

ROYAUME DU MAROC
UNIVERSITE SIDI MOHAMMED BEN ABDELLAH
FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE

FES



UNITE DE SCINTIGRAPHIE MYOCARDIQUE
DE PERFUSION :
EXPERIENCE DES 30 PREMIERS CAS

MEMOIRE PRESENTE PAR :

Docteur OUAFI ADIL

Né le 10 Février 1983 à Taza

POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE SPECIALITE EN MEDECINE
OPTION : CARDIOLOGIE

Sous la direction de :
Professeur AKOUDAD HAFID

Juin 2013

SOMMAIRE

ABREVIATIONS.....	3
RESUME	4
INTRODUCTION	5
MATERIEL ET METHODES	7
Critères d'inclusion :	8
Paramètres analysés :	8
Protocole de scintigraphie myocardique de perfusion :	8
A/ Le test de stimulation:	9
B/ Le traceur radiopharmaceutique :	10
C/ Réalisation de l'examen	10
1/ Acquisition des images:	11
2/ Interprétation et présentation des résultats	14
RSULETATS	17
Analyse de la population étudiée.....	18
Analyse des résultats de la scintigraphie myocardique de perfusion	23
I- Recherche de l'ischémie myocardique	24
A- Test de stimulation.....	24
B- Injection du traceur radioactif :	25
II-Recherche de la viabilité myocardique	25
III- Acquisition des images	26
IV- Résultats de la scintigraphie myocardique de perfusion.....	27
DISCUSSION	29
I. Quelle est la place de la scintigraphie pour la recherche de l'ischémie myocardique ?	30
1. Le diagnostic de la maladie coronaire.....	31
2. Le suivi du malade coronarien	32
II. Quelle est la valeur diagnostique et pronostique de la scintigraphie myocardique de perfusion ?.....	33
1. Valeur diagnostique	34
2. Valeur pronostique.....	35
III. Quelle est la place de la scintigraphie myocardique parmi les autres examens diagnostiques non invasifs ?	36

1. Epreuve d'effort.....	37
2. Echocardiographie de stress	37
3. L'imagerie par résonance magnétique.....	38
4. Le coroscanner	39
IV. Scintigraphie myocardique et populations particulières	40
1. Chez les patients asymptomatiques.....	41
2. Chez les diabétiques	41
3. En cas de bloc de branche gauche complet	42
4. Chez les candidats à une chirurgie vasculaire périphérique	42
5. Evaluation des stratégies de revascularisation.....	43
a. L'angioplastie transluminale	43
b. Après pontage aorto-coronaire	44
c. Différenciation des douleurs thoraciques récurrentes.....	44
6. Le post infarctus.....	45
V. Quelle est la place de la scintigraphie myocardique pour la recherche de la viabilité ?	47
1. Qu'est-ce que la notion de viabilité myocardique?	48
2. Pourquoi faut-il rechercher la viabilité ?	49
3. Comment rechercher la viabilité myocardique par la scintigraphie myocardique?	49
CONCLUSION	51
BIBLIOGRAPHIE	54
ANNEXE	61

ABREVIATIONS

201TI	: Thallium 201
99mTc	: Technétium 99m
EE	: Epreuve d'Effort
FEVG	: Fraction d'Ejection Ventriculaire Gauche
FMT	: fréquence maximale théorique
Gated SPECT	: Tomographie d'émission monophotonique synchronisée à l'ECG
IDM	: Infarctus du myocarde
MIBI	: Methoxy IsoButil Isonitrile
SM	: Scintigraphie myocardique
SMP	: Scintigraphie myocardique de perfusion
TSM	: tomo-scintigraphie myocardique
SPECT	: Single photon emission computed tomography
TEMP	: Tomographie d'émission monophotonique
TEP	: Tomographie d'Emission de Positons
VG	: Ventricule gauche
VTD	: Volume télédiastolique
VTS	: Volume télésystolique

RESUME

Dans le domaine de la cardiologie, les explorations radio-isotopiques sont très largement dominées par les études de perfusion coronaire et de viabilité myocardique dans le cadre de la pathologie coronaire. La scintigraphie myocardique est un moyen d'exploration non invasif dont les performances justifient son utilisation comme outil de décision en cardiologie. Elle a un intérêt certes diagnostique mais également thérapeutique.

L'unité de scintigraphie myocardique au CHU Hassan II de Fès a été créée en novembre 2012 au sein du service des isotopes en collaboration avec le service de cardiologie. L'intégration d'une telle exploration dans la pratique quotidienne du cardiologue pourrait contribuer à l'amélioration de la prise en charge globale de la maladie coronaire.

Nous avons mené un travail qui a inclut les 30 premiers malades ayant bénéficié d'une scintigraphie myocardique. Cette étude consiste dans un premier temps en une analyse descriptive du profil épidémiologique, des caractéristiques cliniques et écho cardiographiques ainsi que des données de la scintigraphie myocardique (indications et résultats) de l'échantillon des patients inclus. La description des procédés de cette exploration ainsi que la mise au point de son rôle dans la prise en charge de la maladie coronaire et sa place par rapport aux autres techniques d'imagerie, ont fait l'objet de discussion dans la 2^{ème} partie de ce travail

INTRODUCTION

Dans le domaine de la cardiologie, les explorations radio-isotopiques sont très largement dominées par les études de perfusion coronaire et de viabilité myocardique dans le cadre de la pathologie coronaire. La scintigraphie a un intérêt certes diagnostique mais également thérapeutique.

L'unité de scintigraphie myocardique au CHU Hassan II de Fès a été créée en novembre 2012 au sein du service des isotopes en collaboration avec le service de cardiologie. L'intégration d'une telle exploration dans la pratique quotidienne du cardiologue pourrait contribuer à l'amélioration de la prise en charge globale de la maladie coronaire.

Nous avons mené un travail qui a inclut les 30 premiers malades ayant bénéficié d'une scintigraphie myocardique. Cette étude consiste dans un premier temps en une analyse descriptive du profil épidémiologique, des caractéristiques cliniques et écho cardiographiques ainsi que des données de la scintigraphie myocardique (indications et résultats) de l'échantillon des patients inclus. La description des procédés de cette exploration ainsi que la mise au point de son rôle dans la prise en charge de la maladie coronaire et sa place par rapport aux autres techniques d'imagerie, ont fait l'objet de discussion dans la 2ème partie de ce travail.

MATERIEL ET METHODES

Sur une période de 5mois s'étalant entre novembre 2012 et mars 2013, nous avons mené un travail au sein du service des isotopes du CHU Hassan II de Fès. Nous avons inclut des patients proposés pour une scintigraphie myocardique à la recherche de l'ischémie et ou de la viabilité myocardique.

Critères d'inclusion :

Les 30 premiers patients ayant bénéficié d'une scintigraphie myocardique de perfusion à la recherche de l'ischémie et ou de la viabilité myocardique. Sont exclus du travail les patients dont l'âge < 16ans, les femmes enceintes et allaitantes.

Paramètres analysés :

- Les données épidémiologiques : âge, sexe, facteurs de risque cardiovasculaires.
- Les données cliniques essentiellement les antécédents de coronaropathie et la notion de douleur thoracique.
- Les données des explorations cardiovasculaires réalisées : écho Doppler cardiaque et coronarographie.
- Les résultats de la scintigraphie myocardique : indications, protocole utilisé et résultats finaux.

Protocole de réalisation d'une scintigraphie myocardique de perfusion :

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

A/ Le test de stimulation:

L'épreuve d'effort le seul test de stimulation utilisé, est réalisée sur un tapis roulant (figure 1) ou sur un cycloergomètre (figure 2) en présence d'un cardiologue et elle est menée comme une épreuve d'effort classique avec toutes les précautions nécessaires :

- respect des contre-indications (voire annexe) de l'épreuve d'effort.
- présence des moyens de réanimation (Défibrillateur, source d'oxygène, matériel d'intubation et drogues vasoactives ...).



Figure1. Tapis roulant



Figure2. Cycloergomètre

Le radiotracteur est injecté lorsque la fréquence cardiaque atteint 85% de la FMT ($220 - \text{Age}$) ou au maximum de l'effort. On demande au patient de continuer l'effort pendant 1 minute après l'injection.

B/ Le traceur radiopharmaceutique :

On a utilisé comme traceur radioactif à tropisme cardiaque, le sestamibi (Cardioloite®) marqué au technétium 99 (MIBI-99mTc). C'est un complexe cationique lipophile qui pénètre dans la cellule par diffusion passive et se concentre au niveau des mitochondries, sa fraction d'extraction myocardique est d'environ 65,5%. Le MIBI-99mTc est un traceur du débit coronaire. L'absence de redistribution de ce produit, impose la réalisation de 2 injections différentes pour l'étude à l'effort et au repos. On injecte 3.7 MBq/Kg de MIBI-99mTc à l'effort et 11MBq/Kg au repos.

C/ Réalisation de l'examen

En pratique, tous les patients sont informés des recommandations qui permettent un déroulement optimal de l'examen :

- Un jeun depuis la veille au soir est souhaitable lors des acquisitions faites au repos ou aucun test d'effort n'est pratiqué. Il est, par contre, déconseillé d'être à jeun quand une épreuve d'effort va être réalisée. Dans ce cas le patient ne devra prendre qu'un léger petit déjeuner le matin, afin d'éviter la surélévation du diaphragme gauche par l'estomac.
- Pour les études réalisées à titre diagnostique, et en dehors de toute contre-indication, on a supprimé les médicaments contenant : les dérivés nitrés, les inhibiteurs calciques bradycardisants (24 h avant) et surtout les B-bloquants (48 h avant). Par contre, sauf indication particulière, aucun arrêt de médication n'est nécessaire pour les examens effectués chez des patients coronariens connus.
- Le patient est informé qu'il aura à mener l'épreuve d'effort au maximum de ses possibilités, et à rester strictement immobile lors des acquisitions.

- Le patient doit prendre une collation riche en lipides, dans les 30 min entre l'injection et l'acquisition, afin d'éviter la concentration du traceur au niveau des voies biliaires. Il est aussi conseillé de prendre 100 à 300 ml d'eau froide pour diminuer l'activité sous-diaphragmatique.

1/ Acquisition des images:

La méthode utilisée pour l'étude de la perfusion et de la viabilité myocardique est le mode tomographique (SPECT). Elle permet, à l'aide d'un logiciel informatique, de reconstruire des coupes selon n'importe quel axe, en particulier selon les 3 axes du cœur (Figure 3): petit axe (coronal), grand axe (horizontal) et grand axe (sagittal). A partir de ces coupes, l'interprétation des images peut se faire de façon visuelle et également par l'utilisation de la méthode de quantification de la fixation.

