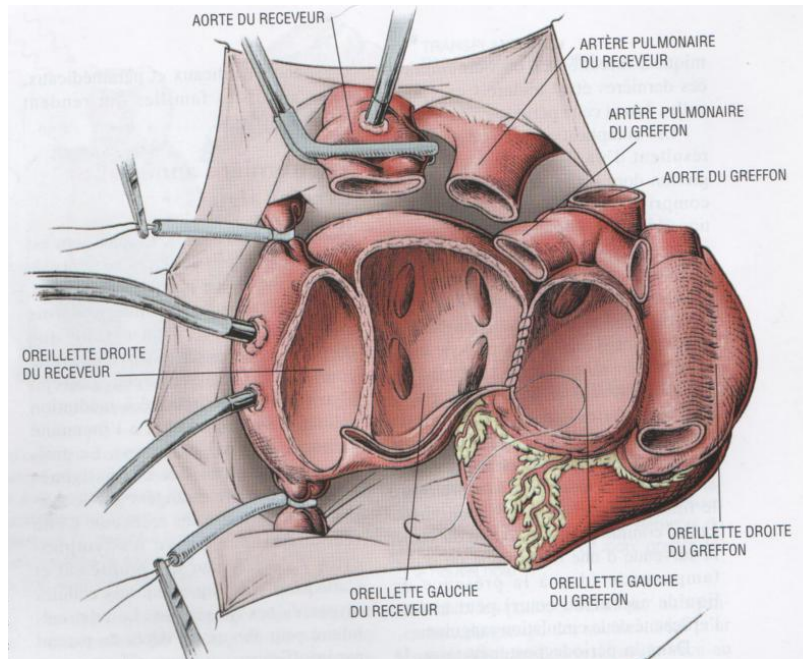
Valve
biologique



Valve
mécanique



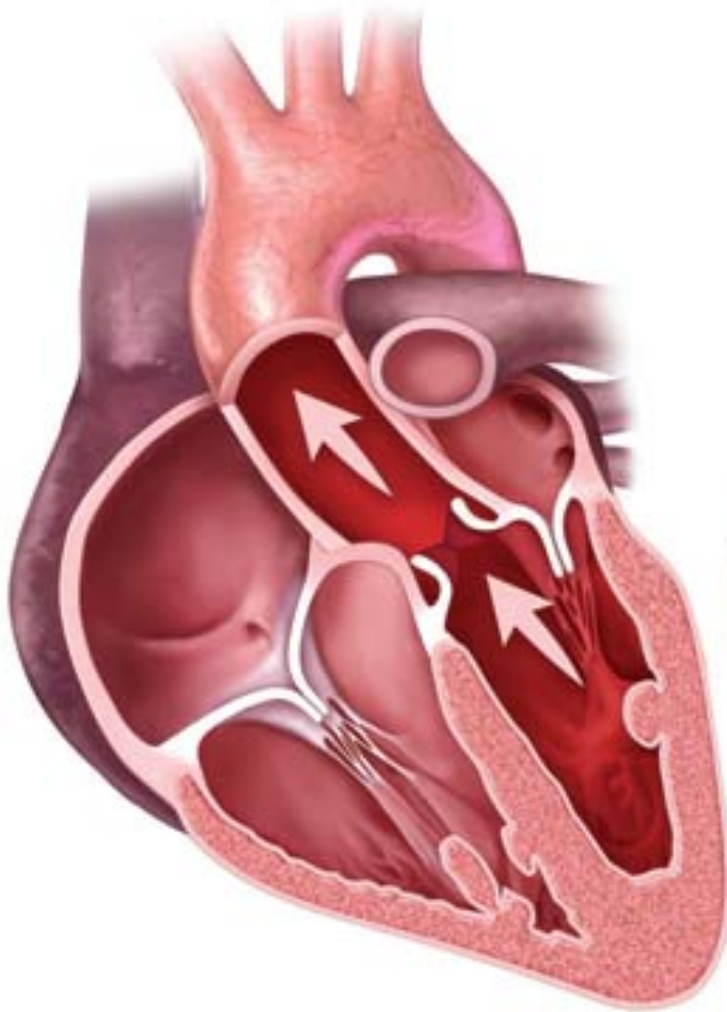
Transplantation



