

Explorations radio-isotopiques dans la maladie coronarienne

E. Zerbib

Les explorations cardio-isotopiques dans la maladie coronarienne ont, tout comme les autres techniques d'imagerie, bénéficié ces dernières années de nombreuses améliorations technologiques. Les performances diagnostiques se confirment ou s'améliorent; de nouvelles caméras permettent aujourd'hui de réduire les temps d'examen. Mais c'est surtout l'étude COURAGE, en modifiant le regard sur l'approche thérapeutique du coronarien stable qui replace la scintigraphie au centre des examens impliqués dans le suivi coronarien. Par son approche clinique et par sa capacité à quantifier l'étendue et l'intensité de l'ischémie myocardique, la scintigraphie reste l'examen clé du suivi du patient coronarien.

© 2012 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots clés : Scintigraphie; Ischémie myocardique; Gated SPECT; Viabilité myocardique; Maladie coronaire

Plan

■ Introduction	1
■ Aspects techniques	1
Test de stimulation	1
Choix du radiopharmaceutique	2
Protocole d'examen	2
« Gated » SPECT	2
Semi-conducteurs	3
■ Aspect cliniques	3
Sémiologie et principes d'interprétation	3
Indications	4
■ Conclusion	9

■ Introduction

La scintigraphie myocardique s'est rapidement imposée depuis les années 1970 comme l'une des techniques de dépistage les plus performantes pour la recherche d'ischémie myocardique. Technique non invasive, ses performances diagnostiques n'ont cessé de s'améliorer au fil du temps, à la fois par des progrès technologiques comme pharmacologiques :

- passage des images planaires au mode tomographique;
- découverte des traceurs de stimulation cardiaque destinée à suppléer l'épreuve d'effort quand celle-ci n'est pas ou est insuffisamment réalisable, du type Persantine® ou adénosine;
- découverte des traceurs technétiés, du type sestamibi ou tétrofosmine;
- découverte du *gated* SPECT (*single photon emission computed tomography*), qui permet la détermination de la fraction d'éjection et l'étude de la cinétique segmentaire;

- découverte de la détection par semi-conducteur qui révolutionne le mode de détection et permet de diminuer très significativement la durée des examens tout en améliorant encore les performances et en diminuant la dose équivalente délivrée au patient.

Dans le même temps, les autres techniques d'imagerie ont également évolué: faisabilité du scanner coronarien avec des machines 64 barrettes et plus, confirmation de l'échographie de stress comme technique fiable de recherche d'ischémie, amélioration de l'IRM cardiaque, etc.

Enfin, les études et les stratégies thérapeutiques ont également changé depuis l'étude COURAGE et celles qui lui ont succédé.

Ainsi, il devient particulièrement difficile pour le praticien de choisir la stratégie diagnostique qui offre le meilleur rapport bénéfice/risque et coût/efficacité. La stratégie dépend d'abord du contexte clinique (dépistage, suivi d'un coronarien stable, traité médicalement et/ou stenté et/ou ponté) ainsi que de l'environnement médical (existence d'un service de scintigraphie, d'écho de stress, délais d'attente, etc.).

■ Aspects techniques

Test de stimulation

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

L'épreuve d'effort est le test de stimulation à retenir chaque fois que possible. Il s'agit d'une stimulation physiologique qui permet d'obtenir des signes électriques interprétables et, parfois, de reproduire la symptomatologie angineuse ou dyspnéique. Elle est réalisée sur bicyclette ergométrique ou, plus rarement en France, sur tapis roulant. Pour être valide, l'épreuve d'effort doit atteindre au moins 85 % de la fréquence maximale théorique (FMT).

L'injection de dipyridamole (Persantine®) représente une stimulation pharmacologique basée sur la vasodilatation artériolaire dont le principe repose sur un phénomène de vol vasculaire. Le protocole consiste à administrer une dose de 0,56 mg/kg en 4 minutes; l'injection du traceur radioactif a lieu à l'issue de 3 minutes supplémentaires. Un autre protocole comprenant l'injection de 0,84 mg/kg a été décrit^[1]; les effets indésirables (céphalées, hypotension artérielle) sont plus importants sans efficacité supplémentaire prouvée^[2]. Le dipyridamole comprend les mêmes contre-indications cardiologiques que l'épreuve d'effort et une contre-indication propre : l'asthme. L'administration de café, de thé ou de chocolat est déconseillée le jour de l'examen car ils risquent de rendre le produit inefficace.

L'efficacité du dipyridamole en tant que test de stimulation scintigraphique a été parfaitement documentée^[3-6]. Elle n'est pas physiologique et n'entraîne que rarement des signes cliniques ou électriques. Néanmoins, le dipyridamole est réservé aux situations où l'épreuve d'effort est impossible ou quand l'accélération de la fréquence cardiaque n'est pas souhaitable en raison d'artefacts scintigraphiques induits comme dans les blocs de branche gauche (BBG). Lorsque l'épreuve d'effort est possible, mais s'il est prévisible que le patient n'atteigne pas au moins 85 % de la FMT (patient fatigué, arthropathie invalidante, prise de bêtabloquants), il est alors conseillé^[4] de réaliser une stimulation mixte par injection de dipyridamole suivie d'une épreuve d'effort poussée au maximum des possibilités du patient. Cette technique diminue les effets secondaires du dipyridamole et entraîne une « redistribution » du flux sanguin des organes périphériques vers les organes centraux comme le cœur, ce qui permet d'obtenir des images de meilleure qualité. Elle permet de surcroît l'obtention d'un tracé électrique souvent contributif.

L'injection de dobutamine représente une alternative rare à une épreuve d'effort impossible et un asthme contre-indiquant l'usage du dipyridamole. Le protocole consiste à atteindre au moins 85 % de la FMT. L'injection commence à la dose de 5 µg/kg/min pendant 3 minutes, puis 10, 20, 30, voire 40 µg/kg/min par paliers de 3 minutes. Il est souvent proposé d'injecter une dose de 0,5 à 1 mg en intraveineuse d'atropine en fin d'épreuve afin de ne pas utiliser une trop grande dose de dobutamine, dont les effets indésirables sont importants.

L'adénosine est un vasodilatateur direct. Le protocole consiste en l'administration de 140 µg/kg/min d'adénosine pendant 6 minutes; les contre-indications et les précautions d'emploi sont les mêmes que pour le dipyridamole.

Choix du radiopharmaceutique

Le thallium 201 (²⁰¹Tl), commercialisé dès le milieu des années 70, est le radiopharmaceutique qui a bénéficié du plus grand nombre d'études en termes d'ischémie et de viabilité myocardique^[7]. Sa structure moléculaire est proche de celle du potassium. Le ²⁰¹Tl est un radio-isotope artificiel produit par un cyclotron; chaque dose est commandée pour le jour de l'examen.

Le ²⁰¹Tl émet plusieurs rayonnements X et gamma, dont les principaux sont représentés par des pics d'énergie de 69 et 80 keV. La demi-vie de l'isotope est de 73 heures.

Une fois injecté, le ²⁰¹Tl pénètre à l'intérieur des cellules myocardiques par transport actif en utilisant les pompes sodium/potassium. Le coefficient d'extraction à l'état basal ou après accélération de la fréquence cardiaque est de 87 %^[8]. Le ²⁰¹Tl ne reste pas dans les cellules; il se produit un échange permanent entre les milieux intra- et extracellulaire apparaissant dès la 20^e minute après l'injection (phénomène de redistribution)^[7]. Cette caractéristique impose le passage immédiat sous la caméra dès la fin de l'épreuve d'effort pour apprécier le reflet de la perfusion myocardique de l'effort. La dose absorbée avec le thallium en utilisant 160 MBq (4 mCi) est de 35 mSv. Ces raisons ont conduit à délaisser progressivement le thallium au profit des traceurs technétisés, dont la dosimétrie est plus favorable (cf. infra). Tous les paramètres sont représentés (Tableau 1).

Les traceurs technétisés sont apparus secondairement sur le marché dans le début des années 1990. Deux molécules sont dis-

Tableau 1.

Caractéristiques physiques et dosimétriques des traceurs de perfusion myocardique.

