

Chapitre 4 : Examens complémentaires en cardiologie

Collège National des Enseignants de Cardiologie et Maladies vasculaires

Date de création du document 2010-2011

Table des matières

I	Généralités.....	6
I.1	Risque des examens.....	6
I.2	Consentement éclairé.....	7
I.3	Statistiques et examens complémentaires.....	7
I.3.1	Prévalence de la maladie dans une population à laquelle appartient le patient examiné.....	7
I.3.2	Sensibilité, spécificité, prédictivité positive, prédictivité négative.....	8
I.4	Coût des examens complémentaires.....	9
I.5	Conclusion.....	9
II	L'électrocardiogramme de repos.....	9
II.1	Principe de base.....	9
II.2	Dérivations.....	10
II.3	Enregistrement de l'électrocardiogramme.....	12
II.4	Analyse de l'électrocardiogramme.....	13
II.5	Electrocardiogramme normal.....	13
II.5.1	Rythme et fréquence.....	13
II.5.2	Dépolarisation auriculaire : onde P.....	14
II.5.3	Conduction auriculo-ventriculaire : espace PR ou PQ.....	14
II.5.4	Dépolarisation ventriculaire : complexe QRS.....	15
II.5.4.1	Nomenclature.....	15
II.5.4.2	Morphologie du complexe QRS.....	15
II.5.4.3	Axe de QRS dans le plan frontal (Â QRS).....	16
II.5.4.4	Amplitude de QRS.....	16
II.5.4.5	Durée du complexe QRS.....	17
II.5.4.6	Délai d'apparition de la déflexion intrinsécoïde	17

II.5.4.7 Point J.....	17
II.5.4.8 Repolarisation ventriculaire : segment ST – onde T – onde U.....	17
II.6 ECG normal de l'enfant.....	18
II.7 Entraînez-vous : cet ECG est-il normal ?.....	18
III Holter ECG.....	20
IV Test d'inclinaison (Tilt-Test).....	20
V Etude électrophysiologique.....	20
VI Epreuve d'effort.....	23
VI.1 Modalités de réalisation.....	23
VI.2 Indications.....	24
VI.2.1 Ischémie myocardique.....	24
VI.2.2 Insuffisance cardiaque.....	24
VI.3 Contre-indications.....	24
VI.3.1 Impossibilité de réaliser un effort physique « maximal ».....	24
VI.3.2 Risque cardiaque important.....	24
VI.4 Critères d'évaluation.....	24
VII Echocardiographie - Doppler.....	26
VII.1 Introduction.....	26
VII.2 Modalités.....	26
VII.3 Indications, renseignements obtenus.....	28
VIII Radiologie du coeur.....	29
VIII.1 Examens radiologiques.....	29
VIII.2 Radiographie normale du coeur.....	30
VIII.2.1 Le cliché de face normal.....	30
VIII.2.2 Modifications physiologiques.....	31
VIII.2.2.1 Morphotype (figure 25).....	31
VIII.2.2.2 Age.....	32
VIII.3 Sémiologie radiologique du coeur.....	32

VIII.3.1	Taille du coeur.....	32
VIII.3.2	Analyse des cavités cardiaques.....	32
VIII.3.2.1	Oreillette droite (OD).....	33
VIII.3.2.2	Ventricule droit (VD).....	33
VIII.3.2.3	Oreillette gauche (OG).....	33
VIII.3.2.4	Ventricule gauche (VG).....	34
VIII.3.2.5	Gros vaisseaux.....	34
VIII.3.2.6	Calcifications cardiaques.....	34
VIII.3.3	Vascularisation pulmonaire	35
VIII.3.3.1	Chez le sujet normal.....	35
VIII.3.3.2	Modifications de la transparence pulmonaire	35
VIII.3.4	Conclusion.....	36
VIII.4	Scanner thoracique	36
IX	Angiocardiographie et coronarographie.....	37
IX.1	Technique.....	37
IX.1.1	Angiocardiographie par voie veineuse.....	38
IX.1.2	Angiocardiographie sélective.....	38
IX.1.3	Coronarographie.....	39
IX.2	Résultats.....	39
IX.2.1	Angiocardiographie du cœur gauche et de l'aorte.....	39
IX.2.2	Coronarographie.....	39
IX.2.2.1	Aspect normal.....	39
IX.2.2.2	Aspects pathologiques.....	41
X	Cathétérisme cardiaque.....	42
X.1	Cathétérisme droit.....	42
X.2	Cathétérisme gauche.....	43
X.3	Courbes de pression	43
X.4	Débit cardiaque.....	45

XI	Cardiologie nucléaire.....	46
XI.1	Introduction.....	46
XI.2	Angiographie isotopique.....	46
XI.3	Tomoscintigraphies du myocarde.....	47
XI.4	Scintigraphie pulmonaire de perfusion et de ventilation.....	49
XII	IRM cardiaque.....	49
XII.1	Introduction.....	49
XII.2	Condition de l'examen ; contre indications.....	50
XII.3	Sémiologie de base des images.....	50
XII.4	Principales indications actuelles.....	51
XIII	Sémiologie biologique cardiologique.....	52
XIII.1	Biologie usuelle.....	52
XIII.2	Principales informations sémiologiques.....	52
XIII.2.1	1 - Tableau douloureux thoracique: CK-MB, myosine, troponines , D-Dimères	52
XIII.2.2	Dyspnée ; pro-BNP ou BNP.....	54
XIII.2.3	Palpitations, malaises, syncopes.....	54

I GÉNÉRALITÉS

Les examens complémentaires, appelés aussi paracliniques, viennent en complément de l'analyse clinique qui doit toujours se situer en amont de leur prescription.

Cette analyse clinique est en effet indispensable pour choisir le ou les examens les plus adaptés pour répondre à la question clinique posée (en tenant compte du coût et du risque iatrogène éventuel de l'examen). Elle l'est aussi après les examens, pour exploiter au mieux les informations fournies.

Dans leur principe, les examens du cœur et des vaisseaux peuvent faire appel à des techniques de transformation d'un signal émis par l'organe (exemple activité électrique du cœur analysée par l'électrocardiogramme), ou à l'analyse de la réponse du cœur ou des vaisseaux à un signal venu de l'extérieur (exemple : imageries cardiaques).

Dans cette section, une large place est accordée à l'électrocardiogramme et à la radiographie thoracique qui représentent les examens complémentaires de routine. Les examens plus spécialisés, ou plus rarement pratiqués, ne sont abordés que brièvement.

I.1 RISQUE DES EXAMENS

Le risque des examens paracliniques est principalement lié à :

- leur mauvaise utilisation : mauvaise prescription, mauvaise interprétation, fortement liées aux notions de prévalence de la maladie, de sensibilité, spécificité, et prédictivité des examens,
- une réalisation technique inadéquate justifiant l'organisation de formations spécifiques à la réalisation de ces examens,
- enfin à la iatrogénie potentielle intrinsèque à l'examen.

Iatrogène : « se dit d'un trouble, d'une maladie provoqués par un acte médical ou par les médicaments, même en l'absence d'erreur du médecin » (définition du petit Larousse).

Les principaux risques iatrogènes des examens complémentaires sont liés à :

- l'utilisation de radiations ionisantes : par exemple les rayons X au cours des examens radiologiques,
- l'injection de produits nécessaires à l'examen, ces produits pouvant être allergisants et/ou néphrotoxiques, par exemple les produits de contraste iodés utilisés en radiologie,

- la pratique d'examens dits « invasifs », car ils nécessitent pour leur réalisation d'introduire un instrument à l'intérieur du système cardiovasculaire, par exemple l'introduction intracardiaque d'une sonde par voie artérielle rétrograde.

On peut noter qu'un même examen peut regrouper l'ensemble de ces risques (notés par valeurs croissantes de 0 à ++++ dans le tableau ci dessous) qu'il faut dans tous les cas, essayer de minimiser.

Tableau 1 : Risque des examens

Examens	Irradiation	Produit de contraste	Risques lié à l'acte	Coût
ECG, Holter	0	0	0	+
Electrophysiologie	+++	+/-	++++	++++
Epreuve d'effort	0	0	+	+
Echo-Doppler	0	0	0	+
Radio, scanner	+++	++++ (scanner)	0	++
Coronarographie	+++	++++	++++	++++
Cathétérisme	++	0 si isolé	+++	+++
Isotopes	+	+	+/-	+++
IRM	0	+	+/-	+++

I.2 CONSENTEMENT ÉCLAIRÉ

L'intérêt des examens complémentaires et leurs risques doivent être exposés oralement et par écrit au patient, qui doit lire et signer un consentement éclairé avant réalisation de ceux ci. Bien entendu tous les examens (par exemple l'enregistrement d'un électrocardiogramme totalement dépourvu de risque iatrogène) ne justifient pas la signature d'un consentement éclairé.

I.3 STATISTIQUES ET EXAMENS COMPLÉMENTAIRES

Quelques informations statistiques permettent de comprendre l'apport et les limites des examens complémentaires.

I.3.1 Prévalence de la maladie dans une population à laquelle appartient le patient examiné

C'est le rapport du nombre de cas d'un trouble morbide à l'effectif total de la population examinée, à un moment donné ou pendant une période donnée, sans distinction entre les anciens et les nouveaux cas.

Il apparaît clairement que l'examen complémentaire aura d'autant plus d'intérêt clinique

que la maladie n'est ni trop rare ni trop fréquente dans la population à laquelle appartient le patient.

I.3.2 Sensibilité, spécificité, prédictivité positive, prédictivité négative

L'examen complémentaire idéal serait un test permettant de confirmer ou d'exclure un diagnostic chez tous les patients, sans aucune erreur, ni par défaut (faux négatif) ni par excès (faux positif). En fait, tel n'est pas le cas et tous les examens donnent des réponses faussement positives et/ou négatives pour une maladie recherchée.

- La sensibilité d'un examen est le pourcentage de tests positifs dans une population de patients atteints de la maladie recherchée.
- La spécificité d'un examen est le pourcentage de tests négatifs dans une population de patients indemnes de la maladie recherchée.

Un bon examen complémentaire a une spécificité et une sensibilité aux alentours de 90%, ce qui signifie que le clinicien averti, connaissant ces imperfections, saura éventuellement faire appel à un second examen s'il considère que la réponse donnée par le premier examen complémentaire ne correspond pas à son analyse clinique. Il saura aussi éviter de prescrire un examen complémentaire dont les sensibilité et spécificité sont trop faibles par rapport à la population examinée. Par exemple, l'épreuve d'effort chez une femme de 40 à 50 ans, sans facteur de risque de maladie coronaire, se plaignant de douleurs thoraciques, a une sensibilité et une spécificité à peine supérieures à 50%. Soumettre cette patiente à cet examen conduit à un risque de faux positifs et de faux négatifs proche de 50 % : autant tirer à pile ou face.

- la **prédictivité positive** d'un examen est le rapport (généralement exprimé en %) de tests positifs chez de vrais patients sur le nombre de malades dont l'examen est positif (vrais positifs + faux positifs). En d'autres termes c'est la probabilité que le sujet soit atteint de la maladie recherchée en cas de test positif.
- la **prédictivité négative** est le rapport (généralement exprimé en %) de tests négatifs chez des patients réellement indemnes de la maladie recherchée sur le nombre total d'examens négatifs (vrais et faux négatifs). En d'autres termes c'est la probabilité que le patient soit indemne de l'affection recherchée en cas de test négatif.

La prévalence de la maladie dans la population examinée influera sur les prédictivités positive et négative d'un examen complémentaire. Plus l'affection est fréquente, plus la prédictivité positive s'accroît et inversement. Il est donc indispensable, lorsque l'on soumet un patient à un examen diagnostique, de le resituer dans un groupe de malades chez qui l'examen a été validé et donne de bons résultats.

I.4 COÛT DES EXAMENS COMPLÉMENTAIRES

Les examens ont un coût très variable (cf tableau) selon leur complexité de réalisation : matériel à acheter, utilisation de consommables, temps médical et paramédical. Le prescripteur veillera à prescrire l'examen le moins coûteux pour répondre à la question posée.

I.5 CONCLUSION

La clinique est la base de la prescription et de l'interprétation des examens complémentaires. Les risques et le coût des examens doivent toujours être évalués à l'aune du résultat final escompté pour le patient.

Ceci a conduit à définir précisément les indications et contre-indications des examens complémentaires dans des *recommandations* publiées par les « Sociétés Savantes ».

II L'ÉLECTROCARDIOGRAMME DE REPOS

II.1 PRINCIPE DE BASE

L'ECG est l'enregistrement de l'activité électrique du cœur en fonction du temps. Les tissus de l'organisme étant conducteurs, cet enregistrement est réalisé grâce à des électrodes cutanées placées en des points déterminés permettant de définir des dérivations conventionnelles.

L'activité électrique cardiaque normale prend naissance dans le nœud sinusal puis se propage selon un cheminement déterminé (**Figure 1**) : nœud sinusal (1), myocarde auriculaire (2), nœud auriculo-ventriculaire d'Aschoff-Tawara (3), faisceau de His (4) et ses branches gauche (5) et droite (6), réseau sous-endocarditique de Purkinje (7), myocarde ventriculaire (8). Ainsi se succèdent sur le tracé ECG (**Figure 2**) la dépolarisation auriculaire (onde P), la dépolarisation ventriculaire (complexe QRS), puis la repolarisation ventriculaire (onde T, onde U).

Figure 1 : Le tissu nodal et de conduction

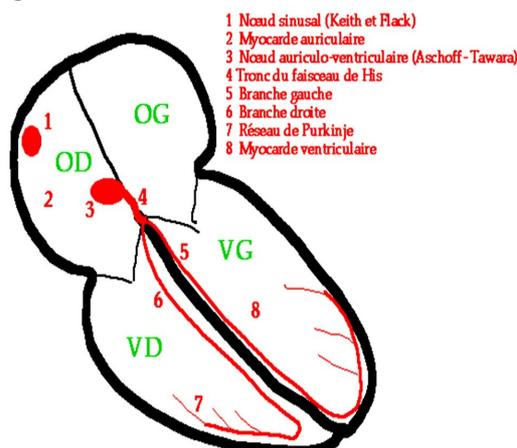
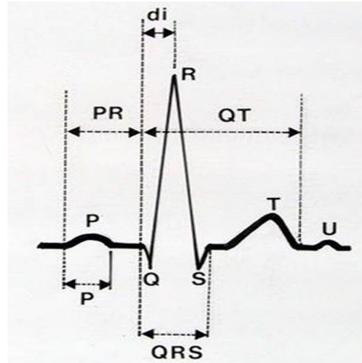


Figure 2 - Le complexe P QRS T



A un instant donné de la dépolarisation myocardique, il existe des zones électronegatives (fibres dépolarisées) et des zones électropositives (fibres encore à l'état de repos). Ces charges électriques négatives et positives constituent des dipôles.

La somme vectorielle de ces dipôles donne un *vecteur résultant instantané*, dont la direction, le sens, et l'amplitude permettent d'expliquer la morphologie des différents accidents de l'ECG (onde P, complexe QRS et onde T) dans les différentes dérivations. Par convention, lorsque ce vecteur se dirige vers l'électrode exploratrice, une déflexion « positive » s'inscrit. Inversement, lorsque ce vecteur fuit l'électrode exploratrice, une déflexion « négative » s'inscrit. Un vecteur orienté perpendiculairement à l'électrode exploratrice donne une déflexion isodiphasique (déflexions de même amplitude et de polarité inverse : -/+ ou +/-) ou nulle. La succession de l'ensemble des vecteurs instantanés permet la construction de l'ECG dont la morphologie se répète à chaque battement cardiaque et sera analysée sur un système précis de *dérivations* ECG.