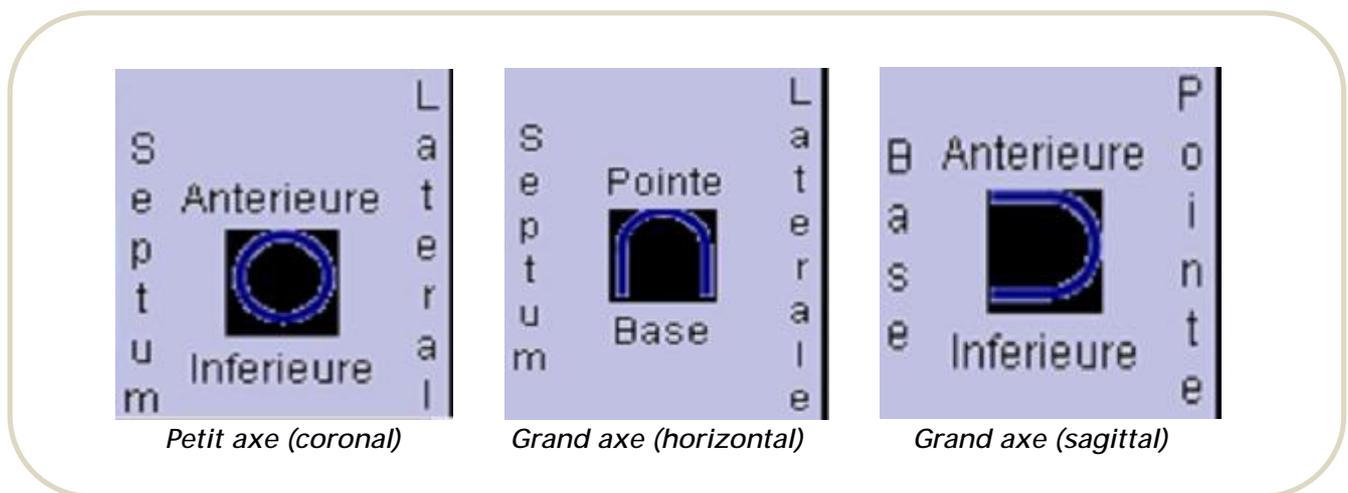


Figure 3. Coupes de reconstruction des images selon les 3 axes du coeur

Les images de répartition du traceur sont obtenues à l'aide d'une gamma caméra à deux têtes munie d'un collimateur basse énergie haute résolution (figure 4). La position du patient adoptée habituellement au sein de la gamma caméra est le décubitus dorsal avec le bras gauche au-dessus de la tête, et moins fréquemment le décubitus ventral.

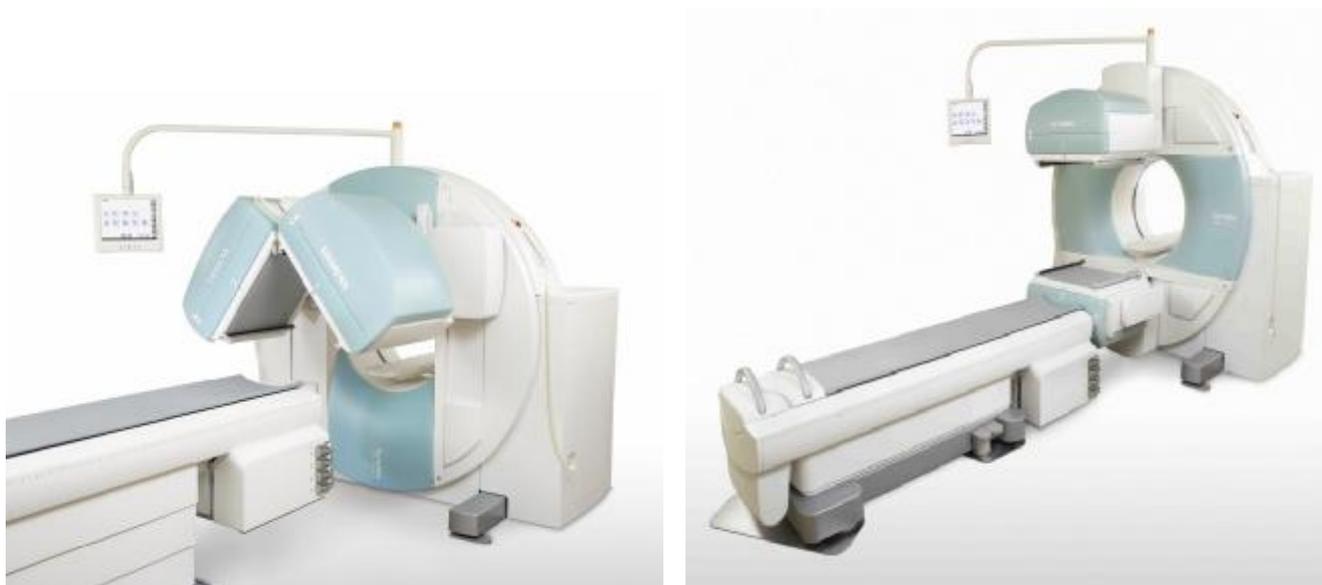


Figure 4. Gamma camera SIEMENS disponible au service des isotopes

Les patients ont bénéficié aussi des acquisitions synchronisées à l'ECG (gating), à chacun des 32 pas d'acquisition, 8 ou 16 images sont prises par cycle cardiaque et environ 60 cycles sommés sont nécessaires pour former une image interprétable (figure 5).

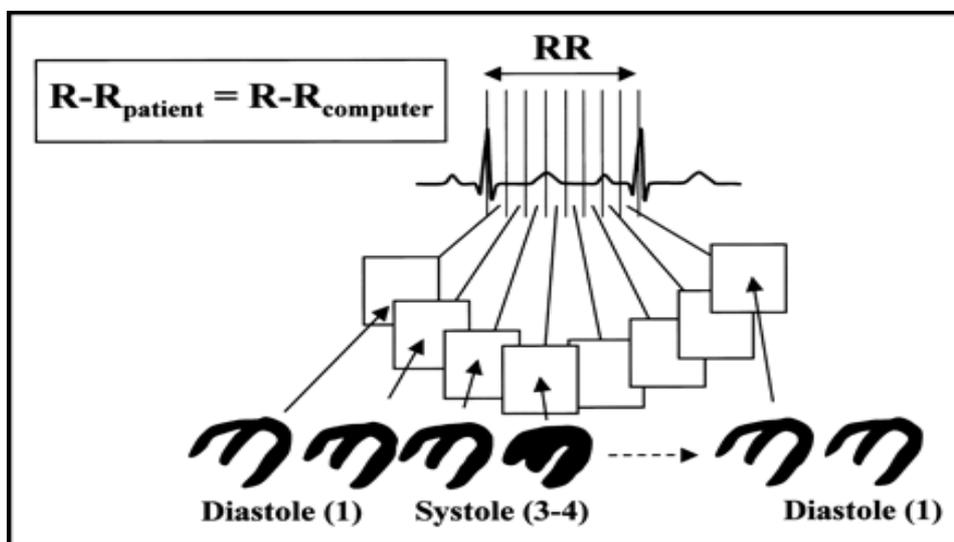


Figure 5. Acquisition synchronisée à l'ECG (ECG-gated SPECT)

L'étude de perfusion du stress et du repos est faite le même jour pour tous les patients en espaçant les 2 injections de 4 heures (figure 6).

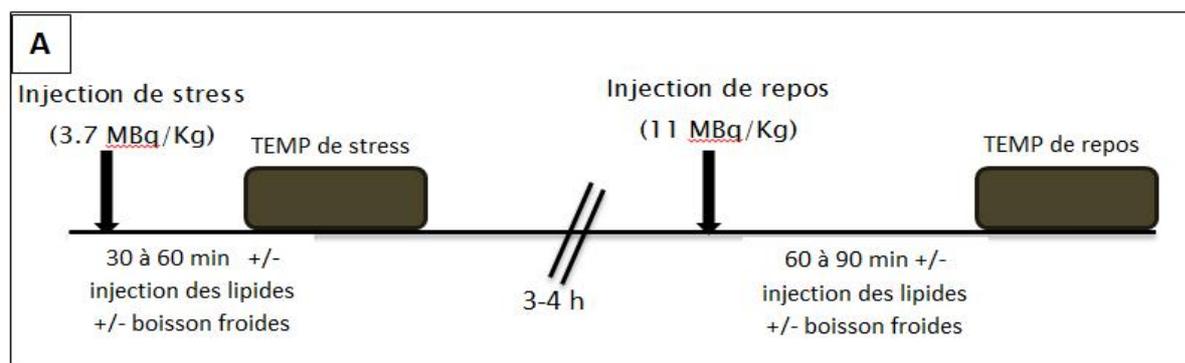


Figure 6. Protocole de réalisation de la scintigraphie myocardique dans le même jour

2/ Interprétation et présentation des résultats (Figure 8)

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 divisé en 17 segments selon le modèle recommandé par le collège américain de cardiologie (figure 7).