	Thallium 201	99mTc-MIBI
Photopic	69 et 80 KeV	140 KeV
Fraction d'extraction	75 % à 85 %	40 % à 60 %
Pourcentage de fixation ventriculaire gauche	3,5 % à 4,5 %	1 % à 1,5 %
Fixation	Intracellulaire/pompes NaK	Mitochondriale
Dosimétrie	35 mSv	9 mSv
Redistribution	Oui dès 20 minutes	Non
Gated SPECT	Oui	Oui

MIBI: méthoxy-isobutyle-isonitrile; SPECT: *single photon emission computed tomography*.

ponibles en France: le sestamibi (Cardiolite®) et la tétrofosmine (Myoview®). Ces molécules non radioactives sont marquées le jour de l'examen avec du technétium 99 m, en permanence disponible dans un service de médecine nucléaire. Le traceur, injecté par voie intraveineuse, se fixe sur les mitochondries des cellules myocardiques. Le pic d'émission est de 140 keV, ce qui réduit les phénomènes d'atténuation tissulaire; ce pic d'énergie plus élevé que celui du ²⁰¹Tl est de surcroît mieux adapté aux caractéristiques des caméras scintigraphiques. La dose absorbée après injection de 1 200 MBq (30 mCi) est de 9 mSv, soit quatre fois inférieure à celle du ²⁰¹Tl. Fait important, il n'existe pas de phénomène de redistribution après injection des radiopharmaceutiques technétisés ce qui permet la réalisation de l'examen de manière différée (30 à 45 minutes) après l'épreuve d'effort. Les paramètres sont présentés dans le Tableau 1.

Protocole d'examen

Initialement effectuées sur un mode planaire dans les années 1970 à 1980, les acquisitions des images par la caméra sont réalisées depuis le début des années 1980 en mode tomographique (SPECT), puis reconstruites et présentées sous forme de coupes par un traitement informatique. Le patient est placé en décubitus dorsal ou ventral; cette dernière position permet de diminuer les hypofixations observées sur la paroi inférieure et améliore ainsi la spécificité de l'examen^[9,10]. Le patient doit rester immobile pendant une durée de 10 à 20 minutes, en fonction du type de caméra utilisée.

« Gated » SPECT

L'acquisition des images peut être réalisée de manière synchronisée à l'électrocardiogramme (ECG) (méthode du *gating*). Le cycle est enregistré à partir des ondes R et divisé en 8 ou 16 segments. Un certain nombre de cycles sont enregistrés sur une durée de 40 à 60 secondes par image. L'ordinateur détermine automatiquement les volumes diastolique et systolique et surtout, calcule la fraction d'éjection ventriculaire gauche (FEVG). L'ordinateur permet également d'apprécier l'épaississement systolique ce qui, dans certains cas, facilite l'interprétation des défauts perfusionnels non réversibles et fait ainsi la distinction entre infarctus (diminution de l'épaississement systolique) et artefact (épaississement normal). Enfin, la modélisation des contours ventriculaires appréciable à chaque moment du cycle donne la possibilité de visualiser sur l'écran la cinétique ventriculaire, mettant en évidence des zones hypo- ou akinétiques.

Plusieurs logiciels permettant l'exploitation des données ont été proposés. Le protocole du Cedars Sinai a été parfaitement validé et les valeurs de FEVG parfaitement corrélées à celles des autres techniques d'imagerie^[11].

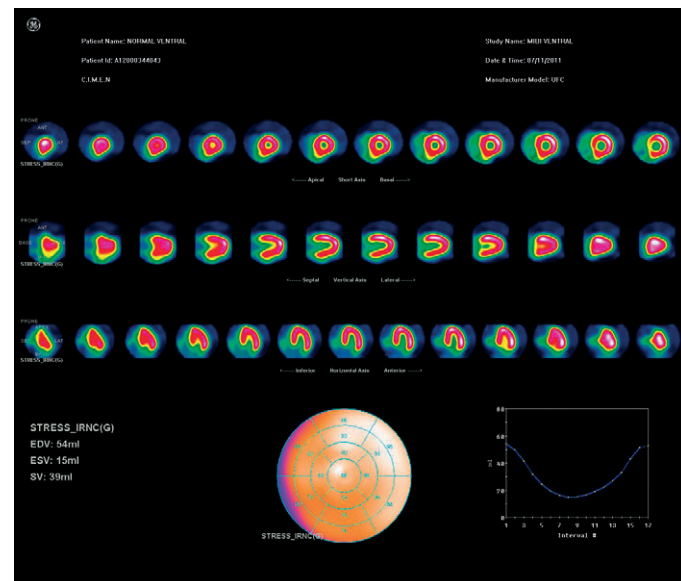


Figure 1. Images normales obtenues à partir d'une caméra CZT (tellure de cadmium et zinc).

Les traceurs technétiés ainsi que le thallium ont été utilisés; il existe une supériorité des traceurs technétiés sur le thallium en raison d'une meilleure qualité des images obtenues ainsi que d'une plus grande fiabilité et reproductibilité des valeurs de FEVG calculées [12, 13].

Semi-conducteurs

La détection des rayons monophoniques émis à partir de traceurs comme le thallium 201 ou le Technétium 99m est réalisé au moyen de gamma-caméra du type « Anger », correspondant à une série de détecteurs accolés les uns aux autres afin de réaliser un champ rectangulaire placé autour du patient. Aujourd'hui, la plupart des machines comprennent deux détecteurs, mais il existe des machines dites dédiées, dont l'ergonomie a été spécifiquement développée pour les investigations cardiaques. Néanmoins, dans tous les cas, le principe de détection reste le même.

Parallèlement, deux constructeurs ont développé des systèmes à partir de détecteur de type semi-conducteur comme le tellure de cadmium et le zinc (CZT) (Fig. 1). Chaque machine présente des spécificités techniques qui lui sont propres mais le nouveau type de détection présente les mêmes avantages: augmentation d'un facteur évoluant de 5 à 7 de la sensibilité de la machine en raison d'une meilleure résolution en énergie et d'une meilleure résolution spatiale. En pratique, ce sont à la fois la sensibilité et la qualité des images qui sont améliorées. Les conséquences pratiques sont multiples et modifient significativement les modalités pratiques de l'examen :

- la durée de passage sous la machine varie entre 2 et 4 minutes, suivant les équipes;
- les doses administrées sont généralement divisées d'un facteur 2;
- les artefacts d'atténuation sont significativement diminués;
- les protocoles utilisés réduisent significativement la durée totale de l'examen.

Au total, l'avènement de machines CZT permettrait de diminuer le temps total d'examen, en améliorant la sensibilité et la qualité des images procurées tout en diminuant les artefacts d'atténuation, dernier talon d'Achille de la technique.

Cependant, ces machines très récentes, dont le mode de détection diffère sensiblement de la détection habituelle des gamma-caméras, méritent une évaluation à long terme afin de savoir si elles ne génèrent pas des artefacts non encore répertoriés.

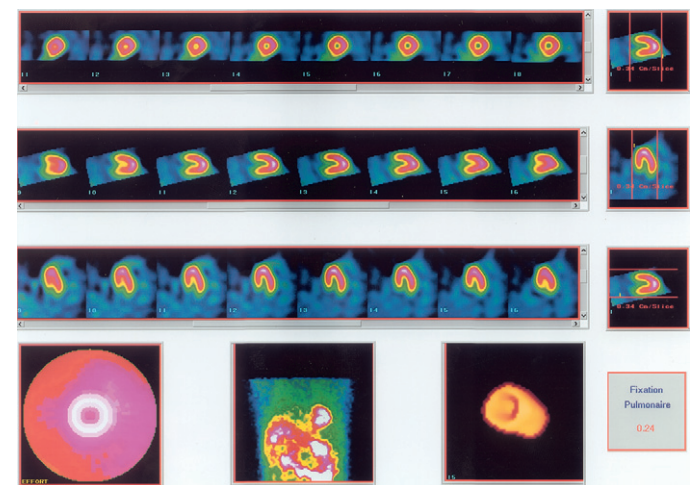


Figure 2. Patiente de 55 ans adressée pour exploration de douleurs thoraciques atypiques; électrocardiogramme d'effort maximal douteux. Images scintigraphiques normales. Index de fixation pulmonaire normal.

■ Aspect cliniques

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

Sémiologie et principes d'interprétation

Aspects sémiologiques habituels

Lorsque la perfusion est normale après le test de stimulation, il n'existe pas de sténose coronarienne significative pour entraîner une ischémie. Une étude au repos est dans ce cas inutile (Fig. 2).

Lorsqu'il existe un défaut perfusionnel, une seconde série d'images réalisées au repos est nécessaire. Si le défaut se corrige au repos, il existe une sténose significative entraînant une ischémie réversible (Fig. 3). Si le défaut ne se corrige pas, il s'agit classiquement d'un infarctus (le traceur ne peut se fixer sur du tissu nécrosé) (Fig. 4) ou, plus rarement, d'une sténose hyperserrée d'installation lente ayant conduit à une hibernation sous-jacente, ou encore d'un artefact. Ces deux derniers points sont développés plus loin.

