

Guide pour la rédaction de protocoles pour la tomoscintigraphie de perfusion myocardique

Rédaction: Société Française de Médecine Nucléaire et Imagerie Moléculaire (SFMN)

Version: 1.0

Date de dernière mise à jour : 19/06/2006

Responsable de la rédaction: D. Daou

Membres du comité de rédaction : C. Coaguila, D. Daou, Pierre Weinmann, Pierre-Yves Marie.

Membres du comité de validation : M. Bourguignon, F. Brunotte, I. Gardin, G. Karcher, F. Moati, A. Prigent, B. Tillon, J.M. Vinot

Date de la ratification par le conseil d'administration de la SFMN: 21/06/2006

Adresse internet où la procédure peut être chargée: www.sfbmn.org

But du guide: Aider les responsables et le personnel des services de médecine nucléaire français à rédiger les protocoles et modes opératoires de réalisation des examens en conformité avec les directives EURATOM du conseil de l'Union Européenne en particulier la directive 97/43, le code de la santé publique, la jurisprudence française sur l'information des patients, les recommandations des groupes de travail français, européens et nord-américains, le résumé des caractéristiques des produits (RCP) validé par l'Union Européenne et repris dans la notice pour l'utilisateur distribuée par le fabricant pour chaque médicament radiopharmaceutique disposant d'une AMM.

Mise en garde: Le guide est destiné aux seuls spécialistes de médecine nucléaire. Les recommandations qu'il contient peuvent ne pas s'appliquer au cas particulier de chaque patient. La Société Française de Médecine Nucléaire et Imagerie Moléculaire décline toute responsabilité quant aux conséquences d'erreurs qui se seraient glissées dans la reproduction ou la transformation de ce document.

I- INFORMATIONS ET DEFINITIONS PREALABLES :

La scintigraphie de perfusion myocardique permet l'évaluation de la perfusion myocardique relative grâce à l'administration par voie IV d'un produit radiopharmaceutique. Elle permet de déceler les territoires ayant un déficit relatif de fixation et donc de perfusion myocardique (ischémie myocardique et infarctus du myocarde).

Cette évaluation de la perfusion myocardique relative peut être réalisée au repos et/ou après un test de stimulation cardiaque ou au décours immédiat d'un épisode cardiaque aigu à partir des acquisitions planaires ou le plus souvent tomographiques (TEMP).

Lors des acquisitions tomographiques synchronisées à un signal électrocardiographique (TEMPS : Tomographie d'émission monophonique synchronisée) il est possible d'évaluer simultanément la perfusion et la cinétique segmentaire et globale du ventricule gauche (VG).

Les tests de stress ne sont pas traités dans ce guide. Le lecteur est renvoyé aux recommandations conjointes de la Société Française de Cardiologie et de la Société Française de Médecine nucléaire et Imagerie Moléculaire : « *Mise à jour des recommandations concernant la pratique des épreuves de provocation d'ischémie en cardiologie nucléaire chez l'adulte et l'enfant* », *Médecine Nucléaire-Imagerie fonctionnelle et métabolique*" 2002, vol 26, N° 12, p 691-709.

II- INDICATIONS :

Indications reposant sur des essais avec répartition aléatoire des sujets, méta-analyses, passages en revue systématiques:

- Bilan diagnostique de l'insuffisance coronaire chez les patients présentant une douleur thoracique et présentant un risque intermédiaire ou élevé d'insuffisance coronaire ou bien chez les patients asymptomatiques mais présentant un risque élevé d'insuffisance coronaire : diabétiques, et/ou patients ayant de multiples facteurs de risque cardio-vasculaire, et/ou patients ayant une atteinte vasculaire périphérique (anévrisme aortique, artérite oblitérante des membres inférieurs, sténose carotidienne, etc.), score d'Agatston supérieur ou égal à 400.

-Insuffisance coronaire chronique connue:

- recherche d'ischémie myocardique résiduelle,
- évaluation du pronostic et du risque de survenue de complications cardiaques (infarctus, décès d'origine cardiaque, angor instable, insuffisance cardiaque),
- orientation thérapeutique,
- évaluation de l'efficacité du traitement médical ou de revascularisation,
- évaluation du retentissement fonctionnel d'une sténose coronaire sur la perfusion myocardique,
- identification de la sténose coronaire la plus serrée chez les patients chez qui une angioplastie coronaire est envisagée.

-Au décours immédiat d'un infarctus du myocarde (IDM) avec élévation du segment ST :

- évaluation de la taille de la nécrose myocardique et du myocarde viable résiduel,
- détection du myocarde à risque,
- évaluation du pronostic et du risque de survenue d'une complication cardiaque (infarctus, décès d'origine cardiaque, angor instable, insuffisance cardiaque),

- évaluation de l'efficacité des traitements: pontage, angioplastie, médicaments anti-angineux, etc.

-Syndrome coronarien aigu ou infarctus du myocarde (documenté par l'histoire clinique, échographie cardiaque, etc.) sans élévation du segment ST :

- diagnostic d'ischémie myocardique
- évaluation de la sévérité et de l'étendue de l'ischémie myocardique chez les patients dont les symptômes sont plus ou moins contrôlés médicalement et chez qui le diagnostic électrocardiographique d'angine de poitrine reste incertain,
- évaluation de la sévérité et de l'étendue de l'ischémie myocardique chez les patients présentant une angine de poitrine non contrôlée médicalement et chez qui le diagnostic électrocardiographique d'insuffisance coronaire est incertain,
- évaluation du retentissement fonctionnel d'une sténose coronaire sur la perfusion myocardique,
- identification de la sténose coronaire la plus serrée chez les patients pour lesquels une angioplastie coronaire est envisagée

-Insuffisance cardiaque:

- diagnostic étiologique de l'insuffisance cardiaque,
- évaluation de la viabilité myocardique avant revascularisation,
- prédiction de l'amélioration de la fonction ventriculaire gauche chez le patient insuffisant cardiaque après une intervention de revascularisation : pontage aorto-coronaire, angioplastie coronaire, etc.

-Evaluation de la viabilité myocardique chez un coronarien dans le cadre d'un bilan avant revascularisation percutanée et/ou chirurgicale.

-Bilan pré-opératoire d'une chirurgie lourde (chirurgie urologique, vasculaire, thoracique, orthopédique, etc.) chez les patients ayant de multiples facteurs de risque cardiovasculaire et une probabilité intermédiaire ou élevée d'être coronariens.

Indications reposant sur des travaux d'expérimentation ou d'observation fiables

Recherche d'arguments en faveur d'une myocardite,

Bilan étiologique d'une cardiomyopathie dilatée, recherche d'atteinte coronaire après transplantation

Recherche d'atteinte cardiaque au cours d'une sarcoïdose,

Indications reposant sur d'autres éléments probants lorsque les conseils se fondent sur des avis d'experts et sont validés par des instances faisant autorité.

III- 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 pris en compte (voir V.B)

Le chlorure de thallium est contre-indiqué chez l'enfant.

Doivent également être prises en compte les contre-indications aux épreuves de stress envisagées

IV- REALISATION DE L'EXAMEN :

A. 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 des techniques de stress : épreuve d'effort, administration de dipyridamole ou d'adénosine, test à la dobutamine,
- présence d'un bloc de branche gauche ou d'un rythme électro-entraîné.

B. Information et préparation du patient :

Le patient sera informé du déroulement de l'examen, 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.

Lorsque l'examen débute par une acquisition de repos avec un radiopharmaceutique technétié, il est souhaitable que les patients soient à jeun ou qu'ils n'aient pris qu'un petit déjeuner léger le matin de l'examen.

Une épreuve d'effort ne devrait pas être programmée chez un patient à jeun depuis la veille au soir.

La suppression des médicaments anti-angineux doit être discutée avant la réalisation d'une épreuve d'effort, 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 souhaitable de supprimer les dérivés nitrés et les antagonistes calciques (≥ 24 H) et, surtout, les bêta-bloquants (≥ 48 H). Dans le cas contraire, la sensibilité du test peut être diminuée,
- Les examens peuvent être réalisés sans arrêter le traitement médical lorsqu'ils sont effectués chez des patients coronariens connus (dans le cadre de l'évaluation de

l'efficacité du traitement médical et du pronostic du patient ou dans le cadre de l'étude de la viabilité myocardique),

Chez les patients diabétiques, les doses d'insuline doivent être modulées et adaptées en fonction des conditions de réalisation de l'examen (réalisation d'une épreuve d'effort, nécessité ou non d'être à jeun, etc.),

Pour les tests au dipyridamole ou à l'adénosine, les produits contenant des bases xanthiques doivent être supprimés. Si cela n'est pas possible, il est préférable de recourir à une autre technique de stress (effort, dobutamine). En pratique :

- les patients ne doivent prendre ni thé, ni café, ni chocolat, ni banane, ni 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.

B. Précautions

Conformément à l'article 10 de la Directive 97/43/Euratom du 30 juin 1997, dans le cas d'une femme en âge de procréer, le médecin ordonnateur et le praticien vérifient l'absence de grossesse, si nécessaire en réalisant un test de grossesse.