II.2 DÉRIVATIONS

L'ECG standard comporte au minimum 12 dérivations, 6 dans le plan frontal (les dérivations des membres) : D1, D2, D3, aVR, aVL, aVF, et 6 dans le plan horizontal (les dérivations précordiales) : V1 à V6.

Les *dérivations des membres* sont placées (après dépilation si besoin) à la face interne des poignets et des chevilles. Elles explorent le champ électrique cardiaque dans un plan frontal (**Figure 3**). Les électrodes du plan frontal forment des dérivations :

- soit bipolaires des membres ou « standard » :

- D1 : bras droit (-), bras gauche (+)
- D2 : bras droit (-), jambe gauche (+)
- D3 : bras gauche (-), jambe gauche (+)

Ces trois dérivations forment le triangle équilatéral d'Einthoven, le montage des polarités étant tel que $D2 = D1 + D3$

- soit unipolaires :

L'électrode exploratrice positive est l'un des membres, les autres étant reliées à une borne centrale de potentiel nul. Pour obtenir un tracé d'amplitude similaire aux trois dérivations bipolaires, il faut les amplifier, d'où leurs dénominations :

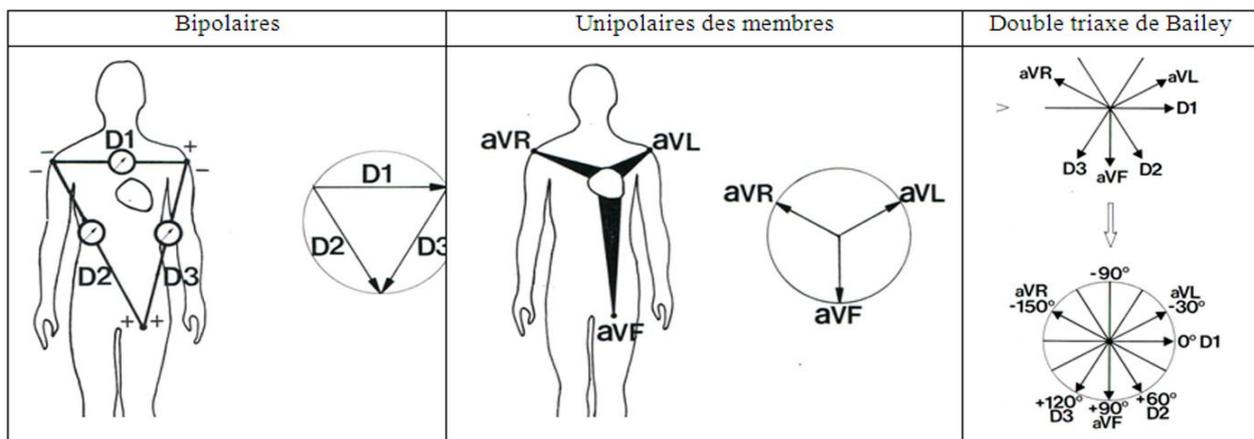
-a (augmenté), V (voltage), R (right arm) : aVR

-a (augmenté), V (voltage), L (left arm) : aVL

-a (augmenté), V (voltage), F (foot) : aVF.

Ces six dérivations étant dans le même plan frontal, la translation de leurs axes au centre du triangle d'Einthoven permet de construire un système de coordonnées (double triaxe de Bailey), utile au calcul de l'axe du vecteur d'activation dans le plan frontal.

Figure 3: Dérivations des membres



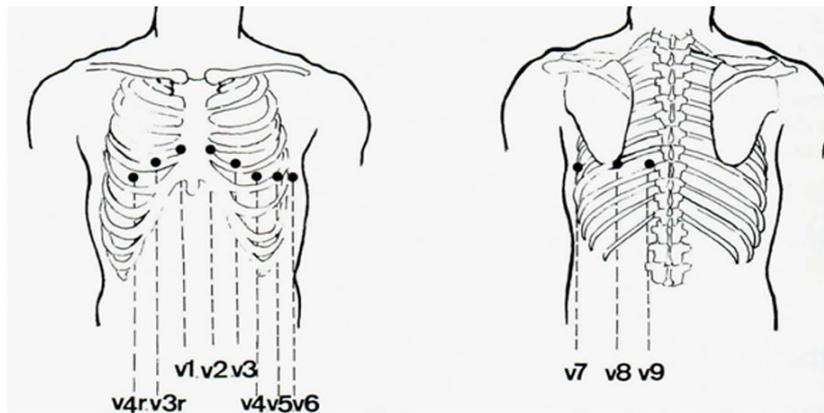
Les *dérivations précordiales* sont unipolaires et explorent l'activité électrique cardiaque dans le plan horizontal. La position de chaque électrode sur le thorax doit être précise (**Figure 4**) pour permettre la comparaison d'ECG successifs :

- V1 : 4ème espace intercostal droit, au ras du sternum (attention à ne pas compter l'espace entre la clavicule et la première côte comme un espace intercostal)
- V2 : symétrique par rapport au sternum (4ème espace intercostal gauche)
- V3 : à mi-distance entre V2 et V4
- V4 : 5ème espace intercostal gauche, sur la ligne médio-claviculaire
- V5 : sur la ligne axillaire antérieure à « l'horizontale » de V4
- V6 : sur la ligne axillaire moyenne à « l'horizontale » de V4.

Il peut être utile d'ajouter :

- V7, voire V8 et V9 : sur la même « horizontale » que V4, respectivement sur la ligne axillaire postérieure, sous la pointe de l'omoplate, au bord gauche du rachis
- V3R, V4R : symétriques, à droite de V3-V4
- VE (épigastrique) : pointe de la xiphoïde.

Figure 4 : Dérivations précordiales : place des électrodes à la face antérieure du thorax



II.3 ENREGISTREMENT DE L'ÉLECTROCARDIOGRAMME

Il se fait sur papier millimétré. Chaque carré a 1 mm de côté ; des carrés de 5 mm de côté sont marqués par des lignes plus épaisses.

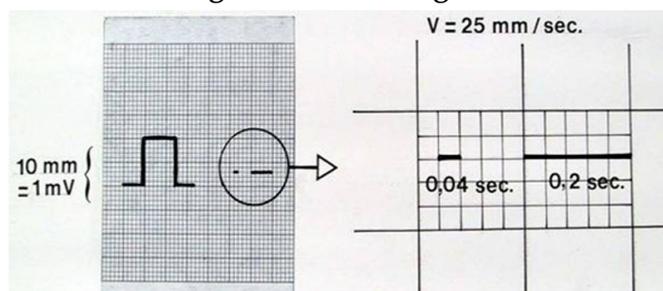
La vitesse de déroulement du papier est habituellement de 25 mm/s ; 1 mm représente alors 0,04 s.

Les amplitudes sont mesurées en millivolts. L'étalonnage habituellement utilisé est de 10 mm pour 1 mV ; dans ce cas, les amplitudes peuvent s'exprimer en mm (**Figure 5**).

Avant d'interpréter un ECG, il faut s'assurer de la qualité de l'enregistrement et en particulier :

- de l'absence de défaut d'étalonnage (signal amorti ou d'amplitude incorrecte)
- de la stabilité de la ligne de base et de l'absence d'interférence (50 hertz par défaut de mise à la terre, tremblements, mauvaise conduction au niveau des électrodes)
- de la cohérence du tracé, notamment de l'absence d'inversion des fils, par exemple, bras droit - bras gauche, erreur facilement détectable en raison de la négativité de l'onde P en D1.

Figure 5 : Etalonnage standard



II.4 ANALYSE DE L'ÉLECTROCARDIOGRAMME

Elle doit être méthodique et systématique. Elle doit comporter une étude du rythme cardiaque (souvent mieux examiné en D2, et de la *morphologie* des signaux électriques enregistrés.

L'analyse chronologique des accidents rencontrés est sans doute la méthode la plus simple (Fig.). Elle comporte au minimum l'étude de :

- du rythme (sinusal ou non) et de sa fréquence
- la dépolarisation auriculaire : onde P (durée et amplitude)
- la conduction auriculo - ventriculaire : durée de l'intervalle PR (ou plus exactement PQ)
- la dépolarisation ventriculaire (complexe QRS) :
 - axe dans le plan frontal
 - morphologie et amplitude des déflexions Q, R, S, selon les dérivations
 - durée du complexe
- la repolarisation ventriculaire :
 - position du segment ST par rapport à la ligne isoélectrique
 - morphologie et amplitude de l'onde T
 - durée de l'espace QT, onde U

La synthèse de ces informations permet de proposer un diagnostic électrocardiographique qui doit toujours être confronté aux données cliniques et si besoin aux autres examens complémentaires. Un électrocardiogramme normal n'est pas synonyme de cœur normal et, inversement, certaines anomalies électrocardiographiques ne correspondent à aucune cardiopathie.

II.5 ELECTROCARDIOGRAMME NORMAL

Les critères de normalité de l'ECG évoluent avec l'âge et tiennent compte des grandes variations individuelles liées en particulier à la position du cœur dans le thorax.

II.5.1 Rythme et fréquence

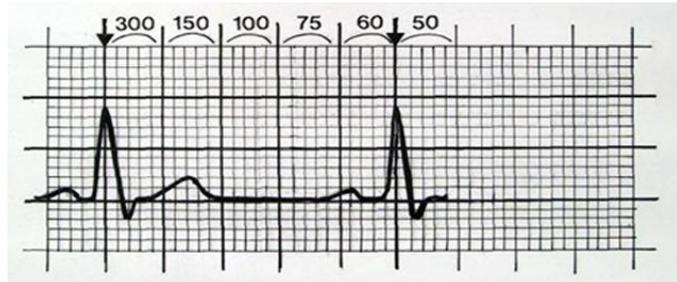
La séquence régulière P (d'origine sinusale), QRS-T (**Figure 2**) traduit un *rythme sinusal normal*.

La fréquence normale au repos est comprise entre 50 et 100/mn : inférieure à 50, c'est une bradycardie sinusale, supérieure à 100, c'est une tachycardie sinusale.

En l'absence de règle graduée, la fréquence cardiaque se calcule en divisant 300 par le nombre de carrés, de 5 mm séparant deux complexes QRS (**Figure 6**).

Avec une règle (**Figure 9**), la fréquence se mesure en 25 mm/s sur 2 intervalles successifs, entre la 1ère et la 3ème onde P.

Figure 6 : Calcul simple de la fréquence cardiaque



Diviser 300 par le nombre de carrés de 5 mm séparant 2 complexes QRS Dans cet exemple $300/5=60$ battements/mn

II.5.2 Dépolarisation auriculaire : onde P

Sa durée normale est inférieure ou égale à 0.10 s.

Son amplitude normale est inférieure ou égale à 2.5 mm.

L'onde P sinusale est généralement maximale en V1, D2, D3 et aVF où il faut la rechercher en cas de doute sur l'origine sinusale du rythme. L'onde P sinusale est toujours positive en D1 et D2 et négative en aVR.

II.5.3 Conduction auriculo-ventriculaire : espace PR ou PQ

La durée normale de l'intervalle PR est comprise entre 0.12 et 0.20 s. Il se mesure du début de l'onde P au début du complexe QRS (**Figures 2 et 6**). Il correspond au temps de conduction de l'influx de l'oreillette aux ventricules. Il peut diminuer quand la fréquence cardiaque s'accélère à l'effort. Au-delà de 0,20s , il témoigne d'un trouble de conduction auriculo-ventriculaire.

II.5.4 Dépolarisation ventriculaire : complexe QRS

II.5.4.1 Nomenclature

Par convention, la nomenclature suivante est utilisée :

- R désigne la première déflexion positive, Q une onde négative précédant l'onde R, et S toute onde négative suivant une onde R. Quand il y a deux ondes positives, la seconde est désignée par R'.
- La désignation QS est réservée à un complexe exclusivement négatif.

II.5.4.2 Morphologie du complexe QRS

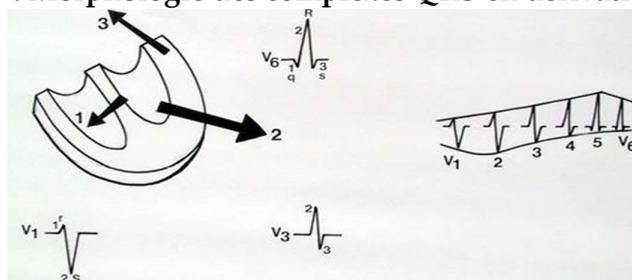
Elle est variable selon les dérivations. Elle reflète les différentes phases de l'activation du myocarde ventriculaire, activation qui peut être décomposée en trois vecteurs principaux, successifs (**Figure 7**) ;

- un vecteur septal, de faible amplitude, surtout orienté à droite. Il se dirige vers V1 et V2, où il détermine une petite onde r et fuit D1, aVL, V5, V6, où il donne une petite onde q ;
- un vecteur pariétal, de grande amplitude. La nette prépondérance de la masse ventriculaire gauche explique la direction vers la gauche et en bas de ce vecteur. Il détermine une positivité importante (onde R) en D1, D2, D3 et en précordiales gauches (V4, V5, V6) et une négativité importante (onde S) en V1 et aVR ;
- un vecteur basal, de faible amplitude, orienté un peu à droite et en haut. Il en résulte une négativité terminale (inconstante) en D3, V5, V6.

Chez le sujet normal : il faut retenir l'absence d'onde q en précordiales droites, celle-ci n'apparaissant que dans les précordiales gauches, où elle doit rester fine ($<0,04s$) et peu profonde. L'onde R croît de V1 à V5, où elle est habituellement maximale, à V6. La dérivation où l'onde R a une amplitude égale à celle de l'onde S est appelée *zone de transition*, et se situe généralement en V3-V4.

Dans les dérivations frontales, la morphologie est beaucoup plus variable, selon l'axe électrique.

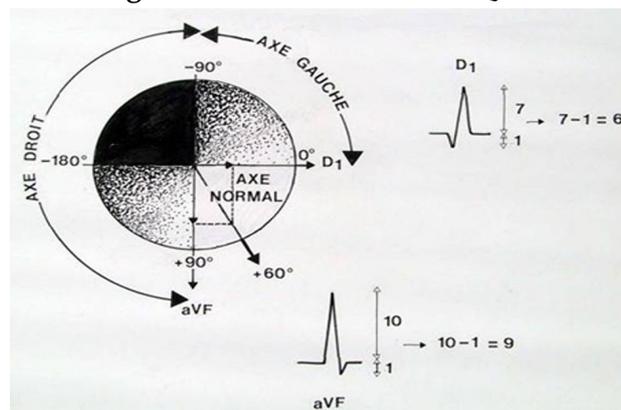
Figure 7 : Morphologie des complexes QRS en dérivations précordiales



II.5.4.3 Axe de QRS dans le plan frontal (\hat{A} QRS)

- On n'utilise en pratique que la projection dans le plan frontal.
- Son évaluation la plus simple consiste à repérer la dérivation où le complexe QRS est le plus nettement positif. L'orientation de cette dérivation est similaire à l'axe de QRS. Cette appréciation est bien suffisante en clinique usuelle. On peut faire appel à un procédé un peu plus précis avec un repère orthogonal (D1 et VF) : on reporte sur les axes des dérivations D1 et VF un vecteur proportionnel à la somme algébrique du complexe QRS dans la dérivation considérée ; l'axe moyen est le vecteur résultant de ces deux vecteurs (**Figure 8**).
- La valeur normale de \hat{A} QRS est de $+60^\circ$ avec des variations chez le sujet normal, de 0 à 90° , en fonction de la morphologie du thorax. En dehors de ce quadrant, on parle de déviation axiale gauche ou droite. La valeur de \hat{A} QRS est intéressante dans les hypertrophies et les troubles de conduction intra ventriculaire (hémibloc antérieur gauche si \hat{A} QRS $< -30^\circ$, postérieur gauche si \hat{A} QRS $> 120^\circ$).