Pièges et artefacts

La présence de zones d'hypoperfusion inférieure a longtemps été considérée comme le talon d'Achille de la scintigraphie, diminuant ses valeurs de spécificité dans les premières publications. Cet artefact peut être maîtrisé par le positionnement du patient en décubitus ventral [9] et l'utilisation de traceurs technétiés (Fig. 5). La présence de zones d'hypoperfusion antérieure et apicale chez la femme peut être liée à une atténuation mammaire (Fig. 6). L'utilisation des traceurs technétiés et du *gated* SPECT permet de limiter ces artefacts [14].

La présence d'un bloc de branche gauche entraîne des hypofixations antérieures et septales, réversibles ou non (Fig. 7). L'utilisation de Persantine® comme test de stimulation préalable en réduit l'importance [15]. L'interprétation de la scintigraphie en cas de défauts sur ce territoire doit être extrêmement prudente.

L'existence d'un stimulateur cardiaque peut entraîner des défauts perfusionnels inférieurs [16]; l'interprétation de défauts sur ce territoire doit être prudente chez ces patients.

Des lésions tritronculaires équilibrées peuvent conduire à de fausses images normales du fait de la réduction du flux sanguin dans tous les territoires vasculaires. Cet aspect contraste généralement avec la forte positivité de l'épreuve d'effort préalable et peut s'accompagner d'une élévation du rapport de l'activité pulmonaire sur l'activité cardiaque.

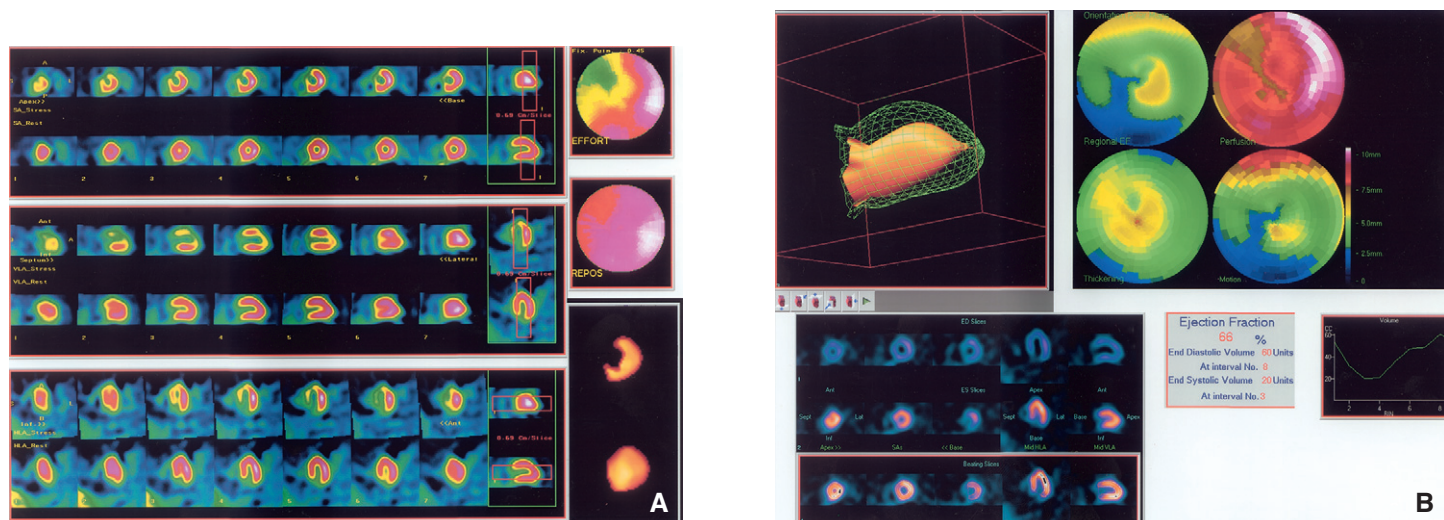


Figure 3. Patient de 60 ans adressé pour exploration de douleurs thoraciques (A, B). Défaut de fixation majeur sur le territoire antéro-septo-apical sur les images post-effort (ligne du haut sur les trois plans de coupe). Aspect normal au repos (ligne du bas sur les trois plans de coupe). Même constatation sur les représentations en *bull's eye* et tridimensionnelles. Fraction d'éjection ventriculaire gauche normale. Cinétique segmentaire et épaissement systolique normaux. Aspect caractéristique d'ischémie antéro-septo-apicale.

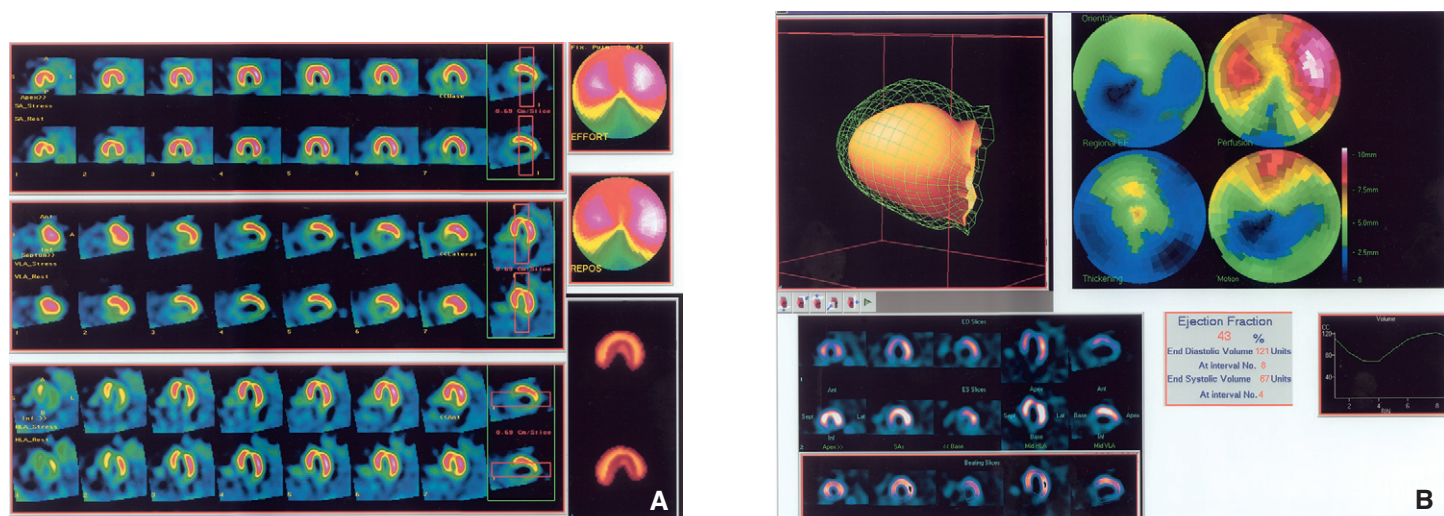


Figure 4. Patient de 67 ans observé au décours d'un infarctus inférieur connu (A, B). Défaut perfusionnel total sur la paroi inférieure après l'effort, persistant au repos. Hypokinésie inférieure avec diminution de l'épaissement systolique inférieur. Fraction d'éjection ventriculaire gauche calculée à 43 %. Aspect d'infarctus inférieur.

L'« effet reverse » correspond à une détérioration de l'aspect perfusionnel au repos par rapport à l'effort sur un territoire donné. Cet aspect est habituel au cours des atteintes microcirculatoires de la sarcoïdose ou de la sclérodémie. Dans la pathologie coronarienne, il peut correspondre à un artefact ou à une sténose coronarienne, mais avec développement d'une circulation collatérale de suppléance^[17] (Fig. 8).

Indications

La démarche correspondant aux applications cliniques de la scintigraphie myocardique est sous-tendue par deux questions essentielles :

- est-il nécessaire de rechercher une ischémie myocardique ?
- parmi les différents tests disponibles, lequel est le plus pertinent et dans quel ordre ?