En cas d'allaitement, les précautions sont indiquées au paragraphe V.B

Les patients présentant un risque potentiel de rythme cardiaque instable (ex: tachycardie supra ventriculaire / ventriculaire paroxystique) ou avec des stimulateurs cardiaques (défibrillateur cardiaque) doivent être sous étroite surveillance, en particulier s'ils sont soumis à un stress.

Effets secondaires théoriques ou potentiels

Les effets secondaires possibles sont dans la grande majorité des cas liés à la réalisation du stress.

Une sensation de goût métallique serait ressentie dans 5% des cas après l'injection intraveineuse de sestamibi ou de la tetrofosmine. D'autres effets indésirables ont été répertoriés avec ces 2 radiopharmaceutiques, mais ils s'avèrent très rares et passagers (réaction allergique cutanée, nausée, céphalée, etc.).

Matériel de réanimation

En dehors du matériel de réanimation standard, qui doit être disponible non seulement pendant l'épreuve de stress, mais aussi sur le lieu de réalisation des tomoscintigraphies, il est nécessaire d'avoir à disposition :

- des ampoules d'aminophylline, dont l'injection en IV lente permet d'antagoniser les effets du dipyridamole,

- pour les épreuves à la dobutamine, un bêta-bloquant 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 bêta-bloquants.

Il est souhaitable de faire régulièrement vérifier l'ensemble du matériel de réanimation, par des spécialistes en médecine d'urgence (réanimation, SAMU, soins intensifs).

Interférences médicamenteuses possibles

A ce jour, aucune interférence médicamenteuse n'a été rapportée, pour chacun des 3 radiopharmaceutiques (thallium-201, sestamibi, tetrofosmine).

D. Radiopharmaceutiques

Caractéristiques physiques des radionuclides utilisés

Radionucléide	Mode de décroissance	Période	Spectrométrie
Tc-99m	désexcitation isomérique	6 h	E_{γ} : 140 keV
Tl-201	capture électronique	72 h	Ex du Hg : 69-83 keV (95%) E_{γ} : 135 keV (3,7 %) E_{γ} : 166 keV (0,15%) E_{γ} : 167 keV (11,9%)

Caractéristiques des molécules vectrices et des traceurs utilisés

Trois radiopharmaceutiques sont disponibles: chlorure de thallium [Tl-201]), sestamibi et tétrofosmine.

Contrôle de qualité des radiopharmaceutiques

Il doit se conformer aux recommandations de la notice du fournisseur.

Pour la mise en œuvre de ces contrôles, voir le guide spécifique des contrôles de qualité.

Mesure de l'activité dans un activimètre avant injection au patient.

Activité administrée, mode d'administration et données dosimétriques

Pour obtenir une imagerie de qualité, les activités injectées devraient être adaptées au poids corporel et, surtout, elles devraient être plus importantes pour les patients de plus de 70 kg.

- pour les radiopharmaceutiques technétiés et par kg de poids corporel,

protocole sur 1 jour, repos et stress: 3,7 et 11 MBq/kg

stress et repos: 3,7 et 11 MBq/kg

protocole sur 2 jours, stress: 11 MBq/kg

repos: 11 MBq/kg

- pour le thallium-201 et par kg de poids corporel,

stress – redistribution: 1,5 MBq/kg

reinjection: 0,5 MBq/kg

repos – redistribution: 1,5 à 2 MBq/kg

- pour les protocoles double isotopes (Tl-201 / radiopharmaceutique technétié)

repos avec Tl-201 1,5 MBq/kg

stress avec radiopharmaceutique technétié 11 MBq/kg

Selon les données des AMM obtenues pour les différents radiopharmaceutiques en France, les activités injectées recommandées pour un adulte standard d'environ 70 kg, sont :

- pour les radiopharmaceutiques technétiés (Sestamibi, Tétrofosmine)

protocole sur 1 jour, repos et stress: 250 et 750 MBq

stress et repos: 250 et 750 MBq

protocole sur 2 jours, stress: 750 MBq

repos: 750 MBq

- pour le thallium-201

stress – redistribution: 110 MBq

reinjection: 40 MBq

repos – redistribution: 110 à 150 MBq

- pour les protocoles double isotopes (Tl-201 / radiopharmaceutique technétié)

repos avec Tl-201 110 MBq

stress avec radiopharmaceutique technétié 750 MBq

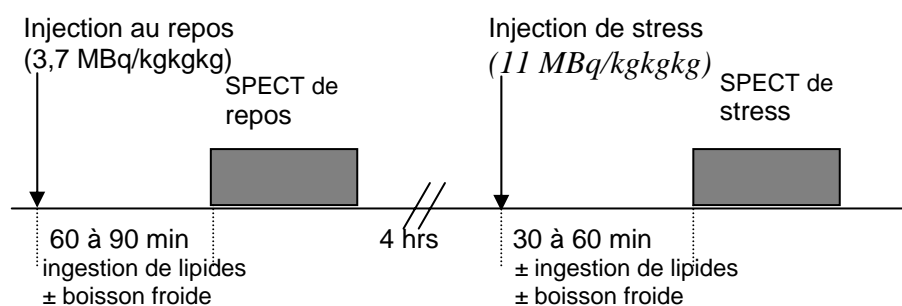
Pour les radiopharmaceutiques technnétés il est recommandé de ne pas dépasser une activité totale administrée de 1100 MBq (30 mCi) par jour.

Protocoles d'injection

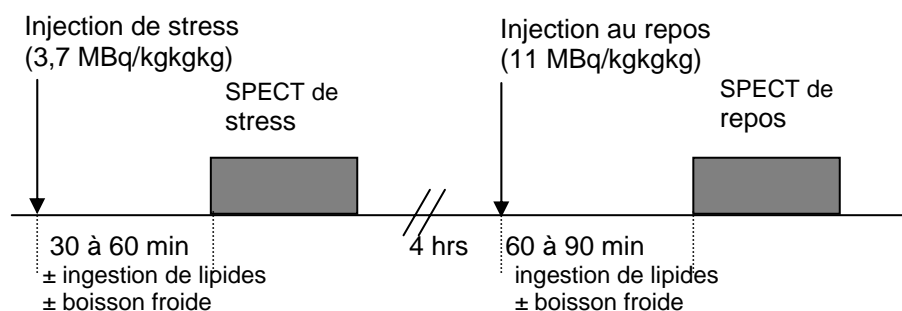
Les différents protocoles d'injection sont décrits ci-dessous, pour chacun des 3 radiopharmaceutiques commercialisés (thallium-201, sestamibi, tétrofosmine).

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.

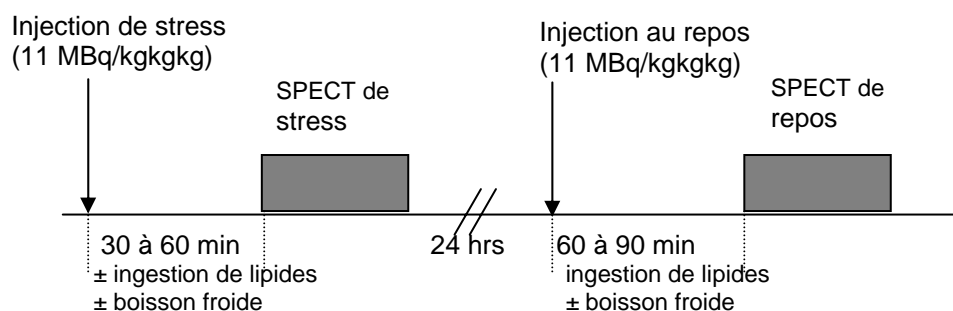
- Acquisitions repos-stress réalisées le même jour avec le sestamibi



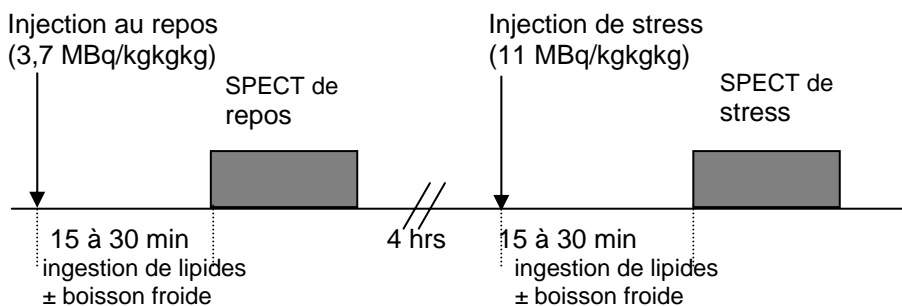
- Acquisitions stress-repos réalisées le même jour avec le sestamibi



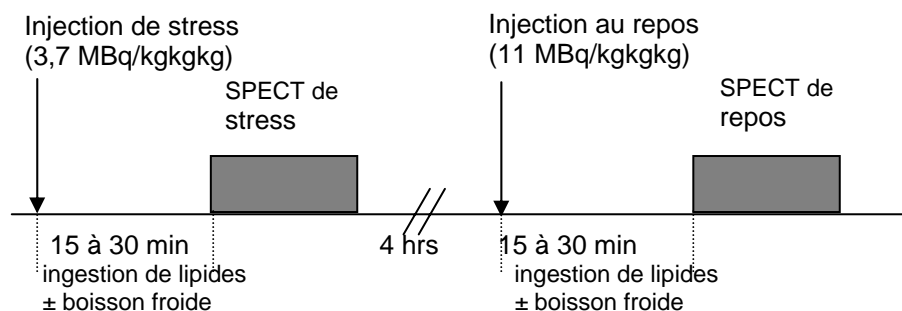
- Acquisitions stress-repos réalisées sur deux jours avec le sestamibi



