

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



UNIVERSITÉ ABOU BEKR BELKAID DE TLEMEN

FACULTÉ DE MEDECINE
DEPARTEMENT DE MEDECINE
CHU TLEMEN

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES POUR
L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTEUR EN MEDECINE

Thématique :

SCINTIGRAPHIE MYOCARDIQUE

« Étude de la corrélation entre la sévérité de la maladie coronaire et les
facteurs de risque cardio-vasculaire »

Présenté par :

AYACHI Mounira

et

DJELTI Latéfa

Encadré par :

Dr DJELTI Abdelwahhab

Maitre-assistant en médecine nucléaire – CHU Tlemcen

Co-encadré par :

Pr HENNAOUI Latifa

Professeur en épidémiologie et médecine préventive – CHU Tlemcen

Année universitaire : 2022

Remerciements

En tout premier lieu, nous remercions le bon Dieu, tout puissant, de nous avoir donné la force, le courage, la volonté et surtout la patience pour pouvoir réaliser ce modeste travail.

A notre cher maitre rapporteur de thèse : *Monsieur Le Docteur DJELTI. A* : *Maitre-assistant en médecine nucléaire* ainsi que notre chère *Professeur HENNAOUI. L* pour leur disponibilité, leur patience, leurs conseils et surtout pour le temps qu'ils nous ont consacré.

Veillez retrouver, chers maitres, dans ce travail l'expression de notre haute considération, de notre sincère reconnaissance et notre profond respect. Veuillez accepter ce travail comme témoignage de notre reconnaissance et notre gratitude.

Nos remerciements vont également à ceux et celles qui nous ont aidé et encouragé durant notre cursus et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Dédicace

C'est avec grand respect et gratitude que nous tenons à exprimer toute notre reconnaissance et notre sympathie et dédier ce travail modeste à :

- A nos très chers PARENTS :

Il y a tant de choses à en sécher tout l'encre de ce monde, mais aucune dédicace ne saurait exprimer notre respect et notre profond amour.

Nous n'allons jamais oublier vos sacrifices pour nous... votre générosité sans limite, votre présence, vos conseils, vos encouragements et vos prières qui nous ont beaucoup servi dans nos études.

Vous récoltez dans ce travail les fruits de vos efforts, votre présence faisait naître en nous l'espoir nécessaire pour avancer.

Que dieu vous garde et vous procure santé, longue vie et bonheur éternel ici et dans l'au de là.

- A nos chers frères et sœurs pour leur patience, d'avoir tendu chaleureusement leurs bras et pour avoir évincé nos moments de doute.
- Tous nos enseignants tout au long de notre cycle d'études.

Table des matières

Approche théorique

I. INTRODUCTION :	p 05
II. RAPPELS :	p 06
II.I. Rappel anatomique	p 06
II.II. Rappel physiologique	p 09
III. MALADIE CORONAIRE :	p 11
III.I. Généralités	p 11
III.II. Définition	p 12
III.II.1. Syndrome coronarien chronique (SCC).....	p 12
III.II.2. Syndrome coronarien aigu (SCA)	p 12
III.III. Physiopathologie	p 12
III.IV. Etiologies	p 18
III.V. Diagnostic positif et stratification clinique du risque cardiovasculaire	p 19
III.V.1. Syndrome coronarien chronique.....	p 19
III.V.2. Evaluation de la probabilité de la maladie coronaire.....	p 23
III.V.3. Syndrome coronarien aigu.....	p 25
III.VI. Tests d'ischémie	p 32
III.VI.1. Tests fonctionnels.....	p 33
III.VI.2. Tests anatomiques.....	p 38
III.VI.3. Recommandations de l'ESC.....	p 39
IV. SCINTIGRAPHIE MYOCARDIQUE :	p 41
IV.I. Définition et principe général de la scintigraphie	p 41
IV.II. Les bases physiques de la scintigraphie myocardique	p 41
IV.II.1. Radiopharmaceutique	p 41
IV.II.2. Les moyens de détection.....	p 47
IV.III. Scintigraphie myocardique de perfusion	p 53
IV.III.1. Démarches de l'examen.....	p 53
IV.III.2. Choix de la technique de stress.....	p 55
IV.III.3. Protocoles d'injection et acquisition des images.....	p 59
IV.III.4. Synchronisation à l'ECG (Gated SPECT).....	p 63

IV.III.5.	<i>Présentation et interprétation des résultats</i>	p 66
IV.IV.	<i>Scintigraphie myocardique de viabilité</i>	p 76
IV.V.	<i>Tomographie par émission de positons (TEP)</i>	p 79
IV.VI.	<i>Ventriculographie isotopique ou scintigraphie cavitaire</i> ..	p80

V.	<i>INTERET DIAGNOSTIQUE ET PRONOSTIQUE DE LA SCINTIGRAPHIE EN CARDIOLOGIE</i>	p 82
-----------	--	------

Approche pratique

-	Problématique et objectif	p 86
-	Matériels et méthodes	p 86
-	Résultats.....	p 88
-	Discussion.....	p 100
-	Conclusion	p 102

Abréviations :

CD : la coronaire droite

CMH : cardiomyopathie hypertrophique

Cx : l'artère circonflexe

ECG : électrocardiogramme

EE : épreuve d'effort

ESC : european society of cardiology

FDR Cv : facteurs de risque cardio-vasculaire

FEVG : fraction d'éjection du ventricule gauche

FFR : fractionnel flow reserve

FMT : fréquence maximale théorique

HVG : hypertrophie ventriculaire gauche

HTA : hypertention artérielle

IVA: interventriculaire antérieure

MC : maladie coronaire

NSTEMI : non ST elevation myocardial infarction

OD : oreillette droite

OG : oreillette gauche

OMS : organisation mondiale de santé

PPT : probabilité prétest

PTDVG : pression télédiastolique du VG

Rao : rétrécissement aortique

SCA : syndrome coronarien aigu

SCC : syndrome coronarien chronique

SPECT : single photon emission computed tomography

STEMI : ST elevation myocardial infarction

Tc-MIBI : technétium 99 m hexakis-2-méthoxy-2-méthylpropyl isonitrile

TEP : tomographie par émission de positons

TI-201 : Thallium 201

TSM : tomoscintigraphie myocardique

VD : ventricule droit

VG : ventricule gauche

Approche théorique

I. INTRODUCTION:

La médecine nucléaire est une technique d'imagerie médicale qui permet d'obtenir une représentation du fonctionnement d'un organe ou d'une partie d'un organe du corps grâce à un examen que l'on appelle une "scintigraphie". Elle consiste à étudier in vivo le métabolisme d'un radio-isotope au sein d'un organe cible. Il s'agit donc d'une technique visant à réaliser des "cartographies de radioactivité" représentatives de l'état du fonctionnement d'un organe. Ces cartographies appelées scintigraphies constituent une imagerie fonctionnelle, atraumatique, réalisée dans des conditions physiologiques.

D'une certaine façon, on peut dire que l'imagerie scintigraphique s'intéresse à la physiologie alors que la radiologie s'intéresse à l'anatomie.

En cardiologie, la scintigraphie constitue actuellement dans les pays développés un moyen performant pour l'exploration non invasive du cœur, notamment dans le diagnostic, la surveillance et la détermination du pronostic de la maladie coronaire.

En plus, il s'agit d'un examen qui peut être réalisé sans danger à tous les âges, même chez les personnes très âgées ou les très jeunes enfants, avec une dose de rayonnement délivrée au patient qui est de l'ordre de celle donnée par les radiographies classiques.

En fonction de l'indication, plusieurs techniques nucléaires sont utilisées en cardiologie, à savoir :

- **La scintigraphie myocardique de perfusion** qui permet d'évaluer l'apport sanguin vers le myocarde et donc d'apprécier la qualité de l'irrigation cardiaque par les artères coronaires; d'où son intérêt dans le diagnostic de l'insuffisance coronaire.
- **La scintigraphie myocardique de viabilité et la tomographie par émissions des positons (TEP) cardiaque** utilisées pour étudier la viabilité myocardique, ce qui est indispensable avant d'envisager un geste de revascularisation coronaire.
- **La ventriculographie isotopique** permettant l'évaluation de la fonction contractile du ventricule gauche est considérée comme l'examen de choix pour le suivi des patients sous traitement cardiotoxique.

II. RAPPELS

II.1. *Rappel anatomique :*

Le cœur est un organe essentiellement musculaire tapissé en dedans par l'endocarde et il est recouvert à sa surface par le péricarde viscéral ou épicarde. Cette masse musculaire ou myocarde est constituée de fibres auriculaires et ventriculaires qui s'insèrent sur une solide charpente de tissu fibreux.

II.1.1. Le myocarde :

C'est un tissu musculaire, épais, constituant la plus grande partie de la paroi des ventricules droit et gauche, et dont les fibres prennent leur insertion au niveau d'un appareil fibreux placé à la base des ventricules et composé de quatre anneaux fixés sur les orifices auriculo-ventriculaires.

Il a une forme grossièrement tronc-conique à base postéro-supérieure répondant au plan des orifices valvulaires et à pointe inféro-externe. Son épaisseur, qui est de 1 cm au niveau du myocarde gauche et du septum et de 0.5 cm au myocarde droit, expliquant que seule la paroi ventriculaire gauche sera habituellement visible en scintigraphie.

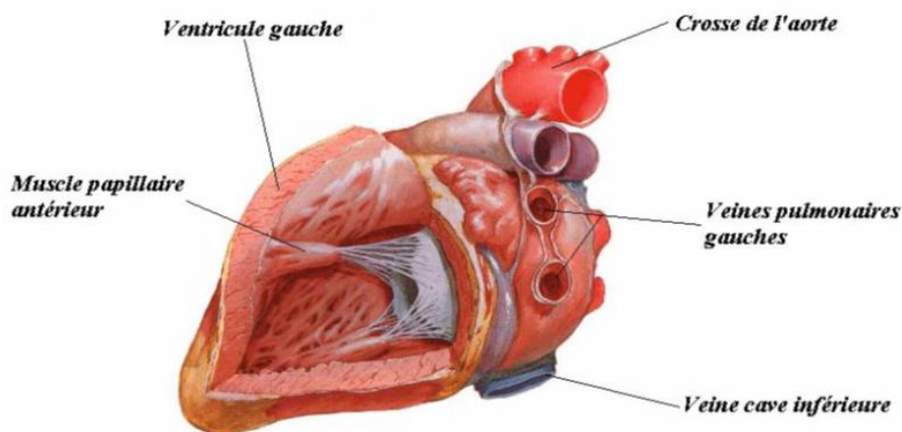


Figure 1: vue exploratrice du myocarde

II.1.2. Vascularisation artérielle du cœur :

Elle est assurée par deux artères coronaires gauche et droite, issues de l'aorte ascendante juste au-dessus des valvules semi-lunaires correspondantes. Leurs troncs principaux cheminent dans les sillons coronaires (atrio-ventriculaires) réalisant une couronne autour de la base du cœur (d'où leur nom d'artères coronaires). Sur cette couronne se branchent deux anses, l'une antéro inférieure qui chemine dans les sillons interventriculaires antérieur et inférieur, l'autre postéro supérieure moins importante et moins constante. De la couronne et des anses naissent des branches artérielles destinées aux différents secteurs du cœur.

➤ L'artère coronaire gauche

Elle naît au-dessus de la sigmoïde antéro-gauche. Elle comporte une première partie ou tronc commun, de 1 à 3 cm, qui se divise en une interventriculaire antérieure (donnant les artères septales et une ou deux diagonales) et une circonflexe (donnant des collatérales descendantes pour la face postérieure du ventricule gauche, des collatérales ascendantes pour l'oreillette gauche, et une marginale pour la face antérolatérale du ventricule gauche).

➤ L'artère coronaire droite

Elle naît au-dessus de la sigmoïde antéro-droite. Elle contourne le cœur dans le sillon auriculo-ventriculaire droit pour atteindre la partie supérieure du sillon inter ventriculaire postérieur qu'elle emprunte : interventriculaire postérieure.

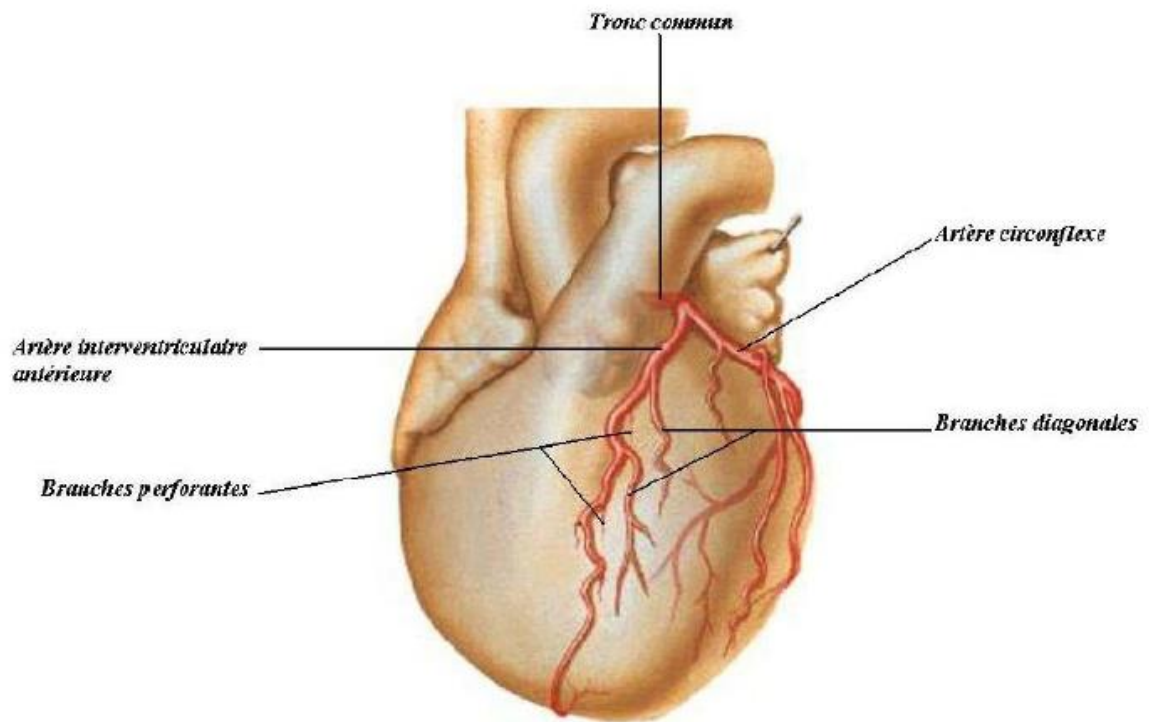


Figure 2: vascularisation du cœur (vue antérieure oblique gauche)

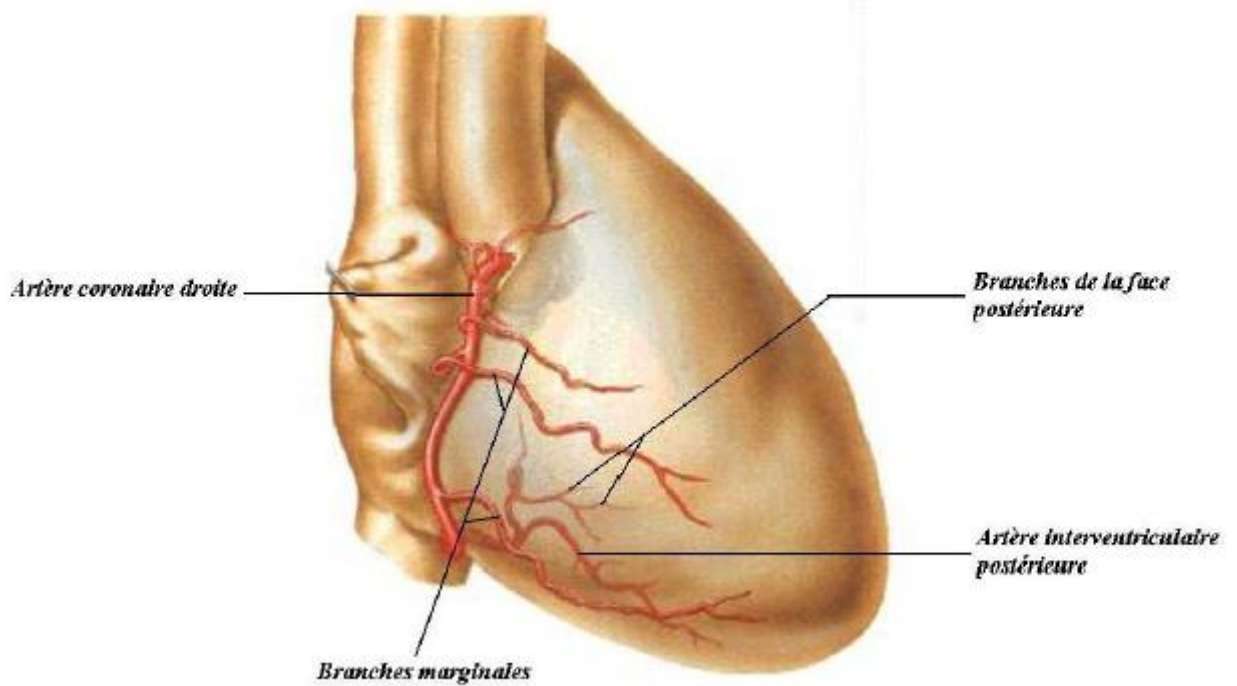


Figure 3: vascularisation du cœur (vue antérieure oblique droite)

➤ TERRITOIRES VASCULAIRES

- La CX vascularise la paroi latérale du VG et l'OG, et le nœud du sinus dans 45% des cas.
- L'IVA vascularise la paroi antérieure et l'apex du VG, ainsi que la partie antérieure du septum interventriculaire et une portion antérieure de la paroi libre du VD.
- L'artère coronaire droite (CD) vascularise l'OD, la majeure partie du VD, la paroi postérieure du VG, le nœud atrio-ventriculaire d'Aschoff-Tawara (90% des cas), et le nœud du sinus (55% des cas).

➤ TERRITOIRES ELECTRIQUES (Tableau4)

Groupement de dérivations qui explore un territoire coronaire du myocarde. Le territoire électrique est utile pour incriminer une artère coronaire précise au cours d'une ischémie ou un infarctus. Ainsi, le territoire du sus-décalage de ST et des ondes Q permet d'incriminer une artère coronaire précise au cours d'une ischémie aiguë.

Il n'y pas toujours correspondance parfaite entre territoire électrique et artère coronaire en raison du caractère proximal ou distal de l'occlusion, des collatérales concernées ou des suppléances possibles (artère dominante ou non) ou encore de la multiplicité possible des lésions coronaires. L'occlusion coronaire la plus fréquente est l'artère coronaire droite, puis l'interventriculaire antérieure, puis l'artère circonflexe.

II.II. Rappel physiologique :

II.II.1. Perfusion myocardique

Pendant la diastole, la perfusion myocardique est au maximum. A l'effort, le débit coronarien augmente de 3 à 6 fois.

À l'état basal, la sténose d'une artère coronaire ne réduit le débit coronaire que pour une réduction relative d'environ 80 % de son diamètre. Tant que la sténose est inférieure à 75-80 %, la perfusion d'aval dans les conditions basales est maintenue, grâce à un phénomène d'adaptation du système artériolo-capillaire coronaire et sa capacité à maintenir un débit coronaire normal en diminuant ses résistances par vasodilatation. Pour des sténoses supérieures à 80 % et malgré une vasodilatation maximum, la résistance vasculaire augmente

très rapidement et peut se traduire par une ischémie qui survient pour un effort minime, voire au repos.

II.II.2. Notion de « réserve coronaire »

La réserve coronaire représente la capacité maximale d'augmentation du flux sanguin coronaire et se calcule par le rapport du flux sanguin coronaire à l'état d'hyperhémie (Lorsque la demande en O₂ augmente, l'adaptation permet d'augmenter les apports de façon équivalente par vasodilatation artériolaire et épocardique) maximale sur le flux sanguin coronaire au repos. Elle représente une mesure fonctionnelle du lit artériel coronaire intégrant les artères coronaires épocardiques et la microcirculation artériolaire.

La réserve coronaire est le premier paramètre à être modifié en présence d'une sténose coronaire limitant le flux sanguin coronaire.

Dans le cas d'une sténose coronaire, cette réserve est altérée dès les sténoses de 30 à 40 %. Ainsi, accéder aux modifications de la réserve coronaire peut être un moyen pour estimer le retentissement fonctionnel d'une sténose. C'est le principe de base des épreuves de stress pharmacologique pour étudier la perfusion. Le débit coronaire basal n'est abaissé que pour des sténoses au-delà de 80 %. La réserve coronaire est altérée dès 50 %.

II.II.3. Notion de viabilité myocardique :

La viabilité myocardique se définit comme une dysfonction myocardique chronique susceptible de récupérer une fonction normale après revascularisation. Il ne s'agit pas d'un phénomène physiopathologique mais d'une définition a posteriori confirmant le succès de la revascularisation. La propriété d'un myocarde hibernant est la présence d'une réserve contractile sous inotrope, qui est un excellent marqueur de récupération fonctionnelle.

À distance d'un infarctus du myocarde, la recherche de la viabilité myocardique s'impose lorsque les signes de dysfonction ventriculaire gauche sont prédominants permettant de distinguer entre dysfonction ventriculaire permanente et dysfonction capable de s'améliorer après traitement. Plusieurs techniques d'imagerie sont capables de détecter le myocarde viable en hibernation, chacune s'intéressant à un aspect particulier. L'échographie de stress et les techniques d'imagerie nucléaire restent les plus utilisées, même si de nouvelles techniques comme l'IRM permettent de mieux détecter la viabilité myocardique. La revascularisation myocardique à distance peut entraîner la régression du remodelage du ventricule gauche qui survient dans les suites de

l'infarctus conduisant à l'insuffisance cardiaque, latente ou patente et donc à une récupération de la fonction ventriculaire gauche. Elle est donc indiquée, en association avec le traitement médical optimal, chez les patients sélectionnés, au préalable, par les explorations de la viabilité. Le meilleur moyen de revascularisation (angioplastie ou chirurgie) doit être proposé en fonction des connaissances scientifiques, du terrain et du choix du patient.

III. MALADIE CORONAIRE (MC) :

III.I. Généralités :

La maladie coronarienne est une maladie qui touche les artères coronaires. Elle est souvent causée par l'athérosclérose, une accumulation de plaques à l'intérieur de la paroi des artères. Cette accumulation rétrécit peu à peu l'intérieur des artères et ralentit le flot de sang.

Il s'agit d'une altération du flux sanguin dans les artères coronaires, le plus souvent due à une lésion d'athérome.

La coronaropathie est un processus dynamique d'accumulation de plaques athéroscléreuses et d'altérations fonctionnelles de la circulation coronaire qui peuvent être modifiées par le mode de vie, les traitements médicamenteux et la revascularisation, ce qui permet une stabilisation.

Les nouvelles recommandations de la société européenne de cardiologie (The European Society of Cardiology= ESC) se concentrent sur les Syndromes Coronariens Chronique=SCC plutôt que sur la coronaropathie stable. Cette modification souligne le fait que les présentations cliniques de la coronaropathie peuvent être catégorisées en SCA et SCC.

DONC la maladie coronaire est présentée actuellement comme un continuum allant de la plaque d'athérome aux lésions coronaires jusqu'à l'insuffisance cardiaque ischémique. Cette évolution peut être émaillée d'accidents coronaires aigus (syndrome coronarien aigu) mais la plupart du temps l'atteinte sera stable (maladie coronaire stable= syndrome coronarien chronique).

III.II. Définitions :

III.II.1. Syndrome coronarien chronique (SCC) : Appelé anciennement « maladie coronaire stable » :

Le SCC est la manifestation clinique au long cours d'une cardiopathie ischémique, conséquence d'un processus dynamique d'athérosclérose et d'altération de la fonction artérielle qui évolue tout au long de la vie du coronarien (sténose fixe ou dynamique des artères coronaires épigardiques ; dysfonction microvasculaire ; spasme coronaire épigardique focal ou diffus), ces mécanismes peuvent coexister chez le même patient et changer au cours du temps. Cette maladie chronique peut donc être ponctuée d'évènements aigus.

Il recoupe les différentes phases évolutives de l'atteinte coronarienne (y compris le post-infarctus), à l'exclusion des situations où l'obstruction coronarienne domine la présentation clinique (Syndrome coronarien aigu).

III.II.2. Syndrome coronarien aigu (SCA) :

Les SCA est le résultat de l'obstruction aiguë d'une artère coronaire. Les conséquences varient selon la taille, la topographie et la durée de l'obstruction:

- Infarctus du myocarde sans sus-décalage du segment ST (Non-ST-segment elevation myocardial infarction [NSTEMI])
- Infarctus du myocarde avec élévation du segment ST (ST-segment elevation myocardial infarction [STEMI])

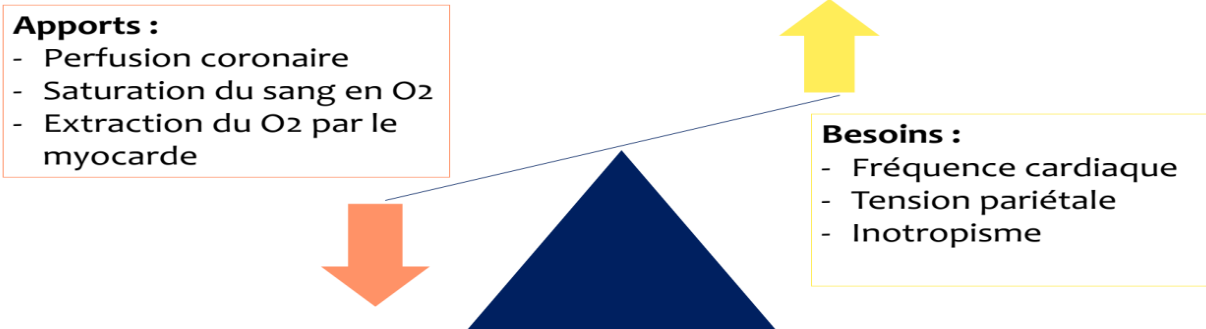
III.III. Physiopathologie :

III.III.1. Physiopathologie de l'ischémie myocardique au cours du syndrome coronarien chronique :

L'ischémie myocardique résulte toujours d'une inadéquation entre les besoins en oxygène du myocarde et les apports par la circulation coronarienne = Déséquilibre besoins-apports

La douleur de l'angine de poitrine est donc la conséquence d'une ischémie myocardique

L'ischémie ou perfusion inadéquate aux besoins



Elle peut donc être due à :

- l'augmentation des besoins, c'est-à-dire de la consommation d'oxygène du myocarde (MVO_2) ;

$$MVO_2 = \text{débit cardiaque} \times \text{extraction d'O}_2 \text{ au niveau du myocarde.}$$

- la diminution des apports.

➤ FACTEURS AUGMENTANT LES BESOINS (LA MVO_2)

- Augmentation de la fréquence cardiaque.
- Augmentation de la contractilité (inotropisme).
- Augmentation de la tension pariétale (dépendante de la précharge, la postcharge et l'épaisseur pariétale selon la loi de LAPLACE).

- La loi de LAPLACE :

$$T = P \times d / 2e$$

- ✓ **d** = diamètre de la cavité donc assimilable à la précharge.
- ✓ **P** = post-charge.
- ✓ **e** = épaisseur pariétale.

- A l'effort, l'augmentation du débit cardiaque entraîne une augmentation de la consommation d'oxygène du myocarde.

- Le débit cardiaque est influencé par le volume d'éjection systolique (qui dépend de la précharge, de la post-charge et de l'inotropisme) et la fréquence cardiaque

Débit cardiaque = fréquence cardiaque (FC) x volume d'éjection systolique (VES)
VES = Volume télédiastolique (VTD) – Volume télésystolique (VTS)

- une inadéquation entre les apports et les besoins va être responsable de l'apparition d'une ischémie.

➤ LES APPORTS :

1-La circulation coronaire :

➤ Diminution de la perfusion coronaire :

Plusieurs facteurs peuvent être responsables de cette diminution :

- Sténoses coronaires++, par de l'athérome ou par spasme vasculaire.
- Diminution du débit cardiaque (état de choc, hypovolémie ...).
- Diminution de la pression artérielle diastolique (insuffisance aortique, état de choc) ou raccourcissement de la diastole (tachycardie).
- Augmentation de la pression intraventriculaire (rétrécissement aortique, CMH).

➤ L'autorégulation métabolique :

Le système d'autorégulation permet de diminuer les résistances coronaires en cas d'augmentation des besoins myocardiques en oxygène, ce qui favorise la perfusion coronaire.

Cette régulation est médiée par de nombreux agents métaboliques qui varient durant l'ischémie : oxygène, ions H⁺, CO₂, adénosine...

2-Extraction d'oxygène

• C'est un facteur quasi invariable. Même au repos, l'extraction d'oxygène est déjà maximale avec une différence artério-veineuse coronaire très grande (le sang du sinus coronaire est le sang le plus désaturé de l'organisme). Donc la diminution de la quantité d'oxygène disponible peut favoriser la survenue d'une ischémie myocardique.

• les facteurs qui peuvent diminuer la quantité d'oxygène sont :

- L'anémie.
- l'hypoxie.
- l'intoxication au CO.

➤ SITUATIONS PATHOLOGIQUES

- L'ischémie myocardique est la conséquence d'une altération de la réserve coronaire pouvant être secondaire à une sténose d'une artère épicaudique (athérome) et/ou à une altération de la microcirculation.
- Si les artères coronaires sont saines, l'augmentation des besoins sera compensée par une réduction des résistances au niveau du lit vasculaire coronarien et une augmentation du débit coronarien habituel jusqu'à 5 à 6 fois (tachycardie, augmentation de l'inotropisme...).
- Par contre, en cas d'une sténose coronaire, l'athérome va entraîner :
 - ✓ Une réduction de la surface intraluminale des artères coronaires.
 - ✓ Une altération de la capacité du tonus vasculaire coronarien à diminuer ses résistances et donc la capacité de dilation des artères à l'effort.

Il se crée alors une ischémie d'effort.