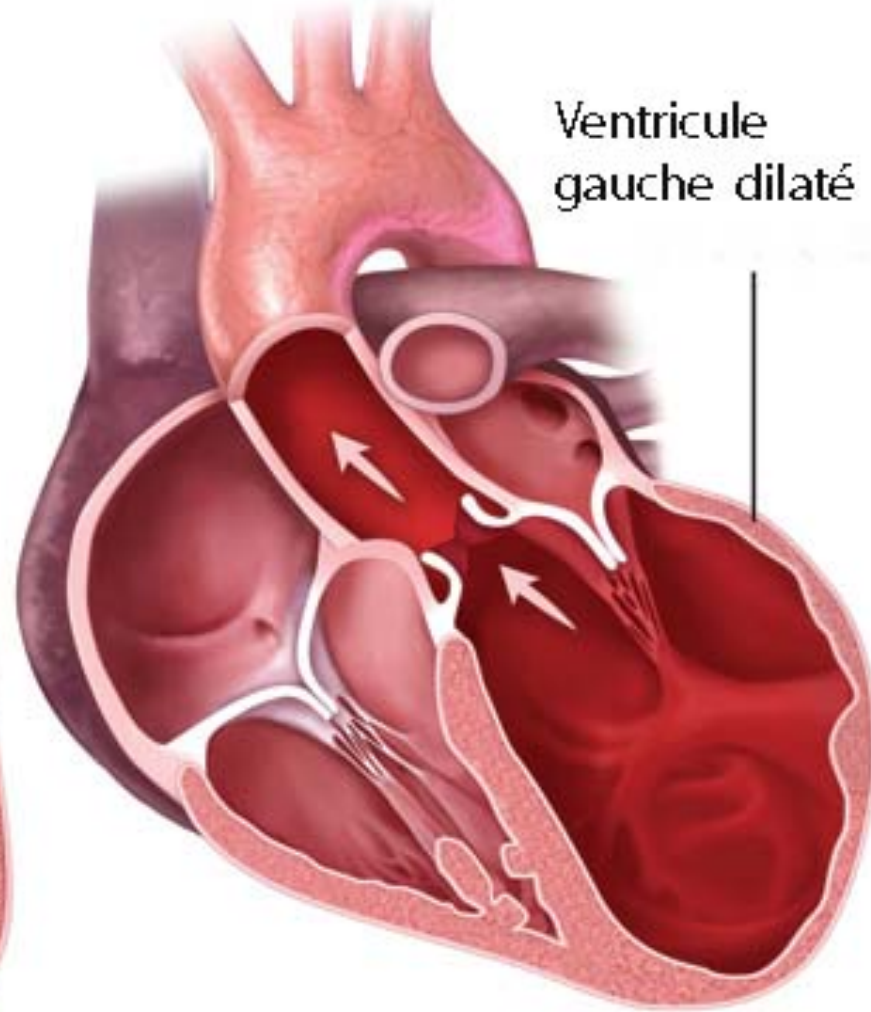
Pr C. Barnard

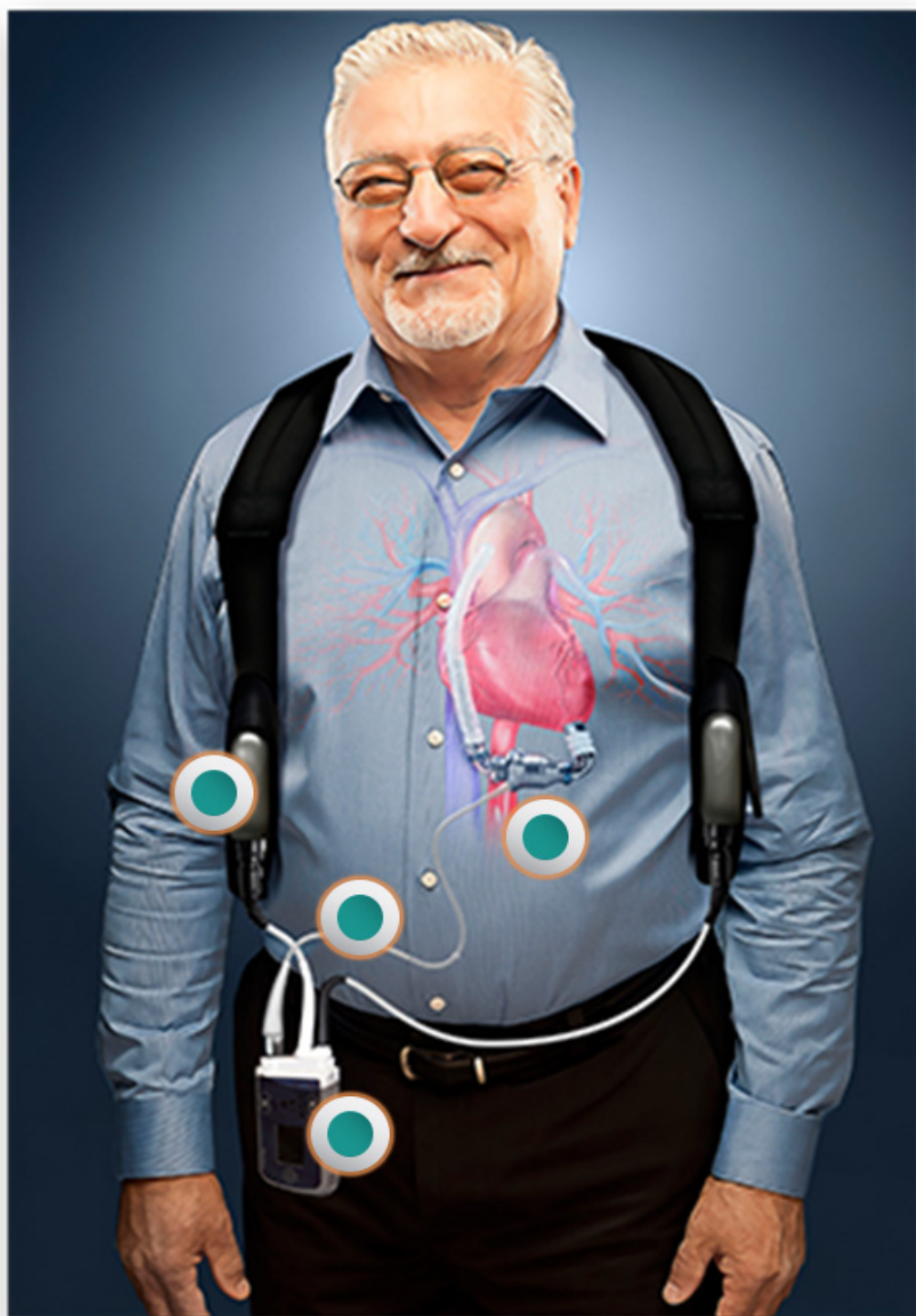
Histoire d'un patient insuffisant cardiaquequelque part en 2020

