

TEP cardiaque au Rubidium 82

Intérêt, principe et retour après 6 mois d'expérience au CHU Bichat

Kaya DOYEUX, physicienne médicale

Emilie FLUCK, cadre de Santé

Service de médecine nucléaire, Hôpital Bichat, AP-HP



Déclaration Existence/Absence de conflit d'intérêts

***Les oratrices certifient
ne pas être en situation de conflit d'intérêt.***

Introduction

Le médicament radiopharmaceutique

Un peu de physique...

... et d'histoire

Indications

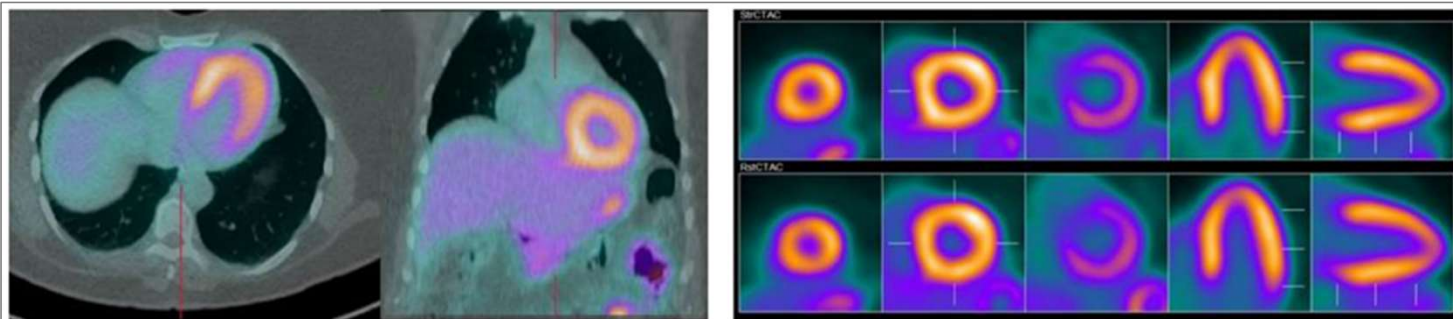
Introduction : le médicament radiopharmaceutique

- MRP : Chlorure de ^{82}Rb
- Produit de générateur $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ → élué avec du NaCl 0,9 %
- Traceur TEP → **Emetteur β^+**
 - ✓ Meilleure résolution spatiale et meilleur contraste qu'en TEMP
 - ✓ TDM → correction d'atténuation
 - ✓ Acquisitions dynamiques 3D
- **Analogue du Potassium (K)**
 - ✓ Le traceur est capté par les cellules myocardiques viables via des pompes Na^+/K^+ ATP-ase
 - ✓ Sa fixation est fonction du flux sanguin

Propriétés
cinétiques
similaires
au ^{201}Tl

→ Traceur de la perfusion myocardique

→ Permet également la quantification du flux sanguin myocardique et le calcul de la réserve coronaire



Alnabelsi T et al. PET/CT Myocardial Perfusion Imaging Acquisition and Processing: Ten Tips and Tricks to Help You Succeed. *Current cardiology reports* vol. 23,5 39. 11 Mar. 2021

Introduction : un peu de physique

Le Rubidium

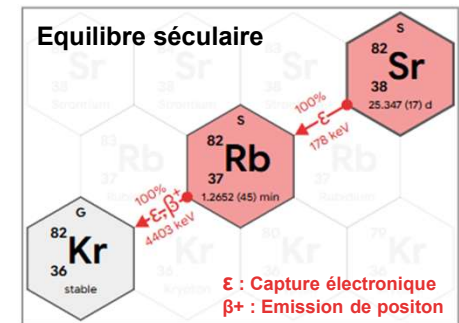
- ✓ Métal alcalin
- ✓ Rubidium stable : ^{85}Rb ($Z = 37, N = 48$)
- ✓ Isotope utilisé : ^{82}Rb ($Z = 37, N = 45$)

Elément père : ^{82}Sr

- ✓ Demi-vie : 25,3 jours

Elément fils : ^{82}Rb

- ✓ Demi-vie : 76 secondes
- ✓ Émetteur β^+
- ✓ Se désintègre en ^{82}Kr stable



LNHB. Données nucléaires. Module Lara. MAJ Mars 2026.

Générateur $^{82}\text{Sr} / ^{82}\text{Rb}$

- ✓ ^{82}Sr adsorbé par de l'oxyde d'étain sur une colonne chromatographique
- ✓ Lors de l'éluion, le ^{82}Rb est emporté par le NaCl
le ^{82}Sr reste fixé sur la colonne
- ✓ Risque de relargage de radio-contaminants : ^{82}Sr et ^{85}Sr
→ Elution « pouvelle » avant utilisation + contrôle de qualité

Familles
Classement des éléments en fonction d'un comportement chimique proche.

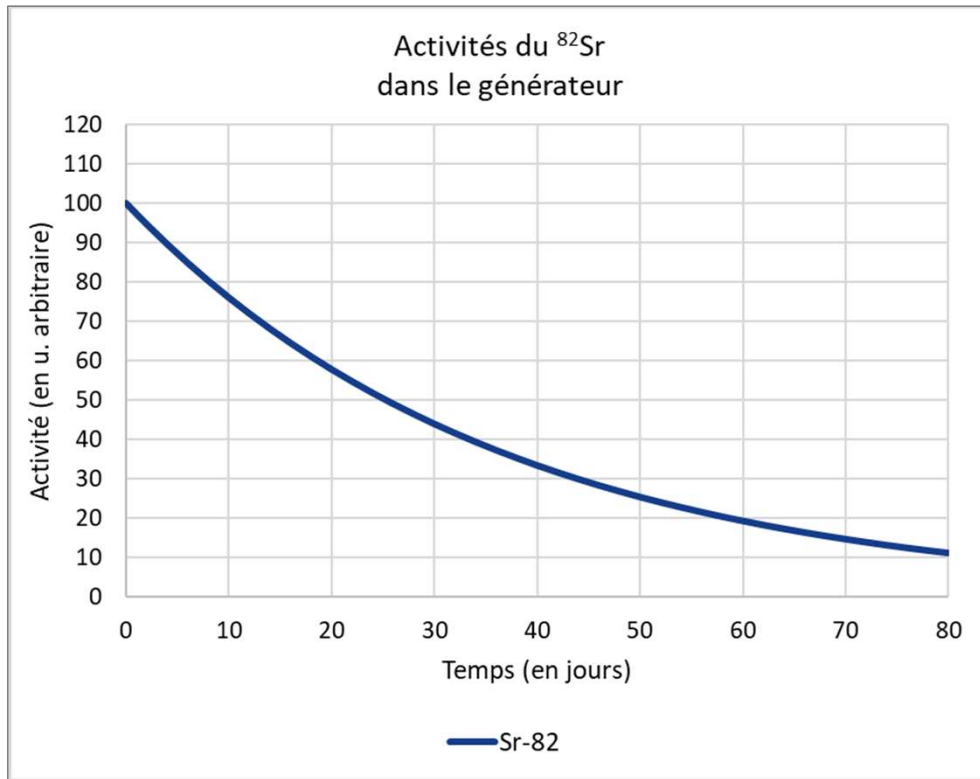
- Non-métaux
- Métaux alcalins
- Métaux alcalino-terreux
- Métaux de transition
- Lanthanides (ou terres rares)
- Actinides
- Métaux pauvres
- Halogènes
- Gaz rares
- Métalloïdes