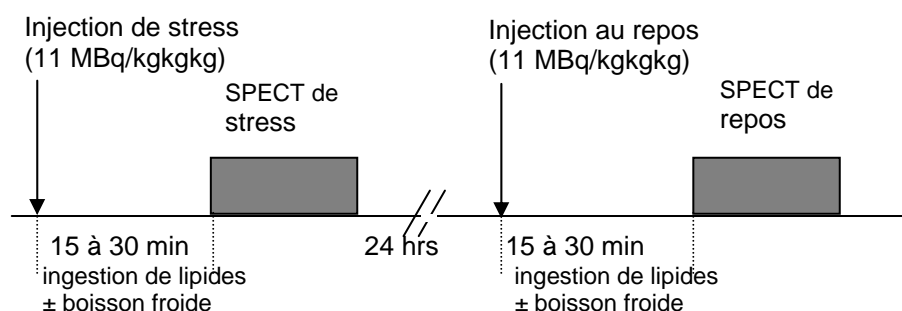
- Acquisitions repos-stress réalisées le même jour avec la tétréfosphimine



- Acquisitions stress-repos réalisées le même jour avec la tétréfosphimine



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

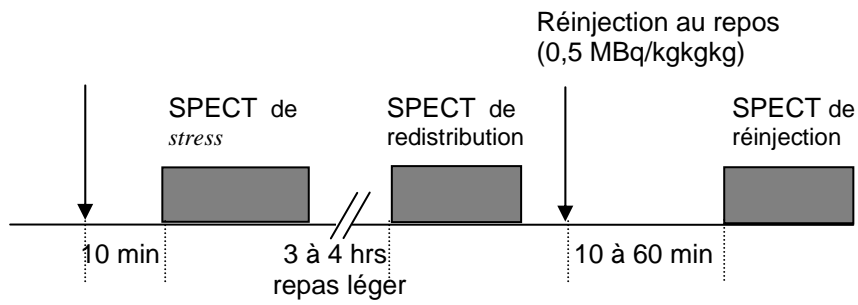


- Acquisitions stress-reinjection réalisées avec le thallium-201

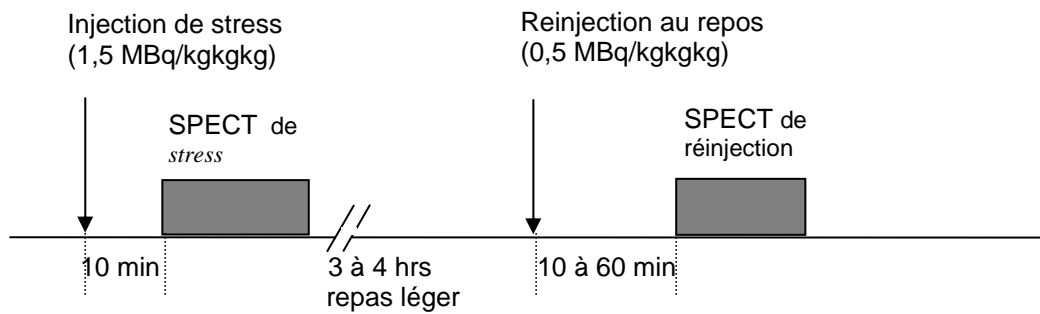
Le protocole recommandé par l'American Heart Association, comprend une acquisition en réinjection, uniquement lorsqu'il n'y a pas de réversibilité sur les images de redistribution. Le protocole simplifié, sans image de redistribution, est équivalent et il est beaucoup plus souvent utilisé en Europe.

.Protocole classique :

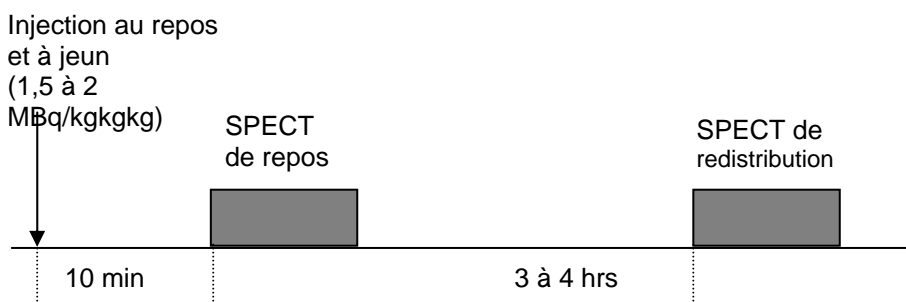
Injection de stress
(1,5 MBq/kgkgkg)



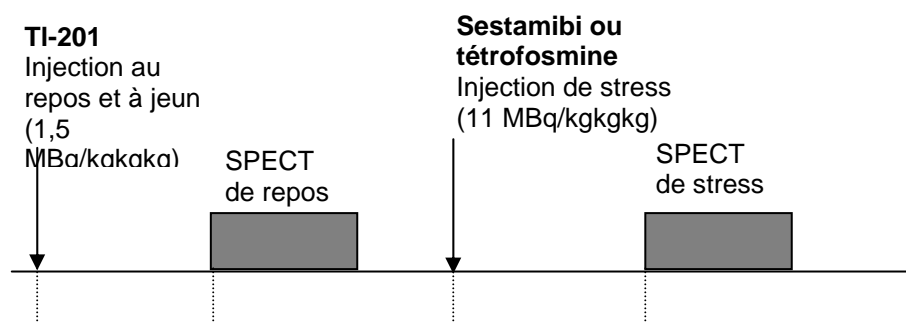
Protocole simplifié :



- Acquisitions repos-redistribution avec le thallium-201 (uniquement pour l'évaluation de la viabilité)



- Acquisitions repos-stress réalisées en double isotopes le même jour



10 à 60 min

15 à 60 min

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 stimulation soient débutées dans les 10 minutes après la fin du test et que les images dites 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 technétium, il est préférable de respecter un délai de 4 H entre les 2 injections, et l'activité de la 2^{ème} injection doit être de trois fois 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, crème fraîche, beurre, fromage,...), environ 30 min avant le début des acquisitions effectuées au repos ou au décours d'un stress pharmacologique. 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 tétréfosmine 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 tétréfosmine.

D'autre part, lorsqu'il s'agit d'une étude d'évaluation de la viabilité myocardique, il peut être utile de donner un dérivé nitré, par voie sub-linguale, 2 à 3 min avant l'injection au repos du radiopharmaceutique.

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).

La dose reçue par le patient est donnée par les tableaux ci-dessous, extrait du rapport «Dosimétrie des explorations diagnostiques en Médecine Nucléaire» de la Société Française de Physique Médicale» (rapport SFPM N° 19-2001).

^{99m}Tc 2-METHOXY-ISOBUTYL ISONITRILE (sestamibi)						
Injection intra-veineuse						
Au repos						
<i>DOSE ABSORBEE PAR UNITE D'ACTIVITE ADMINISTREE</i>						
<i>(µGy/MBq)</i>						
Organes	Homme adulte	Femme adulte	15 ans	10 ans	5 ans	1 an
Vésicule biliaire	39	45	45	58	100	320
Reins	36	43	43	59	85	150
Paroi du colon	24	31	31	50	79	149
Myocarde	6,3	8,2	8,2	12	18	30
Ovaires	-	12	12	18	25	45

Testicules	3,8	-	5,0	7,5	11	21
Utérus	-	10	10	15	22	38
Dose efficace (µSv/MBq)	8,5	11	11	17	28	49

^{99m} Tc	2-METHOXY-ISOBUTYL ISONITRILE (sestamibi)					
	Injection intra-veineuse					
	Après effort					
	<i>DOSE ABSORBEE PAR UNITE D'ACTIVITE ADMINISTREE</i>					
	<i>(µGy/MBq)</i>					
Organes	Homme adulte	Femme adulte	15 ans	10 ans	5 ans	1 an
Vésicule biliaire	33	38	38	49	86	260
Reins	26	32	32	44	63	110
Paroi du colon	19	25	25	41	64	117
Myocarde	7,2	9,4	9,4	10	21	35
Ovaires	-	11	11	15	23	40
Testicules	3,7	-	4,8	7,1	11	20
Utérus	-	9,3	9,3	14	20	35
Dose efficace (µSv/MBq)	7,4	9,9	9,9	15	22	40

^{99m} Tc	TETROFOSMINE (Myoview®)					
	Injection intra-veineuse					
	Au repos					
	<i>DOSE ABSORBEE PAR UNITE D'ACTIVITE ADMINISTREE</i>					
	<i>(µGy/MBq)</i>					
Organes	Homme adulte	Femme adulte	15 ans	10 ans	5 ans	1 an
Vésicule biliaire	36	40	40	53	93	310
Paroi du colon	24	30	30	49	78	143
Paroi vésicale	17	22	22	29	31	56
Myocarde	4,4	5,6	5,6	8,4	13	23
Ovaires	-	10	10	15	22	37
Testicules	2,4	-	3,2	5,0	7,4	13
Utérus	-	9,0	9,0	14	20	32
Dose efficace (µSv/MBq)	6,8	8,7	8,7	13	20	36

