

Exploration isotopique du système cardio-vasculaire

Rappel

Le **système cardio-vasculaire** est l'ensemble chargé d'assurer **la circulation du sang** dans l'organisme.

Le **cœur**, muscle creux aux parois épaisses, capable de se contracter, est divisé en **4 cavités** (oreillettes et ventricules).

Son **irrigation** est assurée par **le système coronaire**, cette irrigation diminuée provoque une souffrance du muscle cardiaque pouvant aboutir à la nécrose du tissu.

Le **système vasculaire**, lui, représente un véritable réseau d'origine artériel, veineux ou lymphatique. Il assure **l'irrigation, l'échange et le drainage** de la plus petite cellule de notre corps.

La médecine nucléaire permettra ainsi l'exploration :

- ➔ Du **MUSCLE CARDIAQUE** dans les troubles ischémiques avec la scintigraphie au **THALLIUM** ou aux **MARQUEURS TECHNETIQUES** (au repos ou complétées par un test d'effort).
- ➔ L'appréciation de la **FRACTION D'EJECTION VENTRICULAIRE (FEV)** avec la scintigraphie des **CAVITES CARDIAQUES**.

ETUDE ISOTOPIQUE DU MYOCARDE

L'étude isotopique du myocarde doit être précédée d'une **étude électrique** (**épreuve d'effort** sur vélo ou sur tapis roulant, ou test pharmacologique, persantine ou dipyramidole).

Cette étude est réalisée par un **médecin cardiologue**. Elle permet d'**apprécier l'adaptation du myocarde à l'effort** et de la **comparer** ensuite **à sa perfusion**, grâce à l'injection d'un **traceur radioactif** (+/-) vecteur, suivi d'un **enregistrement sous une gamma caméra**.

L'interprétation des images s'effectuera en comparaison avec le test clinique.

L'épreuve d'effort

Cette épreuve débutera par la **pose d'une perfusion** (chlorure de sodium), afin de **faciliter l'injection du traceur** lors de l'effort.

Le médecin installera la série d'électrodes sur le thorax du patient, prendra sa tension. L'épreuve consistera à **faire pédaler le patient par paliers progressifs** (exemple : paliers de 3 minutes). Lors de ces paliers, **un tracé ECG et la tension seront enregistrés**.

Le but est d'atteindre au moins 70% de la FMT (Fréquence Maximale Théorique = 220 moins l'âge du patient) et 120 watts.

Une fois le but atteint, l'injection du traceur peut être réalisée (1 minute avant l'arrêt de l'effort).

Remarque : **critères d'arrêt**

- La FMT est atteinte
- Des symptômes apparaissent (douleur, épuisement, chute de tension)
- Extra Systole Ventriculaire

Le test à la persantine (ou dipyridole)

Si **l'épreuve d'effort ne peut être réalisée**, on le remplacera par ce **test pharmacologique**.

Il existe **2 possibilités** :

- **Le test à la persantine SIMPLE**, le patient ne réalise **aucun effort** à cause d'une incapacité physique à pédaler (arthrose des genoux, artérite des membres inférieurs, Bloc de Branche Gauche)
- **Le test à la persantine suivi d'un EFFORT PHYSIQUE minimal**, le patient ne pouvant fournir qu'un **effort sous maximal**.

ATTENTION : la **contre indication FORMELLE** à l'injection de persantine est **L'ASTHME**

L'antidote de la persantine est la Théophylline

PROPRIETES DE CE MEDICAMENT

La persantine est un puissant vaso dilatateur, qui agira sur les **artères coronaires**, mais également sur les **artères cérébrales**, pouvant provoquer de **légers malaises** (céphalées, vomissements, sensation de chaleur).

Le thé, le café et le chocolat contenant une **substance inhibitrice de la persantine**, il est préférable de ne pas en consommer avant l'examen.

Le test à la persantine simple

La dose totale de persantine injectée est de **0.8 mg/kg**. On injectera **1/6 toutes les minutes** pendant 6 minutes, puis **à la 7^{ème} minute**, le **traceur radioactif**. Ainsi on provoque une **vaso dilatation artérielle coronarienne**.

Le test d'effort + persantine

Chez le sujet capable de fournir un effort limité, on associera les 2 procédures (**injection de persantine suivie d'une épreuve d'effort**). Ceci aura l'avantage **d'optimiser le résultat**. On injectera **0.6 mg/kg en 3 minutes**, puis début de l'effort.

Cette étude électrocardiographique sera immédiatement suivie de l'étude scintigraphique au THALLIUM ou au MARQUEUR TECHNETIE.