Figure 8 : Calcul de l'axe de QRS



II.5.4.4 Amplitude de QRS

Dans les dérivations frontales, l'amplitude est très variable. Une amplitude inférieure à 5 mm dans l'ensemble de ces dérivations fait parler de microvoltage.

Dans les dérivations précordiales, on utilise certains critères :

- l'amplitude de S en V1 plus celle de R en V5 (indice de Sokolow) est inférieure ou égale à 35 mm, sauf chez le sujet jeune. Au-delà, le tracé est compatible avec une hypertrophie ventriculaire gauche (HVG).
- Le rapport R/S est inférieur à 1 en V1 et supérieur à 2 en V6. Dans le cas contraire, le tracé suggère une hypertrophie ventriculaire droite (HVD).

II.5.4.5 Durée du complexe QRS

Elle est en moyenne de 0,08 s ; elle doit rester inférieure à 0,12 s. Au-delà il s'agit le plus souvent d'un asynchronisme de dépolarisation des 2 ventricules lié à un trouble de conduction intraventriculaire (bloc de branche).

II.5.4.6 Délai d'apparition de la déflexion intrinsécoïde

Il se mesure (cf figure 2) dans les dérivations proches du cœur (électrodes précordiales : V1 pour le ventricule droit, V6 pour le ventricule gauche) entre le début de QRS et le sommet de R. Il est normalement inférieur ou égal à 0,03 s en V1 et à 0,05 s en V6.

II.5.4.7 Point J

Il correspond au point de raccordement entre la fin de QRS et le début du segment RST (il est sur la ligne isoélectrique).

II.5.4.8 Repolarisation ventriculaire : segment ST → onde T → onde U

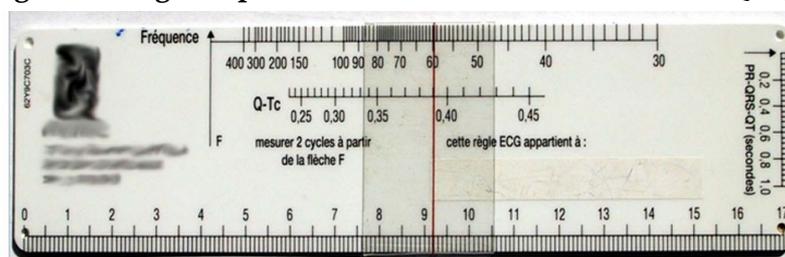
Le segment ST sépare le complexe QRS de l'onde T. Son origine est précise à la fin du QRS, nommée point J. Le segment est normalement isoélectrique. Il faut connaître toutefois la fréquence des sus-décalages de ST et du point J pouvant atteindre 2 à 3 mm dans les précordiales moyennes (V2-V5) chez des sujets souvent normaux.

L'onde T est habituellement de faible amplitude, asymétrique avec une pente ascendante plus faible que la pente descendante, et de même sens que QRS. Elle est normalement positive en D1, D2, D3, aVF et en V2 à V7. Une onde T diphasique ou négative en D3 et V1 doit être considérée comme physiologique.

L'onde U, inconstante, fait suite à l'onde T. Elle est de même sens mais d'amplitude moindre ; Sa signification est discutée.

L'intervalle QT (début de QRS, fin de T) varie en fonction de la fréquence cardiaque. Pour une fréquence voisine de 60/mn, la durée de l'intervalle QT avoisine 0.4 s. Les réglettes à ECG indiquent la durée théorique de l'intervalle QT en fonction de la fréquence (Fig. 9). Le rapport maximal toléré (QT mesuré/QT théorique) est de 120 %.

Figure 9 : Réglette pour obtenir la durée normalisée de QT (QTc)

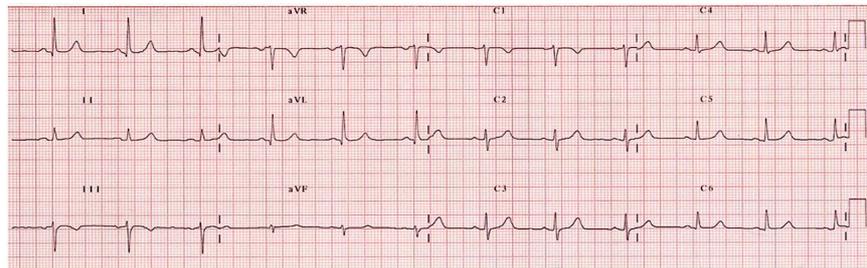


II.6 ECG NORMAL DE L'ENFANT

La fréquence cardiaque plus élevée (120-140/mn la première année) s'accompagne d'accidents électriques plus brefs : onde P inférieure à 0.08 s, PR entre 0.10 et 0.18 s, QRS d'une durée inférieure à 0.09 s. A la naissance, la prépondérance électrique du ventricule droit explique les aspects ECG d'hypertrophie ventriculaire droite : axe de QRS dévié à droite, grandes ondes R en précordiales droites, avec onde T négative de V1 à V4. Ces aspects vont progressivement s'estomper et laisser place à l'aspect de prépondérance ventriculaire gauche.

II.7 ENTRAINEZ-VOUS : CET ECG EST-IL NORMAL ?

Figure 10 : ECG systématique chez un homme de 50 ans, en bonne santé apparente

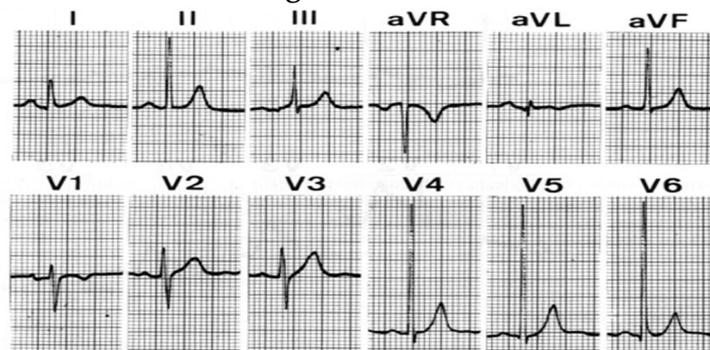


Posez-vous les bonnes questions devant tout ECG

- Les conditions d'enregistrement sont-elles correctes ?
 - Calibration ?
 - Vitesse de déroulement ?
 - Inversion d'électrodes ?
 - Parasitage du tracé ou amplitude insuffisante, témoins d'une mauvaise préparation cutanée ?
- Le rythme est-il régulier ? Quelle est la fréquence cardiaque ?
- Le rythme est-il sinusal ? Pourquoi ?
- La dépolarisation auriculaire est-elle normale ?
 - L'onde P est-elle positive en DI ? Pourquoi cette question est-elle fondamentale ?
 - Durée de l'onde P ? Amplitude de l'onde P ?
- Quelle est la durée de l'intervalle PR ?
- La dépolarisation ventriculaire (complexe QRS) est-elle normale ?
 - Axe dans le plan frontal ?

- Durée du complexe QRS ?
 - La progression des ondes R et des ondes S dans les précordiales est-elle normale ?
 - Y a-t-il des ondes q ? Sont-elles physiologiques ?
 - Le rapport R/S est-il inférieur à 1 en V1 et V2 ?
 - Quelle est la valeur de l'indice de Sokolow ?
 - L'amplitude des QRS dans les précordiales est-elle normale ? Y a-t-il un micro-voltage ?
 - La repolarisation ventriculaire est-elle normale ?
 - Quelle est la position du segment ST par rapport à la ligne isoélectrique ?
 - Y a-t-il des ondes T négatives ? Sont-elles physiologiques ?
 - Y a-t-il des ondes T amples et pointues ? Sont-elles physiologiques ?
 - Quelle est la durée de l'espace QT mesuré ? Quel est le QT théorique ? Quelle est la valeur du rapport QTmesuré/QT théorique ?
- Lorsque vous aurez répondu à toutes ces questions, vous serez en mesure de répondre à la question posée : cet ECG est-il normal ?
 - Votre conclusion est-elle compatible avec le contexte clinique ?
 - Si non, avant d'avancer une conclusion parfois lourde de conséquence, reprenez l'analyse critique systématique, demandez l'avis d'un médecin plus entraîné que vous...

Figure 11 : HVG



Mêmes questions à partir de ce tracé

Si vous mesurez bien la somme de l'onde S en V2 plus R en V5 (indice de Sokolow), vous trouverez une valeur supérieure à 35 mm.

Ceci est un argument en faveur d'une hypertrophie ventriculaire gauche (HVG).

III HOLTER ECG

Il s'agit de l'enregistrement continu de l'électrocardiogramme pendant 24 heures, ensuite analysé par système informatique. La patient, librement ambulatoire est équipé d'électrodes reliées à un boîtier qui enregistre l'ECG. L'examen est surtout utilisé pour mettre en évidence une anomalie rythmique paroxystique, échappant donc, en général, à l'ECG standard, particulièrement en cas de palpitations ou de syncope.

Il permet éventuellement de rattacher les symptômes du patient aux anomalies transitoires de l'ECG. On étudie également la relation entre la fréquence cardiaque sous-jacente et la survenue des arythmies, qui peut occasionnellement dépendre d'une tachycardie ou d'une bradycardie préalable. La rentabilité globale de l'examen est plutôt modeste (surtout si les symptômes sont rares), mais il a l'avantage de ne pas être agressif.

IV TEST D'INCLINAISON (TILT-TEST)

Le tilt test consiste à faire passer rapidement le patient de la position couchée à une position quasi debout (60° à 80°), en utilisant une table basculante, pour une durée de 30 minutes, avec contrôle continu de la PA et de l'ECG. Cette manœuvre entraîne une redistribution du sang du thorax vers les membres inférieurs. Elle peut être à l'origine d'une inhibition réflexe du système sympathique et d'une hypertonie vagale, se traduisant par une bradycardie inappropriée et une hypotension artérielle. Le test explore donc la susceptibilité à une syncope vaso-vagale. S'il est initialement négatif, il peut être sensibilisé avec des vasodilatateurs (nitros ou isoprénaline). Il est indiqué en cas de doute sur le mécanisme de syncopes récidivantes ou graves.

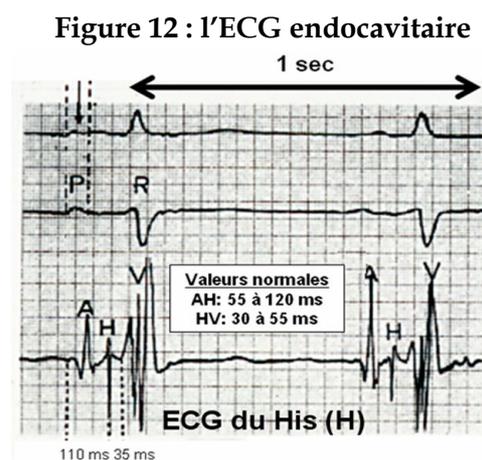
V ETUDE ÉLECTROPHYSIOLOGIQUE

L'ECG et les méthodes d'enregistrement Holter suffisent à diagnostiquer la plupart des troubles du rythme cardiaque. Cependant, il est certaines situations où l'on doit recourir à une exploration électrophysiologique endocavitaire à visée diagnostique. Il s'agit d'un examen invasif. Il est donc inutile de recourir à cette exploration si un patient a une cause cardiaque évidente de syncope ou de lipothymies (troubles conductifs contemporains de malaises ou très évocateurs d'en être à l'origine s'ils s'accompagnent d'un ECG de base pathologique). Si le contexte suggère la possibilité d'une bradycardie paroxystique (et non pas permanente), l'exploration endocavitaire s'avère souvent nécessaire. Le contexte clinique peut aussi évoquer la possibilité d'une tachycardie paroxystique (tachycardie ventriculaire par exemple) et il devient important d'assurer le diagnostic par une stimulation (ventriculaire ou auriculaire selon le cas). Certaines explorations peuvent ainsi précéder un acte thérapeutique spécialisé.

Les explorations électrophysiologiques endocavitaires consistent à enregistrer l'électrogramme endocardiaque pour faire un diagnostic d'arythmie, et en préciser le mécanisme physiopathologique. On utilise des cathéters de 2 mm de diamètre environ, longs de 100 à 130 cm, équipés à leur extrémité de 2, 4 voire jusqu'à 20 électrodes. Ces dernières recueillent l'activité électrique endocavitaire et servent aussi à stimuler le coeur à la demande. Les cathéters sont introduits dans une veine de gros calibre, en règle générale la veine fémorale. Le patient est allongé sur une table d'examen et l'introduction des sondes se fait sous anesthésie locale avec une asepsie rigoureuse. La veine est ponctionnée par voie transcutanée, et à l'aide d'un système d'introducteur, les sondes sont guidées jusque dans les cavités cardiaques à l'aide d'un repérage radioscopique.

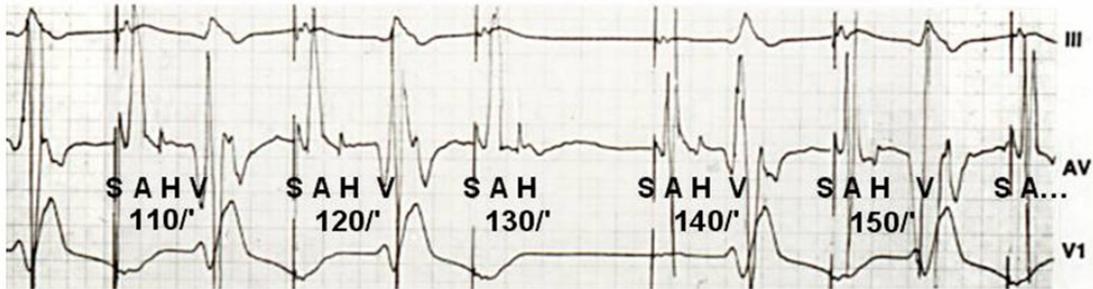
L'extrémité du (ou des) cathéter(s) demeurant hors du patient est connectée à un enregistreur spécial (« baie d'électrophysiologie ») qui permet de visualiser simultanément l'ECG de surface et l'ECG endocavitaire (**figure 12**), de l'analyser finement grâce à des programmes informatiques, et de l'enregistrer sur support informatique. On peut ainsi mettre en évidence toute anomalie de la formation de l'influx et de sa progression au sein du tissu nodal et du myocarde.

Figure 12 : l'ECG endocavitaire au niveau du faisceau de His montre une séquence A-H-V (Oreillette-His-Ventricule) et permet de mesurer l'intervalle AH (temps de conduction nodale ou suprahissienne) et l'intervalle HV (temps de conduction infrahissien). Un bloc auriculoventriculaire suprahissien se traduirait par une séquence A non suivie de HV. Un bloc infrahissien (quasiment toujours pathologique) se traduit par une séquence AH non suivie de V (figure 13).



La présence de plusieurs cathéters permet de stimuler le coeur en un ou plusieurs endroits afin d'observer le comportement de la dépolarisation à fréquence croissante (**figure 13**).