Coeur normal



Cardiomyopathie dilatée

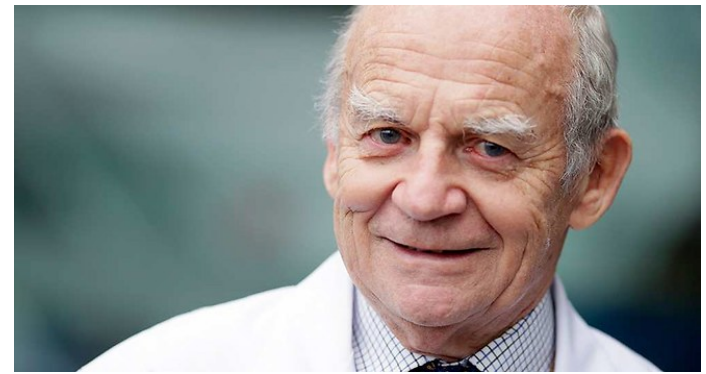




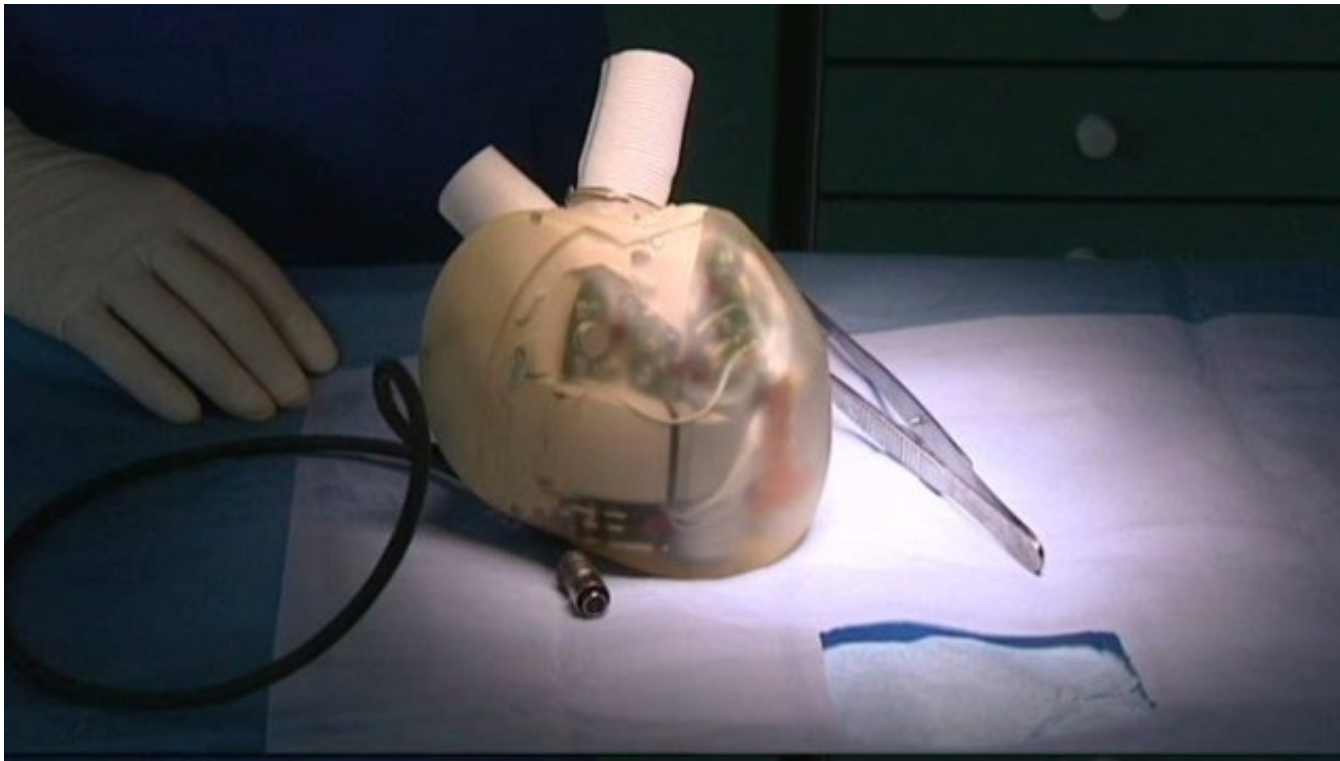


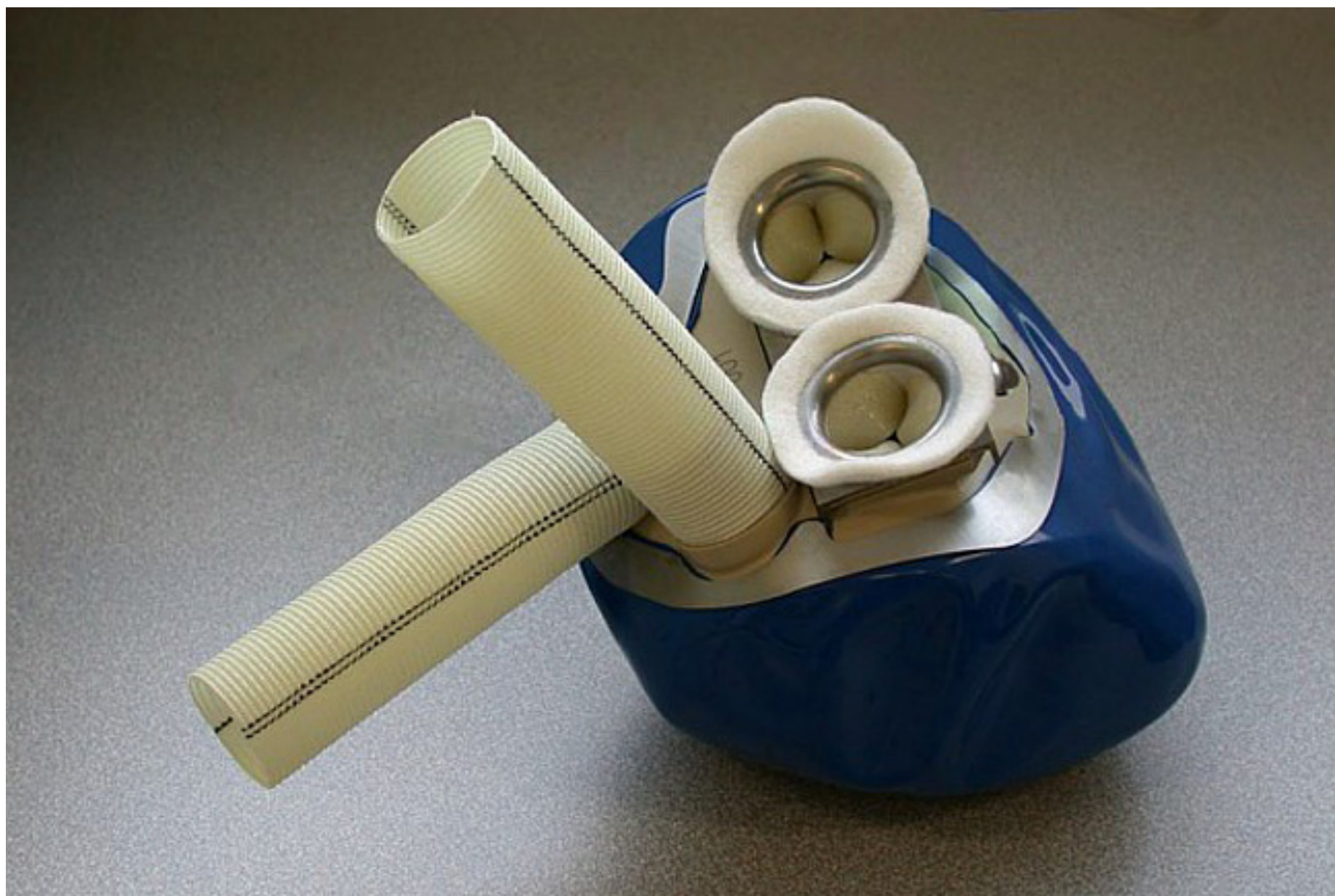


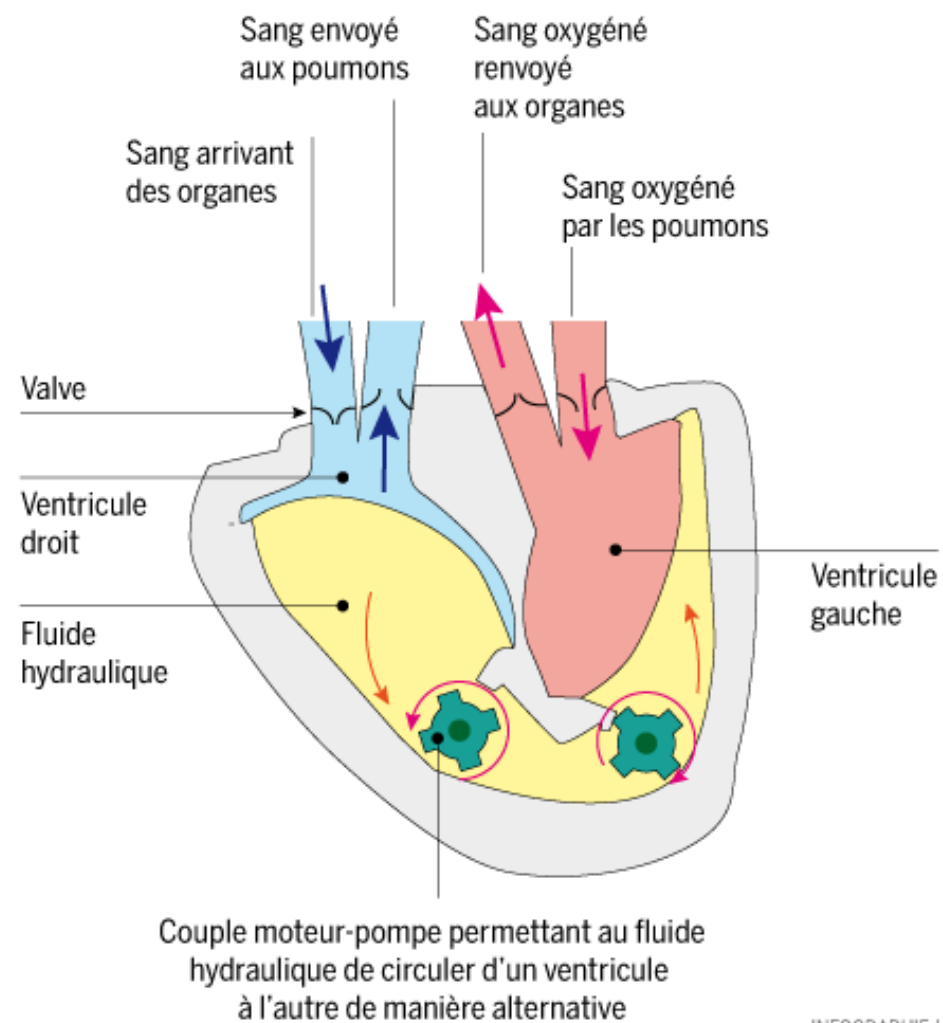