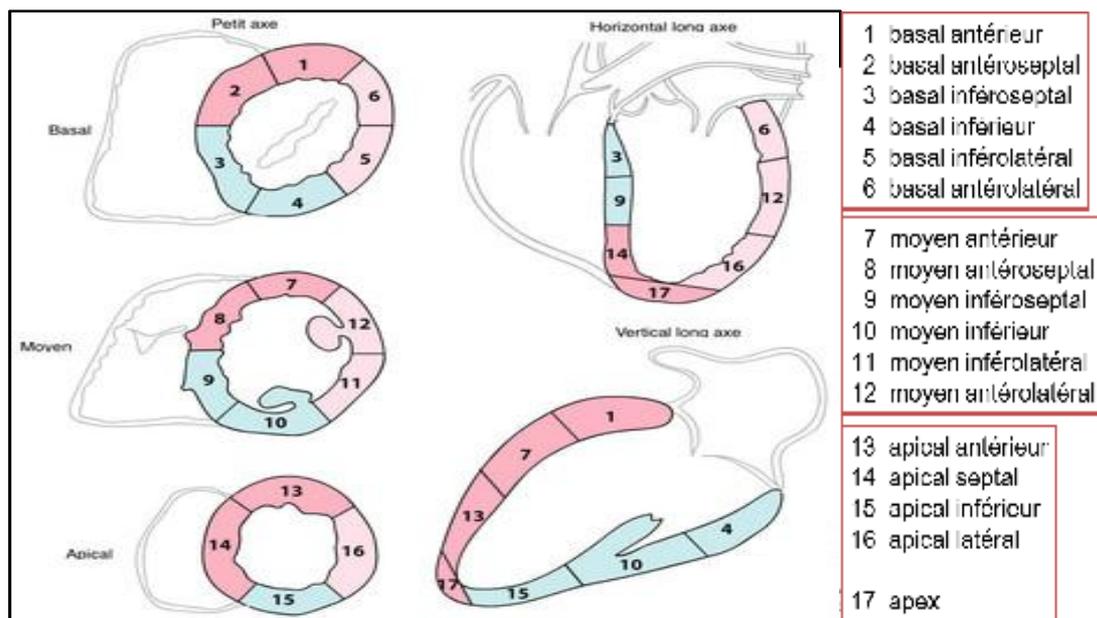


Figure 7. Segmentation cardiaque

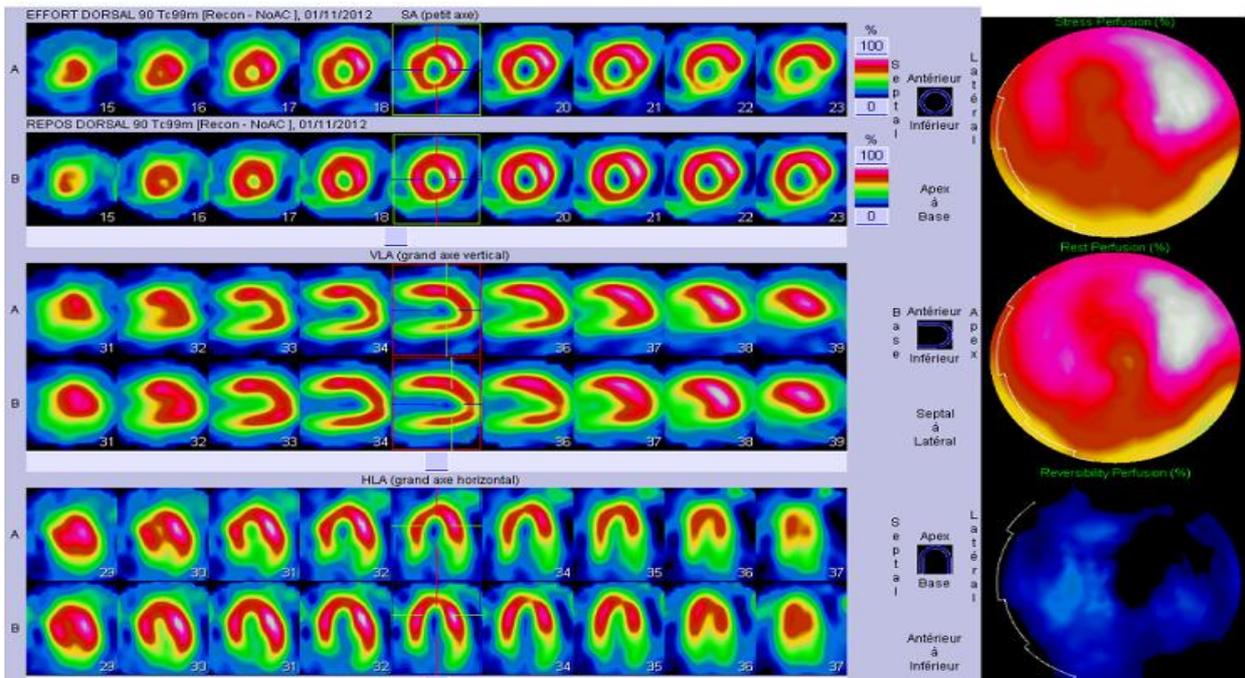


Figure 8. Affichage des images de fixation du traceur à l'effort et au repos selon les 3 axes du cœur

Schématiquement, une scintigraphie myocardique normale à l'effort témoigne d'une perfusion normale.

Un défaut de fixation du traceur à l'effort disparaissant après réinjection au repos dans un territoire donné évoque une ischémie myocardique réversible.

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.

Les patients ont bénéficié d'une analyse en mode synchronisé à l'ECG (Gating SPECT) pour la détermination des volumes systoliques et diastoliques et le calcul de la fraction d'éjection ventriculaire gauche. L'étude de l'épaississement systolique du VG facilite l'interprétation des défauts de fixation non réversible et la distinction entre les zones infarctés (épaississement diminué) et artefacts (cinétique normale).

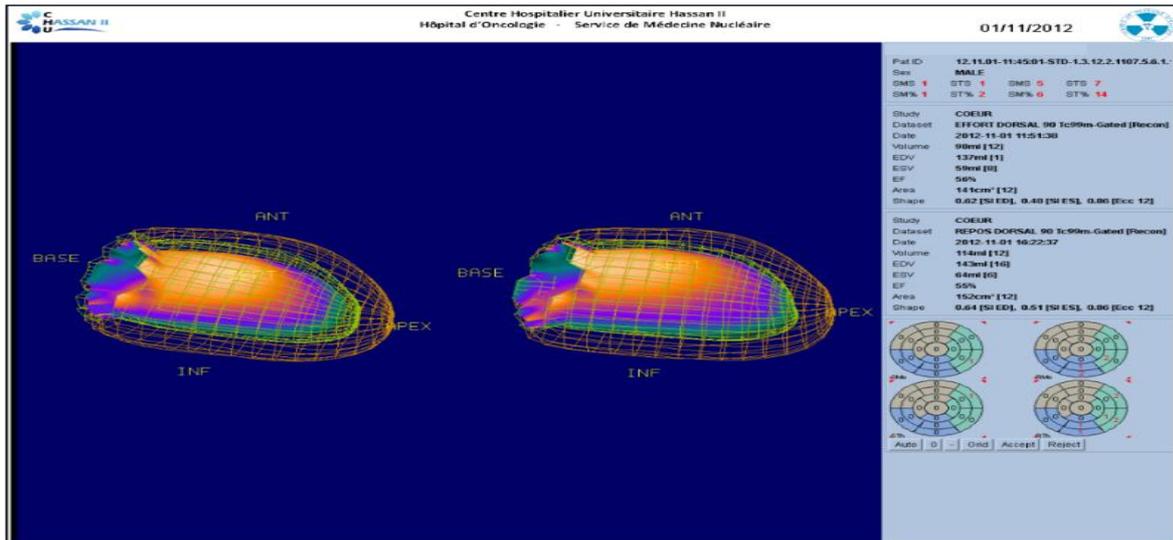
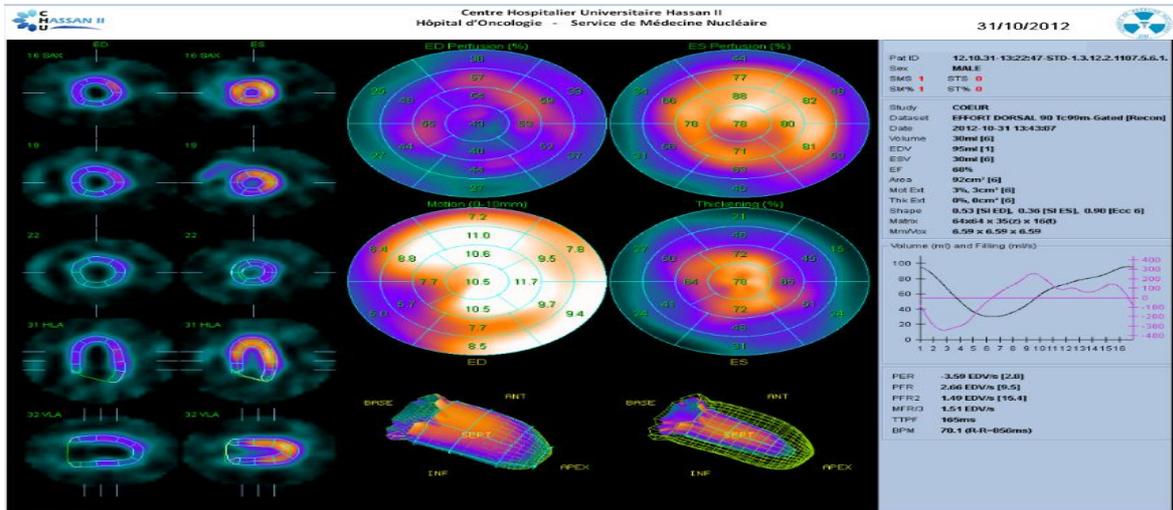


Figure 9. Etude de l'épaississement systolique et calcul de la FE VG en mode Gated SPECT

RSULETATS

Analyse de la population étudiée

L'âge moyen de notre population est de 55 ans [42ans-75ans] avec prédominance masculine (sexe ratio : H/F= 6/1).

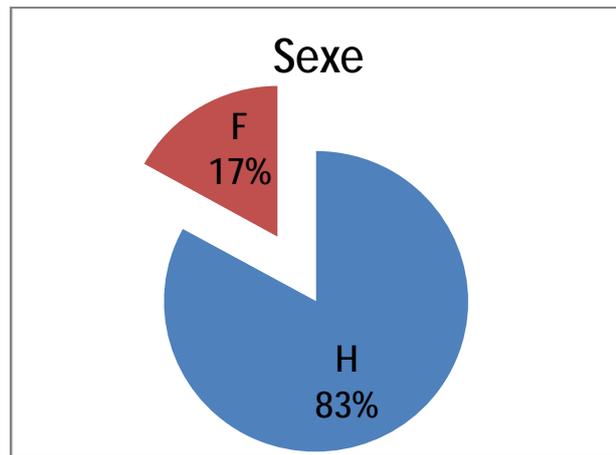


Figure 1. Répartition de la population étudiée en fonction du sexe

L'analyse des facteurs de risque cardio-vasculaires objective une nette prédominance de l'âge suivi de l'HTA puis le tabagisme.

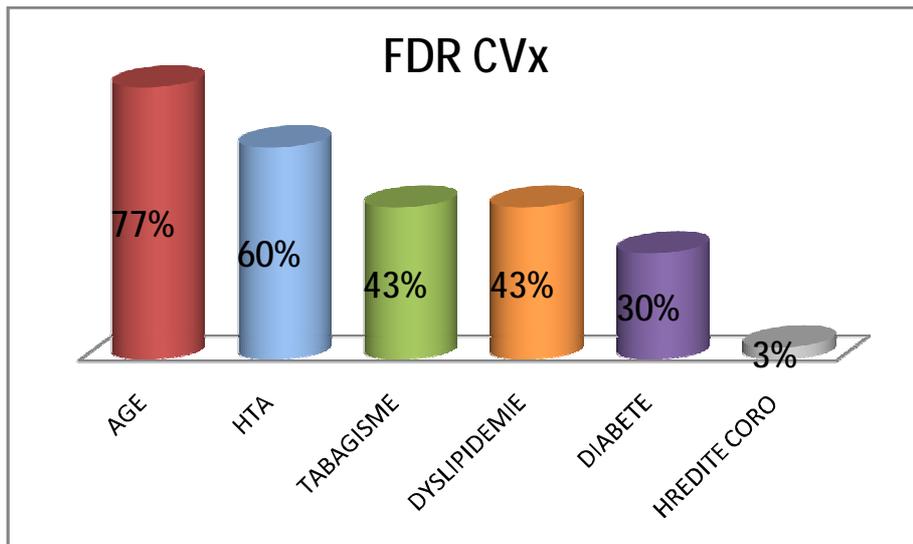


Figure 2. Analyse des facteurs de risque cardiovasculaires

33% des patients ont un antécédent d'infarctus du myocarde et 20% ont présenté un syndrome coronaire aigu sans sus décalage de ST. 2 patients sont porteurs d'une CMD.

Tableau 1. Antécédents des malades inclus dans l'étude

Antécédents	Malades
IDM	33% (10 cas)
SCA ST Négatif	20% (6 cas)
Douleurs thoraciques atypiques	33% (10 cas)
Coronarographie	54% (17 cas)
ATL	17% (5 cas)
PAC	7% (2cas)
CMD	7% (2 cas)

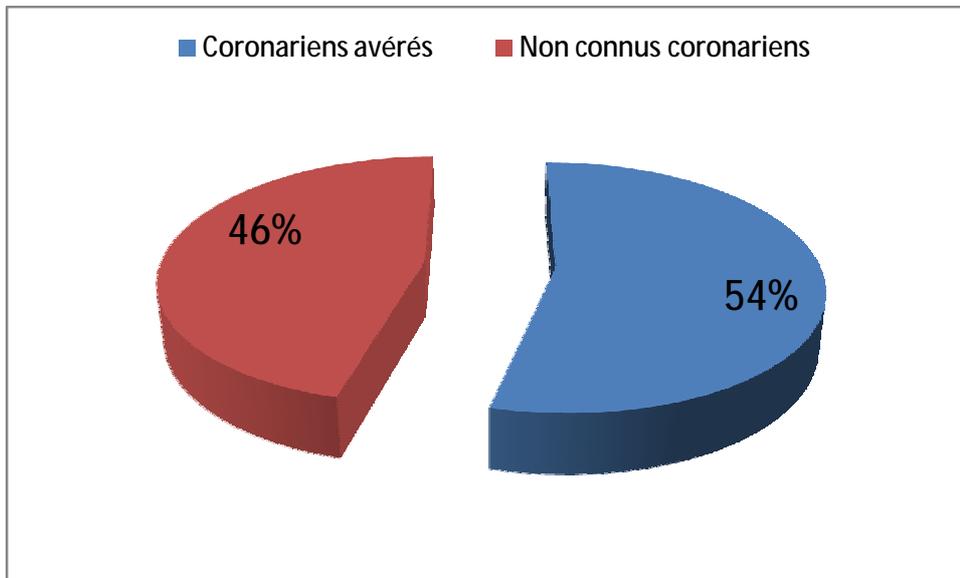


Figure 3. Profil clinique des patients inclus dans l'étude

54% de malades (17 cas) ont bénéficié d'une coronarographie qui a objectivé une atteinte monotrunculaire dans 45% des cas (7 malades), une atteinte bitrunculaire dans 25% des cas (4 malades) et tritrunculaire dans 30% des cas (5 malades). 17% des cas (5 malades) ont bénéficié d'une angioplastie et 25% des cas d'un pontage aorto-coronaire.