État physiques
Ne gaz Hg liquide Fe solide

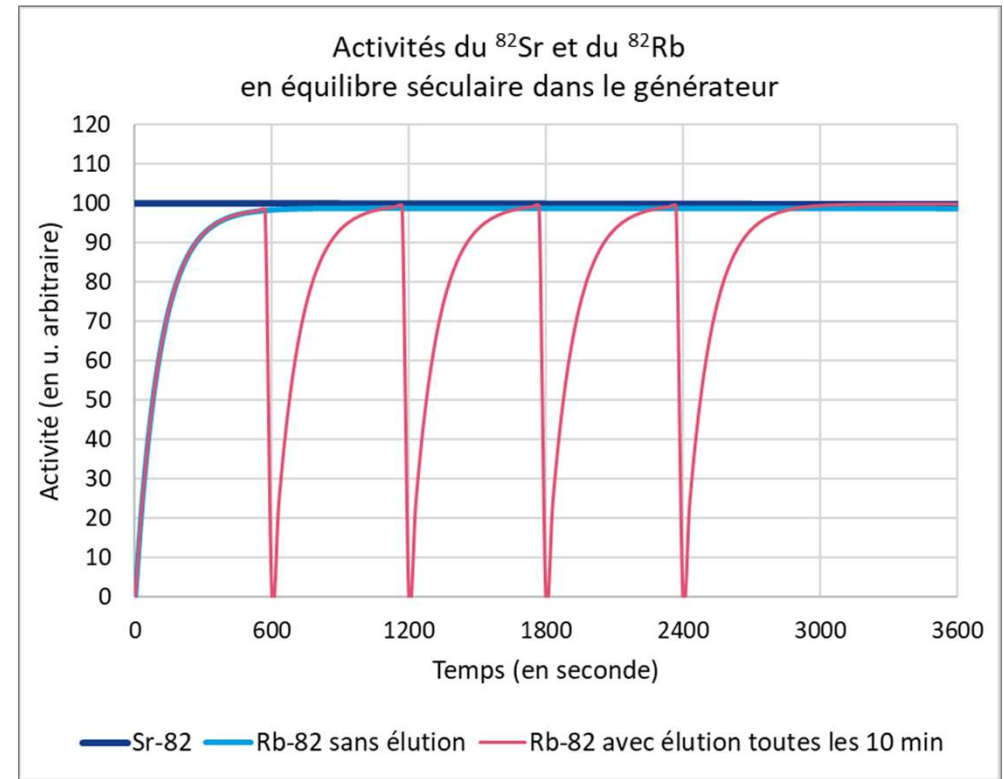
CEA. Infographie : Tableau de Mendeleïev. Les défis du CEA N°211. Oct. 2016

Introduction : un peu de physique

■ Générateur $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$: activités théoriques



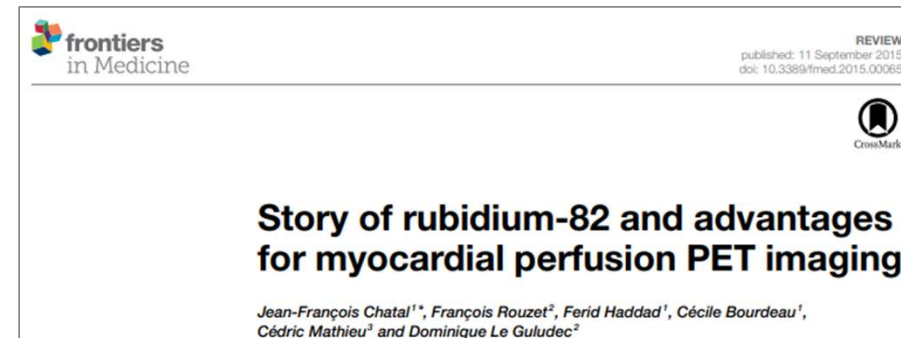
→ Remplacement tous les 40 à 60 jours (environ 2 demi-vies)



→ Elution possible toutes les 10 min

Introduction : un peu d'histoire

- **1954** Love *et al.* Même comportement que le Potassium. Captation myocardique fonction du débit coronaire
- **1954 - 1980** Etudes précliniques (Chien)
- **1980** Première injection à l'homme
- **1980 - 1989** Etudes cliniques : ^{82}Rb TEP vs. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ TEMP
- **1989** Générateur $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ CardioGen-82[®] (Bracco Diagnostics Inc.) **Approbation FDA et commercialisation**
- **1990 - 2000** Capacité de production limitée / Nombre de TEP faible / Performances TEP limités ...
Mais milliers de patients → 3 méta-analyses
- **2000 - ...** Augmentation progressive des capacités de production
- **2000** Début de l'imagerie hybride TEP-TDM
- **2006** Début du TOF en clinique
- **2013** Premier TEP-TDM à SiPM (Philips)



Introduction : un peu d'histoire

- **1954** Love *et al.* Même comportement que le Potassium. Captation myocardique fonction du débit coronaire
- **1954 - 1980** Etudes précliniques (Chien)
- **1980** Première injection à l'homme
- **1980 - 1989** Etudes cliniques : ^{82}Rb TEP vs. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ TEMP
- **1989** Générateur $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ CardioGen-82® (Bracco Diagnostics Inc.) **Approbation FDA et commercialisation**
- **1990 - 2000** Capacité de production limitée / Nombre de TEP faible / Performances TEP limités ...
Mais milliers de patients → 3 méta-analyses
- **2000 - ...** Augmentation progressive des capacités de production
- **2000** Début de l'imagerie hybride TEP-TDM
- **2006** Début du TOF en clinique
- **2008** Premières caméras CZT dédiées cardio (General Electric Healthcare / Spectrum Dynamics Medical)
- **2013** Premier TEP-TDM à SiPM (Philips)
- **2016** Première caméra CZT grand champ 2D (General Electric Healthcare)
- **2018** Première caméra CZT grand champ 3D (Spectrum Dynamics Medical)

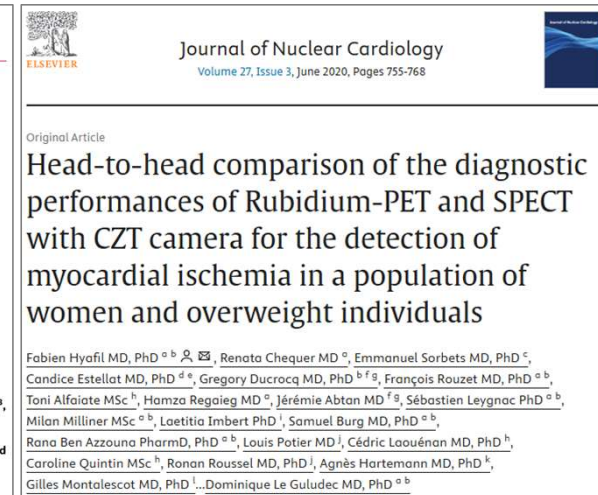
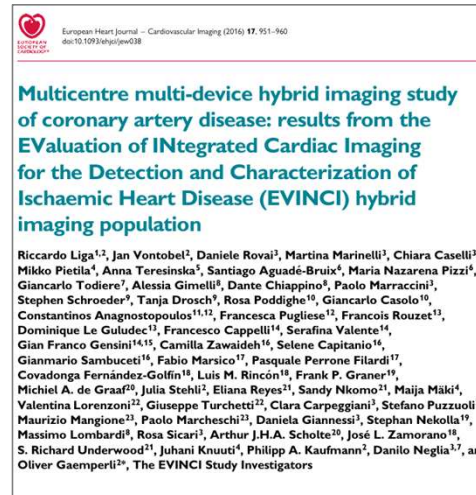


Introduction : un peu d'histoire

■ En France

- **2009 - 2014** Premières utilisations en France
- **2009 - 2012** Essai multicentrique européen EVINCI
- **2012 - 2014** Essai multicentrique français RUBIS

- **2019** AMM pour CardioGen-82[®] (Bracco Diagnostics Inc.)
- **2021** Avis HAS favorable pour CardioGen-82[®] (Bracco Diagnostics Inc.)
- **2023** AMM pour KALDENN[®] (Naogen Pharma)
- **2024** Avis HAS favorable pour KALDENN[®] (Naogen Pharma)



Introduction : indications

■ CardioGen-82® (Bracco) → mêmes indications que les autres traceurs de perfusion myocardique



► Quelle place dans la stratégie diagnostique ?

La prise en charge diagnostique et l'évaluation du syndrome coronarien chronique a fait l'objet d'un guide du parcours de soins élaboré par la HAS et publié en 2021. Des recommandations européennes de l'ESC publiées en 2019 sont également disponibles. La séquence de prise en charge diagnostique du syndrome coronarien chronique est initiée en présence de symptômes suspects (douleurs thoraciques, dyspnée), elle peut également s'adresser à des patients asymptomatiques consultant pour une évaluation approfondie en raison d'un examen paraclinique (épreuve d'effort ou imagerie) anormal. La première étape de prise en charge repose sur l'examen clinique, sur lequel le clinicien s'appuie pour calculer la probabilité pré-test à l'aide de scores validés. Il s'agit d'estimer la probabilité d'être atteint d'une maladie coronarienne obstructive. Cette estimation va ensuite conditionner la nature des investigations à mettre en œuvre le cas échéant :

- chez les patients présentant une probabilité pré-test faible, aucun examen complémentaire pour le diagnostic d'une cardiopathie ischémique n'est nécessaire, une autre cause de la douleur devra être recherchée ;
- si la probabilité pré-test est élevée, une évaluation pronostique est recommandée pour décider de la suite de la prise en charge diagnostique et thérapeutique. Il s'agit du groupe pour lequel les tests non invasifs sont les plus bénéfiques. En cas de signes de sévérité, une coronarographie invasive peut être proposée d'emblée dans une optique de revascularisation précoce.
- chez les patients présentant une probabilité pré-test intermédiaire, des tests diagnostiques peuvent être envisagés afin de confirmer le diagnostic et d'évaluer le degré de la sténose après avoir évalué la probabilité clinique globale de cardiopathie ischémique en fonction des modifications de la probabilité pré-test.