- Le seuil ischémique dépend de nombreux facteurs :
 - ✓ le degré de sténose +++.
 - ✓ la circulation collatérale
 - ✓ l'existence d'une HVG
- On considère une sténose comme significative lorsqu'elle atteint :
 - ✓ 70% pour les principaux troncs épicaudiques (IVA, diagonales, circonflexe, marginales, coronaire droite).
 - ✓ 50% pour le tronc commun.
 - ✓ certaines sténoses à 80% peuvent n'entraîner aucune ischémie (collatéralité, etc.), tandis que des sténoses à 60% peuvent être responsables d'une authentique ischémie, d'où la nécessité d'obtenir une preuve d'ischémie (clinique et/ou par un test d'ischémie) avant de réaliser une coronarographie et une éventuelle angioplastie.

➤ CONSEQUENCES MYOCARDIQUES DE L'ISCHEMIE

La cascade ischémique entraîne, par ordre chronologique :

- **Manifestations biochimiques** : Passage du myocarde en métabolisme anaérobie = utilisation des hydrates de carbone
- Acidose
- Hyperkaliémie
- Accumulation de lactates qui vont passer dans le sang veineux du sinus coronaire où le taux devient supérieur au taux artériel.

- Production excessive des radicaux libres de l'oxygène par les cellules myocardiques, les cellules endothéliales et les polynucléaires responsable des effets délétères sur la peroxydation des lipides, les systèmes de transport et d'oxydoréduction
 - **Manifestations mécaniques**
 - Dysfonction diastolique :
 - ✓ Troubles de la relaxation du myocarde.
 - ✓ diminution de la compliance.
 - ✓ augmentation de la PTDVG
 - Dysfonction systolique :
 - ✓ diminution de la contractilité myocardique (hypokinésie, puis akinésie de la région ischémique du VG)

➤ **Manifestations électriques (ECG)** : Suivant l'importance de l'ischémie, on distingue :

- lésion sous épocardique, sus décalage du segment ST, traduisant généralement une ischémie massive transmurale
- lésion sous endocardique, sous décalage du segment ST, traduisant le plus souvent la souffrance des couches sous endocardiques.
- risque de troubles du rythme (mort subite par tachycardie ou fibrillation ventriculaire).

➤ **Manifestations cliniques** :

- Douleur angineuse, mais l'ischémie myocardique peut être silencieuse (= asymptomatique), notamment chez les patients diabétiques sévères

➤ **Nécrose myocardique** :

Si l'ischémie est complète et prolongée, le myocarde évolue vers la nécrose, de l'endocarde vers l'épicarde, et elle sera complète après 6 heures.

Selon le degré de compensation par une éventuelle collatéralité, la nécrose sera plus ou moins complète dans la zone dépendante de l'artère occluse.

Pour être efficace, la réouverture de l'artère doit être réalisée le plus vite possible, avant la 3ème heure.

➤ **2 situations particulières**:

- Hibernation myocardique: il s'agit d'une atteinte de la fonction contractile intéressant des territoires présentant une ischémie

chronique. On assiste à une récupération de la fonction contractile en cas de revascularisation (angioplastie ou pontage).

- Sidération myocardique: il s'agit d'une atteinte de la fonction contractile intéressant des territoires présentant une ischémie aiguë avec un retour rapide à une vascularisation normale (angor spastique, infarctus rapidement revascularisé). Le myocarde sidéré (étant donc revascularisé avec dysfonction contractile persistante) ne retrouve une contractilité normale qu'après quelques jours.

III.III.2. Physiopathologie du syndrome coronarien aigu :

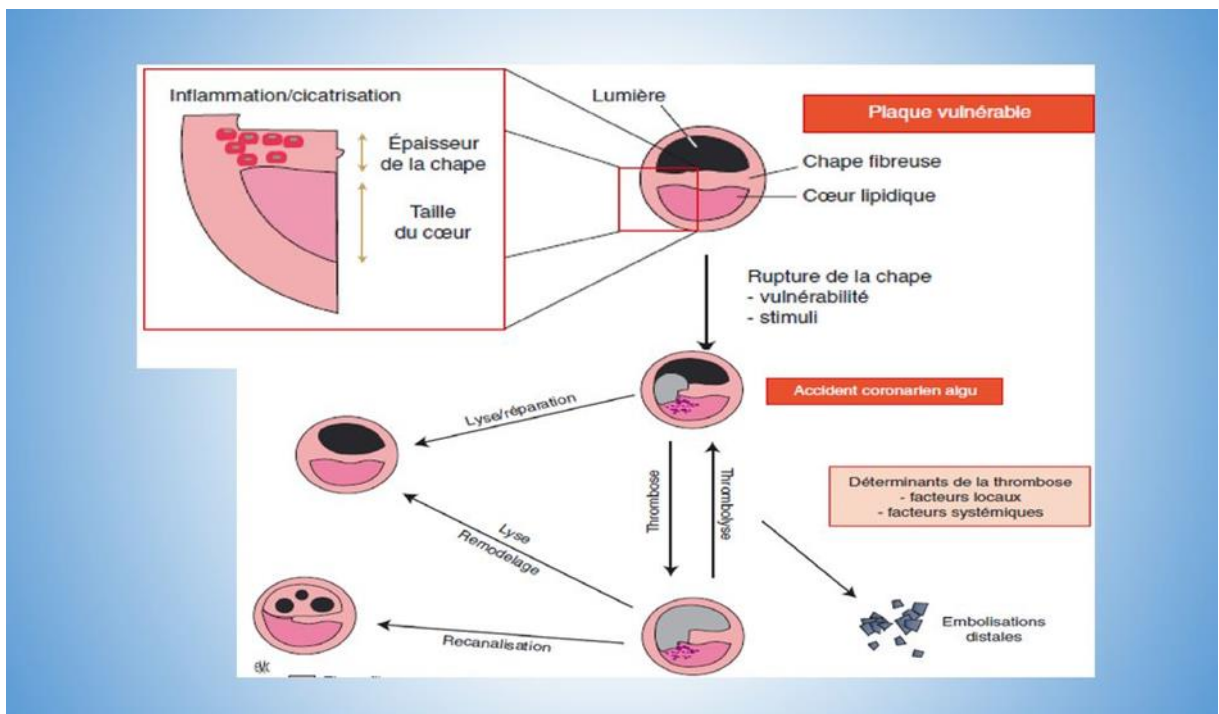


Figure 4: schématisation du mécanisme physiopathologique de la genèse d'un SCA

- La physiopathologie des **NSTEMI** (non ST elevation myocardial infarction) repose sur une rupture de plaque d'athérome responsable d'une occlusion partielle du vaisseau et associée à des phénomènes de micro-embolisation.
- Infarctus du myocarde avec élévation du segment ST (ST-segment elevation myocardial infarction [**STEMI**]) est la conséquence généralement d'une rupture de plaque responsable d'une occlusion coronaire aiguë totale ou subtotale.

III.IV. Etiologies :

On peut les classer en 2 grandes catégories selon le mécanisme :

- **REDUCTION DU CALIBRE DES ARTERES CORONAIRES**

-Athérome ou athérosclérose +++ : c'est l'étiologie principale qui représente la quasi-totalité des syndromes coronariens rencontrés en pratique.

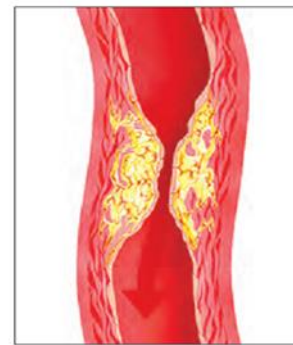
Selon l'OMS, l'athérome (ou athérosclérose) est « une association de remaniements de l'intima des artères de gros et moyen calibre consistant en une accumulation focale de lipides, de glucides complexes, de sang et de dépôts calcaires, avec remaniement de la média ».



Artère sans dépôts et circulation sanguine normale



Artère avec dépôts et circulation sanguine diminuée lors d'efforts



Artère avec dépôts et rétrécissement important de son diamètre. La circulation sanguine est fortement diminuée ou presque interrompue

Figure 5: les étapes de la formation d'une plaque d'athérome

- Spasme coronaire d'effort: survenant sur artères saines ou sur sténose athéromateuse

- Coronarite ostiale de la syphilis: c'est une manifestation classique, mais devenue exceptionnelle, de la syphilis tertiaire, elle s'associe souvent à une insuffisance aortique et touche le tronc commun de la coronaire gauche et l'ostium de la coronaire droite.

- Anomalies congénitales des coronaires.

- Artérites non athéromateuses.

- Chimiothérapies : 5FU (5-fluorouracile) peut être responsable de spasme coronaire en touchant surtout les petits vaisseaux coronaires.

- Radiothérapie thoracique : les sténoses coronaires pouvant apparaître plusieurs années après l'irradiation.

- **ANGOR FONCTIONNEL**

- Tachycardies : quelle que soit la cause de la tachycardie, du fait de l'augmentation du travail cardiaque et de la diminution de la perfusion coronaire (raccourcissement de la diastole) :

Troubles du rythme / hyperthyroïdie / fièvre / anémie (associés à une diminution du transport d'O₂).

- Grandes bradycardies responsables d'angor par diminution du débit cardiaque.

- Insuffisance aortique.

- CMH et rétrécissement aortique (50% des patients avec RAO serré et angor ont des sténoses coronaires associées).

- Etat de choc : par diminution du débit cardiaque.

- Hypoxémies, anémies.

- Crise aiguë hypertensive.

- Devant un angor fonctionnel, on devra toujours rechercher une sténose coronaire associée.

III.V. Diagnostic positif et Stratification clinique du risque cardiovasculaire :

III.V.1. Syndrome coronarien chronique :

Les dernières recommandations de la société européenne de la cardiologie 2019 ont permis de distinguer 6 scénarios cliniques, les plus fréquemment rencontrés chez les patients:

1• le patient avec une suspicion d'atteinte coronaire c'est à-dire qui présente des symptômes d'angor stable, et/ou de la dyspnée ;

- 2• le patient présentant un premier épisode d'insuffisance cardiaque ou une dysfonction ventriculaire gauche chez qui on suspecte une origine ischémique ;
- 3• le patient symptomatique ou non qui a présenté un syndrome coronarien aigu ou a eu une revascularisation coronaire dans l'année ;
- 4• le patient symptomatique ou non dont le diagnostic du SCA ou la revascularisation coronaire date de plus d'un an ;
- 5• le patient avec un angor et une suspicion de spasme coronaire ou une maladie des micro-vaisseaux ;
- 6• le patients asymptomatique chez qui une atteinte coronaire est détectée lors d'un dépistage.

Ces schémas sont susceptibles d'évoluer avec le temps chez une même personne et ils comportent alors des risques différents d'évènements cardiovasculaires futurs [survenue d'un décès ou d'un SCA]

Le risque peut augmenter en raison de facteurs de risque cardiovasculaire insuffisamment contrôlés, de modifications sous-optimales du mode de vie et/ou d'un traitement médical, ou d'une revascularisation infructueuse. À l'inverse, il peut diminuer à la suite d'une prévention secondaire appropriée et d'une revascularisation réussie.

a- Symptômes et signes cliniques :

L'interrogatoire caractérise les symptômes :

- ✓ Un angor est dit « typique » (certain) lorsque les 3 caractéristiques suivantes sont réunies :
 - Douleur constrictive ou inconfort, de siège rétrosternal ou douleur dans la mâchoire, le cou, l'épaule ou le bras ;
 - provoquée par l'effort ou par l'émotion ;
 - disparaissant en quelques minutes au repos et/ou après administration des dérivés nitrés.
- ✓ Un angor est dit « atypique » (probable) lorsque 2 des 3 caractéristiques précédentes sont présentes.
- ✓ Une douleur est dite « non angineuse » lorsque la douleur n'est pas liée à l'effort et est insensible à la trinitrine (en dehors d'un SCA).

Cette classification, bien que subjective, est pratique et a une valeur avérée dans la détermination de la probabilité de cardiopathie ischémique.

- ✓ La dyspnée d'effort peut être considérée comme un équivalent d'angor en l'absence d'autre cause.

La classification de la Société canadienne de cardiologie permet de quantifier le seuil auquel les symptômes apparaissent en rapport avec les activités physiques (tableau 1).

Classe	Description de la gravité de l'angine	
I.	Angor uniquement avec un effort intense	L'activité physique ordinaire (marcher ou monter des escaliers) ne provoque pas d'angor. L'angor apparaît à l'occasion d'un effort important, rapide ou prolongé, au travail ou pendant les loisirs.
II.	Angor avec effort modéré	Légère limitation de l'activité ordinaire : marcher ou monter des escaliers rapidement, marcher en cote, au froid ou dans le vent, ou pendant un stress émotionnel, ou au cours des premières heures suivantes le réveil.
III.	Angor avec effort léger	Limitation marquée de l'activité physique ordinaire : marcher 100 à 200 mètres en terrain plat et monter un étage dans des conditions normales et à un rythme normal.
IV.	Angor au repos	Impossibilité d'effectuer toute activité physique sans ressentir de gêne. L'angor peut être présent au repos.

Tableau 1: classement de la gravité de l'angine d'effort selon la société canadienne de cardiologie

- il faut préciser aussi :

- L'histoire de la maladie.
- Les antécédents du patient.
- Les facteurs de risque cardiovasculaire (FDR CV) :
 - **L'âge** : plus de 50 ans pour un homme ou plus de 60 ans pour une femme.
 - **Le sexe masculin.**
 - **Les antécédents familiaux de maladie cardiaque** précoce (infarctus) : le risque existe lorsque le père du patient a eu un accident cardiaque avant 55 ans (ou la mère avant 65 ans).
 - **La sédentarité.**
 - **L'obésité.**
 - **L'usage du tabac** ou son arrêt depuis moins de trois ans.
 - **Une hypertension artérielle**, même traitée.
 - **Un diabète de type 2.**
 - **Une dyslipidémie** : Un taux sanguin de cholestérol HDL inférieur à 0,40 g/l ou Un taux sanguin de cholestérol LDL supérieur à 1,60 g/l.

- **Les antécédents personnels de maladie cardiovasculaire.**
- **Les comorbidités** (maladie thyroïdienne, maladie rénale, pulmonaire, anémie, maladie systémique).

- L'examen physique recherche :

- Un rythme cardiaque irrégulier, des signes d'insuffisance cardiaque, d'anémie, d'hypertension artérielle, de valvulopathie ;
- Des signes de maladie vasculaire non coronarienne (palpation des pouls périphériques et auscultation des artères carotides et fémorales), et mesure de l'index de pression systolique à la cheville (IPSC).
- L'efficacité ou non sur les symptômes de la prise sublinguale de nitroglycérine est évaluée.

b- Bilan de première intention :

➤ Examens biologiques :

- Hémogramme (recherche d'une éventuelle anémie).
- Glycémie à jeun (recherche d'un diabète) sauf si déjà contrôlée et normale dans l'année.
- Ionogramme sanguin.
- Bilan rénal.
- Exploration d'une anomalie lipidique (CT, HDL-C, LDL-C, TG) sauf si déjà contrôlée et normale dans l'année.
- En cas de suspicion clinique de pathologie thyroïdienne : TSH.
- BNP ou NT pro-BNP en cas de suspicion d'insuffisance cardiaque.
- D-Dimères si doute avec embolie pulmonaire.

➤ ECG de repos:

– Un ECG constitue un point de repère de base qui autorisera des comparaisons futures.

– Il est recommandé chez tous les patients lors de la première consultation et pendant ou immédiatement après un épisode de douleur thoracique suggérant une possible instabilité clinique d'une cardiopathie ischémique.

– Il permet d'évaluer les modifications électriques au regard de l'histoire clinique et de l'existence de FDR CV.

- Les modifications électriques compatibles avec une cardiopathie ischémique et qui peuvent révéler une ischémie myocardique ou une séquelle de SCA :

- ondes Q pathologiques ;
- bloc de branche gauche ;
- anomalies du segment ST ou de l'onde T ;
- ou une quelconque anomalie qui puisse orienter vers une cardiopathie sous-jacente.

La normalité du tracé ECG ne permet pas d'exclure un SCC, même en cas de sévérité de ce dernier.

➤ Radiographie thoracique :

- Elle est recommandée chez les patients qui ont un tableau clinique atypique ou une suspicion de maladie pulmonaire.
- Elle doit être envisagée chez les patients avec suspicion d'insuffisance cardiaque.

Si la douleur est clairement non angineuse, d'autres examens peuvent être indiqués à la recherche d'autres causes non cardiaques de douleurs thoraciques (digestive, pulmonaire, pariétale, neurologique ou psychiatrique).

III.V.2. Évaluation de la probabilité de maladie coronaire :

La probabilité prétest de maladie coronarienne est évaluée en fonction de :

- L'âge.
 - Le sexe.
 - La nature des symptômes (type de douleur thoracique et/ou présence d'une dyspnée).
- Cette évaluation est résumée dans le tableau 2 :

Age	Typique		Atypique		Non angineux		Dyspnée	
	Hommes	Femmes	Hommes	Femmes	Hommes	Femmes	Hommes	Femmes
30-39	3 %	5 %	4 %	3 %	1 %	1 %	0 %	3 %
40-49	22 %	10 %	10 %	6 %	3 %	2 %	12 %	3 %
50-59	32 %	13 %	17 %	6 %	11 %	3 %	20 %	9 %
60-69	44 %	16 %	26 %	11 %	22 %	6 %	27 %	14 %
70 et plus	52 %	27 %	34 %	19 %	24 %	10 %	32 %	12 %

Tableau 2: Estimation de la probabilité prétest (PPT) chez des patients ayant des douleurs thoracique chronique (ESC)

INTERPRETATION

a-Cases grises : PPT faible (< 5 %)

→ Groupe de patients pour lequel il n'est pas utile de réaliser des examens complémentaires pour le diagnostic d'une cardiopathie ischémique.

→ Rechercher une autre affection.

b-Cases vert foncé : PPT élevée (> 15 %)

→ Groupe pour lequel les tests non invasifs sont les plus bénéfiques pour rechercher une maladie coronaire.

c-Cases vert clair : PPT intermédiaire (entre 5 et 15 %)

→ Groupe dans lequel des tests diagnostiques peuvent être envisagés après avoir évalué la probabilité clinique globale de cardiopathie ischémique en fonction des modificateurs de la PPT.

Ces modificateurs concernent les autres éléments déterminant le risque de maladie coronaire obstructive : facteurs de risque cardiovasculaire, ECG de repos ou d'effort, échocardiographie et score calcique

• Facteurs déterminants dans la probabilité clinique de maladie coronaire obstructive (permettant d'affiner la probabilité de maladie coronaire chez les patients avec PPT entre 5 et 15 %) :

1- **Facteurs diminuant la PPT :**

- ECG d'effort normal

- Score calcique = 0 (Le score calcique coronaire est une évaluation chiffrée de l'étendue des dépôts athéromateux calcifiés observés au niveau des parois des artères du cœur. Ce score est calculé à partir d'un simple scanner thoracique sans injection de produit de contraste).

2- **Facteurs augmentant la PPT :**

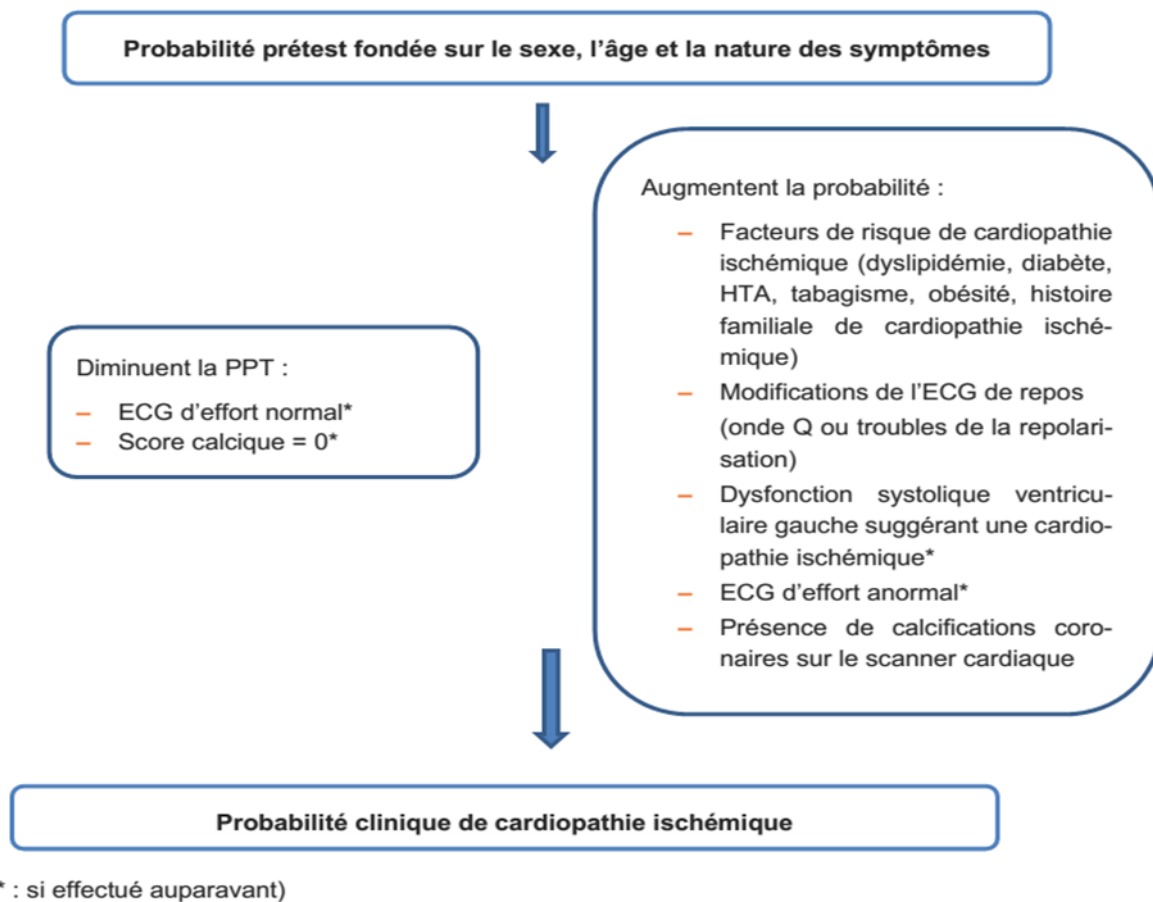
- Facteurs de risque de cardiopathie ischémique.

- Modifications de l'ECG de repos (onde Q ou troubles de la repolarisation).

- Dysfonction systolique ventriculaire gauche suggérant une cardiopathie ischémique.

- ECG d'effort anormal.

- Présence de calcifications coronaires sur le scanner cardiaque.



III.V.3. Syndrome coronarien aigu :

- La présentation clinique des syndromes coronariens aigus (SCA) est très variable :

- ✓ Très souvent, c'est une gêne thoracique aiguë décrite comme une pression, ou sensation d'oppression ou de brûlure rétrosternale ou thoracique qui va faire suspecter un SCA.
- ✓ Une dyspnée, une douleur épigastrique ou dans le bras gauche peuvent aussi être des équivalents à la douleur thoracique.

- Sur la base de l'électrocardiogramme (ECG), deux groupes de patients doivent être différenciés :

- Les patients avec une douleur thoracique aiguë et persistante (> 20 min) et une élévation du segment ST sur l'ECG développeront finalement un infarctus du myocarde avec élévation du segment ST (STEMI ou ST elevation myocardial

infarction). Leur traitement repose sur une reperfusion coronaire la plus rapide possible par angioplastie coronaire et si non disponible par thrombolyse.

- Les patients présentant une gêne thoracique aiguë mais sans élévation du segment ST [SCA sans élévation du segment ST). Les modifications de l'ECG pouvant inclure :

- une élévation transitoire du segment ST.
- un sous-décalage, transitoire ou persistant, du segment ST.
- une inversion des ondes T, des ondes T plates ou pseudo-normalisation des ondes T.
- l'ECG peut être normal.

A- Syndrome coronarien aigu (SCA) sans sus décalage du segment ST (NSTEMI)

L'année 2020 marque la publication de nouvelles recommandations sur le syndrome coronarien aigu (SCA) sans sus décalage du segment ST (NSTEMI).

➤ Diagnostic :

IL est basé sur trois éléments :

- 1- la présentation clinique : l'évaluation de la clinique, des symptômes, des signes vitaux.
- 2- l'ECG : Face à une douleur thoracique suspecte, la réalisation d'un ECG dans les 10 minutes permettra d'exclure un SCA STEMI.
- 3- la valeur initiale de troponine et les variations des troponines : Dans le SCA ST-, il est important d'identifier les patients présentant un IDM ou NSTEMI et qui sont à haut risque de mortalité par le dosage de la troponine ultrasensible qui représente une pièce majeure dans le diagnostic dans ce cas et qui doit être réalisé aussi vite que possible. Les protocoles de dosage de la troponine permettent d'hospitaliser et de traiter les patients présentant un IDM.

- Algorithme de prise en charge des SCA sans sus décalage du segment ST selon l'ESC 2020 :

L'algorithme ESC H0/H1 est l'algorithme de référence pour porter le diagnostic de NSTEMI, il consiste à effectuer des dosages à H0 et H1 des troponines ultrasensibles, un dosage à H3 est recommandé si les deux valeurs H0 et H1

sont non concluantes et la présentation clinique est fortement évocatrice de SCA.

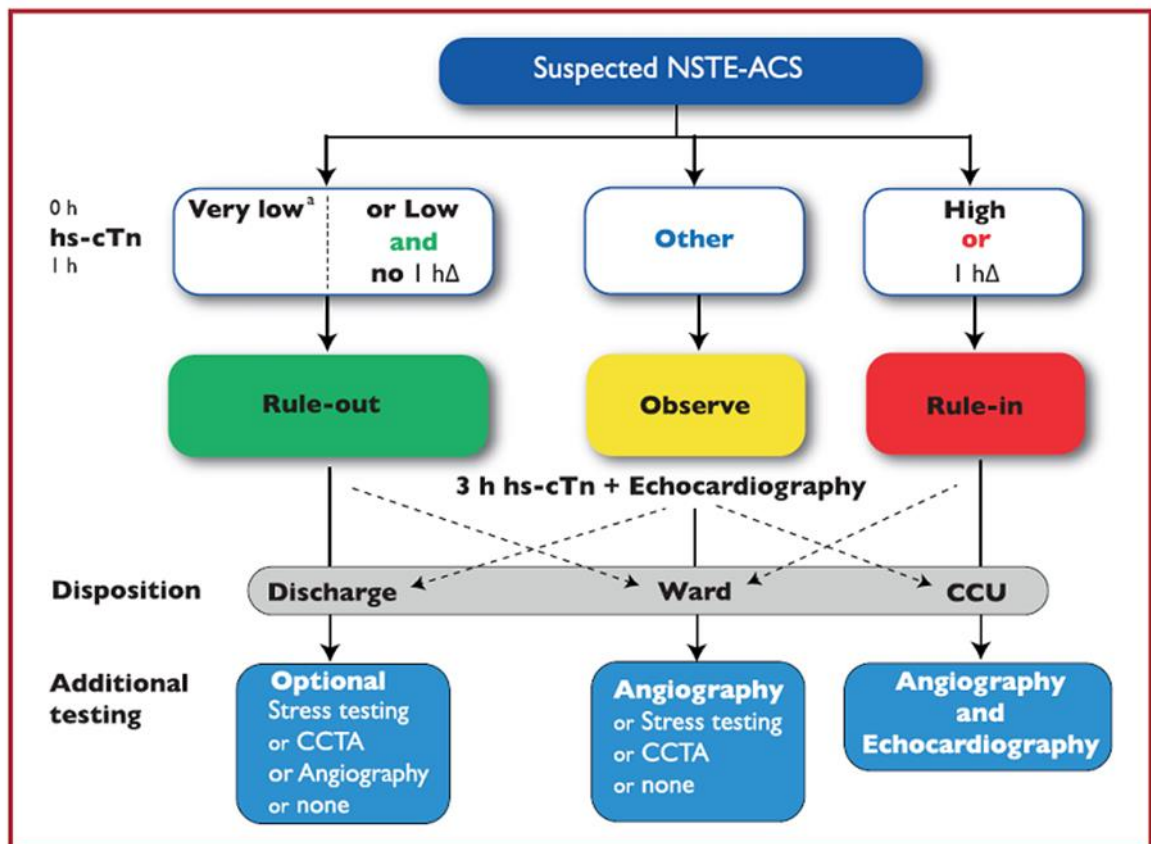


Figure 6 : Algorithme de la PEC des NSTEMI selon l'ESC 2020

3 situations sont possibles :

- 1^{ère} situation : Le diagnostic de NSTEMI est très probable : les patients avec un taux troponine à l'admission fortement élevé ou avec une variation significative nécessitant une hospitalisation en unité de soins intensifs cardiologique, une échocardiographie et une stratégie invasive.
- 2^{ème} situation : on peut exclure le diagnostic de NSTEMI chez les patients avec des taux de troponine très faible à H0 ou sans variation significative entre H0 et H1, il faut compléter l'exploration dans ce cas par une échocardiographie, il peut s'agir d'un angor instable ou une autre étiologie.
- 3^{ème} situation : le diagnostic de NSTEMI n'est pas exclu avec certitude : dans cette situation le patient est gardé en observation et un dosage d'une 3^{ème} troponine 3 heures après le premier dosage (H3) est réalisé.

- Une élévation du taux de troponine de 5 fois la valeur supérieure de la normale a une valeur prédictive positive >90% pour le diagnostic d'infarctus du myocarde.
- N'oublions toutefois pas que la troponine peut aussi être élevée dans d'autres circonstances : l'insuffisance cardiaque, des tachyarythmies, des pathologies valvulaires comme la sténose aortique, une insuffisance rénale, une embolie pulmonaire, des problèmes neurologiques aigus comme l'hémorragie sous- arachnoïdienne.

La stratification du risque :

C'est une étape importante pour guider la stratégie thérapeutique invasive de revascularisation ou conservatrice. Elle permet de classer les patients à très haut risque, à haut risque, à faible risque.