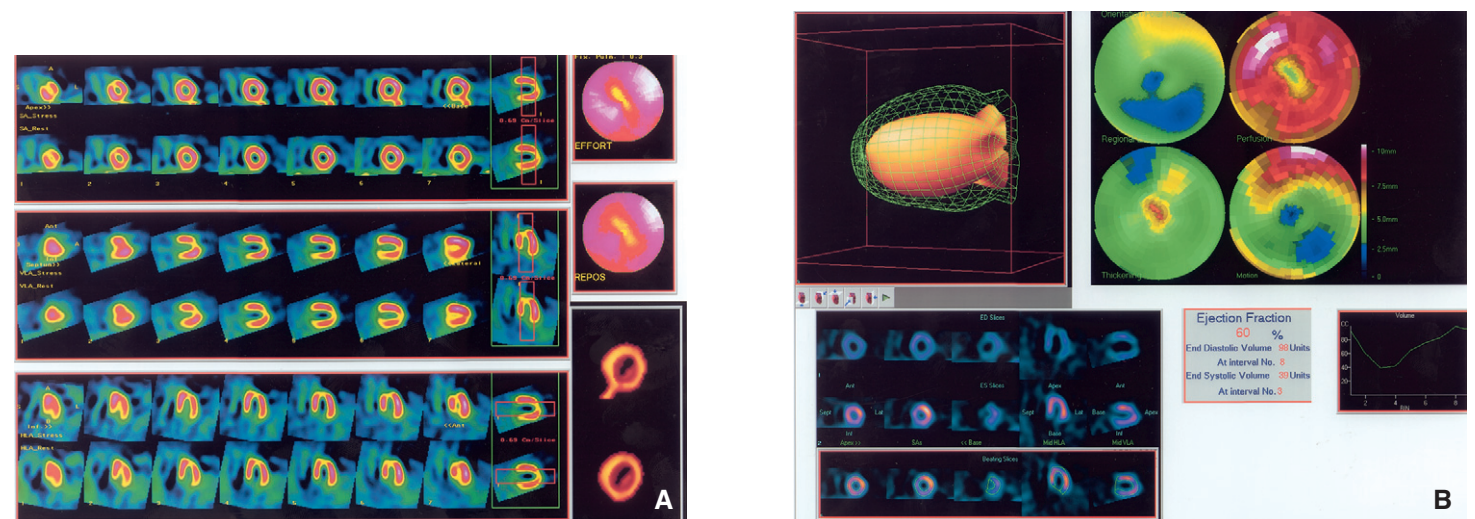
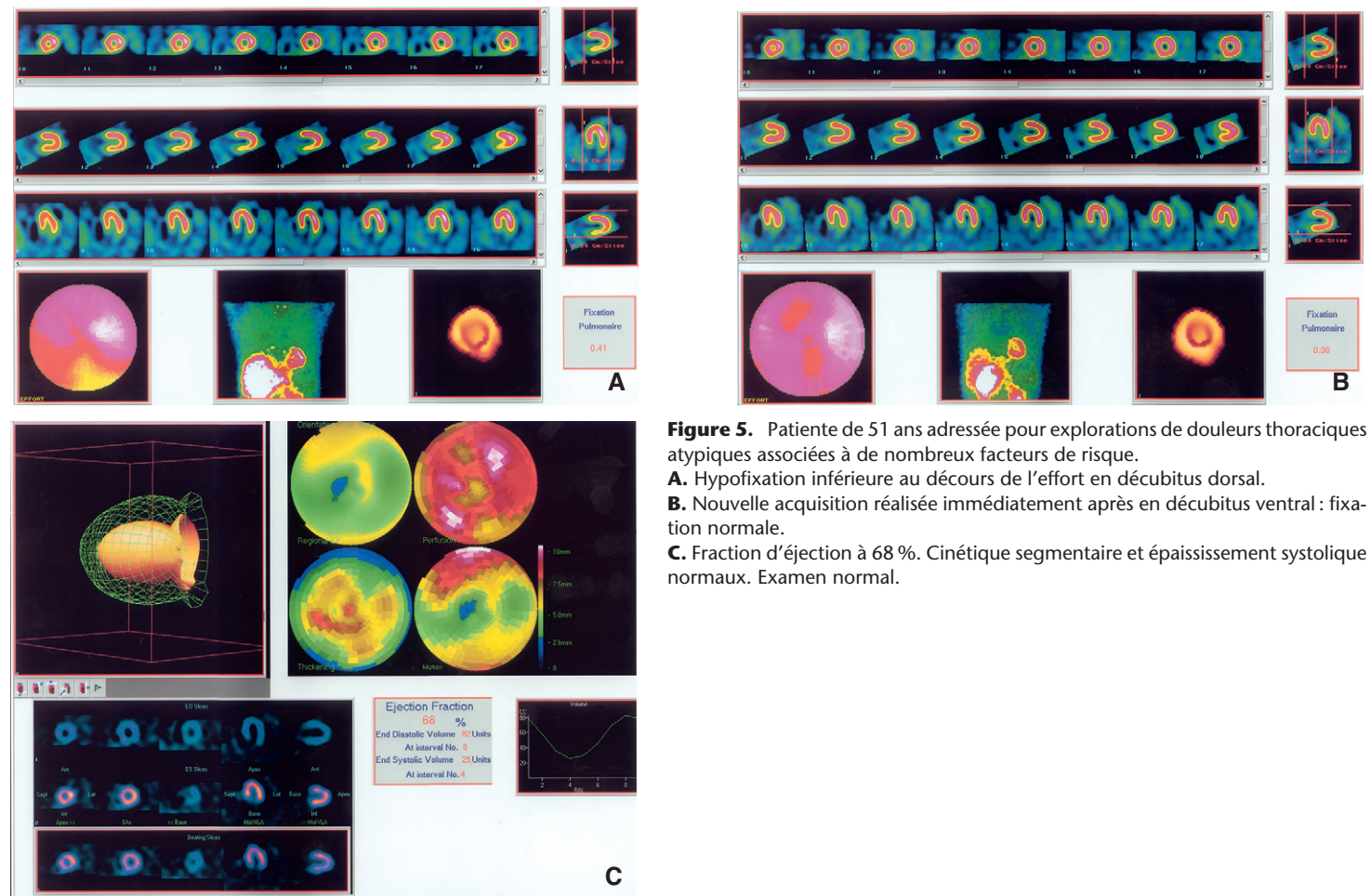
Quand rechercher une ischémie myocardique ?

Deux situations cliniques méritent d'être séparées : le diagnostic de maladie coronarienne et le suivi du patient coronarien connu, dit « stable ».

Dans le dépistage de maladie coronarienne, l'existence d'un angor de novo ou d'un syndrome coronarien aigu est une indication à une action thérapeutique rapide. Si la documentation de l'ischémie risque de retarder la prise en charge thérapeutique, le test de stimulation est surtout une contre-indication formelle, compte tenu du risque encouru par le patient. La recherche d'ischémie est indiquée en cas de douleurs thoraciques atypiques, d'apparition d'un bloc de branche gauche récent ou, et surtout, en cas de suspicion d'ischémie silencieuse chez des patients présentant des facteurs de risque de maladie coronarienne, au premier rang desquels se situent les patients diabétiques. Enfin, toujours en diagnostic, elle est demandée en complément d'un test d'effort sous-maximal impossible, ou encore en cas de test négatif chez un patient de haute probabilité (cf. infra).

- La Figure 9 représente un arbre décisionnel proposé par le Task Force de l'European Society of Cardiology^[18].

Chez le patient coronarien stable, l'étude COURAGE^[19] a considérablement modifié l'abord thérapeutique, puisque le traitement médical comprenant des bêtabloquants, antiagrégants plaquettaires, statines et inhibiteurs du système rénine-angiotensine s'avérait aussi efficace que l'angioplastie. En revanche, un an



après l'étude COURAGE, Shaw présente une sous-étude de COURAGE^[20] portant sur 313 patients explorés en scintigraphie. L'existence d'une ischémie inférieure à 5% était considérée comme modérée, entre 5% et 9% comme moyenne, et supérieure à 10% comme sévère. Cette étude fait ressortir que les résultats des patients traités par reperméabilisation associée au traitement

médical sont supérieurs à ceux traités seulement médicalement 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 l'angioplastie coronaire, faite d'emblée ou secondairement.