L'étude scintigraphique au thallium après une épreuve d'Effort OU UN TEST A LA PERSANTINE (étude de la viabilité cellulaire)

L'imagerie isotopique restituera une **cartographie précise de la perfusion myocardique** (ventricule gauche) pendant un effort.

Principales indications

- **Test diagnostic** pour détecter la **maladie coronarienne** chez les patients présentant des douleurs ou des facteurs de risque
- **Surveillance post traumatique** (angioplastie, post infarctus)

Les paramètres techniques

Traceur: Thallium 201

Energie: 2 pics 80 keV et 160 keV.

Emetteur: X pour les 80 KeV et Gamma pour les 160 Kev.

Période: 72 heures

Dose injectée : 111 MBq

Vecteur: chlorure de Thallium lui-même.

Collimateur: haute sensibilité, basse énergie.

Spectrométrie: fenêtre de 20% pour les 80 Kev
et fenêtre de 10% pour les 160 Kev.

Matrice: 64^2 ou 128^2

Type d'acquisition: tomographique.

Délai avant image: 5 minutes maximum.

Incidences: acquisition d'un **volume de 180°**
(hémi thorax gauche), comprenant **32 coupes** avec
un temps d'enregistrement de **30 à 50 secondes**
pour chacune.

Traitement des images: reconstruction du volume
dans les 3 plans de l'espace.

Remarque : **inconvenients du thallium**

- Sa faible énergie d'émission entraîne une forte atténuation tissulaire
- Sa période est longue 72 heures
- Fabriqué dans un cyclotron, son coût est élevé

La position du patient : décubitus ou procubitus ?

La question se pose à cause de **la superposition éventuelle du diaphragme sur la paroi postéro basale du ventricule gauche**, compte tenu de la triple obliquité du cœur.

- En PROCUBITUS, **le diaphragme se dégage** de la paroi postéro basale.
- En DECUBITUS, **le diaphragme se superpose** à cette paroi.

Cependant, chez la femme un souci supplémentaire vient s'ajouter : **l'interpolation mammaire** (sein volumineux ou dense), qui hormis le problème précédent, ajoute **une atténuation supplémentaire** pouvant entraîner un **risque d'hypofixation non pathologique**.

En règle GENERALE, **les hommes** seront positionnés en **PROCUBITUS**, les deux bras au dessus de la tête ; **les femmes** en **DECUBITUS**, le bras gauche au dessus de la tête.

En cas de seins volumineux ou denses, le sein gauche sera scotché pour **uniformiser le tissu mammaire**.

La capture du thallium par la cellule musculaire

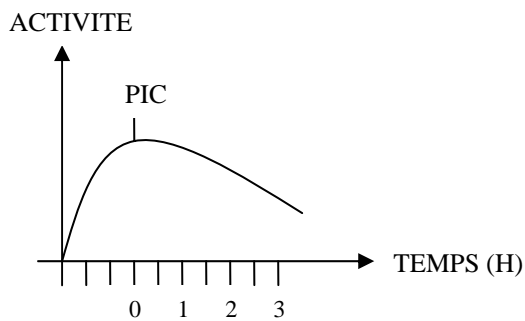
Le cœur vient de réaliser un effort, il travaille beaucoup, son **irrigation** doit être **importante** (flux sanguin coronaire très augmenté).

Une fois injecté, **le thallium** (Tl⁺) arrive dans les artères coronaires et passe au contact des **cellules musculaires**. Celles-ci étant en **activité importante** (respiration cellulaire et contraction musculaire) la pompe sodium-potassium va prendre en charge cet ion au même titre que l'ion potassium (K⁺).

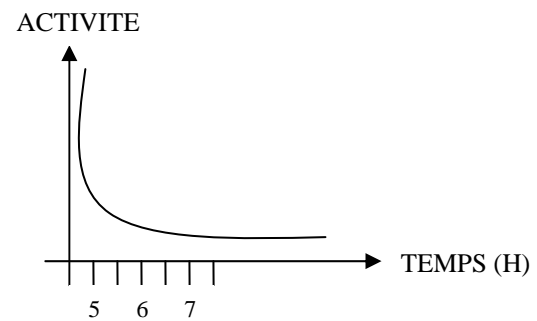
Son **passage transmembranaire est donc PASSIF** (diffusion facilitée), il se fait rapidement, et ne nécessite ni énergie, ni transporteur membranaire.

Il s'établit un **échange continu** entre le Thallium cellulaire et le Thallium circulant. **La cellule** se trouve ainsi « **lavée** » ceci **en fonction du flux coronaire**. On assiste donc à une **étape de REDISTRIBUTION**.