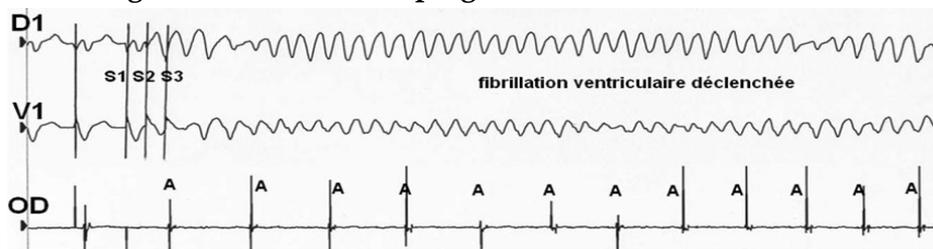
Figure 13 : ECG endocavitaire du faisceau de His sous stimulation auriculaire à fréquence croissante



La stimulation des oreillettes à fréquence croissante révèle sur la ligne du milieu la survenue d'un bloc infrahissien à 130 par minute (séquence A-H non suivie de V). S : Spike de stimulation ; A : activité auriculaire ; H : activité Hisienne ; V : activité ventriculaire.

Les tachycardies pouvant être la cause de palpitations, de malaise voire de syncopes, il est possible d'orienter l'exploration différemment en stimulant le coeur en différents endroits. Cet examen, que l'on appelle alors selon la cavité stimulée « stimulation auriculaire ou ventriculaire (figure14) programmée », donne des renseignements diagnostiques et peut orienter sur le choix d'un traitement.

Figure 14 : Stimulation programmée du ventricule droit



Les 3 stimulations ventriculaires (S1, S2, S3) déclenchent une fibrillation ventriculaire avec syncope nécessitant un choc électrique externe rapide. Les ondes P ne sont plus visibles sur les dérivations de surface (D1 et V1) mais l'ECG endocavitaire dans l'oreillette droite (OD) montre une activité auriculaire (A) qui reste régulière à environ 70', ce qui est un élément supplémentaire pour confirmer le diagnostic. S = spike de stimulation, A = activité auriculaire.

VI EPREUVE D'EFFORT

L'examen clinique et paraclinique d'un patient atteint d'une affection cardiaque s'effectue le plus souvent chez le sujet au repos. Cependant, le fonctionnement du cœur est profondément modifié par l'effort physique et de nombreuses anomalies ne se démasquent qu'à l'occasion d'un effort. C'est en particulier le cas dans deux pathologies : l'insuffisance coronaire et l'insuffisance cardiaque.

Ceci justifie la réalisation d'explorations fonctionnelles à l'effort. La plus couramment pratiquée de ces explorations est l'épreuve d'effort qui a pour but de tester le comportement cardiaque au cours d'un effort d'intensité croissante.

VI.1 MODALITÉS DE RÉALISATION

Le principe est de faire réaliser au sujet un effort d'intensité croissante soit sur une bicyclette ergométrique dont on augmente progressivement la charge du pédalage, soit sur un tapis roulant dont on augmente par paliers la vitesse et la pente.

La surveillance doit être continue et porte sur :

- les données cliniques : tolérance à l'effort, seuil d'apparition d'une douleur thoracique, d'un essoufflement, d'une fatigue musculaire
- la mesure de la pression artérielle toutes les 3 minutes (à chaque changement de palier)
- l'électrocardiogramme qui renseigne sur la fréquence cardiaque, la modification du segment ST, la survenue de troubles du rythme cardiaque
- Parfois la mesure des échanges gazeux (consommation d'oxygène : VO₂ max) par pneumotachographe et analyseur de gaz, particulièrement chez les patients souffrant d'une insuffisance cardiaque dans le but d'évaluer objectivement la performance de ces patients à l'effort et d'en stratifier le risque évolutif.

L'épreuve d'effort doit être réalisée en milieu cardiologique, en présence d'un cardiologue et d'une infirmière, à proximité d'une unité de soins intensifs et avec un matériel de réanimation prêt dans la salle d'examen (défibrillateur, matériel de ventilation, etc.).

VI.2 INDICATIONS

Les principales indications sont :

VI.2.1 Ischémie myocardique

Les indications dans l'ischémie myocardique sont les suivantes :

- diagnostic de l'origine coronaire d'une douleur thoracique (sensibilité : 65% et spécificité : 80%). Dans ce cas, l'épreuve d'effort a une sensibilité optimale si l'effort permet d'atteindre la fréquence cardiaque maximale théorique ($FMT = 220 - \text{âge}$; par exemple pour 70 ans, la $FMT = 220 - 70$ soit 150/min).
- évaluation fonctionnelle après mise en œuvre de mesures thérapeutiques (médicamenteuse ou revascularisation coronaire)
- évaluation fonctionnelle après infarctus du myocarde ; planification d'un programme de réadaptation.

VI.2.2 Insuffisance cardiaque

Le but est ici d'évaluer la capacité fonctionnelle de ces patients par la détermination du seuil ventilatoire et la mesure de la consommation en oxygène ($VO_2 \text{ max.}$).

VI.3 CONTRE-INDICATIONS

Les principales contre-indications sont :

VI.3.1 Impossibilité de réaliser un effort physique « maximal »

Soit du fait d'une affection broncho-pulmonaire invalidante, soit du fait d'une artérite sévère des membres inférieurs, soit du fait d'un handicap locomoteur.

VI.3.2 Risque cardiaque important

Infarctus du myocarde datant de moins de 5 jours, risque syncopal (rétrécissement aortique serré symptomatique, cardiomyopathie obstructive hypertrophique), insuffisance cardiaque décompensée, sténose connue du tronc commun coronaire, arythmie ventriculaire non contrôlée par le traitement médical représentent les contre indications à respecter.

VI.4 CRITÈRES D'ÉVALUATION

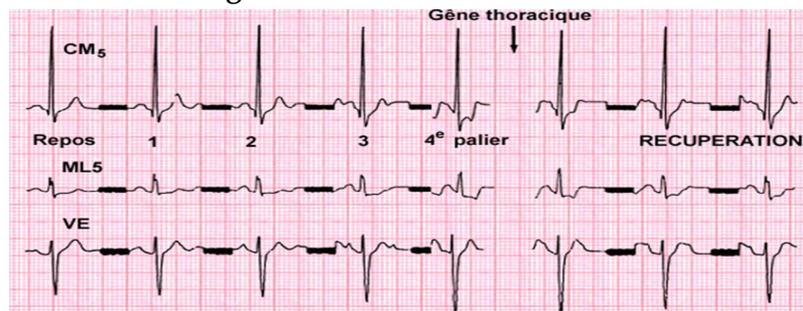
Dans le cadre de la maladie coronaire, le diagnostic *positif* en faveur d'une ischémie myocardique est la constatation à l'effort d'un sous décalage du segment ST horizontal ou descendant, supérieur à 1mm, durant 0,08 secondes après la fin du complexe QRS (figure ci

dessous), accompagné ou non d'angor. On retient aussi comme signes de positivité un sous-décalage ascendant de ST supérieur à 1,5 mm, ou un sus-décalage de ST transitoire sans onde Q.

Le test est *négatif* si la fréquence cardiaque atteint 85% de la FMT sans angor ni sous-décalage de ST, et litigieux en cas de douleurs thoraciques angineuses sans modification de l'ECG.

Le test est « *non diagnostic* », s'il reste négatif mais à une fréquence cardiaque insuffisante pour conclure (< 85% de la FMT)

Figure 15 : Critères d'évaluation



Doivent être également considérés les paramètres suivants :

- le délai d'apparition de la douleur, de la dyspnée et du sous-décalage du segment ST
- la durée de l'exercice réalisé
- la charge maximale atteinte
- la pression artérielle au maximum de l'effort et en récupération
- l'apparition de troubles du rythme ou de signes d'insuffisance cardiaque lors de l'effort.

Les critères de *mauvais pronostic* sont l'apparition de symptômes ou de modifications électriques pour une faible charge d'effort, une chute de la pression artérielle de plus de 10 mm Hg au pic de l'effort, la persistance des symptômes et des modifications de l'électrocardiogramme après l'arrêt de l'effort, et la survenue de troubles du rythme ventriculaire sévères.

VII ECHOCARDIOGRAPHIE - DOPPLER

VII.1 INTRODUCTION

L'échocardiographie est la technique d'imagerie non invasive la plus courante en cardiologie. Le principe de cet examen est d'analyser la morphologie, les mouvements et les dimensions des différentes structures du cœur par l'enregistrement de la réflexion d'un faisceau d'ultrasons envoyé par une sonde émettrice positionnée sur le thorax.

L'examen est habituellement réalisé à l'aide d'une sonde déplacée sur le thorax du patient (écho-doppler transthoracique ou ETT : **figure 16**), et plus rarement par voie oesophagienne à l'aide d'une sonde dédiée (écho-doppler transoesophagien ou ETO).

Figure 16 : Enregistrement d'un écho-doppler transthoracique



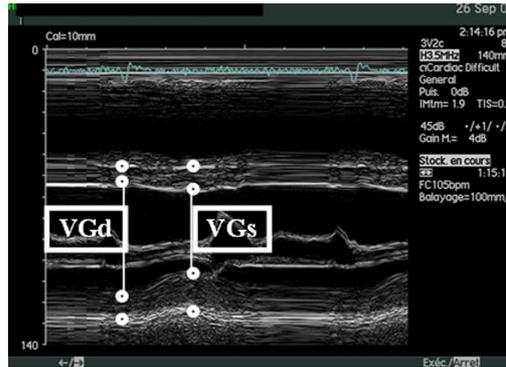
VII.2 MODALITÉS

Les *modalités* de l'échocardiographie comportent :

- Le **mode TM** (time-motion) qui permet l'enregistrement du déplacement des structures en fonction du temps et le calcul des dimensions des cavités cardiaques et des épaisseurs des parois (**figure 17**).
- L'**échocardiographie bidimensionnelle** qui permet d'analyser en temps réel la cinétique des parois myocardiques en multipliant les plans de coupe des cavités cardiaques (figures 18,19,20).
- L'**échographie-doppler** (figures 21,22) qui par la mesure des vitesses des flux sanguins à travers les valves, permet l'évaluation hémodynamique des différentes valvulopathies (fuite et rétrécissement), l'analyse de la phase de remplissage du ventricule gauche et donc de la fonction diastolique (figure 21), et l'estimation de la pression artérielle pulmonaire systolique.
- L'**échographie de stress** : cette technique permet l'analyse segmentaire de la contractilité cardiaque après induction d'un stress pharmacologique (perfusion de Dobutamine* et Atropine) ou lors d'un effort physique. La sensibilité-spécificité de l'échographie de stress dans le diagnostic d'une ischémie myocardique est de l'ordre de 85 % donc supérieure à l'épreuve d'effort.

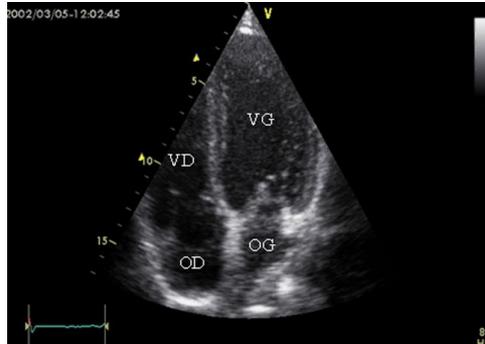
- **L'échographie tridimensionnelle** est une technique émergente qui permet la visualisation en 3D des structures valvulaires et des volumes des cavités cardiaques.
- **L'échographie par voie transoesophagienne** qui permet de visualiser de façon très précise les structures cardiaques postérieures (oreillettes, septum inter-auriculaire, veines pulmonaires, valves mitrale et aortique et aorte thoracique). Cette modalité nécessite l'introduction d'une sonde dans l'œsophage, mais s'effectue en ambulatoire chez un patient à jeun avec une simple anesthésie locale voire une légère sédation.

Figure 17 : Echo TM : incidence parasternale grand axe



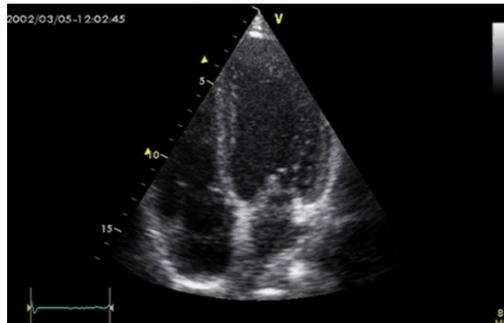
$$\text{Fraction de raccourcissement} = (VGd - VGs) / VGd$$

Figure 18 : Echographie bidimensionnelle



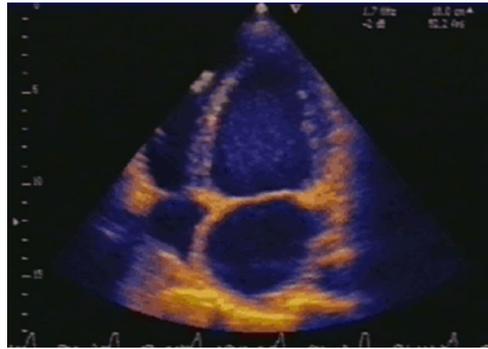
L'incidence apicale-4 cavités

Figure 19 : Echographie bidimensionnelle



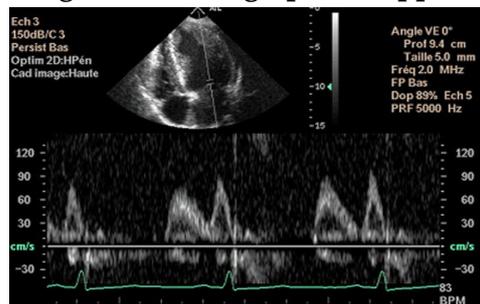
Cœur normal non dilaté (FE VG >55%)

Figure 20 : Echographie bidimensionnelle



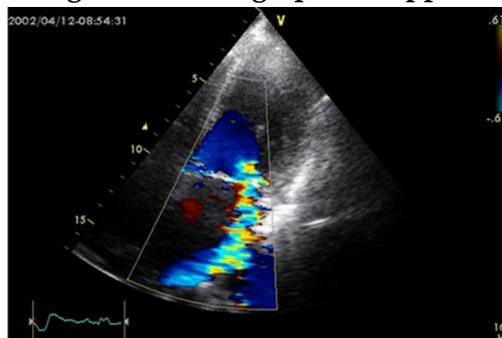
Clur anormal, dilaté (FEVG <55%)

Figure 21 : Echographie-Doppler



Enregistrement du flux diastolique transmitral

Figure 22 : Echographie-Doppler



Fuite mitrale (en bleu turquoise)

VII.3 INDICATIONS, RENSEIGNEMENTS OBTENUS

Les *indications* d'échographie sont très vastes et concernent la plupart des affections cardiaques puisque l'on obtient de façon non invasive, reproductible et en totale innocuité, des informations d'ordre morphologique et hémodynamique sur toutes les structures cardiaques ; valve, myocarde, péricarde et également sur les gros vaisseaux thoraciques.

Les *renseignements* obtenus concernent ainsi :

- La fonction ventriculaire gauche systolique (pourcentage de raccourcissement du ventricule gauche et mesure de la fraction d'éjection -FEVG- et du débit cardiaque)

et diastolique (évaluation des pressions de remplissage du ventricule gauche par l'analyse du flux transmitral.