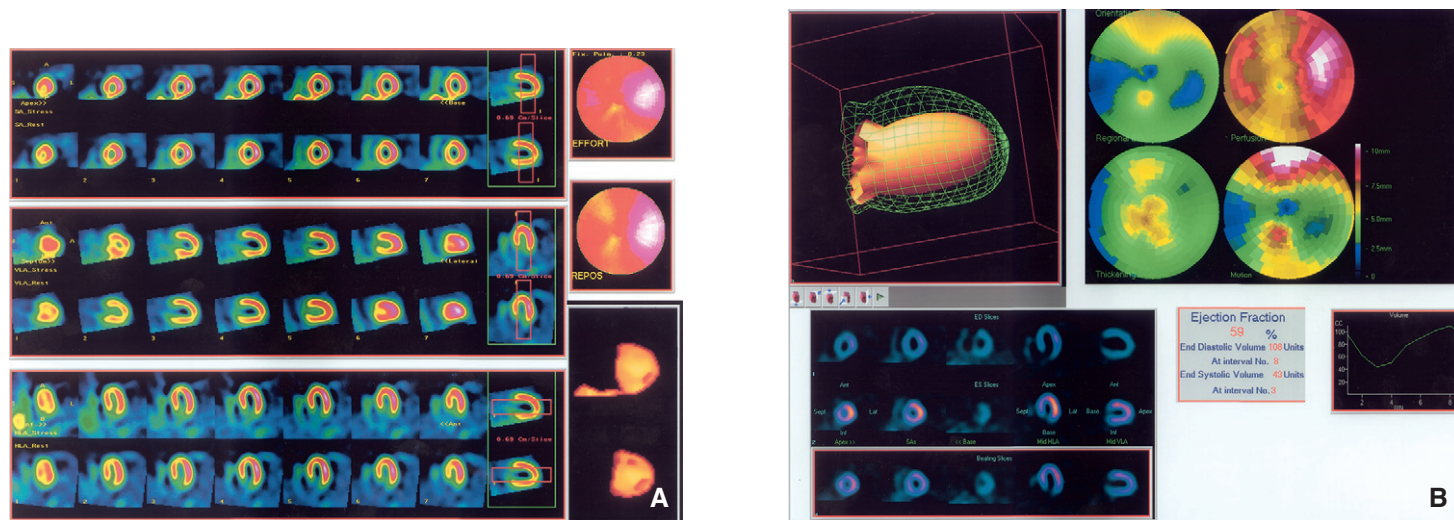


Figure 7. Patient de 47 ans présentant des oppressions thoraciques d'effort et de repos (A, B). Bloc de branche gauche (BBG) d'apparition récente. Hypofixation apicale et septale après test de stimulation par la Persantine®. Aspect pratiquement superposable au repos. Cinétique segmentaire et épaissement systolique normaux, y compris sur l'apex et la région septale. Fraction d'éjection ventriculaire gauche (FEVG) calculée à 59 %. Artefact de BBG. Examen normal.

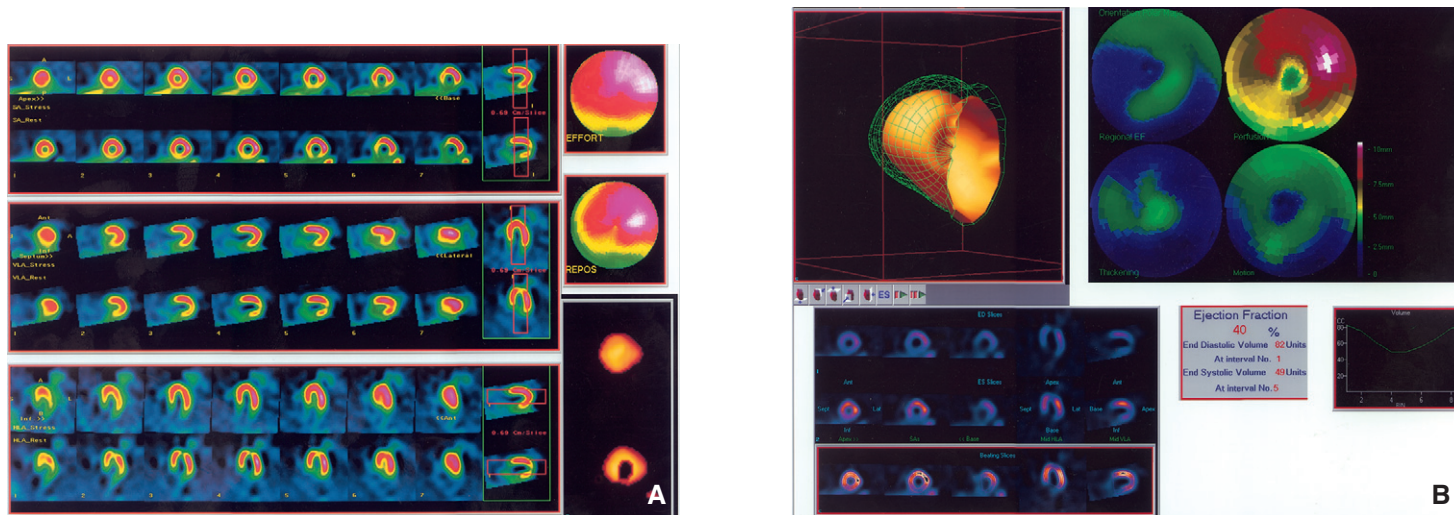


Figure 8. Patient de 66 ans exploré dans le cadre d'un bilan préchirurgical d'anévrisme abdominal (A, B). Après injection de Persantine®, il est constaté un défaut perfusionnel postérobasal. Au repos, ce défaut n'est pas modifié et un effet « reverse » est constaté sur la jonction inféroapicale et sur l'apex. La cinétique segmentaire montre une hypokinésie postérobasale avec diminution de l'épaississement systolique sur ce même territoire. La cinétique et l'épaississement systoliques sont normaux en inféroapical et apical. La fraction d'éjection ventriculaire gauche (FEVG) est calculée à 40 %. Une coronarographie montre une sténose subocclusive de la coronaire droite avec une excellente reprise par la coronaire gauche jusqu'à son trépid.

Comment rechercher une ischémie myocardique ?

Épreuve d'effort

L'épreuve d'effort simple est généralement l'examen demandé en première intention en cas de suspicion de maladie coronarienne. 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 [21], 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.

Scintigraphie myocardique de perfusion

Lorsque l'épreuve d'effort n'a pas permis un diagnostic (épreuve sous-maximale, épreuve sous bêtabloquants, présence d'un bloc de branche gauche, présence d'un pacemaker, etc.) ou encore si l'épreuve d'effort est négative alors qu'il existe une forte présomption de maladie coronarienne, un test d'ischémie doit alors être proposé. Le choix se porte alors sur la scintigraphie de perfusion, l'échographie de stress ou le scanner coronarien, apparu très récemment.

La scintigraphie de perfusion myocardique représente la technique qui possède les meilleures performances diagnostiques. De très nombreuses études ont été réalisées pour évaluer la sensibilité (Se), la spécificité (Sp) de la scintigraphie myocardique dans le dépistage de l'ischémie.

Une méta-analyse [22] reprenant rétrospectivement les résultats observés sur 1 447 patients a déterminé une sensibilité de 92 % et une spécificité de 68 %. Néanmoins, il existait un biais méthodologique surestimant le nombre de faux positifs et minorant ainsi la valeur de spécificité. La spécificité observée avec le thallium se situerait en fait autour de 80 % [23]. De surcroît, plusieurs études ont montré que si la sensibilité était comparable entre sestamibi et thallium, la spécificité était supérieure avec le sestamibi (93 % contre 80 % pour le thallium) du fait d'une moindre atténuation tissulaire, en particulier chez la femme ou le patient obèse [24, 25].

Depuis le milieu des années 1990, de nombreuses études se sont intéressées à la valeur pronostique de la scintigraphie de perfusion. Il s'agit d'études rétrospectives, réalisées sur un grand nombre de patients pendant plusieurs années. Toutes les études, qu'elles aient été réalisées avec du thallium 201 [26] ou du sestamibi [27], montrent