Les examens invasifs et non invasifs disponibles sont les suivants :

- les tests pour le diagnostic de l'ischémie :
 - o ECG d'effort,
 - o imagerie fonctionnelle de stress (test d'effort ou test pharmacologique) : échocardiographie, IRM cardiaque, TEMP, TEP,
- l'imagerie non invasive morphologique (évaluation de l'anatomie coronaire) : scanner coronaire,
- la coronarographie : imagerie invasive de l'évaluation de l'anatomie coronaire.

Il est à noter que les recommandations de bonne pratique préconisent l'utilisation des examens non invasifs d'imagerie comme examen de première intention chez les patients présentant une probabilité pré-test intermédiaire et élevée. L'objectif est de réserver la coronarographie, examen invasif, aux patients pour lesquels elle est indispensable (en vue d'une éventuelle revascularisation coronaire).

Il est recommandé de sélectionner le test non invasif de diagnostic initial en fonction de la probabilité clinique de la maladie coronarienne obstructive et des autres caractéristiques du patient influençant la performance du test, des préférences du patient, de l'expertise locale et de la disponibilité des tests.

Place du médicament :

CARDIOGEN-82 (chlorure de rubidium (82Rb)) a une place dans la stratégie diagnostique, au même titre que la TEMP lorsque les recommandations en vigueur prévoient la réalisation d'une scintigraphie de perfusion myocardique.

■ KALDENN® (Naogen) → idem



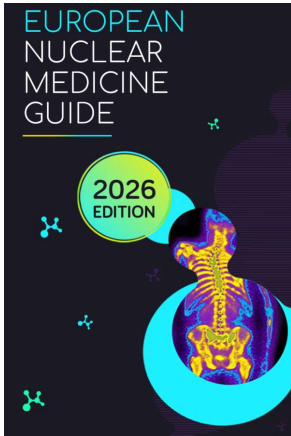
5.1 Place du médicament dans la stratégie thérapeutique

KALDENN (chlorure de rubidium-82) a une place dans la stratégie diagnostique lorsque les recommandations en vigueur prévoient la réalisation d'une scintigraphie de perfusion myocardique, au même titre que CARDIOGEN-82 (chlorure de rubidium (82Rb)).

Pour rappel, la tomoscintigraphie par émission de positon (TEP) de perfusion myocardique doit être réalisée avec une caméra TEP couplée à un scanner (TEP-TDM) autorisée selon la réglementation en vigueur. Cet acte (impliquant médecins nucléaires et manipulateurs d'électroradiographie médicale) est réalisé conformément aux recommandations en vigueur (notamment celles de l'EANM) et utilisant des radiopharmaceutiques et des médicaments vasodilatateurs disposant d'AMM et d'agrément aux collectivités pour cet examen¹.

Introduction : indications

■ EANM : mêmes indications que les autres traceurs de perfusion myocardique + ...



2.1.3 Indications

- Patients in whom coronary artery disease (CAD) is suspected:
- Symptomatic patients with pre-test probability of CAD 15-65% with left ventricular ejection fraction (LVEF) >50%; or in patients (in particular, unable to exercise adequately) with ECG characteristics such as left bundle branch block (LBBB) which lead to non-interpretable stress ECG.
- Pre-test probability 66-85% for CAD or LVEF <50% without typical angina.
- Patients with known CAD diagnosed by an anatomical imaging modality in whom the functional significance of the stenosis should be determined.
- To exclude ischemia as a trigger for rhythm disorders.
- Patients with persistent symptoms after revascularization procedures.
- Patients with >3 risk factors who will undergo high risk surgery.
- To assess viability of dysfunctional myocardium; sometimes followed by viability testing with FDG.
- Patients with an Agatston calcium score >400 and any risk.

Compared with myocardial perfusion scintigraphy, Perfusion Positron Emission Tomography (PET) offers high spatial resolution of images, lower radiation exposure, and overall improved diagnostic accuracy for the detection of CAD.

- ✓ « Meilleure résolution spatiale des images »
- ✓ « Exposition plus faible »
- ✓ « Précision diagnostique globalement améliorée pour la maladie coronarienne »

■ ESC : « préférentiellement le TEP »



ESC GUIDELINES

2024 ESC Guidelines for the management of chronic coronary syndromes

Developed by the task force for the management of chronic coronary syndromes of the European Society of Cardiology (ESC)

Endorsed by the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS)

Authors/Task Force Members: Christiaan Vrints ¹, (Chairperson) (Belgium), Felicità Andreotti ², (Chairperson) (Italy), Konstantinos C. Koskinas³, (Task Force Co-ordinator) (Switzerland), Xavier Rossello ⁴, (Task Force Co-ordinator) (Spain), Marianna Adamo ⁵ (Italy), James Ainslie (United Kingdom), Adrian Paul Banning ⁶ (United Kingdom), Andrzej Budaj ⁷ (Poland), Ronny R. Buechel ⁸ (Switzerland), Giovanni Alfonso Chiariello ⁹ (Italy), Aliside Chieffo ¹⁰ (Italy), Ruxandra Maria Christodorescu ¹¹ (Romania), Christi Deaton ¹² (United Kingdom), Torsten Doenz ¹³ (Germany), Hywel W. Jones (United Kingdom), Vijay Kunadian ¹⁴ (United Kingdom), Julinda Mehilli ¹⁵ (Germany), Milan Milojevic ¹⁶ (Serbia), Jan J. Piek ¹⁷ (Netherlands), Francesca Pugliese ¹⁸ (United Kingdom), Andrea Rubboli ¹⁹ (Italy), Anne Grete Semb ²⁰ (Norway), Roxy Senior ²¹ (United Kingdom), Jurrien M. ten Berg ²² (Netherlands), Eric Van Belle ²³ (France), Emeline H. Van Craenenbroeck ²⁴ (Belgium), Rafael Vidal-Perez ²⁵ (Spain), Simon Winther ²⁶ (Denmark), and ESC Scientific Document Group

Non-invasive functional myocardial imaging tests in the initial diagnostic management of individuals with suspected chronic coronary syndrome—resting and stress single-photon emission computed tomography/positron emission tomography—cardiac magnetic resonance imaging, if available and supported by local expertise—Section 3

| | | |
|--|----------|----------|
| In individuals with suspected CCS and moderate or high (>15%–85%) pre-test likelihood of obstructive CAD, SPECT or, preferably, PET myocardial perfusion imaging is recommended to: | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • diagnose and quantify myocardial ischaemia and/or scar; • estimate the risk of MACE; • quantify myocardial blood flow (PET) | I | B |
| In patients selected for PET or SPECT myocardial perfusion imaging, it is recommended to measure CACS from unenhanced chest CT imaging (used for attenuation correction) to improve detection of both non-obstructive and obstructive CAD. | I | B |
| In individuals with suspected CCS and moderate or high (>15%–85%) pre-test likelihood of obstructive CAD, CMR perfusion imaging is recommended to diagnose and quantify myocardial ischaemia and/or scar and estimate the risk of MACE. | I | B |

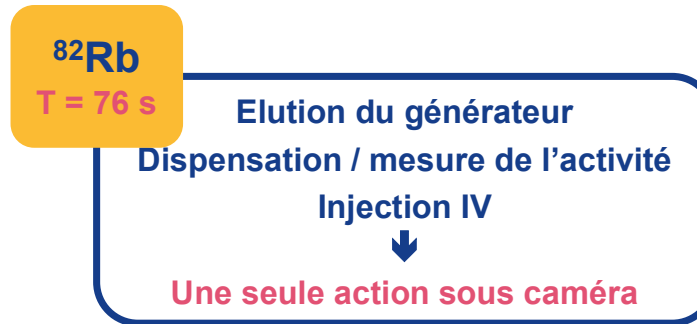
Dispositif médical d'injection

Principe de fonctionnement

Comparaison des 2 solutions commercialisées en France

Contrôle de qualité

Dispositif d'injection : principe de fonctionnement



Dispositif d'injection : principe de fonctionnement

^{82}Rb
T = 76 s

Elution du générateur
Dispensation / mesure de l'activité
Injection IV
↓
Une seule action sous caméra