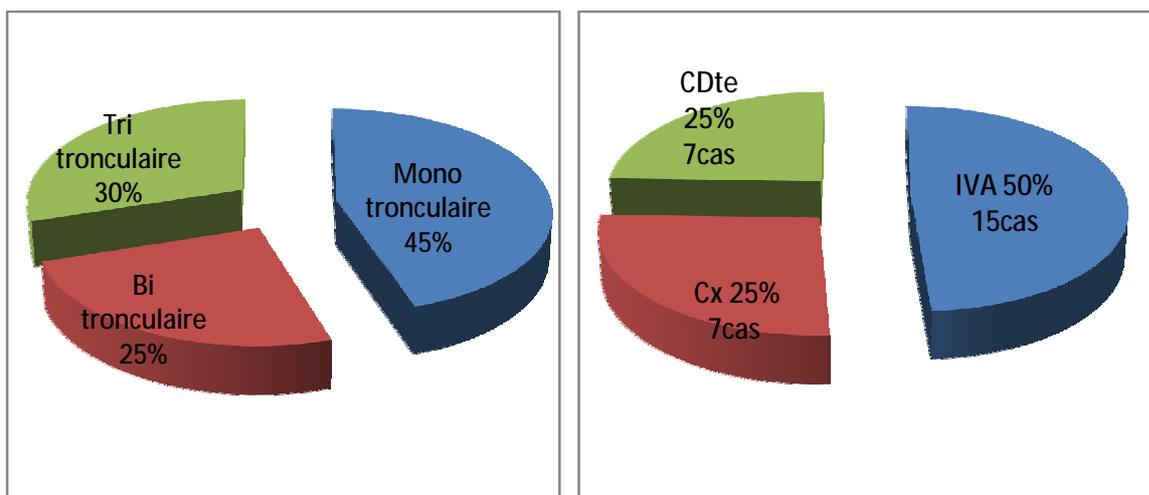


Figure 4. Données de la coronarographie

Le traitement suivi par les patients comporte des antiagrégants plaquettaires et des statines dans 76% des cas, des IEC dans 74% des cas, des béta bloquants dans 64% et des inhibiteurs calciques dans 37% des cas.

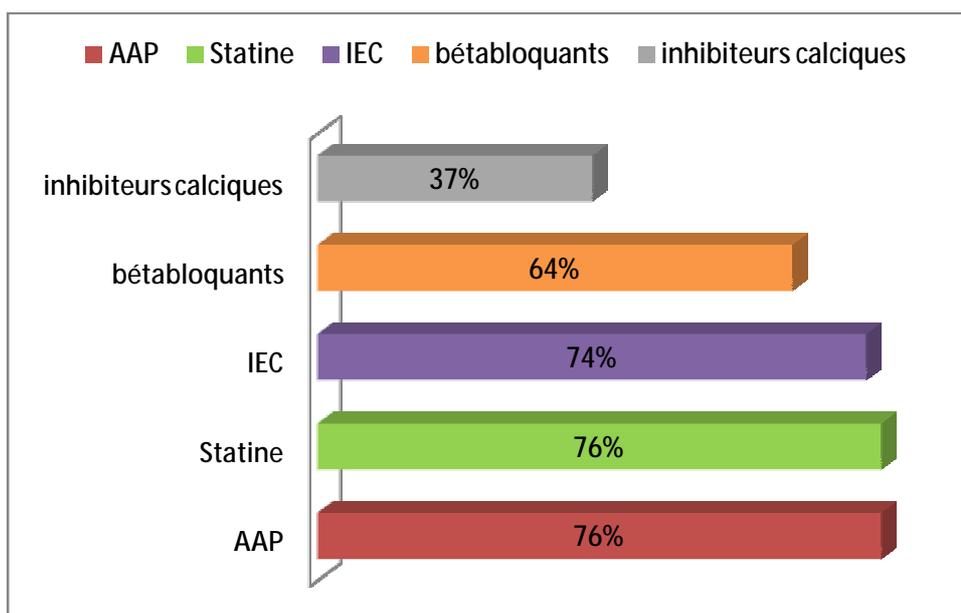


Figure 5. Ordonnance médicale des patients

L'analyse de l'ECG a noté un rythme régulier sinusal chez tous les patients et présence d'un bloc de branche gauche complet chez 4 patients. Tous les malades ont bénéficié d'un écho Doppler cardiaque qui a objectivé une fonction ventriculaire gauche altérée dans la moitié des cas avec une contractilité hétérogène dans 60% des cas.

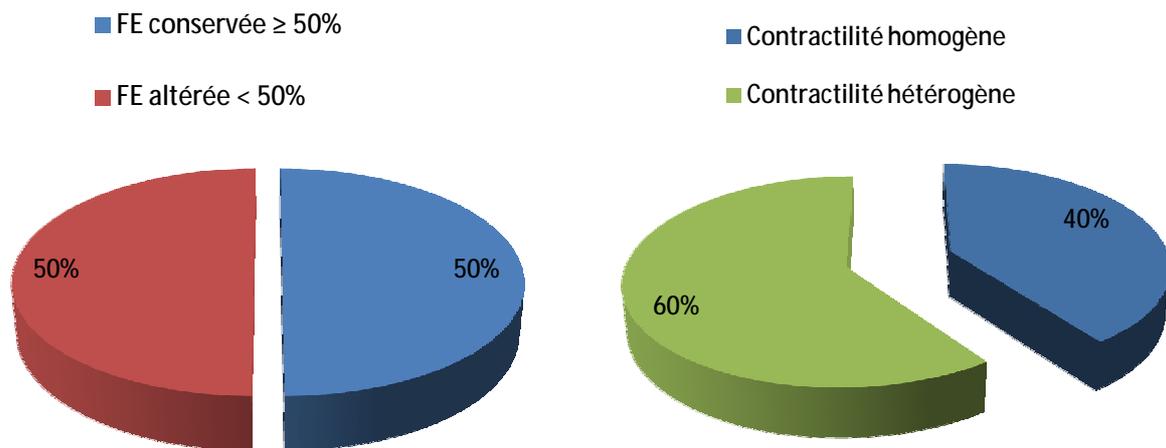


Figure 6. Données de l'écho Doppler cardiaque trans-thoracique

Analyse des résultats de la scintigraphie myocardique de perfusion

La scintigraphie myocardique est indiquée chez 23 patients (77 % des cas) à la recherche de l'ischémie, chez un patient à la recherche de l'ischémie et de la viabilité et chez 6 patients (20% des cas) à la recherche de la viabilité myocardique seulement.

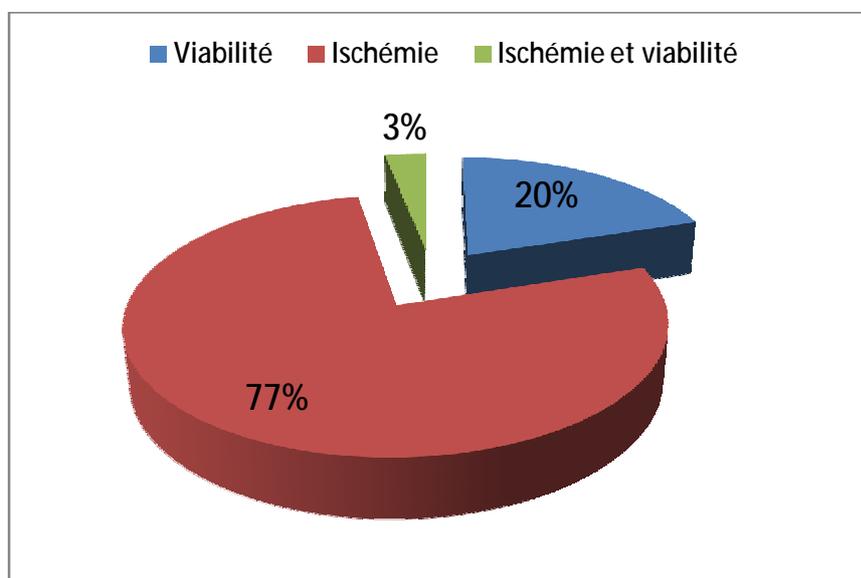


Figure 7. Indications de la scintigraphie myocardique de perfusion

La scintigraphie myocardique d'effort est indiquée au 1^{er} plan chez 22 malades et à la suite d'une épreuve d'effort litigieuse chez 2 patients.

I-Recherche de l'ischémie myocardique

A- Test de stimulation

La recherche de l'ischémie myocardique a nécessité un test de stimulation par une épreuve d'effort chez 24 malades. 21 malades ont réalisé une épreuve d'effort sur un tapis roulant et 3 malades sur une bicyclette ergométrique. L'épreuve d'effort est menée à une fréquence maximale théorique $\geq 85\%$ chez 22 patients, alors que 2 patients ont bénéficié d'une épreuve d'effort sous maximale.

La moitié des patients (12 malades) ont bénéficié d'une épreuve d'effort maquillée (sous bêtabloquant chez 11 cas et sous inhibiteur calcique bradycardisant chez 1 patient seulement).