L'AVENTURE CARMAT

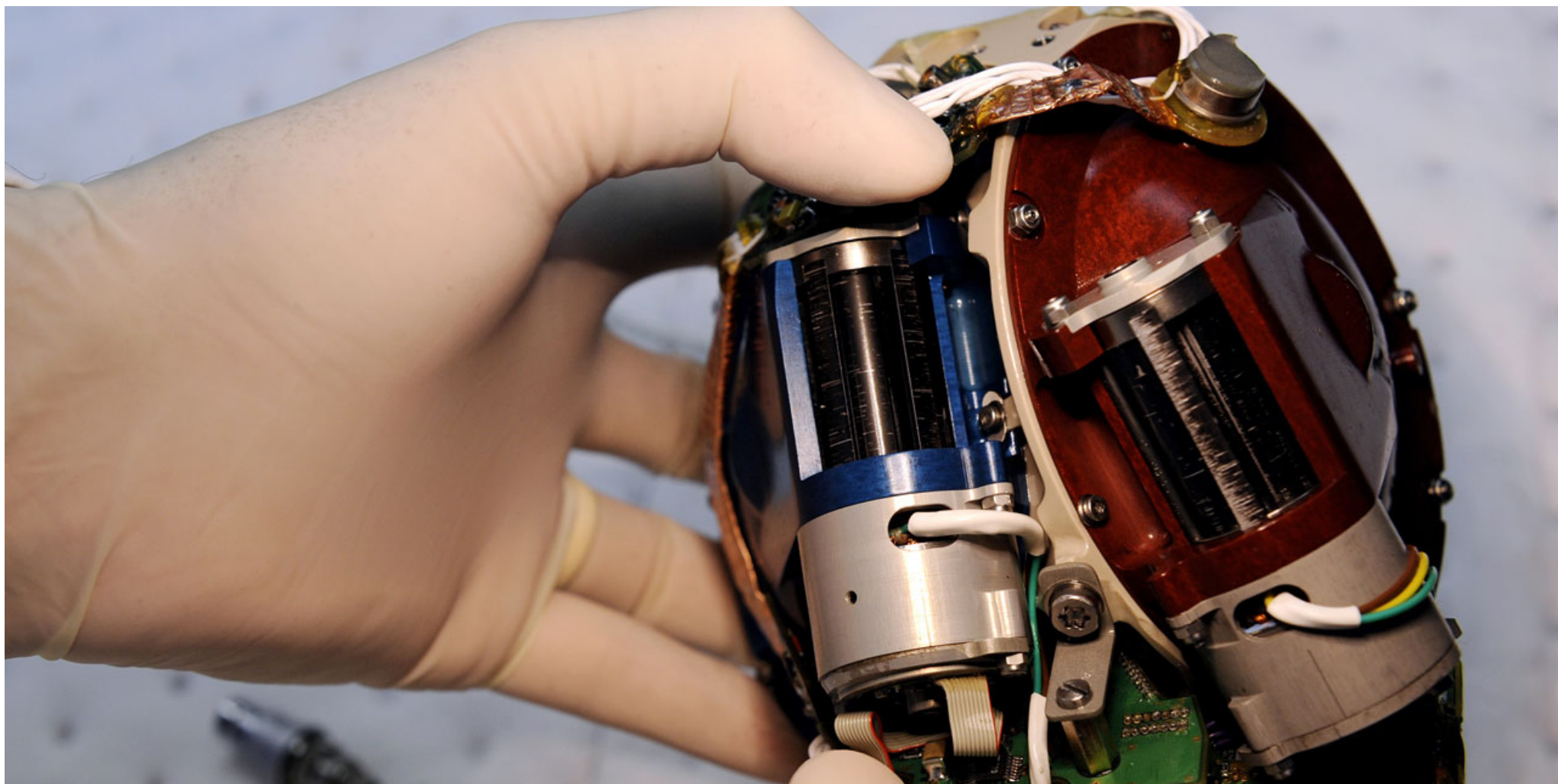


Pr A.Carpentier







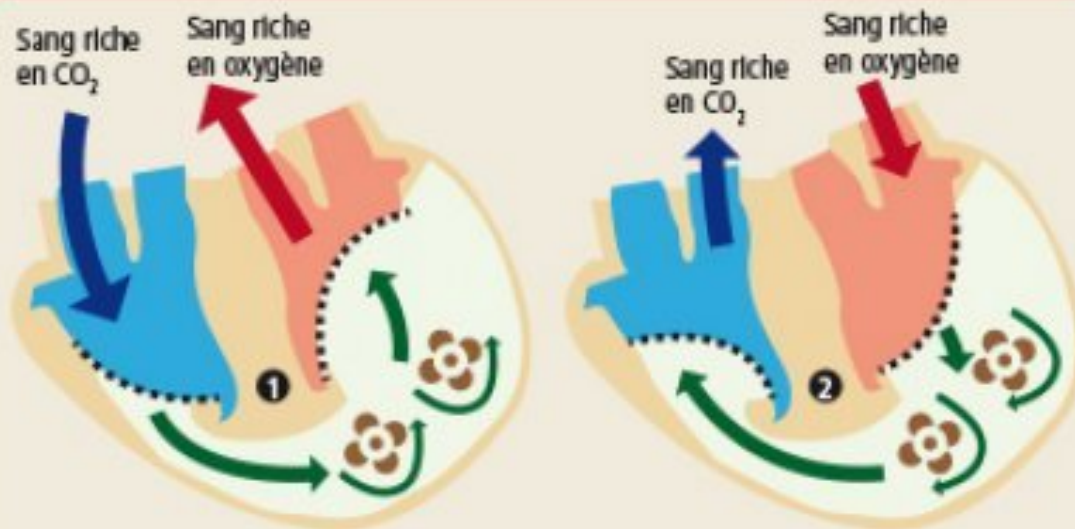




> Le fonctionnement de la prothèse implantable

Ensemble totalement artificiel

 Ventricule droit	 Pompes	 Membranes
 Ventricule gauche	 Liquide d'activation	 Paroi



- ❶ Deux micropompes fournissent un débit autorégulé du liquide d'activation. Celui-ci exerce une pression sur la membrane du ventricule gauche et libère la membrane du ventricule droit. Le sang riche en CO_2 arrive alors des organes et le sang riche en oxygène est envoyé aux organes.