Injecteur



Générateur



Générateur

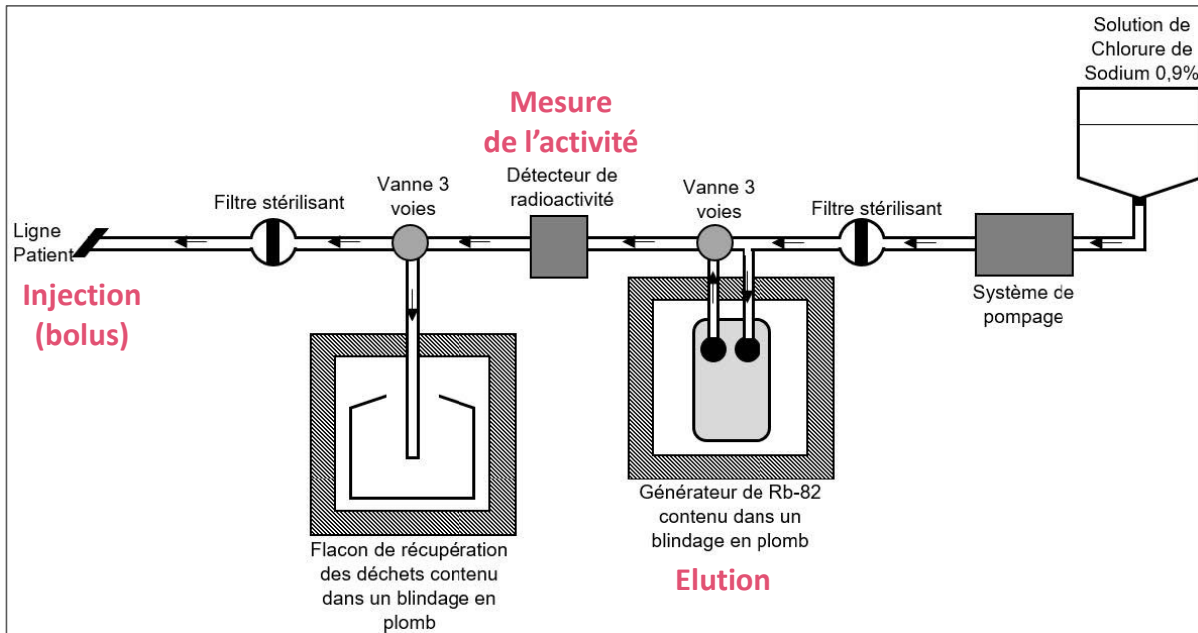


Injecteur

CardioGen-82® (Bracco)

Rubijet® (LemerPax) & KALDENN® (Naogen)

Dispositif d'injection : principe de fonctionnement



Naogen. Résumé des caractéristiques du produit :KALDENN® 4,32 - 5,28 GBq, générateur radiopharmaceutique. MAJ Mars 2026.



Naogen / LemerPax. Photo de la face supérieure du Rubijet®

■ Pompage

- ✓ Un **système de pompage** prélève du NaCl selon un débit prédéterminé

■ Elution

- ✓ En passant dans le **générateur** à travers la colonne, le NaCl emporte le ^{82}Rb

■ Mesure de l'activité

- ✓ Le NaCl chargé en ^{82}Rb poursuit son chemin dans la tubulure et passe devant une **sonde β**
- ✓ La sonde β est calibré quotidiennement avant utilisation dans des conditions de référence

■ Injection

- ✓ La tubulure est directement reliée à la **voix IV d'administration** au patient
- ✓ L'injection se fait en **bolus** selon le débit de pompage
- ✓ Lorsque l'activité prescrite est atteinte (sonde β) l'injection s'arrête

■ Vannes 3 voix

- ✓ La 1^{ère} permet le **rinçage** (sans passer par le générateur)
- ✓ La 2nd permet de faire une **éluion « poubelle »** (contaminants)

Dispositif d'injection : comparaison des 2 solutions

Caractéristiques du générateur

| | CardioGen-82® (Bracco) | KALDENN® (Naogen) |
|----------------------------|---|---|
| Activité du générateur | 3,3 et 5,6 GBq de ⁸² Sr à heure de calibration | 4,32 et 5,28 GBq de ⁸² Sr à heure de calibration |
| Débit d'élution | Fixe : 50ml/min | Variable : de 20 ml/min (début) à 50ml/min (fin) → même bolus |
| Durée de vie du générateur | 42 jours après la date de calibration | 60 jours après la date de calibration ou 30 L d'élution |

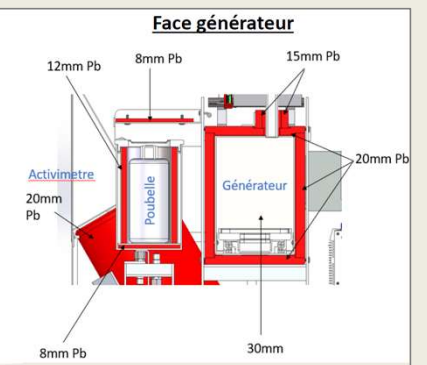
Caractéristiques de l'injecteur

| | CardioGen-82® (Bracco) | Rubijet® (LemerPax / Naogen) |
|------------------------|---|---|
| Dispositif d'injection | <ul style="list-style-type: none"> • Système de pompage : Seringue et pousse-seringue + Seringue à capteur de pression • Vannes 3 voix / Filtres stérilisants / Clapets anti-retour | <ul style="list-style-type: none"> • Système de pompage : Pompe péristaltique • Vannes 3 voix / Filtres stérilisants / Clapets anti-retour • Détecteur d'occlusion + Détecteur de bulles |
| Éléments du chariot | <ul style="list-style-type: none"> • 4 roues / Poignée / Ecran tactile / Crochet pour poche de phy • Emplacements blindés pour le générateur et le flacon de déchet • Pédales frein / déblocage • Compartiment de rangement | <ul style="list-style-type: none"> • 4 roues / Poignée / Ecran tactile / Crochet pour poche de phy • Emplacements blindés pour le générateur et le flacon de déchet • Serrures |
| Dimensions / Poids | l 102 cm x L 56 cm x H 163 cm / 281 kg | l 99,2 cm x L 77,2 cm x H 116,2 cm / 330 kg |

Blindage

| Composant de blindage | Épaisseur minimale du plomb mm |
|--|--------------------------------|
| Puits générateur | 38,608 |
| Couvercle du puits de générateur | 38,100 |
| Puits de déchets | 37,846 |
| Couvercle de puits à déchets | 22,225 |
| Puits détecteur de strontium | 27,686 |
| Couvercle de puits pour détecteur de strontium | 20,066 |
| Canal de tubulure | 18,288 |
| Porte de canal de tuyauterie | 19,533 |
| Plateau à cassettes | 19,050 |
| Porte du bac à cassettes | 19,050 |

| Emplacement | Blindage |
|------------------|---|
| Générateur | 30 mm de plomb en façade 20 mm autour |
| Poubelle | 8 mm en dessous et dessous 12 mm cotés |
| Activimètre | 20 mm autour |
| Bouchon sonde GM | 10 mm (tungstène) |



Dispositif d'injection : comparaison des 2 solutions

Composantes jetables

| | CardioGen-82® (Bracco) | Rubijet® (LemerPax / Naogen) |
|--------------|---|---|
| Consommables | <ul style="list-style-type: none"> • Pack 1 : Seringues emballées • Pack 2 : Kit d'entrée • Pack 2 : Kit de sortie • Dispositif d'administration au patient (DAP) • Flacon de test d'élution • Flacon de déchets et bouchon | <ul style="list-style-type: none"> • Kit pompe – NaCl 0,9% • Kit injecteur – générateur • Kit patient – injecteur • Flacon pour CQ • Flacon poubelle |

Composantes durables

| | CardioGen-82® (Bracco) | Rubijet® (LemerPax / Naogen) |
|------------------|---|--|
| Sources scellées | <ul style="list-style-type: none"> • Source ponctuelle de ²²Na (fournie) • Source disque de ¹³⁷Cs | Aucune → Utilisation flacon de ¹³⁷ Cs ou ¹³³ Ba du service |

Connectivité

| | CardioGen-82® (Bracco) | Rubijet® (LemerPax / Naogen) |
|--------------------------------|-------------------------|------------------------------|
| Connexion Worklist / SIMeN | Non | Oui (RJ45) + port USB |
| Support/Maintenance à distance | Non | Oui |
| Gestion des droits | Selon plusieurs niveaux | Selon métier |

Contrôles de qualité

| | CardioGen-82® (Bracco) | Rubijet® (LemerPax / Naogen) |
|--------------|------------------------|------------------------------|
| Programmable | Oui | Oui |