^{99m} Tc	TETROFOSMINE (Myoview®)					
	Injection intra-veineuse					
	Après effort					

<i>DOSE ABSORBEE PAR UNITE D'ACTIVITE ADMINISTREE</i> ($\mu\text{Gy}/\text{MBq}$)						
Organes	Homme adulte	Femme adulte	15 ans	10 ans	5 ans	1 an
Vésicule biliaire	27	31	31	41	72	230
Paroi du colon	26	33	33	24	27	48
Paroi vésicale	18	23	23	36	57	107
Myocarde	4,8	6,1	6,1	9,0	14	24
Ovaires	-	9,5	9,5	13	19	31
Testicules	2,9	-	3,9	5,1	7,7	13
Utérus	-	9,3	9,3	12	17	29
Dose efficace ($\mu\text{Sv}/\text{MBq}$)	6,0	7,8	7,8	11	17	30

^{201}Tl Injection intra-veineuse						
<i>DOSE ABSORBEE PAR UNITE D'ACTIVITE ADMINISTREE</i> ($\mu\text{Gy}/\text{MBq}$)						
Organes	Homme adulte	Femme adulte	15 ans	10 ans	5 ans	1 an
Reins	480	580	580	820	1 200	2 200
Surfaces osseuses	340	440	440	720	1 200	2 900
Paroi du colon	235	302	302	512	858	1 616
Thyroïde	220	350	350	540	1 200	2 300
Myocarde	200	260	260	390	620	1 100
Ovaires	-	620	620	2 000	3 500	8 300
Testicules	450	-	1 100	8 300	9 600	13 000
Utérus	-	63	63	100	150	270
Dose efficace ($\mu\text{Sv}/\text{MBq}$)	231	319	319	1 265	1 724	2 940

Les doses absorbées sont tirées de la publication 80 de la CIPR.

Traçabilité des informations réglementaires:

La traçabilité des informations suit la législation en vigueur.

E. Interventions

En cas de décompensation liée au stress physiologique ou pharmacologique, il peut être nécessaire d'utiliser de l'aminophylline, un bêta-bloquant, un anticalcique, un broncho-dilatateur ou un dérivé nitré.

Surveillance et mesures de sécurité

Les patients adressés pour une tomoscintigraphie myocardique de perfusion sont souvent des patients en situation clinique stable. Une surveillance adaptée de l'état clinique et des perfusions IV est recommandée en particulier chez les patients ayant présente un test de stimulation positif.

F. Acquisition des images

Contrôle de qualité de la gamma-caméra

Voir le guide de contrôle de qualité des gamma-caméras.

Acquisition

Préparation du patient :

- La procédure d'acquisition doit être expliquée au patient et particulièrement, la nécessité d'être strictement immobile, d'éviter les mouvements respiratoires amples et si possible de ne pas parler et de ne pas s'endormir.
- Les objets métalliques doivent être enlevés (soutien gorge à armature métallique, médaillon, etc.).

Surveillance :

La surveillance en continu est souhaitable.

Position :

Le patient doit être placé dans une position confortable avec les bras en dehors du champ d'acquisition.

La position peut être celle du décubitus ventral ou bien celle du décubitus dorsal:

- la position en décubitus dorsal a l'avantage d'être plus confortable (avec seulement le bras gauche positionné au niveau de la tête), mais elle est associée à de fréquentes images artéfactuelles dans le territoire inférieur (atténuation diaphragmatique, flou dû aux mouvements respiratoires, etc.),
- la position en décubitus ventral permet de diminuer la fréquence de ces artéfacts inférieurs, de limiter l'amplitude des mouvements respiratoires, mais elle peut induire des artéfacts dans les territoires antérieur et/ou apical et diminuer la sensibilité dans le territoire inférieur.

Il est nécessaire de placer les deux bras au dessus de la tête lorsque l'acquisition est effectuée en décubitus ventral ou sur 360°. Par contre, seul le bras gauche nécessite d'être déplacé pour les acquisitions effectuées sur 180° et en décubitus dorsal. La position des bras doit être la même lors des acquisitions de stress et de repos.

Type de gamma-caméra :

Les caméras multi-détecteurs sont préférables aux caméras mono-détecteur (acquisitions plus courtes, plus faible risque de mouvement du patient pendant l'acquisition).

Type de collimateur :

Les collimateurs basse énergie et tout usage peuvent être utilisés, mais les collimateurs basse énergie et haute résolution sont recommandés (meilleure résolution spatiale en profondeur) en particulier pour les acquisitions où le radiopharmaceutique est le Tc-99m.

Fenêtre en énergie :

Le technétium-99m (pic d'énergie à 140 KeV) est enregistré avec une fenêtre de 20%.
Pour le thallium-201, une simple fenêtre peut être utilisée, mais une double fenêtre, incluant le pic à haute énergie, permet d'accroître de manière très significative la quantité de signal enregistrée :

- les 2 pics à basse énergie (69 et à 83 KeV) sont enregistrés avec une fenêtre de 30 à 35% (entre 60 et 90 KeV),
- et le pic à 167 KeV est enregistré dans une fenêtre de 20% (entre 150 et 184 KeV).

Matrice d'uniformité :

La matrice d'uniformité doit être adaptée au radiopharmaceutique utilisé et à la fenêtre d'enregistrement.

Pour le thallium-201, il est préférable d'utiliser 2 matrices distinctes (si possible) : l'une pour la fenêtre d'enregistrement du pic de haute énergie et l'autre, pour la fenêtre d'enregistrement des pics de basse énergie.

Taille de la matrice : La matrice la plus utilisée pour les acquisitions tomographiques est la matrice 64 x 64. L'utilisation d'une matrice plus grande (par exemple 128 x 128) pourrait améliorer le contraste mais elle rend difficile l'archivage et le traitement des données.

Taille du pixel :

Il est conseillé d'utiliser une matrice et un zoom permettant d'obtenir une taille du pixel entre 5 et 7 mm.

Zoom :

Une matrice 64 x 64 associée à un zoom à l'acquisition de 1,2 à 1,5 permet d'obtenir une taille de pixel de l'ordre de 5 à 7 mm

Type d'orbite :

Une orbite circulaire et centrée sur le cœur est recommandée. Dans le cas contraire, les artéfacts peuvent être induits par des hétérogénéités de la résolution spatiale entre les différentes projections (en particulier, au niveau des parois apicale et antérieure) .

La rotation de la gamma-caméra peut être effectuée sur 180° (entre les incidences oblique antérieur droit (+45°) et oblique postérieur gauche(-45°)) ou bien sur 360°.

L'acquisition sur 360 :

- permet d'obtenir moins de distorsion géométrique après reconstruction (en particulier au niveau de la paroi apicale), ainsi qu'une répartition plus homogène de l'activité myocardique,
- mais les images de projection, qui sont alors rajoutées à l'acquisition de 180°, ont une moins bonne résolution spatiale et, surtout, un rapport signal/bruit plus faible, en particulier lorsque les images sont réalisées avec le thallium-201 ou chez les patients obèses.

Il n'est pas souhaitable d'effectuer une acquisition à 360° chez les patients obèses, lorsqu'on utilise le thallium-201 et lorsqu'on utilise une gamma-caméra simple tête (dans ce dernier cas l'acquisition est beaucoup trop longue).

Lorsque l'orbite est elliptique ou en « mode contour », il est conseillé d'éloigner le détecteur de quelques centimètres, dans la portion de l'orbite située en regard de l'apex du cœur. Sinon, des artefacts antéro-apicaux peuvent survenir. Ces artefacts sont liés à une hétérogénéité de la résolution spatiale entre les différentes projection (la résolution est bien meilleure pour les acquisitions obtenues en regard de l'apex du cœur) et ils sont particulièrement fréquents lorsque l'acquisition est effectuée en décubitus ventral car la caméra peut passer très près de l'apex du cœur (le cœur a alors une position très antérieure dans le thorax).

Mode d'acquisition des projections :

Les projections peuvent être enregistrées en mode pas à pas ou bien en mode continue, ce qui réduit les temps morts d'enregistrement, sans vraiment nuire à la qualité des images (la perte en résolution spatiale est négligeable).

Nombre de projections :

De 32 à 64 projections peuvent être obtenues sur 180°, et de 64 à 128 projections sur 360°. Le choix du nombre de projections doit tenir compte de la résolution du système et du radiopharmaceutique utilisé. Pour les acquisitions avec une faible résolution spatiale telles que celles réalisées avec du Tl-201 et avec un collimateur basse énergie tout usage sur une orbite de 180°, 32 projections sont suffisantes.

Si l'on utilise un radiopharmaceutique technétié et un collimateur haute résolution, il est souhaitable de réaliser une acquisition de 64 projections sur une orbite de 180°.

Durée de la projection :

Lorsque 32 projections sont enregistrées sur 180°, on peut considérer que le temps par projection doit être au moins de 25 sec après injection d'une forte activité d'un radiopharmaceutique technétié (11 MBq/kg) et au moins de 40 sec pour le thallium-201 ou après injection d'une faible activité d'un radiopharmaceutique technétié (3,7 MBq/kg).

D'un point de vue pratique, il est important que ce temps soit ajusté pour obtenir une statistique de comptages suffisante (ce qui dépend du radiopharmaceutique, de l'activité injectée et de la sensibilité de l'appareil de détection).