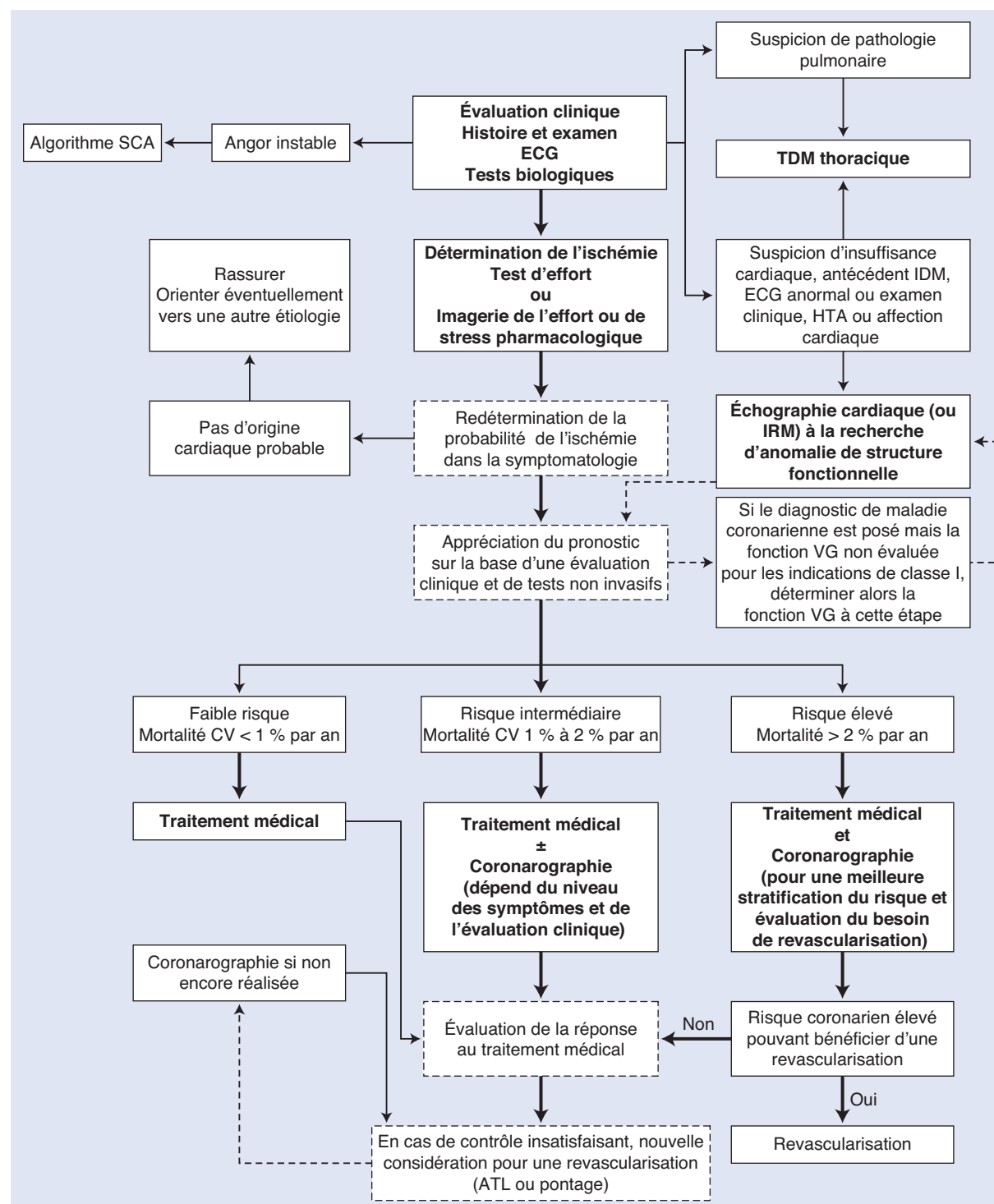


Figure 9. Arbre décisionnel. Évaluation initiale des patients avec une symptomatologie angineuse (d'après [18], reproduit avec l'aimable autorisation de l'éditeur). SCA : syndrome coronarien aigu ; ECG : électrocardiogramme ; TDM : tomodensitométrie ; IDM : infarctus du myocarde ; HTA : hypertension artérielle ; IRM : imagerie par résonance magnétique ; VG : ventriculaire gauche ; CV : cardiovasculaire ; ATL : angioplasties transluminales.

que la mortalité coronarienne observée dans l'année était toujours inférieure à 0,5 % en cas de scintigraphie myocardique d'effort ou de perfusion normale. En revanche, ce taux se situait entre 2 % et 3 % en cas d'anomalie.

Une autre étude, plus récente [28], réalisée rétrospectivement sur 6 ans et sur une population de probabilité intermédiaire de maladie coronaire, a montré qu'en cas de scintigraphie normale, le taux de décès coronarien ou d'infarctus du myocarde était égal à celui observé sur la population générale. En cas d'anomalie scintigraphique, l'incidence de survenue de tels événements est corrélée à l'étendue des anomalies perfusionnelles observées au décours des images post-stimulation. Enfin, cette même

étude a montré que la scintigraphie apporte une valeur pronostique additive à celle de la clinique et de l'épreuve d'effort simple.

La détermination systématique de la fraction d'éjection ventriculaire par le *gated* SPECT, en particulier dans le postinfarctus, représente une valeur pronostique supplémentaire [29].

Mais l'élément sans doute le plus intéressant réside une nouvelle fois dans les résultats de la sous-étude de Shaw [20], qui a transformé le rôle de la scintigraphie initialement à visée diagnostique, aujourd'hui utilisée pour guider l'attitude thérapeutique. Une scintigraphie normale ou subnormale incite à un traitement médical, une ischémie moyenne ou sévère incite à une revascularisation.

Scanner coronarien

Le scanner coronarien est proposé depuis quelques années dans le dépistage et le suivi de la maladie coronarienne. En visualisant les artères, et donc 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^[30]. En effet, en raison de l'effet *blooming*, il est impossible de quantifier une sténose lorsque celle-ci est supérieure à 30 %. Or, le seuil de signification est de 70 % et, de surcroît, les critères de dilatation ne sont plus fondés depuis COURAGE sur le seul critère du diamètre de la sténose. Le scanner coronarien permet en revanche de déterminer le score calcique, ce qui est un élément intéressant pour apprécier le risque futur de maladie coronarienne. Enfin, la dosimétrie de l'examen n'est pas favorable, avec une irradiation sur les poumons et les seins qui est très significative^[31].

Échographie 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 (pour le protocole se reporter au paragraphe *Tests de stimulation*). D'après les résultats d'une méta-analyse^[32] 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. L'échographie de stress présente l'inconvénient d'être très opérateur-dépendante et peut être limitée par la faible échogénicité de certains patients.

Tomographie à émission de positons (TEP-TDM)

La TEP-TDM est aujourd'hui utilisée en France dans le domaine de la cancérologie, mais il existe de nombreuses autres applications, y compris dans le domaine de la cardiologie. La TEP-TDM utilisant le fluorodésoxyglucose (FDG), très largement disponible, est utilisée dans la recherche de viabilité myocardique (cf. infra) en cas de négativité des techniques isotopiques classiques. Concernant l'ischémie myocardique, une molécule est disponible aux États-Unis et le sera bientôt en France, le rubidium. Cette technique semble montrer des performances diagnostiques équivalentes à celles de la scintigraphie de perfusion^[33], au prix d'une dosimétrie extrêmement favorable. En revanche, le test de stimulation est obligatoirement pharmacologique (adénosine aux États-Unis) et le caractère systématique fait que l'on perd les informations tirées du test d'effort. Des études coût/efficacité seront nécessaires pour définir la place de la TEP rubidium dans le dépistage de l'ischémie myocardique.

Coronarographie

La coronarographie permet, à partir d'une sonde rétrograde introduite dans une artère périphérique, d'opacifier directement le ventricule gauche et les vaisseaux coronaires. Cette technique, en dehors de l'urgence, doit être motivée par un test d'ischémie positif afin de réaliser un geste de vascularisation.

Étude de sous-populations particulières

Surveillance des patients diabétiques

Si l'étude BARI 2D^[34] corrobore l'étude COURAGE dans une population de patients diabétiques de type 2, montrant que la revascularisation associée au traitement médical ne fait pas mieux que le traitement médical seul chez des coronariens stables, le diabète pose néanmoins le problème particulier de l'ischémie silencieuse. L'absence fréquente de douleur thoracique chez le patient diabétique fait que le risque d'une ischémie sévère peut être méconnu et que la scintigraphie, en permettant l'évaluation et l'importance de l'ischémie, permet de sélectionner les patients candidats à une revascularisation.

Surveillance des patients stentés

Les premières angioplasties transluminaires (ATL) s'accompagnaient ou non d'un stent dit « simple » afin d'empêcher la

resténose de l'artère. Néanmoins, le taux de resténose sur stents simples est compris entre 10 % et 30 % dans les 6 premiers mois, avec un pic entre 3 et 6 mois^[35].

La généralisation de la bithérapie antiagrégante plaquettaire et l'émergence des stents actifs rendent ce concept dépassé, avec des taux de resténose très faibles dès lors que le traitement antiagrégant est respecté. La surveillance scintigraphique proposée systématiquement à l'issue des 6 premiers mois^[36] n'est plus de mise et l'indication est basée sur une approche plus pragmatique prenant en compte le terrain, la lésion elle-même. Un test d'effort est généralement proposé 2 à 3 mois après l'ATL. 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 présentaient des douleurs thoraciques avant l'intervention deviennent asymptomatiques au décours de l'ATL en cas de resténose^[37]). Une scintigraphie positive ne fait pas la différence entre resténose et nouvelle sténose coronarienne. Là encore, elle permet de quantifier l'ischémie pour orienter, en fonction de son importance, un geste de revascularisation. 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.

Surveillance des patients pontés

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^[38], la spécificité restant identique, entre 80 % et 90 %, pour les deux techniques^[39].

Là encore, la scintigraphie permet de quantifier l'ischémie afin de définir l'attitude thérapeutique. Elle ne peut distinguer entre l'occlusion d'un pontage et l'émergence d'une nouvelle sténose en amont ou en aval du pontage.