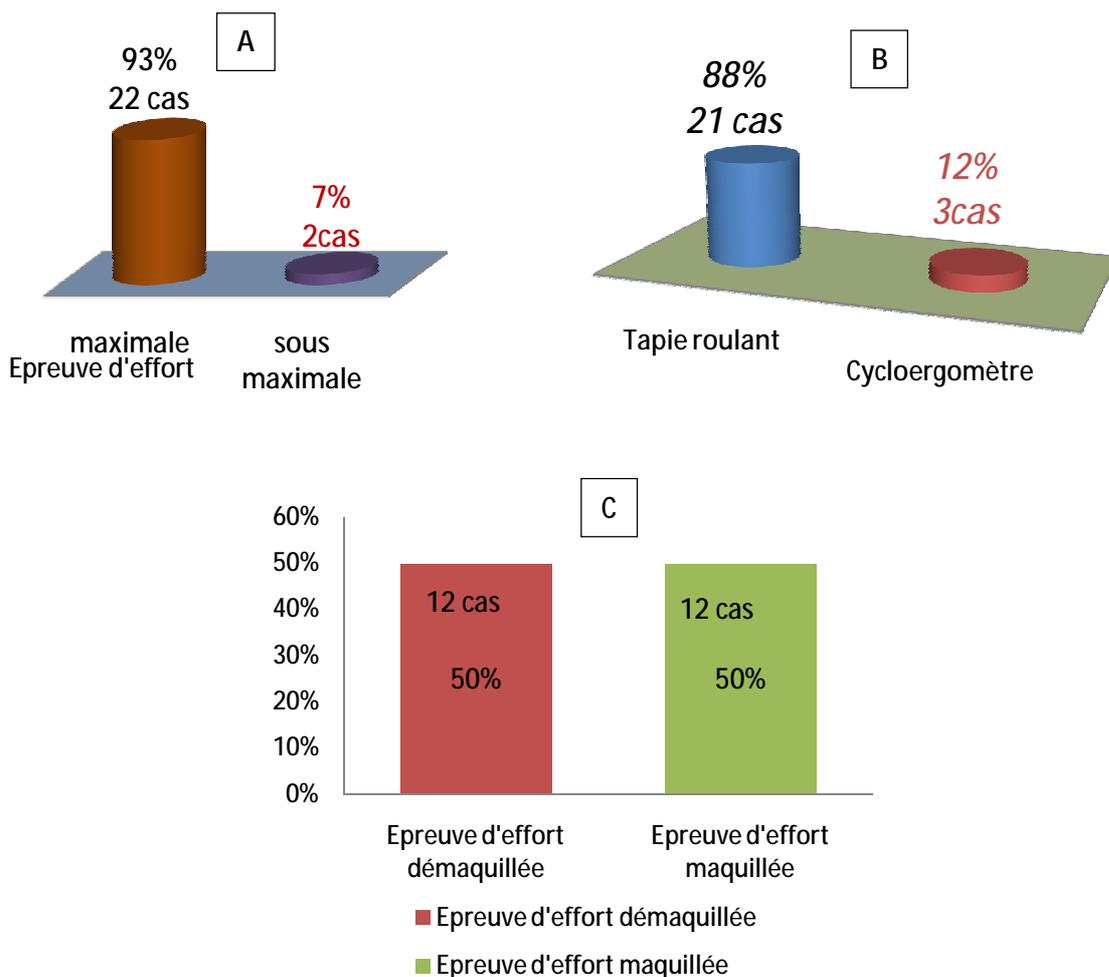


Figure 8 A,B,C. Conditions de réalisation de l'épreuve d'effort

L'épreuve d'effort est négative chez 21 malades (83% des cas), litigieuse chez 2 malades (16% cas) et positive chez un seul patient.

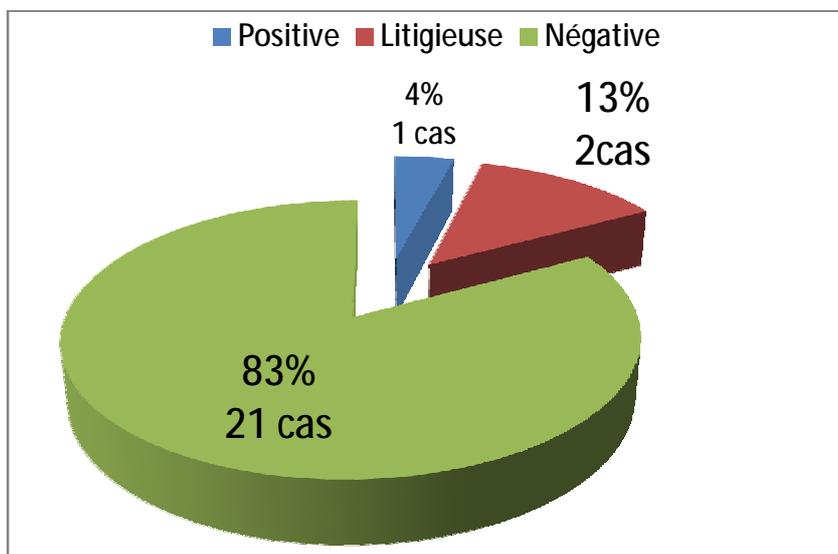


Figure 9. Résultats de l'épreuve d'effort

B- Injection du traceur radioactif :

Le MIBI 99mTc est injecté au maximum de l'effort ($\geq 85\%$ de la FMT) chez 22 malades (93% des cas) et chez 2 patients à une FMT sous maximale à la dose de 300MBq. 9 patients (30% des cas) ont été réinjectés même au repos 4 heures après, à la dose de 600MBq de MIBI 99mTc.

II- Recherche de la viabilité myocardique

Elle est étudiée chez 6 patients (20% des cas) dont 4 ont un ATCD d'IDM antérieur non revascularisé compliqué d'une dysfonction ventriculaire gauche sévère et 2 patients sont porteurs d'une CMD d'origine ischémique sur une sténose serrée de l'IVA. Ces patients ont reçu une dose de 600MBq de MIBI 99mTc.

III- Acquisition des images

Les images de répartition du traceur sont obtenues à l'aide d'une gamma caméra à deux têtes munie d'un collimateur basse énergie haute résolution. La position du patient adoptée est le décubitus dorsal chez 86% des patients (24 cas) et le décubitus ventral chez 14% des malades (4 cas).

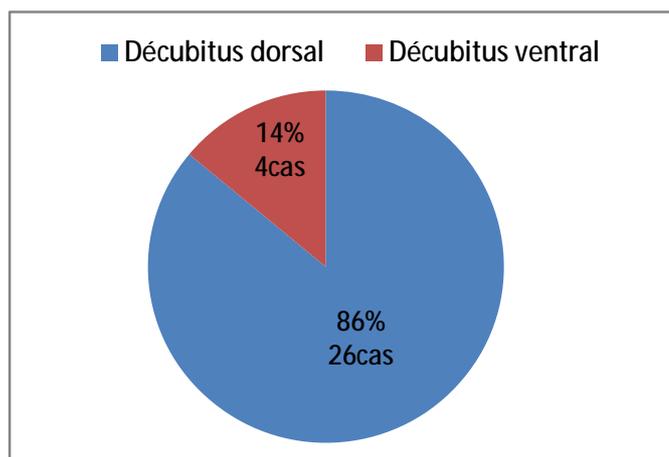


Figure 10. Position des patients lors de l'acquisition des images

IV- Résultats de la scintigraphie myocardique de perfusion

L'ischémie myocardique est recherchée chez 24 malades. 3 malades (13% des cas) avaient des anomalies de perfusion myocardique à l'effort qui sont réversibles au repos dont l'épreuve d'effort maximale de 2 patients était normale alors que celle de l'autre patient était positive cliniquement et électriquement. 21 patients (87% des cas) n'ont pas présenté de signes d'ischémie myocardique.

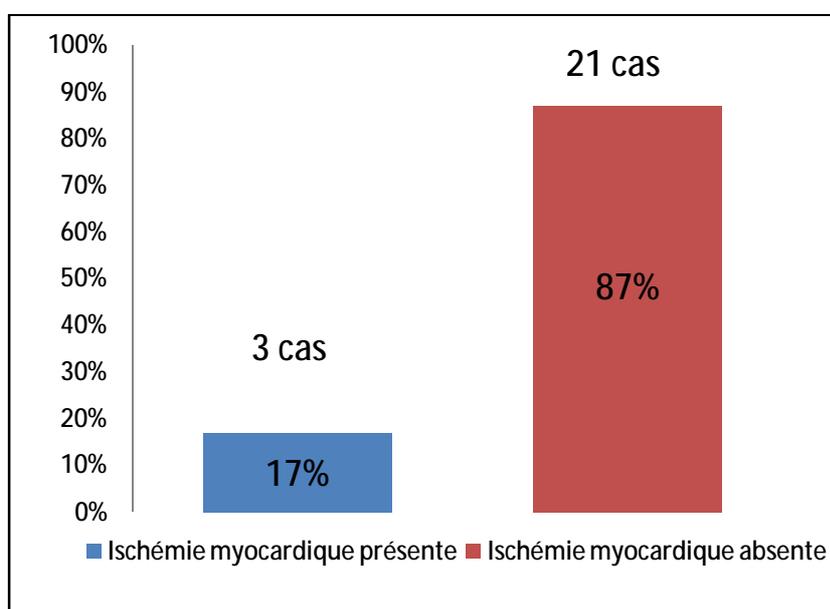


Figure 11. Résultat de scintigraphie myocardique de perfusion d'effort

La recherche de la viabilité chez 6 malades, grâce à l'étude de la perfusion myocardique du traceur radioactif au repos, a noté la présence de la viabilité chez les 2 patients porteurs d'une CMD sur une sténose significative de l'IVA et son absence chez les 4 patients qui ont un antécédent d'IDM antérieur.

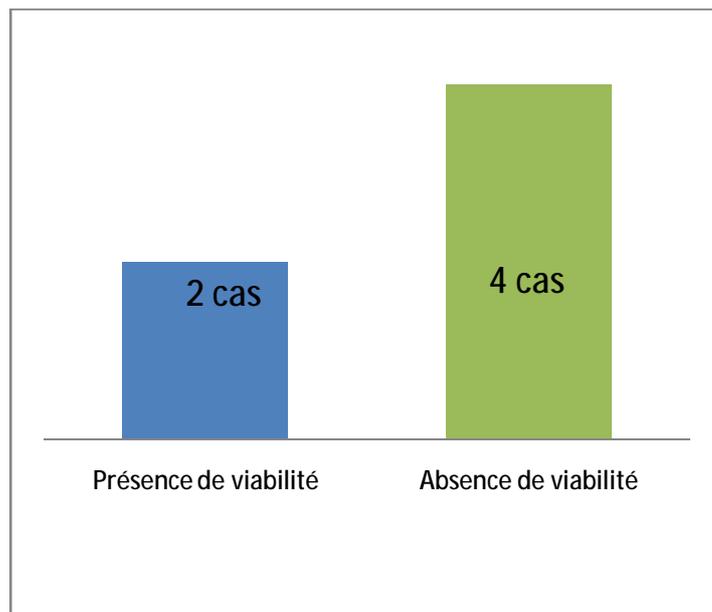


Figure 12. Résultat de la scintigraphie myocardique de perfusion à la recherche de la viabilité

DISCUSSION

I. Quelle est la place de la scintigraphie pour la recherche de l'ischémie myocardique ?

Dans la recherche de l'ischémie myocardique, la scintigraphie est généralement indiquée pour :

- La détection de l'insuffisance coronaire (identification des patients ayant une ou plusieurs sténoses coronaires) chez des patients symptomatiques, ou des patients asymptomatique ayant des facteurs de risque cardiovasculaire multiples ou une atteinte vasculaire périphérique.
- L'analyse du retentissement fonctionnel de sténoses coronaires connues sur la perfusion myocardique.
- L'évaluation de l'efficacité des traitements de l'insuffisance coronaire en place : médicaments anti-angineux, pontage, angioplastie, etc.

Ainsi 2 situations cliniques méritent d'être distinguées : Le diagnostic de la maladie coronaire et le suivi du malade coronarien connu.

1. Le diagnostic de la maladie coronaire

Dans le dépistage de la maladie coronaire, l'existence d'un syndrome coronaire aigu est une contre-indication au test de stimulation et nécessite une action thérapeutique rapide. La recherche de l'ischémie par la scintigraphie myocardique est indiquée devant :

- Une douleur thoracique atypique.
- Une difficulté d'interprétation de l'ECG d'effort (ex : BBG complet, HVG, pace maker).
- Une épreuve d'effort impossible.
- Une suspicion d'une ischémie silencieuse chez un patient présentant des facteurs de risque de maladie coronaire, en particulier chez le patient diabétique.

- En complément d'une épreuve d'effort sous maximal négative.
- Une épreuve d'effort litigieuse ou une épreuve d'effort négative chez un patient de haute probabilité de maladie coronaire.