- L'évaluation des cardiomyopathies (épaisseur des parois et taille de la cavité ventriculaire gauche, volume ventriculaire gauche).
- L'évaluation des valvulopathies (sténoses et régurgitations) où l'échocardiographie est devenue la méthode de référence dans la quantification et l'évaluation du mécanisme (**figure 22**).
- L'évaluation des cardiopathies ischémiques avec analyse de la cinétique segmentaire au repos et sous stress dans le diagnostic de l'ischémie myocardique et de la viabilité myocardique.
- Enfin, exploration des cardiopathies congénitales.

VIII RADIOLOGIE DU COEUR

Malgré le développement de l'échocardiographie, la radiographie standard du thorax reste avec l'examen clinique et l'électrocardiogramme, la base de l'exploration du coeur.

VIII.1 EXAMENS RADIOLOGIQUES

Différents procédés radiologiques permettent de visualiser le cœur. Rappelons qu'ils sont tous limités dans leur utilisation par l'irradiation qu'ils entraînent.

La radiographie du thorax

C'est l'examen de routine du cœur, qui permet l'étude de la taille et de la morphologie du coeur

Elle doit être pratiquée dans des conditions standardisées permettant la comparaison de clichés successifs :

- distance foyer-film de 1.5 à 2 mètres pour éviter un agrandissement géométrique du coeur
- temps de pause court pour éviter le flou cinétique
- cliché pris en incidence postéro-antérieure debout en inspiration profonde.

Ces conditions d'imagerie ne sont pas respectées lors de la réalisation de radiographie de thorax au lit du patient, ce qui fausse l'analyse de la taille du cœur (cf infra).

C'est un document statique qui ne renseigne pas sur les mouvements du coeur.

L'amplificateur de brillance

L'amplificateur de brillance réalise une scopie télévisée fournissant par rapport à la scopie une image de meilleure qualité, visible à la lumière du jour, avec une irradiation moins forte. Cette technique permet de voir les mouvements du coeur en particulier, la cinétique ventriculaire.

Il est utilisé pour surveiller la progression des sondes intra vasculaires ou cardiaques (cf chapitres 5, 9, 10).

Le scanner thoracique (cf 8.4)

L'angiocardigraphie et la coronarographie (cf chapitre 9)

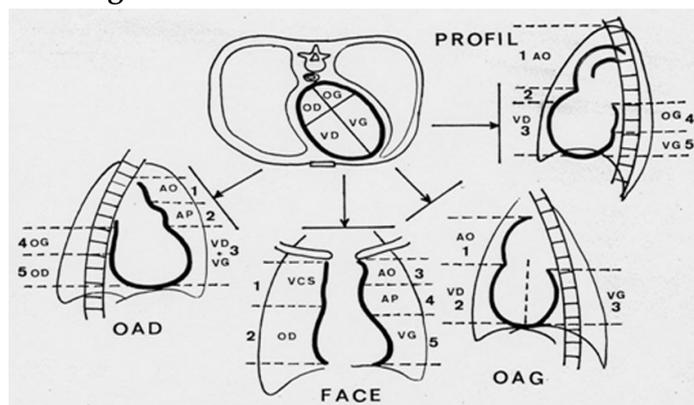
VIII.2 RADIOGRAPHIE NORMALE DU COEUR

Les 4 incidences standardisées sont définies par la position du thorax par rapport au plan de l'écran ou de la cassette contenant le film (**figure 23**).

- Face : sujet strictement de face au contact de l'écran
- Profil gauche: sujet de profil côté gauche contre l'écran (bras verticaux)
- Oblique antérieure droite (OAD) et oblique antérieure gauche (OAG) , incidences rarement utilisées.

Dans chaque incidence, le pourtour du coeur est formé d'arcs qui correspondent aux différentes parties du coeur et des gros vaisseaux.

Figure 23 : les 4 incidences standardisées



VIII.2.1 Le cliché de face normal

Situé entre les 2 champs pulmonaires clairs, le coeur apparaît comme une masse opaque para-médiane gauche grossièrement triangulaire à base diaphragmatique. On décompose les contours droit et gauche en arcs (**figure 24**) qui correspondent à une cavité cardiaque ou un gros vaisseau.

- ***bord droit***

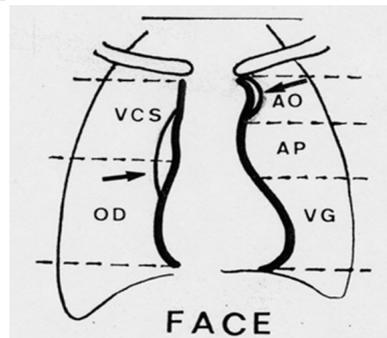
- arc supérieur droit rectiligne ou légèrement convexe formé par le bord externe de la cave supérieure (VCS)
- arc inférieur droit convexe formé par le bord de l'oreillette droite (OD) ; il forme avec la coupole diaphragmatique l'angle cardiophrénique droit.

- ***bord gauche***

- arc supérieur gauche (ou « bouton aortique ») arrondi d'un diamètre de 2 à 3 cm correspondant à la portion horizontale de la crosse de l'aorte.(Ao)
- arc moyen gauche de forme variable concave en dehors, rectiligne ou en S allongé formé par le tronc de l'artère pulmonaire (AP) dans ses 2/3 supérieurs et par l'auricule gauche dans son tiers inférieur.
- arc inférieur gauche, le plus long et le plus convexe correspondant au ventricule gauche (VG).

De tous ces arcs, seul le supérieur gauche est formé par un élément du médiastin postérieur.

Figure 24 : Le cliché de face normal



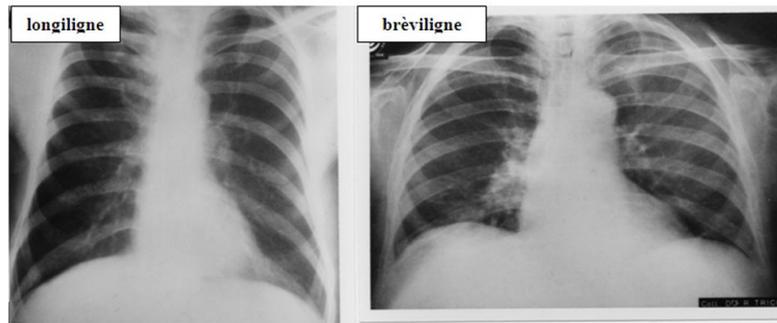
VIII.2.2 Modifications physiologiques

Des modifications physiologiques de la silhouette cardiaque peuvent être dues en particulier au morphotype et à l'âge :

VIII.2.2.1 Morphotype (figure 25)

Chez le sujet bréviligne, le cœur apparaît « horizontal » c'est à dire étalé sur le diaphragme avec un pédicule vasculaire élargi. A l'inverse chez le sujet longiligne, le cœur est « vertical », allongé avec un pédicule vasculaire étroit.

Figure 25 : Morphotype



VIII.2.2.2 Age

Chez le sujet âgé, l'aorte déroulée, de face, déborde l'arc supérieur droit et accentue l'arc supérieur gauche. (flèches sur figure 24).

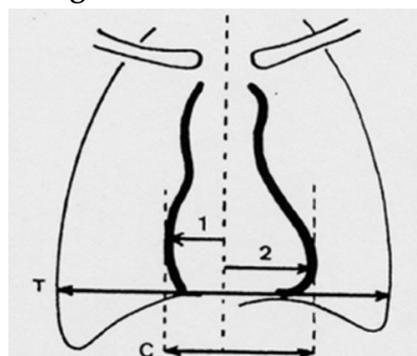
VIII.3 SÉMIOLOGIE RADIOLOGIQUE DU COEUR

L'analyse de la radio de thorax comprend : l'appréciation de la taille du cœur, l'identification des arcs de la silhouette cardiaque, l'analyse des gros vaisseaux de la base, la recherche de calcifications, l'appréciation de la vascularisation pulmonaire .

VIII.3.1 Taille du coeur

Elle est appréciée par le calcul du rapport cardiothoracique (RCT) qui est le rapport $(1+2/T)$ entre le diamètre maximal du coeur et le diamètre maximal du thorax mesuré sur le cliché de face pris debout en inspiration profonde (**figure 26**).

Figure 26 : Taille du coeur



Le RCT normal ne dépasse pas 0.50 . Il est pathologique au-delà de 0.55 et l'on parle alors de cardiomégalie.

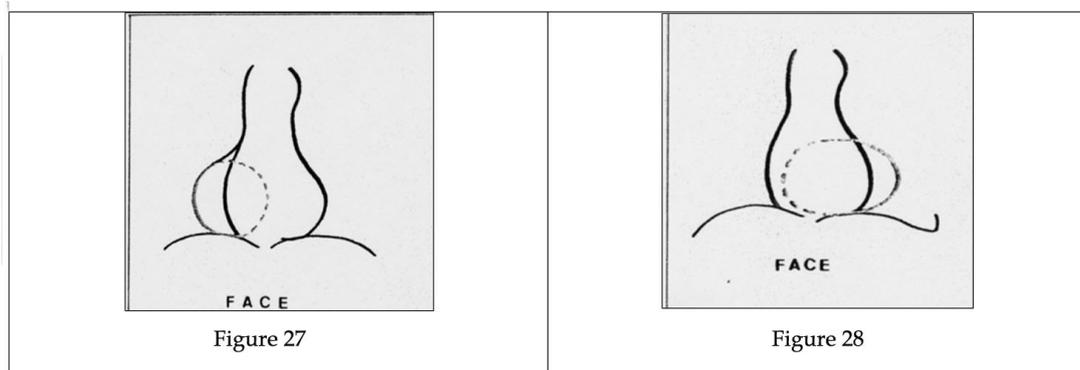
VIII.3.2 Analyse des cavités cardiaques

L'hypertrophie ou dilatation d'une cavité cardiaque entraîne des modifications de telle ou telle partie de la silhouette cardiaque :

VIII.3.2.1 Oreillette droite (OD)

L'augmentation de son volume (**figure 27**) est essentiellement appréciée sur le cliché de face : arc inférieur droit allongé et plus convexe.

Figures 27 et 28 : oreillette droite - ventricule droit



VIII.3.2.2 Ventricule droit (VD)

En augmentant de volume, le VD pivote vers la gauche refoulant le ventricule gauche ce qui entraîne sur l'incidence de face en cas de dilatation VD importante une saillie de l'arc inférieur gauche convexe avec un aspect arrondi de la pointe surélevée (**figure 28**).

De profil, le VD dilaté bombe en avant comblant l'espace clair rétrosternal.

VIII.3.2.3 Oreillette gauche (OG)

De face, l'OG ne participe pas normalement à la formation de la silhouette cardiaque. Une dilatation importante (**figure 29**) entraîne son débord sur la partie haute de l'arc inférieur droit formant une image en double contour. Son expansion vers la gauche crée une saillie de la partie inférieure de l'arc moyen gauche par dilatation de l'auricule gauche. La trachée se divise en 2 bronches souches qui font normalement un angle aigu ; une OG dilatée peut les écarter (signe du cavalier).

Figures 29 et 30 : Oreillette gauche - Ventricule gauche



VIII.3.2.4 Ventricule gauche (VG)

De face, son augmentation de volume (**figure 30**) entraîne un allongement de l'arc inférieur gauche déplacé vers le bas et la gauche avec l'apex s'enfonçant dans le diaphragme. Le VG se rapproche de la limite latérale gauche du thorax.

VIII.3.2.5 Gros vaisseaux

La dilatation de l'artère pulmonaire (AP) est appréciée (**figure 31**) sur l'incidence de face : arc moyen anormalement saillant.

La dilatation de l'aorte ascendante entraîne de face une convexité anormale de l'arc supérieur droit (**figure 32**).

Figures 31 et 32 : Gros vaisseaux

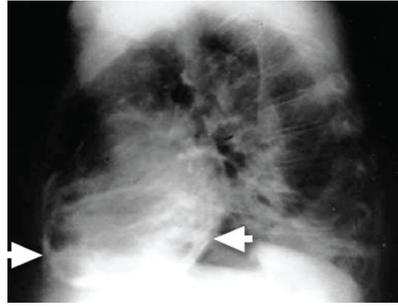


VIII.3.2.6 Calcifications cardiaques

Toutes les calcifications cardiaques sont pathologiques. Elles peuvent être visibles sur les clichés radiographiques de thorax, sous amplificateur de brillance et au scanner thoracique. Elles peuvent siéger dans les différentes structures du cœur :

- *valvulaires* touchant préférentiellement les valves mitrale et aortique.
- *coronaires* : calcifications linéaires le long des troncs proximaux des artères coronaires. Le « score calcique » coronaire établi en scanner est un index pronostique défavorable significatif.
- *péricardiques* : formant de bandes linéaires autour de la silhouette cardiaque. Elles prédominent au niveau des sillons et de la face inférieure du cœur. Elles peuvent au maximum former une coque calcaire comprimant le cœur (figure 33).
- *myocardiques* : arciformes en plein myocarde essentiellement ventriculaires gauches correspondant à une séquelle d'infarctus du myocarde.
- *de l'aorte thoracique* : réalisant un fin liséré opaque ou des bandes linéaires le long des bords du vaisseau.

Figure 33 : Exemple de calcifications : Calcifications péricardiques (flèches)



VIII.3.3 Vascolarisation pulmonaire

VIII.3.3.1 Chez le sujet normal

Les 2 artères pulmonaires ont un calibre maximum de 15 mm ; la « trame » pulmonaire formée notamment par les vaisseaux est plus dense à la base qu'au sommet et diminue du hile à la périphérie. Elle définit la transparence pulmonaire. Les culs de sac costo-diaphragmatiques sont libres.

VIII.3.3.2 Modifications de la transparence pulmonaire

Une *diminution* de la transparence pulmonaire correspond habituellement à une stase veino-pulmonaire capillaire (insuffisance cardiaque gauche,) réalisant le « poumon cardiaque » avec différents stades (**figures 34 et 35**) :

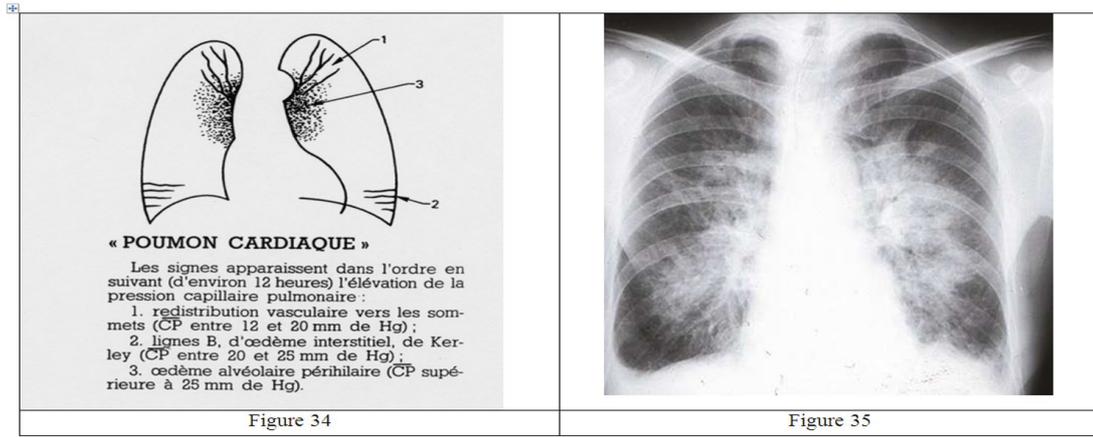
stade 1 : redistribution vasculaire vers les sommets qui deviennent aussi denses que les bases

stade 2 : oedème interstitiel avec plusieurs aspects :

- lignes de Kerley correspondant à un oedème des cloisons septales. Les mieux visibles sont les lignes B, petites lignes horizontales, fines et courtes siégeant à la base des champs pulmonaires.
- oedème périfonchique visible sur les coupes des bronches périhilaires
- oedème sous pleural avec apparition de scissures interlobaires
- diminution de la transparence pulmonaire de façon bilatérale.

stade 3 : oedème alvéolaire (figures 34 et 35) lié à la transsudation de plasma dans les alvéoles pulmonaires avec apparition d'opacités bilatérales nodulaires et confluentes prédominant dans les régions périhilaires en « ailes de papillon ». Il est accompagné très souvent d'un épanchement pleural en règle générale, bilatéral (figure 35).