CAPTATION



LAVAGE



Vu le mode de pénétration du thallium dans la cellule myocardique, on comprend alors, que **cet isotope reflète le flux coronaire, l'irrigation myocardique et surtout la VIABILITE cellulaire**

Les résultats

Le **BUT** est d'apprécier la **fixation du Thallium sur chacune des parois du ventricule gauche** :

- ➔ Le septum
- ➔ L'apex
- ➔ La paroi antérieure, inféro basale, latérale gauche

L'irrigation de chacune de ces parois correspond à une branche précise d'une artère coronaire.

Résultat normal : on observe une **fixation homogène du traceur** sur l'ensemble des parois du ventricule gauche. Toutefois certaines hypofixations n'ont pas un caractère pathologique (faux négatifs)

Les faux négatifs

Le plus connu est un **patient multi-tronculaire équilibré** : le **résultat** scintigraphique est **normal** à l'effort comme au repos car la **vascularisation** étant **très réduite**, mais **de façon homogène** sur l'ensemble des territoires, on ne perçoit **pas d'image d'hypofixation...**

La cinétique du traceur sur une cellule pathologique

Un territoire coronaire STENOSE : à l'effort comme au repos, le sang n'atteint pas la cellule musculaire, elle ne peut donc pas capter le Thallium.

Traduction isotopique : un défaut de fixation correspondant aux territoires sténosés.

Une artère coronaire capable de fournir une irrigation suffisante au repos (sténose peu importante) **mais qui s'adapte mal à l'effort** (vaso dilatation insuffisante) : peu ou pas de thallium n'atteindra la cellule à l'effort.

Traduction isotopique : un défaut de fixation après l'effort.

Par contre, une fois reposé, l'irrigation nécessaire diminue, à ce moment, **le Thallium est capté par la cellule puis relargué normalement.**

Traduction isotopique : une fixation normale du tissu à la récupération (4 à 6 heures après l'effort).

Technique scintigraphique au repos

Cette technique, dans 99% des cas, fera **suite à l'enregistrement après effort ou persantine.**

En effet, si une zone musculaire apparaît hypo fixante (donc hypo vascularisée) après l'effort, il sera nécessaire d'observer l'évolution d'une **revascularisation éventuelle** 3 à 4 heures après.

Pour cela, le **patient** doit être impérativement **a jeun** afin d'éviter une fixation gastrique trop élevée. On réinjectera une **dose plus faible de traceur (37 MBq)**, puis 15 minutes après, on réalisera une **acquisition tomographique identique à la précédente** pour en comparer les résultats.

Les résultats

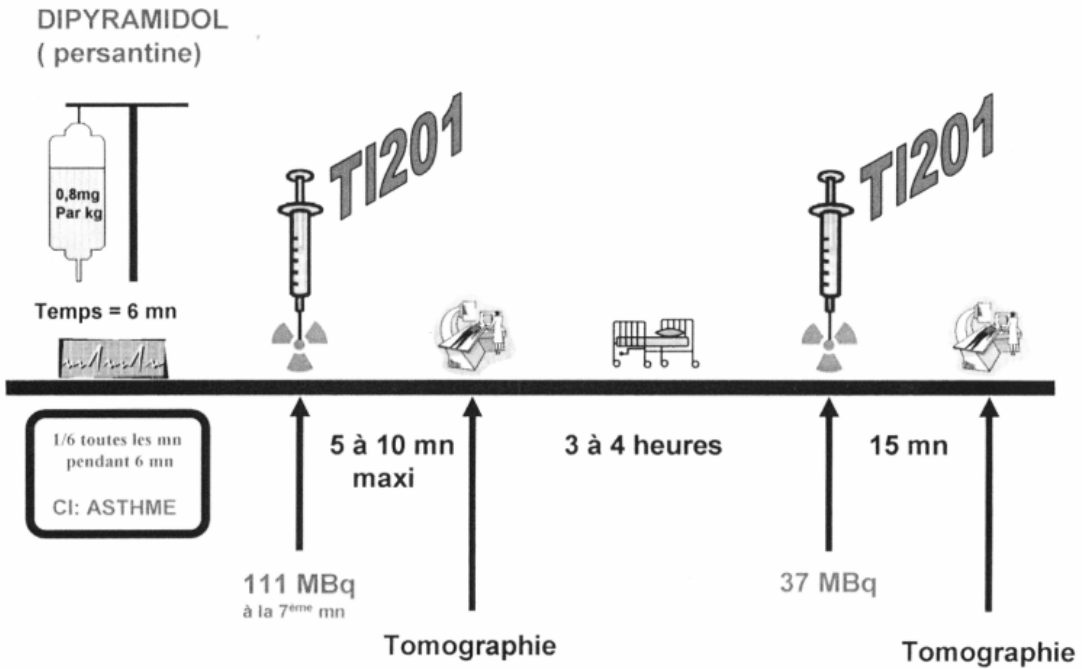
Une hypo fixation à l'effort avec une **redistribution normale** signifie que la sténose artérielle récupère au repos.