- ❷ Le sens de rotation des micropompes s'inverse. Le liquide exerce alors une pression sur la membrane du ventricule droit et libère la membrane du ventricule gauche. Le sang riche en CO_2 est envoyé aux poumons et le sang riche en oxygène arrive des poumons.

La Télécaméra / R. Lital - Sources et photo : Corrat SA



- A Prothèse cardiaque B Prothèse sans la paroi
C Alimentation par piles (12 h d'autonomie)
D Passage du câble de l'alimentation
E Envoi des données à l'hôpital par liaison GSM

Les défis technologiques

Bio et hémo-compatibilité: concevoir une prothèse minimisant les risques de thrombose

Contraintes de volume et de poids: volume d'éjection suffisant + électronique embarquée

Contraintes énergétiques: portabilité pour assurer une autonomie et une vie normale

Adaptation aux mouvements: algorithmes de régulation

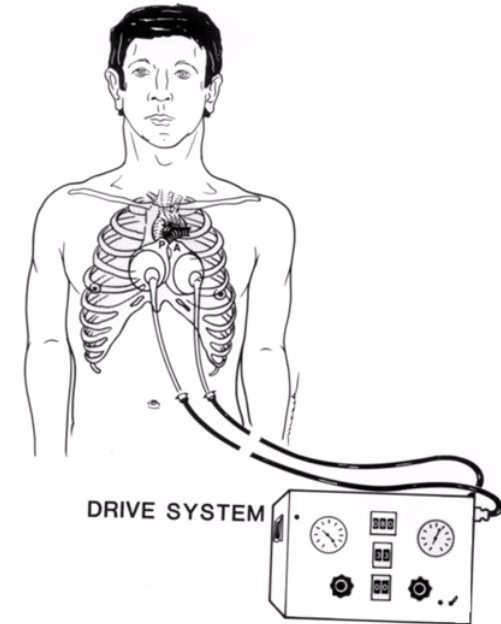
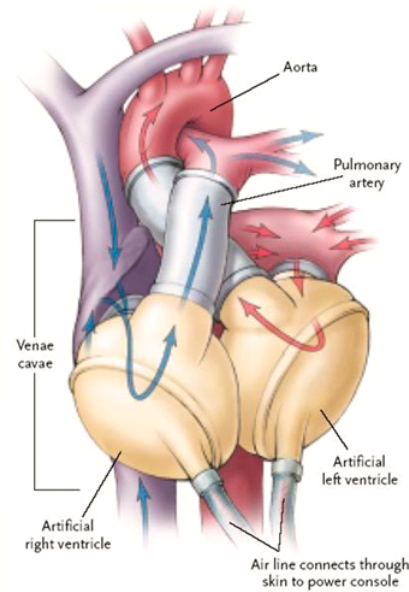
Fiabilité au long cours: indispensable pour un dispositif vital

Coût actuel : 160 k€

Exemples de cœurs artificiels

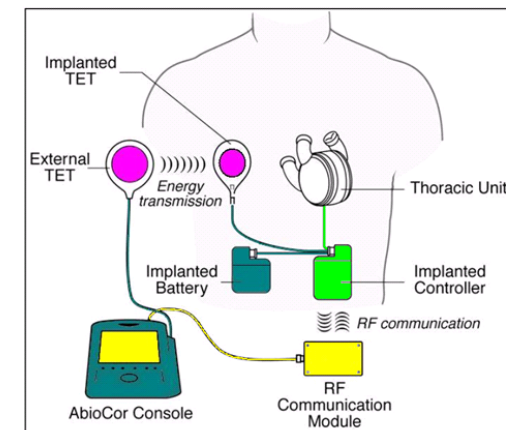
Assistance ventriculaire

Jarvik7



Cœur artificiel implanté (TAH)