2. Le suivi du malade coronarien

Depuis l'étude COURAGE, la prise en charge thérapeutique du malade coronarien stable a été largement modifiée, puisque le traitement médical comprenant des bêtabloquants, des bloqueurs du SRAA, des statines et des antiagrégants plaquettaires s'avérait aussi efficace que l'angioplastie (1). Une sous étude de l'étude courage présentée par Shaw (2), portant sur 313 patients coronariens stables explorés en scintigraphie a noté que :

L'existence d'une ischémie < 5% était considérée comme légère, entre 6 et 9% comme modérée et >10% comme sévère. Cette étude a montré que les résultats des patients traités par revascularisation associée au traitement médical sont supérieurs à ceux obtenus dans les cas traités médicalement seulement en cas d'ischémie modérée à sévère documentée à la scintigraphie.

Le choix de la stratégie thérapeutique pourrait être modulé dans l'angor stable par l'existence ou la persistance d'une ischémie modérée à sévère en scintigraphie, orientant ainsi vers un geste de revascularisation.

II. Quelle est la valeur diagnostique et pronostique de la scintigraphie myocardique de perfusion ?

1. Valeur diagnostique

La tomoscintigraphie myocardique a, selon les études, une sensibilité estimée à environ 90 % et une spécificité de 85%, pour détecter les patients ayant une ou plusieurs sténoses coronaires (3). On peut se demander quelle place a encore l'imagerie fonctionnelle dans l'insuffisance coronaire, à l'heure où les examens d'imagerie anatomique sont de plus en plus précis ? Ceci repose sur deux faits simples :

- Une sténose coronaire significative sévère (>50 %) n'entraîne pas toujours une réduction significative du flux coronaire (circulation collatérale, traitement anti-angineux).
- Une réduction du flux coronaire peut survenir en dehors d'une sténose coronaire significative (>50%) (anomalies de la microcirculation, vasoconstriction paradoxale à l'effort).

Ainsi, 5 à 10 % des syndromes coronariens aigus ont une coronarographie normale (4) alors que la scintigraphie myocardique couplée à l'ECG (Gated-SPECT) est positive dans la plupart des cas.

Une étude menée par Verna et al. en 2000 (5), a étudié une série de 20 patients ayant une coronarographie normale associée à une tomoscintigraphie myocardique anormale.

La circulation coronaire a été vérifiée par écho-Doppler endovasculaire. Une athéromatose a été mise en évidence chez 95% de ces patients et 70 % d'entre eux avaient une anomalie de la réserve coronaire.

2. Valeur pronostique

La scintigraphie myocardique a une forte valeur prédictive vis-à-vis de la mortalité de cause cardiaque dans l'année à venir (6). Un examen scintigraphique normal est cependant associé à un risque cardio-vasculaire faible.

Plusieurs éléments de nature pronostique sont disponibles lors de la réalisation d'une tomoscintigraphie myocardique :

- Les paramètres dérivés des tests d'effort (puissance maximale développée, fréquence cardiaque maximale, positivité du test).
- Une scintigraphie d'effort normale ou l'étendue des défauts perfusionnels à l'effort et la réversibilité au repos.
- La cinétique segmentaire sur les données Gated à l'effort et au repos, l'évaluation de la fraction d'éjection, les volumes télé-diastolique et télé-systolique.

Chez les patients ayant une TSM en routine clinique, la valeur prédictive négative vis à vis du risque de décès d'origine cardiaque à 5 ans est évaluée à 98.2% (7). La valeur prédictive positive varie selon les études et surtout, le type de population étudiée. Le risque de décès d'origine cardiaque serait de 3 à 7 fois supérieure lorsque l'examen est anormal dans les populations à faible risque cardio-vasculaire (8), alors qu'il pourrait être de 30 à 45 fois supérieure pour les populations à risque cardiovasculaire élevé (9).

III. Quelle est la place de la scintigraphie
myocardique parmi les autres examens
diagnostiques non invasifs ?

1. Epreuve d'effort

L'épreuve d'effort simple est généralement l'examen demandé en première intention en cas de suspicion de maladie coronaire. Qu'elle soit réalisée sur tapis roulant ou bicyclette ergométrique, l'épreuve d'effort doit permettre d'atteindre au moins 85 % de la FMT pour être valide. D'après les résultats d'une méta-analyse (10), la sensibilité moyenne du test est de 68 % et sa spécificité moyenne de 77 %, en prenant comme critère un sous décalage du segment ST supérieur à 1 mm, alors qu'avec la scintigraphie myocardique on peut atteindre une sensibilité estimée à environ 90 % et une spécificité de 85%.

2. Echocardiographie de stress

L'échographie de stress repose sur le principe de l'appréciation de la cinétique ventriculaire gauche au cours de l'accélération de la fréquence cardiaque. L'accélération est généralement obtenue par injection de Dobutamine. D'après les résultats d'une méta-analyse (11) portant sur un total de 2 246 patients, la sensibilité de l'examen est évaluée à environ 80 %, la spécificité à 84 %. La sensibilité dépend néanmoins du nombre de lésions coronaires ; elle varie de 74 % chez les patients monotronculaires à 92 % chez les patients tritronculaires. Le facteur limitant principal de l'échocardiographie de stress est le défaut d'échogénicité qui peut diminuer les performances diagnostiques ou rendre l'examen impossible chez 10 à 20% des patients. Les indications de l'échocardiographie de stress en première intention sont les mêmes que pour la scintigraphie. Plusieurs études ont comparé les performances respectives de l'échocardiographie de stress et de la scintigraphie myocardique pour le diagnostic de la maladie coronaire. L'étude de Marwick (12) a englobé 217 patients

coronariens suspects ayant bénéficié d'une échocardiographie sous dobutamine et d'une scintigraphie myocardique au ^{99m}Tc sestamibi. Les résultats retrouvés montrent une meilleure sensibilité pour la scintigraphie myocardique (76 % vs 72 %) mais l'échocardiographie est plus spécifique (83 % vs 67 %).

Une autre étude ayant comparé l'échocardiographie sous dobutamine et la tomoscintigraphie myocardique de stress au thallium chez 120 patients coronariens (13), a trouvé une sensibilité comparable pour les 2 techniques (89% pour la TMS et 83 % pour l'échographie) mais l'échographie reste plus spécifique (93 %) que la TMS (85 %). D'autres études dans la littérature confortent ces résultats (14).

3. L'imagerie par résonance magnétique

Les récents développements qu'a connus l'IRM cardiaque lui ont donné une plus grande importance dans l'imagerie de la cardiopathie ischémique. L'IRM en mode ciné permet l'analyse de la fonction ventriculaire gauche segmentaire et globale avec une bonne résolution spatiale et temporelle (15).

L'étude des cardiopathies ischémiques en IRM associée à l'utilisation d'un traceur ou agent de contraste (chélates de gadolinium) ou IRM de perfusion, peut être réalisée par deux approches complémentaires : la première vise à déterminer la perfusion tissulaire myocardique et repose sur l'étude de la perfusion au cours du premier passage du traceur après une injection en bolus ; la seconde, est réalisée plus tardivement après l'injection du traceur et repose sur des séquences spécifiques visant à mettre en évidence les territoires présentant une anomalie de la cinétique d'élimination de l'agent de contraste ; c'est ce que l'on dénomme habituellement « imagerie du rehaussement tardif » (16).

Cette méthode a été validée pour le bilan de la maladie coronaire (17), en prenant comme méthode de référence la coronarographie (sensibilité entre 72 et 94 %

et spécificité moyenne de 89 %. Lorsque la méthode de référence choisie est la tomoscintigraphie la sensibilité est alors de 84 % et sa spécificité est plus élevée à 93.5 %. Au vu de ces résultats, l'IRM est comparable voire supérieure à la scintigraphie pour le diagnostic de la maladie coronaire, mais il faudra attendre la réalisation d'études de grandes cohortes pour confirmer la valeur diagnostique de l'IRM de perfusion.

4. Le coroscanner

Il est proposé depuis quelques années dans le dépistage et le suivi de la maladie coronarienne. En visualisant les artères et en repérant les sténoses, il permettrait de trier les patients candidats à une revascularisation. Cependant le scanner coronarien n'est utile que s'il est normal. En effet, sa valeur prédictive négative est élevée, supérieure à 96% mais sa spécificité est basse (18). En revanche le scanner coronaire permet de quantifier le score calcique qui est un élément intéressant pour apprécier le risque futur de maladie coronaire. Enfin, la dosimétrie de l'examen n'est pas favorable avec une irradiation sur les poumons et les seins très significative (1).

IV. Scintigraphie myocardique et populations particulières

1. Chez les patients asymptomatiques

Même si la scintigraphie myocardique est très sensible et très spécifique, il est inconcevable de l'utiliser comme test de dépistage dans une population à faible prévalence car il entraînerait beaucoup de faux positifs (Théorème de Bayes). Dans une étude faite chez 845 sujets jeunes asymptomatiques avec électrocardiogramme d'effort douteux, on retrouve une sensibilité de 45 % et une spécificité de 78 % de la scintigraphie myocardique par rapport à la coronarographie. La scintigraphie myocardique ne semble donc pas être une méthode de dépistage satisfaisante de la maladie coronaire des sujets asymptomatiques jeunes (19).

2. Chez les diabétiques

Les performances de la scintigraphie sont identiques chez les diabétiques et les non diabétiques (20), hormis le cas de la détection des lésions proximales de l'artère inter-ventriculaire antérieure (moindre sensibilité et meilleure spécificité). Ils retrouvent également des performances identiques pour l'épreuve d'effort et le dipyridamole (21). Ces données nous confirment que les performances de la scintigraphie myocardique restent bonnes chez le diabétique, permettant son utilisation pour le diagnostic d'une éventuelle maladie coronaire. Chez le diabétique asymptomatique ayant d'autres facteurs de risque cardiovasculaire, une TSMP normale ou subnormale (anomalie de perfusion touchant moins de 10 % de la masse ventriculaire gauche) permet d'affirmer l'absence de coronaropathie relevant d'une revascularisation dans 80 à 85 % des cas d'une part, et la présence d'une bonne valeur prédictive négative, voisine de 95 % pour la survenue d'événements

cardiaques majeurs à 2 ans d'autre part. En revanche, une anomalie de perfusion > 10% du ventricule gauche est associée à une majoration du risque cardiovasculaire dans un rapport de 3 à 7 (36). Ainsi, une exploration coronarographique semble recommandée en présence d'une TSMP faiblement ou fortement positive, dès lors que plus de 10 % de la masse ventriculaire gauche sont concernés par le trouble de perfusion.

3. En cas de bloc de branche gauche complet

Une hypofixation antéroseptale est observée sur les scintigraphies d'effort sans qu'aucune atteinte coronaire n'y soit associée. L'utilisation de tests pharmacologiques (dipyridamole ou adénosine) (22) semble plus adaptée pour le diagnostic de maladie coronarienne chez ces patients. Par contre, en cas de bloc de branche droit, ou de bloc incomplet de la branche gauche, aucune modification de la stratégie diagnostique n'est à prévoir.

4. Chez les candidats à une chirurgie vasculaire périphérique

La fréquence de l'atteinte coronaire varie entre 15 à 54 %. Dans une étude (23) réalisée entre 1991 et 2000, chez 275 patients ayant bénéficié d'une tomoscintigraphie myocardique au thallium-dipyridamole avant chirurgie artérielle périphérique, il a été démontré que la valeur prédictive négative de la tomoscintigraphie est de 97 %. L'étude d'Ashton (24) chez 1487 hommes et de Wong (25) englobant 1442 patients, confirment que la tomoscintigraphie n'a d'intérêt que chez les patients de risque pré test intermédiaire.