1- Critères de très haut risque :

- instabilité hémodynamique.
- Douleurs précordiales récurrentes ou réfractaires malgré un traitement médical adapté.
- Arythmies sévères.
- Complications mécaniques de l'infarctus.
- Insuffisance cardiaque clairement secondaire au syndrome coronarien aigu.
- Sous-décalage du segment ST > 1mm dans > 6 dérivations ECG en plus d'une élévation du segment ST en AVR et/ou V1.
- une stratégie invasive immédiate < 2 heures est recommandée chez les patients ayant au moins un des critères de très haut risque.

2- Critères de haut risque :

- Diagnostic établi d'un NSTEMI
- Modification dynamique du segment ST suggérant une ischémie persistante.
- Elévation transitoire du segment ST ;
- Score GRACE > 140.

- Score de GRACE : Issu du registre GRACE (Global Registry of Acute Coronary Events), il permet de classifier le risque de mortalité dans les syndromes coronariens non ST plus. Il est calculé en fonction de : l'âge, la fonction rénale, la tension artérielle, l'arrêt cardiaque récupéré, la modification du segment ST, l'élévation marqueurs cardiaques. (tableau3)

Une stratégie invasive < 24 heures est recommandée chez les patients ayant au moins un des critères de haut risque.

3- Critères de bas risque :

- Aucune des caractéristiques citées ci-dessus dans les différentes catégories de risque.
- Des tests non invasifs à la recherche d'une ischémie sont recommandés avant de décider une évaluation invasive chez ce groupe des patients.

Risque	Score de GRACE	Mortalité hospitalière
Bas	≤ 108	< 1 %
Intermédiaire	109 – 140	1 – 3 %
Haut	> 140	> 3 %
Risque	Score de GRACE	Mortalité à 6 mois
Bas	≤ 88	< 3 %
Intermédiaire	89 – 118	3 – 8 %
Haut	> 118	> 8 %

Tableau 3: Score de GRACE

B- Syndrome coronarien aigu (SCA) avec sus décalage du segment ST (STEMI) :

La définition de l'infarctus STEMI ne change pas et elle s'appuie sur la définition universelle de l'infarctus, qui nécessite une preuve de nécrose myocardique, généralement établie par une ascension des troponines, dans un contexte compatible avec une ischémie myocardique. Le sus-décalage du segment ST doit être persistant et présent dans au moins deux dérivations contiguës. Le STEMI peut s'accompagner ou non de l'apparition d'ondes Q.

➤ **Diagnostic :**

La présentation clinique :

- Douleur thoracique :
 - Rétrosternale, en barre, constrictive, très violente, irradiant dans les avant-bras et la mâchoire.
 - Prolongée (supérieur à 20 minutes).
 - Résistante à la trinitrine.
 - Elle survient habituellement au repos.

- Il peut s'agir d'une simple brûlure rétrosternale ou Douleur limitée aux irradiations (bras, mâchoire) notamment chez les femmes, les patients diabétiques et les patients âgés.

La douleur peut parfois manquer, l'infarctus du myocarde étant alors découvert tardivement après sa survenue sur un électrocardiogramme systématique ou révélé d'emblée par une complication (trouble du rythme, OAP).

- Dyspnée.

L'ECG :

- Doit être absolument réalisé dans les 10 minutes suivant le 1^{er} contact médical.
- Chez un patient présentant une douleur thoracique, un ECG per-critique normal (= réalisé pendant la douleur) élimine quasiment un SCA ST+.
Néanmoins, dans de rares cas, l'ECG per-critique peut être normal, notamment au début.
- Signes électriques :
 - Dans les 3 premières heures : ondes T pointues, symétriques, amples, assez rarement observées car très précoces.
 - Sus-décalage du segment ST convexe vers le haut, englobant l'onde T. Associé à une image en miroir.
 - Ondes Q de nécrose: Supérieures à 0,04 sec et profondes (> 1/ 3 de l'amplitude de l'onde R), apparaissent entre la 6^{ème} et la 12^{ème} heure et vont persister le plus souvent indéfiniment comme séquelle d'infarctus du myocarde.
 - Négativation des ondes T : De chronologie variable, en général vers le 2^{ème} jour. Les ondes T peuvent rester négatives indéfiniment ou se repositiver, sans valeur pronostique particulière.
 - Bloc de branche gauche récent.
- Tous ces signes sont des signes localisateurs directs du territoire qui a présenté l'infarctus. (Tableau4)

Le dosage de troponine :

- fortement positif
- Dans ce cas, une revascularisation doit être envisagée le plus vite possible. (Tableau5)

Territoires électriques (correspondance entre territoire électrique et artère coronaire)

Dérivations	Territoire électrique	Artère coronaire
V1 à V2	Septal	IVA moyenne
V3 à V4	Apical	IVA moyenne
V1 à V4	Septo-apical (antéro-supérieur)	IVA moyenne
VL et D1 et/ou RS en V1(V2)	Latéral haut (antérieur moyen)	Circonflexe
V5 et V6	Latéral bas (antéro-latéral)	Circonflexe
V1 à V6 V1 à V6 + VL (D1)	Antérieur Antérieur étendu	IVA proximale
V7, V8, V9	Latéro-basal	Circonflexe ou coronaire droite
V1 à V4 et D3, VF, D2	Antéro-inferieur (septal profond)	IVA dominante
D2, D3, VF	Inferieur	Coronaire droite ou circonflexe
D3, D2, VF + VL ou V5, V6 + V8, V9	Inféro-latéro-basal	Coronaire droite ou circonflexe

Tableau 4 : Territoires électriques correspondants et artères coronaires incriminées

Intervalles	Objectifs
Premier contact médical – ECG diagnostique	≤ 10 minutes
Délai maximal attendu entre l'ECG et l'angioplastie primaire (passage du guide) pour proposer une angioplastie primaire	≤ 120 minutes
Délai maximal pour le passage du guide chez les patients se présentant dans un hôpital avec un plateau interventionnel	≤ 60 minutes
Délai maximal pour le passage du guide chez les patients transférés	≤ 90 minutes
Délai maximal entre ECG-injection IV du fibrinolytique pour les patients ne pouvant avoir une angioplastie primaire dans les temps	≤ 10 minutes
Délai entre l'injection du fibrinolytique et l'évaluation de son efficacité	60 - 90 minutes
Délai entre l'injection du fibrinolytique et la coronarographie	2 - 24 heures

Tableau 5: Délais adéquats des gestes de revascularisation

III.VI. Tests d'ischémie :

À l'heure de la multi modalité, la prise en charge des patients coronariens est dominée par les techniques d'imagerie. On oppose classiquement l'imagerie anatomique (Coroscaner et coronarographie) à l'imagerie fonctionnelle (échographie de stress, scintigraphie d'effort, IRM de stress et FFR).

➤ *Pourquoi évaluer l'ischémie myocardique ?*

On sait que le pronostic des lésions coronaires est lié à la sévérité de l'ischémie provoquée par ces lésions, une lésion n'entraînant peu ou pas d'ischémie présente un risque d'infarctus du myocarde inférieur à 1 % par an seulement. Plusieurs travaux ont démontré que la revascularisation améliore le pronostic seulement chez les sujets ayant une ischémie étendue à plus de 10 % du VG. Inversement, la revascularisation augmente le risque des patients ayant une ischémie inférieure à 10 % du myocarde. La revascularisation représente donc le traitement de choix lorsqu'il existe une ischémie sévère et, dans tous les autres cas, le traitement médical associé aux méthodes non médicamenteuses (exercice physique, diète, arrêt du tabac et gestion du stress). L'évaluation de l'ischémie dans l'insuffisance coronarienne stable, par les méthodes non invasives ou au cours de la coronarographie dans certains cas, va donc permettre le choix thérapeutique

➤ *Comment l'évaluer ?*

L'évaluation de l'ischémie est résumée suivant différents critères :

- Cliniques : classification de la sévérité de l'angor. (Tableau1)
- Électriques : ECG de repos et d'effort
- Mécaniques :
 - en étudiant la cinétique du VG au repos, à l'effort ou sous stress pharmacologique (échographie, tomoscintigraphie),
 - en étudiant la réserve coronaire ou la FFR (échographie ou mesure invasive au cours de la coronarographie)
 - en étudiant la perfusion (scintigraphie, IRM et le TEP scan).

Les recommandations de la Société européenne de Cardiologie (ESC) suggèrent donc de documenter l'ischémie chez les patients suspects d'angor stable avant les procédures invasives en utilisant les tests non invasifs et en évitant ceux

non nécessaires. Le risque de ces différents tests doit être évalué et comparé (effort, stress pharmacologique, agents de contrastes, radiations) par rapport à l'histoire naturelle de la maladie et au délai d'intervention.

III.VI.1. Tests fonctionnels :

- Tests non invasifs :

- **ECG d'effort :**

Même si sa sensibilité et sa spécificité diagnostique sont inférieures aux tests d'imagerie, l'ECG d'effort garde une place dans l'évaluation de l'ischémie dans l'angor chronique stable. Ceci est lié essentiellement à sa valeur pronostique importante depuis l'utilisation de nombreux paramètres autres que les modifications de la repolarisation. L'évaluation de l'ischémie se fait en fonction de nombreux paramètres cliniques et électriques permettant d'apprécier le pronostic. Il sera d'autant plus indiqué que cliniquement la probabilité de lésions paraît intermédiaire. C'est un examen non invasif, facile à mettre en œuvre, peu cher et dont le risque d'accident sévère est très rare.

Capacité fonctionnelle < 5 Mets
Sus-décalage du ST
Sous-décalage du ST :
<ul style="list-style-type: none"> - Précoce, ample (> 3mm) - Etendu (plusieurs dérivations) - Persistant (ou apparaissant) en récupération
Trouble de conduction progressif : hémibloc de branche puis bloc complet
Arythmie ventriculaire sévère (concomitante de l'ischémie)
Chute ou non élévation de la PA à l'effort
Insuffisance chronotrope
Fréquence de récupération < 22 b/m à la 2^{ème} minute

Tableau 6: Critères de sévérité de l'ischémie à l'ECG d'effort

- **L'échocardiographie de stress :**

L'échocardiographie de stress combine l'enregistrement d'une échographie 2D avec soit un effort standardisé soit une stimulation pharmacologique ou électrique du cœur. L'ischémie myocardique se traduit par une détérioration transitoire de la fonction contractile régionale durant le stress. Sa précision diagnostique

et pronostique est équivalente à celle de la scintigraphie de perfusion, mais à un moindre coût et sans utiliser de produits ionisants. L'effort est habituellement réalisé en position semi-couchée, la dobutamine est surtout utilisée pour apprécier la viabilité et le dipyridamole pour apprécier la réserve coronaire avec une meilleure sécurité. La perfusion d'un produit de contraste ou l'étude du Doppler tissulaire n'a pas amélioré la précision diagnostique alors que la mesure de la réserve coronaire dans le territoire de l'interventriculaire antérieure apporte une nouvelle dimension à cette technique. Les risques de la méthode sont équivalents à ceux de l'ECG d'effort. La valeur prédictive est dépendante de l'opérateur et donc de sa formation. Malgré cet inconvénient, elle représente le meilleur choix coût/ efficacité et risque/efficacité des techniques d'imagerie. Les résultats de l'examen peuvent être résumés dans le tableau (7) pour sa valeur diagnostique et dans le tableau (8) pour sa valeur pronostique en sachant que le risque d'un événement cardiaque après une échographie de stress normale est entre 0,4 et 0,9 % par an. La mesure de la réserve coronaire est beaucoup plus difficile à obtenir et ne se fait que dans le territoire de l'IVA. Elle permet une meilleure appréciation de la sévérité de l'ischémie. Suivant le consensus d'experts de l'European Association of Echocardiography (EAE), les indications de l'échographie de stress sont:

- les patients chez qui le test d'effort est contre-indiqué ou impossible
- ceux chez qui l'ECG d'effort a donné un résultat intermédiaire
- lorsqu'il existe une anomalie de l'ECG de repos interdisant son interprétation (bloc de branche gauche, préexcitation)
- lorsqu'enfin l'ECG d'effort a été sous maximal.

Repos	Stress	Diagnostic
Normal	Normal ou hyperkinésie	Normal
Normal	Hypo, a, ou dyskinésie	Ischémie
Akinésie	Hypo ou normokinétique	Viable
Akinésie ou dyskinésie	Akinésie ou dyskinésie	Nécrose

Tableau 7: Diagnostic en fonction des anomalies retrouvées au repos et sous stress

Risque par an	Intermédiaire (1-3 %)	Elevé (> 10 %)
Dose ou charge (watts)	Elevé	Faible
FE au repos	> 50 %	< 50 %
Traitement anti-ischémique	Non	Oui
Territoire	CD, Cx	IVA
Pic WMSI	Bas	Elevé
Récupération	Rapide	Lente
Positivité	Homogène	Hétérogène
Réserve coronaire	> 2.0	< 2.0

CD=coronaire droite, Cx=circonflexe, WMSI=Wall motion score index

Tableau 8: Evaluation de l'ischémie myocardique par l'échographie de stress

- **La tomoscintigraphie myocardique : TSM**

Les techniques scintigraphiques mettent en jeu deux phénomènes intriqués: l'existence de cellules myocardiques vivantes capables de fixer et/ou métaboliser le traceur injecté et l'existence d'une irrigation du tissu myocardique. À l'effort, chez le sujet normal, le cœur est correctement vascularisé et le sang contenant l'isotope radioactif se répartit de manière homogène sur l'ensemble du ventricule gauche. En cas de sténose significative, il existe un défaut de perfusion sur le territoire ischémique qui se traduit par une hypofixation qui est quantifiée en fonction de son intensité (modérée, moyenne ou sévère) et de son étendue exprimée en segments (4 segments par paroi + l'apex soit 17 segments) (Figure 14) en fonction de la sévérité de la ou des sténoses. Lorsque le patient est au repos, la perfusion myocardique est normale et c'est l'existence d'une réversibilité sur ce territoire qui permet de poser le diagnostic d'ischémie myocardique. En cas d'infarctus, il n'y a pas de réversibilité, car même si le territoire est parfaitement irrigué, les cellules cardiaques détruites ne fixent pas le traceur injecté. En l'absence d'infarctus connu, la scintigraphie est donc le reflet de la perfusion myocardique qu'il s'agisse de l'état basal ou de l'acmé de l'effort. Une scintigraphie sera donc normale malgré une sténose significative s'il y a eu le développement d'une circulation collatérale d'aval.

- **Tomographie par émission de positons : TEP**

Le principe de la Tomographie par Émission de Positons (TEP) consiste à injecter une substance radioactive émettrice de positons dont la désintégration

va engendrer la création de deux rayons (photons) qui partent en directions opposées. Ils arrivent en même temps sur une couronne de détecteurs et la détection simultanée de ces deux photons permet l'obtention du signal. De nombreux traceurs ont été proposés pour l'étude de la maladie coronarienne et la définition des images est globalement supérieure à celle observée en scintigraphie, car il s'agit d'une imagerie TEP, avec une sensibilité de 92 % et une spécificité de 85 %. Le FDG est historiquement un traceur de viabilité qui a été proposé comme traceur d'ischémie. L'ischémie se traduit par une accumulation du traceur dans le territoire ischémié par une action insuline like et non comme une hypofixation liée à une hypoperfusion. L'intérêt majeur est la possibilité de quantification chez le tritonculaire équilibré. Le FDG reste un traceur onéreux non utilisé pour l'instant en routine pour le dépistage de l'ischémie myocardique alors que sa valeur pronostique est identique aux autres méthodes : 0,4 % d'événements si le test est négatif pour respectivement 2,3 % pour des anomalies faibles et 7 % pour une ischémie sévère. En ce qui concerne le diagnostic de viabilité et la mesure de la réserve coronaire, la TEP est nettement supérieure à la scintigraphie. Cependant, malgré ses avantages, la TEP est peu utilisée en raison de son coût et de la faible disponibilité. Concernant l'ischémie myocardique, la supériorité de la TEP sur la scintigraphie n'est pas démontrée.

- **Imagerie par résonance magnétique (IRM)**

L'IRM de perfusion apparaît comme une technique alternative à la scintigraphie myocardique. La stimulation est réalisée pharmacologiquement, le plus souvent suivant les mêmes protocoles qu'en scintigraphie myocardique. Elle permet à la fois l'étude de la perfusion lors du premier passage de gadolinium, mais aussi de rechercher des lésions de nécrose irréversible par le rehaussement tardif. Le principe de base est l'injection de gadolinium et l'utilisation de séquences rapides réalisant plusieurs coupes (3 à 6) répétées à chaque cycle cardiaque pendant une perfusion de dipyridamole. Le gadolinium accélère la relaxation T1 ce qui se traduit par une augmentation du signal dans les régions perfusées. La redistribution est rapide, la fraction d'extraction du traceur est de 50 % environ lors du premier passage. Plus le niveau de perfusion est élevé, plus la concentration en gadolinium sera élevée. Le gadolinium s'accumule dans les zones infarctées, l'absence d'accumulation dans une zone dysfonctionnelle signifie donc l'absence de nécrose. Grâce à la haute résolution spatiale, l'IRM permet d'analyser le caractère transmural ou non d'une nécrose, la perfusion myocardique et la contractilité résiduelle. Dans la

recherche de viabilité, le rehaussement tardif permet de prédire la récupération fonctionnelle après revascularisation en fonction de l'étendue de la nécrose. L'absence de rehaussement ou un rehaussement de plus de 75 % du myocarde sont les meilleurs facteurs pronostiques. Cette technique apparaît être la meilleure pour apprécier la fonction ventriculaire, on évalue la séparation endocarde-sang plus précisément et le calcul de la fraction d'éjection ne dépend pas de la géométrie du ventricule. Elle est plus performante que la scintigraphie, notamment chez les sujets pluritronculaires. Elle permet aussi de détecter des anomalies sous-endocardiques plus facilement qu'en scintigraphie ou en PET. Par rapport à l'échographie de stress, l'IRM de stress présente une valeur prédictive négative meilleure. Les limites de l'IRM de stress sont essentiellement liées à sa faible disponibilité et aux réactions claustrophobiques qui peuvent survenir chez environ 2-3 % des patients. Les contre-indications strictes à l'IRM sont : éclat métallique intraoculaire, clip chirurgical d'anévrisme intracérébral, système électronique implanté, défibrillateur. La présence d'un stimulateur représente une contre-indication relative et implique la mise en œuvre de précautions particulières.

- Tests invasifs :

• Coronarographie + FFR :

La coronarographie reste l'examen de référence pour la détection et l'appréciation de la sévérité des lésions, mais comme toute procédure invasive elle nécessite certaines précautions pour éviter des complications. Chez de nombreux patients avec une lésion monotronculaire, les tests non invasifs sont suffisants pour déterminer si la lésion est responsable d'une ischémie. Chez les sujets présentant des lésions multitronculaires, il est beaucoup plus difficile de déterminer quelles sont les lésions responsables de l'ischémie à traiter par angioplastie et quelles sont celles à respecter et à traiter médicalement. Les lésions intermédiaires ne provoquent pas obligatoirement une ischémie et, quand les tests non invasifs ont été contre-indiqués ou non concluants, la mesure de la FFR (Fractional Flow Reserve) est alors recommandée. Elle permet de guider l'angioplastie et son délai d'exécution.

- La **FFR** est maintenant considérée comme le "gold standard de l'évaluation invasive d'une sténose coronaire". Elle sera utilisée quand il n'y a pas eu de test non invasif avant la coronarographie ou quand il existe des lésions tritronculaires. Son utilisation est Classe IA dans les recommandations de l'ESC

“guidelines on coronary revascularization”. La FFR est calculée par le rapport de la pression intracoronaire distale sur la pression aortique au cours d’une épreuve d’hyperhémie maximale. La valeur de 1 est normale, inférieure ou égale à 0,80 elle traduit habituellement une ischémie. Il a d’autre part été démontré que la procédure n’augmente pas le risque de l’angiographie et qu’une lésion avec FFR négative est d’excellent pronostic.

III.VI.2. Tests anatomiques:

- Non invasif

• Coroscaner :

C’est un examen d’imagerie médicale purement anatomique et qui permet d’explorer les artères coronaires à la recherche d’éventuelles lésions (sténoses) notamment en cas de douleurs thoraciques atypiques, de dyspnée et chez des patients présentant des facteurs de risque personnels ou familiaux, chez un patient à risque faible ou moyen de maladie coronarienne (après une scintigraphie ou échographie d’effort douteuse ou incomplète).

Dans le cadre de bilan de cardiopathies ischémiques, le scanner cardiaque ou coroscaner fait partie des techniques non invasives les plus performantes pour l’exploration des artères coronaires mais aussi de toutes les structures cardiaques, il est utilisé aussi pour dresser un bilan anatomique du cœur et des artères coronaires en bilan préopératoire de chirurgie valvulaire ou d’insuffisance aortique chronique.

- Invasif :

• Coronarographie :

La coronarographie, qui correspond à la radiographie des artères du cœur, reste l'examen de référence pour explorer les artères coronaires. Cet examen est invasif et nécessite la ponction d'une artère, ce qui permettra l'injection d'un produit de contraste iodé afin de visualiser directement les artères coronaires et d'en faire la radiographie. Elle évalue avec précision le degré de rétrécissement des artères du cœur, ce qui permet de décider de l'attitude thérapeutique à adopter (réalisation d'une angioplastie ou d'un pontage par exemple). Cette technique comporte cependant des risques vasculaires parfois graves au cours de la procédure.

III.VI.3. Quelques recommandations de l'ESC

(Guidelines for the diagnosis and management chronic coronary syndromes of European society of cardiology) :

- ✓ Il est recommandé de sélectionner le test de diagnostic initial non invasif en fonction de la probabilité clinique de coronaropathie, d'autres caractéristiques du patient qui influencent la performance du test, l'expertise locale et la disponibilité des tests.
- ✓ L'angiographie coronarienne invasive est recommandée comme test alternatif pour le diagnostic de la coronaropathie chez les patients présentant une probabilité clinique élevée, symptômes sévères réfractaires au traitement médical, ou angor typique à un faible niveau d'exercice, et évaluation clinique indique un risque élevé d'événement.
- ✓ Une évaluation fonctionnelle invasive doit être disponible et utilisée pour évaluer les sténoses avant la revascularisation, sauf grade très élevé (sténose de diamètre > 90%).
- ✓ Le recours à l'angiographie coronarienne invasive avec évaluation fonctionnelle invasive doit être envisagé pour la confirmation du diagnostic de coronaropathie chez les patients au diagnostic incertain sur des tests non invasifs.
- ✓ L'ECG d'effort est recommandé pour évaluer la tolérance à l'exercice, les symptômes, les arythmies, la réponse de la PA et le risque d'événement chez certains patients. Or il n'est pas recommandé à des fins diagnostiques chez les patients présentant une dépression du segment ST supérieure à 0,1 mV sur ECG de repos ou qui sont traités avec digitaliques.

➤ Pour résumer :

L'évaluation de l'ischémie est indispensable pour la stratégie thérapeutique afin de déterminer le choix entre le traitement médical et la revascularisation. Rappelons que cette évaluation est d'abord clinique (SCA / SCC), anatomique (sténose du tronc et de l'interventriculaire proximale ou lésions tritronculaires avec altération de la fraction d'éjection) ou fonctionnelle (ischémie supérieure à 10 % du myocarde). Dans ce dernier cas, les examens complémentaires sont suffisants pour évaluer l'ischémie (ECG d'effort puis échographie de stress et enfin les techniques plus lourdes comme la scintigraphie myocardique, l'IRM ou

le TEP). Enfin dans quelques cas on utilisera la mesure de la FFR au cours de la procédure quand les premiers examens n'ont pas pu être réalisés ou sont non contributifs.

IV. LA SCINTIGRAPHIE MYOCARDIQUE :

IV.I. Définition et principe général de la scintigraphie:

La scintigraphie est une imagerie fonctionnelle c'est-à-dire du fonctionnement. Elle est également une imagerie d'émission (c'est-à-dire que le rayonnement vient du patient après injection du traceur) par opposition à l'imagerie conventionnelle radiologique qui est une imagerie de transmission (le faisceau est externe et traverse le patient).

Son principe repose sur l'injection par voie intraveineuse d'un traceur radiomarqué ou radiotracteur, spécifique d'une cible d'intérêt. L'imagerie est ensuite réalisée par détection externe de la radioactivité à l'aide d'une caméra gamma sensible aux photons émis lors de la désintégration de l'isotope radioactif. Ainsi, on détecte les photons gamma en imagerie SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography), ou les photons résultant de l'annihilation de positons en imagerie TEP (Tomographie par Emission de Positons).

IV.II. Les bases physiques de la scintigraphie myocardique:

IV.II.1. Les radiotraceurs :

Le radio-traceur appelé aussi radio-pharmaceutique, est représenté par l'association d'une molécule vectrice avec un marqueur radioactif.

- La molécule vectrice est choisie pour se localiser sur une structure particulière de l'organisme ; dans laquelle on remplace un atome normal par son isotope radioactif.
- Le marqueur radioactif permet de suivre la position de la molécule dans l'organisme grâce à l'émission des rayons gamma qui sont enregistrés à l'aide d'une gamma caméra.

- Pour être utilisables, les radiopharmaceutiques doivent répondre aux propriétés suivantes :

- Etre spécifiques d'un organe, d'une fonction ou d'une pathologie.
- Avoir une période (de quelques heures à quelques jours) et une énergie adaptée aux systèmes d'imagerie.
- Ne pas être toxiques sur le plan biologique et radiotoxicologique.
- Pouvoir être utilisés à de très faibles concentrations de manière à ne pas modifier le métabolisme de l'organe étudié.

Les différents types de radiopharmaceutiques :

❖ Le Thallium 201 : Traceur de l'ischémie et de la **viabilité** myocardique

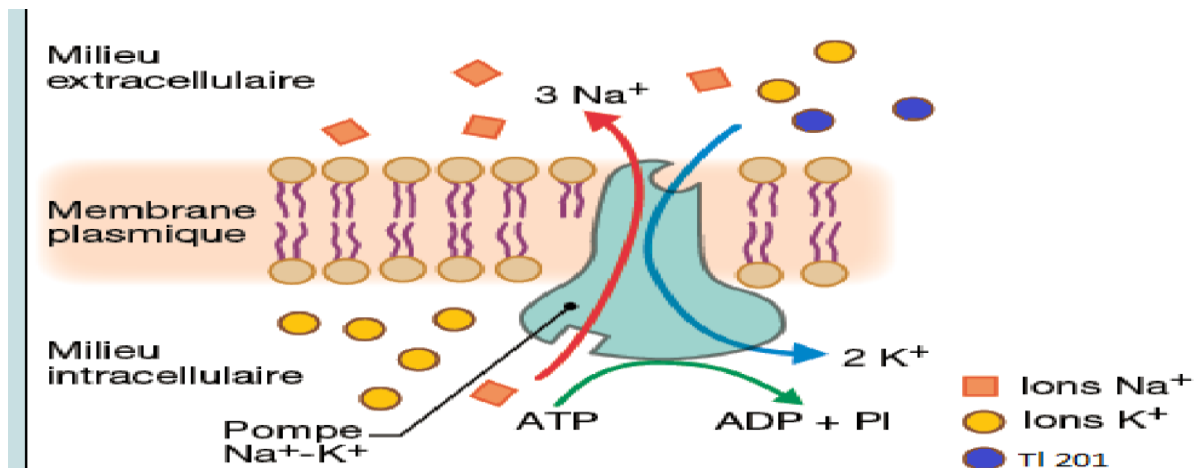


Figure 7: mécanisme d'action du Thallium 201

- c'est un cation monovalent, analogue du potassium.
- Sa demi-vie physique est de 73 heures.
- Sa décroissance se fait essentiellement par émission de rayonnement X, d'énergie comprise entre 69 et 83 kiloélectronvolt (keV) ; mais aussi de rayonnement gamma d'énergie de 135 à 167 KeV.
- La dose absorbée est de l'ordre de 2,5 millisievert (mSv) par millicurie (mCi) pour le corps entier et de 4 mSv/mCi pour les reins.
- La dose injectée au patient par voie intraveineuse est comprise entre 2,5 et 3,5 mCi.
- La fixation par le myocarde est proportionnelle au **débit sanguin régional** et à **la fraction d'extraction** sachant que la fraction d'extraction est la

proportion de traceur passant du compartiment sanguin au tissu myocardique lors du premier passage de la molécule:

- Pour les débits très importants, la fraction d'extraction diminue, elle varie entre 85 et 90 % au premier passage.
- Une cellule lésée de façon irréversible ne peut pas accumuler le thallium.
 - La plus grande partie du thallium est captée dès le premier passage par la cellule myocardique, mais il y a un échange permanent avec le compartiment vasculaire, avec sortie de la cellule et nouvelle entrée. Ce phénomène est appelé redistribution (La redistribution est définie comme la résolution totale ou partielle au cours du temps d'une hypofixation initiale après injection du traceur).
 - Le niveau de la fréquence cardiaque influence la clairance du thallium, qui est d'autant plus importante que la fréquence est élevée.
 - L'image obtenue par la gamma caméra est la traduction de l'importance de la radioactivité du myocarde. La notion d'hypofixation est une entité relative d'une région par rapport à l'autre.
 - ✓ Si les régions sont aussi mal perfusées les unes que les autres, on ne peut pas mettre en évidence de différence d'activité, donc d'hypoperfusion.
 - ✓ En revanche, si une région myocardique a un apport très diminué de thallium par rapport au reste du myocarde, du fait par exemple d'une sténose coronaire, il existe un aspect d'hypofixation relative. Le temps passant, il y a captation (ou élimination très lente) du thallium dans la zone hypoperfusée, alors que la clairance est rapide dans la zone saine, jusqu'à égalisation complète ou partielle.

Si l'hypofixation persiste plusieurs heures plus tard, on considère « classiquement » que le tissu est nécrosé.

Si l'hypoperfusion se normalise partiellement ou totalement, il y a ischémie.

Une hypoperfusion modérée fixe à l'effort et au repos peut être en rapport avec du tissu viable.