Une hypo fixation à l'effort avec une **hypo fixation à la redistribution** signifie que la sténose artérielle ne récupère pas au repos.

Une fixation normale à l'effort avec une hypofixation à la récupération témoigne d'une redistribution dite « reverse » (très rare 5 à 7% des cas).

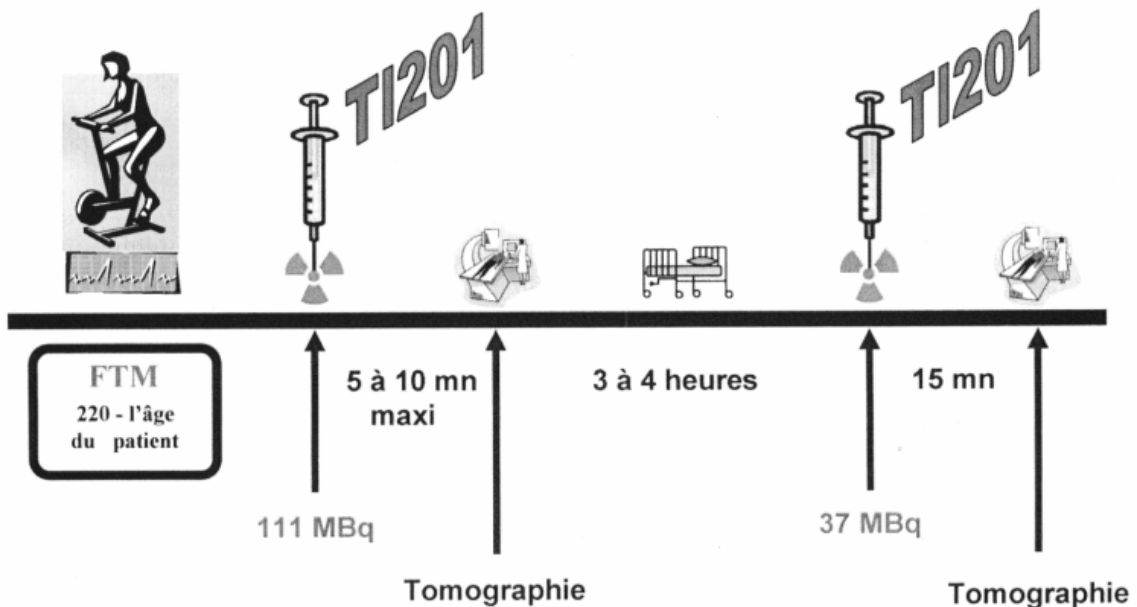
>>> EN RÉSUMÉ >>>

MYOCARDE D'EFFORT PUIS DE REPOS



OU

MYOCARDE D'EFFORT PUIS DE REPOS



L'étude scintigraphique aux marqueurs technetiques (étude de l'ischémie coronarienne)

Les traceurs technétiés sont susceptibles de **pallier à certains inconvénients du thallium**. Par contre, il est peu probable qu'ils n'apportent de meilleurs renseignements que le thallium sur la viabilité tissulaire.

La **captation** de ces traceurs technétiés est **différente** de celle du thallium. Par exemple le **MIBI** est un dérivé isonitrile de la famille des nitrates qui **se fixe sur des sites chimiques** spécifiques de ces molécules. **La pénétration cellulaire est donc un phénomène ACTIF** (pas de relargage comme pour le Thallium).

Cette fixation intra cellulaire reste **stable pendant au moins 4 heures**.

Donc il donne un **bon reflet du flux coronaire** (= l'entrée cellulaire au moment de l'effort), mais il n'est pas aussi spécifique de la viabilité cellulaire que le Thallium.

Les différences caractéristiques entre le thallium et les marqueurs technétiés font que **les protocoles d'examens scintigraphiques seront différents**. Cet examen peut être réalisé en 1 seule journée, ou en deux journées :

EXAMEN EN UNE SEULE JOURNEE :

1^{ère} possibilité

Une épreuve d'effort avec une injection de 185 à 296 MBq du traceur/vecteur **Technétium/MIBI** suivie 30 minutes après minimum des images tomographiques de 30 minutes.