Durée totale de l'acquisition :

Afin de limiter les risques de mouvement des patients pendant l'acquisition le temps total d'acquisition ne doit pas dépasser 20 min sur une caméra multi-têtes et 30 min sur une caméra mono-tête.

Pour le thallium-201, en raison de la redistribution assez rapide de ce radiopharmaceutique, il est indispensable que l'acquisition de stress soit terminée avant la 30^{ème} minute suivant l'injection.

Synchronisation à l'ECG (Gating) :

Une attention particulière devra être portée à la qualité de la synchronisation à l'ECG. En effet, une synchronisation imparfaite pourrait avoir des conséquences néfastes sur l'estimation de la fonction VG régionale et globale.

Les patients ayant un cycle cardiaque de longueur variable devront être identifiés (fibrillation auriculaire, extrasystoles ventriculaires ou auriculaires fréquentes, électro-entraînement par pace-maker, etc.). Dans de tels cas, il sera difficile d'évaluer de manière fiable la fonction ventriculaire gauche.

La dérivation de l'ECG utilisée pour la synchronisation doit être choisie soigneusement, afin que l'onde R soit toujours identifiée comme étant le marqueur du début du cycle cardiaque. Idéalement, l'amplitude de l'onde R devrait être au moins trois fois plus importante que celle des ondes P ou T. Il est important de noter que certains dispositifs ne reconnaissent le complexe QRS que lorsqu'il est positif. Lorsque le QRS est suffisamment ample mais négatif, il suffit alors d'inverser les électrodes de la dérivation, pour obtenir un signal adéquat avec un QRS positif.

Une fenêtre maximale de 50% sur l'histogramme des fréquences est recommandée. Cependant, cette valeur peut être augmentée jusqu'à 100% pour les acquisitions effectuées à court terme après l'effort, ce qui est le cas pour les tomoscintigraphies d'effort au thallium-201 (la fréquence cardiaque diminue alors progressivement durant l'acquisition).

Le cycle cardiaque peut être divisé en 8 à 16 intervalles consécutifs. Le temps par projection doit être ajusté, de manière à atteindre une statistique de comptage suffisante par intervalle. Selon des études effectuées sur fantôme, ce niveau se situerait à 400 000 coups par intervalle.

Pour atteindre ce niveau d'activité avec un collimateur haute résolution, un zoom de 1,2 à 1,5, 32 projections et 8 intervalles par cycle cardiaque, le temps par projection doit être, en général:

-d'au moins 50 sec. pour les acquisitions effectuées avec le thallium-201 et pour celles effectuées après l'injection d'une faible activité d'un radiopharmaceutique technétié ($\approx 3,7$ MBq / kg),

-et d'au moins 25 sec pour les acquisitions effectuées après l'injection d'une activité élevée d'un radiopharmaceutique technétié (≈ 11 MBq / kg).

Nombre d'intervalles par cycle cardiaque : Il est recommandé d'utiliser 16 intervalles par cycle cardiaque ce qui permet une détermination suffisamment précise de la fraction d'éjection et du volume téléstolique du ventricule gauche.

Le choix de 8 intervalles permettrait une meilleure évaluation de la cinétique segmentaire, en particulier lorsqu'on utilise le thallium-201 pour lequel l'activité par intervalle est nettement plus faible qu'avec les radiopharmaceutiques technétiés.

Contrôle de qualité de l'acquisition :

La visualisation des images en mode « cinéma » permet de contrôler la qualité de l'acquisition en détectant par exemple un mouvement du patient lors de l'acquisition, la perte des données due à un mauvais centrage (troncature), une rétention du radiopharmaceutique au niveau du site de l'injection, une faible statistique de comptage, etc.

Pour les acquisitions couplées à un signal ECG en plus de la visualisation en mode « cinéma » l'histogramme représentant la longueur R-R des différents cycles cardiaques peut être utilisé pour déterminer l'apparition de troubles du rythme cardiaque au cours de l'acquisition.

G. Traitement des images

Filtrage :

Il s'agit d'une étape essentielle et de nombreux filtres peuvent être utilisés : Butterworth, Hamming, Hanning, Parzen, Metz, Wiener, etc. D'une manière générale, il est important de noter que les filtres très lissants :

- permettent d'améliorer la qualité picturale des images,
- mais présentent aussi les inconvénients de diminuer la sévérité et l'étendue des anomalies de la fixation, et de modifier la forme des parois ventriculaires gauches.

Idéalement, le choix du filtre (et des paramètres) devraient être validés, dans chaque service, par des études sur fantôme, ou bien par des études cliniques. Le choix du filtre dépend, en effet, des caractéristiques de l'image (rapport signal/bruit, résolution spatiale, etc.) et donc, de la manière de réaliser l'examen : radiopharmaceutique utilisé, activité injectée, collimateur, temps par projection.

A noter que, pour les tomographies synchronisées à l'ECG, le choix du filtre a un impact direct sur les valeurs mesurées des volumes télédiastolique et télésystolique et de la fraction d'éjection du ventricule gauche.

Reconstruction :

Deux méthodes peuvent être utilisées : la rétro-projection filtrée et les méthodes itératives, qui incluent une étape initiale de rétro-projection puis un nombre variable d'itérations.

Les méthodes itératives sont moins bien validées cliniquement, mais :

- elles permettraient d'obtenir une répartition plus précise de l'activité du radiopharmaceutique dans le ventricule gauche,
- et elles permettent plus facilement d'appliquer des techniques de correction de certaines imperfections de l'imagerie tomoscintigraphique (atténuation, diffusé, perte de la résolution spatiale en profondeur, etc.).

Réorientation :

Il s'agit d'une étape cruciale, où est déterminé le grand axe du ventricule gauche, sur les coupes tomographiques axiales, puis sur les coupes grand axe vertical. Elle peut être réalisée de manière automatique ou manuelle.

Avant l'interprétation des images, il est indispensable de s'assurer de la bonne orientation des images tomographiques, ainsi que de l'équivalence des orientations entre les images de stress et de repos.

Normalisation des images :

Chaque série d'images, (effort, repos, redistribution) doit être normalisée de manière séparée et cette normalisation doit être effectuée par rapport au maximum d'activité mesurée sur l'ensemble des parois du ventricule gauche. La normalisation peut également être réalisée image par image.

Ainsi, le volume à analyser doit être très soigneusement délimité, afin d'exclure tout foyer d'activité extra-cardiaque.

Affichage des images :

Cet affichage peut être réalisé sur écran ou sur support papier, à l'aide d'une échelle de gris ou d'une échelle de couleurs ayant des transitions progressives d'un niveau de couleur à l'autre.

Idéalement, cette échelle de couleurs devrait aussi permettre un repérage facile des niveaux de fixation à 50 % (évaluation de la viabilité sur les images de repos) et à 70-75 % (quantification de l'étendue des anomalies patentes de la perfusion).

Trois séries de coupes jointives, couvrant l'ensemble du ventricule gauche, doivent être affichées : les coupes petit-axe, grand-axe vertical et grand-axe horizontal. Cet affichage est aussi une étape cruciale:

- sur chacune des 3 séries, il faut s'assurer que l'ensemble du volume du ventricule gauche est représenté ;
- il est aussi préférable d'utiliser une épaisseur de coupe d'un pixel, afin d'avoir la meilleure résolution spatiale possible ;
- lorsque plusieurs acquisitions ont été réalisées (par exemple, lors d'un stress puis au repos), il doit être possible de visualiser les séries superposées, pour chacune des trois orientations (petit-axe, grand-axe horizontal et grand-axe vertical) ;
- l'utilisation de « bull's eyes » ne permet pas de s'affranchir de l'analyse des coupes selon les trois plans standard; cependant, ce mode de présentation peut permettre de simplifier la représentation et la quantification de l'information et de mieux corrélérer les images de la perfusion à l'anatomie du réseau coronaire.

Quantification de la perfusion myocardique

Echantillonnage des données : l'échantillonnage d'un profil d'activité circonférentiel est réalisé à l'aide d'un système d'échantillonnage hybride qui considère que le VG a une forme sphérique vers l'apex et une forme cylindrique vers la base. Les valeurs d'activité entre la surface épicaudique et la surface endocaudique retrouvées à partir du centre du VG vers la surface (rayon) sont alors enregistrées pour chaque localisation spatiale. Il est possible d'obtenir alors pour chaque rayon une activité maximale, une valeur moyenne (correspondant à plusieurs pixels) ou une distribution Gaussienne. Généralement la valeur prise en compte est celle correspondante à l'activité maximale.

Normalisation : en règle générale, cette normalisation est réalisée par rapport au pixel présentant la plus grande activité au niveau du VG (considéré comme la zone « normale »). Il est possible ensuite de représenter ces profils d'activité sous forme de carte polaire en fonction de leur localisation entre l'apex et la base du VG (pondération en fonction de la distance) ou en fonction de leurs volumes respectives (pondération en fonction du volume).

Analyse : Ces résultats devront être comparés avec des valeurs considérées comme normales. Ces valeurs normales sont généralement établies à partir d'une base de donnée. Cette base de donnée représente la moyenne de la fixation relative du radiopharmaceutique et de sa

déviations standard pour chacun des segments myocardiques du ventricule gauche (on considère en général 17 segments myocardiques).