Figures 34 et 35 : Modifications de la transparence pulmonaire



Plus rarement la diminution de transparence pulmonaire relève d'une augmentation du débit pulmonaire: cardiopathie congénitale avec shunt gauche- droit.

Une *augmentation* de la transparence pulmonaire (poumons clairs) a pour cause en général un emphysème pulmonaire avec petit coeur vertical en goutte, espaces intercostaux et diaphragme horizontaux donnant un aspect de thorax distendu. Plus rarement, elle peut être due à une diminution du débit pulmonaire par obstacle sur les artères pulmonaires (certaines cardiopathies congénitales, coeur pulmonaire chronique embolique) causant une diminution de la trame vasculaire et une hyperclarté distale.

VIII.3.4 Conclusion

La radiologie de thorax est un examen de base dans l'exploration non invasive du coeur. Elle donne des informations sur la silhouette du coeur et des gros vaisseaux ainsi que sur l'hémodynamique pulmonaire.

Un cliché normal n'exclut pas une cardiopathie mais une silhouette cardiaque anormale indique une anomalie qui mérite de pousser plus loin les explorations.

VIII.4 SCANNER THORACIQUE

Le scanner thoracique est un système d'imagerie en coupes, avec de nombreux systèmes informatiques de reconstruction . Les images sont diffusées par CD-ROM.

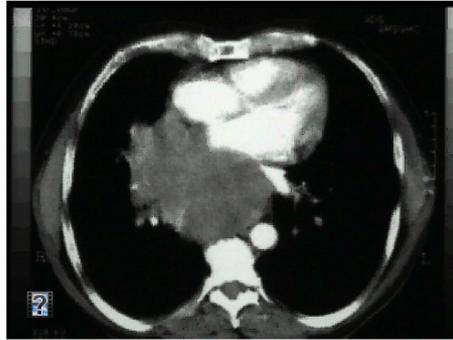
C'est un examen très performant pour l'examen de la plupart des organes.

En cardiologie, il est très utilisé pour l'examen des gros vaisseaux thoraciques et le diagnostic de leurs pathologies, (anévrismes, dissections, embolies pulmonaires) notamment dans le cadre de l'urgence.

Les machines les plus récentes (64 barrettes ou plus), permettent d'examiner le cœur, et les coronaires (figure 5 chapitre 1) avec des limites qui reculent sans cesse avec les progrès technologiques.

Ses inconvénients majeurs sont le caractère très irradiant et l'utilisation presque constante de produits radiologiques iodés de contraste en assez grande quantité. De ce fait, si possible, on évitera une prescription trop extensive de cette modalité d'imagerie.

Figure 36 : Scanner thoracique : Tumeur broncho pulmonaire envahissant les oreillettes (flèche)



IX ANGIOCARDIOGRAPHIE ET CORONAROGRAPHIE

IX.1 TECHNIQUE

Ce sont des cinéangiographies au cours desquelles on filme les cavités cardiaques et les artères coronaires rendues opaques aux rayons X par l'injection d'un produit de contraste riche en iode et s'éliminant par le rein. Ce sont des examens invasifs entraînant une iatrogénie et la nécessité d'un consentement informé du patient.

Les *incidents et accidents* sont de trois types :

- locaux, liés à la voie d'abord : hématome, thrombose veineuse, ou artérielle avec ischémie aiguë d'un membre.
- cardiaques : perforation du myocarde, injection intramyocardique ou intrapéricardique.
- liés au produit de contraste : choc à l'iode, insuffisance rénale aiguë (diabétique surtout).

Les *incidences* utilisées sont : face, profil, et obliques antérieures droite et gauche (OAD, OAG).

Les *documents* sont enregistrés numérisés puis stockés sur CD-ROM ou sur mémoires informatiques.

IX.1.1 Angiocardiographie par voie veineuse

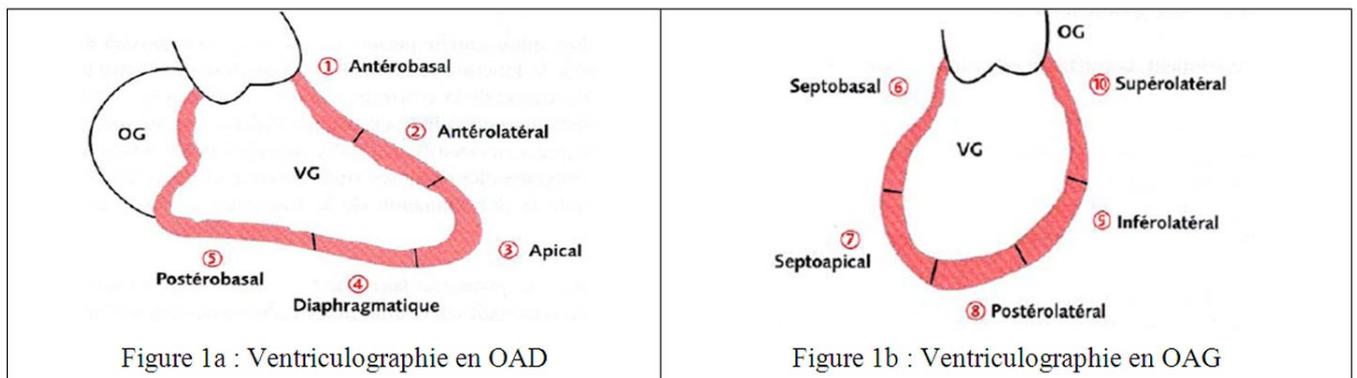
L'injection est réalisée à l'aide d'un cathéter poussé jusque dans la veine cave supérieure ou inférieure. Le produit opacifie les cavités cardiaques droites puis la circulation pulmonaire, puis les cavités gauches.

IX.1.2 Angiocardiographie sélective

L'injection est faite sélectivement par injection de produit de contraste dans la cavité cardiaque ou vasculaire que l'on veut examiner.

- soit dans une cavité droite ou dans l'artère pulmonaire à l'aide d'un cathéter monté par voie veineuse,
- soit dans le ventricule gauche (ventriculographie : **figures 37a et 37b**)

Figures 37a et 37b : ventriculographie



On définit pour le ventricule gauche:

- le volume télédiastolique (VTD) : le volume de remplissage du ventricule. Normale pour le VG : 100 ml/m²
- le volume télésystolique (VTS): volume restant après l'éjection ventriculaire. Normale pour le VG : 35 ml/m²
- le volume d'éjection systolique (VES) : le volume éjecté. Normale pour le VG : = 65 ml/m²

On calcule la *fraction d'éjection* : volume d'éjection systolique / volume télédiastolique.
Normale pour le VG = 0,65

On peut établir une courbe pression-volume ventriculaire gauche montrant notamment pendant la diastole de grandes variations de volume sous une faible pression.

IX.1.3 Coronarographie

C'est l'opacification sélective successive des 2 artères coronaires à l'aide de cathéters spéciaux introduits dans l'ostium coronaire gauche puis droit, par voie fémorale, radiale, ou humérale.

On filme (10 à 25 images/seconde) dans diverses incidences pour éviter de méconnaître une anomalie.

La digitalisation des images permet des études quantitatives (diamètre des artères, diamètre et longueur des sténoses).

Dans le même temps d'exploration, on peut opacifier la cavité VG (ventriculographie), ce qui permet de visualiser le comportement mécanique de sa paroi et de le corrélérer à l'état des artères coronaires. (L'échocardiographie apporte souvent des renseignements similaires à moindre risque).

IX.2 RÉSULTATS

IX.2.1 Angiocardiographie du cœur gauche et de l'aorte

Le VG peut être de volume normal ou dilaté.

Il peut montrer une hypokinésie diffuse ou bien des anomalies segmentaires de la contraction, en général liées à une ischémie ou à une nécrose : hypokinésie, akinésie, dyskinésie, anévrysme. L'analyse informatisée du contour du VG en OAD permet de quantifier ces anomalies.

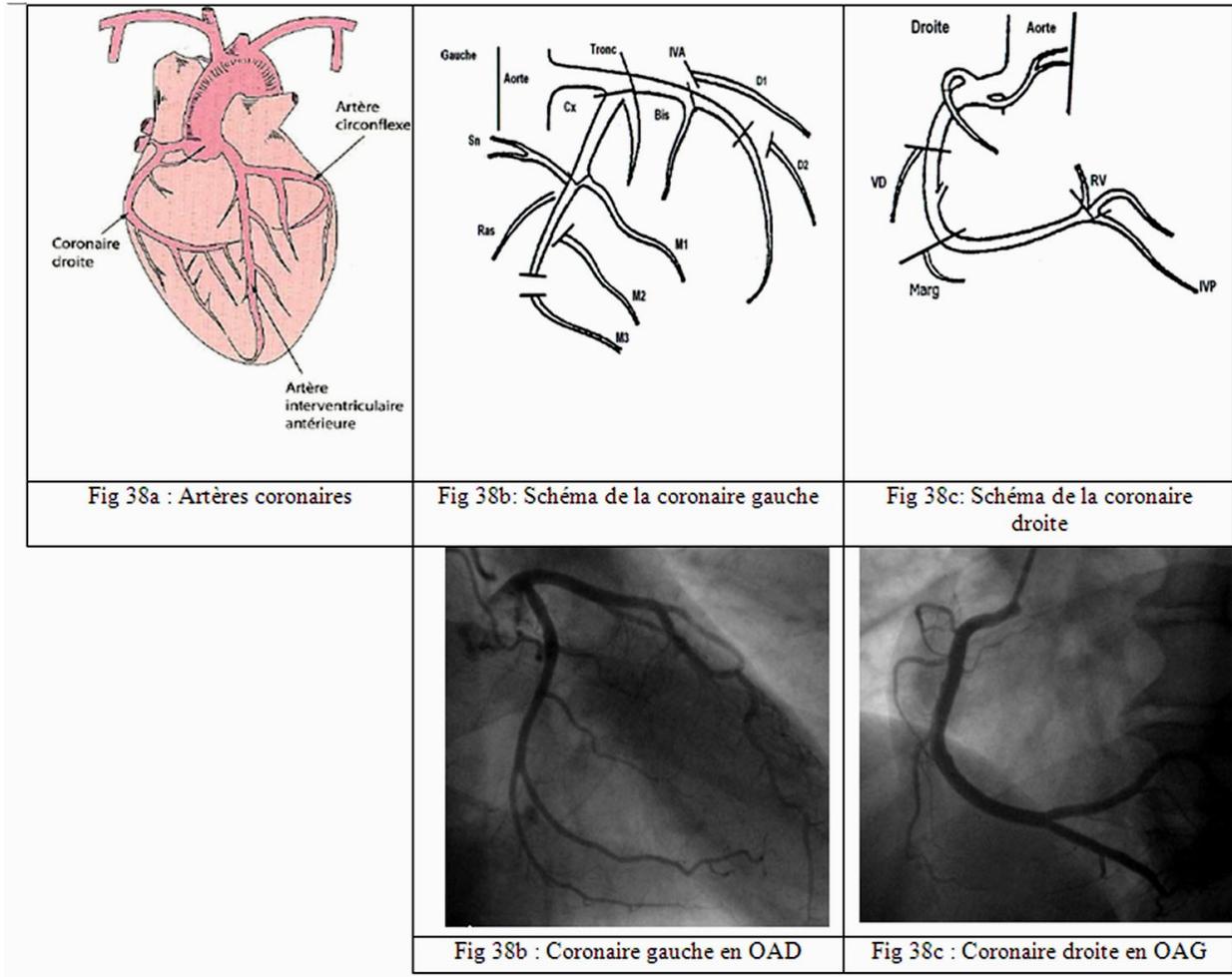
Les *réurgitations valvulaires* sont visualisées par angiocardiographie sélective de la cavité réurgitante (ventricule gauche pour l'insuffisance mitrale, et aorte sus valvulaire pour l'insuffisance aortique).

IX.2.2 Coronarographie

IX.2.2.1 Aspect normal

Les artères ont normalement une ramification d'aspect dichotomique. Elles forment une double couronne (d'où leur nom) dans les sillons auriculo-ventriculaire et interventriculaire.

Figure 38 : 2 - Coronarographie



La distribution la plus habituelle du réseau artériel coronaire est la suivante (**figure 38a**) :

(1) CORONAIRE GAUCHE (TCG)

Naît de l'ostium coronaire G par le tronc coronaire gauche (TCG) qui se divise rapidement (**figure 38b**) en donnant 2 branches :

- Interventriculaire antérieure (IVA), située dans le sillon interventriculaire jusqu'à la pointe, donnant elle même des branches : septales pour les 2/3 antérieurs du septum interventriculaire et diagonales (D1) pour la face antérieure de la paroi libre du VG et jusqu'à la pointe (1e, 2e, 3e, etc.). C'est l'artère la plus importante et la plus atteinte par le processus athéroscléreux .
- Circonflexe (Cx), dans le sillon auriculo-ventriculaire gauche en direction de la croix du cœur (intersection des sillons auriculo-ventriculaire et interventriculaire postérieur), donnant elle même des branches : marginales, ou postéro-latérales (M1,M2,M3) pour la face latérale de la paroi libre du VG.

(2) CORONAIRE DROITE (CD)

Naît de l'ostium coronaire droit puis court dans le sillon auriculo-ventriculaire droit en donnant des branches marginales droites, et se divise (**figure 38c**) en deux branches terminales : l'interventriculaire postérieure (IVP) située dans le sillon interventriculaire postérieur vascularise le 1/3 inférieur du septum par ses branches septales et la rétroventriculaire (RV) pour la face inférieure de la paroi libre du VG.

Pour cette artère, l'essentiel de son apport sanguin au VG se fait via ses branches de division (interventriculaire postérieure et rétroventriculaire)

(3) CORRESPONDANCES TERRITOIRES MYOCARDIQUES-CORONAIRES-ECG

Correspondances territoires myocardiques-coronaires-ecg

Territoires myocardiques	Artères coronaires correspondantes	Dérivations d'expression ECG
Antérieur (face antérieure du VG + 2/3 du septum interventriculaire)	IVA (+ diagonales et septales)	V1, V2, V3, V4
Inférieur	Selon dominance: CD, ou CD + CX ou CX seule	D2, D3, VF ,+/-V5, V6
Latéral	Circonflexe, marginales	D1, VL, +/-V5, V6

IX.2.2.2 Aspects pathologiques

Les artères coronaires peuvent présenter divers types de lésions:

(1) - STENOSES

Plus ou moins serrées (significatives si > 50 à 70 % du diamètre), plus ou moins longues, tortueuses, calcifiées. Des classifications spécialisées permettent de les décrire.