En résumé, Le thallium est un marqueur du capital potassique intracellulaire, donc du myocarde sain ou viable. Dans les 20 minutes qui suivent son injection, sa distribution reflète la perfusion myocardique. On observe ensuite une redistribution du thallium des territoires sains vers les zones ischémiques. IL s'agit alors d'un marqueur de viabilité myocardique.

❖ **Les traceurs technétiés** : Les traceurs du métabolisme mitochondrial

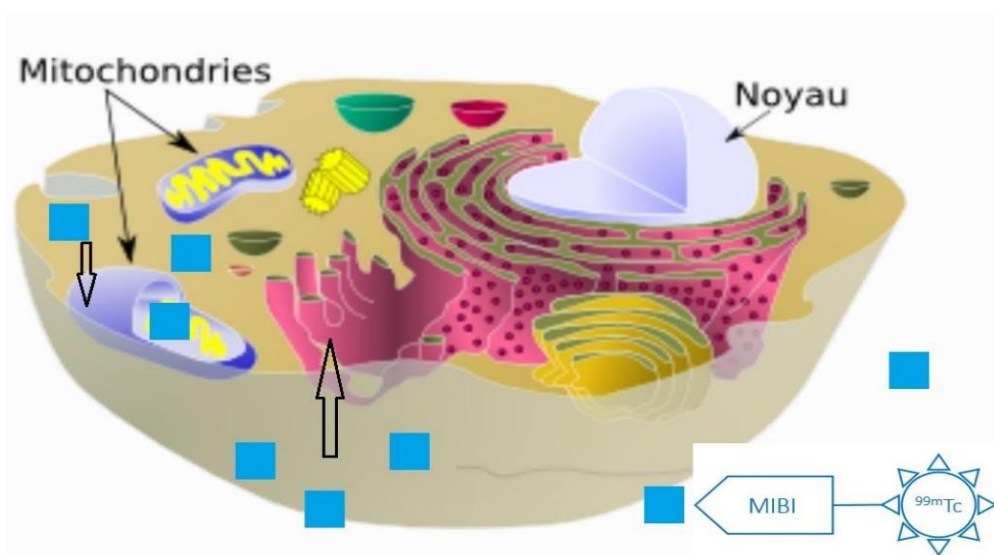


Figure 8 : mécanisme d'action du Tc-MIBI

- **Tc-MIBI (Le technétium 99 m hexakis-2-méthoxy-2-méthylpropyl isonitrile)= Sestamibi:** un isonitrile marqué au technétium.
- **Tétrafosmine-technétium 99m (Myoview®).**

Ces 2 traceurs technétiés sont caractérisés par les mêmes propriétés:

- Ils sont des complexes lipophiles cationiques.
- Leur durée de demi-vie physique est brève (6 heures) d'où une irradiation du patient inférieure à celle du thallium 201.
- Leur énergie d'émission est de 140 KeV (beaucoup plus élevée que celle du thallium), permettant d'obtenir une qualité d'image idéale considérée comme meilleure qu'avec le thallium.
- La dose injectée est de 20 à 30 mCi, la dose absorbée est comparable.
- Leur captation par le myocarde est proportionnelle au débit sanguin régional et la fraction d'extraction diminue pour les très forts débits, elle

varie entre 40 et 60%. Contrairement au thallium, il n'y a pas de phénomène de redistribution mais, comme pour le thallium, il est indispensable que la membrane cellulaire soit intacte pour permettre l'accumulation des traceurs technétiés.

- Le mécanisme de transport et de séquestration cellulaire est mal connu, mais il est probable que leur transport est bien moins dépendant des transporteurs actifs que celui du thallium.
- Enfin, leur coût de production est très inférieur à celui du thallium 201, et leur disponibilité est meilleure.

- **Le téboroxime :**

- Il s'agit d'un nouvel agent d'imagerie myocardique, également marqué au technétium.
- C'est une molécule neutre et lipophile.
- Sa fixation cellulaire se fait par répartition non-spécifique sur les membranes cellulaires grâce à sa forte lipophilie. Cette captation n'est donc pas dépendante de l'état métabolique des cellules.
- La fraction d'extraction du traceur est similaire à celle du thallium 201. Elle ne diminue pas lorsque le débit de perfusion augmente. Très tôt après l'injection, la corrélation entre la fixation régionale de la téboroxime et le débit de perfusion est très bonne. Cependant, cette relation s'altère rapidement à cause de la cinétique d'élimination myocardique très rapide du traceur.
- Un phénomène de « redistribution » est observé.
- Sa durée de vie effective est de 11 minutes, nécessitant une acquisition des images très rapide, ne permettant donc pas a priori de faire des tomographies.
- Pour le moment, ce produit est en évaluation.

- **Les radiotraceurs utilisés dans la tomographie par émission de positons (TEP) :**

- **Le ¹³N-amoniac :**

- C'est un produit du cyclotron ayant une demi-vie de 10 min.

- Il est retenu au niveau des cellules myocardiques sous forme de glutamine.
- C'est un traceur de perfusion myocardique avec une bonne corrélation qui a été observée entre la captation du traceur et le débit de perfusion myocardique.
- Il existe une relation inverse et non-linéaire entre la fraction d'extraction du ^{13}N -ammoniac et le débit.

Le 18-2 fluorodéoxyglucose (18FDG) :

- C'est le radiotracer principalement utilisé dans la tomographie par émission de positons (TEP).
- Il s'agit d'un analogue du glucose obtenu en marquant du déoxyglucose avec un atome de fluor 18 (émetteur de positons).
- Après injection intraveineuse, sa cinétique dans le compartiment vasculaire est bi exponentielle avec une période de distribution inférieure à 1 minute.
- Chez les sujets sains, le 18FDG se distribue partout dans le corps et se concentre plus particulièrement dans le cerveau, le myocarde, et dans une moindre mesure au niveau des poumons et du foie.
- Son accumulation cellulaire se fait par des mécanismes de transport actifs qui sont en partie dépendants de l'insuline et qui, par conséquent, peuvent être influencés par l'alimentation, les conditions nutritionnelles et l'existence d'un diabète sucré.

Chez les diabétiques, son accumulation dans les cellules est plus faible à cause d'une modification de la distribution tissulaire et du métabolisme du glucose.

- Sur le plan physique: Le fluor-18 se désintègre en oxygène-18 (stable) par émission d'un positon. Ce positon interagit avec un électron en une réaction d'annihilation qui se traduit par l'émission simultanée de 2 photons de 511 KeV à 180° l'un de l'autre.

La période physique du fluor-18 est voisine de 110 minutes.

- Approximativement 3% de l'activité injectée est captée par le myocarde en 40 minutes. La distribution du 18FDG dans le myocarde normal est sensiblement homogène, cependant, des différences

régionales pouvant atteindre 15% sont observées au niveau du septum interventriculaire.

En cas d'ischémie myocardique réversible, une accumulation accrue de glucose a lieu dans les cellules du myocarde viable.

IV.II.2. Les moyens de détections :

1. La gamma caméra :

La scintigraphie utilise la « gamma-caméra » appelée également caméra à scintillation ou Anger caméra en référence à son inventeur H. Anger.

La « gamma-caméra » sert à l'acquisition des images à partir des rayons gamma émis par le radiotracer.

Elle est constituée de collimateurs, de cristal scintillant ou détecteur de scintillation ainsi que de photomultiplicateurs, des circuits logiques de position et un ordinateur pour l'analyse des données.

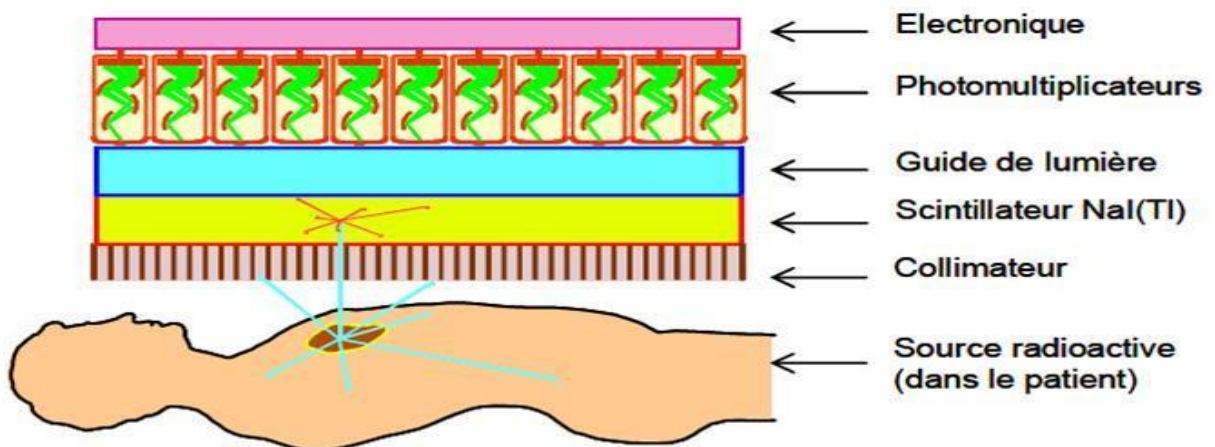
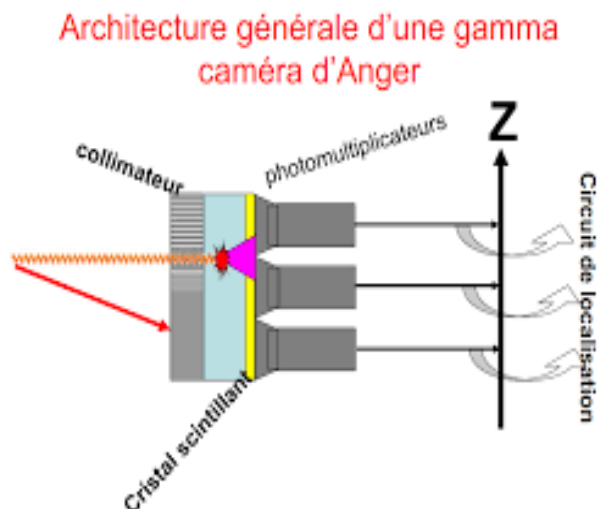


Figure9 : architecture générale d'une gamma caméra

a- Le collimateur :

Le collimateur est le premier dispositif traversé par les rayons gamma lorsqu'ils sortent de l'organe.

Il est représenté par une galette de plomb, de tungstène ou d'autre métal de numéro atomique élevé dans laquelle des trous cylindriques ou coniques sont percés suivant un système d'axes particulier. L'espace séparant deux trous voisins est appelé septum.

Son rôle est de filtrer les photons gamma émis par la source c'est à dire que seul les photons provenant de la partie de l'organe situé en face des trous peuvent atteindre les détecteurs. Les autres sont arrêtés par les septa.

Le collimateur permet de déterminer l'origine des photons et la bonne localisation des rayons sur le détecteur de scintillation. Son inconvénient majeur est qu'il ne laisse passer qu'une faible partie des photons (1 sur 10000 environ); la majorité disparaît dans le plomb du collimateur. Le signal recueilli est donc souvent faible.

C'est également le collimateur qui va dans une large mesure déterminer la résolution de la gamma-caméra (c'est-à-dire sa capacité à distinguer deux objets proches) en fonction du diamètre des trous, de l'épaisseur de plomb entre les trous et de la géométrie du collimateur.

- Il existe différents types de collimateurs en fonction de :

a. l'orientation des trous et des septa sur les collimateurs :

- parallèle: les trous et les septa sont parallèles à la source émettant le rayonnement gamma.

- convergent: les trous sont obliques de façon à augmenter le champ de la caméra.

- divergeant: Les trous sont obliques dans l'autre sens afin d'augmenter la taille de l'image.

- sténopéique ou pin-hole: les trous sont de formes coniques; Ils présentent un seul petit trou à leur sommet. Ce type de collimateur est utilisé pour observer de petits organes tels que la thyroïde.

b. leurs tailles:

- hautes et moyennes énergie: les septa sont épais afin d'arrêter les photons très pénétrant.

- haute résolution: Le diamètre des trous est petit donc peu de photons atteignent les détecteurs. L'image est de très bonne définition mais elle est très longue à acquérir.

- haute sensibilité: Les trous ont un diamètre plus grand donc ils laissent passer un très grand nombre de photons. Cela réduit le temps de l'examen au détriment de la définition.

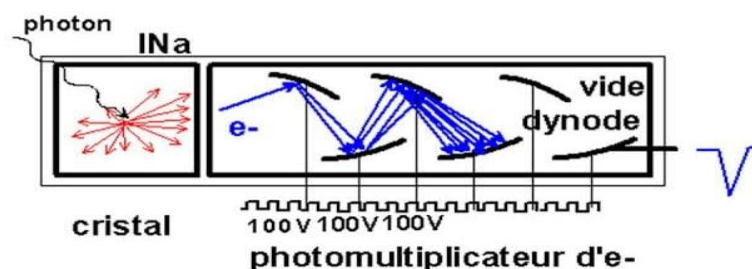
Après la collimation, il y aura une détection des photons avec le détecteur de scintillation :

b- Le cristal scintillant :

C'est un scintillateur solide de forte densité qui convertit l'énergie gamma en énergie lumineuse.

En médecine nucléaire, on utilise un cristal d'iodure de sodium (NaI) contenant des impuretés de thallium.

- ✓ Le rayonnement gamma incident provenant du patient va arriver dans le cristal et va lui transmettre son énergie en produisant une gerbe scintillante.
- ✓ Lorsque le rayonnement va atteindre les électrons du cristal, ces derniers vont transmettre cette énergie aux atomes d'iode qui eux même en se désexcitant vont former un rayonnement fluorescent.
- ✓ L'énergie provenant de ce rayonnement fluorescent va exciter les atomes de thallium situés dans le cristal. Ces derniers vont retourner à leur état fondamental en émettant des photons lumineux de 3eV.
- ✓ Le nombre de photons lumineux réémis par le cristal est proportionnel à l'énergie des photons gamma incidents.



c- les photomultiplicateurs :

Les photomultiplicateurs sont constitués d'un tube à vide en verre contenant une photocathode, plusieurs dynodes, et une anode.

Ils ont pour but de convertir l'énergie lumineuse provenant du cristal en signal électrique. Ce dernier est proportionnel à l'énergie des photons incidents.

- ✓ La photocathode a pour rôle de transformer par effet photoélectrique chaque photon lumineux provenant du cristal en électrons. Les électrons sont ensuite dirigés vers le multiplicateur d'électrons par l'électrode de focalisation (Le "multiplicateur d'électrons" est constitué d'un ensemble d'électrodes, appelées dynodes).
- ✓ Les électrons sont ensuite accélérés par le champ électrique et arrivent sur la première dynode avec une énergie importante. Lorsqu'ils frappent celle-ci, d'autres électrons de moindre énergie, mais plus nombreux, sont émis. Ceux-ci sont à leur tour accélérés en direction de la deuxième dynode, et le processus continue.
- ✓ Finalement, l'anode est atteinte. Il en résulte une impulsion électrique dont l'amplitude est proportionnelle à l'énergie lumineuse (énergie des photons lumineux présents dans le cristal).

Après l'amplification, le circuit logique de position entre en jeu. Il permettra de déterminer la position exacte de chaque scintillation réalisée dans le détecteur.

Finalement, et grâce à l'ordinateur d'analyses de données, l'image pourra être créée.

- En utilisant la gamma caméra, on peut obtenir plusieurs types d'images :
 - Des images statiques dont la durée d'acquisition peut varier de 1 à 20 min (scintigraphie plane).
 - Des images dynamiques qui permettent, par exemple, de voir la circulation du traceur injecté, des balayages du corps entier.
 - Des images tomographiques où l'enregistrement se fait autour d'un axe en permettant une reconstruction ultérieure 3D (TEP ou TEMP).
 - Des images synchronisées comme celles de l'électrocardiogramme en obtenant une visualisation en mouvement et en 3D de la contraction du cœur (imagerie hybride).

2. La tomographie par émission de photons :

La tomographie par émission de photons (TEMP), ou SPECT en anglais (Single Photon Emission Computed Tomography) est la contrepartie tomographique de la médecine nucléaire planaire.

Dans la tomographie à émission de photons (TEMP), une caméra nucléaire (gamma caméra) enregistre des rayons gamma émis par le patient depuis plusieurs angles différents. Ces données de projection sont utilisées pour reconstruire des images.

Les images TEMP produisent des images de diagnostic fonctionnelles similaires aux images nucléaires planaires. Leur nature tomographique permet au clinicien de mieux comprendre la distribution précise des radiotraceurs sachant que ce sont les mêmes isotopes radioactifs qui sont utilisés dans l'imagerie nucléaire planaire et tomographique.

La tomographie par émission de photons est communément utilisée lorsqu'une véritable représentation en 3D est nécessaire.

3. La tomographie par émission de positons :

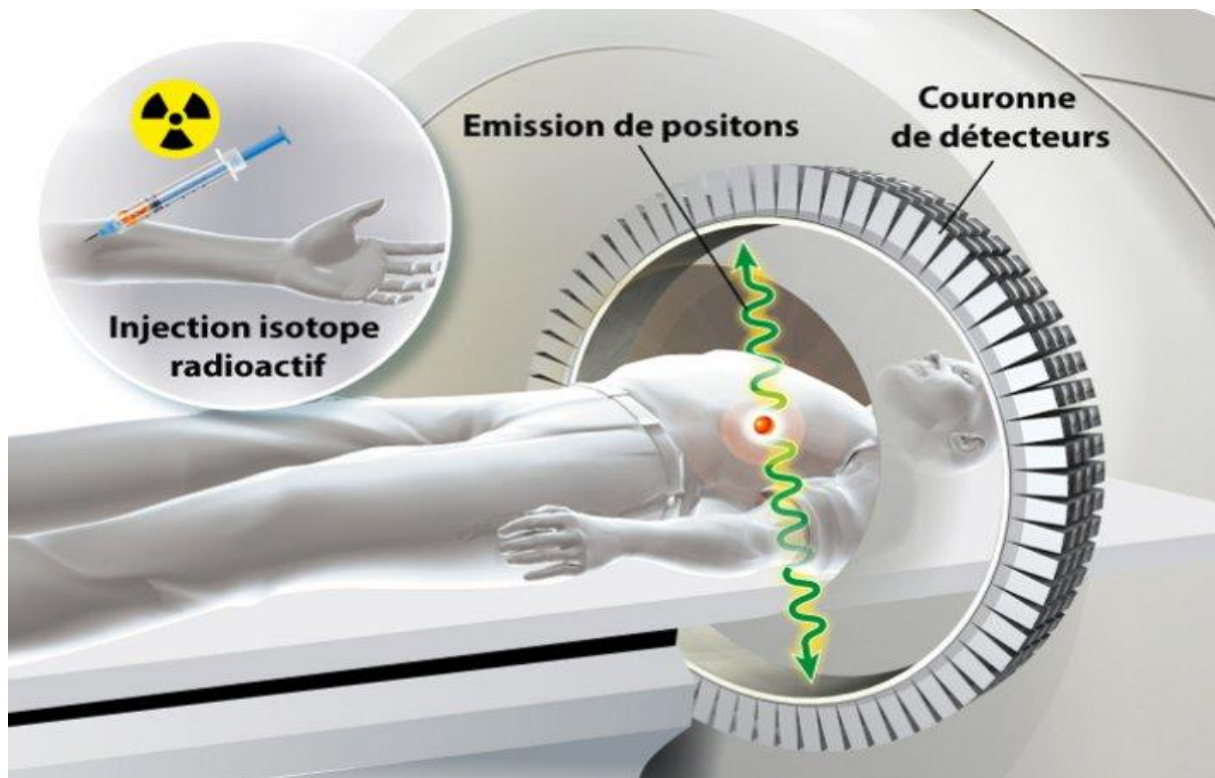


Figure 10 : Tomographie par émission de positons (TEP)

La tomographie par émission de positons (TEP) est une autre méthode d'obtention d'image nucléaire basée sur la détection de photons mais, cette fois-ci, les photons sont créés grâce à l'interaction entre un positon et un électron à basse énergie. Quand cela arrive, les deux particules disparaissent sous forme de deux photons gamma.

Le traceur habituellement utilisé est le ^{18}F FDG ; cependant il existe d'autres isotopes pouvant être utilisés (oxygène (^{15}O), azote (^{13}N), carbone (^{11}C)), dont une caractéristique commune est leur courte demi-vie (environ 2h). Cela oblige la présence d'un cyclotron (appareil pour créer les isotopes) près du lieu de l'examen de scintigraphie. Autrement, l'isotope serait désintégré avant d'être livré à l'endroit où se passe l'examen.

Une fois le traceur injecté au patient, en général par voie intraveineuse, l'atome radioactif se désintègre en produisant des positons. Ceux-ci parcourent un trajet de quelques millimètres dans l'organisme avant de se combiner à un électron. Les deux particules s'annihilent et donnent naissance à l'émission simultanée de deux photons gamma en ligne droite et dans deux directions opposées. Cette paire de photons est recueillie par la couronne de détecteurs de la caméra à positons située autour du patient. Les différentes désintégrations (une de chaque côté) provenant du même site sont recoupées au moyen de droites dont l'intersection correspond à la région émettrice. Cette particularité permet d'une part de localiser très précisément le traceur dans l'organisme et, d'autre part, elle fait de l'imagerie par tomographie par émission de positons une méthode quantitative.

L'ensemble des données est enregistré, analysé et transformé mathématiquement. Des algorithmes de corrections sont utilisés pour tenir compte des phénomènes de diffusion et d'absorption des rayons gamma (photons) par les tissus. La position du radiotraceur au sein d'une "tranche" de quelques mm d'épaisseur de l'organe examiné est ainsi reconstruite par ordinateur. Par combinaison de tranches successives, on peut obtenir des images tridimensionnelles. Par la suite, à l'aide d'un modèle mathématique, les valeurs locales de radioactivité sont transformées en paramètres tels que le débit sanguin, la vitesse de réaction chimique...

En cardiologie ; la TEP est une méthode utilisée pour étudier la viabilité myocardique.

IV.III. SCINTIGRAPHIE MYOCARDIQUE DE PERFUSION :

Le principe de l'examen consiste à administrer une molécule radioactive à tropisme cardiaque par voie intraveineuse au décours d'un test de stimulation afin d'apprécier le reflet de la perfusion du myocarde en situation de stress, puis éventuellement au repos.

IV.III.1. Démarches de l'examen:

Préparation et information du patient :

1/ Le patient sera informé de manière claire, concise et de préférence par écrit sur le but, le déroulement de l'examen, des précautions à prendre et des risques liés à l'épreuve de stress. L'objectif de cette information doit être :

- de rassurer le patient,
- de mieux faire comprendre l'intérêt de l'examen,
- de s'assurer de la collaboration du patient.

Il peut être décidé de garder une trace de l'information délivrée au patient, par sa signature ou simplement par une note dans le dossier du patient ou dans la lettre adressée au médecin.

2/ La suppression des médicaments anti-angineux doit avoir été discutée avant la réalisation d'une épreuve d'effort (pour parler d'une EE démaquillée)^(Tableau 9) en fonction de l'indication de l'examen :

* Pour les études réalisées à titre diagnostique et si cela n'est pas médicalement contre-indiqué, il est recommandé de supprimer les dérivés nitrés et les antagonistes calciques (≥ 24 h) et surtout les bêtabloquants (≥ 48 h). Dans le cas contraire, la sensibilité de l'examen est diminuée.

* En cas de contre-indication à l'arrêt du traitement anti-angineux (Tableau10), en particulier bêtabloquant, il est recommandé de réaliser un test de stimulation mixte (Dipyridamole et effort).

3/ Pour les tests au dipyridamole ou à l'adénosine, les produits contenant des bases xanthiques doivent être supprimés. En pratique :

* Les patients ne doivent pas prendre de thé, café, chocolat, banane ou cola, dans les 12 h précédant le test.

* Les médicaments contenant des bases xanthiques (théophylline, aminophylline) doivent être arrêtés depuis au moins 4 jours.

* Les traitements contenant du dipyridamole doivent être arrêtés au moins 12 h avant la perfusion d'adénosine.

Dans le cas contraire, de faibles doses d'adénosine doivent être utilisées.

4/ Le patient sera informé du déroulement de l'examen et en particulier :

- De l'importance de mener l'épreuve d'effort au maximum de ses possibilités,
- De la nécessité de rester strictement immobile lors des acquisitions tomoscintigraphiques.

Précautions d'examen :

1/ Matériel de réanimation

En dehors du matériel de réanimation standard, il est nécessaire d'avoir à disposition :

- Des ampoules d'aminophylline, dont l'injection en IV lente permet d'agoniser les effets du dipyridamole.
- Pour les épreuves à la dobutamine, un bêtabloquant injectable par voie IV et dont l'action est rapide et brève : l'esmolol (Brevibloc), ainsi qu'un inhibiteur calcique injectable : le diltiazem (Tildiem), qui peut être utilisé en cas de contre-indication aux bêtabloquants.

2/Contre-indications

La réalisation d'une tomoscintigraphie de perfusion myocardique est contre-indiquée chez la femme enceinte. Dans le post-partum, l'allaitement doit être interrompu au décours de l'examen (uniquement pendant 24 h pour les radiotraceurs technetiés, mais définitivement pour le TI 201).

Informations souhaitables pour un examen de qualité

- indication de l'examen,
- recueil des antécédents médicaux et, en particulier, des antécédents cardiovasculaires, pulmonaires (asthme), etc.,
- recueil des résultats des précédents examens cardiaques (épreuves d'effort, échocardiographie, coronarographie),
- identification des médicaments, pris le jour du test ou arrêtés intentionnellement auparavant (en particulier les médicaments anti-angineux),
- recherche des contre-indications à la réalisation de l'EE ou le stress pharmacologique
- présence d'un bloc de branche gauche ou d'un rythme électro-entraîné.

IV.III.2. Choix de la technique de stress :

Le test de stimulation ou le stress induit représente le premier temps de l'examen. Il doit être rigoureux pour permettre une interprétation optimale des images scintigraphiques qui lui succèdent. Il doit être réalisé et interprété par un cardiologue.

A- l'épreuve d'effort :

La scintigraphie myocardique est couplée à une épreuve d'effort pour deux raisons :

- * L'effort entraîne une augmentation des besoins en oxygène et permet de démasquer une ischémie latente d'où sensibilisation de l'examen.
- * L'ECG d'effort apporte des éléments diagnostiques et permet d'évaluer les performances physiques

Technique :

L'effort est réalisé sur bicyclette ergométrique ou sur tapis roulant (pratiquement selon le protocole de Bruce). Pendant l'effort, l'activité électrique du cœur est monitorée en permanence sur un scope ; un électrocardiogramme 12 dérivations et la pression artérielle sont mesurés toutes les minutes.

L'intensité de l'effort est progressivement augmentée jusqu'à l'obtention soit des signes électrocardiographiques d'ischémie ou des signes cliniques en faveur d'une symptomatologie angineuse (épreuve positive électriquement et/ou cliniquement respectivement) soit de la fréquence maximale théorique (épreuve négative)

En dehors des critères habituels d'arrêt, l'effort est poursuivi jusqu'à la fréquence maximale théorique (FMT) ou l'épuisement. Le radiotracer est alors injecté à son acmé, et il est conseillé de continuer par un petit effort pendant quelques minutes.

NB : L'épreuve d'effort est techniquement impossible si une anomalie électrocardiographique de base empêche l'interprétation (bloc de branche gauche, syndrome de Wolf Parkinson White, pacemaker permanent)

EE démaquillée
<p>Définition : L'épreuve d'effort était dite « démaquillée » lorsque nous arrêtons les médicaments anti-angineux, donnés souvent en anticipation pour confirmer ou infirmer le diagnostic d'insuffisance coronaire et pour évaluer les performances du patient</p>
<p>Médicaments concernés : BETABLOQUANTS ANTICALCIQUES NICORANDIL IVABRADINE DERIVES NITRES</p>

Tableau 9 : Epreuve d'effort démaquillée

Les contre-indications de l'EE
<p>Absolues :</p> <ul style="list-style-type: none"> Infarctus myocardique récent (<4 jours) ; Angor instable à haut risque ; Troubles du rythme malins non contrôlés ; Insuffisance cardiaque non contrôlée ; Sténose aortique sévère symptomatique ; Péricardite ou myocardite aiguës ; Dissection aortique ; Embolie pulmonaire récente.
<p>Relatives :</p> <ul style="list-style-type: none"> Sténose du tronc commun connue ; Hypertension artérielle sévère (TAS >200 mm Hg ou TAD >110 mmHg) ; Sténose valvulaire modérée ; Cardiomyopathie hypertrophique obstructive ; Troubles électrolytiques ; BAV de haut degré.

Tableau 10 : Contre-indication d'une EE

B- Stress pharmacologique :

Deux techniques sont possibles : La vasodilatation directe par dipyridamole ou adénosine, et la vasodilatation secondaire par l'augmentation des besoins en oxygène (Dobutamine).

a) Le dipyridamole (Persantine®)

Représente une stimulation pharmacologique basée sur la vasodilatation artériolaire. Celle-ci s'avère supérieure en aval d'une artère perméable à celle

d'une artère sténosée, entraînant un phénomène de vol vasculaire aux dépens du territoire ischémique

Il peut être associé à une épreuve d'effort classique. La dose injectée est de 0.56 à 0.85 mg/kg pendant 5 minutes. Sa demi-vie est de 30 min. Le débit coronaire est multiplié par un facteur 4 ± 1.3 sous Dipyridamole. Le radiotracer est injecté 4 à 5 minutes après l'injection du vasodilatateur. En plus des contre-indications de l'épreuve d'effort, le dipyridamole et l'adénosine sont proscris en cas d'asthme (Tableau 11). Les bases xanthiques sont des antagonistes du dipyridamole.

b) Le *dobutamine*

La Dobutamine est un sympathomimétique qui augmente les besoins en oxygène puisqu'il augmente la contractilité et la fréquence cardiaque ; son injection représente une alternative rare à une épreuve d'effort impossible et un asthme contre-indiquant l'usage du dipyridamole. Le protocole consiste à atteindre au moins 85 % de la FMT. L'injection commence à la dose de 5 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ pendant 3 minutes puis 10, 20, 30, voire 40 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ par paliers de 3 minutes. Il est souvent proposé d'injecter une dose de 0,5 à 1 mg en intraveineuse d'atropine en fin d'épreuve afin de ne pas utiliser une trop grande dose de dobutamine dont les effets indésirables sont importants.