Paramètres : Après comparaison avec les valeurs normales de la base de données il faudrait établir l'**étendue, la sévérité et la réversibilité** des défauts de perfusion. Il est possible également d'obtenir des autres paramètres tels que l'intensité du relargage du Tl-201, la dilatation transitoire du VG, le bruit de fond pulmonaire.

Affichage des résultats : Les résultats peuvent être affichés en mode bidimensionnel (2D) sous la forme d'une carte polaire indiquant les zones ischémiques et les zones nécrosées. Il est possible également d'afficher les résultats en mode tridimensionnel (3D). L'avantage potentiel de l'affichage en mode 3D est qu'il permet une appréciation visuelle de la sévérité, de l'étendue et la localisation des zones d'ischémie et/ou de nécrose myocardique pour chaque patient.

Quantification de la fonction cardiaque à partir des acquisitions tomographiques couplées à un signal ECG

Automatisation : actuellement, il existe plusieurs méthodes automatisées et largement validées pour déterminer les contours du VG. La plus largement utilisée est le programme QGS. Cependant les contours du VG ainsi déterminés doivent être validés par un opérateur expérimenté. Une des sources fréquentes d'erreur lors de l'utilisation de ces méthodes automatisées est l'activité hépato-biliaire en particulier lorsqu'il existe un défaut de perfusion au niveau du territoire inférieur ou lors de la présence d'une captation anormalement élevée du radiopharmaceutique par le VD avec un défaut de perfusion au niveau septal.

Analyse : une fois définis les voxels correspondants à la région intracavitaire permettant d'estimer des volumes du VG (volumes télédiastolique : VTD et le volume télésystolique : VTS). On en déduit la fraction d'éjection (FE). Il est possible également d'évaluer la cinétique segmentaire ainsi que l'épaississement des parois myocardiques.

Paramètres : plusieurs études ont démontré la validité de l'estimation de la fraction d'éjection du VG (FEVG) à partir de ce type d'acquisition. Signalons que les valeurs de FEVG sont un peu plus élevées que celles obtenues à partir d'autres méthodes d'évaluation isotopique (ventriculographie isotopique à l'équilibre et étude du premier passage) et la reproductibilité des résultats est bonne. De plus, les volumes ventriculaires sont bien corrélés avec ceux obtenus par d'autres méthodes d'imagerie.

Affichage des résultats : il est possible d'afficher les résultats quantitatifs concernant la perfusion, l'épaississement et la cinétique régionale du VG, les paramètres de fonction systolique globale du VG.

H. Interprétation des résultats

Il est indispensable avant toute interprétation des images reconstruites, de contrôler la qualité des images acquises.

Dans un premier temps, cette interprétation devrait être réalisée sur les images sans avoir connaissance de l'histoire clinique et des examens paracliniques réalisés chez le même patient.

Cependant, dans un deuxième temps, il est indispensable d'intégrer les résultats à l'ensemble des données cliniques et para-cliniques du patient. Ce déroulement en 2 étapes permet de limiter les biais d'interprétation.

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 apicale),
- 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 certainement pas se substituer à l'analyse visuelle semi-quantitative.

Les signes indirects de dysfonction ventriculaire gauche sévère :

Trois signes doivent être recherchés de manière systématique, et si possible quantifiés, car ils sont associés à une insuffisance coronaire sévère et à un mauvais pronostic :

- la dilatation du ventricule gauche, lorsqu'elle est observée à la fois lors du stress et au repos, ou bien uniquement lors du stress, qui suggère alors la présence d'une dysfonction VG pouvant être en rapport avec la présence d'une cardiopathie ischémique sévère et/ou étendue. Certaines équipes ont décrit le signe du trou noir comme élément évocateur d'une dyskinesie sous-jacente
- un niveau d'activité pulmonaire élevé, en particulier avec le thallium-201, qui est le plus souvent associé à une insuffisance coronaire sévère et à un mauvais pronostic,
- un niveau d'activité élevé sur la paroi libre du ventricule droit, qui est généralement le reflet d'une hypertrophie du VD et/ou d'une hypoperfusion du VG.

Pour l'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.

Pour la description des anomalies de perfusion, il paraît préférable d'utiliser le modèle à 17 segments, qui vient d'être recommandé par l'American College of Cardiology et par l'American Heart Association, afin d'uniformiser les modalités d'interprétation de l'ensemble des techniques d'imagerie cardiaque tomographique. Ce modèle est très facile à utiliser en routine et permet d'obtenir une estimation plus précise de la répartition segmentaire de la masse ventriculaire gauche. Surtout, son utilisation devrait permettre une meilleure compréhension des résultats par les médecins cardiologues prescripteurs.

L'étendue d'une hypofixation peut être considérée comme étant limitée si elle ne dépasse pas 10% du ventricule gauche, moyenne lorsqu'elle touche 11 à 20% du ventricule gauche et large lorsqu'elle dépasse 20% du ventricule gauche.

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 medio-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.

Anomalies extra-cardiaques et contrôle de qualité des projections :

Des foyers de fixation extra-cardiaque anormaux peuvent être observés au niveau des seins, de la thyroïde, du parenchyme pulmonaire et du médiastin. Ils doivent alors être mentionnés dans le compte-rendu de l'examen.

Ces anomalies sont surtout détectables sur les projections, dont la visualisation constitue une étape indispensable avant la reconstruction des images. Cette visualisation, qui s'effectue en mode cinéma et en s'aidant éventuellement du sinogramme et du linogramme, permet aussi de contrôler l'absence de mouvement du patient pendant l'acquisition et de s'assurer de l'absence de modification du positionnement, entre l'examen post-stress et celui de repos.

Comparaison avec des études antérieures :

Il est recommandé de comparer les résultats actuels avec les résultats des études précédentes sans oublier de noter si le matériel et les logiciels de traitement utilisés sont similaires.

I. Les artéfacts et les sources d'erreur

Artéfacts de mouvement :

Les artéfacts, qui sont liés à des mouvements des patients pendant l'acquisition, sont souvent difficiles à différencier d'une réelle anomalie de la perfusion. Cependant, les mouvements du

patient sont le plus souvent détectables sur l'analyse en mode cinéma des projections planaires et/ou sur l'analyse du sinogramme. Cette recherche doit être systématique pour chaque acquisition.

On considère, généralement, qu'un déplacement d'un pixel ou plus (sur une matrice 64 x 64 pixels) peut induire des artéfacts significatifs. Dans ce cas, il est recommandé de refaire l'acquisition car les logiciels de correction, qui sont actuellement commercialisés, restent imparfaits en particulier dans le cas du mouvement complexe du patient.

Artéfacts d'atténuation :

Les artéfacts d'atténuation sont le plus souvent présents à la fois sur les acquisitions de stress et sur celles de repos. Il s'agit, en particulier, :

- des atténuations diaphragmatiques inférieures (acquisitions en décubitus dorsal, le plus souvent chez les patients de sexe masculin),
- des atténuations mammaires antérieures et/ou apicales (notamment chez les femmes).

L'analyse en mode cinéma des projections planaires peut aider à identifier ces sources d'atténuation. Lorsqu'ils sont disponibles, les algorithmes de correction d'atténuation peuvent être aussi utilisés, mais il faut reconnaître qu'ils restent encore imparfaits.

Lorsque l'acquisition a été réalisée en mode synchronisé à l'ECG, il est possible d'identifier les artéfacts d'atténuation dans la plupart des cas (les indices de contractilité segmentaire sont alors normaux). En effet, un artéfact d'atténuation se manifeste classiquement par une hypofixation d'intensité modérée après épreuve de stress ne se corrigeant pas ou peu au repos, et pouvant prêter à confusion avec le diagnostic d'infarctus du myocarde. Le fait d'observer la persistance d'un épaissement et d'une cinétique systolique normale dans ce territoire permet alors de redresser le diagnostic et d'identifier un artéfact d'atténuation. Cette utilisation de la tomographie synchronisée à l'ECG permet d'ailleurs d'améliorer la reproductibilité inter-observateur de l'examen.

Artéfacts de reconstruction :

Les artéfacts de reconstruction peuvent être liés à un foyer d'hyperfixation intense situé en dehors du ventricule gauche. En particulier, des foyers d'activité hépatiques ou digestifs intenses peuvent générer des artéfacts :

- lorsque ces activités sont très proches et indissociables de l'activité provenant d'une paroi cardiaque (diminution de l'activité relative des autres parois, masquage d'une zone hypoperfusée),
- ou bien lorsque ces foyers sont plus éloignés mais induisent un «effet d'ombre» lors de la reconstruction, avec une lacune artéfactuelle sur un segment myocardique.

Un autre artéfact de reconstruction intervient lorsque le centre de rotation (COR pour Center Of Rotation) du statif ne coïncide pas parfaitement avec le centre des matrices d'acquisition des projections. L'écart entre ces 2 centres doit être inférieur à la moitié de la taille du pixel. Si tel n'est pas le cas, il peut apparaître une image de cisaillement au niveau de l'apex, très caractéristique de ce type d'artéfact.

Statistiques de comptage :

Les anomalies de fixation peuvent être d'origine artéfactuelle et uniquement liées à une trop faible statistique de comptage.