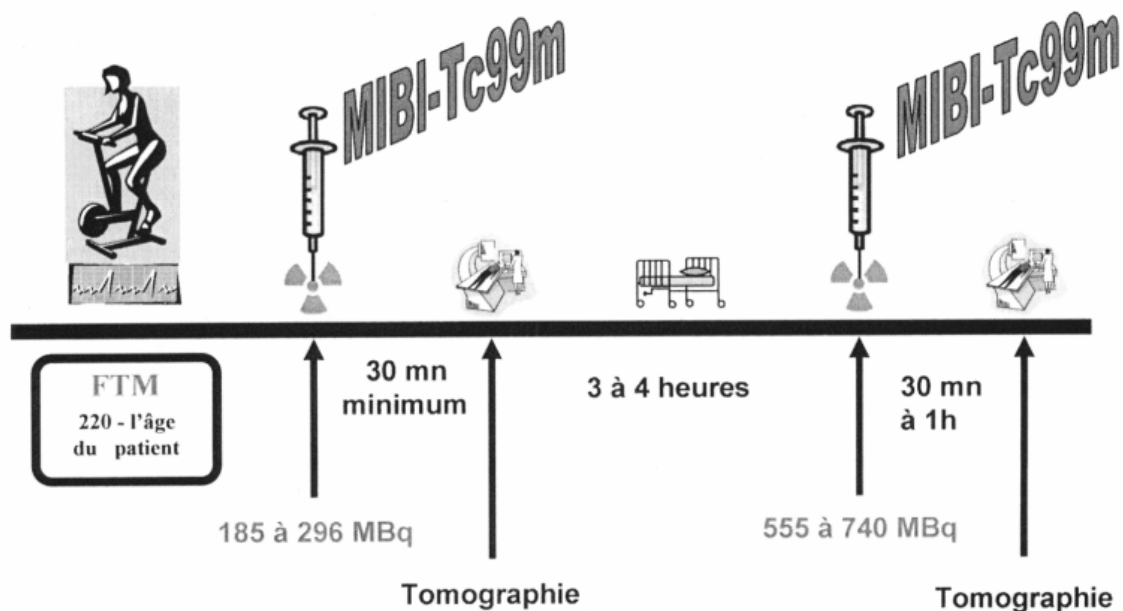
Le protocole d'enregistrement sous la gamma caméra est le même que précédemment.

Puis **3 à 4 heures après** on réinjectera 555 à 740 MBq de **Technétium/MIBI** et on réalisera une **scintigraphie au repos au MIBI** avec une acquisition tomographique de 30 minutes réalisée une heure après l'injection.

Remarque : la dose réinjecté doit être égale à 3 fois celle injecté pour l'effort.

>>> EN RÉSUMÉ >>>

MYOCARDE D'EFFORT PUIS DE REPOS



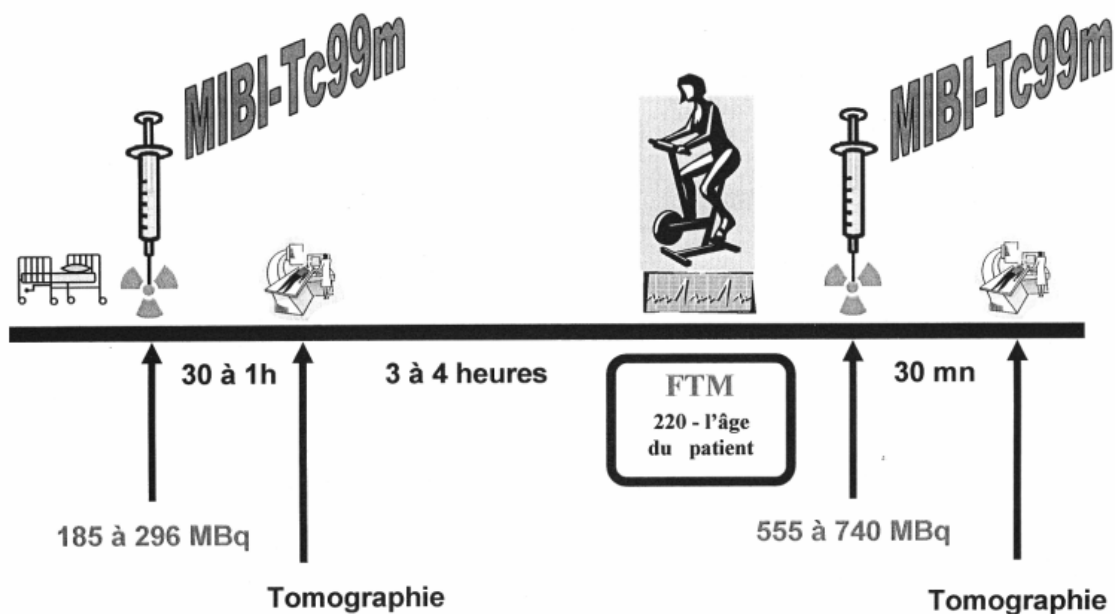
2^{ème} possibilité

On commence **d'abord par la scintigraphie au repos** puis on réalisera ensuite la scintigraphie à l'effort (c'est l'inverse de la première possibilité). Attention, dans ce cas on commencera par injecter 185 à 296 MBq au

repos, puis 3 fois cette dose à l'effort (on garde le même ordre pour les doses)