Certaines études ont montré que l'adjonction d'un effort léger à la scintigraphie myocardique au dipyridamole permettrait d'améliorer le rapport signal/bruit et d'avoir une image de bonne qualité.

c) L'*adénosine*

L'adénosine est un vasodilatateur direct. Le protocole consiste en l'administration de 140 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ d'adénosine pendant 6 minutes. Les contre-indications et les précautions d'emploi sont les mêmes que pour le dipyridamole

Contre-indications au dipyridamole
<ul style="list-style-type: none"> - Hypotension artérielle systémique (TAS <90 mm Hg) ; - Asthme traité ; - Hypertension pulmonaire sévère ; - Bradycardie (<40/min) ; - Bloc atrio-ventriculaire de haut degré (2e et 3e degrés) ; - Allergie connue au dipyridamole ou à la théophylline.
Contre-indications à l'adénosine
<ul style="list-style-type: none"> - Hypotension artérielle systémique (TAS <90 mm Hg) ; - Asthme traité ; - Allergie connue à l'adénosine
Contre-indications à la dobutamine
<ul style="list-style-type: none"> - Cardiomyopathie obstructive sévère ; - Allergie connue à la dobutamine

Tableau 11 : Contre-indications des méthodes de stress pharmacologique

C- Le stress combiné : (EE + vasodilatateurs) :

L'association vasodilatateurs et EE a fait preuve d'une grande efficacité dans la détection de l'insuffisance coronaire. En effet, l'administration d'une drogue vasodilatatrice après une EE permet d'améliorer la qualité de l'examen, ce qui est intéressant pour les patients dont l'EE est sous maximale. Réciproquement, un effort modéré améliore le rapport des taux de comptage entre le cœur et les organes voisins obtenu après stress pharmacologique seul. D'autre part, il a été démontré avec l'adénosine, que l'effort ajouté permet une réduction importante de la fréquence des troubles du rythme.

D- Autres méthodes de stress :

- **Effort isométrique de préhension manuelle ("Handgrip")**

L'effort isométrique entraîne une augmentation de la tension artérielle aussi bien systolique que diastolique, avec seulement une petite élévation de la fréquence et du débit cardiaques. Ce test s'avère très éprouvant pour le patient et nécessite donc une coopération toute particulière, alors que les résultats ne sont pas impressionnants. En fait, l'effort isométrique de préhension manuelle est probablement plus utile en association avec une perfusion de dipyridamole afin d'augmenter la vasodilatation coronaire.

- **Stimulation auriculaire**

Les effets de la stimulation auriculaire engendrent un "stress" généralement moindre que celui du à l'exercice. Fait essentiel, ses effets s'interrompent totalement dès l'arrêt de la stimulation, ce qui en fait une méthode particulièrement adaptée à l'exploration des patients à risque. Les résultats apparaissent globalement très satisfaisants, surtout si on les compare à ceux obtenus lors de l'épreuve d'effort (souvent sous maximale). Néanmoins, cette technique n'est pas faite pour une utilisation de routine car elle nécessite la mise en place d'électrodes intracardiaques.

- **Epreuve au froid ou "cold pressor test"**

L'exposition au froid constitue un puissant stimulus alpha adrénérgique dont les effets hémodynamiques sont liés à une vasoconstriction périphérique. Ainsi, on observe une augmentation rapide de la tension artérielle sans tachycardie. Cette méthode est rarement acceptée par les patients à cause de son caractère désagréable. Bref, cette épreuve, non dénuée de risques (troubles du rythme ventriculaire, infarctus) et peu performante, présente un intérêt vraisemblablement limité.

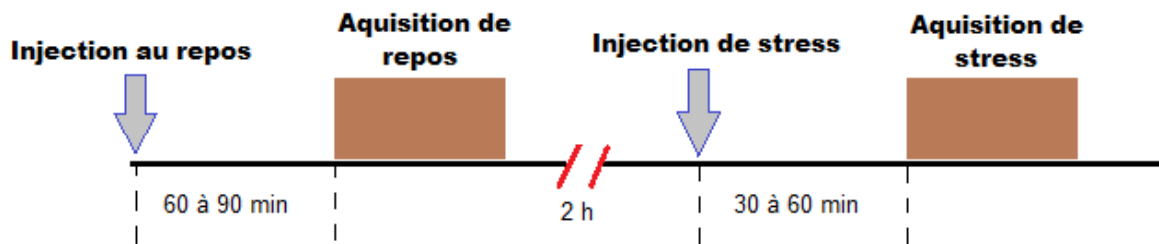
IV.III.3. Protocoles d'injection et acquisition des images :

Il existe de très nombreux protocoles d'examen décrits dans la littérature. Ils présentent des avantages plus pratiques que cliniques. Il est classique de débiter par l'imagerie d'effort, puis l'imagerie de repos seulement en cas d'anomalie. Certains préfèrent débiter par une imagerie de repos : traceurs technetiés ou thallium, avec une imagerie d'effort réalisée dans tous les cas avec un traceur technétié.

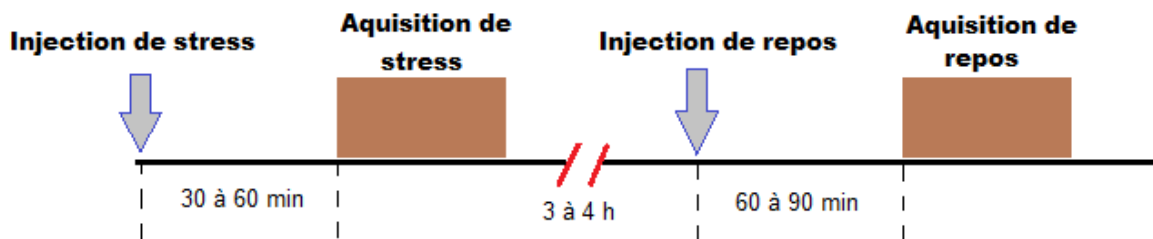
Lorsque les patients ont une faible probabilité d'insuffisance coronaire, il est recommandé de débiter par une acquisition de stress et de ne pas effectuer d'acquisition de repos, lorsque l'acquisition de stress est normale et que la fonction ventriculaire gauche est aussi normale.

NB : La position adoptée habituellement est le décubitus dorsal avec le bras gauche au-dessus de la tête, et moins fréquemment le décubitus ventral. Les images de la répartition du traceur sont obtenues par la gamma caméra.

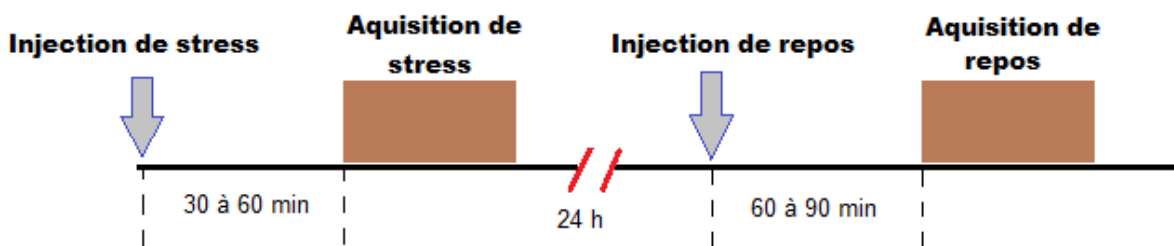
- Acquisitions repos-stress réalisées le même jour avec le sestamibi



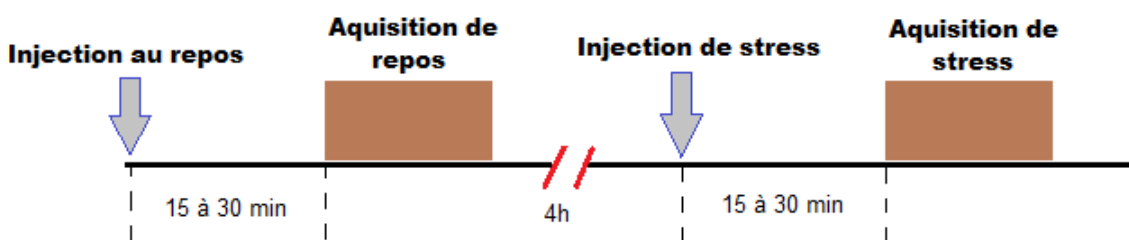
- Acquisitions stress-repos réalisées le même jour avec le sestamibi



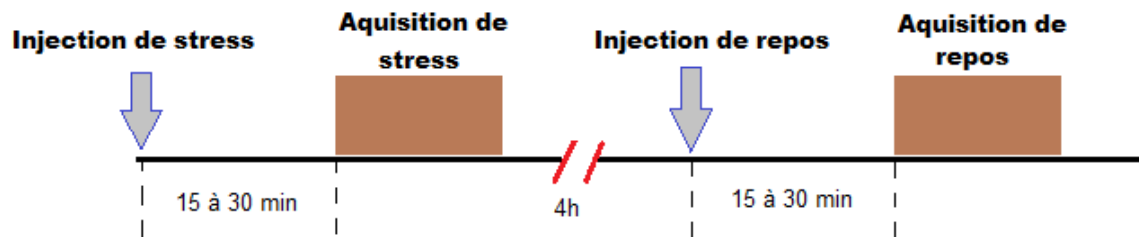
- Acquisitions stress-repos réalisées sur deux jours avec le sestamibi



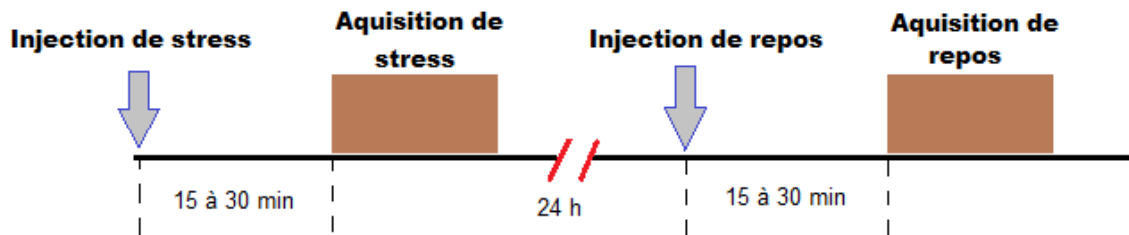
Acquisitions repos-stress réalisées le même jour avec la tétréfossimine



Acquisitions stress-repos réalisées le même jour avec la tétréfossimine



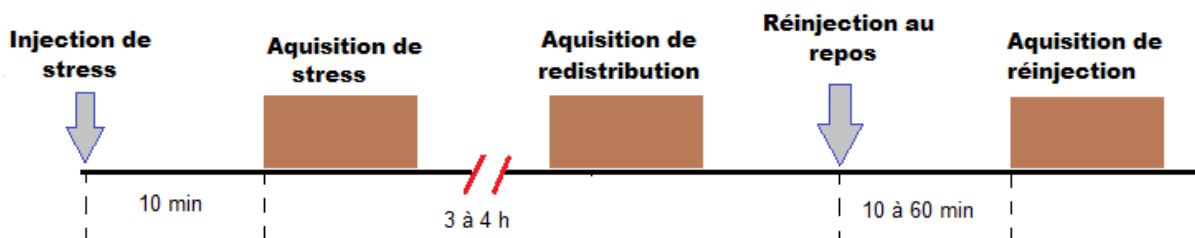
- Acquisitions stress-repos réalisées sur deux jours avec la tétrofosmine



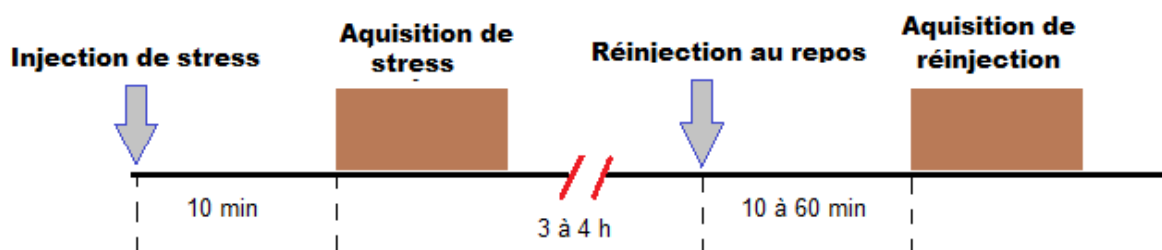
- Acquisitions stress-réinjection réalisées avec le thallium-201

Le protocole recommandé par l’American Heart Association, comprend une acquisition en réinjection, uniquement lorsqu’il n’y a pas de réversibilité sur les images de redistribution. Le protocole simplifié, sans image de redistribution, est équivalent et il est beaucoup plus souvent utilisé en Europe.

.Protocole complet :



. Protocole simplifié :



Intervalle de temps entre l'administration du radiopharmaceutique et l'acquisition des images :

Pour les examens utilisant le Tl-201 comme radiopharmaceutique, il est souhaitable que les images, réalisées après un test de provocation d'ischémie soient débutées dans les 10 minutes suivant la fin du test et que les images de redistribution soient réalisées avec un intervalle de temps supérieur à 3 heures.

D'une manière générale, lorsque deux acquisitions sont réalisées le même jour avec un radiopharmaceutique technétié, il est préférable de respecter un délai d'au moins 2 heures entre la fin du test de stimulation et l'injection de repos. Cependant, ce délai dépend de la présence d'une possible sidération consécutive au test de stimulation, et doit être prolongé à 4 heures (éventuellement associé à l'administration de trinitrine) en cas d'anomalie franche de la scintigraphie post-stress. L'activité de la 2ème injection doit être trois fois supérieure à celle de la première injection.

Pour le sestamibi, il est aussi souhaitable de favoriser la clairance biliaire de ce radiopharmaceutique en proposant une collation riche en lipides (lait, beurre, fromage, etc.), environ 30 min avant le début des acquisitions. L'ingestion de 100 à 300 mL d'eau froide, 5 à 10 min avant l'acquisition, peut aussi permettre de diminuer l'activité sous-diaphragmatique.

Bien que la clairance hépatique de la tétréfoscimine soit plus rapide que celle du sestamibi, il a été aussi montré que l'ingestion combinée de lipides et d'une boisson froide permettait d'améliorer la qualité des acquisitions réalisées avec la tétréfoscimine.

Pour le sestamibi ou la tétréfoscimine, une alternative consiste à acquérir les images au décours immédiat du stress, avant que la fixation digestive ne génère des artéfacts. Cette option est surtout efficace lors d'un test d'effort ou d'un test mixte (Dipyridamole et effort).

Enfin, pour les protocoles séquentiels réalisés avec le thallium-201 (effort-redistribution, effort-réinjection, repos-redistribution), il est souhaitable d'éviter les repas copieux entre les 2 séries d'image (en particulier, les repas riches en glucides).

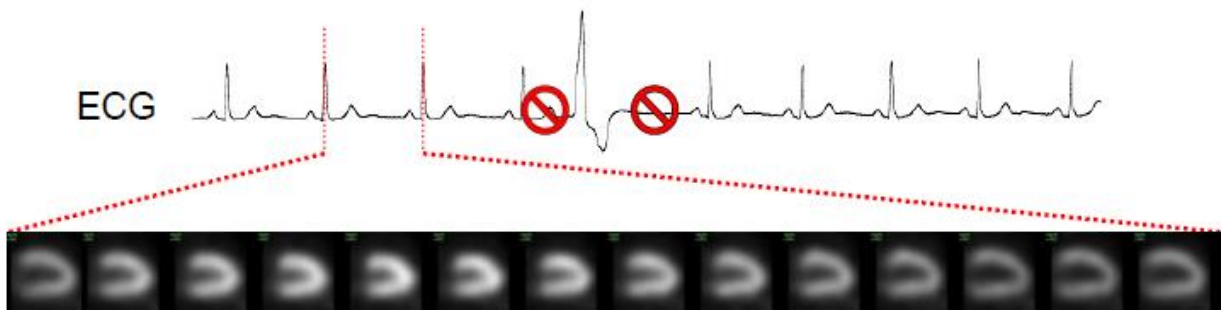
Pour les protocoles débutant par l'examen de repos, il est souhaitable de respecter un délai de 2 heures au minimum entre les 2 injections de manière à diminuer la contribution de la captation de repos sur l'examen de stress.

IV.III.4. Synchronisation à l'ECG (Gated SPECT) :

Elle permet de réaliser une étude conjointe de la perfusion myocardique et de la fonction ventriculaire gauche, grâce à l'analyse de plusieurs paramètres tels que les volumes ventriculaires, la fraction d'éjection ventriculaire, l'épaississement et la cinétique pariétale. Elle procure ainsi un gain de temps considérable lors de l'évaluation et de la prise en charge du patient coronarien.

- Technique :

L'acquisition des images peut être réalisée de manière synchronisée à l'ECG (méthode du gating). Le cycle est enregistré à partir des ondes R et divisé en 8 ou 16 segments. Un certain nombre de cycles sont enregistrés sur une durée de 40 à 60 secondes par image.



L'ordinateur détermine automatiquement les volumes diastolique et systolique, et surtout calcule la FEVG. Il permet également d'apprécier l'épaississement systolique, ce qui dans certains cas, facilite l'interprétation des défauts perfusionnels non réversibles et fait ainsi la distinction entre infarctus (diminution de l'épaississement systolique) et artefact (épaississement normal).

Enfin, la modélisation des contours ventriculaires, appréciable à chaque moment du cycle, donne la possibilité de visualiser sur l'écran la cinétique ventriculaire mettant en évidence des zones hypo- ou akinétiques.

Les traceurs technétiés ainsi que le thallium ont été utilisés. Il existe une supériorité des traceurs technétiés sur le thallium en raison d'une meilleure qualité des images obtenues ainsi que d'une plus grande fiabilité et reproductibilité des valeurs de FEVG calculées.

Plusieurs techniques ont permis d'exploiter les données 3D de la TEMP pour extraire l'information concernant la fonction du ventricule gauche (VG). La surface endocardique du VG et des plans valvulaires est estimée par la

sommation des volumes des voxels en relation avec ces structures. La délimitation des surfaces endocardiques est réalisée par des méthodes basées sur le "seuillage" et des méthodes basées sur les gradients. La cinétique pariétale régionale du VG correspond à la distance parcourue par un point donné de l'endocarde entre la télédiastole et la télésystole.

L'épaisseur du myocarde étant inférieure à la résolution spatiale, et à cause de l'effet de volume partiel, le signal obtenu est étendu sur une surface plus grande et la concentration radioactive apparaît faible. L'épaississement régional de la paroi est estimé par l'augmentation apparente des taux de comptage au niveau des parois entre la télédiastole et la télésystole. La FEVG est estimée par le rapport entre la différence des volumes télédiastolique et télésystolique, sur le volume télédiastolique

Le défaut de la plupart de ces méthodes est le caractère manuel de la détermination des limites des structures myocardiques et de ce fait sa dépendance de l'opérateur. Germano et coll du centre de cedars sinai, ont développé un algorithme totalement automatique (quantitative gated SPECT) pour la mesure quantitative de la fonction du VG et la visualisation de la cinétique segmentaire et l'épaississement de la paroi myocardique. Cet algorithme est basé sur l'intelligence artificielle combinée à la méthode de Gauss pour les profils de comptage normaux. L'évaluation de cette technique (QGS) pour le calcul de la FEVG a montré une bonne corrélation avec d'autres méthodes.

Valeur ajoutée du Gated SPECT

Dans les images de perfusion myocardique qui montrent un défaut de perfusion irréversible, un diagnostic précis n'est pas toujours possible. Ce phénomène peut apparaître chez les patients suspects de maladie coronarienne en l'absence d'IDM dans les antécédents. Chez qui il est souvent difficile de différencier entre un artefact d'atténuation et un défaut de perfusion dû à un IDM antérieur. Dans cette situation le gated SPECT a une valeur ajoutée certaine, en montrant une conservation de l'épaississement pariétal, alors qu'une hypoperfusion régionale irréversible due à un IDM, laissera apparaître une absence d'épaississement de la paroi.

Chez les patients avec un IDM connu, et ainsi un défaut de perfusion permanent de la zone infarctée, le gated SPECT peut montrer l'absence de l'épaississement de la paroi, indiquant une éventuelle nécrose ou une

hibernation myocardique. Et inversement, le gated SPECT peut montrer un épaississement conservé de la région infarctée, suggérant la viabilité myocardique. Par conséquent, ces patients peuvent être candidats à une revascularisation.

Au total, le gated SPECT permet d'analyser la perfusion et la fonction du VG durant la même acquisition. La synchronisation procure un avantage à la TEMP au 99mTc sestamibi ou tetrofosmine, en caractérisant les anomalies de perfusion et en améliorant potentiellement la spécificité de l'examen. Le gated SPECT permet aussi la stratification du risque parce qu'il procure l'information sur la FEVG et le volume télésystolique, qui sont tous deux d'importants paramètres pronostiques et ont une valeur supérieure à la perfusion seule.

Le gated SPECT peut être utilisé pour la stratification des patients candidats à la revascularisation, car il permet l'analyse de l'épaississement résiduel de la paroi dans une région avec un défaut de perfusion fixe, ou une cinétique diminuée dans une région avec un défaut de perfusion modéré indiquant l'hibernation.

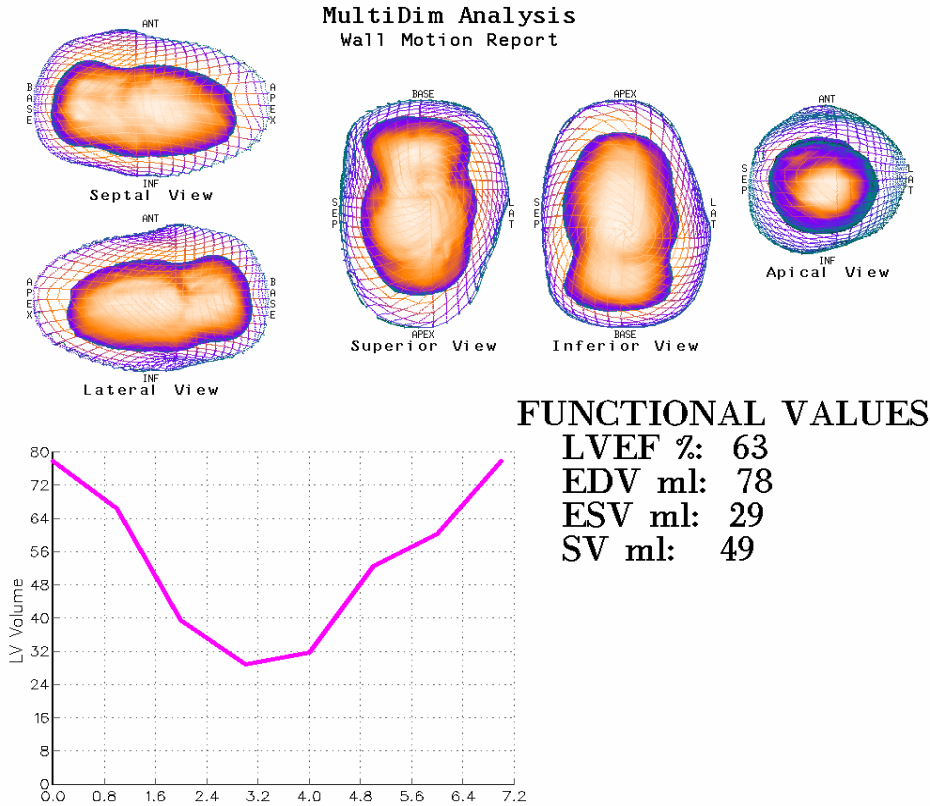


Figure 11 : Gated SPECT

IV.III.5. Présentation et interprétation des résultats

La méthode utilisée pour l'étude de la perfusion et de la viabilité myocardique est le mode tomographique (SPECT). Le SPECT donne une vue du myocarde en 3D et permet, après la reconstruction, une amélioration du contraste des lésions et une suppression des superpositions des cavités ventriculaires. En outre, elle permet, à l'aide d'un ordinateur, de reconstruire des coupes selon n'importe quel axe, en particulier selon les 3 axes du cœur : petit axe (coronal), grand axe (sagittal) et 4 cavités (transversal). A partir de ces coupes, l'interprétation des images peut se faire de façon visuelle et également par l'utilisation de méthodes de quantification de la fixation.

L'étude de la perfusion myocardique nécessite une comparaison entre les coupes tomographiques de l'effort et celles du repos. Les anomalies de perfusion sont caractérisées par leur localisation sur la paroi ventriculaire, leur sévérité, et l'éventuelle amélioration entre les images de stress et de repos (réversibilité). Pour les anomalies irréversibles on cherche la présence d'un niveau de fixation témoignant d'une viabilité résiduelle (ce seuil est d'environ 50 %)

Cette analyse se fait selon les trois axes prédéfinis. Le myocarde est souvent divisé en 9 segments, répartis à raison de 2 segments pour chacune des 4 parois (antérieure, postérieure, latérale, septale), et un segment représentant l'apex (Figure 9). D'autres modèles à 13, 16, 17 ou 20 segments peuvent être utilisés, mais il est préférable (selon les recommandations de l'american college of cardiology et de l'american heart association) d'utiliser le modèle à 17 segments afin d'uniformiser les modalités d'interprétation des différentes techniques d'imagerie cardiaque (échocardiographie, IRM).

Schématiquement, une scintigraphie myocardique normale à l'effort témoigne d'une perfusion normale. Un défaut de fixation du traceur à l'effort disparaissant après ré injection au repos dans un territoire donné évoque une ischémie myocardique réversible. Et un défaut de fixation du traceur à l'effort persistant après ré injection au repos indique la présence d'une nécrose myocardique, une hibernation myocardique ou un artefact.

La viabilité myocardique est étudiée avec la tomographie au Thallium après redistribution tardive du traceur.

Le compte-rendu comporte, en plus de la description des anomalies, un rappel des facteurs de risque, les performances à l'exercice et les résultats de l'ECG.