Cette situation est le plus souvent identifiable sur l'analyse qualitative visuelle des images tomographiques (mauvaise qualité des images, faible rapport signal/bruit), mais il est aussi possible d'évaluer la statistique de comptage, à partir de l'activité maximale mesurée sur une projection antérieure. Celle-ci devrait être supérieure 100 coups pour le thallium-201 et supérieure à 200 coups pour les radiopharmaceutiques technétiés.

Lorsque la statistique de comptage est anormalement faible, un problème technique lors de l'injection intraveineuse devrait être recherché (forte activité résiduelle près du site de l'injection). Il est important de savoir qu'un tel problème d'injection peut entraîner, non seulement une diminution de la statistique de comptage, mais aussi une cinétique très retardée de la captation myocardique du radiopharmaceutique. Cette captation peut être alors trop tardive pour refléter la perfusion myocardique de stress.

Le cas particulier des acquisitions synchronisées à l'ECG

Mauvais couplage avec le signal ECG :

Un mauvais signal ECG ou un signal ECG prenant en compte des données autres que l'onde R peuvent conduire à des résultats erronés ou rendre les acquisitions ininterprétables en ce qui concerne la fonction systolique régionale et globale du VG.

Variations importantes de la fréquence cardiaque :

Une variabilité importante de la fréquence cardiaque au cours de l'examen peut également compromettre la fiabilité de l'examen et cela concernant la fonction systolique régionale et globale du VG.

Faible statistique de comptage :

Cette situation est le plus souvent identifiable sur l'analyse qualitative visuelle des images (mauvaise qualité des images, faible rapport signal/bruit) et confirmée sur l'analyse quantitative.

Un nombre insuffisant de coups par image peut compromettre la validité de l'examen réalisé.

Traçage erroné des ROIs:

L'inclusion de l'activité provenant d'une structure extra-ventriculaire, l'inclusion incomplète de l'aire ventriculaire peuvent être à l'origine d'erreurs de mesure.

J. Le compte-rendu de l'examen

Matériel et conditions de déroulement de l'examen :

L'indication de l'examen doit être rappelée, ainsi que les conditions de réalisation (type d'appareillage utilisé, choix de la technique de stress, traitements reçus, position du patient etc.), le type de radiopharmaceutique utilisé (Tl-201, molécules technétiées : sestamibi, terofosmin) et la dose de radioactivité injectée.

La présence ou l'absence de troubles du rythme (par exemple : AC/FA, etc.), l'existence d'un grand nombre de cycles cardiaques rejetés, etc.

Résultats :

Le compte-rendu mentionne le type de stress et le résultat du test de stimulation (symptômes et anomalies de l'ECG ; fréquence cardiaque, tension artérielle et puissance maximale atteintes au maximum de l'effort).

Le compte-rendu doit comporter une description détaillée des anomalies de la fixation myocardique (localisation, étendue, profondeur, réversibilité, activité résiduelle dans les lacunes irréversibles).

L'étendue des anomalies de la fixation devrait être évaluée soit en pourcentage de surface du ventricule gauche, soit directement en nombre de segments.

Le compte rendu mentionnera également la présence des signes de dysfonction ventriculaire gauche (dilatation transitoire du VG, présence de bruit de fond pulmonaire) ou droite (fixation anormalement élevé du VD).

La présence d'artéfacts (atténuation mammaire, etc.) pouvant influencer l'interprétation des résultats par le clinicien devra également être mentionnée.

Lorsque les acquisitions ont été synchronisées à l'ECG, le compte-rendu doit aussi comprendre les paramètres de la fonction systolique globale du ventricule gauche (fraction d'éjection, volumes), ainsi que la description des anomalies segmentaires (présence et localisation des segments hypokinétiques ou akinétiques).

L'interprétation visuelle devrait toujours être pratiquée à partir de la visualisation des images sur écran, car les moyens de rephotographie induisent toujours une perte d'information.

V. PRECAUTIONS DE RADIOPROTECTION :

(Voir guide de procédure de gestion des déchets)

A. Gestion des déchets:

Pour les compléments d'information, voire le guide spécifique de gestion des déchets.

Aiguille ayant servi à l'injection

Stockage dans une boîte spéciale

Flacon et seringue après injection

Stockage aux fins de décroissance puis d'élimination

B. Personnel soignant et familles des patients

Pour le personnel soignant des services d'hospitalisation, l'irradiation est particulièrement faible et aucune donnée n'est disponible permettant de recommander une conduite à tenir particulière en dehors de celles qui visent à limiter la contamination et de limiter le temps de présence à proximité du patient.

Il faut recommander le port de gants jetables pour les soins qui suivent l'administration de radiopharmaceutiques.

Dans l'entourage familiale les femmes enceintes ou susceptibles de l'être devront éviter leur présence prolongée à proximité du patient pendant 3 jours

L'allaitement éventuel doit être définitivement interrompu au décours de l'examen en cas d'utilisation du thallium. Pour les radiopharmaceutiques technétiés pas d'arrêt pour une activité inférieure à 50MBq, 4 heures pour une activité de 50-75 MBq, 8 heures pour 75-110 MBq, 12 heures pour 110-190 MBq, 16 heures pour 190-300 MBq, 20 heures pour 300-450 MBq, 24 heures pour 450-800 MBq.

C. Urines, selles et prélèvements sanguins

Les urines et les selles sont rejetées dans les toilettes.

Les garnitures, sondes urinaires, bocal, couches souillées, etc. doivent être manipulés avec des gants. Les déchetteries hospitalières, n'acceptant que les déchets exempts de radioactivité il est recommandé, en cas d'hospitalisation, de collecter et de garder les déchets solides le temps nécessaire afin d'assurer la décroissance de la radioactivité.

D. Conduite à tenir en cas d'erreur d'administration (surdosage, erreur d'identification) à un patient

En cas de surdosage accidentel par ces produits radiopharmaceutiques il faut favoriser l'élimination par voie urinaire et fécale afin de diminuer la dose délivrée aux patients.

E. Conduite à tenir pour la radioprotection en cas de décès du patient

La courte période du technétium et la faible dose injectée du Tl-201 n'imposent aucune précaution particulière vis à vis du corps. De simples précautions sont recommandées pour la manipulation du corps et l'autopsie (port de masque, de gants et de lunettes).

Aucune interdiction particulière n'est à prévoir pour l'inhumation ou la crémation.

F. Niveau de référence diagnostique

Le niveau de référence pour un radiopharmaceutique donné est la valeur de l'activité préconisée pour la ou les indications de l'AMM sauf justification médicale ou technique (arrêté du 12/02/2004).

G. Suggestions pour la réduction de la dose absorbée par le patient

La réduction de la dose absorbée peut se faire par l'optimisation de l'activité injectée. En cas de réduction de l'activité injectée, il faut recommander le maintien d'une statistique de comptage adaptée.

Si les renseignements cliniques attendus sont équivalents, il convient de privilégier l'usage des radiopharmaceutiques technétiés par rapport à celui du thallium 201.

On rappelle que le chlorure de thallium est contre-indiqué chez l'enfant

VI. PRECAUTIONS VIS À VIS DU RISQUE INFECTIEUX :

A. Produits sanguins

Sans objet

B. Prévention des infections nosocomiales

L'injection devra respecter les guides en vigueur dans l'établissement ainsi que les recommandations du CLIN (comité de Lutte Contre les Infections Nosocomiales).

VII. PHARMACOVIGILANCE ET MATERIOVIGILANCE :

Les effets secondaires ou incidents doivent être déclarés selon la législation en vigueur.

VIII. REFERENCES :

1. Gerson MC Cardiac Nuclear Medicine. 3^{ème} édition 1997 McGraw-Hill.
2. Ritchie J, Bateman TM, Bonow RO, et al. Guidelines for clinical use of cardiac radionuclide imaging. A report of the American Heart Association/American College of Cardiology Task Force on Assessment of Diagnostic and Therapeutic Cardiovascular Procedures, Committee on Radionuclide Imaging, developed in collaboration with the American Society of Nuclear Cardiology. *Circulation* 1995;91:1278-303.
3. ANAES. Evaluation du pronostic de l'insuffisance coronaire stable et modalités de suivi en dehors du traitement. (Agence Nationale d'Accréditation et d'Evaluation en Santé) 2000:<http://www.anaes.fr/>.
4. Sandler MP, Coleman RE, Patton JA, et al. Diagnostic Nuclear Medicine 3rd ed. Baltimore, MD: Williams and Wilkins; 1996.
5. Manrique A et Marie P-Y. Recommandations pour la réalisation et l'interprétation de la tomoscintigraphie de perfusion myocardique. Groupe de travail cardiologie nucléaire et IRM. *Médecine Nucléaire–Imagerie fonctionnelle et métabolique* 2003 ; 27(2) : 79-95
6. Groch MW. Cardiac function: gated cardiac blood pool and first pass imaging. In: Henkin RE, Boles MA, Dillehay GL, et al., editors *Nuclear Medicine*. Volume 1. St Louis: Mosby, 1996 p. 626-43.
7. Garcia EV. Physic and instrumentation of radionuclide imaging In: Marcus ML, Schelbert HR, Skorton DJ, Wolf GL, editors. *Cardiac imaging: a companion to Braunwald's heart disease*. Philadelphia: WB Saunders; 1991 p. 997-1005.
8. Garcia EV, Bateman TM, Berman DS, Maddahi J. Computer techniques for optimal radionuclide assessment of the heart. In: Gottshalk A, Hoffer PB, Potchen EJ, editors. *Diagnostic nuclear medicine*. Baltimore: Williams and Wilkins; 1988 p. 259-90.
9. Society of Nuclear Medicine Procedure Guideline for Myocardial Perfusion Imaging *J Nucl Med* 1998; 39: 918-23 Version 3.0, approved June 15, 2002. Procedure Guidelines www.snm.org
10. Touzery C, Aubert B, Caselles O, et al. Dosimétrie des explorations diagnostiques en médecine nucléaire Rapport SFPM N°19-2001 SFPM, *Médecine Nucléaire* 2002; 26: 347-89.
11. Conseil de l'Union Européenne. Directive 97/43/EURATOM du conseil du 30 juin 1997. *Journal Officiel des Communautés Européennes* 1997: L 180/22-7.
12. Furber A, Berdague P, Cadiou C, et al. Recommandations de la société française de cardiologie concernant la pratique des épreuves de provocation de l'ischémie en cardiologie nucléaire chez l'adulte. *Arch Mal Coeur Vaiss* 2000;93:1309-32.
13. Marie PY, Danchin N, Branly F, et al. Effects of medical therapy on outcome assessment using exercise thallium-201 single photon emission computed tomography imaging: evidence of a protective effect of beta-blocking antianginal medications. *J Am Coll Cardiol* 1999; 34: 113-21.
14. CARDIOLITE trousse pour la préparation du technétium-99m-sestamibi (Hôp). (<http://www2.biam2.org/www/Spec4691.html>)