5. Evaluation des stratégies de revascularisation

Après la revascularisation, la scintigraphie myocardique est indiquée pour le dépistage systématique d'une resténose après angioplastie ou pontage aortocoronarien et en cas de douleurs thoraciques récurrentes.

a. L'angioplastie transluminale

C'est une technique non chirurgicale de revascularisation. Initialement indiquée pour les atteintes monotronculaires, elle est maintenant utilisée lors de l'atteinte pluritronculaire et pour la reprise des sténoses de pontage aortocoronarien. Le taux de resténose après un stent nu est de 10 à 30% dans les 6 premiers mois avec un pic entre 3 et 6 mois (26). Cependant la généralisation de la bithérapie anti-agrégante et l'émergence des stents actifs ont rendu ce concept dépassé avec des taux de resténoses très faibles.

Ainsi la surveillance scintigraphique systématique après angioplastie après 6 mois (27) n'est plus de mise et l'indication est basée sur une approche plus pragmatique prenant en compte le terrain et la lésion elle-même. Un test d'effort est généralement proposé 2 à 3 mois après l'angioplastie. Il possède une bonne valeur prédictive négative, mais une valeur prédictive positive à seulement 50%. L'ischémie silencieuse est parfois présente au décours des dilatations (20 à 35% des patients qui présentent des douleurs thoraciques avant l'ATL restent asymptomatiques, même en cas de resténose) (28). Les performances de l'ECG d'effort dans cette situation clinique sont décevantes, avec une sensibilité variant entre 24 et 52 % et une spécificité entre 33 et 88 % (29) (30). À l'opposé, les performances de la scintigraphie dans cette indication précise restent inchangées: la scintigraphie d'effort garde une sensibilité de 93 % après une resténose contre 52 % pour l'ECG

d'effort seul avec une spécificité également inchangée (31). Une scintigraphie positive ne fait pas la différence entre une resténose et une nouvelle sténose coronarienne. Là encore, elle permet de quantifier l'ischémie pour permettre en fonction de son importance, un geste de revascularisation. Donc l'examen n'est pas tant utile pour la recherche de resténose que pour la surveillance du patient lui-même, compte tenu de la maladie coronarienne existante et du risque d'évolutivité propre.

b. Après pontage aorto-coronaire

Le risque de dysfonction du pontage coronarien est continu et s'observe plus volontiers après plusieurs années. En cas de dysfonctionnement du pontage, la clinique est, comme dans les suites d'angioplastie, souvent peu symptomatique et peu spécifique, en raison de douleurs pariétales post chirurgicales. L'épreuve d'effort seule présente une sensibilité de 50 % contre 80 % pour la scintigraphie d'effort (32), la spécificité restant identique, entre 80 et 90 % pour les deux techniques (33). La place de la scintigraphie dans cette indication est discutée au cas par cas, en particulier devant la réapparition de douleurs thoraciques, afin de documenter une ischémie, d'éliminer une origine pariétale, ou encore pour explorer une aggravation d'une dysfonction ventriculaire gauche pour laquelle on suspecte une origine ischémique.

c. Différenciation des douleurs thoraciques récurrentes

Plusieurs types de douleur subsistent après la chirurgie. On distingue la douleur due à la sternotomie, les névralgies, la péricardite post-opératoire, et l'anxiété. L'intérêt de la scintigraphie réside dans la différenciation entre ces douleurs et celle due à une atteinte ischémique récurrente. L'étude d'Iskandrian

accrédite la scintigraphie d'effort d'une sensibilité de 65 % et une spécificité de 100% (34).

La scintigraphie, motivée par des douleurs thoraciques atypiques chez un patient coronarien avec des sténoses intermédiaires non dilatées ou des lésions très distales non dilatées connues, présente plusieurs intérêts. Elle permet de documenter une éventuelle ischémie et d'en préciser son importance.

6. Le post infarctus

La scintigraphie myocardique est indiquée pour apprécier l'existence d'une ischémie sur d'autres territoires que celui de la nécrose, ou pour rechercher une viabilité (hibernation) avant une éventuelle revascularisation.

Au décours immédiat d'un infarctus, la réalisation d'une coronarographie a l'intérêt d'apprécier l'arbre coronaire, de visualiser la ou les sténoses coronariennes, de rechercher des lésions sévères de mauvais pronostic (lésions du tronc commun et atteintes tritronculaires sévères) et d'indiquer ou non un geste de revascularisation sur le territoire de l'infarctus ou sur d'autres territoires en cas d'atteintes pluritronculaires. Cependant, la dilatation systématique de l'artère responsable, au décours immédiat et non en phase aiguë, sont remises en question par les dernières recommandations (34).

- Avant la coronarographie

La scintigraphie myocardique permet d'apprécier la taille de l'infarctus, mais surtout l'existence ou non d'une ischémie résiduelle dans le territoire de l'infarctus. Elle permet d'apprécier en outre l'existence d'autres territoires ischémiques pouvant traduire des lésions pluritronculaires significatives. Enfin, la détermination

aujourd'hui systématique de la FEVG par la technique du gated SPECT permet une appréciation pronostique supplémentaire utile à la stratégie thérapeutique.

- Après la coronarographie

Lorsqu'une coronarographie est réalisée, la scintigraphie pratiquée a posteriori est utile dans deux situations distinctes :

- Il existe des lésions coronariennes intermédiaires à la coronarographie n'ayant pas fait l'objet d'une revascularisation : ces lésions sont-elles cliniquement significatives ? La scintigraphie est réalisée afin de rechercher une ischémie dans le territoire incriminé ;
- En présence d'une FEVG basse, l'indication d'un geste de revascularisation n'est justifiée que si le myocarde en aval de la sténose est viable (35), qu'il s'agisse de myocarde viable résiduel sidéré (au décours de l'infarctus) ou de myocarde hibernant en aval de sténose serrée ancienne. Une scintigraphie de repos (sans test de stimulation préalable) est suffisante pour rechercher cette viabilité.

V. Quelle est la place de la scintigraphie myocardique pour la recherche de la viabilité ?

La dysfonction ventriculaire est une des causes majeures de morbidité et de mortalité chez les patients coronariens. La recherche d'une dysfonction réversible ou « myocarde viable » a des implications cliniques et pronostiques importantes (37). En effet, la revascularisation myocardique en présence de myocarde viable permet d'améliorer les symptômes d'insuffisance cardiaque et la survie postopératoire, et ce même lorsque la fonction ventriculaire gauche est altérée à un point tel qu'une transplantation cardiaque pourrait être envisagée (37).

1. Qu'est-ce que la notion de viabilité myocardique?

Classiquement, un segment myocardique est viable si sa cinétique s'améliore ou se normalise après revascularisation. Cette définition est très limitative mais elle a été utilisée dans de très nombreuses études. Les techniques permettant d'établir ce diagnostic doivent donc le faire a priori et prévoir si un segment myocardique est susceptible d'être viable dans le but de poser une éventuelle indication de revascularisation.

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.

2. Pourquoi faut-il rechercher la viabilité ?

L'évaluation de la viabilité du myocarde est toujours extrêmement pertinente sur le plan clinique. Les patients dont la fonction du VG redevient normale post-IM ou après une revascularisation présentent un pronostic considérablement meilleur.

La présence d'un myocarde viable permet de prédire chez les patients qui subissent une revascularisation une amélioration des symptômes, une atténuation de la dilatation et du remodelage du VG, une réduction des arythmies ventriculaires et une réduction éventuelle du risque d'événements ischémiques mortels (même sans amélioration de la fonction du VG) (38). L'inverse est également vrai. Chez les patients pour lesquels il n'a pas été démontré que le myocarde est viable, les interventions de revascularisation peuvent ne pas avoir d'effets bénéfiques et la stratégie optimale à adopter chez ces patients est l'administration d'un traitement médical optimale.

La détection de la viabilité est donc un élément majeur dans la décision thérapeutique chez les patients présentant une dysfonction ventriculaire gauche sur cardiopathie ischémique.

3. Comment rechercher la viabilité myocardique par la scintigraphie myocardique?

La scintigraphie de repos au ²⁰¹thallium a été pendant longtemps, avec l'échocardiographie de stress, le seul moyen d'évaluer une viabilité myocardique. Elle était basée sur l'étude de la captation du traceur par les tissus viables, celle-ci dépendant autant de la perfusion du tissu que de l'intégrité de la membrane cellulaire. Le thallium se redistribue après injection dans toutes les zones myocardiques non nécrotiques. Il a été démontré qu'une captation de plus de 50-60% du thallium au repos dans des zones hypokinétiques était associée à une amélioration de la fonction systolique après revascularisation chez 60 à 70% des patients étudiés.

Plusieurs protocoles peuvent être utilisés : l'injection de thallium après effort avec recherche d'une redistribution à 4 heures est spécifique mais peu sensible dans le diagnostic de viabilité myocardique. Une sensibilisation peut être obtenue par :

- acquisition tardive (18-24 heures) ;
- réinjection de la moitié de la dose de thallium à 4 heures, avant l'étude de la redistribution;
- injection de dérivés nitrés après l'effort ou avant la redistribution

La tomoscintigraphie conventionnelle après effort (ou dipyridamole lorsque l'effort est impossible) permet à la fois la recherche d'une viabilité résiduelle dans le territoire de l'artère responsable de l'infarctus et la détection d'une ischémie liée à une sténose coronaire controlatérale.

La tomoscintigraphie conventionnelle peut également être réalisée après injection de thallium au repos, avec étude de la redistribution à la quatrième heure. Ce protocole donne des résultats superposables à ceux obtenus après effort en terme de viabilité mais ne permet pas de dépister une ischémie liée à une sténose coronaire controlatérale.

Le ^{99m}Tc -Sestamibi, actuellement utilisé, ne se redistribue pas dans le tissu myocardique mais présente une sensibilité et spécificité comparables à celles de la scintigraphie au ^{201}Tl pour la détection de la viabilité lorsque combiné à un examen de repos effectué sous dérivés nitrés (37).

Le PET au ^{18}F -fluorodéoxyglucose (FDG) est jusqu'à présent reconnu comme la méthode de référence pour la définition de la viabilité. Son principe réside dans l'étude du métabolisme myocardique résiduel dans les territoires hypoperfusés, et plus particulièrement de l'activité de captation du glucose. Cette méthode possède

une sensibilité et spécificité élevées pour prédire une récupération de la fonction contractile après revascularisation, mais aussi l'amélioration des symptômes d'insuffisance cardiaque (classe NYHA) et la survenue d'événements cardiovasculaires après revascularisation (37).

L'IRM est devenue la méthode de référence pour l'évaluation de la viabilité, et ceci autant en raison de ses qualités intrinsèques que des problèmes d'accès au PET. La technique de rehaussement tardif en IRM est très reproductible et montre une bonne corrélation avec le PET pour l'évaluation de la viabilité myocardique (16). Elle présente une sensibilité de 94% et une spécificité de 84% en considérant le PET-FDG comme référence.