Sur chaque artère, la localisation de la sténose aura un retentissement d'autant plus important qu'elle sera plus proximale.

On parlera d'atteinte mono, bi ou tritrunculaire selon le nombre de troncs principaux lésés (IVA-diagonales, CD, Circonflexe).

Une sténose du tronc coronaire gauche > 50% représente un risque vital car la quantité de myocarde qui en dépend est indispensable à la survie.

Elles peuvent être quantifiées par analyse informatisée, le cathéter d'injection, de diamètre connu, servant à l'étalonnage. Cela permet de mesurer l'effet d'une angioplastie par ballonnet sur cette sténose.

(2) - OCCLUSIONS

Ces occlusions peuvent être aiguës essentiellement thrombotiques notamment lors de la survenue d'un infarctus du myocarde ou au contraire chroniques par athérome organisé souvent calcifié.

Une reperméabilisation au delà de la thrombose par une collatéralité est possible et en limite les conséquences néfastes.

(3) - SPASME

Peut être observé spontanément ou provoqué pharmacologiquement pendant l'examen coronarographique (test au Méthergin).

X CATHÉTÉRISME CARDIAQUE

Il s'agit d'examens invasifs, forcément grevés d'une certaine iatrogénie. Quoique peu fréquents, les risques encourus doivent systématiquement être mis en balance avec les avantages escomptés. Un consentement éclairé doit être obtenu du patient. Les incidents et accidents principaux sont *locaux*, liés à la voie d'abord : hématome, thrombose veineuse ou artérielle avec ischémie aiguë d'un membre ou *cardiaques* : perforation du myocarde, injection intramyocardique ou intrapéricardique.

Dans la plupart des cas, il est réalisé dans le même temps que les angiocardiographies et/ou les coronarographies. (cf chapitre 9)

X.1 CATHÉTÉRISME DROIT

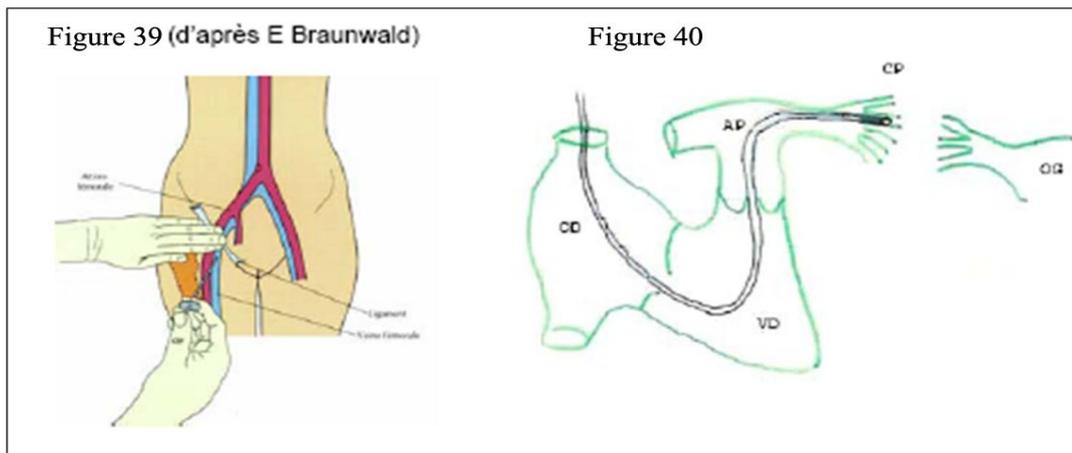
Il consiste à introduire par une veine périphérique (fémorale, jugulaire) un cathéter branché sur un manomètre et à le guider jusque dans une branche de l'artère pulmonaire où on le bloque (**Figures 39 et 40**).

On va pouvoir alors enregistrer la "pression capillaire pulmonaire". Puis successivement, en retirant le cathéter:

- la pression artérielle pulmonaire
- la pression ventriculaire droite
- la pression auriculaire droite

On peut réaliser en même temps des prélèvements sanguins (oxymétrie) ou une injection de produit radio-opaque (angiocardiographie dans l'oreillette droite, le ventricule droit ou l'artère pulmonaire).

Figures 39 et 40 : Cathétérisme droit



X.2 CATHÉTÉRISME GAUCHE

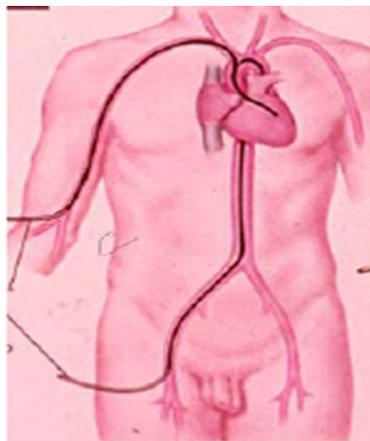
Il consiste à introduire par une artère fémorale ou humérale ou radiale un cathéter jusque dans le ventricule gauche (**figure 41**). Il est plus dangereux à réaliser que le droit.

On étudie :

- la pression ventriculaire gauche
- la pression aortique

Ici encore on peut réaliser en même temps des prélèvements sanguins (oxymétrie) ou une injection de produit radio-opaque (ventriculographie, aortographie).

Figure 41 : cathétérisme gauche



X.3 COURBES DE PRESSION

La courbe *ventriculaire* (morphologiquement similaire pour les 2 ventricules) se définit par :

- la pression systolique (pic maximal)
- la pression protodiastolique
- la pression télédiastolique, juste avant le début de la contraction ventriculaire

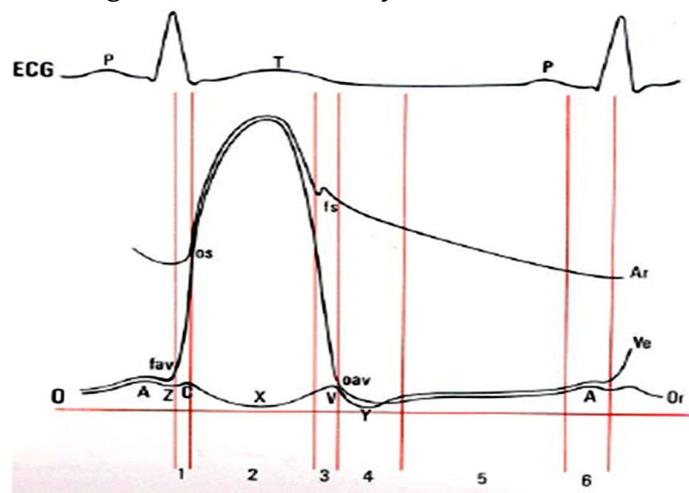
Sur la courbe *auriculaire* (OD et OG) on note la pression moyenne.

La courbe *artérielle* (aorte ou artère pulmonaire) se définit par :

- la pression systolique
- la pression diastolique
- la pression moyenne (intégrale sous la courbe)

Phases du cycle ventriculaire : Ces différentes courbes de pression permettent d'individualiser les phases suivantes au cours d'un cycle ventriculaire cardiaque (repérées sur la **figure 42**) : 1:contraction isovolumétrique ; 2 : éjection ; 3 : relaxation isovolumétrique ; 4 : remplissage rapide ; 5 : remplissage lent ; 6 : remplissage lié à la contraction auriculaire.

Figure 42 : Phases du cycle ventriculaire



Courbes de pression artérielle (Ar), ventriculaire (Ve) et auriculaire (Or) ; os, fs, ouverture et fermeture des sigmoïdes ; oav, fav, ouverture et fermeture des valves auriculoventriculaires.

Les *valeurs normales des pressions intracardiaques* sont dans le tableau ci-contre.

A l'état normal, les pressions systoliques sont 5 fois plus élevées dans les cavités gauches que dans les cavités droites.

La pression capillaire pulmonaire bloquée est le reflet de la pression de l'oreillette gauche et aussi de la pression mésodiastolique du VG : normale : < 12 mmHg. Elle est à l'état normal égale à la pression diastolique de l'artère pulmonaire.

Pour mémoire : La *pression veineuse centrale*, est mesurée à l'aide d'un cathéter introduit par voie veineuse jusque dans la veine cave supérieure. Elle se mesure en cm d'eau. Le zéro du manomètre (une colonne liquidienne) est placé à 5 cm en dessous de l'angle de Louis (entre les 2 premières pièces sternales). Elle traduit la pression de remplissage de l'OD : normale <12 cm eau.

Tableau des pressions normales en mm de HG

Cavités explorée	Valeurs normales
Ventricule gauche	125 0 <12
Ventricule droit	25 0 +5
Oreillette gauche (pression moyenne)	2-4
Oreillette droite (pression moyenne)	0-2
Aorte	125 70 85
Artère Pulmonaire	25 15 15

X.4 DÉBIT CARDIAQUE

Le débit cardiaque est le produit du volume d'éjection systolique par la fréquence cardiaque. Ce débit peut être évalué de différentes façons.

De manière invasive on peut utiliser la *thermodilution* à l'aide d'une sonde spéciale (Swan Ganz) introduite dans l'artère pulmonaire. On réalise une injection de sérum froid en bolus dans l'oreillette droite et on suit l'évolution thermique par une thermistance dans l'artère pulmonaire. Un logiciel fait le calcul. Il y a beaucoup de causes d'erreurs, mais on peut répéter les mesures.

Le débit cardiaque peut également être estimé par la *méthode de Fick* qui consiste à mesurer la différence artério-veineuse en oxygène. Plus le sang veineux est désaturé, plus le débit cardiaque est bas.

Le débit cardiaque varie avec la taille du corps et on l'exprime après correction par la surface corporelle. C'est l'index cardiaque, qui se situe normalement entre 2,5 et 4,5 litres/min/m².

NB - Le débit cardiaque peut aussi être estimé de manière non invasive notamment par échocardiographie-Doppler.

XI CARDIOLOGIE NUCLÉAIRE

XI.1 INTRODUCTION

La médecine nucléaire utilise des traceurs radioactifs qui se fixent sur l'organe à étudier d'où ils émettent un rayonnement gamma capté par une gamma caméra qui détecte le signal de cet organe et reconstruit une image statique ou dynamique informatisée.

Pour l'examen du coeur, les principaux traceurs utilisés se fixent soit sur le myocarde pour réaliser des *scintigraphies myocardiques*, soit sur les hématies permettant un marquage du sang circulant dans les cavités cardiaques, ce qui permet la réalisation d'*angiographie isotopique* (ou scintigraphie cavitaire).

La synchronisation de l'enregistrement des données isotopiques à l'ECG du patient est nécessaire à la réalisation des angiographies isotopiques. Elle n'est pas nécessaire à la réalisation des scintigraphies du myocarde dont elle peut améliorer cependant les performances techniques (on parle alors de tomoscintigraphie myocardique synchronisée).

Lorsque ces techniques nécessitent une synchronisation à l'ECG pour réaliser les images cardiaques, elles sont souvent de qualité médiocre ou mauvaise en cas de trouble du rythme cardiaque (arythmie par fibrillation atriale ; extrasystolie).

La médecine nucléaire a peu de contre-indications, mais l'injection de traceurs radioactifs est contre indiquée au cours de la grossesse ou de l'allaitement.

XI.2 ANGIOGRAPHIE ISOTOPIQUE

Elle est habituellement réalisée au repos après marquage in vivo des hématies circulantes du patient par du ^{99m}Tc .

La technique la plus usuelle consiste à enregistrer l'activité des cavités cardiaques en oblique antérieure gauche, en synchronisant l'enregistrement sur l'ECG pour pouvoir déterminer la télésystole et la télédiastole (**figure 43**).

On peut ainsi mesurer les *fractions d'éjection* des deux ventricules dont la valeur usuelle normale varie un peu d'un laboratoire à l'autre mais est entre 50% et 70% (la norme du laboratoire est donnée avec le compte rendu). La mesure de fraction d'éjection par cette technique est si fiable et si reproductible lorsque le rythme est sinusal, qu'elle est considérée

comme la référence technique pour cette mesure. L'abaissement de la fraction d'éjection globale de repos est un paramètre pronostique très important quelle que soit l'étiologie de la cardiopathie. En simplifiant la littérature, disons que la dégradation de la fonction ventriculaire gauche est patente lorsque la FE du ventricule gauche est inférieure à 50%, avec une détérioration du pronostic qui s'accroît lorsque les chiffres baissent. Lorsque la valeur atteint 20%, le pronostic vital est souvent engagé à quelques mois ou années.

Outre la fraction d'éjection globale du ventricule, on peut étudier des fractions d'éjection segmentaires en découpant la cavité ventriculaire gauche en secteurs. L'abaissement de la fraction d'un ou plusieurs segments contigus ventriculaires, traduit une dysfonction systolique segmentaire. Selon la sévérité de l'anomalie on parle d'hypo-, d'a- ou de dyskinesie de la contraction au niveau de la zone atteinte du ventricule gauche.

Figure 43 : Angiographie isotopique : mesure de la FEVG, ici très abaissée à 19%

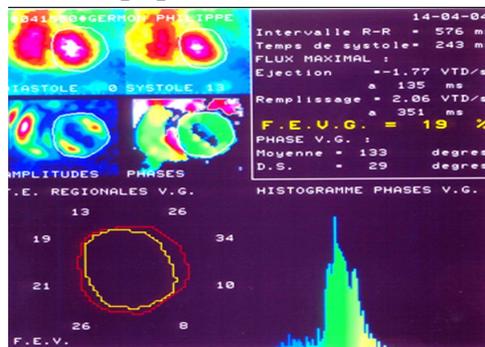
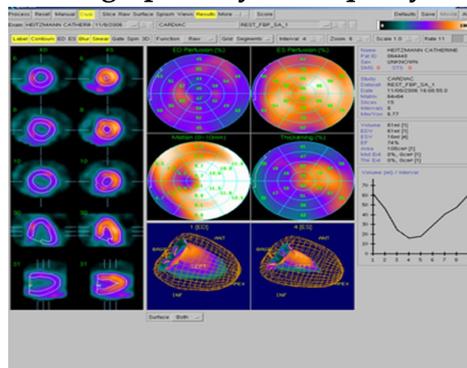


Figure 44 : Tomoscintigraphie myocardique synchronisée à l'ECG



XI.3 TOMOSCINTIGRAPHIES DU MYOCARDE

Ces examens examinent le myocarde ventriculaire gauche avec des traceurs (thallium 201, dérivés technetiés : ^{99m}Tc -MIBI ou ^{99m}Tc -Tetrofosmin) qui se fixent sur les cellules myocardiques, si celles-ci sont encore vivantes et perfusées.

Plusieurs protocoles d'examen existent, selon la question posée, avec la plupart du temps une scintigraphie initiale réalisée fréquemment après une épreuve de stress (effort sur bicyclette ergométrique ou après injection d'agent pharmacologique : dipyridamole en

intraveineux) et une seconde scintigraphie réalisée au repos à laquelle elle sera comparée.

Les images sont réalisées par reconstruction informatique, en coupes jointives selon le petit axe, le grand axe vertical et le grand axe horizontal du ventricule gauche. L'interprétation quantifiée de la fixation du traceur est représentée par un code couleur, l'analyse étant faite dans les différents segments du myocarde du ventricule gauche (habituellement divisé en 17 à 20 segments).

La tomoscintigraphie myocardique synchronisée à l'ECG permet d'obtenir des images tomoscintigraphiques en télésystole et en télédiastole. Sur ces images, il est, bien sûr, possible de visualiser l'ischémie, la viabilité et l'infarctus, mais de plus cet examen permet le calcul des volumes télédiastolique et télésystolique et de la fraction d'éjection du ventricule gauche (**figure 44**).