Dispositif d'injection : contrôle de qualité

■ Purge du générateur → élution poubelle

✓ La première élution + rinçage est récoltée dans un flacon déchet

→ Elimination de la première élution susceptible d'être chargée en radio-contaminants ^{82}Sr et ^{85}Sr

■ Calibration de la sonde bêta de mesure de l'activité

✓ Une seconde élution + rinçage est réalisé

avec la ligne patient connectée à un flacon de CQ positionné dans le dispositif externe de mesure d'activité

- Naogen / LemerPax : **activimètre** Scintidose® externe embarqué
- Bracco : **puits de détection CZT** externe embarqué

→ Mesure de la teneur en ^{82}Rb et calibration de la sonde β



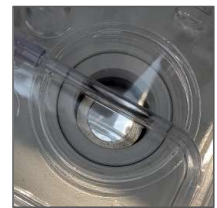
Naogen/LemerPax



Bracco



Naogen/LemerPax



Bracco

■ Contrôle de la teneur en radio-contaminants ^{82}Sr et ^{85}Sr

✓ L'élution dans le flacon de CQ est laissé environ 45 min en décroissance

→ Mesure de la teneur en radio-contaminants ^{82}Sr et ^{85}Sr Seuils (/MBq de ^{82}Rb) : $^{82}\text{Sr} : \leq 2 \times 10^{-5}$ MBq et $^{85}\text{Sr} : \leq 2 \times 10^{-4}$ MBq

■ Contrôle de fidélité du dispositif externe de mesure d'activité

✓ Source scellée de constance

- Naogen / LemerPax : contrôle de l'**activimètre** avec la source de ^{137}Cs ou ^{133}Ba
- Bracco : **puits de détection CZT** avec une source de ^{22}Na dédiée
+ calibration avec l'activimètre du service tous les 14 jours



Naogen/LemerPax



Bracco

Dispositif d'injection : contrôle de qualité

■ Purge du générateur → élution poubelle

✓ La première élution + rinçage est récoltée dans un flacon déchet

→ Elimination de la première élution susceptible d'être chargée en radio-contaminants ^{82}Sr et ^{85}Sr

■ Calibration de la sonde bêta de mesure de l'activité

✓ Une seconde élution + rinçage est réalisé

avec la ligne patient connectée à un flacon de CQ

• Naogen / LemerPax : **activimètre** Scintidose® ext

• Bracco : **puits de détection CZT** externe embarqué

→ Mesure de la teneur en ^{82}Rb et calibration de la sonde

■ Contrôle de la teneur en radio-contaminants

✓ L'élution dans le flacon de CQ est laissé environ 4h

→ Mesure de la teneur en radio-contaminants ^{82}Sr et ^{85}Sr Seuils (/MBq de ^{82}Rb) : $^{82}\text{Sr} : \leq 2 \times 10^{-5} \text{ MBq}$ et $^{85}\text{Sr} : \leq 2 \times 10^{-4} \text{ MBq}$

■ Contrôle de fidélité du dispositif externe de mesure d'activité

✓ Source scellée de constance

• Naogen / LemerPax : contrôle de l'**activimètre** avec la source de ^{137}Cs ou ^{133}Ba

• Bracco : **puits de détection CZT** avec une source de ^{22}Na dédiée

+ calibration avec l'activimètre du service tous les 14 jours



Naogen/LemerPax



Bracco



Naogen/LemerPax



Bracco

Durée totale : 1h15

A réaliser
quotidiennement
avant utilisation

Programmable

mesure d'activité



Naogen/LemerPax



Bracco

Prise en soin du patient : retour de 6 mois d'expérience

Indications / Posologie

Pré-examen

Examen

Post-examen

Prise en soin du patient : pré-examen

Principales indications

- ✓ Patients **obèses** / **volume mammaire important**
- ✓ **Capacité d'effort physique limitée** (Test d'effort < 95% de la FMT)
- ✓ **Bloc de branche gauche** ou **stimulateur cardiaque**
- ✓ **Cardiomyopathies** (hypertrophie, dilatation des cavités cardiaques)
- ✓ **Atteinte tritrunculaire**, suspicion de coronaropathie diffuse
- ✓ **Mesure de la réserve de flux myocardique** en l'absence de coronaropathie obstructive : **INOCA**, diabète...

Contre-indications

- ✓ **Femme enceinte ou allaitante**
- ✓ **Contre-indications liées au stress pharmacologique**
(Régadénoson ou Dipyridamole)
 - **Angor instable**
 - **Sténose serrée**
 - **Insuffisance cardiaque instable**

Préparation du patient

- ✓ **A jeun depuis 4h** → **Limitation de la fixation digestive**
- ✓ **Absence de consommation de thé, café, banane, chocolat, Ricoré, cola, boisson énergisante**

Avant l'examen

- ✓ **Questionnaire patient**
- ✓ **Pose d'une voie d'abord périphérique – cathéter de 18G – avant bras**
- ✓ **Réalisation d'un ECG – Prise de la tension artérielle**

| | | |
|-------------------|---------------------------|--------------------|
| Etiquette patient | Taille : cm Poids : Kg | EXAMEN : OUI / NON |
|-------------------|---------------------------|--------------------|

Date : **TEP RUBIDIUM**

Prescripteur : _____ Praticien : _____

OBSERVATIONS :

ANTECEDENTS ET TRAITEMENT :

Consignes respectées : Oui Non
(Thé/Café/Chocolat/Coca/Ricoré/Red Bull)

Asthme/ BPCO : Oui Non

Diabète : Oui Non - Si oui, quel traitement ?

Allergie : Oui Non - Si oui, lesquelles ?

☑ **DDR** : / Ménopause Non concerné

Contraception : Oui Non
Si oui, laquelle :

AVC < 1 mois : Oui Non

Épilepsie : Oui Non

Sténose carotidienne bilatérale : Oui Non

Arrêt des traitements : Oui Non
Si oui lesquels ? :

Autres :

| INSTALLATION | REPOS | PHARMACOLOGIQUE | STRESS | FIN D'EXAMEN |
|---|------------------------------------|--|-------------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> ECG début d'examen | <input type="checkbox"/> TEP repos | <input type="checkbox"/> Rapiscan® (400 µg/5 mL) • IV 20 secondes | <input type="checkbox"/> TEP stress | <input type="checkbox"/> Aminophylline 250 mg/10 mL (1/2 ampoule IV 30 secondes) Fait : Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> TA : | | <input type="checkbox"/> Persantine® _____ mg • 0,56 mg/kg (max : 70 mg) dans 40 mL de NaCl 0,9% • IV lente sur 4 minutes | | <input type="checkbox"/> ECG fin d'examen |
| | | | | <input type="checkbox"/> TA : |

Injections :

| REPOS | STRESS |
|---|---|
| Heure : _____ Activité (MBq) : _____ | Heure : _____ Activité (MBq) : _____ |

Transport : _____ Téléphone : _____

Prise en soin du patient : examen

Installation du patient

- ✓ Décubitus dorsal, tête statif, bras au dessus de la tête

Monitoring du patient

- ✓ Monitoring avec ECG à 12 dérivations

Acquisition TDM

- ✓ Basse dose
- ✓ Servant également au score calcique

Acquisition TEP de repos

- ✓ Synchronisation +++ avec l'injection
- ✓ Acquisition en mode liste avec synchro ECG
- ✓ Pas de 7 min centré sur le cœur