15. Myoview. Kit for the Preparation of Technetium Tc-99m Tetrofosmin for injection. <http://imaging.mallinckrodt.com> .
16. Chlorure de thallium (Tl-201), CIS bio international
17. DePuey GE, Garcia EV. Updated imaging guidelines for nuclear cardiology procedures: Part 1. *J Nucl Cardiol* 2001; 8: G1-G54.
18. Van Dongen AJ, van Rijk PP. Minimizing liver, bowel, and gastric activity in myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Med* 2000;41:1315-7.
19. Daou D, Coaguila C, Delahaye N, Houzet F, Lebtahi R, Le Guludec D. Discordance between exercise SPECT lung Tl-201 uptake and left ventricular transient ischemic dilation in patients with CAD. *J Nucl Cardiol* 2004;11(1): 53-1.
20. Friedman J, Berman DS, Van Train K, et al. Patient motion in thallium-201 myocardial SPECT imaging. An easily identified frequent source of artifactual defect. *Clin Nucl Med* 1988;13:321-4.
21. Cooper JA, Neumann PH, McCandless BK. Effect of patient motion on tomographic myocardial perfusion imaging. *J Nucl Med* 1992;33:1566-71.
22. Esquerre JP, Coca FJ, Martinez SJ, Guiraud RF. Prone decubitus: a solution to inferior wall attenuation in thallium-201 myocardial tomography. *J Nucl Med* 1989;30:398-401.
23. Daou D, Delahaye N, Vilain D, Lebtahi R, Faraggi M, Le Guludec D. Identification of extensive coronary artery disease: incremental value of exercise Tl-201 SPECT to clinical and stress test variables. *J Nucl Cardiol* 2002;9(2):161-8.
24. Daou D, Delahaye N, Lebtahi R, Vilain D, Peker C, Faraggi M, Le Guludec D. Diagnosis of extensive coronary artery disease: intrinsic value of increased lung 201 Tl uptake with exercise SPECT. *J Nucl Med* 2000;41(4):567-74.
25. Kiat H, Van Train KF, Friedman JD, et al. Quantitative stress-redistribution thallium-201 SPECT using prone imaging: methodologic development and validation. *J Nucl Med* 1992;33:1509-15.
26. Friedman J, Van Train K, Maddahi J, et al. "Upward creep" of the heart: a frequent source of false-positive reversible defects during thallium-201 stress-redistribution SPECT. *J Nucl Med* 1989;30:1718-22.
27. Sarda L, Colin O, Boccara F, Daou D, Lebtahi R, Faraggi M, Nguyen C, Cohen A, Slama MS, Steg PG, Le Guludec D. Myocarditis in patients with clinical presentation of myocardial infarction and normal coronary angiograms. *J Am Coll Cardiol* 2001 ; 37(3):786-92.
28. Lau YH, Hutton BF, Beekman FJ. Choice of collimator for cardiac SPET when resolution compensation is included in iterative reconstruction. *Eur J Nucl Med* 2001;28:39-4
29. Maniawski PJ, Morgan HT, Wackers FJ. Orbit-related variation in spatial resolution as a source of artifactual defects in thallium-201 SPECT. *J Nucl Med* 1991;32:871-5.
30. Bateman TM, Berman DS, Heller GV, et al. American Society of Nuclear Cardiology position statement on electrocardiographic gating of myocardial perfusion SPECT scintigrams. *J Nucl Cardiol* 1999; 6: 470-1.
31. Cullom SJ, Case JA, Bateman TM. Electrocardiographically gated myocardial perfusion SPECT: technical principles and quality control considerations. *J Nucl Cardiol* 1998: 5: 418-25.
32. Daou D, Vilain D, Colin P, Lebtahi R, Fourme T, Coaguila C, Benada A, Idy-Peretti I, Slama M, Le Guludec D. Comparative value of ECG-gated blood pool SPET and ECG-gated myocardial perfusion SPET in the assessment of global systolic left ventricular function. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2003;30(6): 859-67.
33. Nichols K, Yao SS, Kamran M, Faber TL, Cooke CD, DePuey EG. Clinical impact of arrhythmias on gated SPECT cardiac myocardial perfusion and function assessment. *J Nucl Cardiol* 2001; 8: 19-30.

34. Manrique A, Koning R, Cribier A, Vera P. Effect of temporal sampling on evaluation of left ventricular ejection fraction by means of thallium-201 gated SPET: comparison of 16- and 8-interval gating, with reference to equilibrium radionuclide angiography. *Eur J Nucl Med* 2000; 27: 694-9.
35. Daou D, Pointurier I, Coaguila C, Vilain D, Benada A, Lebtahi R, Fourme T, Slama M, Le Guludec D. Performance of OSEM and depth-dependent resolution recovery algorithms for the evaluation of global left ventricular function in 201 Tl gated myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Med* 2003;44(22): 155-62.
36. Arrêté du 9 août 1994 modifiant la nomenclature générale des actes professionnels des médecins, des chirurgiens-dentistes, des sages-femmes et des auxiliaires médicaux JO 1^o septembre 1994 page 12648.
37. Bulletin Officiel. Catalogue des actes médicaux (1995). Champ gamma. Actes d'imagerie médicale. Direction des journaux officiels. 26 rue Desaix 75727 Paris cedex 15. Journal officiel de la république française du 7 mai 1995, page 7373-5.
38. Touzery C, Prévot S, Perrette B, et al. Conseil pour la gestion des déchets solides contaminés par des urines de patients après administration de radiopharmaceutiques. *Médecine Nucléaire* 2003; 27: 69-78
39. ICPR Publications 80 Radiation Dose to patients from radiopharmaceutical (including addendum1), Pergamon Press 1994.
40. Medical internal Radiation Dose (MIRD) committee. Radionuclide data and decay schemes. The Society of Nuclear medicine, New York 1989.
41. Anagnostopoulos C, Harbinson M, Kelion A, Kundley K, Loong CY, Notghi a, Reyes E, Tindale W, Underwood Procedure Guidelines for radionuclide myocardial perfusion Imaging . Adopted by the British Cardiac Society, the British Nuclear Cardiology Society and the British Nuclear Medicine Society. www.bnms.org.uk

VIII. ANNEXES :

A. Classification Commune des Actes Médicaux (CCAM)

04.01.07 SCINTIGRAPHIE

A P Y

DAQL003 [G]	Tomoscintigraphie de perfusion myocardique de repos, sans synchronisation à l'électrocardiogramme	1	0
DAQL014 [G]	Tomoscintigraphie de perfusion myocardique de repos, avec synchronisation à l'électrocardiogramme (ZZQL017)	1	0
DAQL001	Tomoscintigraphie de perfusion myocardique après épreuve d'effort ou épreuve pharmacologique, sans synchronisation à l'électrocardiogramme	1	0
DAQL010	Tomoscintigraphie de perfusion myocardique après épreuve d'effort ou épreuve pharmacologique, avec synchronisation à l'électrocardiogramme (ZZQL017)	1	0
DAQL011	Tomoscintigraphie de perfusion myocardique de repos, avec tomoscintigraphie de perfusion myocardique après épreuve d'effort ou épreuve pharmacologique sans synchronisation à l'électrocardiogramme (ZZQL010, ZZQL019)	1	0
DAQL009	Tomoscintigraphie de perfusion myocardique de repos, avec tomoscintigraphie de perfusion myocardique après épreuve d'effort ou épreuve pharmacologique avec synchronisation à l'électrocardiogramme (ZZQL017, ZZQL015, ZZQL019)	1	0

B. Fiche d'information du patient.

Non rédigée à ce jour. Il est possible de se référer au document fourni par le fabricant.