Ce qui permet de juger de la sévérité des lésions, du pronostic, et de l'attitude thérapeutique

Repérage anatomique et segmentation :

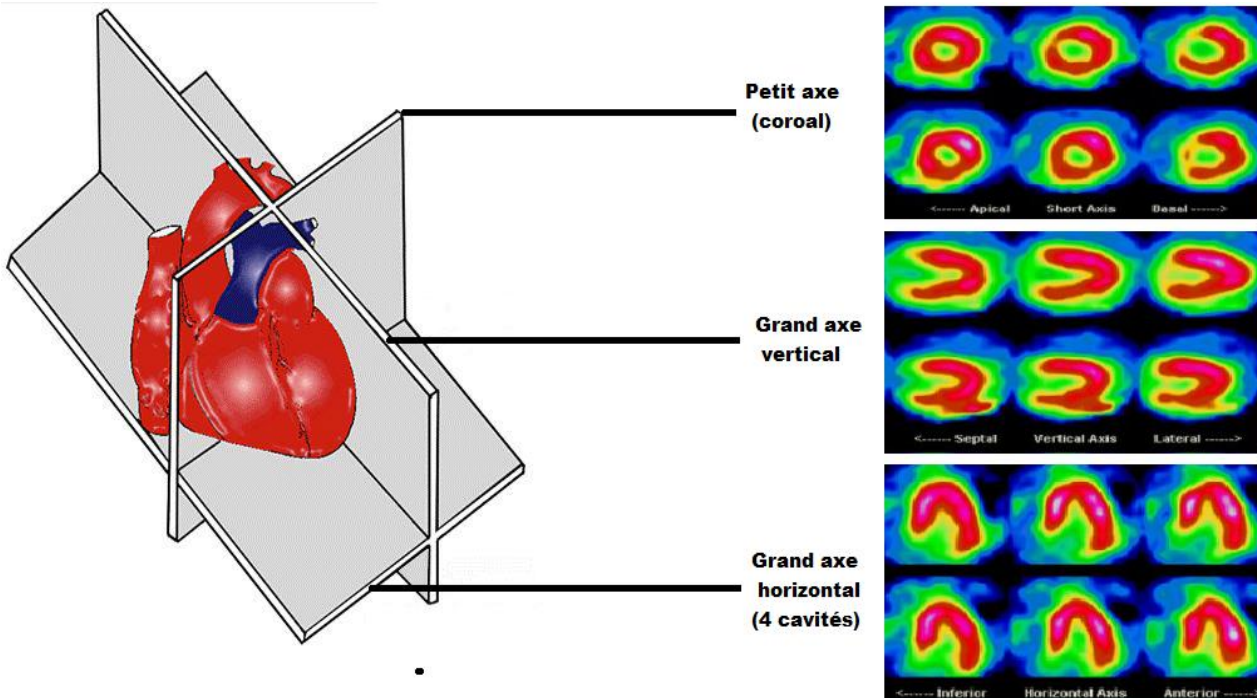


Figure 12 : Les trois axes du coeur étudiés en scintigraphie

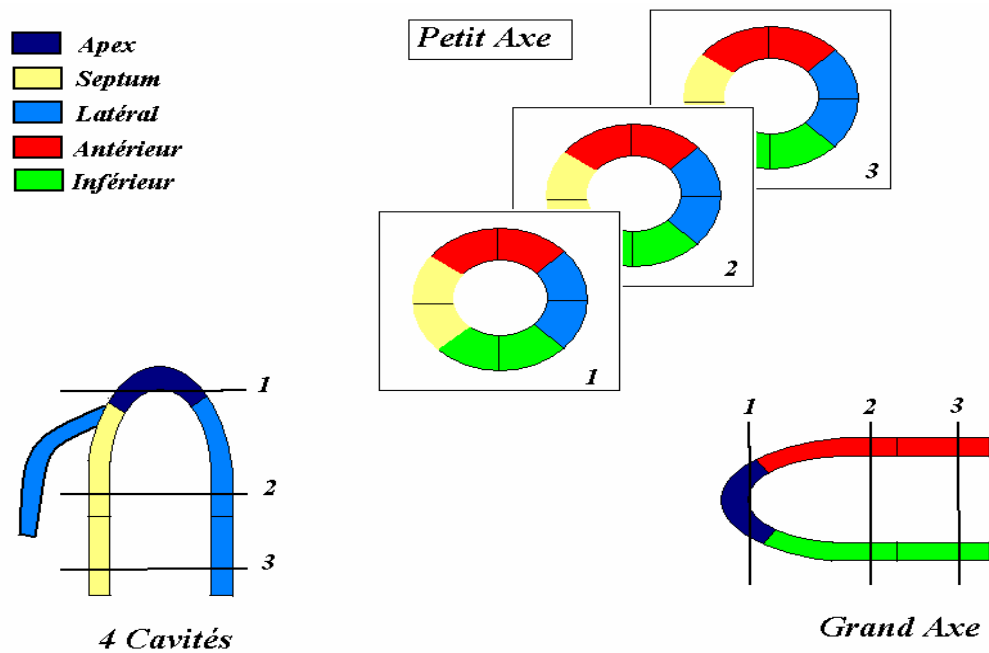








Figure 13 : segmentation des parois myocardiques

➤ 3 aspects fondamentaux en SPECT :

Stress	Repos	Aspects scintigraphiques
		Perfusion normale
		Hypofixation réversible au repos == Ischémie
		Hypofixation irréversible au repos == Nécrose

Quantification des anomalies perfusionnelles :

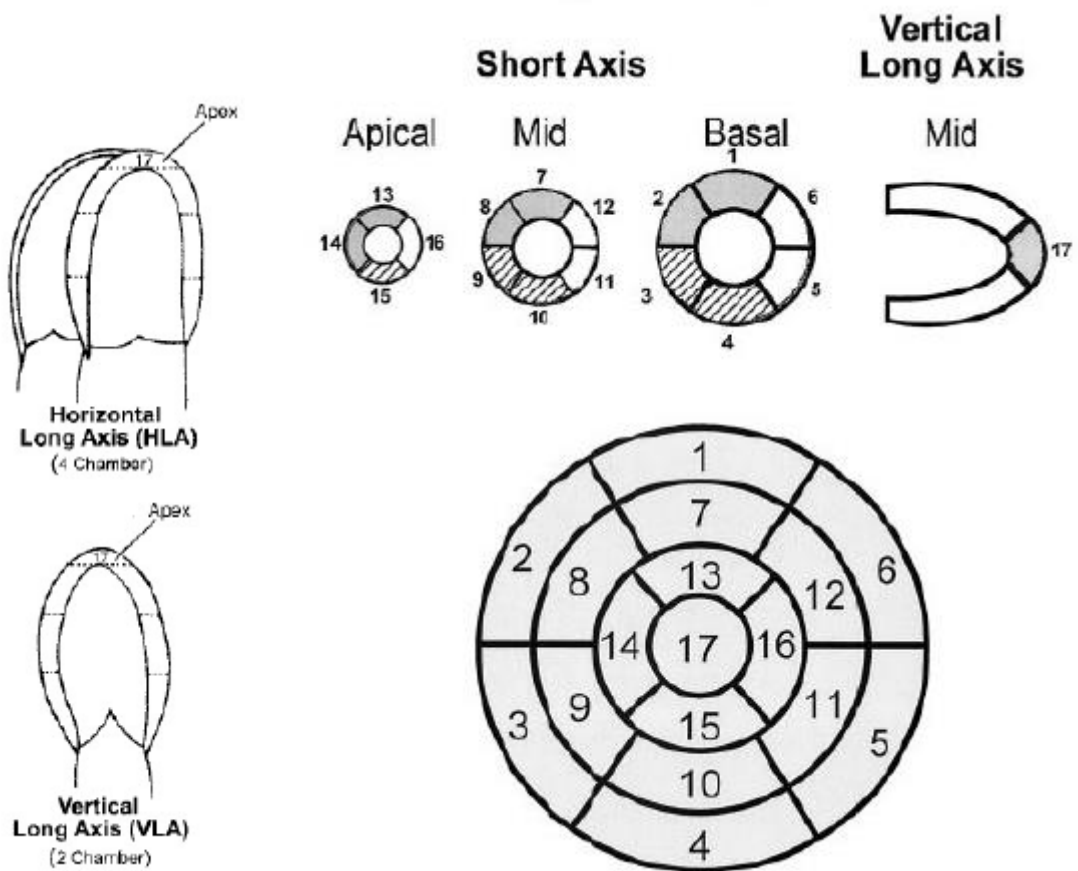


Figure 14 : illustration de la segmentation des parois myocardiques selon le modele à 17 segments

Description des anomalies de la perfusion :

Les anomalies de la perfusion devraient toujours être caractérisées :

- par leur localisation sur les différentes parois du ventricule gauche (parois antérieure, latérale, inférieure, septale et l'apex),
- par leur sévérité (profondeur, étendue),
- par la présence ou l'absence d'une amélioration nette de la fixation entre les images de stress et de repos (réversibilité),
- et enfin, pour les anomalies irréversibles, par la présence ou l'absence d'un niveau de fixation témoignant d'une viabilité résiduelle (ce seuil est aux environs de 50%).

Pour évaluer les anomalies de perfusion, il est préférable d'utiliser une méthode de semi quantification visuelle. Une méthode d'analyse totalement automatisée peut être utilisée en complément, mais ne doit pas se substituer à l'analyse visuelle semi-quantitative

Analyse semi-quantitative visuelle :

Il est conseillé de ne prendre en compte que les anomalies franches et évidentes de la perfusion, et il faut alors exclure les anomalies mineures (fixation supérieure à 75 %) et certaines diminutions physiologiques de la fixation que l'on peut observer :

- dans la portion proximale du septum inter-ventriculaire (région du septum membraneux),
- dans le territoire postéro-basal pour les acquisitions effectuées en décubitus dorsal et chez les patients de sexe masculin,
- dans la région antéro-apicale chez les femmes, en fonction du morphotype des patientes.

L'étendue d'une hypofixation peut être considérée comme étant limitée si elle ne dépasse pas 2 segments/17, moyenne entre 2 et 4 segments/17 et large lorsqu'elle dépasse 4 segments/17.

Il est aussi possible d'évaluer les anomalies de perfusion à l'aide d'un système de score combinant étendue et sévérité des anomalies de fixation. Cette évaluation quantitative à l'avantage d'être plus objective et reproductible mais

elle requiert que le médecin nucléaire soit formé dans la manipulation de ce type d'outils.

Analyse des tomographies synchronisées à l'ECG :

L'emploi d'un logiciel de détection des contours est recommandé, mais l'analyse doit avant tout être visuelle. Plusieurs logiciels validés sont actuellement commercialisés.

Deux paramètres doivent être analysés :

- la cinétique pariétale, qui correspond à l'amplitude du mouvement des parois pendant la contraction,
- l'épaississement pariétal en systole, qui est évalué en fonction de l'augmentation de l'activité pariétale pendant la contraction (effet de volume partiel).

Il faut noter que, normalement, la cinétique et l'épaississement des parois du VG paraissent moins marqués à la base du ventricule gauche, que dans les régions médio-ventriculaire et apicale.

Un segment akinétique peut être défini par une absence de cinétique et d'épaississement pariétal et un segment hypokinétique, par une diminution de la cinétique et de l'épaississement pariétal.

Artefacts

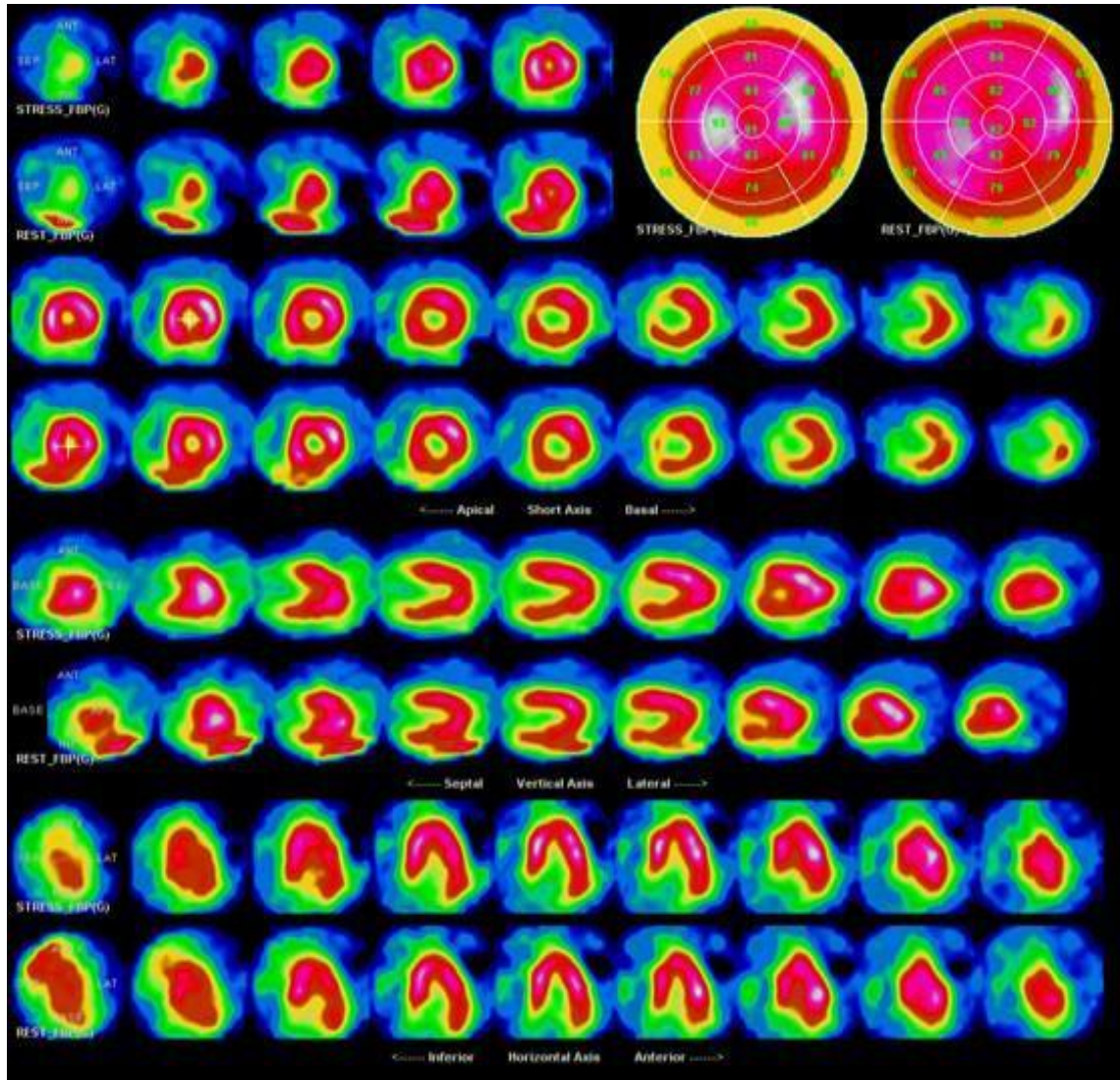
Il faut chercher les artefacts sur les images brutes, leur dépistage est impératif pour éliminer les faux positifs et les faux négatifs

Les artefacts le plus souvent rencontrés sont en rapport avec :

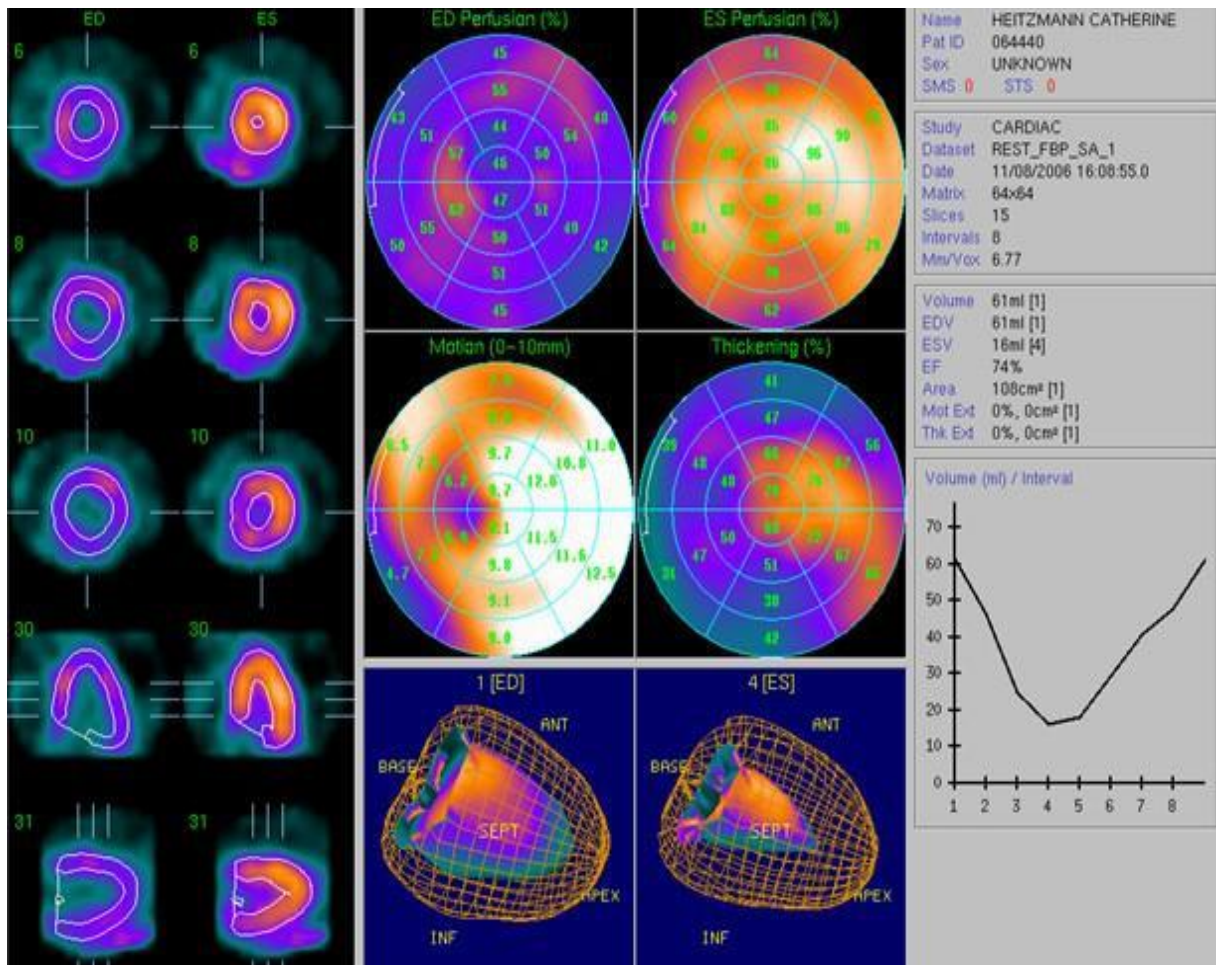
- Le mauvais réglage de l'appareillage : homogénéité, centre de rotation, réglage identique des 2 têtes
- Le déplacement du cœur vers le haut qui engendre une hypoactivité inférieure et septale
- Le mouvement du patient pendant l'acquisition
- Les artefacts d'atténuation de la paroi antéro-latérale chez la femme, de la paroi latérale chez l'obèse, et de la paroi inférieure par la superposition avec le diaphragme et le foie.

- Le bloc de branche gauche complet qui entraîne des hypofixations antérieure et septale. L'utilisation du dipyridamole permet d'en réduire l'importance. De même, en cas de rythme électro-entraîné permanent (pace maker) ou en présence de pré excitation paraseptale droite (syndrome de Wolf Parkinson White), les vasodilatateurs sont préférables à l'épreuve d'effort standard.
- Les faux négatifs sont dus à une épreuve d'effort sous-maximale ou aux lésions tritronculaires équilibrées, du fait de la réduction du flux sanguin dans tous les territoires vasculaires.

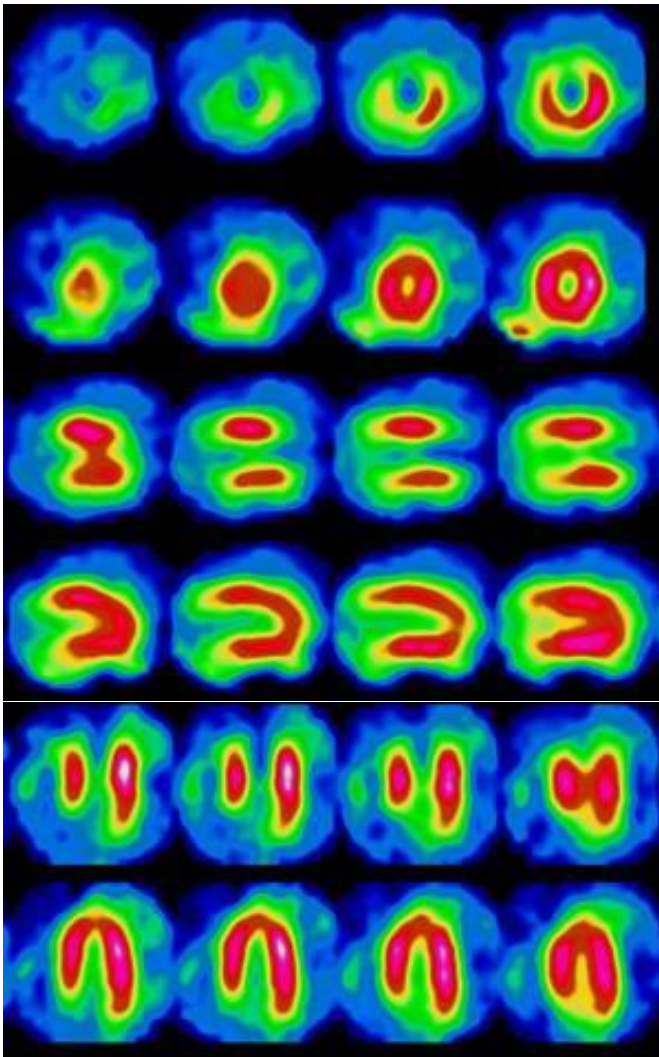
ICONOGRAPHIES



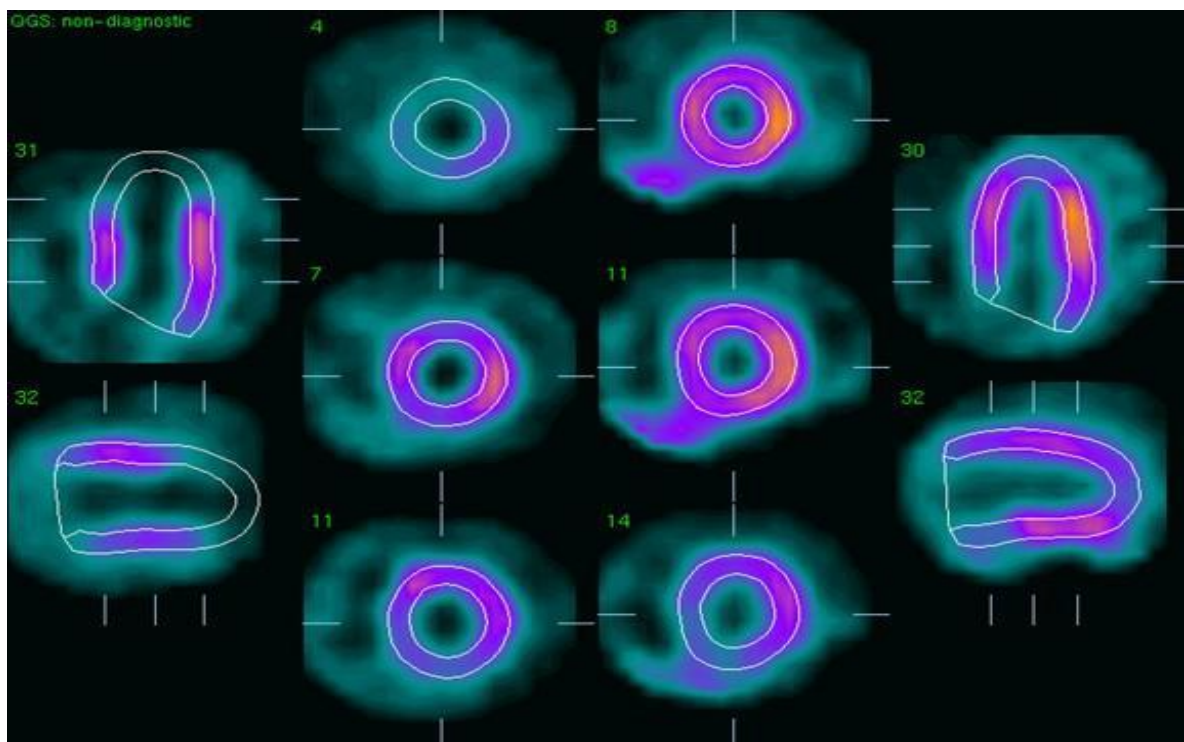
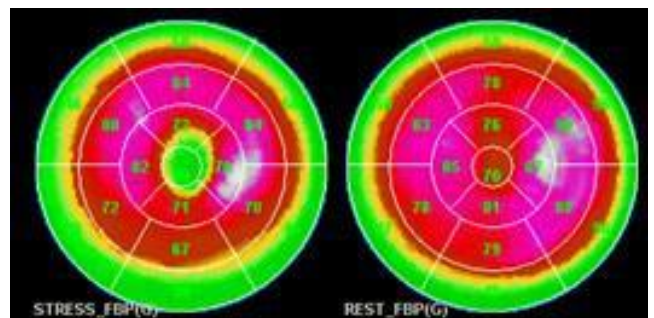
Aspect normal d'une scintigraphie myocardique



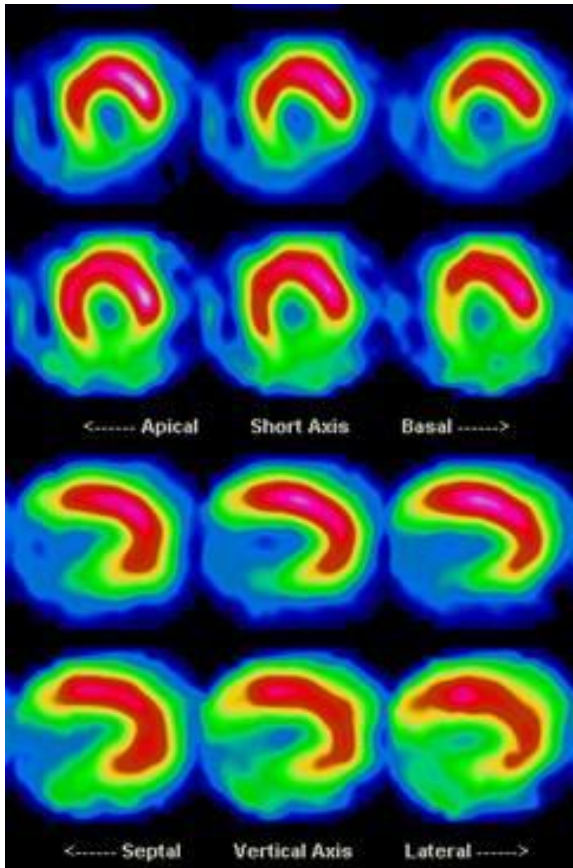
Aspect normal du Gated SPECT



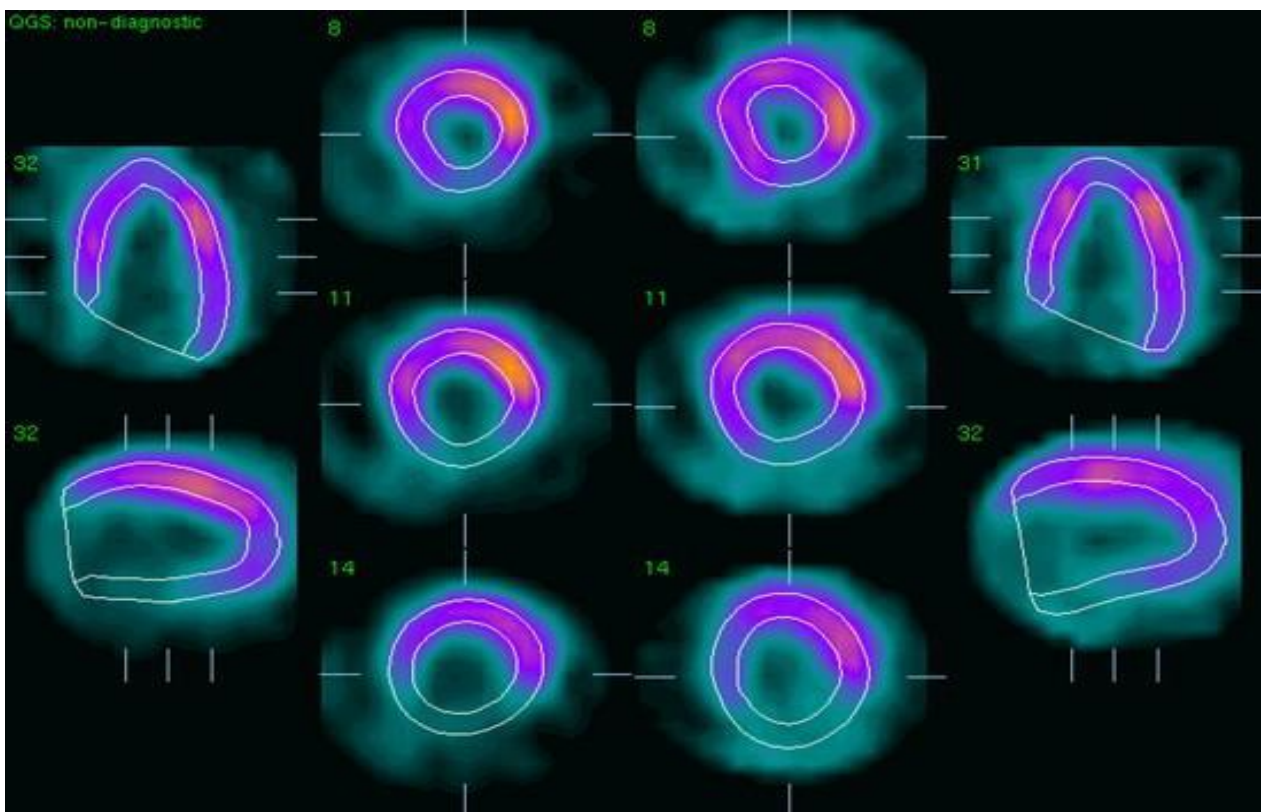
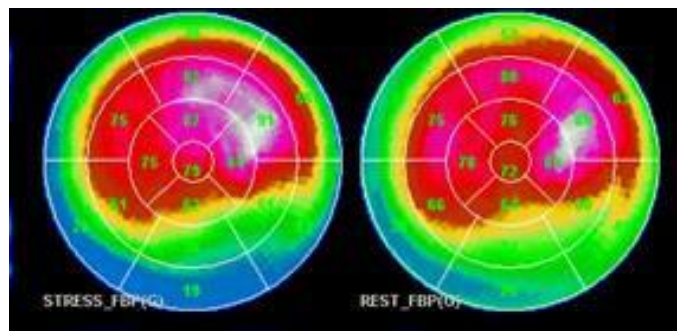
Aspet scintigraphique en faveur d'une ischémie myocardique dans le territoire apical



Aspect d'une ischémie apicale au gated SPECT



Aspect scintigraphique de
 séquelles de nécrose dans le
 territoire inférieur



Aspect de nécrose en inférieure au gated SPECT

IV.IV. Scintigraphie myocardique de viabilité :

La viabilité d'un segment myocardique est définie le plus souvent comme une amélioration ou une normalisation de la cinétique après un geste de revascularisation c'est-à-dire une dysfonction myocardique chronique susceptible de récupérer une fonction normale après revascularisation. Cette définition reflète le pourcentage de myocytes vivants dans ce segment (La viabilité des myocytes = La capacité à produire de l'ATP).

Il ne s'agit pas d'un phénomène physiopathologique mais d'une définition a posteriori confirmant le succès de la revascularisation puisque cette dernière n'entraîne aucun bénéfice en ce qui concerne la survie par rapport au traitement médical si les territoires ne sont pas viables.

La dysfonction ventriculaire gauche dans la cardiopathie ischémique peut être due à une nécrose étendue et/ou à un myocarde hibernant. Ce dernier est la conséquence d'une perfusion suffisante pour maintenir un certain degré de viabilité des myocytes, mais insuffisante pour assurer une contraction myocardique correcte. En cas de rétablissement de la perfusion, la fonction systolique devrait s'améliorer dans les zones hibernantes.

La scintigraphie et la TEP ont la capacité d'évaluer l'intégrité de la membrane cellulaire, la perfusion et le métabolisme ; elles permettent de déterminer l'étendue et la probabilité de récupération fonctionnelle d'un territoire nécrosé par le niveau de fixation du traceur (Un territoire apparaît viable si sa fixation atteint au moins 50% de l'intensité de fixation maximale). Elles ont été les premières à jouer un rôle dans la détection de la viabilité.

Intérêt de l'étude de la viabilité myocardique :

Le but est d'estimer la nécessité de la mise en place d'un geste de revascularisation coronaire (pontage, dilatation, stent).

Indications :

- La recherche de viabilité myocardique chez un patient éligible à une revascularisation : Une recherche de viabilité s'impose chez les patients présentant une dysfonction ventriculaire gauche sévère (FEVG < 35%), secondaire à une maladie coronaire chronique, sans infarctus récent (<1 mois) et sans angor (candidats à la coronarographie).