Stress pharmacologique

- ✓ Régadénoson : IV sur 20 à 30 s
- ✓ Dipyridamole : IV lente sur 4 min

Acquisition TEP d'effort

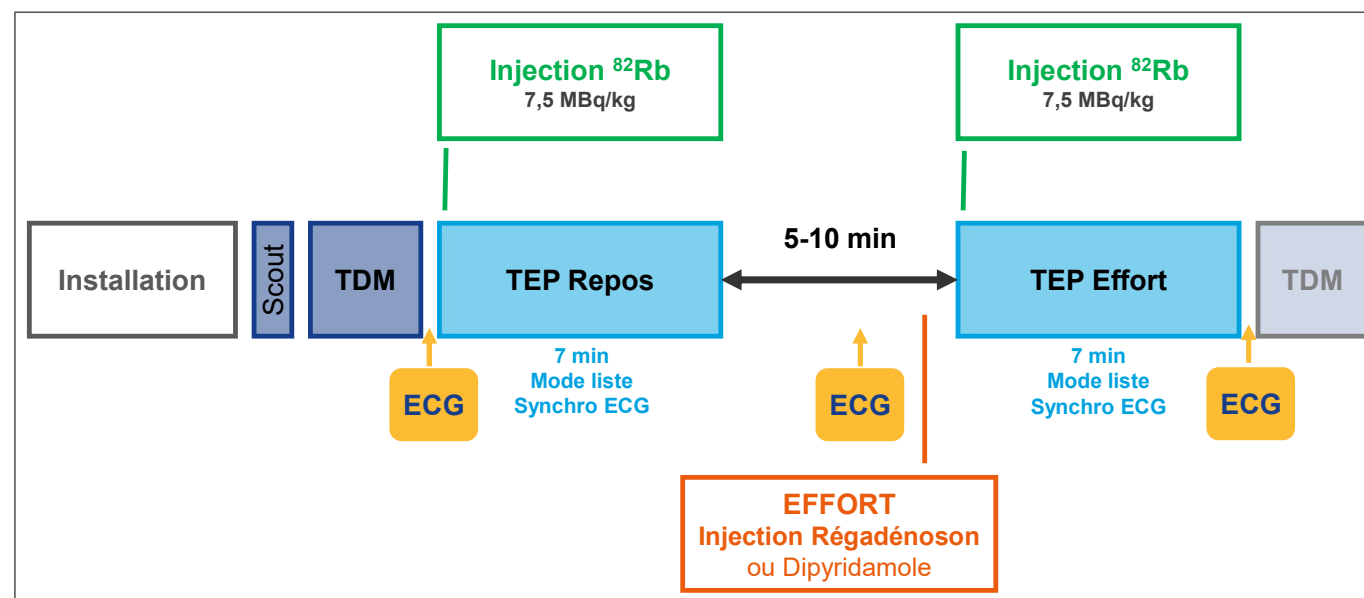
- ✓ Identique à l'acquisition TEP de repos



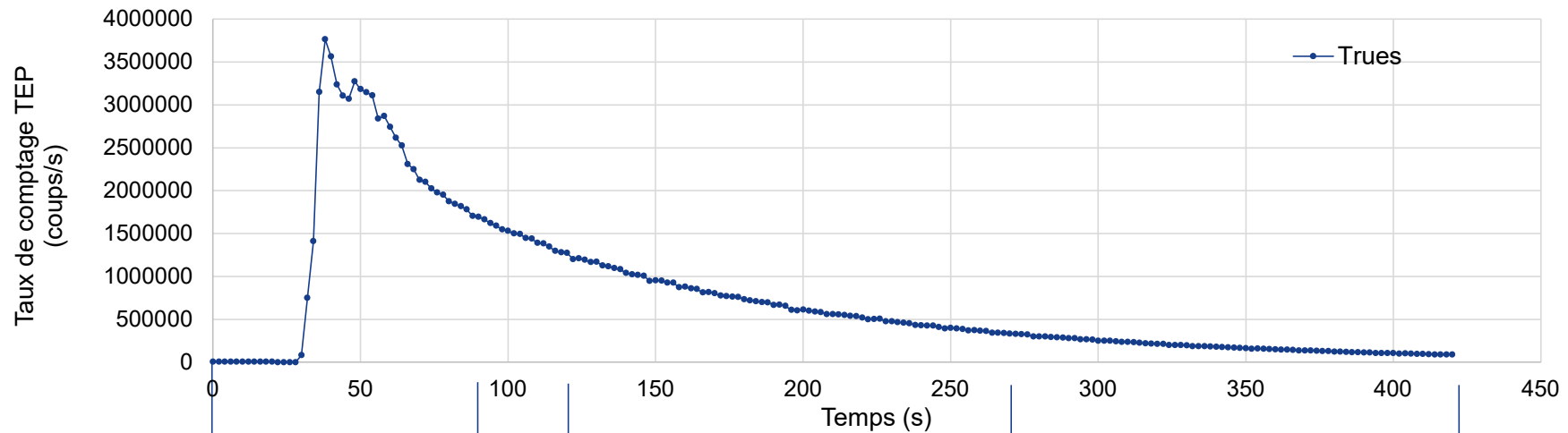
TEP-TDM Biograph Vision 600® (Siemens Healthineers)



Injecteur Rubijet® (LemerPax)



Prise en soin du patient : examen



Acquisition

7 min - acquisition en mode liste avec synchronisation ECG

Reconstructions

de 1,5 min à 4,5 min - recon rapide NAC

Recalage

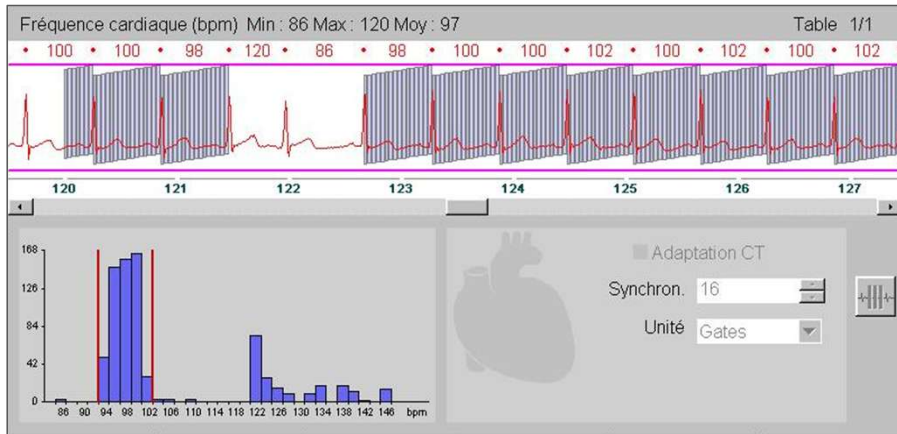
de 0 à 7 min - reconstruction dynamique : 1x20s – 12x5s – 6x10s – 4x20s – 5x40s

de 2 à 7 min - reconstruction statique

de 2 à 7 min - reconstruction synchronisée à l'ECG

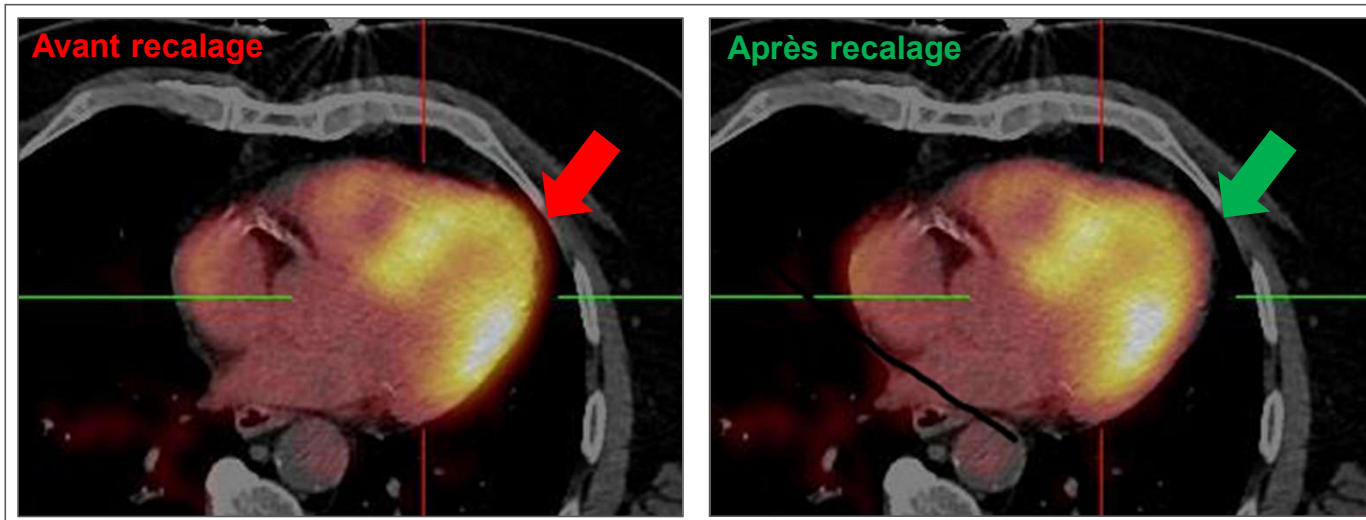
Prise en soin du patient : examen

■ Synchronisation avec l'ECG et reconstruction en 16 gates



- ✓ Le cycle cardiaque est découpé en 16 gates
- ✓ Les battements irréguliers (extrasystoles...) sont éliminés

■ Importance du recalage



- ✓ Etape indispensable
- ➔ Qualité de la correction d'atténuation

Intérêts / Avantages

Pour le patient

Pour le MERM

Pour le médecin / le diagnostic

Intérêt : pour le patient

- **Examens d'effort et de repos en une seule séquence**

Contre 2 passages caméra pour la TEMP

- **Durée d'examen inférieur à 1h**

Contre une attente entre l'effort et le repos de 2 à 4h (protocole 1 jour)
ou un second rendez-vous le lendemain (protocole 2 jours) pour la TEMP