Sémiologie scintigraphique

- **Infarctus** : Les zones de cellules myocardiques mortes (remplacées par de la fibrose non contractile) ne fixent pas le traceur quel que soit le protocole utilisé. Cette absence de fixation (« lacune » de fixation) est l'aspect habituel de l'infarctus myocardique cicatriciel, mais peut aussi se voir parfois dans certaines myocardopathies primitives.
- **L'ischémie myocardique** est la conséquence d'une perfusion inadéquate d'un segment myocardique par une artère coronaire significativement sténosée ou parfois spastique.

Sur les scintigraphies du myocarde l'ischémie myocardique se traduit par une hypofixation du traceur au niveau du territoire mal vascularisé sur la scintigraphie de stress, hypofixation disparaissant totalement ou partiellement sur la scintigraphie de repos. La visualisation de l'ischémie myocardique en scintigraphie permet donc de suspecter la présence d'une (ou plusieurs) sténose (s) coronaire(s) ischémiant(e) (s) qu'il faudra traiter. La sensibilité et la spécificité de détection des sténoses coronaires par cette technique sont voisines de 80 à 90 % et supérieures à celles de l'épreuve d'effort électrocardiographique simple.

- **Viabilité myocardique** : La pathologie coronaire peut être à l'origine de troubles sévères de la contractilité segmentaire ou globale du ventricule gauche alors qu'il persiste un contingent suffisant de cellules myocardiques vivantes (viables) et aptes à reprendre une fonction contractile pourvu que l'on reperfuse le myocarde de manière satisfaisante.

La détection de cette viabilité peut être réalisée selon différents protocoles scintigraphiques dont le principe est la mise en évidence d'une fixation significative du traceur dans la ou les zones hypo ou akinétique(s) (excluant ainsi le diagnostic d'infarctus : cf. ci dessus).

- **Pronostic** : Les grandes études de la littérature ont bien montré que plus la zone d'anomalie de fixation myocardique est étendue, plus le pronostic du patient coronarien est sévère.

Synthèse des anomalies de contraction et de fixation myocardiques au cours des différents états possibles du myocarde

	Contraction de repos*	Perfusion de stress	Perfusion de repos
Myocarde sain	Normale	Normale	Normale
Myocarde nécrosé	Nulle	Nulle	Nulle
Myocarde ischémique	Normale ou sub-normale	Hypoperfusion	Normale ou peu altérée
Myocarde hibernant	Altérée, voire nulle	Hypoperfusion	Normale ou peu altérée

*Etudiée en angiographie isotopique, en tomoscintigraphie synchronisée ou en échocardiographie

XI.4 SCINTIGRAPHIE PULMONAIRE DE PERFUSION ET DE VENTILATION

Elle est utilisée pour le diagnostic et le suivi de l'embolie pulmonaire. Elle est particulièrement performante en l'absence de pathologie pulmonaire préalable. L'embolie pulmonaire provoque l'apparition d'une ou plusieurs zones d'hypoperfusion (zones d'hypo ou d'absence de fixation du traceur) sur la scintigraphie de perfusion, alors que la scintigraphie de ventilation est normale. L'interprétation de la scintigraphie pulmonaire est facile lorsqu'elle est normale (exclusion de l'embolie pulmonaire) ou franchement pathologique (plusieurs segments hypoperfusés normalement ventilés). Dans les cas intermédiaires ou chez les patients qui ont des pathologies pneumologiques associées, le diagnostic scintigraphique est plus difficile et conduit à des examens de fiabilité « intermédiaires » peu contributifs.

XII IRM CARDIAQUE

XII.1 INTRODUCTION

L'imagerie par résonance magnétique nucléaire est une imagerie utilisant des champs magnétiques intenses permettant d'examiner de manière non invasive et non irradiante l'appareil cardiovasculaire.

De nombreuses séquences d'imagerie sont disponibles permettant d'examiner de manière statique ou dynamique l'appareil cardiovasculaire. Quelle que soit la séquence choisie, il existe un contraste spontané entre le sang circulant et les parois du cœur et des vaisseaux. Il peut être cependant nécessaire d'utiliser un produit de contraste paramagnétique (contenant habituellement un complexe à base de Gadolinium) à utiliser avec précaution en cas d'insuffisance rénale.

XII.2 CONDITION DE L'EXAMEN ; CONTRE INDICATIONS

Le patient n'a pas besoin d'être à jeun. Il sera dévêtu (sauf linge de corps) et habillé avec une blouse, pour s'assurer de l'absence de pièces ferro-magnétiques qu'il serait dangereux d'introduire dans l'aimant.

L'examen est *contre indiqué* lorsque le patient est porteur d'un stimulateur ou d'un défibrillateur cardiaque implanté. De même la présence de corps étranger ferro-magnétique à l'intérieur de l'organisme du patient pourra faire contre-indiquer l'examen. Il est difficile d'examiner les patients ventilés artificiellement, et pour l'instant en cardiologie cette situation contre indique habituellement l'examen.

Les patients claustrophobes supportent mal le séjour dans l'aimant et certains ne peuvent y entrer.

L'examen cardiaque, pour être de qualité doit être synchronisé à l'ECG du patient. Si le rythme n'est pas régulier, la qualité sera moindre. En cas de rythme très irrégulier, l'examen par IRM est à éviter. Cette synchronisation à l'ECG permet en outre de préciser la position chronologique des différentes coupes par rapport au cycle cardiaque.

XII.3 SÉMILOGIE DE BASE DES IMAGES

L'examen comporte habituellement la réalisation de coupes dans plusieurs plans de l'espace, utilisant des techniques « sang noir » et « sang blanc ». Avec les premières (**figure 45**), les cavités du cœur et des vaisseaux, noires, contrastent spontanément avec la paroi qui apparaît grise. Avec les secondes (**figure 46**) qui comportent notamment les images dynamiques en ciné-IRM, le sang est blanc et contraste avec les parois qui sont grises. (clichés présentés : coupes petit axe avec deux modes d'imagerie d'une dissection de l'aorte ascendante : flèches).

Figures 45 et 46 : Sémiologie de base des images

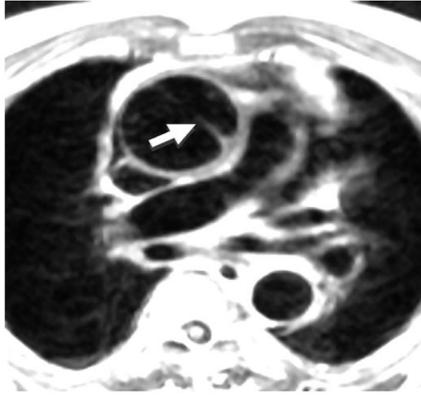


Figure 45

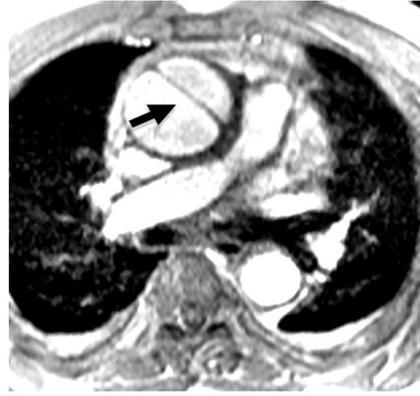


Figure 46

Le signal IRM peut être renforcé par l'injection de produits de contraste qui habituellement sont des produits contenant des complexes de Gadolinium. L'injection intraveineuse de ces produits renforce le signal du sang qui le transporte, particulièrement dans les cavités cardiaques et vasculaires, mais aussi dans des structures hypervascularisées ou qui captent de manière anormale ce produit.

XII.4 PRINCIPALES INDICATIONS ACTUELLES

L'IRM apporte des informations souvent irremplaçables pour :

- l'étude de la fonction des deux ventricules (volumes, fractions d'éjection)
- la mesure de la masse myocardique du ventricule gauche
- la recherche étiologique au cours des tachycardies ventriculaires inexplicables
- le bilan initial au cours des cardiomyopathies dilatées
- la prédiction de récupération de fonction au décours de l'infarctus myocardique (viabilité),
- le bilan des masses intracardiaques (tumeurs, thrombus) de diagnostic difficile
- le bilan et le suivi des pathologies de l'aorte thoracique (anévrisme, dissection, aortes opérées), et des gros vaisseaux notamment au cours des cardiopathies congénitales parvenues à l'âge adulte.

Cette liste n'est pas limitative, et les importants développements de cette technique non invasive, notamment pour l'examen des coronaires laisse présager une large utilisation en cardiologie au cours des prochaines années.

Le document final remis au patient est habituellement un CD Rom, associé au compte rendu.

XIII SÉMIOLOGIE BIOLOGIQUE CARDIOLOGIQUE

La sémiologie biologique est enseignée par ailleurs de manière précise et détaillée. Ce bref chapitre a pour but de souligner son aide sémiologique au cours des cardiopathies.

XIII.1 BIOLOGIE USUELLE

Lors de la prise en charge des patients, notamment au cours des hospitalisations, un certain nombre d'examens biologiques de « routine » sont réalisés, complétés par des investigations supplémentaires orientées par la clinique et le résultat des premières investigations.

Bien souvent ce bilan initial comporte un hémogramme, un ionogramme sanguin, une glycémie à jeun, une créatininémie, et une bandelette urinaire à la recherche de protéinurie. En cas de douleurs thoraciques, les enzymes cardiaques et les D Dimères sont prélevés en plus.

En cas de dyspnée évocatrice d'insuffisance cardiaque, un dosage de BNP ou de proBNP s'y ajoute.

Pour compléter un bilan des « facteurs de risque », un bilan lipidique est prescrit : cholestérol total, LDL, HDL, triglycérides.

S'il y a lieu d'envisager des traitements modifiant l'hémostase, un bilan d'hémostase simple est demandé.

En cas d'examen invasif, il est conseillé de réaliser un Groupe Sanguin.

XIII.2 PRINCIPALES INFORMATIONS SÉMIOLOGIQUES

XIII.2.1 1 - Tableau douloureux thoracique: CK-MB, myosine, troponines , D-Dimères

En cas d'**angor**, l'hémogramme sera attentivement examiné, une anémie pouvant aggraver voire provoquer la symptomatologie. Même en cas d'angor sévère, les marqueurs de souffrance myocardique(cf infra) restent en général normaux.

Au cours de l'**infarctus du myocarde**, des marqueurs de souffrance myocardique sont libérés. Ils seront progressivement détectables dans le sang périphérique. A noter que ces marqueurs ne sont pas complètement spécifiques de l'infarctus myocardique aigu, puisqu'ils peuvent parfois être augmentés au cours d'autres affections thoraciques douloureuses, telles que la péricardite aiguë ou la dissection de l'aorte. Les marqueurs utilisés en biologie clinique pour confirmer ce diagnostic sont des enzymes et des protéines présentes dans le plasma lorsqu'elles sont libérées par les cellules musculaires nécrosées. Ils confirment a posteriori le diagnostic. Les marqueurs usuels sont les suivants :

- Les iso-enzymes MB des *créatine-kinases* (CK-MB) qui présentent une bonne spécificité et sensibilité. La limitation diagnostique de ce dosage tient dans le fait que la libération de CK-MB d'origine squelettique dans le torrent circulatoire peut également être due à des traumatismes musculaires ou à un exercice violent ou prolongé.
- La *myoglobine* est une protéine globulaire présente dans le cytoplasme des cellules musculaires de tous les muscles striés et du myocarde. Après toute nécrose ponctuelle, le pic maximum de concentration observé dans le plasma se situe aux environs de 2 à 3 heures ; son taux ensuite décroît très rapidement et est revenu à la normale au bout de 24 heures. La sensibilité de ce marqueur par rapport à la destruction musculaire est supérieure à 90%. Sa spécificité myocardique est par contre extrêmement basse.
- La *troponine* constitue un des éléments d'un complexe macromoléculaire en association à l'actine et la myosine, protéines contractiles constituant les myofibrilles présentes dans les cellules musculaires de tous les muscles striés. Elle est composée de 3 sous unités : C, I et T. Une isoforme spécifique du tissu cardiaque (Tn IC : *Troponine Ic*) n'est retrouvée dans aucun autre muscle de l'organisme. Sa cinétique de libération dans le torrent circulatoire est lente à s'établir lors d'une destruction du tissu cardiaque, du fait de sa localisation intrafibrillaire et des processus enzymatiques mis en jeu pour désolidariser les différentes protéines contractiles. Le pic maximum de concentration dans le plasma n'est atteint qu'au bout d'environ + 12 heures et persiste en plateau jusqu'à environ + 24 heures, pour décroître ensuite lentement et revenir à la normale au bout de 3 à 6 jours.

Le tableau ci dessous regroupe les informations utiles à leur prescription et à leur utilisation.

Tableau douloureux thoracique

	Myoglobine	Troponine I	CK-MB
Biologie	Protéine cytosolique	Protéine fibrillaire	Enzyme cytosolique
Détection	2 à 3 h	5 à 8 h	3 à 7 h
Pic	5 à 9 h	12 à 24 h	10 à 24 h
Retour à la normale	1 à 1.5 j	5 à 10 j	3 à 5 j
Avantages	C'est le marqueur le plus précoce et le plus	C'est le marqueur le plus spécifique	Bonne spécificité et sensibilité pour la

	sensible de nécrose myocardique	de nécrose myocardique	nécrose myocardique
Inconvénients	C'est le marqueur le moins spécifique de nécrose myocardique	Détection plus tardive que la myoglobine	Détection plus tardive que la myoglobine
Seuil de positivité	> 90 µg / l	> 2 µg / l	> 5 µg / l

L'élévation du taux sanguin des *D-Dimères* se voit dans de nombreux cas, mais, si le taux reste normal au cours d'un syndrome douloureux thoracique faisant envisager le diagnostic d'**embolie pulmonaire**, on peut presque à coup sûr éliminer ce diagnostic.

XIII.2.2 Dyspnée ; pro-BNP ou BNP

En cas de dyspnée suggérant une insuffisance cardiaque, on recherchera sur l'hémogramme une *anémie* qui peut l'aggraver, des anomalies éventuelles du ionogramme et de la créatinine, et l'on fera doser le pro-BNP ou le BNP.

Si le taux de pro BNP ou de BNP est normal, l'insuffisance cardiaque décompensée peut être exclue, et l'on doit rechercher une autre cause à la dyspnée, telle que l'anémie. Dans le cas contraire, si les taux sont très élevés ce diagnostic est très probable. Pour les valeurs intermédiaires, le doute persiste. (les valeurs numériques seront données dans le cours « insuffisance cardiaque »).

XIII.2.3 Palpitations, malaises, syncopes

En cas de palpitations, en plus du bilan cardiologique on recherchera par un dosage de TSH-US une hyperthyroïdie. Le ionogramme sanguin sera vérifié, pour s'assurer de l'absence d'hypokaliémie.

En cas de malaise ou de syncope, outre le bilan cardiologique nécessaire, on vérifiera que le ionogramme sanguin complet ne montre pas d'anomalie. (notamment du potassium sanguin : kaliémie).

Remerciements :

SFC : Société Française de Cardiologie pour son aide matérielle importante.

Mr le pr. F. Brunotte pour ses conseils pour le chapitre "Généralités".

Mr le Dr D. Montaigne pour sa lecture avec un oeil plus jeune.

ADEMPU : Association Dijonnaise d'enseignement médical et post universitaire pour la mise à disposition de moyens.