Bilan préopératoire des patients à risque

L'examen est indiqué dans le bilan des actes de chirurgie vasculaire^[40] et les chirurgies lourdes, lorsqu'il existe des facteurs de risque ou des antécédents de coronaropathie connus^[41]. La coronarographie et une revascularisation ne sont indiquées en préopératoire qu'en cas d'anomalie scintigraphique patente^[42].

Le bénéfice/risque cardiologique de l'intervention doit être pesé afin de prendre la meilleure décision thérapeutique pour le patient.

Diagnostic chez des patients présentant une pathologie particulière

- Présence d'un bloc de branche gauche (ECG d'effort ininterprétable) avec un test de stimulation par injection de Persantine® sans épreuve d'effort associée^[15].
- Présence d'un stimulateur cardiaque.
- Réalisation d'une épreuve d'effort préalable sous-maximale.
- Suspicion de maladie coronarienne chez la femme (difficultés d'interprétation de l'ECG d'effort).
- Hypertrophie ventriculaire gauche (nombreux faux positifs de l'ECG d'effort).

Dans le postinfarctus. Au décours immédiat d'un infarctus, il est habituel en France de réaliser une coronarographie. En effet, elle présente l'intérêt de visualiser la ou les sténoses coronariennes, de proposer une revascularisation sur le territoire de l'infarctus ou sur d'autres territoires en cas d'atteintes pluritronculaires et aussi d'apprécier la cinétique segmentaire et la fraction d'éjection. Cependant, sa réalisation systématique et la dilatation systématique de l'artère responsable – au décours immédiat et non en phase aiguë – sont remises en question par certains, en particulier dans les infarctus sans onde Q^[43, 44]. En pratique, ce sont 50 % à 70 % des patients hospitalisés pour infarctus qui devraient bénéficier d'une coronarographie en retenant comme critères d'inclusion les facteurs de mauvais pronostic^[45].

Avant la coronarographie, la scintigraphie de stress (effort dès qu'il est possible ou Persantine® ou idéalement dans cette

situation adénosine^[46]) 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.

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 ;
- le patient présente une FEVG basse, avec des lésions (généralement multiples) n'étant accessibles qu'à un pontage aortocoronarien ; cette intervention n'est justifiée que si le myocarde en aval de la sténose est viable, 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. Classiquement, le thallium a été pendant longtemps considéré comme le traceur de viabilité par excellence. Aujourd'hui, toutes les études réalisées avec les traceurs technétiés montrent une parfaite équivalence entre ces deux types de molécules^[47,48], avec des valeurs de sensibilité entre 73 % et 100 % et de spécificité entre 55 % et 86 %. L'administration de dérivés nitrés avant l'injection du traceur a été proposée par certains afin d'améliorer les performances de la technique^[49,50]. Enfin, la scintigraphie au ¹⁸FDG est proposée pour la recherche de viabilité avec une sensibilité de valeur moyenne 84 %, mais une spécificité moyenne de 66 %. Il est aujourd'hui possible de disposer de cet examen lorsque la scintigraphie est négative.

■ Conclusion

Avec plus de 20 000 publications, la scintigraphie myocardique est la méthode de recherche d'ischémie la plus documentée, la plus robuste et la moins opérateur-dépendante. Initialement demandée pour établir documenter l'ischémie myocardique, tant en diagnostic que dans le suivi de la maladie coronarienne, son rôle en termes de paramètre pronostique est apparu rapidement et aujourd'hui, elle est essentiellement demandée afin de guider l'attitude thérapeutique.

Les améliorations techniques n'ont cessé d'en améliorer la fiabilité : mode tomographique, caméra multitêtes, acquisition synchronisée à l'ECG (*gated* SPECT), couplage avec un système scanographique, apport des traceurs technétiés et, aujourd'hui, caméras dédiées avec un système de détection semi-conducteur qui permettront de réduire la durée des examens. Si les autres techniques d'imagerie n'ont également cessé de s'améliorer, les innovations concernant la scintigraphie ont permis à cette technique de rester au palmarès des examens de pointe.

Par son approche résolument clinique, la scintigraphie myocardique de perfusion reste aujourd'hui, parmi les techniques non invasives, la méthode la plus fiable dans le diagnostic et l'approche thérapeutique de la maladie coronarienne.

Cet article a fait l'objet d'une prépublication en ligne : l'année du copyright peut donc être antérieure à celle de la mise à jour à laquelle il est intégré.

■ Références

- [1] Lalonde D, Taillefer R, Lambert R, Bisson G, Basile F, Prieto I, et al. thallium 201 imaging: comparison between a standard dose and high dose of dipyridamole in the detection of coronary artery disease. *J Nucl Med* 1994;**35**:1245–53.
- [2] Czernin J, Auerbach M, Sun KT, Phelps M, Schelbert HR. Effects of modified pharmacologic stress approaches on hyperemic myocardial blood flow. *J Nucl Med* 1995;**36**:575–80.

- [3] Albro PC, Gould KL, Westcott RJ, Hamilton GW, Ritchie JL, Williams DL. Non invasive assessment of coronary stenoses by myocardial imaging pharmacologic coronary vasodilatation III Clinical trial. *Am J Cardiol* 1978;**42**:751–60.
- [4] Le Gulludec D, Daou D, Faraggi M, Foulth JM, Lebtahi R, et al. Association dipyridamole et effort non limité au cours de la scintigraphie myocardique de perfusion au thallium : tolérance et intérêt clinique. *Méd Nucl* 1997;**21**:110–35.
- [5] Leppo JA. Dipyridamole myocardial perfusion imaging. *J Nucl Med* 1994;**35**:730–3.
- [6] Miller DD, Younis LT, Chaitman BR, Stratmann H. Diagnostic accuracy of dipyridamole technetium 99m-labeled sestamibi myocardial tomography for detection of coronary artery disease. *J Nucl Cardiol* 1997;**4**:18–24.
- [7] Lebowitz E, Greene MW, Fairchild R, Bradley-Moore PR, Atkins HL, Ansari AN, et al. Thallium 201 for medical use. *J Nucl Med* 1975;**16**:151–5.
- [8] Weich HF, Strauss HW, Pitt B. The extraction of 201-thallium by the myocardium. *Circulation* 1977;**57**:188–91.
- [9] Esquerré JP, Coca FJ, Martinez SJ, Guiraud RF. Prone decubitus: a solution to inferior wall attenuation in 201-thallium myocardial tomography. *J Nucl Med* 1989;**30**:398–401.
- [10] Segall GM, Davis MJ. Prone versus supine thallium myocardial SPECT: a method to decrease artifactual inferior defects. *J Nucl Med* 1989;**30**:548–55.
- [11] Iskandrian AE, Germano G, VanDecker W, Ogilby JD, Wolf N, Mintz R, et al. Validation of left ventricular volume measurements by gated SPECT 99 m Tc-labeled sestamibi imaging. *J Nucl Cardiol* 1998;**5**:574–8.
- [12] DePuey EG, Parmett S, Ghesani M, Rozanski A, Nichols K, Salensky H. Comparison of Tc-99 m labeled sestamibi and Tl-201 gated perfusion SPECT. *J Nucl Cardiol* 1999;**6**:278–85.
- [13] Germano G, Erel J, Kiat H, Kavanagh PB, Berman DS. Quantitative LVEF and qualitative regional function from gated thallium-201 perfusion SPECT. *J Nucl Med* 1997;**38**:749–54.
- [14] Taillefer R, Depuey G, Udelson JE, Beller GA, Latour Y, Reeves F. Comparative diagnostic accuracy of Tl-201 and Tc-99 m sestamibi SPECT imaging (perfusion and ECG-gated SPECT) in detecting coronary artery disease in women. *J Am Coll Cardiol* 1997;**29**:69–77.
- [15] Burns RJ, Galligan L, Wright LM, Lawand S, Burke RJ, Gladstone PJ. Improved specificity of myocardial thallium-201 single photon emission computed tomography in patients with left bundle branch block by dipyridamole. *Am J Cardiol* 1991;**68**:504–8.
- [16] Lakkis NM, He ZX, Verani MS. Diagnosis of coronary artery disease by exercise thallium-201 tomography in patients with a right ventricular pacemaker. *J Am Coll Cardiol* 1997;**29**:1221–5.
- [17] Pace L, Cuocolo A, Maurea S, Nicolai E, Imbriaco M, Nappi A, et al. Reverse redistribution in resting thallium-201 myocardial scintigraphy in patients with coronary artery disease: relation to coronary anatomy and ventricular function. *J Nucl Med* 1993;**34**:1688–92.
- [18] Fox K, Garcia MA, Ardissino D, Buszman P, Camici PG, Crea F, et al. Guidelines on the management of stable angina pectoris: executive summary: The Task Force on the Management of Stable Angina Pectoris of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J* 2006;**27**: 1341–81.
- [19] Boden WE, O'Rourke RA, Teo KK, Hartigan PM, Maron DJ, Kostuc WJ, et al. Optimal Medical Therapy with or without Pci for stable coronary disease (Courage Study). *N Eng J Med* 2007;**356**:1503–16.
- [20] Shaw LJ, Berman DS, Maron DJ, Mancini J, Hayes SW, Hartigan P, et al. Optimal medical therapy with or without percutaneous coronary intervention to reduce ischemic burden. Results from the COURAGE trial Nuclear Study. *Circulation* 2008;**117**:1283–91.
- [21] 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.
- [22] Beller GA. Current status of nuclear cardiology techniques. *Curr Probl Cardiol* 1991;**16**:451–3.
- [23] Mahmarian JJ, Verani MS. Exercise thallium-201 perfusion scintigraphy in the assessment of coronary artery disease. *Am J Cardiol* 1991;**67**:2D–11D.
- [24] Iskandrian AS, Heo J, Kong B, Lyons E, Marsch S. Use of technetium-99 m isonitrite (RP-30A) in assessing left ventricular perfusion and function at rest and during exercise in coronary artery disease, and comparison with coronary arteriography and exercise thallium-201 SPECT imaging. *Am J Cardiol* 1989;**64**:270–5.
- [25] Taillefer R, Lambert R, Dupras G, Gregoire J, Leveille J, Essiambre R, et al. Clinical comparison between thallium-201 and Tc-99m-methoxy isobutyl isonitrite (hexamibi) myocardial perfusion imaging for the detection of coronary artery disease. *Eur J Nucl Med* 1989;**15**: 280–6.