- **Dosimétrie :**

✓ données du service médecine nucléaire de Bichat AP-HP

| Examen | Posologie MN Bichat | Dose efficace* par unité d'activité [Source] | Dose efficace Pour un patient de 70 kg |
|-----------------------------------|---|---|--|
| MIBI- ^{99m} Tc 1 jour | Effort : 3,5 MBq/kg Repos : 7,5MBq/kg | Effort : 7,4 µSv/MBq [CIPR 80] Repos : 8,5 µSv/MBq [CIPR 80] | Effort : 1,81 mSv Repos : 4,46 mSv Total : 6,3 mSv |
| ²⁰¹ Tl | Effort : 1 MBq/kg Repos : 0,5 MBq/kg | Effort/Repos : 151 µSv/MBq [CIPR 106] | Effort : 10,57 mSv Repos : 5,28 mSv Total : 15,9 mSv |
| Chlorure de ⁸² Rb | Effort : 7,5 MBq/kg Repos : 7,5 MBq/kg | Effort/Repos : 1 µSv/MBq [CIPR 128] | Effort : 0,52 mSv Repos : 0,52 mSv Total : 1,05 mSv + TDM ~ 5 mSv |

* Données du Rapport SFPM n°33 *Dosimétrie des explorations diagnostiques en médecine nucléaire*. Juin 2017.

Rapide

Peu
irradiant

Diagnostic
fiable

Intérêt : pour le MERM

- **Moins de contraintes logistique**
- **Workflow standardisé et fluide**
 - ✓ Automatisation de l'injection réduisant les manipulations de MRP et les risques d'erreurs
 - ✓ Pas de coordination entre caméra et salle d'effort
- **Radioprotection**
 - ✓ Pas de manipulation du MRP → **Risque de contamination réduit**
 - ✓ MERM positionné au pupitre lors de l'injection
 - ✓ Demi-vie de 76s → \emptyset radioactivité dans le patient en fin d'examen } → **Exposition réduite**
 - ✓ Tenir compte du changement de générateur → **Seulement tous les 2 mois**
- **Bonne tolérance des patients**
- **Collaboration MERM / Médecin ++**
- **Collaboration MERM / Patient ++**

Workflow
fluide

Peu
irradiant

Intérêt !

Intérêt : pour le médecin / le diagnostic

- **Avantages de la TEP**
 - ✓ Correction d'atténuation
 - ✓ Meilleure résolution spatiale et meilleur contraste
- **Réalisation dans le même temps du score calcique**
- **Performance diagnostique**
 - ✓ Lorsque la TEMP est moins performante
- **Quantification absolue du flux sanguin myocardique**
 - ✓ Réserve coronaire globale → Valeur pronostique, ischémie étendue
 - ✓ Réserve coronaire régionale → Systématisation coronaire



Performance
diagnostique

Quantification
absolue

Score
calcique

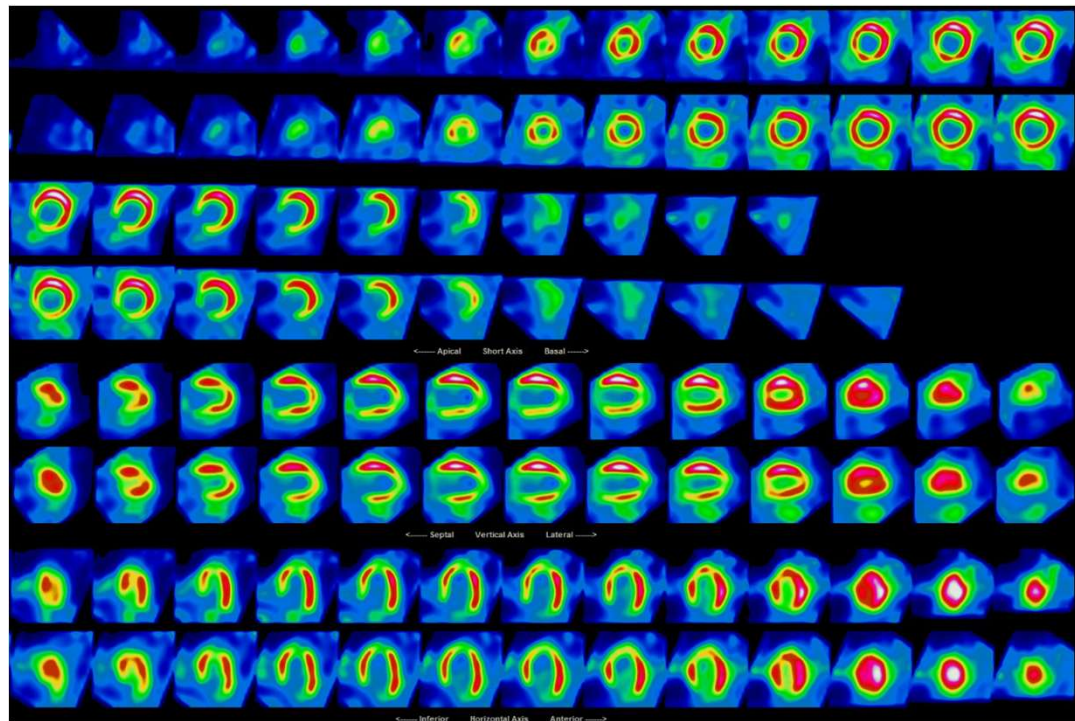


Intérêt : pour le médecin / le diagnostic

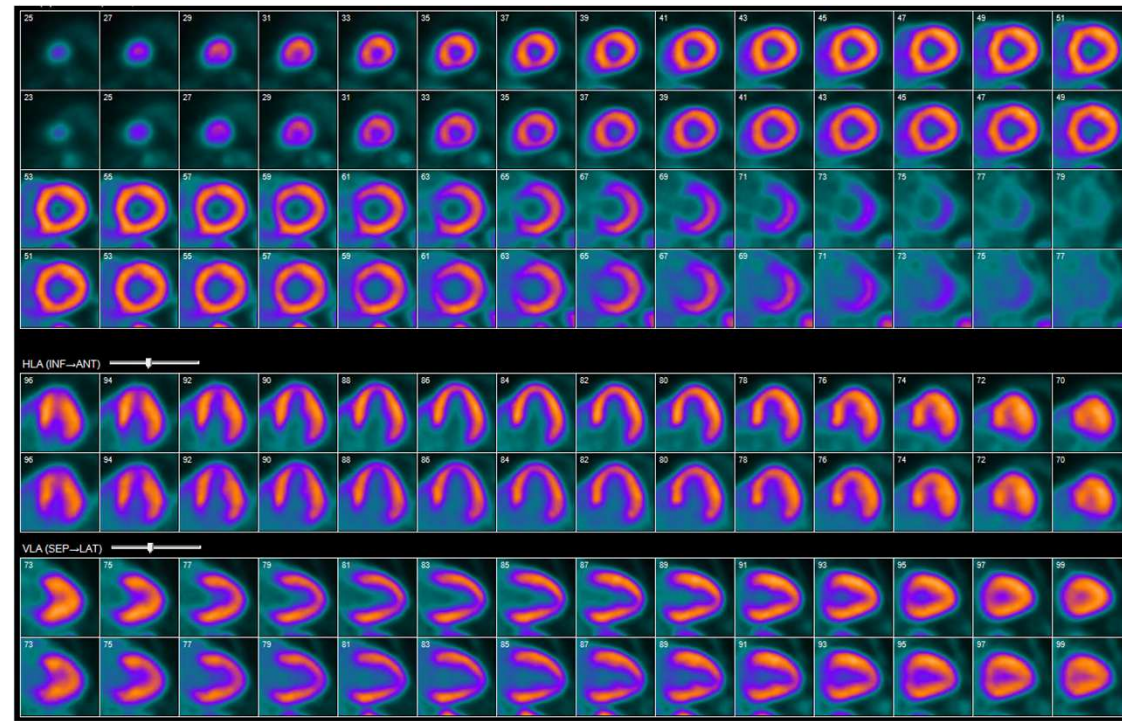
■ Cas clinique

- ✓ Patiente de 73 ans
- ✓ Douleurs thoraciques, troponine normale
- ✓ ECG : BBG

TEMP CZT dédiée cœur au ^{201}Tl



TEP-TDM au ^{82}Rb



Conclusion

Synthèse en comparaison avec la TEMP

La TEP au Rubidium-82 va-t-elle remplacer la TEMP ?