- L'estimation de l'étendue du territoire nécrosé

Les techniques de l'imagerie fonctionnelle permettant d'étudier la viabilité myocardique :

a- La scintigraphie au Thallium-201 (repos-redistribution) :

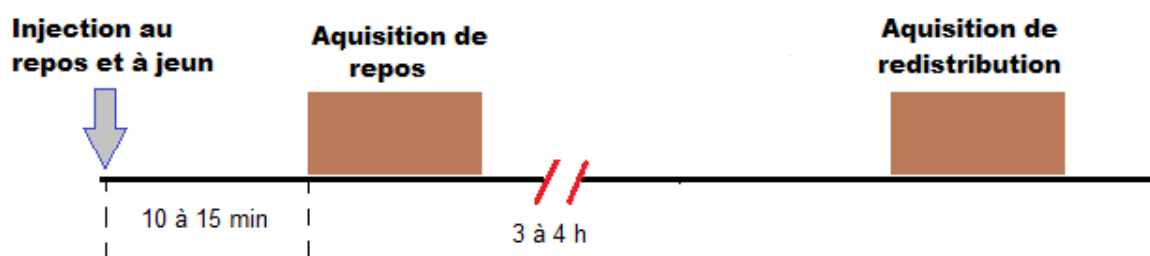
Préparation du patient : aucune pour le thallium.

- Il faut s'assurer de l'absence de grossesse qui représente une contre-indication relative.

Protocole :

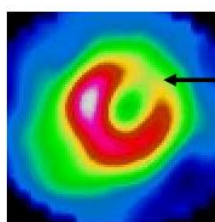
L'examen se déroule en 2 temps après l'injection intraveineuse du thallium 201 :

- Une acquisition scintigraphique initiale au repos
- Une seconde acquisition toujours au repos 3 à 4 heures après la première c'est-à-dire après la redistribution du radiotraceur, sans nouvelle injection de thallium.

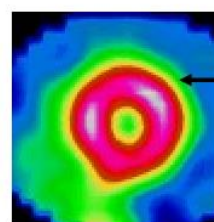


Interprétation :

- Le tissu myocardique est considéré comme viable si l'hypoperfusion dans l'acquisition scintigraphique initiale est réversible après la redistribution.



Hypofixation focale du Thallium



Redistribution

- La persistance de l'hypoperfusion dans la seconde acquisition signifie que le tissu myocardique n'est pas viable.

Limites : Une fixation du thallium inférieure à 50% de l'activité maximum dans l'examen peut ne pas toujours exclure une viabilité.

b- La scintigraphie myocardique au Tc-MIBI sous dérivés nitrés :

Dans ce cas, L'étude de viabilité myocardique est une analyse de la perfusion myocardique au repos, sous traitement habituel et après administration de dérivés nitrés.

Elle permet de déterminer la probabilité de récupération fonctionnelle d'un territoire nécrosé par le niveau de fixation du traceur après la vasodilatation assurée par l'administration de dérivés nitrés , déterminant ainsi l'étendue du territoire nécrosé.

Préparation : aucune

- Patient non à jeun
- Pas d'arrêt de traitement : le traitement anti-angineux doit être poursuivi
- Contre-indications : Grossesse / L'allaitement doit être arrêté 24h après l'examen.

Protocole:

- Injection intraveineuse du Tc-MIBI.
- Acquisition scintigraphique initiale au repos.
2 à 3h après :
- Administration de dérivés nitrés sous surveillance tensionnelle + Injection intraveineuse du Tc-MIBI 5 minutes après.
- Une deuxième acquisition des images 30 à 60 min après, toujours au repos.

Interprétation :

- L'hypoperfusion initiale s'améliore après l'administration des dérivés nitrés pour les tissus myocardiques viables (Un territoire apparaît viable si sa fixation atteint au moins 50% de l'intensité de fixation maximale après administration de dérivés nitrés).

IV.V. La tomographie par émissions des positons (TEP):

-Elle est considérée comme une technique de référence pour l'étude de la viabilité myocardique notamment lorsque la dysfonction cardiaque est très sévère (l'étude du métabolisme glucidique du myocarde renseigne sur sa viabilité et la cible diagnostique sera donc le tissu myocardique viable consommant du glucose mais hypoperfusé), cependant elle reste très peu utilisée en pratique clinique.

On note en plus son avantage par rapport à la scintigraphie conventionnelle dans l'imagerie de perfusion chez les sujets obèses.

Préparation :

- La réalisation de l'examen au 18 FDG nécessite un jeun d'au moins 6 heures puis une introduction de 50 à 75g du glucose orale 45 à 60 minutes avant l'examen, avec une mesure de la glycémie avant l'injection du radiotraceur :
- Si la glycémie est inférieure à 1.40mg/dl ; On injecte le 18FDG.
- Si la glycémie est supérieure à 1.40mg/dl ; une insulinothérapie en fonction de la valeur de la glycémie est envisagée avant l'injection du 18FDG.
 - Une bonne hydratation préalable du patient est indispensable.
 - Un repos musculaire depuis au moins 30 minutes avant l'injection du 18FDG pour éviter des fixations musculaires qui peuvent être intenses notamment dans la région cervicale.

Au besoin, une administration de benzodiazépines peut être utile, à la fois comme anxiolytique et comme myorelaxant. Ce repos doit être maintenu de façon très stricte durant l'heure entre l'injection et la réalisation des images.

Protocole :

- La première acquisition se fait suite à l'injection intraveineuse du 13N-amoniaque pour étudier la perfusion myocardique au repos +/- après un stress pharmacologique.
- La deuxième acquisition est réalisée au repos 45 à 60 minutes suite à l'injection intraveineuse stricte du 18FDG.

Interprétation :

- Le myocarde nécrosé (match) ne fixe ni l'ammoniac ni le 18 FDG.
- Le myocarde viable (mismatch) fixe fortement le 18FDG mais ne fixe pas l'ammoniac = zones hypoperfusées avec un métabolisme conservé.

- Sachant que la qualité des images est altérée chez les diabétiques du fait des anomalies du métabolisme du glucose.

IV.VI. LA VENTRICULOGRAPHIE ISOTOPIQUE ou SCINTIGRAPHIE CAVITAIRE CARDIAQUE :

Intérêt de l'examen :

- L'évaluation de la fonction contractile ventriculaire gauche.
- La synchronisation de l'acquisition à l'ECG permet d'obtenir des informations sur les fonctions systolique et diastolique globales et régionales, le volume ventriculaire gauche et la cinétique segmentaire du VG.
- La détermination du FEVG qui représente le principal paramètre obtenu par cet examen.
- C'est l'examen de choix pour le suivi des patients sous traitement cardiotoxique.

Indications :

- Le suivi des chimiothérapies cardiotoxiques.
- Le bilan d'une insuffisance cardiaque gauche et/ou droite.
- Le bilan fonctionnel de cardiopathies.
- L'analyse de troubles du rythme ventriculaires droit ou gauche...

Contre-indications:

- Grossesse
- Allaitement : interruption de 24h

Radiotracteur :

- Technétium 99m, après administration de pyrophosphate d'étain qui est un agent réducteur du pertechnétate servant à fixer le technétium sur les hématies. Il s'agit donc d'un Marquage des hématies in vivo par le technétium 99m.

Principe :

Après réduction par l'étain préalablement fixé sur les hématies, le technétium se lie à la chaîne β de la globine. On obtient ainsi un marquage des hématies circulantes.

L'acquisition scintigraphique est couplée à un enregistrement électrocardiographique qui permet d'échantillonner la systole cardiaque en 8 ou 16 intervalles temporels. Autant d'images scintigraphiques sont acquises, correspondant à chaque échantillon du cycle cardiaque (chaque fois qu'un photon γ est détecté, l'ECG est lu de manière à affecter ce signal à l'une des 8 ou 16 images scintigraphiques correspondants aux divers échantillons du cycle cardiaque).

Des techniques de traitement d'image permettent alors de quantifier l'intensité régionale et le synchronisme de l'éjection systolique ventriculaire.

Préparation :

- Un délai minimal d'une semaine entre le dernier traitement cardiotoxique et la ventriculographie isotopique.
- Pas de jeun nécessaire.
- Pas de traitement à arrêter.

Protocole :

- Injection intraveineuse de pyrophosphate d'étain, suivie 30 minutes plus tard de l'injection de Technétium 99m.
- Acquisition scintigraphique au repos 15 minutes après, chez le patient immobile en décubitus dorsal, en mode planaire et tomographique, de façon synchronisée à l'ECG.

Interprétation :

- L'analyse des données planaires permet une mesure reproductible de la fraction d'éjection systolique gauche de repos et à l'équilibre.
- Les acquisitions tomographiques permettent une analyse détaillée de la fonction systolique, des volumes ventriculaires, des débits, d'éventuelles dyskinésies ou hypokinésies aussi bien sur le ventricule droit que gauche.

Apports :

La ventriculographie isotopique planaire est l'examen de référence en matière de suivi de la FEVG, en particulier en cas de traitement cardiotoxique (chimiothérapies à base d'anthracyclines par exemple).

La tomo-ventriculographie isotopique permet une étude fonctionnelle complète de la fonction cardiaque, tant globalement qu'à l'échelle de petits échantillons de surface ventriculaire.

Limites :

Comme toutes les techniques synchronisées à l'ECG, cet examen devient long et peu pertinent en cas de trouble du rythme important.

V. INTERET DIAGNOSTIQUE ET PRONOSTIQUE DE LA SCINTIGRAPHIE EN CARDIOLOGIE :

- La scintigraphie présente actuellement une grande importance et de nombreuses indications en cardiologie. Son intérêt est résumé dans de nombreuses indications concernant la maladie coronaire en particulier.

1. La scintigraphie myocardique a une valeur dans **le diagnostic de la maladie coronaire** dans les cas suivants :

- ✓ Chez les patients symptomatiques à risque intermédiaire ou élevé de coronaropathie.
- ✓ Chez les patients symptomatiques à risque faible de coronaropathie avec un ECG non interprétable et/ou des capacités d'effort limitées.
- ✓ Chez les patients asymptomatiques mais à risque élevé de coronaropathie : patients diabétiques, et/ou ayant plusieurs facteurs de

risque cardiovasculaires, et/ou ayant une atteinte vasculaire périphérique (Anévrisme aortique, artérite oblitérante des membres inférieurs, sténose carotidienne...), score d'Agatston supérieur ou égal à 400.

- ✓ Chez les patients asymptomatiques avec :
 - Apparition récente d'une insuffisance cardiaque avec dysfonction systolique.
 - Tachycardie ventriculaire.
 - élévation de la troponine non associée à un syndrome coronarien aigu.
- 2. Elle a également une valeur dans **la surveillance, l'évaluation du pronostic et la recherche des complications en cas d'une insuffisance coronarienne chronique connue** :
 - ✓ Evaluation du pronostic et du risque de survenue de complications cardiaques (infarctus, insuffisance cardiaque, décès d'origine cardiaque).
 - ✓ Diagnostic d'une ischémie myocardique suite à l'aggravation ou l'apparition de nouveaux symptômes.
 - ✓ Contrôle à distance d'une scintigraphie myocardique de perfusion en faveur d'une probabilité intermédiaire d'insuffisance coronarienne (un intervalle de 02 ans est conseillé).
 - ✓ Chez les patients ayant un score d'Agatston supérieur à 400, ou entre 100 et 400 avec un risque élevé d'insuffisance coronarienne.
 - ✓ Evaluation de l'efficacité d'un traitement médical ou de la revascularisation.
 - ✓ Evaluation du retentissement fonctionnel d'une sténose coronaire sur la perfusion myocardique.
- 3. **Après un infarctus du myocarde avec élévation du segment ST**, la scintigraphie myocardique peut être indiquée pour :
 - ✓ L'évaluation de la taille de la nécrose myocardique et du myocarde viable résiduel.
 - ✓ La recherche d'une ischémie myocardique résiduelle à distance d'un IDM.

- ✓ L'évaluation du pronostic et du risque de survenue de complications cardiaques (un autre infarctus, insuffisance cardiaque, décès d'origine cardiaque).
 - ✓ L'évaluation de l'efficacité du traitement (Angioplastie, pontage, médicaments anti-angineux...).
4. **Après un syndrome coronarien aigu sans élévation du segment ST**, la scintigraphie myocardique a une valeur dans :
- ✓ Le diagnostic d'une ischémie myocardique.
 - ✓ L'évaluation de la sévérité et de l'étendue de l'ischémie myocardique chez les patients ayant une angine de poitrine non contrôlée médicalement mais avec un diagnostic incertain de l'insuffisance coronarienne à l'ECG.
 - ✓ L'évaluation du retentissement fonctionnel d'une sténose coronaire sur la perfusion myocardique.
 - ✓ L'identification de la sténose coronaire la plus significative sur le plan fonctionnel avant la réalisation d'une angioplastie coronaire.
- En dehors de la maladie coronaire, la scintigraphie est indiquée aussi en cas d'**insuffisance cardiaque**, elle permet dans ce cas :
- ✓ Le diagnostic étiologique de l'insuffisance cardiaque.
 - ✓ L'évaluation de la viabilité myocardique avant un geste de revascularisation.
 - ✓ La prédiction de l'amélioration de la fonction du VG chez l'insuffisant cardiaque après un geste de revascularisation.
- La scintigraphie myocardique fait partie aussi du **bilan pré-opératoire** d'une chirurgie non cardiaque à haut risque cardiovasculaire (chirurgie urologique, vasculaire, thoracique, orthopédique...) chez les patients ayant plusieurs facteurs de risque cardiovasculaires et un risque intermédiaire ou élevé d'insuffisance coronaire.
- Ses indications sont discutées aussi dans les situations suivantes :
- ✓ Le bilan étiologique d'une cardiomyopathie dilatée.

- ✓ La recherche d'une atteinte coronaire et l'évaluation du pronostic après une transplantation cardiaque.
- ✓ La recherche d'une atteinte cardiaque au cours d'une sarcoïdose, en présence des signes cliniques et/ou paracliniques faisant suspecter une atteinte cardiaque.

Approche pratique

I. Problématique et objectif

*La fréquence de la maladie coronaire ne cesse d'augmenter dont les différents facteurs de risques cardio vasculaire sont incriminés ; pour cela notre étude consiste à **évaluer la corrélation entre la sévérité de la maladie coronaire et les FDR cardio-vasculaires (Age, sexe, HTA, diabète, dyslipidémie, hérédité coronaire).***

II. Matériels et méthodes

1- Type de l'étude :

Nous avons mené une étude analytique transversale étalée sur une période de 2 mois, du 01 Décembre 2021 au 31 Janvier 2022 au niveau du service de la médecine nucléaire au CHU Tlemcen.

2- Taille de l'échantillon

Notre série comporte 57 patients ayant bénéficié d'une scintigraphie myocardique au niveau du service de médecine nucléaire du CHU Tlemcen ;

3- Critères de sélection

Nous avons inclus dans notre population tous les patients ayant bénéficié d'une tomoscintigraphie myocardique, adressés par différents cardiologues de l'ouest algérien.

4- Récolte et analyse des données :

Nous avons réalisé notre étude en se basant sur des fiches de renseignements des patients comportant les paramètres suivants :

- L'indication à la scintigraphie,
- Le profil du patient (Age, sexe,..),
- Les facteurs de risques cardio-vasculaires (à savoir : HTA ; diabète ; dyslipidémie ; notion de coronaropathie familiale),
- La symptomatologie clinique,
- Les différentes données électrocardiographiques et écho cardiographiques,
- Les résultats de la coronarographie si faite,

- Le protocole d'examen
- Les résultats obtenus y compris la FE et l'étendu de l'atteinte si présente.

5- Critères de jugement :

Les principaux FDR qu'on a pris pour étudier la corrélation avec la sévérité de la maladie coronaire étaient :

- Age
 - Sexe
 - Diabète type 2
 - Dyslipidémie
 - HTA
 - Hérité coronaire
- Une FE inférieure ou égale à 40% était considéré comme une atteinte sévère.
 - Une ischémie étendue sur plus de 10% de la surface du VG était considérée comme sévère.

III. Résultats

1- Caractéristiques générales de la population :

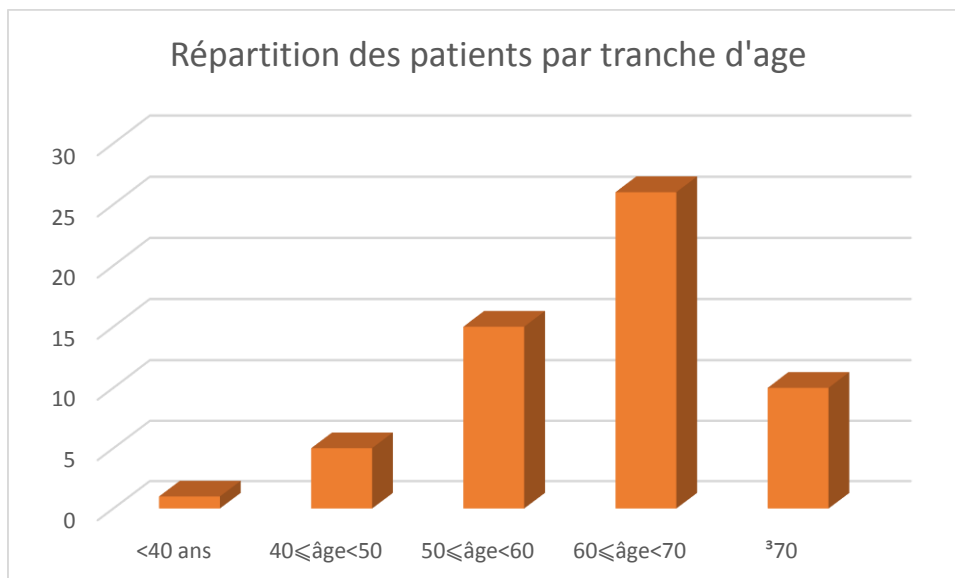
- **Age :**

La moyenne d'âge de nos patients était de 62 ans avec des extrêmes allant de 39 à 79 ans.

89.4% des patients étaient âgés de plus de 50 ans soit 51 patients.

Tranches d'âge des patients

	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage valide	Pourcentage cumulé
<40 ans	1	1,8	1,8	1,8
40≤âge<50	5	8,8	8,8	10,5
50≤âge<60	15	26,3	26,3	36,8
60≤âge<70	26	45,6	45,6	82,5
≥70	10	17,5	17,5	100,0
Total	57	100,0	100,0	



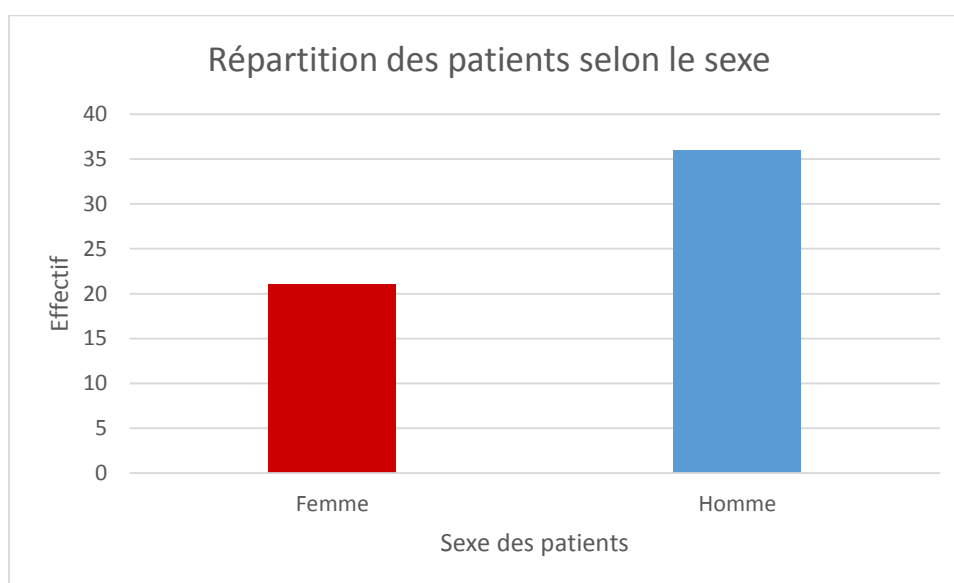
- **Sexe**

Ces patients se répartissent en : 36 hommes et 21 femmes.

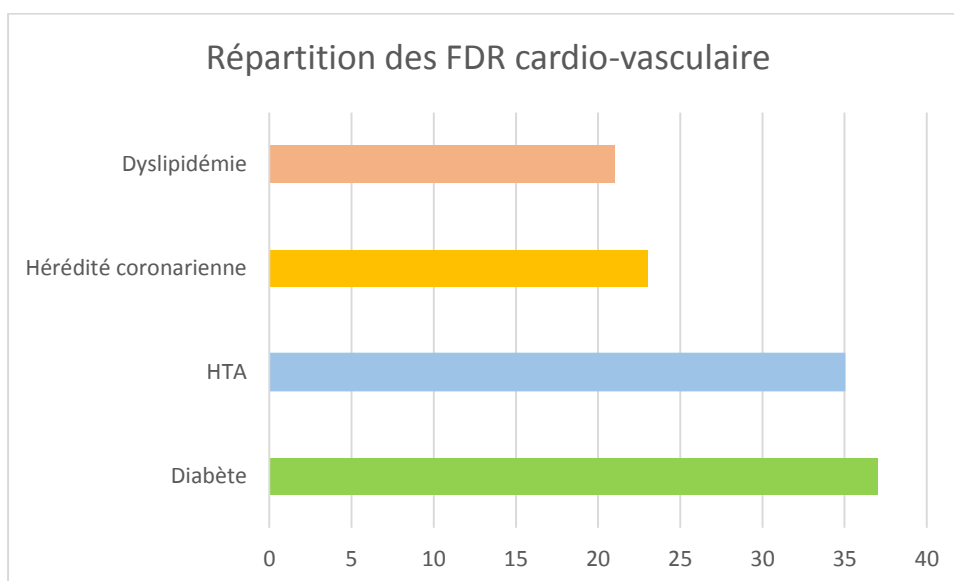
Le sexe ratio est de 1,7.

Sexe des patients

	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage valide	Pourcentage cumulé
Femme	21	36,8	36,8	36,8
Homme	36	63,2	63,2	100,0
Total	57	100	100	



2- Facteurs de risque cardio-vasculaire :



- **Diabète :**

Le diabète constitue le facteur de risque cardio-vasculaire le plus fréquent dans notre série, il touche 64.9 % de notre population, soit 37 patients.

Diabète				
	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage valide	Pourcentage cumulé
non diabétique	20	35,1	35,1	35,1
diabétique	37	64,9	64,9	100,0
Total	57	100,0	100,0	

- **HTA :**

L'HTA vient en deuxième position avec une prévalence de 61.4 %, soit 35 patients.

HTA				
	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage valide	Pourcentage cumulé
Non hypertendu	22	38,6	38,6	38,6
Hypertendu	35	61,4	61,4	100,0
Total	57	100,0	100,0	

- **Hérédité coronaire :**

La notion de coronaropathie familiale a été retrouvée chez 40.4 % de la population étudiée, soit 23 patients.

	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage valide	Pourcentage cumulé
absente	34	59,6	59,6	59,6
présente	23	40,4	40,4	100,0
Total	57	100,0	100,0	

- **Dyslipidémie :**

Une dyslipidémie a été objectivée chez 21 patients, soit 36.8 % de la population. Il s'agit d'une hypertriglycéridémie et/ou d'une hypercholestérolémie.

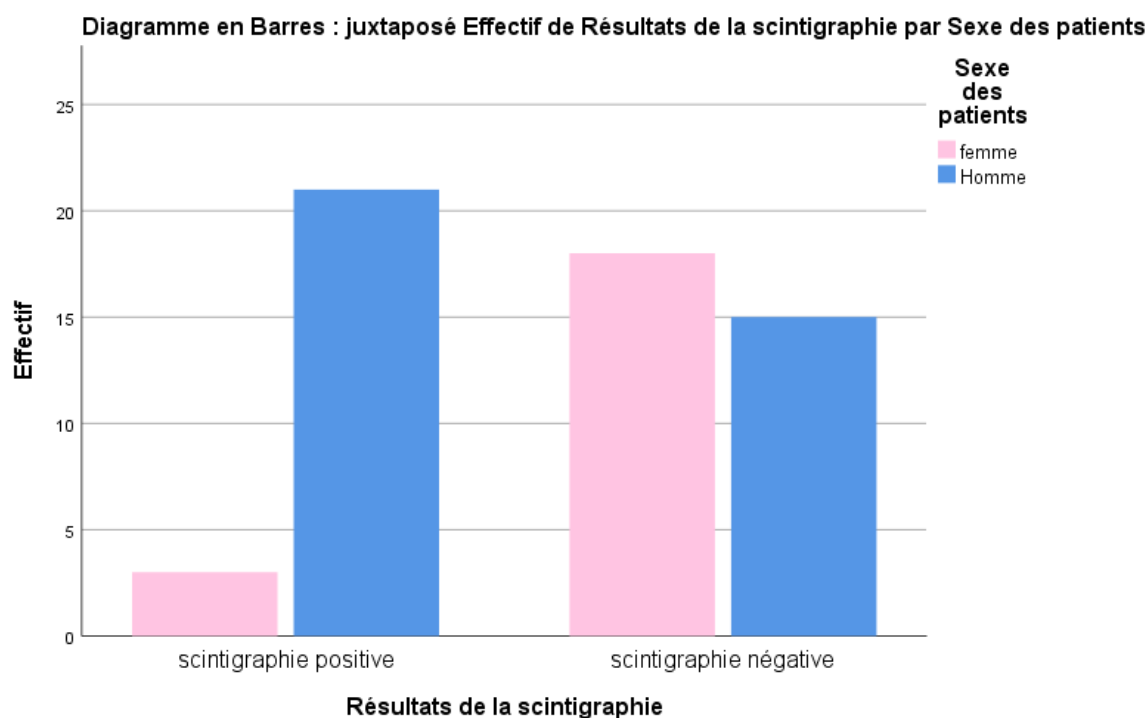
	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage valide	Pourcentage cumulé
absente	36	63,2	63,2	63,2
présente	21	36,8	36,8	100,0
Total	57	100,0	100,0	

3- Résultats de la scintigraphie myocardique :

La tomoscintigraphie myocardique a été jugée positive chez 24 patients (42.1 %) dont 21 patients de sexe masculin.

Par contre 33 patients (57.9%) avaient un aspect scintigraphique jugé normal.

	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage valide	Pourcentage cumulé
Scintigraphie +	24	42,1	42,1	42,1
Scintigraphie -	33	57,9	57,9	100,0
Total	57	100,0	100,0	



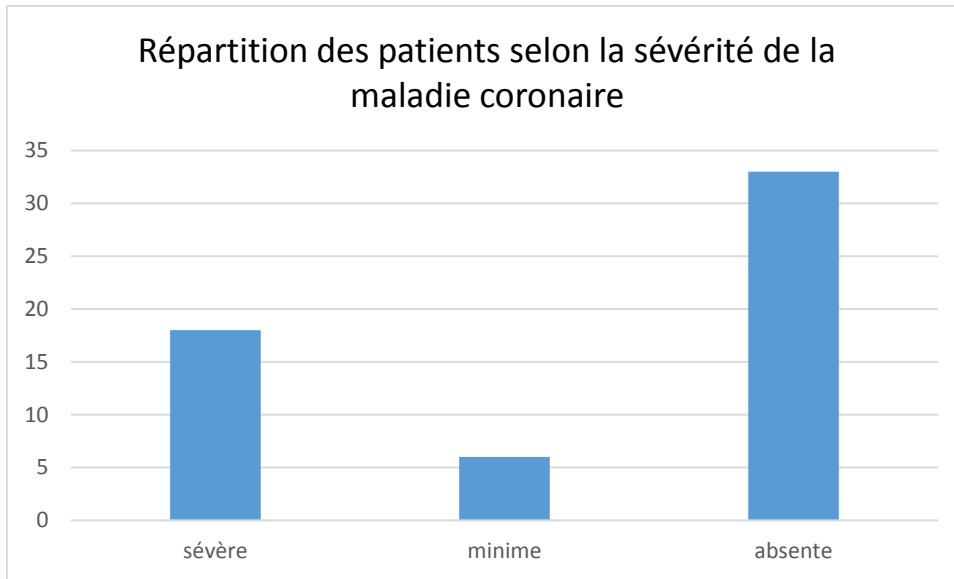
- **Sévérité de l'ischémie :**

La sévérité de la maladie coronaire est jugée par 2 paramètres préalablement cités (étendue et FEVG).