>>> EN RÉSUMÉ >>>

MYOCARDE DE REPOS PUIS D'EFFORT



3^{ème} possibilité

Une scintigraphie au repos au Thallium avec injection de 111 MBq de thallium suivie 15 à 20 minutes après l'injection d'images tomographiques de 30 minutes.

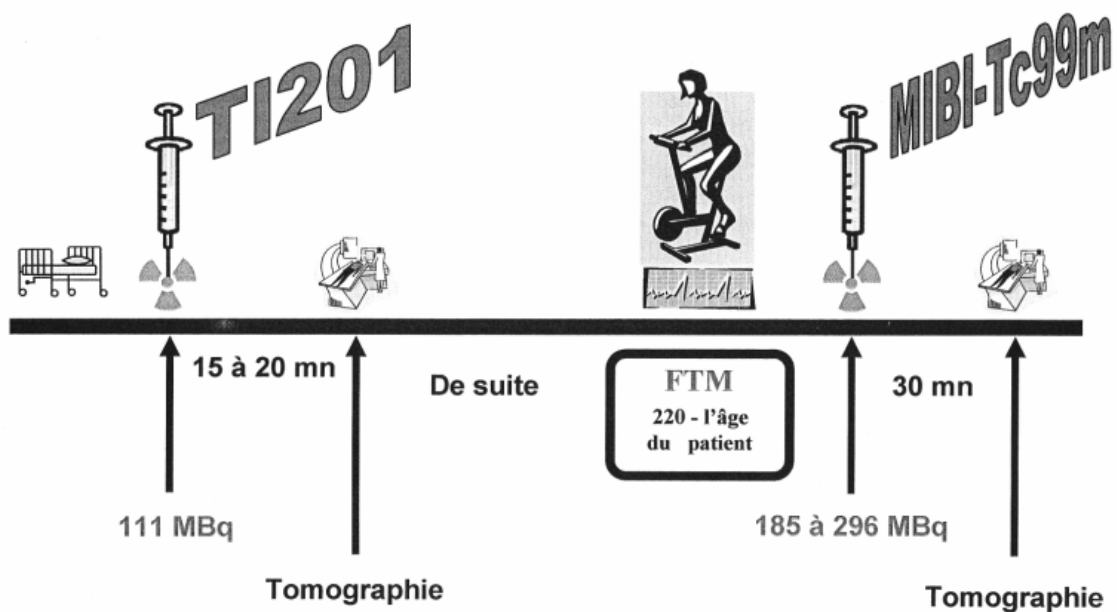
Tout de suite après, on réalisera **une épreuve d'effort au MIBI** avec injection de 185 à 296 MBq suivie 30 minutes minimum après l'injection des images tomographiques.

Dans ce cas, il faudra toujours faire l'injection et l'enregistrement du thallium **AVANT** celle du marqueur technétié pour une **question d'énergie**. En effet, le pic du

thallium est à 80 KeV, alors que celui du technétium est à 140 KeV. **Le diffusé du Technétium est plus important et masque donc le thallium.**

>>> EN RÉSUMÉ >>>

MYOCARDE DE REPOS PUIS D'EFFORT



EXAMEN EN DEUX JOURNEES :