CONCLUSION

A la lumière de cette expérience débutante de notre service des isotopes du CHU Hassan II de Fès, les points suivants sont à souligner :

- L'intégration de la scintigraphie dans la stratégie de prise en charge du patient coronarien apporte une valeur ajoutée incontestable dans le choix thérapeutique de ces patients. L'exemple caricatural est l'absence de viabilité à la scintigraphie chez un patient ayant présenté un IDM vu tardivement qui ne bénéficiera pas d'une angioplastie.
- Notre étude a montré que les principales indications dans notre contexte reste la détection de l'ischémie myocardique ce qui nous pousse à définir la place de la scintigraphie au sein des autres explorations non invasives disponible dans notre CHU (ECG d'effort et échocardiographie de stress).
- La mise en place d'une structure de scintigraphie myocardique suppose une coordination étroite entre le service de Cardiologie qui doit sélectionner les patients qui bénéficieraient le plus de cette technique et le service de isotopes pour améliorer les performances techniques de cette exploration.
- Comme précisé ci-dessus, la détection de l'ischémie myocardique est la principale indication ce qui suppose que le cardiologue affecté au niveau du service des isotopes doit maîtriser l'interprétation de l'ECG d'effort et doit organiser une ambiance idéale pour une éventuelle réanimation cardio-pulmonaire.

- Dans notre protocole du service et notamment dans le cadre des IDM vus tardivement, nous conseillons vivement de réaliser une coronarographie avant de demander la scintigraphie et ce pour les raisons suivantes :
 - La coronarographie peut révéler une lésion d'un tronc commun qui pourrait poser un problème lors de la scintigraphie d'effort quand on recherchera une ischémie résiduelle.
 - La coronarographie pourra révéler un arbre angiographiquement normal ou indemne de lésion significative ne justifiant plus de geste de revascularisation et donc ne justifiant plus une scintigraphie.
 - La découverte d'une occlusion coronaire avec séquelle devra faire rechercher d'abord une viabilité avant de rechercher une éventuelle ischémie alors qu'une artère ouverte fera rechercher les 2.

BIBLIOGRAPHIE

- 1- Boden WE, O'Rourke RA, Teo KK et coll. Optimal medical therapy with or without PCI for stable coronary disease. N Engl J Med 2007; DOI:10.1056/NEJMe070829.
- 2- Shaw LJ. Differential improvement in stress myocardial perfusion ischemia following percutaneous coronary intervention as compared with optimal medical therapy alone: nuclear substudy results from the Clinical Outcomes using Revascularization and Aggressive drug Evaluation. Late-breaking clinical trials I. Sessions scientifiques 2007 de l'American Heart Association. Orlando, FL, E.-U., novembre 2007.
- 3- Pennell D.J, Prvulovich E. Clinicians guide to nuclear medicine. Nuclear cardiology. Impact healthcare, UK, 1995.
- 4- Jain A, Suarez J, Mahmarian JJ, Zoghbi WA, Quinones MA, Verani MS. Functional significance of myocardial perfusion defects induced by dipyridamole using thallium-201 single-photon emission computed tomography and two-dimensional echocardiography. Am. J. Cardiol. 1990 oct 1;66(10):802-806.
- 5- Roe MT, Harrington RA, Prosper DM, Pieper KS, Bhatt DL, Lincoff AM, et al. Clinical and therapeutic profile of patients presenting with acute coronary syndromes who do not have significant coronary artery disease. The Platelet Glycoprotein IIb/IIIa in Unstable Angina: Receptor Suppression Using Integrilin Therapy (PURSUIT) Trial Investigators. Circulation. 2000 sept 5;102(10):1101-1106.
- 6- Verna E, Ceriani L, Giovanella L, Binaghi G, Garancini S. « False-positive » myocardial perfusion scintigraphy findings in patients with angiographically normal coronary arteries: insights from intravascular sonography studies. J. Nucl. Med. 2000 déc;41(12):1935-1940.

- 7- Hachamovitch R, Berman DS, Shaw LJ, Kiat H, Cohen I, Cabico JA, et al. Incremental prognostic value of myocardial perfusion single photon emission computed tomography for the prediction of cardiac death: differential stratification for risk of cardiac death and myocardial infarction. *Circulation*. 1998 févr 17;97(6):535-543.
- 8- Vanzetto G, Ormezzano O, Fagret D, Comet M, Denis B, Machecourt J. Long-term additive prognostic value of thallium-201 myocardial perfusion imaging over clinical and exercise stress test in low to intermediate risk patients : study in 1137 patients with 6-year follow-up. *Circulation*. 1999 oct 5;100(14):1521-1527.
- 9- Berman DS, Hachamovitch R. Risk assessment in patients with stable coronary artery disease: incremental value of nuclear imaging. *J Nucl Cardiol*. 1996 déc;3(6 Pt 2):S41-49.
- 10- Gianrossi R, Detrano R, Mulvihill D, Lehmann K, Dubach P, Colombo A et al. Exercise-induced ST depression in the diagnosis of coronary artery disease. A meta-analysis. *Circulation* 1989 ; 80 : 87-98
- 11- Geleijunse ML, Fioretti PM, Roelandt JR. Methodology feasibility, safety and diagnostic accuracy of dobutamine stress echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1997 ; 30 :595-606.
- 12- MARWICK T, D'HONDT AM, BAUDHUIN T. Willemart B, Wijns W, Detry JM Optimal use of dobutamine stress for the detection and evaluation of coronary artery disease: Combination with echocardiography or scintigraphy, or both ? *J Am Coll Cardiol* 1995, 22: 159-167.

- 13- TAKEUCHI M, ARAKI M, NAKASHIMA Y. Comparison of dobutamine stress echocardiography and stress thallium-201 single-photon emission computed tomography for detecting coronary artery disease (Abstract). *J Am Soc Echocardiogr* 1993, 6: 593-602.
- 14- GALANTI G. SCIAGRA R. COMEGLIO M. Diagnostic accuracy of peak exercise echocardiography in coronary artery disease: Comparison with thallium-201 myocardial, scintigraphy. *Am Heart J* 1991, 122: 1609-1616.
- 15- Garot J. Magnetic Resonance Imaging of acute myocardial ischaemia and infarction. *Arch Mal Coeur* 2003; 96 : 1213-8.
- 16- Croisille P. Cardiopathies ischémiques (perfusion myocardique et viabilité) : techniques et résultats, *J Radiol* 2004;85:1811-1818.
- 17- Wilke NM, Jerosch-Herold M, Zenovich A, Stillman AE. Magnetic resonance first-pass myocardial perfusion imaging: clinical validation and future applications. *J Magn Reson Imaging* 1999;10:676- 85.
- 18- HANON M and al, Diagnosis performance of multislice spiral computed tomography of coronary arteries as compared with conventionnal invasive coronary angiography. *J Am coll of cardiol* 2006; 48: 1896-910.
- 19- Kang X., Berman DS., Lewin H., Miranda R., Erel J. Comparative ability of myocardial perfusion single-photon emission computed tomography to detect coronary artery disease in patients with and without diabetes mellitus. *Am Heart J* 1999 ; 137(5) : 949-57.
- 20- Intérêt de la scintigraphie myocardique chez le diabétique. *Revue de l'ACOMEN*, 1999, vol.5, n°4, 372-80.

- 21- Kang X., Berman DS., Lewin H., Miranda R., Erel J. Comparative ability of myocardial perfusion single-photon emission computed tomography to detect coronary artery disease in patients with and without diabetes mellitus. *Am Heart J* 1999 ; 137(5) : 949-57.
- 22- O'keefe JH, Bateman TM, Silvestri R. Barnhart G. Safety and diagnostic accuracy of adenosine thallium-201 scintigraphy in patients unable to exercise and those with left bundle branch block. *Am Heart J* 1992, 124: 614-621.
- 23- Vaquette B, Clergues F, Kalangos A, Dorsaz P, Righetti A. Valeur pronostique de la tomoscintigraphie myocardique au thallium-201 sensibilisée au dipyridamole avant chirurgie artérielle périphérique. *Arch Mal Coeur* 2003 ; 96 :281-7.
- 24- Ashton CM, Petersen NJ, Wray NP, Kiete CI, The incidence of perioperative myocardial infarction in men undergoing noncardiac surgery. *Ann Intern Med* 1993, 118 504-510.
- 25- Wong T, Detsky AS. Preoperative cardiac risk assessment for patients having peripheral vascular surgery. *Ann Intern Med* 1992, 116: 743-753.
- 26- Beatt KJ, Serruys PW, Hungenholtz PG. Restenosis after coronary angioplasty: new standards for clinical studies. *J AmColl Cardiol* 1990 ; 15 : 491-498.
- 27- Guyon P, Caussin C, Bourachot ML, et coll. Surveillance cardiologique des patients ayant bénéficié d'une angioplastie : importance de la scintigraphie myocardique avec épreuve d'effort. *Méd Nucl* 1997 ; 21 : 197-200.
- 28- Mata LA, Bosch X, David PR, Rapold HJ, Corcos T, Bourassa MG. Clinical and angiographic assessment six months after double vessel percutaneous coronary angioplasty. *J AmColl Cardiol* 1985 ; 6 : 1239-1244.

- 29- Bengtson JR, Mark DB, Honan MB, Rendall DS, Hinohara T, Stack RS et al. Detection of restenosis after elective percutaneous transluminal coronary angioplasty using the exercise treadmill test. *Am J Cardiol* 1990 ; 65 : 28-34.
- 30- Honan MB, Bengtson JR, Pryor DB, Rendall DS, Stack RS, Hinohara T et al. Exercise treadmill testing is a poor predictor of anatomic restenosis after angioplasty for acute myocardial infarction. *Circulation* 1989 ; 80 : 1585-1594.
- 31- Hecht HS, Shaw RE, Bruce TR, Ryan C, Stertz SH, Myler RK. Usefulness of tomographic 201-thallium imaging for detection of restenosis after percutaneous transluminal coronary angioplasty. *Am J Cardiol* 1990 ; 66 : 1314-1318.
- 32- Pfisterer M, Emmenegger H, Schmitt HE, Muller-Brand J, Hasse J, Gradel E et al. Accuracy of serial myocardial perfusion scintigraphy with 201-thallium for prediction of graft patency early and late after coronary artery bypass surgery: a controlled prospective study. *Circulation* 1982 ; 66 : 1017-1024.
- 33- Lakkis NM, Afridi II, Mahmarian JJ. Exercise 201-thallium single photon emission computed tomography: an effective tool to detect late coronary artery bypass graft stenosis [abstract]. *J Am Coll Cardiol* 1994 ; 23 : 254A.
- 34- Iskandrian AS, Haaz W, Segal RL, Kane SA Exercise thallium 201 scintigraphy in evaluating aortocoronary bypass surgery. *Chest* 1982; 80: 11-15.
- 35- ESC Guidelines for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation *European Heart Journal* (2012) 33, 2569-2619.
- 36- Guidelines on myocardial revascularization, *European Heart Journal* (2010) 31, 2501-2555.

37- EMC - Cardiologie-Angéiologie Volume 2, Issue 1, February 2005, Pages 86-89

38- J. Saltiel, J. Lesperance, M.J. Bourassa, Y. Castonguay, L. Campeau, P. Grondin
Reversibility of left ventricular dysfunction following aorto-coronary bypass grafts
Am. J. Roentgenol. Radium Ther. Nucl. Med., 110 (1970), pp. 739-74

ANNEXE

Tableau 2 : Principales contre-indications à l'épreuve d'effort

Contre-indications au test d'effort
Absolues : 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.
Relatives : Sténose du tronc commun connue ; Hypertension artérielle sévère (PAS >200 mm Hg ou PAD >110 mm Hg) ; Sténose valvulaire modérée ; Cardiomyopathie hypertrophique obstructive ; Troubles électrolytiques ; BAV de haut degré.