- [26] Machecourt J, Longère P, Fagret D, Vanzetto G, Wolf JE, Polidori C, et al. Prognostic value of exercise single-photon emission computed tomographic myocardial perfusion imaging according to extent myocardial defect: study in 1926 patients with follow-up at 33 months. *J Am Coll Cardiol* 1994;**23**:1096–106.
- [27] Berman DS, Hachamovitch R, Kiat H, Cohen I, Cabico A, Ping-Wang F, et al. Incremental value of prognostic testing in patient with known or suspected ischemic heart disease: a basis for optimal utilization of exercise technetium-99m-sestamibi myocardial perfusion single photon emission computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 1995;**26**:639–47.
- [28] 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-years follow-up. *Circulation* 1999;**100**:1521–7.
- [29] Sanz G, Castaner A, Betriu A, Magrina J, Roig E, Coll S, et al. Determinants of prognosis in survivors of myocardial infarction: a prospective clinical angiography study. *N Engl J Med* 1982;**306**:1065–70.
- [30] Hamon M, Biondi-Zoccai GG, Malagutti P, Agostini P, Valgimigli M. Diagnostic Performance of multislice spiral computed tomography of coronary arteries as compared with conventional invasive coronary angiography. A meta analysis. *J Am Coll Cardiol* 2006;**48**:1896–910.
- [31] Einstein AJ, Henzlova MJ, Rajagopalan SR. Estimating risk of cancer associated with radiation exposure from 64-slice computed tomography coronary angiography. *JAMA* 2007;**298**:317–23.
- [32] Geleijnse ML, Fioretti PM, Roelandt JR. Methodology feasibility, safety and diagnostic accuracy of dobutamine stress echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1997;**30**:595–606.
- [33] Nandalur KR, Dwamena BA, Choudhri AF, Nandalur SR, Reddy P, Carlos RC. Diagnostic performance of positron emission tomography in the detection of artery disease: a meta analysis. *Acad Radiol* 2008;**15**:444–51.
- [34] Frye RL, August P, Brooks MM, Hardison RM, Kelsey SF, MacGregor JM, et al., Bari 2D Study Group. A randomized trial of therapies for type 2 diabetes and coronary artery diseases. *N Engl J Med* 2009;**360**:2503–15.
- [35] Beatt KJ, Serruys PW, Hungenholtz PG. Restenosis after coronary angioplasty: new standards for clinical studies. *J Am Coll Cardiol* 1990;**15**:491–8.
- [36] Guyon P, Caussin C, Bourachot ML, Elhadad S, Dib JC, Wartski M, et al. Surveillance cardiologique des patients ayant bénéficié d'une angioplastie: importance de la scintigraphie myocardique avec épreuve d'effort. *Méd Nucl* 1997;**21**:197–200.
- [37] 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 Am Coll Cardiol* 1985;**6**:1239–44.
- [38] 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**:1017–24.
- [39] 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. *Am J Cardiol* 1995;**76**:107–11.
- [40] Vanzetto G, Machecourt, Blendea D, fagret D, Borrel E, Magne JL, et al. Additive value of thallium single-photon emission computed tomography myocardial imaging for prediction of perioperative events in clinically selected high cardiac risk patient having abdominal aortic surgery. *Am J Cardiol* 1996;**77**:143–8.
- [41] Stratmann HG, Younis LT, Wittry MD, Amato M, Miller DD. Dipyridamole technetium 99 m sestamibi myocardial tomography for preoperative cardiac risk stratification before major or minor nonvascular surgery. *Am Heart J* 1996;**132**:536–41.
- [42] Cohen MC, Eagle KA. Expert opinion regarding indications for coronary angiography before noncardiac surgery. *Am Heart J* 1997;**134**:321–9.
- [43] Boden WE, O'Rourke RA, Crawford MH, Blaustein AS, Deedwania PC, Zoble RG, et al. Outcomes in patients with acute non-Q-Wave myocardial infarction randomly assigned to an invasive as compared with a conservative management strategy. *N Engl J Med* 1998;**338**:1785–92.
- [44] Pilote L, Miller DP, Califf RM, Rao JS, Weaver WD, Topol EJ. Determinants of the use of coronary angiography and revascularization after thrombolysis for acute myocardial infarction. *N Engl J Med* 1996;**335**:1198–205.
- [45] Olona M, Candell-Riera J, Permanyer-Miralda G, Castell J, Barrabes JA, Domingo E, et al. strategies for prognostic assessment of uncomplicated first myocardial infarction: 5-year follow-up study. *J Am Coll Cardiol* 1995;**25**:815–22.
- [46] Cadiou C, Hélias J, Trochu JN, Godin JF, Crochet D. Diagnostic précoce d'ischémie résiduelle par tomoscintigraphie myocardique au thallium couplée à un test à l'adénosine dans l'infarctus du myocarde récent. *Méd Nucl* 1997;**21**:176–92.
- [47] Dilsizian V, Arrighi J, Diodati JG, Quyyumi AA, Alavi K, Bacharach SL, et al. Myocardial viability in patients with chronic coronary artery disease. Comparison of 99mTc-sestamibi with thallium reinjection and [18F]Fluorodeoxyglucose. *Circulation* 1994;**89**:578–87.
- [48] Udelson JE, Coleman PS, Metherall J, Pandian NG, Gomez AR, Griffith JL, et al. Predicting recovery of severe regional ventricular dysfunction. Comparison of resting scintigraphy with 201Tl and 99mTc-sestamibi. *Circulation* 1994;**89**:2552–61.
- [49] Li ST, Liu XJ, Lu ZL, Shi RF, Zhu XD, Chen WQ, et al. Quantitative analysis of technetium-99 m methoxyisobutyl isonitrile single photon emission computed tomography and isosorbide dinitrate infusion in assessment of myocardial viability before and after revascularisation. *J Nucl Cardiol* 1996;**3**:457–63.
- [50] Zerbib E, Chauvel C, Cohen A, Carrat F, Askienazy S, Valty J. 201 thallium (Tl) Reinjection (RJ) after sublingual nitroglycerin administration (S-NGA) could improve sensitivity of rest (R)-redistribution (RD) Tl imaging to detect myocardial viability [abstract]. *J Nucl Cardiol* 1995;**2**:S99.

E. Zerbib, Ancien interne des hôpitaux de Paris, ancien assistant hospitalier universitaire (zerbiberic@wanadoo.fr).
Centre d'imagerie de médecine nucléaire (CIMEN), Centre chirurgical Val d'Or, 14, rue Pasteur, 92210 Saint-Cloud, France.

Toute référence à cet article doit porter la mention : Zerbib E. Explorations radio-isotopiques dans la maladie coronarienne. *EMC Cardiologie* 2012;**7**(2):1-10 [Article 11-006-G-10].

Disponibles sur www.em-consulte.com



Arbres
décisionnels



Iconographies
supplémentaires



Vidéos/
Animations



Documents
légaux



Information
au patient



Informations
supplémentaires



Auto-
évaluations



Cas
clinique