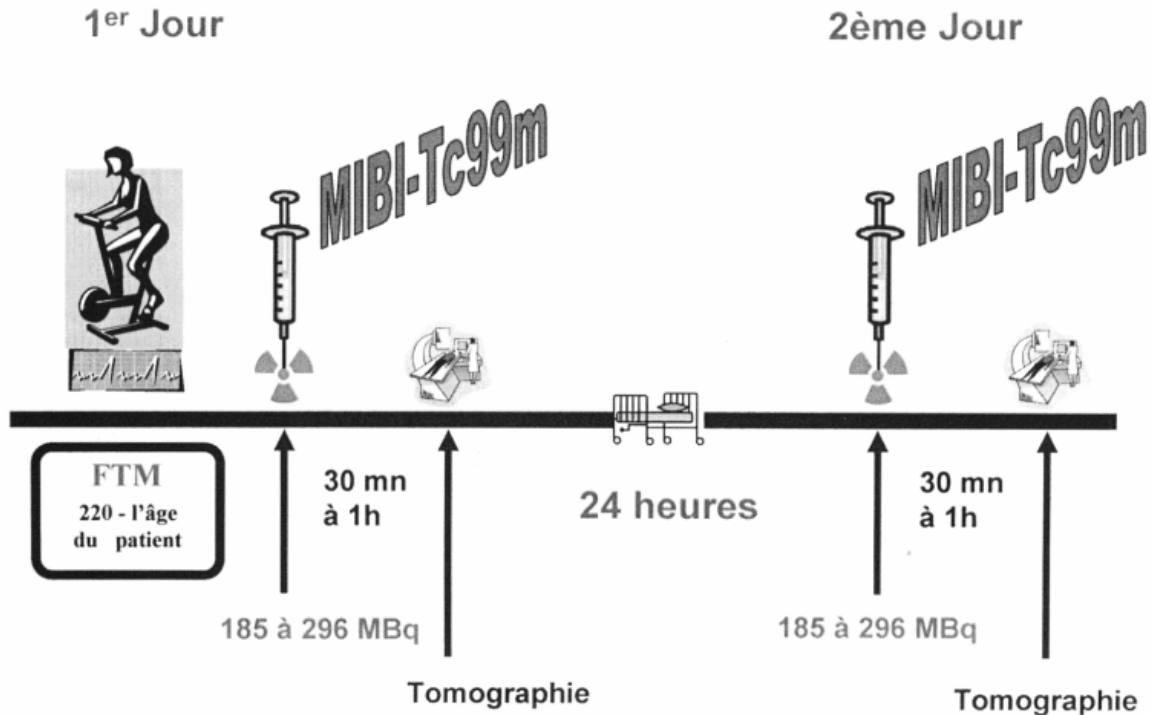
Une seule possibilité se présente ici.

Le premier jour on réalise une **épreuve d'effort au MIBI** avec injection de **185 à 296 MBq** suivi d'un enregistrement tomographique réalisé 30 minutes à une heure après.

Le deuxième jour on réalisera **une scintigraphie au repos au MIBI** avec injection la même dose de produit que le premier jour, suivi d'un enregistrement sous gamma caméra 30 minutes à une heure après injection.

>>> EN RÉSUMÉ >>>

MYOCARDE D'EFFORT PUIS DE REPOS



Remarque : pour la scintigraphie au MIBI il est recommandé au patient de **boire un verre de lait** après l'injection du radiotraceur et avant l'acquisition des images afin de **diminuer l'activité hépatique**.

Les résultats

Les **images** obtenues sont **identiques** à celles données par la **fixation du thallium** avec toutefois quelques remarques.

Il semblerait que :

- La **taille des lacunes** par fixation au MIBI serait **inférieure** à celle observée pour le Thallium.
- Une **meilleure reproductibilité d'images** est constatée avec le MIBI

- ➔ Le MIBI serait **moins sensible** à cause de sa plus faible vitesse de captation cellulaire que le thallium mais **plus spécifique**.
- ➔ Le MIBI reflèterait moins bien la viabilité cellulaire que le Thallium.

Rappel sur les caractéristiques du Technétium :
Energie : 140 Kev Emission : gamma Période : 6h

L'exploration isotopique des cavités cardiaque (appréciation de la fraction d'éjection ventriculaire)

Après avoir étudié l'irrigation du muscle cardiaque, on s'intéresse maintenant à sa **force de contraction**. On observe le mouvement du produit injecté, à l'intérieur des cavités cardiaques.

Cette **étude atraumatique** (simple injection intra veineuse) est à la fois **qualitative** (mouvement de la contraction) et **quantitative** (évaluation numérique).

Le but principal reste la mesure de la fraction d'éjection ventriculaire gauche (parfois la droite), globale et segmentaire.

L'exploration de cet examen est un bon complément des pathologies précédemment citées mais aussi **un bon complément de l'échographie cardiaque, des maladies coronariennes, des valvulopathies, des troubles du rythme et des insuffisances cardiaques.**

Contre indication : l'arythmie

Il existe deux techniques d'examen :

- ➔ L'étude au premier passage
- ➔ L'étude à l'équilibre (ou GATED)

L'étude au premier passage

Elle consiste en **l'injection intra veineuse sous forme d'embol du traceur**, dont on suit le

passage dans les cavités et surtout le ventricule gauche, pendant 30 à 40 secondes. L'avantage sur les informations recueillies est le **faible bruit de fond** ainsi que la **visualisation exclusive** des parois antérieure et inférieure du ventricule gauche.