Conclusion : synthèse

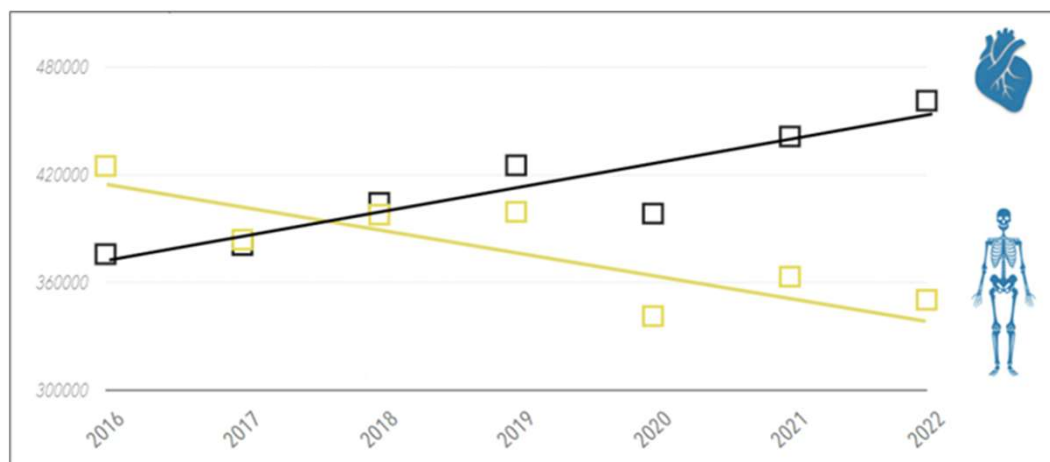
| | Scintigraphie myocardique | TEP au Rubidium-82 |
|------------------------------------|---|--|
| Modalité d'imagerie | TEMP | TEP |
| Radiopharmaceutique | ^{99m}Tc -MIBI / ^{99m}Tc -Tetrofosmine / ^{201}Tl | Chlorure de ^{82}Rb |
| Type d'effort | Physique ou pharmacologique | Pharmacologique uniquement |
| Qualité image | Résolution spatiale moyenne Artéfacts d'atténuation | Résolution spatiale élevée Correction d'atténuation |
| Quantification du flux myocardique | Relative | Absolue (ml/min/g) |
| Durée de l'examen | 2 passages caméra (repos + effort) espacé de plusieurs heures (protocole 1 jour) | 1 passage caméra de 30 à 40 minutes (repos + effort) |
| Dose efficace | <ul style="list-style-type: none"> ^{99m}Tc : 6 mSv ^{201}Tl : 16 mSv | 1 mSv + dose due au scanner |
| Disponibilité | Très répandu | Plus limitée <ul style="list-style-type: none"> Générateur de ^{82}Rb et injecteur dédié Disponibilité TEP |
| Intérêts principales | <ul style="list-style-type: none"> Dépistage de l'ischémie Bilan coronarien | <ul style="list-style-type: none"> Évaluation fine de la perfusion myocardique Quantification absolue du débit sanguin myocardique Mesure de la réserve de flux en l'absence de coronaropathie obstructive (INOCA) Coronaropathie complexe (atteinte tritrunculaire) |
| Coût | Faible | Plus élevé mais remboursement CCAM dédié |

Conclusion : La TEP au Rubidium-82 va-t-elle remplacer la TEMP ?

- Tendence générale : baisse du nombre de scintigraphies au profit de la TEP
- Ouverture de la TEP au ^{82}Rb dans un nombre croissant de centre

MAIS

- Augmentation du nombre de scintigraphies cardiaques
 - Disponibilité des TEP / coûts
- Intérêt en remplacement de la TEMP pour les groupes de patients où la TEP au ^{82}Rb apporte un bénéfice

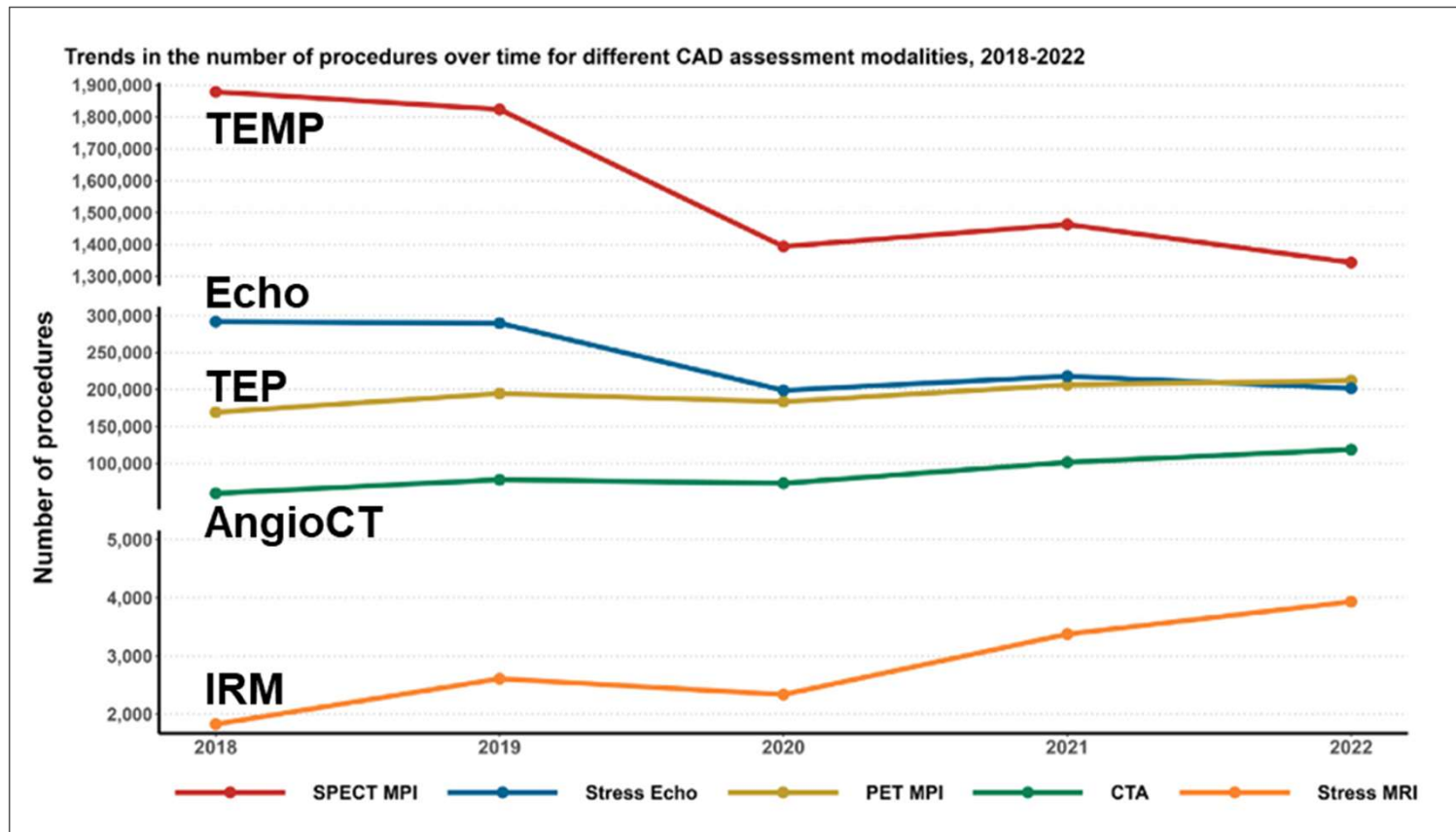


CNPMN et SFMN. Enquête nationale. Médecine nucléaire française. 2022.



Conclusion : La TEP au Rubidium-82 va-t-elle remplacer la TEMP ?

Aux Etats Unis



Al-Mallah et al. Cardiac positron emission tomography and other modalities for coronary artery disease assessment: A snapshot from the medicare data. *J Nucl Cardiol.* Nov 2024.

Merci de votre attention

Des questions ?



Figures en plus

| | Rb-82 | F-18 |
|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| Demi-vie | 76 s | 110 min |
| Energie max β^+ | 3381 keV | 2604,5 keV |
| Energie moyenne β^+ | 1535,6 keV | 249,5 keV |
| Libre parcours moyen β^+ | 5,9 mm* | 0,6 mm |
| Facteur d'embranchement | 81,81 % Tous β^+ : 95,45 % | 13,10 % 96,86 % |

* Bailey DL, Townsend DW, Valk PE and Maisey MN. *Positron Emission Tomography. Basic Sciences*. 2005.