Abiocor™



Relations entre les composantes internes et externes de l'AbioCor

Points forts-Points faibles

Points forts	Points faibles
Prothèse miniaturisée ne pesant que 900 grammes. Plus légère que les autres prothèses cardiaques sur le marché (sauf celle de l'AbioCor qui a le même poids mais qui est plus volumineuse). Sa forme et son volume copiant exactement les ventricules naturels	Poids environ trois fois plus lourd que le cœur naturel (poids moyen chez l'adulte entre 250 et 350 grammes).
Premier cœur artificiel ayant une durée prévisionnelle de 5 ans (dans certains cas, le cœur devra être renouvelé)	Malgré une durée de 5 ans, le CARMAT devra, dans certains cas, être renouvelé (Coût de la prothèse important : 160.000 euros).
Totalement implantable dans le thorax du patient lorsqu'il sera doté d'un système de transfert d'énergie transcutané comme l'AbioCor.	Totalement implantable mais ne remplace pas totalement le cœur (ne se substitue qu'aux ventricules et à certaines valves)
	Conserve un système extérieur au malade (batteries fournissant l'alimentation électrique de la prothèse et boîtier de surveillance de l'état de santé du patient)
Prochainement, l'autonomie des batteries renforcée avec des piles à combustible (autonomie de 12h en tout, poids beaucoup plus léger de 3kg).	Autonomie limitée actuellement à 6 heures au total (2 batteries lithium-ion), système lourd porté sur un chariot.
Utilisation de matériaux biocompatibles et hémocompatibles, écartant le risque de rejet, de caillots sanguins et de destruction de globules rouges.	
Système de régulation électronique de pointe conférant une véritable auto-adaptabilité physiologique intelligente adaptant le rythme cardiaque aux situations diverses.	
	Implantations actuellement limitées, comme pour tous les cœurs artificiels, aux patients n'ayant pu bénéficier d'une greffe cardiaque. Ce qui signifie que la greffe cardiaque est encore considérée comme la meilleure solution possible pour le patient.

Comparaison avec les leaders actuels du marché

	Jarvik 7	AbioCor	CARMAT
Prothèse interne/externe	Prothèse en partie interne et en partie externe	Totalement implantée	Totalement implantée
Matériaux utilisés pour la prothèse	Matériaux non bio et non hémocompatibles	Matériaux non bio et non hémocompatibles	Matériaux bio et hémocompatibles
Poids de la prothèse	Prothèse en partie interne et en partie externe de plus de 40 kg	900 grammes	900 grammes
Volume de la prothèse	Important et en partie extérieure au corps	Encore trop important et pas adapté aux petites cages thoraciques, ceci risquant de provoquer des hémorragies et des infections	Totalement identique au volume des ventricules remplacés
Facilité de mouvement du patient	Faible (utilisation d'un compresseur extracorporel pesant plus de 40 kg et ne permettant pas une vie proche de la normale)	Moyenne (problème de la lourdeur de la console-batterie externe au patient)	Forte (boîtier de surveillance externe et batteries porté sans effort par le patient, dès qu'il sera utilisé des batteries-piles à combustible)
Risques iatrogènes [2]	Forts (infections, caillots de sang)	Moyens (grosseur de la prothèse provoquant des risques d'hémorragies, absence d'hémocompatibilité) mais système de passage des informations et de l'énergie électrique par voie transcutanée limitant les risques d'infection	Faibles à moyens : reste à supprimer la voie percutanée (passage d'un fil traversant la peau derrière l'oreille gauche) en lui substituant la voie transcutanée (projet à l'étude actuellement)
Régulation du rythme cardiaque	Faible	Bonne : Boîtier de commande implanté dans l'abdomen pour contrôler et surveiller la fonction cardiaque. Une console externe permet au patient de réguler son rythme cardiaque	Excellente : Auto-adaptabilité physiologique grâce à son électronique embarquée.

<https://youtu.be/uX--ST-vVv0>

<https://www.carmatsa.com/fr/medias/audio-a-video/film-corporate>

Première transplantation du cœur CARMAT



18 décembre 2013...

2 mars 2014

CONCLUSION

En 50 ans, les progrès en cardiologie ont été considérables sur les plans diagnostique et thérapeutique, en particulier à cause de la collaboration entre médecins, physiologistes, biologistes, chimistes, ingénieurs, physiciens, informaticiens, mathématiciens...

Les technologies qui viennent assister ou suppléer le cœur sont donc de plus en plus efficaces, mais les pathologies cardiaques sont de plus en plus fréquentes...

Parmi ces techniques, les cœurs artificiels sont porteurs d'espoirs pour les patients en insuffisance cardiaque grave et irréversible et ne pouvant bénéficier d'une greffe du cœur, solution limitée par le manque de greffons cardiaques. La technologie des cœurs artificiels connaît avec le CARMAT un véritable saut technologique dans le remplacement du cœur naturel par une machine.

Le cœur artificiel constitue peut-être une nouvelle étape vers l'homme bionique, véritable schéma d'espoir mais aussi thème de réflexion éthique sur le sens de la vie.

Le cœur naturel est porteur d'une symbolique forte difficile à égaler...