Sur les 24 patients présentant une scintigraphie positive ; 18 patients soit 75% ont une atteinte sévère (soit 31.5% de la population générale)

Sévérité de la maladie coronaire

		Fréquence	Pourcentage	Pourcentage valide	Pourcentage cumulé
Valide	sévère	18	31,6	31,6	31,6
	minime	6	10,5	10,5	42,1
	absente	33	57,9	57,9	100,0
	Total	57	100,0	100,0	



4- Répartition des atteintes sévères en fonction des différents FDR étudiés :

Tableau croisé Sévérité de la maladie coronaire* Tranches d'âge des patients

		Tranches d'âge des patients					Total
		<40 ans	40<âge<50	50<âge<60	60<âge<70	>70	
Sévérité de la maladie coronaire	sévère	1	1	6	9	1	18
	minime	0	0	1	4	1	6
	absente	0	4	8	13	8	33
Total		1	5	15	26	10	57

Diagramme en Barres : juxtaposé Effectif de Sévérité de la maladie coronaire par Tranches d'âge des patients

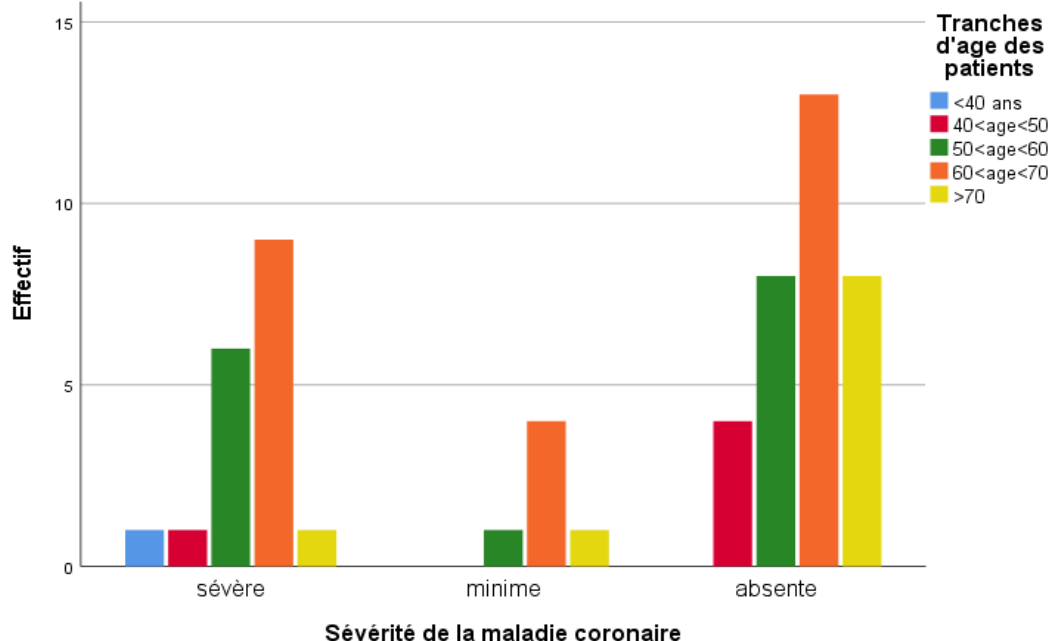


Tableau croisé Sévérité de la maladie coronaire * Sexe des patients

		Sexe des patients		Total
		femme	Homme	
Sévérité de la maladie coronaire	sévère	2	16	18
	minime	1	5	6
	absente	18	15	33
Total		21	36	57

Diagramme en Barres : juxtaposé Effectif de Sévérité de la maladie coronaire par Sexe des patients

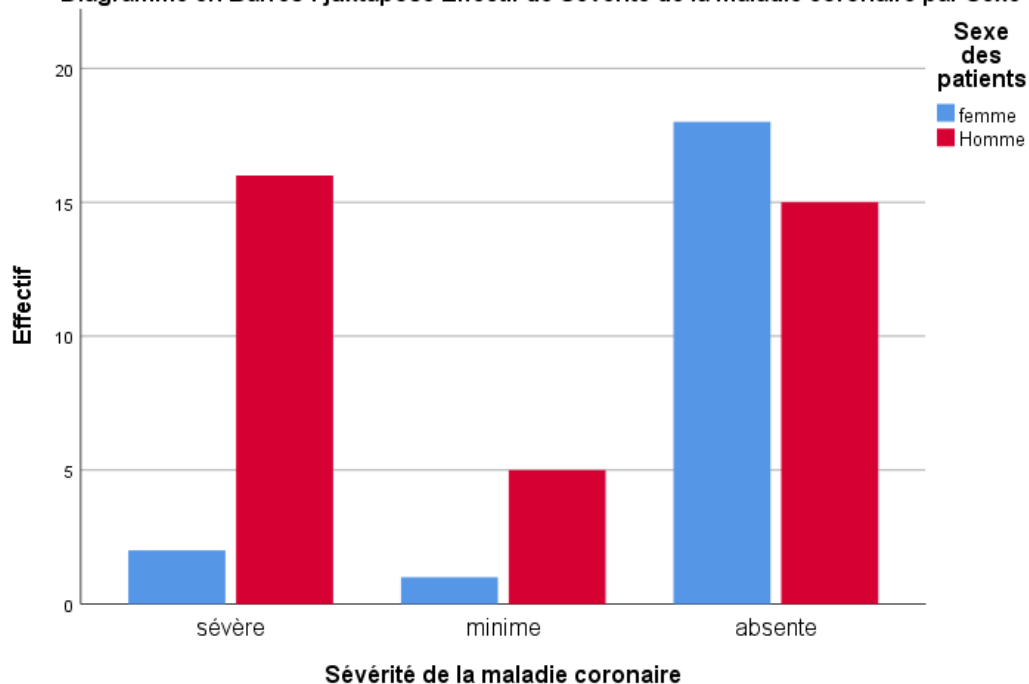


Tableau croisé Sévérité de la maladie coronaire * HTA

		HTA		Total
		non hypertendu	hypertendu	
Sévérité de la maladie coronaire	sévère	10	8	18
	minime	2	4	6
	absente	10	23	33
Total		22	35	57

Diagramme en Barres : juxtaposé Effectif de Sévérité de la maladie coronaire par HTA

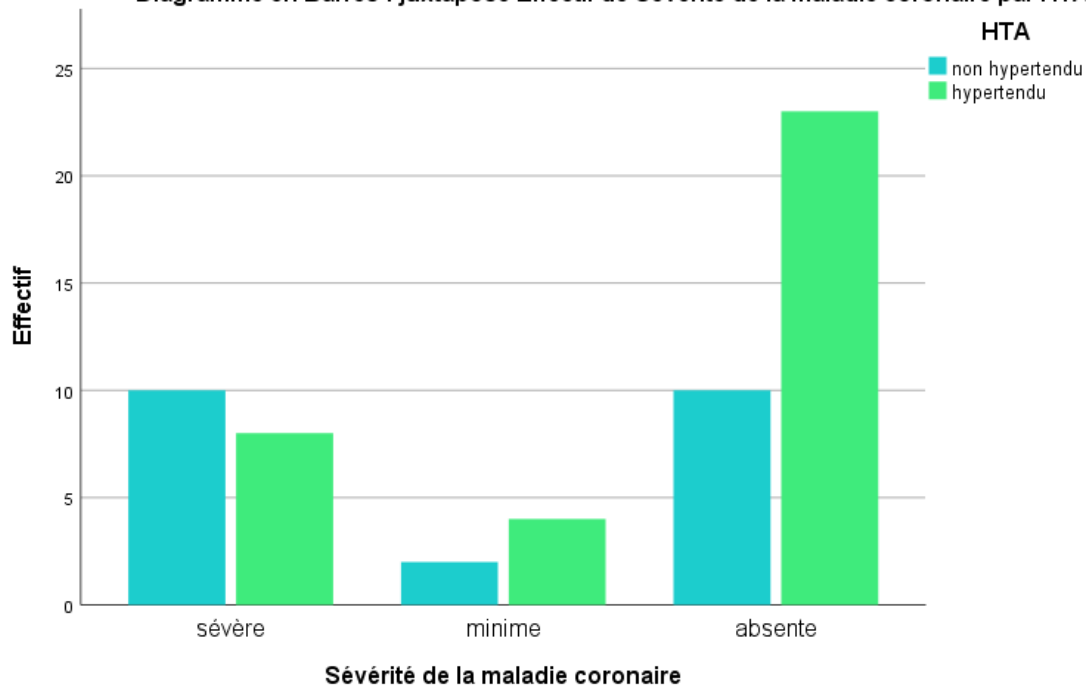


Tableau croisé Sévérité de la maladie coronaire * Diabète

		Diabète		Total
		non diabétique	diabétique	
Sévérité de la maladie coronaire	sévère	1	17	18
	minime	2	4	6
	absente	17	16	33
Total		20	37	57

Diagramme en Barres : juxtaposé Effectif de Sévérité de la maladie coronaire par Diabète

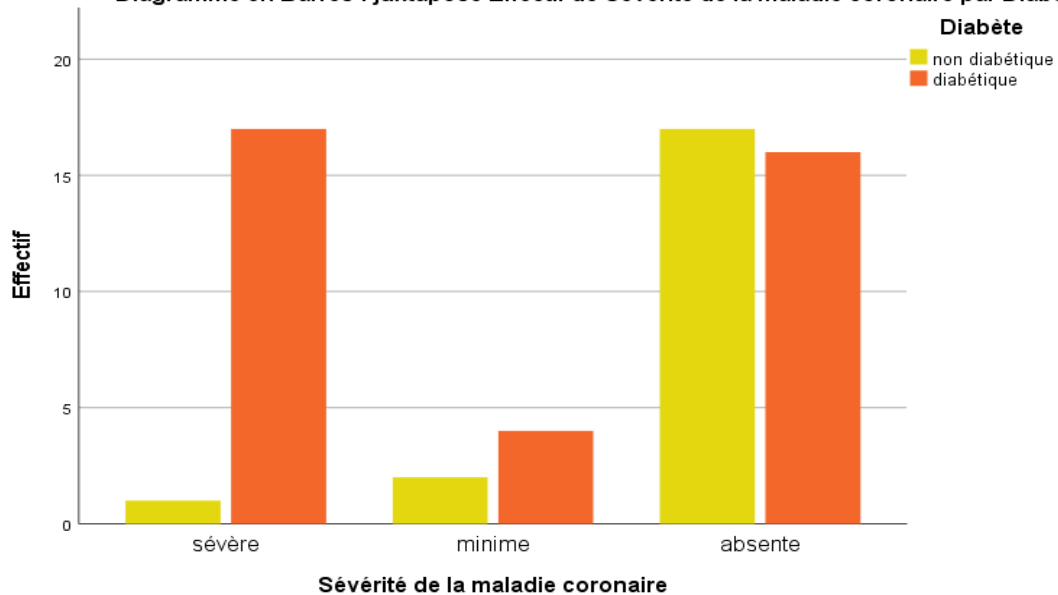


Tableau croisé Sévérité de la maladie coronaire * Dyslipidémie

		Dyslipidémie		Total
		absente	présente	
Sévérité de la maladie coronaire	sévère	7	11	18
	minime	3	3	6
	absente	26	7	33
Total		36	21	57

Diagramme en Barres : juxtaposé Effectif de Sévérité de la maladie coronaire par Dyslipidémie

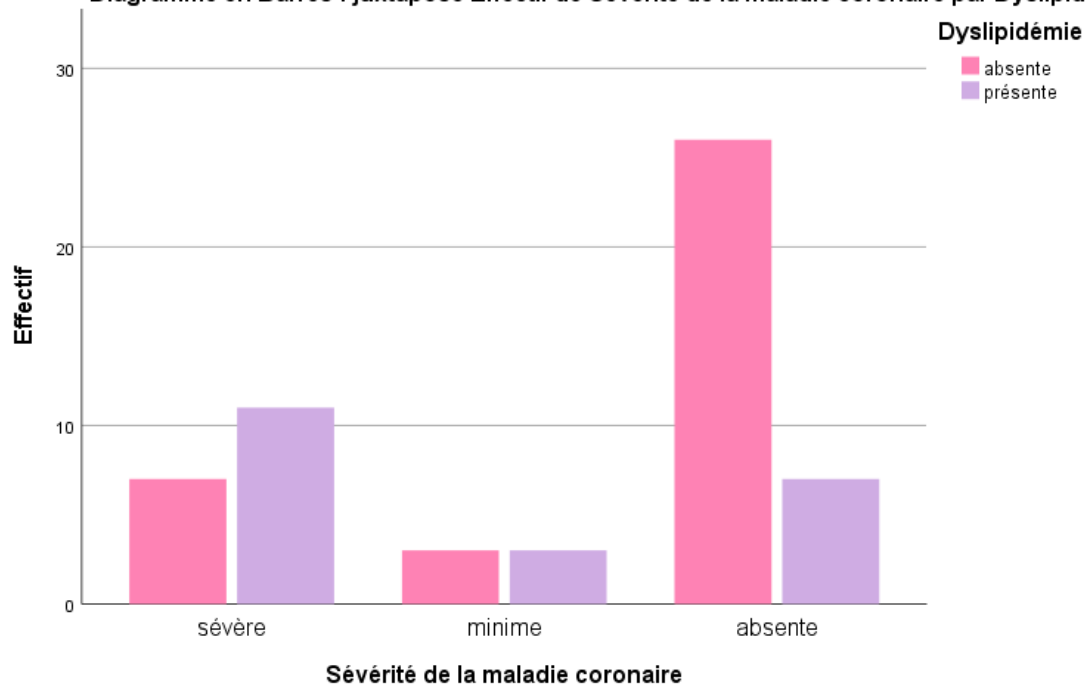
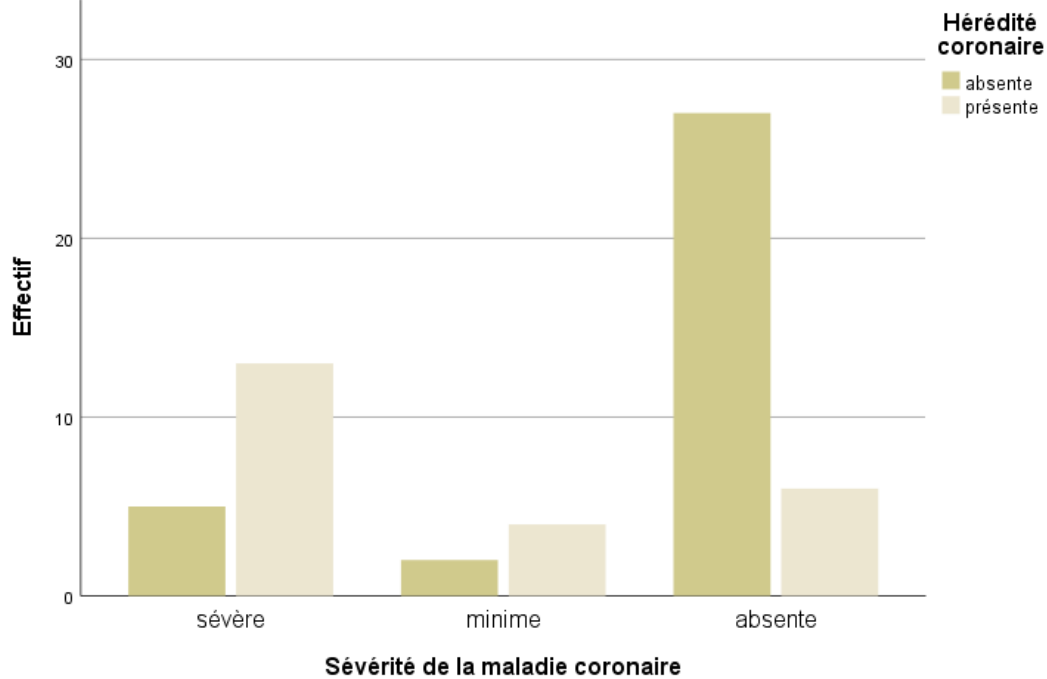


Tableau croisé Sévérité de la maladie coronaire * Hérité coronaire

		Hérité coronaire		Total
		absente	présente	
Sévérité de la maladie coronaire	sévère	5	13	18
	minime	2	4	6
	absente	27	6	33
Total		34	23	57

Diagramme en Barres : juxtaposé Effectif de Sévérité de la maladie coronaire par Hérité coronaire



5- L'étude de la corrélation entre la sévérité de la maladie coronaire et les FDR cardio-vasculaire étudiés :

➤ *L'étude uni-variée :*

		Atteinte sévère		Atteinte non sévère		P
		N (18)	%	N (39)	%	
Sexe	Femme	2	11.11	19	48.71	0.013
	Homme	16	88.89	20	51.28	

		Atteinte sévère		Atteinte non sévère		P
		N (18)	%	N (39)	%	
Age	< 60ans	8	44.44	13	33.33	0.42
	≥ 60 ans	10	55.56	26	66.67	

		Atteinte sévère		Atteinte non sévère		P
		N (18)	%	N (39)	%	
HTA	Absente	10	55.55	12	30.77	0.07
	présente	8	44.45	27	69.23	

		Atteinte sévère		Atteinte non sévère		P
		N (18)	%	N (39)	%	
Diabète	Absent	1	5.55	19	48.71	0.010
	Présent	17	94.44	20	51.28	

		Atteinte sévère		Atteinte non sévère		P
		N (18)	%	N (39)	%	
Dyslipidémie	Absente	7	38.89	29	74.35	0.012
	Présente	11	61.11	10	25.64	

		Atteinte sévère		Atteinte non sévère		P
		N (18)	%	N (39)	%	
Hérédité coronaire	Absente	5	27.78	29	74.35	0.002
	Présente	13	72.22	10	25.64	

N : effectif

% : pourcentage

P : seuil de signification de la variable test de Khi deux

	Modalités	P^a	OR ajusté	IC_{95%}
Sexe	Femme Homme	0.01	7.6	1.53 - 37.58
Age	< 60ans ≥ 60 ans	0.42	0.62	0.19 – 1.96
HTA	Absente Présente	0.07	0.35	0.11 – 1.12
Diabète	Absent Présent	0.01	16.1	1.95 – 133.51
Dyslipidémie	Absente Présente	0.01	4.5	1.38 – 14
Hérédité coronaire	Absente Présente	0.002	7.5	2.14 – 26.50

OR : Odds Ratio ajusté

IC_{95%} : intervalle de confiance associés;

P : seuil de signification des modalités de la variable ;

➤ *L'étude multi-variée :*

Tableau. Variables sélectionnées par la régression logistique conditionnelle pas-à-pas

	Modalités	OR ajusté*	IC_{95%}	p
Sexe	Femme	10,15	1	0,04
	Homme		1,09- 94,23	
HTA	Absente	0,34	1	0,23
	Présente		0,06-1,96	
Diabète	Absent	11.09	1	0.04
	Présent		1.04-117.94	
Dyslipidémie	Absente	8.3	1	0.02
	Présente		1.31-52.55	
Hérédité coronaire	Absente	10.56	1	0.01
	Présente		1.52-73.06	

OR : Odds Ratio ajusté* et intervalle de confiance associés *IC_{95%}* ; *p* : seuil de signification de la variable (test de Wald)

IV. Discussion

A la lumière des résultats de notre étude, deux questions nous interpellent :

- 1- Quels sont les FDR cardio-vasculaires présents dans un contexte d'une atteinte sévère des coronaires ?
- 2- et y'a-t-il une corrélation entre ses facteurs de risque et la sévérité de la maladie coronaire ?

En l'absence de consensus actuellement, on constate d'après nos résultats, un rapport indéniable entre les facteurs de risque étudiés et la sévérité de la maladie coronaire et ceci concernant :

Le sexe : sachant que le sexe masculin est reconnu des FDR non modifiables (en plus de l'âge et de l'hérédité) c a d les hommes risquent de vivre un événement coronarien plus que les femmes. D'après notre analyse on a constaté une

prédominance masculine en termes d'atteinte sévère sur la scintigraphie par rapport au sexe féminin (16 parmi les 18 patients ayant une maladie sévère étaient de sexe masculin) avec un OR de 7.6.

Le diabète: plusieurs études et théories ont montré que le diabète augmente le risque de rétrécissement des artères (athérosclérose) notamment les coronaires et donc de maladie coronaire, en plus notre analyse rajoute le caractère sévère de cette maladie tout en constatant que les patients diabétiques de notre échantillon présentaient une sévérité de 16 fois plus que les non diabétiques.

Dyslipidémie : comme le diabète constitue un FDR cardio vasculaire modifiable. Notre étude a pu montrer une corrélation entre la sévérité de la maladie coronaire retrouvée chez 11 patients de 21 qui présentent une dyslipidémie avec un OR de 4.5.

Hérédité coronaire : une histoire familiale de maladie coronaire révèle dans notre étude le facteur le plus corrélant avec une maladie coronaire sévère : parmi les 23 cas qui avaient une notion de coronaropathie familiale dans les ATCD 13 ayant un aspect scintigraphique en faveur d'une atteinte sévère avec un OR de 10.5.

Par contre : l'analyse portée sur l'âge et l'HTA n'a révélé aucune corrélation avec la sévérité de la maladie coronaire mais ça ne peut être ni éliminé ni écarté car cela peut être justifié par les limitations de notre recherche notamment l'effectif réduit de notre échantillon.

Les limites de l'étude :

En plus de l'effectif réduit de notre échantillon, certains paramètres n'ont pas fait l'objet de notre étude notamment:

- L'ancienneté de l'exposition aux facteurs de risques
- le degré de contrôle des facteurs de risques.
- l'existence préalable d'une coronaropathie traitée.

Synthèse : Notre étude a pu montrer et valider notre hypothèse de l'existence d'une éventuelle corrélation entre la sévérité de la maladie coronaire jugée par la scintigraphie myocardique et les FDR suivant : sexe, diabète, dyslipidémie et hérédité coronaire (l'hypothèse de la corrélation entre les 2 FDR : âge et HTA

demeure réfutée dans le cadre de l'échantillon traité). Mais ça peut représenter une étude « pilote » discutable qui pourrait suggérer d'autres recherches supplémentaires ou complémentaires afin de cibler la valeur pronostique des FDR cardio vasculaire.

v. Conclusion

L'imagerie nucléaire joue actuellement un rôle très important dans l'exploration non invasive du cœur avec ses différentes techniques utilisées en fonction de l'indication, d'où elle occupe une place intéressante dans le diagnostic, la surveillance, la détermination du pronostic et la décision thérapeutique dans l'insuffisance coronaire.

La scintigraphie myocardique de perfusion a prouvé sa valeur dans le diagnostic de l'insuffisance coronaire ; la scintigraphie myocardique de viabilité et la tomographie par émissions des positons (TEP) cardiaque ont un intérêt dans la décision thérapeutique concernant la réalisation d'un geste de revascularisation coronaire ; et la ventriculographie isotopique est actuellement l'examen de choix dans le suivi des patients sous traitement cardiotoxique.

Enfin ; notre travail a pour but de rappeler les procédés de la scintigraphie myocardique, son apport dans le diagnostic, la détermination du pronostic et même la décision thérapeutique concernant l'insuffisance coronaire, et sa place parmi les autres techniques non invasives et invasives d'imagerie cardiaque dans la maladie coronaire.

RESUME

Introduction: les facteurs de risques cardiovasculaires augmentent certainement la probabilité de survenue d'une maladie coronaire cependant la liaison entre ces facteurs de risque et la sévérité de la maladie coronaire est encore inconnue.

L'objectif de cette étude était d'évaluer la corrélation entre les facteurs de risque cardiovasculaires (Age, sexe, HTA, diabète, dyslipidémie, hérédité coronaire) et la sévérité de la maladie coronaire en se basant sur les résultats de la scintigraphie myocardique.

Méthodes: Etude analytique transversale sur une période de 2 mois, du 01 Décembre 2021 au 31 Janvier 2022 au service de médecine nucléaire au CHU Tlemcen. Les données ont été recueillies en utilisant des fiches de renseignement comportant les informations des différents patients.

Résultats: La tomoscintigraphie myocardique a été révélée positive (aspect scintigraphique en faveur d'une maladie coronaire) chez 24 patients (42.1 %) dont 21 patients de sexe masculin. Par contre 33 patients (57.9%) avaient un aspect scintigraphique jugé normal. Sur les 24 patients présentant une maladie coronaire ; 18 patients soit 75% ont une atteinte sévère (soit 31.5% de la population générale).

Conclusion: Notre étude a permis de confirmer l'hypothèse de l'existence d'une corrélation entre la sévérité de la maladie coronaire jugée par la scintigraphie myocardique et les facteurs de risque cardiovasculaires suivants : sexe, diabète, dyslipidémie et hérédité coronaire. Par contre, l'hypothèse de la corrélation entre les 2 facteurs de risque : âge et HTA et la sévérité de la maladie coronaire n'est pas prouvée dans le cadre de l'échantillon traité. Enfin, elle peut représenter une étude « pilote » discutable qui oriente vers la suggestion d'autres recherches supplémentaires ou complémentaires pour évaluer la valeur pronostique des facteurs de risque cardiovasculaires dans la maladie coronaire.

MOTS CLES : scintigraphie myocardique, maladie coronaire, sévérité, ischémie, facteur de risque cardiovasculaire, âge, sexe, diabète, HTA, dyslipidémie, hérédité coronaire, corrélation, analyse.

ABSTRACT

Introduction: cardiovascular risk factors certainly increase the probability of occurrence of coronary disease, however the link between these risk factors and the severity of coronary disease is still unknown.

The objective of this study was to assess the correlation between cardiovascular risk factors (age, sex, hypertension, diabetes, dyslipidemia, coronary heredity) and the severity of coronary disease based on the results of myocardial scintigraphy.

Methods: Cross-sectional analytical study over a period of 2 months, from December 01, 2021 to January 31, 2022 in the nuclear medicine department at CHU Tlemcen. The data was collected using information sheets containing the information of the different patients.

Results: Myocardial tomoscintigraphy was considered positive (scintigraphic appearance in favor of coronary disease) in 24 patients (42.1%) including 21 male patients. On the other hand, 33 patients (57.9%) had a scintigraphic appearance judged to be normal. Of the 24 patients with coronary disease; 18 patients (75%) have severe disease (31.5% of the general population).

Conclusion : Our study confirmed the hypothesis of the existence of a correlation between the severity of coronary disease judged by myocardial scintigraphy and the following cardiovascular risk factors: sex, diabetes, dyslipidemia and coronary heredity. On the other hand, the hypothesis of the correlation between the 2 risk factors: age and hypertension and the severity of the coronary disease is not proven within the framework of the treated sample. Finally, it may represent a questionable “pilot” study that points to the suggestion of further or complementary research to assess the prognostic value of cardiovascular risk factors in coronary artery disease.

KEY WORDS: myocardial scintigraphy, coronary disease, severity, ischemia, cardiovascular, cardiovascular risk factor, age, sex, diabetes, hypertension, dyslipidemia, coronary heredity, correlation, analysis.

ملخص

مقدمة: من المؤكد أن عوامل الخطر على القلب والشرابين تزيد من احتمالية الإصابة بأمراض الشرايين القلبية، ولكن العلاقة بين هذه العوامل وشدة المرض لا تزال غير كان الهدف من هذه الدراسة هو تقييم العلاقة بين عوامل الخطر على القلب معروفة. والشرابين (العمر، الجنس، ضغط الدم، السكري، اضطراب شحميات الدم، الوراثة) وشدة مرض الشرايين القلبية بناءً على نتائج التصوير النووي للقلب.

طريقة الدراسة: دراسة تحليلية مقطعية على مدى شهرين، من 1 ديسمبر 2021 إلى 31 يناير 2022 في قسم الطب النووي بالمستشفى الجامعي تلمسان. تم جمع البيانات باستخدام وثائق تحتوي على معلومات المرضى.

نتائج: اعتبر التصوير النووي لعضلة القلب موجباً لدى 24 مريضاً (42.1%) من بينهم 21 مريضاً من الذكور. من ناحية أخرى، كان لدى 33 مريضاً (57.9%) تصوير نووي من 24 مريضاً يعانون من مرض الشرايين القلبية، 18 مريضاً، أي 75%، طبيعياً. يعانون من مرض شديد أي 31.5% من عامة السكان.

استنتاج: أكدت دراستنا فرضية وجود علاقة بين شدة مرض الشرايين القلبية حسب التصوير النووي للقلب وعوامل الخطر على القلب والشرابين التالية: الجنس، السكري، خلل شحوم الدم والوراثة. من ناحية أخرى، فإن فرضية الارتباط بين عملي العمر وارتفاع ضغط الدم وشدة المرض لم يتم إثباتها في إطار العينة المعالجة.

أخيراً، قد تمثل دراسة "تجريبية" مشكوك فيها تشير إلى اقتراح المزيد من البحث لتقييم دور عوامل الخطر القلبية في شدة المرض.

الكلمات المفتاحية: التصوير النووي للقلب، مرض الشرايين القلبية، الشدة، نقص التروية، عامل الخطر على القلب و الشرايين، العمر، الجنس، السكري، ارتفاع ضغط الدم، اضطراب شحميات الدم، الوراثة التاجية، الارتباط، التحليل.

Références et bibliographies :

- Hajji.L, Aouad.A, Alami.M, Ghannam.R, Ouraoui.T, Sadeli.S, . . . Benomar.M. (s.d.). *Interet de l'effort couplé au dipyridamole dans la scintigraphie myocardique.*
- Manrique.A, M. P. (2003). *Recommandations pour la réalisation et l'interprétation de la tomoscintigraphie de perfusion myocardique. Médecine nucléaire-Imagerie fonctionnelle et métabolique.*
- Société française de médecine nucléaire et d'imagerie moléculaire (SFMN). (s.d.).
- Zerbib.E. (2002). *Explorations radio-isotopiques en cardiologie.* paris : éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS.
- (s.d.). Récupéré sur Clinique cardiologique - CHU Grenoble.
- D.M, M. (2004). *électrocardiogramme d'effort. EMC Cardiol-Angéiologie.*
- Dr.DAVID ATTIAS / Pr.NICOLAS LELLOUCHE . En collaboration scientifique avec le college nationaldes cardiologues français. (2018). iKB cardiologie vasculaire. VG éditions.
- F. DELAHAYE SERVICE DE CARDIOLOGIE, HOPITAL LOUIS PRADEL, BRON. (2017). RECOMMANDATIONS DE LA SOCIETE EUROPEENNE DE CARDIOLOGIE SUR LES INFARCTUS DU MYOCARDE AVEC SUS-DECALAGE DU SEGMENT ST. REALITES CARDIOLOGIQUES.
- GTS503 (technologies de la santé, normes et homologation . (2013). cours IV: imagerie nucléaire.
- HAMMAMI, P. R. (s.d.). LES POINTS FORTS DES RECOMMANDATIONS DE l'ESC 2020: PRISE EN CHARGE DES SYNDROMES CORONARIENS SANS SUS DECALAGE DE ST.
- HAS (HAUTE ANTORITE DE SANTE. (Avril 2021). GUIDE DU PARCOURS DE SOINS - SYNDROME CORONARIEN CHRONIQUE.

- HASSINE, P. A. (s.d.). LES RECOMMANDATIONS DE L'ESC 2019 SUR LE SYNDROME CORONARIEN CHRONIQUE.
- PASQUET, P. A. (2019). INNOVATIONS 2019 EN CARDIOLOGIE.
- ROUZET, P. F. (s.d.). Chapitre VI - Les bases physiques de la médecine.
- 4650, A. M.–G.–E. (s.d.). Viabilité myocardique.
- Anne ROY IDE - Marc MENNESSIER MER Hôpital Privé Dijon Bourgogne. (2018). De la scintigraphie à la salle de cathétérisme.
- centre hospitalier mont de marsan. (s.d.). LA SCINTIGRAPHIE DE VIABILITE MYOCARDIQUE.
- Levy, M. (2013). EMC - Cardiologie nucléaire.
- M. LEVY HEP La Roseraie, G. V. (s.d.). Apports de la scintigraphie isotopique à l'étude de la viabilité myocardique.
- marsan, C. m. (s.d.). LA VENTRICULOGRAPHIE ISOTOPIQUE.