Préparation du patient

Préparation pour l'ECG : pose de 3 électrodes sur le thorax du patient (creux sus claviculaire droit, appendice xyphoïde et sein gauche).

Pose d'un cathéter avec robinet à 3 voies, préparation d'une seringue de 20 cc de sérum physiologique pour pousser l'embol de technétium.

Les paramètres techniques

Traceur: Technétium 99 métastable

Energie: 140 KeV

Emetteur: Gamma pur

Période: 6 heures

Dose injectée : 740 MBq

Vecteur: soit le pyrophosphate*** d'étain soit le sérum d'albumine***

Collimateur: haute sensibilité, basse énergie.

Spectrométrie: celle du technétium (pic de 140 KeV avec une fenêtre de 20%)

Matrice: 64^2 ou 128^2

Délai avant image: immédiat puisque embol

Incidence: une image en **OAD de 20°** , centré aux $\frac{3}{4}$ sur l'hémi thorax gauche, les repères étant la fourchette sternale, l'appendice xyphoïde et la paroi latérale gauche du thorax ; **pour dégager les parois antérieure et inférieure du ventricule gauche.**

Traitement des images: l'enregistrement se fait en mode list

*******Le pyrophosphate d'étain (marquage des hématies)

Une des propriétés chimiques de l'étain est de **sensibiliser la paroi des globules rouge à « piéger » facilement le technétium.**

On injecte 30 minutes avant l'examen **un mélange de pyrophosphate et de sérum physiologique**. Au moment de l'examen, **on injecte du technétium** qui se fixe préférentiellement sur la paroi des globules rouge. On réalise ainsi **un marquage IN VIVO**. Il faut attendre 10 minutes avant de commencer l'acquisition des images que le marquage soit correct.

*******Le sérum d'albumine (marquage du plasma)

L'albumine marquée au technétium puis injectée par voie intra veineuse, reste dans le compartiment vasculaire. On assiste rapidement à **une diffusion extra-cellulaire du mélange**, ainsi qu'à **une dégradation d'environ 8% par heure**. Les conséquences sont un bruit de fond important et une moins bonne stabilité de ce **marquage IN VITRO**. Après 15 à 20 minutes de préparation du produit, l'enregistrement peut débuter immédiatement après l'injection.

L'étude des cavités à l'équilibre

Deuxième technique possible, elle **complète souvent un premier passage**.

Ses particularités : l'enregistrement se fait grâce à **un marquage stable et homogène de l'ensemble du sang circulant**. Cet équilibre est atteint quelques minutes après l'injection. On peut alors facilement réaliser plusieurs incidences (OAG, face antérieure, profil gauche) dans des conditions techniques comparables. **On observe les mouvements des cavités cardiaques pendant 15 à 20 minutes**.

Les **paramètres techniques** (traceur et vecteur) et la **préparation du patient** (ECG et voie d'abord) sont **identiques au premier passage**.

Incidences : les plus courantes sont les **OAG de 30° et 45°**, la tête de la caméra étant inclinée de 10 à 15° vers les pieds du patient, de façon à être **perpendiculaire au grand axe du cœur**. On doit dégager parfaitement le septum et la paroi latérale gauche du ventricule gauche. On peut compléter cette étude par **une face antérieure et un profil gauche**.

Le mode d'enregistrement : l'acquisition est synchronisée pendant 600 à 900 secondes, ce qui correspond à 500 cycles environs.

Mode de protocole : **GATED** c'est-à-dire synchronisé avec les battements cardiaques. On obtient des images du cycle cardiaque permettant d'en restituer une **image en mouvement**.

Le traitement numérique des images :

La valeur normale de la **FEV** est de **60% ou plus** :

$$FE = \frac{(AD-BKG) - (AS-BKG)}{AD - BKG}$$

Avec AD: activité diastolique
BKG: bruit de fond
AS: activité systolique

L'image d'amplitude

C'est l'image pour laquelle, chaque pixel traduit la **différence d'activité** mesurée **entre les moments** de **diastole** et de **systole**.

L'intérêt est d'observer pour **les différentes parois**, celles qui **se contractent** et celles qui **ne se contractent plus**

L'image de phase

C'est l'image pour laquelle, tous les points la constituant correspondent au **temps de vidange**.
L'intérêt est d'observer pour un même moment précis, si toutes **les parois ventriculaires se contractent normalement** (recherche de nécroses, anévrismes, troubles du rythme).

Le cœur en coupes

